

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究 內政部建築研究所協同研究報告(107年度)

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造 防火性能驗證之研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 107 年 10 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)

10715B0002

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造 防火性能驗證之研究

研究主持人：王榮進

協同主持人：林大惠

研究員：雷明遠、蘇鴻奇、胡幃傑、陳俊貴

研究助理：黃俊諭、張劭謙

研究期程：中華民國107年2月至12月

研究經費：新臺幣1369500元

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國107年10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)

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究

目次

表次	III
圖次	V
摘要	XV
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 研究目標與成效	2
第二章 研究方法與進度說明	5
第一節 本研究採用之方法	5
第二節 計畫時程與進度說明	7
第三章 文獻回顧	11
第一節 外牆工法與帷幕牆系統種類	11
第二節 層間塞工法	29
第三節 火災延燒現象分析	33
第四節 帷幕牆層間交接構造試驗標準	53
第五節 外牆或帷幕牆防火阻熱性能分析	58
第四章 帷幕牆與層間塞系統防火試驗	83
第一節 試體試驗	83
第二節 防火試驗屋修復與改裝	110
第三節 不同試體的試驗情況分析	114
第四節 第二次試體試驗	120

第五節 循環試驗設備規劃.....	122
第五章 外牆裝飾板延燒試驗.....	127
第一節 外牆飾板設計工法與材料分析....	127
第二節 耐燃性試驗.....	147
第三節 延燒試驗.....	173
第六章 結論與建議.....	195
第一節 結論.....	195
第二節 建議.....	196
附錄一.....	199
附錄二.....	201
附錄三.....	203
附錄四.....	207
附錄五.....	209
附錄六.....	215
附錄七.....	217
參考書目.....	239

表次

表 2-1	研究進度表	9
表 3-1	牆面裝修工程與類型	12
表 3-2	國際能源署之外牆用語	16
表 3-3	帷幕牆之性能分類	22
表 3-4	帷幕牆之特性	23
表 3-5	帷幕牆依材料分類	23
表 3-6	帷幕牆依框架分類	24
表 3-7	帷幕牆系統構法分類	25
表 3-8	玻璃帷幕牆構法	27
表 3-9	帷幕牆系統優缺點之比較	28
表 3-10	帷幕牆相關防火時效規定整理	36
表 3-11	火災發展各階段歷程基本特性	38
表 3-12	火災外牆噴出火焰溫度分佈	41
表 3-13	ASTM E2307-15b 試驗通過標準	54
表 3-14	BS EN 1364 之 SWOT 分析	55
表 3-15	ASTM E2307-15b 之 SWOT 分析	56
表 3-16	NFPA 285、ASTM E2307-15b 與 BS EN 1364 之比較分析	57
表 3-17	燃燒器流量	63
表 3-18	試驗歷程表(帷幕牆外部)	64

表 3-19	試驗歷程表(觀察室)	65
表 4-1	燃燒器流量	99
表 4-2	試驗歷程表(室外觀測).....	100
表 4-3	試驗歷程表(觀察室)	100
表 4-4	建築技術規則防火時效相關範圍內容	114
表 5-1	各試體組件列表	146
表 5-2	試體各材料耐燃性質	146
表 5-3	裝修材性質表	147
表 5-4	耐燃性試驗試體規格表	148
表 5-5	CNS14705-1 所規範之耐燃級數加熱時間	149
表 5-6	EPS、PS 和 XPS 耐燃試驗試驗歷程	150
表 5-7	EPS、PS 和 XPS 熱釋放率	150
表 5-8	EPS、PS 和 XPS 質量損失率	151
表 5-9	PU 試體試驗歷程	163
表 5-10	PU 試體熱釋放率	163
表 5-11	PU 質量損失率	164
表 5-12	耐燃試驗結果	172
表 5-13	延燒試驗參數表	175

圖次

圖 2-1	研究流程圖	8
圖 3-1	承重牆與非承重牆概述	11
圖 3-2	雙重壁系統概念圖	13
圖 3-3	雙層壁基本性能構成圖	13
圖 3-4	通氣層工法與密著工法	14
圖 3-5	整合式節能外牆組成之示意圖	15
圖 3-6	IEA 的先進整合式外牆分類階層圖	18
圖 3-7	由岩棉隔熱材和陶粒輕隔間幕牆板所構成的 外牆。	19
圖 3-8	外牆外保溫系統構造組成	20
圖 3-9	安裝層間塞對火焰延燒路徑之影響	29
圖 3-10	未使用支撐柱而引起層間塞	30
圖 3-11	層間塞材料內部纖維排列方向	31
圖 3-12	安裝完畢之層間塞剖面圖	32
圖 3-13	層間塞表面隔煙系統	32
圖 3-14	東方科學園區大樓火災後帷幕牆鋁構架殘景	33
圖 3-15	金像電子公司中壢廠大火情景	34
圖 3-16	2016 年杜拜阿德理斯飯店大火	35
圖 3-17	火災成長歷程示意圖	37

圖 3-18	火災延燒路徑類型	39
圖 3-19	火勢延燒路徑示意圖	40
圖 3-20	由橫長窗噴出火焰之等溫線圖	41
圖 3-21	鋁帷幕牆各構件破壞與火災歷程之關係 ...	42
圖 3-22	外牆/窗延燒路徑潛勢：(1)非耐火層間牆及非耐火玻璃窗，(2)耐火層間牆；非耐火玻璃窗，(3)耐火層間牆及耐火玻璃窗	43
圖 3-23	試體正立與背立面圖	44
圖 3-24	全尺寸鋼筋混凝土建築物	45
圖 3-25	各種開口組合及橫向火焰噴出實驗照片 ...	45
圖 3-26	EPS 延燒試驗	47
圖 3-27	實尺寸 EPS 外牆延燒試驗	48
圖 3-28	XPS 試體延燒試驗設置	49
圖 3-29	XPS 受帷幕牆影響延燒試驗設置	50
圖 3-30	不同外牆與帷幕牆間距 XPS 試體向下延燒之火焰	51
圖 3-31	XPS 試體在具有孔隙時的向上延燒試驗設置	52
圖 3-32	XPS 在 35%孔隙百分比時向上延燒	52
圖 3-33	BS EN1364 與 ASTM E2307-15b 加熱時間曲線比較	55
圖 3-34	A 廠商帷幕牆設計圖(正視圖).....	58

圖 3-35	A 廠商帷幕牆設計圖(測視圖).....	59
圖 3-36	A 廠商帷幕牆設計圖(平剖圖).....	60
圖 3-37	A 廠商帷幕牆與層間塞設計圖	60
圖 3-38	106 年度計畫案之試體外觀	61
圖 3-39	106 年度計畫案試體試驗屋 1F 試驗室之防護	62
圖 3-40	106 年度計畫案試體試驗屋 2F 觀察室之防護	62
圖 3-41	現場布置圖	66
圖 3-42	窗戶燃燒器火焰正視圖	67
圖 3-43	窗戶燃燒器火焰側視圖	67
圖 3-44	玻璃碎片掉落於窗戶燃燒器出火口	68
圖 3-45	熱像儀影像	70
圖 3-46	帷幕牆外表面各點溫度變化	71
圖 3-47	測試室內部溫度變化	72
圖 3-48	帷幕牆外表面與校正牆外表面規定溫度誤差變化	72
圖 3-49	測試室內溫度誤差變化	73
圖 3-50	測試室內 1 小時溫度變化	73
圖 3-51	測試室內部氣壓變化	74
圖 3-52	層間塞非曝火面的阻煙膠引燃現象	75
圖 3-53	層間塞非曝火面的阻煙膠引燃現象	75

圖 3-54	層間塞非曝火面阻煙膠燒焦	76
圖 3-55	帷幕牆的鍍鋅鋼板脫落	76
圖 3-56	帷幕牆的鍍鋅鋼板脫落	77
圖 3-57	層間塞背火面熱電偶布置	78
圖 3-58	層間塞非曝火面的溫度變化	79
圖 3-59	帷幕牆外表面火焰延燒限制範圍	81
圖 3-60	帷幕牆外表面窗戶以上 3.05 公尺溫度分布	81
圖 3-61	觀察室內帷幕牆非曝火面溫度變化	82
圖 4-1	ASTM E2307-15b 帷幕牆試體設計	84
圖 4-2	國外試驗現場	84
圖 4-3	安裝試體框架至防火試驗屋	85
圖 4-4	試體設計圖(正視圖)	86
圖 4-5	試體設計圖(側視圖)	87
圖 4-6	將骨架固定在試體框架上	88
圖 4-7	鍍鋅鋼板安裝	89
圖 4-8	強化玻璃安裝	90
圖 4-9	測試室內部窗戶開口上方使用岩棉進行保護	91
圖 4-10	觀察室外牆內表面使用岩棉進行保護，並在 層間塞上方施加阻煙膠	92
圖 4-11	測試室上方熱電偶配置	93

圖 4-12	測試室內表面熱電偶配置	94
圖 4-13	層間塞底部熱電偶位置	95
圖 4-14	層間塞背火面熱電偶位置	96
圖 4-15	層間塞背火面熱電偶位置	96
圖 4-16	帷幕牆面熱電偶布置	97
圖 4-17	觀察室內帷幕牆內表面熱電偶布置	98
圖 4-18	帷幕牆試體外觀	101
圖 4-19	窗戶燃燒器火焰	101
圖 4-20	窗戶燃燒器火焰側視圖	102
圖 4-21	實驗歷程熱像儀影像	103
圖 4-22	帷幕牆外表面各點溫度變化	104
圖 4-23	測驗室內部溫度變化	105
圖 4-24	帷幕牆外表面與校正牆外表面規定溫度溫差 變化	105
圖 4-25	測試室內 2 小時溫度誤差變化	106
圖 4-26	層間塞背火面熱電偶位置	107
圖 4-27	層間塞非曝火面的溫度變化	108
圖 4-28	帷幕牆外表面窗戶以上 3.05 公尺溫度分布	109
圖 4-29	觀察室內帷幕牆非曝火面溫度變化	109
圖 4-30	未整修前試驗屋外觀	110
圖 4-31	測試室的天花板鋪棉損壞	111

圖 4-32	樓板切除過程	111
圖 4-33	測試室內部修護(一)	112
圖 4-34	測試室內部修護(二)	113
圖 4-35	測試室內部修護(三)	114
圖 4-36	帷幕牆與層間交接構造相關防火時效規範示意圖	115
圖 4-37	106 年計畫案校正試驗之示意圖	116
圖 4-38	106 年計畫案進行之試體試驗示意圖	117
圖 4-39	本研究進行之試體試驗示意圖	118
圖 4-40	局部設計判定方式	119
圖 4-41	整體設計判定方式	120
圖 4-42	第二次試體試驗設計圖(正視圖).....	121
圖 4-43	第二次試體試驗設計圖(側視圖).....	122
圖 4-44	國外循環試驗設備(一).....	124
圖 4-45	國外循環試驗設備(二).....	124
圖 4-46	循環試驗設備規劃示意圖	125
圖 5-1	試體 A 設計圖(一)	128
圖 5-2	試體 A 設計圖(二)	129
圖 5-3	試體 A 設計圖(三)	130
圖 5-4	試體 A 設計圖(四)	131
圖 5-5	試體 B 之設計圖(一).....	133
圖 5-6	試體 B 之設計圖(二).....	133

圖 5-7	試體 B 之設計圖(三).....	134
圖 5-8	試體 B 之設計圖(四).....	135
圖 5-9	試體 B 之設計圖(五).....	136
圖 5-10	試體 B 之設計圖(六).....	136
圖 5-11	試體 C 之設計圖	138
圖 5-12	試體 D 之設計圖(一).....	139
圖 5-13	試體 E 設計圖(一)	140
圖 5-14	試體 E 設計圖(二)	141
圖 5-15	試體 E 設計圖(三)	142
圖 5-16	試體 F 設計圖(一).....	145
圖 5-17	EPS 試驗歷程圖	152
圖 5-18	試驗前之 EPS	152
圖 5-19	EPS 試驗後之 EPS	153
圖 5-20	試驗前之 PS	153
圖 5-21	試驗後之 EPS	154
圖 5-22	試驗前之 XPS	154
圖 5-23	試驗後之 XPS	155
圖 5-24	EPS、PS 和 XPS 熱釋放率與時間之關係	157
圖 5-25	EPS、PS 和 XPS 質量與時間關係	158
圖 5-26	EPS、PS 和 XPS 平均熱釋放率	159
圖 5-27	EPS、PS 和 XPS 平均質量損失率	160

圖 5-28	EPS、PS 和 XPS 點燃與熄滅時間	161
圖 5-29	PU 試體熱釋放率與時間關係	164
圖 5-30	PU 試體質量與時間關係	165
圖 5-31	PU 試體平均熱釋放率	166
圖 5-32	PU 試體平均質量損失率	167
圖 5-33	PU 試體點燃與熄滅時間	168
圖 5-34	試驗前之 PU1 試體	168
圖 5-35	試驗後之 PU1 試體	169
圖 5-36	試驗前之 PU2 試題	169
圖 5-37	試驗後之 PU2 試體(1).....	170
圖 5-38	試驗後之 PU2 試體(2).....	170
圖 5-39	試驗前之 PU3 試體	171
圖 5-40	試驗後之 PU3 試體(1).....	171
圖 5-41	試驗後之 PU3 試體(2).....	172
圖 5-42	CNS15213-1-建築物外牆立面防火試驗法- 中尺度試驗設備	173
圖 5-43	延燒試驗設備示意圖	174
圖 5-44	延燒試驗設備	174
圖 5-45	延燒試驗使用之平方火災燃燒器	175
圖 5-46	無背板 EPS-18K 在 50kW 引燃條件下試驗歷 程	176

圖 5-47	無背板 EPS-18K 在 100kW 引燃條件下試驗 歷程	177
圖 5-48	無背板 EPS-18K 單點引燃試驗歷程	178
圖 5-49	無背板 EPS-18K 單點引燃試驗熱像儀影像	179
圖 5-50	有背板 EPS-18K 單點引燃試驗歷程	180
圖 5-51	有背板 EPS 單點引燃熱像儀影像	181
圖 5-52	無背板 EPS-18K 線性引燃試驗歷程	182
圖 5-53	無背板 EPS-18K 線性引燃熱像儀影像 ...	183
圖 5-54	有背板 PS-18K 線性引燃試驗歷程	184
圖 5-55	有背板 EPS-18K 線性引燃試驗熱像儀影像	185
圖 5-56	無背板 PS 單點引燃試驗歷程	186
圖 5-57	無背板 PS 單點引燃熱像儀影像	187
圖 5-58	有背板 PS 單點引燃試驗歷程	188
圖 5-59	有背板 PS 單點引燃熱像儀影像	189
圖 5-60	無背板 PS 線性引燃試驗歷程	190
圖 5-61	無背板 PS 線性引燃熱像儀影像	191
圖 5-62	有背板 PS 線性引燃試驗歷程	192
圖 5-63	有背板 PS 線性引燃熱像儀影像	193

摘要

關鍵字：外牆板、帷幕牆、層間塞、延燒、防火安全、ASTM試驗標準。

一、研究緣起

現今許多高樓層建築物的營建技術如：各項設計(輕量化、模組化等)、材料、外觀以及工法技術均相當多元；以帷幕牆為外部構造的建築物也相當多，其中帷幕牆設計的材料選擇以及層間塞的施工結合方式，會明顯影響建築物在火災發生時，是否能夠有效將火勢控制在起火層，藉此減少人員與生命財產的損失。因此建築法規便有其相關的防火時效規定，如：建築技術規則設計施工編第79-3條規定，外牆為帷幕牆者，其牆面與樓地板交接處之構造應具有與樓地板同等以上防火時效，換言之，使用於該處之帷幕牆構造須具有1小時以上防火時效。此類法規的重要性亦可由一些建築物火災的實例可知，如國內的東方科學園區大樓火災、台北市東帝士大樓火災；國外近期則有2017年的夏威夷36層混合式大樓Marco Polo火災、英國倫敦Grenfell Tower大火等，均明顯指出高樓層建築物發生火災時，若無法將火勢控制在起火層，一但帷幕牆或層間塞發生破壞，火焰便會向上延燒至其他樓層。此現象會造成嚴重的人員傷亡與財產損失。因此帷幕牆層間構造的材料、設計工法與施工設計，均對火勢的控制有很大的影響性。

二、研究方法與過程

目前國內CNS試驗標準並無明確規定帷幕牆與層間塞的耐火與延燒試驗標準，但國外ASTM E2307-15b試驗標準則是能夠進行帷幕牆與層間塞的相關耐火與延燒試驗。本研究預計先進行修復防火試驗屋，使其符合ASTM E2307-15b的規範，之後再進行分析帷幕牆與層間塞設計工法。目的為驗證不同帷幕牆面與樓板交接處構造(建築物樓板周邊防火構造)之防火延燒性能，並藉此提升業者開

發創新具防火性能帷幕牆之研發能力，以及建立帷幕牆層間塞構造之防火性能標準測試方法與資料庫。在建築外牆板部分，本研究預計蒐集市面上應用之外牆工法以及相關外牆火災之文獻，對外牆板的防火性能進行分析，並且規劃試驗，探討相關防止延燒的設計方法。

三、重要發現

1. 帷幕牆層間交接構造防火性能試驗：

本年度試體試驗的結果與 106 年度的試體試驗結果進行比較，106 年的試體試驗帷幕牆牆體使用的骨架為鋁材，本年度進行之帷幕牆試體樑帶位置骨架為鋼材，使用鋁材之帷幕牆試體在樑帶部位的鋁受到高溫熔解後，樑帶位置的鍍鋅鋼板發生了脫落情形，造成了層間塞直接曝火防火性能失效，本年度進行之試體試驗，直到試驗時間 2 小時結束，帷幕牆牆體骨架與鍍鋅鋼板皆能維持支撐能力。但層間塞非曝火面溫度在 40 分鐘有一溫度量測點超過了溫度上限，推測是施工不良造成溫度提早超過上限。由於兩次試驗使用的層間塞工法相似，在試驗過程，若帷幕牆牆體能夠維持支撐效果，鍍鋅鋼板不脫落，則層間塞的防火性與阻熱性有機會達到一小時以上的防火時效。

2. 帷幕牆層間交接構造防火與阻熱性能評定方式：

日後的試驗評定可建議進行兩種設計工法之判定，第一種為局部設計之判定，主要在樑帶區域依照廠商帷幕牆與層間塞的層間交接構造設計，其他部位則是以防火耐燃材料阻隔，進行防火性能測試。此種測試法只判定樑帶區域的防火與阻熱時效性。第二種為整體試判定方式，目前已進行的實尺寸試驗皆為整體判定，除了 ASTM E2307-15b 規範之層間塞的遮焰與溫度判定，也能以 NFPA 285 輔助觀測外牆延燒情形與量測外牆曝火面與背火面溫度變化。

3. 外牆飾板材料防火性能研究：

本研究以 CNS14705-1 圓錐量熱儀試驗法進行了五種不同的聚苯乙烯材料

(EPS、XPS、PS)與四種不同聚胺脂(PU)的耐燃性試驗，其中 EPS、XPS 和 PS 試體皆無法通過耐燃 3 級測試，一種 PU 試體通過耐燃 1 級測試，一種 PU 試體通過耐燃 3 級測試。

中尺度延燒試驗選用了 EPS-18K、PS 與兩種不同的 PU 材料，目前已經進行了 EPS 與 PS 兩種試體的延燒試驗；試驗結果發現，不同的引燃火源與背板效率會影響試體的延燒型態，如 EPS-18K 在燃燒火焰的試驗條件，並沒有發生火焰垂直延燒的現象，但在單點火源與線性火源引燃的條件，則是可以觀察到火焰垂直延燒的現象。此外，EPS-18K 在各試驗條件下，均會發生熔解並向下滴落燃燒的現象。PS 試體在單點火源與線性火源引燃的條件，可觀察到垂直延燒的速度會比 EPS-18K 慢，但在延燒過程所產生的火燄會比 EPS-18K 大。

四、主要建議事項

建議一

立即可行建議：ASTM E2307-15b 相關設備的修改

主辦機關：內政部建築研究所

目前內政部建築研究所防火實驗中心已經具有 ASTM E2307-15b 試驗法的試驗屋與燃燒器，並能依據測試結果判定層間塞是否具有建築法規所要求的防火與阻熱性。但循環試驗機構尚未完全建置，建議後續可增添該設備之功能。此外，國外另有 NFPA 285 試驗法來判定外牆的防火、阻熱與延燒性能。目前也將 ASTM E2307-15b 試驗屋的樑帶空間位置特別設計一個連接構件，當安裝此連接構件便可依照 NFPA 285 試驗法來測試外牆的防火、阻熱與延燒性能試驗。

建議二

中長期建議：提昇帷幕牆、層間塞的防火與阻熱性能

主辦機關：內政部建築研究所

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究

協辦機關：帷幕牆協會、防火材料協會

由本計畫的測試結果發現，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，並無法完整確保達到建築法規要求的防火與阻熱時效性，原因為各項構件的材料、施工與接合部保護措施均會影響帷幕牆與層間塞的防火與阻熱性能。因此帷幕牆與層間塞的整合設計，除了材料的選擇之外，尚需要進行防火與阻熱的試驗才能確定是否達到建築法規所要求的標準。此ASTM E2307-15b試驗法能夠驗證各帷幕牆與層間塞結合工法的防火與阻熱性能。

ABSTRACT

Keyword : Exterior Wall Panel, Curtain Wall, Perimeter Fire Containment Joint, Flame spread, Fire Safety, ASTM E2307 Fire Test Standard

Curtain walls are widely used in high rise building design. If the flame penetrates the perimeter fire containment joint, it will lead to loss of human life and properties. ASTM E2307-15b is a fire test method to test fire resistance of the perimeter fire containment joint. According to ASTM E2307-15b fire test standard, there is the design drawings for the full size equipment, and refer to NFPA 285 to adjust details of equipment. The 2-story of the real size equipment, which the upper room is observation room and the lower room is test room. There is the test frame of real size equipment, can be used to install the calibration wall and test specimen.

In this rearch, we have conducted ASTM E2307-15b fire test. It was found that the perimeter fire containment joint can not reach the one-hour fire resistance. Compared with the ASTM E2307-15b test conducted last year, the positions of the window burner and window opening were different. When we build the fire test standard in Taiwan, these two test results should be refered to. In the future, we will interact with other manufactures to plan ASTM E2307-15b fire test for further researches.

In the fire resistance of exterior wall panel part, we have conducted the cone calorimeter test of two specimens EPS and PU. The test results showed that only PU can reach the fire resistance classificaiton 3. In the future we will interact with other manufactures for further researches.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

現有建築物外牆大多是以水泥、磚造、鋼筋混凝土、木材與帷幕牆...等為主；結構類別又可分為單一壁面與雙重壁面。在營建技術朝向輕量化、模組化的發展中，以帷幕牆為外圍構造，或是建築外牆翻修的裝飾材等相關設計與施工技術則不斷的發展與改進。但由一些建築物火災實際案例可發現，不論是單一壁面或雙重壁面，若該建築物的設計工法不佳或使用錯誤的材料，便會使得該棟建築物在火災過程，無法有效控制火勢，一但發生火焰向上延燒現象，便會造成產產與生命嚴重損失。如國內的東方科學園區大樓火災、台北市東帝士大樓火災、中壢金像電子公司中壢廠大火；國外的洛杉磯歐美中心大樓火災、美國芝加哥LaSalle Bank 大廈火災、夏威夷36層混合式大樓Marco Polo火災、英國倫敦Grenfell Tower 大火...等實際案例，均有嚴重的財產損失與人員傷亡。

有鑑於火災延燒現象的嚴重性，便有許多研究著重於基礎火災延燒現象、樓板和牆面銜接之層間塞的施工設計，更甚至有相關的標準試驗規範，如ASTME2307-15b、NFPA285、BS EN 1364、UL2079...等[1-5]。由於先前國內的CNS試驗標準並無明確規定帷幕牆的耐火與延燒試驗標準，也未有層間塞的防火與阻熱試驗規範[6-9]；但於104年度建研所研究計畫先行比較各國際試驗標準[9]，其中以ASTM E2307-15b[1]的試驗標準較能觀察到建築外牆、帷幕牆結構的變形、脫落等現象，並同時觀察層間塞在試驗過程是否有產生變形、縫隙、燃燒...等。此外，在試驗過程的煙流變化也能夠一併觀察。105年度建研所計畫先將ASTM E2307-15b[1]的試驗標準，研擬出CNS試驗標準的草案，該標準草案於106年度已經審查完畢，預計未來會公告執行。

該試驗標準的相關設備，建研所於105年度與106年度的研究計畫[10,11]，依據ASTM E2307-15b[1]與NFPA 285[2]建置「外牆與層間縫隙耐火試驗設備」，該

設備已經完成相關校正試驗，並進行國內第一次的帷幕牆與層間塞防火阻熱性能試驗。此設備能作為國內常用之建築外牆、外牆裝飾材料、帷幕牆或各式層間塞材料。

第二節 研究目的

目前建研所防火試驗中心已依據ASTM E2307-15b[1]與NFPA 285[2]建置「外牆與層間縫隙耐火試驗設備」並於106年度建研所研究計畫[11]，執行國內第一次帷幕牆與層間塞防火與阻熱性能試驗。此外，ASTM E2307-15b[1]試驗標準已納入CNS試驗標準草案亦審查完畢，於未來會有CNS相關的測試方式與評定標準。由於目前國內依據ASTM E2307-15b[1]測試標準的研究案例尚未完善，因此本研究以測試建築外牆裝修系統、帷幕牆與層間塞設計工法為目標；藉此提升相關業者開發具防火與阻熱性能之產品，以及建立相關試驗成果資料庫，其中下列四點為研究重點：

- (1) 帷幕牆表面延燒特性以及層間交接構造的防火時效探討。
- (2) 協助建築主管機關、防火材料評定機構建立建築技術規則有關帷幕牆層間交接構造(牆面與樓板交接處構造)之防火性能評定認可基準。
- (3) 擬透過各國可燃性外牆飾板火災之相關文獻收集，分析可燃性外牆飾板的火災特性，探討相關的防止延燒設計手法。
- (4) 配合現行法規提出帷幕牆層間交接構造及外牆飾板使用限制與建議，未來可供設計者及相關主管機關制定法規之參考。

第三節 研究目標與成效

本研究預計建立建築技術規則有關帷幕牆層間交接構造(牆面與樓板交接處構造)之防火性能評定認可基準；原因為國內CNS試驗標準對帷幕牆性能試驗尚無標準試驗方式，因此現今多以該組成材料的防火時效作為判斷依據，而帷幕牆

與建築物整合之後的遮煙性能亦無法判定。有鑒於此，本研究以國外ASTM E2307-15b的試驗標準[1]，將國內常用的帷幕牆設計與材料進行試驗，並觀察試驗過程產生的相關現象；亦希望能將此ASTM E2307-15b試驗標準[1]納入國內相關的CNS試驗標準。

目前本所已比照 ASTM E2307-15b 試驗法之規範，按照防火試驗屋之設計圖，並參考 NFPA 285 之設備細節進行適當調整以及完成建置兩層樓的防火實驗屋，上層為觀察室，下層為測驗室。在 106 年度建研所計畫「帷幕牆層間縫隙構造防火性能及設計構法之研究」[11]，已經完成了校正試驗並進行了一次試體試驗，本年度計畫案預計先完成試驗屋之修改以及維護，著重探討帷幕牆層間交接構造在不同材料與施工構法上的防火時效差異性，將試驗結果納入後續相關法規與試驗標準的判定參考依據。建築外牆板部分預計蒐集國內外常見之外牆飾材工法進行分析，並且規劃試驗探討外牆板之防火性能。

本計畫預計有以下成效：

1. 完成外牆與層間交接構造耐火試驗設備的操作手冊。
2. 提出具有防火時效性之設計工法。
3. 研提增修建築技術規則有關帷幕牆層間交接構造(牆面與樓板交接處構造)及外牆飾板之防火性能規定建議。
4. 協助建築防火材料評定機構建立帷幕牆層間交接構造(牆面與樓板交接處構造)之防火性能有關評定認可基準。

第二章 研究方法與進度說明

第一節 本研究採用之方法

文獻分析

本研究計畫將依照計畫之研究議題，蒐集包含國內外建築外牆板、帷幕牆以及層間塞之整合設計工法、測試案例以及相關文獻資料，並藉由106年度建研所研究計畫 [11]於帷幕牆與層間塞防火阻熱性能之相關研究成果進行比較分析與歸納整理；作為本研究計畫在實驗設計規劃階段之基礎參考。希望藉由收集文獻的分析與比對能夠明白國際間與本研究議題相關之發展方向與現況，作為本研究計畫報告與投稿論文撰寫之文獻回顧資料庫。

專家諮詢法

研究結果經初步整理後，研究團隊將定期邀請相關學者以及產業界、工會專家進行意見溝通交流，並針對研究內容進行審議，提出應修正及增刪之意見，作為充實、加強本研究計畫內容之參考。並擇期辦理期中、期末簡報來說明研究計畫執行成效、進度及所遭遇之問題。

實尺寸實驗驗證

本研究於實尺寸實驗驗證主要探討，不同建築外牆板、帷幕牆的耐火性與延燒試驗以及帷幕牆層間縫隙構造防火性能測試。

目前建築研究所防火實驗中心已具有ASTM E2307-15b試驗標準[1]的測試設備，測試標準的校正牆試驗以及溫度曲線均已完成；並另有完成國內第一次帷幕牆與層間交接構造的防火與阻熱性能試驗。由於國內僅有這一次的相關測試結果，該結果也顯示層間塞尚未達到60分鐘以上的防火時效；因此本年度研究會藉由第一次試驗的經驗，探討各種材料的性質與接合工法之外，亦會額外測試其他不同設計工法的建築外牆板、帷幕牆與層間塞，藉此瞭解市面上廠商所採用的設

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究

計工法是否具有防火與阻熱性能。

研究採用方法之原因

ASTM E2307-15b試驗標準[1]能夠測試建築外牆或帷幕牆的結構變形、延燒、脫落等現象，亦能測試層間縫隙阻火材在測試過程是否有產生變形、縫隙、燃燒...等現象；此外在試驗過程還能同時觀察煙流情況。此ASTM E2307-15b[1]試驗標準已納入中華民國國家標準(CNS)草案審查完畢，相關主要設備於建築研究所防火試驗中心已完成建置；並於106年度建研所研究計畫執行國內第一次的帷幕牆與層間縫隙構造的防火與阻熱性能試驗[11]。該試驗結果清楚顯示帷幕牆的結構破壞過程，煙流變化以及層間縫隙阻火材失效的情況。有鑑於ASTM E2307-15b[1]試驗標準在未來會納入中華民國國家標準(CNS)，因此本研究預計分析國內常用之發生火焰延燒時所產生的各種結構變化現象，以及層間縫隙阻火材的防火與阻熱性能。

研究過程中可能遭遇之困難

目前建築研究所防火試驗中心，將ASTM E2307-15b試驗標準[[1]的相關設備建制完畢，但是相關設備與試驗屋的使用壽命與維護概況仍須注意。於106年度建研所研究計畫共進行9次的校正牆試驗以及一次的帷幕牆實體試驗[11]。在校正牆試驗的過程發現，該校正牆每進行一次試驗之後，便需要進行修補的動作，若進行3次的校正牆試驗，該校正牆則需要進行大面積的相關耗材替換，因此該校正牆的使用壽命仍須觀察注意。此外，試驗屋的內部相關隔熱裝潢，也開始有脫落的情形，於層間隙縫處的樓地板也開始有少量的龜裂現象。因此相關設備與試驗屋必須要有維護廠商進行按時維護。

本研究會再進行建築外牆、帷幕牆以及層間縫隙阻火材的防火與阻熱性能試驗，但現行設計與工法種類繁多，若要將所有設計與工法納入本研究全面探討，則會面臨經費與執行期限的限制。因此本研究先以透過文獻收集的方式，僅針對市面

上最常用的設計工法進行試驗。

第二節 計畫時程與進度說明

在內政部建研所 106 年計畫案[11]中，已經完成了試體試驗之建置，在本年度計畫中，預計蒐集相關帷幕牆與層間交接構造與建築外牆相關工法文獻，並且規劃兩次帷幕牆與層間交接構造防火性能試驗，在第一次試驗完成後進行防火試驗屋之修改與維護，針對試驗結果進行討論，並且規劃第二次試驗與建築外牆板防火性能試驗。圖 2-1、表 2-1 和為本研究自 107 年 2 月 27 日至 12 月 31 日之時程規劃。

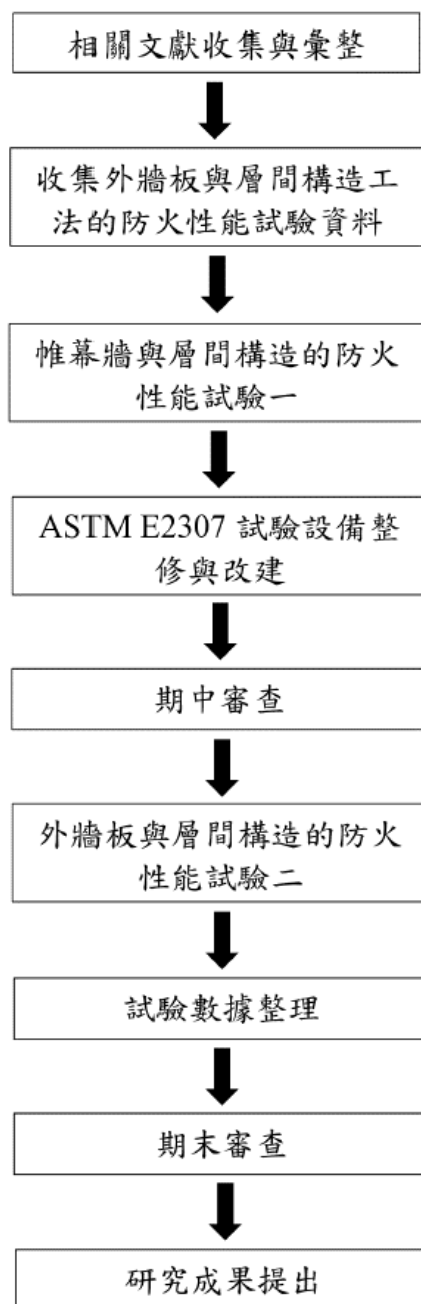


圖 2-1 研究流程圖

(本研究製作)

表 2-1 研究進度表

月 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	第 11 個 月	備註
相關文獻收集 與彙整	■	■										
收集外牆板與 層間構造工法 的防火性能試 驗資料	■	■	■									
帷幕牆與層間 構造的防火性 能試驗一		■	■	■								
ASTM E2307 試驗設備整修 與改建					■	■	■					
期中審查						■	■					
帷幕牆與層間 構造的防火性 能試驗二						■	■	■	■	□		
試驗數據整理								■	■	□		
期末審查									■	□		
研究成果提出									■	□	□	
預定進度 (累積數)	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
說明： 1 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。 2 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每一小格粗組線為一分，統計求得本案之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。 3 科技計畫請註明查核點，作為每一季所預定完成工作項目之查核依據。												

(本研究製作)

第三章 文獻回顧

第一節 外牆工法與帷幕牆系統種類

1. 外牆工法

隨著建築技術的發展與應用材料轉變，不同設計工法與材料的選擇會直接影響到建築物的使用年限，其中建築物的外牆是直接影響居住環境品質與安全的重要因素。建築物依外牆的構造型式可分為承重與非承重牆[12, 13]，如圖 3-1 所示。

- (1) 承重牆：主要是承受本身重量及本身受地震、風力之外，還有承載及傳導其他外壓力與載重之牆壁。外圍承重牆主要大多是以鋼筋混凝土所建造，而外牆表會再以飾面材料裝修施工，目前是國內建築物使用最廣泛的建築外牆構造方式。
- (2) 非承重牆：除承載本身重量及所受之地震力、風力外，不再承載或傳導其他載重之牆壁。此類牆體以砌磚或其他方式施工，例如空心磚、玻璃帷幕牆等。

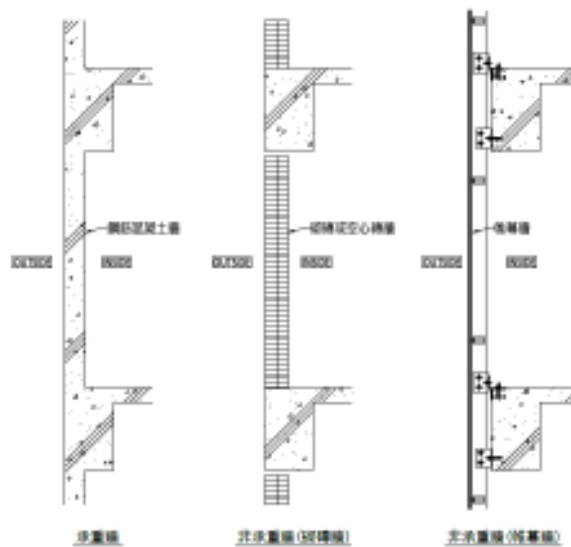


圖 3-1 承重牆與非承重牆概述

(資料來源：王琇雄，外牆吊掛石材空縫設計之研究。國立成功大學建築研究所碩士論文，2013 年。)

建築外牆的構法可分為：乾式外牆構法與濕式外牆構法[14-16]。

(1)乾式外牆構法：主要是整體建築結構系統與外牆系統是以繫件所連結，可應用於鋼骨或混凝土構造。依安裝於結構體的方式可分為骨架式與嵌板式兩種。外牆材料的種類可分為金屬、玻璃帷幕牆系統、複合式系統、預鑄混凝土板帷幕牆(PC版)等。

(2)濕式外牆構法：為在施工現場配合泥水工程澆灌混凝土之構法，主要是外牆與整體建築結構為一體澆置完成，主要用於鋼筋混凝土構造。其外牆面裝修工法包含粉刷類、塗裝類、貼面類等。

建築外牆的裝修材料與工法：

由於外牆構法可分為乾式與濕式兩種構法，而外牆的裝修類型可依據材料種類的不同再加以分類，如表 3-1所示。

表 3-1 牆面裝修工程與類型

牆面裝修工程 \ 牆面類型	外牆	內牆
粉刷類牆面	○	○
磁磚牆面	○	○
貼石牆面	○	○
木質材牆面		○
貼壁布(紙)牆面		○
噴磁磚牆面	○	○
塗裝工程	○	○

(本研究製作)

於歐、美、日等國家，在建築外牆技術的發展過程，雙重壁構法均發展多年，但此類設計工法於國內較少使用(如圖 3-2所示)。雙重壁外牆主要能夠提昇外牆的隔熱性、防水性、耐久性、隔音性與防止結霧...等，並依照多層設計的原則，分別以內牆體、內牆表面層、隔熱層、支持層、支持層固定系統、外牆材、外牆材固定系統所構成之牆面系統，圖 3-3所示。雙重壁外牆依據形式可分為透氣

型、通風型以及密閉空氣層型，而外層材料另可區分為鋁金屬板、耐候性鋼板、GRC板、ALC板、陶質板、磁磚複合板、石材複合板、玻璃...等[17]。

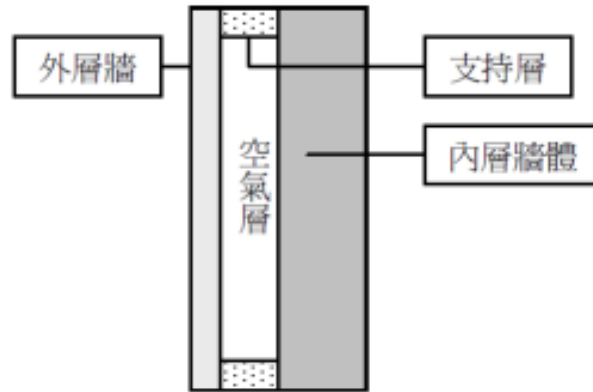


圖 3-2 雙重壁系統概念圖

(資料來源：顧宗沛，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，2004 年。)

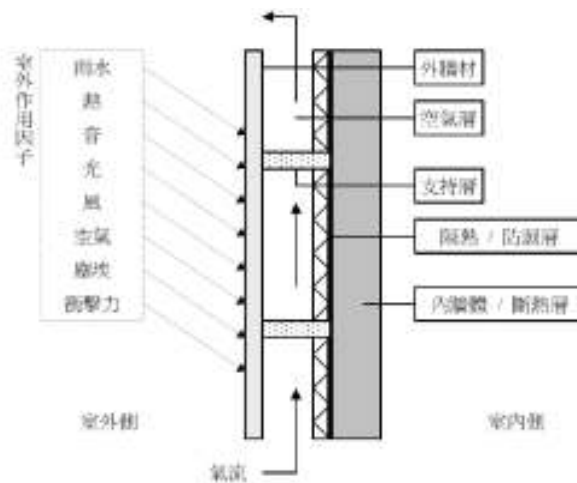


圖 3-3 雙層壁基本性能構成圖

(資料來源：顧宗沛，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，2004 年。)

雙重壁外牆若以外斷熱的隔熱改修工法，可分為通氣層工法與密著工法，其設計主要是在外牆材與既有牆體之間設置空氣層或裝置隔熱材，如圖 3-4 所示。

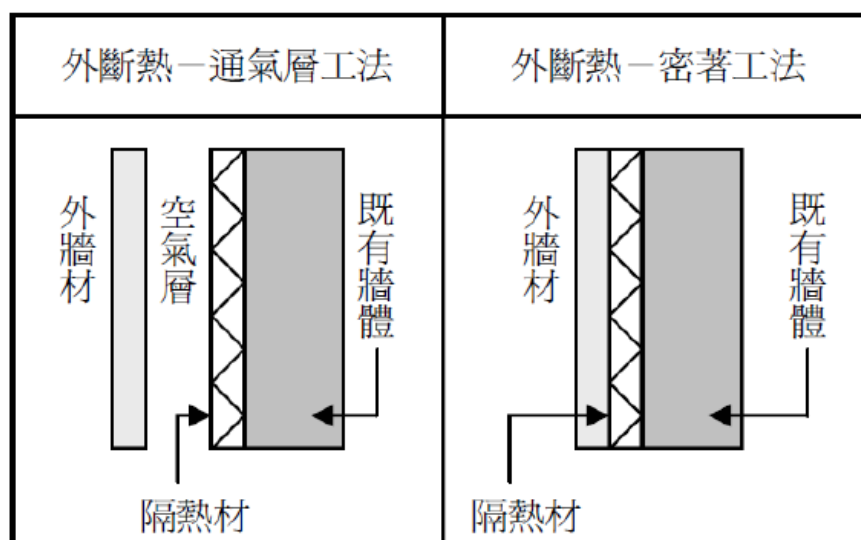


圖 3-4 通氣層工法與密著工法

(資料來源：顧宗沛，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，2004 年。)

國內建築外牆雖然較少發展雙重壁構法技術，但為了提高建築物外殼相關的節能特性，主要是另外發展各種有機或無機的隔熱材料應用於建築物外牆的裝修系統。例如，發泡聚苯乙烯 (Expanded Poly-Styrene；簡稱為 EPS) 的隔熱板具有輕量、經濟、耐水性、緩衝性佳與施工容易等優點，已有相關應用的研究成果 [18]。若將 EPS 應用於建築物外牆的裝修材料，其 EPS 材料之熱傳導係數約為 0.033 至 0.035 W/mK，遠低於一般磁磚之熱傳導係數約為 1.3 W/mK 或其他外牆之飾材及隔熱材，在一般常見之隔熱材料當中又以 EPS 材料之熱傳導係數為最低，故 EPS 材料屬優秀之隔熱材料。此外，當外牆裝修材剝落時，會具有公共安全危險的機率產生，然而 EPS 材料具有重量輕的特點，若以二丁掛尺寸之 EPS 材料，由 50 公尺高處掉落所產生的動能為 $1.668 \text{ kg}\times\text{m}^2/\text{s}^2$ ，並不會對人體造成傷害，而磁磚約在 7 公尺高處掉落所產生之動能為 $20.992 \text{ kg}\times\text{m}^2/\text{s}^2$ ，這會對人體造成傷害。因此 EPS 材料能夠大幅提升外牆飾材之安全效益，但該 EPS 材料是否能夠通過建築相關的防火時效要求，則需要進一步的試驗。

2.外牆應用

根據內政部建研所研究報告「建築物節能外牆之應用研究」[19]，國內外現有節能相關規範的整合式節能外牆，延伸整合複式帷幕(DSF)、環境感應式立面(RBE)或太陽光電(PV)等主動節能之創新型外牆設計，可整理歸納出外牆組成如圖 3-5：

「整合式外牆」的組成，牆+開口部+遮陽+PV板或牆+牆(雙層牆DSF)

其中，

牆 = 主牆材料 + 面磚或空氣層等 (剖面)；

開口部 = 窗框 + 玻璃；

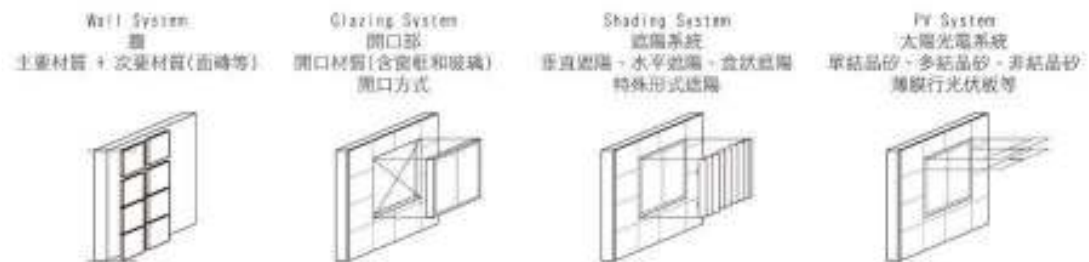



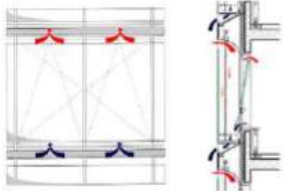
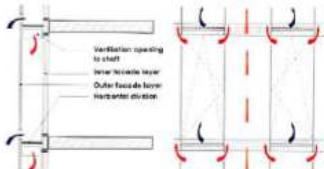


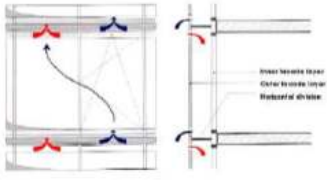
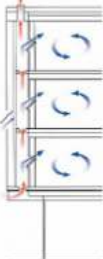
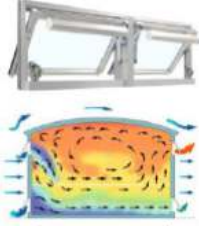

圖 3-5 整合式節能外牆組成之示意圖

(資料來源：陳嘉懿，鄭泰昇、潘晨安、馬瑜嬪、黃紹筑、陳思吟，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。2015年。)

表 3-2 列出國際能源署 (IEA) 建築與社區節能 (ECBCS) 執委會 2004-2011 年推動方案中，集結全球十七國，對於外牆類型與構件整合所採用之用語。另外 IEA 整合了比利時建築研究學會 [BBRI, (2002)] 及美國 USA [Perino, M(2005)] 的外牆立面型式分類法，如圖 3-6，說明了先進整合式立面及各類型外牆立面構件之階層從屬關係。

表 3-2 國際能源署之外牆用語

英文用語及圖說	中文用語	定義
AIF (Advanced Integrated Façade)	先進整合式立面	運用先進可動式智慧構件整合於外牆的立面設計，以達到室內外環境調適、節能、通風、美觀、隱私等目標。如圖 2-1，根據國際能源署之定義，可分為 TVF, CW, DSF...許多子項目。
DSF(Double Skin Façade)  (IEA, 2008)	複式帷幕 / 雙層立面	複式帷幕包含內、外雙層透光帷幕及介於中間的間隔或空氣層，內外層帷幕都可替換選用單層或雙層玻璃。實務上兩層之間的深度常介於 20-100 公分，並運用自然通風或機械排熱。雙層之間常設置遮陽及百葉以減少直射熱。把外牆當成室內外之間的“動態濾網”觀念取代了傳統上把外牆當成“靜態屏障”的模式
CW (Climate Wall)  (IEA, 2008)	氣候調節牆	複層立面室外側採雙層玻璃、室內側採單層玻璃或帷幕，兩層之間透過機械通風與建築物通風系統整合，內層玻璃下方留設 10mm 以下小縫隙，以供氣流進入空氣層
TVF(Transparent Ventilated Façade)	透光垂直通風立面	統稱具垂直通風設計之透光複式帷幕立面
BF (Buffer)  (IEA, 2008)	中空熱緩衝層複式帷幕	以雙層玻璃間的靜態空氣層作為熱緩衝區，外氣僅在平衡風壓時才會流入 [Haase, M (2005c)]
BW (Box Window)  (IEA, 2008)	盒狀通風窗複式帷幕	將複式帷幕分割成垂直及水平的盒狀窗，冷空氣可由盒狀窗下方進入，熱空氣從盒狀窗上方排出。傳博蓄熱牆(Trombe walls)亦可以嵌入盒中整體設計。[Haase, M (2005c), Oesterle, et al (2001)]
SB(Shaft Box)  (IEA, 2008)	豎井盒狀通風窗複式帷幕	複式帷幕的盒狀窗之間有垂直豎井，冷空氣自盒狀窗下方進入後，熱空氣在盒狀窗上方的側邊排到豎井帶出。[Haase, M (2005c), Oesterle, et al (2001)], Compagno, A (2002)].

<p>C (Corridor)</p>  <p>(IEA, 2008)</p>	<p>走廊式複式 帷幕</p>	<p>複式帷幕的內外層空間依樓層以走廊水平分割，進氣及排氣氣流方向如圖示，以避免下層所排出廢氣成為上層的進氣。 [Haase, M (2005c), Oesterle, et al (2001)].</p>
<p>MS (Multi-story)</p>  <p>(IEA, 2008)</p>	<p>多樓層通風 複式帷幕</p>	<p>複式帷幕之間空氣層貫穿多個樓層，中空層外側可改用可動式百葉取代，當開啟狀態時，便不具有雙層牆效果。 [Haase, M (2005c), Oesterle, et al (2001)]. 美國的 Twin Façades 也屬於此一類型。[Perino, M (2005)]</p>
<p>OVF (Opaque Ventilated Façade)</p>	<p>不透光通風 立面</p>	<p>以不透光的傳博蓄熱牆(Trombe walls) 應用及通風設計為主的立面</p>
<p>SW(Swindow)</p>  <p>(IEA, 2008)</p>	<p>智慧通風窗</p>	<p>為自然通風而設計，可連動整合空調系統，基本組構包含水平轉軸窗，藉由風壓平衡桿設計來調適進氣及排氣的控制。 [Takahashi, Y (2005)].</p>
<p>Light Shelf</p>  <p>(IEA, 2008)</p>	<p>導光板</p>	<p>導光板將窗戶分為上下兩個部分，上部窗戶比較小。對上下兩部分採取不同性能的玻璃，以取得最佳的採光效果。上部窗戶採用可見光透射率高、太陽能得熱係數適中或較低的玻璃，比如光譜選擇型 Low-E 玻璃，盡可能多的引入可見光，同時避免過多熱量進入室內。</p>
<p>Glazing</p>	<p>開口部</p>	<p>開窗面部位</p>
<p>fins</p>	<p>垂直遮陽</p>	
<p>Self-Shading</p>	<p>自體遮陽</p>	<p>透過建築物本身造型的遮陽方式，如量體堆疊或樓板延伸之陽台等等。</p>
<p>NV(Natural Ventilation)</p>	<p>自然通風</p>	<p>運用風力及浮力通風散熱</p>
<p>MV(Mechanical Ventilation)</p>	<p>機械通風</p>	<p>運用風扇排熱</p>
<p>HV(Hybrid Ventilation)</p>	<p>複合式通風</p>	<p>自然機械併用通風</p>

(資料來源：IEA 2008)

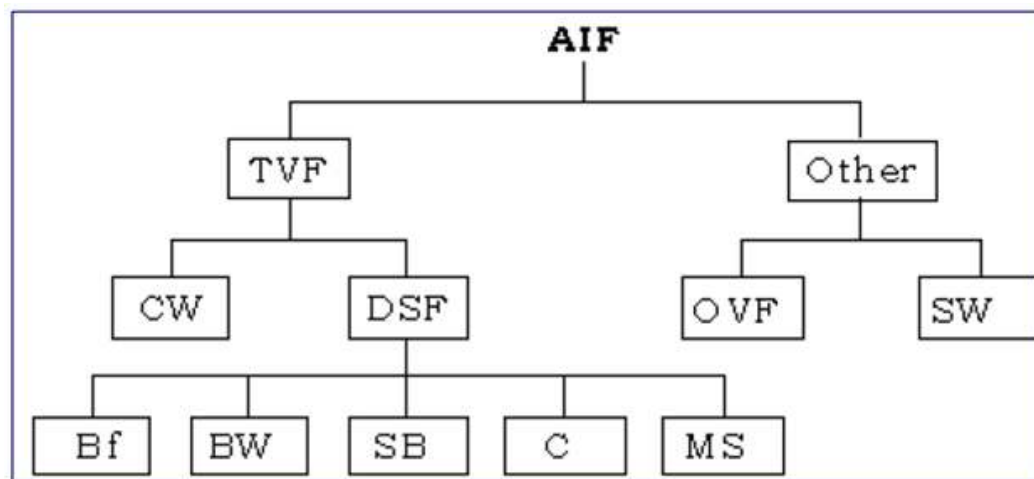


圖 3-6 IEA 的先進整合式外牆分類階層圖

(資料來源：陳嘉懿，鄭泰昇、潘晨安、馬瑜嬪、黃紹筑、陳思吟，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。2015年。)

在牆體構造及材料的部分，根據內政部建研所研究報告「建築物節能外牆之應用研究」[19]，在節能外牆的技術中，節能需增加隔熱性能與降低日射吸熱，擁有良好隔熱層的鋁金屬帷幕牆因為熱傳透率低，常被使用在外牆施作上，另外輕量化的玻璃與金屬外殼，只要加強中間空氣層及隔熱處理，也能成為優良的外牆外殼。下列為兩種節能外牆構材構造的參考範例，如圖 3-7 與 3-8 所示。

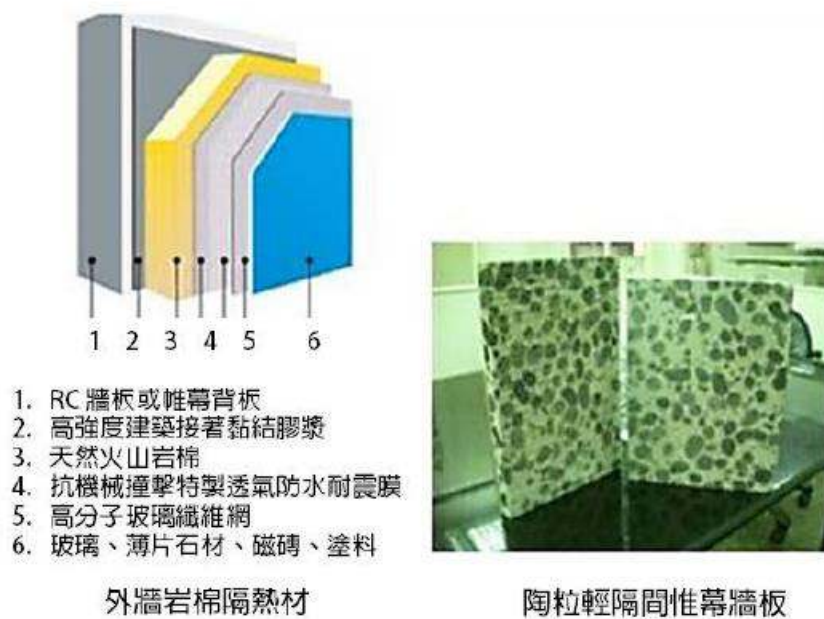


圖 3-7 由岩棉隔熱材和陶粒輕隔間幕牆板所構成的外牆。

(資料來源：陳嘉懿，鄭泰昇、潘晨安、馬瑜嬪、黃紹筑、陳思吟，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，2015年。)

外牆外保溫及防水裝飾系統 EIFS：根據國際建築規範 ASTM 定義，外牆外保溫系統(Exterior Insulation and Finish System，EIFS) 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，已證實相對於磚塊、灰泥及水泥纖維壁板，EIFS 是控制熱和濕度「表現最好的覆層」。其構造包含：

- (1)防水層 (Water-resistive barrier / WRB)：覆蓋襯底。
- (2)平面排水：在 WRB 與絕緣板之間，常用黏合劑塗在 WRB 上的垂直帶。
- (3)絕緣板：通常由發泡聚苯乙烯 (EPS)，該固定用黏合劑或機構在基底。
- (4)玻璃纖維：增強網埋置在底塗層。
- (5)水底性塗層：施加在絕緣的頂部以用作耐候阻隔。
- (6)表面塗層：常使用不退色和抗裂丙烯酸共聚物技術。

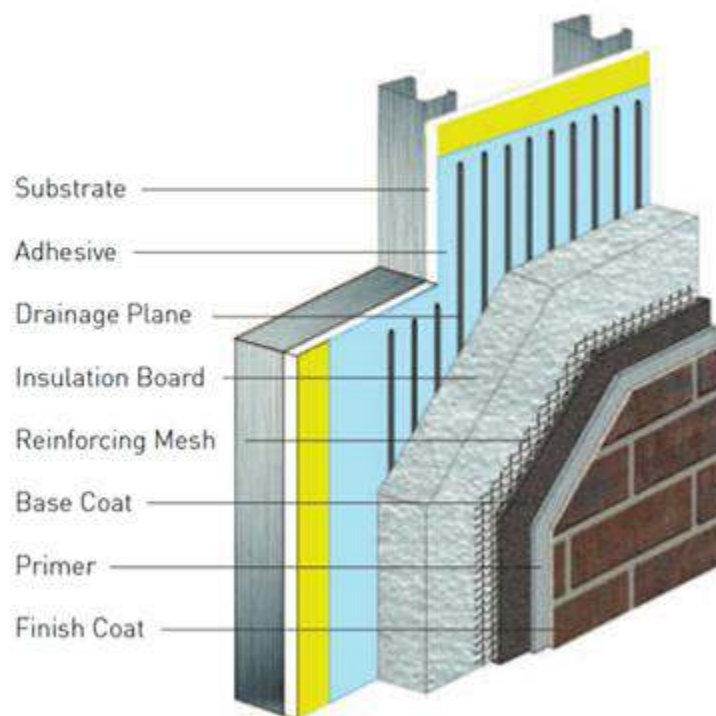


圖 3-8 外牆外保溫系統構造組成

(資料來源：陳嘉懿，鄭泰昇、潘晨安、馬瑜嬪、黃紹筑、陳思吟，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，2015年。)

在內政部建研所研究報告「建築物節能外牆之應用研究」[19]中，提供了數種建築外牆實例，我們整理出幾個案例使用的外牆材料以及該材料的耐燃等級：

(1) 宜蘭地政大樓：

雙層牆，保溫隔熱性佳的 ALC 板(耐燃一級)，木絲水泥板(耐燃二級)

(2) 台積電中科十五場：

RC(耐燃一級)+輕量節能板系統+外掛植生網、遮陽鋁板(耐燃一級)、鋁板帷幕系統(耐燃一級)、玻璃帷幕牆(耐燃一級)、屋頂太陽能板

(3) GSW Headquarters：

雙層牆沖孔鋁板遮陽(耐燃一級)

(4) 德國 Expo-Tower：外牆設計

隔熱構造(保溫層、鋁百葉、節能玻璃)(耐燃一級)遮陽構造(太陽能板)

3.帷幕牆系統種類

帷幕牆之定義為架構於建築物之外牆，且依照建築技術規則定義為「構架構造建築物之外牆，除承載本身重量及其所受之地震、風力外，不再承載或傳導其他載重之牆壁」，因此帷幕牆可稱為非承重外牆(Non-loadbearing exterior wall)。

李錦堃[20]等人研究中，鋁帷幕牆設計過程中，因應環保意識，建築物的規劃包括：採光、通風、隔熱、空間利用、節能效益等方面，進行評估。有助於，提出符合相關數據要求之最佳化產品，可配合日常節能指標，發展雙層幕牆、遮陽、太陽光電發電系統。

內政部建築研究所於民國 81 營建自動化計畫「帷幕牆工程標準規範與解說之擬定」[21]針對帷幕牆探討其性能、設計、製造、施工及檢查等要項。陳宗熙[22]等人研究整理出帷幕牆之性能分類，如表 3-3 所示。

建築帷幕牆是屬於建築物外圍保護結構的一種。但它不同於一般的圍牆，帷幕牆用於建築上具有表 3-4[23]所列出幾點特性。

帷幕牆的種類可依材料、造型、框架、構造、功能、表面處理等分類，詳述如下：

- (1) 依材料種類，可分為金屬帷幕牆、預鑄混凝土帷幕牆、玻璃帷幕牆、石材帷幕牆等；超高層大樓仍以金屬帷幕牆最為常見，如表 3-5 所示。
- (2) 依框架分類：鋁帷幕牆外部有顯框式、兩邊隱框式、四邊隱框式，可作為配合景觀設計之參考，如表 3-6 所示。
- (3) 帷幕牆構造分類：帷幕牆依其構法與組立的型式，大致可分為直橫料構造、單元式構造、單元直框構造、格版構造、窗間牆構造此五大系統，以及在近十年引進台灣的新外牆構法系統-玻璃式構造，表 3-7[22]中為五大帷幕牆構造系統之特性。

表 3-3 帷幕牆之性能分類

性能類別	性能項目	單位	性能要求
帷幕牆 結構性能	1. 耐風壓性能	Pa	1. 不須修補的狀況下能繼續使用之界線內。 2. 帷幕牆單元無被吹散會脫落之虞之界線內。
	2. 耐震性能	弧度角 $1/x$ ($x=0$)	1. 吸收性能下列兩狀態內之層間變位表示。 2. 性能值依正負交替面內之剪斷變形試驗求得，通常以前項 1 之性能值為代表，視實際需要並列前項 2 之性能值。
帷幕牆 非結構性能	1. 水密性能		規定注水量下，使室內側不產生漏水現象之界線壓力差。
	2. 氣密性能	m^3/m^2h	相對壓力差 $1\text{ Kg}/m^2$ 下，每單位牆壁面積及單位時間內之通氣量。
	3. 隔熱性能	m^2K/W	1. 以熱貫流阻抗表示 2. 可依標準試驗求得或計算求得
	4. 隔音性能		1. 以隔音等級表示
	5. 防火性能	hr	1. 依照建築技術規則之防火時效表示。
帷幕牆 其他性能		1. 耐久性能 2. 防露性能 3. 熱安定性能	

(資料來源：陳宗熙，高層建築物單元式金屬帷幕牆耐風壓性能之分區方式研究—以高雄漢來新世界大樓為例—，淡江大學建築學系碩士論文，2001 年。)

表 3-4 帷幕牆之特性

項目	簡述
1.預組化	減少現場作業時間，在工廠預組完成，運至工地吊掛。
2.輕量化	可降低結構自重。
3.規格化	可在工廠大量生產。
4.工業化	以生產線製造方式，提高產能與品質，掌握工程進度。
5.自動化	裁切、加工、組立均朝自動化發展。
6.單元化	強調不必現場施作填縫之單元式帷幕牆。

(資料來源：許燕輝，台北國際金融中心帷幕牆施工之探討。國立交通大學工學院營建技術與管理學程碩士論文，2005年。)

表 3-5 帷幕牆依材料分類

依材料分類	
鋁帷牆 (ALUMINUM CW)	鋁擠型、鋁沖孔板、烤漆鋁板、蜂巢鋁板、複合鋁板。
不銹鋼帷牆 (STAINLESS STEEL CW)	不銹鋼板、不銹鋼沖孔板、不銹鋼管、不銹鋼面板。
預鑄混凝土帷牆 (PORCELAIN ENAMELED CW)	鑲磁磚、鑲花崗石、噴磁磚。
其他帷牆 (OTHER CW)	琺瑯鋼板、琺瑯漆板、陶琅板。

(資料來源：李錦堃，應用系統整合模式探討帷幕牆工程管理之研究。東南科技大學防災科技研究所碩士在職專班學位論文，2011年。)

表 3-6 帷幕牆依框架分類

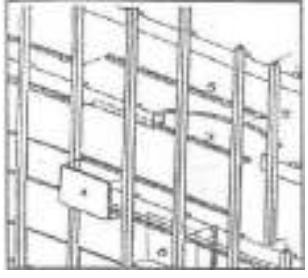
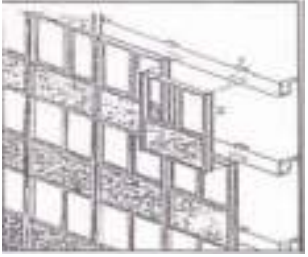
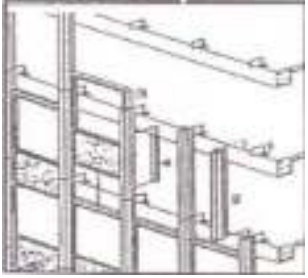
依框架分類	
顯框式 (OBVIOUSLY FRAME CW)	平式、凸式、凹式。
兩邊隱框式 (2-SIDE S.S.G. CW)	橫顯直料背撐、直顯橫料背撐、活動扇顯、活動扇隱。
四邊隱框式 (4-SIDE S.S.G. CW)	有料支撐 (無料支撐)。

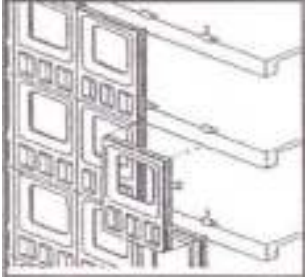

(資料來源：李錦堃，應用系統整合模式探討帷幕牆工程管理之研究。東南科技大學防災科技研究所碩士在職專班學位論文，2011 年。)

而在薛丞堯[24]等人之研究整理中，近十幾年引進台灣的新外牆構法系統-玻璃式帷幕牆構造，現階段所使用的構法，依對玻璃板片之支承部位的固定及支承方式可區分兩類：點支承與線支承構法，其構法如表 3-8 所示。

由於帷幕牆系統種類繁多，且各不同系統之構造方式不同，影響力學特性及設計也不盡相同，藉由參考陳宗熙[22]與薛丞堯[24]等人之研究，整理各系統之優缺點，如表 3-9 所述。

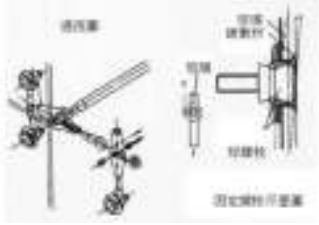
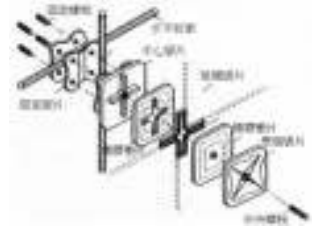
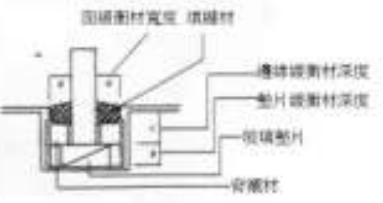
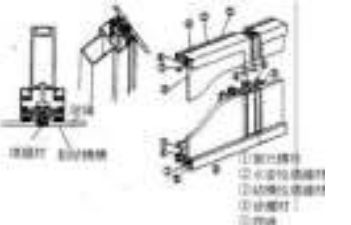
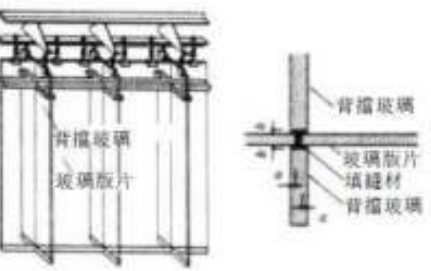
表 3-7 帷幕牆系統構法分類

系統構法分類	系統特性概述
直橫料系統 (Stick System) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 元件在工地上一件件組合，首先先裝上固定繫間 (Anchor)，其次是直料(Mullion)、橫料(Horizontal)、窗間板(Spandrel Panel)，最後加上玻璃及內部裝飾(Internal Trim)。 2. 此種工法由於在工地上切成實際尺寸，所以材料節省、搬運費用低廉，材料之尺寸較具彈性。 3. 缺點是工地施工時間長、費用高且品質較難控制，但總成本較便宜，因此仍被廣泛採用。 <p>在設計上最重要的是伸縮縫之位置和層間側向位移之考量，國內習慣上稱之為注視帷幕牆構法。</p>
單元式系統 (Unitized System) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 美國近年來超高層建築外牆工法之主流。 2. 組合規格單元化，依次固定於結構系統上。 3. 尺寸大小約為 1.5m 寬 x 樓高長，相當於窗格跨距 x 樓高長。 4. 此系統具良好的層間位移承受性，尤其適合高層建築鋼骨工程之層間位移。其在每一單元中間都有保留間隔空隙，以因應層間位移以及樓板活載重的撓度，使每一單元不致受到擠壓變形或甚至破壞。
單元直框系統 (Unit and Mullion System) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 介於直橫料系統和單元化系統間的一種構法，屬改良的直橫料系統，或稱為半單元系統。 2. 先錨定兩邊直框，在直框中再安排預組單元；有時是一層樓高的版片，有時分為裙板和玻璃窗二單元。
隔版系統 (Panel System)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本系統提供了整個牆面的造型，格狀的樣式有強烈的垂直

	<p>及水平韻律，每塊版在工廠整體鑄造，運至工地錨定組合而成為帷幕牆。</p> <p>2. 此系統類似單元化系統，所不同者是單元化系統是由多小零件組合，而格版系統多只單元版，如預鑄混凝土版 (Precast Concrete)或金屬版沖壓而成之單片版。</p>
<p>窗間牆系統 (Column Cover and Spandrel System)</p>	<p>1. 施工步驟：首先是裝上固定系統(Anchoring System)，其次是窗間牆(Spandrel Panel)、柱覆板(Column Cover Panel)，再安裝玻璃(Glazing Infill)。</p> <p>2. 由於安裝之程序簡單，大部分裝置都在工廠作業，因此品質得以控制。</p>
	

(資料來源： 陳宗熙，高層建築物單元式金屬帷幕牆耐風壓性能之分區方式研究—以高雄漢來新世界大樓為例—。淡江大學建築學系碩士論文，2001年。)

表 3-8 玻璃帷幕牆構法

種類	構法型式	圖片
點 支 承 構 法	<p>開孔構法(螺栓固定型式)： 一般開孔於玻璃四邊角落，並以螺栓固定。若為大尺寸玻璃則於玻璃兩側中央增加開孔。</p>	
	<p>無孔構法(板片型式)： 玻璃無需開孔，在玻璃角隅部，螺栓穿越玻璃接縫連接金屬板片而固定之構法。</p>	
線 支 承 構 法	<p>窗框構法： 玻璃版片固定於四周的框架上，框架可為鋁合金、不鏽鋼或是木材製品。框架不畏懼框架部位具有重量輕、高興能與高品質。</p>	
	<p>SSG 構法： 玻璃後不知稱為鋁擠型構架，期間以結構性填縫劑充填，藉由填縫劑黏著力與玻璃版片接合之構法。特色為構架面積較小、透明性高。</p>	
	<p>玻璃背檔構法： 係利用玻璃背檔固定於玻璃板片接縫部位，藉以抵抗面外荷重(如風力)。可形成連續的玻璃面。但面積與高度均受到限制。</p>	

(資料來源：薛丞堯，國內點支承玻璃帷幕牆施工精度控制之研究。

國立成功大學建築學研究所碩士論文，2002年。)

表 3-9 帷幕牆系統優缺點之比較

構造系統	優點	缺點
直橫料系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 單價較低 ● 視現場尺寸切割材料 ● 運輸較方便 	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工品質較難控制 ● 接頭多、填縫多 ● 接受層間變位性較差 ● 防水品質不易控制
單元式系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 工廠製作精度要求較高 ● 預製規格單元化 ● 承受層間變位佳 ● 適合鋼管結構 	<ul style="list-style-type: none"> ● 有時單元體積較大，搬運及放置不易 ● 精度必須較高 ● 需工廠組合，焊接點品質難保證
單元直框系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 施工品質較組合式易控制 ● 單元部分於工廠完成 	<ul style="list-style-type: none"> ● 直框與單元相接部分，施工品質不易控制 ● 體積較大時運送不易 ● 精度要求較高
格板系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 單片板於工廠完成，運至工地直接吊裝 	<ul style="list-style-type: none"> ● 體積大運輸不易 ● 工廠及現場工地要求精度高
點支承系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 適用於大面積、斜曲面之牆面、屋頂 ● 提供大面積採光、透明度 ● 乾式施工，以縮短工時 	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料成本高 ● 施工技術性需求較高 ● 玻璃耐火性、隔熱性、隔音性較差 ● 帷幕牆構件須經結構計算，確認規格、尺寸

(資料來源：何明錦、林大惠、李訓谷、胡幃傑、劉育良，建築物帷幕牆垂直立面火焰延燒特性之研究。內政部建築研究所協同研究報告，2016年12月。)

第二節 層間塞工法

層間塞(Perimeter fire barrier / Perimeter joint system)的用處在於防止火焰以及熱氣從樓板與外牆間的空隙進入屋內。如果沒有層間塞的設置，大樓中樓板的邊緣將會在火災發生時成為煙囪的構造，讓火焰得以垂直延燒至各樓層。

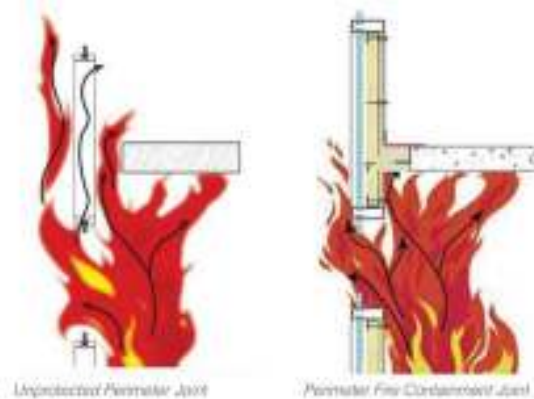


圖 3-9 安裝層間塞對火焰延燒路徑之影響

(資料來源：Owens Corning, Steel Stud Perimeter Fire Containment System -ASTM E2307, Technical Bulletin, 2016)

據 International Firestop Council, Thermafiber Inc., 及 James Shiver[25-27]等整理，一般關於層間塞的設計主要有六個基本的準則：

1. 使用支撐柱(Backer bar)在周圍做加固：在裝置層間塞時，材料會以 25-50%的壓縮比裝配在樓板以及牆面之間。受到擠壓的材料會因此弓起，產生空隙讓火焰以及熱氣得以穿透。為了固定材料的形狀防止其弓起產生空隙，並維持這區域的密合性以及封閉性，材料旁須裝置支撐柱(backer bar)。支撐柱的形狀一般可使用角鋼、T 型鋼...等，材料一般則為 20-gauge 鍍鋅鋼。圖 3-10 為未使用支撐住而弓起的層間塞。



圖 3-10 未使用支撐柱而引起層間塞

(資料來源：Thermafiber, Inc., **Perimeter Fire Containment in Multi-Story Buildings, 2009**)

2. 使用礦物綿(Mineral wool)做阻隔：礦物綿的耐熱程度高達攝氏 1100°C，是相當普遍的層間塞材料。
3. 阻隔物須與之作機械耦合(Mechanically attach)：作為層間塞的礦物綿應與帷幕牆試體有機械連接來做固定。如果沒有如此固定的話，在火災發生時此材料可能會掉落而使這段區域失去隔絕效果。另外，使用黏著性的方法來固定也是不建議的，因為其中的膠遇高熱時可能會融解，造成隔絕材料。
4. 阻隔物須被壓縮配合(Compression fit)：被緊密壓縮的阻隔材料將被用來塞在樓板以及帷幕牆試體間的空隙間，其中材料內部纖維的排列方向如圖 3-11(與樓板垂直或是平行)並沒有明確指定，但也是需要做測試比較的項目之一。

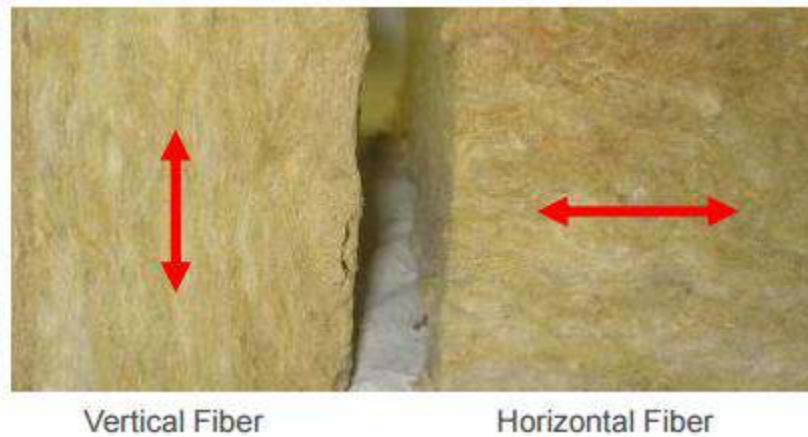


圖 3-11 層間塞材料內部纖維排列方向

(資料來源：Thermafiber, Inc., **Perimeter Fire Containment in Multi-Story Buildings, 2009**)

5. 須保護構造中的立柱(Mullions)：帷幕牆試體中的立柱通常使用的鋁材，在約 660°C 時就會融化，因此需要用耐熱性較高的礦物綿來包覆，避免與火焰直接接觸。圖 3-12 為安裝完成之層間塞。
6. 隔煙系統(Smoke barrier system)設置：火災時所產生的濃煙為造成人員傷亡的最大原因之一，因此層間塞對煙氣的阻隔也是很重要的功能之一。一般常見的隔煙系統包括在層間塞的表面抹上一層阻煙劑(例：吸熱型的乳膠製品)，如圖 3-13 所示。



圖 3-12 安裝完畢之層間塞剖面圖

(International Firestop Council, Perimeter Curtain Wall Fire Protection, 2004)



圖 3-13 層間塞表面隔煙系統

(資料來源：James Shriver, Perimeter Fire Containment- The Basics, 2009)

第三節 火災延燒現象分析

目前建築物的營建技術發展已在輕量化與模組化當中，以帷幕牆為外圍構造的相關設計與施工技術亦不斷的發展與改進，但在一些建築物的火災實際案例中明確指出，帷幕牆的防火性能會直接影響到生命財產的損失，如國內的東方科學園區大樓火災、台北市東帝士大樓火災、中壢金像電子公司中壢廠大火；國外的洛杉磯歐美中心大樓火災、美國芝加哥 LaSalle Bank 大廈火災...等實際案例[6]，均人瞭解到高層帷幕牆之建築物一旦發生火災，若無法將火勢控制於起火層，一但帷幕牆發生破壞並使得火焰不斷的向上延燒，這將會造成嚴重的財產損失與人員傷亡，如圖 3-14 和圖 3-15



圖 3-14 東方科學園區大樓火災後帷幕牆鋁構架殘景

(資料來源：雷明遠，帷幕牆防火性能基準與評估驗證之研究，內政部建築研究所自行研究報告，2003 年。)



圖 3-15 金像電子公司中壢廠大火情景

(資料來源：雷明遠，帷幕牆防火性能基準與評估驗證之研究，內政部建築研究所自行研究報告，2003 年。)

2009 年 2 月 9 日，央視新址園區在建的附屬文化中心大樓工地發生火災，該火災大樓是電視文化中心，高 159 m，被稱為北配樓，鄰近地標性建築的央視新大樓。起火大樓結構複雜，建築內部中庭共享空間大，建築材料特殊，建築外裝飾使用大量可燃材料，造成自上而下、自外而內逆向迅速蔓延，形成立體燃燒，產生高溫和有毒氣體，並不斷有碎片等物品向下墜落，使火災消防與人員救助帶來極大困難。由於中國當時對於外牆裝飾燃燒性能規範缺乏標準法規；此火災建築物的外圍大量使用鈦鋅板(熔點僅為 400°C)、擠塑板以及防水保溫材料。然而這些材料均具有可燃性，在火災情況下會產生大量熔滴和有毒物質，形成溢火(Spill fire)，促使蔓延速度加快[23]。

2015 至 2016 年間，阿拉伯聯合大公國接連發生三次高樓帷幕大火，包括火炬塔、阿德里斯飯店與阿治曼一號大樓。在三次摩天高樓大火中，造成數十人受傷，數千人緊急疏散，財務損失高達數千億元。根據 NFPA 美國防火協會報告指

出，2007 至 2011 年間，高層建築火災在整體建築結構火災統計當中佔 3%。圖 3-16 為 2016 年杜拜阿德里斯飯店大火照片。



圖 3-16 2016 年杜拜阿德里斯飯店大火

(資料來源：瑞德感知科技，巴別塔的火焰挑戰(一)：高層建築的火災風險。瑞德消防雜誌，2016 年。)

由於高層建築的特殊結構與人口密集特性，使得高層建築火災具有以下風險特性：濃煙密佈、高溫灼熱、延燒快速(煙囪效應)、逃生疏散不易、搶救困難、火險隱患多...等，容易造成嚴重損失與傷亡[29]，目前國內與帷幕牆位置相關防火時效規定如表 3-10 所示。

表 3-10 帷幕牆相關防火時效規定整理

條次	規範項目	範圍內容
第 74 條	構造之防火時效認定	經主管機關認可具半小時以上防火時效者
第 79 條	面積區劃	外牆與防火區劃壁交接處，應有 90cm 以上其構造具區劃牆同等以上之防火時效
第 79 條之 3	樓層區劃	外牆與樓板交接處，應有高度 90cm 以上其構造具樓地板同等以上之防火時效
第 99 條	與屋頂避難平台連接	外牆一小時以上防火時效
第 110 條	防火間隔	距境界線<1.5m 外牆防火時效>1 小時 1.5m<距境界線<3m 外牆防火時效>半小時 二幢間<3m 外牆防火時效>1 小時 3m<二幢間<6m 外牆防火時效>半小時

(資料來源：何明錦、林大惠、李訓谷、胡幃傑、劉育良，建築物帷幕牆垂直立面火焰延燒特性之研究。內政部建築研究所協同研究報告，2016 年 12 月。)

建築物之火災成長歷程可用溫度-時間變化來說明，火災歷程可分為起火期、成長期、全盛期及衰退期，如圖 3-17 [30]所示。而各階段之燃燒現象、經歷時間和室內空氣溫度及特性如表 3-11 所示。根據 B. R. Cuzzillo[31]等人研究，由於外牆開口部的玻璃通常於成長期發生破裂，很可能會導致閃燃的發生。又根據 T. J. Shields[32]等人之研究，火場發生閃燃時所產生的瞬間高壓將玻璃衝破，

大量空氣進入，使得火災進展到全盛期。當閃燃發生之後，火災不僅對外牆加溫，也可能經由外牆開口部對外牆外側及上一樓層造成威脅，形成外牆之火焰延燒。

根據陳弘毅[33]等人研究，全盛期之火災溫度會受到室內可燃物量、開口部之大小、以及室內周圍牆壁等熱的性質所影響。林文意等人之研究[34]，一般常見木質材料等可燃物燃燒時，如獲得充分之氧氣供應，且氣體與空氣混合而完全燃燒時，其火焰溫度依據理論計算應可達到 2000°C 以上之高溫，現此溫度之氣體濃度範圍甚小，故在空氣中可得之最高溫度大約在 1200°C~1300°C 之間，而實際上一般居室火災達到全盛期時，其室內之平均溫度較預期低，因此只能將溫度維持在 800°C~1200°C 左右。

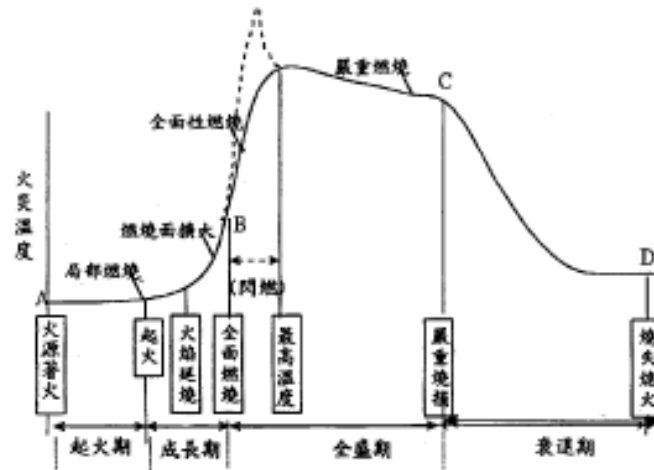


圖 3-17 火災成長歷程示意圖

(資料來源：陳太農，郭炳林，帷幕牆防火性能評估與設計準則。內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，1999 年)

表 3-11 火災發展各階段歷程基本特性

火災歷程 \ 基本特性	火災現象與燃燒範圍	經歷時間	室內空氣溫度
起火期	局限於著火源附近	約 1~10 min	100°C
成長期	由起火點向四面八方延燒，火焰隨熱氣上升至天花板	5~20 min	100°C~650°C以上
閃燃	室內所有可燃物在接近的時間內同時著火燃燒	一瞬間	至少 800°C
全盛期	室內所有可燃物皆燃燒	不一定	通風控制燃燒： 600~900°C 燃料控制燃燒： 600~1200°C
衰退期	可燃物燃燒速度開始減少至火勢熄滅	不一定 但通常比成長期與全盛期久	約 200~300°C

(資料來源：雷明遠，建築防火區劃構件設計與應用技術。建築物防火法規與防火安全設計研習會，1999 年)

蕭江碧之研究[35]，建築物火災發生時當火災進入全盛期時，溫度高達 800°C~1200°C，若無有效的控制，則有極大的機會經由各個途徑延燒到其他居室，延燒之途徑可分為垂直延燒、水平延燒，如圖 3-18 所示。

在垂直延燒路徑方面，又可分為內部及外部延燒，而帷幕牆的延燒主要發生在開口部及層間塞部位。開口部的延燒包括火焰由開口部位竄出，延燒到上一樓層，如圖 3-19 所示之路徑 10、12[36]，或者是由帷幕牆構件之內部延燒，如圖 3-19 所示之路徑 11。



圖 3-18 火災延燒路徑類型

(資料來源：蕭江碧，劉慶男，何明錦，建築防火有關性能試設計法建議草案與案例解說。內政部建築研究所，2002 年。)

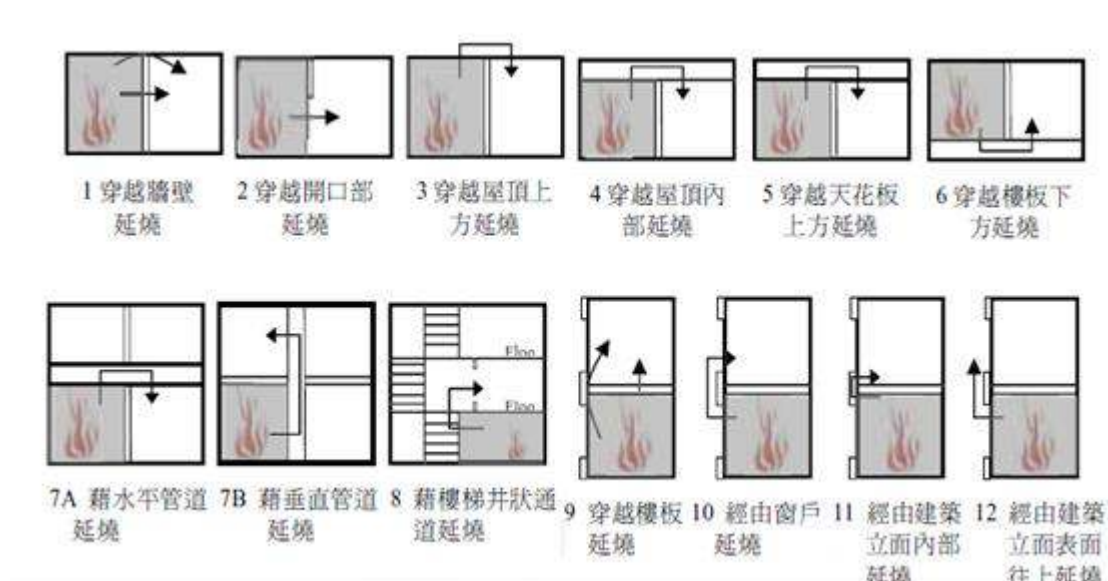


圖 3-19 火勢延燒路徑示意圖

(資料來源：賴韻蘋，改良式金屬帷幕牆防火性能初探-以直橫料式構法足尺試驗探討之。國立成功大學建築學研究所碩士論文，民國 93 年。)

此外下層開口部延燒至室內之火災模式是經由開口部在帷幕牆外部延燒之型態，以接焰為主，意指下層空間之開口部噴出火舌引起上層空間的破壞，其火舌之溫度分布可參考田中孝義等人研究之圖 3-20 所示[37]。

此外，依據川越邦雄等人之研究，進行豎框架構鋁帷幕牆的實際大火燃燒實驗。結果顯示由開口部竄出的火焰將對帷幕牆外側造成影響，最高溫度出現在起火居室的外牆開口部最上端(D-6 位置)，溫度超過 800°C，上層樓層外牆面的溫度隨高度增加而減低，而帷幕牆單元之間的水平界面處(D-2~D-4 位置)溫度約 560°C~685°C，如表 3-12 所示[21]。

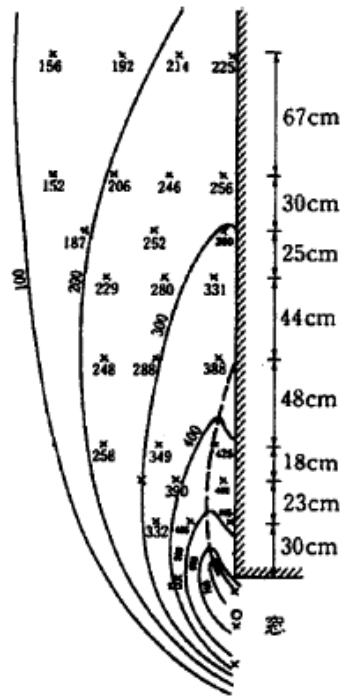


圖 3-20 由橫長窗噴出火焰之等溫線圖

(資料來源：田中哮義，建築物火災安全工學入門，日本建築中心，1993 年。)

表 3-12 火災外牆噴出火焰溫度分佈

位置編號	距起火樓層窗戶下框的垂直距離 Z (m)	起火後經過時間 (分)	最高溫度 (°C)
D-1	3.66	35	475
D-2	2.76	30	560
D-3	2.22	30	690
D-4	1.86	25 · 35	685
D-5	1.60	35	840
D-6	1.35	30	880
D-7	1.00	40	675

(資料來源：陳慶銘，王榮吉，施乃中，帷幕牆工程標準規範與解說之擬定。內政部建築研究所籌備處，民國 81 年。)

以鋁帷幕牆為例，各構件破壞與火災歷程之關係如圖 3-21 所示[38]。推測各構件破壞順序最先破壞為玻璃窗的成形襯墊，其次是填縫材料、玻璃、鋁合金板及鋁合金框架，最後破壞的為繫件與鋼骨。

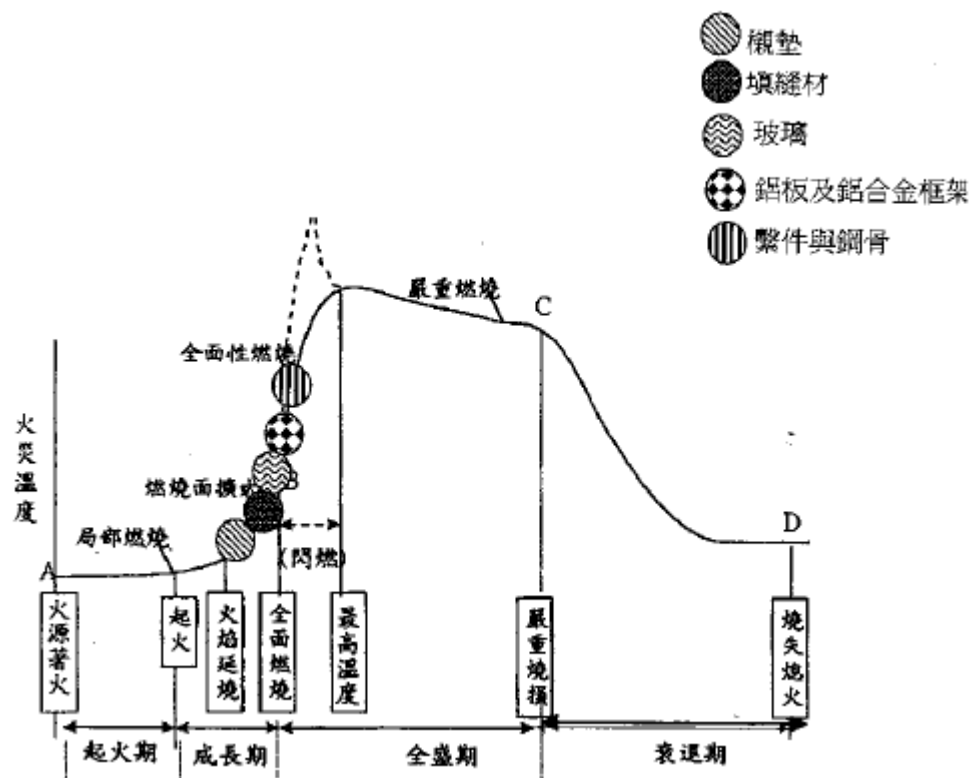


圖 3-21 鋁帷幕牆各構件破壞與火災歷程之關係

(資料來源：陳海曙，周鼎金，建築防火安全設計學。茂榮書局，1998年。)

由 101 年度建研所自行研究報告「非承重外牆與層間縫隙耐火性能驗證基準之研究」當中的內容指出[8]，部份以全尺寸建築物模擬外牆火災延燒時，因密閉火災室內缺乏足夠的空氣，故無法產生燃燒的現象，以致外牆開口部之玻璃不會受到高溫影響進而破裂。由於此現象與真實火場的情況不同，所以此類的外牆延燒試驗無法以此種試驗方法進行。目前世界各國之外牆試驗都是在火災室開口部未裝設玻璃情況下，進行燃燒試驗，然而實際火場情況並非如此。於火場建築

中，玻璃厚度或防火性能皆會影響玻璃破壞之時機，當玻璃具有較佳之防火性能時，能延後火焰竄出時間，甚至若使用較佳之特殊玻璃，開口部的玻璃亦不完全掉落，因此開口部之破壞型態會左右火場之燃燒行為[8]。此外火災發生時的延燒狀況亦會與建築物燒毀程度呈現正相關，但若防火區劃管理的當，則是可以減少建築物的燒毀與延燒狀況[39]。

目前外牆依耐火性須求概分為三種情境，圖 3-22(1)為非耐火層間牆及非耐火玻璃窗，此情境在 CNS、EN 及 ISO 等標準並無適用之試驗法；圖 3-22 (2)為耐火層間牆；非耐火玻璃窗，由層間縫隙及由開口噴出火焰對上層玻璃窗加熱，在 CNS 並無適用之耐火試驗法；圖 3-22 (3)為耐火層間牆及耐火玻璃窗，耐火玻璃窗可由 CNS14815 測試其耐火性[40]，但無阻熱性其經熱傳及輻射而延燒則無適用之 CNS 標準。上述三種情境之層間縫隙之延燒防止耐火性能，因縫隙大且受層間牆之層間變位，火災時層間牆受火之熱變形，皆對層間縫隙耐火性具有影響性，在考量這些因素下，CNS 並無適用之試驗法[8]。

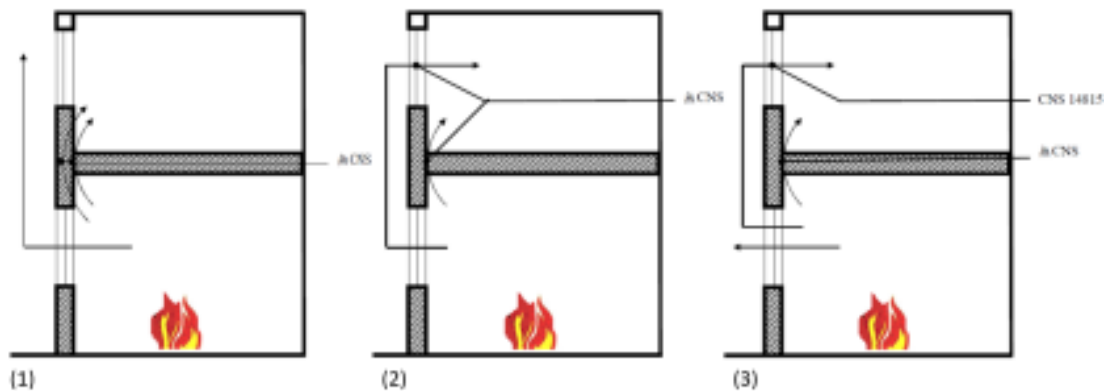


圖 3-22 外牆/窗延燒路徑潛勢：(1)非耐火層間牆及非耐火玻璃窗，(2)耐火層間牆；非耐火玻璃窗，(3)耐火層間牆及耐火玻璃窗

(資料來源：蔡銘儒，非承重外牆與層間縫隙耐火性能驗證基準之研究，內政部建築研究所自行研究報告，2012年。)

張菟育[41]以無開口鋁板為對象作初探，找出影響其防火性能之主要因子，並以 CNS12514-1 的試驗標準進行試驗，最後再對帷幕牆無開口鋁板的防火設計與施工提出具體之建議。研究結果指出，於試驗中使用之帷幕牆無開口鋁板常用工法，無法通過防火測試規範之半小時防火時效，且皆為阻熱性失敗。遮焰性則至少可達到 40 分鐘。不同構造因子對帷幕牆無開口鋁板耐火性能之影響，以板的組構因子影響阻熱性最鉅，而岩棉材料之等級對遮焰性影響最大，其餘因子效應則較不明顯。

林慶元[42,43]以實尺寸建築物直橫料式帷幕牆火災實驗，探討金屬帷幕牆在受到火災侵害時，火災加害條件與材料構造的受熱行為。居室內可燃物火載量條件以木材堆架加以模擬，各次火災實驗在不同的開口狀況及換氣條件下於一座兩層樓高的 RC 建築物上裝設帷幕牆試片進行，共進行 4 次實驗。其研究結論：噴出開口部之火焰，受開口部大小及位置直接影響，且亦受室外環境因子之影響，當垂板深度增大時，雖然並不會依垂版深度，而成等比例降低噴出火焰之高度，但可以證明的是垂板理論上能有效降低噴出火焰高度，並能降低二樓延燒之危險性。且由實驗結果得知，當居室之可燃物大量集中靠近外牆開口部時，本試驗中任一種開口組合，並不能有效防止二樓延燒，如圖 3-23 至圖 3-25 所示。

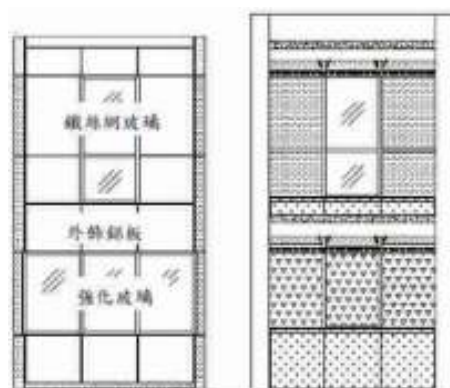


圖 3-23 試體正立與背立面圖

(資料來源：林慶元，實尺寸帷幕牆防火性能之實驗研究(I)(II)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，2004/2005 年。)



圖 3-24 全尺寸鋼筋混凝土建築物

(資料來源：林慶元，實尺寸帷幕牆防火性能之實驗研究(I) (II)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，2004/2005 年。)



圖 3-25 各種開口組合及橫向火焰噴出實驗照片

(資料來源：林慶元，實尺寸帷幕牆防火性能之實驗研究(I) (II)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，2004/2005 年。)

李奇峰[44]以實尺寸帷幕牆層間塞之模型配合 CNS15038 所衍生遮煙之量測空氣洩漏量裝置進行相關遮煙性能，針對不同岩棉密度、厚度、線性開口大小及附加材質，來檢討帷幕牆安全設計法應用於評估層間塞之洩漏量。經試驗結果得知：(1) 岩棉密度 80 kg/m³ 及 60 kg/m³ 共有三種不同厚度遮煙效果，岩棉厚度遮煙效果為 15 cm > 10 cm > 5 cm。(2) 鋁箔岩棉比一般岩棉密度為 80 kg/m³ 及 60 kg/m³ 有效抵擋煙氣洩漏量減少約為 42 %。(3) 岩棉煙氣洩漏量的問題在於岩棉密度而不是在於岩棉與樓板銜接介面洩漏問題。(4) 一般業界在線性開口部有施作層間塞，都會符合”IBC713.5 Penetrations in smoke barriers”及”IBC 714.6 Fire-resistant joint systems in smoke barriers”最低要求數值。

萬復森[45]以未具試體延伸板及具試體延伸板兩項裝置進行牆面延燒研究。實驗結果證實寬度效應確實會影響火焰延燒行為，牆面火焰延燒速率隨火焰寬度增加而增加，且寬度對火焰高度及加熱強度均有造成影響。牆面火焰高度於未具試體延伸板火焰高度分析結果，不同寬度火焰所產生的火焰高度變化並未受到寬度影響而有所差異，但將延伸板加入之後，火焰高度於延燒後期明顯產生差異，使得越寬的火焰，其火焰高度越高。

游依婷[46]歸納出單元式鋁帷幕牆防火構法之問題與對策。關於帷幕牆本體部分，不應使用玻璃棉作為隔熱材，且應以鍍鋅鐵條固定隔熱材。窗間牆室內側之鋁擠型應以隔熱材或耐燃等級合格之內裝材作為保護。背襯骨架固定方式以拉釘和植焊螺栓較佳，並應以隔熱材保護。應以開口部比例、窗間牆高度、出簷等工法使噴出火焰不沿外牆面垂直延燒。鋁帷幕牆單元間之界面部分，界面接頭形式應增長且使火煙穿透路徑迂迴。橫向界面位置應設計於樓板上並盡量接近板面。帷幕牆與結構體之界面部分，單元的縱向界面應配合柱位或防火區劃牆配置，且單元板片與層間塞或柱間塞接合部位應具有與結構體同等級之防火時效。帷幕牆與樓板之距離亦應考量防火處理施作之可行性，而繫件位於樓板上方較佳。帷幕牆與內裝之界面部分，帷幕牆內側之內裝材一應具合格耐燃等級，且其

與鋁擠型接合處應確實保護。

Liang Zhou[47]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，並且提到在中國絕大多數的 EPS 外牆火災發生在施工階段，在外牆火災發生時，火焰除了垂直方向也會往水平方向延燒，受熱融化的 EPS 向下滴時，水平方向的防火阻隔也無法有效的防護，此研究先將 EPS 試體進行圓錐量熱儀試驗，在熱通量 50kW/m^2 時，長 10 公分寬 10 公分的 EPS 試體最大熱釋放率為 4.52kW ，接著研究將垂直方向的岩棉作為防火阻隔時，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，實驗如圖 3-26 所示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，使用 30 公分寬的水泥作為垂直防火阻隔如圖 3-27 所示，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 3-26 EPS 延燒試驗

(資料來源：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.)



圖 3-27 實尺寸 EPS 外牆延燒試驗

(資料來源：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.)

Miao-miao YU 等人[48]使用 60 公分高、5 公分厚七種不同寬度的 XPS 試體進行延燒試驗，觀察 XPS 試體在有無石膏板狀況下的延燒情形，得到在無石膏板的條件下，火焰延燒的較快，在開始後 15 秒火焰延燒趨於穩定，25 秒後延燒速率穩定；有石膏板的條件下，火焰延燒相對穩定，延燒速率基本上為定值。在無石膏板的條件下，前 15 秒受層流火焰主導，火焰外型呈矩形，25 秒後受紊流火焰主導，火焰外型變為三角形；在有石膏板的條件下，火焰外型基本上都呈現三角形，前 25 秒受層流火焰主導，三角形的外型維持的較好，25 秒後受紊流火焰主導，三角形開始呈現較不規則狀。在兩種不同工作條件下，因為石膏板的存在，限制了其中一側的熱散失，造成延燒行為的不同。在有石膏板的條件下，試體兩側的限制條件不同，造成不均勻的延燒，形成了熱解斜角，熔融狀態的 XPS 因受重力影響，會向下流動，加劇火勢的延燒。無石膏板的平均火焰高度普遍高於有石膏擋板的實驗條件，兩條件下的平均火焰高度，皆有隨試體寬度的增加，而先降後升的趨勢。無石膏板的實驗條件下，熱裂解速率在不同試體寬度的情況，皆高於有石膏擋板的實驗條件。兩實驗條件下，熱裂解速率皆有先降後升的趨勢。材料熱裂解速率與材料在預熱區吸收的熱有直接關係，預熱區吸收的熱

可分為兩個部分：一部分來自火焰氣相的熱傳，另一部分來自材料固相的熱傳。無石膏板的實驗條件下，火焰氣相熱傳扮演主要影響的角色；而有石膏擋板的實驗條件下，火焰氣相熱傳與材料固相熱傳皆有影響，隨著試體寬度的增加，材料固相熱傳的影響漸增。

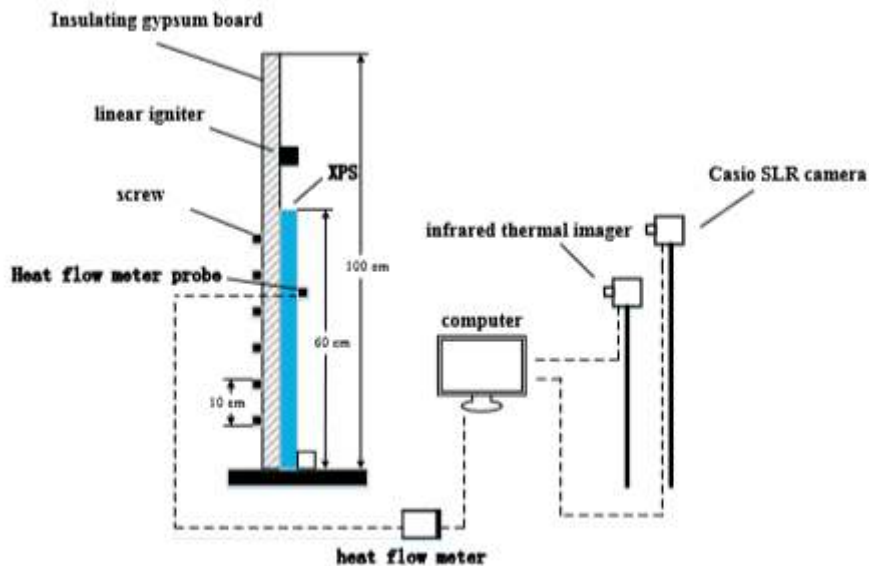


Fig.1 A measuring device for the spread of XPS vertical countercurrent fire

圖 3-28 XPS 試體延燒試驗設置

(資料來源：Miao-miao YU, Guo-qing ZHU, Qing-xuan Meng, **Experimental Study and Analysis of XPS Vertical Countercurrent Fire Spread., Procedia Engineering, 211(2018), 945-953.**)

Weiguang An 等人[49]進行了 XPS 外牆在受到平行的帷幕牆影響時火焰向下延燒的研究，在石膏板上固定 XPS 試體，以酚醛發泡模擬帷幕牆，試驗條件為調整不同的外牆與帷幕牆間距，試驗結果發現，當間距上升時，延燒的火焰會變得不規律，當間距小於 11.5 公分時，主要影響火焰高度的因素為煙囪效應，當間距大於 11.5 公分後，帷幕牆距離外牆較遠，使得空氣的進氣量上升，使得火焰的高度會上升，外牆的溫度則是會隨著間距的上升進氣量增加後溫度隨之提升，

當間距大於 11.5 公分後，影響溫度的主要原因為帷幕牆對外牆的輻射熱回饋，隨著距離增加，輻射熱減少，溫度也隨之降低。火焰的延燒速率與溫度有關，因此具有同樣的趨勢。

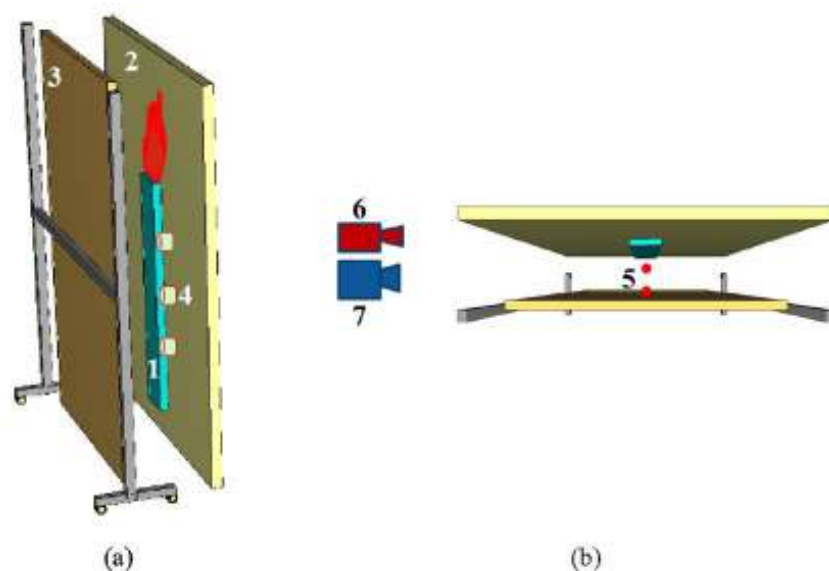


圖 3-29 XPS 受帷幕牆影響延燒試驗設置

(資料來源：Weiguang An, Rongliang Pan, Qingxuan Meng a, Hongya Zhu, Experimental study on downward flame spread characteristics under the influence of parallel curtain wall., Applied Thermal Engineering, 128 (2018), 297–305)

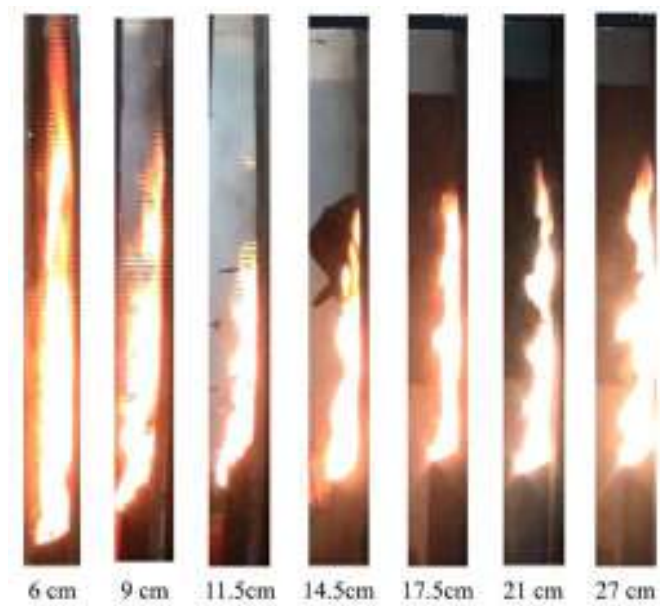


圖 3-30 不同外牆與帷幕牆間距 XPS 試體向下延燒之火焰

(資料來源：Weiguang An, Rongliang Pan, Qingxuan Meng a, Hongya Zhu, Experimental study on downward flame spread characteristics under the influence of parallel curtain wall., *Applied Thermal Engineering*, 128 (2018), 297–305)

Qing xuan Meng 等人[50]進行了 XPS 在配置上包含空隙時的延燒行為研究，空隙所佔的百分比定義為空隙的面積除以試體的總面積，試驗結果發現當孔隙百分比為 35% 時火焰平均高度最高。

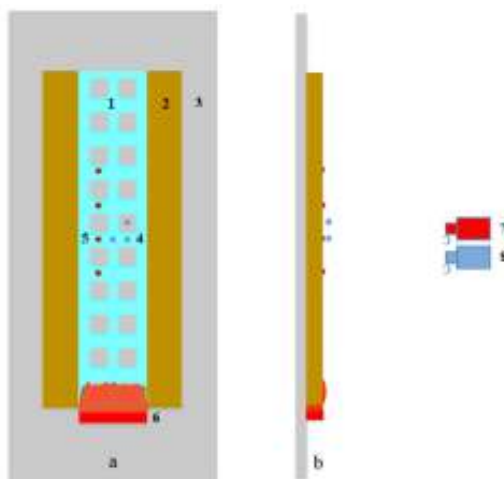


圖 3-31 XPS 試體在具有孔隙時的向上延燒試驗設置

(資料來源：Qing xuan Meng, Guo qing Zhu, Miao miao Yu, Zhen huan Liang, Experimental study on upward flame spread characteristics of external thermal insulation material under the influence of porosity., Case Studies in Thermal Engineering, 12 (2018), 365–373.)



圖 3-32 XPS 在 35%孔隙百分比時向上延燒

(資料來源：Qing xuan Meng, Guo qing Zhu, Miao miao Yu, Zhen huan Liang, Experimental study on upward flame spread characteristics of external thermal insulation material under the influence of porosity., Case Studies in Thermal Engineering, 12 (2018), 365–373.)

第四節 帷幕牆層間交接構造試驗標準

除了 ASTM E2307-15b 之外，國際上測試相關防火性能的試驗方法尚有 BS EN 1364-3 及 BS EN 1364-4。其在複雜度方面依試驗組態型式區分為 16 種，歸類成 13 種試驗組構型式，再依室內或室外曝火分別以 2 個試驗標準溫升條件測試；另外依外牆型式與耐火性須求，區分為 10 種型式，依型式與耐火性須求分別以 3 個試驗標準測試。因為門牆爐的構造，在此試驗方法中帷幕牆面系統同時只會有一面曝火，因此一次完整的試體防火性能判定至少需要做兩次(牆面內外表面各做一次測試)。

ASTM 為美國材料與試驗協會縮寫，其英文全稱為 American Society for Testing and Materials。ASTM 前身是國際材料試驗協會 (International Association for Testing Materials, IATM)。19 世紀 80 年代，有人提出建立技術委員會制度，由技術委員會組織各方面的代表參加技術座談會，討論解決有關材料規範、試驗程式等方面的爭議問題。IATM 首次會議於 1882 年在歐洲召開，會上組成了工作委員會。當時，主要是研究解決鋼鐵和其它材料的試驗方法問題。1902 年在國際材料試驗協會分會第五屆年會上，宣告美國分會正式獨立，取名為美國材料試驗學會 (American Society for Testing Materials)。隨著其業務範圍的不斷擴大和發展，學會的工作中心不僅僅是研究和制定材料規範和試驗方法標準，還包括各種材料、產品、系統、服務項目的特點和性能標準，以及試驗方法、程式等標準。1961 年該組織又將其名稱改為沿用至今的美國材料與試驗協會。

BSEN-1364 來源為英國標準學會(British Standards Institution; BSI)世界上第一個國家標準化機構。英國政府承認並支持的非營利性民間團體。成立於 1901 年,總部設在倫敦。目前共有捐款會員 20 000 多個，委員會會員 20 000 多個。

1901 年，由英國土木工程師學會(IEC)、機械工程師學會(IME)、造船工程

師學會(INA)與鋼鐵協會(ISI)共同發起成立英國工程標準委員會(ESC 或 BESC)，並於同年 4 月 26 日在倫敦召開第一次會議。這是世界上第一個全國性標準化機構。1902 年電氣工教師學會(IEE)加入該委員會，英國政府開始給予財政支持。1902 年 6 月又設立標準化總委員會及一系列專門委員會。專門委員會的任務是制定技術規格，如電機用異型鋼材、鋼軌、造船及鐵路用金屬材料等標準。1918 年，標準化總委員會改名為英國工程標準協會(BE-SA)。1929 年 BESA 被授予皇家憲章。1931 年頒佈補充憲章，協會改用現名(BSI)。

ASTM E2307-15b 是透過防火試驗屋配合測試室內燃燒器及窗戶燃燒器各一台，同時對帷幕牆面的內外表面，以及層間塞交接構造進行測試。其試驗與加熱方式，對於外牆面與層間交接構造系統之耐火性測試較接近於建築火災實際狀況；這是由於此試驗是在室內可控制的環境下進行，並依據試驗測試要求，對於此一外牆模擬結構，控制下層燃燒室燃燒溫度，測試外牆外表面及上層觀察室的溫度升高情形，觀察牆面結構的變形、脫落等對層間縫隙阻火材的影響，並觀察層間縫隙阻火材的耐火性能(是否產生變形、開裂、縫隙、火焰及熱氣流滲透等)，亦可同時可觀察上層煙流情況。圖 3-33 BS EN1364 與 ASTM E2307-15b 加熱時間曲線比較；表 3-13 為 ASTM E2307-15b 試驗通過標準，表 3-14、表 3-15 則是以 SWOT 分析方法，探討 BS EN 1364、ASTM E2307-15b 之優勢劣勢；表 3-16 則是 NFPA 285、ASTM E2307-15b 與 BS EN 1364 之比較分析。

表 3-13 ASTM E2307-15b 試驗通過標準

認證	通過試驗條件
T 等級	非曝火面上偵測的溫度不超過初始溫度的 181°C 以上。
F 等級	火焰突破層間塞/層間塞非曝火面上的棉花墊未遭火焰或熱氣點燃。

(本研究整理)

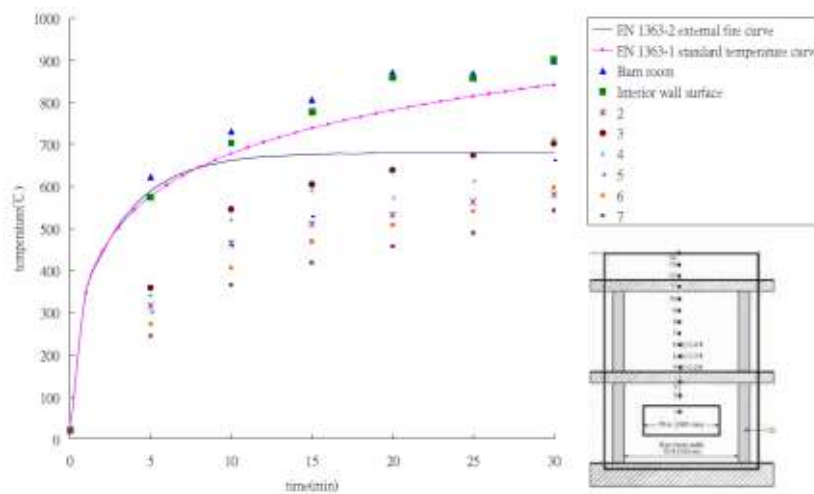


圖 3-33 BS EN1364 與 ASTM E2307-15b 加熱時間曲線比較

(資料來源：蔡銘儒，非承重外牆與層間縫隙耐火性能驗證基準之研究。內政部建築研究所自行研究報告，2012 年)

表 3-14 BS EN 1364 之 SWOT 分析

S	W
<p>Strength：優勢</p> <ul style="list-style-type: none"> ◎ 複雜度依試驗組態型式區分為 16 種，歸類成 13 種試驗組構型式。 ◎ 依室內或室外之試驗標準作溫升測試。 ◎ 依外牆型式與耐火性區分成 10 種型式，依型式與耐火性以 3 個試驗標準測試。 	<p>Weakness：劣勢</p> <ul style="list-style-type: none"> ◎ 複雜度雖多樣化，但是多面試體的配置方式固定，受到侷限，無法測試特殊規格品 ◎ 無法在一個試驗中探討室內與室外火源同時發生之現象
O	T
<p>Opportunity：機會</p> <ul style="list-style-type: none"> ◎ 相較於其他之防火標準規範，此規範之試體形狀不侷限於一般之矩形，可提供符合試驗組態之試體進行測試。 	<p>Threat：威脅</p> <ul style="list-style-type: none"> ◎ 內政部建築研究所已具有大型門牆耐火加熱爐，依照 CNS 標準、ISO 標準以及自訂模式標準進行升溫。

(資料來源：何明錦、林大惠、李訓谷、胡幃傑、劉育良，建築物帷幕牆垂直立面火焰延燒特性之研究。內政部建築研究所協同研究報告，2016 年 12 月。)

表 3-15 ASTM E2307-15b 之 SWOT 分析

S	W
<p>Strength：優勢</p> <p>◎ 試驗與加熱方式對於外牆與層間縫隙阻火系統之測試較接近實際建築火災情況。</p> <p>◎ 測試中，可觀察到帷幕牆結構之變形、脫落，層間縫隙阻火材之耐火性能及上層煙流情況。</p>	<p>Weakness：劣勢</p> <p>◎ 目前國內並無符合 ASTM E2307-15b 之防火試驗屋。</p> <p>◎ 標準試驗沒有分開探討室內及室外火源發生之現象。</p>
O	T
<p>Opportunity：機會</p> <p>◎ 國內建置好符合 ASTM E2307-15b 之防火試驗屋，將會有一套可以較接近實際火災之測試法，模擬帷幕牆結構及層間縫隙阻火材受火災之情況。</p>	<p>Threat：威脅</p> <p>◎ 國內由於無現有符合標準之防火試驗屋，業者已習慣使用如 CNS 12514-1 等等相關可測試帷幕牆耐火性能之標準，在建置好試驗屋後的推廣度是有一定的隱憂。</p>

(資料來源：何明錦、林大惠、李訓谷、胡幃傑、劉育良，建築物帷幕牆垂直立面火焰延燒特性之研究。內政部建築研究所協同研究報告，2016 年 12 月。)

表 3-16 NFPA 285、ASTM E2307-15b 與 BS EN 1364 之比較分析

法規	NFPA 285	ASTM E2307-15b	BS EN 1364
實驗屋尺寸	兩層樓房，正面開口建築 (室內尺寸約為長 3m×寬 3m×高 2m)		立面 3m×3m 的門牆爐
試驗情況	室內火災、窗戶破口延燒		室內火災
試驗試體	一般牆面、平面帷幕牆	平面帷幕牆、層間塞	帷幕牆(不限定平面)(調整牆體的安裝方向即可分別測試內外 部曝火實驗) (BS EN 1364-4 則為測試帷幕 牆系統中特定元件，如立柱... 等，的方法)
試體尺寸	兩層樓高的試驗牆(裝配 於框架上) (約 5.3m 高×4.1m 寬)	試驗牆尺寸同 NFPA 285 層間塞至少 4m 長	配合門牆爐開口大小
試驗火源	900 kW 的測試室燃燒器 400 kW 的窗戶燃燒器 (前者點燃 5 分鐘後再點燃)		門牆爐內燃燒器 (參照 BS EN 1364-1)
試驗時間	30 分鐘	2 小時 (前 30 分鐘過程與 NFPA 285 相同，之後將室 內溫度控制在 E119 溫度 曲線的指定範圍內)	不限，視實驗需求而定。
時間-溫度曲線	見文獻[1][2]		見文獻[3]
未通過試驗條件	牆外表面的火焰延燒至 窗戶上方 3.05 公尺以上 時，或中心線兩側 1.5 公 尺以外 帷幕牆二樓背火面溫度 達 206°C 以上	T 等級： 層間塞非曝火面上偵測的 溫度超過初始溫度的 181°C 以上 F 等級： 火焰突破層間塞/層間塞非 曝火面上的棉花墊遭火焰 或熱氣點燃	檢視牆面及封口處遇火後的完 整度及密封狀況(參照 BSEN 1364-1) 牆面是否有變形產生

(資料來源：何明錦、林大惠、李訓谷、胡幃傑、劉育良，建築物帷幕牆垂直立面火焰延燒特性之研究。內政部建築研究所協同研究報告，2016 年 12 月。)

第五節 外牆或帷幕牆防火阻熱性能分析

在 106 年度建研所計畫案[11]中已經完成一次 ASTM E2307-15b 試體試驗，圖 3-34 至圖 3-37 為廠商提供之設計圖，圖 3-38 為施工完成之試體外觀，圖 3-39 與圖 3-40 為測試室與觀察室內部之防護，在此次試體試驗所使用之帷幕牆為直橫料鋁帷幕牆，試體的框架為鋁擠型，在樑帶上下範圍部分使用鍍鋅鋼板進行防護。

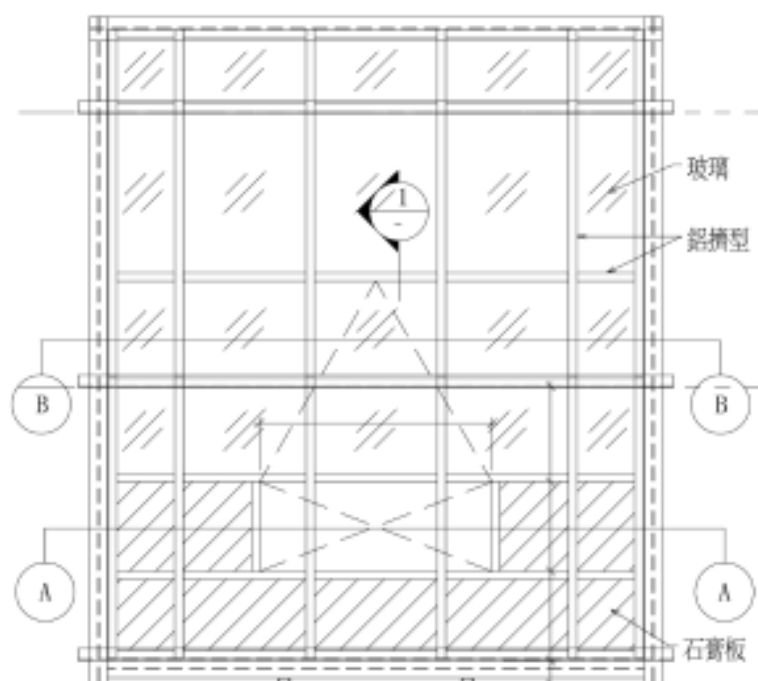


圖 3-34 A 廠商帷幕牆設計圖(正視圖)

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

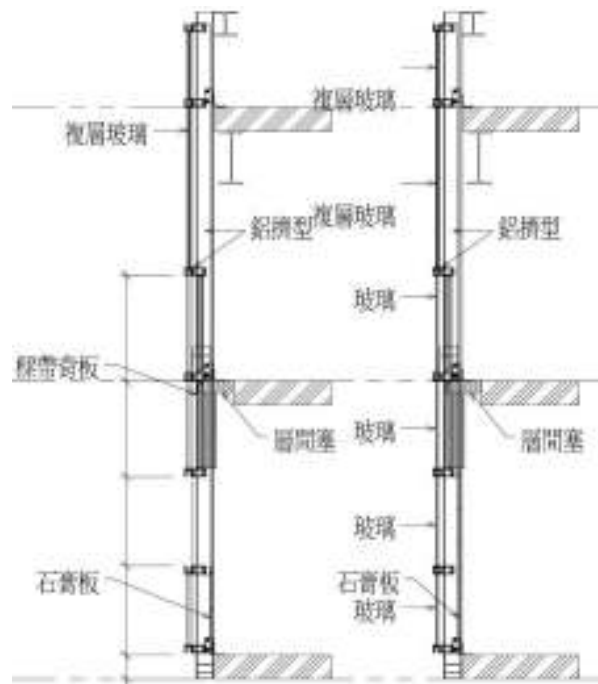


圖 3-35 A 廠商帷幕牆設計圖(測視圖)

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017年。)

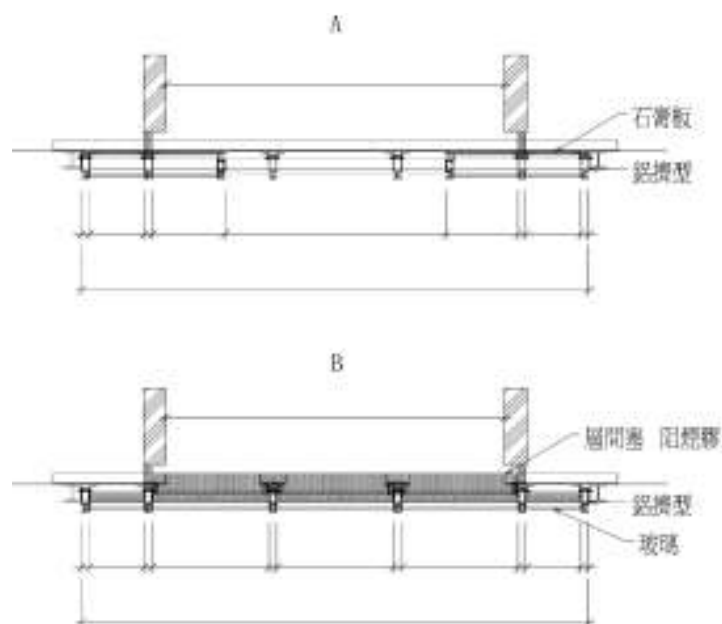


圖 3-36 A 廠商帷幕牆設計圖(平剖面)

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)

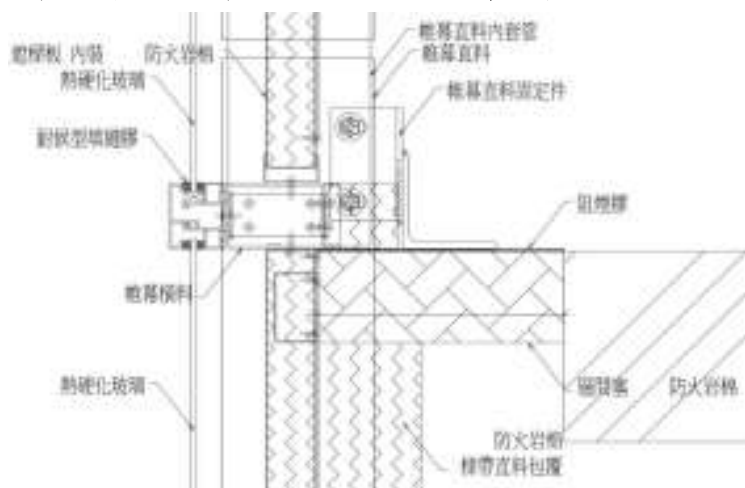


圖 3-37 A 廠商帷幕牆與層間塞設計圖

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)



圖 3-38 106 年度計畫案之試體外觀

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)



圖 3-39 106 年度計畫案試體試驗屋 1F 試驗室之防護

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)



圖 3-40 106 年度計畫案試體試驗屋 2F 觀察室之防護

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

此次試驗共進行 54 分鐘 33 秒，主要是火焰穿透層間塞並點燃阻煙膠後終止試驗。本次試驗所使用的 LPG 流量如表 3-17 所示，實驗歷程如表 3-18 表 3-19 所示，現場布置與火焰照片如圖 3-38 至圖 3-44，熱熱像儀影像如圖 3-45。第一次試體試驗的升溫曲線如圖 3-46 及圖 3-47 所示，而溫度誤差隨時間的變化則如圖 3-48 至圖 3-49 所示。其中 5 號熱電偶因為功能失效，因此測得數據不予採計。測試室內完整試驗期間的溫度變化則由圖 3-50 所示。

表 3-17 燃燒器流量

Time Interval (min)	Room Burner (m ³ /min)		Window Burner (m ³ /min)	
	ASTM E2307-15b	Test 9 (0.7/0.6x)	ASTM E2307-15b	Test 9 (0.3/0.2x)
0-5	1.08	0.76	0	0
5-10	1.08	0.76	0.25	0.08
10-15	1.22	0.85	0.34	0.07
15-20	1.30	0.91	0.45	0.07
20-25	1.30	0.91	0.54	0.08
25-30	1.42	0.99	0.62	0.09
30-35	1.42	0.85	0.62	0.09
35-40	1.42	0.78	0.62	0.09
40-45	1.42	0.99	0.62	0.09
45-50	1.42	0.99	0.62	0.09
50-55	1.42	0.99	0.62	0.09

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

表 3-18 試驗歷程表(帷幕牆外部)

Time (hr : min : sec)	發生現象
00:00:00	測試室燃燒器點燃，實驗開始。
00:05:00	窗戶燃燒器點燃。
00:06:00	玻璃開始裂開，現場有巨響。
00:06:15	窗戶開口部上方玻璃開始掉落。
00:06:20	窗戶開口部上方玻璃繼續掉落，其中一片落在窗戶燃燒器出火口上。
00:10:50	細碎玻璃掉落。
00:14:14	二樓下半部玻璃開始裂開。
00:15:14	帷幕牆上緣冒煙。
00:15:21	窗戶開口部上方鋁料燒毀。
00:16:00	窗戶開口部中間兩根鋁料變形。
00:19:14	位於二樓樓板處的橫梁邊緣著火。
00:20:07	原落於燃燒器出火口上的玻璃碎片改變位置，中間處的火焰高度開始變高。
00:22:44	窗戶開口部上方中央處鍍鋅鋼板邊緣著火。
00:24:17	二樓樓板以上的玻璃開始掉落，位於該處的 6 號熱電偶位置開始隨氣流擺盪。
00:36:11	二樓樓板以上的玻璃掉落。
00:40:47	二樓樓板以上位於角落的玻璃掉落。
00:54:33	試驗結束。

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

表 3-19 試驗歷程表(觀察室)

Time (hr : min : sec)	發生現象
00:00:00	室內燃燒器點燃，實驗開始。
00:02:43	試驗櫃與樓板連接支架(室內往窗戶看右側)處有煙流飄出。
00:05:00	點燃窗戶燃燒器。
00:06:00	玻璃發出聲音。
00:09:08	煙流量變多。
00:16:00	從二樓窗戶可以看到室外火焰。
00:16:30	中間偏左的熱電偶處有煙流飄出。
00:19:30	帷幕牆與層間塞交接處有煙流飄出。
00:20:30	層間塞中間熱電偶部位有煙流飄出。
00:30:00	層間塞中間熱電偶部位飄出的煙流變多。
00:30:00~00:47:00	煙流持續漂流至觀察室，室內可感覺到溫度明顯上升(體感)
00:48:00	開始有火焰從層間塞與帷幕牆交接處竄出，但不連續。
00:52:30	層間塞與帷幕牆交接處縫隙明顯變大，從觀察室已經可以看到火焰。
00:53:40	火焰延燒至二樓，阻煙膠被點燃。

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017年。)



圖 3-41 現場布置圖

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017年。)



圖 3-42 窗戶燃燒器火焰正視圖

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017年。)



圖 3-43 窗戶燃燒器火焰側視圖

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017年。)



圖 3-44 玻璃碎片掉落於窗戶燃燒器出火口

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)

試驗進行五分鐘並點燃窗戶燃燒器後，位於窗口上方的玻璃開始破裂，並於試驗六分鐘之後開始掉落。在約 6 分 20 秒的時候，其中一塊玻璃碎片掉落於窗戶燃燒器的出火口上，並蓋住了火焰 (圖 3-44)。由於此玻璃碎片落於燃燒器的中央位置，使得位於帷幕牆外表面中心線上的 2 號至 7 號熱電偶所量測的溫度驟降，直到該片玻璃在試驗進行約 20 分鐘後掉落至地面，溫度才開始升高(圖 3-46)，並回復至 ASTM E2307-15b 所規定的容許範圍內(圖 3-48)。從熱像儀影像圖 3-45)中，我們可以觀察到火焰在第 10 分鐘以及第 15 分鐘時，溫度分布因為中間部分被玻璃碎片蓋住而呈現中間低兩側高的「凹」字型；而火焰在試驗進行 20 分鐘之後，玻璃碎片離開出火口後恢復以往中間較高兩側較低的三角形型態。

在試驗進行至約 24 分鐘時，位於樑帶上方中央的玻璃也開始破碎並掉落。位於該處的 4-7 號熱電偶原本以耐火膠帶固定於帷幕牆上，在表面玻璃掉落後，整束熱電偶離開了帷幕牆表面的位置，開始隨上升的熱氣擺盪，因此在該時間點之後所量測的溫度上升幅度開始趨緩，其中以 6 號熱電偶的結果最為明顯。

測試室內的溫度，由於試驗條件皆與第九次校正牆試驗相同，因此兩次的試驗結果也非常相似。試驗前 30 分鐘，位於測試室天花板下方以及帷幕牆內表面所量測到的溫度皆符合 ASTM E2307-15b 的規範 (圖 3-47、圖 3-49)，而在試驗第 30 分鐘後至 54 分鐘試驗結束時，測試室內的溫度亦符合 ASTM E119 的規範 (圖 3-50)。

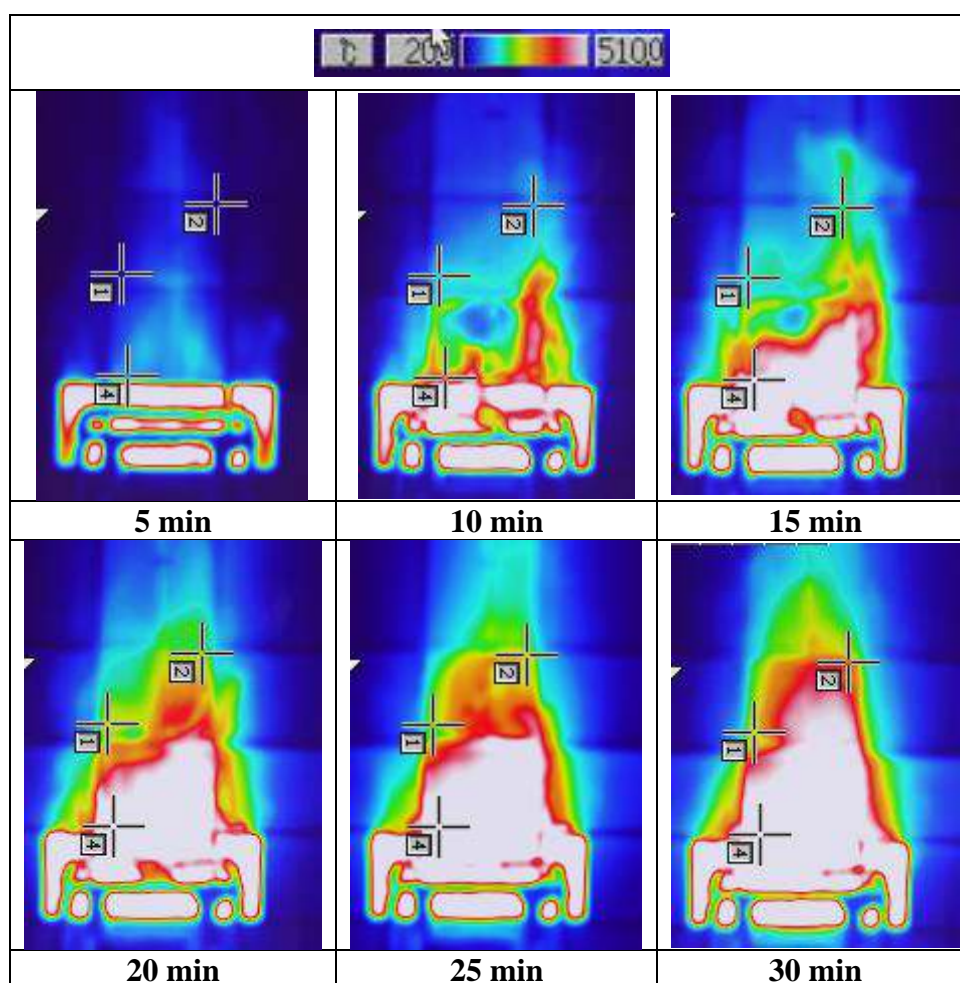


圖 3-45 熱像儀影像

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017年。)

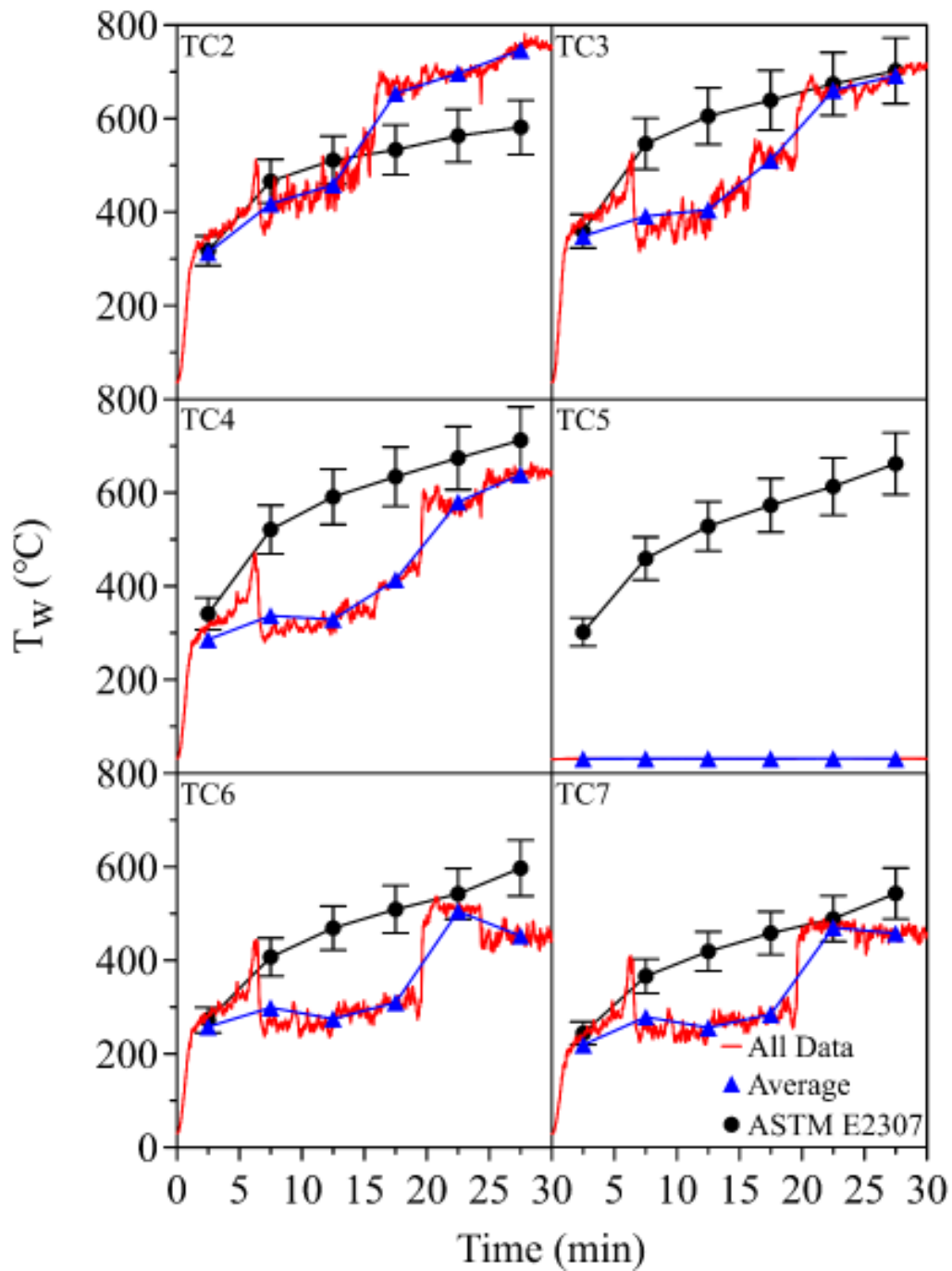


圖 3-46 帷幕牆外表面各點溫度變化

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017年。)

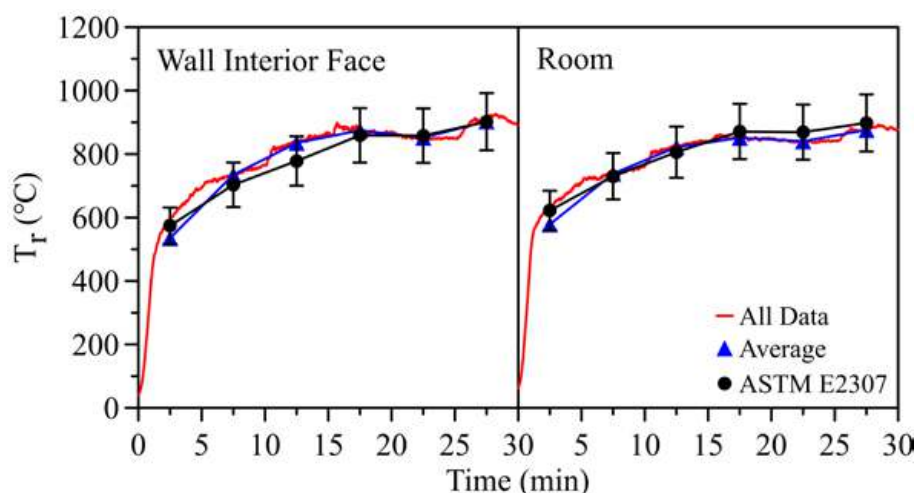


圖 3-47 測試室內部溫度變化

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

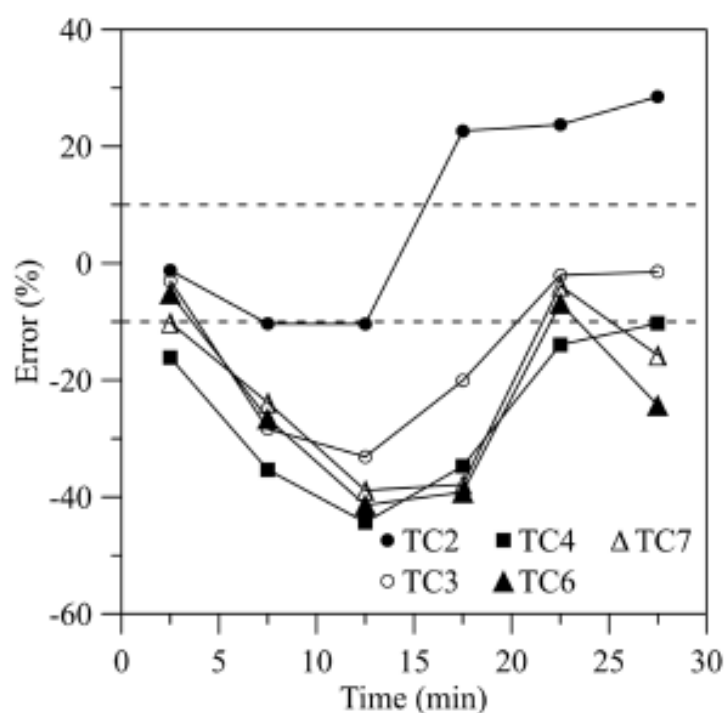


圖 3-48 帷幕牆外表面與校正牆外表面規定溫度誤差變化

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

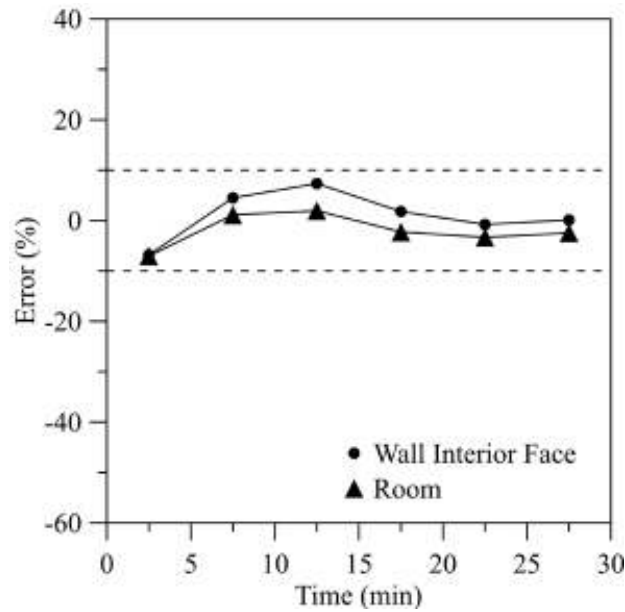


圖 3-49 測試室內溫度誤差變化

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)

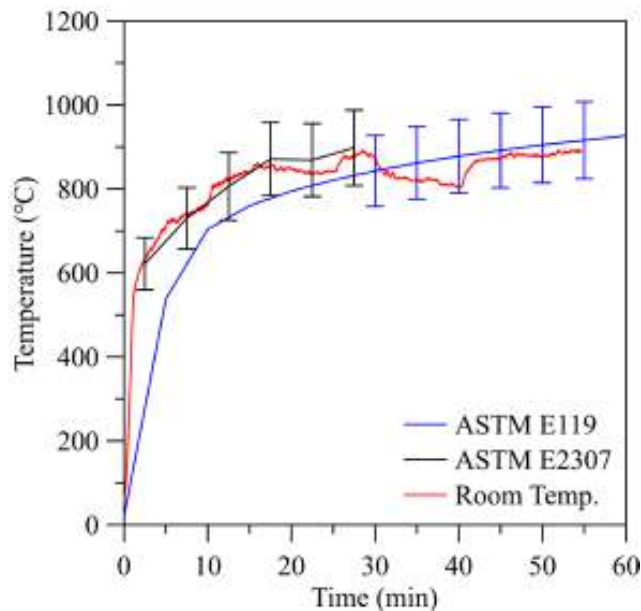


圖 3-50 測試室內 1 小時溫度變化

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)

根據 ASTM E2307-15b，在試驗進行期間層間塞下方的氣壓需保持在 2.5 Pa 以上。為了測量該處的氣壓，研究團隊在距離測試室牆面 10 公分，分別離地面 0.5 公尺以及 1.6 公尺兩處各裝設一支壓力探頭測量該處的氣壓變化，並由兩處的高度去推算出層間塞底部(距地面 2.1 公尺處)的氣壓。如圖 3-51 所示，試驗期間層間塞底部的的氣壓皆大於 2.5 Pa，因此符合法規要求。

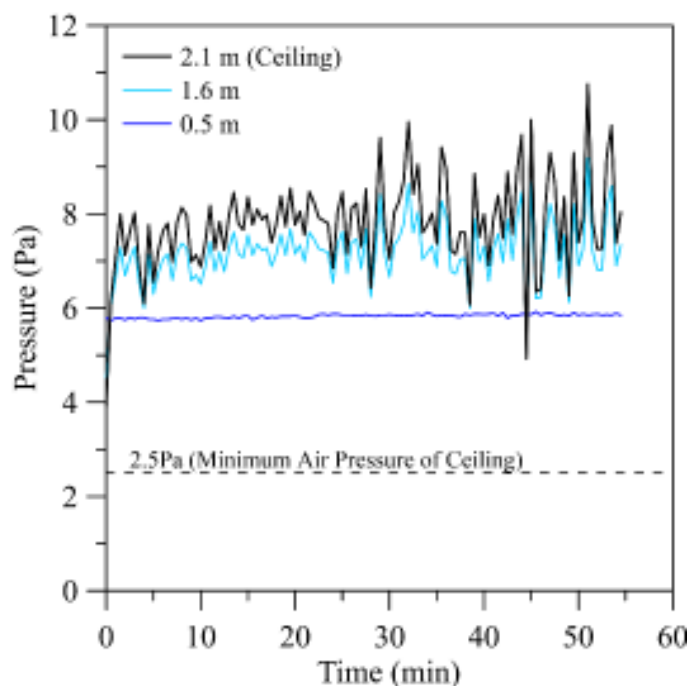


圖 3-51 測試室內部氣壓變化

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

本次試驗在進行至約 9 分鐘時，已開始有煙流穿透層間塞到達觀察室，而在試驗進行至 15 分鐘後煙流量開始顯著增加。試驗進行至第 48 分鐘時，開始有不連續的火光出現在帷幕牆以及層間塞的交接處，直到試驗進行至第 52 分鐘之後，由於帷幕牆樑帶的鍍鋅鋼板脫落而失去保護，使得火焰直接延燒至觀察室，並引燃層間塞表面的阻煙膠。試驗最後於 54 分鐘 33 秒時終止。圖 3-52 至圖 3-54

為層間塞非曝火面上阻煙膠引燃之情形。圖 3-55 及圖 3-56 可觀察到因鍍鋅鋼板脫落而出現的縫隙，以及帷幕牆試體鋁擠型骨架的變形狀況。



圖 3-52 層間塞非曝火面的阻煙膠引燃現象

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)



圖 3-53 層間塞非曝火面的阻煙膠引燃現象

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)



圖 3-54 層間塞非曝火面阻煙膠燒焦

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)



圖 3-55 帷幕牆的鍍鋅鋼板脫落

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)



圖 3-56 帷幕牆的鍍鋅鋼板脫落

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017年。)

根據 ASTM E2307-15b T-Rating 的判定標準，當層間塞的量測表面上任一點溫度高於起始溫度 181°C 以上、或是平均量測溫度高於起始溫度 139°C 以上時，即判定層間塞的阻熱功能失效，或是有火焰竄出，則是防火性能失效。由於此次試驗的起始溫度為 25°C，因此各點所溫度上限為 206°C，平均量測溫度的上限則為 164°C。層間塞非曝火面上熱電偶的位置如圖 3-57 所示；層間塞非曝火面各量測點在試驗過程的溫度變化如圖 3-58 所示。

於試驗進行期間，位於中間位置的層間塞與帷幕牆交界處所量測的溫度一直高於其他點，試驗時間 48 分鐘時，可觀察到層間塞與帷幕牆交接處有不連續的火焰產生，之後於 52 分 27 秒時，鍍鋅鋼板脫落造成火焰穿透層間塞引燃阻煙膠，該層間塞中心線上的溫度超過 206°C 的上限，因此判定層間塞的 F-rating 與 T-Rating 於此時失效。層間塞與帷幕牆試體交界處以及中心處所量測的溫度分別在 52 分 38 秒以及 53 分 05 秒時超過 206 °C。而試驗進行至 54 分 33 秒中止前，層間塞非曝火面的平均溫度為 155 °C，尚未超出 164 °C 的上限。

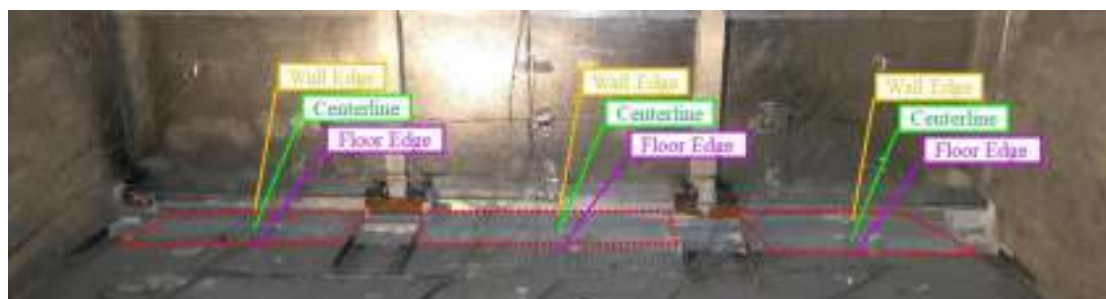


圖 3-57 層間塞背火面熱電偶布置

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明璉，黃俊諭，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，2017 年。)

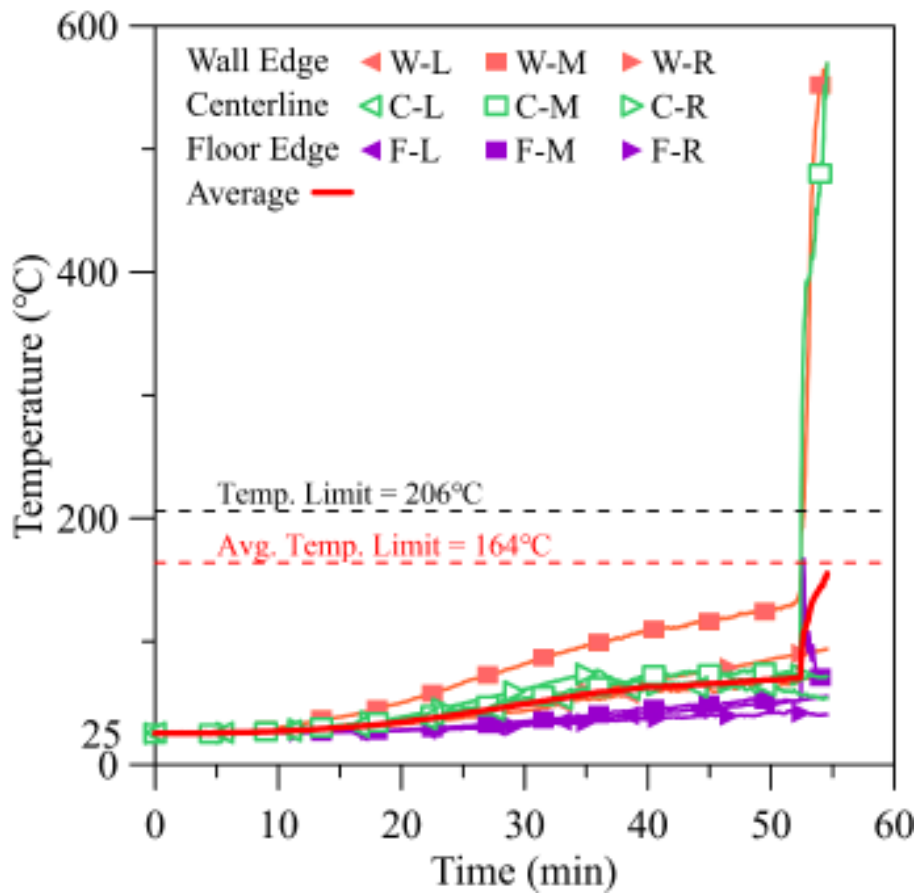


圖 3-58 層間塞非曝火面的溫度變化

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

本試驗另外依據 NFPA 285 所要求之熱電偶布放位置，該試驗總共僅需進行 30 分鐘，並依據帷幕牆表面的延燒情形以及溫度變化作為判定通過測試標準。在試驗期間，帷幕牆外表面的火焰不得延燒至窗戶以上 3.05 公尺處，以及垂直中線左右各 1.52 公尺處(圖 3-59 中紅框範圍)。而位於該高度上限的 11、14-17 共 5 處之熱電偶，試驗期間所量測的溫度亦不得高於 538 °C。該 5 處的熱電偶溫度變化如圖 3-60 所示；從圖中可看到各點的溫度在試驗前 30 分鐘皆未超過 538 °C 的上限，其中溫度最高的 11 號熱電偶位於中心線上，在 30 分鐘時溫度為 307.9 °C，而試驗中止前的溫度為 336.8 °C。另外從圖中也可觀察到距離中心線同樣的距離，帷幕牆外表面右側的溫度會高於左側。

而依據 NFPA 285 在觀察室中的帷幕牆背火面上所布置的 49 號至 51 號熱電偶(圖 3-61)，在試驗期間的溫度上限則為 206 °C。該 6 點的溫度變化如圖 3-61 所示。從圖中可觀察到距離地面 15.2 公分的 49-51 號熱電偶所量測到的溫度，比距離地面 45.7 公分的 52-54 號熱電偶來的高。而相同水平面上，帷幕牆試體背火面左側的溫度比右側來的高，此現象與帷幕牆外表面所量測的溫度分布相符。在試驗進行至 30 分鐘時，溫度最高的位置為位於中間下方的 50 號熱電偶，溫度為 105.5 °C。該處在試驗中止前的溫度上升至 192.6 °C，依然未超出法規的上限 206 °C。綜合以上結論，該帷幕牆試體通過 NFPA 285 的 30 分鐘防火與阻熱測試。

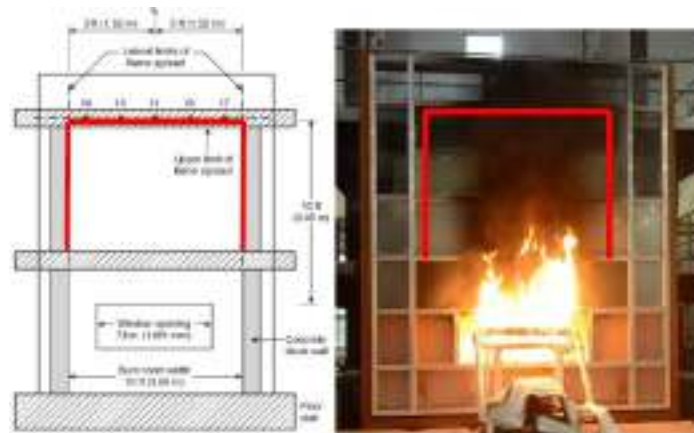


圖 3-59 帷幕牆外表面火焰延燒限制範圍

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

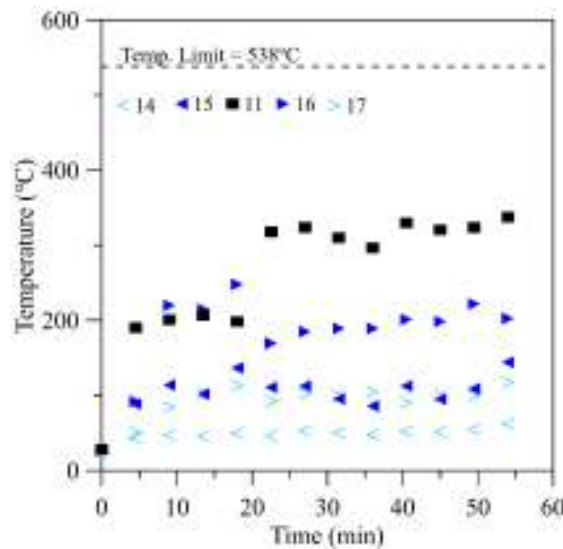


圖 3-60 帷幕牆外表面窗戶以上 3.05 公尺溫度分布

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017 年。)

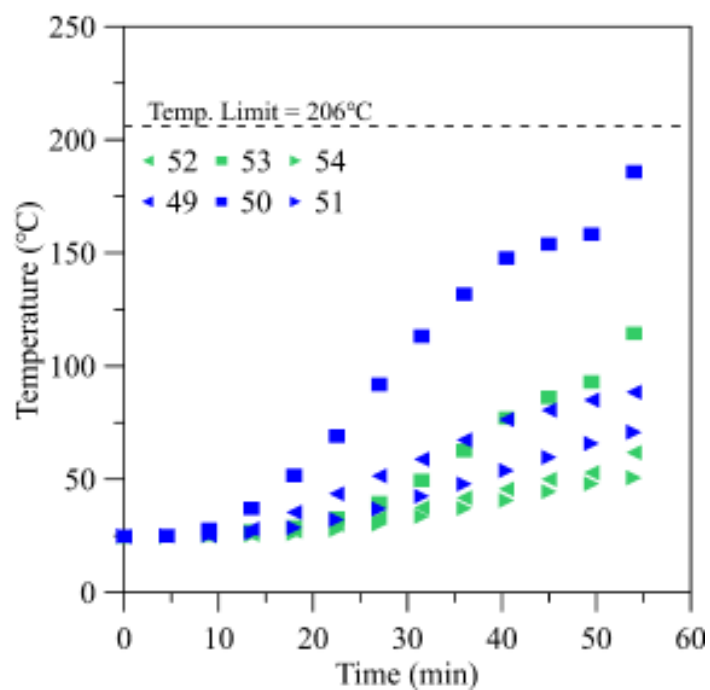


圖 3-61 觀察室內帷幕牆非曝火面溫度變化

(資料來源：蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，陳俊貴，楊明聰，黃俊諭，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，2017年。)

第四章 帷幕牆與層間塞系統防火試驗

第一節 試體試驗

試體建置

本計畫案已進行一次 ASTM E2307-15b 試驗，依照 ASTM E2307-15b 進行熱電偶布置與試驗判定，除了 ASTM E2307-15b，本計畫參照了 NFPA 285 進行熱電偶布置，進行輔助的試驗判定，帷幕牆層間交接構造據 ASTM E2307-15b 之規定，帷幕牆試體之大小至少為 5.34 公尺(高)×4.06 公尺(寬)；牆面至少須延伸至測試室樓板下方 51mm、試驗屋頂部以上 610mm、以及牆面兩側各 305mm 的距離，並須完全覆蓋試驗屋的正面。在一樓測試室處，試體牆面中央將會有一個 762mm ×1981mm 大小的窗戶開口。窗戶高度雖沒有強制，但將參考校正牆試驗之設計，位於下緣離地 762mm 處。此窗戶開口之目的為模擬實際火災發生時，牆面受熱產生破口後火焰的延燒現象。另外，法規裡也要求帷幕牆試體的曝火面，窗戶上緣以下的區域皆須覆蓋兩層 15.9mm 厚的 X-type 石膏板(圖 4-1)。安裝於二樓樓板以及帷幕牆試體間的層間塞尺寸大小則為長度至少須 4.06 公尺長，而寬度則依各廠商設計為主。在 106 年度內政部建研所計畫案中，已經完成了第一次 ASTM E2307-15b 試驗，本研究目前已進行完第二次 ASTM E2307-15b 試驗，兩次試體在樑帶防護的位置不同，本研究也將會進行兩次試驗的比較。

圖 4-2 為 ASTM E2307-15b 國外試驗現場的配置，圖 4-3 則為防火實驗中心目前尚未安裝帷幕牆試體之防火試驗屋。圖中橘色框架為安裝於防火試驗屋上的試體框架。

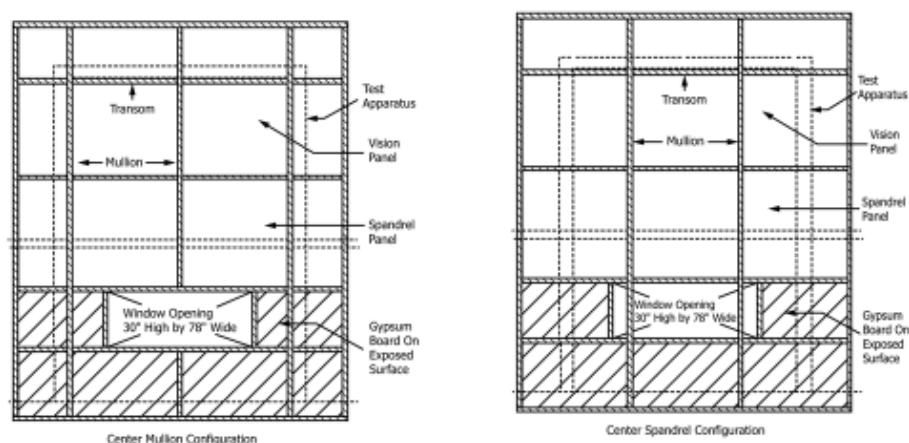


圖 4-1 ASTM E2307-15b 帷幕牆試體設計

(資料來源：ASTM E2307-15b Standard Test Method for Determining Fire Resistance of Perimeter Fire Barriers Using Intermediate-Scale, Multi-story Test Apparatus, ASTM International, 2015.)



圖 4-2 國外試驗現場

(資料來源：Owens Corning, Aluminum-Framed Curtain Wall Perimeter Fire Containment System - ASTM E2307, Technical Bulletin, 2016)



圖 4-3 安裝試體框架至防火試驗屋

(本研究製作)

圖 4-4、圖 4-5 為本次計畫案依照 ASTM E2307-15b 進行測試的帷幕牆試體設計圖，帷幕牆試體表面為強化玻璃，在一、二樓樓板樑帶的上下位置安裝鍍鋅鋼板作為防火背板，開口部窗戶上緣以下的曝火面，依照法規要求安裝強化石膏板保護。此帷幕牆試體骨架在樑帶部分橫料由鋼材構成，先將直料固定在框架之後，再進行橫料的安裝，骨架安裝完成後，進行鍍鋅鋼板以及強化石膏板的安裝，最後安裝強化玻璃，圖 4-6 至圖 4-10 為施工之過程。

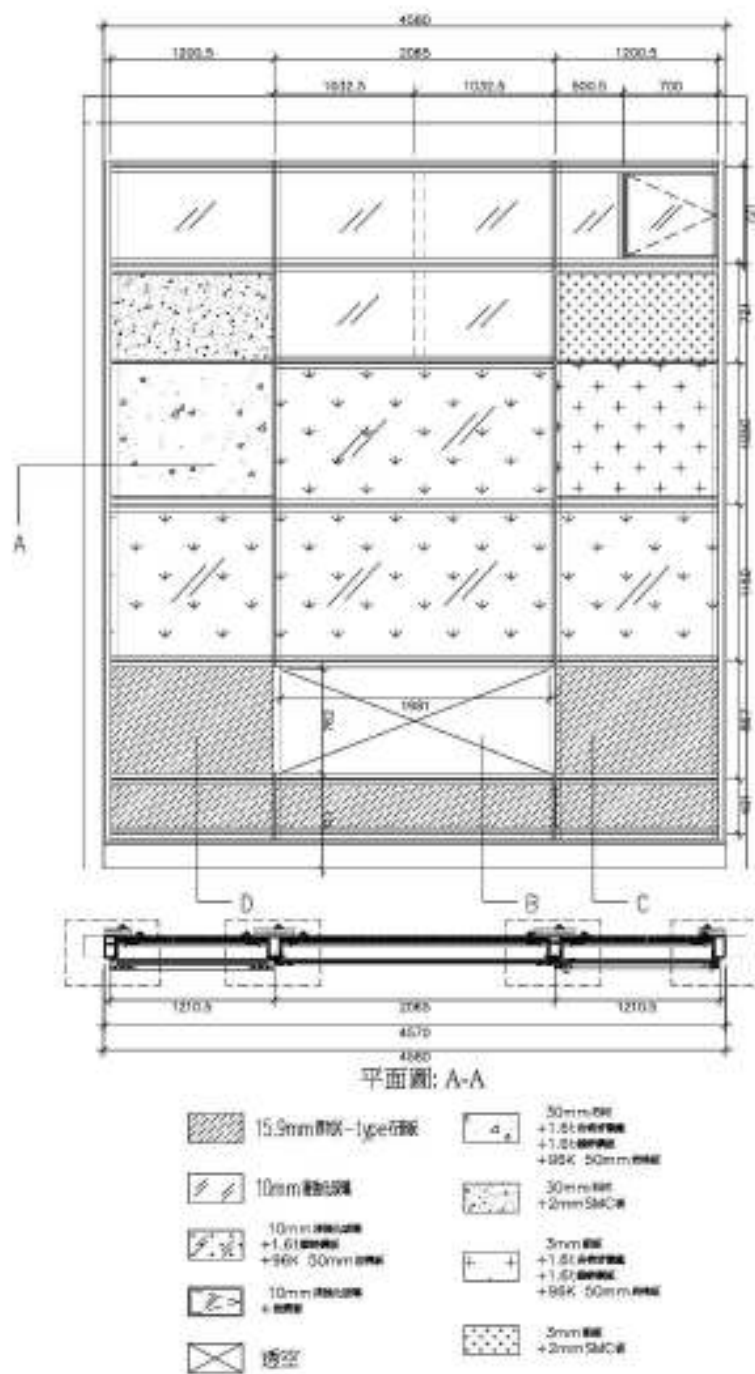


圖 4-4 試體設計圖(正視圖)

(資料來源：B 廠商)

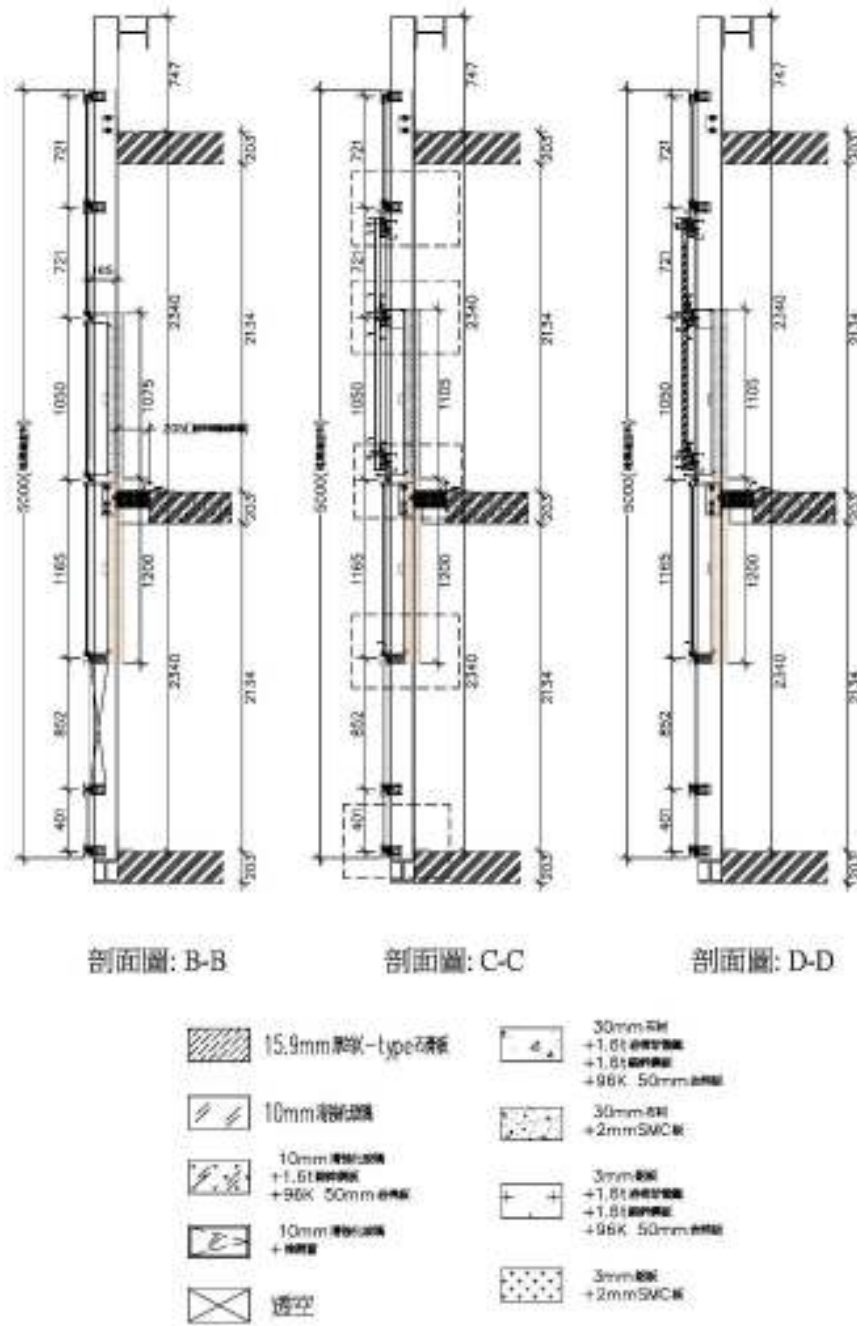


圖 4-5 試體設計圖(側視圖)

(資料來源：B 廠商)



圖 4-6 將骨架固定在試體框架上

(本研究製作)



圖 4-7 鍍鋅鋼板安裝

(本研究製作)



圖 4-8 強化玻璃安裝

(本研究製作)

帷幕牆試體安裝完畢後，為了保護立柱以及樑帶部分，會將岩棉覆蓋在試驗屋一樓以及二樓的內表面並且固定，此處使用的岩棉材料與層間塞使用的岩棉相同，唯密度較層間塞使用的岩棉大，試驗屋樑帶位置內部表面的岩棉施工完成後會進行層間塞的施作。

層間塞的安裝過程中，層間塞所使用的材料為密度 64kg/m^3 的岩棉，為了保持 80% 的壓縮比，需以寬度 30 公分的未壓縮岩棉來填塞現場 25 公分寬的層間縫隙。安裝的方法為先以塑膠套將岩棉細綁，壓縮至所需的寬度後塞進層間縫隙中。將細綁的塑膠套移除後，岩棉將會自動膨脹並與層間縫隙緊密配合。確定岩棉的表面與樓板等高後，即可塗上厚度 1/8 英寸的阻煙膠，並將表面延伸至覆蓋樓板 1/4 英寸的長度。



圖 4-9 測試室內部窗戶開口上方使用岩棉進行保護

(本研究製作)



**圖 4-10 觀察室外牆內表面使用岩棉進行保護，並在層間塞上方施加
阻煙膠**

(本研究製作)

熱電偶布置

ASTM E2307-15b 主要目的為測試層間縫隙處之層間塞的防火性能，判斷火焰是否能穿透層間縫隙到達二樓，因此試驗期間主要只量測測試室內的溫度以及層間塞背火面的溫度變化。測試室內的熱電偶安裝位置，除了校正試驗中天花板下方 15.2 公分處五點(圖 4-11 中 41 號至 45 號熱電偶)、及帷幕牆內表面上距地面 182.9 公分處三點(圖 4-12 中 46 號至 48 號熱電偶)之外，尚需在層間塞底部處安裝四個裸線熱電偶。此四個裸線熱電偶分別距離帷幕牆內表面及層間底部 30.5 公分，並彼此距離 61 公分平均分布於測試室內，如圖 4-13 圖 4-14 所示。

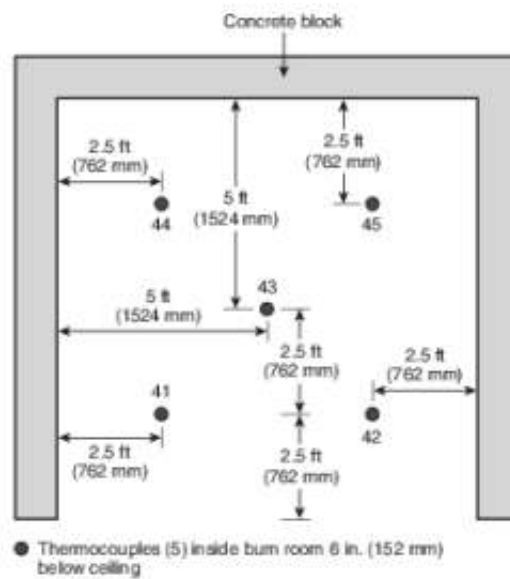


圖 4-11 測試室上方熱電偶配置

(資料來源：NFPA 285 Standard Method of Test for the Evaluation of Flammability Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components Using the Intermediate-Scale, Multistory Test Apparatus, National Fire Protection Association, 2012.)

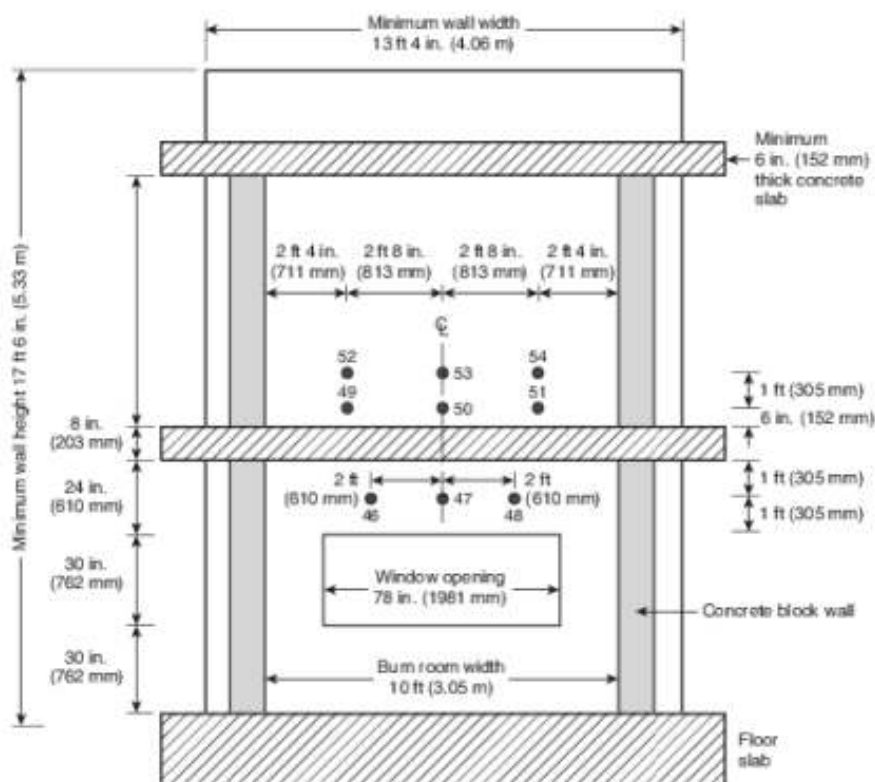


圖 4-12 測試室內表面熱電偶配置

(資料來源：NFPA 285 Standard Method of Test for the Evaluation of Flammability Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components Using the Intermediate-Scale, Multistory Test Apparatus, National Fire Protection Association, 2012.)

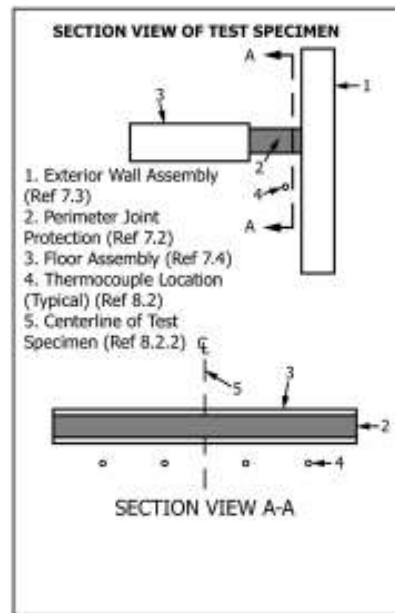


圖 4-13 層間塞底部熱電偶位置

(資料來源：ASTM E2307-15b Standard Test Method for Determining Fire Resistance of Perimeter Fire Barriers Using Intermediate-Scale, Multi-story Test Apparatus, ASTM International, 2015.)

根據 ASTM E2307-15b，需分別在層間塞背火面的中線、層間塞與樓板的交界處、及與外牆的交界處上布置至少兩個熱電偶，另外每塊層間塞的中心處也需布置一個熱電偶(圖 4-14)。由於本試驗的試體總共在層間縫隙左、中、右處各有安裝一塊岩棉作為層間塞，因此選擇在這三塊岩棉的垂直中線上依照法規所指定的位置安裝 4 個熱電偶，如圖 4-15 所示。最後層間塞背火面上總共安裝 12 個熱電偶，而每個熱電偶的表面皆依法要求裝上隔熱墊片。

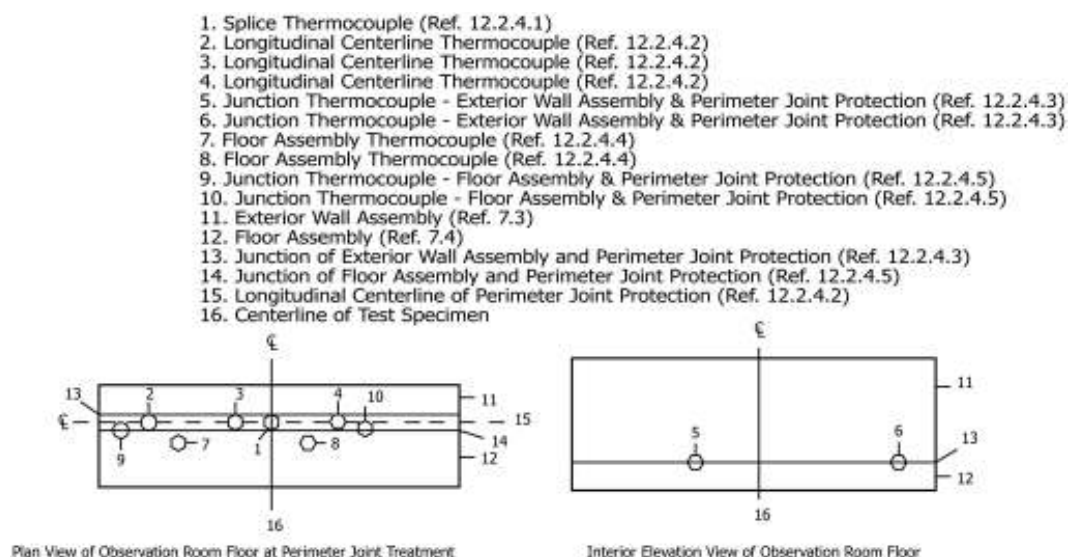


圖 4-14 層間塞背火面熱電偶位置

(資料來源：ASTM E2307-15b Standard Test Method for Determining Fire Resistance of Perimeter Fire Barriers Using Intermediate-Scale, Multi-story Test Apparatus, ASTM International, 2015.)

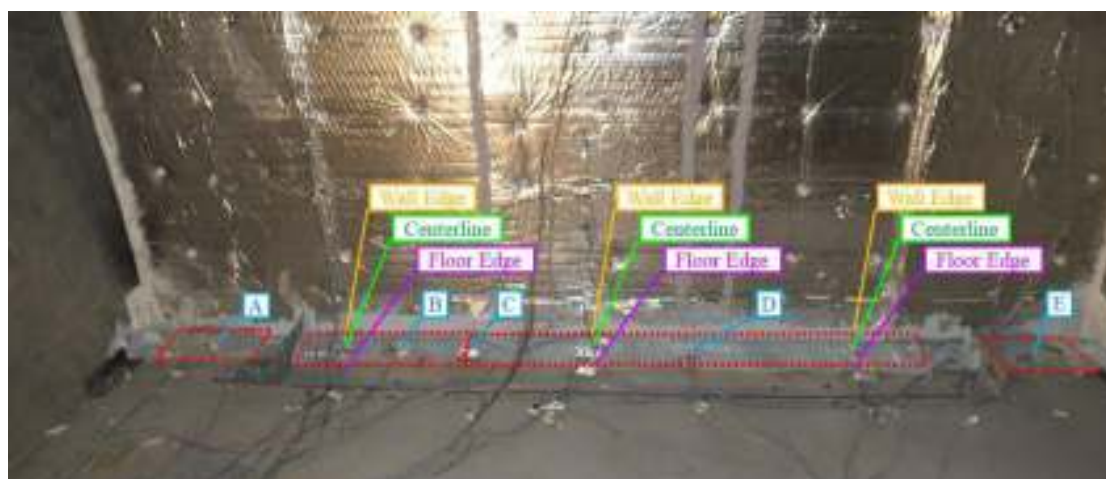


圖 4-15 層間塞背火面熱電偶位置

(本研究製作)

NFPA 285 主要目的為測試帷幕牆的延燒與防火性能，判斷火焰是否會沿著帷幕牆表面延燒至二樓，因此試驗期間主要量測帷幕牆上內外表面的溫度變化。本試驗依照 NFPA 285 的規定(圖 4-16)，於帷幕牆外表面上安裝 1 號至 13 號熱

電偶於中心線上，並於窗戶上方 3.05 公尺處(與 11 號熱電偶同高)安裝 14 號至 17 號熱電偶。內表面則沿中心線安裝 21 號至 28 號熱電偶，並於觀察室內的帷幕牆內表面上安裝 49 號至 54 號熱電偶如圖 4-17 所示。

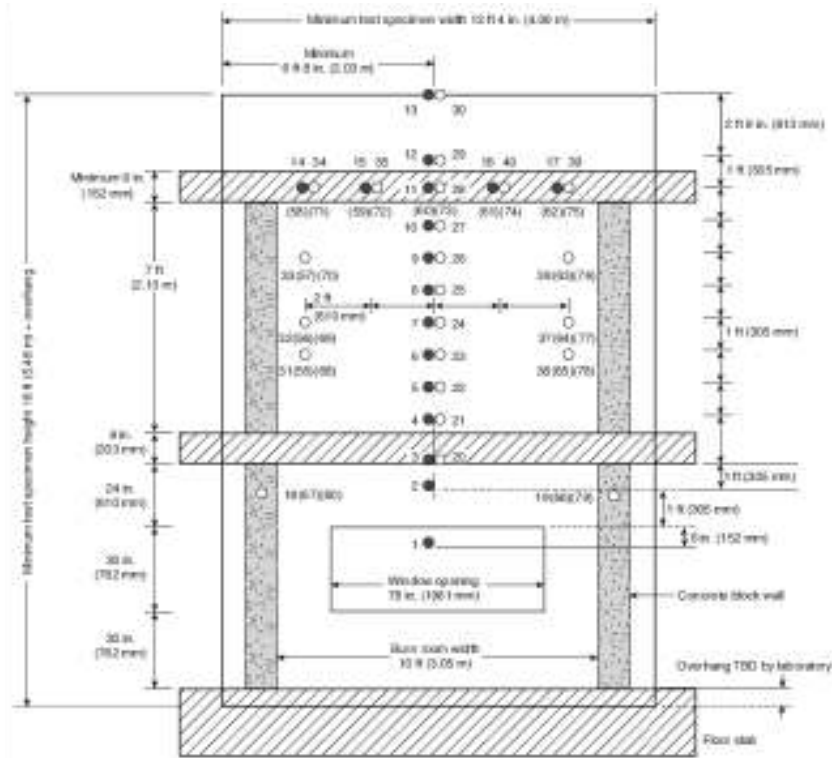


圖 4-16 帷幕牆面熱電偶布置

(資料來源：NFPA 285 Standard Method of Test for the Evaluation of Flammability Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components Using the Intermediate-Scale, Multistory Test Apparatus, National Fire Protection Association, 2012.)

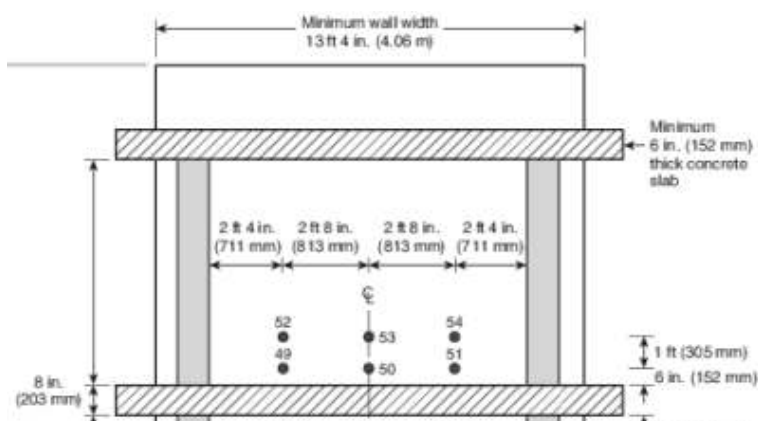


圖 4-17 觀察室內帷幕牆內表面熱電偶布置

(資料來源：NFPA 285 Standard Method of Test for the Evaluation of Flammability Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components Using the Intermediate-Scale, Multistory Test Apparatus, National Fire Protection Association, 2012.)

試驗結果

表 4-1 為根據內政部建研所 106 年「帷幕牆層間縫隙構造防火性能及設計構法之研究」實驗之結果所設定之燃燒器流率，在試驗進行至 87 分鐘時，為了使測驗室內溫度更接近 ASTM E119 之規範，將室內燃燒器的流率增加至 1.2 m³/min。

本次試驗總共進行了 2 個小時，實驗歷程如表 4-2 及表 4-3 所示，現場布置如圖 4-18 所示，圖 4-19 和圖 4-20 為窗戶燃燒器火焰，熱像儀影像如圖 4-21 所示，試體的升溫曲線如圖 4-22 所示，測驗室內的溫度變化如圖 4-23 所示，溫度誤差隨著時間的變化如圖 4-24 所示，圖 4-25 為測試室內溫度變化。

表 4-1 燃燒器流量

Time Interval (min)	Room Burner (m ³ /min)		Window Burner (m ³ /min)	
	ASTM E2307-15b	Test 9 (0.7/0.6x)	ASTM E2307-15b	Test 9 (0.3/0.2x)
0-5	1.08	0.76	0	0
5-10	1.08	0.76	0.25	0.08
10-15	1.22	0.85	0.34	0.07
15-20	1.30	0.91	0.45	0.07
20-25	1.30	0.91	0.54	0.08
25-30	1.42	0.99	0.62	0.09
30-35	1.42	0.85	0.62	0.09
35-40	1.42	0.78	0.62	0.09
40-45	1.42	0.99	0.62	0.09
45-50	1.42	0.99	0.62	0.09
50-55	1.42	0.99	0.62	0.09
55-60	1.42	0.99	0.62	0.09
60-65	1.42	0.99	0.62	0.09
65-70	1.42	0.99	0.62	0.09
70-75	1.42	0.99	0.62	0.09
75-80	1.42	0.99	0.62	0.09
80-85	1.42	0.99	0.62	0.09
85-87	1.42	1.1	0.62	0.09
87-end	1.42	1.2	0.62	0.09

(本研究製作)

表 4-2 試驗歷程表(室外觀測)

Time (hr : min : sec)	發生現象
0:00:00	實驗開始。
0:05:18	外燃燒器點燃。
0:07:40	窗戶上方玻璃破裂。
0:08:35	窗戶上方更多玻璃破裂。
0:09:40	窗戶兩側直料之塑膠外殼融化。
0:17:15	二樓玻璃破裂。
0:32:50	更多二樓玻璃破裂。
0:49:55	窗戶上緣石膏板掉落。
1:20:05	二樓玻璃，零星碎片掉落。
2:00:00	實驗結束。

(本研究製作)

表 4-3 試驗歷程表(觀察室)

Time (hr : min : sec)	發生現象
0:00:00	實驗開始(下午 02:10)。
0:05:18	外燃燒器點燃。
0:07:40	左側直料位置的岩棉漏煙。
0:09:55	右側直料位置的岩棉漏煙。
0:14:42	中間岩棉漏煙。
0:19:30	固定岩棉釘子的白色蓋子脫落(可能是因受熱變形)。
0:22:20	右側外牆與樓板的固定件位置的岩棉漏煙。
0:30:20	壁面岩棉的縫隙漏煙。
0:34:10	阻煙膠開始出現膨脹的現象。
0:47:00	阻煙膠多處明顯膨脹。
0:55:00	左邊牆壁的固定件漏煙。
1:01:00	左側的固定件漏煙。
1:02:00	中間岩棉壁面靠近樓板的位置漏煙。
1:27:00	層間塞多處開始漏煙，樓板的裂縫漏煙並且有水氣。
1:37:00	左右側扣件位置的阻煙膠變色。
1:44:00	中間阻煙膠變色。
1:52:00	岩棉最頂部縫隙漏煙。
2:00:00	實驗結束。

(本研究製作)



圖 4-18 帷幕牆試體外觀

(本研究製作)



圖 4-19 窗戶燃燒器火焰

(本研究製作)



圖 4-20 窗戶燃燒器火焰側視圖

(本研究製作)

試驗開始進行 5 分鐘之後點燃窗戶燃燒器，在時間 7 分 40 秒時帷幕牆的玻璃開始破裂，在 9 分 40 秒時窗戶開口兩側的直料外殼融化，試驗進行過程中玻璃持續的破裂，根據圖 4-22 可以觀察到外牆中心線 2 號到 7 號的熱電偶溫度變化，各點在前 5 分鐘時皆未達到法規要求之溫度，2 號點 5 至 10 分鐘溫度進入法規規定範圍，到 30 分鐘時在法規規定之上限，3 號點在 15 分鐘後溫度約在法規下線符合法規標準，其餘溫度點皆低於法規之標準。直到試驗結束帷幕牆骨架與鍍鋅鋼板皆未掉落。

測試室的溫度在試驗開始 5 分鐘到 15 分鐘這段時間內表面的量測點略高於法規標準，15 分鐘後天花板下方與內表面量測之溫度皆符合 ASTM E2307-15b 的規範，30 分鐘後到試驗結束，室內溫度也符合 ASTM E119 的規範。

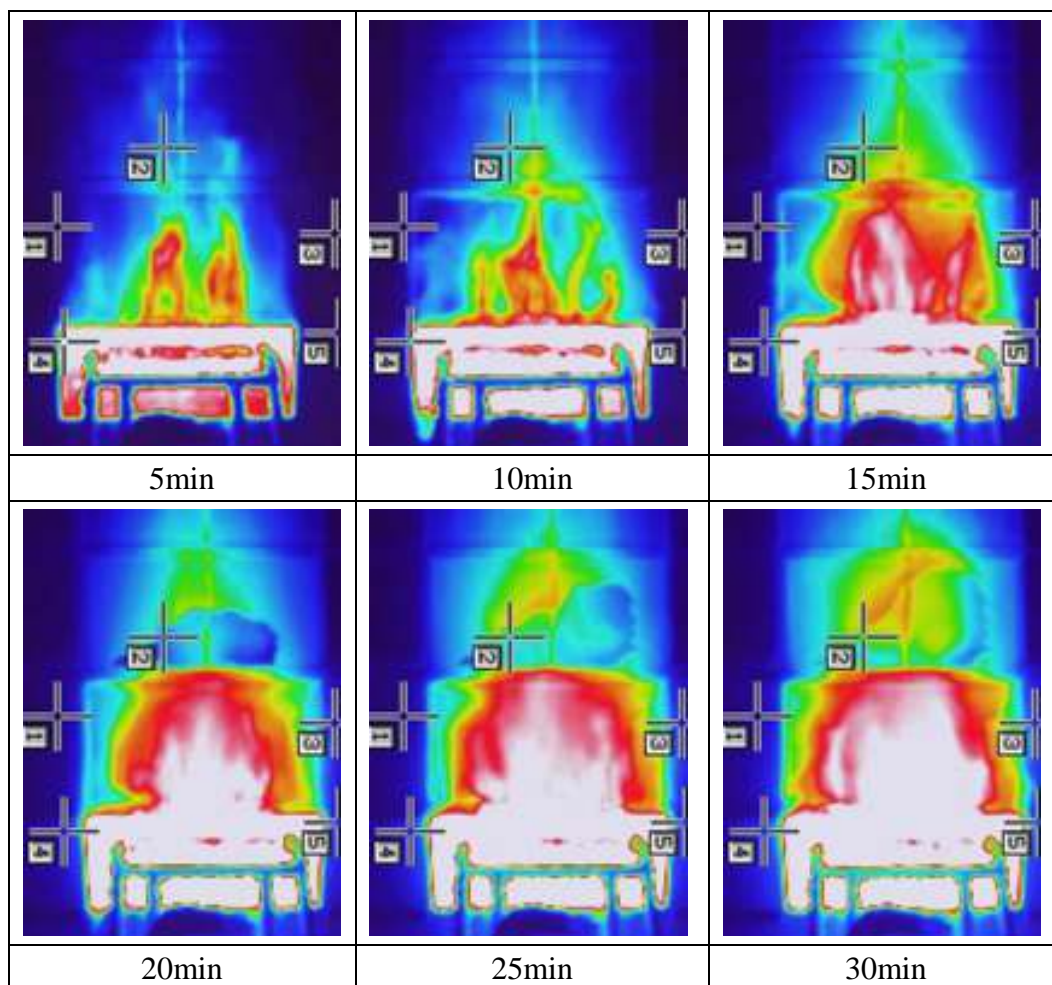


圖 4-21 實驗歷程熱像儀影像

(本研究製作)

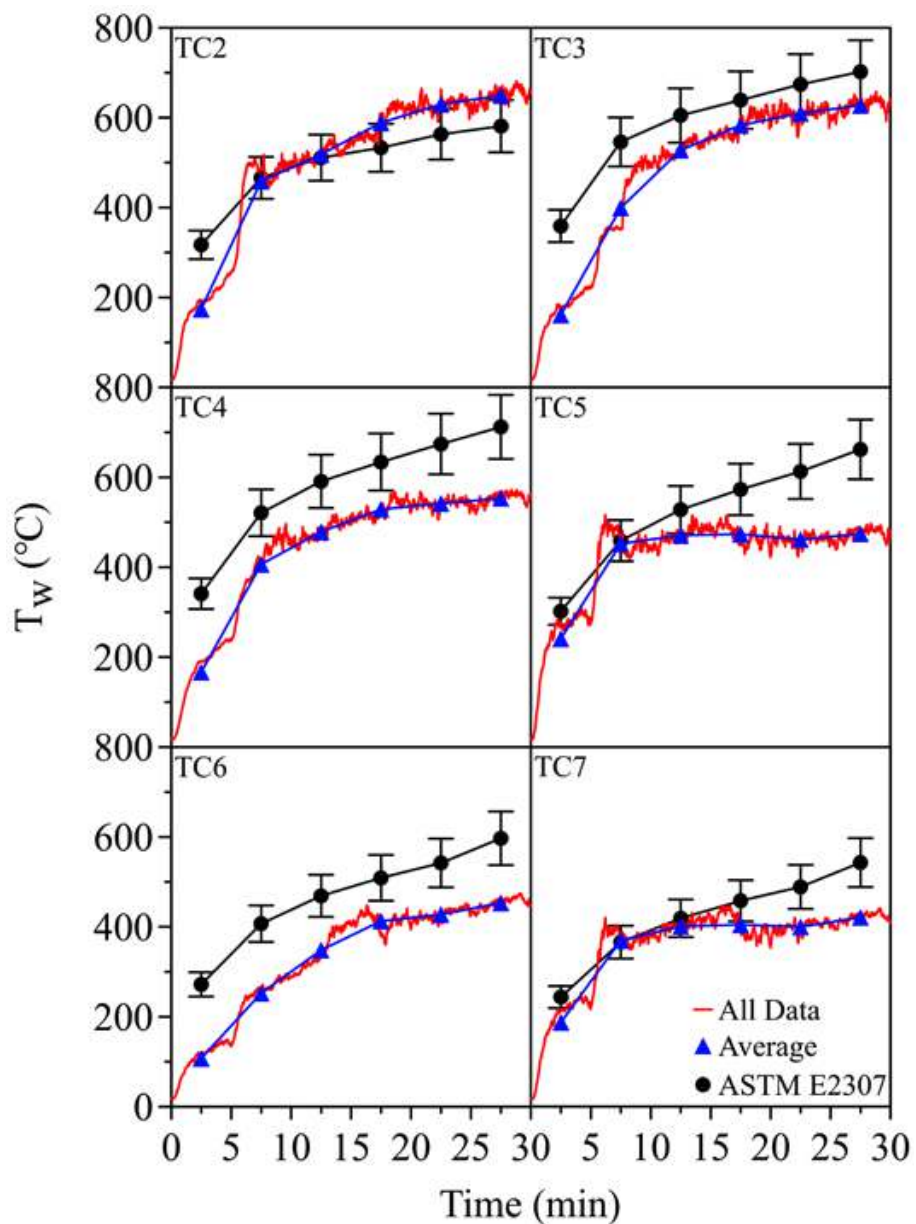


圖 4-22 帷幕牆外表面各點溫度變化

(本研究製作)

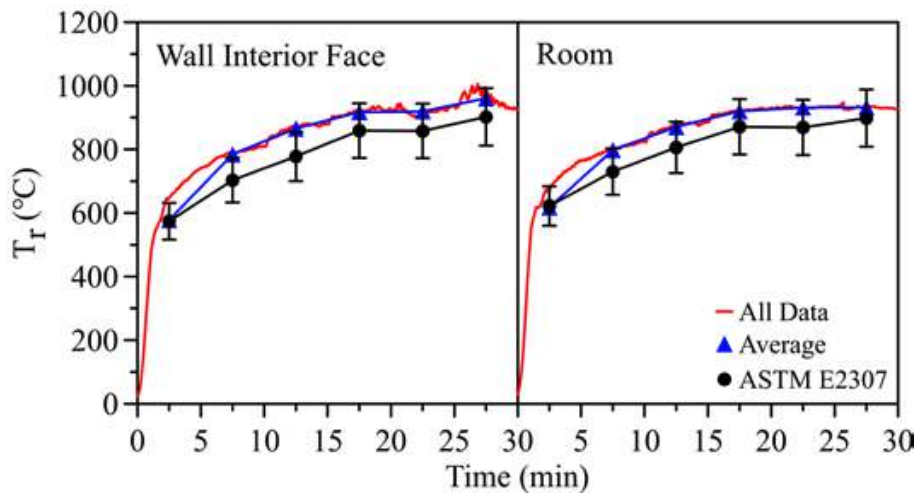


圖 4-23 測驗室內部溫度變化

(本研究製作)

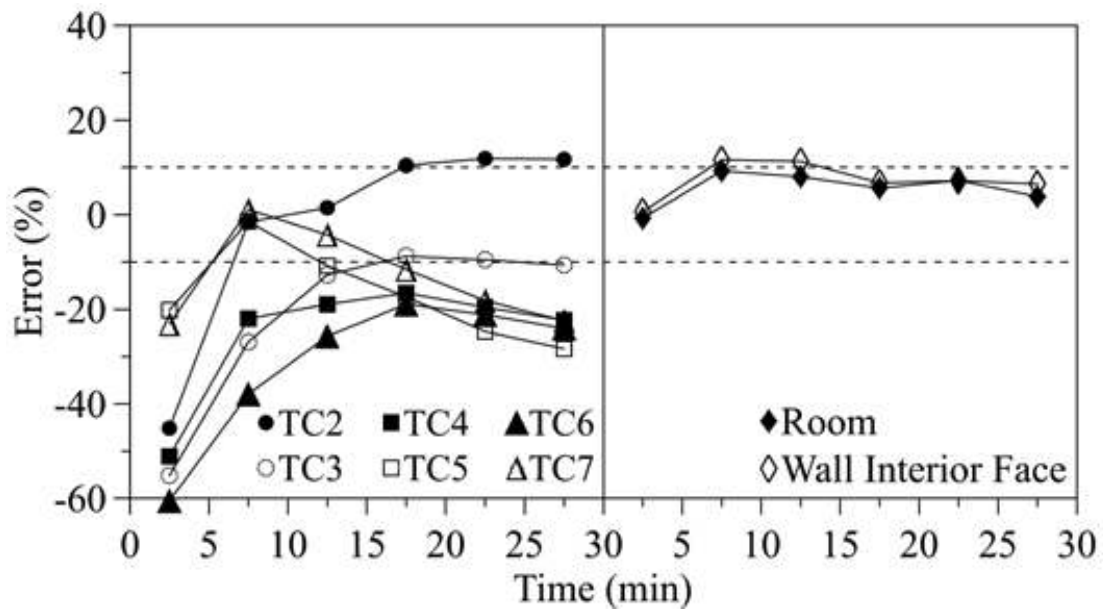


圖 4-24 帷幕牆外表面與校正牆外表面規定溫度溫差變化

(本研究製作)

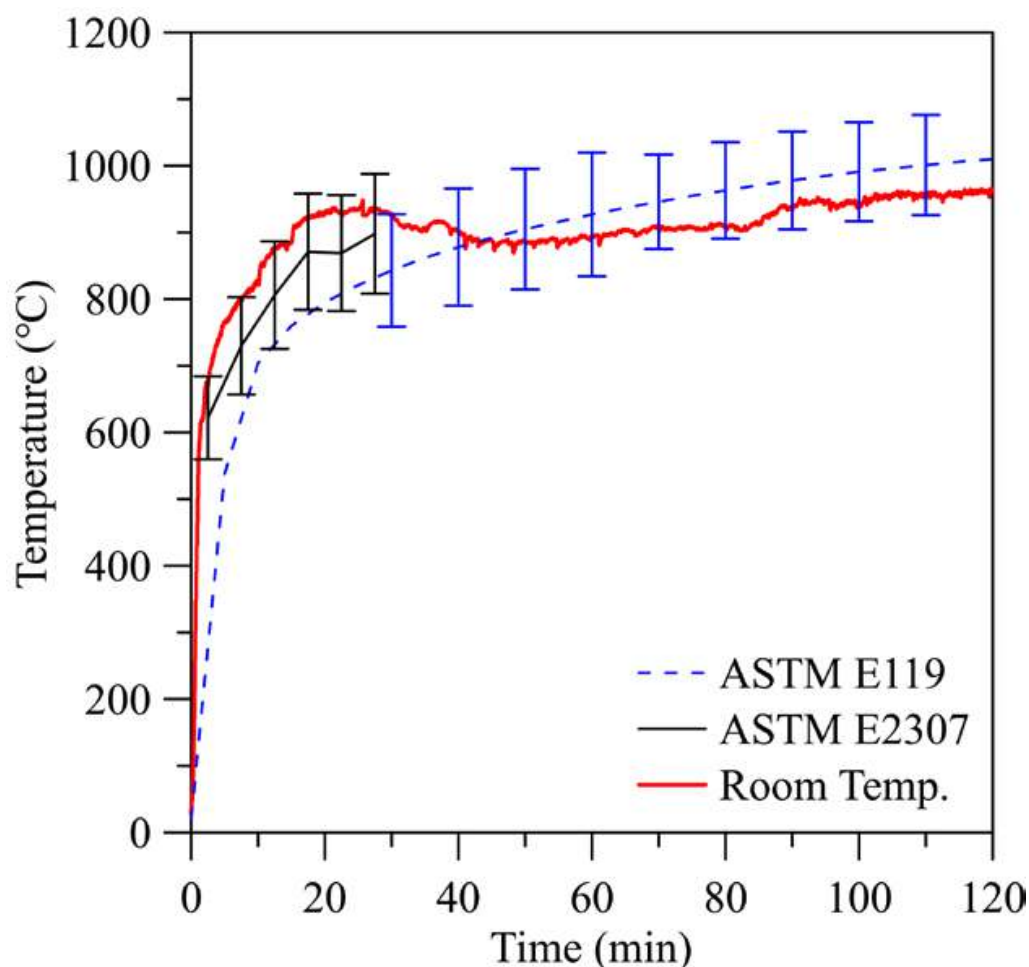


圖 4-25 測試室內 2 小時溫度誤差變化

(本研究製作)

根據表 4-3 表 4-3 試驗歷程表(觀察室)試驗開始 7 分 40 秒後，左側直料位置的岩棉開始有煙流流出，隨著試驗進行，岩棉煙流流出的位置變多，試驗開始後 34 分 10 秒，阻煙膠開始膨脹，試驗到了 47 分時，阻煙膠多處明顯開始膨脹，

根據 ASTM E2307-15b T-Rating 的判定標準，當層間塞的量測表面上任一點溫度高於起始溫度 181°C 以上、或是平均量測溫度高於起始溫度 139°C 以上時，即判定層間塞的阻熱功能失效，或是有火焰竄出，則是防火性能失效。此次試驗起始溫度為 17°C，各點溫度上限 198°C，平均量測溫度上限 156°C，層間塞非曝火面上熱電偶位置如圖 4-26 所示，各量測點在試驗過程中的溫度變化如圖 4-27 所示。

在試驗進行中，右側扣件右方的層間塞溫度在 40 分 27 秒時超過上限 198°C，61 分 52 秒右側層間塞中心線處的量測點超過 198°C，中間層間塞 65 分 42 秒時層間塞與外牆交接處的溫度超過上限 198°C，從圖中也可觀察到在中間與左邊的層間塞量測點，層間塞與外牆交接位置的溫度較層間塞中心線和層間塞與樓板交接位置的溫度高，右側的層間塞量測點，中心線位置的溫度最高，其次是外牆與層間塞交接處溫度，最低的則是層間塞與樓板交接處。非曝火面平均溫度至結束前都未超過 156°C 的上限。

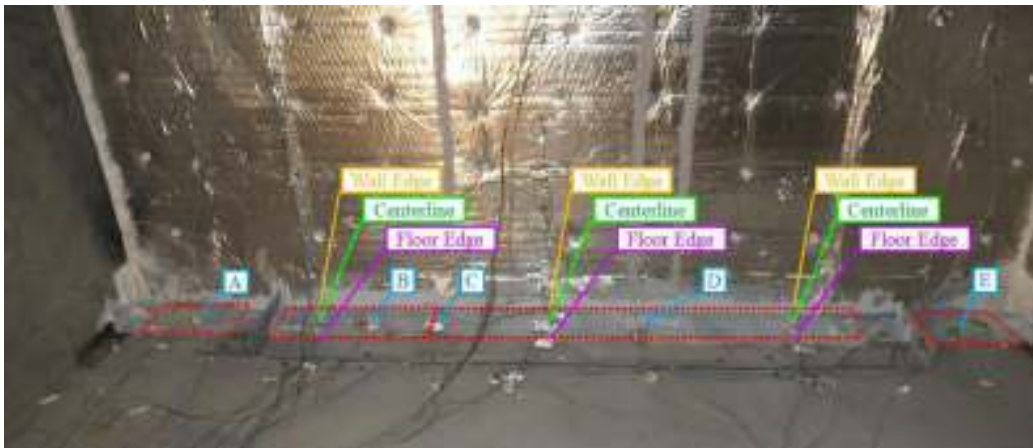


圖 4-26 層間塞背火面熱電偶位置

(本研究製作)

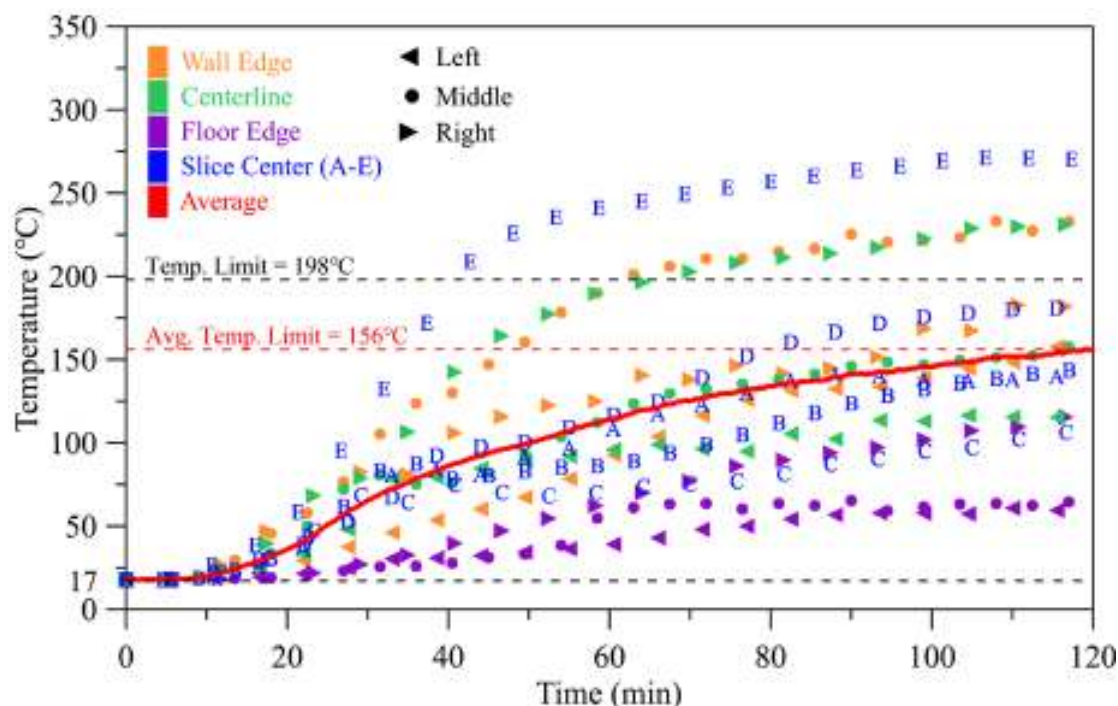


圖 4-27 層間塞非曝火面的溫度變化

(本研究製作)

本試驗另外依據 NFPA285 所要求之熱電偶位置布置熱電偶，NFPA285 試驗進行僅需要 30 分鐘，依據帷幕牆表面延燒情形以及溫度變化作為判定通過測試標準，在試驗期間帷幕牆外表面的火焰延燒不得延燒至窗戶以上 3.05 公尺處，以及垂直中線左右各 1.52 公尺處(圖中紅框範圍)而位於高度上限處的熱電偶(編號 11、14-17 共五點)量測溫度不可超過 538°C。該五點的量測溫度變化如圖 4-28 所示，從試驗開始到試驗結束溫度皆沒有超過 538°C，溫度最高的點為位於中心線的 11 號熱電偶線，到實驗終止前溫度為 311.6°C，從圖中也可觀察到左側右側的溫度差異並不大。

牆體背火面上所布置的 49 號至 54 號熱電偶，根據 NFPA285 之規定，試驗期間的溫度上限為 206°C。該 6 點的溫度變化如圖 4-29，可以觀察到牆面左側的熱電偶 49 號和 52 號點與右側的 51 號點和 54 號點，距離地面 15.2 公分的 49 號點量測到的溫度大於距離 45.7 公分的 52 號點，中心線上的 50 號和 53 號點，距

離地面 15.2 公分 50 號點溫度比距離地面 45.7 公分的 53 號點熱電偶量測到的溫度還要來的低。在試驗進行至 30 分鐘時，所有測溫點皆沒有超過法規的上限 295°C。綜合以上結論，該帷幕牆試體通過 NFPA285 的 30 分鐘防火與阻熱測試。

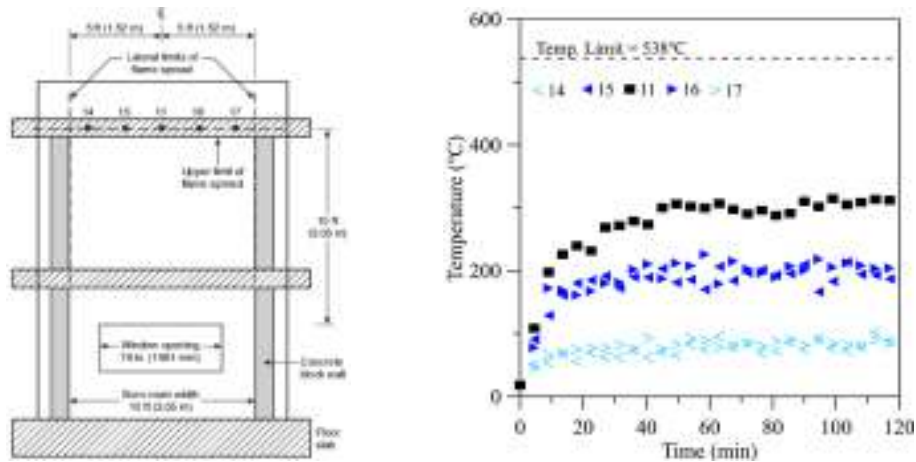


圖 4-28 帷幕牆外表面窗戶以上 3.05 公尺溫度分布

(本研究製作)

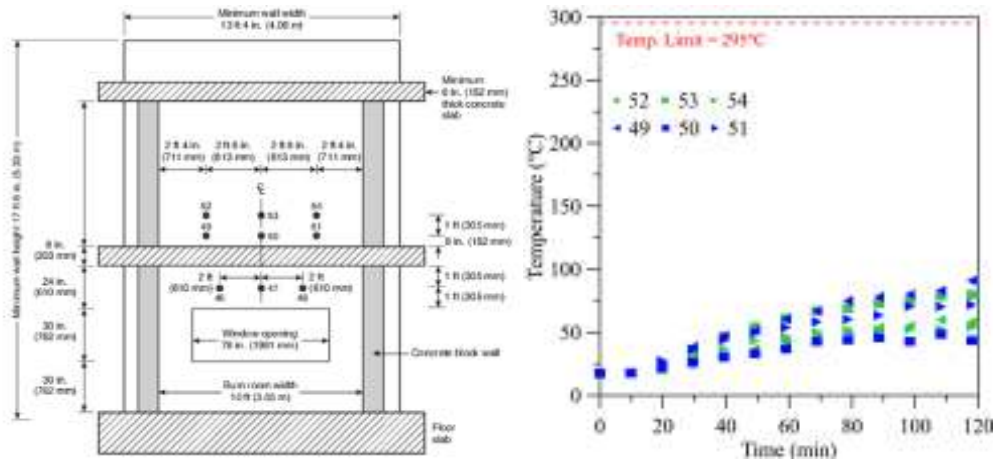


圖 4-29 觀察室內帷幕牆非曝火面溫度變化

(本研究製作)

第二節 防火試驗屋修復與改裝

本年度計畫案進行試體試驗之後，該試驗屋一樓天花板鋪棉發生塌陷之情形，之後試驗屋於一二樓之間的樓板也須切出符合 ASTM E2307-15b 規範約 45 公分預鑄樓板與層間塞預留空間，圖 4-30 至圖 4-35 為試驗屋整修過程。



圖 4-30 未整修前試驗屋外觀

(本研究製作)



圖 4-31 測試室的天花板鋪棉損壞

(本研究製作)



圖 4-32 樓板切除過程

(本研究製作)



圖 4-33 測試室內部修護(一)

(本研究製作)



圖 4-34 測試室內部修護(二)

(本研究製作)



圖 4-35 測試室內部修護(三)

(本研究製作)

第三節 不同試體的試驗情況分析

表 4-4 為目前建築技術規則與防火時效相關之條文，根據第 79 條之 3，外牆與樓板交接處應有高度 90 公分以上具樓地板同等以上防火之時效，圖 4-36 為帷幕牆與層間交接構造相關防火時效示意圖。

表 4-4 建築技術規則防火時效相關範圍內容

條次	規範項目	範圍內容
第 74 條	構造之防火時效認定	經主管機關認可具半小時以上防火時效者
第 79 條之 3	樓層區劃	外牆與樓板交接處，應有高度 90cm 以上其構造具樓地板同等以上之防火時效

(本研究製作)

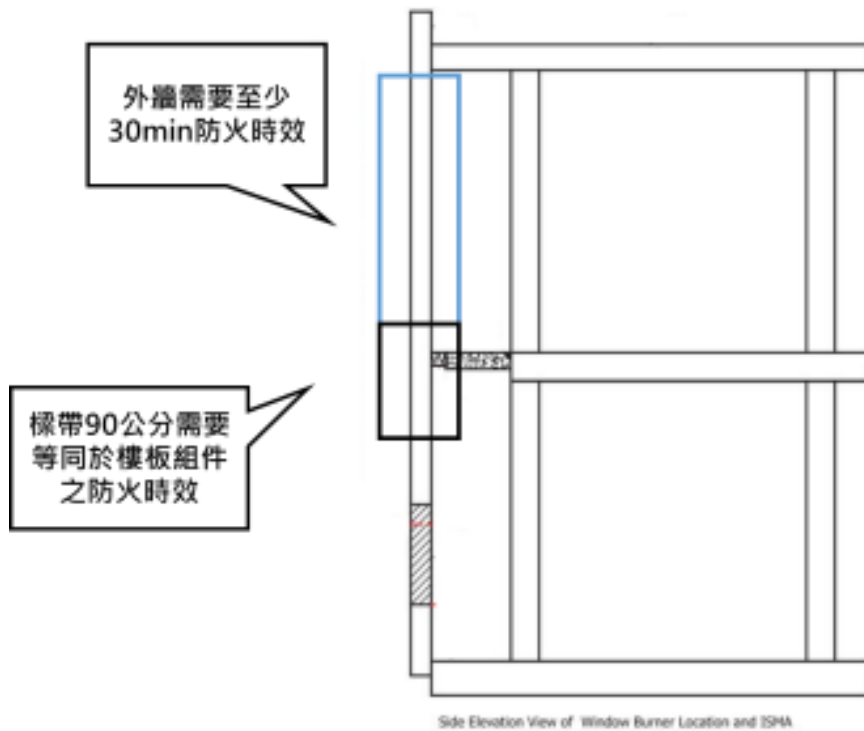


圖 4-36 帷幕牆與層間交接構造相關防火時效規範示意圖

(本研究製作)

在內政部建研所 106 年度帷幕牆層間縫隙構造防火性能及設計構法之研究，進行校正牆試驗與一次的試體試驗，本年度計畫案目前已進行一次試體試驗，校正試驗與兩次試體試驗差異如圖 4-37 至圖 4-39 所示，本年度試體試驗的設計為樑帶 90 公分防護之標準，窗戶開口上緣距離二樓樓地板平面為 110cm，相較第一次試體試驗窗戶開口上緣距離二樓樓地板平面 75cm，加熱條件的差異可能影響兩次試驗結果。另外 106 年度計畫案進行校正試驗時，燃燒器與校正牆面距離為 15 公分，在試體試驗時窗戶燃燒器定位為距離框架 15 公分，但是第一次試體試驗帷幕牆試體的牆面突出框架約 8 公分，窗戶燃燒器幾乎與牆面接觸，因此將窗戶燃燒器的位置調整至距離牆面 15cm。第二次試體試驗的牆面約突出框架 5 公分，燃燒器的位置與校正試驗相同，距離框架平面 15 公分，校正試驗與試體試驗的加熱條件有所差異。試體試驗的結果發現，帷幕牆牆體與層間塞在防火性能的表現會互相影響，若是帷幕牆損壞，也會直接使層間塞曝火造成防火

性能失效，未來法規在防火性能的判定需要參考試驗結果進行擬定。

將此次試體試驗的結果與 106 年度帷幕牆層間縫隙構造防火性能及設計構法之研究進行之試體試驗結果進行比較，106 年的試體試驗帷幕牆牆體使用的骨架為鋁材，本年度進行之帷幕牆試體樑帶位置骨架為鋼材，使用鋁材之帷幕牆試體在樑帶部位的鋁受到高溫熔解後，樑帶位置的鍍鋅鋼板發生了脫落情形，造成了層間塞直接曝火防火性能失效，本年度進行之試體試驗，直到試驗時間 2 小時結束，帷幕牆牆體骨架與鍍鋅鋼板皆能維持支撐能力。但層間塞非曝火面溫度在 40 分鐘有一溫度量測點超過了溫度上限，較 106 年進行之試體試驗來的早，然而該點的位置位於試驗屋的右側，並非室外燃燒器直接加熱的位置，推測是施工不良造成溫度提早超過上限，直到了試驗進行 60 分鐘後才有另外兩個溫度點超過溫度上限，兩次試驗使用之層間塞工法相似，在試驗過程中如果帷幕牆牆體能夠維持支撐效果，鍍鋅鋼板不脫落，層間塞的防火性能有一會達到一小時之防火時效。

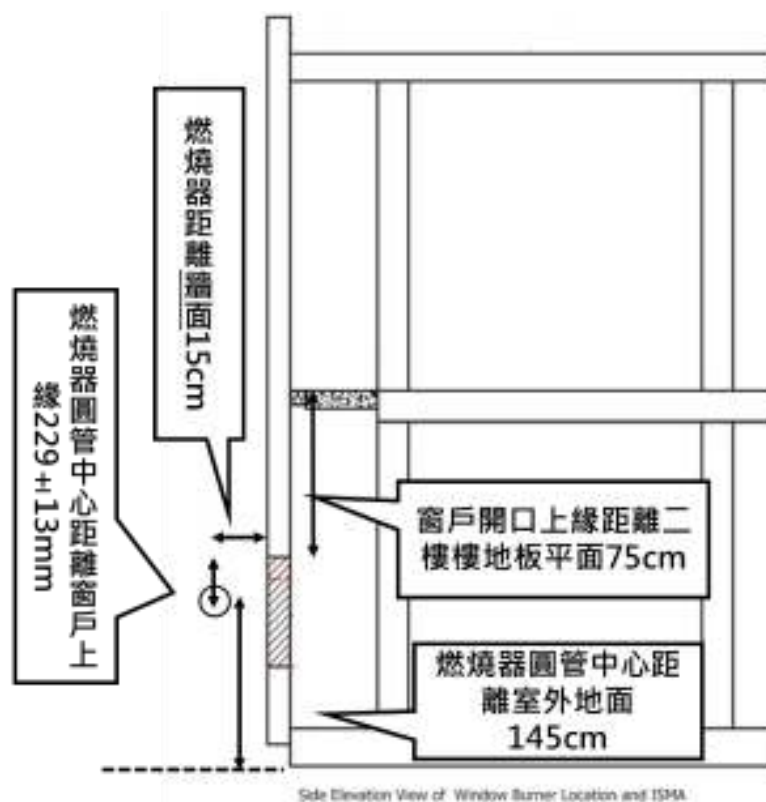


圖 4-37 106 年計畫案校正試驗之示意圖

(本研究製作)

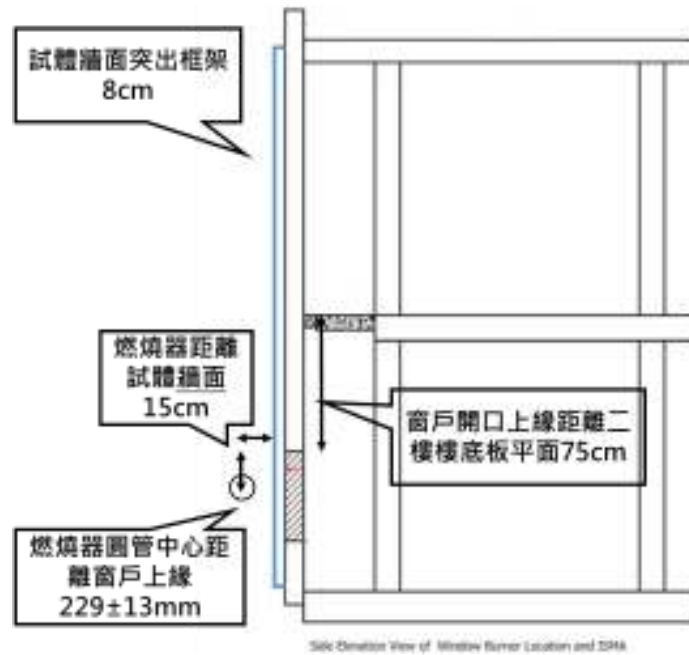


圖 4-38 106 年計畫案進行之試體試驗示意圖

(本研究製作)

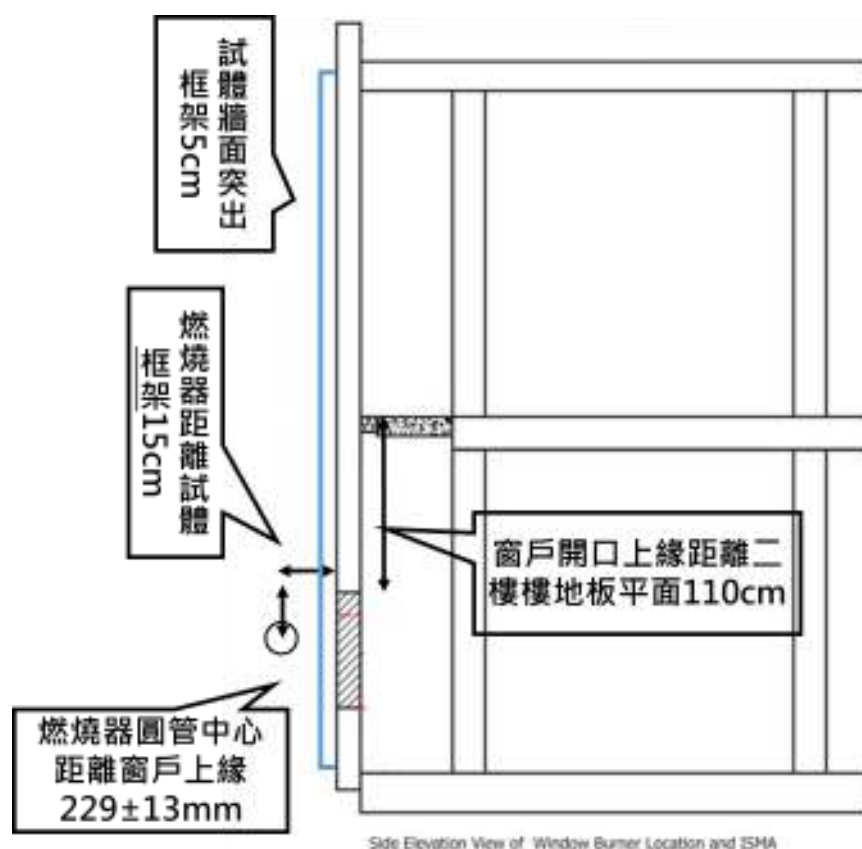


圖 4-39 本研究進行之試體試驗示意圖

(本研究製作)

經過兩次的試體試驗，對於帷幕牆層間交接構造試體防火試驗中，各構件在試驗過程中的受熱狀況與溫度變化有初步概念，本研究以內政部建築研究所防火試驗中心之設備，進行 ASTM E2307-15b 試驗，層間交接構造防火性能之應該以樑帶 90 公分處的防護為判定，其中包含帷幕牆與層間塞等構件。往後的試驗可以進行兩種設計工法判定，第一種為局部設計之判定，如圖 4-40 所示藍色框部分為耐燃之材料不進行帷幕牆體設計，在黑色部分樑帶區域依照廠商帷幕牆與層間塞的層間交接構造設計，進行防火性能測試。第二種為整體試判定方式，如圖 4-41 所示，目前已進行之兩次實驗皆為整體判定，除了 ASTM E2307-15b 規範之層間塞溫度判定，也能以 NFPA 285 輔助觀測外牆延燒情形與量測外牆曝火面與背火面溫度變化。

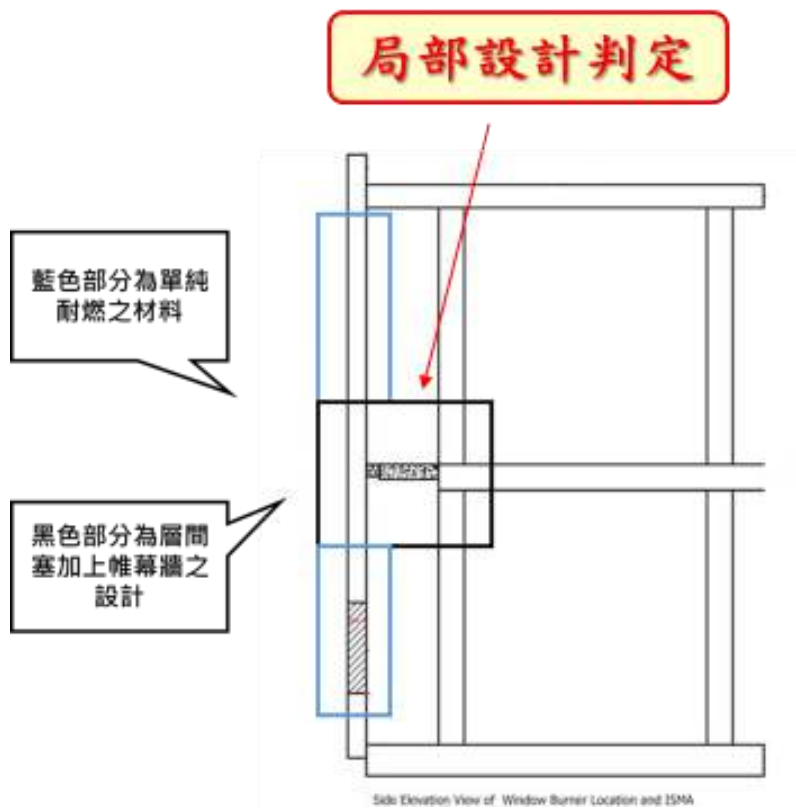


圖 4-40 局部設計判定方式

(本研究製作)

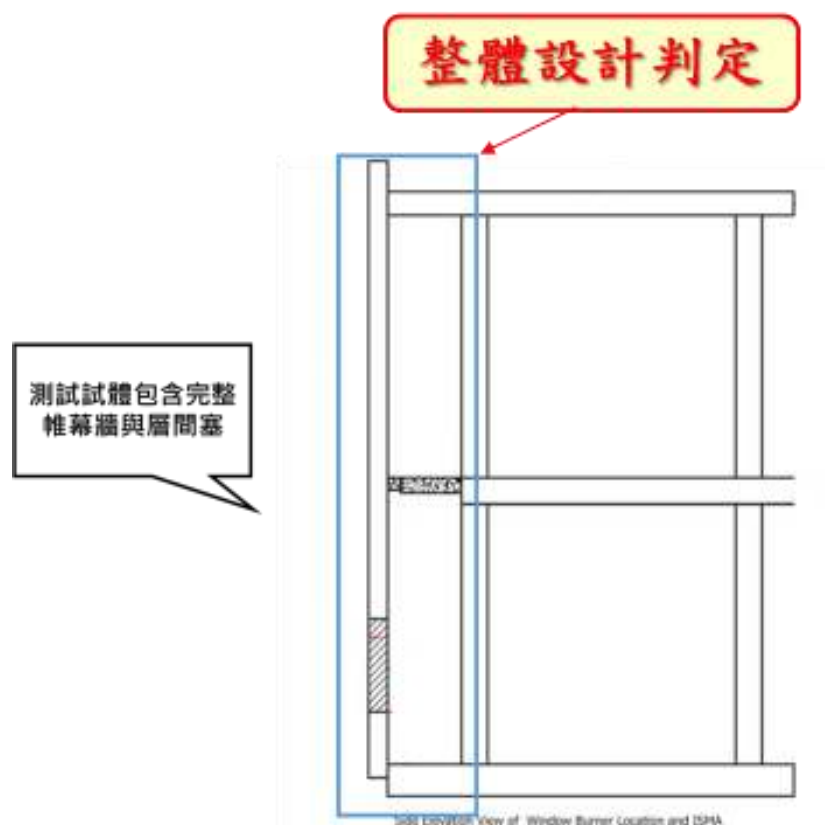


圖 4-41 整體設計判定方式

(本研究製作)

第四節 第二次試體試驗

本研究第二次的試體試驗，於試驗屋安裝層間塞的部位有先行安置預鑄樓板；該預鑄樓板的形式與材料，為相關業者依照設計需求或案場特性進行製作。受測試的帷幕牆以鋁材為主，並且帷幕牆與層間塞之間有另外增加防護性設計，希望能夠達到更高的防火與阻熱性能時效，如圖 4-42 與圖 4-43 所示。正式的試體試驗時間會在計畫結案前進行。

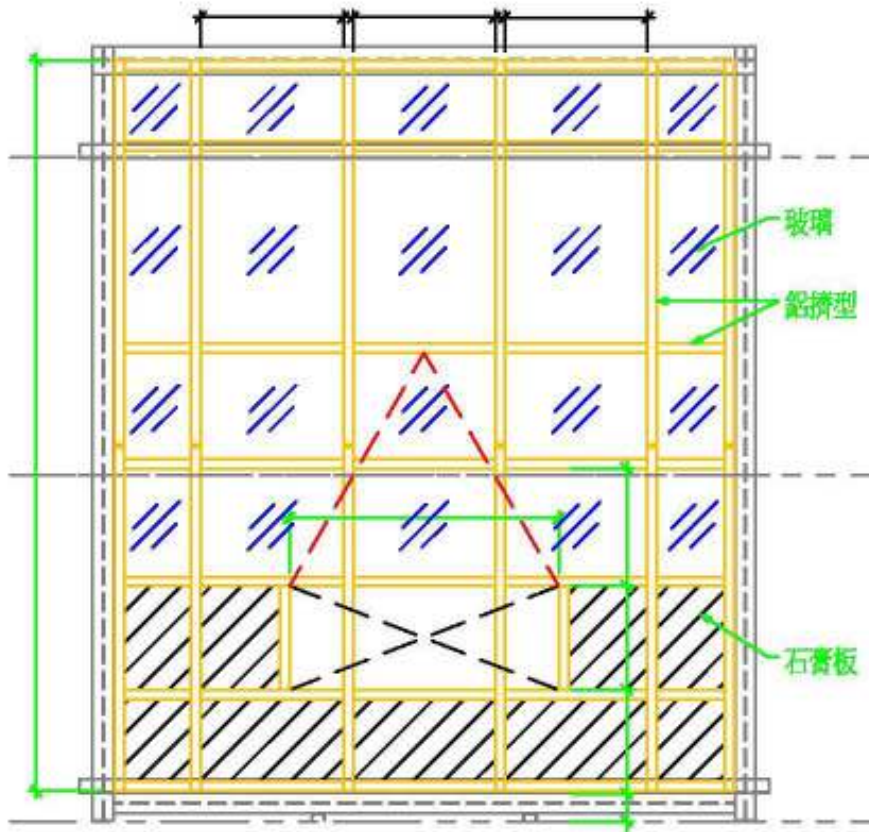


圖 4-42 第二次試體試驗設計圖(正視圖)

(資料來源：廠商 C)



圖 4-43 第二次試體試驗設計圖(側視圖)

(資料來源：廠商 C)

第五節 循環試驗設備規劃

根據 ASTM E2307-15b[1]，試驗委託者必須提供檢測實驗室有關受測的周邊接合部保護系統之標稱、最大值與最小值接合部寬度值。當最大接合部寬度不等於最小接合部寬度時，依規定須要進行移動循環試驗。

本研究依據 ASTM E2307-15b 的相關要求，以及國外實際試驗方式的資料，思考出循環試驗的兩個設計方案。方案一：固定預鑄樓板，搖動帷幕牆進行相關循環試驗。此設計方案會面臨到許多的問題，如(1)帷幕牆重量過重，需要相當大的力量才能夠使帷幕牆移動。(2)帷幕牆在位移過程會有現場安全性的疑慮。(3)同時移動帷幕牆與試體框，會使試體框的使用壽命縮短，以及增加變形的問題。由上述多種考量因素的結果顯示，方案一不是一個好的設計方式。

方案二：固定帷幕牆，搖動預鑄樓板進行相關循環試驗。由於預鑄樓板本身的重量遠比帷幕牆輕，並且又是一個消耗性的物件；因此在整體設計的規劃會較容易進行相關試驗。方案二的設計重點分為三項：(1)預鑄樓板支撐架、(2)預鑄樓板位移與固定裝置、(3)位移驅動設備。詳細如圖 4-44 與圖 4-45 所示

- (1) 預鑄樓板支撐架：預鑄樓板支撐架主要設置於防火試驗屋的兩側，兩側支撐架上方設置一個平面，位於支撐架與平面的交接處以油壓系統支撐，此油壓系統能進行上下行程的位移。
- (2) 預鑄樓板位移與固定裝置：支撐架上方平面，設置有另一組位移與固定裝置；該固定裝置為可調整大小的凹槽設計，主要用來放置與固定不同尺寸的預鑄樓板。位移裝置設計在固定裝置下方，主要是滑輪與滑軌的設計，並能使固定裝置藉由位移驅動設備，產生前後的位移。
- (3) 位移驅動設備：循環試驗的上下與前後位移的動力源，主要是由油壓推動設備所控制。油壓推動設備設置在預鑄樓板支撐柱的上半部，以及位移與固定裝置的後方。

圖 4-46 為循環試驗設備示意圖；關於試驗步驟順序為(1)使用位移與固定裝置將預鑄樓板固定，(2)將試體框固定於防火試驗屋，(3)試體框與帷幕牆體的連接與固定施作，(4)層間塞與帷幕牆、預鑄樓板的固定施作，(5)啟動位移驅動設備，進行循環試驗。(6)停止位移驅動設備，進行防火與阻熱性試驗。



圖 4-44 國外循環試驗設備(一)

(資料來源：Understanding the Basics of Firestopping: Part Two.,
<https://ifpmag.mdmpublishing.com/understanding-basics-firestopping-part-two/>)



圖 4-45 國外循環試驗設備(二)

(資料來源：Understanding the Basics of Firestopping: Part Two.,
<https://ifpmag.mdmpublishing.com/understanding-basics-firestopping-part-two/>)

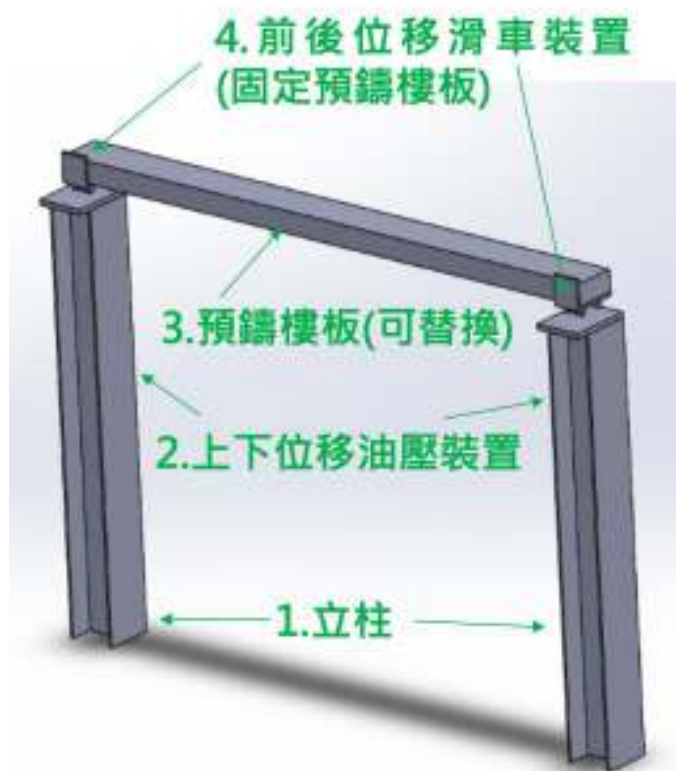


圖 4-46 循環試驗設備規劃示意圖

(本研究製作)

第五章 外牆裝飾板延燒試驗

第一節 外牆飾板設計工法與材料分析

NFPA 285 為測試外牆延燒之試驗標準，外牆試體的設計十分多樣化，在各部分組件材料的選擇也十分多元，以下列出國外通過 NFPA285 測試的試體設計與說明[52-57]：

1. 試體 A Carter Architectural Panels Inc[52]

圖 5-1 至圖 5-4 為試體 A 設計圖，試體組件包含立柱、外保護層、樓板平面的防火阻隔、底漆、隔氣層、Z 型鋼、隔熱層、外牆板和內部包層。立柱使用 3-5/8 in. 20GA 鋼骨立柱，中心上 24in 固定在 20GA 鋼軌，頂部與底部使用 #8 × 1/2 in. 的平頭螺釘固定。外保護層使用 4 ft. × 8 ft. × 5/8 in. Georgia Pacific DensGlass® Sheathing 安裝在外側，長邊垂直於立柱，使用 #6 × 1-1/4 in. 鑽尾鍍鋅螺絲，在周邊間隔 8in.，內部間隔 12in. 的方式固定。

樓板平面的防火阻隔使用 4 pcf Thermafiber® mineral wool 壓縮放置。底漆的部分在外層保護上使用 Henry® 545 Aquatac™ Primer。隔氣層為一層 Henry® Blueskin® Roof High Temperature Underlayment vapor barrier，以 3in 重疊的方式黏著在外保護層。安裝完隔氣層在外層石膏板後安裝 2in. 18GA 的 Z 型鋼。外牆中空隔熱層使用 2 in. Roxul CavityRock® 安裝在外保護層上，Z 型鋼之間。外牆板使用 EVO Aluminum Panel System 直接固定在 Z 型鋼上。內部包層為一層 4 ft × 10 ft × 5/8 in. American Gypsum FIREBLOCK TYPE X™ 石膏牆板以長邊垂直於立柱的方式以 #6 × 1-1/4 in. 鍍鋅鑽尾喇叭螺絲固定，螺絲間隔在周圍為 8 in. 內部為 12 in.。

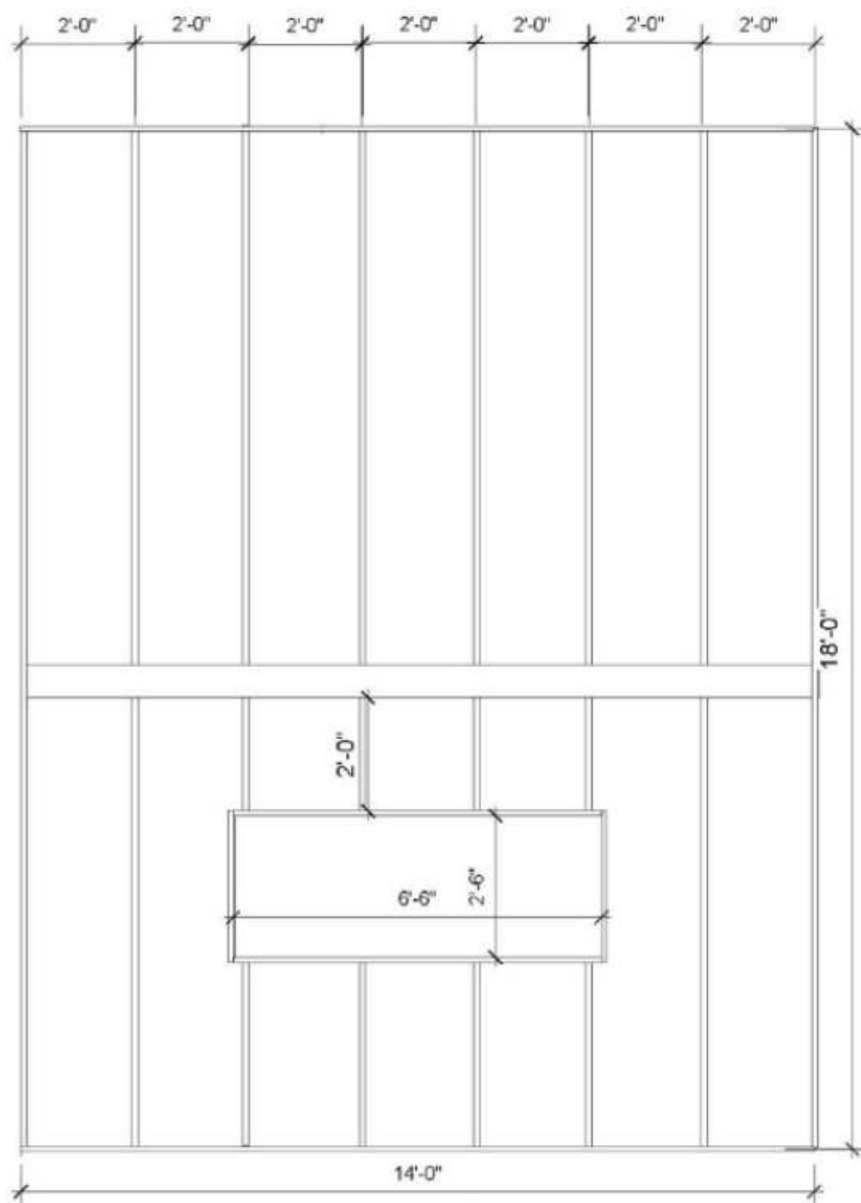


圖 5-1 試體 A 設計圖(一)

(資料來源：Intertek Test Report, Report Number: 102936114SAT-004B, 2017.)

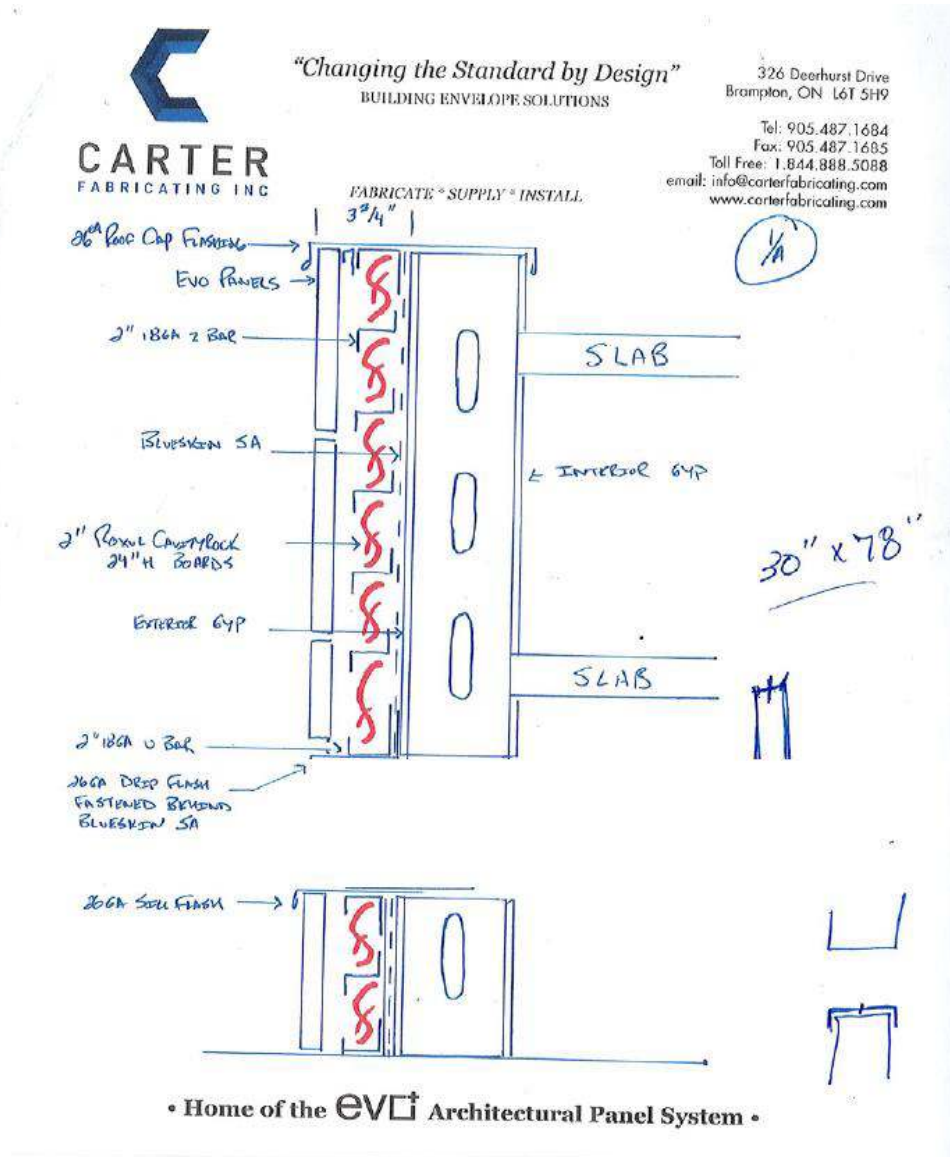


圖 5-2 試體 A 設計圖(二)

(資料來源：Intertek Test Report, Report Number: 102936114SAT-004B, 2017.)

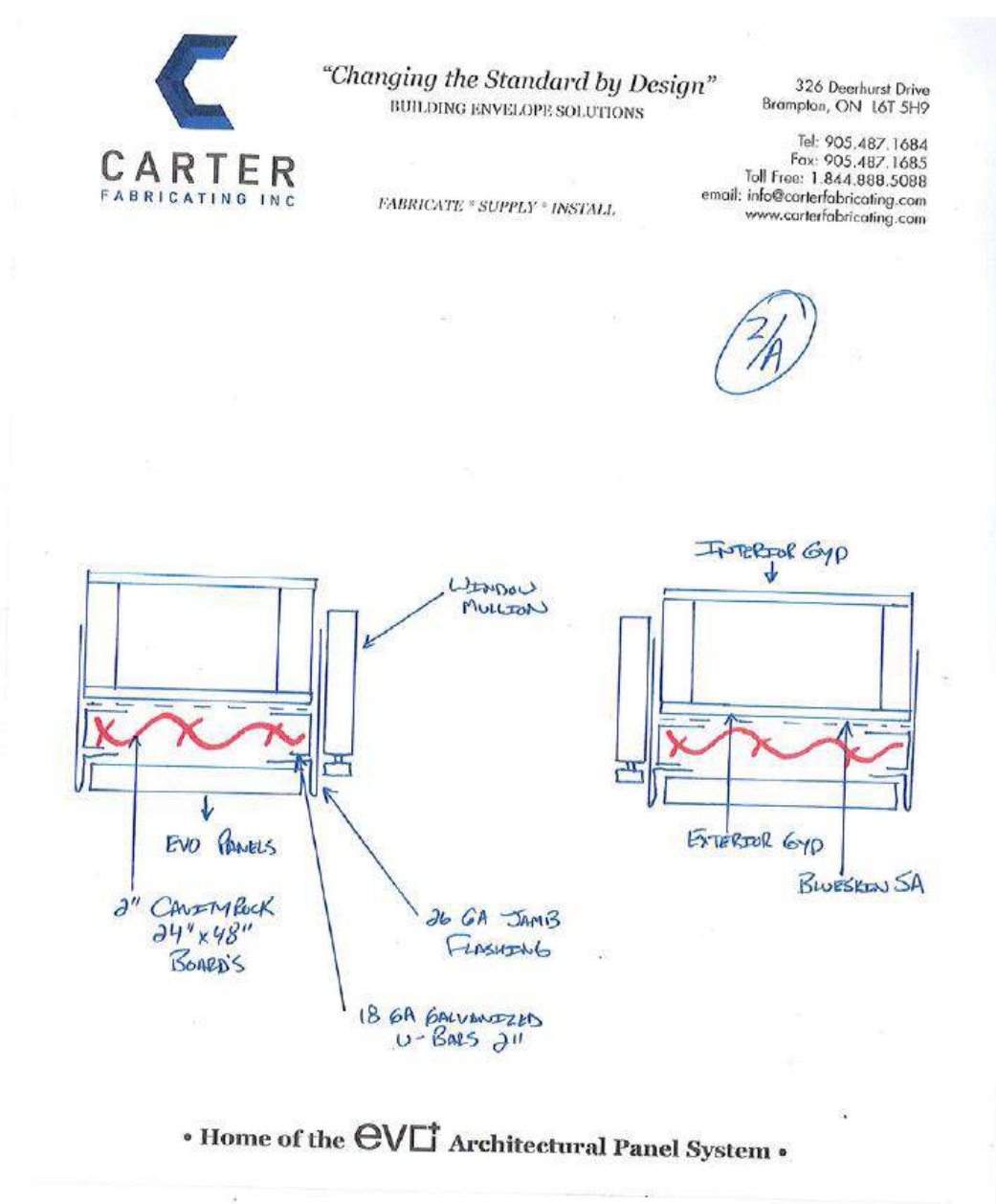


圖 5-3 試體 A 設計圖(三)

(資料來源：Intertek Test Report, Report Number: 102936114SAT-004B, 2017.)

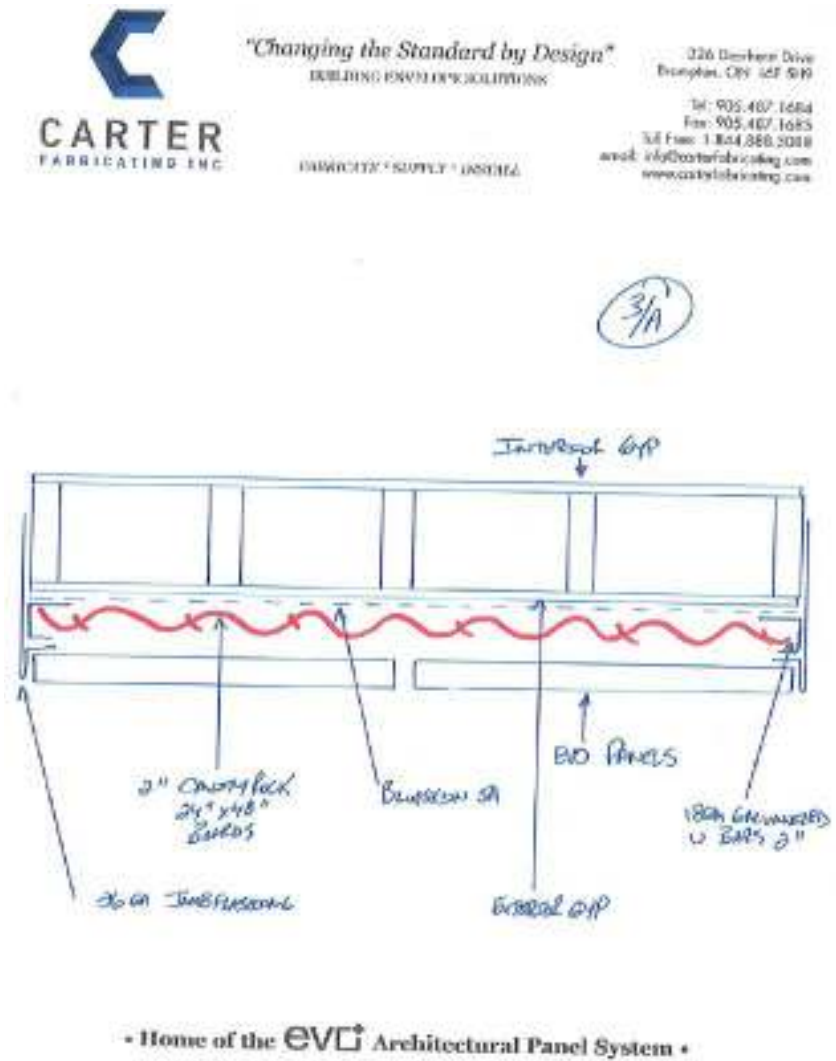


圖 5-4 試體 A 設計圖(四)

(資料來源：Intertek Test Report, Report Number: 102936114SAT-004B, 2017.)

2. 試體 B Polyguard Products, Inc.[53]

圖 5-5 至圖 5-10 為試體 B 設計圖，試體組件包含內部牆面包層、外牆芯材、窗戶開口、外保護層、隔氣層和外牆包層。內部牆面包層使用 National Gypsum 5/8 in. thick Type X 石膏板，用#10 x 1-1/4 in. 在周圍間隔 8in.，內部間隔 12in.方式固定。在燃燒室樓層窗戶開口左右邊配置兩片垂直方向的石膏板，開口上下方使用切割過的石膏板，長邊對著窗戶開口。二樓的石膏板，長邊平行於立柱進行配置，所有的接縫使用 USG Sheetrock paper joint tape 來密封，並使用 Sheetrock

Joint Compound 填充。

外牆芯材的部分，外牆組件包含 18 ft.長 3-5/8 in. 20GA 鋼骨立柱固定在 14ft. 20GA 鋼軌，使用#8 x 1 in.長頭鑽尾螺，在窗戶開口上每 4 ft.置放水平的 16 gauge x 1-1/2" wide 的 CRC 支撐鋼固定立柱，以 1 in. x 1 in. x 3 in. x 0.030 in.的 L 型鋼架固定，L 型鋼架和立柱以兩個#8 x 1 in.的鑽尾螺絲固定，和 CRC 支撐鋼用一個#8 x 1 in.鑽尾螺絲固定。在窗戶開口的設計，窗戶開口寬 78 in. 高 30in，用 20GA 的鍍鋅鋼軌構成，位置在高於一樓樓地板平面 30in 處，厚度為 0.030 in. 的 PolyGuard Detail Sealant 覆蓋層在窗戶開口窗台表面。安裝完外牆包層後，0.04 鋁遮雨板安裝在窗戶周圍，遮雨板彎曲為 C 字型，總寬度為 7-5 / 8 in.，彎曲 90° 的 1 in.腿覆蓋內部和外部包層，使用 #10 x 1 英寸長的六角頭自鑽螺釘將遮雨板固定在窗口開口框架上，距開口/側柱和門檻/側柱接頭間隔 1 in.。

外保護層使用 5/8 in. 厚的 Georgia-Pacific DensGlass Gypsum Sheathing，使用#10 x 1-1/4 in.長的平頭鑽尾螺絲在周圍以 8 in. 的間隔固定，內部以 12 in. 的間隔固定，保護層的尺寸為 4 ft. x 8 ft. 和 4 ft. x 6 ft.，在每個直排個別會有 6 ft. 和 8 ft.餘隙。隔氣層部分在每個接縫處會使用 Polyguard Detail Sealant PW/ Hole Filler 來進行密封，密封膠厚度為 0.02 in.，並用滾輪方式在外保護層上加上 0.03 in.的 Polyguard Airlok Flex Gray Integrated Building Envelope。外牆包層使用 BAMCO G 500 Composite Wall，包括 0.050 in.厚鋁擠型 L 型支架，以 #10 x 1-1 / 2 英寸長的六角鑽尾螺釘固定在窗台，間距為 24 in.。1-3 / 4 in. 鋁擠型基座安裝在垂直 L 型支架上，跟 4 mm 的 Mitsubishi Plastics Alpollic/fr panels 裝配。鋁擠型透過鋁製 L 型支架固定在芯材上，並用 #10x1-1 / 2 in.長的六角頭鑽尾螺釘固定在中心 24 in. 上，4-1/2 in.寬 x 7/8 高 x 0.060 in. 厚的鍍鋅鋼 hat channel，放置在組件外的整個寬度上，使用 #10 x 1-1 / 2 in.長六角頭鑽尾螺釘通過每個凸緣固定到芯材，在中心上 24 in.。78 in. 長 x 3/4 in. overall 高 x 3-1/2 in. 寬 x 0.060 厚的鋁擠型，使用#10 x 1-1/2 in.長的六角鑽尾螺絲以中心距 24 in.方式固

定在窗台上。T型鋁擠型固定在4mm的Mitsubishi Plastics Alpolic/fr panels後方，用來進行外牆板間的固定。外牆板使用#10 x 1 in.長的六角鑽尾螺絲通過鋁擠型固定在hat channel上，在施作過程中，先將4mm的Mitsubishi Plastics Alpolic/fr panels鋪在外牆組件中心線左側，再鋪設右半部的外牆板，板子間縫隙使用Dow 795密封膠密封，再加上Tremco 5/8 in.矽膠墊片。

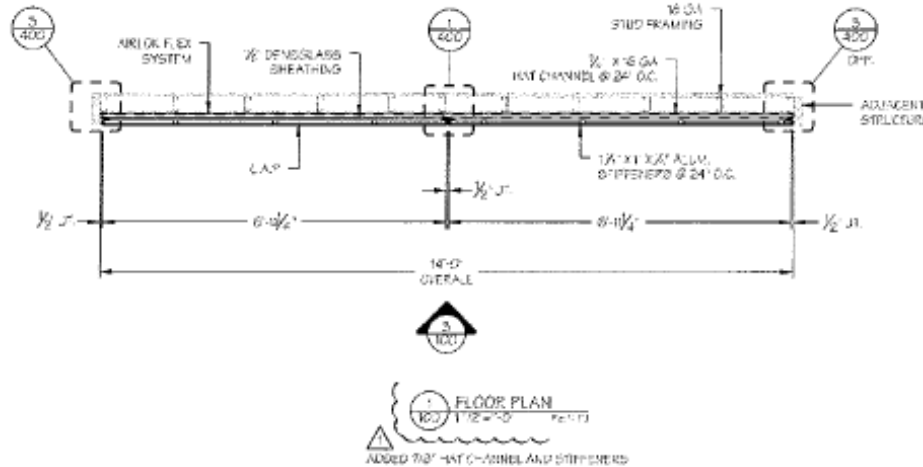


圖 5-5 試體 B 之設計圖(一)

(資料來源：Architectural Testing, Report Number: C5740.01-121-24, 2013.)

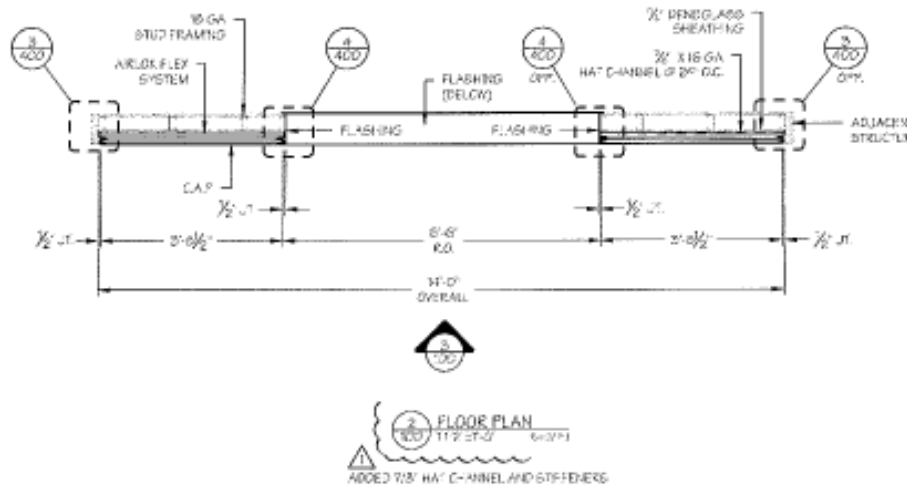


圖 5-6 試體 B 之設計圖(二)

(資料來源：Architectural Testing, Report Number: C5740.01-121-24, 2013.)

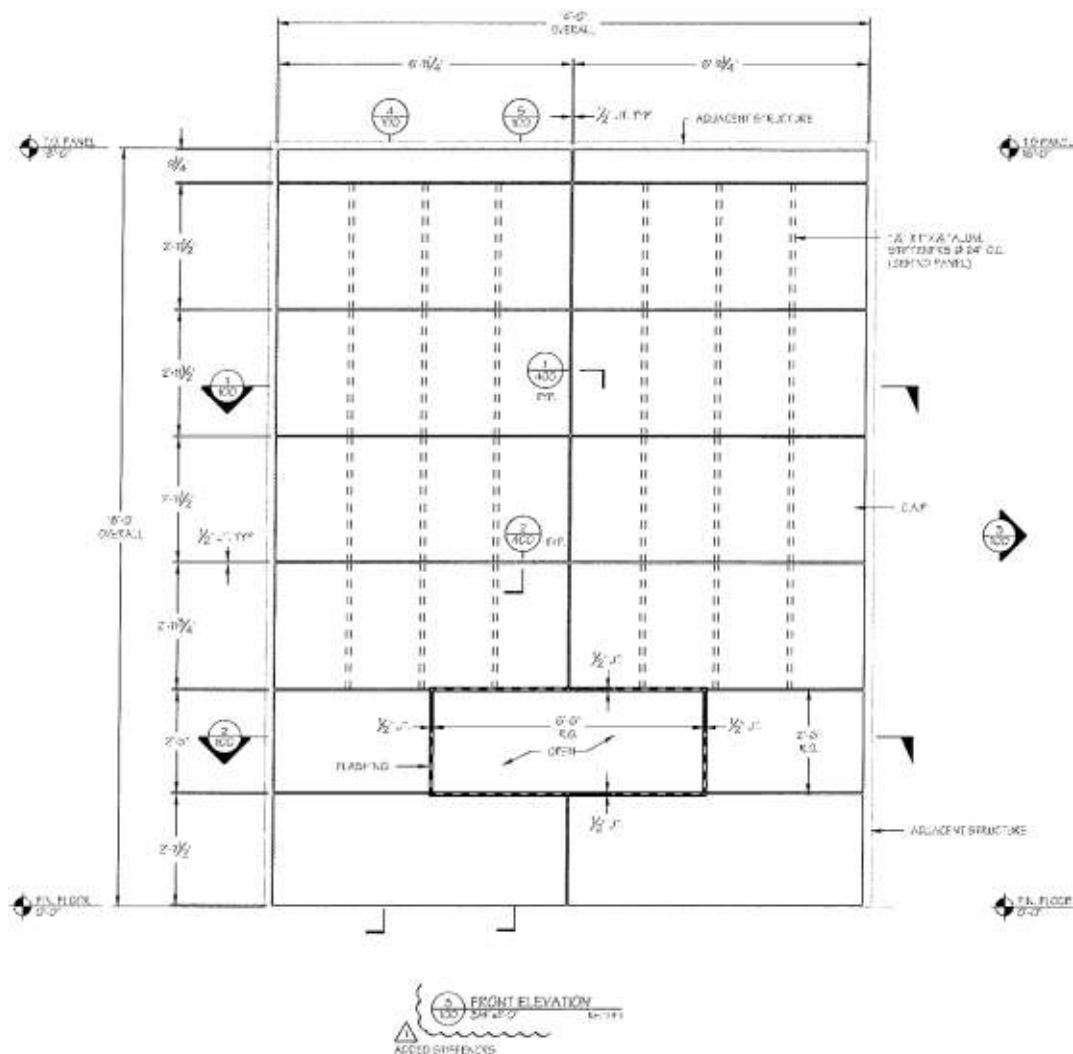


圖 5-7 試體 B 之設計圖(三)

(資料來源：Architectural Testing, Report Number: C5740.01-121-24, 2013.)

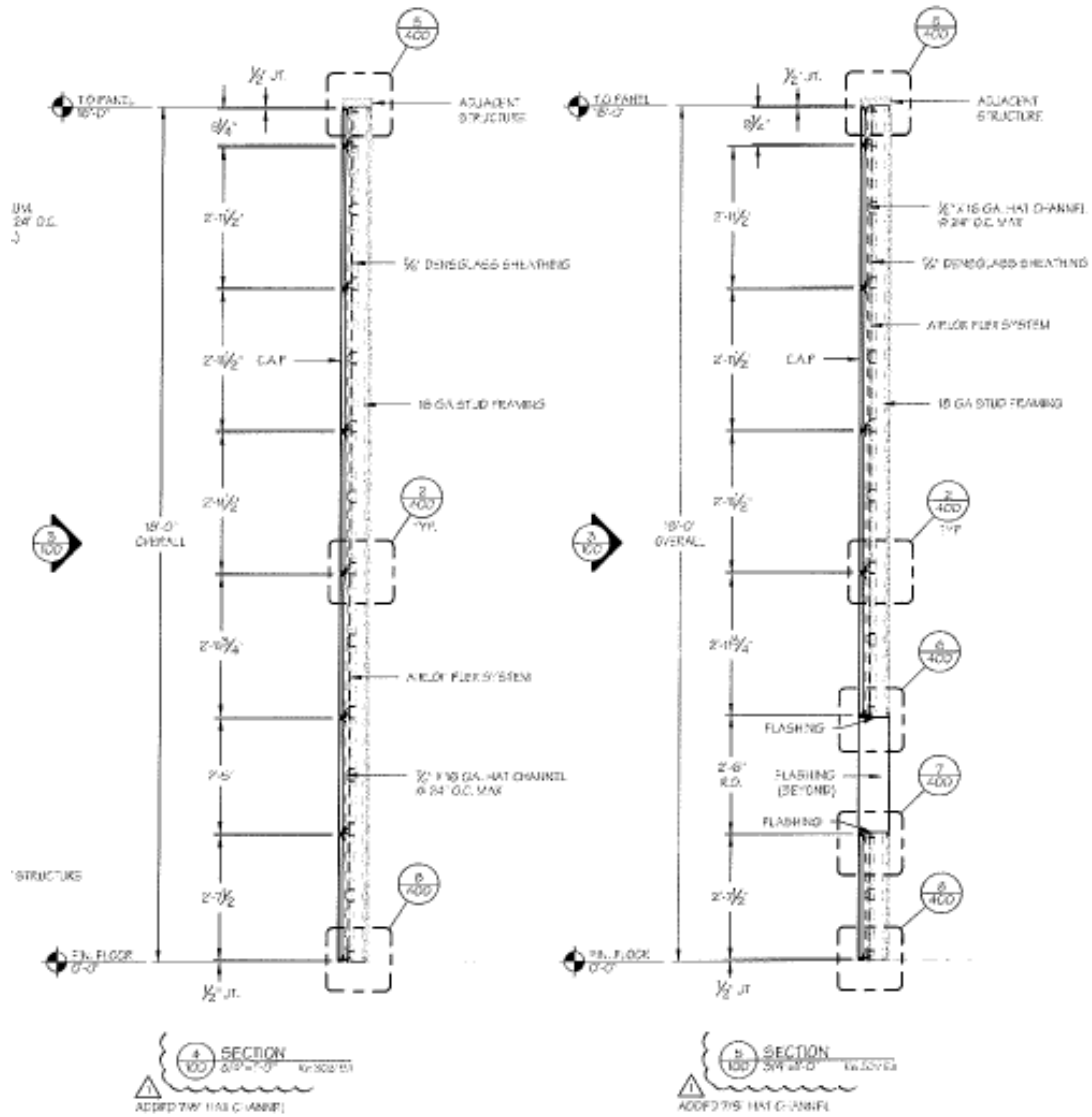


圖 5-8 試體 B 之設計圖(四)

(資料來源：Architectural Testing, Report Number: C5740.01-121-24, 2013.)

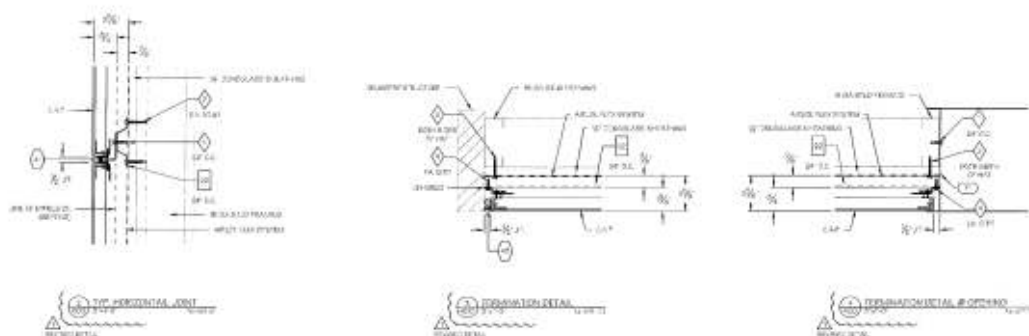


圖 5-9 試體 B 之設計圖(五)

(資料來源：Architectural Testing, Report Number: C5740.01-121-24, 2013.)

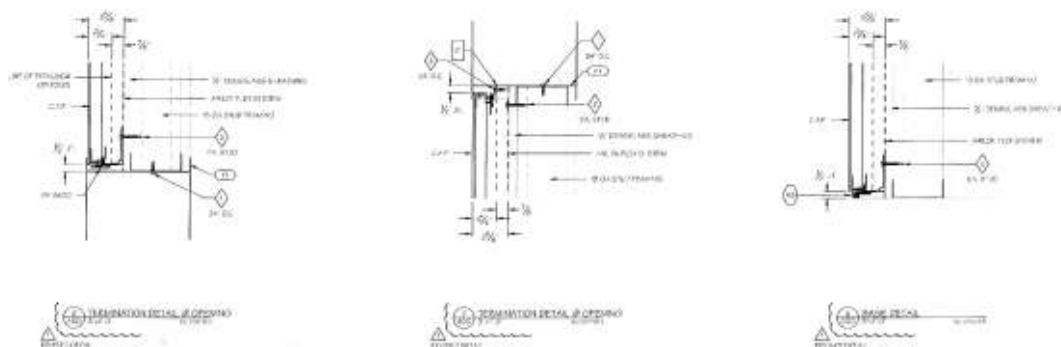


圖 5-10 試體 B 之設計圖(六)

(資料來源：Architectural Testing, Report Number: C5740.01-121-24, 2013.)

3. 試體 C Exterior Non-Load-Bearing MCM Wall Assembly[55]

圖 5-11 為試體 C 設計圖，試體組件包含內部牆面包層、外牆芯材、外保護層、以及外牆包層。內部牆面包層：使用 National Gypsum 5/8 in. thick Type X 石膏板，用#10 x 1-1/4 in. 在周圍間隔 8in.，內部間隔 12in. 方式固定。在燃燒室樓層窗戶開口左右邊配置兩片垂直方向的石膏板，開口上下方使用切割過的石膏板，長邊對著窗戶開口。二樓的石膏板，長邊平行於立柱進行配置，所有的接縫使用 USG Sheetrock paper joint tape 來密封，並使用 Sheetrock Joint Compound 填充。

外牆芯材的部分，外牆組件包含 18 ft.長 3-5/8 in. 20GA 鋼骨立柱固定在 14ft. 20GA 鋼軌，使用#8 x 1 in.長頭鑽尾螺，在窗戶開口上每 4 ft.置放水平的 16 gauge x 1-1/2" wide 的 CRC 支撐鋼固定立柱，以 1 in. x 1 in. x 3 in. x 0.030 in.的 L 型鋼架固定，L 型鋼架和立柱以兩個#8 x 1 in.的鑽尾螺絲固定，和 CRC 支撐鋼用一個#8 x 1 in.鑽尾螺絲固定。外保護層使用 5/8 in. 厚的 Georgia-Pacific DensGlass Gypsum Sheathing，使用#10 x 1-1/4 in.長的平頭鑽尾螺絲在周圍以 8 in.的間隔固定，內部以 12 in. 的間隔固定，保護層的尺寸為 4 ft. x 8 ft. 和 4 ft. x 6 ft.，在每個直排個別會有 6 ft. 和 8 ft.的餘隙。窗戶開口為寬 78 in. x 高 30 in.的窗戶開口，由 20GA 鍍鋅鋼軌，窗台位置位於一樓樓地板上方 30 in.，在安裝完外牆板，窗戶開口的周邊用 16GA 的鍍鋅鋼板遮雨板覆蓋，並使用#12 x 1-1/2 in.長的六角鑽尾螺絲。外牆包層安裝 4mm 厚的 Alubond panels，垂直的鋁擠型軌道與 5/16 in. thick. 1-1/2 in. leg x 1-1/2 in. leg x 3 in. long 的鋁架用直徑 5/16 in.長 1 in.的螺栓固定，L 型架有溝槽可以容納固定件，螺栓頭會放在鋁擠型軌道內，到想要的位置後，使用 5/16 in.的螺帽拴緊，L 型架再用六角鑽尾螺絲和外保護層和立柱固定。L 型架垂直間距 24 in，除了裝配側柱處的鋁擠型軌道位於窗戶開口框架處的鋁擠型軌道間隔 42in.，位於外牆組件中心線上的鋁擠型軌道與位於窗口開口邊框處的鋁擠型軌道間隔 38in.，安裝完鋁擠型軌道後，5/16 in.厚的鋁架放進軌道內使用直徑 5/16 in.長 5/16 in.的螺絲固定，鋁架的位置根據 Alubond panels 的位置決定，並使用#6 x 1 in.長的螺絲固定。

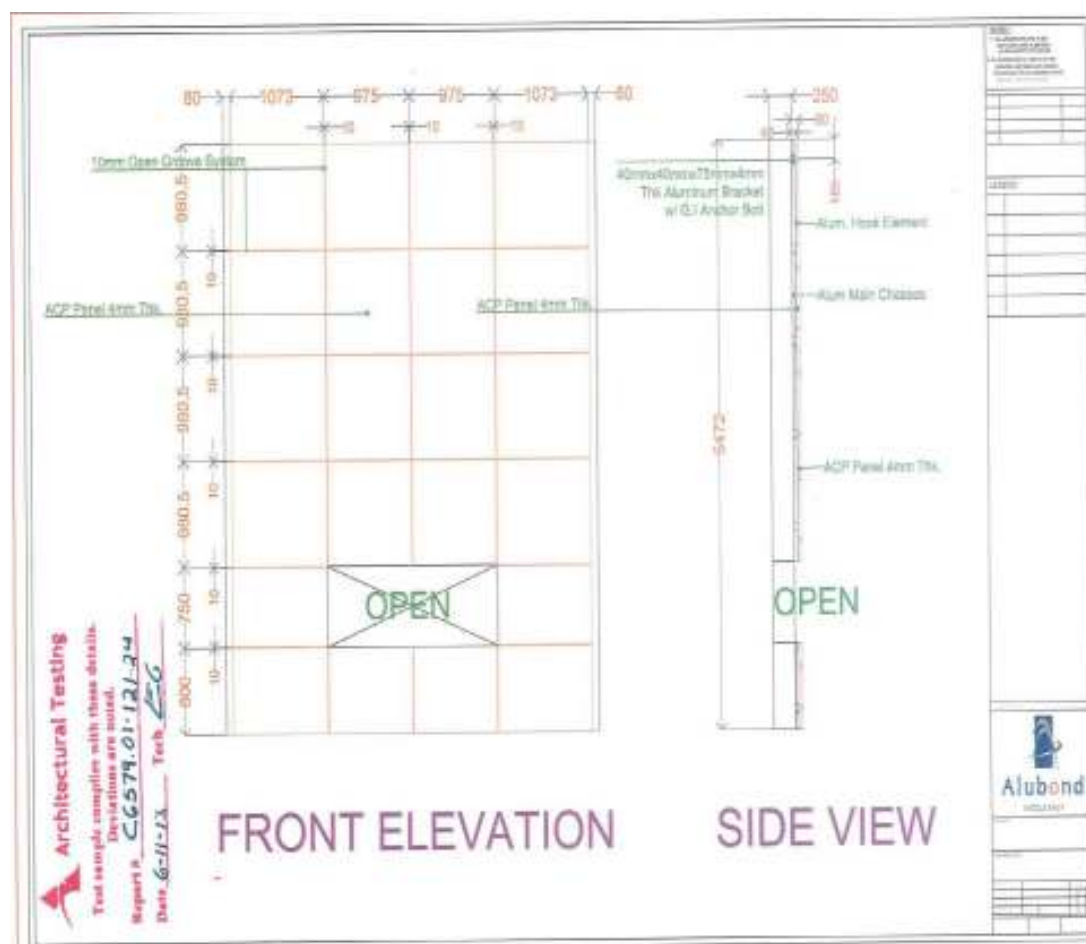


圖 5-11 試體 C 之設計圖

(資料來源：Architectural Testing, Report Number: C6579.01-121-24, 2017.)

4. 試體 D Demilec (USA) LLC Heatlok Soy 200[55]

圖 5-12 為試體 D 設計圖，組件包含牆體、外保護層、隔熱層、內部包層。牆體為 18 ft.高 X14 ft. 寬的 ISMA 測驗牆由兩個 9ft.高的管子框架連接構成。外保護層：4 ft. x 8 ft. x 5/8 in. GlasRoc® Sheathing 安裝在外牆外側，常邊垂直於立柱使用#6 1-1/4 in.鍍鋅鑽尾螺絲固定，在周圍間距為 12 in.，內為間距為 12 in.。隔熱層使用 Heatlok Soy 200，4-1/2 in.厚(密度 2.0PCF)，噴塗在 GlasRoc® Sheathing 的內表面。內側包層為 4' x 10' x 5/8" USG SheetRock® Firecode Core TYPE X™的石膏板以長邊垂直於立柱的方式，使用#6 x1-1/4" 鍍鋅喇叭頭鑽尾

螺絲在周圍以間距 12in.內部間距 12in.的方式固定。

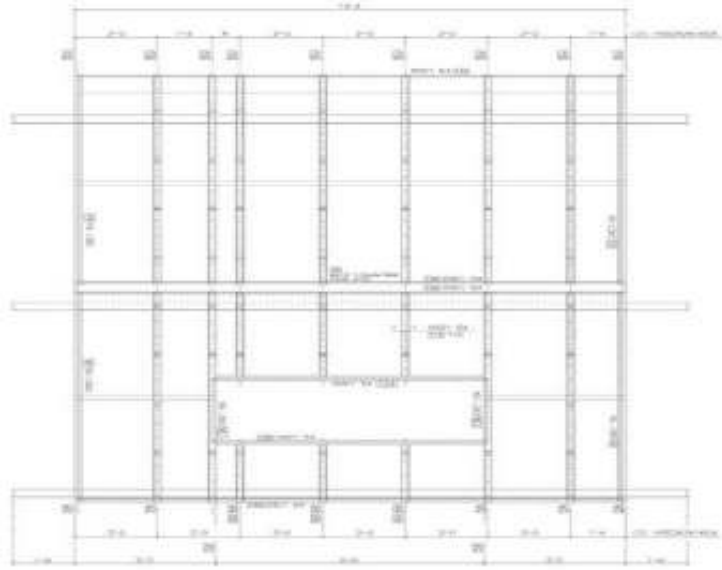


圖 5-12 試體 D 之設計圖(一)

(資料來源：Interek Test Report, Report Number: 102936114SAT-004B, 2012.)

5. 試體 E：4-mm thick Alfrex ACM Panel [55]

圖 5-13 至圖 5-15 為試體 E 設計圖，試體組驗包含外牆板、骨架、內側包層、外保護層、隔氣層、外牆板、接縫處理和遮雨板。外牆尺寸高 18 ft. x 寬 14 ft.，由鋼骨立柱、DensGlass® sheathing、Tyvek® vapor barrier 和 4mm 的 Alfrex ACM Panel 構成。使用 3-5/8” x 1-3/8”，20GA 的鍍鋅鋼骨立柱，用 7/16”長的圓頭螺絲固定在 20GA 的上軌道和下軌道，1-1/2 “x 1/2”，16 GA 的水平支撐架，在樓板水平面使用 4pcf 的防火阻隔。內側包層使用 4’ x 10’ x 5/8” American Gypsum® FireBlock TYPE X™石膏板，配置方式為長邊方向垂直於立柱，使用#6 x1-1/4”鍍鋅喇叭頭鑽尾螺絲在周圍以 8in.的間距內部 12in.的間距固定。外保護層使用 4’ x 8’ x 5/8” DensGlass® Gold Exterior Sheathing，長邊方向垂直於立柱的方式，使用#6 x1-1/4”鍍鋅喇叭頭鑽尾螺絲在周圍以 8in.的間距內部 12in.的間距固定，窗戶開口周邊內部也使用一層 5/8” DensGlass®sheathing.保護層。隔氣層為

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究

一層 DuPont™ Tyvek® vapor barrier 長邊水平置放釘在外保護層上，接縫以 6in. 重疊，釘子間隔 24 in.。外牆板為 4mm Alfrex ACM Panels，依照附錄的方式安裝，板子和板子之間留有 1/2 in. 間距，使用 #12x 3 in. 的 TEK 螺絲以 24 in. 間距固定。接縫處使用直徑 7/8" 的 Tundra Foam (Industrial Thermo Polymers Limited) 放置在外牆板間的縫隙，放置完泡棉後，使用 Dow Corning® 795 Silicone Building Sealant 填補剩下的縫隙。遮雨板：使用 L 型 0.04in. 的鋁防雨板安裝在窗戶周圍，使用 1-1/4" 鑽尾螺絲以 24in. 的間距固定。

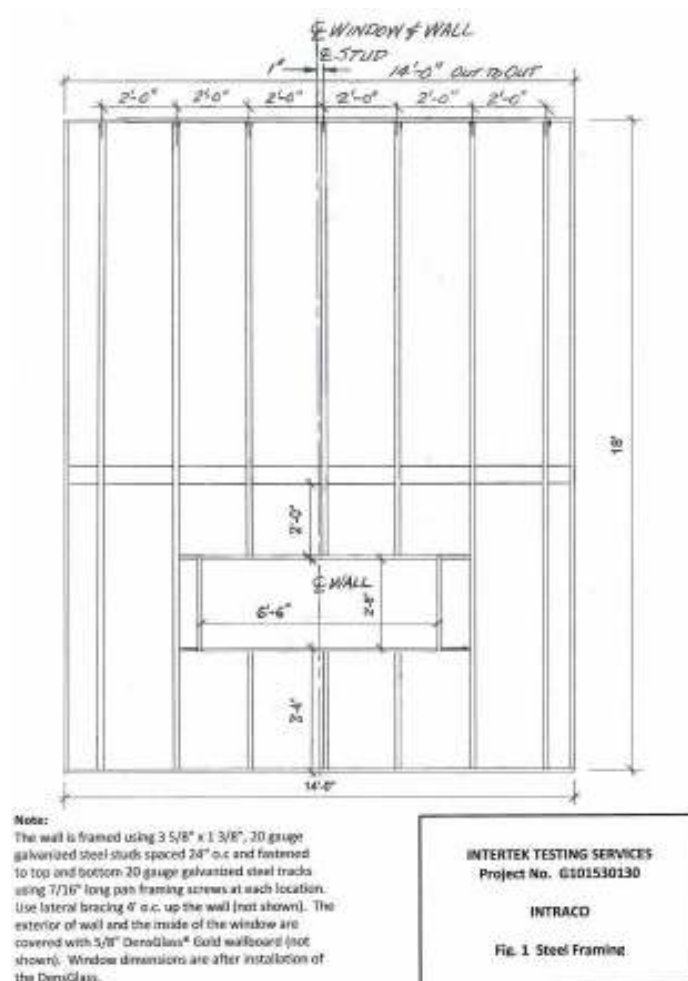


圖 5-13 試體 E 設計圖(一)

(資料來源：Interek Test Report, Report Number: 101530130SAT-007_Rev.2, 2016.)

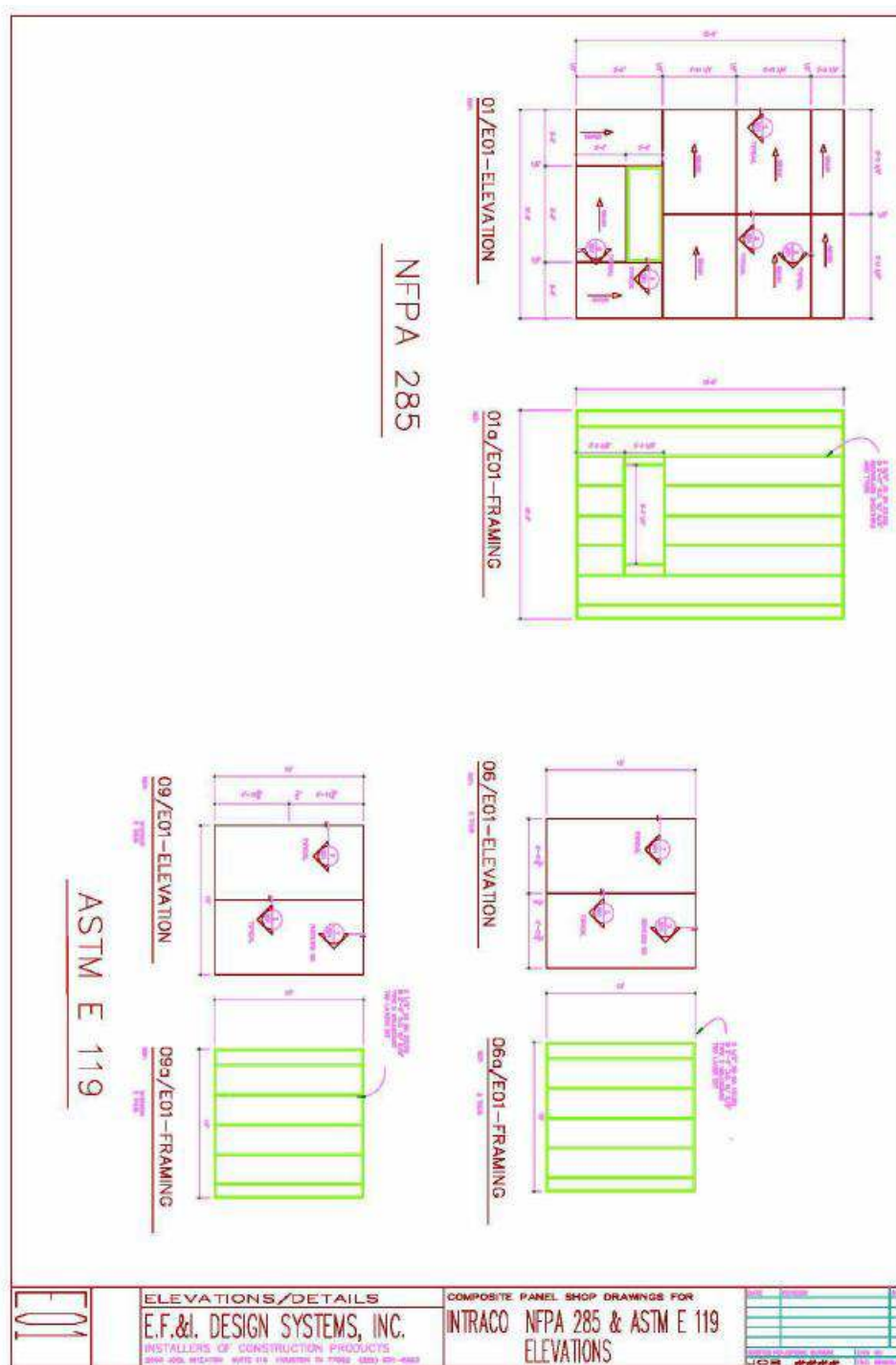


圖 5-14 試體 E 設計圖(二)

(資料來源：Interek Test Report, Report Number: 101530130SAT-007_Rev.2, 2016.)

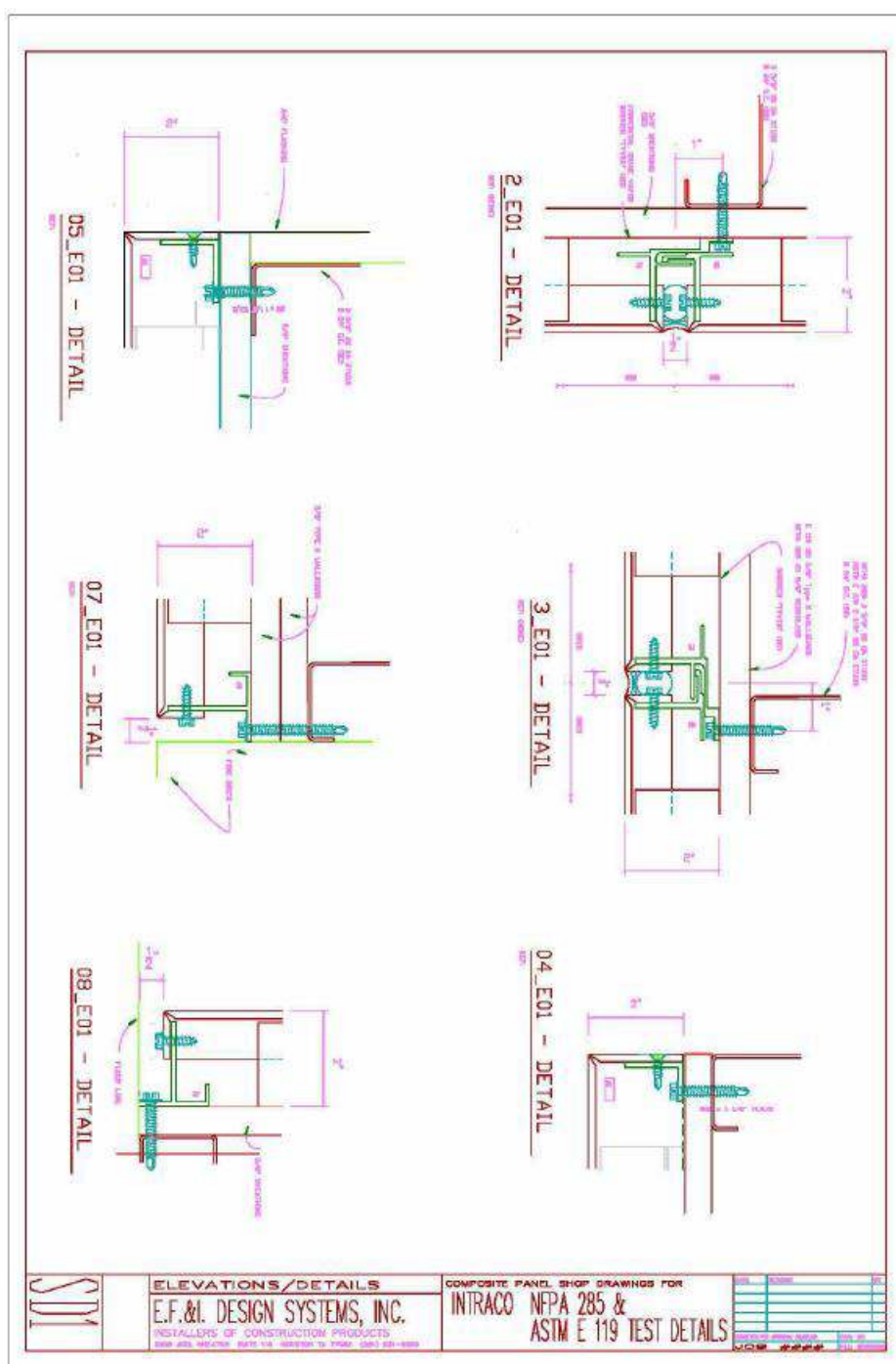


圖 5-15 試體 E 設計圖(三)

(資料來源：Intertek Test Report, Report Number: 101530130SAT-007_Rev.2, 2016.)

6. 試體 F Henry® Blueskin® SA Air and Vapor barrier membrane, 1-1/2 in. thick Roxul™ ComfortBatt® Insulation, Neolith cladding panels utilizing Strongfix attachment system.[57]

圖 5-16 為試體 F 設計圖，試體組件包含內側包層、骨架、外保護層、防水層、窗戶開口、外部隔熱層和外部包層。內部包層使用 5/8 in. 厚 National Gypsum Gold Bond® Fire-Shield® gypsum board 滿足 ASTM C1396 規範，使用 #6 x 1-1/4 in. 喇叭頭鑽尾螺絲固定，周圍間隔 8in.，內部間隔 12in. 的方式固定。在燃燒室樓層窗戶開口左右邊配置兩片垂直方向的石膏板，開口上下方使用切割過的石膏板，長邊對著窗戶開口。二樓的石膏板，長邊平行於立柱進行配置，所有的接縫使用 USG Sheetrock paper joint tape 來密封，並使用 Sheetrock Joint Compound 填充。

骨架部分外牆組件核心包含 18ft.長 6in.深 18GA 的鍍鋅鋼骨立柱，以中心距 24in.固定在 14ft.長 6in. 深 18GA 的鍍鋅鋼軌上，使用 #6 x 1/2 in.的圓頭鑽尾螺絲，另外使用兩個 18ft.長 6in.深 18GA 的鍍鋅鋼骨立柱作為窗戶主要的框架。在二樓樓板使用 4pcf 的 Johns Manville MinWool®作為防火阻隔，長度不得小於樓板厚度 8in.。外保護層使用 1/2in.厚的 Georgia-Pacific DensGlass® exterior gypsum sheathing，滿足 ASTM C1177 規範，在外牆組件整個外表面用水平的方式置放，安裝時預留 16in.垂直方向的接縫，使用 #6 x 1-1/4 in.長的喇叭頭鑽尾螺絲周圍間隔 8in.，內部間隔 12in. 的方式固定。

防水層、外保護層的接縫使用 Henry® Blueskin®925 BES 密封膠，在安裝防水層之前，先等密封膠乾掉，密封膠乾了之後將 Henry®574 Blueskin® LVC 黏著劑滾在外保護層上，最後將 Henry® Blueskin® SA 水平的方式從底部往上黏貼，保護膜會黏在整個外保護層，包含窗台，窗戶側邊以及頂部，保護層會以 2in 的長度重疊。窗戶開口：78in.寬 x 30 in.高的窗戶開口由 18GA 的鍍鋅鋼軌構成，窗台距離地面 30in.，鍍鋅鋼軌在角落使用 #6x 1/2 in.的圓頭螺絲固定，完成外保

護層施工之後，進行防水層的施工，完成外部包層的施工後，窗戶開口使用 18GA 的鍍鋅鋼從內側石膏板包覆到外牆板，使用 #12 x 1 長六角頭鑽尾螺絲以 10in. 的間距固定。外部隔熱層使用 1-1/2 in. Roxul™ ComfortBatt® Insulation 安裝在外牆組件外表面，為了保持隔熱性，使用了 3 in. 長，底部穿孔的架子將隔熱層固定在外牆表面，這些架子以垂直方向間距 4ft 安裝在每個立柱上，使用 4 in. x 4 in. 的 Henry® Blueskin® SA 將架子固定在外牆表面，再安裝隔熱層。

在安裝隔熱層時，會使用鋁製的墊片固定。外部包層部分安裝 Strongfix system 時，要先安裝 3-1/8 in. deep x 4-3/4 in. tall x 1-1/2 in. flange x 1/8 in. thick 的鋁架，每個鋁架使用 3 個直徑 1/4in. x 2 in. 長的六角頭鑽尾螺絲固定，鋁架用垂直的方式固定在立柱上，然後將 2 in. deep x 3-1/8 in. wide x 5/64 in. 的垂直鋁材“T”型部分用兩個 #12 x 1-1/2 in. 的六角頭鑽尾螺絲通過凹槽與鋁架固定，和兩個 #12 x 1-1/2 in. 的六角頭鑽尾螺絲通過鋁架和垂直鋁型材“T”固定。接下來水平方向的鋁架和“T”固定，水平方向的鋁架有一個 2-1/4 in. 寬的面還有 5/8 in. 寬 x 5/8 in. 高的 J 型固定件，在每個水平鋁架和“T”鋁材的交接處都使用兩個 #12 x 3/4 in. 的六角頭鑽尾螺絲固定，接下來安裝 Neolith Panels，Neolith Panels 有一個搭配的固定件與鋁架固定，外牆板覆蓋在外牆的外表面，用摩擦力固定，並非使用螺絲固定。外牆板水平和垂直的接縫為 7mm，垂直接縫處位於窗戶開口的側邊框架，水平接縫處在窗戶開口頂部上方 39-3/4 in.、79-1/2 in. 和 119-1/4 in 處。

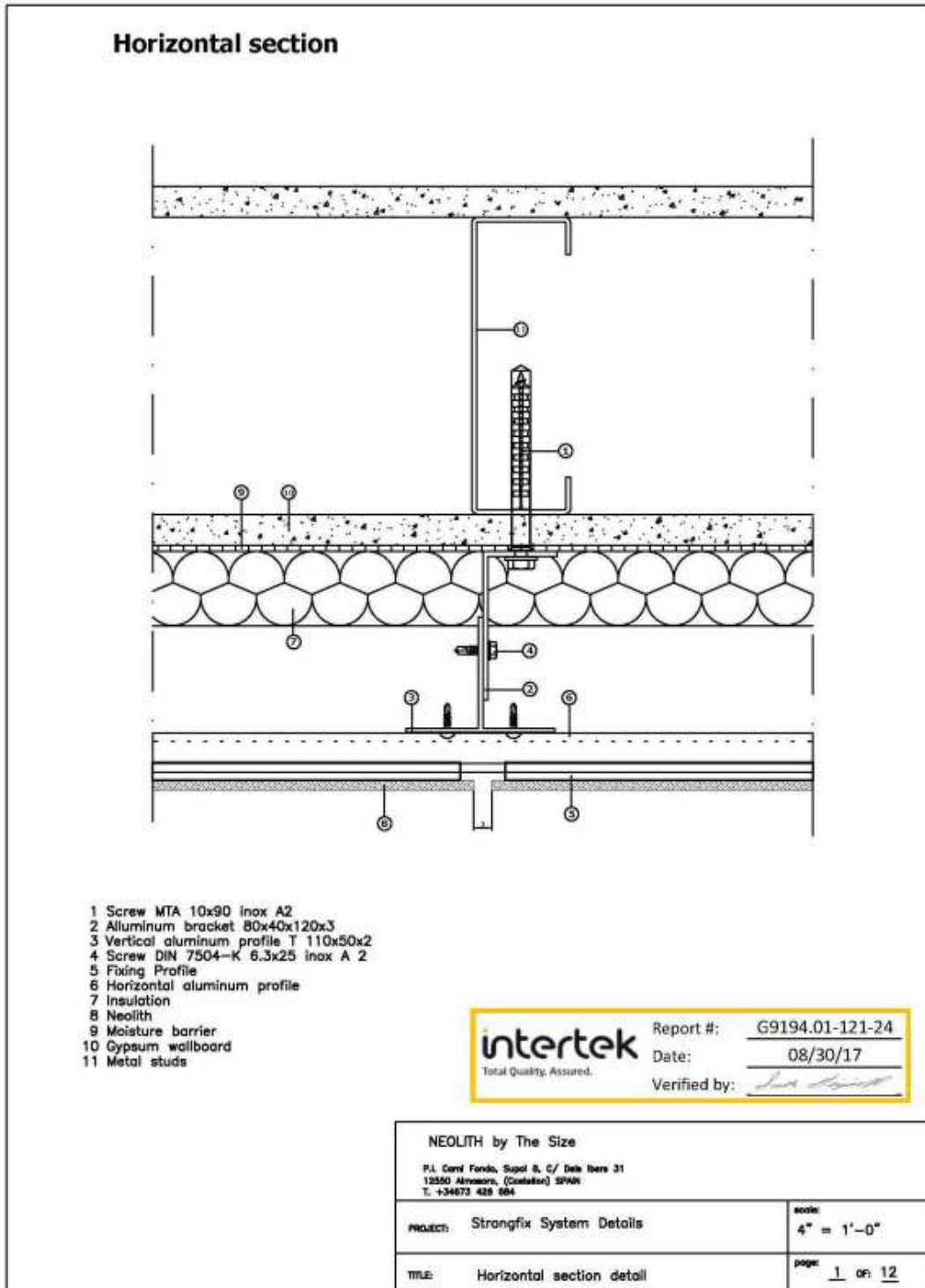


圖 5-16 試體 F 設計圖(一)

(資料來源：Intertek Test Report, Report Number: G9194.01-121-24-R0, 2017.)

表 5-1 為六種外牆試體的各個組件整理，在內部包層使用的都是強化石膏板，外部包層皆使用 Georgia Pacific DensGlass® Sheathing，立柱皆使用鍍鋅鋼骨，外牆板則依設計不同使用不同的外牆板，表 5-2 列出各材料通過的耐燃等級。

表 5-1 各試體組件列表

	內部包層	外部包層	立柱	外牆板
試體 A	TYPE X™石膏板	Georgia Pacific DensGlass® Sheathing	鍍鋅鋼骨	鋁複合板
試體 B	TYPE X™石膏板	Georgia-Pacific DensGlass Gypsum Sheathing	鍍鋅鋼骨	Mitsubishi Plastics Alpolic/fr panels (鋁板+岩棉)
試體 C	TYPE X™石膏板	Georgia-Pacific DensGlass Gypsum Sheathing	鍍鋅鋼骨	鋁複合板
試體 D	TYPE X™石膏板	Georgia-Pacific DensGlass Gypsum Sheathing	鍍鋅鋼骨	
試體 E	TYPE X™石膏板	Georgia-Pacific DensGlass Gypsum Sheathing	鍍鋅鋼骨	Alfrex ACM Panels (鋁複合板)
試體 F	National Gypsum Gold Bond® Fire-Shield® gypsum board	Georgia-Pacific DensGlass Gypsum Sheathing	鍍鋅鋼骨	Neolith Panels

(本研究製作)

表 5-2 試體各材料耐燃性質

材料	耐燃等級
TYPE X™石膏板	耐燃 1 級
Georgia-Pacific DensGlass Gypsum Sheathing	耐燃 1 級
鍍鋅鋼骨	耐燃 1 級
鋁複合版	耐燃 2 級
Mitsubishi Plastics Alpolic/fr panels	Heat Released Test for Non-combustible Material(ISO 5660-1) & Toxicity Gas Test 通過 BS476 Part 7 class 1, BS476 Part 6 class 0
Alfrex ACM Panels	GB 8624 Class, B, S1, d0, t0

(本研究製作)

第二節 耐燃性試驗

建築物外牆與內牆的應用材料相當多元，表 5-3 為本研究整理應用於外牆或內牆的裝修材與其耐燃等級；由表顯示纖維強化水泥板、ALC 板、鋁板和鋼板都達到了耐燃 1 級，木絲水泥板與鋁複合板達到了耐燃 2 級，然而作為建築物保溫材的 EPS(發泡性聚苯乙烯)為未達耐燃 3 級不耐燃的材質，同樣作為保溫材的 PU(聚胺脂)，則因在材料在製程中的添加劑不同，在耐燃等級的表現也有所不同。

表 5-3 裝修材性質表

材料	外牆	內牆	耐燃等級
纖維強化水泥板	○	○	耐燃 1 級
壓出成型水泥板	○	○	耐燃 1 級
ALC 板	○	○	耐燃 1 級
鋁板	○		耐燃 1 級
氟素樹脂塗裝鋼板	○		耐燃 1 級
鍍鋅鋼板	○		耐燃 1 級
鋼浪板	○		耐燃 1 級
耐候性鋼板	○		耐燃 1 級
小型磁磚複合板	○	○	耐燃 1 級
大型磁磚面板	○	○	耐燃 1 級
陶磚面板	○	○	耐燃 1 級
玻璃	○		耐燃 1 級
石材複合面板	○		耐燃 1 級
木絲水泥板	○		耐燃 2 級
鋁複合版	○		耐燃 1 級或耐燃 2 級
EPS(發泡性聚苯乙烯)	○		未達 3 級
XPS(擠塑性聚苯乙烯)	○		未達 3 級
PU(聚胺脂)	○		未達耐燃三級或耐燃三級以上

(本研究製作)

本研究以市面販售 9 種不同的 EPS、XPS 與 PU 產品，進行 CNS14705-1 圓錐量熱儀試驗[58]，試體規格如表 5-4 所示，EPS-9K、EPS-12K、EPS-18K 為不同密度的 EPS(發泡型聚苯乙烯)，此三種 EPS 皆無添加阻燃劑，PS 同樣發泡型聚苯乙烯，不同於普通的 EPS，PS 添加了防火劑，PU1 至 PU4 為不同規格的四

種 PU(聚胺脂)試體，其中 PU3 與 PU4 成分相同，試體差異為厚度不同，XPS 為擠塑型聚苯乙烯，與 EPS 的差異為成型的方式。

表 5-4 耐燃性試驗試體規格表

	長 (cm)	寬 (cm)	厚 (cm)	規格
EPS-9K	10	10	3	發泡聚苯乙烯(無添加防火劑) 密度 9kg/m ³
EPS-12K	10	10	3	發泡聚苯乙烯(無添加防火劑) 密度 12kg/m ³
EPS-18K	10	10	3	發泡聚苯乙烯(無添加防火劑) 密度 18kg/m ³
PS	10	10	5	發泡聚苯乙烯、發泡劑、防火劑、色粉、安定劑等
PU1	10	10	5	聚胺脂、無機粉體及助劑
PU2	10	10	5	聚胺脂。添加物：氫氧化鎂、氫氧化鋁、發泡劑、石墨、助劑、碳酸鈣
PU3	10	10	2.5	高度聚胺脂發泡材 耐重力 ≤20.42kN 抗曲強度 4254kPa 吸水量 0.26g/cm ² 導熱係數 0.0301 W/mK
PU4	10	10	3	高度聚胺脂發泡材 耐重力 ≤20.42kN 抗曲強度 4254kPa 吸水量 0.26g/cm ² 導熱係數 0.0301 W/mK
XPS	10	10	5	擠塑型聚苯乙烯(XPS) 密度 43kg/m ³ 抗壓強度 1.8 kgf/cm ² 以上 抗彎強度 2kgf/cm ² 以上 吸水性 0.07 g/m ² 以下 熱傳導係數 0.029Kcal/m. h.°C

(本研究製作)

根據 CNS14705-1 試體在 50kW/m^2 水平配置加熱熱通量下，依照欲檢測之耐燃等級進行加熱時間設定如表 5-5 所示，並且須要符合下列規定才能合格：

表 5-5 CNS14705-1 所規範之耐燃級數加熱時間

耐燃性級別	加熱時間(min)
耐燃 1 級	20
耐燃 2 級	10
耐燃 3 級	5

(資料來源：CNS14705-1 建築材料燃燒熱釋放率試驗法—第 1 部圓錐量熱儀法。中華民國國家標準(CNS))

總熱釋放量(應符合下列其中一項之規定)：

耐燃 1 級材料總熱釋放量為 8MJ/m^2 以下，或總熱釋放量為 15MJ/m 以下，且依 CNS14705-3 之 A-2 計算所得 b 參數為 -0.4 以下。

耐燃 2 級及 3 級總熱釋放量為 8MJ/m^2

(1)最大熱釋放率無持續 10s 以上，超過 200kW/m^2 。

(2)無防火上有害之貫穿之背面之龜裂及孔穴。

表 5-6 為 EPS、PS 和 XPS 試體的試驗歷程，每種試體會進行 3 次的重複試驗，表 5-7 與表 5-8 為 EPS、PS 和 XPS 的熱釋放率與質量損失率，圖 5-17 為 EPS-18K 試體之試驗過程，試驗開始進行加熱時，可以觀察到 EPS 試體開始熱裂解，17 秒時 EPS 試體引燃後會持續燃燒，60 秒時 EPS 試體燃燒殆盡。此現象也同樣發生在 EPS-9K、EPS-12K 的試體。

圖 5-18 至圖 5-23 為 EPS、PS 與 XPS 試驗前後照片，在試驗過程可觀察到火焰的產生，以及試驗結束後各試體的外觀與形狀均與試驗前有很大的差異。

表 5-6 EPS、PS 和 XPS 耐燃試驗試驗歷程

	點燃(sec)	熄滅(sec)	初始質量(g)	剩餘質量(g)
EPS-9K-1	4	45	2.4	0.2
EPS-9K-2	24	54	4.3	2.3
EPS-9K-3	4	44	4.4	2.6
EPS-12K-1	24	64	4.8	1.8
EPS-12K-2	21	60	4.8	2.3
EPS-12K-3	24	65	5.4	2.7
EPS-18K-1	24	93	6.2	2.3
EPS-18K-2	17	60	5.6	1.8
EPS-18K-3	18	91	6.7	2.7
PS-1	2	305	23.7	5.8
PS-2	2	319	23.1	5.8
PS-3	2	270	23.3	5.7
XPS-1	3	279	19.2	5.1
XPS-2	3	298	19.4	5.1
XPS-3	2	279	19.4	5.2

(本研究製作)

表 5-7 EPS、PS 和 XPS 熱釋放率

	平均熱釋放率 kW/m ²	總熱釋放率 (MJ)	最大熱釋放率 (kW/m ²)	最大熱釋放率 時間
EPS-9K-1	19.29	5.8	291.71	18
EPS-9K-2	19.41	5.4	308.48	37
EPS-9K-3	20.35	6.1	302.26	21
EPS-12K-1	31.68	8.7	328.69	44
EPS-12K-2	32.18	9.0	369.78	37
EPS-12K-3	32.37	9.0	335.14	46
EPS-18K-1	53.41	14.8	403.37	45
EPS-18K-2	49.94	14.1	393.51	49
EPS-18K-3	53.57	15.1	395.36	46
PS-1	239.31	71.3	344.93	31
PS-2	247.44	73.7	370.11	33
PS-3	250.81	71.5	404.99	34
XPS-1	178.45	53.0	347.26	78
XPS-2	192.07	57.1	384.60	11
XPS-3	190.50	56.8	361.09	33

(本研究製作)

表 5-8 EPS、PS 和 XPS 質量損失率

	平均質量損失率 (g/s)	最大質量損失率 (g/s)	最大質量損失率 時間(s)
EPS-9K-1	0.008	0.493	258
EPS-9K-2	0.007	0.692	48
EPS-9K-3	0.006	0.294	22
EPS-12K-1	0.062	6.074	29
EPS-12K-2	0.009	0.254	37
EPS-12K-3	0.010	0.244	47
EPS-18K-1	0.014	0.223	28
EPS-18K-2	0.014	0.277	43
EPS-18K-3	0.014	0.184	46
PS-1	0.06	0.418	175
PS-2	0.059	0.373	112
PS-3	0.062	0.422	26
XPS-1	0.048	0.354	12
XPS-2	0.048	0.379	19
XPS-3	0.047	0.371	92

(本研究製作)



圖 5-17 EPS 試驗歷程圖

(本研究製作)



圖 5-18 試驗前之 EPS

(本研究製作)



圖 5-19 EPS 試驗後之 EPS

(本研究製作)



圖 5-20 試驗前之 PS

(本研究製作)



圖 5-21 試驗後之 EPS

(本研究製作)

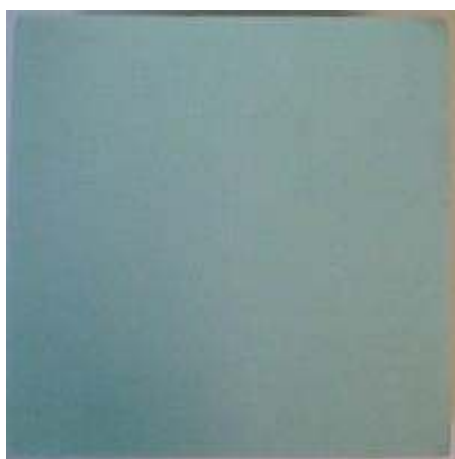


圖 5-22 試驗前之 XPS

(本研究製作)



圖 5-23 試驗後之 XPS

(本研究製作)

圖 5-24 為 EPS、PS 和 XPS 在試驗過程的熱釋放率變化，可觀察到兩種不同的變化趨勢。第一種變化趨勢為 3 種 EPS 的在試驗過程的熱釋放率變化，會急速上升之後又急速下降；第二種變化趨勢為 PS 和 XPS 的熱釋放率會急速上升，之後會隨著時間而緩慢下降。此結果顯示 EPS 的燃燒時間會比 PS 和 XPS 短，因此質量損失率(圖 5-25)的變化，EPS 也是會比 PS 和 XPS 更快達到穩定值。圖 5-26 顯示 EPS、PS 和 XPS 的平均熱釋放率。由圖顯示平均熱釋放率的大小為 PS > XPS > EPS；此外，EPS 的平均熱釋放率會隨著 K 值的增加而略為增加。圖 5-27 平均質量損失率的結果與平均熱釋放率相似，依序為 PS > XPS > EPS。

圖 5-28 為 EPS、PS 和 XPS 在試驗過程所需的引燃與熄滅時間。結果顯示 PS 和 XPS 的引燃與熄滅時間差異不大，但 EPS 所需的引燃時間會高於 PS 和 XPS，但熄滅時間會低於 PS 和 XPS。此外，EPS-9K 與 EPS-18K 在不同樣品時的試驗結果會有所差異。這顯示 EPS-9K 與 EPS-18K 的測試樣品較沒有品質穩定性。

由圖 5-24 至圖 5-28 的 EPS 整體試驗結果顯示，密度較大的 EPS，較慢點燃，熄滅的時間也較密度小的 EPS 慢，熱釋放率與質量損失率都較大，EPS-9K 的平均熱釋放率大約為 20 kW/m²，最大熱釋放率大約為 300 kW/m²，平均質量

損失率大約為 0.007g/s，EPS-12K 的平均熱釋放率大約為 30 kW/m²，最大熱釋放率大約為 330 kW/m²，平均質量損失率大約為 0.01g/s，EPS-18K 的平均熱釋放率大約為 50kW/m²，最大熱釋放率大約為 400 kW/m²，平均質量損失率大約為 0.014g/s。

PS 與 XPS 整體試驗結果，由於試體厚度為 5 公分，質量較大，燃燒的時間較長，PS 試體平均熱釋放率大約為 230 kW/m²，最大熱釋放率約在 350 kW/m² 至 400 kW/m² 之間，平均質量損失率大約為 0.06g/s，XPS 試體平均熱釋放率大約為 190kW/m²，最大熱釋放率大約為 360 kW/m²，平均質量損失率大約為 0.048g/s。

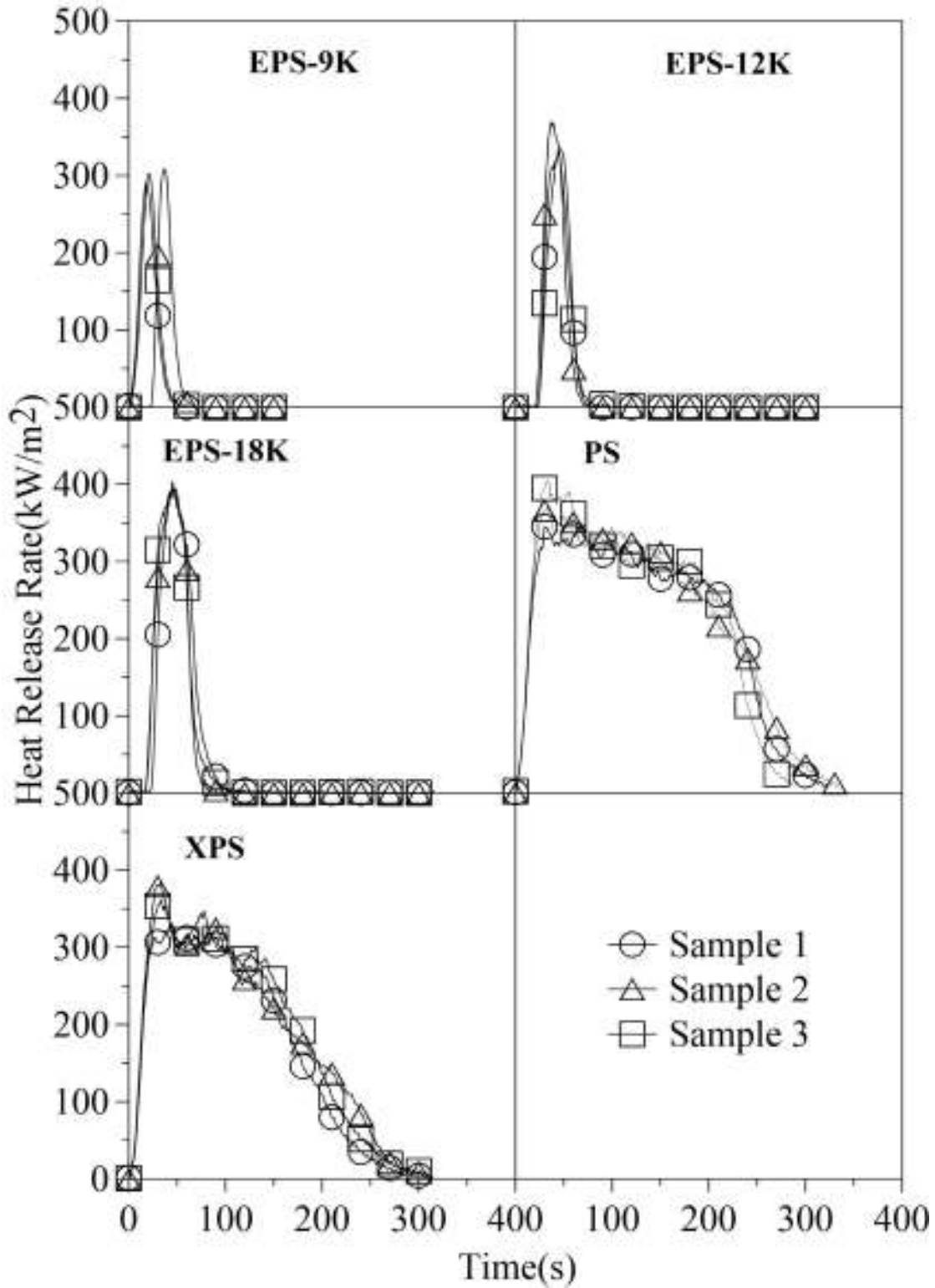


圖 5-24 EPS、PS 和 XPS 熱釋放率與時間之關係

(本研究製作)

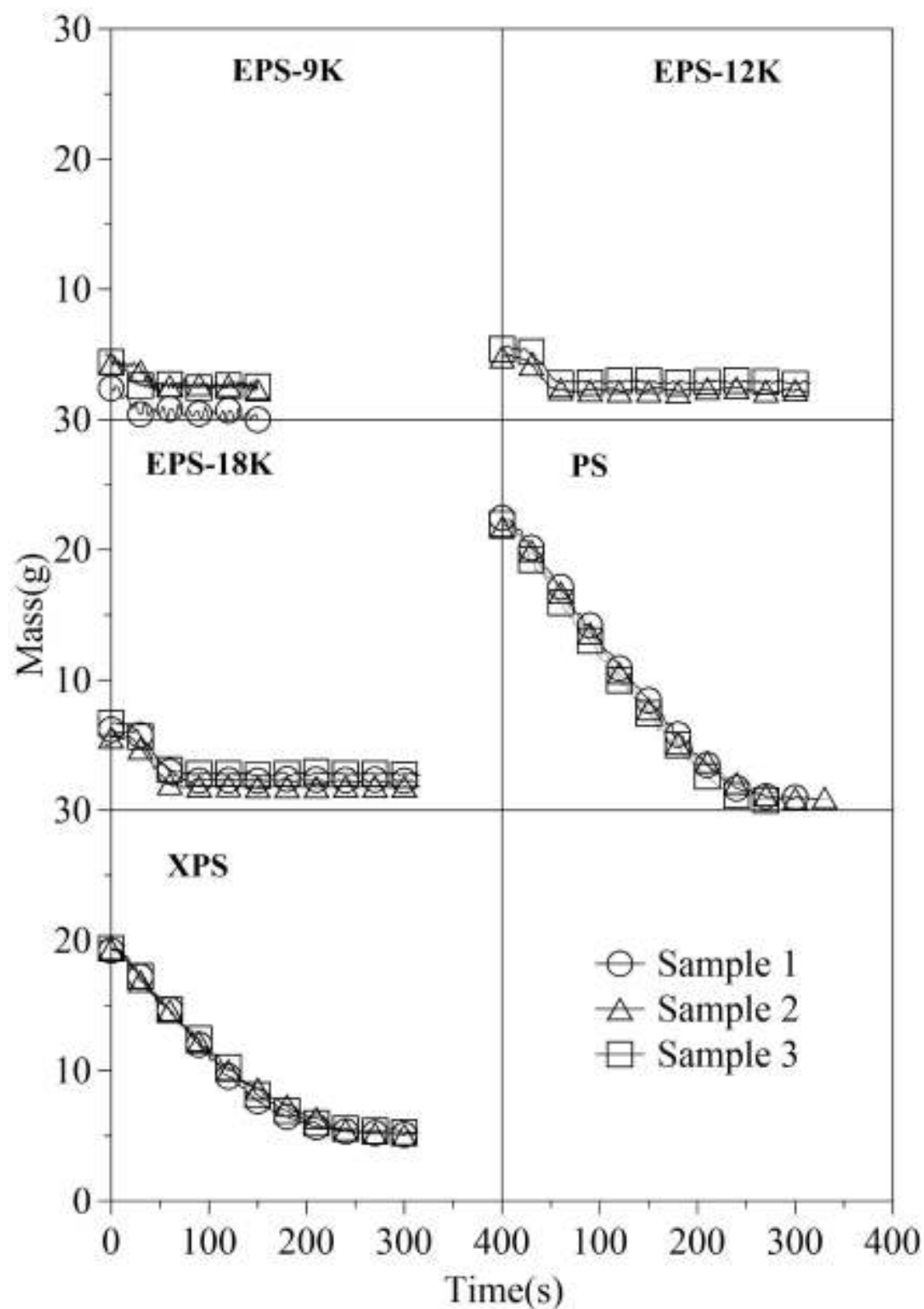


圖 5-25 EPS、PS 和 XPS 質量與時間關係

(本研究製作)

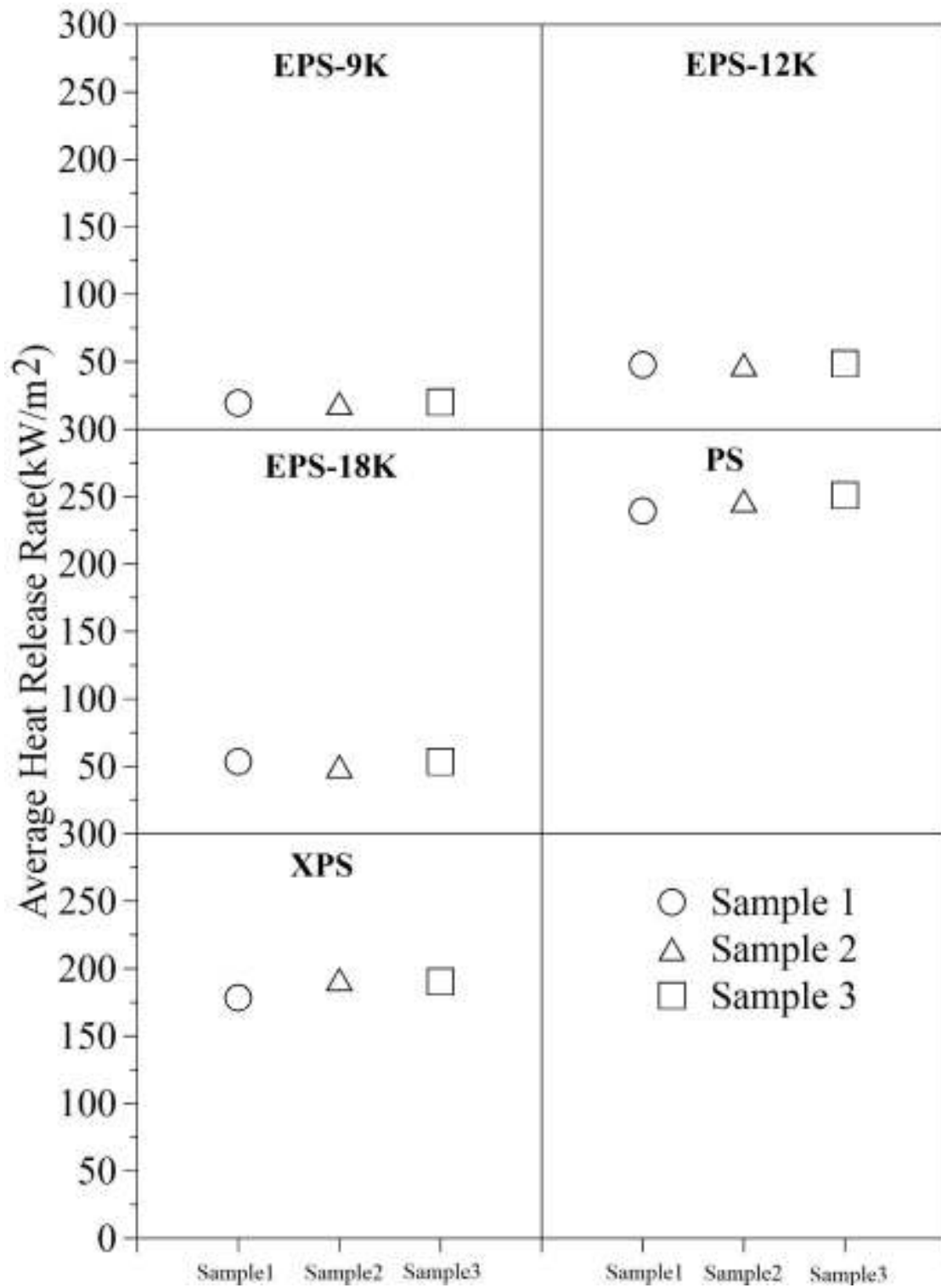


圖 5-26 EPS、PS 和 XPS 平均熱釋放率

(本研究製作)

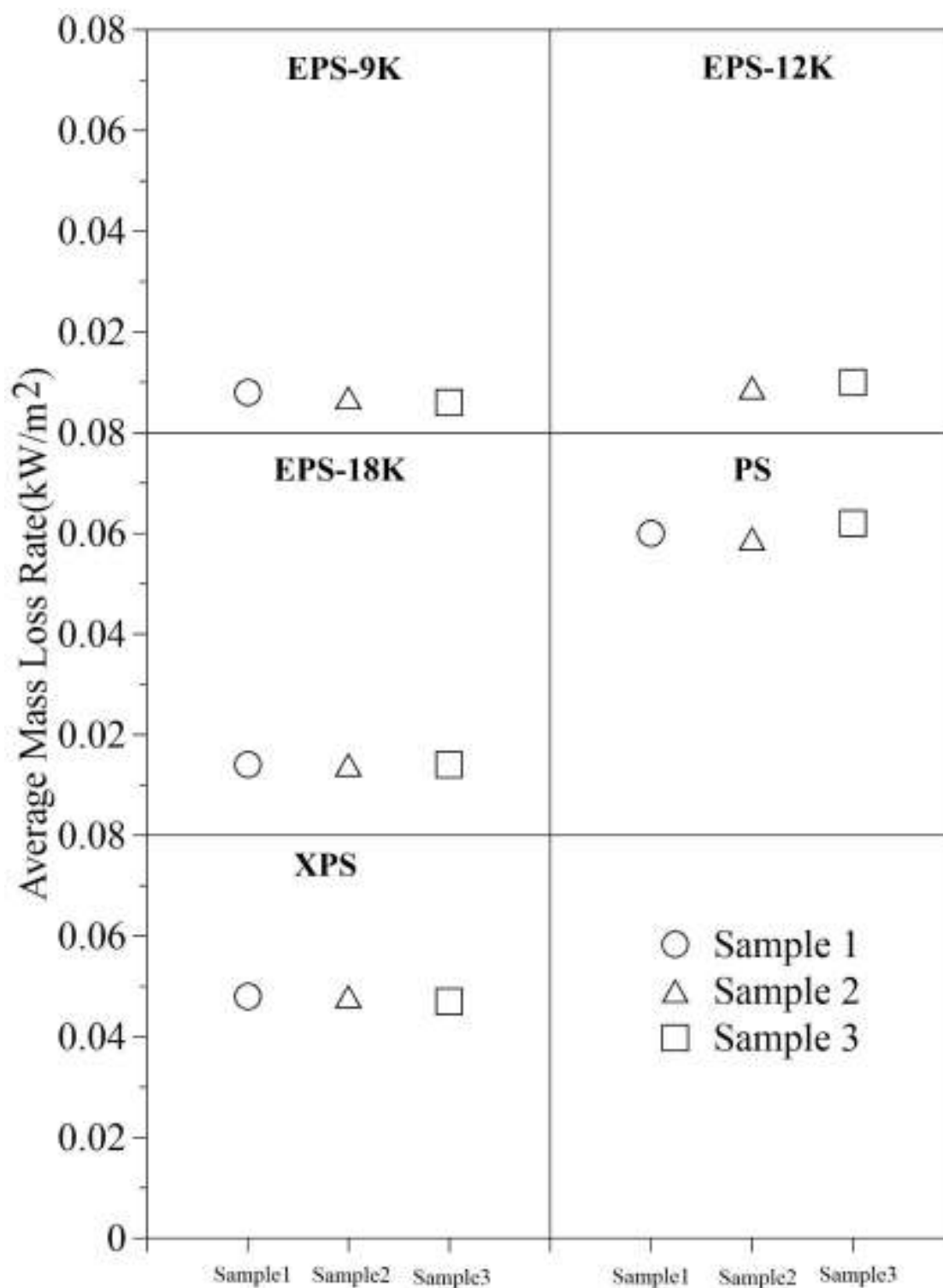


圖 5-27 EPS、PS 和 XPS 平均質量損失率

(本研究製作)

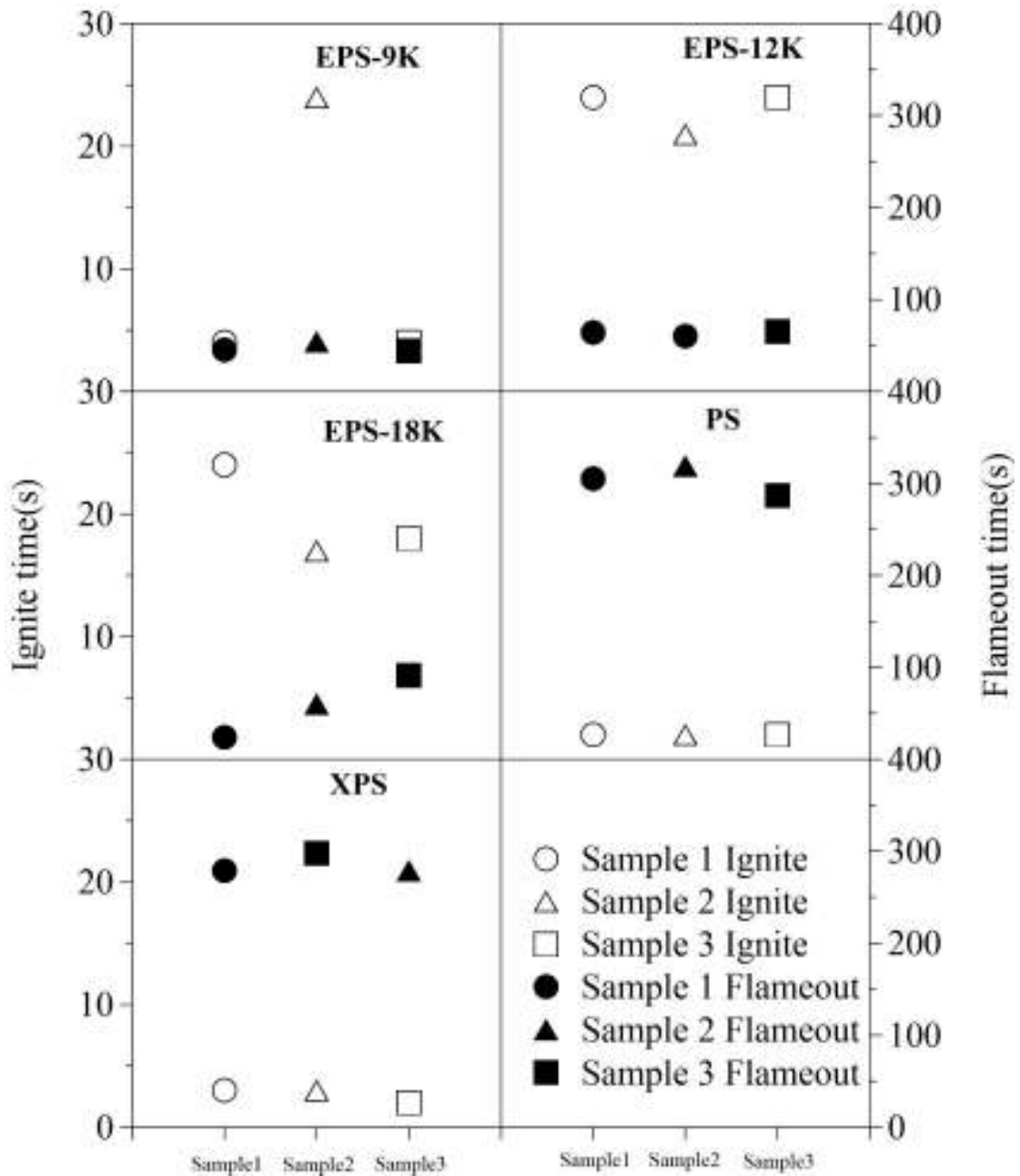


圖 5-28 EPS、PS 和 XPS 點燃與熄滅時間

(本研究製作)

表 5-9 為 4 種 PU 試體的試驗歷程，每種試體會進行 3 次試驗，表 5-10 與表 5-11 PU 質量損失率表 5-11 為 PU 的熱釋放率與質量損失率。

圖 5-29 為 4 種 PU 在試驗過程的熱釋放率變化，可觀察到兩種不同的變化趨勢。第一種變化趨勢為 PU1 與 PU2 會急速上升之後又急速下降為穩定值；第二

種變化趨勢為 PU3 與 PU4 會急速上升，之後會隨著時間而緩慢下降。質量損失率的變化，如圖 5-30 所示；PU1 與 PU2 在整體試驗過程，各別質量隨著時間呈現很少量的變化，但 PU3 與 PU4 的質量則是會隨著時間的增加而減少，因此由平均熱釋放率(圖 5-31)與平均質量損失率(圖 5-32)的結果可以觀察到，PU3 與 PU4 的平均熱釋放率與平均質量損失率會明顯大於 PU1 與 PU2。圖 5-33 為 4 種 PU 在試驗過程所需的引燃與熄滅時間。結果顯示 PU3 與 PU4 所需的引燃與熄滅時間會高於 PU1 與 PU2。此外，PU1 與 PU2 在不同樣品時的引燃時間會有明顯差異。這顯示 PU1 與 PU2 的測試樣品較也有品質穩定性的問題。

圖 5-29 至圖 5-33 的 4 種 PU 整體試驗結果顯示，PU1 與 PU2 的平均熱釋放率大約在 $10\sim 20\text{kW/m}^2$ 之間，最大熱釋放率大約大約在 $80\sim 90\text{kW/m}^2$ 之間，平均質量損失率大約為 0.007g/s 。PU3 與 PU4 的成分相同，只有試體厚度的差別，PU3 的平均熱釋放率大約在 230 至 260kW/m^2 之間，最大熱釋放率大約大約在 $360\sim 370\text{kW/m}^2$ 之間，平均質量損失率大約為 0.1g/s ，PU4 的平均熱釋放率大約在 250 至 270kW/m^2 之間，最大熱釋放率大約大約在 390kW/m^2 之間，平均質量損失率大約為 0.1g/s ，厚度較大熄滅時間會稍微延長，總熱釋放率也較大。

圖 5-34 與圖 5-35 為 PU1 試驗前後照片，在燃燒過後 PU1 質量損失較低。圖 5-36 至圖 5-38 為 PU2 試驗前後之照片，圖 5-37 可觀察到 PU2 在試驗過程中質量損失雖然低，但是試體體積明顯的收縮。圖 5-39 至圖 5-41 為 PU3 試驗前後照片，PU3 在燃燒過程中有明顯的質量損失。

表 5-9 PU 試體試驗歷程

	點燃(sec)	熄滅	初始質量(g)	剩餘質量(g)
PU1-1	1	63	24.6	17.3
PU1-2	1	54	26.1	17.8
PU1-3	1	44	26.6	18.8
PU2-1	1	61	21.7	13.7
PU2-2	1	95	22.8	15.6
PU2-3	7	90	22.5	15.0
PU3-1	7	421	62.4	24.9
PU3-2	8	452	63.1	27.8
PU3-3	7	391	63.1	23.9
PU4-1	6	501	67.3	28.5
PU4-2	7	446	67.3	28.1
PU4-3	7	501	66.8	27.0

(本研究製作)

表 5-10 PU 試體熱釋放率

	平均熱釋放率 (kw/m ²)	總熱釋放率 (MJ)	最大熱釋放率 (kw/m ²)	最大熱釋放率 時間(sec)
PU1-1	11.10	13.3	83.25	10
PU1-2	18.41	15.9	84.65	11
PU1-3	12.43	14.9	78.63	9
PU2-1	10.98	13.2	93.86	11
PU2-2	8.52	10.2	92.63	11
PU2-3	9.06	10.9	92.67	12
PU3-1	245.87	101.8	360.46	120
PU3-2	227.44	101.0	363.25	52
PU3-3	266.15	102.2	378.13	111
PU4-1	245.01	121.3	392.71	106
PU4-2	279.51	122.7	380.89	32
PU4-3	250.74	123.9	375.85	37

(本研究製作)

表 5-11 PU 質量損失率

	平均質量損失率 (g/s)	最大質量損失率 (g/s)	最大質量損失率 時間(sec)
PU1-1	0.006	0.14	10
PU1-2	0.007	0.344	15
PU1-3	0.007	0.104	413
PU2-1	0.007	0.107	450
PU2-2	0.006	0.137	700
PU2-3	0.006	0.131	4
PU3-1	0.101	0.496	123
PU3-2	0.095	0.538	108
PU3-3	0.109	0.436	77
PU4-1	0.091	0.499	186
PU4-2	0.102	0.525	69
PU4-3	0.09	0.455	40

(本研究製作)

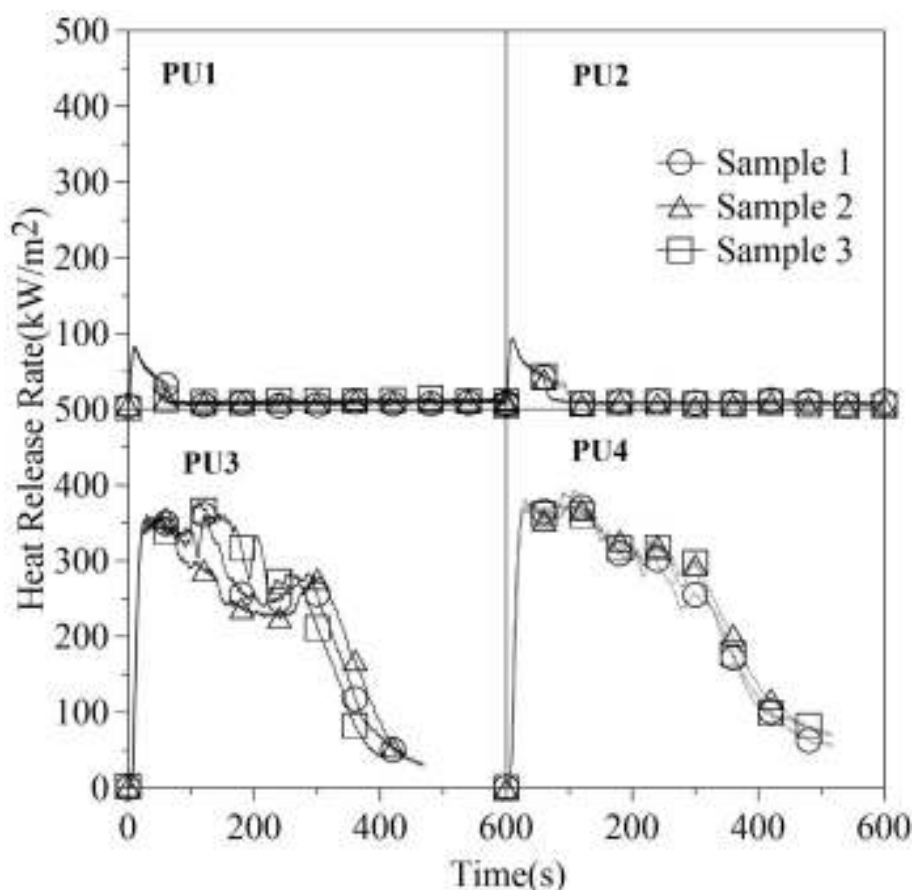


圖 5-29 PU 試體熱釋放率與時間關係

(本研究製作)

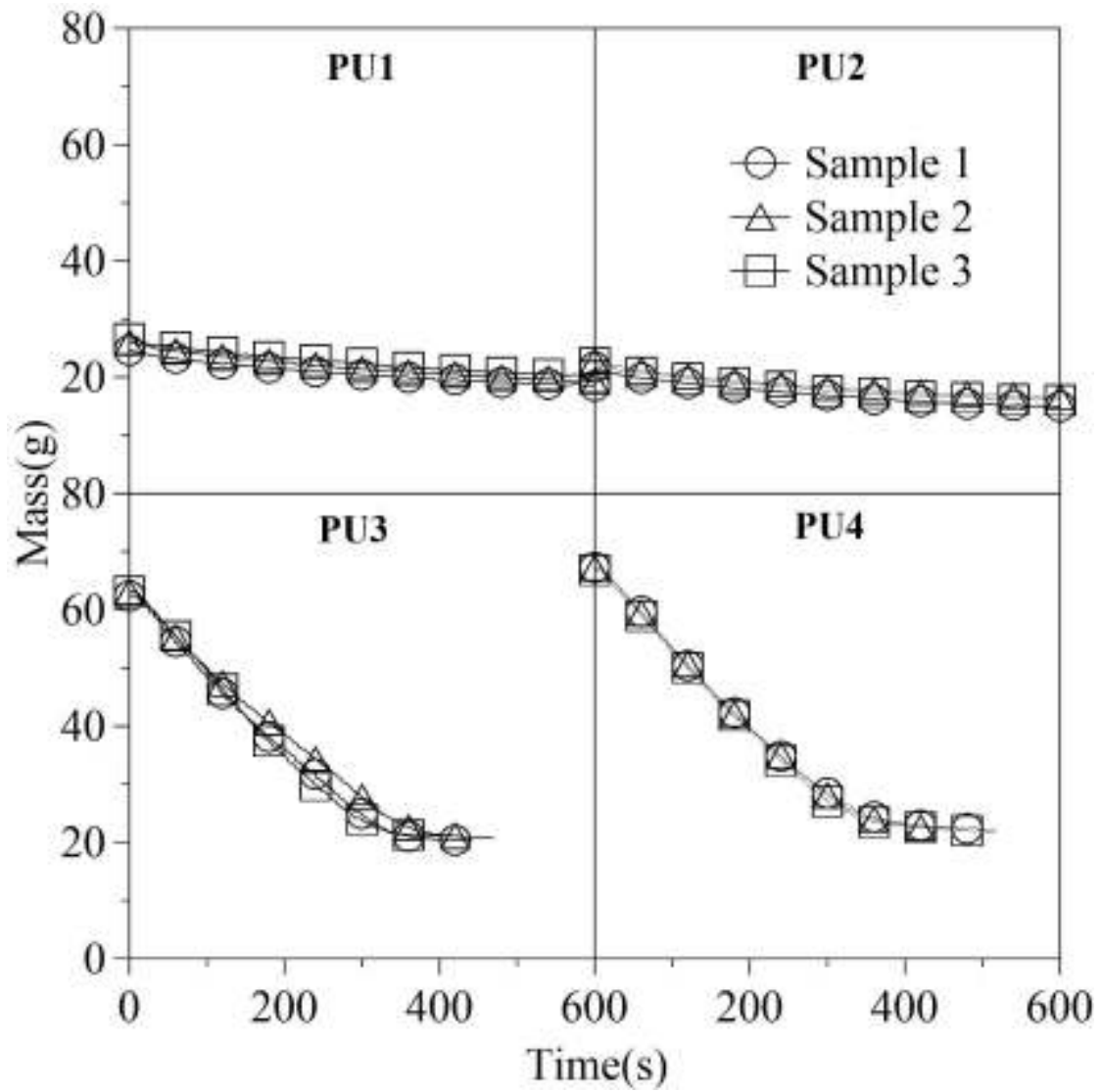


圖 5-30 PU 試體質量與時間關係

(本研究製作)

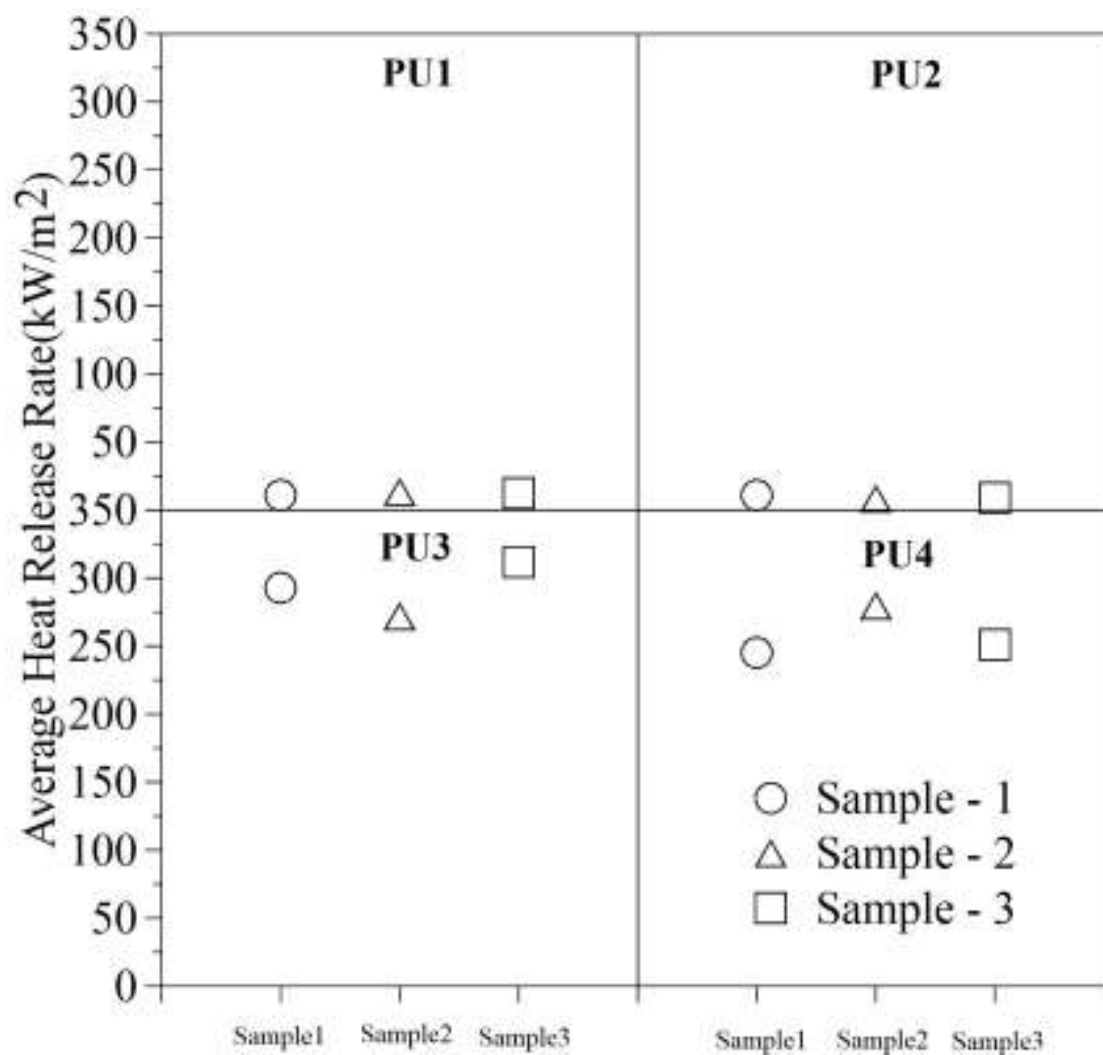


圖 5-31 PU 試體平均熱釋放率

(本研究製作)

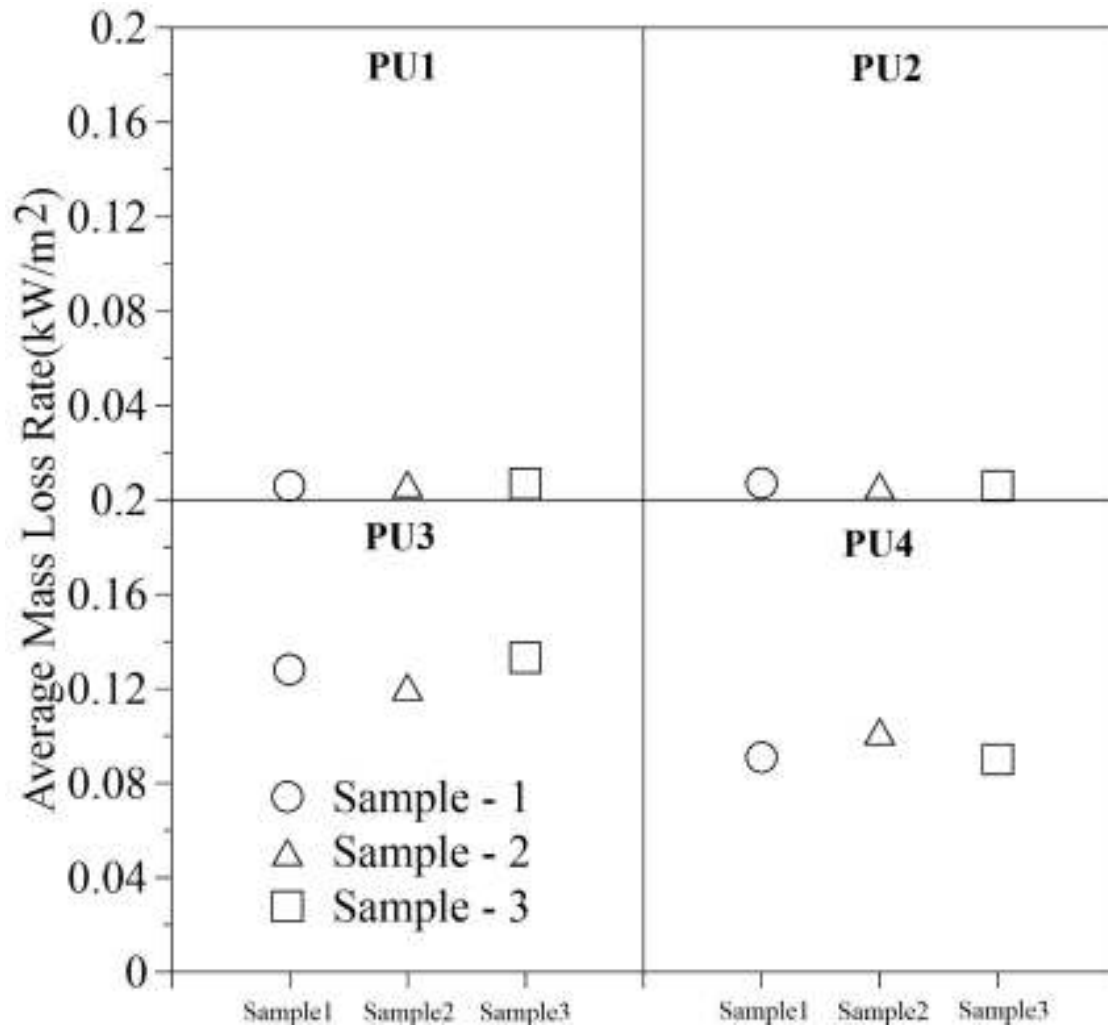


圖 5-32 PU 試體平均質量損失率

(本研究製作)

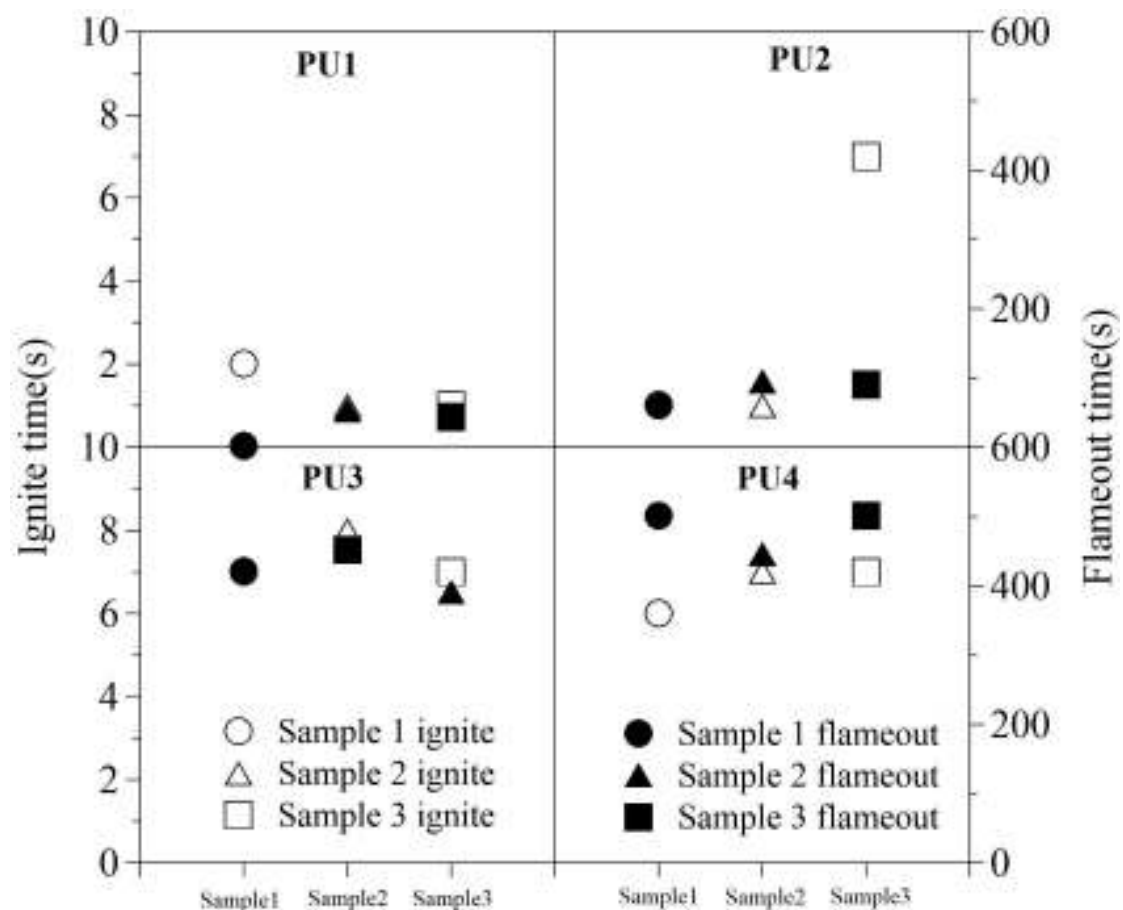


圖 5-33 PU 試體點燃與熄滅時間

(本研究製作)



圖 5-34 試驗前之 PU1 試體

(本研究製作)



圖 5-35 試驗後之 PU1 試體

(本研究製作)



圖 5-36 試驗前之 PU2 試題

(本研究製作)



圖 5-37 試驗後之 PU2 試體(1)

(本研究製作)



圖 5-38 試驗後之 PU2 試體(2)

(本研究製作)



圖 5-39 試驗前之 PU3 試體

(本研究製作)



圖 5-40 試驗後之 PU3 試體(1)

(本研究製作)



圖 5-41 試驗後之 PU3 試體(2)

(本研究製作)

表 5-12 為各試體的耐燃試驗結果，EPS、PS 和 XPS 試體在測試過程中因為明顯的質量損失以及熱釋放率超過規定，皆未達耐燃 3 級。PU1 試體在試驗過程中，有兩個試體的總熱釋放率小於 15MJ，根據 CNS14705-3 之 A-2 計算所得 b 參數為-0.4 以下，通過耐燃 1 級，PU2 試體在試驗過程中雖然總熱釋放量低於 15MJ，但因為試體內縮無法通過耐燃 1 級，僅能通過耐燃 3 級測試，PU3 與 PU4 因為熱釋放率超過標準，無法通過耐燃 3 級。由耐燃性試驗的結果，後續會選擇 EPS-18K、PS、PU1 與 PU3 進行垂直立面的延燒試驗。

表 5-12 耐燃試驗結果

	長 (cm)	寬 (cm)	厚 (cm)	試驗結果
EPS-9K	10	10	3	未達 3 級
EPS-12K	10	10	3	未達 3 級
EPS-18K	10	10	3	未達 3 級
PS	10	10	5	未達 3 級
PU1	10	10	5	通過 1 級
PU2	10	10	5	通過 3 級
PU3	10	10	2.5	未達 3 級
PU4	10	10	3	未達 3 級
XPS	10	10	5	未達 3 級

(本研究製作)

第三節 延燒試驗

本研究依據耐燃試驗的結果選用兩種發泡型聚苯乙烯與兩種聚胺脂進行延燒試驗，延燒試驗方式主要參照國內外相關延燒試驗[45]、[47~50]與CNS15213-1-建築物外牆立面防火試驗法-中尺度試驗[59]進行試驗相關規劃。CNS15213-1的試驗方式為外牆立面底部設有燃燒器作為火源，與外牆立面距離25公分，並在頂部設有熱通量計，如圖5-42所示。

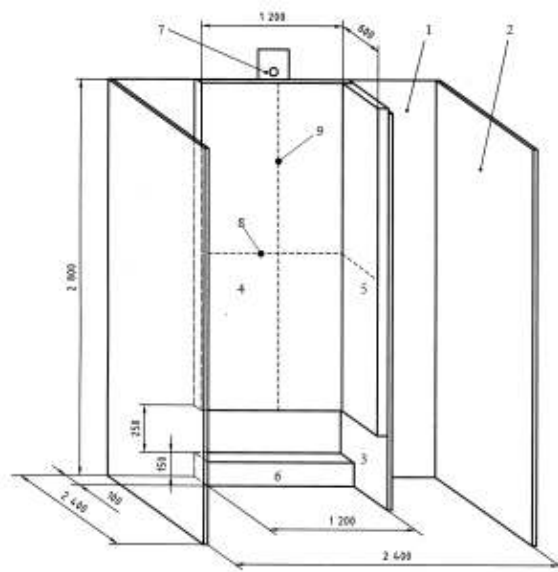


圖 5-42 CNS15213-1-建築物外牆立面防火試驗法-中尺度試驗設備

(參考資料：CNS15213-1-建築物外牆立面防火試驗法-中尺度試驗。

中華民國國家標準(CNS)。

圖 5-43 為本研究規劃的試驗方式；兩側支架固定試體，試體大小為 0.8 m x 1 m(寬 x 高)，試體厚度與耐燃性試驗的厚度相同，支架中間為試驗使用之平方火災燃燒器，圖 5-44 為試體固定在支架上，並將熱電偶以耐熱膠帶固定在試體表面。延燒試驗的引燃火源，分為單點火源引燃、線性火源引燃、燃燒器引燃。單點火源引燃的方式，是以噴燈火焰直接在試體正下方單點引燃，當試體引燃之後噴燈火焰會立即移開試體；線性火源引燃的方式，會先用石膏板遮蔽在試體引

燃位置的上方，此石膏板主要用來防止試體尚未完全線性引燃時，阻擋先行引燃向上延燒的火焰，當試體完成線性引燃，便立即將石膏板移開，之後可觀察整體延燒的現象。燃燒器引燃的方式，主要是調整不同熱釋放率的氣態燃燒器火焰進行引燃的行為，如圖 5-45 所示。



圖 5-43 延燒試驗設備示意圖

(本研究製作)



圖 5-44 延燒試驗設備

(本研究製作)



圖 5-45 延燒試驗使用之平方火災燃燒器

(本研究製作)

表 5-13 為延燒試驗參數表，預計進行四種試體(EPS-18K, PS, PU1, PU3)之延燒試驗，並使用不同的引燃方式，平方燃燒器 50 kW 火源、平方燃燒氣 100 kW 火源、噴燈單點引燃以及線性引燃方式來進行試驗，並且分別討論有無石膏板作為背板對試體延燒之影響。本試驗所使用之石膏板為 14 mm 厚 TypeX 強化石膏板，表格中標示黑色標記為目前已完成之試驗。

表 5-13 延燒試驗參數表

試體	試驗條件							
	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-18K		■		■	■	■	■	■
PS					■	■	■	■
PU1								
PU3								

(本研究製作)

圖 5-46 為 EPS-18K 在使用平方火災燃燒器作為引燃源之試驗歷程；試驗計

時開始時，先以點火器引燃燃燒器，在 32 秒時燃燒器完全引燃，EPS-18K 試體底部受到燃燒器加熱後會開始熔解，熔解後的 EPS-18K 會滴落至燃燒器上方並且引燃，此時燃燒器的火焰會變得更旺盛。在試驗過程可觀察到 EPS-18K 在引燃之前會先因為熔解而向下滴落，因此 EPS-18K 試體本身較無火焰直接延燒的現象；隨著試驗時間的增加，熔解的 EPS-18K 也累積在燃燒器的平面，因此燃燒器的火焰也會隨著時間而增加。在 88 秒時，可觀察到燃燒器火焰已經成長至穩定的高度，並且 EPS-18K 試體的熔解區域不再向上延伸。試驗結果顯示 EPS-18K 的熔解區域為三角形的形狀，此現象表示試體受到燃燒器火焰加熱的過程，試體中心線受到較高的溫度影響，因此熔解速度會高於試體的兩側。

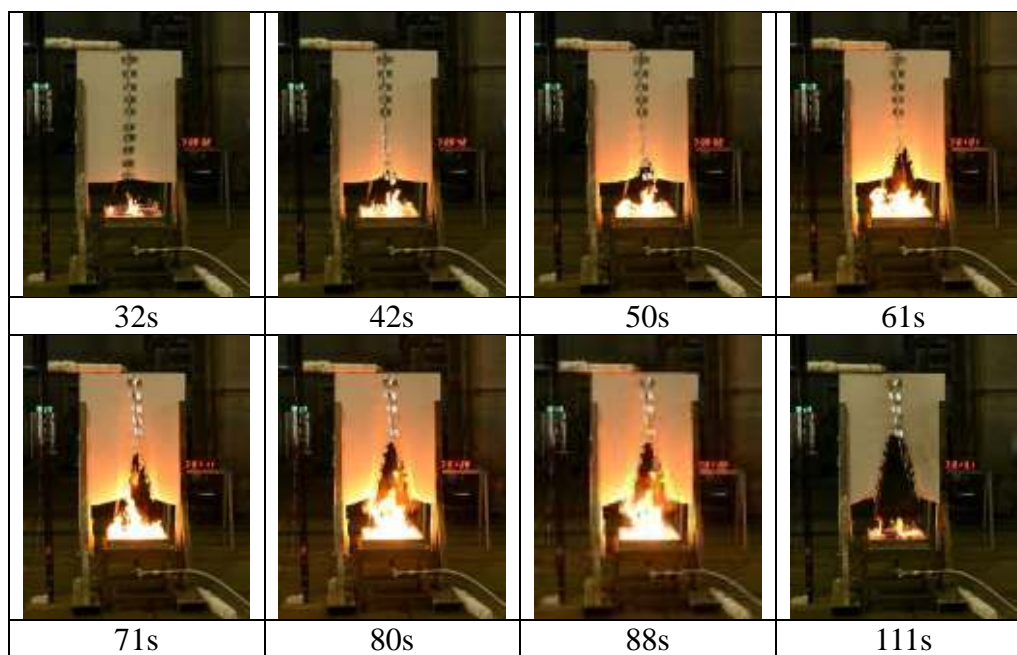


圖 5-46 無背板 EPS-18K 在 50kW 引燃條件下試驗歷程

(本研究製作)

圖 5-47 為燃燒器在 100kW 的試驗結果。EPS-18K 同樣先熔解向下滴落至燃燒器，並使得燃燒器火焰變得更旺盛。本試驗由於增加燃燒器的熱釋放率，因此 EPS-18K 在試驗結束後的熔解的區域會較增加。根據燃燒器兩種不同熱釋放率的試驗條件，可以觀察到，EPS-18K 會先受熱之後熔解滴落至燃燒器，並使得

燃燒器的火焰變大，但在整體試驗過程，EPS-18K 的試體本身較無火焰直接延燒的現象。

推論在實際火災發生時，若是較低樓層火勢已經成長旺盛，高樓層的 EPS 外飾材受到低樓層的火焰引響，會融解並且向下滴落，造成火勢加劇，並且使火勢向下延燒。

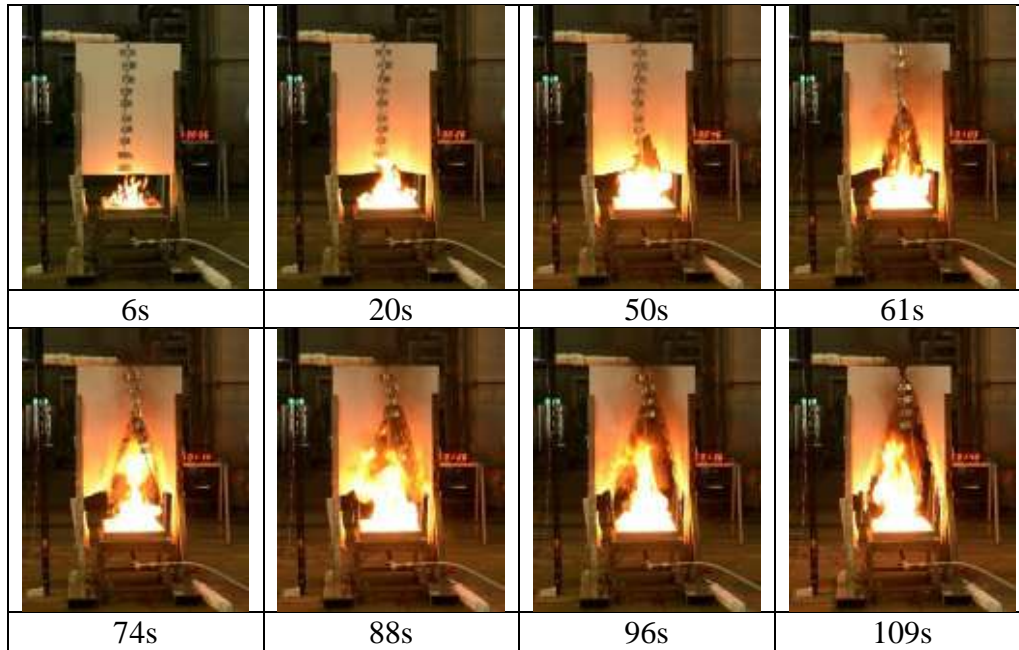


圖 5-47 無背板 EPS-18K 在 100kW 引燃條件下試驗歷程

(本研究製作)

圖 5-48 與圖 5-49 分別為無背板 EPS-18K 在單點引燃條件的試驗歷程；在試驗開始時使用噴燈引燃 EPS-18K 試體底部中心位置，當試體引燃後可觀察其延燒行為，並以熱像儀拍攝 EPS-18K 試體在試驗過程的溫度變化。EPS-18K 試體的热裂解溫度大約在 360°C，因此可藉由熱像儀觀察試體在熱裂解位置，並判斷其延燒速率。

單點引燃的試驗條件，可觀察到持續性火焰會在 EPS-18K 試體產生延燒現象，並且受熱熔解與燃燒的 EPS-18K 也會向下滴落至地面持續燃燒。在試驗過程中，EPS-18K 試體除了有火焰垂直延燒以外，也有水平延燒的現象，但整體而言，垂直延燒的速度受到浮力的引響，因此會比水平延燒的速度還快。由圖顯示，

EPS-18K 試體引燃 80 秒後，火焰已經延燒至試體板頂部，整體的延燒範圍呈現三角形的形狀。

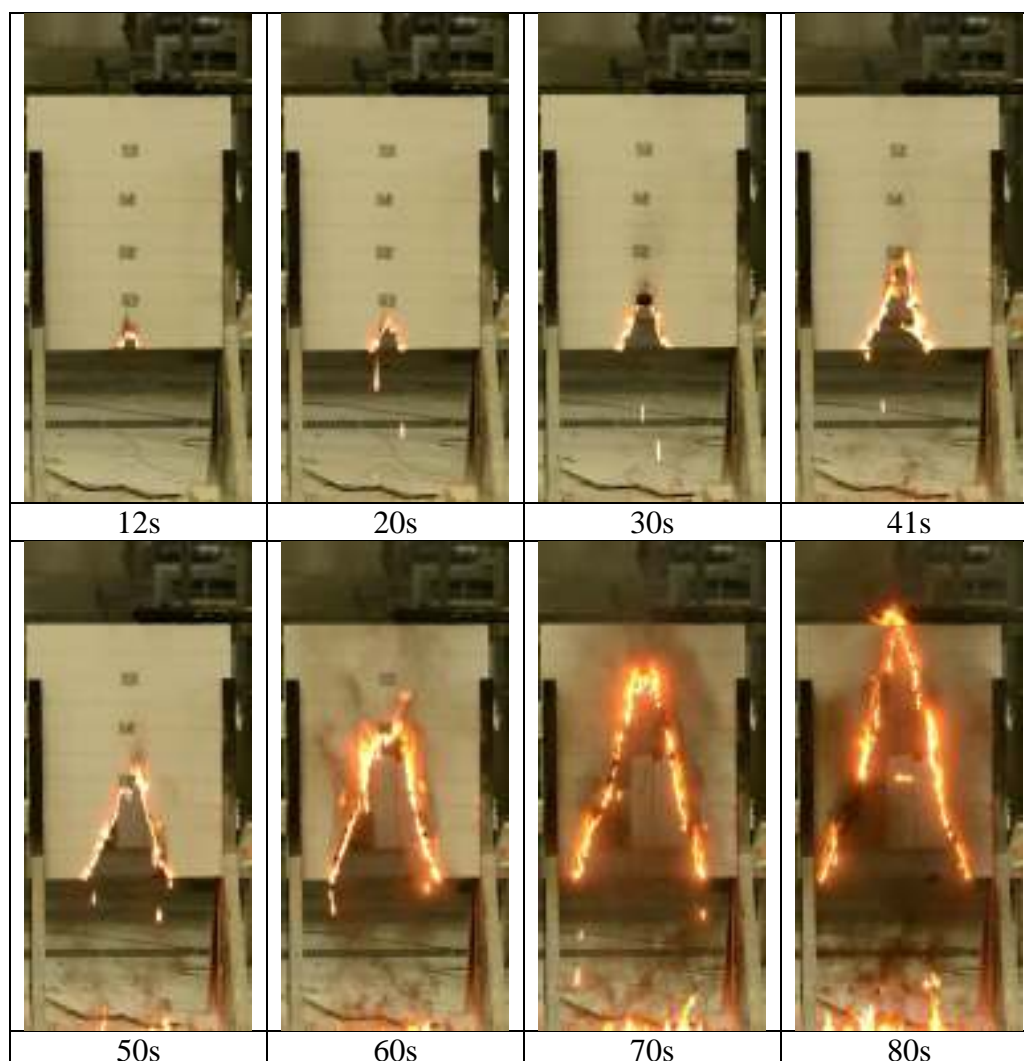


圖 5-48 無背板 EPS-18K 單點引燃試驗歷程

(本研究製作)

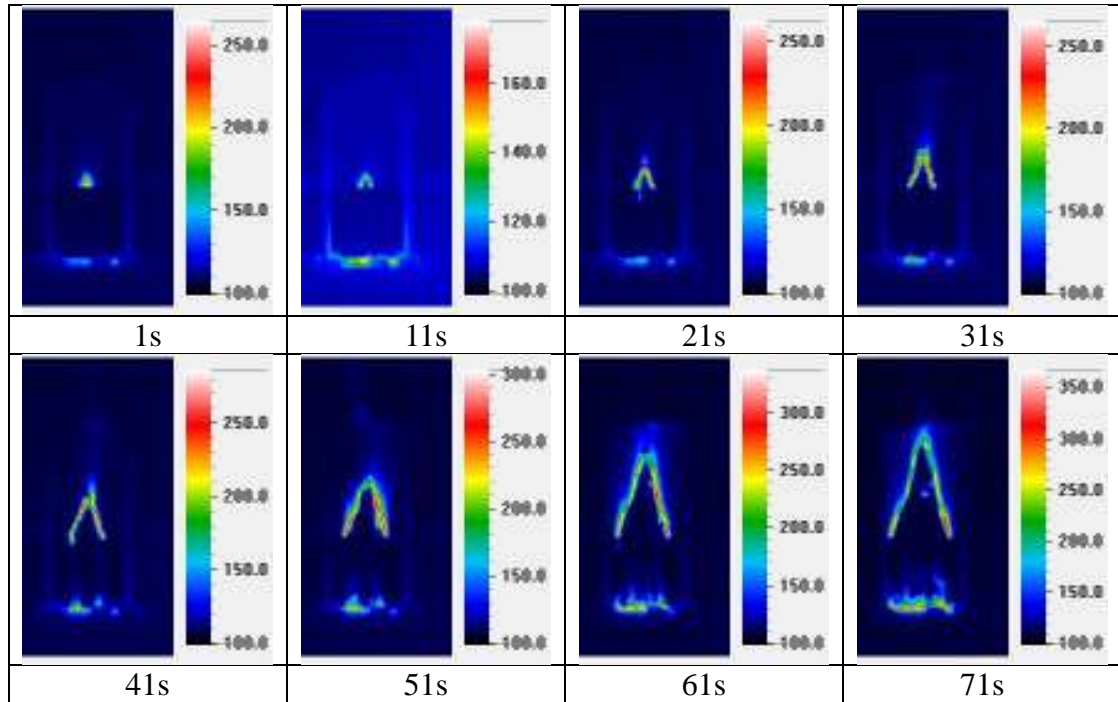


圖 5-49 無背板 EPS-18K 單點引燃試驗熱像儀影像

(本研究製作)

圖 5-50 與圖 5-51 為加上石膏板作為背板時 EPS 的延燒歷程與熱像儀影像，在有背板的條件下，因為背板吸熱所造成的熱損失，使得 EPS 的延燒速率較慢，在試驗過程中，EPS 延燒速率並非穩定的數值，延燒過程較不規律，有背板之試驗條件在 100 秒時延燒至頂部。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，EPS 會向上延燒，引燃的 EPS 液滴也會造成火焰往低樓層延燒。

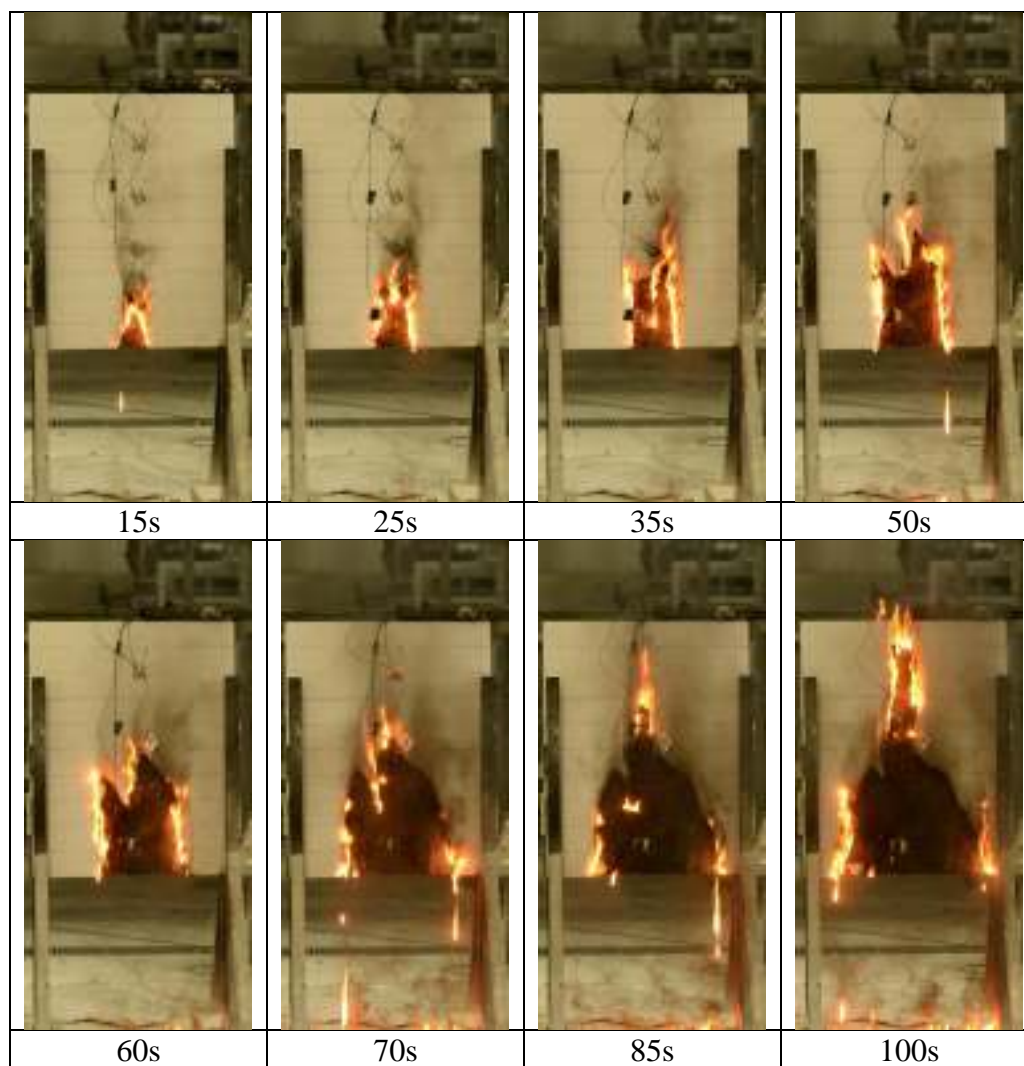


圖 5-50 有背板 EPS-18K 單點引燃試驗歷程

(本研究製作)

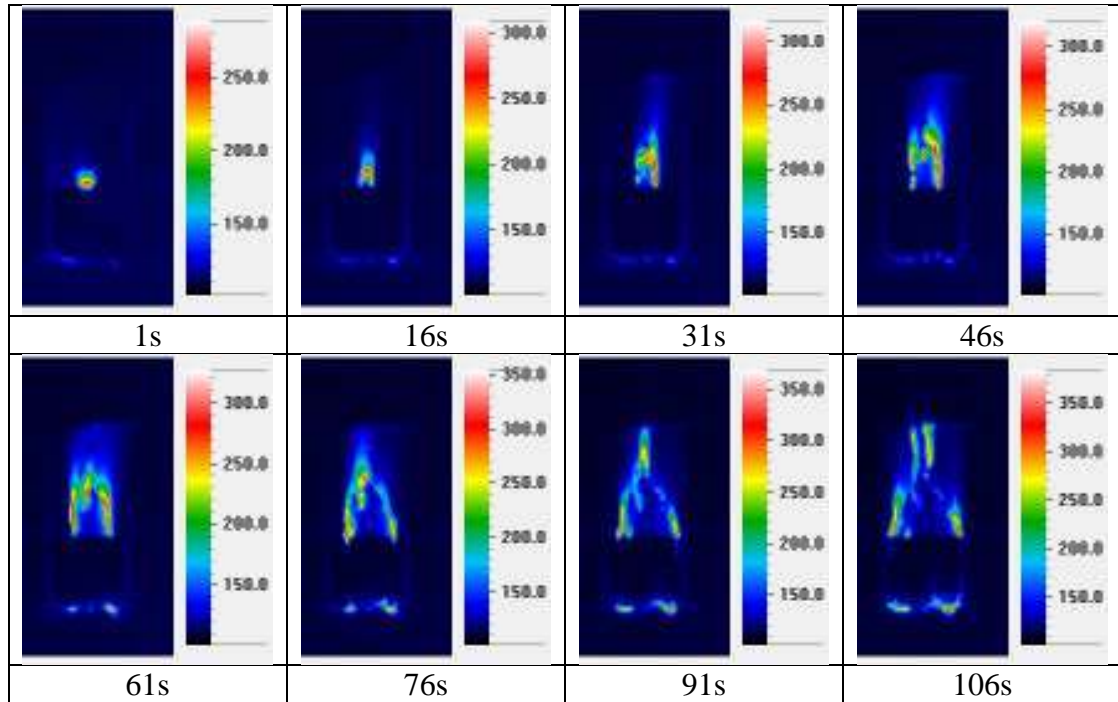


圖 5-51 有背板 EPS 單點引燃熱像儀影像

(本研究製作)

圖 5-52 與圖 5-53 為無背板時，EPS-18K 使用線性引燃的試驗歷程與熱像儀影像，在試驗開始前，於 EPS-18K 底部上方 10 公分處加上石膏板遮擋火焰向上延燒，使用噴燈均勻引燃試體底部後將石膏板抽離，實驗開始。在線性引燃的條件下，EPS-18K 試體因為材料性質，在受熱融解後會往下滴落，使得試體底部點燃後延燒並非均勻的向上延燒，在 96 秒時火焰延燒至試體頂部。圖 5-54 圖 5-55 為有背板的條件下 EPS-18K 線性引燃的試驗歷程與熱像儀影像，延燒行為也並非均勻地往上延燒，在 66 秒時火焰已經延燒至試體頂部。在線性引燃的條件下，即使試驗開始時火焰均勻引燃試體底部，但因為過程中的延燒行為不規律，有無背板對延燒至頂部的時間影響與單點引燃的結果不同，但我們仍可歸納出，使用 1 m 高的 EPS-18K 試體，不管背板的有無以及引燃方式，試體大約在 1 分鐘至 2 分鐘之間就能延燒至試體的頂部。

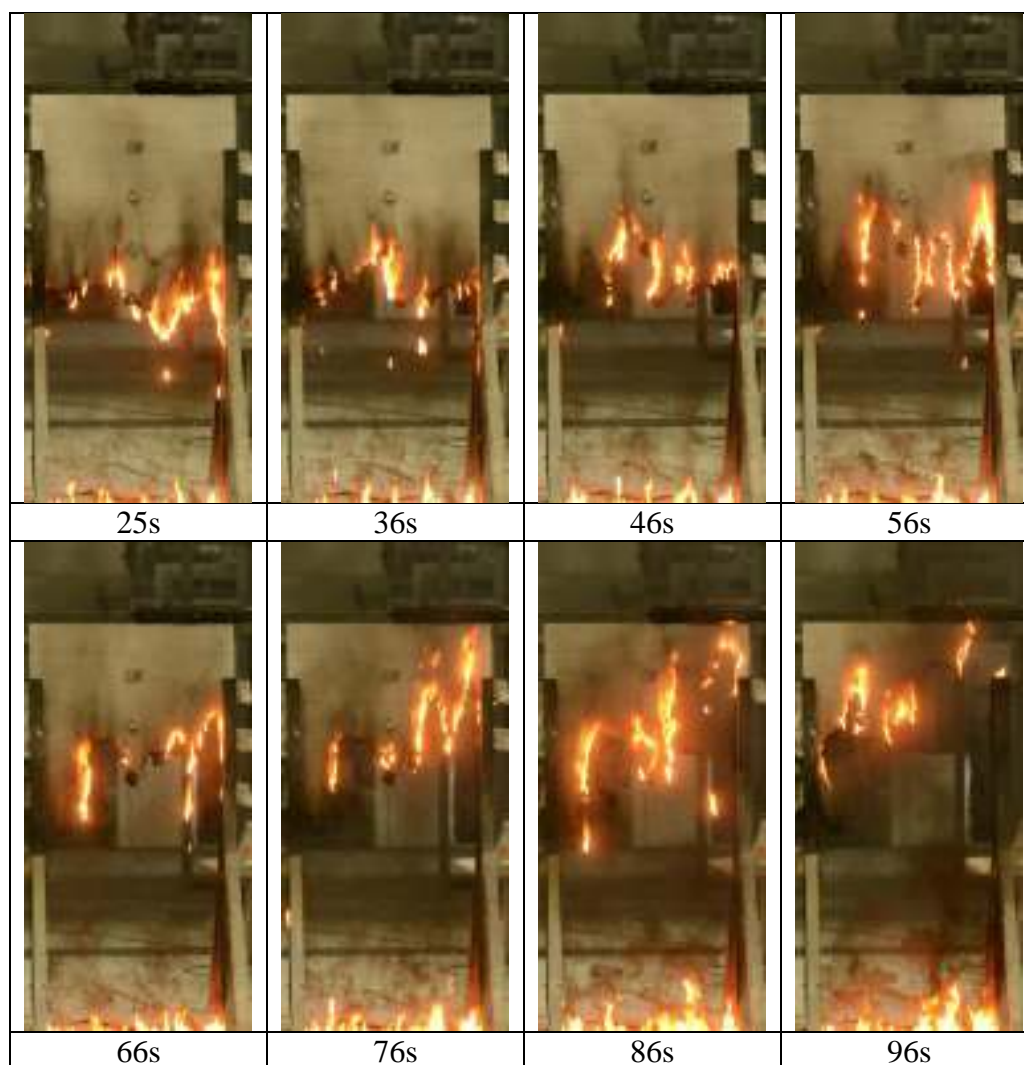


圖 5-52 無背板 EPS-18K 線性引燃試驗歷程

(本研究製作)

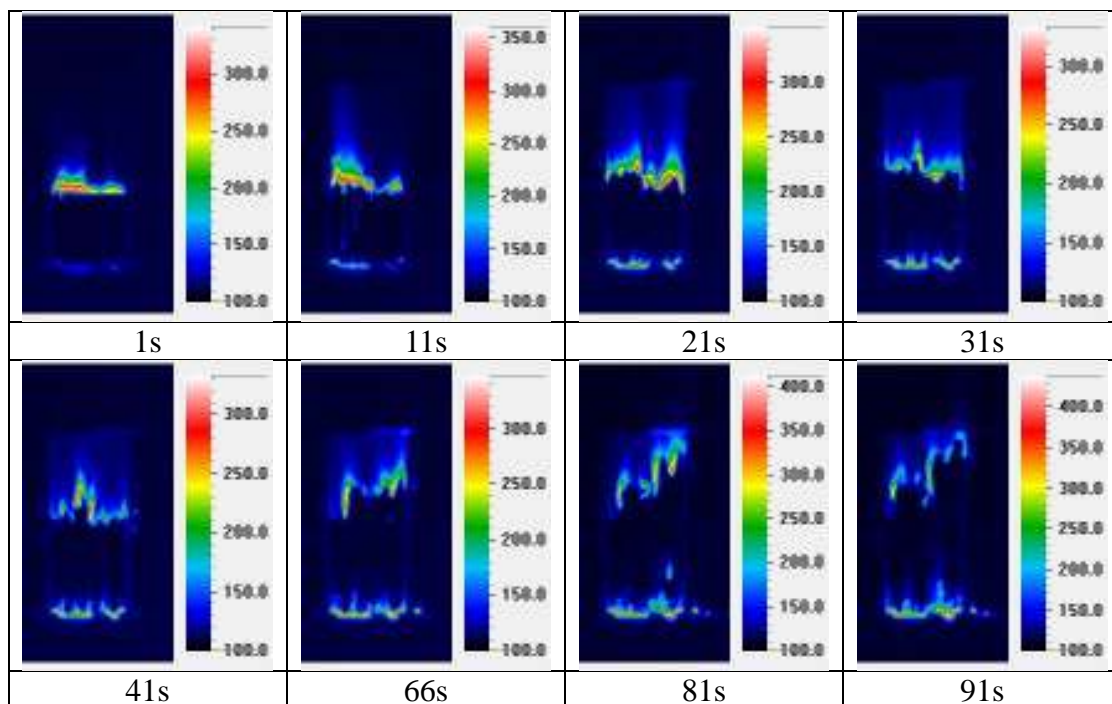


圖 5-53 無背板 EPS-18K 線性引燃熱像儀影像

(本研究製作)

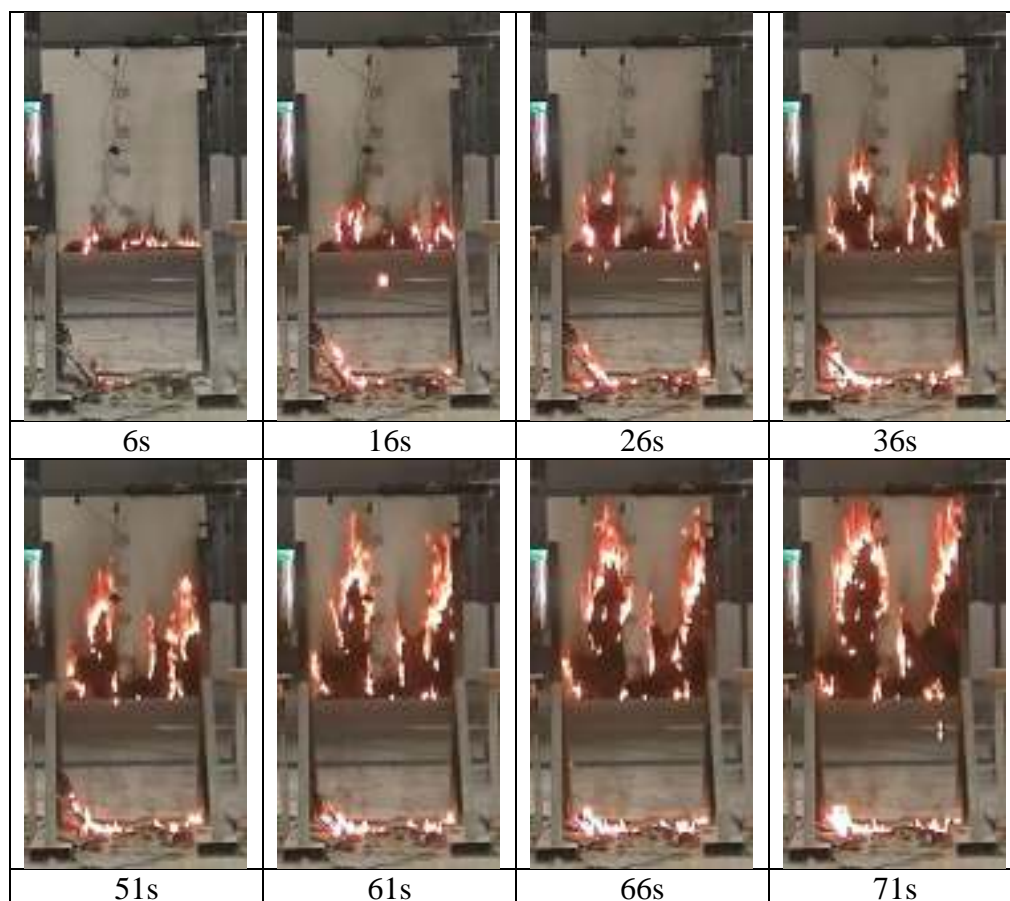


圖 5-54 有背板EPS-18K 線性引燃試驗歷程

(本研究製作)

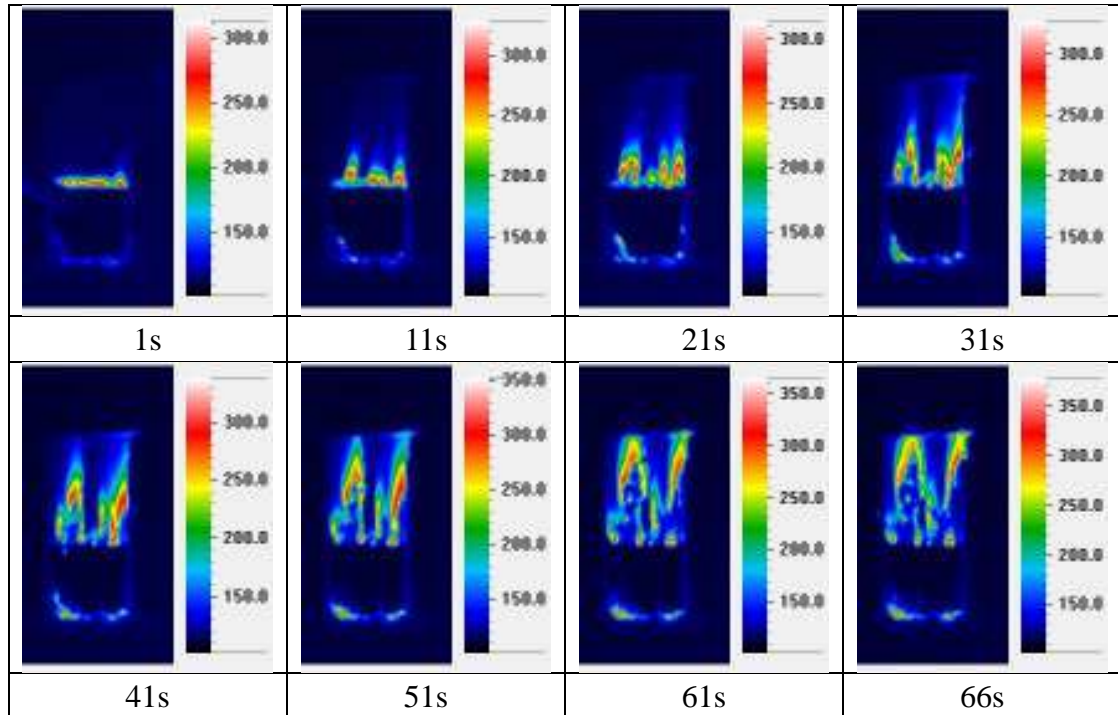


圖 5-55 有背板 EPS-18K 線性引燃試驗熱像儀影像

(本研究製作)

圖 5-56 圖 5-57 為 PS 板在無背板時單點引燃的試驗歷程與熱像儀影像，使用的 PS 板為 5 公分厚的 PS 板，此種 PS 板質量較 EPS-18K 大，內部結構較為緻密，在試驗過程中可以觀察到燃燒所形成的火焰較為旺盛，也可以觀察到點燃的 PS 液滴往下滴落並且燃燒。圖 5-58 圖 5-59 為 PS 板加上石膏板背板單點引燃的試驗歷程與熱像儀影像，在無背板的條件下在 141 秒時，試體完全熱裂解的區域擴散至試體頂端，有背板的條件則是 196 秒，由熱像儀影像可以觀察到，此種 PS 試體在燃燒過程中會產生較大的火焰，並且預熱上方尚未熱裂解的區域，在加上石膏板背板的條件下，上方的試體預熱的面積較大。

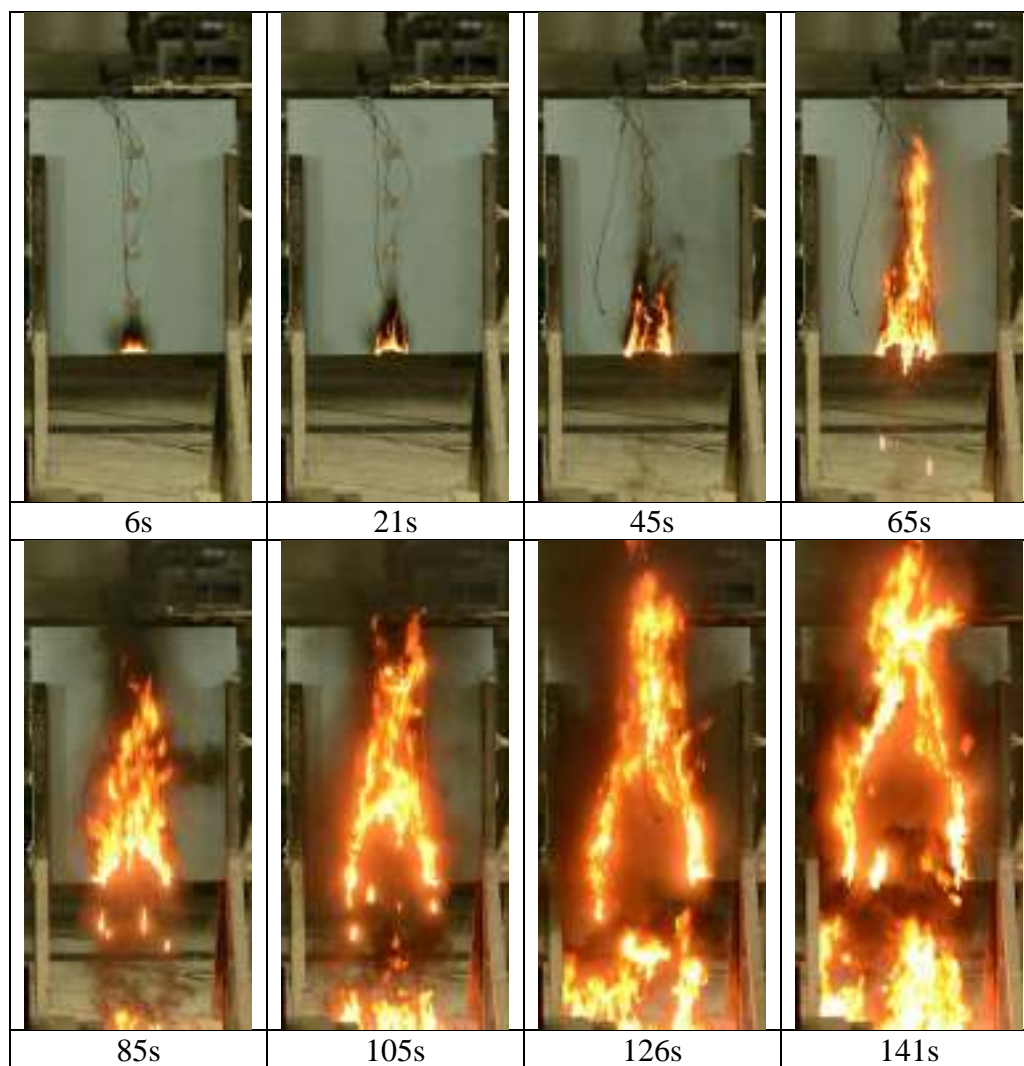


圖 5-56 無背板 PS 單點引燃試驗歷程

(本研究製作)

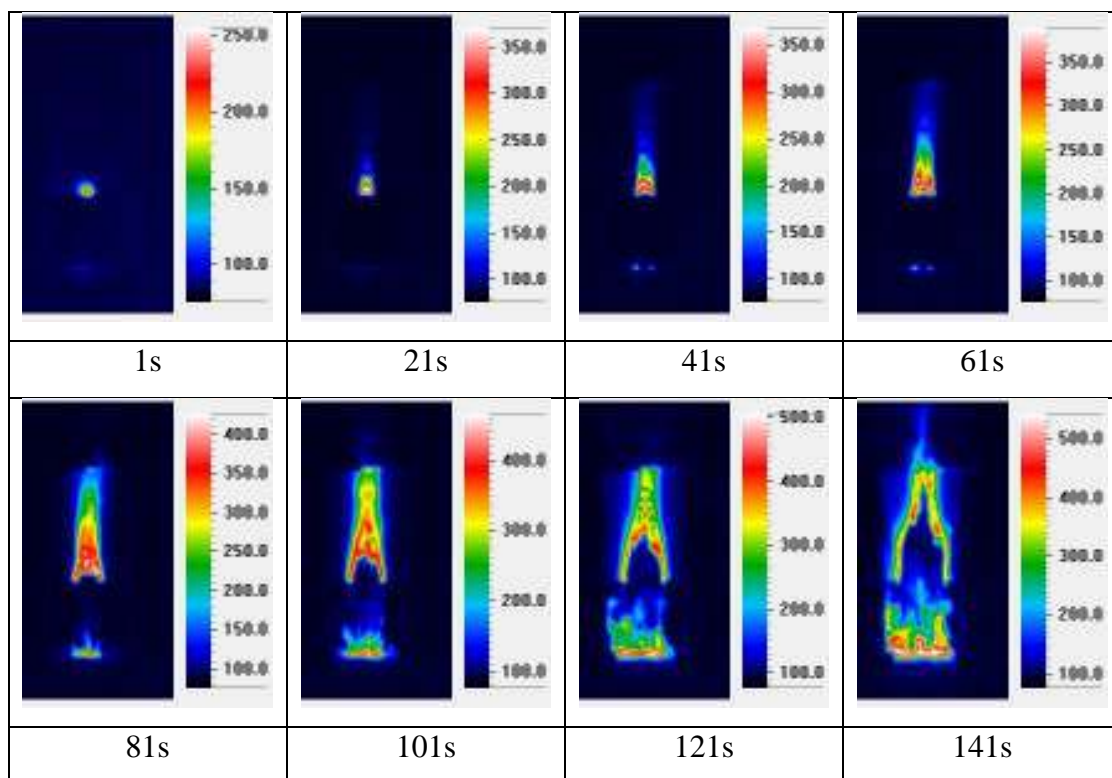


圖 5-57 無背板 PS 單點引燃熱像儀影像

(本研究製作)

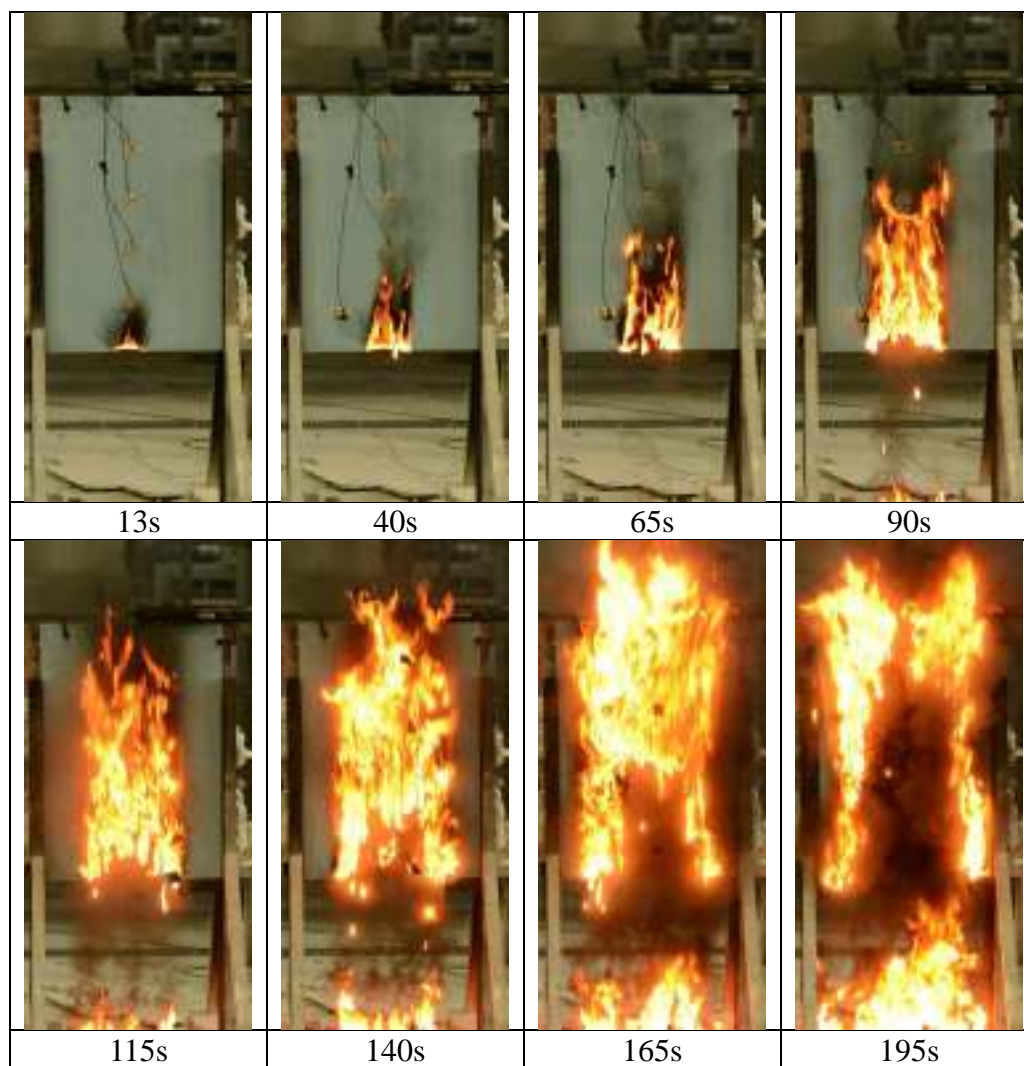


圖 5-58 有背板 PS 單點引燃試驗歷程

(本研究製作)

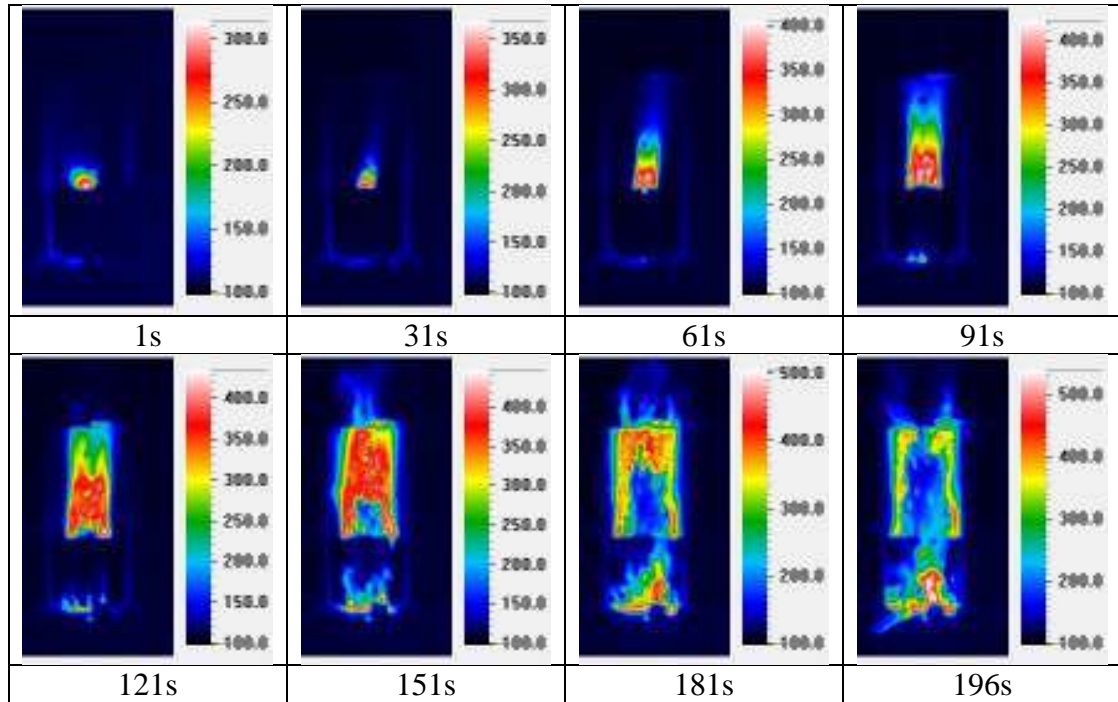


圖 5-59 有背板 PS 單點引燃熱像儀影像

(本研究製作)

圖 5-60 圖 5-61 為 PS 板在無背板的條件下，使用線性引燃的試驗歷程與熱像儀影像，因為此種 PS 板的材料特性，相較於 EPS-18K 線性引燃後，底部仍然保持著均勻的引燃狀態並持續向上延燒，在試驗開始後 96 秒，因為 PS 無法固定在試驗使用的鐵架上，向下滑落，因此試驗停止。圖 5-62 圖 5-63 為 PS 板在加上背板的條件下，使用線性引燃的試驗歷程與熱像儀影像，在試驗開始後 91 秒，PS 燃燒的火焰高度已經到達試體頂部，由熱像儀影像可以觀察到，左半部的 PS 試體熱裂解區向上移動的速度較快，造成這個現象的原因可能是因為試驗設備的設計，使得左右兩側試體受到兩側的氣流影響造成較快的延燒速率，在試驗時間到 106 秒時，因為試體向下滑落試驗停止。從不同的試驗條件的試驗結果可以觀察到，PS 在試驗過程中，雖然延燒的速度較 EPS-18K 慢，但在燃燒過程中產生的火勢較大，在實際火災發生時，對上方樓層的影響較大，點燃並往下滴落的 PS 液滴也會對下方樓層產生影響。

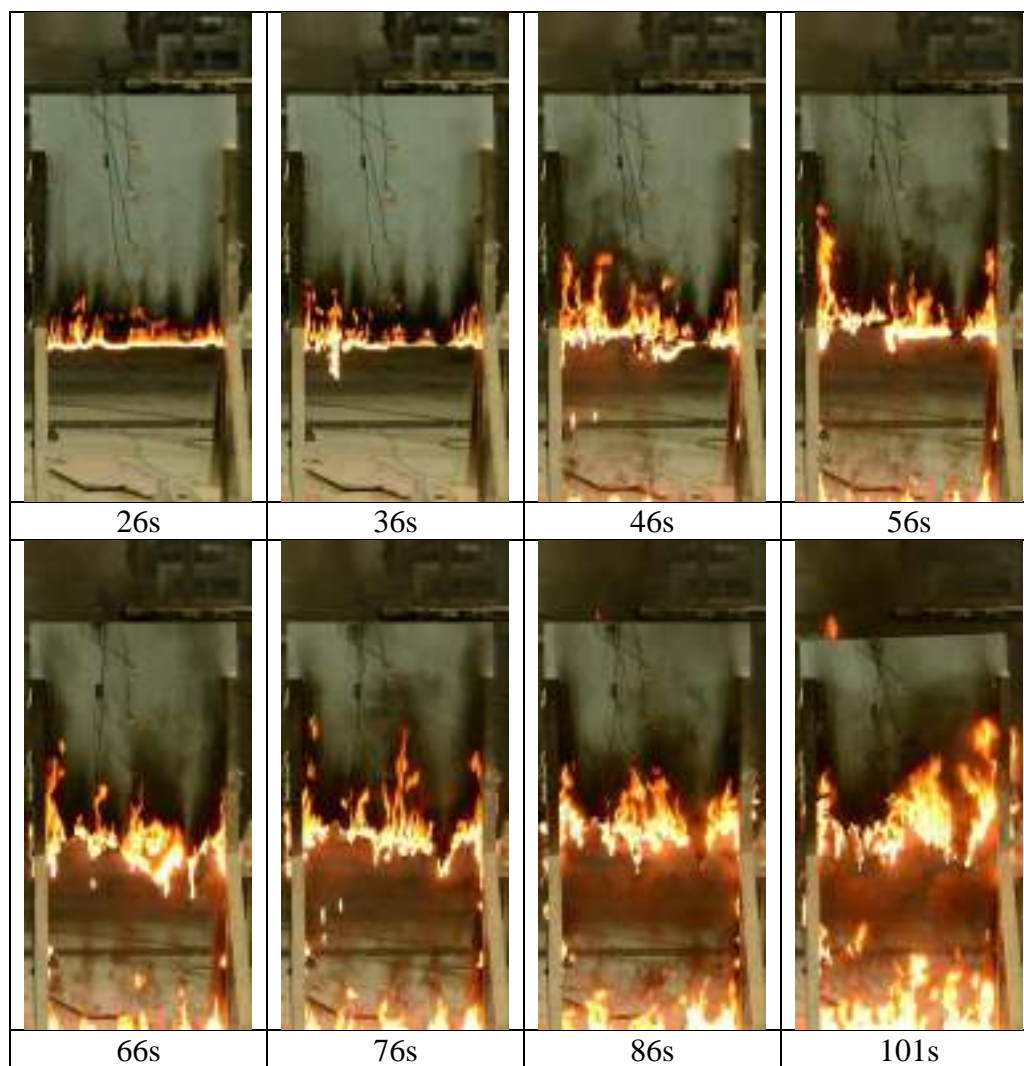


圖 5-60 無背板 PS 線性引燃試驗歷程

(本研究製作)

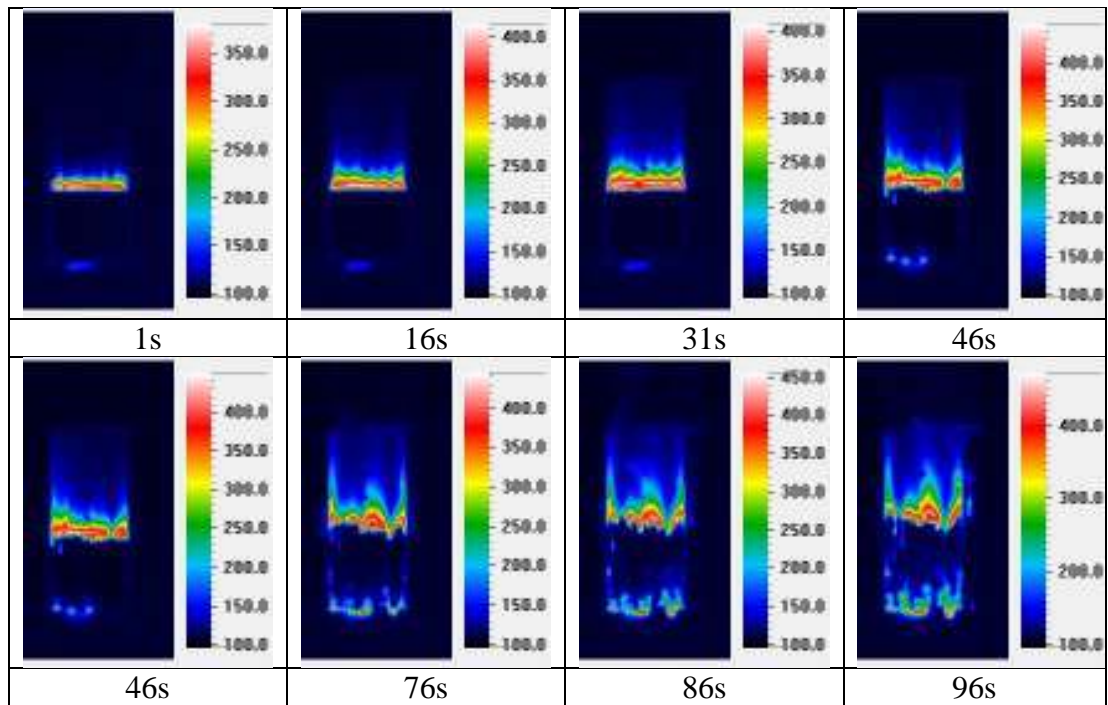


圖 5-61 無背板 PS 線性引燃熱像儀影像

(本研究製作)

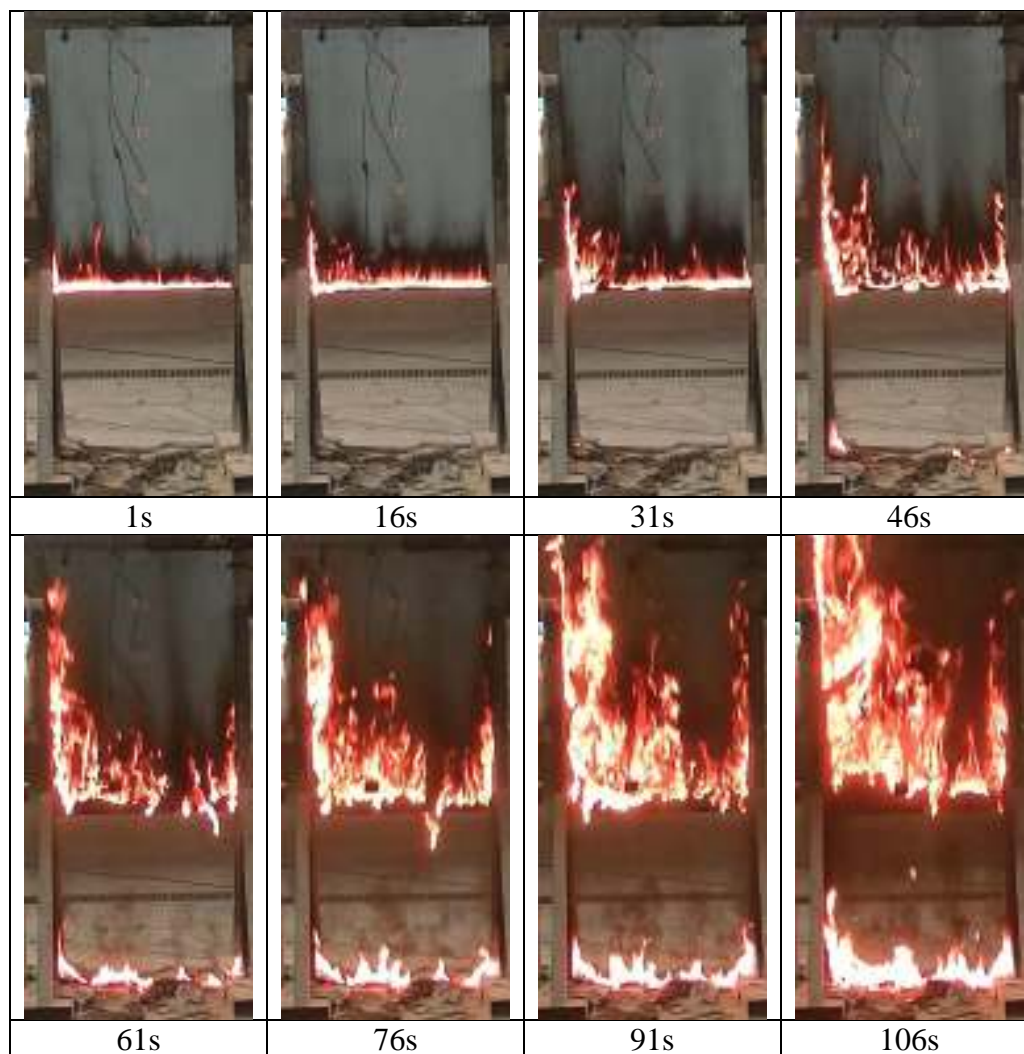


圖 5-62 有背板 PS 線性引燃試驗歷程

(本研究製作)

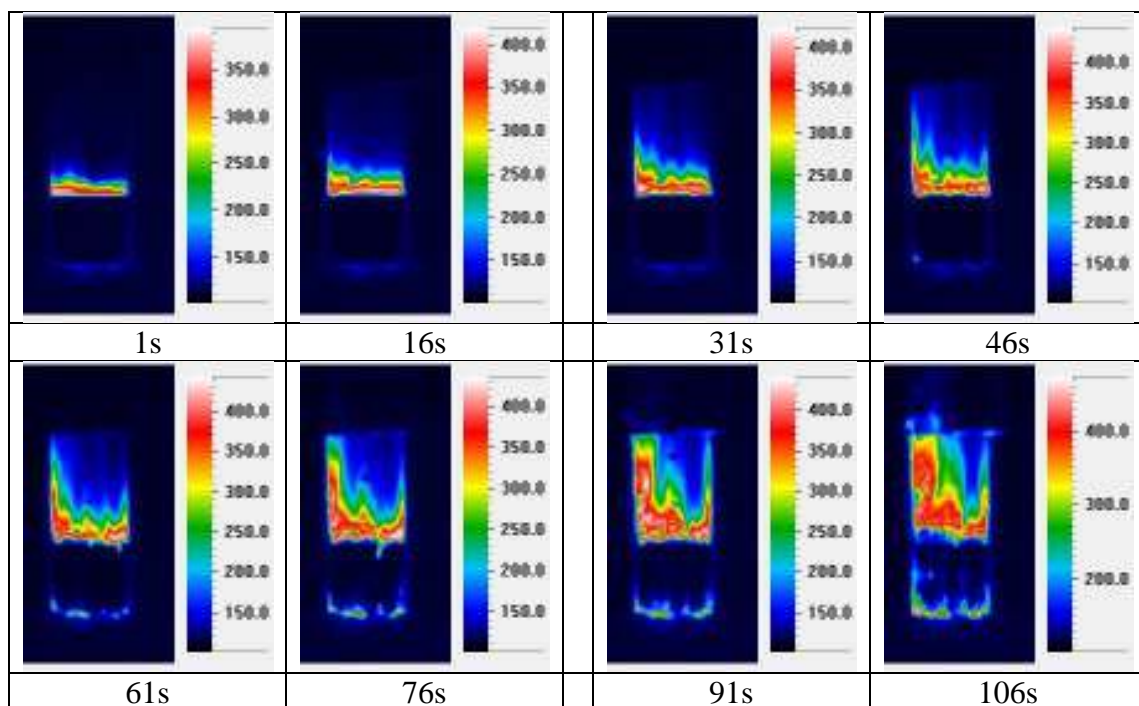


圖 5-63 有背板 PS 線性引燃熱像儀影像

(本研究製作)

第六章 結論與建議

第一節 結論

1. 帷幕牆層間交接構造防火性能試驗：

本年度試體試驗的結果與 106 年度的試體試驗結果進行比較，106 年的試體試驗帷幕牆牆體使用的骨架為鋁材，本年度進行之帷幕牆試體樑帶位置骨架為鋼材，使用鋁材之帷幕牆試體在樑帶部位的鋁受到高溫熔解後，樑帶位置的鍍鋅鋼板發生了脫落情形，造成了層間塞直接曝火防火性能失效，本年度進行之試體試驗，直到試驗時間 2 小時結束，帷幕牆牆體骨架與鍍鋅鋼板皆能維持支撐能力。但層間塞非曝火面溫度在 40 分鐘有一溫度量測點超過了溫度上限，推測是施工不良造成溫度提早超過上限。由於兩次試驗使用的層間塞工法相似，在試驗過程，若帷幕牆牆體能夠維持支撐效果，鍍鋅鋼板不脫落，則層間塞的防火性與阻熱性有機會達到一小時以上的防火時效。

2. 帷幕牆層間交接構造防火與阻熱性能評定方式：

日後的試驗評定可建議進行兩種設計工法之判定，第一種為局部設計之判定，主要在樑帶區域依照廠商帷幕牆與層間塞的層間交接構造設計，其他部位則是以防火耐燃材料阻隔，進行防火性能測試。此種測試法只判定樑帶區域的防火與阻熱時效性。第二種為整體試判定方式，目前已進行的實尺寸試驗皆為整體判定，除了 ASTM E2307-15b 規範之層間塞溫度判定，也能以 NFPA 285 輔助觀測外牆延燒情形與量測外牆曝火面與背火面溫度變化。

3. 外牆飾板材料防火性能研究：

本研究以 CNS14705-1 圓錐量熱儀試驗法進行了五種不同的聚苯乙烯材料 (EPS、XPS、PS) 與四種不同聚胺脂 (PU) 的耐燃性試驗，其中 EPS、XPS 和 PS 試體皆無法通過耐燃 3 級測試，一種 PU 試體通過耐燃 1 級測試，一種 PU 試體通過耐燃 3 級測試。

中尺度延燒試驗選用 EPS-18K、PS 與兩種不同的 PU 材料，目前已經進行

了 EPS 與 PS 兩種試體的延燒試驗；試驗結果發現，不同的引燃火源與背板效性會影響試體的延燒型態，如 EPS-18K 在燃燒火焰的試驗條件，並沒有發生火焰垂直延燒的現象，但在單點火源與線性火源引燃的條件，則是可以觀察到火焰垂直延燒的現象。此外，EPS-18K 在各試驗條件下，均會發生熔解並向下滴落燃燒的現象。PS 試體在單點火源與線性火源引燃的條件，可觀察到垂直延燒的速度會比 EPS-18K 慢，但在延燒過程所產生的火燄會比 EPS-18K 大。

第二節 建議

建議一

立即可行建議：ASTM E2307-15b 相關設備的修改

主辦機關：內政部建築研究所

目前內政部建築研究所防火實驗中心已經具有 ASTM E2307-15b 試驗法的試驗屋與燃燒器，並能依據測試結果判定層間塞是否具有建築法規所要求的防火與阻熱性。但循環試驗機構尚未完全建置，建議後續可增添該設備之功能。此外，國外另有 NFPA 285 試驗法來判定外牆的防火、阻熱與延燒性能。目前也將 ASTM E2307-15b 試驗屋的樑帶空間位置特別設計一個連接構件，當安裝此連接構件便可依照 NFPA 285 試驗法來測試外牆的防火、阻熱與延燒性能試驗。

建議二

中長期建議：提昇帷幕牆、層間塞的防火與阻熱性能

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：帷幕牆協會、防火材料協會

由本計畫的測試結果發現，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，並無法完整確保達到建築法規要求的防火與阻熱時效性，原因為各項構件的材料、施工與接合部保護措施均會影響帷幕牆與層間塞的防火與阻熱性能

。因此帷幕牆與層間塞的整合設計，除了材料的選擇之外，尚需要進行防火與阻熱的試驗才能確定是否達到建築法規所要求的標準。此ASTM E2307-15b試驗法能夠驗證各帷幕牆與層間塞結合工法的防火與阻熱性能。

附錄一

內政部建築研究所

107 年度建築防火安全工程創新科技及應用研發計畫

協同研究計畫(一)

第 2 案「帷幕牆層間縫隙構造防火性能及設計構法之研究」

第一次工作會議紀錄

時間：107 年 3 月 20 日	
出席人員：	
內政部建築研究所：蔡綽芳、雷明遠、胡幃傑	
成功大學：林大惠、陳俊貴	
工作會議事項	
1.	ASTM E2307 法規的試驗屋修改事項說明
2.	本年度計畫執行事項說明

內政部建築研究所 107 年度建築防火安全工程創新科技及

應用研發計畫協同研究計畫(一)第 2 案

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究

第一次工作會議紀錄

時間：107 年 3 月 20 日		
出席人員：		
內政部建築研究所：蔡緯芳、雷明遠、胡幃傑		
成功大學：林大惠、陳俊貴		
工作會議事項		
1. ASTM E2307 法規的試驗屋修改事項說明。		
2. 本年度計畫執行事項說明。		
出席人員		
姓名	單位	簽章
蔡緯芳	內政部建築研究所	蔡緯芳
雷明遠	內政部建築研究所	雷明遠
胡幃傑	內政部建築研究所	胡幃傑
林大惠	成功大學	林大惠
陳俊貴	成功大學	陳俊貴

附錄二

內政部建築研究所

107 年度建築防火安全工程創新科技及應用研發計畫

協同研究計畫(一)

第 2 案「帷幕牆層間縫隙構造防火性能及設計構法之研究」

第二次工作會議紀錄

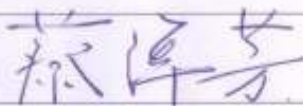
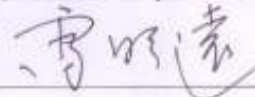
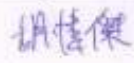
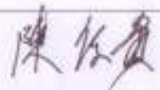

時間：107 年 6 月 5 日	
出席人員：	
內政部建築研究所：蔡綽芳、雷明遠、胡幃傑	
成功大學：陳俊貴、黃俊諭	
工作會議事項	
1.	本年度計畫執行進度說明。
2.	層間交接構造防火性能判定討論

內政部建築研究所 107 年度建築防火安全工程創新科技及

應用研發計畫協同研究計畫(一)第 2 案

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究

第二次工作會議紀錄

時間：107 年 6 月 5 日		
出席人員：		
內政部建築研究所：蔡綽芳、雷明遠、胡幃傑		
成功大學：陳俊貴、黃俊諭		
工作會議事項		
1. 本年度計畫執行進度說明。		
2. 層間交接構造防火性能判定討論。		
出席人員		
姓名	單位	簽章
蔡綽芳	內政部建築研究所	
雷明遠	內政部建築研究所	
胡幃傑	內政部建築研究所	
陳俊貴	成功大學	
黃俊諭	成功大學	

附錄三

內政部建築研究所

107 年度建築防火安全工程創新科技及應用研發計畫協

同研究計畫(一)第 2 案

「建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究」

第一次專家座談會議紀錄

項次	審查意見	研究團隊回覆
1	<p>不同的建築構法的試驗標準在制定時都有其背景因子，可以去探討試驗標準在建立時的背景，若要將多個試驗標準併在一起執行，有其難度。當試驗標準要推廣至業界時，針對不同不同的設計構法需要找到一個共通合適的試驗準則。</p>	<p>目前國內審查完畢的三個 CNS 草案，主要是參考 ASTM E2307-15b 以及 BS EN 1364。各別試驗標準的差異與探討，於先前許多建研所的研究報告均有討論。本計畫所進行的試驗，主要是以 ASTM E2307-15b 為判斷依據，另外結合 NFPA 285 的熱電偶佈放位置，是想要多瞭解帷幕牆面的溫度變化，藉此瞭解實驗狀況與增加判定的參考依據。</p>
2	<p>1.本公司已有產品送往國外 Intertek 進行 ASTM E2307 試驗，能夠達到 148 分鐘的阻熱性能以及 180 分鐘的遮焰性，未來願意提供相關試體進</p>	<p>感謝委員提供之意見與測試意願。</p>

	<p>行檢測。</p> <p>2.國內發展自己的試驗標準時，並不一定有優勢，許多試體能夠送至國外的檢驗中心進行檢測，在發展試驗標準時，可以考慮根據我國現況進行修改。</p>	
<p>3</p>	<p>帷幕牆非防火構造物，所以才需要在層間交接構造處進行防護，帷幕牆層間交接構造包含哪些項目，需要詳細的定義，樑帶部分的防護，實際施作 90 公分至 120 公分都有，交界構造不同設計的層間塞厚度皆有不同，防火性能都需要進行測試。在法規的部分，ASTM E2307-15b 進行檢測的不是只有層間塞這個材料，而是整個層間帶的防火性能。</p>	<p>感謝委員提供之意見</p>
<p>4</p>	<p>過去帷幕牆相關的防火設計規劃，因為沒有試驗標準，通常都是建築師自行認定，現在 CNS 要制定試驗標準，營建署樂見相關試驗標準的制定。</p>	<p>感謝委員提供之意見；目前國內審查完畢的三個 CNS 草案，後續仍須主管機關來指定。</p>

<p>5</p>	<p>建築技術規則 70 條規定之樑帶 90 公分要與樓板同等防火時效的規定應該要維持，以防造成像東帝士大樓火災的案例再次發生。目前討論的都是樓板上下竄燒的問題，但是如果同一棟建築物有鷹角，使得火災延燒至相鄰的建築物，是否也要有相關的規範，請研究團隊參考。</p>	<p>ASTM E2307-15b 主要是在測試層間交接構造的防火與阻熱性能，目的也是在測試火焰內外部的延燒問題；關於火焰延燒至鄰棟建築物的概況，則不在 ASTM E2307-15b 的測試範圍，後續會再探討是否有相關的試驗標準。</p>
<p>6</p>	<p>與層間交接構造相關的兩個試驗標準 ASTM E2307-15b 與 BSEN 1364，於 CNS 草案皆已經審完；後續可以參考 BSEN 1364 當中，與層間交接構造相關的試驗方法，依照實際火場發生情形，規劃後續哪個試驗標準較為適用。</p>	<p>感謝委員提供之意見</p>
<p>7</p>	<p>樑帶 90 公分的防護部分，樑上下加總為 90 公分即可，若是樑帶向下 90 公分，會與其他消防法規有所牴觸。試體試驗部分先前本公司提供的試體為實際在販售施作的鋁帷幕牆，試驗的結果可以得知在</p>	<p>感謝委員提供之意見，相關測試結果亦能夠提供後續試驗標準的參考依據。</p>

	<p>樑的下方火焰的破壞力較大，使得鍍鋅鋼板剝落造成層間防護瓦解。</p>	
<p>8</p>	<p>目前的試驗結果，外牆和層間塞防火性能會互相影響，判定區劃應該為整個層間交接構造的層間帶，樑帶 90 公分位置為法規上制定之問題，需要營建署進行釐清，目前試驗結果阻熱性無法達到要求，IBC 的規範只有遮焰性的要求，阻熱性的部分未來也能請營建署進行判定。</p>	<p>感謝委員提供之意見，關於樑帶 90 公分位置的問題，以及 IBC 的規範，後續會詢問營建署相關事宜。</p>

附錄四

內政部建築研究所

107 年度建築防火安全工程創新科技及應用研發計畫

協同研究計畫(一)

第 2 案「帷幕牆層間縫隙構造防火性能及設計構法之研究」


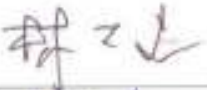

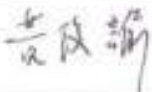
第三次工作會議紀錄

時間：107 年 7 月 6 日	
出席人員：	
內政部建築研究所：蔡銘儒、胡幃傑	
成功大學：陳俊貴、黃俊諭	
工作會議事項	
1.	ASTM E2307 試驗屋修改事項

內政部建築研究所
107 年度建築防火安全工程創新科技及應用研發計畫
協同研究計畫(一)

第 2 案「建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究」

第三次工作會議紀錄

時間:107 年 7 月 3 日 下午		
地點: 71150 臺南市歸仁區六甲里中正南路一段 2502 號		
出席人員:		
內政部建築研究所:蔡銘儒、胡樟傑		
成功大學:林大惠、陳俊貴、黃俊諭		
工作會議事項		
1.	ASTM E2307 試驗屋修改事項	
出席人員		
姓名	單位	簽章
蔡銘儒	內政部建築研究所	
胡樟傑	內政部建築研究所	
林大惠	國立成功大學	
陳俊貴	國立成功大學	
黃俊諭	國立成功大學	

附錄五

內政部建築研究所

107 年度建築防火安全工程創新科技及應用研發計畫協

同研究計畫(一)第 2 案

「建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究」

期中審查會議紀錄

項次	審查意見	研究團隊回覆
1	<p>1.預期成果第 1 項「完成外牆與層間縫隙，耐火試驗的操作手冊」在期中報告裡並未提及進行的完成情形，是否在下半年的研究工作會納入？</p> <p>2.建議能整理歸納試驗結果未能通過 T 級或 F 級防火性能的因素，可以提供業者改進施作工法的參考。</p>	<p>操作手冊內容已納入期末報告內容。</p> <p>相關試驗成果已彙整說明，感謝委員提供之意見。</p>
2	<p>本研究以 ASTM E2307-15b 的試驗標準就國內常用的帷幕牆設施與材料進行試驗，並期望能將此 ASTM 標準納入我國相關 CNS 試驗標準，研究目的具體並有意義，建議可提出修正標準之草案。</p> <p>2.先前已建置兩層樓的防火</p>	<p>感謝委員提供之意見。本年度第一次的試驗結果未達 1 小時，經由後續分析發現是現場施工的瑕疵，後續會再要求施工品質，並且也會參考國外通過試驗的工法，加以精進防火與阻熱時效的設計；。</p>

	<p>實驗屋，並完成校正試驗及一次試體試驗，今年計畫著重在帷幕牆層間交接構造在不同材料與施工構造上的防火時效差異性，具延續性，值得進行</p>	
<p>3</p>	<p>本研究參考 ASTM E2307-15b 擬定 CNS 草案，標驗局參考後所制定之「周邊防火阻隔體採用中尺度、多樓層試驗裝置之耐火試驗法」已於 106 年完成審查。預期成果之試驗設備的操作手冊宜補充 CNS 之說明，如試體的組裝架設細節等。</p> <p>2.106 年度試驗結果顯示校正牆試驗進行 3 次時即需進行大面積的表面耗材替換，建議可採用防火性能較好之板材以減少耗材替換次數，例如符合 ASTM 之 TYPE X 石膏板。根據貴所歷年的研究實驗顯示若於旺盛期火災之板材耐火性能，石膏板優於矽酸鈣板，而石膏板種類中 ASTM</p>	<p>感謝委員提供之意見。</p>

	<p>C1396之TYPE X耐火等級之石膏板最佳，且國內廠商亦有生產。</p> <p>3.本案相關試驗的標準引用是研究的關鍵重點，建議文獻回顧可針對NFPA、ASTM及BS-EN 相關規範或標準檢討及具體建議可以參考引用之測試標準的層級及測試條件。</p>	
<p>4</p>	<p>本案就外牆帷幕牆系統、層間塞工法、火災現象及國際使用標準進行分析，並進行層間塞系統及外牆裝飾板延燒之試驗，未來成果有助於法規研修，下列建議提供參考：</p> <p>1.層間塞系統之試驗係依ASTM E2307-15b之規定，然測試時對於外牆或樓板構造是否有特定要求？亦或單一試驗只就單一種牆、樓板及層間塞系統三者之組合的性能予以確認？有無可能將牆、樓板規範其防火性能，而得以替換，提高試驗結果的運用性。</p> <p>2.外牆裝飾板延燒之試驗標</p>	<p>ASTM E2307-15b 有規定受檢測之系統需要另行製作預鑄樓板，此預鑄樓板以各家廠商的設計需求為主。檢測判定雖然是以層間塞的防火與阻熱性能為主，但是周邊的預鑄樓板與帷幕牆面的防護能力也會直接影響到層間塞的防火與阻熱性能。因此本試驗法在本質上也是在檢測樓板、牆與層間塞三者結合後的性能表現。</p> <p>其他建議事項，感謝委員提供之意見。</p>

	<p>準採 NFPA 285，雖然本案試驗結果都符合標準，建議可否彙整材料材質及防火性能之條件，以利於輔助層間塞系統性能判定之參考。</p> <p>3.另本案層間塞工法系統，建議多徵詢建築師之意見。</p>	
5	<p>1.為符合帷幕牆層間防火時效及兼顧大樓帷幕牆的外觀及室內裝修，建議採用樑帶 90 公分等同於樓板組件之防火時效(期中報告第 116 頁)。</p> <p>2.樓板與帷幕牆之間，先鋪滿 1.6t 或 2t 鍍鋅鋼板再安裝岩棉以確保安裝層間塞較為確實，以防因實際施工不確實，而影響防火時效。</p>	<p>感謝委員提供之意見。</p>
6	<p>去年度的自行研究案中發現之不同種類板材雖皆具耐燃 1 級耐火性能，但於防火時效實驗時確實有相當之差異，建議校正牆採用防火性能較好之 TYPE X 石膏板可增加耐用性而減少更換次數。</p>	<p>目前本試驗的校正牆是採用 Type X 的石膏板製作，後續會再調整設計與組裝方式，藉此增進校正牆的使用壽命。</p>
7	<p>1.建議提出建築法規增修條</p>	<p>感謝委員提供之意見。</p>

	<p>文規定建議時，請以三欄式格式呈現。</p> <p>2.評定認可基準建議後續洽指定評定機構協助研擬。</p>	
<p>8</p>	<p>1.目前實驗案例 1 與 2 其阻燃性與防焰性尚皆無法達到現行法規要求，建議思考若下次試驗仍無法達到法規要求時，應如何提出改善建議？</p> <p>2.報告中提到之外牆裝修材料未達耐燃 3 級，建議對國內現有使用案例進行調查並預想因應對策。</p>	<p>本年度的第一次試驗結果未達 1 小時，經由後續分析發現是現場施工的瑕疵，後續會再要求施工品質，並且也會參考國外通過試驗的工法，加以精進防火與阻熱時效的設計；其他事項依據審查意見辦理。</p>
	<p>1. 目前 CNS 標準已審查通過，此計畫執行時是否依照 CNS (即 ASTM) 標準進行？</p> <p>2.樓板一般要求防火時效為 1 小時以上，目前實驗案例皆未能符合，是否可尋找較佳之工法進行實驗？</p> <p>3.請研究團隊協助估算執行實驗所需之人力、設備等成本分析，並評估未來是否需要申請 TAF 認證？</p>	<p>本計畫的執行是依照 CNS 的標準進行試驗。本年度的試驗結果未達 1 小時，經由後續分析發現是現場施工的瑕疵，後續會再要求施工品質。此外，也會參考國外通過試驗的工法，加以精進防火與阻熱時效的設計。實驗相關設備、操作流程與校正牆維護費用，如附件內容。</p>

附錄六

內政部建築研究所

107 年度建築防火安全工程創新科技及應用研發計畫

協同研究計畫(一)

第 2 案「建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究」

第四次工作會議紀錄

時間:107 年 9 月 26 日 上午 9 點	
地點: 新北市新店區北新路三段 200 號	
出席人員:	
內政部建築研究所: 蔡綽芳、雷明遠、胡幃傑	
成功大學: 林大惠、陳俊貴、黃俊諭	
工作會議事項	
1.	帷幕牆層間塞防火性能試驗規劃
2.	帷幕牆層間塞系統防火性能之判定方式
3.	外牆板防火性能之試驗規劃

內政部建築研究所
107 年度建築防火安全工程創新科技及應用研發計畫
協同研究計畫(一)

第 2 案「建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究」

第四次工作會議紀錄

時間:107 年 9 月 26 日 上午 9 點		
地點: 新北市新店區北新路三段 200 號		
出席人員:		
內政部建築研究所: 蔡綽芳、雷明遠、胡幃傑		
成功大學: 林大惠、陳俊貴、黃俊諭		
工作會議事項		
1.	帷幕牆層間塞防火性能試驗規劃	
2.	帷幕牆層間塞系統防火性能之判定方式	
3.	外牆板防火性能之試驗規劃	
出席人員		
姓名	單位	簽章
蔡綽芳	內政部建築研究所	蔡綽芳
雷明遠	內政部建築研究所	雷明遠
胡幃傑	內政部建築研究所	胡幃傑
林大惠	國立成功大學能源科技與策略研究中心	林大惠
陳俊貴	國立成功大學能源科技與策略研究中心	陳俊貴
黃俊諭	國立成功大學機械系	黃俊諭

附錄七

ASTM E2307-15b 試驗操作手冊

一、試驗設備

1. ASTM E2307-15b 試驗屋、試體框架



2. 室內燃燒器



3. 窗戶燃燒器



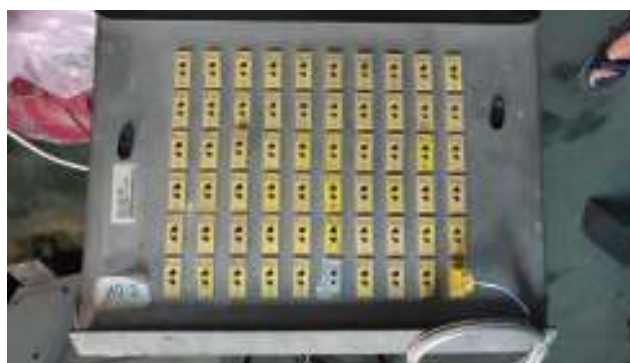
4. 壓力計

5. Type K 裸線型熱電偶

6. DA100



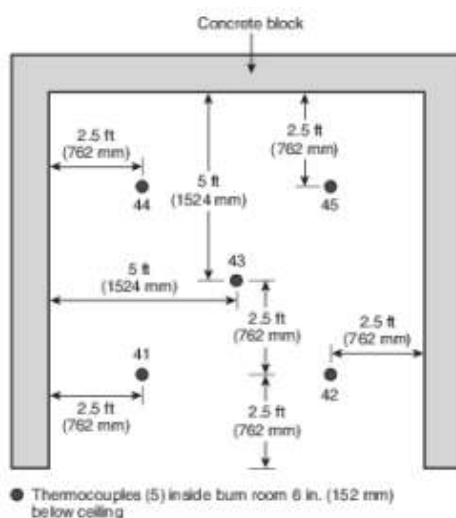
7. DS600

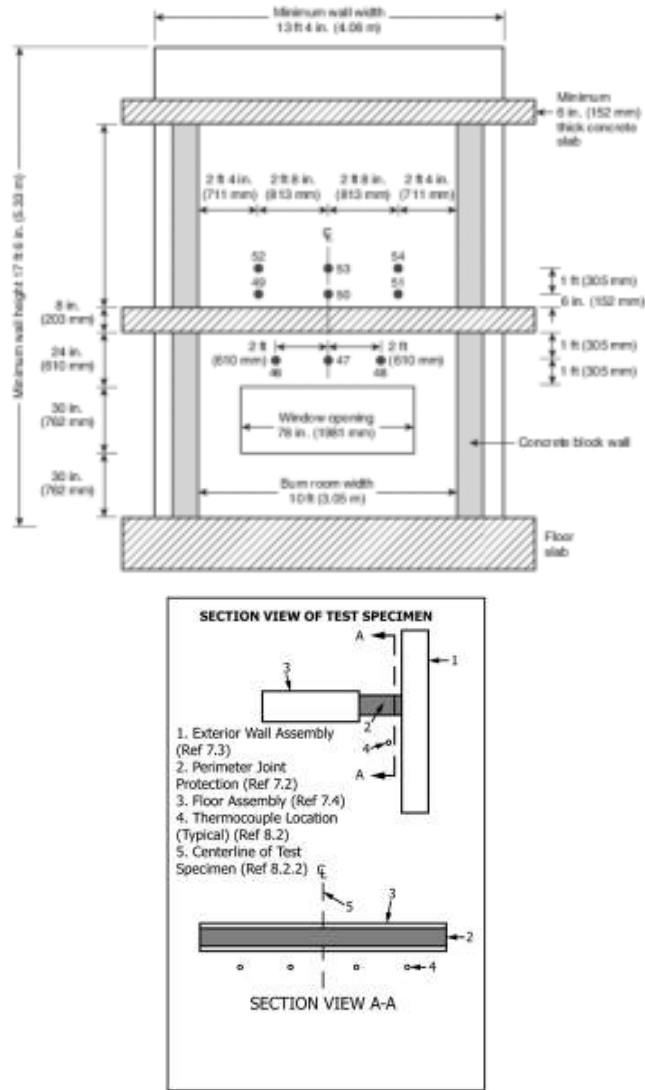


二、試驗前準備

(一)熱電偶布置

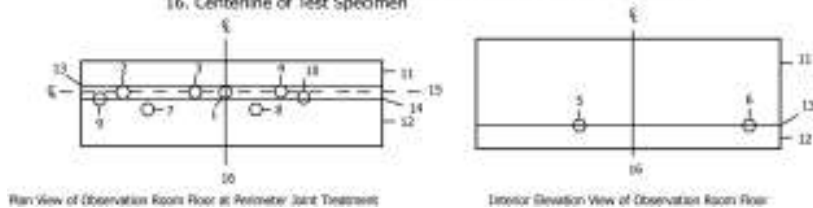
1. ASTM E2307-15b 主要目的為測試層間縫隙處之層間塞的防火性能，判斷火焰是否能穿透層間縫隙到達二樓，因此試驗期間主要只量測測試室內的溫度以及層間塞背火面的溫度變化。測試室內的熱電偶安裝位置，除了校正試驗中天花板下方 15.2 公分處五點(中 41 號至 45 號熱電偶)、及帷幕牆內表面上距地面 182.9 公分處三點(中 46 號至 48 號熱電偶)之外，尚需在層間塞底部處安裝四個裸線熱電偶。此四個裸線熱電偶分別距離帷幕牆內表面及層間底部 30.5 公分，並彼此距離 61 公分平均分布於測試室內，如圖所示。





2. 根據 ASTM E2307-15b，需分別在層間塞背火面的中線、層間塞與樓板的交界處、及與外牆的交界處上布置至少兩個熱電偶，另外每塊層間塞的中心處也需布置一個熱電偶，每個熱電偶的表面皆依法要求裝上隔熱墊片。

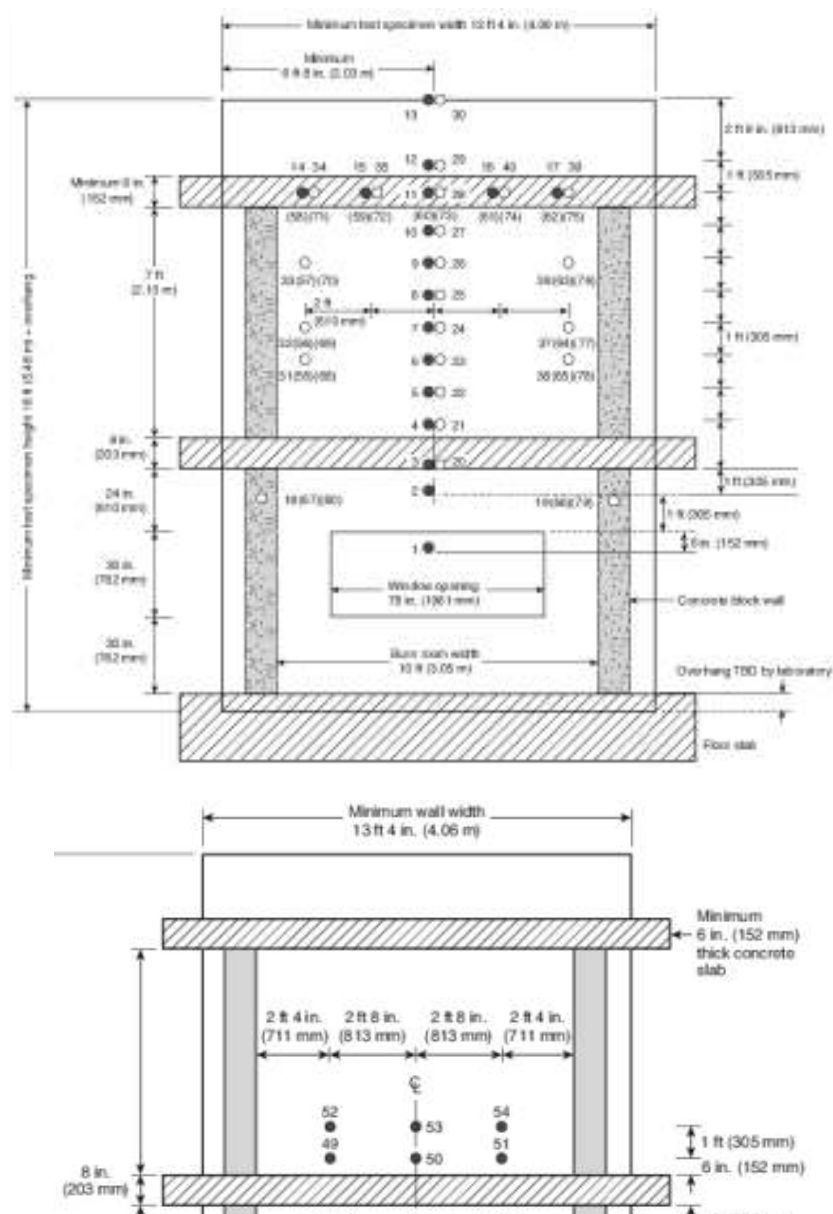
1. Splice Thermocouple (Ref. 12.2.4.1)
2. Longitudinal Centerline Thermocouple (Ref. 12.2.4.2)
3. Longitudinal Centerline Thermocouple (Ref. 12.2.4.2)
4. Longitudinal Centerline Thermocouple (Ref. 12.2.4.2)
5. Junction Thermocouple - Exterior Wall Assembly & Perimeter Joint Protection (Ref. 12.2.4.3)
6. Junction Thermocouple - Exterior Wall Assembly & Perimeter Joint Protection (Ref. 12.2.4.3)
7. Floor Assembly Thermocouple (Ref. 12.2.4.4)
8. Floor Assembly Thermocouple (Ref. 12.2.4.4)
9. Junction Thermocouple - Floor Assembly & Perimeter Joint Protection (Ref. 12.2.4.5)
10. Junction Thermocouple - Floor Assembly & Perimeter Joint Protection (Ref. 12.2.4.5)
11. Exterior Wall Assembly (Ref. 7.3)
12. Floor Assembly (Ref. 7.4)
13. Junction of Exterior Wall Assembly and Perimeter Joint Protection (Ref. 12.2.4.3)
14. Junction of Floor Assembly and Perimeter Joint Protection (Ref. 12.2.4.5)
15. Longitudinal Centerline of Perimeter Joint Protection (Ref. 12.2.4.2)
16. Centerline of Test Specimen



3. NFPA 285 主要目的為測試帷幕牆的延燒與防火性能，判斷火焰是否會沿著帷幕牆表面延燒至二樓，因此試驗期間主要量測帷幕牆上內外表面的溫度變化

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究

作為輔助的觀測與判定。本試驗依照 NFPA 285 的規定，於帷幕牆外表面上安裝 1 號至 13 號熱電偶於中心線上，並於窗戶上方 3.05 公尺處(與 11 號熱電偶同高)安裝 14 號至 17 號熱電偶。內表面則沿中心線安裝 21 號至 28 號熱電偶，並於觀察室內的帷幕牆內表面上安裝 49 號至 54 號熱電偶。



(二)壓力計布置

1. 將連接兩個壓力計的金屬管插入下圖紅圈圈起的兩個洞中。



(三)熱電偶與壓力計訊號連接

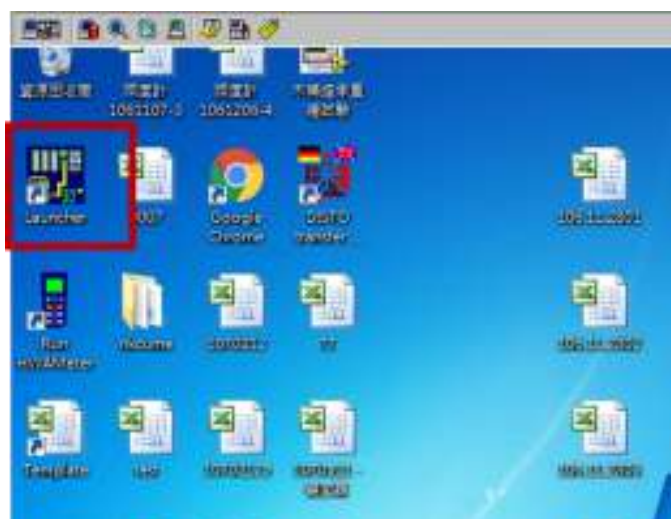
1. 將 DA100 接上電源打開開關，如圖以網路線與筆記型電腦連接。



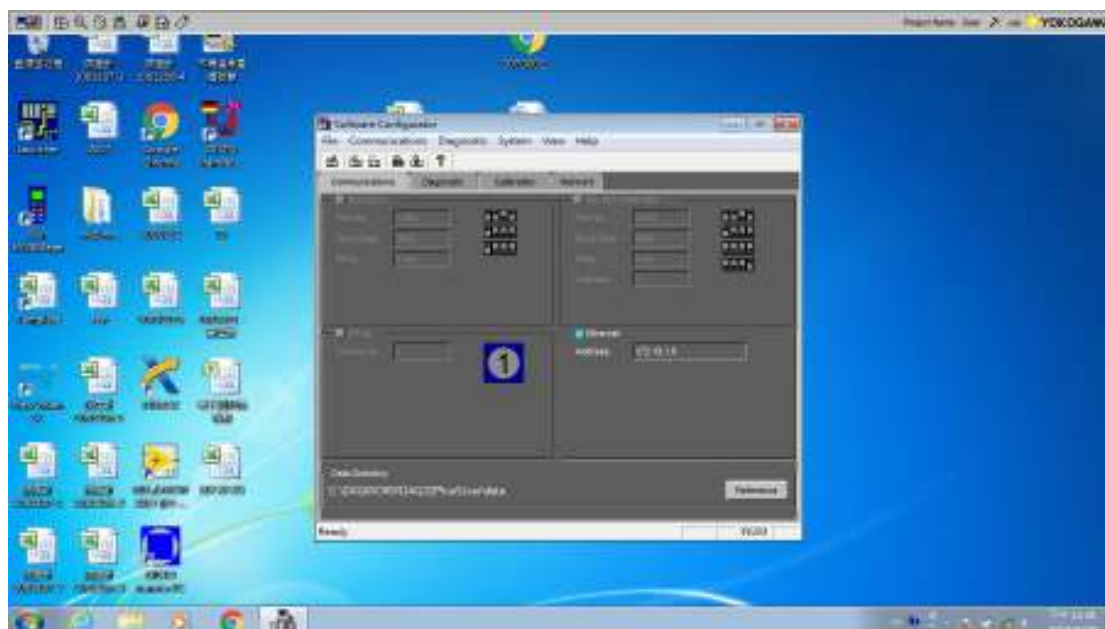
2. 紅圈的網路線插槽以網路線與 DS600 連接



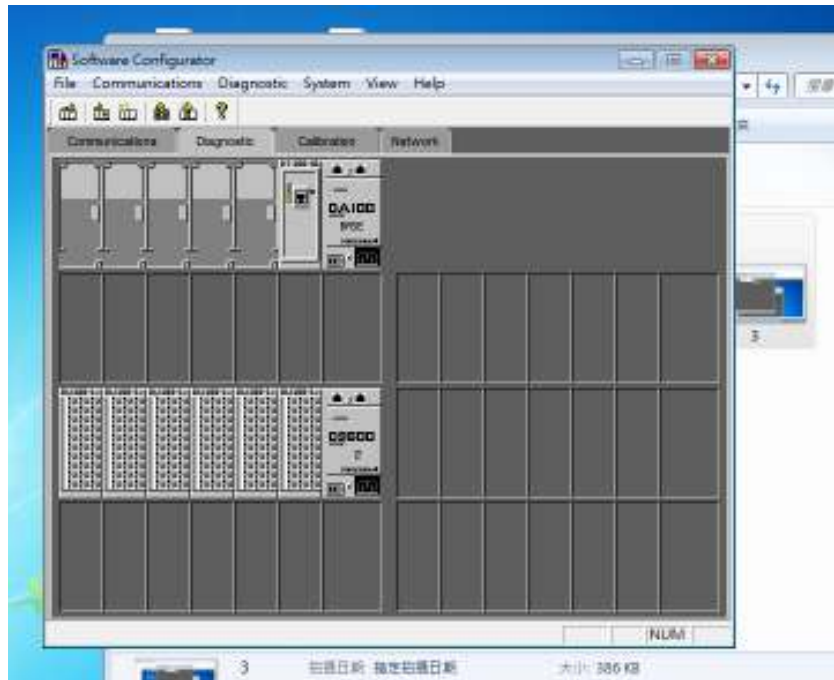
3. 開啟 Laucher 程式



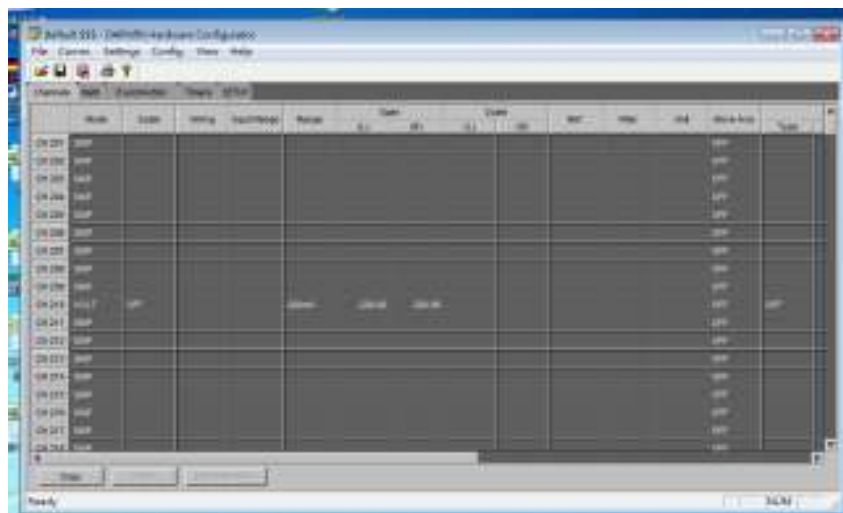
4. 進入 Software Configuration 介面



5. 點選 Diagnostic→Reconstruct，偵測 DA100 與 DS600。

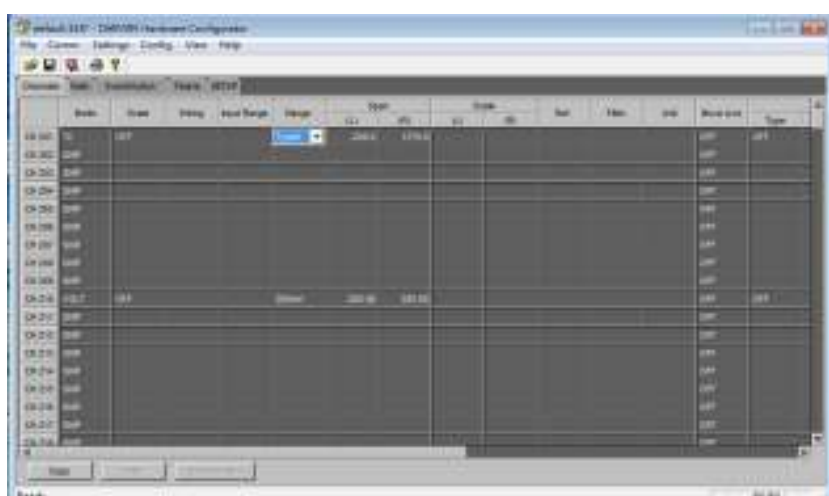
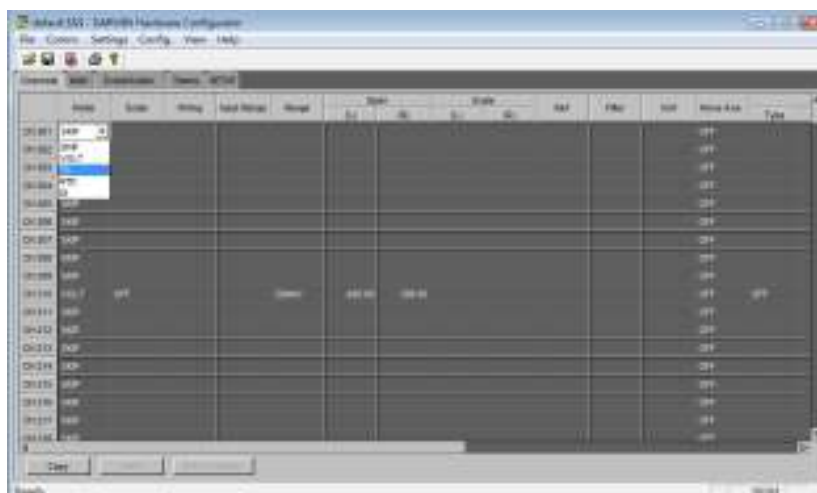


6. 確認連接至 DA100 與 DS600 後，關掉視窗並點選上方 DARWIN Hardware Configurator。

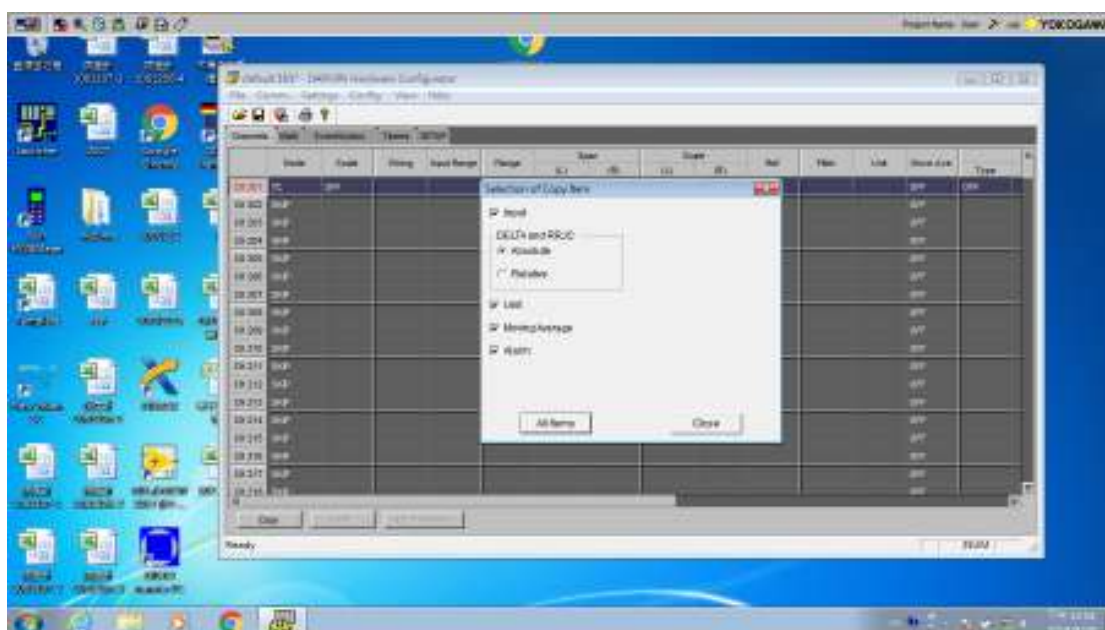


7. 每一台 DS600 皆有編號，假如編號是 1，channel 的編號就是 1XX，根據你使用的 Channel 來選擇訊號來源，壓力計為 Volt，熱電偶為 TC 並選擇 TypeK 熱電偶，沒有使用的 Channel 選擇 Skip。

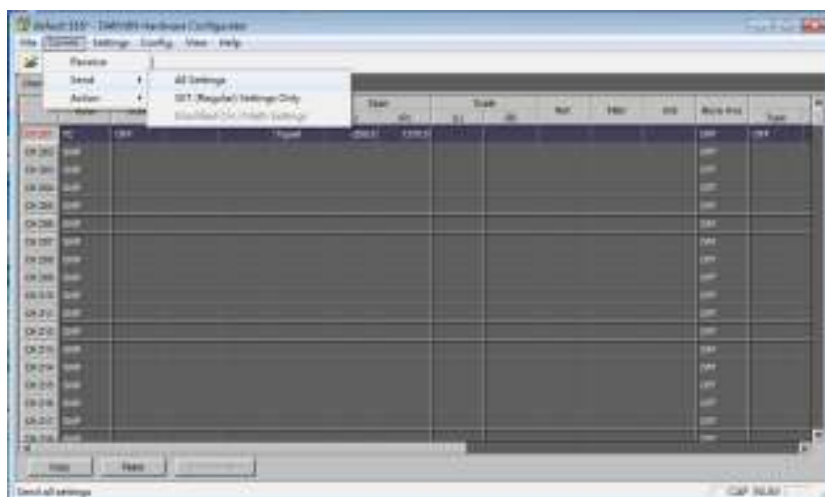
建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究



*小技巧：設定好一個欄位後可以選擇 Copy 再貼上，可節省時間。



8. 設定完成後送出設定。



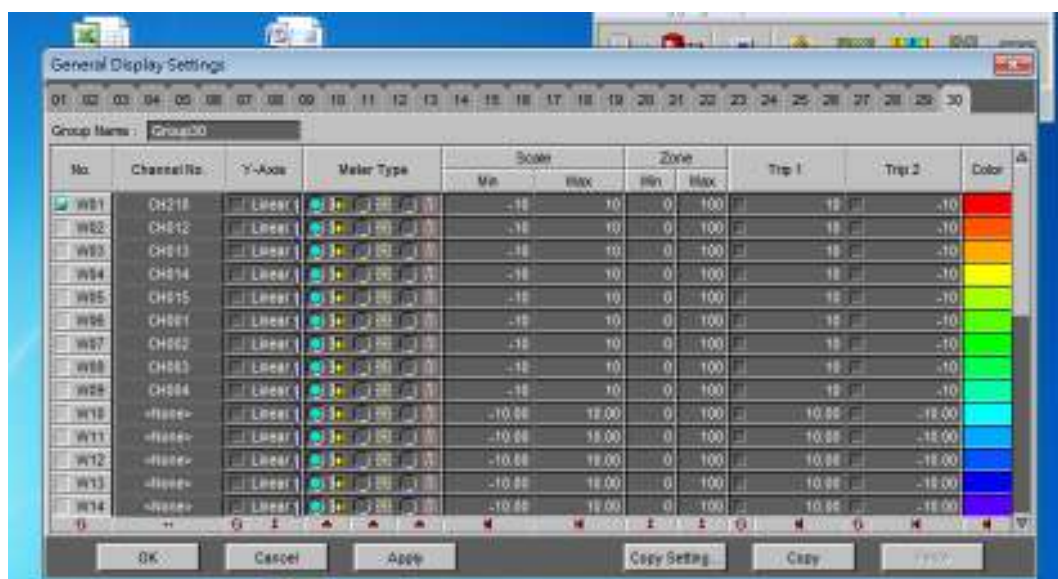
9. 將視窗關閉，並打開 Logger 介面

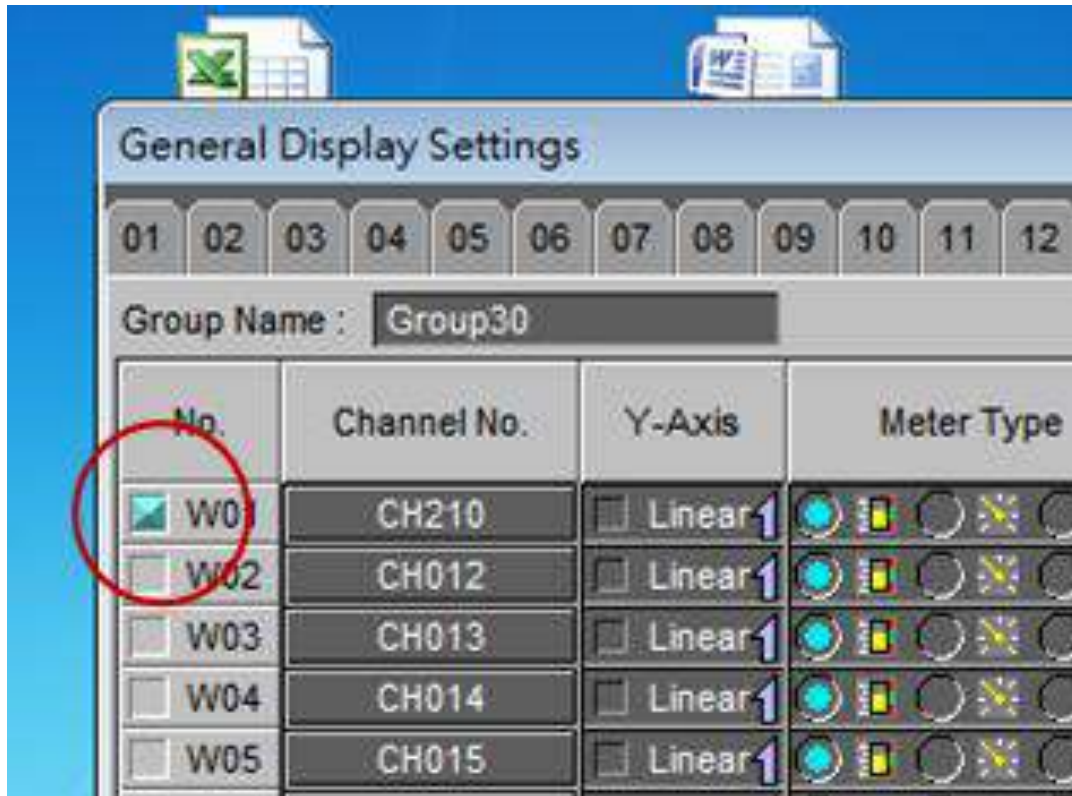


10. 點選 Logging→General Display Setting，

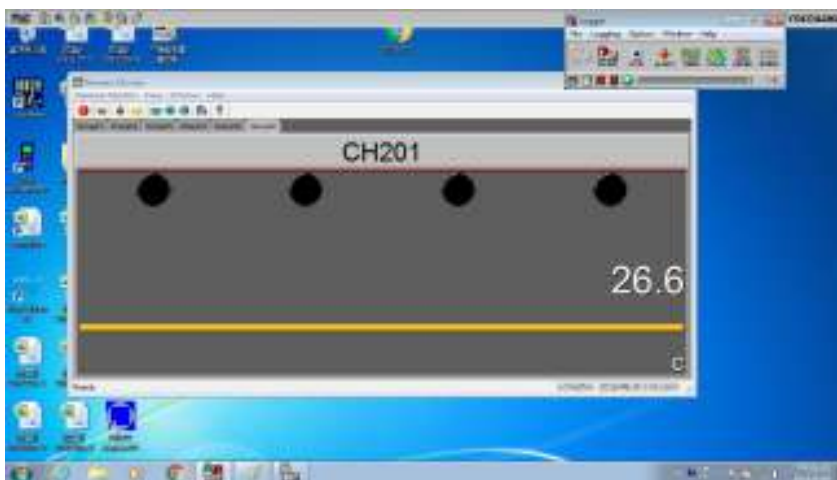
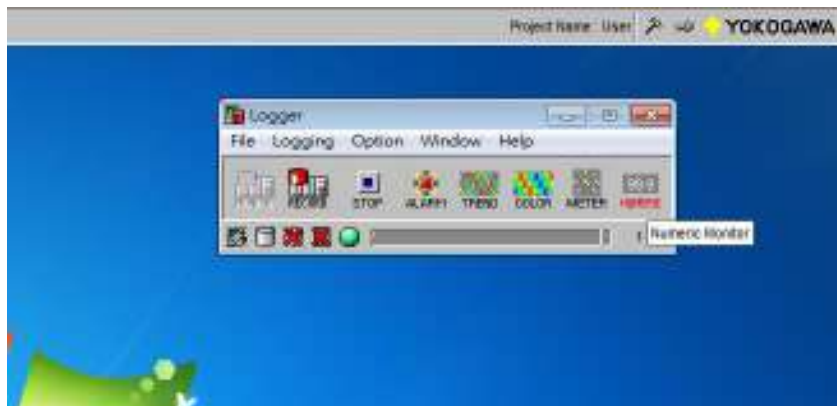


11. 將所要顯示的 Channel 打勾，完成設定後按下 OK。

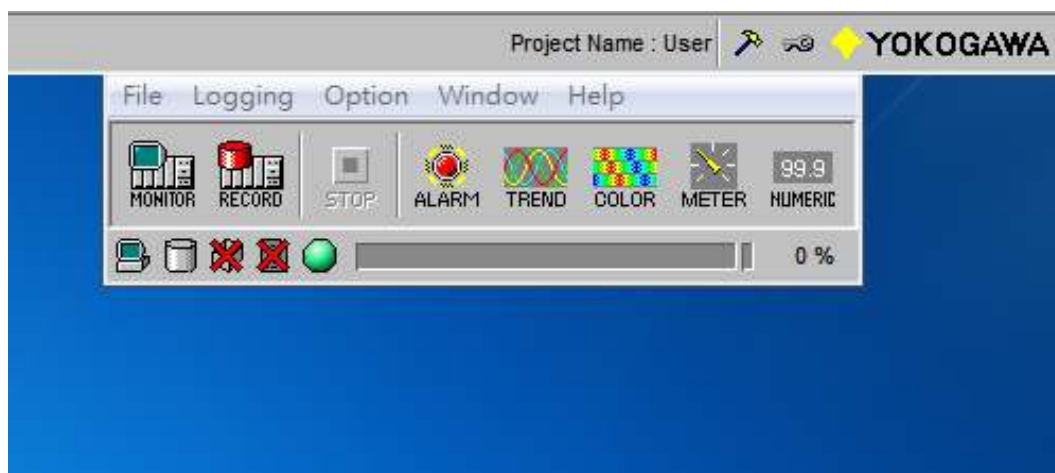




12. 點選 Monitor，再點選 Numerical Monitor，顯示使用中 Channel 量測到的值。

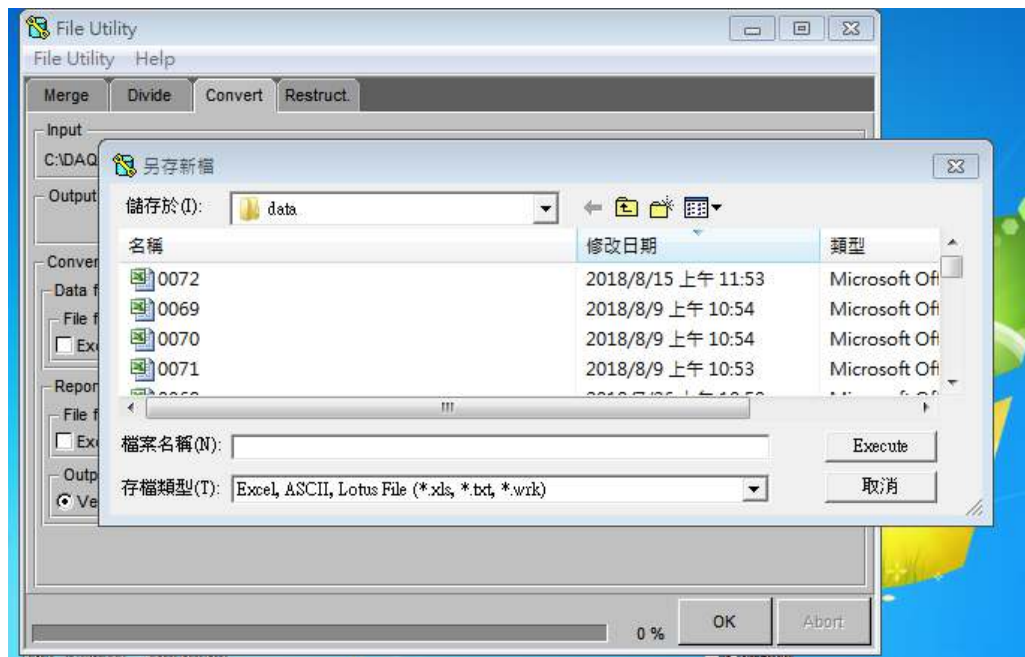
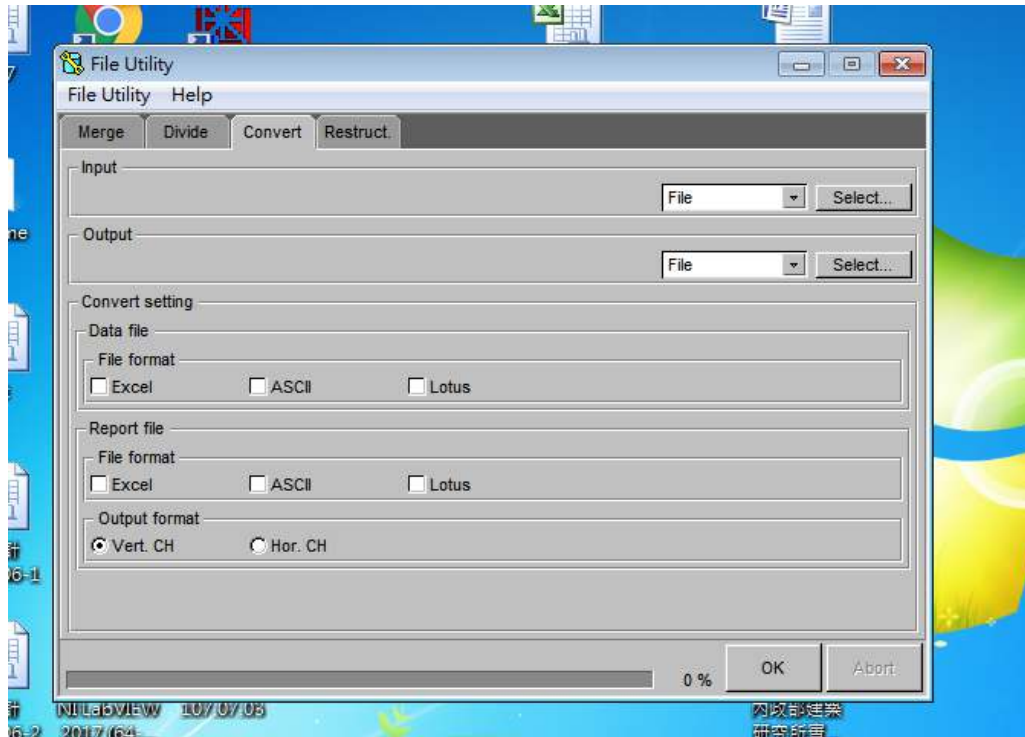


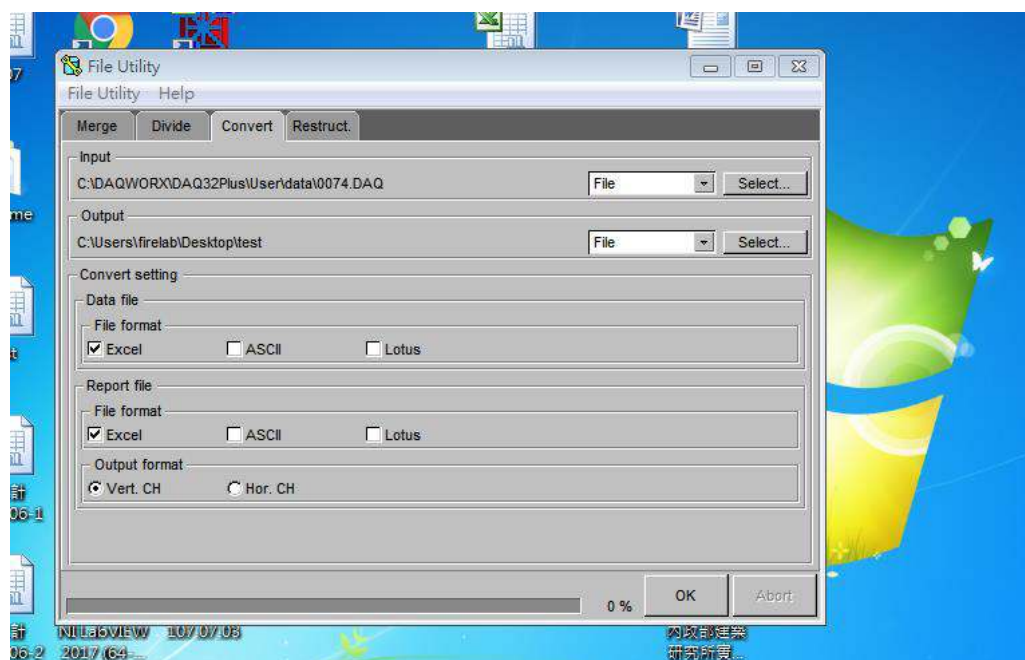
13. 若要紀錄數據，點選 Record，紀錄的頻率可以在 Logging→Logging Configuration 修改。



14. 若要停止紀錄，則按下 Stop。
15. 點選上方的 File Utility 可以進行記錄檔的轉檔。選擇要 Input 的檔案與 Output 的檔案路徑，記錄檔轉成 Excel。







(四)瓦斯開關與流量控制

1. 圖為瓦斯開關位置，試驗前要注意其他試驗設備之瓦斯閥為關上的狀態。



2. 瓦斯閥打開時壓力計正常顯示值如圖所示



3. 窗戶燃燒器與室內燃燒器所連接之瓦斯閥分別在試驗屋的前方與後方。





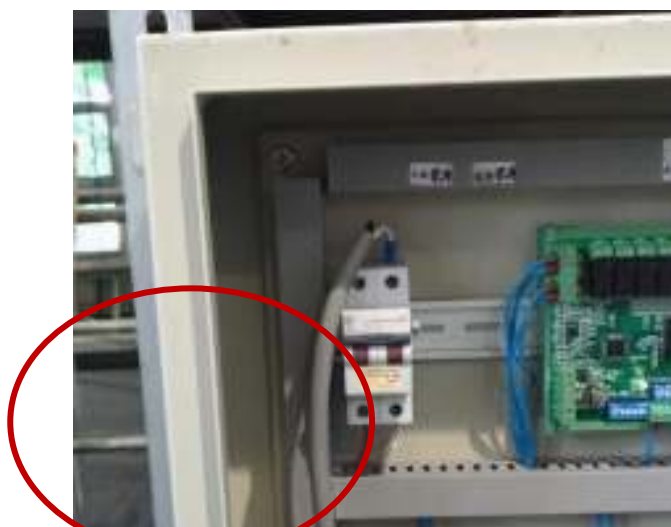
4. 圖為燃燒器之控制面板，可控制室內燃燒器與窗戶燃燒器之流量。



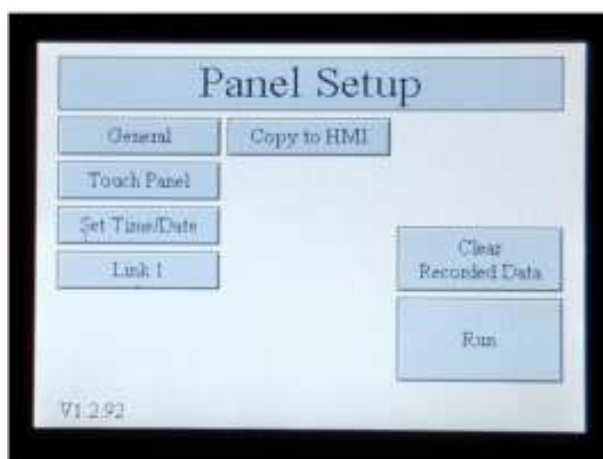
5. 將控制面板之電源線接上插座。
6. 將燃燒器連接線接上控制面板，連接線有兩條，按照標籤接上對應的插槽。



7. 將控制面板之電源打開，開關向上扳為開，向下為關，圖中為打開之狀態。



8. 當 panel setup 介面出現後，按 run 進入控制畫面。



9. 圖為控制介面



10. 控制方法分為手動控制與自動控制，手動控制為控制開度，可輸入的值為 0~100，點設定按鈕可以調整自動控制之時間與流量值。當模式從手動控制切換至自動控制時，自動控制會從頭開始。







三、試驗過程

1. 將窗戶燃燒器推至試驗屋前方，窗戶燃燒器圓管中心線需要距離牆面 15 公分。移動燃燒器時金屬軟管需先拆下，防止過度彎折造成軟管損壞，定位後再重新裝上軟管。
2. 將試驗過程所需之兩台攝影機分別架在試驗屋正前方以及試驗屋二樓之觀察室，並將計時器架設在試驗屋正前方攝影機可錄到的範圍。
3. 將熱像儀架設在試驗屋正前方，紀錄試驗過程
4. 按照流率表設定室內燃燒器與窗戶燃燒器之流量。

Time Interval (min)	Room Burner (m ³ /min)	Window Burner (m ³ /min)
0-5	0.76	0
5-10	0.76	0.08
10-15	0.85	0.07
15-20	0.91	0.07
20-25	0.91	0.08

25-30	0.99	0.09
30-35	0.85	0.09
35-40	0.78	0.09
40-45	0.99	0.09
45-50	0.99	0.09
50-55	0.99	0.09
55-60	0.99	0.09
60-65	0.99	0.09
65-70	0.99	0.09
70-75	0.99	0.09
75-80	0.99	0.09
80-85	0.99	0.09
85-87	1.1	0.09
87-end	1.2	0.09

5. 將窗戶燃燒器與室內燃燒器的瓦斯閥打開。
6. 將少許甲醇淋在室內燃燒器的棉上，並用點火槍點火，離開試驗室將防火門關上，先將控制面板室內燃燒器用手動開度調整流量大小使燃燒器完全點燃，然後切換至自動控制，計時器開始計時，試驗開始。
7. 試驗開始五分鐘後，要開啟窗戶燃燒器，在試驗進行快要到五分鐘，將甲醇淋到燃燒器上，用點火槍點火，試驗時間到五分鐘時，將燃燒器以手動開度模式完全點燃，並轉為自動控制。
8. 試驗過程中需要兩個人紀錄過程，一個人從筆電監控各個溫度點變化，並記錄試驗過程中發生之現象，另一個人在二樓觀察室觀察是否有火焰穿透層間塞延燒至二樓。
9. 當火焰通過層間塞延燒至二樓後，將燃燒器轉至手動開度，並將開度設為 0，關閉瓦斯閥，終止試驗。

四、其他事項

1. 燃燒器維護：在試驗準備時，燃燒器需要以耐火綿進行包覆，將耐火綿以適當的厚度包覆住燃燒器圓管並固定，固定方式可使用不燃且耐高溫的線來綑綁耐火棉。

五、校正牆維修經費預估

根據 ASTM E2307-15b，每年都需要進行校正試驗，校正燃燒器流率達到所要求的升溫曲線。根據本研究團隊的經驗，當校正牆經過兩次各兩小時的校正試驗，校正牆內部的輕型鋼架以及內外部強化石膏板就需要更換。先前校正牆框架維修的價格約為 27000 元，使用在校正牆面的強化石膏板單價為 850 元，維修一面校正牆大約需要用到 10 片至 20 片強化石膏板，粗估校正牆維修一次需要 3 萬至 4 萬台幣。

參考書目

1. ASTM E2307-15b Standard Test Method for Determining Fire Resistance of Perimeter Fire Barriers Using Intermediate-Scale, Multi-story Test Apparatus, ASTM International, 2015.
2. NFPA 285 Standard Method of Test for the Evaluation of Flammability Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components Using the Intermediate-Scale, Multistory Test Apparatus, National Fire Protection Association, 2012.
3. BS EN 1364-3 Fire resistance tests for nonloadbearing elements -Part 3: Curtain walling-Full configuration (complete assembly), BS EN Eurocodes, 2014.
4. BS EN 1364-4 Fire resistance tests for nonloadbearing elements -Part 4: Curtain walling -Part configuration, BS EN Eurocodes, 2014.
5. EMSEAL Joint Systems, Ltd., UL 2079 Certification for Deck and Floor Expansion Joints—What’s involved?, 2016.
6. 雷明遠(2003)。帷幕牆防火性能基準與評估驗證之研究，內政部建築研究所自行研究報告。台北市：內政部建築研究所。
7. 雷明遠(2004)。區劃開口部防火技術創新與應用研究(1/2)，內政部建築研究所研究報告。台北市：內政部建築研究所。
8. 蔡銘儒(2012)。非承重外牆與層間縫隙耐火性能驗證基準之研究，內政部建築研究所自行研究報告。台北市：內政部建築研究所。
9. 陳瑞鈴，林大惠，雷明遠，王天志，蘇鴻奇，陳俊貴，胡幃傑，劉育良(2015)。綠能光電模組建築構造之防火性能精進研究，內政部建築研究所協同研究報告。台北市：內政部建築研究所。
10. 蔡綽芳，雷明遠，蔡銘儒，吳崇豪，林大惠，李訓谷，胡幃傑，劉育良(2016)。建築物帷幕牆垂直立面火焰延燒特性之研究，內政部建築研究所協同研究報告。

建築外牆板及帷幕牆層間交接構造防火性能驗證之研究

- 告。台北市：內政部建築研究所。
11. 蔡綽芳，胡幃傑，蘇鴻奇，羅啟文，林大惠，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。台北市：內政部建築研究所。
 12. 王琇雄(2013)。外牆吊掛石材空縫設計之研究，國立成功大學建築研究所碩士論文，台南。
 13. 崔征國(2012)。建築的整體組構，建築圖解事典編集委員會，詹氏書局。
 14. 張貞桂(2013)。中高層建築物外牆劣化之研究-以台北市集合住宅為例，國立成功大學建築研究所碩士論文，台南。
 15. 石正義(1994)。帷幕牆構法專集，詹氏書局。
 16. 吳卓夫，葉基棟，黃立昌，蘇志民，鄭奕孟，吳偉國(2005)。營造法與施工，茂榮書局。
 17. 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，台南。
 18. 蔡曜謙(2017)。地工泡棉(EPS)應用於建築物外牆飾材之性質研究，國立臺北科技大學土木工程系碩士論文，台北。
 19. 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。台北市：內政部建築研究所。
 20. 李錦堃(2011)。應用系統整合模式探討帷幕牆工程管理之研究，東南科技大學防災科技研究所碩士在職專班學位論文。
 21. 陳慶銘，王榮吉，施乃中(1992)。帷幕牆工程標準規範與解說之擬定，內政部建築研究所籌備處。
 22. 陳宗熙(1991)。高層建築物單元式金屬帷幕牆耐風壓性能之分區方式研究：以高雄漢來新世界大樓為例，淡江大學建築學系碩士論文，台北。

23. 許燕輝(2005)。台北國際金融中心帷幕牆施工之探討，國立交通大學工學院營建技術與管理學程碩士論文，新竹。
24. 薛丞堯(2002)。國內點支承玻璃帷幕牆施工精度控制之研究，國立成功大學建築學研究所碩士論文，台南。
25. International Firestop Council, Perimeter Curtain Wall Fire Protection, 2004.
26. Thermafiber, Inc., Perimeter Fire Containment in Multi-Story Buildings, 2009.
27. James Shriver, Perimeter Fire Containment-The Basics, 2009.
28. Owens Corning, Steel Stud Perimeter Fire Containment System -ASTM E2307, Technical Bulletin, 2016.
29. 瑞德感知科技(2016)。巴別塔的火焰挑戰(一)：高層建築的火災風險。瑞德消防雜誌。
30. 陳太農，郭炳林(1999)。帷幕牆防火性能評估與設計準則，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告。台北市：內政部建築研究所。
31. B. R. Cuzzillo and P. J. Pagni, Thermal Breakage of Double-Pane Glazing by Fire. Journal of Fire Protection Engineering, 9.1(1998),1-11.
32. T.J.Shields, S. Hassani, G. Silcock, Behavior of Glazing System in Real Fire. Fire, static, and dynamic tests of building structures. Fire, Static and Dynamic Tests of Building Structures, 2 (1997), 69.
33. 陳弘毅(1996)。火災學。鼎茂圖書出版公司。
34. 林文意(2000)。建築物外牆開口噴出火焰行為研究，國立台灣科技大學營建工程系碩士論文，台北。
35. 蕭江碧，劉慶男，何明錦(2002)。建築防火有關性能試驗設計法建議草案與案例解說。台北市：內政部建築研究所。
36. 賴韻蘋(2004)。改良式金屬帷幕牆防火性能初探—以直橫料式構法足尺試驗探討之，國立成功大學建築學研究所碩士論文，台南。
37. 田中孝義(1993)。建築物火災安全工學入門。日本建築中心。
38. 陳海曙，周鼎金(1998)。建築防火安全設計學。茂榮書局。

39. 林元祥(2004年6月)。建築物火災財物損失影響因素與解釋模式。住宅學報，第13卷第1期，。
40. CNS 14815 建築用防火固定窗耐火試驗法。中華民國國家標準(CNS)。
41. 張菟育(2003)。帷幕牆無開口鋁板防火性能之初探，國立成功大學建築研究所碩士論文，台南。
42. 林慶元(2004)。實尺寸帷幕牆防火性能之實驗研究(I)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
43. 林慶元(2005)。實尺寸帷幕牆防火性能之實驗研究(II)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
44. 李奇峰(2012)。帷幕牆層間塞之遮煙性能研究，國立台灣科技大學建築研究所碩士論文，台北。
45. 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衛生工程所碩士論文，高雄。
46. 游依婷(2003)。單元式鋁帷幕牆防火構法之研究，國立成功大學建築研究所碩士論文，台南。
47. 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.
48. Miao-miao YU, Guo-qing ZHU, Qing-xuan Meng, Experimetal Study and Analysis of XPS Vertical Countercurrent Fire Spread., Procedia Engineering, 211(2018), 945-953.
49. Weiguang An, Rongliang Pan, Qingxuan Meng a, Hongya Zhu, Experimental study on downward flame spread characteristics under the influence of parallel curtain wall., Applied Thermal Engineering, 128 (2018), 297–305.
50. Qing xuan Meng, Guo qing Zhu, Miao miao Yu, Zhen huan Liang, Experimental study on upward flame spread characteristics of external thermal insulation material under the influence of porosity., Case Studies in Thermal Engineering,

- 12 (2018), 365–373.
51. Understanding the Basics of Firestopping: Part Two.,
<https://ifpmag.mdmpublishing.com/understanding-basics-firestopping-part-two/>
 52. Intertek Test Report , Report Number: 102936114SAT-004B, 2017.
 53. Architectural Testing, Report Number: C5740.01-121-24, 2013.
 54. Architectural Testing, Report Number: C6579.01-121-24, 2017.
 55. Intertek Test Report , Report Number: 102936114SAT-004B, 2012.
 56. Intertek Test Report , Report Number: 101530130SAT-007_Rev.2, 2016.
 57. Intertek Test Report , Report Number: G9194.01-121-24-R0, 2017.
 58. CNS14705-1 建築材料燃燒熱釋放率試驗法-第 1 部圓錐量熱儀法。中華民國國家標準(CNS)。
 59. CNS15213-1-建築物外牆立面防火試驗法-中尺度試驗。中華民國國家標準(CNS)。