

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立
面隔熱材防火性

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 108 年 12 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)

PG10803-0024

**應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立
面隔熱材防火性**

研究主持人：王天志

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)

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性

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 研究目的及預期成果.....	2
第二章 規範與文獻回顧.....	5
第一節 外牆材料、工法、構造及延燒機制.....	5
第二節 外牆火災案例分析.....	14
第三節 外牆隔熱系統防火性能法規要求.....	24
第四節 外牆隔熱系統全尺度防火試驗.....	34
第三章 外牆隔熱材大尺度防火試驗設備.....	45
第四章 研究結果與討論.....	55
第一節 各試驗標準要求討論.....	55
第二節 歐洲評估外牆防火性能試驗標準調和[58].....	63
第五章 結論與建議.....	65
附錄一 燃燒系統設備採購性能需求.....	67
附錄二 期中、期末審查會議紀錄與回應.....	69
參考書目.....	75

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性

表次

表 2-1 外牆火災統計[13](美國，2007-2012)	15
表 2-2 起火點的外牆火災統計[13](澳洲，2003-2007).....	16
表 2-3 起火點的外牆火災統計[13](紐西蘭，2005-2010)	16
表 2-4 BS 476-7 耐燃等級[21]	27
表 2-5 英國外牆保溫系統防火性能要求[36].....	28
表 2-6 德國、歐洲及中國大陸 建築材料燃燒性能分級[39、40、41]	29
表 2-7 歐洲及中國 建築材料燃燒性能試驗方法[42].....	30
表 2-8 上海市外牆外保溫材料防火設計要求[44].....	32
表 4-1 大尺度及中尺度試驗標準各項規定彙整[13].....	56
表 4-2 歐盟/歐洲自由貿易區所用外牆防火性能試驗標準.....	63

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性

圖次

圖 1-1 台灣屋齡統計 [1]	1
圖 2-1 通氣層工法 [9]	6
圖 2-2 密著工法 [9]	6
圖 2-3 外牆岩綿隔熱材	7
圖 2-4 外牆外隔熱系統構造	7
圖 2-5 隔熱裝飾一體化外牆隔熱系統[11]	8
圖 2-6 鋁複合材包層(Aluminium Composite Material, ACM)[12]	9
圖 2-7 熱塑性隔熱材的燃燒過程[11]	11
圖 2-8 熱固性隔熱材的燃燒過程[11]	11
圖 2-9 外牆火災擴散類型[14]	13
圖 2-10 外牆火災該建築樓層數統計[13](美國, 2007-2012) .	15
圖 2-11 外牆外隔熱及防水裝飾系統EIFS火災[15].....	17
圖 2-12 (a) MGM MONTECARLO HOTEL火災及(b)含有聚氨酯樹脂 塗層的EPS [16]	18
圖 2-13 (a) AL TAYER TOWER火災及(b)火災掉落碎片導致車輛 受損[17、18]	19
圖 2-14 (a) AL TAYER TOWER火災後外觀及(b)燒毀後ACM外飾板[17、	

18].....	19
圖 2-15 KNOWSLEY HEIGHTS 火災後外觀[19].....	20
圖 2-16 (a)僱員公積金局火災後外觀及(b)保麗龍裝飾外牆的殘塊[22].....	21
圖 2-17 格蘭菲塔大樓火災當時.....	22
圖 2-18 格蘭菲塔大樓火災後照片.....	22
圖 2-19 外牆保溫系統構造圖[24].....	23
圖 2-20 大樓外牆塗料已剝落、受損，露出內部聚乙烯材質[26].....	24
圖 2-20 BS-8414-1 試驗[36、38].....	28
圖 2-21 ISO 13785 -2 試驗設備外觀[48].....	36
圖 2-22 BS 8414-1 試驗設備外觀[14、36].....	37
圖 2-23 熱通量量測點[36].....	38
圖 2-24 DIN 4102-20 試驗後外觀[50].....	40
圖 2-25 ANSI FM 4880 25 ft 試驗示意圖[33].....	41
圖 2-26 ANSI FM 4880 50 ft 試驗示意圖[33].....	42
圖 2-27 FM PARALLEL PANEL TEST 試驗[12、51].....	43
圖 2-28 外牆隔熱系統全尺度防火試驗[12].....	43
圖 2-29 外牆隔熱系統全尺度防火試驗火源要求[12].....	44

圖 2-30 外牆隔熱系統全尺度防火試驗試體安裝及量測高度要求 [12].....	44
圖 3-1 試驗設備示意圖.....	48
圖 3-2 試驗試體示意圖.....	49
圖 3-3 測點位置分布圖.....	50
圖 3-4 引燃源之燃料流率.....	51
圖 3-5 實驗設備收納設置地點.....	51
圖 3-6 燃燒系統測試情形.....	52
圖 3-7 燃燒系統性能驗證曲線.....	52
圖 3-8 韓國建設生活環境試驗研究院Samcheok KCL試驗設備外觀 [52].....	53
圖 3-9 韓國建設生活環境試驗研究院Samcheok KCL試驗設備引火 源[52].....	53
圖 3-10 燃燒箱及牆面系統製作示意圖.....	54

摘要

關鍵詞：外牆立面、隔熱材、防火試驗

一、研究源起

我國早期鋼筋混凝土構造建築物，其外牆飾材普遍採用磁磚，但隨著屋齡增長及海島環境影響等因素交互作用下，外牆飾材易產生髒污、剝落等問題，不僅影響美觀，甚至危害到公共安全，實是不容忽視的風險。為改善都市景觀、改善漏水、強化防災及提升建築物節能及使用機能，業主或住戶為解決此類問題常透過老屋翻修、外牆拉皮的方法改善，使既有建築物透過整建活化，延長建物生命週期，達到都市更新目的及資源再利用的永續、環保等發展目標。

另外隨著氣候變遷、地球暖化與建築永續共生的設計需求日益受到重視，建築節能的三大重點為「建築外殼節能」、「空調系統節能」及「照明系統節能」，三者中又以「建築外殼節能」為首要重點。其中又因外牆所占建築外殼表面積較大，因此外牆隔熱節能性能日益重要。對於亞熱帶氣候我們，要去思考如何利用外牆節能材料、系統的應用，達到隔熱、遮陽、通風的功能。

但在進行老舊建築外牆整建維護，不論只是外觀單純拉皮或是引用節能材料來改善建築能耗，在設計及施工時除必須思考其材料使用的耐用性、美觀性、成本及節能外，應要同時顧及防火安全性，在國際上已發生多起外牆保溫隔熱系統的大火，例如 2017 年英國 Grenfell Tower 大火即為警例。

二、研究方法及過程

本研究主要透過蒐集相關外牆立面隔熱材料防火性能建築法規要求、相對應之外牆立面隔熱材料或系統防火試驗標準及其判定依據，配合我國 CNS 試驗標準，逐步規劃建置試驗設備，以探討外牆立面隔熱材料防火要求，供未來建築管理參考。

三、重要發現

- (一)國內目前在建築節能改善、外牆漏水修繕或建築外觀拉皮整修時，部分案例已有採用類似國際間發生大火的外牆立面隔熱材的使用，其防火性

能受到各界的重視及疑慮，值得持續加以研究驗證。

(二)建築物外牆貼附系統相當多元，也涵蓋了廣泛的應用範圍，例如外部絕緣飾面系統 (EIFS 或 ETICS)、金屬複合材料覆層、保溫夾芯板系統、可燃牆體空腔隔熱、智能外牆組件、廣告招牌、LED 外牆和綠色植栽外牆等。這些應用範圍，其立面材料和系統，若不具有防火性能，將使火焰成長與傳播，造成很大的危害。

(三)由文獻資料及本年度另一研究案中尺度試驗結果顯示，符合耐燃一級的芯材，改於中尺度試驗條件下的試驗結果，於 1 分 05 秒達全面燃燒，且開始有掉落物產生，對於該材料後續應用於建築物外牆，如僅採小尺度試驗，顯有疑慮，依據中尺度之試驗結果，實有必要進行大尺度試驗確認後，方可審慎使用。

四、主要建議事項

建議一

建置外牆立面隔熱材防火性大尺度試驗設備：立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：

由文獻資料及本年度另一研究案小、中尺度試驗結果顯示，如僅採小尺度試驗，顯有疑慮，依據中尺度之試驗結果，實有必要進行大尺度試驗確認後，方可審慎使用。未來規劃配合小尺度材料性能要求、中尺度系統篩選及大尺度實際驗證，期能在防火安全、建築管理及經濟成本，各方平衡考量下，提升國人居住安全。

Abstract

keywords : facade 、 insulation material 、 fire test

1. The research background

In the maintenance and repair of the exterior walls of old buildings, whether it is just the exterior renovation or the use of energy-saving materials to improve the building's energy consumption, in addition to the durability, aesthetics, cost and energy saving of its materials, it must also consider fire safety. In the international community, there have been many cases of fires in external wall insulation systems, such as the Grenfell Tower fire in 2017.

2. Research procedure

Through collecting relevant building fire insulation performance requirements of facade insulation materials, relevant fire test standards and their judgment basis, and in accordance with CNS test standards, gradually plan and build test equipment to discuss the requirements of the fire protection of facade insulation materials.

3. Conclusion

(1) At present, there are some cases in China that use external wall insulation materials similar to the fires that have occurred internationally. They have doubts about their fire resistance performance and are worthy of research and verification.

(2) Building exterior wall attachment systems are quite diverse and cover a wide range of applications, such as external insulation finishing systems (EIFS or ETICS), metal composite panel systems, advertising signs, LED screen facades and green walls,

etc. In these applications, if the façade materials and systems do not have fire resistance, it will cause the flame to grow and spread, causing fatal harm.

- (3) For materials used in building exterior walls, if only small-scale tests are used, there are obvious doubts. According to the actual test results of the medium-scale, it is necessary to confirm the large-scale tests before use.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

在民國六、七十年代，經濟起飛，我國興建了大量的鋼筋混凝土構造建築物，其外牆飾材普遍採用磁磚，但因台灣四面環海且位於地震帶上，地震、颱風頻繁，且氣候高溫潮濕，這些震動、高溫高濕及鹽分等，都是侵襲現代建築屋況的危害因子，隨著屋齡增長及上述環境影響等因素交互作用下，外牆飾材易產生髒污、剝落及缺損等問題，不僅影響建築物美觀，甚至危害到民眾的公共安全，實是不容忽視的風險。根據統計，台灣屋齡介於 20 至 40 年的老舊建築約占 50%，圖 1〔1〕，這些建築物外牆面貼磁磚的工法已開始出現老化現象，極易造成剝落等公安問題。為改善都市景觀，強化防災及提升建築物節能及使用機能，且因都市更新計畫緩不濟急，業主或住戶為解決此類問題可透過老屋翻修、外牆拉皮的方法改善。

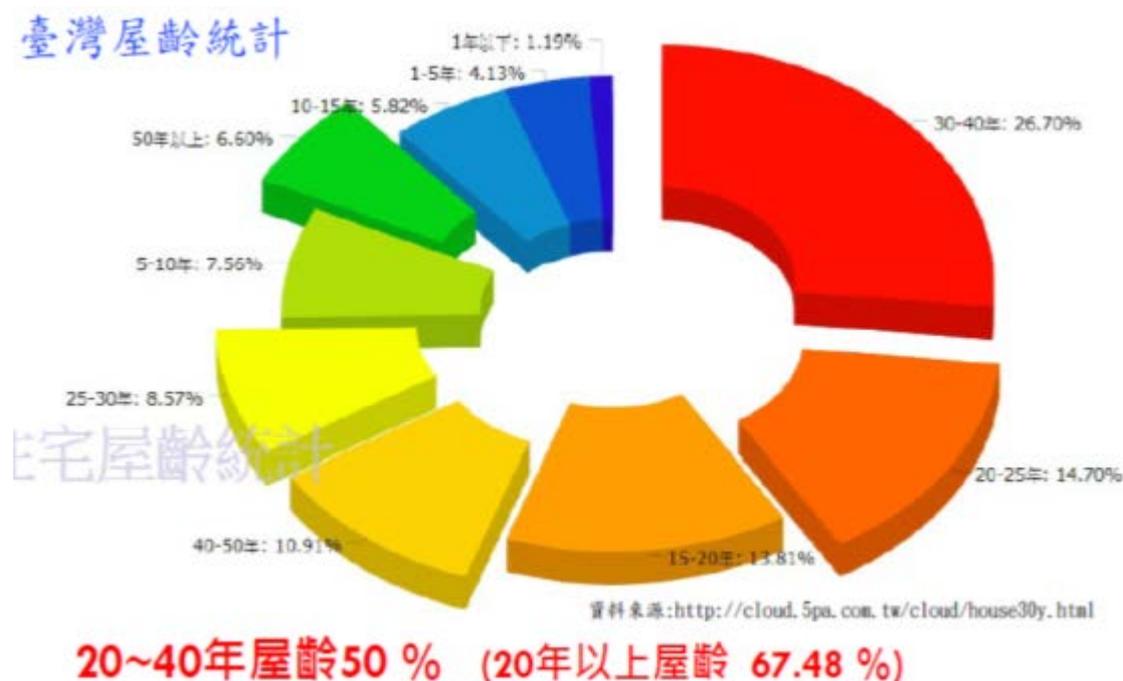


圖 1-1 台灣屋齡統計〔1〕

內政部先前訂定「中央都市更新基金補助辦理自行實施更新辦法」(108.4.3

廢止)[2]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；另外如台北市及新北市也均有「都市更新整建維護」等補助方案[3、4]，開放受理民眾申請事宜。以上措施不僅可用以改善市容景觀，也降低了外牆磁磚掉落危害行人通行之風險，同時使既有建築物透過整建活化，延長建物生命週期，達到都市更新目的及資源再利用的永續、環保等發展目標。

另外隨著氣候變遷、地球暖化與建築永續共生的設計需求日益受到重視，建築節能的三大重點為「建築外殼節能」、「空調系統節能」及「照明系統節能」，三者中又以「建築外殼節能」為首要重點。現代都市因地狹人稠，建築朝向高層化發展，使外牆所占建築外殼表面積比屋頂所占面積為大，且其面積差異比例越來越高，因此外牆隔熱節能性能日益重要。外牆節能設計概念已廣泛應用，對於亞熱帶氣候我們，要去思考如何利用外牆節能材料、系統的應用，達到隔熱、遮陽、通風的功能。

但在進行老舊建築外牆整建維護，不論只是外觀單純拉皮或是引用節能材料來改善建築能耗，在設計及施工時除必須思考其材料使用的耐用性、美觀性、成本及節能外，應要同時顧及防火安全性，在國際上已發生多起外牆保溫隔熱系統的大火，例如 2017 年英國 Grenfell Tower 大火即為警例。

第二節 研究目的及預期成果

國內目前在建築節能改善或建築外觀整修時，部分案例已有採用類似前述發生大火的外牆立面隔熱材的使用，其防火性能受到各界的重視及疑慮，值得加以研究驗證。我國在建築技術規則[5]第三章建築物之防火，業已規定外牆的防火時效，但在外牆本體上加裝的立面隔熱材之防火性，則尚無明確規定其材料和系統的耐火與延燒試驗標準及防火要求，但在國外對此類外牆立面保溫/隔熱材的建築管理上已有相關試驗標準及性能要求。我國經濟部標準檢驗局在民國 97 年公布 CNS 15213-2「建築物外牆立面防火試驗法-大尺度試驗」國家標準[6]，但因建築環境市場需求因素及法規未強制規定，我國尚無相關實驗設備的建置，其相關研究及試驗資料均相當缺乏。

因建築物外牆立面隔熱材料和系統，若具有防火性能，將可防止或延緩火焰

成長與傳播，但近年來常使用的各種外牆立面隔熱材裝修系統，火災時是否造成火勢蔓延，頗有疑慮？依文獻顯示〔7〕，外牆整建從廠商供給面與消費者需求面來調查統計，均以防火外牆排名第一，可見此防火性能實有驗證的必要。因此規劃依 CNS 15213-2 國家標準進行大尺度試驗驗證建築外牆立面保溫材防火性的研究，其預期成果為：

1. 收集外牆立面隔熱材防火性相關測試標準、性能要求及法規規定等資料。
2. 依據 CNS 標準規劃建置大尺度試驗設備，配合經費狀況，逐步完成性能驗證、操作流程及後續判定參考依據。

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性

第二章 規範與文獻回顧

外牆節能隔熱設計方式多元，其策略為降低日射吸能與增加隔熱性能，外牆牆體構造應以減少外熱侵入為必要條件，使用隔熱處理時，須配合建築物之使用型態。常見有利用淺色(反射率高)外牆材料反射太陽輻射熱、利用雙層牆或外牆內中空部分隔熱、利用外牆高性能隔熱材料提高隔熱、利用植生牆或攀附植物幫助外牆隔熱或利用外遮陽設施來降低熱量的傳遞等。如係對於老舊建築外牆整建維護需求來看，採用外牆立面增設高性能隔熱材料來提高隔熱效果，乃為目前採行的方法之一。

國家標準 CNS 15213-2 「建築物外牆立面防火試驗法-大尺度試驗」其適用範圍說明「本標準規定貼附於建築物外牆上大尺度非承重立面之防火試驗方法」，該方法不適用陽台、窗戶及布幕。因此本研究之範圍主要係針對應用於外牆立面隔熱材及系統之防火性探討，不包括建築外牆本體的防火性能的探討。

第一節 外牆材料、工法、構造及延燒機制

壹、國內外常應用之外牆節能工法及構造

一般常見的外牆隔熱是在主牆體結構外側在粘接材料的作用下，固定一層隔熱材料，並在隔熱材料的外側用玻璃纖維網加強並塗刷黏結膠漿。它主要是採用粘接砂漿或者是專用的固定件將保溫材料貼、掛在外牆立面上，然後塗抹抗裂砂漿，壓入玻璃纖維網格布形成保護層，最後加做裝飾面。另外一種做法是用專用的固定件將不易吸水的各種保溫板固定在外牆上，然後將鋁板、天然石材、彩色玻璃等外掛在預先製作的骨架上，直接形成裝飾面。

一、建築物外牆節能工法：

外牆立面隔熱節能工法依空氣層的有無可分為二種〔8〕，如圖 2-1、2-2 所

示 [9]: 其中通氣層工法的組成是在外牆飾板與既有牆體間，裝設隔熱材以及留設空氣層，此雙重外牆的構造方式不僅外層可以遮蔽裡層，而且中間空氣層還具有對流熱的效果。

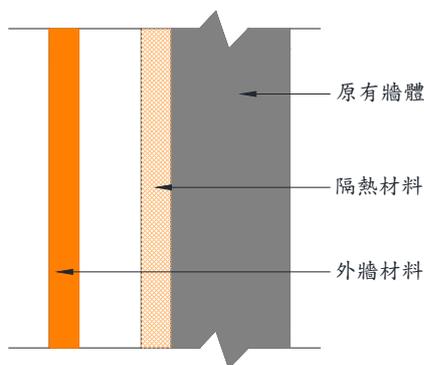


圖 2-1 通氣層工法 [9]

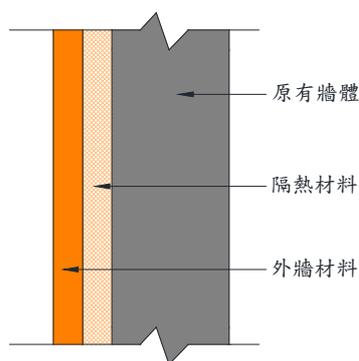
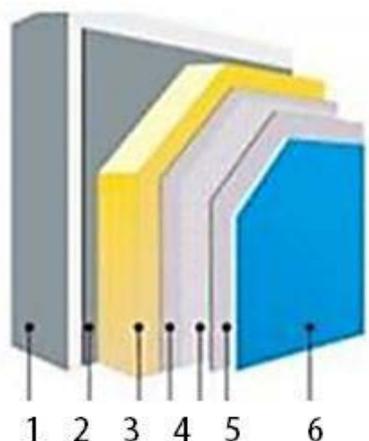


圖 2-2 密著工法 [9]

二、外牆立面隔熱節能構造：

- (1) 外牆岩綿節能隔熱工程：外牆熱傳導係數 U 值可降至 $0.6 (W/m^2 K)$ ，有效降低建築耗能。



1. 原建築牆體
2. 高強度建築接著黏結膠漿
3. 天然火山岩綿
4. 抗機械撞擊特製透氣防火耐震膜
5. 高分子玻璃纖維網
6. 玻璃、薄片石材、磁磚、塗料

圖 2-3 外牆岩綿隔熱材

(資料來源：綠色魔法學校)

- (2) 外牆外隔熱及防水裝飾系統 EIFS：根據美國材料和試驗協會 ASTM 定義，外牆外隔熱系統 (Exterior Insulation and Finish System, EIFS) 是一種非承重的外牆覆蓋系統。其構造為：



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 2-4 外牆外隔熱系統構造

(資料來源：建築外牆整修維護之材料與技術發表會[10])

- (3) 隔熱裝飾一體化外牆隔熱系統：將抹面層和飾面層先結合形成面板，在將面板與隔熱層合一構成隔熱裝飾一體化板，其構造如圖 2-5 所示。其優點為可於工廠預製成型，提高品質及減少現場作業量，另外其飾面形式多樣化，可搭配現場選擇，其施作可採黏貼或乾掛進行。

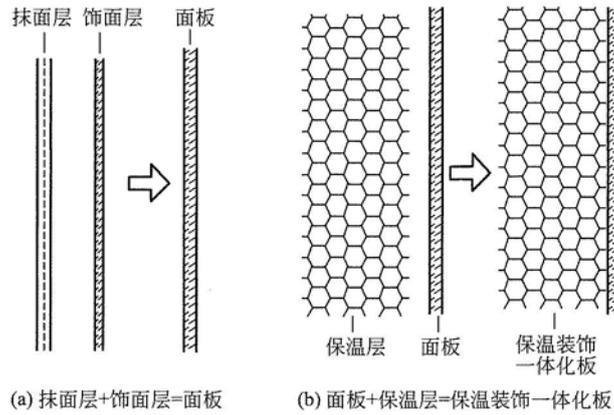


圖 2-5 隔熱裝飾一體化外牆隔熱系統[11]

- (4) 金屬複合材料包層 (Metal Composite Material Cladding): 常見的樣態即為鋁複合材包層 (Aluminium Composite Material, ACM), 英國 Grenfell Tower 發生大火時的外牆即是採用此類型的外牆覆板, 其典型構造為兩片厚約 0.5 mm 的薄鋁片, 中間核心包夾一個隔熱材的一種三明治式構造, 中間核心隔熱材厚度約為 2 ~ 5 mm, 其材質多為聚乙烯或礦物纖維, 其構造如圖 2-6 所示。

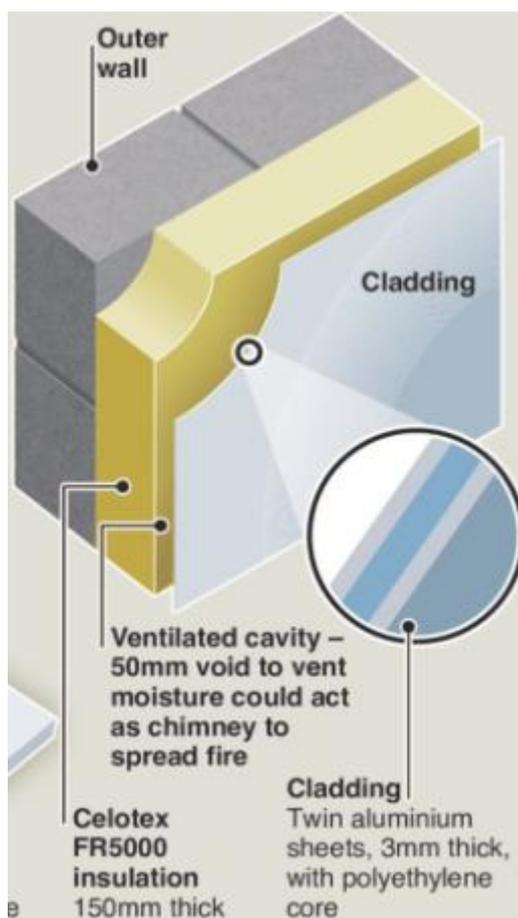


圖 2-6 鋁複合材包層 (Aluminium Composite Material, ACM) [12]

貳、隔熱節能材料

隔熱節能材料普遍存在節能與防火難以兼顧，有機材料耐熱差、易燃燒，且在燃燒時釋放大量熱量、產生大量有毒煙氣，不僅會加速大火蔓延，而且容易造成被困人員及救援人員傷亡。無機材料則存在粉塵和微細纖維，汙染空氣且易造成人員健康隱憂，值得對其特性加以瞭解掌握 [11]。

一、材料分類

(一) 按照有機物和無機物分類

a. 有機保溫材料：有機保溫材料按有機物的性質又可分為熱塑性保溫材料、熱固性保溫材料和熱塑/熱固複合保溫材料。

- (a) 熱塑性保溫材料主要有發泡聚苯乙烯(EPS)、擠塑形聚苯乙烯(XPS)等。
 - (b) 熱固性保溫材料主要有酚醛樹脂泡沫塑料(PF)、硬泡聚氨酯泡沫塑料(PUR)等。
 - (c) 熱塑/熱固複合保溫材料有酚醛與聚苯乙烯複合保溫材料。
- b. 無機保溫材料：主要有岩綿、玻璃棉、珍珠岩類膠凝複合保溫材等。

(二) 按照材料型態分類

- a. 發泡保溫材料：其製作是將氣體密閉於氣孔結構中，形成保溫介質，例如有機類發泡塑料 EPS、XPS 等均屬於此類。
- b. 纖維類保溫材料：此類材料是將空氣密閉於纖維的層間結構中，來隔絕熱能，如岩綿、玻璃棉等均屬此類。

二、有機隔熱材對火的反應性能

隔熱節能材料裡有機保溫材屬於高分子聚合物，其最大的缺點便是可燃性，也就是具有誘發火災的風險，因此了解其對燃燒的反應行為，可做為選材、系統設計等的重要參考。

(一) 熱塑性隔熱材料

熱塑性材料受熱後發生軟化、熔融，在重力的作用下滴落，形成滴落燃燒的火焰。閃點是熱裂解氣體與周遭空氣達到足夠濃度而形成可燃性混合氣的最低溫度。熱塑性材料熱熔產生的流動性，不僅可以使燃燒除了向上蔓延，也會使火災發生向下蔓延，帶火的熔滴物可以形成跨越式垂直火災傳播，形成固體火災和液體火災同時存在且相互影響的火災場景。熱塑性隔熱材的燃燒過程如圖 2-7 所示。

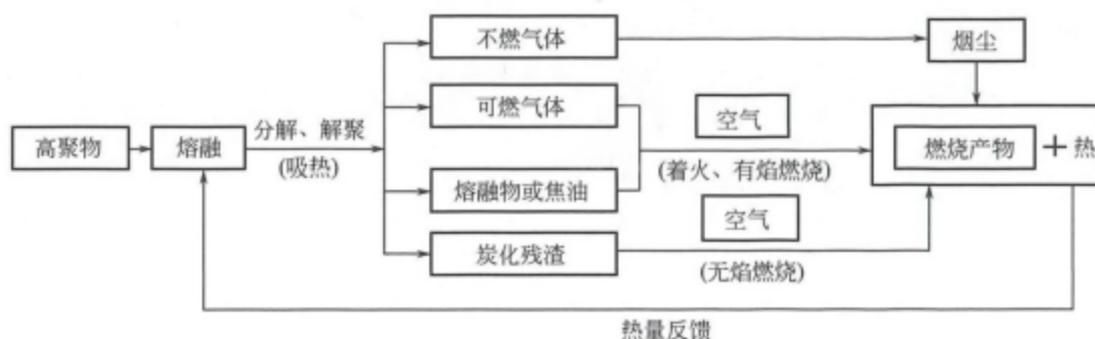


圖 2-7 熱塑性隔熱材的燃燒過程[11]

(二) 熱固性隔熱材料

隔熱材料必須通過受熱降解才能產生足夠的可燃氣體，可燃氣體達到可燃濃度時本身不會自發發生燃燒，除非存在點火的火源，同時固體表面持續提供可燃氣體，否則燃燒也會終止。當外界熱輻射或者固體表面燃燒提供的熱量，足以維持固體熱分解氣體的不斷逸出時，才能維持燃燒的持續進行。

熱固性保溫材料在燃燒過程中不會發生軟化、熔融等現象，無熔滴物的產生，較無二次引火源產生火災的危險。熱固性隔熱材的燃燒過程如圖 2-8 所示。固體內部的熱裂解氣體能否順暢地逸出，也會影響其是否能持續燃燒，這個特徵可由觀察燃燒中是否產生碳化層，材料的碳化降低熱傳導係數，阻礙熱量向固體內部的傳遞速度，從而減少了熱量向固體內部傳遞的總量；碳化層又減緩了熱解氣體向固體表面逸出的速度，從而減緩燃燒的進程。所以，材料的碳化狀況和熱解後可燃氣體的釋出量對燃燒反應也有很大的影響。

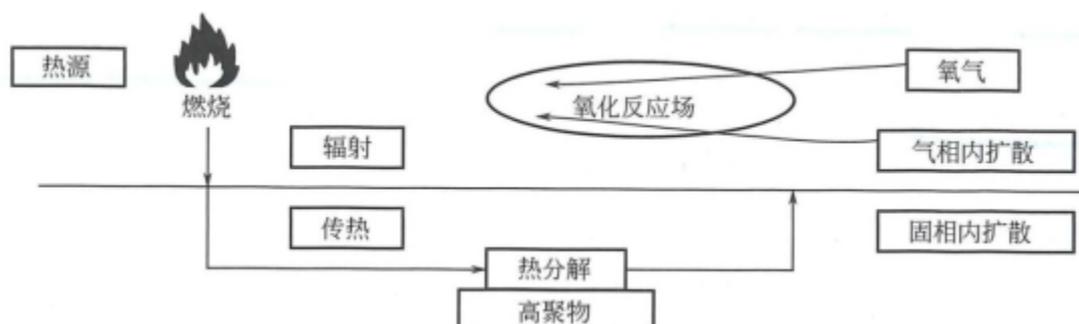


圖 2-8 熱固性隔熱材的燃燒過程[11]

參、外牆立面延燒機制

一、外牆引燃情形

- (一) 建築內部火焰經由外部開口(例如窗)延燒到外牆
- (二) 建築內部火焰經由內部開口(孔穴或隱蔽空間)延燒到外牆
- (三) 外牆受鄰近的外部火源之輻射熱或火焰直接接觸引燃
- (四) 外牆僅受外部火源之輻射熱引燃(例如周邊建築的火災)

二、外牆引燃後擴散情形

- (一) 火焰經由外部開口(例如窗)向上延燒到上一層的居室內
- (二) 火焰經由外牆表面向上擴散延燒
- (三) 火焰在孔穴或氣隙間延燒
- (四) 外牆表面飾板掉落或滴落燃燒中的殘屑引起下方樓層擴大燃燒

文獻顯示 [13]，可能的外牆引燃情形之中又以建築內部閃燃後的火焰經由外部開口(例如窗)延燒到外牆為最嚴重的情境，因此大多數全尺寸外牆防火測試均以模擬內部閃燃後的情境來進行。

所以為了減輕外牆火災蔓延的危害，設計時應該要能夠確定結構中的火災規模大小，經由窗戶等牆面開口噴出立面外的火焰特性(火焰高度和熱通量)及其對立面組件和建築材料的影響。

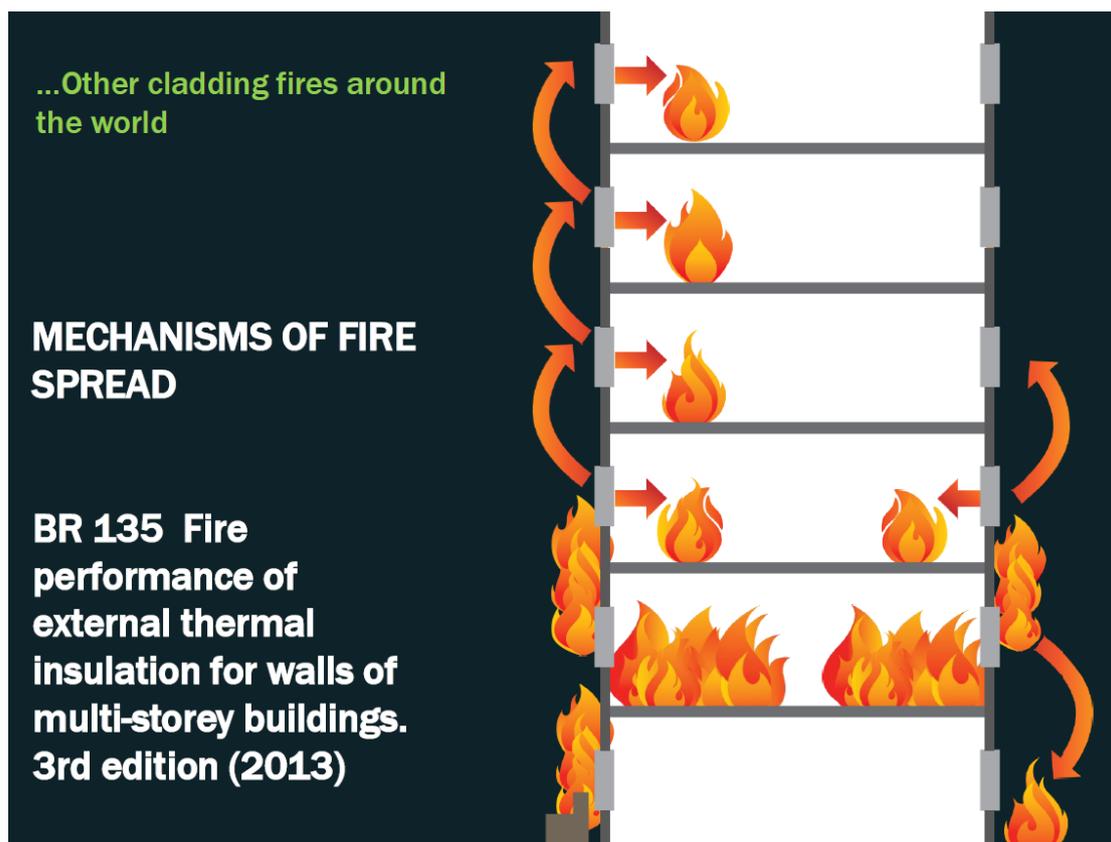


圖 2-9 外牆火災擴散類型[14]

三、外牆防火安全問題

從文獻資料〔13〕可以看出，外牆立面防火安全問題可以分為四個部分：

1. 針對經由內部火災產生擴散到外牆立面火焰的火災發展和其熱通量分佈予以規定。
2. 外牆立面組件和外牆立面-樓板連接處的層間塞耐火性，包括不可燃和可燃立面組件的結構失效。
3. 如果可燃物由於內部火焰引起，造成火勢在立面組件的外表面上蔓延。
4. 如果可燃物由於內部火焰引起，造成火勢在外牆隔熱層內擴散蔓延。

對於評估外牆立面組件和立面連接處的層間塞結構耐火性，可以通過相關標準耐火性測試來評估。

火焰蔓延在外牆表面或外牆組件內部的情形，人們首先需要評估外牆立面組件裡可燃組件的可燃性，然後對整個立面組件系統進行大規模立面測試，針對特定類型的外牆立面，可燃物量和開口，以重現實際的熱通量和火焰高度。

外牆立面組件材料（聚合物、塗料、木材、密封劑等）可燃性的一種方法是使用圓錐量熱儀確定其關鍵的可燃性。儘管這些小規模測試可用於測量單個可燃組件的可燃性，但它們並不能夠直接預測具有多層、接頭和可能的內部防火隔障之複合系統的全尺寸性能。因此原因，許多國家為了管理目的而採用大尺度的外牆立面測試。

第二節 外牆火災案例分析

壹、國外外牆火災案例統計

文獻 [13] 曾對美國等幾個國家做過外牆火災案例統計，摘述如下：

在美國對於所有建築類型，外牆火災佔所有結構火災的 3%，其中住宅樓內發生的外牆火災數量最多，佔住宅結構火災總數的 2%，如表 2-1 所示。不同高度類別建築物內外牆火災的百分比如圖 2-10 所示。這表明絕大多數外牆火災發生在低層（5 層或更小）建築物內。這可能是由於兩個原因：(a) 大部分建築的儲藏物均堆積於低樓層，(b) 高層建築中較有可能安裝撒水頭，降低內部火災通過開口擴散到外牆立面的風險。

表 2-1 外牆火災統計[13](美國，2007-2012)

Property use	Fires	Civilian deaths	Civilian injuries	Property damage (US\$Millions)	Portion of total structure fires
Public assembly	706	0	6	\$30.8	(5%)
Educational	127	0	0	\$2.8	(2%)
Institutional,	94	0	0	\$4.6	(1%)
Residential	2,889	18	133	\$197.2	(2%)
Mercantile	891	0	5	\$31.1	(6%)
Office building	210	0	3	\$7.6	(6%)
Laboratory & Data centre	5	0	0	\$1.5	(2%)
Manufacturing or processing	120	0	1	\$6.3	(2%)
Selected storage occupancies,	303	0	0	\$13.1	(10%)
Total	5,346	18	148	\$295.0	(3%)

Exterior wall fires - all building types considered

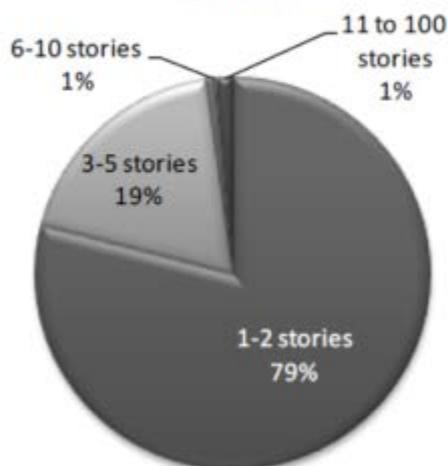


圖 2-10 外牆火災該建築樓層數統計[13](美國，2007-2012)

VTT 對瑞典(2004-2011)和芬蘭(2004-2012)多層住宅樓外牆火災的火災統計數據進行調查。其結果為：

- 大約 88-92%的起火點是從內部的
- 除陽台火災外，大約 2-3%的起火點是從外部點火

- 大約 5-6% 的起火點是陽台上的外部點火
- 在多層住宅建築火災中，3% 的火災會蔓延到起火空間外

澳洲 2003-2007 針對起火點的外牆火災統計如 2-2 表所示。調查結果顯示從牆壁組件/隱藏的牆壁空間開始的火災是總火災的 0.5%，從外牆表面開始的火災是總火災的 1.3%。此結果涉及外牆的火災比例低於其他有統計數據的國家，這可能是由於超過 3-4 層的建築物的不燃性要求。

表 2-2 起火點的外牆火災統計[13](澳洲，2003-2007)

Area of fire origin	Year			
	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07
Wall assembly, concealed wall space	34	31	32	32
Exterior wall surface	82	77	95	69
Total building fires (all areas of fire origin)	6,388	6,165	6,566	6,257

紐西蘭 2005-2010 針對起火點的外牆火災統計如表 2-3 所示。結果顯示從牆壁組件/隱藏的牆壁空間開始的火災是總火災的 1.7%，從外牆表面開始的火災是總火災的 5.0%。

表 2-3 起火點的外牆火災統計[13](紐西蘭，2005-2010)

Area of fire origin	Year				
	2009/10	2008/09	2007/08	2006/07	2005/06
Wall assembly, concealed wall space	72	111	121	99	98
Exterior wall surface	224	321	355	307	290
Total building fires (all areas of fire origin)	4,738	6,361	6,235	6,269	6,111

貳、火災案例探討

一、MISKOLC，匈牙利，2009[15]

2009年8月15日，在匈牙利的MISKOLC，6樓住宅廚房發生火災，如圖2-11，導致外牆EIFS立面上的垂直火勢蔓延到11層樓的頂部，造成3人死亡。該建築建於1968年，並於2007年進行了翻新。翻新工程包括在外牆上安裝以聚苯乙烯(PS)為基材的EIFS系統。火災還導致煙霧通過樓梯間和電梯間的垂直擴散傳播。火災後的調查顯示，以下的問題導致外部火勢蔓延。

- (一) 系統不是按照行業要求建造的
- (二) 使用聚苯乙烯為隔熱材料
- (三) 聚苯乙烯板的不適當粘貼固定
- (四) 未使用礦棉隔熱材作為防火傳播隔障，特別是在窗戶周圍。



圖 2-11 外牆外隔熱及防水裝飾系統EIFS火災[15]

二、MGM MONTECARLO HOTEL，拉斯維加斯，美國，2008[16]

32層的蒙特卡洛酒店賭場建於1994年和1995年，在施工時，外

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性

牆覆層安裝 EIFS。火災發生於 2008 年 1 月 25 日，由屋頂外牆施工焊接引起，EIFS 面板和裝飾的聚苯乙烯和聚氨酯部分沿著建築物的欄杆燃燒，熔化的發泡材沿著酒店的外部邊緣流下，在其他 EIFS 面飾板中起火。當火勢向兩側蔓延開來時，它也開始向下燃燒，當熱量導致 32 樓的幾個窗戶發生破裂時，火焰蔓延到建築物內，在幾個套房中，撒水頭動作，限制內部火災成長並抑制熄滅火焰。火災調查結果如下：

(一) 火災發展的主要原因是牆面裝飾帶中的材料（含有聚氨酯樹脂塗層的 EPS）。

(二) EPS 和 / 或聚氨酯的燃燒碎片、融滴引起下方牆面裝飾帶（含有聚氨酯樹脂塗層的 EPS）的點燃。



(a)

(b)

圖 2-12 (a) MGM MONTECARLO HOTEL 火災及 (b) 含有聚氨酯樹脂塗層的 EPS

[16]

三、AL TAYER TOWER，沙迦，阿拉伯聯合大公國，2012[17、18]

Al Tayer Tower 是一棟住宅大樓，擁有 408 套公寓，34 個住宅樓層和 6 個停車樓層。建築物的外部覆蓋有由鋁和聚乙烯芯材組成的鋁金屬複合板 ACM。2012 年 4 月 28 日，一樓的陽台開始發生火災，據信引火源是廢棄的香煙掉落在陽台上開始的，陽台上存放有紙箱和塑料，這導致鋁金屬複合材料覆層上的垂直火蔓延到建築物的頂部。由於燃燒掉落的碎片，它還導致停在建築物附近的 45 輛車受損。



圖 2-13 (a) AL TAYER TOWER火災及(b)火災掉落碎片導致車輛受損[17、18]

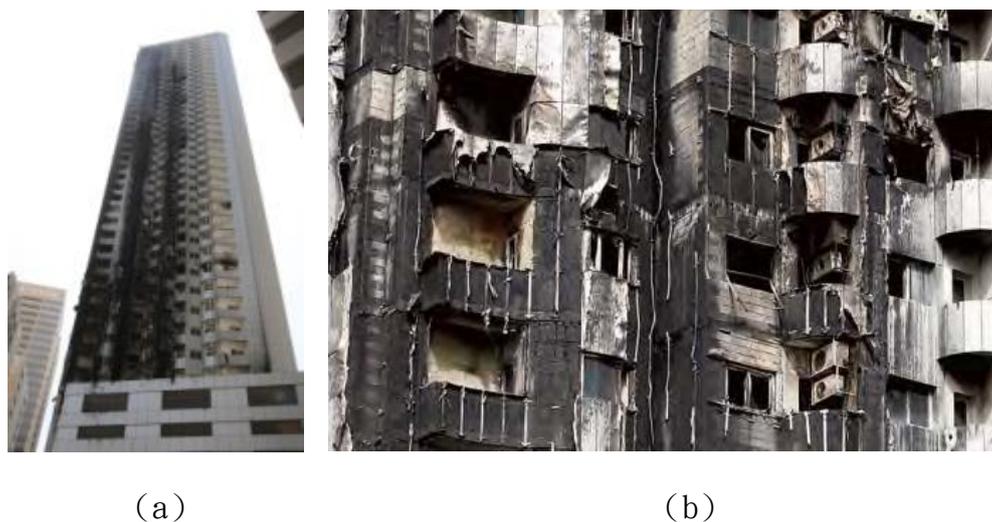


圖 2-14 (a) AL TAYER TOWER火災後外觀及(b)燒毀後ACM外飾板[17、18]

四、KNOWSLEY HEIGHTS，利物浦，英國，1991[19]

Knowsley Heights 是一棟位於英國利物浦的 11 層公寓。該建築在火災發生之前安裝了雨遮覆層，從底層到 11 樓的頂部，後面留有 90 mm 的氣隙，並在後面的混凝土牆外表面塗上橡膠塗層。後面的空氣腔沒有設置防火屏障。雨遮材料是使用符合 BS 476 第 6 和 7 部分[20、21]0 級（有限可燃性）的產品。

在建築物外的垃圾起火迅速蔓延到 90 mm 的空氣腔，大火嚴重損壞了一樓大廳和所有樓上的外牆和窗戶。英國 BRE 將此次火災事件列為後續建築規範變更和大規模立面防火測試開發的動力。

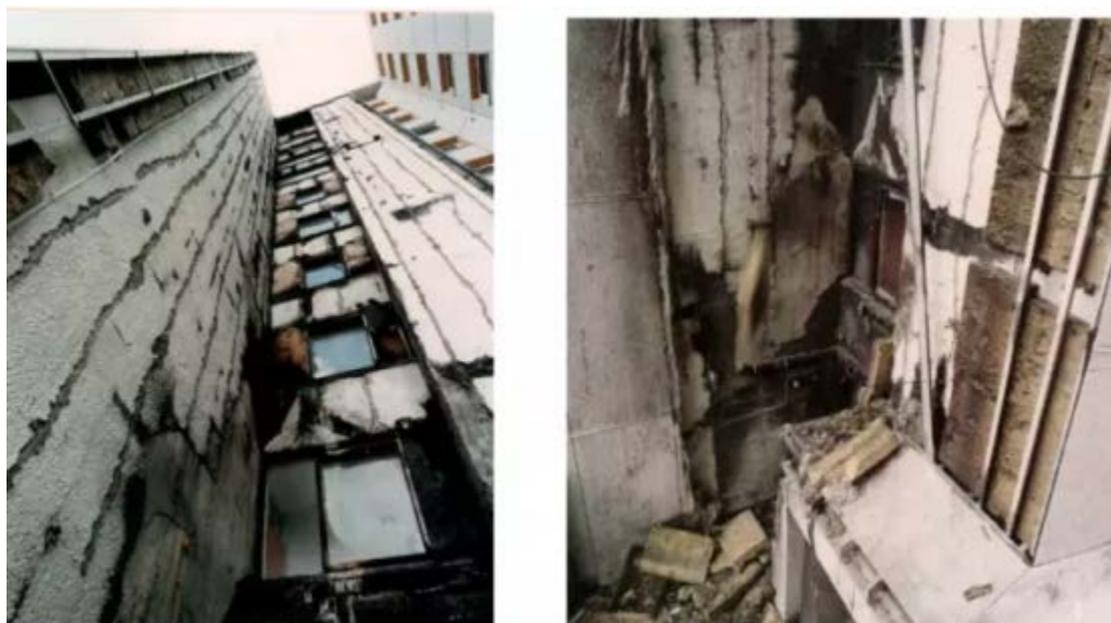


圖 2-15 KNOWSLEY HEIGHTS 火災後外觀[19]

五、僱員公積金局，馬來西亞，2018[22]

2018 年馬來西亞的僱員公積金局因工人在大樓外進行維修時，濺起的火花點燃了外牆覆板，導致火勢迅速蔓延。大火是從一樓的保麗龍裝飾外牆燒起，加上天氣炎熱和風勢大，以致一發不可收拾。據報導這是馬來西亞首次發生因採用易燃材料引起的大火，跟倫敦 Grenfell Tower 大火極其類似。報導也指出，根據當地建築物條例，所有建築物外牆必須採用防火建材，但這棟大樓安裝的外牆覆板顯已不合防火條例的要求。大火在將近一小後被撲滅，經過檢查，大樓的裝飾外牆被燒毀，但其結構未受損，如圖 2-16。保麗龍 (polyfoam) 裝飾外牆，又稱泡沫塑料磚牆，是馬來西亞國內最受歡迎的隔熱材料，是採用聚氨酯硬泡做成的裝飾磚牆。該國消拯局副總監強調，「任何易然建築材料，包括保麗龍裝飾外牆在我國(馬來西亞)都屬是違法」，他提醒其他建築物業主主動檢查，一旦發現有類似的外牆，馬上拆除和重新安裝安全的外牆。



圖 2-16 (a)僱員公積金局火災後外觀及(b)保麗龍裝飾外牆的殘塊[22]

六、GRENFELL TOWER，倫敦，英國，2017[23、24、25]

2017年6月14日英國倫敦格倫菲大樓（Grenfell Tower）發生大火（圖 2-17 及圖 2-18）。該樓建於 1974 年，為地上 24 層、67.3 m 高、127 戶、227 間房間之建築物。起火原因為 4 樓住戶之冰箱故障起火後，消防隊抵達隨即撲滅室內火災，但未發現火苗已延燒引燃外牆易燃材料，當消防隊員離開大樓時發現外部火勢已無法控制。

2016 年格倫菲大樓耗資 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（圖 2-19）所組成。為節省成本其鋁板複合材料夾層（PE）及固定於水泥牆之內部隔熱層（聚異氰酸酯樹脂/PIR）皆選用了較便宜的非耐火材料，以致在火災時導致快速延燒，並且這些大量的非耐火材料成為增長火勢的可燃物，讓火勢足以持續燃燒，鋁板複合材料夾層中的 PE 屬易燃性樹脂，而固定於水泥牆之隔熱層 PIR 雖不易被小火焰引燃，但遇大火仍會燃燒。而外牆包覆層（Cladding）與內部隔熱層（PIR）之間設計了一道隔熱用的空氣層間隙（Air cavity），這道空氣層間隙形成煙囪效應，使火焰快速竄燒，速度為一般開放空間延燒速度之 5~10 倍；而包覆層（Cladding）亦會阻擋水柱，使消防水柱無法觸及空氣層間隙中流竄的火焰，使滅火更為困

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性

難。

調查報告指出，本案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間隙，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。格蘭菲大樓的外牆飾板，並沒有施行英國政府的「BS 8414」外牆防火測試。包含當地政府委託管理大樓的「肯辛頓與切爾西房客管理組織」(TMO)、倫敦消防隊，都並沒有對新裝修的外牆包覆層進行火災風險評估，安裝過程與把關大有問題。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。



圖 2-17 格蘭菲塔大樓火災當時

(資料來源：路透社)

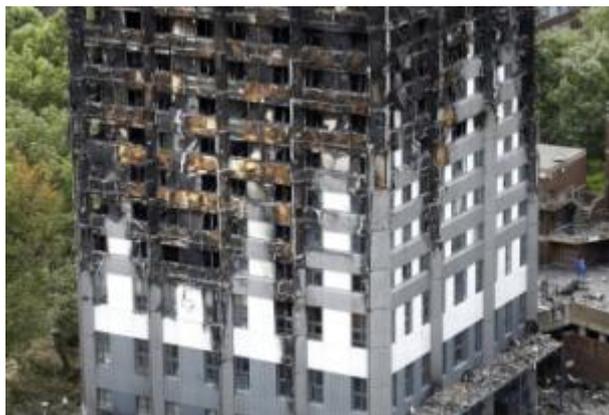


圖 2-18 格蘭菲塔大樓火災後照片

(資料來源：美聯社)

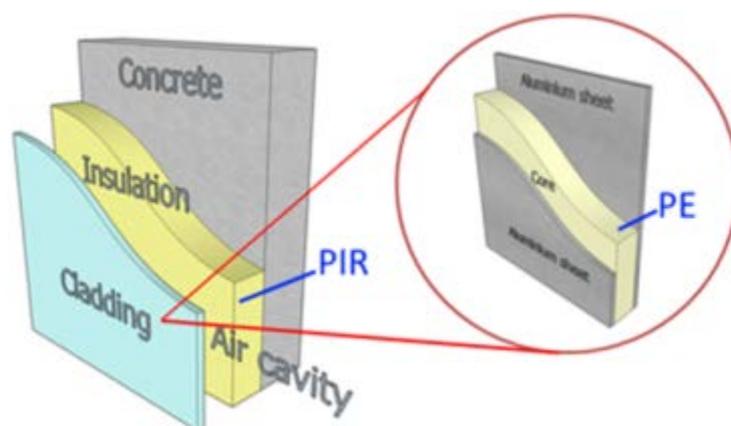


圖 2-19 外牆保溫系統構造圖[24]

七、國內相關案例

目前國內因應建築節能或外牆拉皮，已有少數案例使用相關的外牆覆板材料或系統，例如北市某公有超市外牆翻修，設計考量隔熱、節能、建築物減重及整體超市美觀同時兼顧建築設計的活潑性與豐富性，有近 8 成外牆面採用聚乙烯材質的隔熱板作為外牆節能飾板，因隔熱板外包灰色仿石材塗料，外觀看起來與石牆無異，（國內其他採用此方式案例如桃園台茂購物中心、基隆火車站、新北市立圖書館、中央研究院 國際研究生大樓、臺北市萬華運動中心等）。但部分施工造成的破損處，可看到聚乙烯材質明顯外露，如圖 2-20。

該外牆節能飾板為 5cm 輕木石板(聚乙烯泡沫隔熱材)以建築專用黏著劑塗抹後貼覆於外牆 RC 結構體上後表面塗佈節能仿石材塗料，該節能飾板建材所檢附的試驗報告，所依據的國家檢驗標準 CNS 項目名稱為「聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料」，即為常見的聚乙烯 (polyethylene, 簡稱 PE) 隔熱材，據報導該節能仿石材塗料材質符合耐燃二級的規定。聚乙烯材料可區分為高密度、低密度兩種，耐熱程度不同，雖然節能仿石材塗料表層符合耐燃二級，但因整個外牆節能飾板係外露於建築外表面，在風壓擠壓、風吹雨淋的環境下，易致外層塗料碎裂，露出內部聚乙烯材質，若遇到火災發生，一旦聚乙烯燃燒後，就會揮發出大量助燃氣體，導致火勢更猛烈，值得探討其安全性。

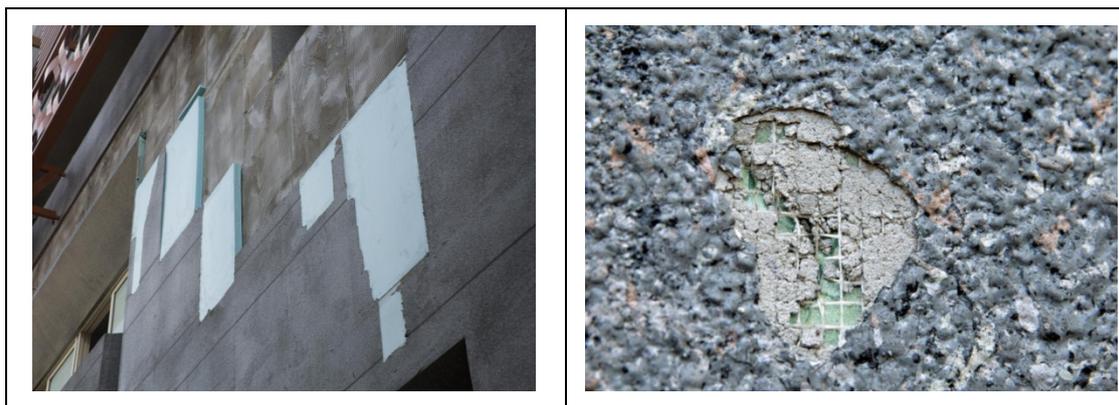


圖 2-20 大樓外牆塗料已剝落、受損，露出內部聚乙烯材質[26]

八、案例分析小結

- (一) 雖然發生外牆火災比率不高，但火災蔓延程度和財產損失的後果可能非常嚴重。
- (二) 對可燃外牆進行監管控制的程度高低，會影響外牆火災發生的機率。
- (三) 內部火災蔓延到外牆是最常見的火災開始情景。
- (四) 掉落的燃燒碎片是一項重大危險，並導致下方火勢蔓延。
- (五) 會形成“煙囪”效應的垂直空氣腔比平坦立面的火焰蔓延更嚴重。
- (六) 可燃外牆系統在完成保護系統之前的安裝施工期間，是發生火災的危險期。

第三節 外牆隔熱系統防火性能法規要求

在歐美等外牆保溫系統廣泛應用的國家，對於防火性能有嚴格的要求，對不同的外牆保溫系統和保溫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保溫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，包括小尺寸試件試驗、中尺寸試件試驗和大尺寸模型火試驗。小尺寸試驗主要是對保溫材料的燃燒

性能進行檢驗；中尺寸試驗可以對保溫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溫系統進行檢驗；大尺寸試驗可以對整個外保溫系統的所有構造進行檢驗。

文獻資料[13]彙整了對外牆組件的性能和火災風險具有顯著影響的法規規定，整理法規要求重點主要集中在以下方面：

1. 對外牆組件和材料的防火要求的反應
2. 外牆內外的防火阻隔(fire stop)要求
3. 建築物的間距，就未受保護的開口與相關邊界的最小間隔而言。
4. 樓層之間的開口間距
5. 撒水保護的要求 - 這會影響起火室火災和火災蔓延到其他居室的風險

壹、美國防火性能要求

在美國，國際建築規範（IBC）[27]是大多數州採用的建築法規範本。NFPA 5000 [28]是 IBC 的替代建築規範。對於高度超過 12.192 公尺(40 ft)的建築物，IBC 要求符合 NFPA 285 [29]的中尺度測試標準。IBC 對外牆保溫材料和系統要求詳細說明如下：

1. 保溫材料依據ASTM E84[30]進行火焰傳播速率試驗，依其實驗結果的火焰延燒指數（FSI值）和烟密度（SDI）將材料分成A、B、C 3 個等級。A級為 $0 < FSI < 25$ 且 $SDI < 450$ ；B級為 $26 < FSI < 75$ 且 $SDI < 450$ ；C級為 $76 < FSI < 200$ 且 $SDI < 450$ 。並依據NFPA 259[31]建築材料的潛熱性能的標準測試方法測得之熱釋放量不應超過 22.7 MJ/M^2 。潛熱性能為建築材料的一種燃燒性能數據，用以限制發泡保溫材料使用的厚度與密度，以減少建築火災發生時材料可釋放的熱量。
2. 系統防火性能要求為：（1）依據 ASTM E 119 [32]建築結構和材料的防火試驗確認其外牆的耐火性能沒有降低符合規範要求；（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，屬中尺度防火試驗；(3) 進行整體外牆系統作全尺度的火災試驗，試驗結果符合要求標準時，除需滿足 ASTM E84 對材料的基本要求外，不需再進行材料及中尺度試驗。全尺度的試驗方法有 ASNI FM 4880 [33]及 UL 1040 [34]等試驗。

3. UL 1040 Standard for Fire Test of Insulated Wall Construction 為模擬建築物外部火災對建築物的攻擊，用於檢驗外牆保溫材料在火災發生後抵抗損壞的能力。試體由二面成直角的保溫外牆構成，尺寸為長 6.10 m × 寬 6.10 m × 高 9.14 m 大牆角。火源為 1.22 m × 寬 1.22 m × 高 1.07 m 木堆組成放置牆角處。判定條件為，試驗中試驗表面延燒範圍不得超過 2 個牆體交叉線的 5.49 m；試驗後觀察試體，組成的材料燃燒損壞的程度，應隨火焰延燒距離增大而減少。

貳、英國防火性能要求

英國材料防火等級 Class 0 是英國建築條例所批准文件中特別規定的防火標準，對於超過一定高度的建築其保溫材料需使用符合 Class 0 級要求，以減少火災發生的風險。Class 0 級需要同時符合 BS 476-6 及 BS 476-7 Class 1 要求方可評定為 Class 0 級：

1. BS 476-6 火焰傳播指數試驗 (Fire tests on building materials and structures. Method of test for fire propagation for products)：其結果以火焰傳播指數表示。分別計算 3 個時段，(0-3) 分鐘、(4-10) 分鐘及 (11-20) 分鐘火焰傳播指數 i (即 i_1 、 i_2 、 i_3)，並以總火焰傳播指數 I (即 $I=i_1+i_2+i_3$) 評估， I 值越高的材料，其阻燃性越低。
2. BS 476-7 火焰表面延燒試驗 (Fire tests on building materials and structures. Method of test to determine the classification of the surface spread of flame of products)：試驗時樣品暴露在輻射源下，記錄 1.5 分鐘及 10 分鐘樣品火焰延燒長度，等級分為，Class 1、Class 2、

Class 3 級 Class 4，4 個等級，Class 4 屬火災高危險性材料，不允許用於建材。

表 2-4 BS 476-7 耐燃等級[21]

火焰蔓延等級評估				
等級	1.5 min 火焰蔓延長度		10 min 火焰蔓延長度	
判定方法 級別	長度限制 (mm)	單片長度限制 (mm)	長度限制 (mm)	單片長度限制 (mm)
BS476-7 Class 1	165	165+25	165	165+25
BS476-7 Class 2	215	215+25	455	455+45
BS476-7 Class 3	265	265+25	710	710+75
BS476-7 Class 4	超過 class 3 要求			

英國建築防火安全規範 (Approved Document B) [35] 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的要求，且英國的材料燃燒分級與歐盟的分級制都可使用。當建築的邊界線超過 1 m 時，同一棟建築物隨距地面高度不同可以採用不同等級的材料。另外，外牆保溫系統也可以選擇進行 BS 8414 [36] 的大尺度防火試驗，並依 BRE 135 進行性能判定，通過該試驗後則無使用上建築物高度的限制。

BS 8414 為一模擬室內火災從建築物的窗口對外牆保溫系統向外擴散的原理來檢驗建築外牆保溫系統是否具有阻止火焰的傳播性。當外牆保溫系統有阻止火焰傳播的能力時，火災就不會擴散。實驗條件所提供的熱源以木堆為例，其木堆尺寸為 1500 mm × 1000 mm，高度為 1000 mm，試驗時間為 30 分鐘內提供的總熱釋放量為 4,500 MJ，熱釋放率最大值為 (3±0.5) MW。試驗過程中，試體內部熱電偶溫度不能超過初始溫度 500°C，外部熱電偶溫度不能超過初始溫度 600°C。

另外在英國，保險公司通常要求符合防損標準 LPS 1181 part 4[37]，該標準除要求符合 BRE report BR135 和 BS 8414 的全尺度測試，還要求對可燃組件進行圓錐量熱儀測試以進行品質控制。

表 2-5 英國外牆保溫系統防火性能要求[36]

類別	建築總高度	境界線	材料防火要求
住宅用	< 18 m	> 1 m	沒有要求
		≤ 1 m	英國分級 0 級，或 歐洲分級 B 級
公共用	< 18 m	> 1 m	距地面或公共出口上方 10 m 以內的部分： 英國分級 火焰傳播指數 $I \leq 20$ ，或 歐洲分級 C 級 距地面或公共出口上方 10m 以上的部分： 無限制
		≤ 1 m	英國分級 0 級，或 歐洲分級 B 級
所有建築	≥ 18 m	> 1 m	距地面 18 m 以內的部分： 英國分級 火焰傳播指數 $I \leq 20$ ，或 歐洲分級 C 級 距地面 18 m 以上的部分： 英國分級 0 級，或 歐洲分級 B 級
		≤ 1 m	英國分級 0 級，或 歐洲分級 B 級

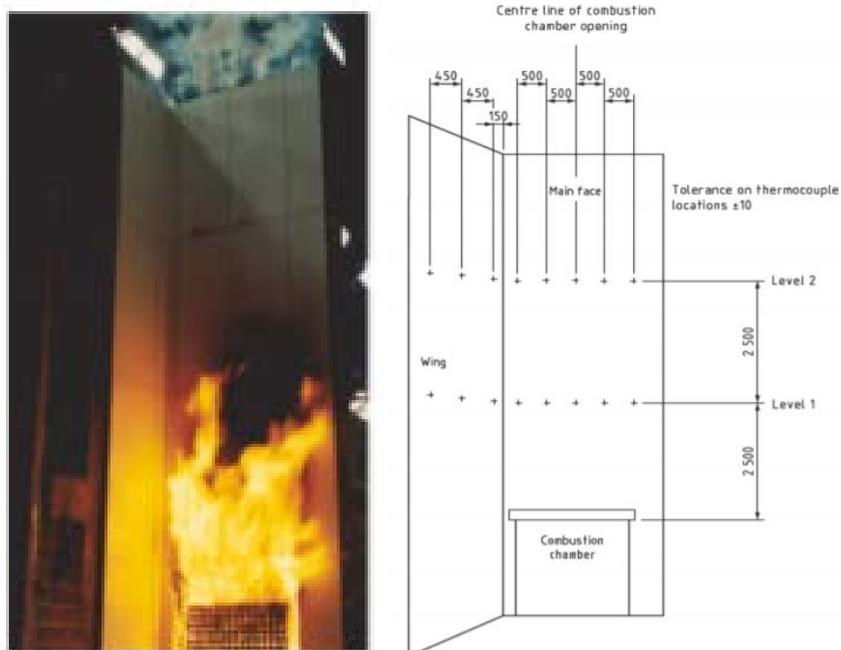


圖 2-20 BS-8414-1 試驗[36、38]

參、歐盟、德國及中國大陸材料燃燒分級

歐洲依 EN 13501-1 [39]與中國大陸依 GB 8624-2012 [40]將建築物材料的燃燒性能區分為六個等級，由 A 到 F，其中 A 的等級最高，防火性能最好，

F 的等級最低，防火性最差。德國則依 DIN 4102 [41]將建築材料燃燒性能分為 A1、A2、B1、B2、B3 幾個等級，其分別代表材料遇火後的不燃性（幾乎不發生燃燒的材料）、難燃性（有較好的阻燃作用）、可燃性（有一定的阻燃作用）及易燃的防火性能（表 2-6）。而其燃燒性能等級劃分是根據材料燃燒遇火時所發生的著火性、火焰傳播性、發熱量、煙產生量、碳化長度、毒性等等特性進行評估，試驗方法包不燃材料爐、SBI 單一燃燒試驗及垂直引燃試驗等（表 2-7）。

表 2-6 德國、歐洲及中國大陸 建築材料燃燒性能分級[39、40、41]

依據標準 級別	歐洲 EN 13501-1	德國 DIN 4102	中國大陸 GB 8624-2012
不燃	A1/A2	A1/A2	A1/A2
難燃	B/C	B1	B/C
可燃	D/E	B2	D/E
易燃	F	B3	F

表 2-7 歐洲及中國 建築材料燃燒性能試驗方法[42]

級別		試驗方法	標準
A1	A1	建築材料不燃性試驗;和	EN ISO 1182、GB/T 5464
		建築材料燃燒熱量試驗	EN ISO 1716、GB/T 14402
A2	A2	建築材料單一燃燒試驗;和	EN 13823、GB/T 20284
		建築材料不燃性試驗;或	EN ISO 1182、GB/T 5464
		建築材料燃燒熱值試驗方法	EN ISO 1716、GB/T 14402
B1	B	建築材料可燃性試驗方法(單一 火源直接受火的可燃性試驗);和	EN ISO 11925-2、GB/T 8626 (點火時間為 30s，總試驗時間是 60s)
		建築材料單一燃燒試驗	EN 13823、GB/T 20284
	C	建築材料可燃性試驗方法(單一 火源直接受火的可燃性試驗);和	ISO 11925-2、GB/T 8626 (點火時間為 30s，總試驗時間是 60s)
		建築材料單一燃燒試驗	EN 13823、GB/T 20284
B2	D	建築材料可燃性試驗方法(單一 火源直接受火的可燃性試驗);和	ISO 11925-2、GB/T 8626
		建築材料單一燃燒試驗	EN 13823、GB/T 20284
	E	建築材料可燃性試驗方法(單一 火源直接受火的可燃性試驗)	ISO 11925-2、GB/T 8626 (點火時間為 15s，總試驗時間是 20s)
B3	F	未能達到 E 級要求	

肆、德國防火性能要求

德國建築規範對建築外牆保溫系統的防火技術要求為：

1. 醫院、幼兒園等公共建築保溫材料必須為 A 級材料。
2. 保溫材料燒燒性能，建築高度大於 22 M 為 A 級，高度小於 22 M 不低於 B2 級。
3. 保溫材料與包覆材料組成之複合材料燃燒性能，建築高度大於 22 M 為 A 級。
4. 高度 7~22 M 的多層建築不得低於 B1 級，7 M 以下的不低於 B2 級。

5. 除高度 7M 以下的建築外，其他建築的外牆保溫系統均應進行全尺寸火災試驗。

德國外牆保溫協會對於薄抹灰外牆保溫系統的燃燒性能要求為：

1. 建築高度小 7 m 以下的低層建築，其系統的燃燒性能要求為 B1 級。
2. 建築高度為 7-22 m 的多層建築，其系統的燃燒性能要求為 B1 級。
3. 建築高度大於 22 m 以上的高層建築，其系統的燃燒性能要求為 A 級。且整棟建築外牆都要使用同一等級的保溫系統，不可依高度的不同而採用不同等級的保溫系統，如高度超過 22 m 時，全部都要使用 A 級的保溫系統〔42〕。

伍、歐洲防火性能要求

歐洲標準 ETAG 004 指南〔43〕中對於薄抹灰外牆保溫系統提出了一些原則性的基本規定：

1. 外牆保溫系統和保溫材料應依據 CEN (EN 13501-1) 進行燃燒性能 A-E 分級。其燃燒性能等級應為 A1、A2、B 或 C 級。試驗時要綜合考慮保溫材料、基層材、界面層和裝飾塗料、加強骨架、固定件、黏結劑和有機添加劑等等的影響。對於由聚苯乙烯或聚氨酯制成的保溫系統，應該對其材料試驗至少滿足 E 級的要求。
2. 防火構造的類型（如是否有空氣層間隙）對於外保溫系統的防火性能是重要的因素，但材料燃燒性能分級試驗不能完全得知其防火安全性能，因此需進行大尺寸試驗才能確定。根據各個國家的規定及需要對防火構造進行評估，例如以性能設計措施或進行大尺寸試驗。因此，在某些成員國，按照 EN13501-1 的分級用到外牆保溫系統可能不夠，需要通過大尺寸試驗，以滿足成員國的法規。

陸、中國大陸防火性能要求

上海市「民用建築外牆保溫材料防火技術規程〔44〕」規定，外牆保溫材料

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性

應符合 GB 8624 的燃燒性能級別規定。

1. 基本規定：新建、改建、擴建民用建築外牆外保溫材料，嚴禁採用燃燒性能為 B2 級及以下的保溫材料。既有民用建築節能改造工程採用的外牆和屋面保溫材料的燃燒性能必須為 A 級。
2. 防火設計：

表 2-8 上海市外牆外保溫材料防火設計要求[44]

建築及場所	型式	建築高度	A 級材料	B1 級材料	B2 級材料
人員密集場所	-	-	應採用	不允許	不允許
住宅	無空	H > 100m	應採用	不允許	不允許
		H < 100m	應採用	應採用	不允許
其他建築	氣層	H > 50m	應採用	不允許	不允許
		H < 50m	應採用	應採用	不允許
除人員密集場所的住宅外，其他建築	有空氣層	H > 24m	應採用	不允許	不允許
		H < 24m	應採用	應採用	不允許

3. 若依據 GB/T 29416 (2012) [45] 建築外牆外保溫系統的防火性能試驗方法 [33] 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[46] 的燃燒性能要求。

柒、阿拉伯聯合大公國(UAE)防火性能要求[47]

阿拉伯聯合大公國對於外牆表面和覆蓋系統的防火性能要求，明訂於「UAE Fire and Life Safety Code of Practice」，第 1 章” Construction”，第 4 節” Façade and Exterior Wall Covering Systems”，基本精神為通過調節外部飾面材料的品質來限制建築物外部的火災蔓延。

該章節述明適用性為” 本節規定了對外牆幕牆，陽台覆蓋物和組件（例如金屬複合板，鋁複合板，聚碳酸酯板，EIFS，ETICS，GRC，GRFC，GRP，玻璃，

隔熱材料，密封膠等)的分類，可燃性，表面燃燒和火焰蔓延等級，設計，安裝，檢查和維護的最低要求。”，目的在確保限制火焰在外立面上的擴散。

對於外牆表面覆蓋系統所用之材料的測試，除天然石材和混凝土外，根據建築物的高度和使用類型，只允許在外立面上使用經過測試，經民防單位(Civil Defence)列出並符合各系統類型規定的材料。如果標準要求“組裝測試”，則應針對整個系統組裝進行測試，測試結果應明確指出“通過”或“失敗”。

該法規整理涉及立面火焰蔓延的整個機理可以明確指出以下因素：

- a. 外牆材料（絕緣/密封劑/面板）的易燃芯材
- b. 外牆面板的完整性不佳（面板製造和粘合性差）
- c. 未經測試和未登錄的外牆、密封劑和止火系統
- d. 外牆和止火系統安裝不良
- e. 缺乏阻熱層和空腔防火層

該法規也提出減輕立面火災蔓延的十點方法：

- a. 外牆材料的芯部應按照本規範的測試要求以裸露形式進行測試。
- b. 作為產品的外牆板應按照本規範的測試要求進行測試。
- c. 幕牆系統作為牆壁組件應按照本規範的測試要求進行測試或登錄。
- d. 幕牆，周邊接縫和止火應為登錄列出的系統。
- e. 在每塊樓板的外立面和基層之間的隱蔽空腔中應設置空腔防火帶。
- f. 外立面應提供垂直的防火措施。
- g. 具有可燃立面的陽台應考慮使用外部灑水裝置。內部玻璃的灑水裝置應考慮用於玻璃窗。
- h. 應擁有稱職合格的外牆專家，或應聘請經民防部門批准的專門機構，這些專家在外牆諮詢，外牆設計，外牆承包商的監督方面具有豐富的經驗和專業知識。
- i. 外牆承包商和製造商應經民防部門批准，並具有有效的民防許可證。

- j. 外牆的安裝應在整個安裝過程中進行檢查，並由顧問或民防部門認可的專門機構進行認證。

法規規定認證“產品”或“面板”或組件是製造商的責任。製造商或供應商應測試單個產品或元件作為組件的一部分，以評估芯材、面材、粘合劑、面板和產品的火焰蔓延特性、滴落和煙釋放，並獲得民防的批准和產品註冊。民防證書僅適用於“僅在低層建築上(高度小於 15 公尺)”安裝的產品和許可。材料測試標準如 EN 13501-1、ASTM D1929、ASTM E84、UL 723、NFPA 268。

如擬用作建築物外牆“組件”的外牆“系統”，其批准應由顧問和外牆承包商負責。顧問應確保立面承包商或製造商按照民防法規和配置對立面系統進行測試。非耐火等級且非承重外牆測試標準如 BS 8414-1 或-2, NFPA 285, FM 4881, ISO 13785-2;耐火等級且非承重外牆測試標準如 ASTM E119, UL 263, EN 1362-3 or -4)。完整系統測試符合要求，則允許在任何建築物的外立面上安裝。

該法規同時將可能導致外牆覆蓋系統火災的相關因素，分章節規定，包括隔熱層(Thermal Barrier)、空腔防火屏障(Cavity Fire Barrier)、防火隔離帶(Fire Breaks)、溝槽填縫材、開口收邊、開口間距、外立面照明的安裝、外立面上安裝電氣設備、外立面上安裝廣告橫幅和圍板及房屋外部使用管理等。

第四節 外牆隔熱系統全尺度防火試驗

以下描述了全球一些主要的全尺寸外牆防火測試方法。

壹、ISO 13785-2:2002 Reaction-to-fire tests for façades — Part 2: Large-scale test[48]

ISO 13785 的兩個 part 提供了兩種測試方法：

- part 1 是中尺度的測試，旨在作為一種較便宜的篩選測試，供產品開發人員評估和消除在進行大尺度測試之前失效的材料或次組件。
- part 2 是大尺度測試（在本節中描述）

這些測試僅適用於非承重的外牆和覆層，未對在火災條件下，去確定立面或包層的結構強度。

對於 ISO 13785 -2，測試安裝為一片主立面加一片側立面牆，呈“L”型佈置，火源是從隔間火災中通過窗戶冒出的火焰。測試立面的高度至少比窗楣高 4 公尺。主立面寬至少 3 公尺，側立面寬至少 1.2 公尺。窗戶位於主立面上，寬 2 公尺，高 1.2 公尺。外牆立面系統安裝在窗戶周圍，一直延伸到窗戶底部。外牆立面系統須能代表實際最終使用狀態。

火源位於燃燒箱內，並須能在窗口上方 0.6 公尺處提供平均總熱通量為 $55 \pm 5 \text{ kW/m}^2$ ，窗口上方 1.6 公尺處平均總熱通量為 $35 \pm 5 \text{ kW/m}^2$ 。火源具有 4-6 分鐘的成長階段和類似的下降階段。總測試持續時間為 23-27 分鐘。標準火源是一系列大型多孔管道丙烷燃燒器，安裝燃燒箱中，燃燒箱體積須再 20 - 30 m^3 範圍內。測試期間，量測在窗戶上方 0.6 公尺，1.6 公尺和 3.6 公尺處，外牆立面系統表面總熱通量，並觀察表面火焰蔓延情形。試驗設備外觀如圖 2-21 所示。

Unit: mm

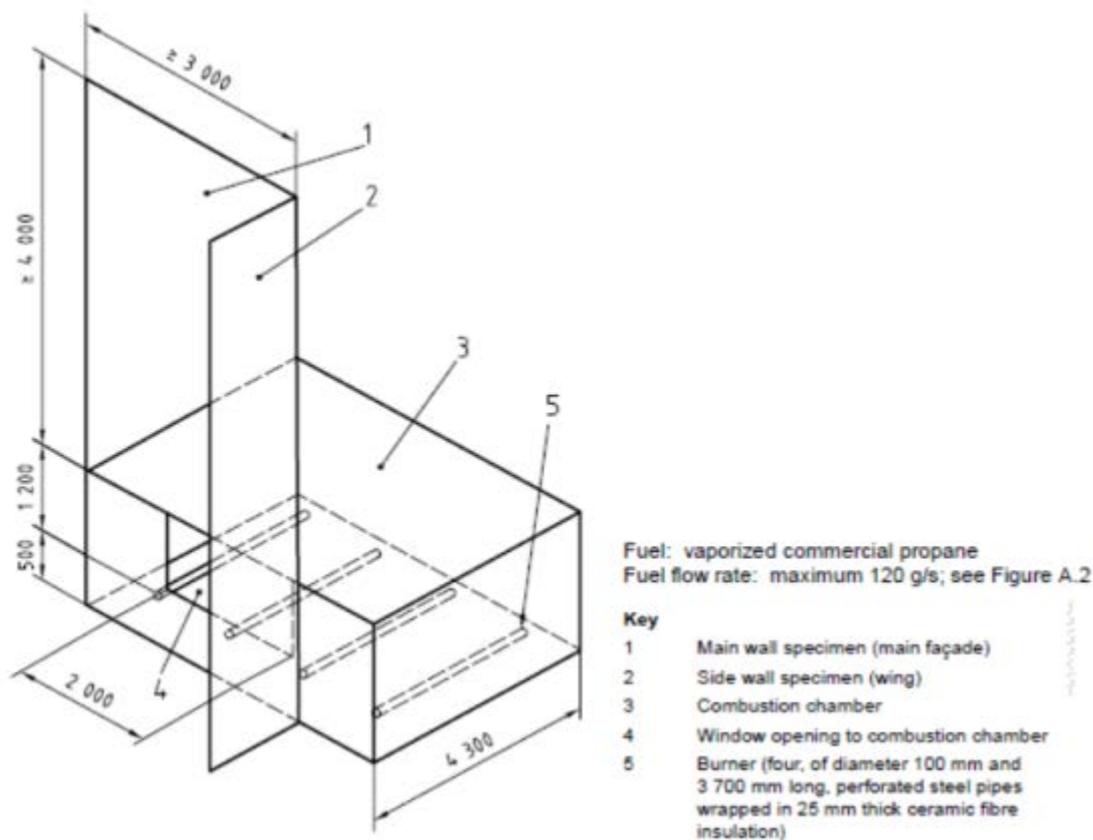


圖 2-21 ISO 13785 -2 試驗設備外觀[48]

貳、BS 8414-1:2015 Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building [36]

BS 8414-1 是一種用於非承重外部覆層系統的全面防火測試，該測試模擬了通過牆壁底部的窗戶從隔間火災中產生的火焰的情景，測試的兩個立面安裝為“L”型角落排列。測試牆在窗戶開口上方延伸至少 6 米，主牆寬至少 2.6 米，翼牆寬至少 1.5 米，窗戶開口位於主牆的底部，寬 2 米，高 2 米，外牆立面系統安裝在窗戶周圍，一直延伸到窗戶底部。外牆立面系統須是最終用途的代表樣式，包括所有隔熱，空腔氣隙，固定件和窗戶細節。

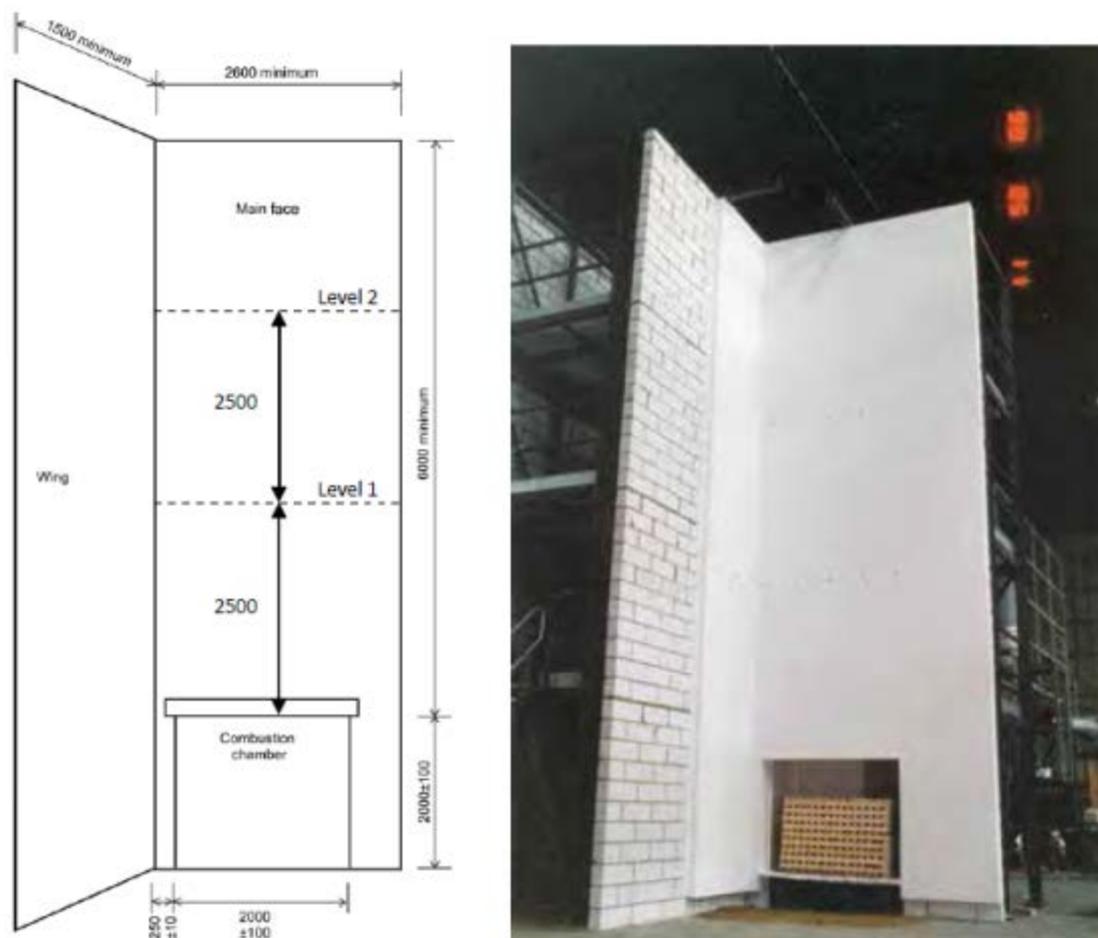


圖 2-22 BS 8414-1 試驗設備外觀[14、36]

燃燒室寬 2 米 x 深 1 米高 2.23 米，前開口有窗楣，開口高度 2 米、寬 2 米。標準火源是由橫截面積為 50mmx50mm 軟木棒構成寬 1.5 米x深 1 米x高 1 米的木堆。木堆位於測試框架底部上方 400mm 的平台上，木堆在 30 分鐘內的標稱熱輸出為 4500 MJ，峰值 HRR 為 3 ± 0.5 MW。標準火源需經以下校正確認：

- 在連續 20 分鐘的時間內，在 3 個熱電偶位置測量的燃燒室開口頂部的平均溫度超過環境溫度 600°C 。平均溫度與任何單個熱電偶溫度之間的差異不得超過 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 。
- 在連續 20 分鐘的時間內，主壁面上 level 1 高度的平均溫度超過環境溫度 500°C 。

可以使用替代燃料來源，例如燃氣燃燒器，但必須達到上述溫度規定，以及以下額外熱通量要求：

- 在主牆上 1 m 處測量的平均熱通量應在連續 20 分鐘內保持在 $45\text{--}95\text{ kW/m}^2$ 的範圍內，並且通常達到約 75 kW/m^2 的穩態峰值平均熱通量。

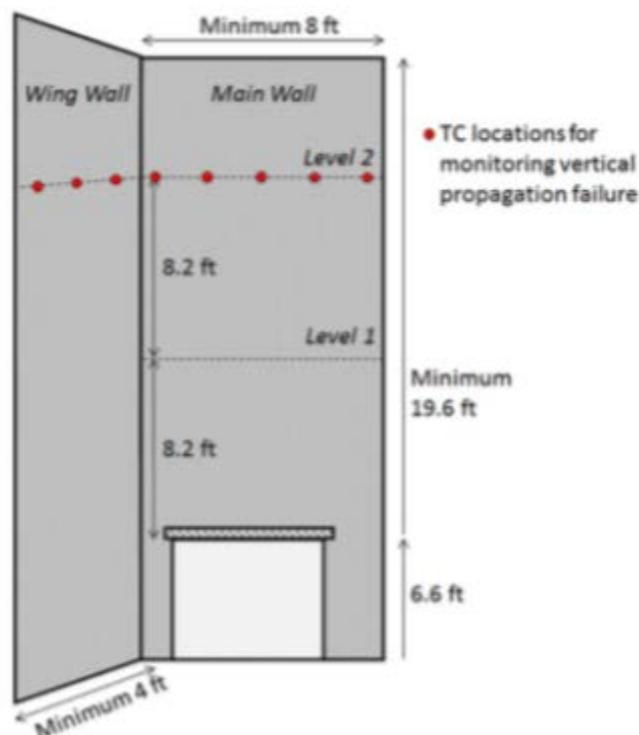


圖 2-23 熱通量量測點[36]

在測試期間，在主牆和翼牆的測試立面的外表面處測量溫度，在 level 1 (窗戶開口上方 2.5 米) 和 level 2 (窗戶開口上方 5 米)。內部熱電偶僅位於主壁和翼壁的 level 2 位置處，並且位於每個 $> 10\text{ mm}$ 厚的可燃層或氣腔的中心。在測試期間無須測量熱通量。

火源在點火後 30 分鐘熄滅，觀察和測量持續 60 分鐘的總測試時間或直至所有燃燒停止。主要觀察結果是在所有表面，中間層和空腔上的火焰蔓延程度，包層系統的燃燒範圍或掉落脫離程度以及包層系統的任何坍塌或部分坍塌。BS 8414-1 的性能標準在 BRE report BR135 中定義如下：

- 火災蔓延開始時間定義為 level 1 處外部熱電偶測得的溫度超過環境溫度 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的時間。

- 當火災蔓延開始時間的 15 分鐘內，任何 level 2 處外部熱電偶超過環境溫度 600 °C 至少 30 秒時，確定為外部火災蔓延引起的失敗。
- 當火災蔓延開始時間的 15 分鐘內，任何 level 2 處內部熱電偶超過環境溫度 600 °C 至少 30 秒時，確定為內部火災蔓延引起的失敗。

參、DIN 4102-20:2017 Fire behaviour of building materials and building components – Part 20: Complementary verification for the assessment of the fire behaviour of external wall claddings [49]

該測試模擬了從隔間火災中產生的火焰通過牆底的窗戶竄出的情景。測試立面安裝為“L”型角落排列。主牆寬至少 2 米（使用燃燒器），翼壁寬至少 1.4 米（使用燃燒器）。燃燒室開口寬 1 米×高 1 米，位於翼牆交叉處主牆的底部。外牆立面通常安裝在開口周圍到地板水平處。外牆立面須是最終用途的代表。

火源是 320 kW 恆定 HRR 線性氣體燃燒器，位於開口拱腹下方約 200 mm 處。火源在不可燃壁上的開口拱腹上方 1 米處測得的最高溫度約為攝氏 780-800 度。來自燃燒器火源本身的火焰最大高度為在不可燃壁上的開口拱腹上方延伸 2.5 米。

燃氣燃燒器在可燃立面 20 分鐘後關閉，不燃外牆 30 分鐘。測量和觀測持續到所有燃燒和煙霧產生停止，或直到測試 60 分鐘。

測試性能標準是：

- 在開口拱腹上方 3.5 米或以上的高度以上沒有燒壞（不包括融化或燒結）。
- 牆壁表面或牆壁層/空腔內的溫度在開口拱腹上方 3.5 米或以上的高度不得超過 500°C。
- 在開口拱腹上方 3.5 米或以上的高度，沒有觀察到超過 30 秒的持續燃燒。
- 在測試中任何時候樣品頂部都沒有火焰。

- 在燃燒器關閉後 90 秒內，燃燒熔滴和燃燒/不燃燒的碎屑以及橫向火焰蔓延必須停止。



圖 2-24 DIN 4102-20 試驗後外觀[50]

肆、ANSI FM 4880:2017 EVALUATING THE FIRE PERFORMANCE OF INSULATED BUILDING PANEL ASSEMBLIES AND INTERIOR FINISH MATERIALS [33]

ANSI FM4880 用於評估隔熱牆或牆壁和屋頂/天花板組件，塑料內部裝飾材料，塑料外部建築面板，牆壁天花板和塗層系統以及內部或外部裝飾系統。部分評估過程詳情

- 25 英尺高的角落試驗，適用於最終用途的最大高度為 30 英尺（9.1 米）的組件的驗收
- 50 英尺高的角落試驗，適用於最終用途的最大高度為 50 英尺（15.2 米）或無限高度的組件的驗收

ANSI FM 4880 聲明它適用於外部裝飾系統，提供了一種可能的方法來評估嚴重外部火源的性能，兩種測試都模擬火源直接位於相交牆角底部的外部(或內部)處。

25 英尺（7.6 米）角落測試

測試設備結構包括兩個柱和壁框架以及托樑和金屬條的天花板框架，使測試牆和天花板組件可以安裝到框架上。天花板框架底面的高度為 25 英尺。一面牆寬 50 英尺，另一面牆寬 38 英尺。僅對牆壁組件進行測試時，在天花板框架的下側安裝波紋鋼板，安裝測試牆需代表最終用途樣式。安裝在上半部（12.5 英尺以上）的測試牆需布滿牆的整個寬度。安裝在下半部分（低於 12.5 英尺）的測試牆，只需從每個牆壁的角落延伸 20 英尺，牆的其餘部分用石膏板包裹。

火源是 340 ± 4.5 公斤的木堆，由 $1.065 \text{ m} \times 1.065 \text{ m}$ ，最大高度為 1.5 米的橡木構成，位於距兩個牆壁 305 mm 的角落。木堆在其底部使用 0.24 升汽油點燃，其產生最大熱通量約為 100 kW/m^2 或更大。熱電偶位於測試牆上，網格間距為 2.5 m，測試持續時間為 15 分鐘，經測試的組件不應導致火勢蔓延至測試結構的上限。

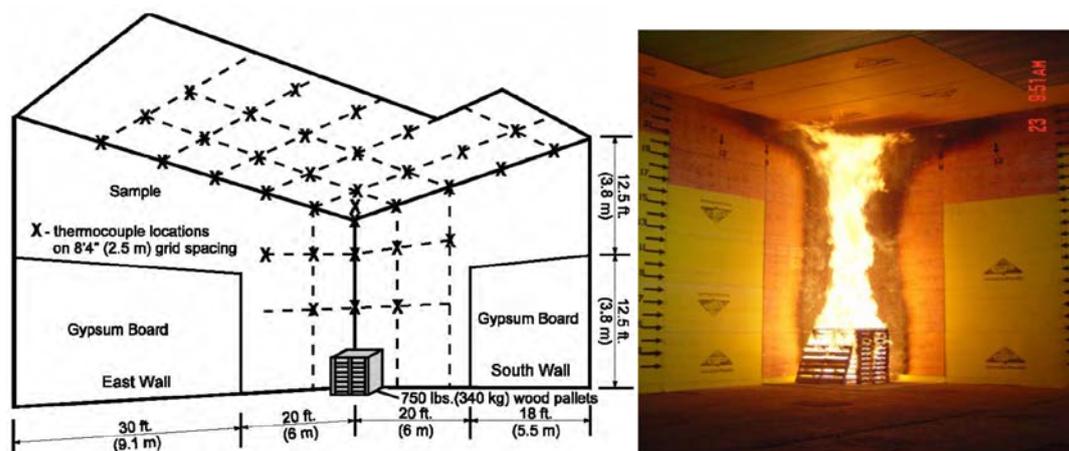


圖 2-25 ANSI FM 4880 25 ft 試驗示意圖 [33]

50 英尺（15.2 米）角落測試

測試設備結構包括兩個壁框架和一個天花板框架，使測試牆和天花板組件可以安裝在框架上。天花板框架底部的高度為 50 英尺，兩面牆寬 20 英尺。僅對牆壁組件進行測試時，在天花板框架的下側安裝波紋鋼板。安裝測試牆需代表最終用途樣式，並布滿測試框架的整個高度和寬度上。使用與 25 英尺高的角落測試

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性

相同的火源。熱電偶位於牆頂和天花板的交叉點附近，角落處距離角落 4.6 米。

測試持續時間為 15 分鐘。

此測試的性能要求如下：

- 經測試的組件還應滿足 25 英尺角部測試的要求
- 如果接受最大高度為 50 英尺（15.2 米），則經測試的組件不應導致火勢蔓延至測試結構的上限。
- 為了接受無限高度，經測試的組件不應導致火蔓延到測試結構的極限或牆壁頂部與天花板的交叉點。

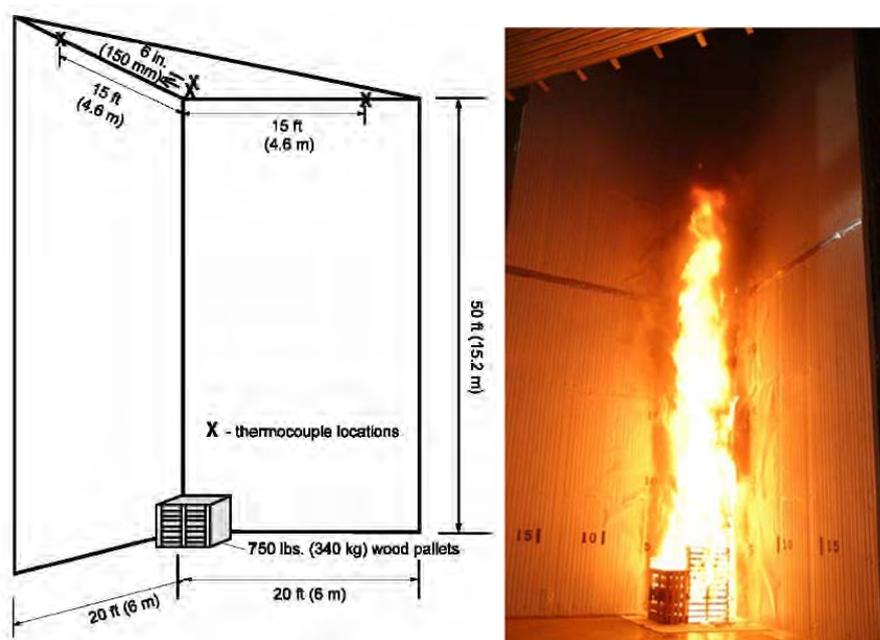


圖 2-26 ANSI FM 4880 50 ft 試驗示意圖 [33]

伍、FM PARALLEL PANEL TEST (16 ft-PPT) [51]

FM Global 開發了一種平行板測試作為中間尺度測試，以預測 25 英尺和 50 英尺角落測試的結果。平行板測試裝置由兩個平行的板組成，每個板高 4.9 米，寬 1.1 米，相隔 0.5 米，一個 1.1 米×0.5 米×0.3 米高的鋪砂燃燒器位於面板的底部，在測試期間來自燃燒器的總熱釋放率以量熱量 5 MW 的量熱裝置測量。將燃燒器輸出控制在 360 kW，以向測試板提供 100 kW/m² 的最大熱通量，這對應於 25 英尺角落測試中在木堆頂部的面板處測量的最大熱通量。

測試結果，如果平行板測試中的 HRR < 1100 kW，則可燃壁板和不可燃的天花

板，在 25 英尺的角落測試中，火不會傳播到測試面板的末端；如果平行板測試中的 HRR 小於 830 kW，則在 50 英尺角落測試中火不會到達測試面板的頂部；如果平行面板測試中的 HRR < 830 kW，則可燃牆壁和天花板面板，在 25 英尺角落測試中，火焰傳播將不會到達水平天花板的末端。

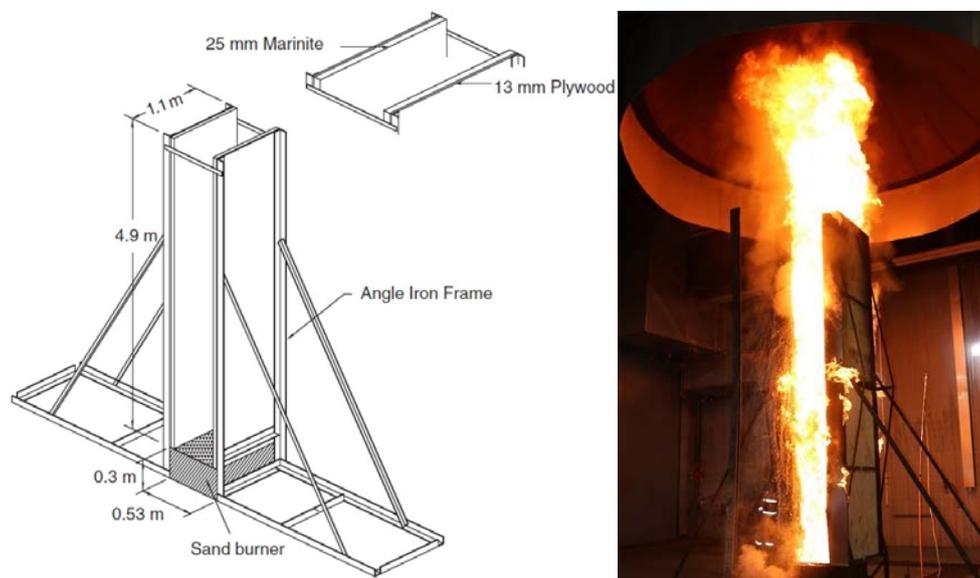


圖 2-27 FM PARALLEL PANEL TEST 試驗 [12、51]

陸、外牆隔熱系統全尺度防火試驗比較



圖 2-28 外牆隔熱系統全尺度防火試驗 [12]

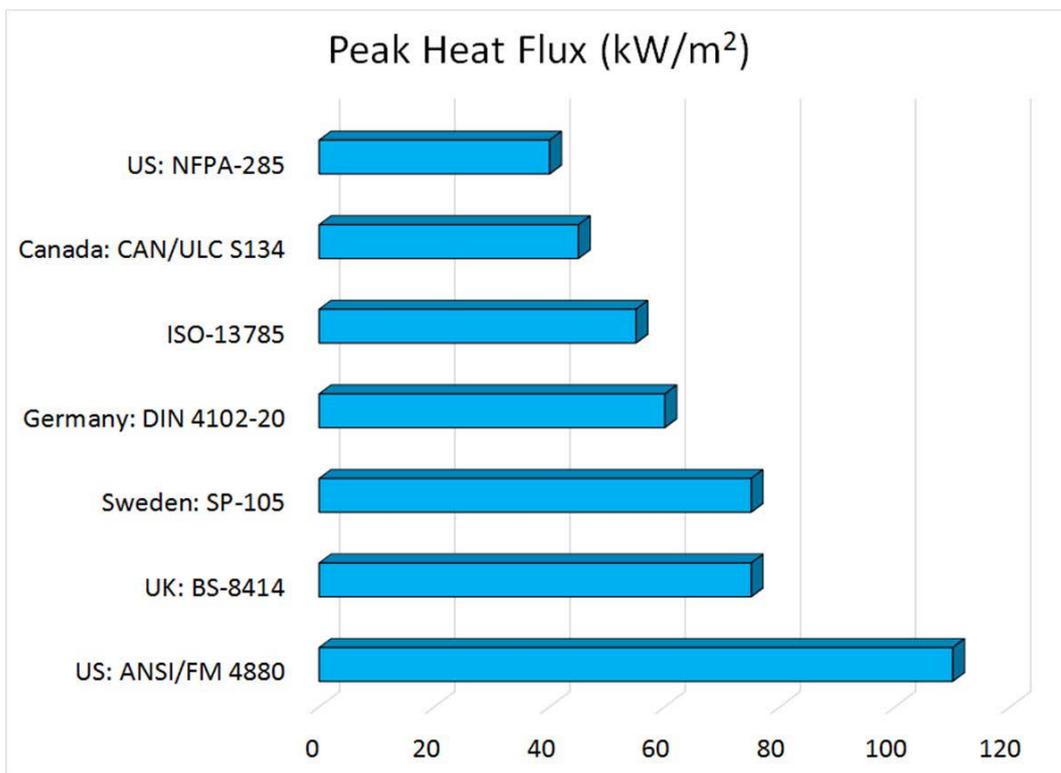


圖 2-29 外牆隔熱系統全尺度防火試驗火源要求[12]

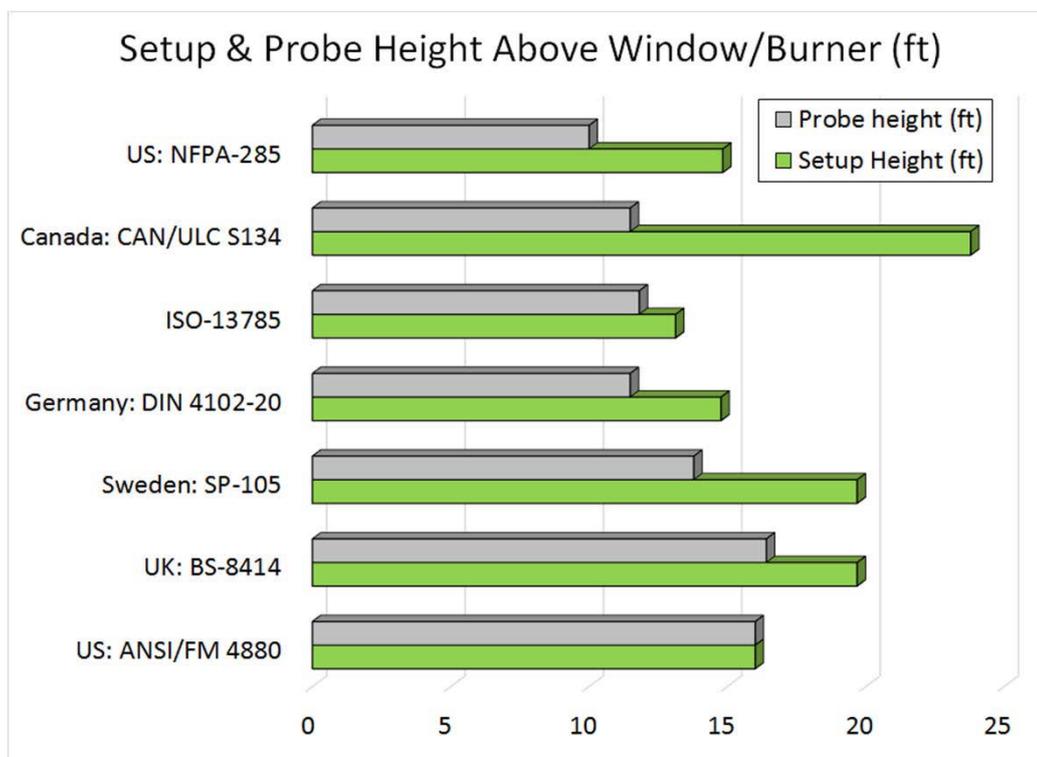


圖 2-30 外牆隔熱系統全尺度防火試驗試體安裝及量測高度要求[12]

第三章 外牆隔熱材大尺度防火試驗設備

建築技術規則第三章建築物之防火，第 79-4 條「防火構造建築物之外牆」，業已規定外牆的防火時效，但在外牆本體外表面上加裝的立面隔熱材之防火性，則尚無明確規定其耐火或延燒試驗應依據之標準及其防火要求。本研究規劃應用於 97 年 9 月 11 日公布之 CNS 15213-2 「建築物外牆立面防火試驗法-大尺度試驗」國家標準，探討該標準之試驗內容及所量測之燃燒行為特徵，例如損毀面積、燃燒箱開口部開口上方試體立面崩落高度、各立面高度（表面及內層空隙）之溫度、輻射熱值等，依經費逐步規劃建置相關實驗設備及驗證設備性能。

壹、CNS 15213-2 「建築物外牆立面防火試驗法-大尺度試驗」

我國 CNS 15213-2 國家標準內容，主要係參考 ISO 13785-2 編修而來。該標準適用範圍是對於貼附於建築物外牆上大尺度非承重力面之防火試驗方法，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（leap-frogging）至另一水平面之火焰延燒行為，此標準試驗法不適用於陽台、窗戶、窗戶及布幕。

試驗設備：

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，如圖 3-1、3-2 所示。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 以上，支撐背牆及支撐側牆應架設於地面上且與地面不可存有縫隙，支撐側牆需在支撐背牆上能做水平移動，移動距離從主立面試體邊緣處 0 m 移至燃燒箱開口部邊緣處 0.5 m，以容納 0.5 m 以內之試體厚度。

燃燒箱外觀應為方形，體積介於 $20\text{ m}^3\sim 100\text{ m}^3$ ，燃燒箱開口部寬 (2.0 ± 0.1) m，高 (1.2 ± 0.1) m 並與主立面試體切齊。燃燒箱牆面及天花板應以混凝土、磚石或其他複合材質構成，以提供燃燒箱於校正或試驗期間之完整性、抗熱性並防止產生裂縫。燃燒箱牆面及天花板，應安裝耐高溫之阻熱材料。

設備校正：

設備建置後應進行校正，支撐背牆及支撐側牆應貼附厚 13 mm、密度 (700±200) kg/m³ 之不燃板，高度從燃燒箱開口部上緣起算 4 m 以上。不燃板安裝完成後，支撐側牆距燃燒箱開口部開口垂直邊緣處之水平距離應在 50 mm 以上。

3 支總熱通量計應以平行方式安裝於距燃燒箱開口部上緣上方 600 mm 處 (如圖 3-3，編號 1、7、8)，另 1 支總熱通量計安裝於距燃燒箱開口部開口上緣中心處上方 1.6 m 處 (如圖 3-3，編號 2)，其餘 4 支總熱通量計安裝於距燃燒箱開口部上緣上方 3.6 m 處 (如圖 3-3，編號 3~6)，其表面應與貼附板材切齊。溫度量測用熱電偶安裝如圖 3-3 所示。總熱通量計之量測範圍為 0~100kW/m² 以上。

使用標準燃料丙烷，校正時燃料流率如圖 3-4 所示，校正過程調整燃料流率或通風量，使燃燒箱引燃源火勢應於 4~6 分鐘內逐漸調升至全盛狀態，然後維持火焰從開口竄出並接觸外部試體表面之全盛狀態 15 分鐘，然後於 4~6 分鐘內逐漸調降強度，總校正測試期間約為 23~27 分鐘。校正期間，在引燃源火勢達全盛狀態後，燃燒箱開口上緣上方 600 mm 處之總熱通量計於 15 分鐘之量測值平均值應達 (55 ± 5) kW/m²，開口上緣中心處上方 1.6 m 處之總熱通量計於 15 分鐘之量測值平均值應達 (35 ± 5) kW/m²，開口上緣上方 50 mm 處之 3 支熱電偶，於 15 分鐘內之溫度量測值平均值應達 800 °C 以上。

主立面試體上僅能設置一個使燃燒箱火焰竄出之開口部，但燃燒箱其他牆面得具備自然通風之通氣孔，以增加開口部之空氣量，達規定之熱通量及溫度。

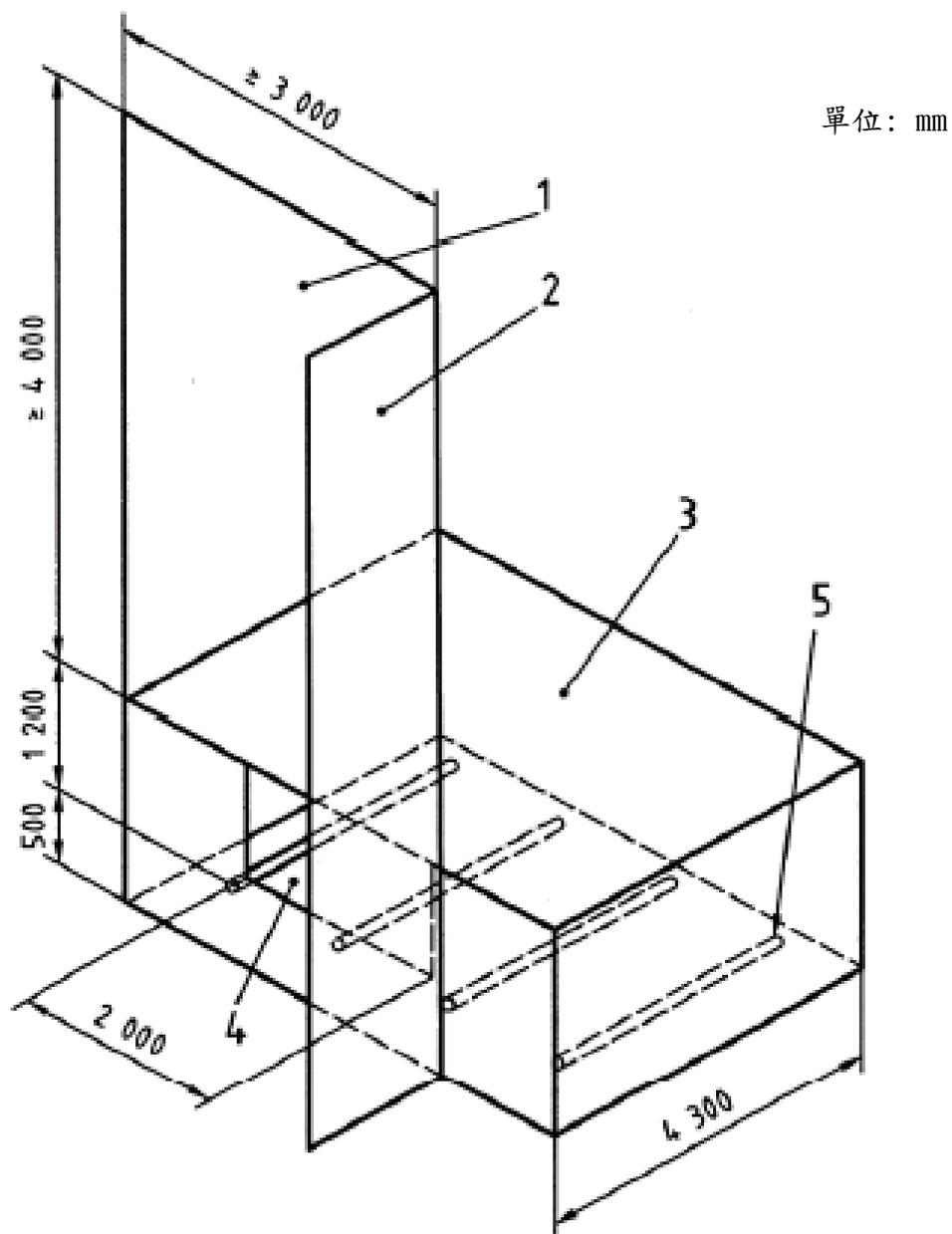
校正期間紀錄燃料量及/或流率及/或供給空氣量，校正完成後，應建立燃料用量及/或燃料流率之資訊，並應用於試驗中直到需再重新進行校正為止。

試體及試驗：

試體應為貼附於外牆上之非承重組件，其構造及材料應與實際使用狀態一致，主立面試體及側立面試體以 90 度之內牆角所構成，其寬度分別為 3 m 及 1.2 m，高度為 5.7 m 以上，如圖 3-1。側立面試體距燃燒箱開口部垂直邊緣之水平距離應為 50 mm。若水平或垂直接合部為外牆構成組件之一，則試體應包含此水平或垂直接合部，其位置應依標準規定設置。

試體從安裝至試驗，試驗環境溫度須維持 25 ± 15 °C，環境風速不得超過 2 m/s。溫度量測用的熱通量計及熱電偶佈點位置如圖 3-3，於試驗過中能提供試體內層及空隙之火焰延燒資訊。試驗過程另由視覺觀察判定及照相記錄火焰頂端平均位置。實驗後待試體自行熄滅冷卻後，剝開試體間層觀察並記錄損害情形，觀察試體主立面及側立面表面損毀面積，燃燒箱開口部開口上方試體立面崩落高度等資訊。

本標準內容僅提供外牆立面大尺度標準試驗方法及試驗應觀察記錄事項，但未提供試體是否符合特定要求之判定準則等相關資料。



圖例：

1. 主立面試體
2. 側立面試體
3. 燃燒箱
4. 燃燒箱開口部
5. 引火源(4個，直徑 100 mm，長 3700 mm，
包覆 25 mm 厚陶瓷纖維之穿孔鋼管)

圖 3-1 試驗設備示意圖

(資料來源：CNS 15213-2)

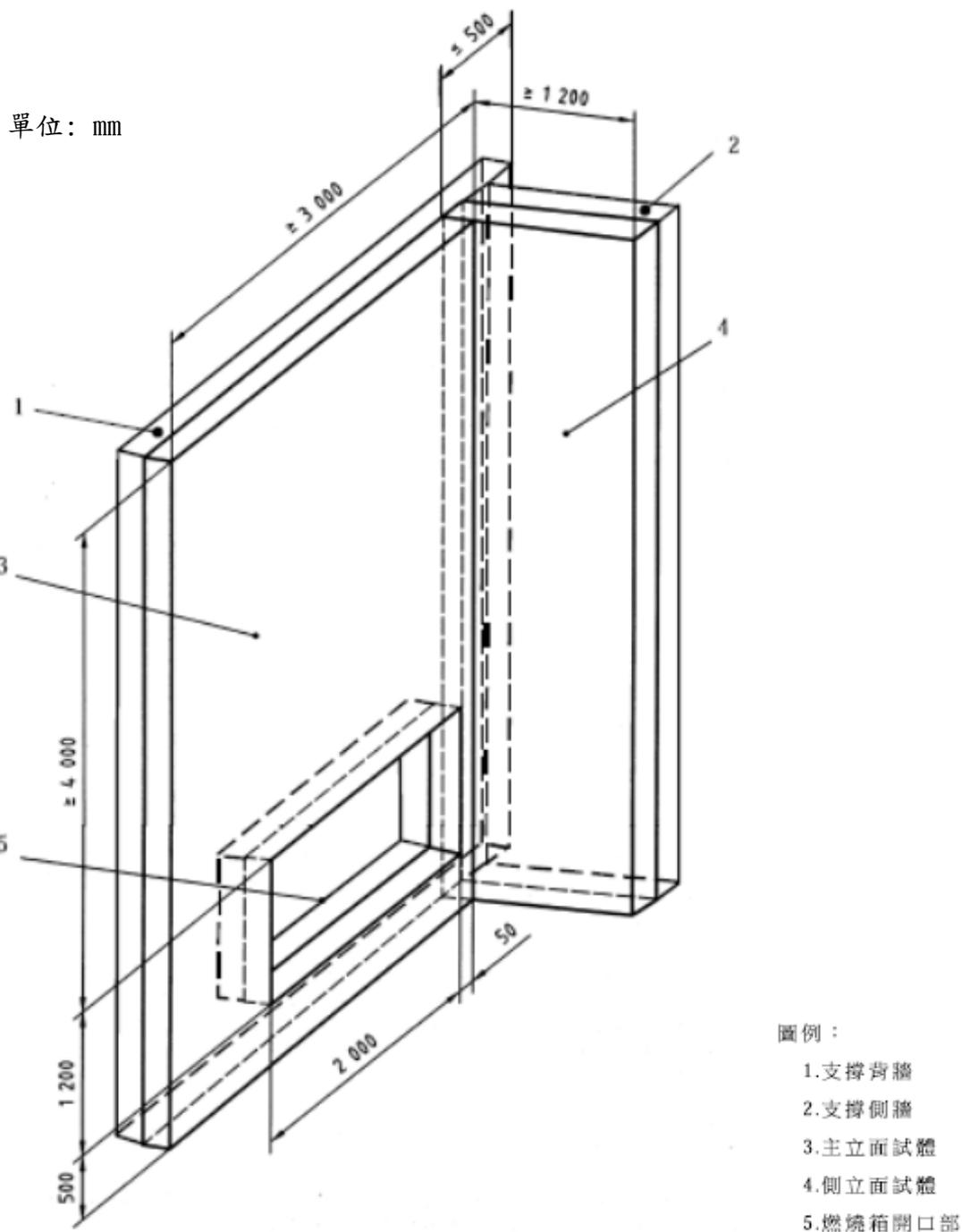
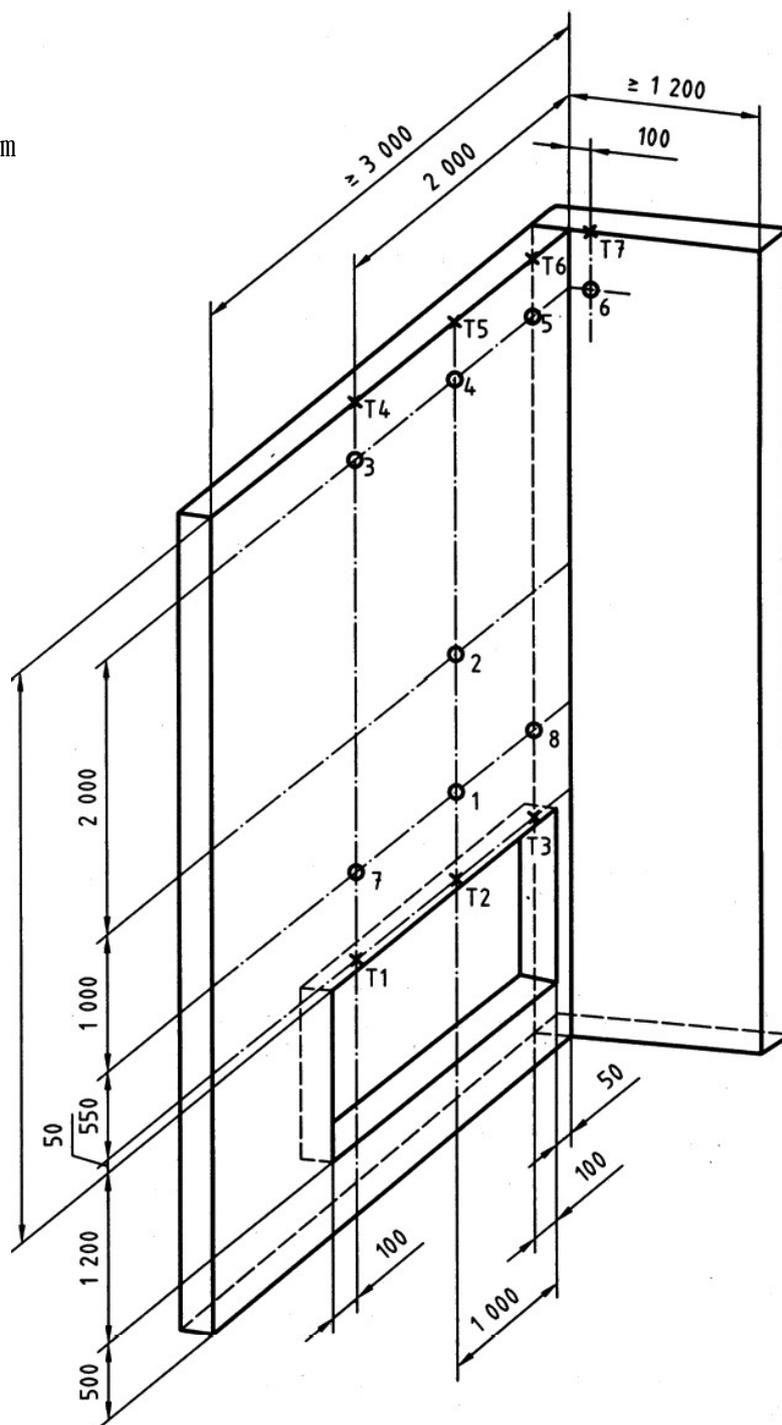


圖 3-2 試驗試體示意圖

(資料來源：CNS 15213-2)

單位：mm



圖例：

○ 總熱通量計(1~8)

× 熱電偶(T1~T7)

0000M

圖 3-3 測點位置分布圖

(資料來源：CNS 15213-2)

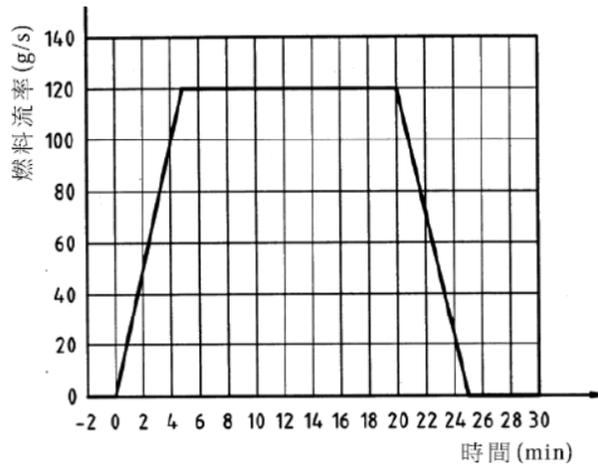


圖 3-4 引燃源之燃料流率

(資料來源：CNS 15213-2)

貳、試驗設備規劃採購及驗證

從前段的 CNS 15213-2 標準摘述，可將試驗設備分成三大部分：燃燒系統、燃燒箱及牆面系統，本年度視經費籌措情形，如有經費將依序前述順序規劃採購及驗證。因設備總尺度約為 4m × 5.5m × 5.7m，尺度龐大，且因實驗中心現有場地已相當擁擠，因此擬規畫設備為可動式，平時收納於既有設備(綜合實驗場火災模擬實驗屋)下方，試驗時再挪移進行試驗，規劃收納設置地點如圖 3-5 所示。

場地規劃：



圖 3-5 實驗設備收納設置地點

(資料來源：本研究拍攝)

燃燒系統採購及性能驗證：

試驗燃燒系統已完成採購及驗證，設備採購性能需求如附錄一所示。因 CNS15213-2 5.2 節標準規定燃燒系統應能提供 120 g/s 之流量，燃料為丙烷，經換算後約需能提供 4000 l/min 的流量，因本所已既有燃料控制設備約能提供 3000 l/min 的流量，考量系統控制餘裕，本次添購一套 2000 l/min 的流量控制系統，最大總和能控制 5000 l/min 的流量，滿足試驗標準所需。整合後系統測試及性能驗證曲線如圖 3-6、3-7 所示。



圖 3-6 燃燒系統測試情形

(本研究拍攝)

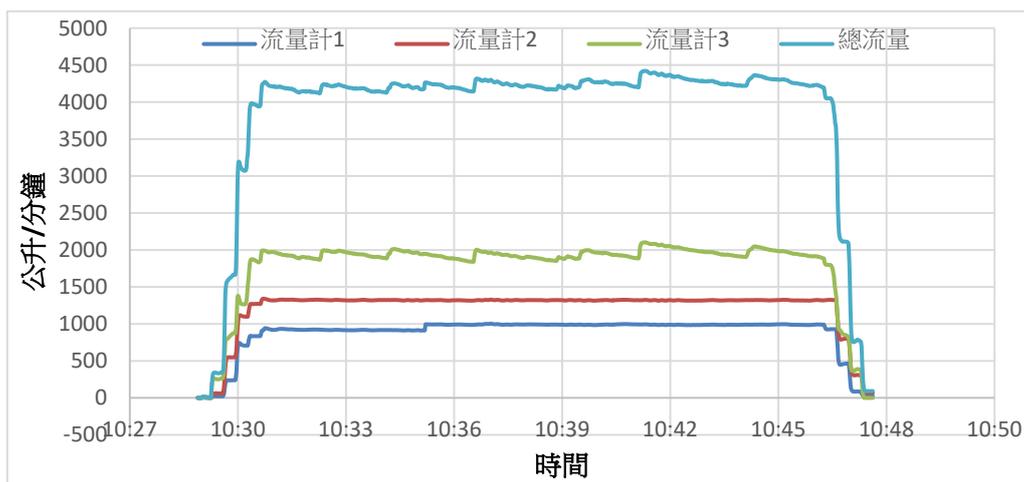


圖 3-7 燃燒系統性能驗證曲線

(本研究整理)

燃燒箱及牆面系統：

燃燒箱規劃設計，參考文獻[52]的設備外觀(圖 3-8 及 3-9)，燃燒箱規劃為鋼製外殼，內牆面鋪砌耐火磚，頂部及底部澆鑄混凝土板，箱內表面襯以陶瓷耐火綿，製作示意圖如圖 3-10 所示。

燃燒箱及牆面系統，目前已完成規劃，惟截至目前所詢製造商報價，約在新臺幣 4 百萬至 8 百萬元，均遠超預估值，與報價商訪談後得知，因試驗標準火源係以燃料量表示，其無法準確預估爐體所需抵禦的最高溫度為何？因此安全係數定得非常高，以備交貨後的設備保固所需，另外，有些廠商係以長期使用的耐火爐要求來設計計價，因此會呈現較高的估價，本項設備將待未來經費籌措充足後，再行發包製作。



圖 3-8 韓國建設生活環境試驗研究院Samcheok KCL試驗設備外觀[52]



圖 3-9 韓國建設生活環境試驗研究院Samcheok KCL試驗設備引火源[52]

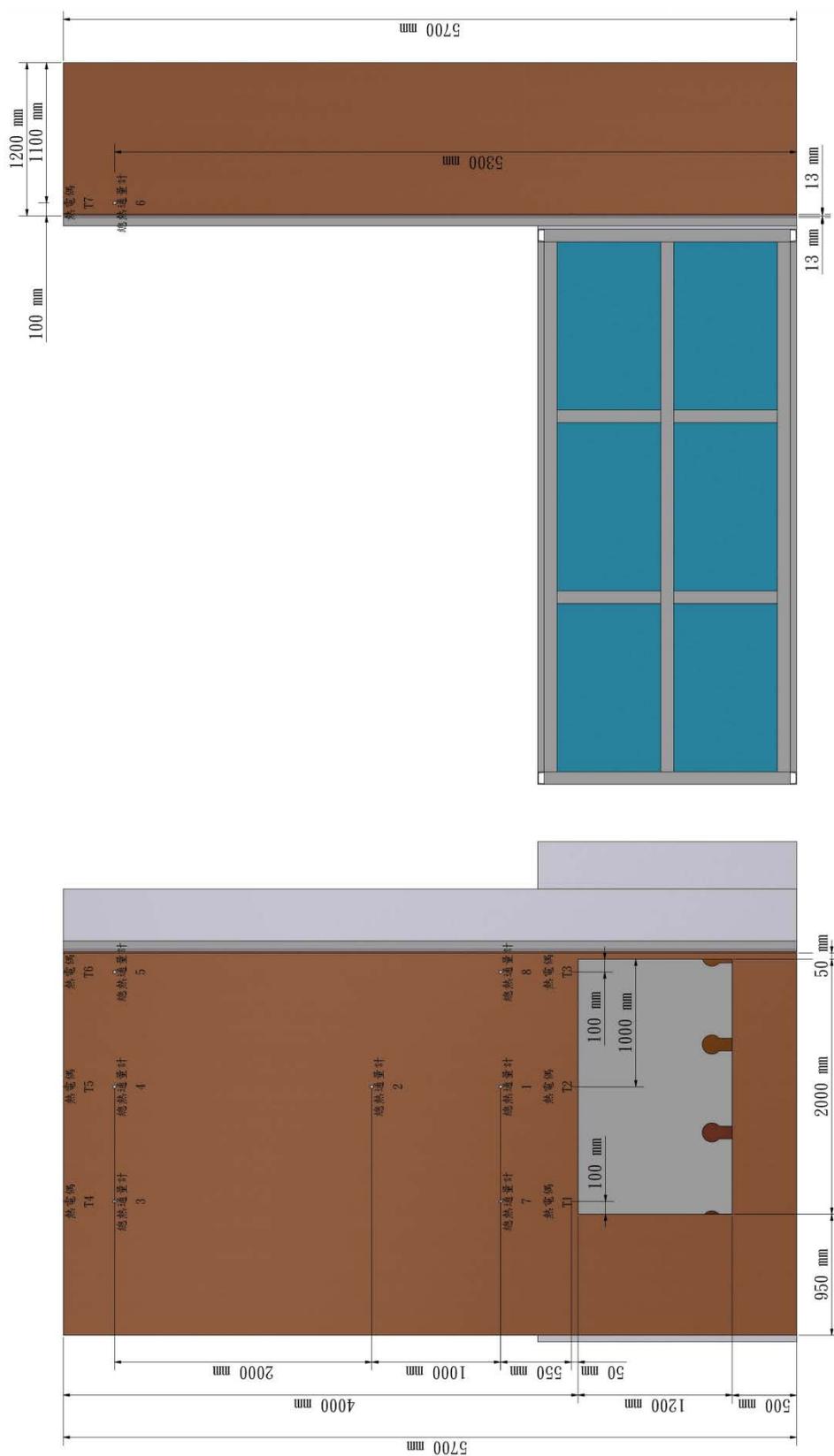


圖 3-10 燃燒箱及牆面系統製作示意圖

(資料來源：本研究繪製)

第四章 研究結果與討論

第一節 各試驗標準要求討論

本研究案主要依據 CNS 15213-2(即 ISO 13785-2)標準規畫大尺度試驗設備，本年度另外一個研究案則以 CNS 15213-1(即 ISO 13785-1)標準規畫中尺度試驗設備。在眾多文獻回顧[53~57]裡均說明，ISO 13785-1 中尺度試驗主要被設計為用於確定暴露於來自模擬通風口的熱氣透過窗戶對產品和立面或覆層結構的火災蔓延性能，作為進行 ISO 13785-2 大尺度試驗測試前的篩選測試。因外牆立面隔熱材料或系統的整體防火性能是包括基底、隔熱材料、防火層、表面飾層(抹灰)、加勁網、骨架、間距、空腔和固定方法等之間的複雜相互作用，因此透過 ISO 13785-1 中尺度試驗可以先測試多種配置，確定各種參數對立面防火性能的作用，再進行 ISO 13785-2 大尺度試驗，以降低人力成本的花費，但很可惜的是 ISO 13785-1 中尺度試驗標準僅敘述可供篩選使用，但對其判定方式或篩選依據為何？並未定義，有待研究找出合適的篩選參考。另外，ISO 13785-2 大尺度試驗標準內文也同樣僅規定試驗設備、方法、步驟及量測項目等，但未有判定規則的說明，因此未來執行 ISO 13785-2 大尺度試驗後的結果應用，也有待研究找出合適的判定規則，以供法規參考。

因 CNS 15213-2(ISO 13785-2)標準及 CNS 15213-1(ISO 13785-1)兩標準均未訂定判定規則，本研究擬藉由彙整常見大尺度及中尺度試驗標準各項規定，以研析探討未來可供 CNS 參考的判定規則。所彙整的試驗標準包括 ISO 13785-2 (CNS 15213-2)、ISO 13785-1 (CNS 15213-1)、BS 8414-1、DIN 4102-20、SP FIRE 105、CAN/ULC S134、FM 50 ft high corner test、NFPA 285 及 ASTM vertical channel test，以上標準主要引用國家有我國、英國、美國、瑞典及加拿大等。彙整內容包括使用國家、試驗場景、火源、試體概要、試體尺度、校正時火源暴露條件、試驗量測位置、性能要求及備註等項。彙整結果如表 4-1。

表 4-1 大尺度及中尺度試驗標準各項規定彙整[13]

試驗標準	ISO 13785-2 CNS 15213-2	BS 8414-1	DIN 4102-20	SP FIRE 105	CAN/ULC S134	FM 50 ft high corner test	NFPA 285	ISO 13785-1 CNS 15213-1	ASTM Vertical Channel test	
使用國家	中華民國	英國	德國	瑞典	加拿大	美國	美國		加拿大	
試驗場景	閃燃居室冒出的 火焰通過窗戶竄 出	閃燃居室冒出的 火焰通過窗 戶竄出	閃燃居室冒出的 火焰通過窗 戶竄出	閃燃居室冒出的 火焰通過窗 戶竄出	-	外部（或內部） 木框架火源直 接位於折返壁 角的底部	閃燃居室冒出的 火焰通過窗 戶竄出	立面一小部分 的底部有火焰	閃燃居室冒出的 火焰通過窗戶竄 出	
火源	四個 3.8 m 長的 線形丙烷燃燒 器。輸出 120 g / s 丙烷 (5.5 MW)	木框架 1.5 m 寬 x 1 m 深 x 1 m 高。30 分鐘內的 額定熱量輸出 為 4500 MJ。峰 值 HRR = 3±0.5 MW。木框架位於 試驗台基座上 方 400 mm 的平 台上。	約 0.32 MW 恆定 HRR 線形氣體燃 燒器。	庚烷燃料托 盤，寬 0.5 m x 長 2.0 m x 高 0.1 m。填滿 60 升庚烷。峰值約 2.5 MW。	四個 3.8 m 長的 線形丙烷燃燒 器。輸出 120 g / s 丙烷 (5.5 MW)	340±4.5 公斤木 框架，由 1.065 m 1.065 m 橡木 托盤製成，最大 高度為 1.5 m。 位於距每片牆 305mm 的角落。 在木框架底部 使用 0.24 L 汽 油點燃。	在 30 分鐘的測 試時間內，room burner 從 0.69 MW 增加到 0.9 MW。room burner 點燃 5 分鐘後再點燃 window burner，並在剩 餘的 25 分鐘測 試時間內從 0.16 MW 增加到 0.4 MW	恆定的 0.1 MW 線形丙烷燃燒 器，長 1.2 m， 寬 0.1 m，位於 主壁底部邊緣 下方 0.25 m。	兩個丙烷燃燒器 的典型輸出為 1.16 MW。	
試體概要	兩片牆構成 L 形，牆上 1 個開 口	兩片牆構成 L 形，牆上 1 個開 口	兩片牆構成 L 形，牆上 1 個開 口	單片牆，上、下 兩個開口	單片牆，牆上 1 個開口	兩片牆構成 L 形，上方有天花 板，沒有開口。	單片牆，牆上 1 個開口	兩片牆構成 L 形，沒有開口	單片牆，1 個開 口（測試室底部 的防火艙開口）	
試 體	總高	≥ 5.7 m	≥ 8.0 m	≥ 5.5 m	6.71 m	10.0 m	15.2 m	≥ 5.33 m	2.8m	9.4m

尺度	防火室開口上方測試牆高度	≥ 4.0 m	≥ 6.0 m	≥ 4.5 m	6.0 m	7.25 m	N/A	≥ 4.52 m	2.4 m (no opening)	7.32 m
	主牆寬度	≥ 3.0 m	≥ 2.5 m	≥ 2.0 m	4.0 m	5.0 m	6.2m	≥ 4.1 m	1.2m	0.8m
	翼牆寬度	≥ 1.2 m	≥ 1.5 m	≥ 1.4 m	N/A	N/A	6.2m	N/A	0.6m	試驗壁兩側不易燃的0.5 m寬翼壁形成垂直通道
	防火室尺寸	寬4 m x深4 m x高2 m (體積20~100 m ³)	寬2 m x高2 m (未指定深度)	寬1 m x高1 m	寬3.0 m x 深1.6 m x 高1.3 m	寬5.95 m x深4.4 m x高2.75 m	N/A	寬3 m x深3 m x高2 m	N/A	寬0.8 m x深1.5 m x高1.9 m
	防火室開口寬度	2 m	2 m	1 m	3 m	2.6 m	N/A	1.98 m	N/A	0.8 m
	防火室開口高度	1.2 m	2 m	1 m	0.71m	1.37 m	N/A	0.76 m	N/A	0.63 m
校準	校準的熱通量暴露量(不燃壁)	在開口上方0.6 m的高度上為55 ±5 kW / m ² 在開口上方1.6 m的高度上為35 ±5 kW / m ²	在連續20分鐘的時間段內,在高於開口1 m的高度處,平均範圍為45-95 kW / m ² 。在此期間,在高於開口1 m的高度處,典型的穩態平均值為75 kW / m ² 。	在開孔以上0.5 m處60 kW / m ² 在開孔以上1.0 m處35 kW / m ² 在開孔以上1.5 m處25 kW / m ²	在至少7分鐘的測試時間內,在高於開口4.8 m處達到15 kW / m ² 。在至少1.5分鐘的測試時間內,高於開口4.8 m處35 kW / m ² 。在任何時候,高於開口4.8 m處,<75 kW / m ²	在15分鐘穩態期間內,在高於開口0.5 m處平均45±5 kW / m ² 。在15分鐘穩態期間內,在高於開口1.5 m處平均27±3 kW / m ² 。	未規定	在火源高峰期25-30 min,開口上方0.6 m處38±8 kW / m ² ,火源高峰期25-30 min,開口上方0.9 m處40 ±8 kW / m ² ,在火源高峰期25-30 min,開口上方1.2 m處34 ±7 kW / m ² 。	未規定	在20分鐘穩定燃燒器輸出上方平均距離開孔處0.5 m處為50±5 kW / m ² 在20分鐘穩定燃燒器輸出上方平均距離開孔處1.5 m處為27 ± 3 kW / m ²

	校準的溫度暴露 (不燃壁)	在開口上方 50 mm 處 > 800 度	防火室內溫度高於環境溫度 600 攝氏度。高於開口 2.5 m 處的不燃牆外部高於環境溫度 500 C。	開口拱腹上方 1 m 的不燃牆外部的最高溫度為 780-800 攝氏度	N/A	N/A	N/A	開口上方 0.91 m 的不燃牆外部平均 712 度 C。開口上方 1.83 m 的不燃牆外部平均 543 度 C。	N/A	N/A
	火焰高度超過不燃壁開口的最大高度	-	約 2.5 米	約 2.5 米	-	約 2.0 米	-	約 2.0 米	約 0.2 米	-
	持續時間	23-27 分鐘。4-6 分鐘的成長階段, 大約 15 分鐘的穩態階段, 4-6 分鐘的衰減階段	30 分鐘 (大約 7 分鐘的成長期)	20 分鐘 (燃氣燃燒器) 30 分鐘 (木框架)	約 15 分鐘	共 25 分鐘, 成長期 5 分鐘, 穩態期 15 分鐘, 衰減期 5 分鐘。	約 15 分鐘	30 分鐘	30 分鐘	20 分鐘
試驗量測位置	輻射熱通量	高於開口 0.6 m, 1.6 m 和 3.6 m 處	未要求	未要求	開口上方 2.1 m	開口上方 3.5 m	未要求	未要求	兩個測試牆表面中心的垂直間隔為 0.5 m	開口以上 3.5 m
	溫度	開口正上方和開口上方 4 m 處的外牆和中間層/空腔	牆開口上方 2.5 m 和 5 m 處。開口上方 5 m 處的中間層和空腔。	牆開口上方 3.5 m 處和中間層/空腔	在 500 mm 不燃屋簷下側牆頂處	在防火圍牆內以及拱腹以下 0.15 m 處的開口處。從開口	靠近牆頂與天花板的交點, 都在牆角處, 且距牆角 4.6 m。	在開口上方垂直方向以 305 mm 的間隔壁外和中間層/腔壁	主測試牆的中心頂部	從開口上方 1.5 m 開始, 垂直間隔為 1 m 的外牆和中間

						上方 1.5 m 開始，垂直間隔為 1 m 的外牆和中間層/空腔。測試壁頂部前方 0.6 m 的氣體溫度。		在第二層機房內的測試牆後部		層/空腔。
性能要求	外部火勢蔓延	標準未指定要求	火勢蔓延開始時間= 在火焰蔓延開始時間 15 分鐘內，在 level 1 的外部溫度（比開口高 2.5 m）超過環境溫度 200 度以上的時間 ??? 在 level 2 外部溫度（比開口高 5 m）溫度必須不超過環境溫度 600 度（超過 30 s）	<ul style="list-style-type: none"> 在開口上方 ≥ 3.5 m 處沒有燒毀的損壞（不包括熔化或燒結（應是指要碳化才算））。 牆壁表面或牆壁層/腔內的溫度在開口 ≥ 3.5 m 上方不得超過 500 度 C 以上。 在開口上方 ≥ 3.5 m 內未觀察到連續超過 30s 燃燒。 任何時候在試體的頂部不要有燃燒。 	沒有火焰蔓延（火焰和損壞） $>$ 高於開口 4.2 m（第二層虛構窗戶的底部） 樣品頂部溫度不得超過 500°C 持續 2 分鐘以上或 450°C 超過 10 分鐘以上。 另外，對於 > 8 層高的建築物或任何高度的醫院，開口上方 2.1 m 處的热量不得超過 80 kW / m ² 。	火焰蔓延距離在開口 soffit 上方不超過 5 m，在門上方 3.5 m 處的热量必須小於 35 kW / m ² 。	必須滿足 25 英尺測試的要求 • 限高 50 英尺（15.2 m）的使用，測試火焰蔓延不能到測試結構的極限，以火焰或材料損壞證明。 • 無限高度的使用，測試組件火焰蔓延不能到測試結構的極限或蔓延到牆頂與天花板交界處，以火焰或物質損壞證明。	<ul style="list-style-type: none"> 在開口上方 3.05 m 處，牆壁外部溫度不得超過 538°C。 外部火焰垂直延伸不得超過開口以上 3.05 m。 外部火焰與開口中心線的水平距離不得超過 1.52 m。 不得在測試設備的側壁和測試壁的交點以外的水平方向上產生火焰。 	標準未指定要求	火焰蔓延距離在拱腹上方小於 5 m。 開口上方 3.5 m 的热量必須小於 35 kW / m ² 。

內部火勢蔓延	標準未指定要求	在火勢蔓延開始時間的15分鐘內，在 level 2 的內部溫度（比開口高5 m）不得超過環境溫度 600°C（超過 30 s）	<ul style="list-style-type: none"> 在開口上方 ≥ 3.5 m 處沒有燒毀的損壞（不包括熔化或燒結）。 壁層/腔體內的溫度不得超過開口以上 500 度 (≥ 3.5 m) 	沒有火焰蔓延（火焰和損壞）>高於開口 4.2 m（第二層虛擬窗戶的底部）	火焰蔓延距離在拱腹上方不到 5 m	<p>必須滿足 25 英尺測試的要求</p> <ul style="list-style-type: none"> 限高 50 英尺 (15.2 m) 的使用，測試火焰蔓延不能到測試結構的極限，以火焰或材料損壞證明。 無限高度的使用，測試組件火焰蔓延不能到測試結構的極限或蔓延到牆頂與天花板交界處，以火焰或物質損壞證明。 	<ul style="list-style-type: none"> 在牆壁內水平 and 垂直蔓延的火勢不得超過指定的內壁空腔和隔熱溫度限制。 指定的熱電偶的位置和溫度限制取決於隔熱的類型/厚度以及是否存在氣隙腔。 在第二層測試室中，測試牆後部的溫度不得超過環境溫度 278°C。 第二層測試室不得發生火焰 	標準未指定要求	火焰蔓延距離在拱腹上方小於 5 m。開口上方 3.5 m 的熱通量必須小於 35 kW / m ² 。	
燃燒碎屑和滴落	標準未指定要求	標準未指定要求	燃燒器關閉後 90 s 必須停止掉落的燃燒液滴，燃燒和不燃燒的碎屑以及橫向火焰蔓延須停止	標準未指定要求	標準未指定要求	標準未指定要求	標準未指定要求	標準未指定要求	標準未指定要求	標準未指定要求

	機械性能	標準未指定要求	標準未指定要求	標準未指定要求	立面不得掉落大塊物品	標準未指定要求	標準未指定要求	標準未指定要求	標準未指定要求	標準未指定要求
備註	-	-	-	-	在測試牆中包括兩個虛擬的窗口細節，級別1和級別2在背面塗黑，並帶有不可燃襯裡	-	主要用於隔熱夾芯板	-	旨在作為降低成本的篩選和針對 ISO 13785-1 的產品開發測試	作為 CAN / ULC S134 的中間測試而開發

(資料來源：參考文獻[13]訂正改寫)

從彙整表 4-1 所示，可就各項目予以研析討論(以大尺度試驗為主)：

試驗場景：多為模擬居室閃燃發生後冒出的火焰，通過窗戶開口竄出，對開口上方外牆覆材火焰蔓延行為的測試，僅 FM 50 ft high corner test 針對兩牆面交界轉角處的火焰延燒測試。

火源：各標準要求不一，火源類型主要有氣態燃料及木框架；熱值輸出要求方式有試驗期間總熱值、加熱曲線、定值輸出等類型。

試體概要：主要區分單片牆、成 L 形的兩片牆、牆上有無開口及數量等。

試體尺度：試體高介於 5.5 m~15.2 m，主牆寬度介於 2 m~6.2 m，翼牆寬度介於 1.2 m~6.2 m，防火室開口寬介於 1 m~3 m，防火室開口高介於 1 m~3 m。

校準要求：多數要求開口上方 0.5m~1.6m 處的熱通量，需介於 60 kW/m^2 ~ 27 kW/m^2 ，開口上方 5 cm~183 cm 處溫度，需介於攝氏 800 度~543 度，校準穩態持續時間約 15~25 分鐘。

試驗量測位置：量測位於開口上方 0.6 m~3.6 m 處輻射熱通量，溫度量測位置於開口上方不同高度處，且分為立面隔熱材表面溫度及隔熱材厚度中間/空腔內溫度。

性能要求：CNS 15213-2(ISO 13785-2)標準及 CNS 15213-1(ISO 13785-1)兩標準均未訂定判定規則，其他標準判定規則主要考量外部火勢蔓延、內部火勢蔓延、燃燒碎屑和熔滴及機械性能。

- 外部火勢蔓延：主要觀察區域以開口上方樓層或上兩層樓處(3.5 m~5 m)，以(垂直方向及水平方向)溫度值、輻射熱通量值、燃燒燒毀及燃燒火焰等特徵來判定外部火勢蔓延程度。
- 內部火勢蔓延：觀察內容類似外部火勢蔓延，主要針對內部芯材、空腔裡的火勢蔓延情形。
- 燃燒碎屑和熔滴：彙整資料僅 DIN 4102-20 有規定燃燒器關閉後 90 s 必須停止掉落的燃燒液滴，燃燒和不燃燒的碎屑以及橫向火焰蔓延須停止。
- 機械性能：彙整資料僅 SP FIRE 105 有規定立面不得掉落大塊物品。

另外 CNS 15213-1(ISO 13785-1)中尺度試驗，在標準本文內並未規定判定規則，但在文獻[54]所收集的資料裡，有提到捷克共和國的國家標準(ČSN ISO 13785-1)有訂定其判定規則，在開口上方 0.5 m 處隔熱材內部和表面的最大允許平均溫度上限為 350 °C。該文獻也特別聲明「很明顯 ISO 13785-1 測試的繁瑣程度較小，使用該測試標準的結果應謹慎對待，如標準本身所述，在升級為 ISO 13785-2 標準之前，只能將其視為篩選測試。」。

第二節 歐洲評估外牆防火性能試驗標準調和[58]

歐洲國家因為氣候因素，在歐盟/歐洲自由貿易區(EU/EFTA)的所有成員國都有關於外牆防火性能的法規規定，該法規主要基於現有的歐洲防火和耐火反應體系，目前已確定使用 12 種不同的測試方法，如表 4-2 所示。

表 4-2 歐盟/歐洲自由貿易區所用外牆防火性能試驗標準

Test methods	Countries using the test method
1. PN-B-02867:2013	Poland
BS 8414-1:2015 and BS 8414-2:2015	UK, Republic of Ireland
DIN 4102-20	Switzerland, Germany
ÖNorm B 3800-5	Switzerland, Austria
Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungssysteme	Switzerland/ Lichtenstein
Technical regulation A 2.2.1.5	Germany
Lepir 2	France
MSZ 14800-6:2009	Hungary
SP Fire 105	Sweden, Norway, Denmark
Engineering guidance 16 (unofficial test method)	Finland
ISO 13785-2	Slovakia
ISO 13785-1	Czech Republic

(資料來源：參考文獻[58])

這些引用的外牆防火測試主要探討以下項目：

- 火焰蔓延方向 - 垂直和水平方向，在隔熱材表面和系統內部(以各處溫度、輻射熱通量和火焰燒毀程度來判定)
- 火勢從一個房間蔓延到上方另一個房間
- 外牆立面系統與地板之間的接縫處(層間塞)
- 窗戶開口
- 開窗周圍的細節
- 悶燒
- 掉落的零件和燃燒的碎屑/熔滴
- 煙
- 內部起火
- 外面起火
- 測試後評估系統損壞情形

歐盟/歐洲自由貿易區的成員國為降低貿易障礙，著手進行調和各國試驗方法間的差異，制定新的歐洲共同試驗方法，評估外牆的防火性能，工作內容包括定義所有相關細節，對立面進行分類，BS 8414 系列和 DIN 4102-20 作為調和測試的基礎，以符合所有成員國的法規規定。如前所述，試驗標準觀察判定的各個項目，可供國內未來訂定相關判定時的參考依據。

第五章 結論與建議

第一節 結論

國內目前在建築節能改善、外牆漏水修繕或建築外觀拉皮整修時，部分案例已有採用類似國際間發生大火的外牆立面隔熱材的使用，其防火性能受到各界的重視及疑慮，值得加以研究驗證。我國在建築技術規則第三章建築物之防火，業已規定外牆的防火時效，但在外牆本體上加裝的立面隔熱材之防火性，則尚無明確規定其材料和系統的耐火與延燒試驗標準及防火要求。我國國家標準 CNS 15213-2「建築物外牆立面防火試驗法-大尺度試驗」，係參考 ISO 13785-2 訂定，國際間已有國家引用來進行外牆立面防火試驗，惟目前國內尚無相關實驗設備的建置，其相關研究及試驗資料均相當缺乏。

建築物外牆貼附系統相當多元，也涵蓋了廣泛的應用範圍，例如外部絕緣飾面系統(EIFS 或 ETICS)、金屬複合材料覆層、高層壓板、結構絕緣面板系統(SIPS)/保溫夾芯板系統、雨遮覆層(RSC)或通風外牆、可燃牆體空腔隔熱、外部木鑲板和外牆、預製外牆元素、智能外牆組件、廣告招牌、LED 外牆和綠色外牆等。這些應用範圍，其立面材料和系統，若不具有防火性能，將使火焰成長與傳播，造成很大的危害。

由本年度另一研究案試驗結果顯示，於圓錐量熱儀試驗結果符合一級的耐燃芯材，改於中尺度試驗條件下的試驗結果，於 1 分 05 秒達全面燃燒，且開始有掉落物產生，對於該材料後續應用於建築物外牆，如僅採小尺度試驗，顯有疑慮，依據中尺度之試驗結果，實有必要進行大尺度試驗確認後，方可審慎使用。

目前國內針對外牆貼附材料、系統防火性能的法規要求、試驗標準判定，均仍有待研究探討的地方，未來可從幾個方向來補充：

1. 法規規定：目前建築法規尚未對外牆貼附材料、系統防火性能予以明確要求，可參考 IBC、UAE 等國規定，建立專章管理。

2. 中尺度試驗篩選原則要求：本所 107 年自辦研究案[9]已利用圓錐量熱儀進行外牆立面隔熱材耐燃性能初探，108 年持續建置 CNS 15213-1 中尺度試驗設備，可持續進行小尺度與中尺度試驗之間的關聯性，並參考本研究彙整之各試驗判定規則，研擬中尺度試驗後須進行大尺度試驗之篩選原則。
3. 建置大尺度試驗設備：本研究受限經費額度，CNS 15213-2 大尺度試驗設備已完成規劃及訪價，可持續爭取經費完成設備建置，並與小、中、大尺度試驗建立彼此相關性。
4. 建立各項性能判定規則：外牆貼附材料、系統工法複雜，後續研究應參考第四章所整理之各標準及歐洲調和試驗標準之判定規則所關注之各項性能進行研究探討，持續針對材料的燃燒性能、防護層厚度、防火隔離帶、開口周邊防護、火焰蔓延、物件掉落熔滴等，以建立未來我國法規管理要求之依據。

第二節 建議

建議一

建置外牆立面隔熱材防火性大尺度試驗設備：立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：

由文獻資料及本年度另一研究案小、中尺度試驗結果顯示，如僅採小尺度試驗，顯有疑慮，依據中尺度之試驗結果，實有必要進行大尺度試驗確認後，方可審慎使用。未來規劃配合小尺度材料性能要求、中尺度系統篩選及大尺度實際驗證，期能在防火安全、建築管理及經濟成本，各方平衡考量下，提升國人居住安全。

附錄一 燃燒系統設備採購性能需求

內政部建築研究所採購

「大尺度試驗-標準引燃源」案投標須知補充說明

一. 總則

本項採購係用於火災模擬實驗，測試建築物外牆立面防火燃燒特性，提供所需加熱規模之穩定可計量燃燒火焰。設備規格應符合 CNS15213-2 標準之引燃源規定及本投標須知補充說明。

本設備所用燃料為 LPG (由本所提供)，燃料管路續接處及配線位置須依本所指定設計及安裝，投標廠商可至本所現場了解後投標。

二. 設備需求：燃料流量 $2.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 或以上，採用人工點火，控制方式為全自動流量比例式調節控制，需求如下。

1. 流量控制裝置：含流量計、流量比例控制閥及台車

(1) 流量計：數量 1 組

- A. 量測原理：差壓傳送器 + 整體限流孔板
(Differential Pressure Transmitter + Integral Orifice)
- B. 量測範圍： $0.0 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{min}$
- C. 材質：SUS316
- D. 限流孔板精度等於或優於 0.75% 係數流量不確定度
- E. 差壓傳送器精度等於或優於 $\pm 0.1\%$ 全幅
- F. 輸出信號： $4 \sim 20\text{mA}$ +HART

(2) 流量比例控制閥：數量 1 只

- A. 控制方式：使用 V-port 鋼球設計，流體通過 V 型管道來控制流量。
- B. 材質：SUS304 或 SUS316
- C. 防護等級：IP66
- D. 操作電源： 110V ，單相，60 週波
- E. 輸入信號： $4 \sim 20\text{mA}$
- F. Feedback 信號： $4 \sim 20\text{mA}$

(3) 台車 1 組，供安裝固定流量計及流量比例控制閥。

2. 流量程式控制器：1 只

- A. 安裝於控制箱上後，再置於活動載具(由得標廠商提供)上，高度為適於站立操作。
- B. 應須能同時控制本所現場既有 2 套流量控制裝置與本次新增之 1 套流量控制裝置，配合本所提供之 4 個引火源，使能整合輸出達到 CNS15213-2 5.2 節標準規定 120g/s 之流量要求。
- C. 控制範圍：0.0~5.0 m³/min
- D. 訊號輸出：4~20mA 至少 8 點
- E. 訊號輸入：4~20mA 至少 8 點
- F. 顯示操作方式：HMI 人機介面 7" TFT LCD 16. 7M-color Touch Screen
- G. 操作電源：110V，單相，60 週波
- H. 須能記錄燃料量及/或流率及/或供給空氣量，且能將紀錄值同步輸出供本所其他資料擷取器記錄。
- I. 控制箱上提供緊急按鈕，以關閉流量控制裝置之流量比例控制閥。

三. 投標時廠商須提供流量計、流量比例控制閥及流量程式控制器元件原廠規格目錄，以供本所規格審查。

四. 履約期限：廠商應自決標次日起90日曆天(含星期例假日、國定假日或其他休息日)內完成。

五. 交貨地點：本所防火實驗中心(71150 臺南市歸仁區六甲里中正南路 1 段 2502 號)

六. 驗收方式：

- 1. 廠商所交貨品之設備性能和規格應符合本投標須知補充說明之規定，並提供規格證明相關文件。
- 2. 設備操作流量須符合或優於標準 CNS15213-2 5.2 節規定之要求，並提供性能測試報告。
- 3. 應檢附設備中文操作使用說明書、元件原始說明書、線路圖及保固書。

附錄二 期中、期末審查會議紀錄與回應

期中審查

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及急迫性，建議盡量籌備經費。	本年度經費有限，已依標準規劃試體設計及估價，俟後續年度如有編列後執行。
	建議設計一個試體框架結合試體及支撐牆。	依標準規劃之設備，即能結合試體及支撐牆。
鍾教授興陽	國內建築外牆立面隔熱材型式越來越多，有鑑於英國 Grenfell Tower 的案例，本研究建置大尺度設備非常重要，且有其意義。	謝謝委員意見。
林教授俊宏	報告蒐集各國測試標準，詳實完整。	謝謝委員意見。
	報告書圖 3-6 似乎無邊牆？	該圖係說明燃燒系統測試情形，尚未包含測試試體。
	將各國標準，用表格來比較，例如：燃燒源、木堆、瓦斯等。	已依委員意見補充於附錄。
	試驗之牆體細部設計應補充。	已依委員意見補充於內文。
柯教授佑沛	書面報告字體不一致，報告書第 9~11 頁字體較大。	謝謝委員意見，已修正字體大小。
	蒐集外牆立面隔熱材防火性相關測試標準及法規等資料是本計畫的重要工作項目，報告內涵蓋的標準法規資料多為歐、美、澳國家，亞洲國家只有中國資料，建議是否可增加一、兩個亞洲國家的相關資料。	已依委員意見，補充阿拉伯聯合大公國規定於第二章第三節。
	燃燒系統購置完成後，應有試體依標準流程測試燃燒。	本年度受限經費，僅能先就燃燒系統本身執行測試燃燒。

李教授訓谷	本計畫符合預期成果效益。	謝謝委員意見。
	本案建置之大尺度試驗裝置設備中，試體如何固定在背牆上之標準作業程序，建議補充於計畫中。	謝謝委員，已依委員意見補充於第四章。
	未來大尺度試驗的適用範圍，試驗評定基準之定義，建議未來能納入探討。	大尺度試驗仍為較完整、具代表性的測試法，其評定基準將參考各國規定進行探討。
張教授尚文	研究成果符合預期。	謝謝委員意見。
	國外法規比較後，應用於實驗。	謝謝委員意見。
	材料與建研所小、中實驗相同時，可以明年進行比對研究，今年實驗之材料可妥適規劃。	謝謝委員，已依委員意見補充於第四章。
蔡研究員銘儒	有關熱傳名詞請參考 CNS 標準引用。	已參考 CNS 標準修正相關名詞。
	案例主要發生於國外，國內新建應無此疑慮，主要在於既有建築改善，因此改善用材及工法宜整理及比較有無國外案例之用材及工法。	國內目前案例稀少，但有少數案例用材為聚乙烯材質，與國外類似，值得探討注意，相關案例補充於文獻回顧。
	法規與標準除國外之比較外，國內法規及標準應納入探討。	謝謝委員意見，已於第二、三章補充說明。
	CNS 15213-2 適用時機宜作探討及說明。	謝謝委員，已依委員意見補充於第四章。
梁教授漢溪	本年度之研究計畫名稱建議可以稍作修正，主要以建立設備評估及基準驗證為主。	謝謝委員意見，計畫名稱已核定，將於研究內容以建立設備評估為主。
	本案在建置大尺度試驗設備上，所需時程與經費亦可於研究中加以描述，以便有效掌控研究進度。	謝謝委員意見，相關時程及經費於第四章補充說明。
中華民國全國建築師公會	請考慮法規防火區劃的相關問題。	本案主要探討外牆覆材延燒，其會造成火焰從外部經開口蔓延到居室，造成防火區劃的失效，因此

		包含相關防火區劃問題。
	請考慮不同構造體（鋼構造、鋼骨鋼筋混凝土）不同防火需求，防火材料構造細部有所不同。	不同構造的細部行為會有差異，後續將規劃依據不同構造體之試驗來探討。

期末審查

審查委員	審查意見	研究回應
鄭教授復平	建議考量國內建築外牆特性，收集資料，例如國內大樓以15層樓左右居多，其棟距很多相當接近，就要多考慮鄰棟延燒的可能性，而更高的樓層則棟距會較大，但其不易救援，因此外牆立面隔熱材性能要求須更嚴格。	將配合國內建築外牆特性及參考文獻資料，整理歸納不同的性能要求。
	建議盡速建置實驗設備。	將視未來經費情形配合辦理採購建置。
方教授一匡	建築外牆立面隔熱的機理、案例、國內使用情況缺失問題等文獻蒐集詳盡。	謝謝委員意見。
	國外相關法規規定資料蒐集完整。	謝謝委員意見。
	本研究目前已完成試驗設備建置規劃及訪價，建議繼續完成設備建立，作為本所重要測試設施，並同時完成試驗操作、結果判讀相關使用手冊。	將視未來經費情形配合辦理及完成相關文件。
梁教授漢溪	設備端之建置可針對各細部予以評估需求及價格分析。	謝謝委員意見，將視未來經費情形配合辦理細部評估及價格分析。
	判定規則可先就小、中、大尺度，予以界定其適用範圍及判定方向加以探討。	將依委員意見，參考本案彙整之文獻資料，朝各尺度需求加以探討。
	判定準則未來量化評估部分可先予以了解。	謝謝委員意見，後續將配合設備建置後之實驗結

		果，予以量化要求。
張建築師尚文	研究符合預期成果需求。	謝謝委員意見。
	結論與建議可以考慮再依預期成果之目標來整理。	將參酌委員意見修正報告成果內容。
	歷次專家建議與回應，可考量納入。	已將歷次會議意見及回應，納入本案附錄。
	可以考慮於技術規則建築設計施工編 79-3 條第 2 項防止垂直延燒距離是否須修正，依簡報第 19 頁圖片所示，目前法規似不足以防止垂直延燒，可考慮明年研究案繼續研究。	防止垂直延燒距離值得加以探討，考量列入後續研究議題。
	25 樓以上高樓純住宅免防火避難綜合檢討，非純住宅需防火避難綜合檢討，已領得使照之純住宅變更為非純住宅時（申請變更低樓層為店舖）存在可能延燒之疑慮，建議就變更使用評定程序加做延燒試驗之可行性，列入後續研究議題。	變更使用評定程序加做延燒試驗之可行性，將視科技計畫規劃列入後續研究議題。
中華民國全國建築師公會	外牆修繕（老屋拉皮）之管理尚不完善，隔熱防火材之推動不易。	本案研究初步成果及後續研究，期能逐步完善外牆立面材管理方法。
中華民國結構工程技師公會全國聯合會	外牆材料國內是否有使用可燃材料？	在老屋拉皮、漏水改善及節能考量下，實已有部分案例。
	以汐止東方科學園區火害，外牆內側層間塞不完全，是向上延燒之原因之一。	本案主要探討外牆立面隔熱材防火性能，層間塞防火非屬本案研究範疇。
	外牆玻璃帷幕受鄰房火災高熱破裂後造成開口，可能會是鄰房火災延燒進入之路徑。	將配合國內建築外牆特性及參考文獻資料，整理歸納不同的性能要求。
財團法人台灣建築中心	本案例外牆立面隔熱材防火性能，與技術規則建築設計施工編 79-3、79-4	將視未來經費情形配合辦理及完成相關手冊或

	<p>條的性能要求有關聯性，後續研究可配合前開兩條規定，進行研擬外牆立面隔熱材防火性能相關技術手冊或判定原則，供未來評定中心審核認可參考。</p>	<p>判定原則。</p>
<p>主席 蔡組 長 綽芳</p>	<p>本案設備建置與實驗中心既有外牆耐火性試驗設備差異為何？在研究經費不足的情況下，可否援用既有設備進行試驗。</p>	<p>實驗中心既有外牆耐火性試驗設備係針對帷幕外牆及層間塞耐火實驗，而本案所探討的標準有指名為針對外牆立面貼覆材或系統的耐火性，較為符合本研究目的。</p>
	<p>外來建議增加國內外牆使用易延燒立面建築物之數量與未來趨勢之量化數據推估，以支持後續研究的必要性。</p>	<p>外牆立面隔熱材料的使用情形，在老屋拉皮、漏水改善及節能考量下，實已有部分案例，另因目前法令尚不明確，使部分生產廠商將產品裝修到外牆內側，而非其原定設計安裝到外牆外側，如能提供耐火性能驗證，可讓國內廠商在應用上有依循之規範。</p>
	<p>外牆表面起火，亦會受到鄰棟火災時的高溫輻射或碎屑飛火引燃，是否應考量防止此類延燒的鄰棟間距。</p>	<p>將配合國內建築外牆特性及參考文獻資料，整理歸納不同的性能要求。</p>

應用 CNS 國家標準大尺度試驗驗證建築外牆立面隔熱材防火性

參考書目

- [1] 內政部不動產資訊平台，<http://pip.moi.gov.tw/V2/Default.aspx>
- [2] 中央都市更新基金補助辦理自行實施更新辦理，106，內政部營建署。
- [3] 台北市「都市更新整建維護」，<https://www.tpewh.com.tw/>
- [4] 新北市「都市更新整建維護」，https://www.uro.ntpc.gov.tw/content/?parent_id=10375
- [5] 建築技術規則，內政部營建署。
- [6] CNS 15213-2-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。
- [7] 彭雲宏，2010，外牆整建專利技術分析與預測，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- [8] 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。
- [9] 陳佳玲，2018，建築外牆飾板防火性能研究初探，內政部建築研究所自行研究報告。
- [10] 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。
- [11] 孫詩兵等編著，2017，建築保溫材料性能及其表徵方法，化學工業出版社，北京。
- [12] Yi Wang, "Evaluation of the Fire Performance of ACM Wall Assemblies". 12th International Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods Conference, 2018.
- [13] Nathan White, Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components, 2014, THE FIRE PROTECTION RESEARCH FOUNDATION Report.
- [14] BR 135 - Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings, Third edition, 2013, BRE Global.

- [15] HAJPÁL, D.M., editor (2012) "Analysis of a tragic fire case in panel building of Miskolc". Integrated Fire Engineering and Response; 2012; Malta. Available from: <http://lacoltulstrazii.files.wordpress.com/2012/10/analysis-of-a-tragic-fire-case-in-panel-building-miskolc-hungary.pdf>
- [16] Duval, R. (2008) "Monte Carlo Hotel Fire", NFPA Journal, May/June 2008.
- [17] Baldwin, D., Leon, J.P.d. (2012) "Tower cladding in UAE fuels fire". Gulf News. 2012 May 2, 2012. Available from: <http://gulfnews.com/news/gulf/uae/housing-property/tower-cladding-in-uae-fuels-fire-1.1016836>
- [18] Abdullah, A. (2012) "Cigarette butt caused blaze at Al Tayer Tower". Khaleej Times. 2012 6 June 2012. Available from: http://khaleejtimes.com/kt-article-display-1.asp?xfile=/data/nationgeneral/2012/June/nationgeneral_June49.xml§ion=nationgeneral
- [19] Taber, B.C., Gibbs, E. (2007) "Full-Scale exterior wall fire test on a Composites Gurea exterior wall panel system". Canada: National Research Council of Canada, October 25, 2007. Document No. : Report No: B-4198.1.
- [20] [BS 476-6:1989+A1:2009](#). Fire tests on building materials and structures. Method of test for fire propagation for products
- [21] [BS 476-7:1997](#). Fire tests on building materials and structures. Method of test to determine the classification of the surface spread of flame of products
- [22] 網路新聞 <https://www.zaobao.com.sg/znews/sea/story20180214-835277>
- [23] 鏡報 (mirror), 2018,

<https://www.mirror.co.uk/all-about/grenfell-tower-fire>

- [24] 胡偉傑，106，英國倫敦西部 Grenfell Tower 大火問題分析，內政部建築研究所建築研究所簡訊第 97 期。
- [25] 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
- [26] 鏡周刊 網頁資料：<https://www.mirrormedia.mg/tag/59d76a8398d5a60e002040e6>
- [27] ICC. (2012) "2012 International Building Code (IBC)". USA: International Code Council.
- [28] NFPA. (2012) "NFPA 5000: Building Construction and Safety Code®". Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association.
- [29] NFPA. (2012) "NFPA 285: Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components ". Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association.
- [30] ASTM. (2013) "ASTM E84 -13a: Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials". West Conshohocken, PA, United States: ASTM International.
- [31] *NFPA (2008)*. "NFPA 259: Standard Test Method for Potential Heat of Building Materials" . Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association.
- [32] ASTM (2018), "ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials" , West Conshohocken, PA, United States: ASTM International.

- [33] FM Approvals. (2007) "ANSI FM 4880-2001(R2007): American National Standard for Evaluating; A) Insulated wall or wall & roof/ceiling assemblies; B) Plastic interior finish materials; C) Plastic exterior building panels; D) Wall/Ceiling coating systems; E) Interior or Exterior Finish Systems". Norwood, MA, USA: American National Standards Institute and FM Approvals; 2007.
- [34] UL (2017), "UL 1040: Standard for Fire Test of Insulated Wall Construction" .
- [35] Fire safety: Approved Document B, Building regulation in England covering fire safety matters within and around buildings.2019.
- [36] BSI. (2015) "BS 8414-1:2015 Fire performance of external cladding systems. Test methods for non-loadbearing external cladding systems applied to the face of a building". UK. : British Standards Institute; 2002.
- [37] LPCB. (2006) "LPS 1181: PART 4: ISSUE 1, Series of Fire Growth Tests for LPCB Approval and Listing of Construction Product Systems, Part Four: Requirements and Tests for External Thermal Insulated Cladding Systems with rendered finishes (ETICS) or Rain Screen Cladding systems (RSC) applied to the face of a building". UK.: Loss Prevention Certification Board.
- [38] Gaurav Agarwal, Richard Davis and Yi Wang, Evaluation of the Fire Performance of ACM Wall Assemblies , Society of Fire Protection Engineers, 2018.
- [39] CEN. (2007) "EN13501-1:2007: Fire classification of construction products and building elements-Part1: Classification using data from reaction to fire tests ". European Committee for Standardization; 2007.
- [40] *GB 8624-2012* : 建築材料及制品燃燒性能分級

- [41] DIN4102-1 : Fire behaviour of building materials and elements Part 1: Classification of building materials Requirements and testing
- [42] 朱春玲、季廣其，2012，中外建築外保溫防火標準對比，中國建築學研究院。
- [43] ETAG 004, GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL of EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS (ETICS) WITH RENDERING, 2013.
- [44] 上海市工程建設規範，2015，民用建築外保溫材料防火技術規程。
- [45] 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。
- [46] *GB/T 20284-2006*, 建築材料或製品的單體燃燒試驗
- [47] UAE Fire and Life Safety Code of Practice, Gen. Command of Civil Defense, Ministry of Interior, United Arab Emirates, 2018.
- [48] ISO. (2002) "ISO 13785-2:2002 Reaction-to-fire tests for façades --Part 2: Large-scale test". Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2002.
- [49] [DIN 4102-20:2017](#) Fire behaviour of building materials and building components – Part 20: Complementary verification for the assessment of the fire behaviour of external wall claddings.
- [50] 網頁資料
料: <https://sfpesocal.org/resources/LA%20SFPE%20Presentation%20Color.pdf>
- [51] FM global 網頁資料
料: <https://www.fmapprovals.com/product-alerts-and-news-events/approved-product-news/approved-product-news-recent-issues/2016/apn-volume-32-issue-2/wall-testing>

[52] 網頁資料:

http://www.phiko.kr/bbs/board.php?bo_table=z4_04&wr_id=4545

[53] Yoo, Yong-Ho. (2015) "A Comparison Study of International Fire Test Method for Façade(ISO 13785-2 Calibration Method)". Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology.

[54] BRE Global. (2012) " A comparison of BS 8414-1 & -2, draft DIN 4102-20, ISO 13785-1 & -2, EN 13823 and EN ISO 11925-2". BRE Report number CC 275194 issue 2.

[55] White, N. (2013) "Fire hazards of exterior wall assemblies containing Combustible Components", Proposal number FE2568, CSIRO.

[56] Eric GUILLAUME, *et al.* (2018) " Intermediate-Scale Tests Of Ventilated Facades With Aluminium-Composite Claddings ". 3rd European Symposium on Fire Safety Science.

[57] Miroslav Smolka, *et al.* (2016) "Semi-natural test methods to evaluate fire safety". MATEC Web of Conferences 46, 01003.

[58] Lars Bostrom, *et al.* (2018) "Development of a European approach to assess the fire performance of facades". European Commission.