

長照機構全尺度居室火災探測及  
滅火設備之實驗及驗證分析

資料蒐集分析報告

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 108 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

10815B0007

# 長照機構全尺度居室火災探測及 滅火設備之實驗及驗證分析

計畫主持人：王榮進

協同主持人：鍾基強

研究員：陳又嘉

研究助理：黃祥志、陳進澤

研究期程：中華民國 108 年 02 月至 108 年 12 月

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 108 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

## 目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	XI
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與研究範圍.....	1
第二節 研究目的.....	5
第三節 研究內容.....	6
第四節 研究方法及進度說明.....	9
第二章 文獻分析與研究.....	15
第一節 長照機構類型與相關法規彙整.....	15
第二節 國外相關文獻分析.....	21
第三節 國內相關文獻分析.....	23
第三章 偵知及滅火設備介紹.....	27
第一節 火警偵煙探測設備型式.....	27
第二節 水自動滅火設備種類.....	30
第三節 熱煙危害與煙流特性.....	37
第四章 排煙性能之電腦模擬分析.....	43
第一節 軟體介紹.....	43
第二節 模擬空間建構及參數規劃.....	45
第三節 電腦模擬情境規劃及模擬結果.....	55
第四節 模擬結果分析.....	76
第五節 小結.....	93
第五章 全尺寸性能實驗.....	95
第一節 全尺寸實驗空間規劃.....	95

第二節 實驗設備與材料規格說明.....	97
第三節 實驗儀器與設備.....	100
第四節 實驗規劃與實驗結果.....	102
第五節 實驗結果分析.....	131
第六節 小結.....	151
第六章 結論與建議.....	153
第一節 結論.....	153
第二節 建議與後續研究方向.....	157
附錄 審查回應表 .....	159
附件 密閉式撒水頭認可基準修正規定節錄.....	177
參考書目 .....	181

## 表次

表 1-1 國內外長照機構火災案例統計表(按時間排列).....	2
表 1-2 近十年火災造成人命重大傷亡的主因統計表.....	3
表 1-3 本研究執行之研究內容表.....	11
表 1-4 研究進度及預期完成之工作項目表.....	13
表 3-1 自動撒水設備選用原則.....	32
表 3-2 自動撒水設備作動流程.....	32
表 3-3 自動撒水設備裝設費用表.....	35
表 3-4 低壓細水霧之滅火原理介紹表.....	36
表 3-5 煙霧濃度與可視距離的關係表.....	38
表 3-6 人體暴露在有毒氣體之情況.....	39
表 3-7 人體承受危害程度之指標分析表.....	40
表 4-1 模擬空間網格數量表.....	49
表 4-2 撒水頭模擬參數規格表.....	52
表 4-3 偵煙探測設備模擬參數規格表.....	52
表 4-4 實驗規劃表.....	55
表 4-5 模擬 1 之動畫表.....	56
表 4-6 模擬 2 之動畫表.....	58
表 4-7 模擬 3 之動畫表.....	60
表 4-8 模擬 4 之動畫表.....	62
表 4-9 模擬 5 之動畫表.....	64
表 4-10 模擬 6 之動畫表.....	66
表 4-11 模擬 7 之動畫表.....	68
表 4-12 模擬 8 之動畫表.....	70
表 4-13 模擬 9 之動畫表.....	72

表 4-14 模擬 10 之動畫表 .....	74
表 4-15 全尺寸實驗_火警偵煙探測設備啟動時間 .....	77
表 4-16 實際與模擬_煙層沉降示意圖 .....	79
表 4-17 模擬 6~10 撒水頭啟動時間表 .....	86
表 4-18 Pathfinder 移動速度參數設定 .....	89
表 4-19 避難疏散模擬結果 .....	90
表 4-20 各模擬情境第 335 秒數值比較表 .....	91
表 5-1 水自動滅火設備_實驗設備與材料規格表 .....	97
表 5-2 水自動滅火設備_實驗設備與材料規格表 .....	99
表 5-3 熱電偶線規格 .....	100
表 5-4 水自動滅火設備實驗總表 .....	102
表 5-5 火警偵煙探測設備實驗總表 .....	128
表 5-6 火災偵知時間與撒水啟動時間表(火勢成長極快) .....	132
表 5-7 火災偵知時間與撒水啟動時間表(火勢成長緩慢) .....	133
表 5-8 水自動滅火設備啟動前後火場溫度變化表 .....	140

## 圖次

圖 1-1 研究流程圖 .....	12
圖 2-1 老人福利機構數量圖 .....	16
圖 2-2 老人福利機構進住使用率示意圖 .....	17
圖 3-1 光電式偵煙探測器實景圖 .....	28
圖 3-2 吸氣式偵煙探測系統示意圖 .....	29
圖 3-3 乾式與濕式自動警報閥與各式撒水頭 .....	33
圖 3-4 水道連結式撒水頭之裝設示意圖 .....	34
圖 4-1 FDS 與 Smokeview 之運算架構及工作流程圖 .....	44
圖 4-2 現勘_起火居室空間平面圖 .....	45
圖 4-3 現勘_起火居室空間圖 .....	46
圖 4-4 模擬_起火居室空間圖 .....	46
圖 4-5 自然排煙設備空間示意圖(側視圖) .....	48
圖 4-6 機械排煙設備空間示意圖(俯視圖) .....	48
圖 4-7 網格規劃示意圖(俯視圖) .....	49
圖 4-8 溫度量測點設置空間示意圖(正視圖) .....	50
圖 4-9 溫度量測點設置空間示意圖(俯視圖) .....	50
圖 4-10 煙層高度設置空間示意圖(正視圖) .....	51
圖 4-11 煙層高度設置空間示意圖 .....	51
圖 4-12 撒水頭設置空間示意圖(俯視圖) .....	53
圖 4-13 火警偵煙探測設備設置空間示意圖(俯視圖) .....	54
圖 4-14 二氧化碳偵測器設置空間示意圖(俯視圖) .....	54
圖 4-15 模擬 1_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處) .....	57
圖 4-16 模擬 1_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處) .....	57
圖 4-17 模擬 1_煙層高度曲線圖 .....	57

圖 4-18 模擬 2_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處).....	59
圖 4-19 模擬 2_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處).....	59
圖 4-20 模擬 2_煙層高度曲線圖.....	59
圖 4-21 模擬 3_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處).....	61
圖 4-22 模擬 3_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處).....	61
圖 4-23 模擬 3_煙層高度曲線圖.....	61
圖 4-24 模擬 4_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處).....	63
圖 4-25 模擬 4_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處).....	63
圖 4-26 模擬 4_煙層高度曲線圖.....	63
圖 4-27 模擬 5_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處).....	65
圖 4-28 模擬 5_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處).....	65
圖 4-29 模擬 5_煙層高度曲線圖.....	65
圖 4-30 模擬 6_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處).....	67
圖 4-31 模擬 6_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處).....	67
圖 4-32 模擬 6_煙層高度曲線圖.....	67
圖 4-33 模擬 7_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處).....	69
圖 4-34 模擬 7_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處).....	69
圖 4-35 模擬 7_煙層高度曲線圖.....	69
圖 4-36 模擬 8_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處).....	71
圖 4-37 模擬 8_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處).....	71
圖 4-38 模擬 8_煙層高度曲線圖.....	71
圖 4-39 模擬 9_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處).....	73
圖 4-40 模擬 9_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處).....	73
圖 4-41 模擬 9_煙層高度曲線圖.....	73
圖 4-42 模擬 10_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處).....	75

圖 4-43 模擬 10_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處).....	75
圖 4-44 模擬 10_煙層高度曲線圖.....	75
圖 4-45 實驗結果與模擬數據溫度比較圖(2.7m & 1.8m).....	76
圖 4-46 實驗結果與模擬數據比較圖(煙層高度).....	77
圖 4-47 無撒水、排煙且居室面積及高度縮小之煙層高度比較圖....	78
圖 4-48 無撒水情況，煙層高度比較.....	81
圖 4-49 煙層維持在 1.8m 以上的時間.....	82
圖 4-50 無撒水情況，溫度比較.....	83
圖 4-51 無撒水情況下，溫度上升至 66°C 所需時間(1.8m).....	84
圖 4-52 無撒水情況，CO <sub>2</sub> 氣體濃度比較.....	84
圖 4-53 有撒水情況，煙層高度比較.....	85
圖 4-54 有撒水情況，溫度比較.....	87
圖 4-55 有撒水情況，CO <sub>2</sub> 氣體濃度比較.....	88
圖 4-56 無撒水情況，煙層高度比較.....	91
圖 4-57 有撒水情況，煙層高度比較.....	92
圖 5-1 撒水設備防護範圍示意圖.....	95
圖 5-2 實驗空間現況示意圖.....	96
圖 5-3 無紙式紀錄器數據收集系統主機及量測畫面.....	100
圖 5-4 煙層量測設備裝設示意圖.....	101
圖 5-5 實驗一_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	105
圖 5-6 實驗一_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	105
圖 5-7 實驗一_煙層遮蔽率.....	105
圖 5-8 實驗二_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	107
圖 5-9 實驗二_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	107
圖 5-10 實驗二_煙層遮蔽率.....	107

圖 5-11 實驗三_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	109
圖 5-12 實驗三_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	109
圖 5-13 實驗三_煙層遮蔽率 .....	109
圖 5-14 實驗四_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	111
圖 5-15 實驗四_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	111
圖 5-16 實驗四_煙層遮蔽率 .....	111
圖 5-17 實驗五_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	113
圖 5-18 實驗五_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	113
圖 5-19 實驗五_煙層遮蔽率 .....	113
圖 5-20 實驗六_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	115
圖 5-21 實驗六_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	115
圖 5-22 實驗六_煙層遮蔽率 .....	115
圖 5-23 實驗七_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	117
圖 5-24 實驗七_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	117
圖 5-25 實驗七_煙層遮蔽率 .....	117
圖 5-26 實驗八_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	119
圖 5-27 實驗八_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	119
圖 5-28 實驗八_煙層遮蔽率 .....	119
圖 5-29 實驗九_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	121
圖 5-30 實驗九_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	121
圖 5-31 實驗九_煙層遮蔽率 .....	121
圖 5-32 實驗十_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	123
圖 5-33 實驗十_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	123
圖 5-34 實驗十_煙層遮蔽率 .....	123
圖 5-35 實驗十一_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	125

圖 5-36 實驗十一_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	125
圖 5-37 實驗十一_煙層遮蔽率 .....	125
圖 5-38 實驗十二_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處).....	127
圖 5-39 實驗十二_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處).....	127
圖 5-40 實驗十二_煙層遮蔽率 .....	127
圖 5-41 偵知火災與撒水啟動時間圖(火勢成長極快).....	132
圖 5-42 偵知火災與撒水啟動時間圖(火勢成長緩慢).....	133
圖 5-43 實驗 11、12_溫度量測曲線比較圖(距離地面 3.0m 處).....	136
圖 5-44 實驗 3、4_溫度量測曲線比較圖(距離地面 3.0m 處).....	138
圖 5-45 水道連結型設備_煙層遮蔽率變化圖(1m).....	142
圖 5-46 細水霧設備_煙層遮蔽率變化圖(1m).....	142
圖 5-47 一般自動撒水型設備_煙層遮蔽率變化圖(1m).....	142
圖 5-48 水道連結型設備_CO <sub>2</sub> 氣體濃度變化圖 .....	143
圖 5-49 細水霧設備_CO <sub>2</sub> 氣體濃度變化圖 .....	143
圖 5-50 一般自動撒水型設備_CO <sub>2</sub> 氣體濃度變化圖 .....	143
圖 5-51 水道連結型設備_CO 氣體濃度變化圖 .....	144
圖 5-52 細水霧設備_CO 氣體濃度變化圖 .....	144
圖 5-53 一般自動撒水型設備_CO 氣體濃度變化圖 .....	144
圖 5-54 開放式實驗溫度量測曲線圖(離地 3m 處).....	146
圖 5-55 開放式實驗溫度量測曲線圖(離地 1m 處).....	146
圖 5-56 開放式實驗煙層遮蔽率 .....	146
圖 5-57 開放式實驗與實驗一之煙層遮蔽率比較(離地 3m 處).....	147
圖 5-58 開放式實驗與實驗一之煙層遮蔽率比較(離地 1m 處).....	147
圖 5-59 開放式實驗與實驗一之 CO 濃度比較 .....	148
圖 5-60 開放式實驗與實驗一之 CO <sub>2</sub> 濃度比較 .....	148

圖 5-61 起火位置與偵煙探測器距離示意圖 .....149

## 摘要

關鍵詞：長照機構、火警偵煙設備、水自動滅火設備

### 一、研究緣起：

歷年來台灣長照機構因發生火警而造成嚴重傷亡的原因，往往是機構內大量行動不方便或應變能力較弱的人員，無法自行且迅速垂直避難逃生所引起。考量到長照機構等類似場所，在不易完成垂直避難的前題下，勢必需提升其住房寢室在火災初期時的安全防護，若能提早偵測到火災發生，不僅可以避免大規模的人員逃生，也能同時避免生命財產的損失。

早期國內《建築技術規則》、《各類場所消防安全設備設置標準》中規定，小型長照機構僅需滿足最低設備設置要求，如滅火器、火警偵煙探測設備等等。但此類機構中所服務或收容之對象應變能力與逃生避難行為皆屬弱勢。故對於火災發生初期之滅火無能為力，災害擴大後也無法自行避難逃生。因此，既有的火警偵煙探測設備與水自動滅火設備其偵知與抑制火災的能力勢必需要更加深入研究探討及性能驗證分析。

本研究以全尺寸實驗探討三種水自動滅火設備(一般自動撒水、水道連結型、低壓細水霧)在不同火災情境下之滅火性能，以及研究起火點位置對光電式局限型偵煙探測器(一種、二種)與吸氣式偵煙探測系統，在偵知時間上的影響差異，同時利用 Pyrosim 電腦模擬軟體進行火場煙流特性之研究分析，並透過改變排煙設備的排煙大小，評估法定排煙量是否滿足排煙性能，最終彙整模擬數據與實驗結果提出長照機構使用火災探測及滅火設備參考。

## 二、研究方法與過程：

長照機構的人口特性普遍為行動不便或應變能力較差的高齡者，當此種機構發生火災時，機構內大量弱勢人員往往不易進行避難逃生而造成傷亡。故此種機構若能及早發現火災並快速撲滅火勢，將是減少災情擴大與傷亡的不二法則。本年度將延續上年度【老人福利機構火警探測、自動撒水設備驗證基準及避難器具檢討之研究】之研究成果，加以研究並確立不同水自動滅火設備對機構住房內泡棉床墊火災特性之滅火效能驗證分析，並分析不同起火位置對不同火警偵煙探測設備的有效反應分析。

計畫實施上，採用的研究方法以「文獻回顧」、「電腦模擬分析」、「實測研究」等為主，茲分述如下：

### (一)、文獻回顧

蒐集國內外相關消防法規、文獻、已發生的案例，進行資料統整及分析，作為後續電腦模擬分析及全尺寸實驗之規劃及設置依據，減少不必要或多餘的實驗成本及時間的浪費。

### (二)、電腦模擬分析

利用 Pyrosim 電腦模擬軟體進行全尺寸居室之煙流特性與危害氣體分析，從而評估法定排煙量是否滿足排煙性能，以及不同排煙類型之排煙設備的性能優勢。

### (三)、實測研究

預計在雲林科技大學實驗場的實驗空間來進行全尺寸實驗。彙整模擬數據與實驗結果後，提出應用於長照機構使用的火災探測及滅火設備參考。

### 三、重要發現：

1. 依據實驗觀察，即使環境溫度已達認可基準之氣流溫度，若是氣流速度未能一併滿足，則有可能導致延遲一般水自動滅火系統及水道連結型自動撒水設備撒水頭作動反應。但此時火警自動警報設備已動作，而火勢尚未擴大，自衛消防編組人員應可持手動滅火設備進行初期滅火。
2. 透過全尺寸實驗結果及模擬結果，加上起火室人員完全疏散時間進行比較分析，得知居室以法定要求設置排煙設備，其排煙性能足以使起火室人員安全避難逃生，故推論法定排煙量應可滿足居室排除濃煙所需之性能。
3. 綜合本研究所進行之全尺寸實驗結果後，細水霧自動撒水設備綜合效能較優，但該設備啟動後可能會與濃煙混合造成視線障礙不利於救助住房內之避難弱者；一般水自動滅火系統雖控火效果較佳但因空間需求過高不易裝設；而水道連結型自動撒水設備雖空間需求與設置成本較低，但滌煙效果較弱，故建議長照機構考量自身條件與需求擇一設置。
4. 在火災探測方面，吸氣式偵煙探測系統相較於光電式局限型偵煙探測器(一種)偵知時間提早約 5~8%，相較於光電式局限型偵煙探測器(二種)偵知時間提早約 16~48%，故建議長照機構考量設置光電式偵煙探測器(一種)或吸氣式偵煙探測系統，以利及早發現狀況，爭取反應及救援時間。同時，若偵煙探測器至角落距離若大於偵煙探測器至最近牆面距離 2 倍以上時，該居室應考慮增設偵煙探測器，以避免火源距離偵煙探測器過遠，導致偵知時間過久。

#### 四、主要建議事項：

##### 建議一

立即可行之建議：建立滅火設備同等滅火效能之驗證方法及基準

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：內政部建築研究所

依據消防署有關《各類場所消防安全設備設置標準》第 17 條修正條文(106.9.20 公告預告修正草案)規定：「未達 1000 m<sup>2</sup>場所得設置水道連結型自動撒水設備或與現行法令同等滅火效能之滅火設備...」，國內目前尚無「同等滅火效能」之相關規範，建議後續研究可參考 ISO6182-10 或 UL1626 建立滅火設備同等滅火效能之功能驗證方法及基準，以供消費者基於本身環境條件等限制下，可安裝適合且有效的消防安全設備。

##### 建議二

立即可行之建議：將國內老人福利機構實際內裝材料之現況與防焰寢具進行後續研究與全尺寸實驗

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、內政部消防署

本研究於今年度完成長照機構全尺度居室火災探測及滅火設備之實驗及驗證分析，惟實驗過程中僅針對偵煙探測系統之反應與自動滅火設備之效能，以報廢之被褥、床墊、床單、枕頭進行燃燒實測，並未考量國內長照機構實際內裝材料之現況與防焰寢具對於火場燃燒所造成的影響，建議後續研究可將內裝材料與防焰寢具之燃燒行為進行全尺寸實驗。

## Abstract

Keywords: health care institution, fire alarm smoke detection equipment, water automatic fire extinguishing equipment

### 1、Research Origin :

Over the years, the cause of serious injuries and deaths caused by fires in the Taiwan health care institutions. It is often caused by a large number of people in the organization who are inconvenient to move or have weak resilience, and are unable to evacuate themselves vertically and quickly. In consideration of similar places such as the Changsha Agency, under the premise of completing vertical evacuation, it is necessary to improve the safety protection of their dormitories in the early stage of the fire. If the fire can be detected early, not only can large-scale personnel escape; also avoid the loss of life and property.

The "Technical Rules for Buildings" and "Standards for Setting Fire Safety Equipment in Various Places" stipulated that small long-term photo institutions need only meet the minimum equipment requirements, such as fire extinguishers, fire detection smoke detection equipment, and so on. However, the resilience and escape behavior of the people served or contained in such institutions are weak. Therefore, there is nothing that can be done to extinguish the fire in the early stage of the fire, and it is impossible to evacuate after the disaster has expanded. Therefore, the existing fire detection smoke detection equipment and water automatic fire extinguishing equipment's ability to detect and suppress fires is bound to require more in-depth research and analysis and performance verification analysis.

This study uses full-scale experiments to investigate the fire extinguishing performance of three types of water automatic fire extinguishing equipment (general automatic sprinkler, water channel knot type, low-pressure fine water mist) in different fire situations, and to study the location of the fire point for the photoelectric limited smoke

detector ( One type, two types) and the inhalation type smoke detection system, detect the difference in the impact of time, at the same time use Pyrosim computer simulation software to study and analyze the characteristics of smoke flow in the fire field, and by changing the size of smoke exhaust equipment Evaluate whether the statutory smoke exhaust capacity meets the smoke exhaust performance, and finally summarize the simulation data and experimental results to propose a reference for the use of fire detection and fire extinguishing equipment by long-term photo agencies.

## **2 、 Research method :**

The hearth care institutions are generally elderly people with reduced mobility or poor resilience. When a fire occurs in such institutions, a large number of vulnerable people in the institutions are often not easy to escape and cause casualties. Therefore, if such an organization can detect a fire early and quickly extinguish the fire, it will be the only rule to reduce the spread of the disaster and the casualties. This year will continue the research results of the previous year's [Research on Fire Detection, Verification Standards for Automatic Sprinkling Equipment, and Review of Refuge Apparatus for Elderly Welfare Institutions] to study and establish the fire extinguishing effectiveness of different water automatic fire extinguishing equipment on the fire characteristics of foam mattresses in institutional housing Validation analysis, and analysis of effective response analysis of different fire detection smoke detection equipment at different fire positions.

### (1) 、 Literature Review

Collect domestic and foreign related fire regulations, literature, and cases that have occurred, conduct data integration and analysis as the basis for subsequent computer simulation analysis and planning and setting of full-scale experiments, reducing unnecessary or unnecessary experimental costs and waste of time.

### (2) 、 computer simulation

Pyrosim computer simulation software was used to analyze the smoke flow characteristics and hazardous gases of the full-size room, so as to evaluate whether the legal smoke exhaust capacity meets the smoke exhaust performance and the performance advantages of different smoke exhaust equipment.

### (3) 、Field study

Full-scale experiments are expected in the experimental space of the Yunlin University of Science and Technology experimental field. After compiling the simulation data and experimental results, a reference for the fire detection and fire extinguishing equipment used in the health care agency is proposed.

### **3 、Important findings :**

1. According to experimental observations, even if the ambient temperature has reached the approved airflow temperature, if the airflow speed is not met at the same time, it may cause a delay in the response of the sprinkler heads of ordinary water automatic fire extinguishing systems and waterway-linked automatic sprinkler equipment. However, at this time, the automatic fire alarm equipment has been activated, and the fire has not yet expanded. Self-defense firefighters should be able to carry out manual fire extinguishing equipment for initial fire suppression.
2. Through full-scale experimental results and simulation results, plus a complete analysis of the evacuation time of the personnel in the fire room, it is known that the smoke-exhausting equipment in the room is legally required, and its smoke exhaust performance is sufficient to allow the fire room personnel to escape from the fire safely. The amount of smoke exhausted should be able to meet the performance required to remove dense smoke in the room.
3. After synthesizing the results of the full-scale experiments conducted by this research institute, the comprehensive efficiency of the automatic spraying device for fine water mist is

better, but after the device is started, it may be mixed with thick smoke and cause visual obstruction, which is not conducive to helping the vulnerable people in the shelter; Although the automatic fire extinguishing system has better fire control effect, it is not easy to install due to the high space requirement; while the waterway-connected automatic sprinkler equipment has low space requirements and installation cost, but the effect of cleaning the smoke is weak, it is recommended that the long-term photo agency consider its own conditions Choose the setting you want.

4. The detection time of the aspirating smoke detection system is about 5-8% faster than that of the photoelectric limited type smoke detector (one type), compared with the photoelectric limited type smoke detector (two types). The time is about 16 ~ 48% earlier. Therefore, it is recommended that the long-term photo agency consider setting up a photoelectric smoke detector (one) or an aspirating smoke detection system to facilitate early detection of the situation and strive for response and rescue time. At the same time, if the distance from the smoke detector to the corner is greater than twice the distance from the smoke detector to the nearest wall, the room should consider adding a smoke detector to avoid the fire source being too far away from the smoke detector, leading to detection. Know that time is too long.

#### **4 、 Major recommendations :**

##### Suggestion 1:

Immediately feasible recommendations: Establish verification methods and benchmarks for equivalent fire suppression effectiveness of fire suppression equipment

Host: Fire Department, Ministry of the Interior

Co-organizer: Institute of Architecture, Ministry of the Interior

According to the Fire Department's amendments to Article 17 of the "Standards for Setting up Fire Safety Equipment in Various Places"

(106.9.20 Announcement and Draft Amendment Notice), it is stipulated that: "Under 1,000m<sup>2</sup>, waterway-connected automatic sprinkler equipment or fire extinguishing performance equivalent to the existing laws "Fire extinguishing equipment ...", there is currently no relevant standard for "equivalent fire extinguishing efficiency" in China. It is suggested that follow-up research may refer to ISO6182-10 or UL1626 to establish functional verification methods and benchmarks for equivalent fire extinguishing performance of fire extinguishing equipment for consumers based on their environmental conditions. Under such restrictions, suitable and effective fire safety equipment can be installed.

### Suggestion 2:

Immediately feasible suggestion: follow-up research and full-scale experiments on the current situation of actual interior materials and flame-proof bedding in domestic welfare institutions for the elderly

Host: Institute of Architecture, Ministry of the Interior

Co-organizers: Construction Department of the Ministry of the Interior, Fire Department of the Ministry of the Interior

This study completed the experiment and verification analysis of the full-scale room fire detection and fire extinguishing equipment of the long-term photo agency this year. However, during the experiment, it only focused on the response of the smoke detection system and the effectiveness of the automatic fire extinguishing equipment to scrapped bedding, mattresses, sheets. The actual combustion of pillows was not measured, and the actual conditions of the interior materials of domestic long-term photo agencies and the impact of flame-proof bedding on fire scene combustion were not considered. It is suggested that follow-up studies can be performed on the combustion behavior of the interior materials and flame-proof bedding.



# 第一章 緒論

## 第一節 研究背景與研究範圍

隨著社會進步與醫療技術發展及衛生習慣大幅改進，死亡率逐漸降低，平均壽命也不斷增長。臺灣於 2018 年 3 月份起，65 歲以上老年人口達總人口 14.1%，正式邁入高齡社會。截至 107 年底，高齡人口比例達到 14.56%（343.3 萬人），推估 2026 年將進入超高齡社會，高齡人口比例將達到 20.6%（488.1 萬人）。因此對於長照機構的安全疑慮問題，將是台灣現今極為重要的議題。

歷年來台灣長照機構一旦發生火警，往往造成嚴重傷亡的原因是因為機構內大量行動不易且應變能力較差的弱勢人員，無法有效自行垂直避難逃生所引起。考量到長照機構等類似場所，在不易完成垂直避難的前題下，針對其住房寢室在火災初期時的安全防護，實有必要加強及提升。

統整近十年來國內外長照機構類型的火災案例，如表 1-1 所示，發現此種機構當發生火災時，極易造成大量傷亡。參考內政部於 106 年 6 月 13 日「護理之家及長照機構公共安全對策報告」，針對造成人命重大傷亡的主因（如表 1-2），該報告統整出三個原因，分別為【未符合建築消防法規】、【人員教育訓練未落實防災演練】、【夜間、清晨人力不足】。由此可知，除第一個原因以外，可以明顯瞭解到被動式消防設備的重要性，因其在使用上不需有額外的教育訓練且可大量設置在人力不足的場所。

表 1-1 國內外長照機構火災案例統計表(按時間排列)

案例	發生時間	死傷人數
新北市新莊區臺○醫院護理之家	2018.08.13	14死38傷
札幌市そしあるハイム安養中心	2018.01.31	11死3傷
屏東縣恆春鎮南○護理之家	2017.05.19	4死56傷
桃園市龍潭區私立愛○老人長期照顧中心	2017.03.10	4死13傷
基隆市恆○養護中心	2017.02.17	0死0傷
新北市新店區樂○老人長期照顧中心	2016.07.06	6死28傷
新北市汐止區翠○新村養護中心	2015.12.17	0死1傷
中國河南省魯山縣○○老人安養中心	2015.05.26	38死6傷
南韓全羅南道孝實○愛分享療養院	2014.05.28	21死8傷
台南市安南區長○安和老人長期照顧中心	2014.05.27	0死12傷
加拿大魁北克省阿弗爾安養院	2014.01.23	32死11傷
中國黑龍江海倫市聯○敬老院	2013.07.26	11死2傷
日本長○收容失智老人安養院	2013.02.08	5死7傷
台南市新營醫院北○分院附設護理之家	2012.10.23	13死59傷
澳大利亞悉尼養老院	2011.11.19	9死26傷
日本北海道札○市失智老人安養院	2010.03.13	7死2傷

(資料來源：本研究整理、參考書目 1)

表 1-2 近十年火災造成人命重大傷亡的主因統計表

案例	傷亡主因		
	未符合 建築消防法規	人員教育訓練 未落實防災演練	夜間、清晨 人力不足
101/10/23_ 台南市署立 新營醫院北 ○分院附設 護理之家	<ol style="list-style-type: none"> <li>產房移作倉庫，未設置撒水頭。</li> <li>場所未有兩防火區劃。</li> <li>煙霧透過空調管路蔓延至其他病房，造成人員傷亡。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>僅使用滅火器(滅火失敗)，未能利用室內消防栓進行滅火。</li> <li>人力配置及自衛消防編組未能充分因應，致初期應變及避難逃生失效。</li> </ol>	收容 69 人，夜間照護人員 4 人，照護人力不足。
105/07/06_ 新北市私立 樂○老人長 期 照顧中心	火警警鈴關閉，影響初期應變。	發現火災火勢已擴大燃燒，無法進行滅火。	照護人員不在，外籍看護人員僅 3 人。
106/03/10_ 桃園市私立 愛○長期照 護中心	<ol style="list-style-type: none"> <li>二樓擴大違規使用及規避檢查。</li> <li>未設火警自動警報設備。</li> <li>場所未有兩防火區劃。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>業者安全意識不足以蠟燭照明。</li> <li>起火時居室之防火(煙)區劃失敗。</li> <li>未實施緊急應變。</li> </ol>	二樓僅 1 名照護員。
106/05/19_ 屏東縣南○ 護理之家	火警自動警報之主音響、地區音響及移報緊急廣播設備之開關未定位。	<ol style="list-style-type: none"> <li>滅火器無使用跡象。</li> <li>室內消防栓水帶雖有拉出，但未連接瞄子，推斷該場所內部人員初期應變不熟悉。</li> <li>因發現延遲，致使初期滅火未完成。</li> </ol>	僅 8 名照護員，另有經營者夫婦 2 人，照護人力不足。

(資料來源：內政部(消防署)「護理之家及長照機構公共安全對策報告」)

本研究範圍係針對 102 年前所設立《各類場所消防安全設備設置標準》第 12 條第 1 項第 1 款第 6 目之「醫院、療養院、榮譽國民之家、長期照顧服務機構(限機構住宿式、社區式之建築物使用類組非屬 H-2 之日間照顧、團體家屋及小規模多機能)、老人福利機構(限長期照護型、養護型、失智照顧型之長期照顧機構、安養機構)、護理機構(限一般護理之家、精神護理之家、產後護理機構)。」等場所為主。

但研究對象主要為上述所服務或收容應變能力與逃生避難行為皆屬弱勢者之場所。故當遇到火災發生時，對於火災初期之滅火亦無能為力，災害擴大後也無法自行避難逃生。綜合國內外發生的案例，蔣華琪【2】歸納出造成災害傷亡發生的可能原因如下：

1. 未依法規規定，設置足夠的消防安全設備。
2. 建築物未依規定違規使用，將避難出入口及其他出入口變更改造，安全門上鎖等，管理人員對消防設備管理方面輕忽、不夠重視。
3. 電器設備不當使用，院內管理人員未落實預防火災檢查，致發生火災。
4. 院內管理人員配給不足，火災發生時，無法在有效時間內將院內收容人員疏散至相對安全區。
5. 養護中心人員訓練不足，導致火災初期滅火失效，火災發生時未立即通報相關單位。
6. 對火源控管未落實，常有煮食不慎、人為縱火及抽煙等因素引起火災。

故若無法在火災初期發現並立即採取滅火動作，將造成濃煙漫延擴散、災情擴大的情形發生。因此，平時對於住房寢室的安全防護、消防安全管理及消防訓練皆應確實執行，長照機構的服務人員之安全教育訓練也非常重要，以期能迅速發現火源並加以控制，爭取更多的反應時間，減少人員傷亡及財物損失。

## 第二節 研究目的

根據統計，台灣長照機構平均服務人數約為 2.94 人，日本平均服務人數約為 2 至 3 人，以此人力配合情形，當災害發生恐難以協助全體人員進行避難。因此，及早偵知到火災發生並採取適當的反應，可以避免大規模的避難逃生。本研究將延續去年成果，針對火警偵煙探測設備及水自動滅火設備進行深入研究，以期提高長照機構的滅火能力、及早偵知能力。

去年度建研所已進行之【老人福利機構火警探測、自動撒水設備驗證基準及避難器具檢討之研究】，初步證實水道連結型自動撒水設備具有火災控制的效果，另發現光電式局限型偵煙探測器(一、二種)、吸氣式偵煙探測系統(ASD)的性能差異。本研究將延續上年度之研究成果，加以探討火警偵煙探測設備及水自動滅火設備在不同情境規劃下的性能表現。同時利用電腦模擬軟體(Pyrosim)，模擬全尺寸居室之煙流特性與危害分析，最終透過實驗結果及模擬數據，提出長照機構使用火災探測及滅火設備參考。

期望本年度對於及早偵知及抑制火災的研究，能大幅度減少未來長照機構因發生火災所造成的財物損失與人力傷亡。本研究預期目標如下：

1. 確立不同水自動滅火設備對機構住房的泡棉床墊火災特性之滅火效能驗證分析。
2. 完成不同起火位置對不同火警偵煙探測設備的有效反應分析。
3. 蒐集完整全尺寸實驗數據(如有撒水及沒撒水條件)，使用 Pyrosim 進行模擬全尺寸居室火災的煙流特性與危害分析，並評估法定排煙量是否滿足排煙性能。
4. 彙集實驗結果，提出長照機構使用火災探測及滅火設備參考。

### 第三節 研究內容

火災發生時，除外力作用導致摔死、砸死和燒死的因素外，大多死亡原因為火災現場的煙塵及溫度等因素所造成。當火場發生閃燃時，人已無法在該空間生存。由此可知，在達到閃燃前之火源成長初期，應是進行滅火的最佳時機。故火警偵煙探測系統及早偵測到火煙，無論是利用滅火器或啟動水自動滅火設備進行滅火，都應能有效控制火勢，避免災情擴大。

考量到長照機構內可能有不具自主避難能力的人員，火警偵煙探測系統反應時間的快慢，將決定災害的嚴重程度。依據我國《火警探測器認可基準》，光電式局限型偵煙探測器(1種，非蓄積型)在偵測到含有每公尺減光率 1.5K(1種，K 為 5)濃度及達到風速 20~40 cm/sec 之煙時，必須在 30 秒內啟動報警動作；光電式局限型偵煙探測器(2種，非蓄積型)在偵測到含有每公尺減光率 1.5K(2種，K 為 10)濃度及達到風速 20~40 cm/sec 之煙時，必須在 30 秒內啟動報警動作。其中 K 值為標稱動作濃度，單位為遮蔽率。所謂遮蔽率為發光部與受光部相隔一定距離，若此空間中有煙存在時，將會減少其光度，故將減少的光度數值轉換成遮蔽率。

對於收容大量避難弱勢人員的場所，如長照機構，勢必需要一種能更加迅速偵知火災的偵煙探測設備。目前吸氣式偵煙探測系統(aspirating smoke detector system, 簡稱 ASD) 可在火災極早期階段進行偵測，對潛在火災煙霧之警示特別靈敏。它的偵測原理是靠主機內部的抽氣泵，透過延伸至偵測區域的空氣取樣管路將空氣樣品抽回偵測室進行檢測，當空氣中的煙霧濃度達到一定程度時，系統即發出警報。

本研究延續上年度研究成果，加以探討在不同起火點位置，對不同型式之火警偵煙探測設備其偵知能力的影響差異，以瞭解當起火位置不同時，對火警通報時間上的影響。

設立水自動滅火設備的規範，依據現行《各類場所消防安全設備設置標準》第 46 條第一項第三款之規定，長照機構或符合各類場所消防安全設備設置標準第 12 條第一款第六目之住宿居室、病房及其他類似處所，得採用小區劃型撒水頭（以第一種感度為限）。且該標準第 17 條第三項規定，對於長照機構其樓地板面積合計未達  $1,000\text{m}^2$  者，得設置水道連結型自動撒水設備或與現行法令同等以上效能之滅火設備或採用中央主管機關公告之措施。但目前尚未有文獻指出何種型式之水自動滅火設備較適用於長照機構，故本研究將採用三種不同類型的水自動滅火設備在不同火災情境下，進行全尺寸實驗，以探討其抑制與滅火能力，並針對住房內泡棉床墊火災特性加以研究分析。

同時現行《各類場所消防安全設備設置標準》第 188 條之規定，每層樓地板面積在  $500\text{m}^2$  內，以防煙壁區劃設置排煙設備。惟戲院、電影院、歌廳、集會堂等場所觀眾席以及工廠等類似建築物，其天花板高度在 5m 以上，且天花板及室內牆面以耐燃一級材料裝修者，不在此限。防煙區劃範圍為任一位置至排煙口之水平距離需小於 30m，排煙口設於天花板或其下方 80cm 之內，並與排煙風管連接。當排煙口以自然排煙之方式進行排煙至戶外時，排煙口之開口面積需大於防煙區劃面積之 2% 以上。若排煙口以機械排煙時，排煙機之排煙量需在每分鐘  $120\text{m}^3$  以上；且在一防煙區劃時，在該防煙區劃面積每平方公尺每分鐘  $1\text{m}^3$  以上；在二區以上之防煙區劃時，在最大防煙區劃面積每平方公尺每分鐘  $2\text{m}^3$  以上，但地下建築物之地下通道，其總排煙量應在每分鐘  $600\text{m}^3$  以上。

法定排煙量是否滿足現今火場需求，仍無法得知。本研究將透過電腦模擬軟體來研究裝設不同類型的排煙設備對火場煙層高度的影響。Pyrosim 是由美國 Thunderhead Engineering 公司所開發的火災模擬軟體，其數值運算模式為沿用美國國家標準及技術研究院 NIST(National Institute of Standards and Technology)附屬建築物與火災研究實驗室 BFRL(Building and Fire Research Laboratory)所開發之 FDS。本研究預計使用 Pyrosim(版本為 2019.1.0515 版，其 FDS 模擬版本為 6.7.1 版)作為電腦模擬軟體使用。本研究將配合本年度(108 年度)另一委託研究案「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」於台南建研所防火實驗中心所搭建的模型屋，建構一相似模擬居室以探討火場之煙流特性與危害分析，並模擬當有無撒水情況下，裝設排煙設備(如：自然排煙與機械排煙)對於火場煙層沉降的影響，從而評估法定排煙量是否滿足排煙性能。期望透過今年度的研究成果，對於長照機構的偵知及抑制火災的能力能夠有大幅度的提升。

#### 第四節 研究方法及進度說明

長照機構的人口結構分布，普遍以行動不便或應變能力較差的高齡者居多，由參考書目及官方資料分析得知，這些年來長照機構的火災案例從未間斷過，而該此種機構發生火災時，人員不易進行避難逃生。所以火警偵煙探測設備及水自動滅火設備的有效性，將是避免災情擴大與傷亡的重要因素。

本研究將分成三大部份進行，其研究目的為探討及驗證排煙設備之排煙性能及三種火警偵煙探測設備的偵知能力及三種水自動滅火設備的滅火效果。詳細各部份內容如下所示：

- 第一部份為電腦模擬分析，透過電腦模擬軟體(Pyrosim)進行火場居室煙流特性與危害氣體分析，並研究有無裝設排煙設備(如：自然排煙與機械排煙)在有無撒水情況下，對煙層沉降的影響，評估現今法定排煙量是否滿足排煙性能。
- 第二部份為火警偵煙探測設備的研究分析，本研究將以全尺寸實驗進行分析光電式局限型偵煙探測器(一、二種)與吸氣式偵煙探測系統的偵知能力差異，並探討起火點位置不同，對於火警偵煙探測設備其偵知時間的影響。
- 第三部份為水自動滅火設備的研究分析，本研究將以全尺寸實驗進行水自動滅火設備的滅火效果研究，並加入火警偵煙探測設備進行實驗。由實驗結果確立不同水自動滅火設備對機構住房內泡棉床墊火災特性之驗證分析。

詳細之各部份研究內容如表 1-3 所示。第一部份的研究步驟皆以「文獻回顧」及「電腦模擬分析」依序進行；第二、三部份的研究步驟皆以「文獻回顧」及「實測研究」依序進行，茲分述如下：

### (一)、文獻回顧

蒐集國內外相關消防法規、文獻、已發生的案例，進行資料統整及分析，以作為全尺寸實驗的實驗規劃依據，減少不必要或多餘的實驗成本及時間的浪費。

### (二)、電腦模擬分析

彙整文獻回顧蒐集之相關資料及相關法規規範，建構一模擬空間進行火場模擬驗證，探討有無裝設排煙設備在有無撒水情境下的模擬分析。

### (三)、實測研究

本研究預計將以全尺寸實驗進行水自動滅火設備及火警偵煙探測設備之實驗測試及驗證。本年度將利用雲林科技大學實驗室的實驗空間進行全尺寸實驗，並根據實驗結果提出長照機構使用火災探測及滅火設備參考。

表 1-3 本研究執行之研究內容表

	主題	研究內容
第一部份	Pyrosim 模擬	(1)探討住房寢室內之火場煙流特性。 (2)評估法定排煙量是否滿足排煙性能。 (3)分析自然排煙設備與機械排煙設備差異。
第二部份	火警偵煙 探測設備	(1)分析三種火警偵煙探測設備的偵知能力。 (2)分析不同起火位置對火警偵煙探測設備的 偵知能力差異。 (3)探討火源大小對偵知時間的影響。
第三部份	水自動滅火 設備	(1)比較三種水自動滅火設備的滅火效能。 (2)研究火源大小對抑制或撲滅火源的影響。 (3)確立不同水自動滅火設備對住房內泡棉床 墊之滅火效能分析。

(資料來源：本研究整理)

綜合上述，本研究流程圖如圖 1-1 所示：

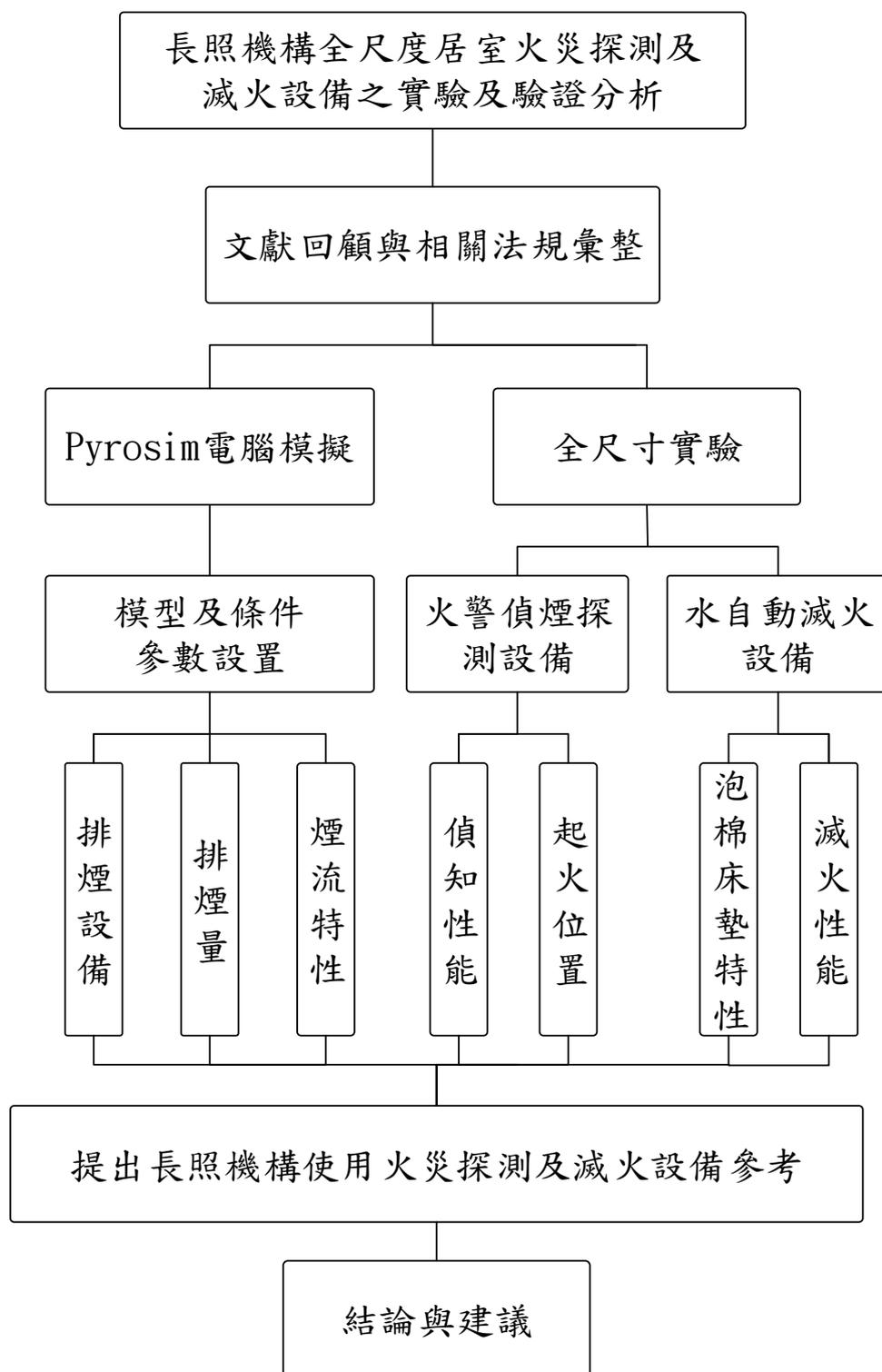


圖 1-1 研究流程圖

(資料來源：本研究整理)

本研究執行進度及預期完成之工作項目如下表所示：

表 1-4 研究進度及預期完成之工作項目表

月次 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
蒐集文獻及電腦模擬建模	■	■	■									
全尺寸實驗空間建構		■	■	■								
第一次學者專家座談會		■										
電腦模擬執行與分析			■	■	■	■						
第二次學者專家座談會					■							
期中簡報					■							
火警偵煙探測設備與水系統滅火設備架設與測試					■	■	■	■				
實驗數據分析						■	■	■	■			
第三次學者專家座談會									■			
期末簡報									■			
結案報告整理										■	■	
預定進度 (累積數)	4%	16%	28%	36%	52%	64%	72%	80%	92%	96%	100%	

(資料來源：本研究整理)



## 第二章 文獻分析與研究

### 第一節 長照機構類型與相關法規彙整

臺灣於 2018 年 3 月份起，正式邁入高齡社會。截至 107 年底，高齡人口比例達到 14.56% (343.3 萬人)，推估 2026 年將進入超高齡社會。因此，對於長照機構的安全疑慮問題，將是台灣現今極為重要的議題。為了維護老人尊嚴與健康，延緩老人失能，安定老人生活，保障老人權益，增進老人福利，特制定《老人福利法》。

依據我國《老人福利法》第二條規定：所謂老人，係指年滿 65 歲以上之人。而根據衛生福利部訂定的《長期照顧服務法》中，定義長期照顧係指身心失能持續已達或預期達六個月以上者，依其個人或其照顧者之需要，所提供之生活支持、協助、社會參與、照顧及相關之醫護服務。而長照機構係指以提供長照或長照需求之服務為目的，依該規定設立之機構。長照機構分類如下：

#### 一、長期照顧機構依類型可分為以下三種：

- (一) 長期照護型：以罹患長期慢性病，且需要醫護服務之老人為照顧對象。
- (二) 養護型：以生活自理能力缺損需他人照顧之老人或需鼻胃管、導尿管護理服務需求之老人為照顧對象。
- (三) 失智照顧型：以神經科、精神科等專科醫師診斷為失智症中度以上、具行動能力，且需受照顧之老人為照顧對象。

## 二、長期照顧機構依提供方式可分為以下三種：

- (一)居家式：到宅提供服務。
- (二)社區式：於社區設置一定場所及設施，提供日間照顧、家庭托顧、臨時住宿、團體家屋、小規模多機能及其他整合性等服務。
- (三)機構住宿式：以受照顧者入住之方式，提供全時照顧或夜間住宿等之服務。

截至 107 年底，我國長期照顧機構（長期照顧型、養護型、失智照顧型）計有 1,079 所，可供進住人數 5 萬 7,736 人，實際進住人數 4 萬 6,344 人，使用率為 80.26%，其中以失智照顧型機構使用率 93.75% 最高，長期照護型機構 81.24% 次之，養護型機構 80.2% 居第三。並且長照機構全台分佈以新北市、高雄市、台南市為全台前三多的縣市。詳細年度長照機構數量及使用量統計圖如圖 2-1、2-2 所示。

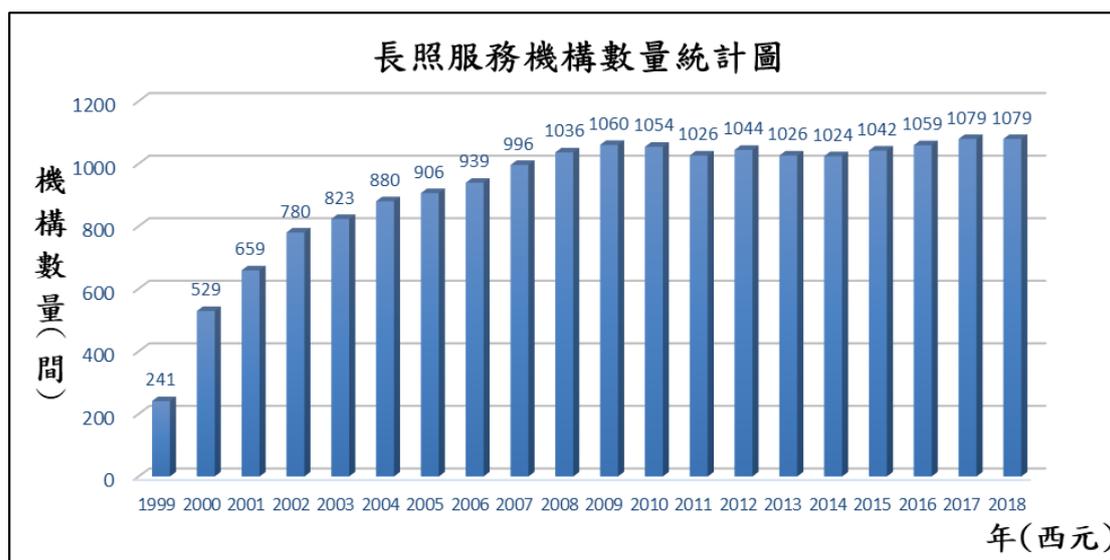


圖 2-1 老人福利機構數量圖

(資料來源：衛生福利部社會及家庭署及直轄市、縣(市)政府統計、本研究整理)



圖 2-2 老人福利機構進住使用率示意圖

(資料來源：衛生福利部社會及家庭署及直轄市、縣(市)政府統計、本研究整理)

現行台灣設立長照機構，需依照【老人福利機構設立標準】第三條之規定，符合下列規定：

- (1) 建築物之設計、構造與設備，應符合建築法及相關法令規定。
- (2) 消防安全設備、防火管理、防焰物品等消防安全事項應符合消防法及相關法令規定。
- (3) 用地應符合土地使用管制相關法令規定。
- (4) 飲用水供應應充足，並應符合飲用水水質標準。
- (5) 應維持環境整潔與衛生，並應有妨害衛生之病媒及孳生源防治之適當措施。
- (6) 其他法令有規定者，依該法令規定辦理。

對於設置及規劃排煙設備及火警偵煙探測設備及水自動滅火設備的研究探討上，為了能夠提供更為可行的建議並確保長照機構之安全性，本研究對相關法規進行整理如下：

### **排煙設備應設置場所之相關法規整理：**

(引用 107 年 10 月 17 日修正版本)

法規對於應裝設排煙設備之場所地點，依【各類場所消防安全設備設置標準】第 28 條之規定。在下列幾種場所需設置排煙設備：

- (1) 供第十二條第一款及第五款第三目所列場所使用，樓地板面積合計  $\geq 500\text{m}^2$ 。
- (2) 樓地板面積  $\geq 100\text{m}^2$  之居室，其天花板下方 80cm 範圍內之有效通風面積未達該居室樓地板面積 2% 者。
- (3) 樓地板面積  $\geq 1,000\text{m}^2$  之無開口樓層。
- (4) 依建築技術規則應設置之特別安全梯或緊急昇降機間。

### **火警偵煙探測設備應設置場所之相關法規整理：**

(引用 107 年 10 月 17 日修正版本)

法規對於應裝設火警偵煙探測設備之場所地點，依【各類場所消防安全設備設置標準】第 19 條之規定，下列場所應設置火警自動警報設備：

- (1) 五層以下之建築物，任何一層之樓地板面積  $\geq 300\text{m}^2$  者。
- (2) 六層以上十層以下之建築物任何一層樓地板面積  $\geq 300\text{m}^2$  者。
- (3) 十一層以上建築物。
- (4) 地下層或無開口樓層，樓地板面積  $\geq 300\text{m}^2$  者。
- (5) 供第十二條第一款及第五款第三目所列場所使用，總樓地板面積  $\geq 300\text{m}^2$  者。
- (6) 供第十二條第一款第六目所定長期照顧機構(長期照護型、養護型、失智照顧型)及身心障礙福利機構(限照顧植物人、失智症、重癱、長期臥床或身心功能退化者)、護理之家機構場所使用者。

## 水自動滅火設備應設置場所之相關法規整理：

(引用 107 年 10 月 17 日修正版本)

法規對於應裝設水自動滅火設備之場所地點，依【各類場所消防安全設備設置標準】第 17 條之規定，下列場所或樓層應設置自動撒水設備：

- (1) 十層以下建築物之樓層，供第十二條第一款第一目所列場所使用，樓地板面積合計 $\geq 300\text{m}^2$ 者；供同款其他各目及第二款第一目所列場所使用，樓地板面積 $\geq 1,500\text{m}^2$ 者。
- (2) 建築物在十一層以上之樓層，樓地板面積 $\geq 100\text{m}^2$ 者。
- (3) 地下層或無開口樓層，供第十二條第一款所列場所使用，樓地板面積 $\geq 1,000\text{m}^2$ 者。
- (4) 十一層以上建築物供第十二條第一款所列場所或第五款第一目使用者。
- (5) 供第十二條第五款第一目使用之建築物中，甲類場所樓地板面積合計達 $3,000\text{m}^2$ 以上時，供甲類場所使用之樓層。
- (6) 供第十二條第二款第十一目使用之場所，樓層高度超過 10m 且樓地板面積在 $700\text{m}^2$ 以上之高架儲存倉庫。
- (7) 總樓地板面積 $\geq 1,000\text{m}^2$ 之地下建築物。
- (8) 高層建築物。
- (9) 供第十二條第一款第六目所定榮譽國民之家、長期照顧服務機構（限機構住宿式、社區式之建築物使用類組非屬 H-2 之日間照顧、團體家屋及小規模多機能）、老人福利機構（限長期照護型、養護型、失智照顧型之長期照顧機構、安養機構）、護理機構（限一般護理之家、精神護理之家）、身心障礙福利機構（限照顧植物人、失智症、重癱、長期臥床或身

心功能退化者) 使用之場所。

前項應設自動撒水設備之場所，依本標準設有水霧、泡沫、二氧化碳、乾粉等滅火設備者，在該有效範圍內，得免設自動撒水設備。

第一項第九款所定場所，其樓地板面積合計未達一千平方公尺者，得設置水道連結型自動撒水設備或與現行法令同等以上效能之滅火設備或採用中央主管機關公告之措施；水道連結型自動撒水設備設置基準，由中央消防機關定之。

## 第二節 國外相關文獻分析

關於長照機構的相關文獻整理，美國 NFPA101，Life Safety Code【3】之規定，在日間照顧居住(day-care occupancy)及健康照護居住(health care occupancy)必須設置自動撒水系統且應具備高於一小時之防火時效且存放易燃物質與材料之區域、設備維修室等具有高度可燃物質或是較容易發生火災之場所，也皆應設置自動撒水系統，以確保人員的日常生活安全。

根據日本「消防法施行令」【4】第二章消防設備的第三節第二款消防設置基準的規範中，第十二條規定撒水設備應設置於下列所示之防火目標對象或該部分，說明第六項所示防火目標對象，及老人福利機構設置場所，且位於樓層總面積達 275m<sup>2</sup> 以上之建築物則應設置自動撒水設備，除具備總務省令所規定於火災發生時，有抑制火勢蔓延功能之結構以外者。第十二條規定第六項場所類別，即老人福利機構所處建築物之樓層達十一樓以上者則需設置自動撒水。第十二條中亦指出撒水頭防護半徑之規範。其防火目標對象或該部分為防火建築物，則撒水頭之防護半徑為 2.3 公尺以下，但高感度噴頭為總務省視該撒水器之效能所規定之距離。

對於支撐用梁柱等主要建築結構而言，防火區劃則應具有三小時以上之防火時效，防煙垂壁應具有一小時以上之防火時效。但在 The BOCA National Building Code【5】規定，新建與擴建之建築之要求應符合現今法規之要求，並且其防煙垂壁等相關構造至少需具有二小時以上之防火時效。同時對於防火門的要求為常閉式防火門應有自動關閉功能，常開式防火門應設置有火災時連動關閉裝置。

日本「建築基準法施工篇」【6】規定主要結構部分為防火結構，其樓層總面積超過  $1,500\text{m}^2$  者，必須以標準規定之防火結構地板、牆壁或特定防火設備區劃，且遭遇一般火災時，於加熱開始後約一小時內，火焰不會延燒至加熱面以外之面，於地板面積(裝設撒水設備、水噴霧滅火設備、泡沫滅火設備及其他類似之自動式設備部分的地板面積約二分之一除外。)每  $1,500\text{m}^2$  內劃分區域。

另外對於火災發生的原因，學者 Ahrens 【7】統計 1999 到 2002 間，美國地區老人養護機構火災之災害起源，其結果顯示：超過三分之一是由廚房之烹調材料引起；電線走火占 12%；床墊、被褥占 6%；換洗衣物占 4%，其中又因床墊、被褥、換洗衣物等所引起之火災造成之傷亡最為慘重。而對於消防安全設備的使用上，學者 Zhang 【8】等人研究調查美國地區老年人住戶的消防安全設備及相關危險因素。結果發現老人住宅內裝設電器安全開關有 56%、滅火器有 18%、防火毯有 10%，而住宅內安裝偵煙式探測器則有 72%，但有將近四分之一的老年人從未注意過逃生動線。由此可知，當發生火災，消防安全設備的有效性對於老年人來說是非常重要的，不安全的居住環境可能造成老人住宅火災率的上升。

### 第三節 國內相關文獻分析

林鴻志【9】在 2005 年的研究中指出，台灣地區已邁入高齡化社會，安養及養護機構如雨後春筍般因應設立。良好的居住條件應將周遭設施及使用者的使用情況納入考量。因此對於長照機構的規劃設計上，對於生理逐漸退化之高齡者的日常行為及特性皆為設計重點所在，必需兼顧高齡者行為特性與避難安全性。

因此，要如何提高安養及長照機構的初期滅火能力、及早偵知火災能力，以及確保安全的避難逃生，必須瞭解該種機構內的防火避難特性及內部住民特性。內政部建築研究所於 104 年提出「老人福利機構防火及避難安全參考手冊」以提供經營者及設計者於改善時之參考，藉由手冊的推廣提升國內相關機構的火災安全，建立安全的照護及養護環境。

對於高齡者的移動速度，學者陳玠佑【10】於 2009 年研究得出老人與病患的避難步行時間比一般人多花 2~2.5 倍的時間。由此可知，高齡人口進行疏散避難是極為不方便且需要安排額外的看護人員以協助帶領疏散逃生，才能達到較佳的疏散時間。國內對於老人福利機構的安全性仍存在雖合法但無法確保安全之窘境，學者李惠閔【11】在 2015 年的研究中發現，當災民以「手動滅火設備（滅火器、室內消防栓）」進行滅火時，受火災規模、人為因素等影響，約有 40% 火災件數是無法撲滅；而「自動撒水設備」卻高達 92% 火災件數均能撲滅，顯示該設備具有非常高的可靠性；同時「警報設備」、「排煙設備」在火災發生時，高達 60~70% 能正常發揮功能，惟該設備總體故障率偏高，故被動式消防設備對於長照機構非常重要。

學者劉芸蓁【12】在 2012 年研究老人機構防火煙控避難性能改善技術研究，由實驗結果得知火源設置於撒水頭正下方，較有助於滅火，當撒水頭燒破即能有效地滅火，故將來如床位等可燃物應儘量設計接近撒水頭。採用預動式撒水頭較開放式撒水頭為佳，由於探測器作動時，因煙層正在產生，撒水頭若立刻撒水，會造成亂流情形。設置並關閉安全門較可減少火煙進入老人機構居室之其他空間，可有效增加之老人救援時間。

對於手動滅火設備之研究，學者雷明遠【13】在 2015 年研究得知滅火設備可以降低小型火災（例如垃圾桶起火）發展成大型火災的風險。同時適當的滅火器的安全使用，可以在火災的初期階段就將之控制、透過對承受風險的人員提供協助，大幅地降低場所內其他人員所承受之危害風險。此外部分場所可能有裝設如消防栓等類似的滅火設備，使用此種設備，需要由經過訓練之人員或消防員使用，未經訓練之人員不應期待讓他使用消防栓來滅火，故對於主動式滅火設備需要加強其教育訓練，以達發生災情時可以被使用。

學者張慧蓓【14】在 2010 年研究老人養護機構之安全管理，以 FDS 火災模擬軟體模擬結果得知，在無撒水系統情況下，在避難時間 200 秒後之熱釋放率，將高達 1000kW。反之，若使用 K 值為 115 lpm/bar<sup>1/2</sup>，壓力為 1 kgf/cm<sup>2</sup> 的撒水頭，並使用 2 馬力之幫浦，作為火勢控制之條件，從模擬結果得知當火災發生時，所噴灑之水量可以有效降低室內溫度至 150°C 以下，其設置費用只有消防幫浦的三分之一，確實可符合經濟效益，可增加救援時間，保障生命安全。隔年，學者謝明諺【15】以原有室內消防栓系統之消防蓄水池或一般民生用蓄水塔作為水源供應，透過幫浦與配管，並利用自動警報系統連動發展簡易式自動撒水設備，可達初期滅火之效。在其研究中所設計之簡

易式自動撒水設備，其實際之滅火能力，可於單顆一般反應型撒水頭之撒水情況下，對距離 2.3 公尺處，熱釋放率達 288.99 kW 之 A 類木框架火災達成滅火之效。

排煙設備於長照機構之研究，從學者范韶均【16】於 2015 年的案例調查發現，相關機構於防火避難上之共通問題出現之頻率依序為：居室未考慮排煙設計、無設置等待救援空間、護理站未設置防煙垂壁、梯廳無設置區劃、垂直送餐設備無遮煙設備、設有直通樓梯、避難路徑堆置雜物等。若居室未考慮排煙設計，即使為最多輔助避難人力之情境，多數機構仍無法全員完成避難。最後其研究檢討各居室應確保之最小自然排煙窗面積，其所需之排煙窗面積會因居室面積和床數有所不同，約為  $0.35\text{m}^2\sim 4.83\text{m}^2$ 。

學者高志瑋【17】在 2014 年研究中發現對於牆上的自然排煙來說，增加排煙口的高度比增加排煙口寬度，其效能提升高。而當居室中自然排煙無法達到安全條件時，建議安裝機械排煙為輔，可以增加避難等待空間的受援時間及增加避難成功率及逃生率。在有撒水情境下對於煙層高度之研究，學者張依如【18】以傢俱、辦公椅、油池作為火災情境之燃料進行研究，由研究結果發現，實驗空間所設定之排煙量在最大抽風量(35.7CMM)情況下，於 1.8m 高度也就是避難人員高度來看，其能見度比無抽風情況有改善趨勢。另外在撒水的情境下，由於撒水所造成的衝擊力，使得空間煙層無法保持完整，呈現亂流趨勢，但針對 1.8m 之高度能見度變化可看出，撒水是具有正面效應，其中以 PU 泡棉於有撒水情況下能見度呈現維持 10m 以上。

藉由上述國內外相關文獻資料，其要點進一步整理分類如下：

- **火警偵煙探測設備**

1. 研究發現，「警報設備」火災時高達 60~70%能發揮正常功能，惟該設備總體故障率偏高。
2. 自動火災偵測系統的錯誤警報，是所有消防和救援單位誤報的主要問題。為了要降低誤報的次數，系統設計和偵測的位置和啟動裝置，必須要依照場所現有用途進行審查。

- **水自動滅火設備**

1. 自動撒水設備過去多用於滅火，不過若能將其形成水幕的特性，配合用於避難等待空間，對於火煙的隔絕，可以增加避難等待空間的受援時間。
2. 以原有之室內消防栓系統之消防蓄水池或一般民生用蓄水塔作為水源供應，透過幫浦與配管，並藉由自動警報系統連動發展簡易式自動撒水設備，可達初期滅火之效。
3. 實驗結果得知火源設置於撒水頭正下方，較有助於滅火，當撒水頭燒破即能有效地滅火，故將來如床位等可燃物應儘量設計接近撒水頭。

- **排煙設備**

1. 研究發現對於自然排煙來說，增加排煙口的高度比增加排煙口寬度效能來的高。
2. 當居室中自然排煙無法達成安全條件，建議安裝機械排煙為輔，可以增加避難等待空間的受援時間及增加避難成功率及逃生率。
3. 研究結果得知各居室應確保之最小自然排煙窗面積，其所需之排煙窗面積會因居室面積和床數有所不同，約為  $0.35\text{m}^2\sim 4.83\text{m}^2$ 。

## 第三章 偵知及滅火設備介紹

### 第一節 火警偵煙探測設備型式

依據《各類場所消防安全設備設置標準》第 19 條第 1 項第 7 款之規定：供第十二條第一款第六目所定長期照顧機構（長期照護型、養護型、失智照顧型）及身心障礙福利機構（限照顧植物人、失智症、重癱、長期臥床或身心功能退化者）、護理之家機構場所使用者，應設置火警自動警報設備。

市面上火警自動探測器以感熱式及偵煙式較普遍，對長照機構而言，裝設偵煙式數量比例遠高於感熱式探測器。推測其原因為該機構住民大多是行動不便或是無法行動之長者，避難不易，故需藉由裝設光電式侷限型偵煙式探測器(圖 3-1)，以期在火災初期偵知並採取適當反應，且光電式侷限型偵煙探測器具有低成本、安裝容易等優點。

因此，偵煙探測設備其偵知及反應速度將大幅度的決定災害的嚴重程度，若能及早偵測到火警，便有足夠的時間撲滅火勢或通報火警，縱使無法撲滅火勢也能夠爭取到更多的逃生時間。所謂光電式探測器，依據我國《火警探測器認可基準》之定義，為周圍空氣中含煙濃度達到某一限度時即會動作，原理係利用光電束子之受光量受到煙之影響而產生變化。

依《火警探測器認可基準》，光電式侷限型偵煙探測器(二種，非蓄積型)其動作試驗，應在含有每公尺減光率 1.5K(二種，K 為 10)濃度之煙，以風速 20~40 cm/sec 之氣流吹向時，應在 30 秒內動作；其不動作試驗，應在含有每公尺減光率 0.5K(二種，K 為 10)濃度之煙，

以風速 20~40 cm/sec 之氣流吹向時，應在 5 分鐘內不得動作。K 值為標稱動作濃度，以減光率表示。所謂減光率為發光部與受光部相隔一定距離，若此空間中有煙存在時，將會減少其光度。



圖 3-1 光電式偵煙探測器實景圖  
(資料來源：本研究整理)

但對於有大量避難弱勢人員的場所(如：長照機構)，則需要一種能更加迅速偵知火災發生的探測系統。目前吸氣式偵煙探測系統 (aspirating smoke detector system, 簡稱 ASD) 可針對火災極早期階段進行偵測，又稱為空氣取樣型偵煙探測器 (air sampling-type detector)。國際上將 ASD 火災探測器的運作方式定義為「透過管道由風扇或抽氣泵抽取被防護空間的空氣樣本至中心 (遠端) 檢測點，以監測被防護空間內存在煙霧與否的火警探測器」(BS 5839-1:2002)。它的偵測原理是靠主機內部的抽氣泵，透過延伸至偵測區域的空氣取樣管路將空氣樣品抽回偵測室進行檢測，當空氣中的煙霧濃度達到一定程度時，系統立即發出警報，詳細運作示意圖如圖 3-2 所示。

ASD 的主要優點如下：

- (一)極早期警報：能在局限型或光電分離型偵煙式探測器動作之前，對潛在火災煙霧之警示特別靈敏。
- (二)強化煙感度：為克服煙霧可能被周圍環境氣流所稀釋(如:高天花板場所)，可依自身需求提高 ASD 的煙感度，適用於需比正常值更高的場合。
- (三)ASD 探測器之靈敏度判斷為煙霧對光線之遮蔽程度，用空氣中煙霧含量或濃度的百分數表示。單位為遮光率 (obscuration) 、計量單位為： $\% \text{obs/m}$ 。英國 FIA 及 EN 54-20，ISO 7240-20 等相關規範均對 ASD 系統探測器之靈敏度分成 A、B、C 三級，如下所示：

- (1) Class A 極高靈敏度 ( $< 0.8 \% \text{ obs /m}$ )
- (2) Class B 強靈敏度 ( $0.8 \% / \text{m} \sim 2.0 \% \text{ obs /m}$ )
- (3) Class C 一般感度 ( $> 2.0 \% \text{ obs /m}$ )

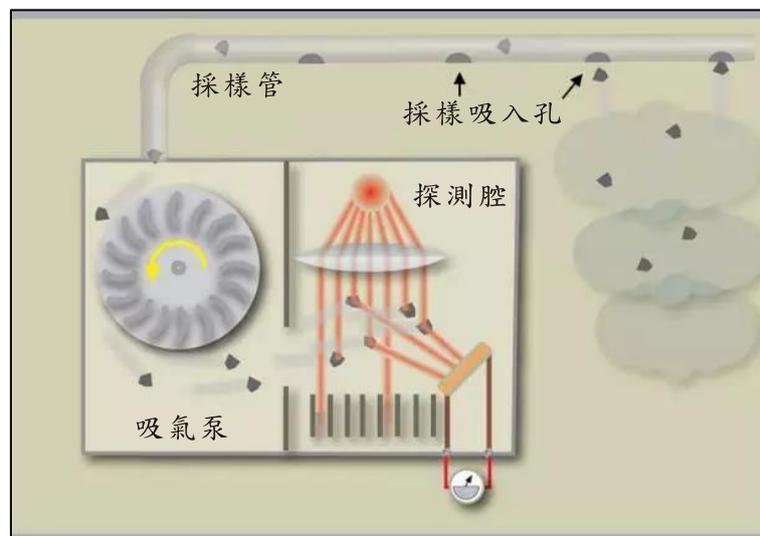


圖 3-2 吸氣式偵煙探測系統示意圖

(資料來源：本研究整理)

考量到安養及長照機構內的人員性質，必需避免偵煙探測器因誤報而激發水自動滅火設備，從而造成住民傷害的情形發生。因此吸氣式偵煙探測器的靈敏度設計成為非常重要的設計參數。ASD 靈敏度與其採樣孔數量有關，當採樣孔數量越多時單一採樣孔的進氣比例就越小，需要更高濃度的煙霧才能讓探測主機激發警報。另外，靈敏度(警報閥值)的設置與環境的煙霧背景值高低有關，例如開放的倉庫區，平時會有貨物及車輛進出，在這種環境下因振動產生的灰塵及戶外揚塵，車輛排放的尾氣都會使環境煙霧背景值增加。

本研究將延續對光電式侷限型偵煙探測器的研究，探討光電式侷限型偵煙探測器(一、二種)及吸氣式偵煙探測系統的偵知性能差異，並藉由全尺寸實驗加以探討及驗證，當起火點位置不同時，不同類型的火警偵煙探測設備其偵知時間的影響差異。

## 第二節 水自動滅火設備種類

一百零七年十月十七日修正《各類場所消防安全設備設置標準》第十七條，其第三項規定：「第一項第九款所定場所，其樓地板合計未達一千平方公尺者，得設置水道連結式自動撒水設備或與現行消防法令同等以上效能之滅火設備或採用中央主管機關公告之措施。」不過對於水道連結型自動撒水設備或同等以上效能之滅火設備之實際滅火效果，有必要以全尺寸實驗來驗證其滅火性能。本研究將針對三種不同的水自動滅火設備(一般自動撒水、水道連結型、低壓細水霧)，透過全尺寸實驗進行測試其滅火性能，並確立不同的水自動滅火設備對機構住房泡棉床墊之滅火效能。

### ● 一般自動撒水

自動撒水設備為在防護區域上方，依規定之距離裝設撒水頭，並以管路將所有撒水頭連接，同時設置流水檢知裝置、控制閥、加壓送水裝置、水源、緊急電源等機件構成。其工作原理為平時將自來水儲存至消防水箱內，利用泵浦加壓維持水管內部壓力，當偵煙探測器(或感知撒水頭)偵測到啟動溫度或煙層濃度後，從而激發加壓送水裝置，遂由撒水頭噴出水流，以抑制火勢蔓延、撲滅初期火災。自動撒水設備主要構成組件如下：

- (1) 水源
- (2) 加壓送水裝置(重力水箱式、壓力水箱式或消防幫浦式)
- (3) 送水口
- (4) 撒水頭
- (5) 流水檢知裝置(自動警報逆止閥、乾式閥、預動作閥等)
- (6) 啟動裝置及一齊開放閥
- (7) 補助撒水栓(含栓箱消防水帶、放水瞄子等)
- (8) 配管
- (9) 緊急電源

自動撒水設備依種類可分為密閉濕式、密閉乾式、開放式、預動式，詳細種類介紹如表 3-1、表 3-2、圖 3-3 所示。

表 3-1 自動撒水設備選用原則

種類	選用原則
密閉濕式	最普遍使用之種類。除寒帶地區、精密電腦機房、開放舞台外，均適用。
密閉乾式	適用於寒冷地區，管線內之貯水有結冰之虞之場所。
開放式	適用於密閉式撒水設備無法有效滅火且有迅速擴大火勢之虞之場所。
預動式	採雙層感應確認，有效防止誤動(觸)的發生，適用於電腦等精密電氣室。

表 3-2 自動撒水設備作動流程

種類	作動流程
密閉濕式	平時管內儲滿高壓水，撒水頭作動時，即由撒水頭將水撒出。
密閉乾式	平時管內儲滿高壓空氣，撒水頭作動時先排空氣，隨即撒水。
開放式	平時管內無水，作動時由探測器火感知撒水頭自動或手動啟動一齊開放閥，隨即整個放水區域同時撒水。
預動式	平時管內儲滿低壓空氣，以感知裝置啟動流水檢知裝置，讓水流入二次測配管，撒水頭立即排水。

(表 3-1、3-2 資料來源：本研究整理)



圖 3-3 乾式與濕式自動警報閥與各式撒水頭  
(資料來源：參考書目 19)

### ● 水道連結式自動撒水設備

依《各類場所消防安全設備設置標準》第十七條第三項授權規定，擬具「水道連結型自動撒水設備設置基準」，並明文規定水道連結型自動撒水設備用詞定義、適用範圍、設置類型、設置規定及自來水事業審核等。水道連結式自動撒水設備為利用場所內自來水系統連結水箱、增壓給水裝置、撒水配管、水道連結型撒水頭之簡易自動撒水滅火設備，如圖 3-4 所示。在依法裝設水道連結式自動撒水設備時，可排除設置標準第四十四條至第四十六條、第五十條至第五十五條、第五十七條至第六十條之配管、配件、屋頂水箱、竣工時之加壓試驗、配置、放水量、放水壓力、流水檢知裝置、水源容量、加壓送水裝置、送水口及緊急電源等規定，但假如撒水頭放水壓力低於規定之最低放水壓力  $1\text{kgf/cm}^2(0.1\text{MPa})$  時，得加設增壓供水裝置或其他有效增壓措施，另外其水源容量需滿足以四顆水道連結型撒水頭持續放水二十分鐘以上。

目前各國簡易自動撒水設備與住宅型撒水頭之類型及水量，考量到場所內容火載量並非大型公眾使用場所之火載量，因此撒水頭水量及放射量的設置要求比傳統撒水頭小，水源容量的空間需求也隨之下降，對於長照機構之改善能有較大的空間彈性。但因老人福利機構所設立的位置不同，空間配置也不同，水源配置方式應依機構之現況進行規劃，以滿足不同機構之需求。

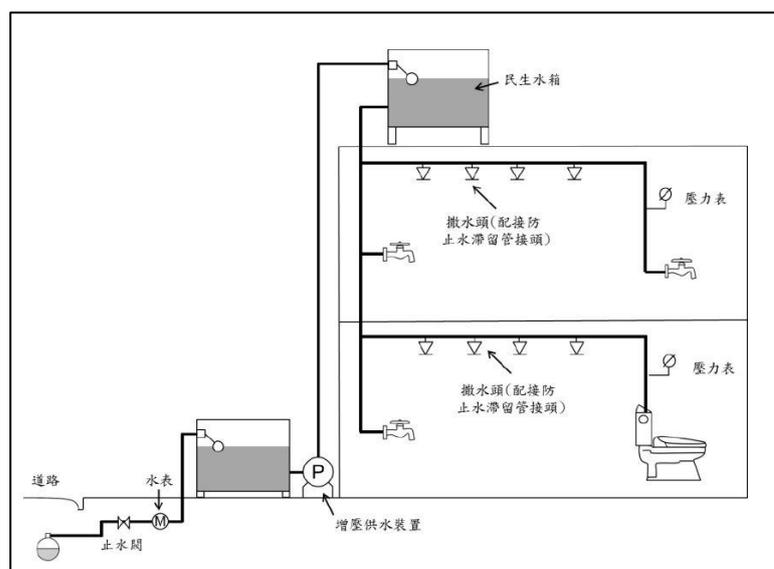


圖 3-4 水道連結式撒水頭之裝設示意圖

(資料來源：本研究整理)

由文獻【15】得知，若要加裝簡易自動撒水設備，在成本考量上，蓄水塔、受信總機及探測器等級為機構中之原有設備，需再選購五馬力幫浦約 17,000 元、電磁閥約 4,500 元、配電控制盤約 8,000 元、開閥電線迴路等另料約 2,000 元，目前金額共約 32,000 元不等。另外，其架設工資中還需包含配管及撒水頭等費用，經由訪談及詢問從事此業務之專業消防公司人員，得知其實務上架設工資之計算方式，如一般小型老人福利機構 3~5 人房之空間大小，每房約需 5,500 元之費用。然而就小型老人福利機構而言，人數在 50 人以下，概估空間區隔約為十間房間，則需約 55,000 元之架設工資。並且考量小型老人福利

機構每年應執行二次之消防安檢及其設備維護費用約 15,000 元。再加上先前估算之金額，預計控制在 100,000 元以下之費用。裝設簡易式自動撒水設備較一般法規要求之自動撒水系統在成本考量上更為精簡，也能提升小型老人福利機構之消防自動滅火能力，同時兼顧經濟效益之成本考量，大幅提升其可行性與小型老人福利機構業者的接受度。由表 3-3 比較自動撒水與簡易式自動撒水設備系統構成要件之比較表。

表 3-3 自動撒水設備裝設費用表

自動撒水設備設置費用	
種類	價格(元)
水道連結型自動撒水設備	約 70,000
細水霧自動撒水設備	約 200,000~300,000
一般自動撒水系統	約 400,000~500,000

(資料來源：參考書目 15)

### ● 低壓細水霧

水霧滅火系統的工作原理為利用水霧噴頭在一定水壓下將水流分解成細小水霧滴進行滅火及防護冷卻的一種固定式滅火系統。低壓細水霧的設備構件主要由消防水源、加壓送水裝置、配管、一齊開放閥組、過濾裝置和水霧噴頭等組成。在火場中，藉由產生水霧來冷卻燃燒物的溫度並且降低燃燒物的燃燒速率。然而使用低壓細水霧進行滅火時，可能會阻礙排煙系統的功能，而排煙系統也可能影響低壓細水霧的滅火效能。

水霧滅火系統是在自動撒水系統的實務基礎上發展應用的，不僅安全可靠，經濟實用，而且具有適用範圍廣，抑制火源成長效率高之優點。低壓細水霧常見為四種滅火原理，分別為冷卻作用、窒息作用、乳化作用、稀釋作用，其詳細各作用之工作原理如表 3-4 所示。該系統不僅能夠撲滅固體火災，尚可撲滅液體火災和電氣火災。除滅火之外，而且可用於控制火勢和防護冷卻。

表 3-4 低壓細水霧之滅火原理介紹表

冷卻作用	利用水霧噴頭噴出霧狀微小水霧，均勻分佈在燃燒表面上，使水霧吸收大量蒸發潛熱，達到燃燒表面溫度降低，提高冷卻效果。
窒息作用	當水霧接觸到高溫時將迅速形成大量水蒸汽，因水蒸汽體積急遽膨脹，遮擋火源所需氧氣，達到窒息目的。
乳化作用	在噴出之水霧內攪拌油面層，使油氣擴散至水霧中，使可燃性油類表面上形成一層不燃性乳化層，阻擋可燃性油類繼續蔓延燃燒，達到滅火目的。
稀釋作用	噴出之水霧內含有極性溶液等水溶性可燃液體，藉由使火場燃點提高，造成無法繼續燃燒。

(資料來源：本研究整理)

### 第三節 熱煙危害與煙流特性

煙是火災發生時無可避免的一種產物。在火場中，可燃物因氧化作用而迅速放熱增溫，引起極速猛烈的燃燒。燃燒的過程中更有一種「熱分解反應」或稱之熱解的現象產生。熱解係指物質由於溫升而產生無氧化的一種不可逆化學分解，會造成大量煙氣產生。煙通常由下列三種型態所組成：

- 一、從燃燒物質中釋放出高溫蒸氣與有毒氣體。
- 二、已分解和凝固的未燃燒物質(煙的顏色範圍從淺色到黑色不均)
- 三、大量的空氣被火焰加熱進而造成渦旋型式的流動。

「各類場所消防安全設備設置標準」第 28 條規定下列場所應設置排煙設備：

- (1) 供第十二條第一款及第五款第三目所列場所使用，樓地板面積合計在 500m<sup>2</sup> 以上。
- (2) 樓地板面積在 1,000m<sup>2</sup> 以上之居室，其天花板下方 80cm 範圍內之有效通風面積未達該居室樓地板面積 2% 者。
- (3) 前項場所之樓地板面積，在建築物以具有一小時以上防火時效之牆壁、平時保持關閉之防火門窗等防火設備及各該樓層防火構造之樓地板區劃，且防火設備具一小時以上之阻熱性者，增建、改建或變更用途部分得分別計算。

火災中煙流會造成能見度降低而阻礙人員避難逃生。能見度的高低將取決於煙的成份、濃度、微粒的大小與多寡、分佈情況、照明設備及人員現場的心理狀態。火場高溫熱煙如果濃度過高或暴露在其中的時間過長則容易導致吸入過多煙氣而導致昏迷、休克，嚴重甚至會造成死亡。此類煙氣大多為有機煙粒及酸性氣體，如遭受 HCl 此種氣體刺激會快速引起眼睛、呼吸道及肺的疼痛，接著造成呼吸困難等症狀。在未達閃燃點前火災中所產生的痲痺性有毒氣體其成份主為一氧化碳與氰化物。建研所於 2014 年提出在避難逃生路徑上，當避難人員於 1.8m 高處進行避難時，可視距離對避難人員的影響說明，如表 3-5 所示。

表 3-5 煙霧濃度與可視距離的關係表

可視距離	狀況說明
20-30m	煙霧剛發生時之淡薄濃度，煙霧探測器開始有反應，此時對不熟悉建築物動線的人會有避難障礙
5m	對於熟悉建築物動線的人亦會有避難障礙
3m	感覺昏暗時的濃度，避難人員需摸黑前進
1~2m	幾乎看不見前方
低於 1m	火災旺盛期之濃度，幾乎完全看不見，誘導燈也看不見

(資料來源：參考書目 20)

火災中除了有毒氣體外，高溫煙流所伴隨的高溫也會經由對流、傳導效應與輻射效應對人體造成皮膚及呼吸道灼傷，而濃煙微粒也會使人員在避難路線上遭受封阻。基本上避難人員最少需要 8~10m 的

可視距離才能通過煙區，而當避難人員因視線不良無法辨識避難路線時，往往因避難不及而造成嚴重傷亡，此時大多數的火源將產生令人眼睛不舒適且刺激的感覺，但還不至於造成使人昏厥的現象。

如果暴露於上述煙流小於五分鐘內，還不至於吸入過量的麻痺性有毒氣體而昏厥，但仍需注意樓層上方之高溫煙流的熱輻射效應，依舊會對人體造成嚴重的傷害。當皮膚在超過  $1.7 \text{ KW/m}^2$  的環境下便會受到傷害，依傷害程度不同可分為輕度、重度灼傷，嚴重者甚至於死亡。熱輻射值達  $3.0 \text{ KW/m}^2$  時，皮膚暴露超過 10 秒就會造成傷害，而達  $7.0 \text{ KW/m}^2$  時，暴露超過 2 秒即會燒傷。人體暴露在一般有毒氣體之情況如表 3-6 所示。人體能承受危害程度的指標分析，如表 3-7 所示。

表 3-6 人體暴露在有毒氣體之情況

一氧化碳濃度(ppm)	症狀
100(0.01%)	8 小時內尚無感覺
400~500(0.05%)	1 小時內尚無感覺
600~700(0.07%)	1 小時內感覺頭痛、噁心、呼吸不暢
1000~2000(0.2%)	2 小時內意識朦朧、呼吸困難、昏迷、痙攣、逾 2 小時即死亡
3000~5000(0.5%)	20~30 分鐘內即死亡
10000(1%)	1 分鐘內即死亡
二氧化碳濃度(ppm)	症狀
1~2%	數小時內安全
3~4%	1 小時內安全
5~7%	30 分鐘~1 小時即有危險
20% 以上	短時間內即可死亡

(資料來源：參考書目 21)

表 3-7 人體承受危害程度之指標分析表

	承受極限
火場溫度	氣流溫度需低於 60°C (30min 內)
有毒氣體	CO 濃度需低於 1400ppm CO <sub>2</sub> 濃度需低於 50,000ppm
煙層濃度	能見度不得低於 8m
熱輻射值	不得超過 1.7 KW/m <sup>2</sup>

(資料來源：參考書目 22、23)

當建築物發生火災，形成一高溫熱煙火場，若氧氣供給不充分，物質燃燒不完全將產生大量的固體微粒，而熱空氣之密度較冷空氣低，將形成一明顯的上升氣流，隨著氣流移動，高溫煙流快速擴散到建築物內每一角落。基本上建築物火災中產生的煙和高溫氣體流動有兩個主要因素：

1. **煙層本身的流動性**：這是因為所包含的高溫氣體比周圍空氣的密度低。
2. **建築物內空氣流動**：雖然與火完全無關，但因空氣的流動，而會將煙送至建築物內各處。

這兩個因素互相的影響大小，取決於建築物內不同的情況，通常靠近火場的地方，煙層本身的流動性將處於主要原因，而相反的，距離火場較遠的地方，建築物內空氣流動就變得相當重要。針對火場的煙流特性，可分為以下幾種特性：

1. **煙囪效應**：因建築物內部空氣與室外空氣溫度不同產生壓力差所造成。在建築物內部垂直通路內，產生上升的氣流稱為正煙囪效應（Normal stack effect），相反的話，氣流下降即為反煙囪效應（Reverse stack effect）。影響氣流流動方向的主要因素，取決於建築物內部空氣與室外空氣的溫度差異高低。
2. **煙的熱浮力效應**：因火焰上方的高溫氣體與周圍冷空氣之間的密度不同，煙的密度較低，相對的產生煙的浮力。
3. **風的影響效應**：在建築物不同方位之開口，因風向的關係，便有不同的壓力。當建築物所有門窗或開口部都緊閉時，風的影響便極輕微，但所有建築物都有或大或小的孔隙，如：門縫，窗縫等，這些孔隙將因風的影響，使建築物內部的空氣產生流動。
4. **機械通風系統**：由於現有建築物以密閉空間居多，大都採用空調通風系統，尤其是中央空調系統通達各樓層，一但某一樓層發生火災，所產生之煙霧，便利用回風與送風風管，將煙傳送到很遠的地方。另一方面，空調系統也正被設計成為煙控的管道，利用防火、防煙閘門（Damper）控制煙之流動，或利用空調管進行排煙，使空調系統發揮更大的功用。



## 第四章 排煙性能之電腦模擬分析

### 第一節 軟體介紹

Pyrosim 是由美國 Thunderhead Engineering 公司所開發的火災模擬軟體，其數值運算方式為參照美國國家標準及技術研究院 NIST(National Institute of Standards and Technology)附屬建築物與火災研究實驗室 BFRL(Building and Fire Research Laboratory)所開發的 FDS。本研究將使用 Pyrosim 版本為 2019.1.0515 版，其 FDS 版本為 6.7.1 版作為電腦模擬軟體使用。

**Pyrosim 電腦模擬軟體具有以下特點：**

1. 具有直接回饋幾何形狀的優點，大幅度降低建構空間及設置邊界條件的困難度。
2. 可由外部匯入 2D 或 3D 的圖檔，能快速建構模擬之幾何輪廓。
3. 確保轉換之 FDS 文件輸入格式及語法正確，省略除錯的時間。

火災模擬軟體主要用於模擬火源燃燒時所產生的熱傳與熱浮力等等相關的流體問題。軟體運算求解法以 Navier-Stokes 方程組為基礎，用於求解低速流場、煙流及熱傳遞的現象。其模擬流程是將三維空間分割成多個細小網格後，帶入數值公式求解各個守恆之統御方程式，以獲得火場中的壓力、溫度、速度和煙流動等等火災相關物理數據，並且模擬後的數據結果可搭配後端處理軟體(Smokeview, SMV)，呈現火場煙流現象及火場場景。圖 4-1 即為 FDS 與 Smokeview 之組織架構與工作流程圖。

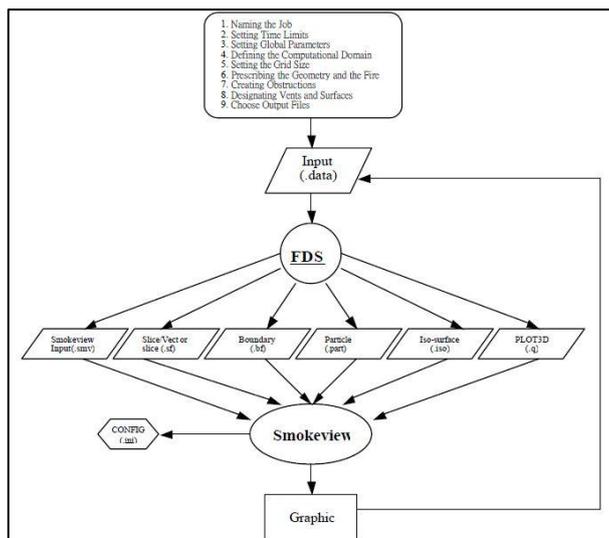


圖 4-1 FDS 與 Smokeview 之運算架構及工作流程圖  
(資料來源：參考書目 24)

### Pyrosim 操作步驟主要分成三個階段：

#### 一、創建幾何形狀及設置邊界條件：

Pyrosim 可提供 2D 或 3D 的建模功能，採用基本的點線面來建構模擬所需之模型尺寸、物件規格、網格大小及邊界條件等等。同時 Pyrosim 可同步匯出成 FDS 運行計算文件格式檔(.fds)以利後續數值運算。

#### 二、數值解：

數值解為火災模擬軟體的核心部分，Pyrosim 將已設置的模型架構及邊界與條件參數轉換成 FDS 運行碼後，以 FDS 的運算流程進行求解。

#### 三、後處理：

將數值求解完的結果匯入 Smokeview，以 3D 的動畫效果來呈現火場場景，也可透過設置斷面層或偵測點來瞭解不同斷面的參數分佈現象。

## 第二節 模擬空間建構及參數規劃

本研究採用 Pyrosim 進行電腦數值模擬，探討當長照機構發生火災時，在有無撤水情況下，裝設排煙設備對火場煙流沉降之危害影響，並評估現今法定排煙設置是否滿足避難逃生需求。

### 一、空間規劃

依照 108 年度內政部建築研究所另一委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗規劃之實際模型屋，進行模擬空間設置。現勘起火室樓地板為長 8.0m×寬 6.0m，面積約為 48m<sup>2</sup>(圖 4-2)，置入相同配置如床位、床頭櫃等，以契合全尺寸實驗情境，實際與模擬空間對照如圖 4-3、4-4 所示：

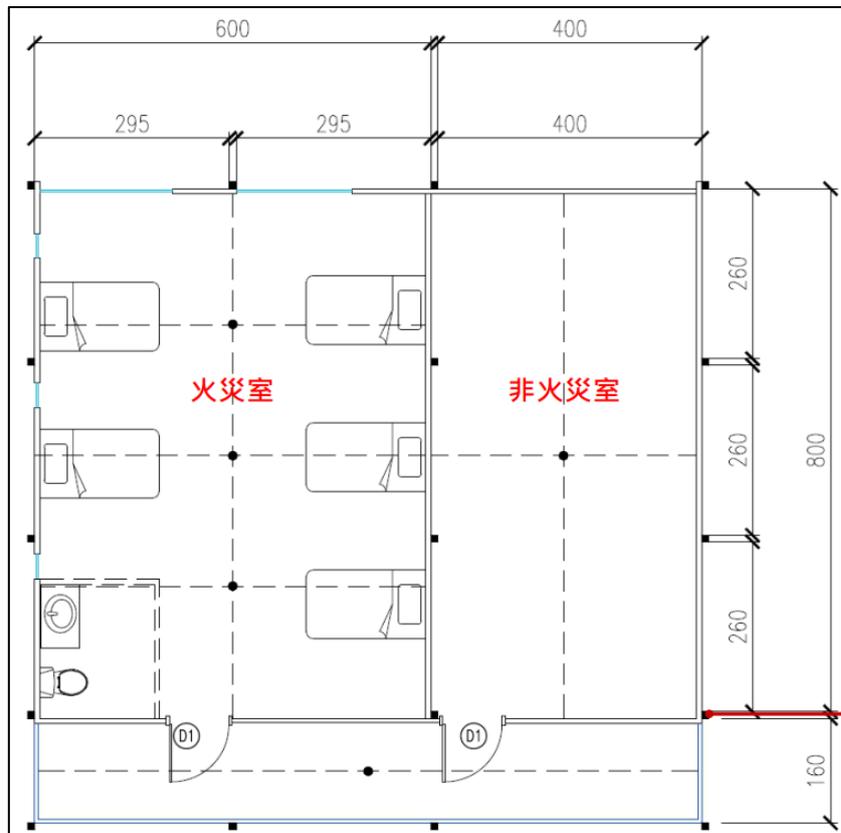


圖 4-2 現勘起火居室空間平面圖

(資料來源：108 內政部建築研究所「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」)



圖 4-3 現勘\_起火居室空間圖

(資料來源：本研究整理)

觀測窗

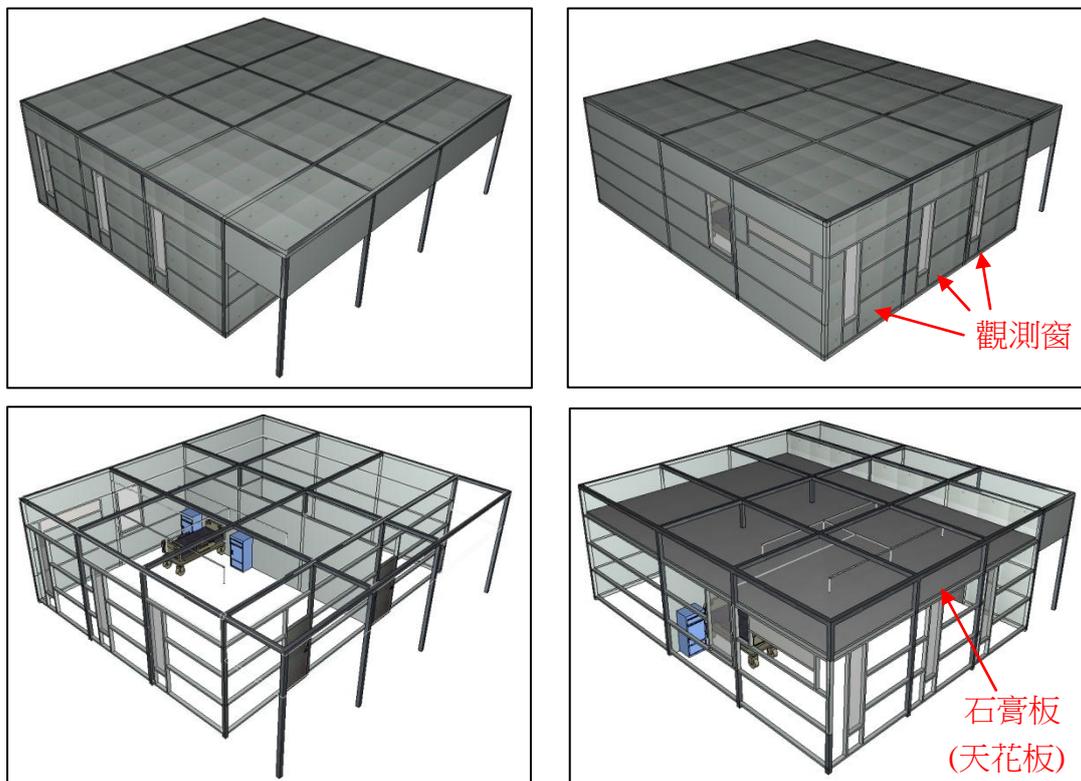


圖 4-4 模擬\_起火居室空間圖

(資料來源：本研究整理)

本研究採用Pyrosim進行電腦數值模擬，探討有無裝設排煙設備(如：自然排煙設備或機械排煙設備)對於火場煙流影響分析。根據排煙設備種類分成三種情境規劃，詳細如下：

### (1)無裝設排煙設備：

第一種情境為無裝設排煙設備。為契合全尺寸實驗結果，將依照該研究案全尺寸實驗規劃進行相同配置，於模擬空間內擺置一張泡棉(聚氨酯)床墊、兩張塑膠製床頭櫃。

### (2)裝設自然排煙：

第二種情境為裝設自然排煙設備。以第一種情境配置為基礎，加裝自然排煙口。依《各類場所消防安全設備設置標準》第188條之規定，排煙口設置於天花板或其下方80cm以內且開口面積在防煙區劃面積2%以上。本研究模擬空間樓地板面積為 $48\text{m}^2$ ，自然排煙量最低需求為 $48\text{m}^2 \times 2\% = 0.96\text{m}^2$ 。本研究場勘自然排煙口尺寸為長 $2.1\text{m} \times$ 寬 $0.5\text{m} \times 1$ 個，開口面積為 $1.05\text{m}^2 \geq 48\text{m}^2 \times 2\% = 0.96\text{m}^2$ ，放置於天花板下方80cm以內(圖4-5)，經檢討滿足法規要求。

### (3)裝設機械排煙：

第三種情境為裝設機械排煙設備。以第一種情境空間配置為基礎，加裝機械排煙口。依《各類場所消防安全設備設置標準》第188條之規定，排煙口應設置於天花板或其下方80cm以內且排煙機之排煙量需維持 $120\text{m}^3/\text{min}$ 以上。故本研究將於天花板上設置一個長 $0.6\text{m} \times$ 寬 $0.4\text{m}$ 的機械排煙口(圖4-6)，排煙量設置為 $120\text{m}^3/\text{min}$ 。

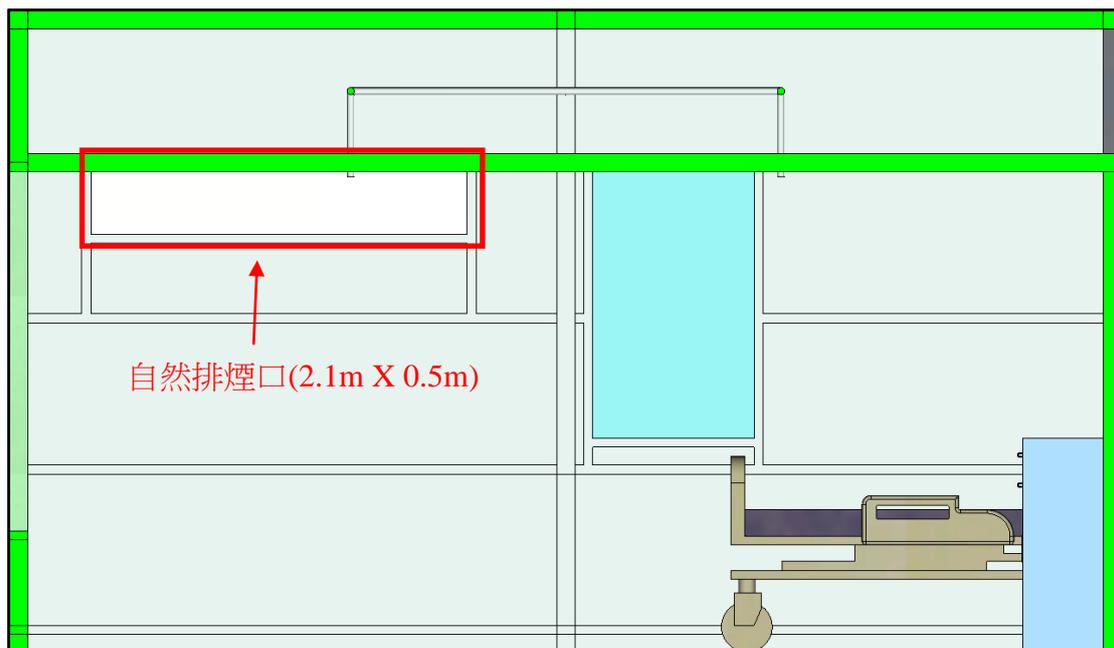


圖 4-5 自然排煙設備空間示意圖(側視圖)

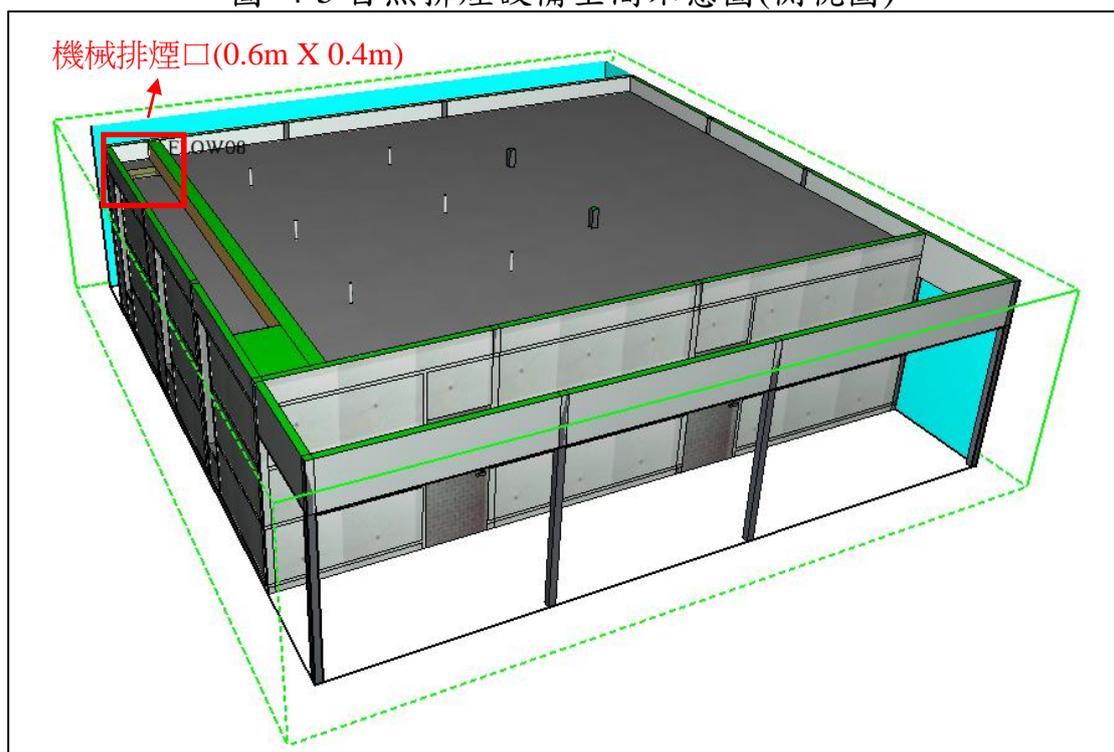


圖 4-6 機械排煙設備空間示意圖(俯視圖)

(圖4-5、4-6資料來源：本研究整理)

## 二、網格規劃

一般而言，要獲取最合適的網格大小需由較粗糙的網格逐漸細化，直到從模擬結果或迭代曲線圖中，無明顯數值差異變化為止。但反覆嘗試需要耗費大量時間。因此，本研究根據陳泓翔【25】提出使用電腦模擬火災情境時，建議以邊長為 10 公分的正方體作為切割。詳細網格數量及示意圖如表 4-1、圖 4-7 所示：

表 4-1 模擬空間網格數量表

模擬空間_網格數量	
項目	網格數
X 軸	103
Y 軸	109
Z 軸	36
總計	404,172

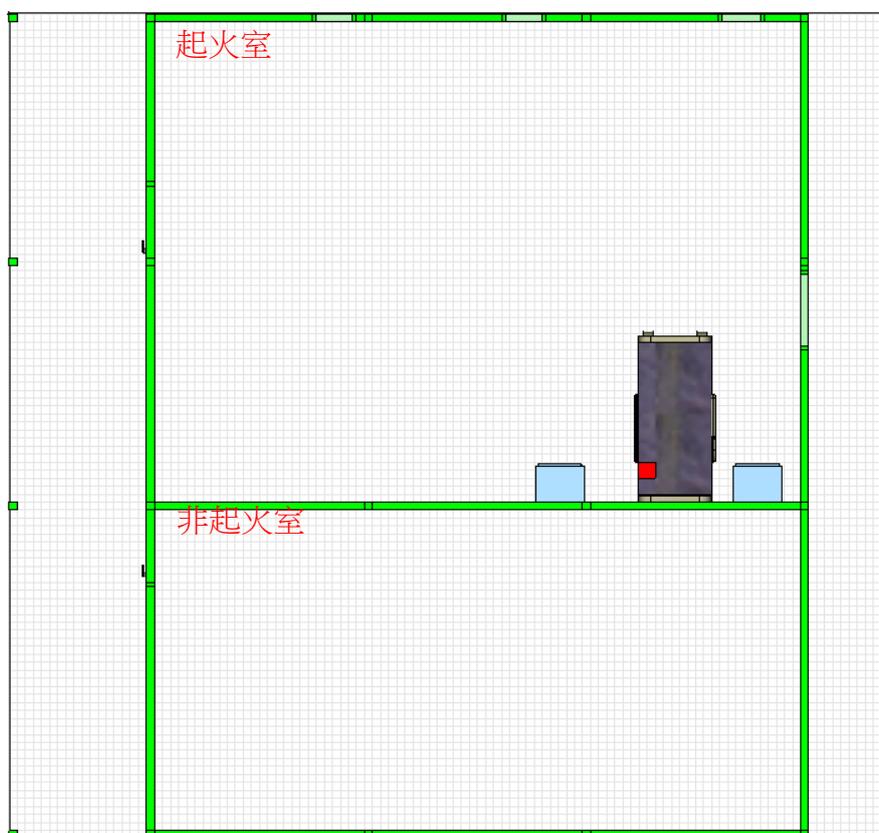


圖 4-7 網格規劃示意圖(俯視圖)

(表4-1、圖4-7資料來源：本研究整理)



### 三、溫度量測點規劃

本研究於模擬空間內設置熱電偶樹 (Thermocouple Tree) 以量測溫度變化。熱電偶樹以離地 0.1m 為第一點，而後每間距 0.2m 設置一點，一束熱電偶樹共計 13 個量測點。本模擬空間將設置 3 束熱電偶樹作為火場溫度量測。

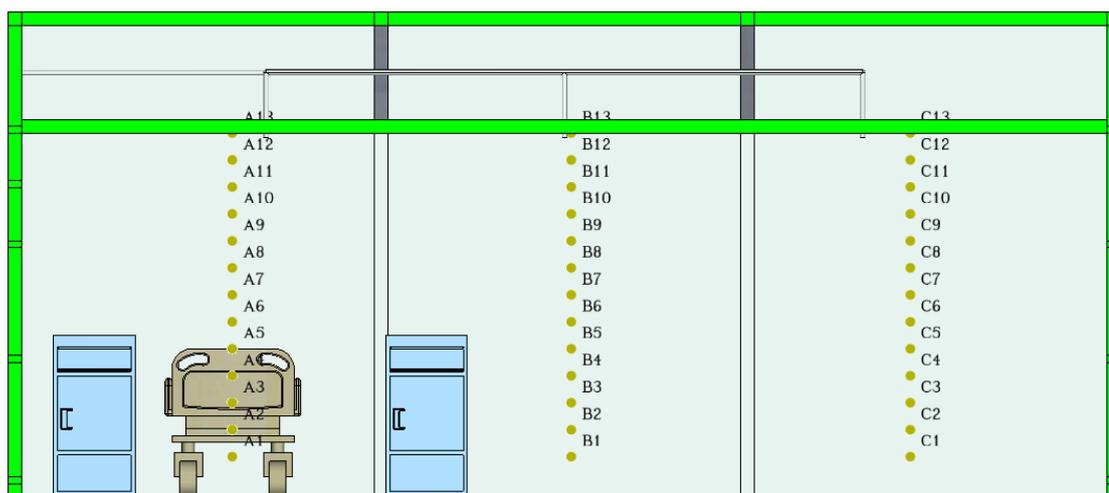


圖 4-8 溫度量測點設置空間示意圖(正視圖)

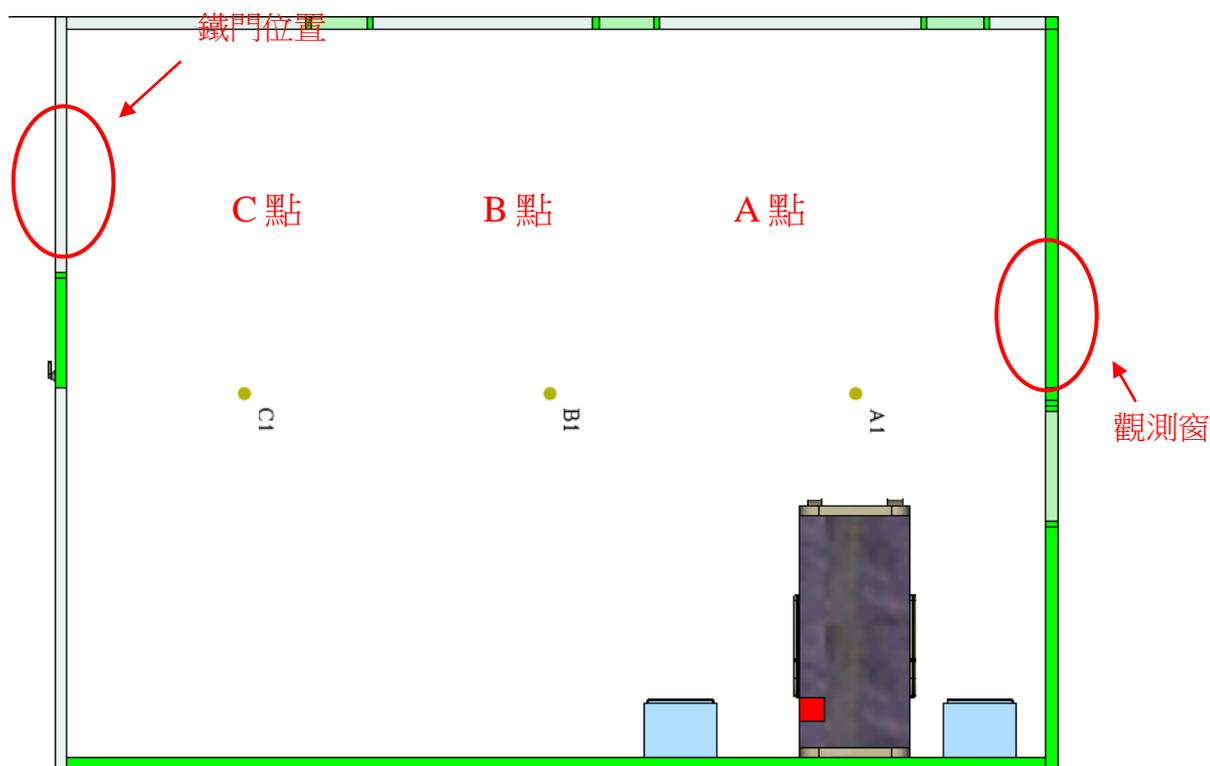


圖 4-9 溫度量測點設置空間示意圖(俯視圖)  
(圖4-8、4-9資料來源：本研究整理)

#### 四、煙層高度量測點規劃

本研究將於模擬空間內設置煙層高度測試點，用以量測實驗空間內煙層隨時間的高度變化，量測範圍由地面至 2.7m。本模擬設置 20 個煙層高度量測點作為火場煙層高度量測使用。

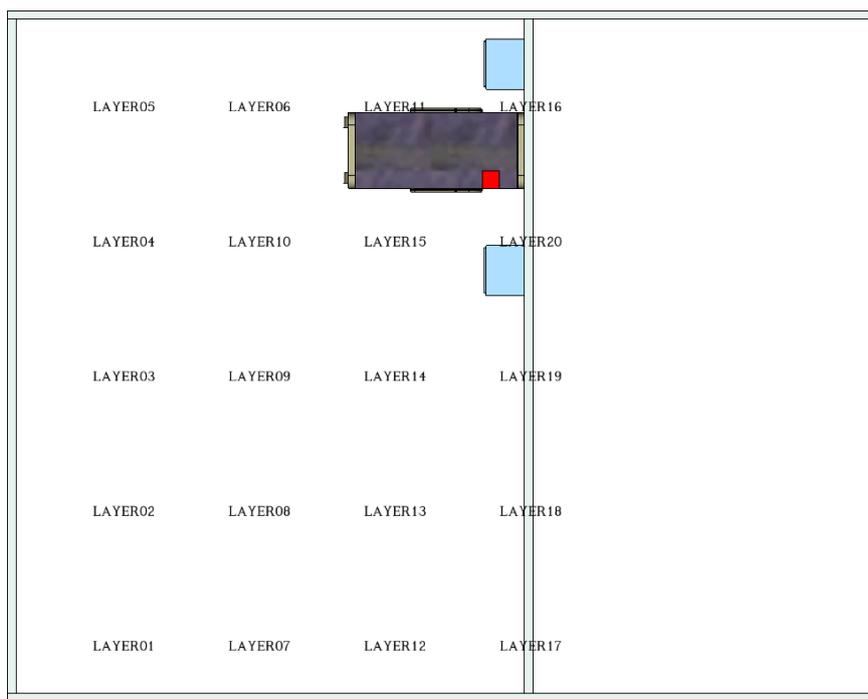


圖 4-10 煙層高度設置空間示意圖(正視圖)

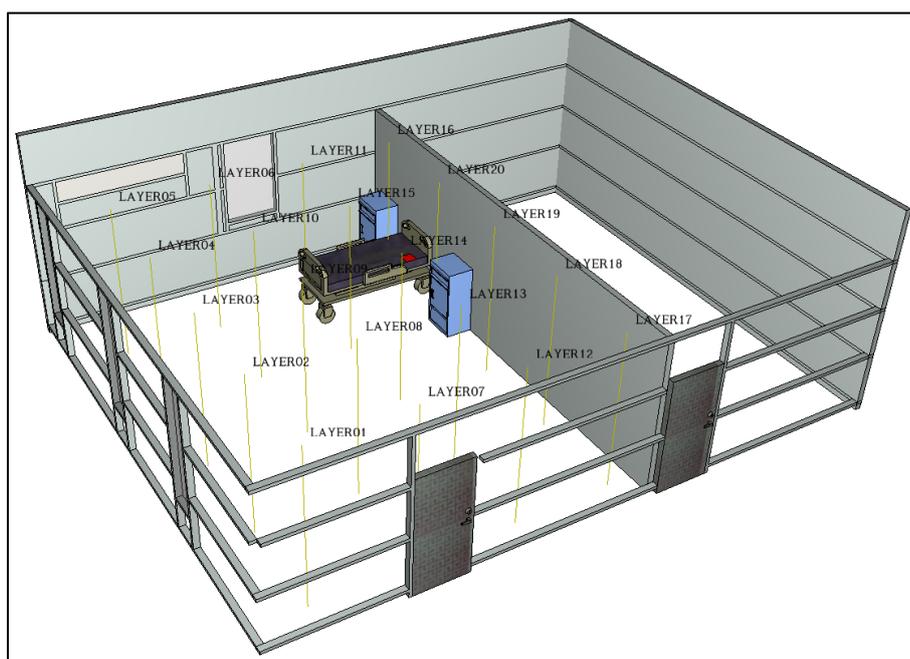


圖 4-11 煙層高度設置空間示意圖

(圖4-10、4-11資料來源：本研究整理)

### 五、撒水頭及偵煙探測器設置規劃

針對有無撒水情境下，裝設排煙設備對煙層影響之研究，本研究將於模擬空間內設置撒水頭及偵煙探測設備，詳細設備參數如下表 4-2、表 4-3 所示。

表 4-2 撒水頭模擬參數規格表

項目	數值
啟動溫度	72.0 (°C)
撒水頭靈敏度量測指標	33.0 ( $\sqrt{m \times s}$ )
動作壓力	1.47 (bar)
K 值	30.0 ( $L/min \times atm^{\frac{1}{2}}$ )
設置高度	3m

(資料來源：本研究整理)

表 4-3 偵煙探測設備模擬參數規格表

項目	數值
偵測方式	感煙式
遮光率	15 (%/m)
設置高度	2.7m

(資料來源：本研究整理)

依《各類場所消防安全設備設置標準》第 46 條第二款之規定，快速反應型撒水頭（第一種感度），各層任一點至撒水頭之水平距離在 2.3m 以下。但防火構造建築物，其水平距離得增加為 2.6m 以下。因此，本研究將以防護半徑為 2.6m 為基準來規劃撒水頭位置，由圖 4-12 得知，本研究模擬空間至少應配置 6 顆撒水頭。

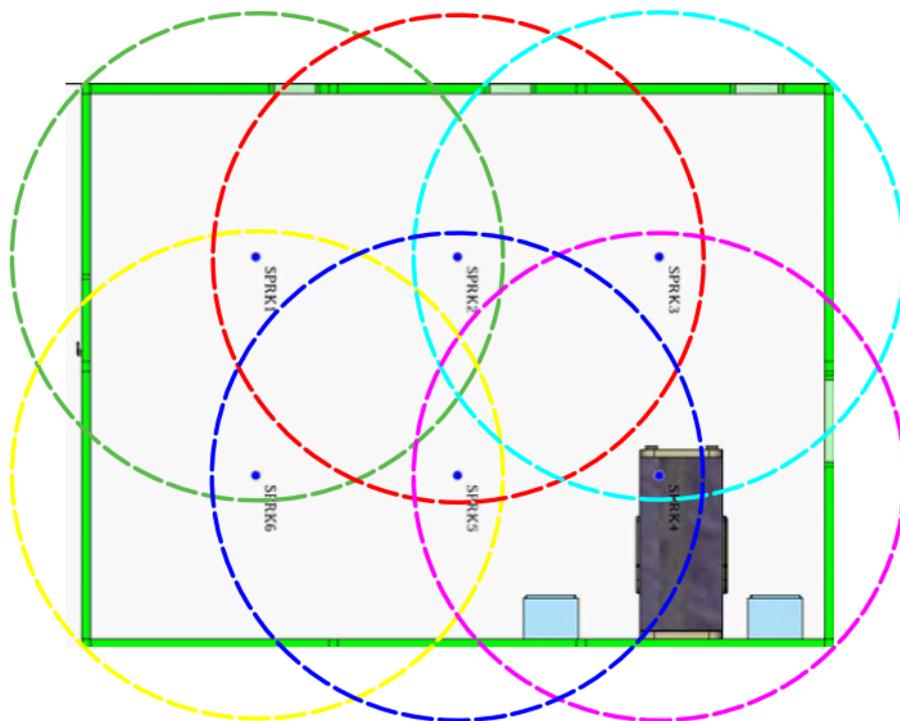


圖 4-12 撒水頭設置空間示意圖(俯視圖)  
(資料來源：本研究整理)

本研究將在距離地面2.7m處且於該空間中央，裝設偵煙探測點，模擬空間示意圖如圖4-13所示。針對裝設火警偵煙探測設備的規範，將依照【各類場所消防安全設備設置標準】第115條設置：

1. 天花板上設有出風口時，除火焰式、差動式分布型及光電式分離型探測器外，應距離該出風口一點五公尺以上。
2. 牆上設有出風口時，應距離該出風口一點五公尺以上。但該出風口距天花板在一公尺以上時，不在此限。
3. 天花板設排氣口或回風口時，偵煙式探測器應裝置於排氣口或回風口周圍一公尺範圍內。
4. 局限型探測器以裝置在探測區域中心附近為原則。
5. 局限型探測器之裝置，不得傾斜四十五度以上。但火焰式探測器，不在此限。

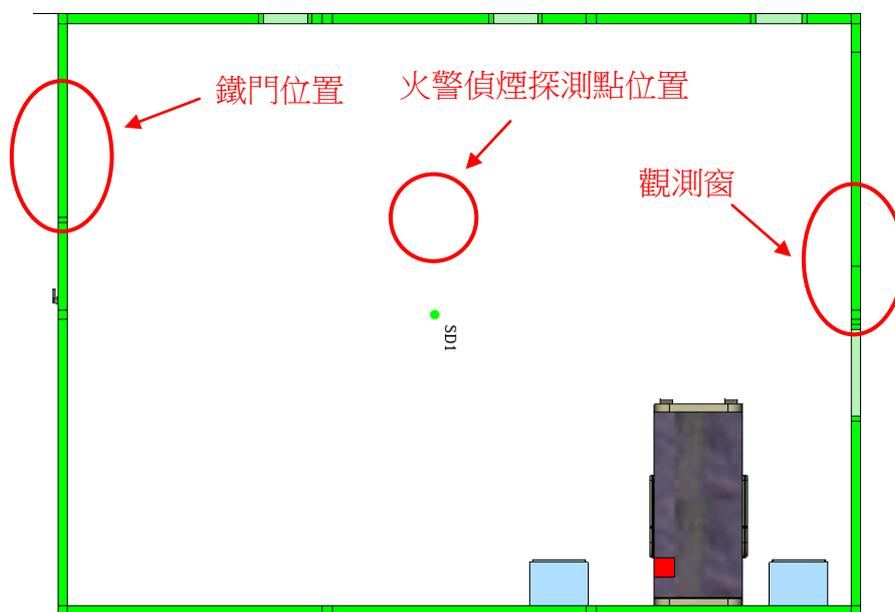


圖 4-13 火警偵煙探測設備設置空間示意圖(俯視圖)

## 六、二氧化碳設置規劃

本研究將在模擬空間內設置二氧化碳的偵測器，用以量測模擬火場中的危害氣體隨時間的變化。本研究將於門口旁及距離地面 1.5m 處，放置二氧化碳的偵測點，詳細空間示意圖如圖 4-14 所示。

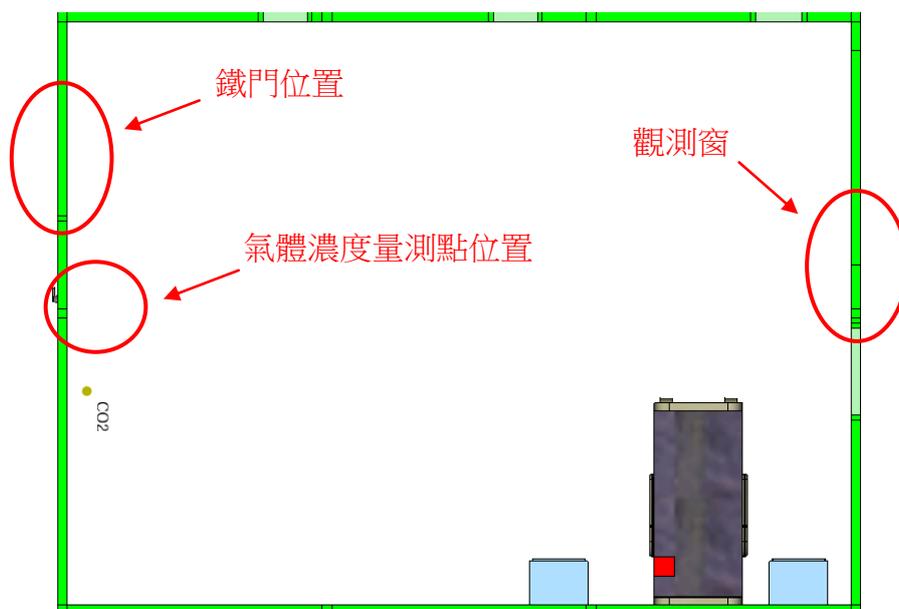


圖 4-14 二氧化碳偵測器設置空間示意圖(俯視圖)

(圖4-13、4-14資料來源：本研究整理)

### 第三節 電腦模擬情境規劃及模擬結果

本研究以電腦模擬軟體(Pyrosim)探討有無撒水情境對排煙設備等相關參數之煙層沉降危害分析，透過模擬結果評估現今法定排煙量是否滿足排煙性能，以期火災發生時，排煙設備能有效控制煙層，減少人員傷亡。本研究的電腦模擬規劃如下表所示：

表 4-4 實驗規劃表

項次	撒水	排煙設備	實驗目的
模擬 1	無撒水	無排煙	瞭解當起火室發生在無撒水及無排煙設備的環境下，火場的煙流特性及危害氣體的濃度數值。
模擬 2		自然排煙	承模擬 1，在模擬空間上加裝自然排煙設備，以瞭解當起火室裝設自然排煙設備，對於煙層下降的影響。
模擬 3		機械排煙	承模擬 1，模擬空間上加裝機械排煙設備，以瞭解裝設機械排煙設備，對於煙層下降的影響。
模擬 4		自然排煙	承模擬 1，在模擬空間上以兩倍法定要求裝設自然排煙

		(加大排煙窗面積)	設備，以瞭解起火室裝設兩倍面積之自然排煙設備，對於煙層下降的影響。
模擬 5		機械排煙 (加大排煙量)	承模擬 1，在模擬空間上以兩倍法定要求裝設機械排煙設備，以瞭解起火室裝設兩倍排煙量之機械排煙設備，對於煙層下降的影響。
模擬 6	有撒水	無排煙	瞭解當發生火災時，裝設撒水設備對起火室之煙氣沉降影響。
模擬 7		自然排煙	承模擬 6，在模擬空間上加裝自然排煙設備，以瞭解當起火室裝設自然排煙設備，對於煙層下降的影響。
模擬 8		機械排煙	承模擬 6，模擬空間上加裝機械排煙設備，以瞭解裝設機械排煙設備，對於煙層下降的影響。
模擬 9		自然排煙 (加大排煙窗面積)	承模擬 6，在模擬空間上以兩倍法定要求裝設自然排煙設備，以瞭解起火室裝設兩倍面積之自然排煙設備，對於煙層下降的影響。。
模擬 10		機械排煙 (加大排煙量)	承模擬 6，在模擬空間上以兩倍法定要求裝設機械排煙設備，以瞭解起火室裝設兩倍排煙量之機械排煙設備，對於煙層下降的影響。

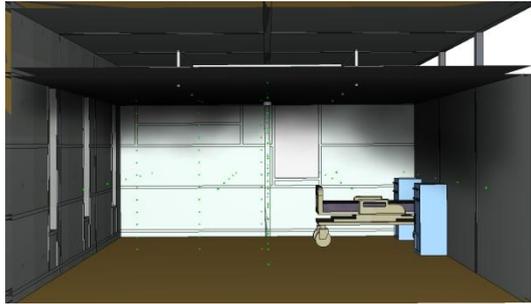
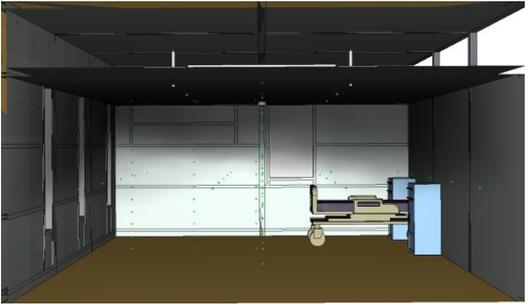
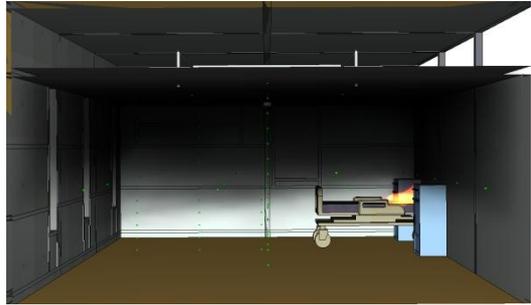
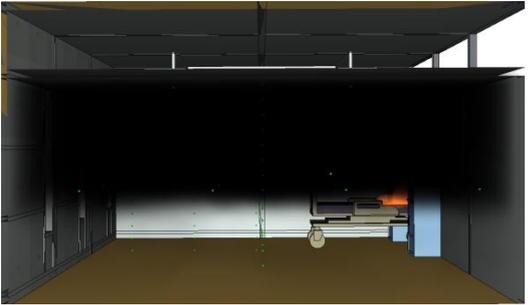
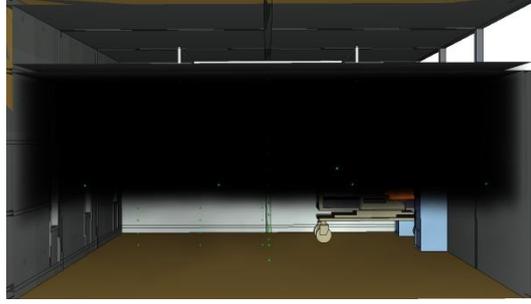
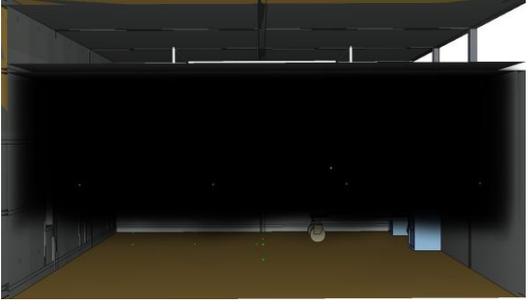
(資料來源：本研究整理)

備註：僅探討火災初期火場情況，故模擬時間皆為 600 秒。

一、模擬 1 (無撒水&無排煙設備)

當起火室發生在無裝設撒水設備及排煙設備的環境，對於行動不便之住民可能因煙霧沉降而導致傷亡發生。此模擬主要目的為瞭解當發生火災時，濃煙充滿至整個房間的時間長短及火警偵煙探測設備之反應時間分析。

表 4-5 模擬 1 之動畫表

	
<p>模擬第 30 秒_動畫</p>	<p>模擬第 120 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 240 秒_動畫</p>	<p>模擬第 360 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 480 秒_動畫</p>	<p>模擬第 600 秒_動畫</p>

(資料來源：本研究整理)

模擬 1\_溫度及煙層模擬結果：

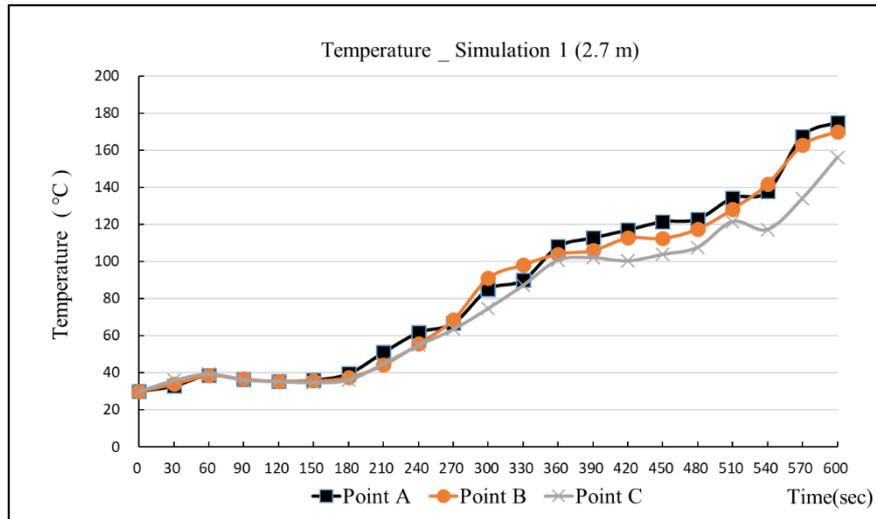


圖 4-15 模擬 1\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

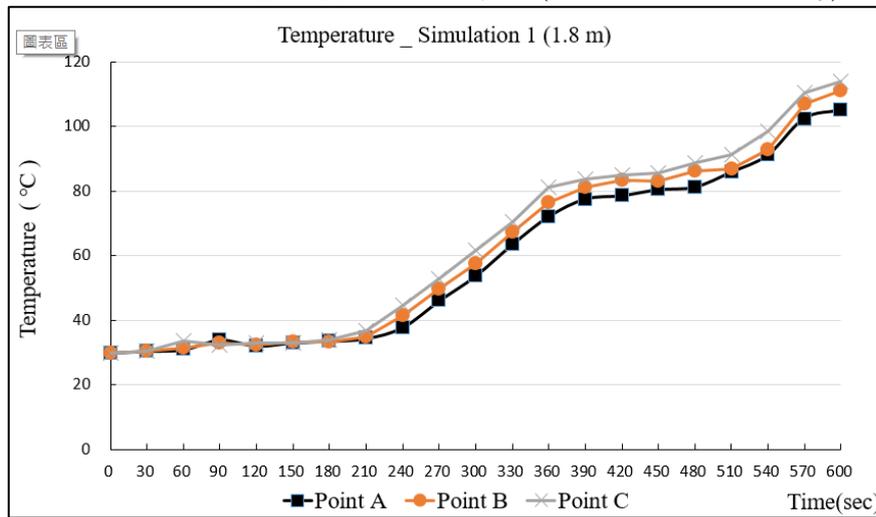


圖 4-16 模擬 1\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

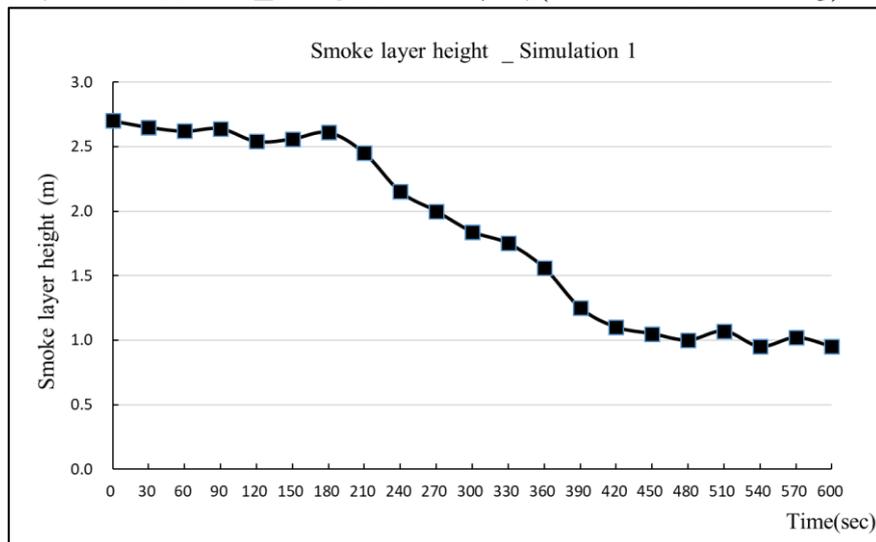


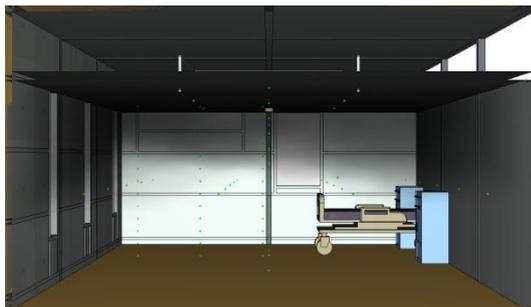
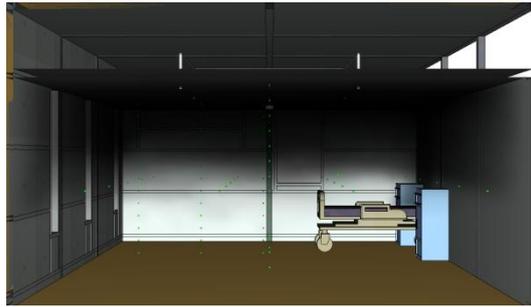
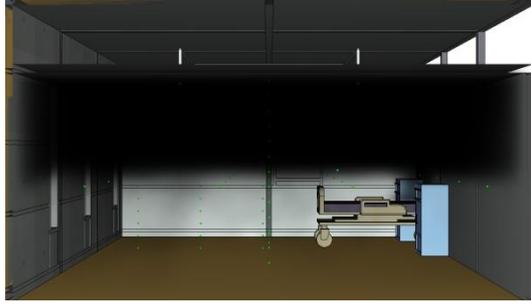
圖 4-17 模擬 1\_煙層高度曲線圖

(圖 4-15、4-16、4-17 資料來源：本研究整理)

## 二、模擬 2 (無撒水&自然排煙設備)

此模擬主要目的為瞭解當起火室發生在裝設自然排煙設備但無裝設撒水設備的環境，探討起火居室煙層沉降速度及危害分析，同時對自然排煙設備及火警偵煙探測設備之反應時間進行分析。

表 4-6 模擬 2 之動畫表

	
模擬第 30 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

模擬 2\_溫度及煙層模擬結果：

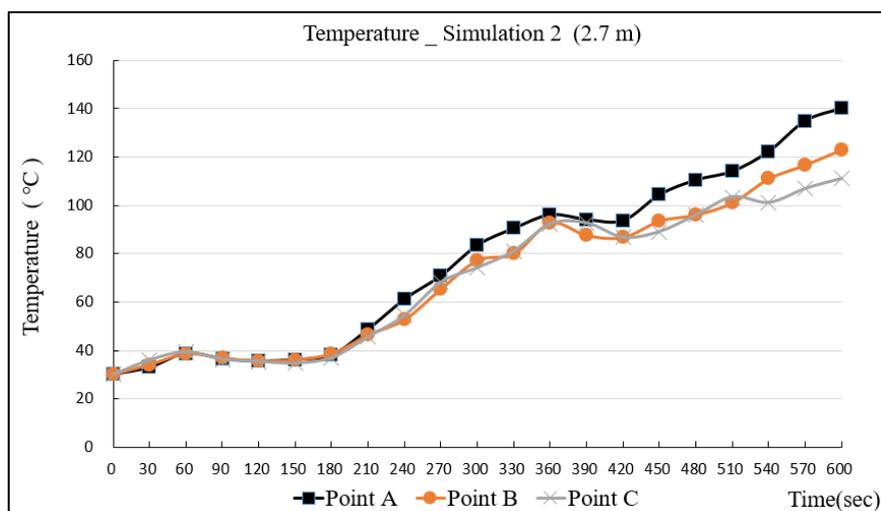


圖 4-18 模擬 2\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

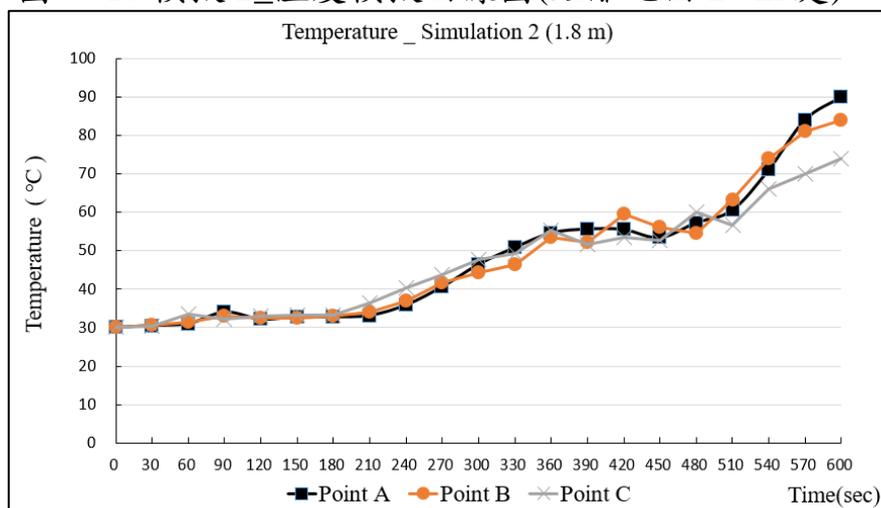


圖 4-19 模擬 2\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

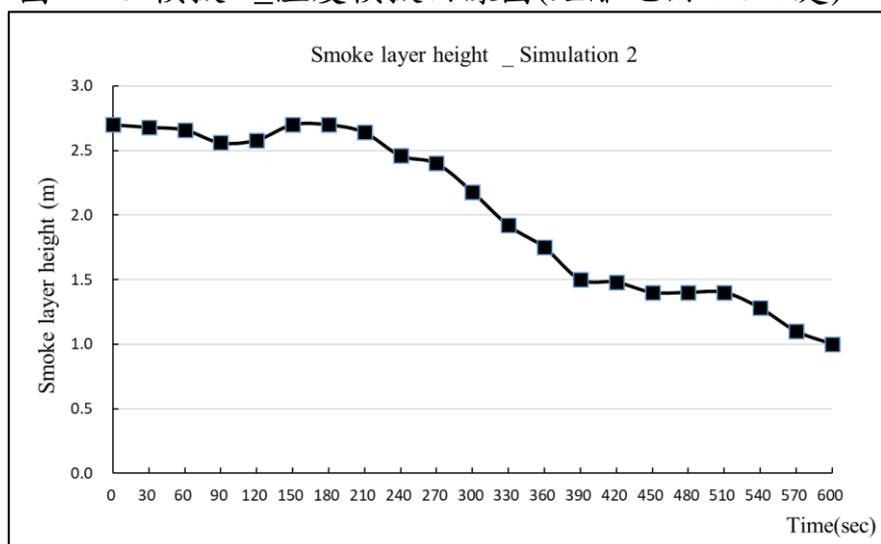


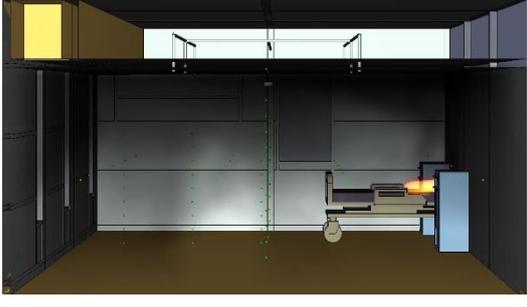
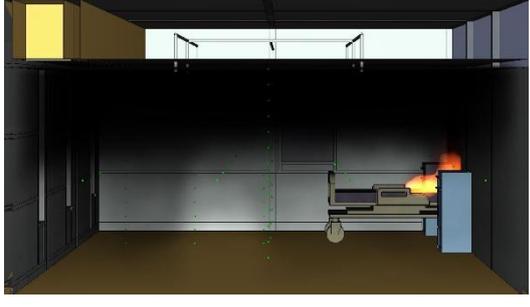
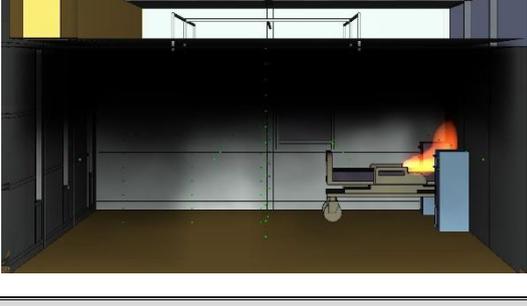
圖 4-20 模擬 2\_煙層高度曲線圖

(圖 4-18、4-19、4-20 資料來源：本研究整理)

### 三、模擬 3 (無撒水&機械排煙設備)

此模擬主要目的為瞭解當起火室發生在裝設機械排煙設備但無裝設撒水設備的環境，探討起火居室煙層沉降速度及危害分析，同時對機械排煙設備及火警偵煙探測設備之反應時間進行分析。

表 4-7 模擬 3 之動畫表

	
<p>模擬第 30 秒_動畫</p>	<p>模擬第 120 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 240 秒_動畫</p>	<p>模擬第 360 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 480 秒_動畫</p>	<p>模擬第 600 秒_動畫</p>

(資料來源：本研究整理)

模擬 3\_溫度及煙層模擬結果：

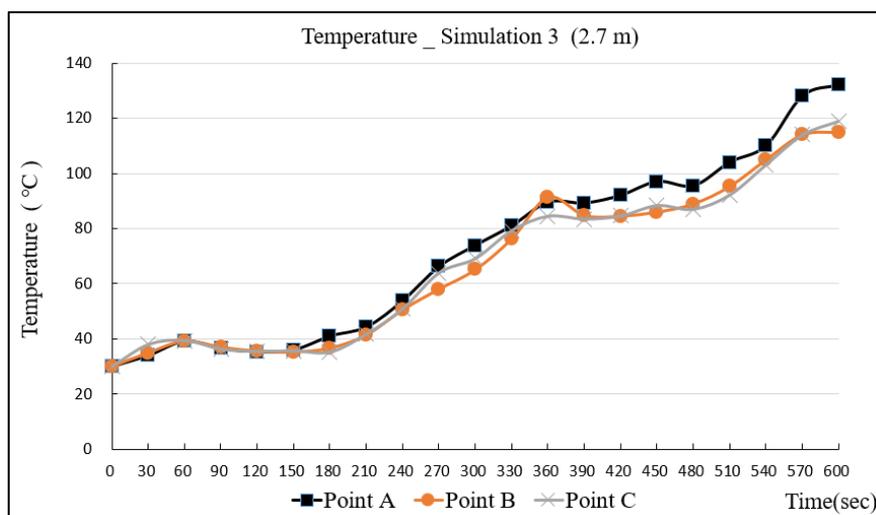


圖 4-21 模擬 3\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

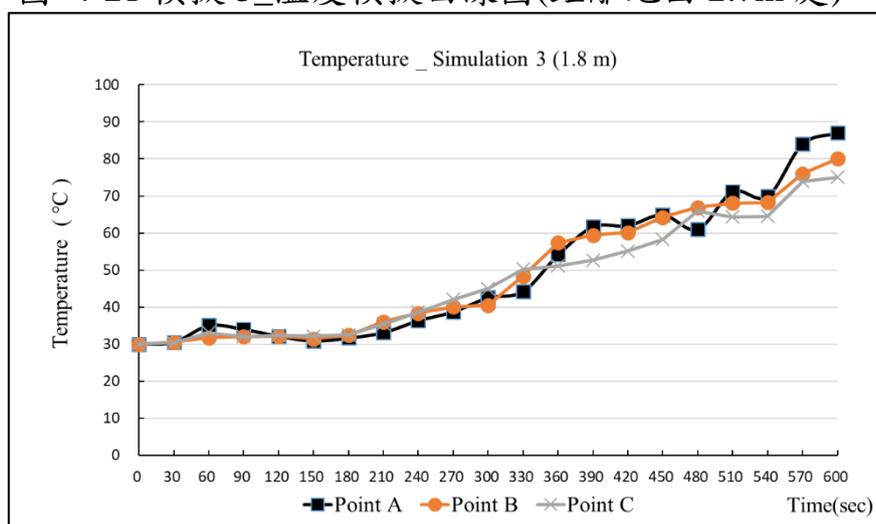


圖 4-22 模擬 3\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

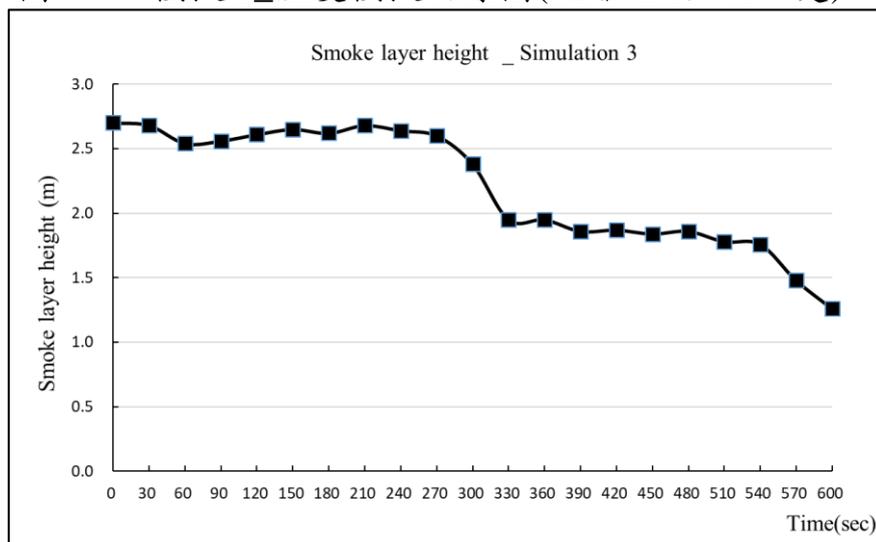


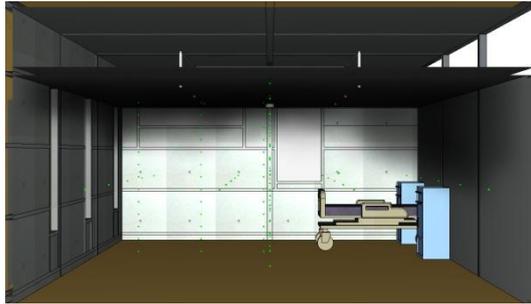
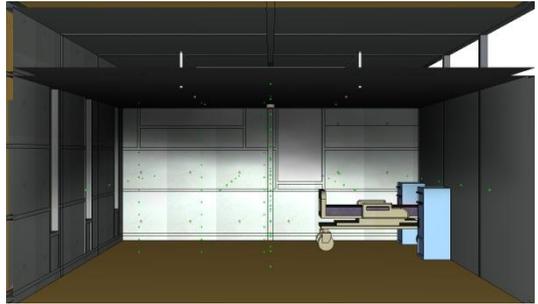
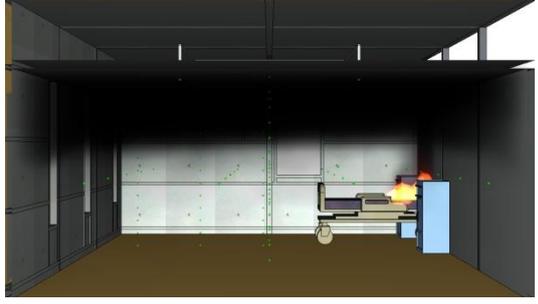
圖 4-23 模擬 3\_煙層高度曲線圖

(圖 4-21、4-22、4-23 資料來源：本研究整理)

#### 四、模擬 4 (無撒水&自然排煙設備(加大排煙窗面積))

此模擬主要目的為瞭解當起火室發生在以兩倍法定要求設置自然排煙設備但無裝設撒水設備的環境，探討起火居室煙層沉降速度及危害分析，同時對自然排煙設備及火警偵煙探測設備之反應時間進行分析。

表 4-8 模擬 4 之動畫表

	
<p>模擬第 30 秒_動畫</p>	<p>模擬第 120 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 240 秒_動畫</p>	<p>模擬第 360 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 480 秒_動畫</p>	<p>模擬第 600 秒_動畫</p>

(資料來源：本研究整理)

模擬 4\_溫度及煙層模擬結果：

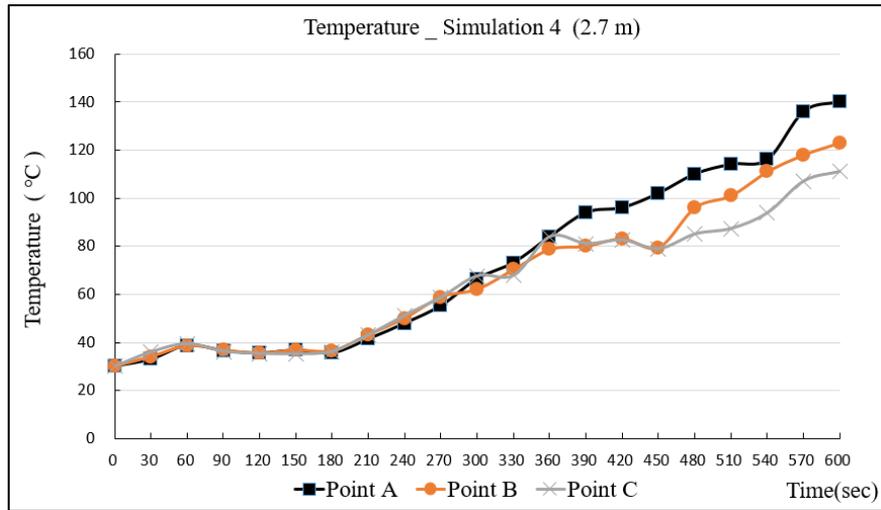


圖 4-24 模擬 4\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

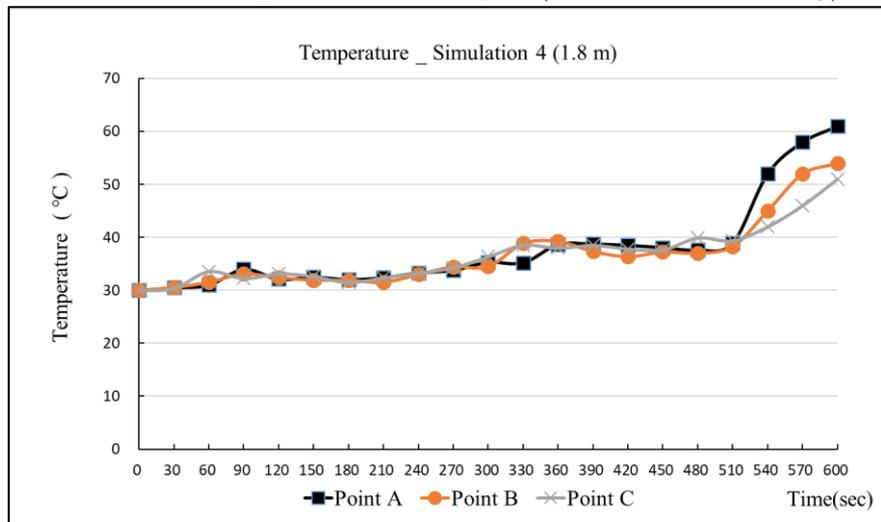


圖 4-25 模擬 4\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

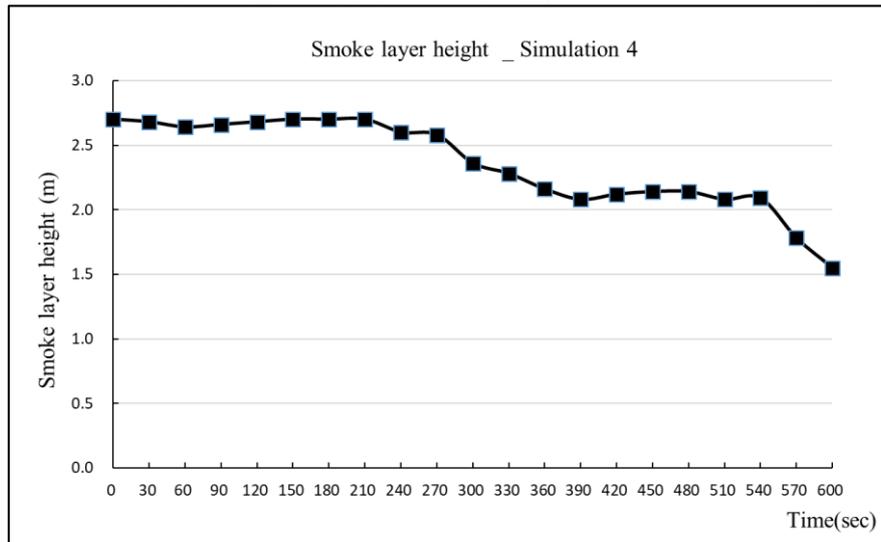


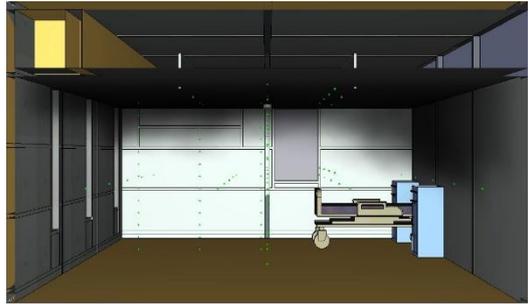
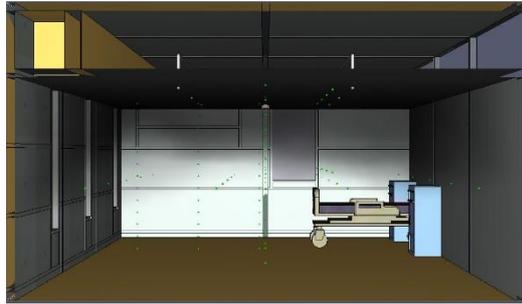
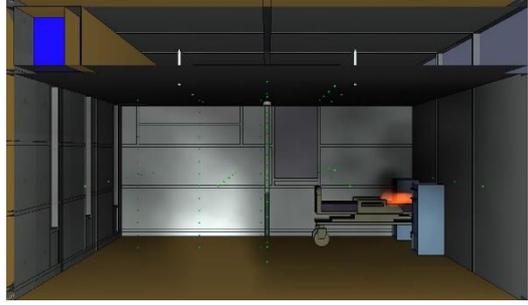
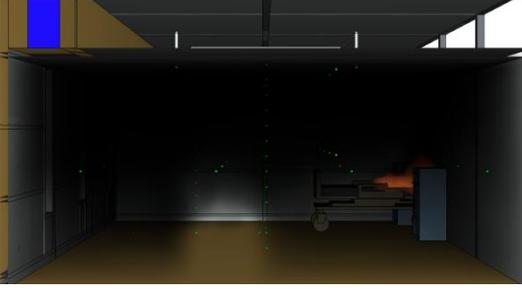
圖 4-26 模擬 4\_煙層高度曲線圖

(圖 4-24、4-25、4-26 資料來源：本研究整理)

五、模擬 5 (無撒水&機械排煙設備(加大排煙量))

此模擬主要目的為瞭解當起火室發生在以兩倍法定要求設置機械排煙設備但無裝設撒水設備的環境，探討起火居室煙層沉降速度及危害分析，同時對機械排煙設備及火警偵煙探測設備之反應時間進行分析。

表 4-9 模擬 5 之動畫表

	
<p>模擬第 30 秒_動畫</p>	<p>模擬第 120 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 240 秒_動畫</p>	<p>模擬第 360 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 480 秒_動畫</p>	<p>模擬第 600 秒_動畫</p>

(資料來源：本研究整理)

模擬 5\_溫度及煙層模擬結果：

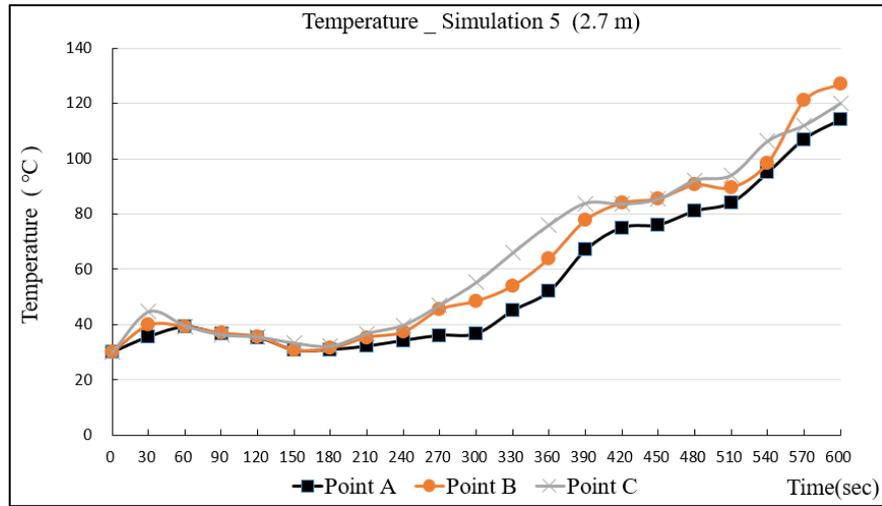


圖 4-27 模擬 5\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

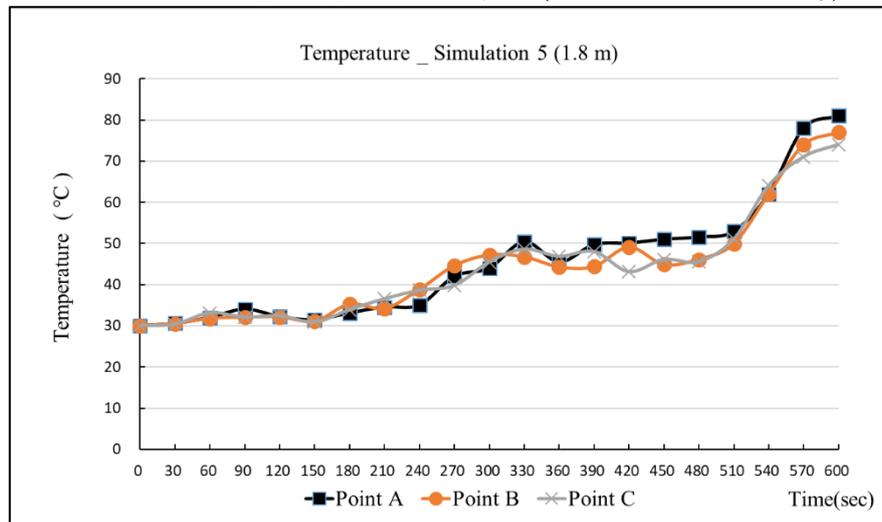


圖 4-28 模擬 5\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

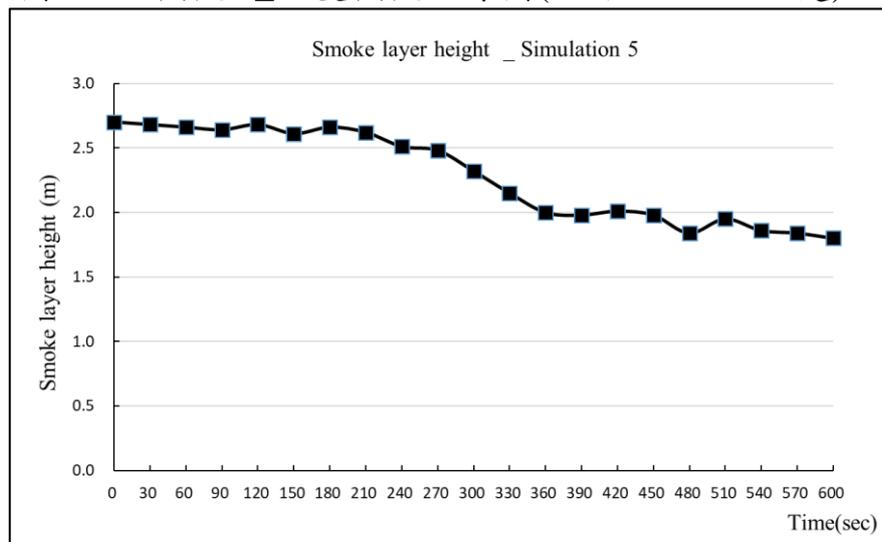


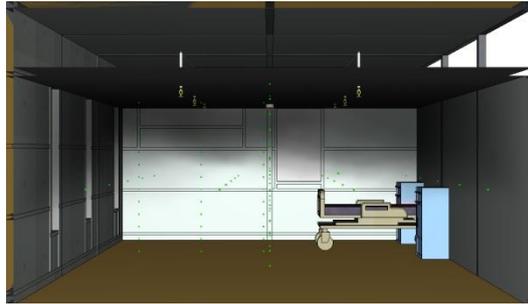
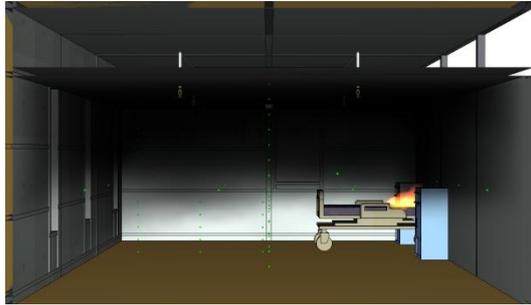
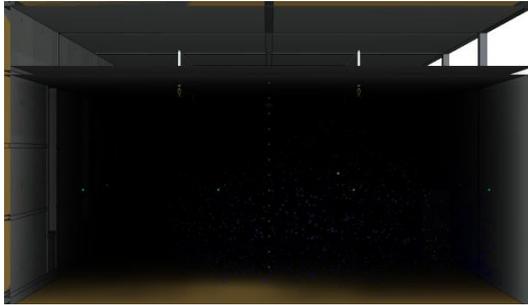
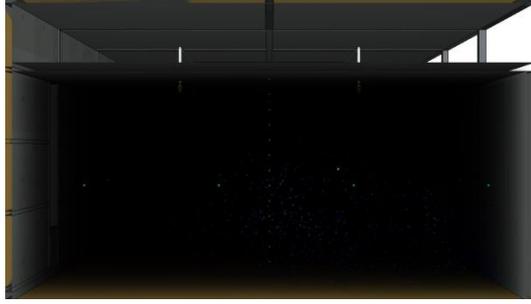
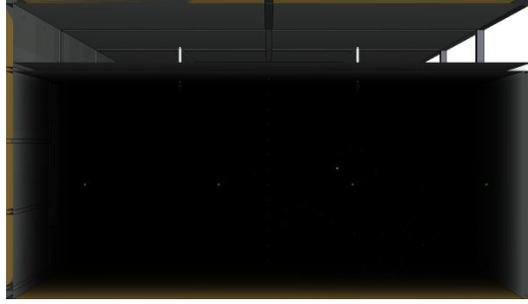
圖 4-29 模擬 5\_煙層高度曲線圖

(圖 4-27、4-28、4-29 資料來源：本研究整理)

### 六、模擬 6(有撒水&無排煙設備)

當起火室發生在有裝設撒水設備但無排煙設備的環境，對於行動不便之住民可能因煙霧沉降而導致傷亡發生。此模擬主要目的為瞭解當發生火災時，濃煙充滿至整個房間的時間長短及火警偵煙探測設備之反應時間分析。

表 4-10 模擬 6 之動畫表

	
<p>模擬第 30 秒_動畫</p>	<p>模擬第 120 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 240 秒_動畫</p>	<p>模擬第 360 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 480 秒_動畫</p>	<p>模擬第 600 秒_動畫</p>

(資料來源：本研究整理)

模擬 6\_溫度及煙層模擬結果：

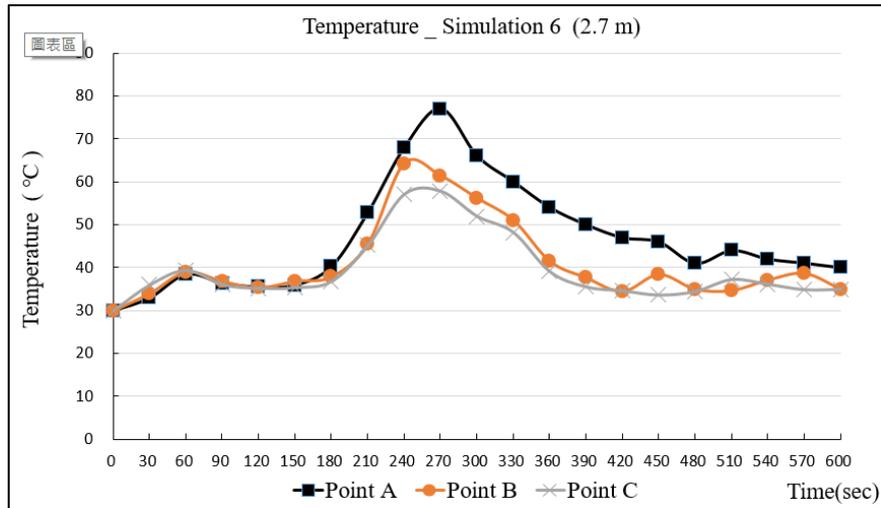


圖 4-30 模擬 6\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

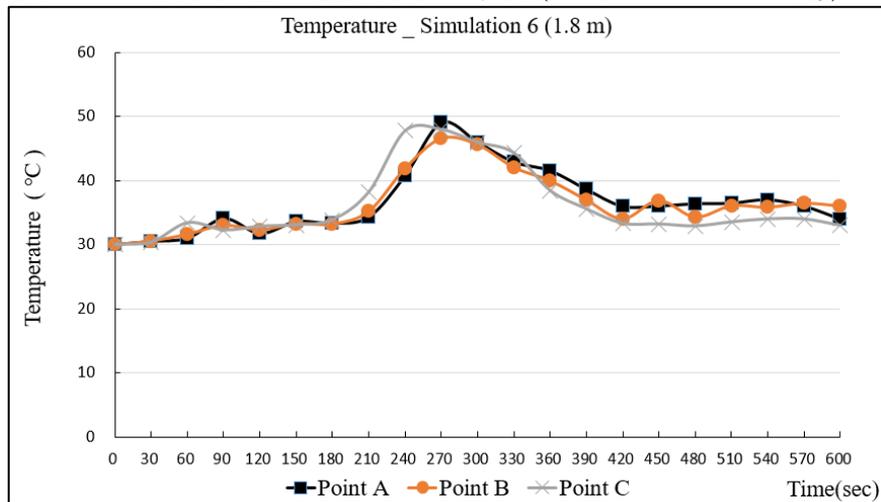


圖 4-31 模擬 6\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

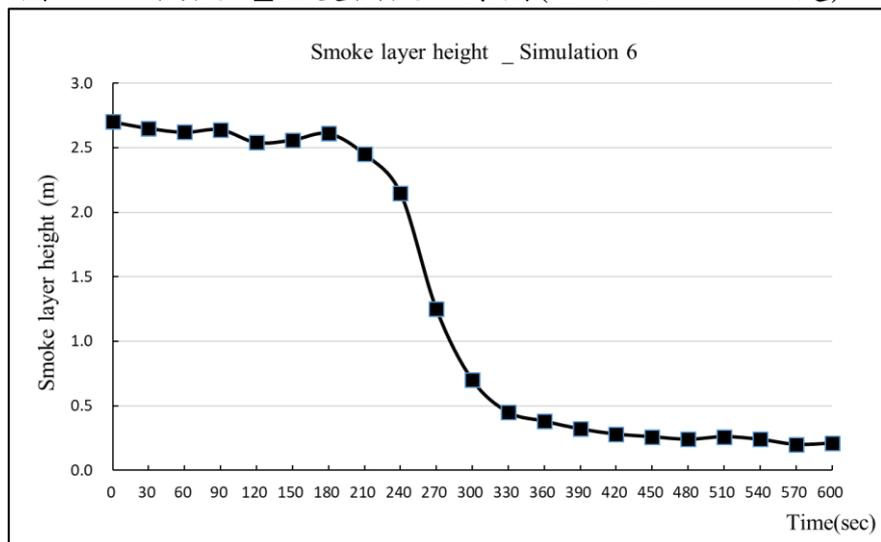


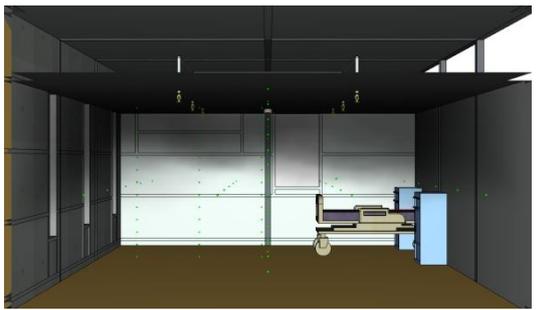
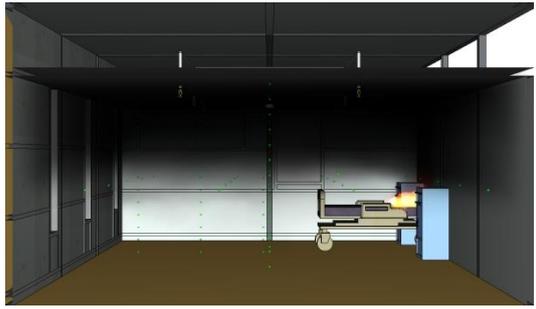
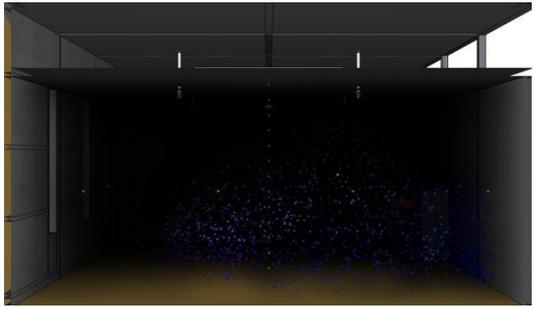
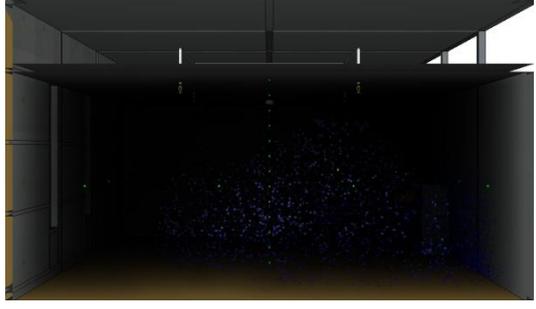
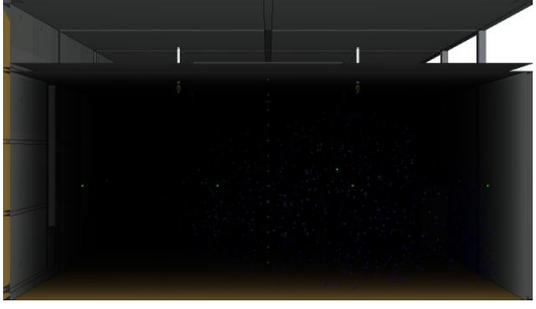
圖 4-32 模擬 6\_煙層高度曲線圖

(圖 4-30、4-31、4-32 資料來源：本研究整理)

七、模擬 7(有撒水&自然排煙設備)

此模擬主要目的為瞭解當起火室發生在裝設自然排煙設備及撒水設備的環境，探討起火居室煙層沉降速度及危害分析，同時對自然排煙設備及火警偵煙探測設備之反應時間進行分析。

表 4-11 模擬 7 之動畫表

	
模擬第 30 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

模擬 7\_溫度及煙層模擬結果：

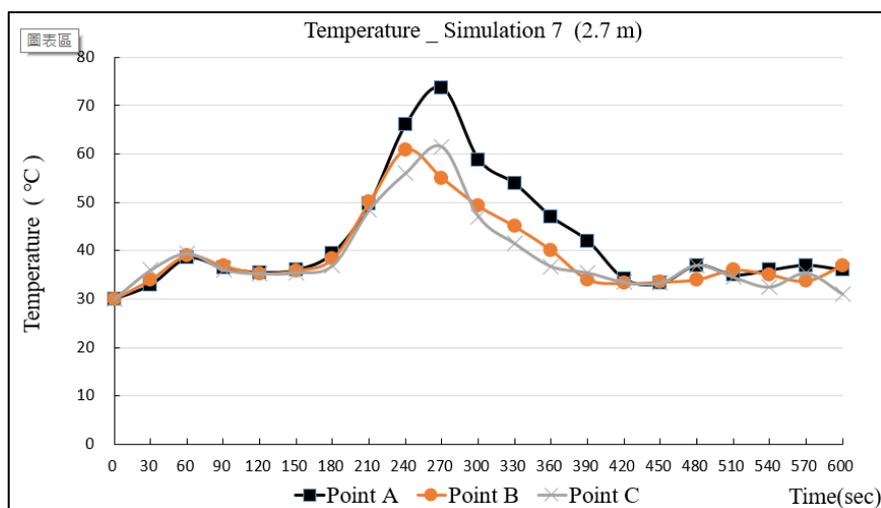


圖 4-33 模擬 7\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

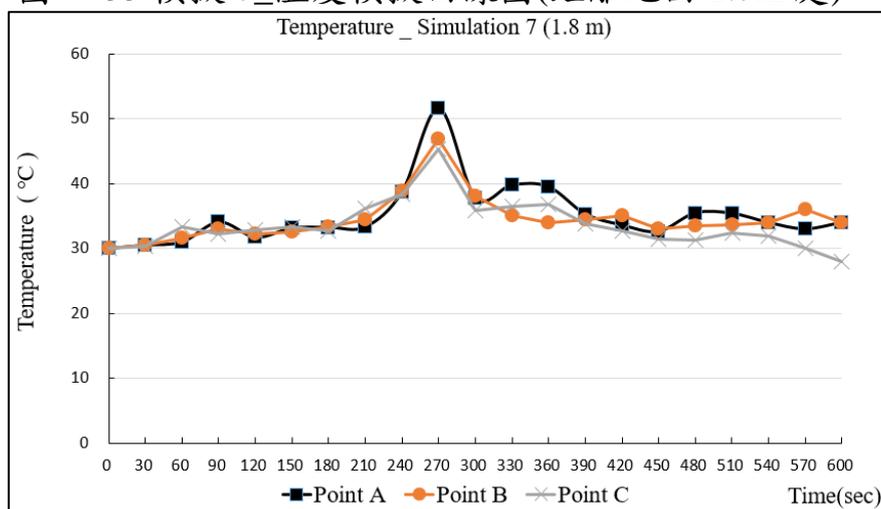


圖 4-34 模擬 7\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

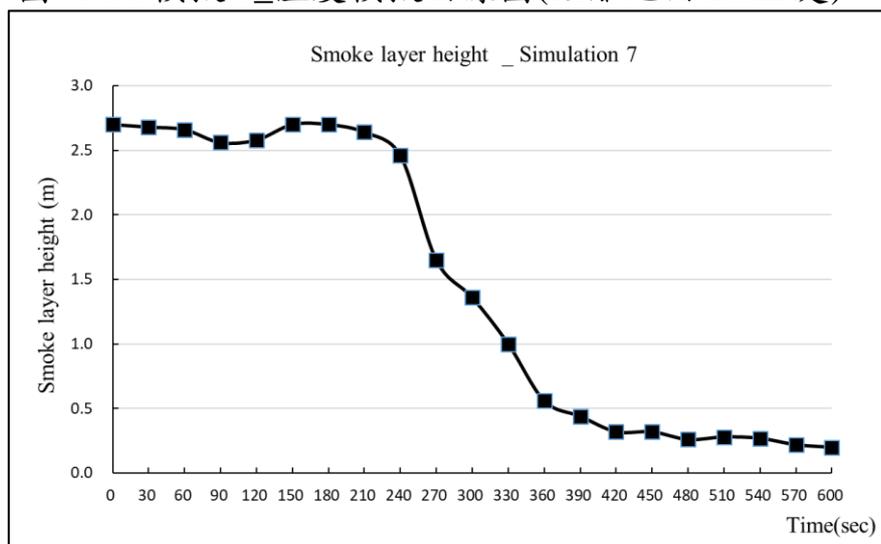


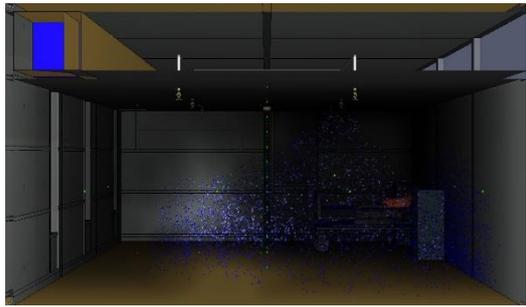
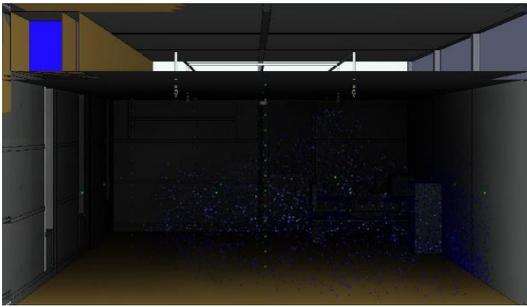
圖 4-35 模擬 7\_煙層高度曲線圖

(圖 4-33、4-34、4-35 資料來源：本研究整理)

### 八、模擬 8 (有撒水&機械排煙設備)

此模擬主要目的為瞭解當起火室發生在裝設機械排煙設備及撒水設備的環境，探討起火居室煙層沉降速度及危害分析，同時對機械排煙設備及火警偵煙探測設備之反應時間進行分析。

表 4-12 模擬 8 之動畫表

	
模擬第 30 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

模擬 8\_溫度及煙層模擬結果：

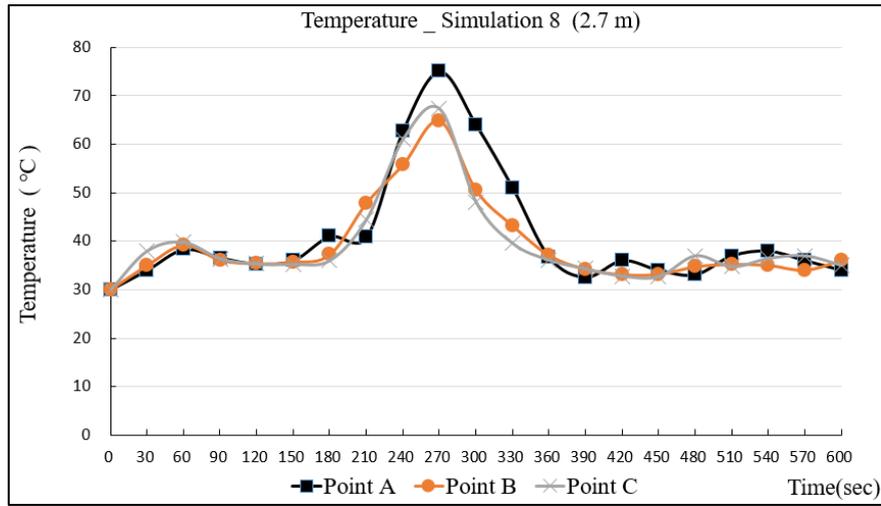


圖 4-36 模擬 8\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

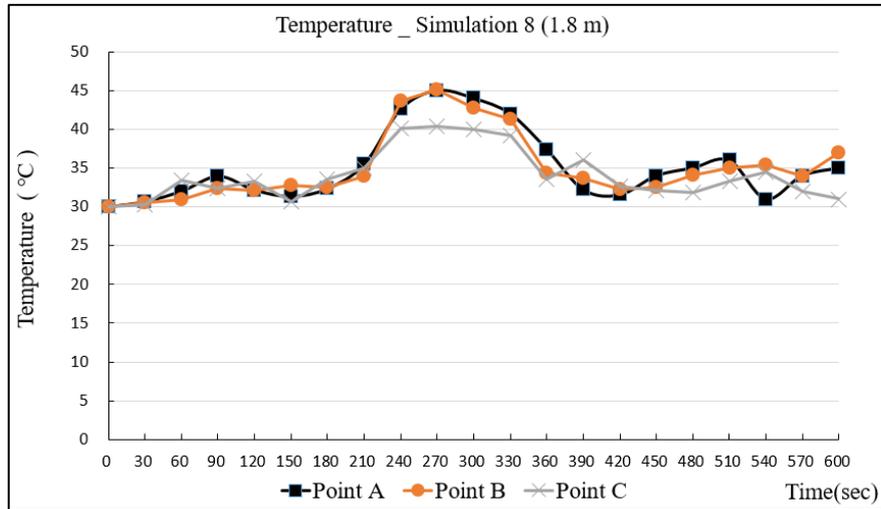


圖 4-37 模擬 8\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

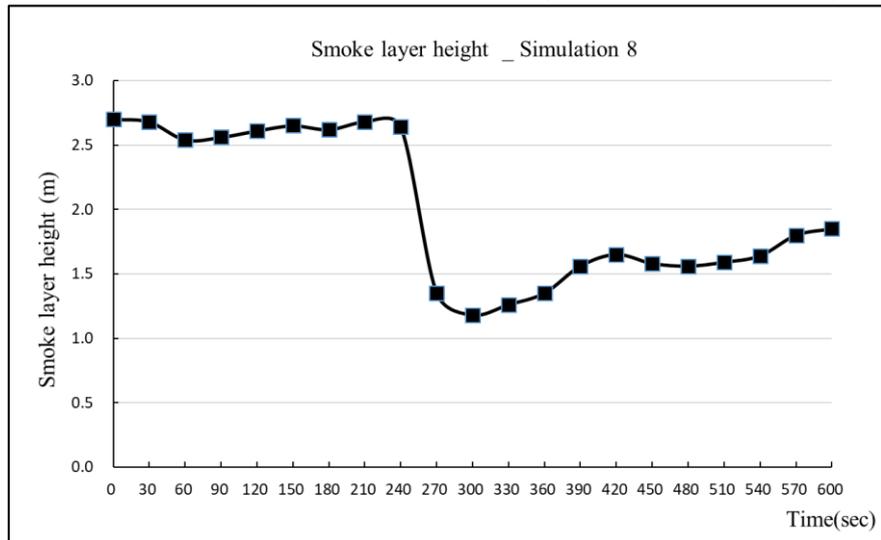


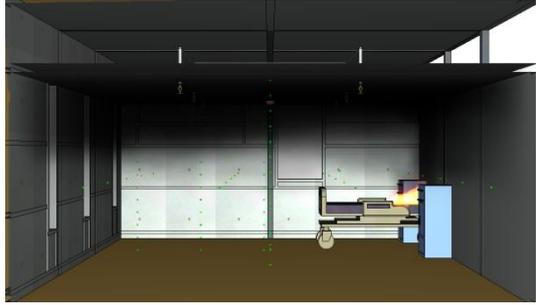
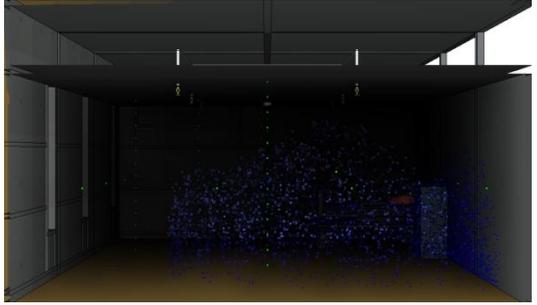
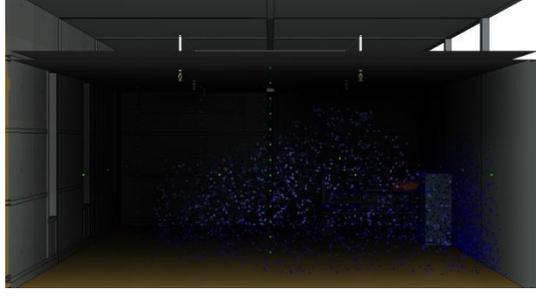
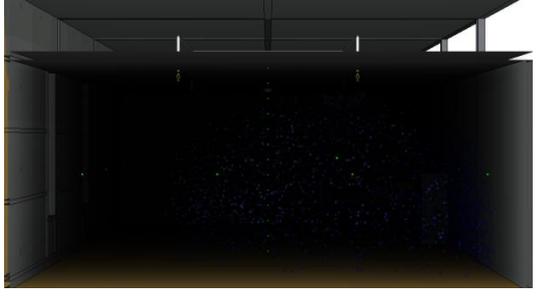
圖 4-38 模擬 8\_煙層高度曲線圖

(圖 4-36、4-37、4-38 資料來源：本研究整理)

九、模擬 9(有撒水&自然排煙設備(加大排煙窗面積))

此模擬主要目的為瞭解當起火室發生在以兩倍法定要求設置自然排煙設備且有裝設撒水設備的環境，探討起火居室煙層沉降速度及危害分析，同時對自然排煙設備及火警偵煙探測設備之反應時間進行分析。

表 4-13 模擬 9 之動畫表

	
<p>模擬第 30 秒_動畫</p>	<p>模擬第 120 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 240 秒_動畫</p>	<p>模擬第 360 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 480 秒_動畫</p>	<p>模擬第 600 秒_動畫</p>

(資料來源：本研究整理)

模擬 9\_溫度及煙層模擬結果：

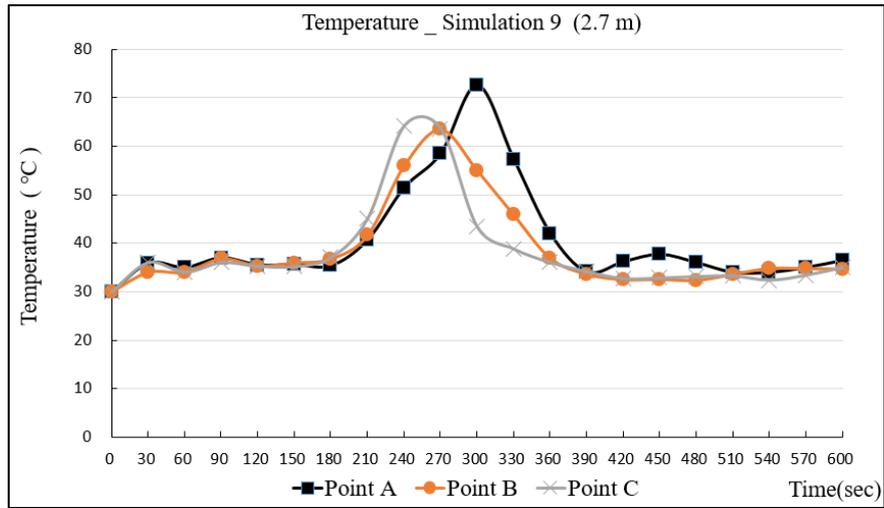


圖 4-39 模擬 9\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

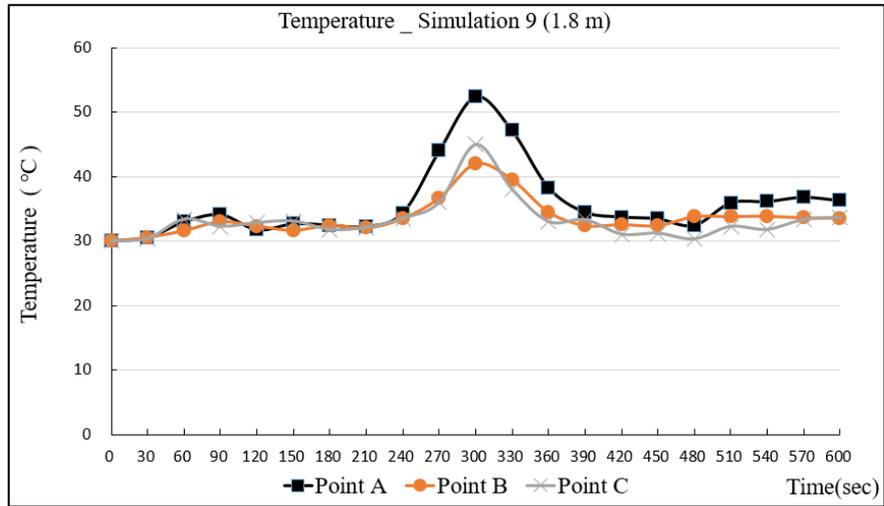


圖 4-40 模擬 9\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

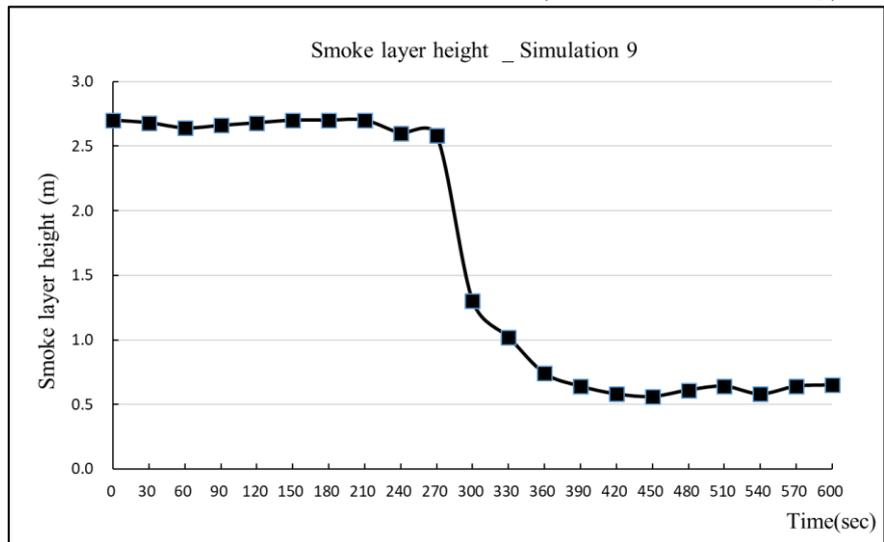


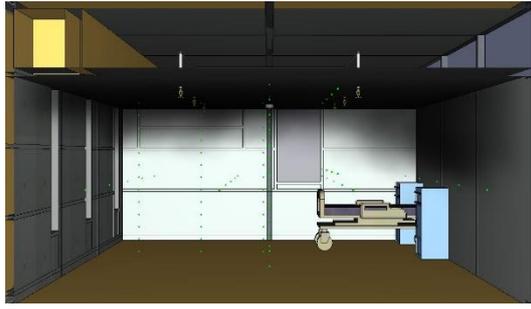
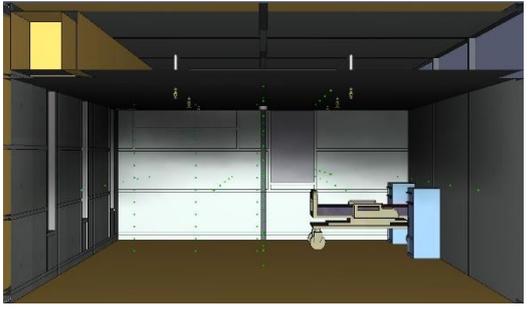
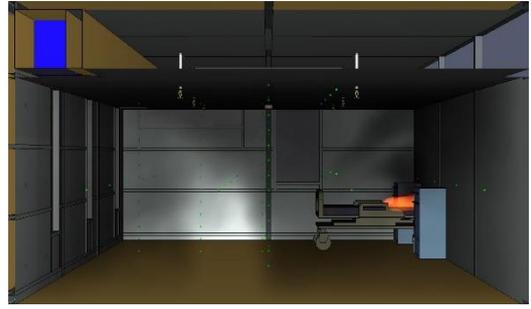
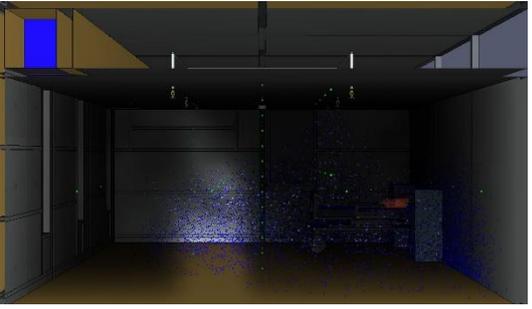
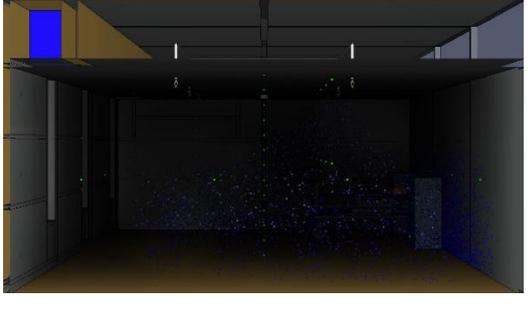
圖 4-41 模擬 9\_煙層高度曲線圖

(圖 4-39、4-40、4-41 資料來源：本研究整理)

十、模擬 10 (有撒水&機械排煙設備(加大排煙量))

此模擬主要目的為瞭解當起火室發生在以兩倍法定要求設置機械排煙設備且有裝設撒水設備的環境，探討起火居室煙層沉降速度及危害分析，同時對自然排煙設備及火警偵煙探測設備之反應時間進行分析。

表 4-14 模擬 10 之動畫表

	
<p>模擬第 30 秒_動畫</p>	<p>模擬第 120 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 240 秒_動畫</p>	<p>模擬第 360 秒_動畫</p>
	
<p>模擬第 480 秒_動畫</p>	<p>模擬第 600 秒_動畫</p>

(資料來源：本研究整理)

### 模擬 10\_溫度及煙層模擬結果：

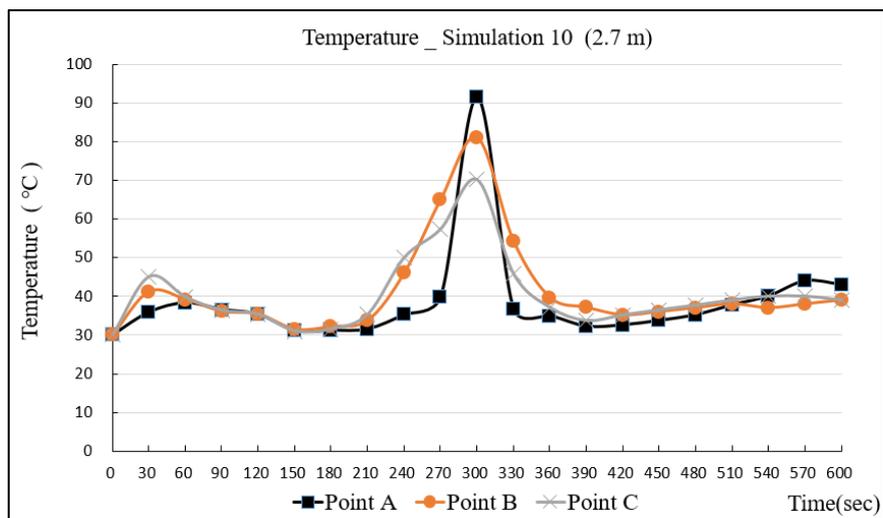


圖 4-42 模擬 10\_溫度模擬曲線圖(距離地面 2.7m 處)

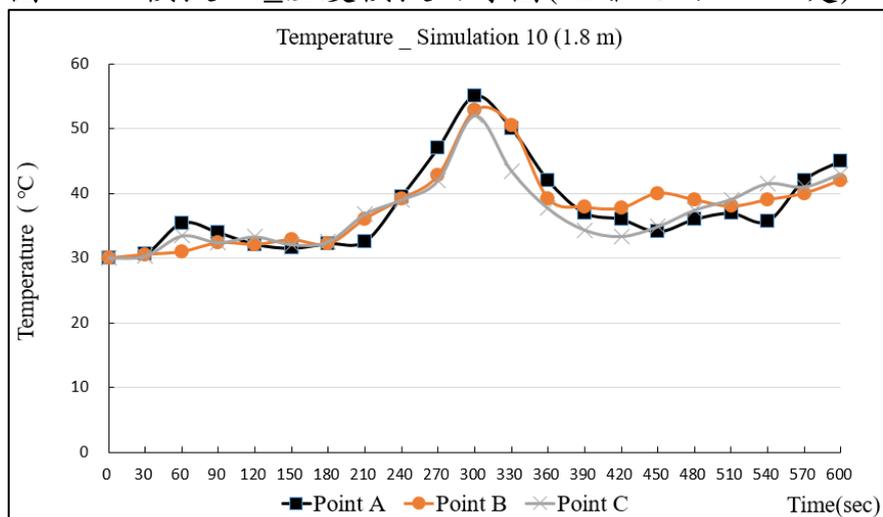


圖 4-43 模擬 10\_溫度模擬曲線圖(距離地面 1.8m 處)

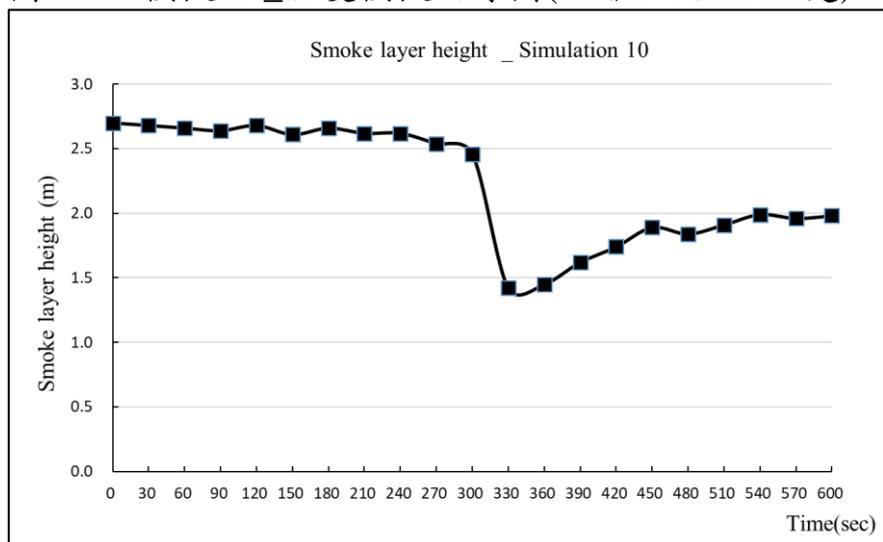


圖 4-44 模擬 10\_煙層高度曲線圖

(圖 4-42、4-43、4-44 資料來源：本研究整理)

## 第四節 模擬結果分析

完成上述十種模擬情境後，整理其模擬結果，探討有無撒水情境下，無裝設排煙設備或裝設自然排煙設備、機械排煙設備，對於火場之煙流特性及危害分析。模擬結果分析如下：

### 一、模擬結果與實驗數據驗證分析(比較模擬1)

本研究蒐集108年度內政部建築研究所之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗結果，並以相同情境規劃進行模擬。首先針對「無排煙設備及無撒水情況」的實際實驗結果與模擬數據進行比較(溫度、煙層)，以瞭解模擬與真實的數值差異。

#### (一)溫度方面：

比較無撒水、無排煙設備之實驗與模擬結果。為簡化溫度感測點數量，故先將A、B、C三串溫度感測點位於2.7m及1.8m的數值進行平均後，再進行比較，如圖4-45所示。

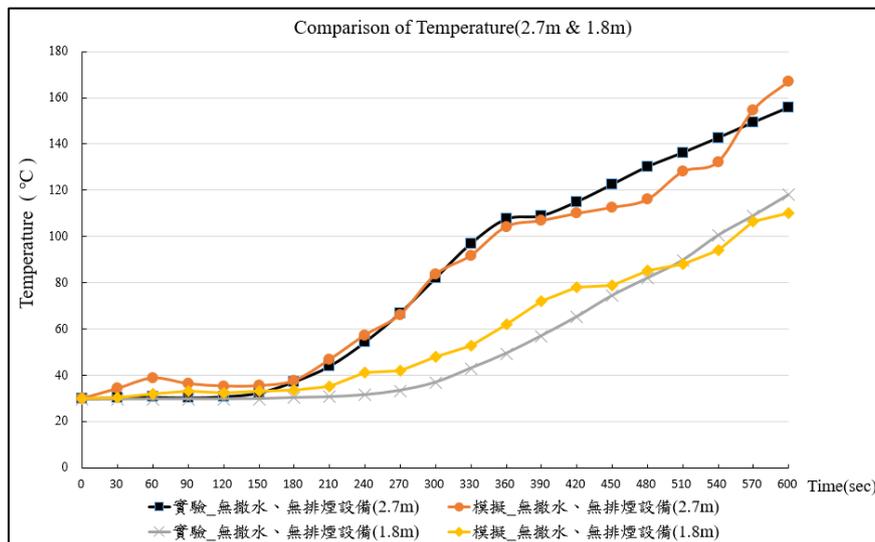


圖 4-45 實驗結果與模擬數據溫度比較圖(2.7m & 1.8m)  
(資料來源：本研究整理)

由圖4-45得知，溫度在180秒後開始有明顯上升趨勢，2.7m處平均溫升斜率為 $0.29^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ ，1.8m處平均溫升斜率為 $0.16^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 。比較2.7m

與1.8m的實驗結果及模擬數據發現，其溫升趨勢相似且數值差異在5%以內。

由火警偵煙探測設備啟動時間(表4-15)發現，在火勢成長速度緩慢的情況下，當偵煙探測器報警時，環境溫度仍維持在40°C以下。因此，居室內裝設火警偵煙探測設備可減少火勢擴大的可能性。

表 4-15 全尺寸實驗\_火警偵煙探測設備啟動時間

偵煙設備種類	及早期	一種	二種
項目			
實驗_啟動時間(min/sec)	01:49	02:20	02:29

(資料來源：本研究整理)

(二)煙層方面：

比較無撒水、無排煙設備之實驗與模擬結果。由圖4-46發現，煙層沉降趨勢相似且數值差異在3%以內。比較實際與模擬結果，在第300秒時，煙層下降至1.8m以下，因此在火勢成長緩慢的情況下，有將近5分鐘的時間，可以避免受到煙層的危害。

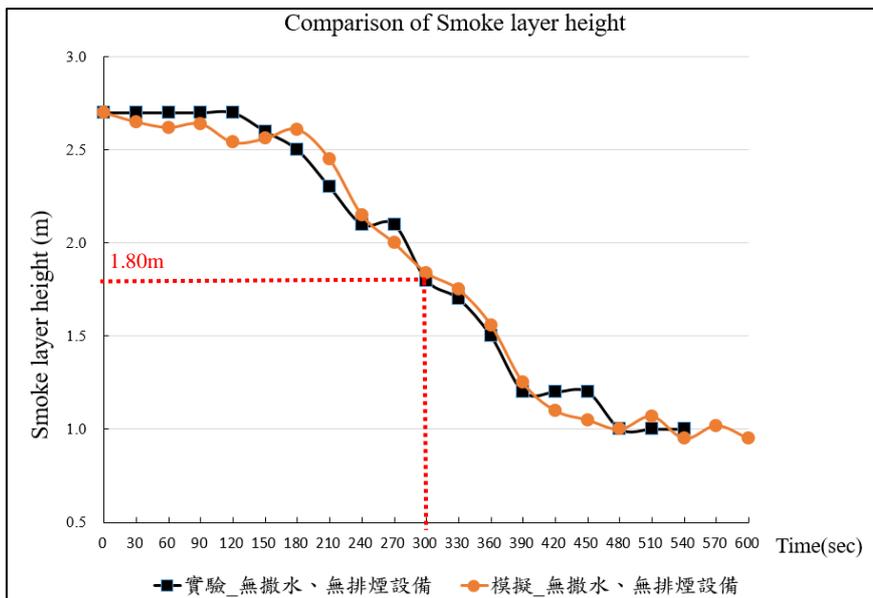


圖 4-46 實驗結果與模擬數據比較圖(煙層高度)

(資料來源：本研究整理)

若進一步比較居室空間尺寸調整為長 6m×寬 4m×高 2.4m 且無撒水、無排煙設備之模擬結果。由圖 4-47 發現，當居室空間尺寸由「長 8m×寬 6m×高 2.7m」調整為「長 6m×寬 4m×高 2.4m」(約為 2~3 人房之大小)後，煙層下降時間由 300 秒增快至 252 秒。由模擬結果可知，若起火居室為 2~3 人房之大小，應爭取於 4 分鐘內完成避難，以確保住民之安全。

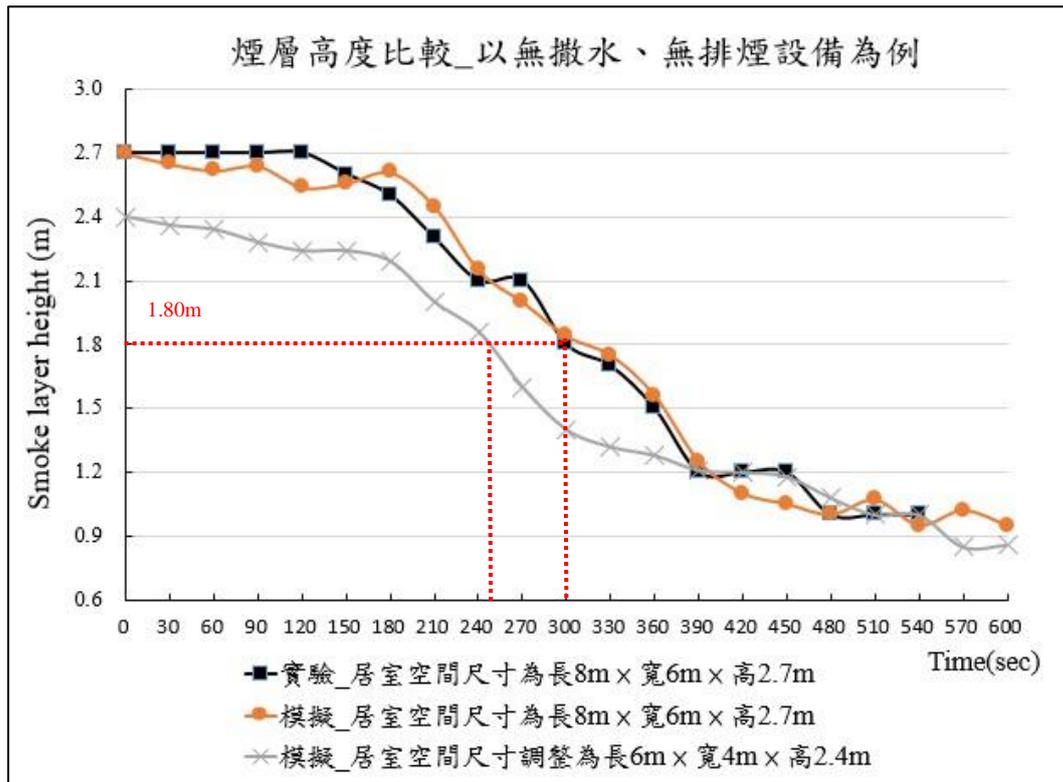
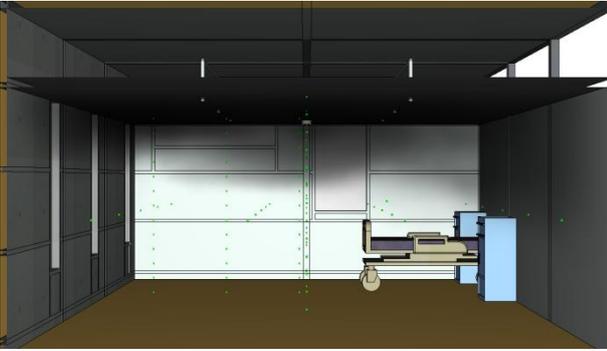
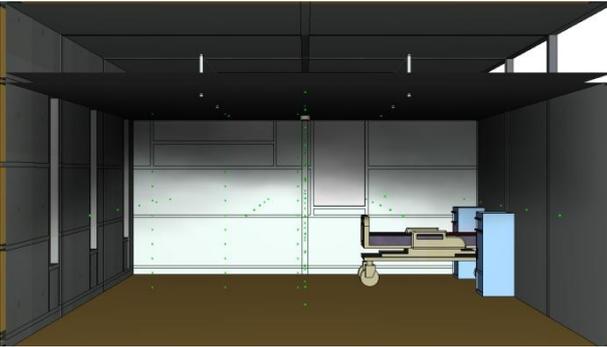
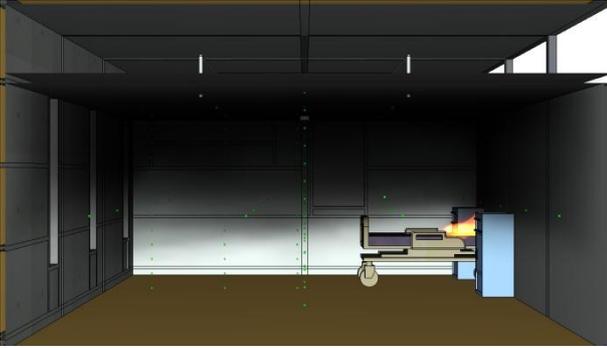
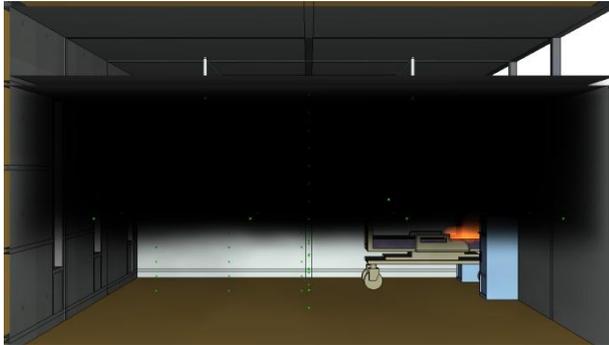
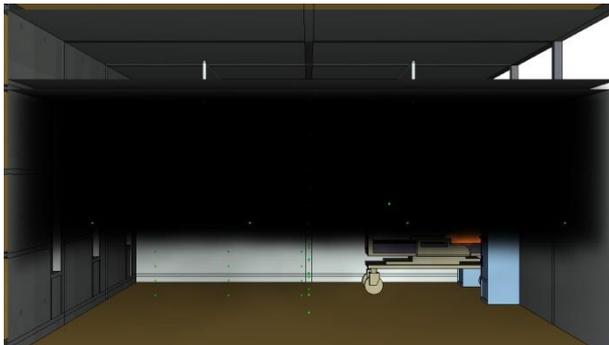


圖 4-47 無撒水、排煙且居室面積及高度縮小之煙層高度比較圖  
(資料來源：本研究整理)

表 4-16 實際與模擬\_煙層沉降示意圖

時間	全尺寸實驗實際畫面	模擬數據
60 秒		
120 秒		
240 秒		

<p>360 秒</p>	 A photograph showing a bright fire source in a dark environment, likely a laboratory setting. The fire is concentrated in a small area, and the surrounding air is dark.	 A 3D computer simulation of a hallway. The hallway is dark, with a fire source visible at the far end. The simulation shows the smoke plume rising from the fire source and spreading into the hallway.
<p>480 秒</p>	 A photograph showing a bright fire source in a dark environment, similar to the 360-second mark. The fire is still concentrated in a small area, and the surrounding air is dark.	 A 3D computer simulation of a hallway, similar to the 360-second mark. The simulation shows the smoke plume rising from the fire source and spreading into the hallway.
<p>540 秒</p>	 A photograph showing a bright fire source in a dark environment, similar to the previous marks. The fire is still concentrated in a small area, and the surrounding air is dark.	 A 3D computer simulation of a hallway, similar to the previous marks. The simulation shows the smoke plume rising from the fire source and spreading into the hallway.

(資料來源：本研究整理)

## 二、無撒水情境下之關係分析(比較模擬1~5)

### (一)煙層高度方面：

無撒水情況下，假設起火位置、火源大小及室內配置皆相同僅排煙設備不同之模擬情境，比較無排煙、自然排煙、機械排煙之煙層高度，如圖4-48所示。

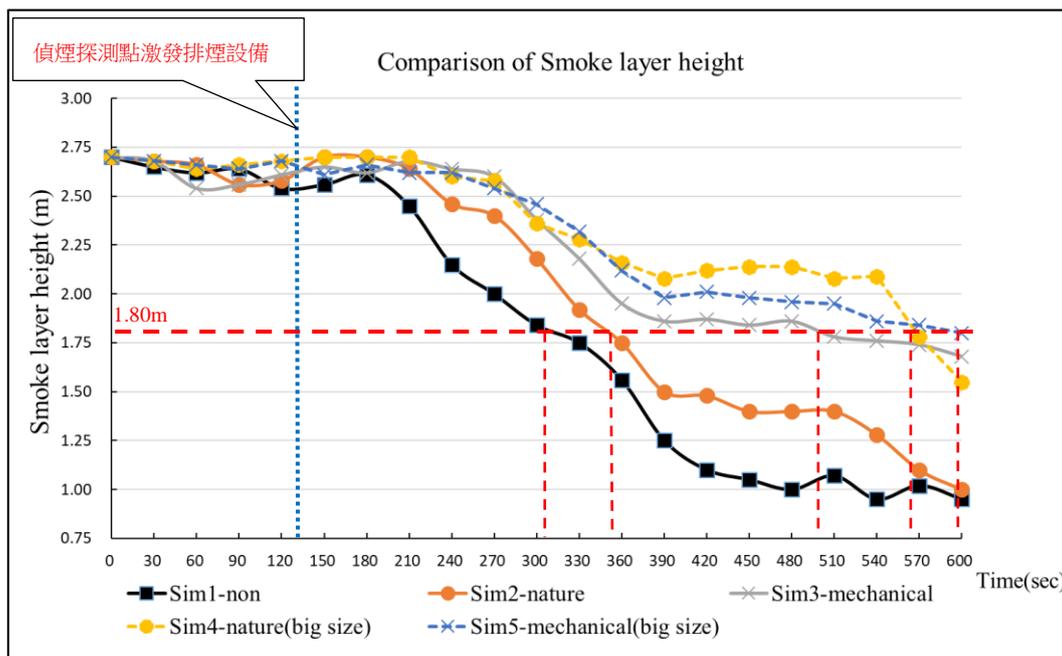


圖 4-48 無撒水情況，煙層高度比較  
(資料來源：本研究整理)

普遍研究煙控系統設計時，皆以離地1.8m的位置設定為安全高度，可使人員在火場維持站立姿勢。本研究分析無撒水情況下，煙層高度維持在1.8m以上的時間，模擬1約為306秒；模擬2約為352秒；模擬3約為500秒；模擬4約為564秒；模擬5約為597秒。詳細分析比較如圖4-49所示。

故在無撒水情況下，不管裝設何種排煙設備皆能延緩煙層下降的時間及延長受困人員的逃生時間。就結果而言，無撒水情況下，相較於法定開窗面積的自然排煙設備，法定排煙量的機械排煙設備可延長約42%煙層下降至1.8m的時間。

對於加大法定要求值設置排煙設備進行比較排煙性能，加大自然排煙設備有明顯延緩煙層下降至1.8m的趨勢，與法定要求設置相比，可延長60%的時間。而加大機械排煙設備而言，僅延長19%的時間。

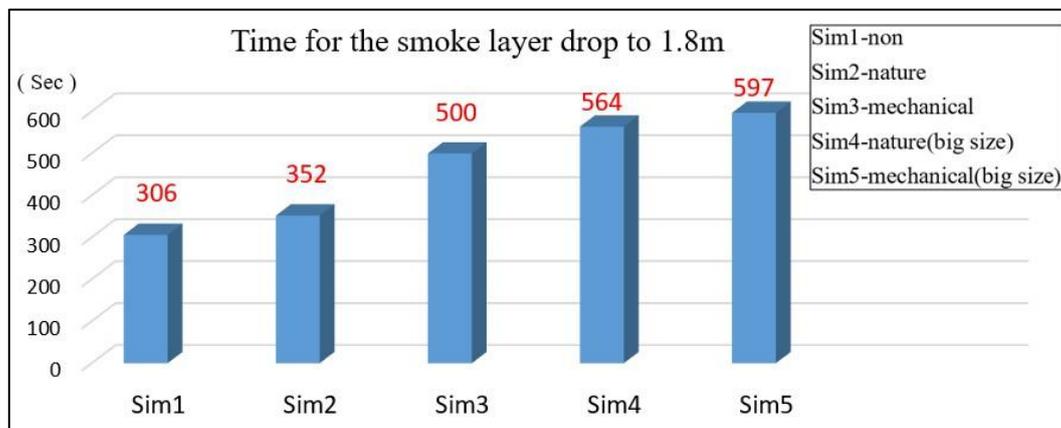


圖 4-49 煙層維持在 1.8m 以上的時間  
(資料來源：本研究整理)

## (二)溫度方面：

無撒水情況下，假設起火位置、火源大小及室內配置皆相同之模擬情境，考量到長照機構弱勢人員在逃生時，大多需要依靠輪椅或病床輔助，本研究以離地1.8m處進行探討無排煙設備、自然排煙設備、機械排煙設備之溫度。因溫度曲線過多，本研究將模擬1~5中，A、B、C三串熱電偶樹之量測值取平均後再進行比較，如圖4-50所示。

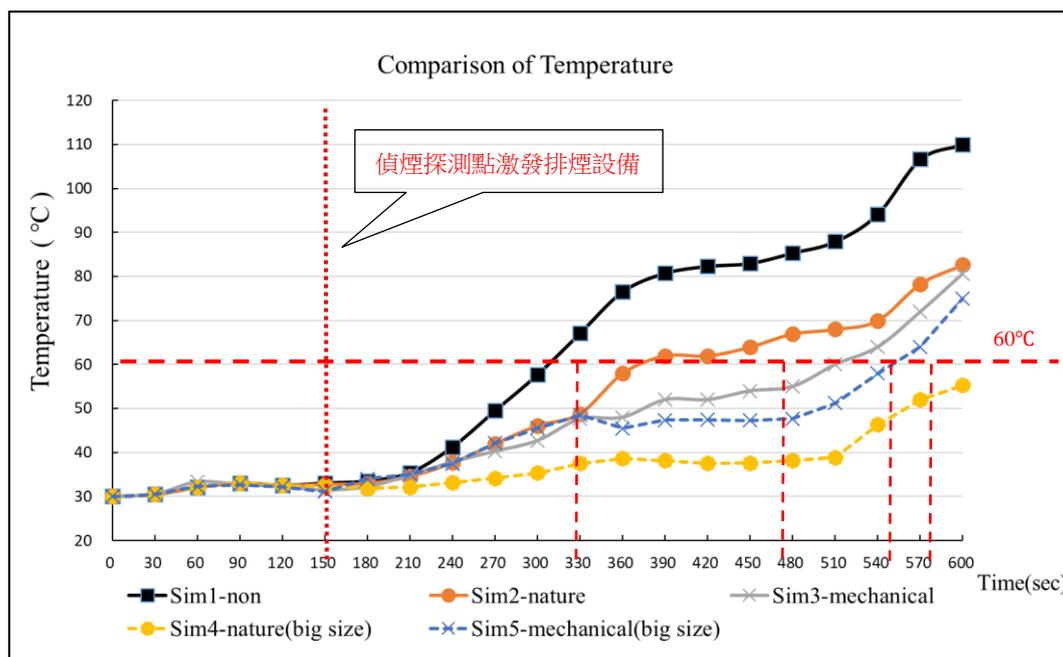


圖 4-50 無撒水情況，溫度比較  
(資料來源：本研究整理)

雖然人員可生存之極限溫度(Breathing level temperature)約為131°C，但當室內溫度高於60°C時，人員便難以忍受，易造成逃生行為遲緩。因此，本研究以火場溫度60°C來作為依據進行比較，模擬1為329秒；模擬2約473秒；模擬3約560秒；模擬5約574秒；而模擬4在600秒前，溫度並無到達60°C。

分析因溫度造成人員逃生速度延緩的時間，在偵煙探測器啟動後200秒時，無裝設排煙設備之火場溫度達到60°C，而裝設自然排煙設備較無排煙設備延長44%，裝設機械排煙設備較無排煙設備延長70%，因此可證明裝設排煙設備可延長受困人員受到溫度危害的時間。

分析以兩倍法定要求設置排煙設備對火場溫度影響，加大自然排煙設備較原法定要求，可使火場位於1.8m處溫度，在600秒內不會上升至60°C；而加大機械排煙設備較原法定要求，可延長火場1.8m處溫度上升至60°C約4%的時間(14秒)。因此，加大自然排煙設備排煙口面積較加大機械排煙設備排煙量，有較明顯的排煙性能提升。

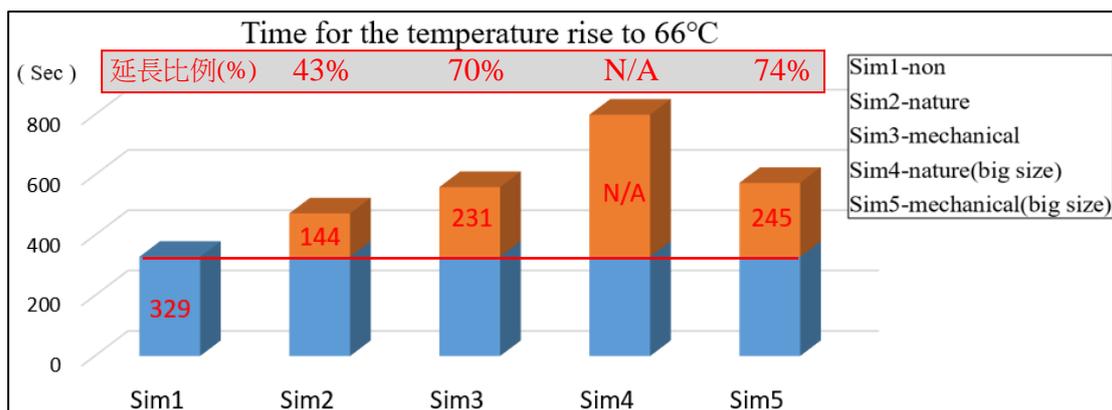


圖 4-51 無撒水情況下，溫度上升至 66°C所需時間(1.8m)  
(資料來源：本研究整理)

(三)有害氣體方面(CO<sub>2</sub>)：

無撒水情況下，假設起火位置、火源大小及室內配置皆相同僅排煙設備不同之模擬情境，比較無排煙、自然排煙、機械排煙之CO<sub>2</sub>量，如下圖所示。

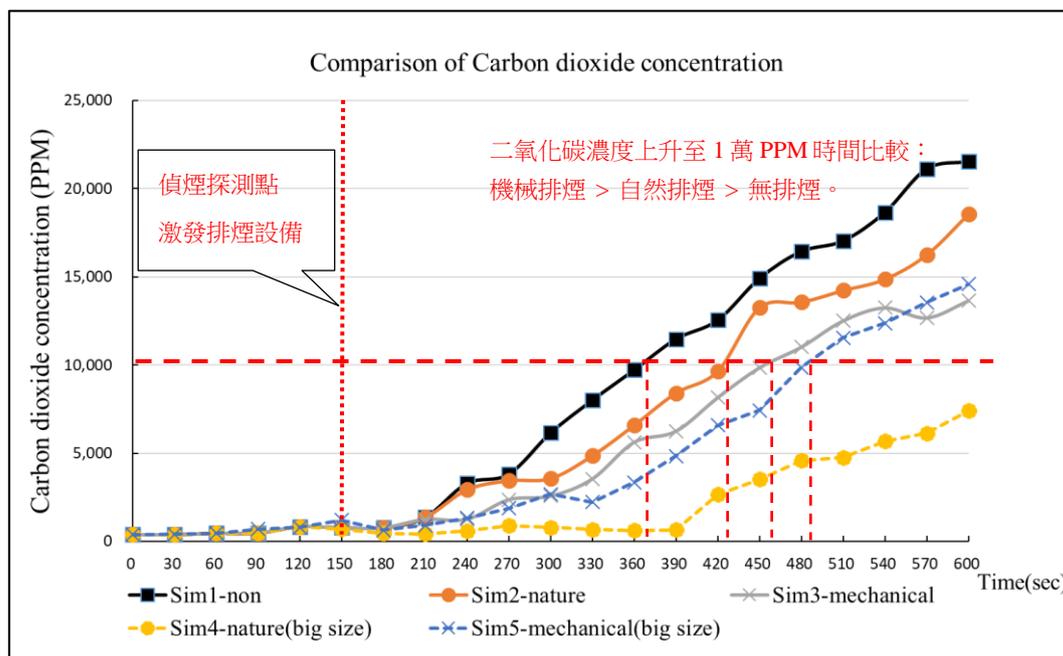


圖 4-52 無撒水情況，CO<sub>2</sub> 氣體濃度比較  
(資料來源：本研究整理)

由參考書目【21】得知，CO<sub>2</sub>濃度超過10,000PPM開始對人體有危害。分析無撒水情況下，各模擬CO<sub>2</sub>濃度達10,000PPM所需的時間，

無裝設排煙設備約365秒；裝設自然排煙設備約424秒；裝設機械排煙設備約468秒。由此發現，裝設機械排煙設備較自然排煙設備，可延緩CO<sub>2</sub>濃度達10,000PPM約10%的時間(44秒)。

分析以兩倍法定要求設置排煙設備對火場有害氣體影響，加大自然排煙設備可有效控制CO<sub>2</sub>濃度在600秒內，不會上升至1萬PPM；而加大機械排煙設備較原法定要求，可延緩CO<sub>2</sub>濃度達1萬PPM約4%的時間(18秒)，使受困人員有較長的逃生時間。

### 三、有撒水情境下之關係分析(比較模擬 6~10)

#### (一)煙層高度方面：

有撒水情況下，假設起火位置、火源大小及室內配置皆相同僅排煙設備不同之模擬情境，比較無排煙、自然排煙、機械排煙之煙層高度，如下圖所示。

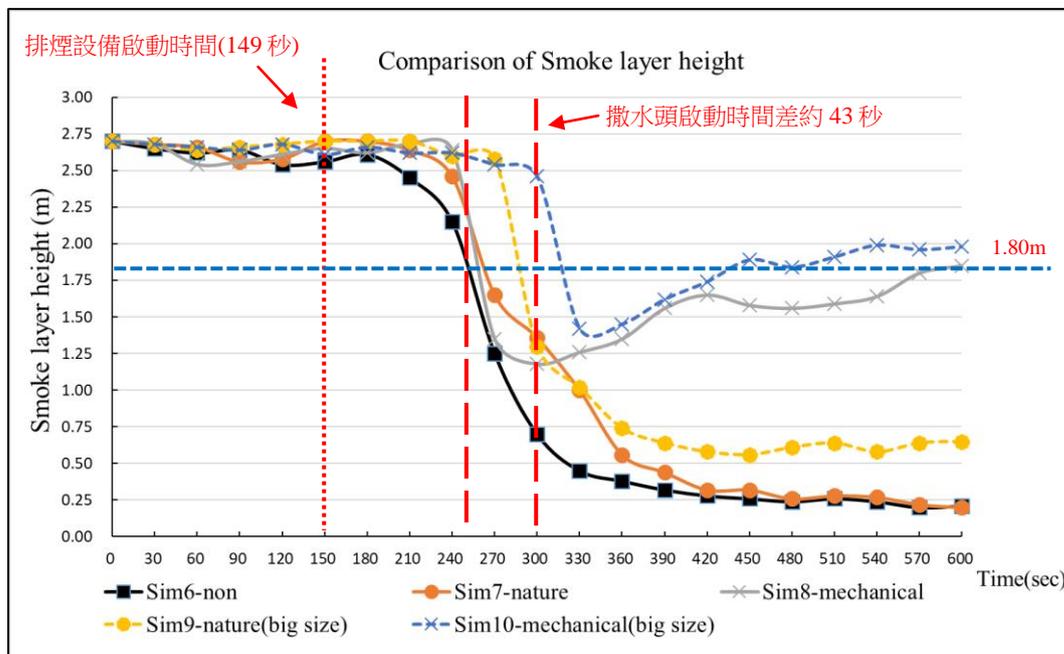


圖 4-53 有撒水情況，煙層高度比較  
(資料來源：本研究整理)

由圖4-53發現，當撒水頭啟動時，火場內煙氣可能因受撒水影響造成拖曳擾動，使煙層下降至距離地面1.8m處的時間加快，故撒水雖可使火場環境溫度下降，但若在受困人員尚未逃生完畢前撒水，反而可能影響人員避難。因此，人員最佳的逃生避難時間推估應為偵煙探測器發出警報開始到撒水設備啟動為止。

同時，由圖4-53發現，裝設排煙設備對於由溫度作為啟動方式的撒水設備在啟動時間上會有所影響。統整各情境模擬之撒水設備啟動時間，裝設自然排煙排煙較無裝設排煙設備慢約2%的時間(5秒)，裝設機械排煙設備較無裝設排煙設備慢約4%的時間(9秒)。彙整模擬6~10撒水頭啟動時間如表4-17所示，由此可知，若排煙設備作動時間(127秒)早於撒水設備作動時間，依據排煙設備之不同，將有可能影響撒水設備其作動的時間。

表 4-17 模擬 6~10 撒水頭啟動時間表

情境	Sim6 (無)	Sim7 (自然)	Sim8 (機械)	Sim9 (自然_加大)	Sim10 (機械_加大)
啟動時間(秒)	257	262	266	272	300

(資料來源：本研究整理)

## (二)溫度方面：

有撒水情況下，假設起火位置、火源大小及室內配置皆相同僅排煙設備不同之模擬情境，比較無排煙、自然排煙、機械排煙之溫度。考量到長照機構的弱勢人員在逃生時，大多需要依靠輪椅或病床的輔助，故本研究以離地1.8m處進行探討無排煙設備、自然排煙設備、機械排煙設備之溫度。因溫度曲線過多，本研究將模擬6~10中，A、B、C三串熱電偶樹之量測值取平均後再進行比較，如圖4-54所示。

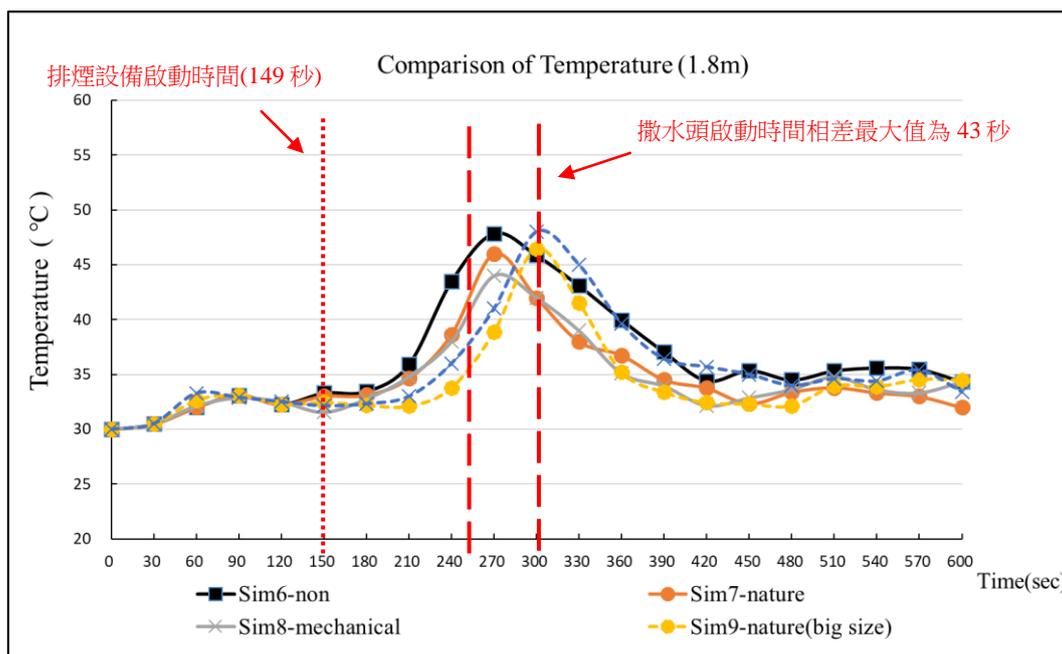


圖 4-54 有撒水情況，溫度比較

(資料來源：本研究整理)

雖人員可生存之極限溫度(Breathing level temperature)約為131°C，但當室內溫度高於60°C時，人員便難以忍受，易造成逃生行為遲緩。由圖4-54發現，有撒水情況下，火場溫度皆低於60°C，因此受溫度造成傷亡的機率降低。

### (三)有害氣體方面(CO<sub>2</sub>)：

有撒水情況下，假設起火位置、火源大小及室內配置皆相同僅排煙設備不同之模擬情境，比較無排煙、自然排煙、機械排煙之CO<sub>2</sub>量，如下圖所示。

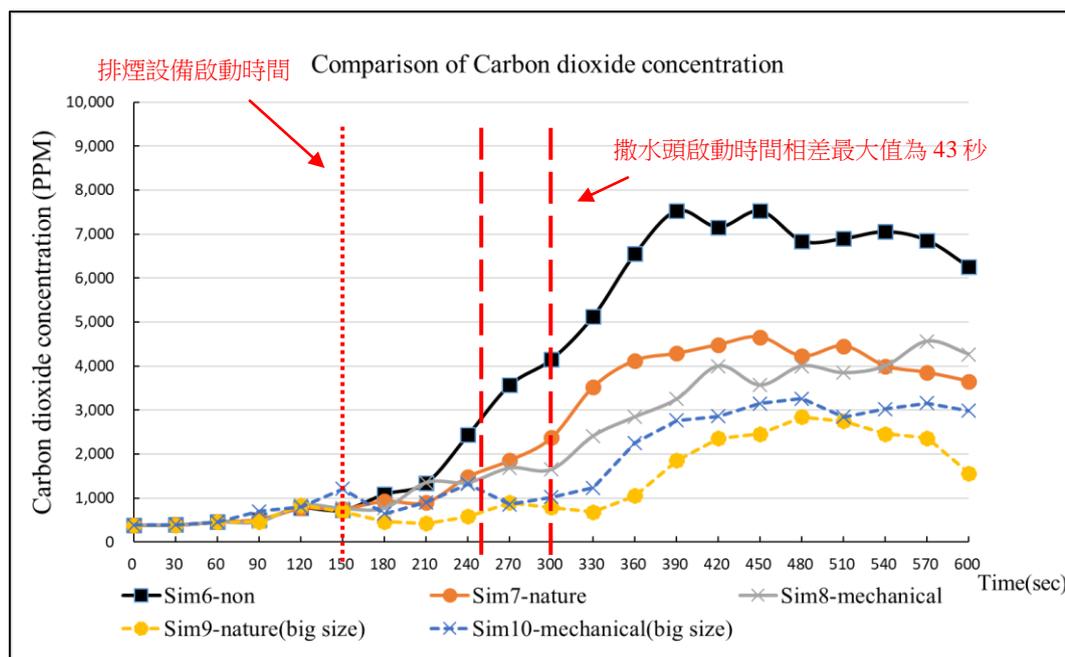


圖 4-55 有撒水情況，CO<sub>2</sub> 氣體濃度比較  
(資料來源：本研究整理)

由參考書目【21】得知，CO<sub>2</sub>濃度超過10,000PPM開始對人體有危害。由圖4-55發現，有撒水情況下，CO<sub>2</sub>濃度皆控制在10,000PPM，因此受二氧化碳造成危害的可能性降低。

#### 四、評估法定排煙量是否滿足排煙性能

排煙能力與起火室內人員能否完全疏散，往往與起火室樓地板面積及起火室內燃燒物特性、火勢大小有密切關連。本研究將以起火室內人員完全疏散的時間作為符合需求之依據。

本研究以108年度內政部建築研究所之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗作為模擬規劃，置入相同配置如床位、床頭櫃等以契合實驗情境，同時結合Pyrosim及Pathfinder兩套軟體進行疏散情形與火場情況模擬。由模擬結果進行分析並評估法定排煙量是否滿足人員安全避難。

##### (一)模擬情境規劃及模擬結果：

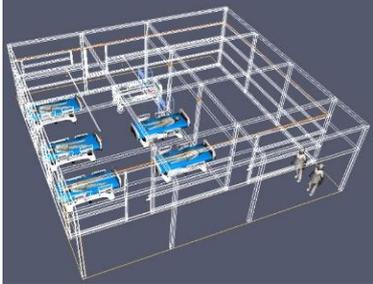
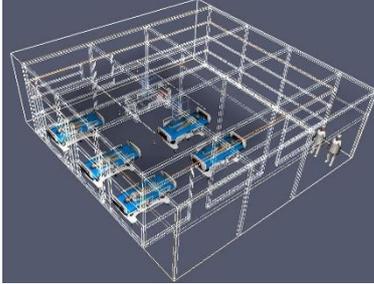
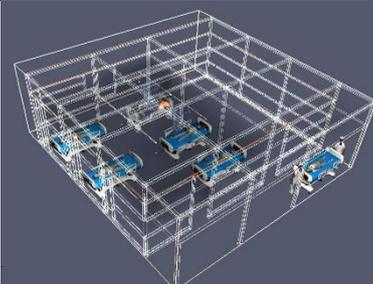
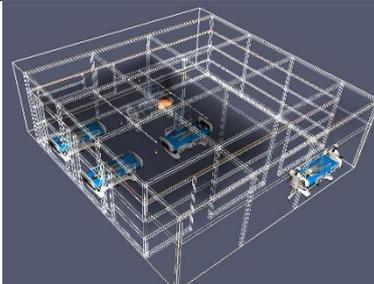
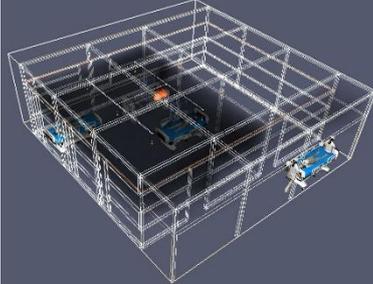
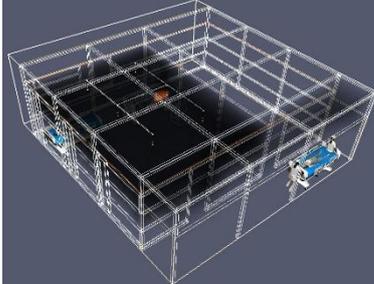
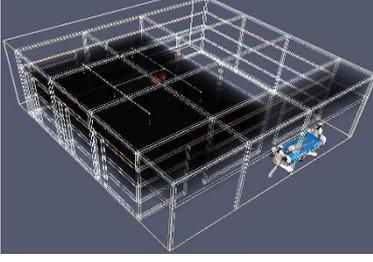
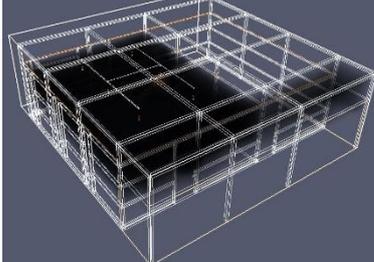
本研究以最危險的情況(無裝設排煙設備及撒水設備的情境)探討居室人員安全避難所需時間。模擬空間內設置六張病床，模擬情境為假設其中一張病床因電線走火造成火災。醫護人員在收到偵煙探測器報警時，開始協助無法自力避難人員進行疏散。病床及醫護人員移動速度依David V. Canter【26】要求設置(表4-18)。為使疏散情況更接近現實，將假設為人力不足的情況(僅兩名醫護人員)且病床需同時由兩名醫護人員偕同移動。同時匯入Pyrosim的模擬數據，耦合火場現況模擬與人員疏散模擬，評估居室人員安全疏散所需時間。

表 4-18 Pathfinder 移動速度參數設定

項目	速度(m/sec)	備註
病床	1.1	1. 每次移動病床前，延遲 13 秒。 (模擬醫療器具拆卸準備時間)
醫護人員	1.2	1. 偵煙探測器發出警報後(149 秒)，開始協助病床疏散。

(資料來源：David V. Canter【26】)

表 4-19 避難疏散模擬結果

動作	模擬時間(sec)	動作	模擬時間(sec)
1.火災開始	0	2.偵煙探測器警報	149
			
動作	模擬時間(sec)	動作	模擬時間(sec)
3.一床疏散	185	4.二床疏散	219
			
動作	模擬時間(sec)	動作	模擬時間(sec)
5.三床疏散	255	6.四床疏散	291
			
動作	模擬時間(sec)	動作	模擬時間(sec)
7.五床疏散	330	8.疏散完畢	335
			

(資料來源：本研究整理)

(二)評估排煙性能：

透過模擬結果得知，醫護人員完全疏散完畢時為模擬第335秒。因此將以335秒作為是否符合排煙需求的依據，蒐集本研究各模擬第335秒時的火場特性如表4-20，評估排煙性能是否滿足人員安全避難逃生所需時間。

表 4-20 各模擬情境第 335 秒數值比較表

種類 \ 項目		撒水設備 啟動時間 (sec)	排煙設備 啟動時間 (sec)	煙層高度 (m)	火場溫度 (1.8m) (°C)	二氧化碳 濃度 (PPM)	
無撒水	無排煙設備	無撒水	127 (實際實驗之 偵煙探測設備 啟動時間)	無排煙	1.73	68.2	8,465
無撒水	自然排煙			1.90	50.7	5,217	
無撒水	機械排煙			2.15	47.4	4,019	
無撒水	自然排煙(加大)			2.26	37.6	684	
無撒水	機械排煙(加大)			2.24	46.8	2,469	
有撒水	無排煙設備	257	127 (實際實驗之 偵煙探測設備 啟動時間)	0.42	42.4	4,321	
有撒水	自然排煙	262		0.90	37.6	2,540	
有撒水	機械排煙	266		1.28	38.4	1,760	
有撒水	自然排煙(加大)	272		0.95	40.7	732	
有撒水	機械排煙(加大)	300		1.36	44.3	1,074	

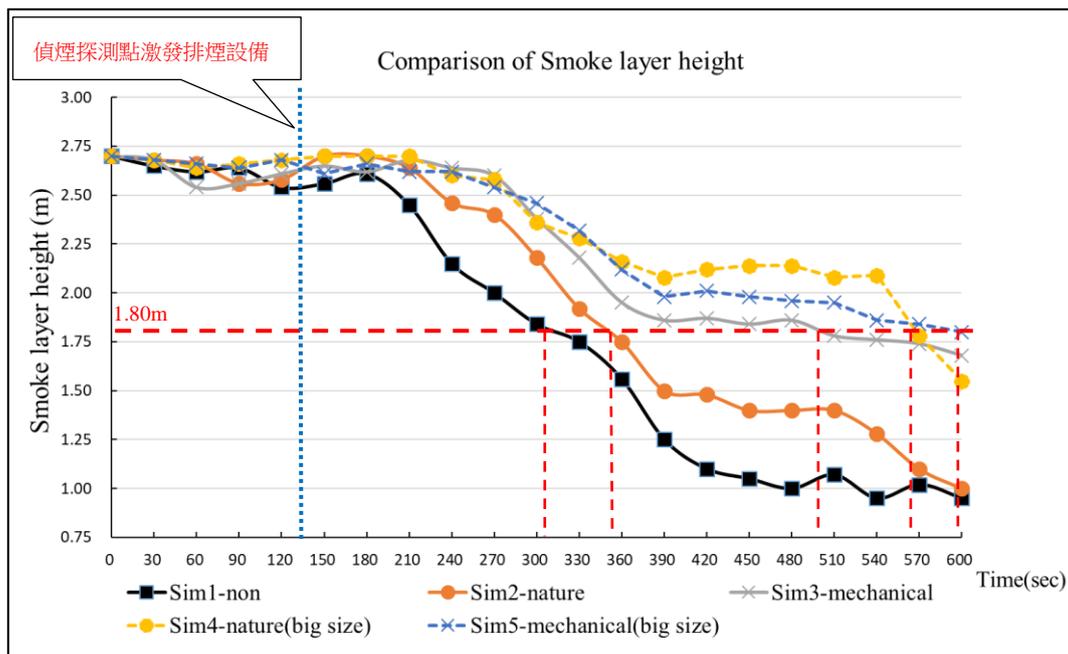


圖 4-56 無撒水情況，煙層高度比較

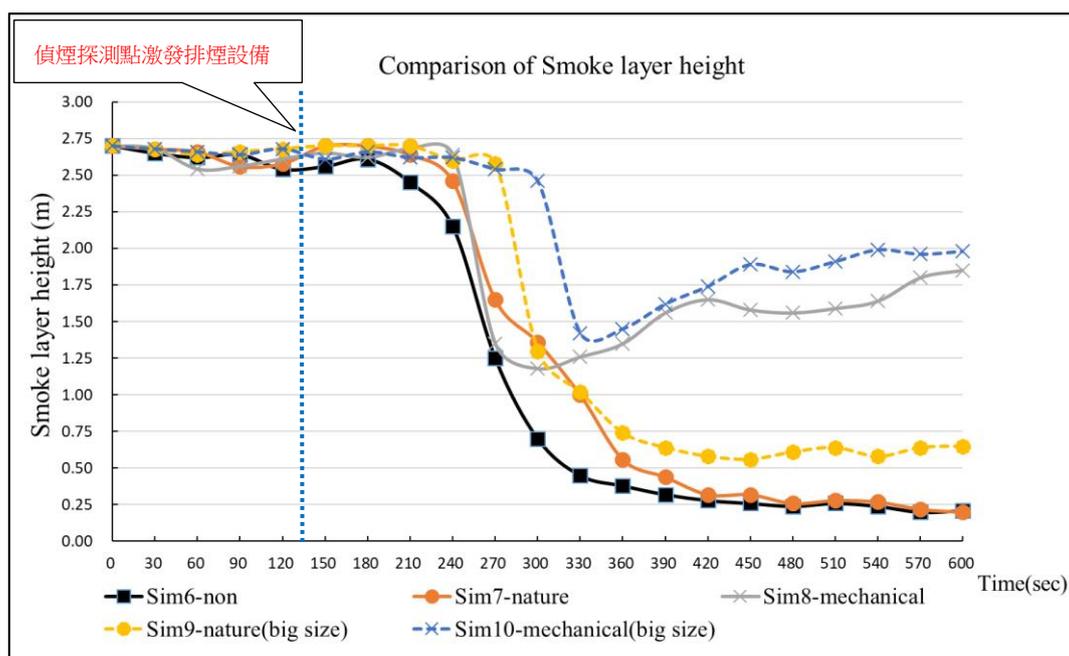


圖 4-57 有撒水情況，煙層高度比較  
(圖 4-55、圖 4-56 資料來源：本研究整理)

由表4-20可知，在無撒水情況下，以法定要求設置機械排煙設備或自然排煙設備，其排煙性能皆足以滿足人員進行避難逃生，若偵煙探測器能將報警時間提早，更能減少火災造成的危害。

而由圖4-57可知，在有撒水情況下，因受濃煙可能受撒水拖曳影響，煙層將快速下降至距離地面1.8m處。同時，由於機械排煙係以機械風力強制將濃煙排除，故撒水一段時間後，將可維持煙層高度在距離地面1.5m以上。

## 第五節 小結

統整上節之電腦模擬結果，其研究發現如下：

### 有/無撒水情境之比較：

1. 由模擬結果得知，排煙設備皆能延緩煙層下降的時間。
2. 若在無撒水情境下假設以兩倍法定要求值設置排煙設備，加大自然排煙設備面積與加大機械排煙設備之排煙量相比，可延遲煙層下降至距離地面1.8m的較長時間。
3. 在有撒水情況下，因受濃煙可能受撒水拖曳影響，煙層將快速下降至距離地面1.8m處。同時，由於機械排煙係以機械風力強制將濃煙排除，故撒水一段時間後，將可維持煙層高度在距離地面1.5m以上。

### 法定排煙量是否滿足排煙性能：

本研究透過全尺寸實驗結果及模擬結果，加上起火室人員完全疏散時間進行比較分析，得知居室以法定要求設置排煙設備，其排煙性能足以使起火室人員安全避難逃生，故推論法定排煙量應可滿足居室排除濃煙所需之性能。



## 第五章 全尺寸性能實驗

如何確認火警偵煙探測設備及水自動滅火設備之性能有效性為目前極具重要性的課題。本研究預計於雲林科技大學防火工程中心實驗室進行相關全尺寸實驗，實驗內容包含：

- 一、起火位置對火警偵煙探測設備之有效反應時間分析。
- 二、不同水自動滅火設備對居室住房內泡棉床墊的滅火效果分析。

### 第一節 全尺寸實驗空間規劃

雲林科技大學防火工程中心的實驗室樓地板尺寸為長 7.5m×寬 4m(面積約 30m<sup>2</sup>)，依據各類場所消防安全設備設置標準第 46 條第三項之規定，任一點至撒水頭之水平距離在 2.6m 以下，撒水頭間距在 3m 以上，且任一撒水頭之防護面積在 13m<sup>2</sup> 以下。實驗空間及撒水頭配置圖如圖 5-1、5-2 所示。

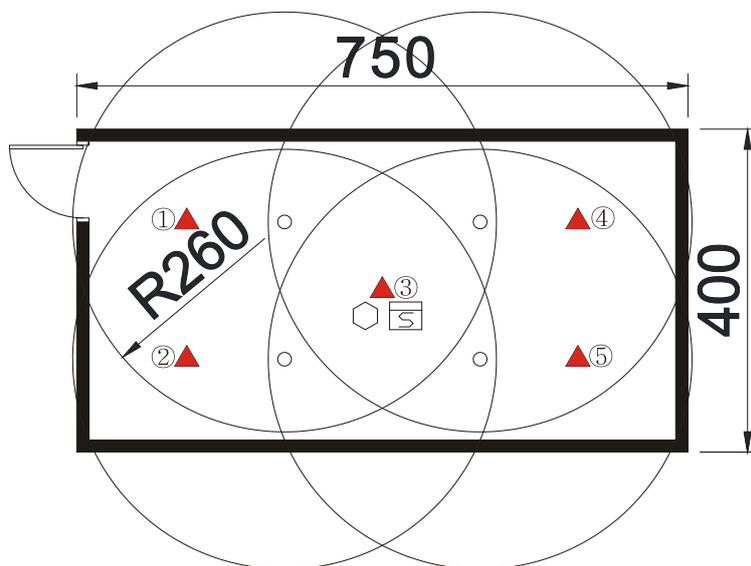


圖 5-1 撒水設備防護範圍示意圖

(資料來源：本研究整理)





圖 5-2 實驗空間現況示意圖

(資料來源：本研究整理)

## 第二節 實驗設備與材料規格說明

本研究全尺寸實驗共分成兩大部份，首先第一部份為研究不同水自動滅火設備對居室住房內泡棉床墊之滅火效果；第二部份為研究起火位置對火警偵煙探測設備之有效反應時間分析。詳細全尺寸實驗之相關實驗設備與材料規格如下所示：

### 一、水自動滅火設備規劃：

表 5-1 水自動滅火設備\_實驗設備與材料規格表

共同實驗設備與材料規格
床架：不鏽鋼
枕頭：人工纖維棉
棉被(含被單)：棉花+聚脂纖維
床墊：泡棉+椰子絲

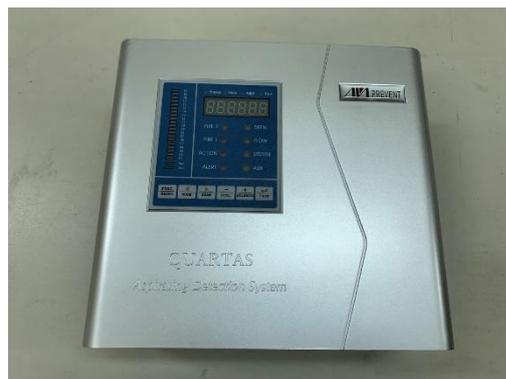
偵煙式探測器： 光電式局限型偵煙探測器(一、二種)  
吸氣式偵煙探測系統(ASD)

CO 濃度探測器： 探測濃度上限 300ppm

CO<sub>2</sub> 濃度探測器： 探測濃度上限 5,000ppm



CO、CO<sub>2</sub> 氣體濃度探測設備



吸氣式偵煙探測系統

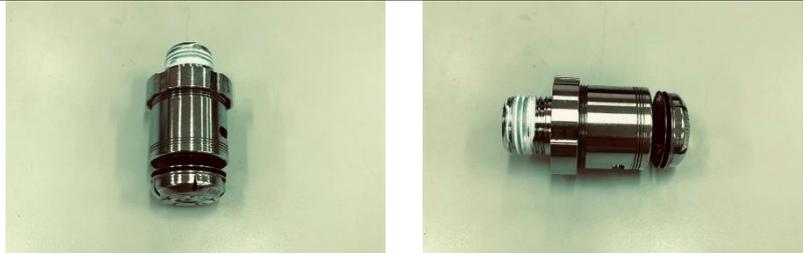
水道連結型撒水設備(密閉濕式)

啟動方式：

易熔金屬\_感溫熔斷啟動

撒水頭規格：

第一種感度、防護半徑 2.6m、防護面積 13m<sup>2</sup>、標示溫度 72°C、流量特性係數 K43。

	
一般自動撒水設備(密閉濕式)	
啟動方式：	玻璃球破裂啟動
撒水頭規格：	第二種感度、防護半徑 2.3m、標示溫度 68°C、放水量 80LPM。
	
細水霧撒水設備(開放式)	
啟動方式：	偵煙設備連動
撒水頭規格：	啟動壓力 4kg/cm <sup>2</sup> 、撒水頭放水量 7 LPM。
	

## 二、火警偵煙探測設備規劃：

表 5-2 水自動滅火設備\_實驗設備與材料規格表

共同實驗設備與材料規格
偵煙式探測器：光電式局限型偵煙探測設備(一、二種)。

<p>吸氣式偵煙探測系統(ASD)。</p> <p>油盤尺寸：30cm x 30cm。</p> <p>65cm x 90cm。</p> <p>燃料： 92 無鉛汽油。</p>			
<p>油盤尺寸_對應火勢示意圖</p>			
<p>30cm x 30cm (小火盤)</p>		<p>65cm x 90cm (大火盤)</p>	
			

(資料來源：本研究整理)

### 第三節 實驗儀器與設備

#### 一、溫度量測設備：

火源附近架設熱電偶樹(Thermocouple Tree)，以量測火場溫度變化。熱電偶規格為 K-type，直徑為 0.3mm，最高量測溫度為 1,000°C，

詳細熱電偶規格如表 5-3 所示。熱電偶樹裝設位置以距離地面 1.0m 處為第一點，而後每隔 0.5m 設置一點，共計五個量測點。為避免訊號受煙流及溫度影響，於熱電偶線外部包覆一層隔熱材料。

表 5-3 熱電偶線規格

規格	圖示
<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 規格：0.32mm x 2C</li> <li>◎ 材質：鐵氟龍 Teflon</li> <li>◎ 適用：K TYPE</li> <li>◎ 量測溫度範圍：≤1,000°C</li> </ul>	

(資料來源：本研究整理)

## 二、數據收集系統：

數據擷取裝置主要功能為將實驗過程中，熱電偶(溫度)及煙層量測設備(遮蔽率)之量測數值進行即時傳輸並記錄。因此選用數據收集系統需滿足高頻率的數據採集及多點數據收集，並兼備大容量的儲存空間，本研究採用之數據收集系統如圖 5-3 所示。

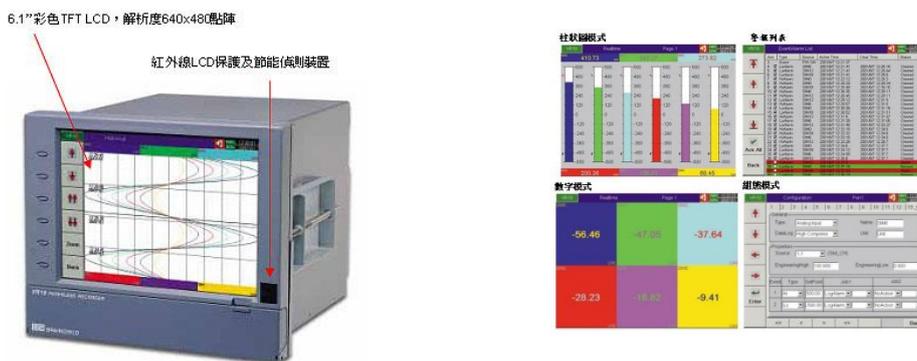


圖 5-3 無紙式紀錄器數據收集系統主機及量測畫面

(資料來源：本研究整理)

## 三、影像收集系統

為了完整保存實驗過程以作為後續火場情況分析使用。本研究將在實驗空間周遭架設相機，用以錄製實驗情形。錄製內容包含火源燃燒的情形、撒水頭的作動情形、煙層沉降的狀況等。

#### 四、燃料

本研究採用長照機構報廢之泡棉床墊作為全尺寸實驗之火載量，以汽油作為助燃劑，模擬真實火災燃燒情況。

#### 五、煙層量測設備

煙層量測設備主要部件可分為發射端與接收端，採用「雷射煙層量測設備—光敏電阻法」，運用 Beer-Lambert 定律(平行單色可見光能量之衰減原理)，以雷射光源投射至光敏電阻，當光源受煙層遮蔽將造成接收端之電壓值變化。依電壓值的變化量轉換相應遮蔽率。煙層量測設備設置以離地 1.0m 為第一點，每隔 50cm 加設一點，共計 5 點，其煙層量測設備架設方式如圖 5-4 所示。



(左)發射端



(右)接收端

圖 5-4 煙層量測設備裝設示意圖

(資料來源：本研究整理)

### 第四節 實驗規劃與實驗結果

透過全尺寸實驗研究不同水自動滅火設備對長照居室內泡棉床

墊等相關參數之滅火效能影響分析，以及火警偵煙探測器對起火位置等相關參數之反應時間分析。期望本年度對水自動滅火設備及火警偵煙探測設備之實際效果加以瞭解，以期迅速發現火源並加以控制，爭取後續反應時間，減少長照機構發生火災時之人員傷亡及財務損失。

本年度全尺寸實驗規劃如下：

表 5-4 水自動滅火設備實驗總表

項目	設備種類	火源情境	撒水頭位置
實驗一	水道連結型	快速	火源上方
實驗二	水道連結型	快速	火源兩側
實驗三	水道連結型	緩慢	火源上方
實驗四	水道連結型	緩慢	火源兩側
實驗五	細水霧	快速	火源上方
實驗六	細水霧	快速	火源兩側
實驗七	細水霧	緩慢	火源上方
實驗八	細水霧	緩慢	火源兩側
實驗九	一般自動撒水	快速	火源上方
實驗十	一般自動撒水	快速	火源兩側
實驗十一	一般自動撒水	緩慢	火源上方
實驗十二	一般自動撒水	緩慢	火源兩側

(資料來源：本研究整理)

### 實驗操作步驟

(一)安裝熱電偶線、火警偵煙探測設備、雷射煙層量測設備，同時將電腦及實驗設備與數據收集系統連結。實驗開始前，再次確認訊

號源傳輸及紀錄是否正常。

(二)依火源情境設置，將固定量汽油(助燃劑)倒入泡棉床墊。

- 火勢成長極快：供給 1 公升汽油。
- 火勢成長緩慢：供給 150 毫升汽油。

(三)實驗開始：點燃火源。

(四)紀錄從點火開始至火源撲滅或熄滅之實驗數據，內容包含(溫度、煙層遮蔽值、CO 氣體濃度、CO<sub>2</sub> 氣體濃度、撒水頭啟動時間、火警偵煙探測設備啟動時間)。

(五)火源撲滅或熄滅時，即為實驗結束。

(六)實驗結束後，開啟排煙設備及各出入口，將起火室內熱煙排出室外，當所有量測數值回歸初始條件後，即可進行後續實驗。

#### 水自動滅火設備實驗\_實驗一

實驗 1	火源種類	模擬情境
	報廢被褥、床墊、床單、枕頭	假設住房被人為縱火

		(火勢成長極快)											
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料										
水道連結型	火源上方	感溫金屬熔斷	汽油 1L										
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力											
43LPM		1.5 kg/cm <sup>2</sup>											
實驗目的													
此實驗目的為瞭解居室住房起火時，火勢成長極快的情況下，裝設水道連結型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。													
實驗配置平面圖													
<p>圖例</p> <table border="0"> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td> 火源位置</td> </tr> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td> CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> 撒水頭</td> <td> CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td> 雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td> 吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td> 光敏式接收端</td> </tr> </table>				偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置	偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器	撒水頭	CO濃度探測器	Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔	光敏式接收端
偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置												
偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器												
撒水頭	CO濃度探測器												
Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端												
吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔	光敏式接收端												

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗一

吸氣式偵煙  
探測設備  
及  
光電式局限型  
(一種)  
啟動時間

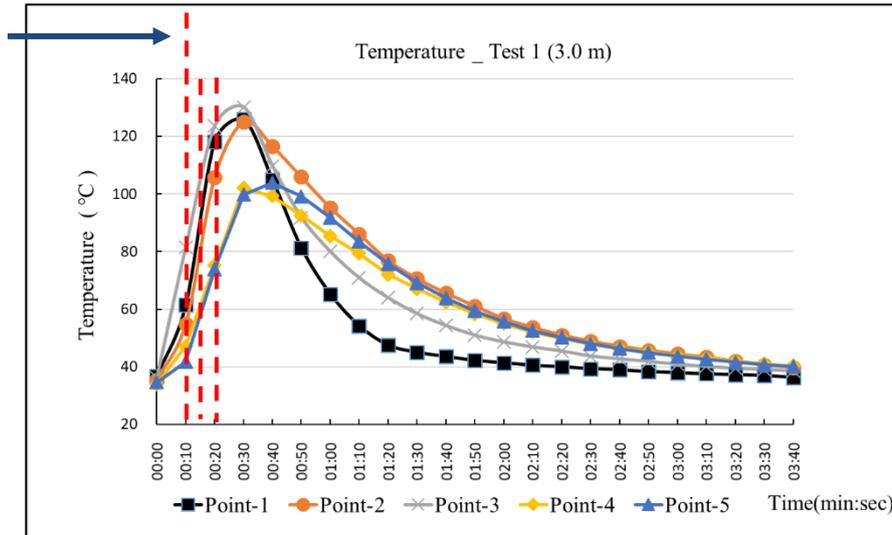


圖 5-5 實驗一\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

光電式局限型  
(二種)  
啟動時間

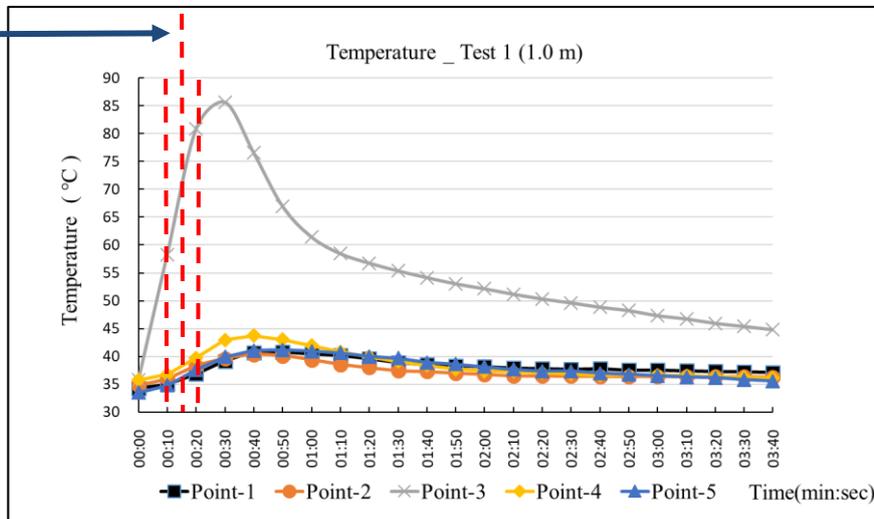


圖 5-6 實驗一\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

撒水設備  
啟動時間

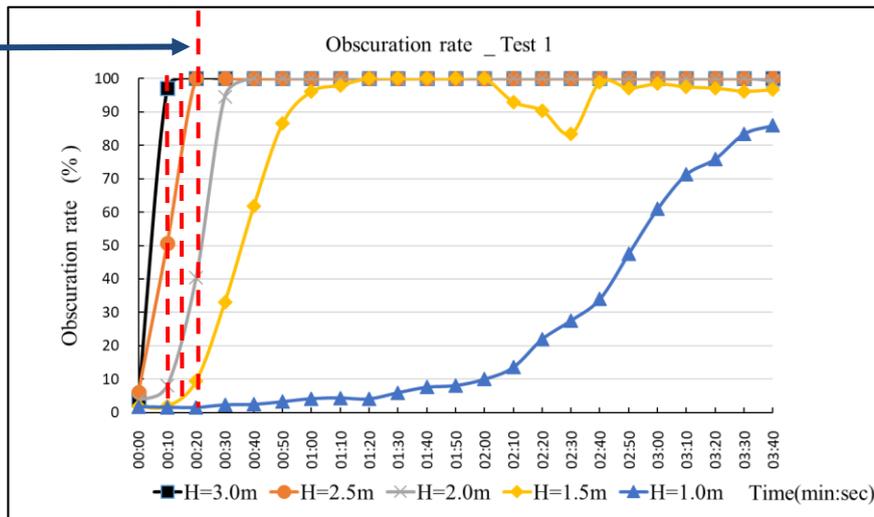


圖 5-7 實驗一\_煙層遮蔽率

(圖 5-5、5-6、5-7 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗二

火源種類		模擬情境																				
報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房被人為縱火 (火勢成長極快)																				
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料																			
水道連結型	火源兩側	感溫金屬熔斷	汽油 1L																			
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力																				
43LPM		1.5 kg/cm <sup>2</sup>																				
實驗目的																						
承實驗一，此實驗目的為瞭解當起火位置變更為撒水頭兩側時，裝設水道連結型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。																						
實驗配置平面圖																						
實驗 2																						
	<p>圖例</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td></td> <td>火源位置</td> </tr> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td></td> <td>CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>撒水頭</td> <td></td> <td>CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td></td> <td>雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td></td> <td>吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td></td> <td>光敏式接收端</td> </tr> </table>				偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置		偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器		撒水頭		CO濃度探測器		Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端		吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔	
	偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置																			
	偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器																			
	撒水頭		CO濃度探測器																			
	Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端																			
	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔		光敏式接收端																			

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗二

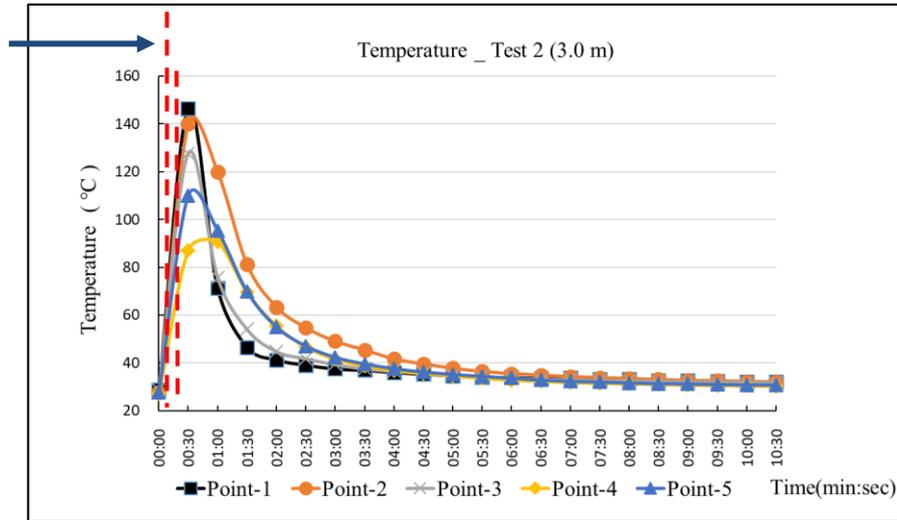


圖 5-8 實驗二\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

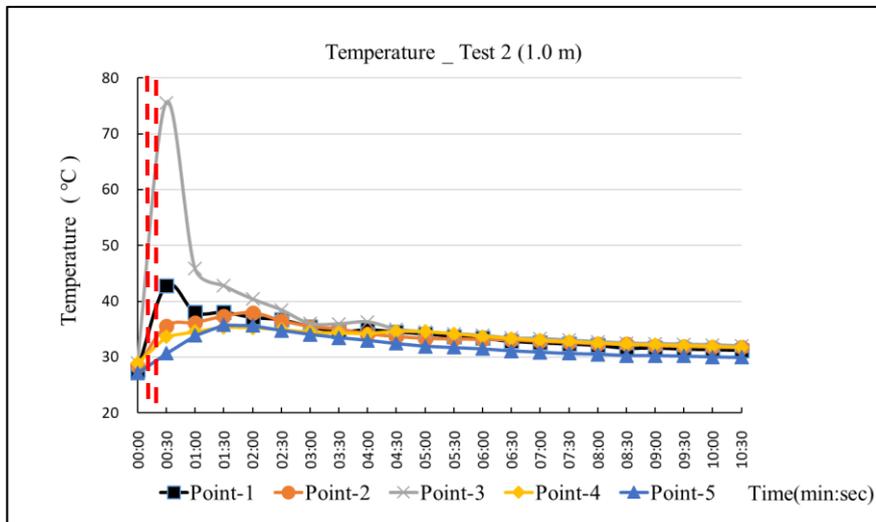


圖 5-9 實驗二\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

撒水設備  
啟動時間

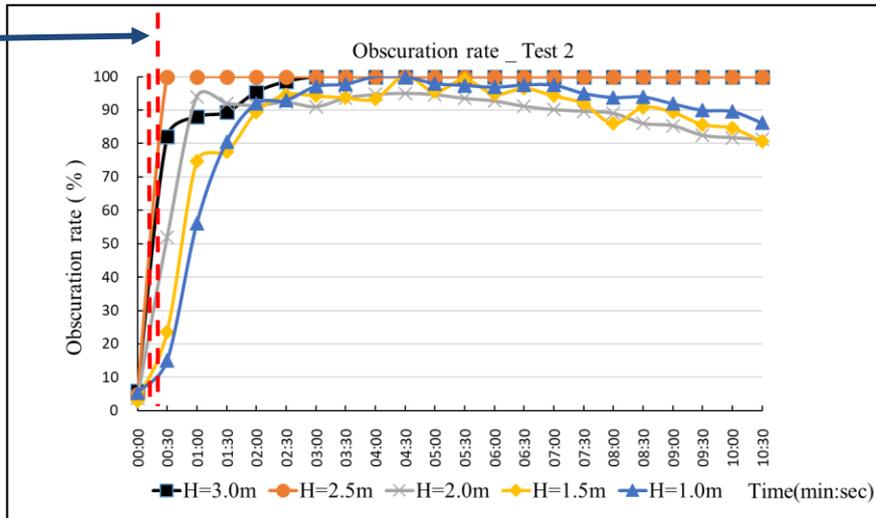


圖 5-10 實驗二\_煙層遮蔽率

(圖 5-8、5-9、5-10 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗三

火源種類		模擬情境																					
報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房床鋪受微火源引燃 (例如：香菸)(火勢成長緩慢)																					
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料																				
水道連結型	火源上方	感溫金屬熔斷	汽油 150mL																				
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力																					
43LPM		1.5 kg/cm <sup>2</sup>																					
實驗目的																							
此實驗目的為瞭解居室住房起火時，火勢成長緩慢的情況下，裝設水道連結型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。																							
實驗配置平面圖																							
<p>圖例</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td></td> <td>火源位置</td> </tr> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td></td> <td>CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>撒水頭</td> <td></td> <td>CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td></td> <td>雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td></td> <td>吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td></td> <td>光敏式接收端</td> </tr> </table>					偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置		偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器		撒水頭		CO濃度探測器		Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端		吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔		光敏式接收端
	偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置																				
	偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器																				
	撒水頭		CO濃度探測器																				
	Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端																				
	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔		光敏式接收端																				

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗三

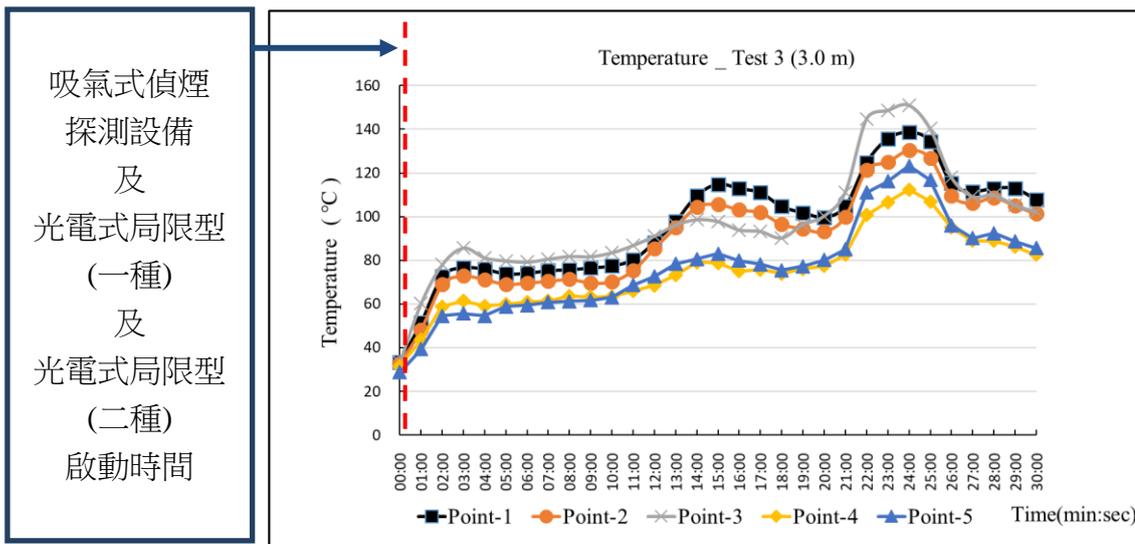


圖 5-11 實驗三\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

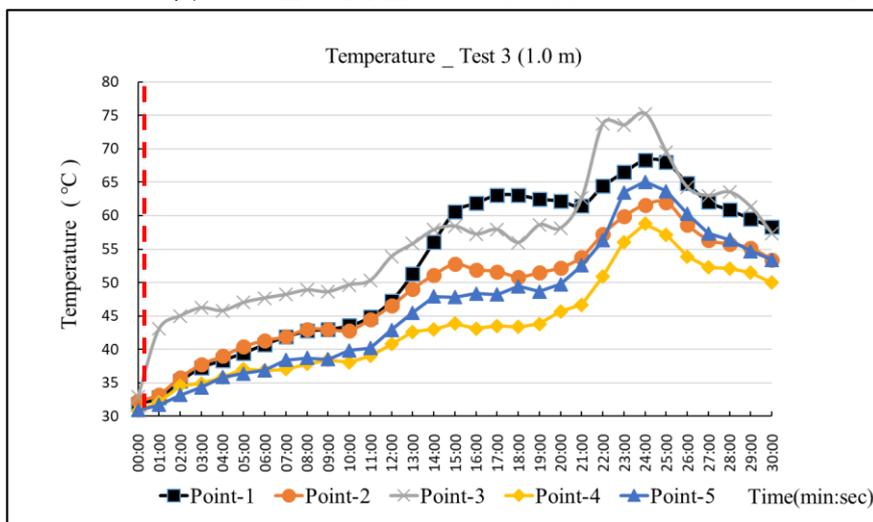


圖 5-12 實驗三\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

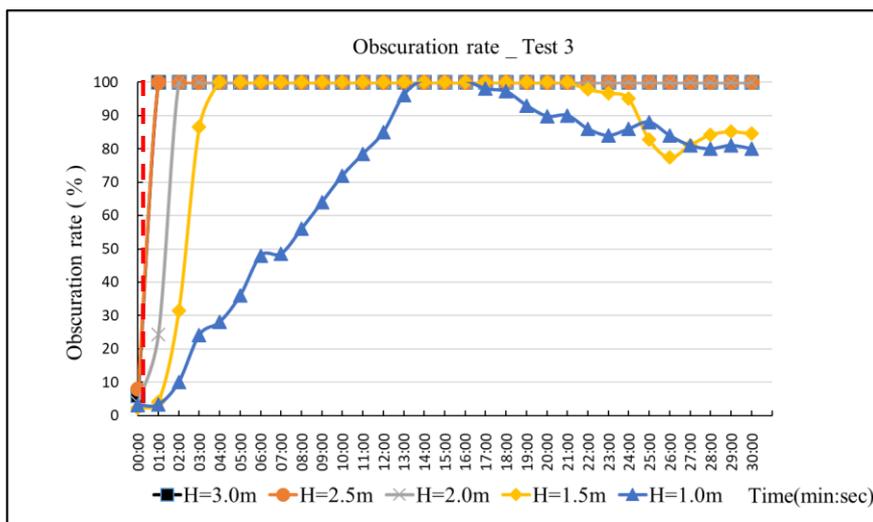


圖 5-13 實驗三\_煙層遮蔽率

(圖 5-11、5-12、5-13 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗四

火源種類		模擬情境	
報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房床鋪受微火源引燃 (例如：香菸)(火勢成長緩慢)	
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料
水道連結型	火源兩側	感溫金屬熔斷	汽油 150mL
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力	
43LPM		1.5 kg/cm <sup>2</sup>	
實驗目的			
承實驗三，此實驗目的為瞭解當起火位置變更為撒水頭兩側時，裝設水道連結型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。			
實驗配置平面圖			
<p>750</p> <p>400</p> <p>後門</p> <p>補氣小門</p> <p>鐵捲門</p> <p>床</p> <p>① ② ③ ④ ⑤</p> <p>圖例</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>偵煙式局限型探測器(1種)</li> <li>偵煙式局限型探測器(2種)</li> <li>撒水頭</li> <li>Thermocouple Tree(熱電偶樹)</li> <li>吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</li> <li>火源位置</li> <li>CO<sub>2</sub>濃度探測器</li> <li>CO濃度探測器</li> <li>雷射煙層發射端</li> <li>光敏式接收端</li> </ul>			

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗四

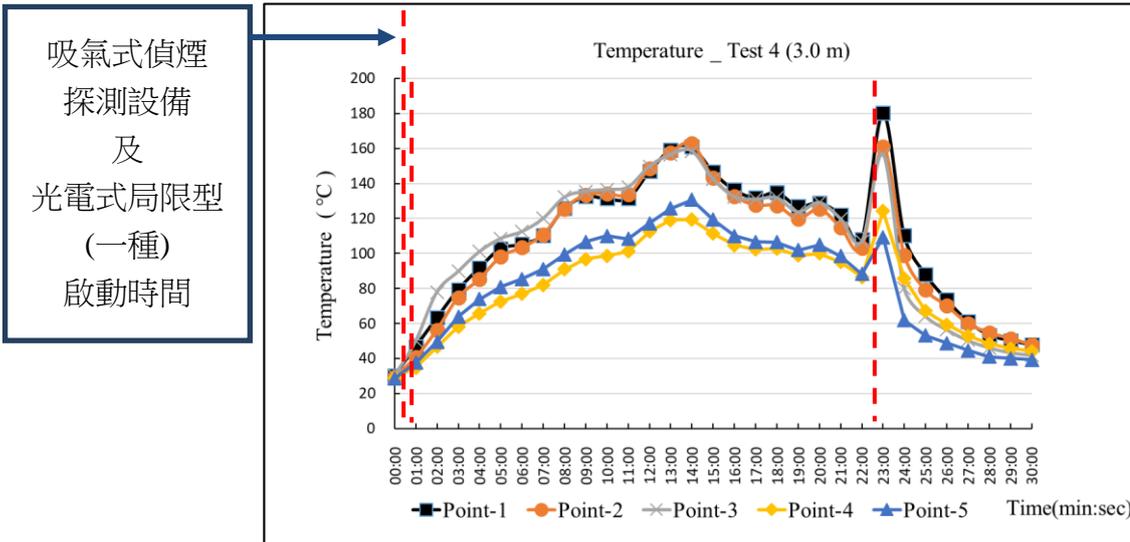


圖 5-14 實驗四\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

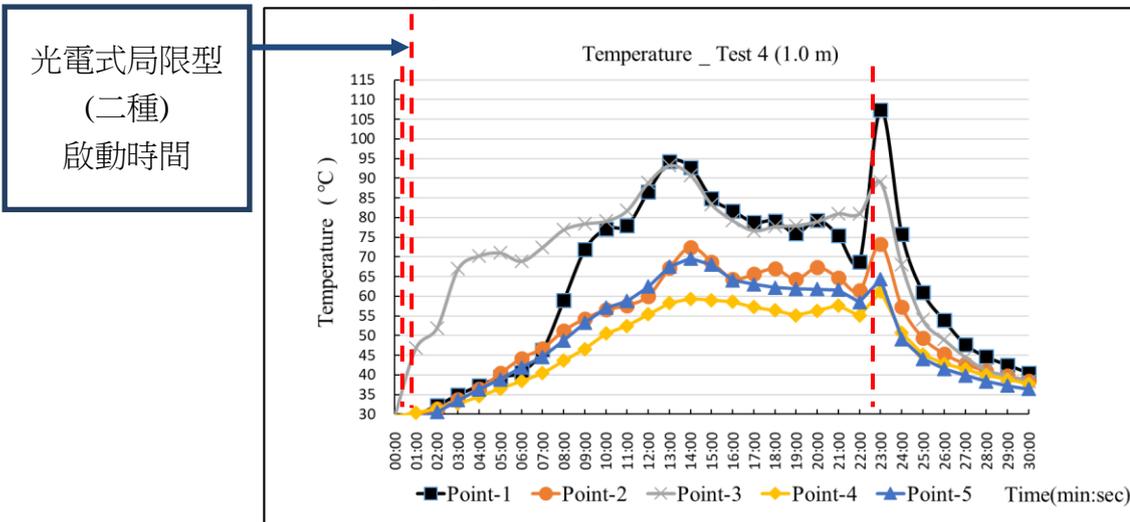


圖 5-15 實驗四\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

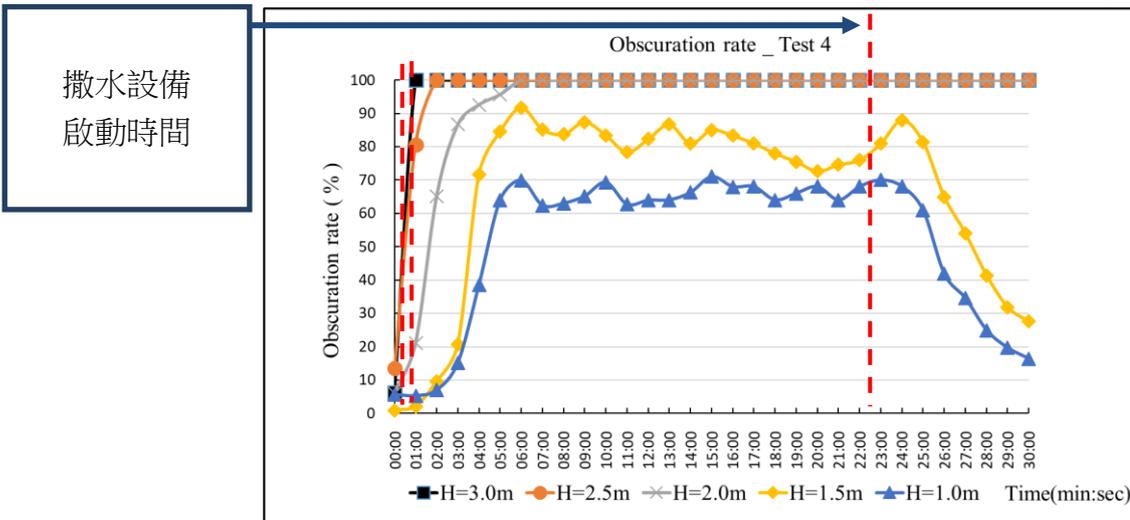


圖 5-16 實驗四\_煙層遮蔽率

(圖 5-14、5-15、5-16 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗五

火源種類		模擬情境										
報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房被人為縱火 (火勢成長極快)										
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料									
細水霧	火源上方	偵煙設備連動	汽油 1L									
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力										
7 LPM		4 kg/cm <sup>2</sup>										
實驗目的												
此實驗目的為瞭解居室住房起火時，火勢成長極快的情況下，裝設細水霧型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。												
實驗配置平面圖												
實驗 5	<p style="text-align: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">750</p> <p style="text-align: right; font-size: 24px; font-weight: bold;">400</p>											
	<p>圖例</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td> 火源位置</td> </tr> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td> CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> 撒水頭</td> <td> CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td> 雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td> 吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td> 光敏式接收端</td> </tr> </table>			偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置	偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器	撒水頭	CO濃度探測器	Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔
偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置											
偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器											
撒水頭	CO濃度探測器											
Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端											
吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔	光敏式接收端											

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗五

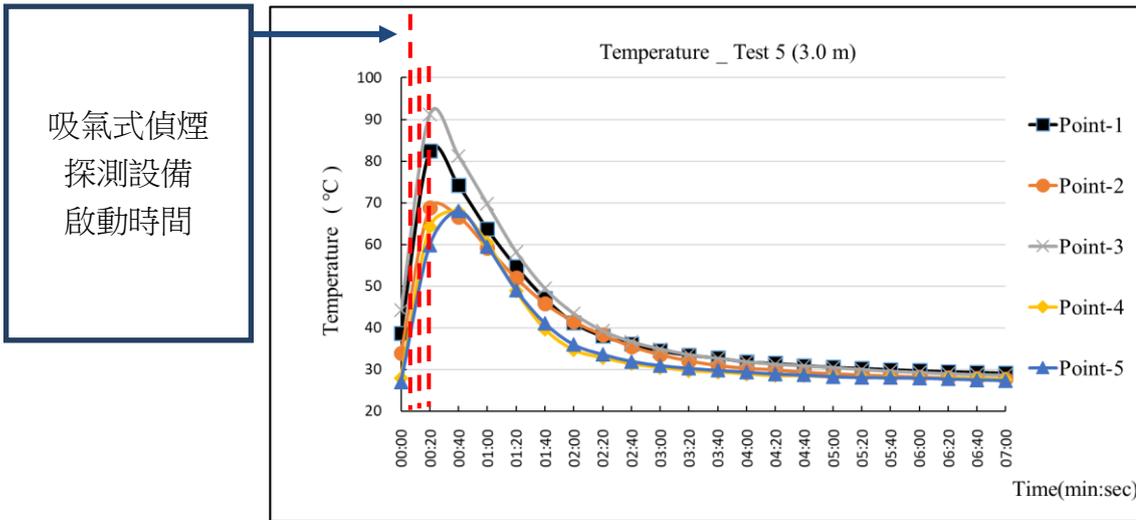


圖 5-17 實驗五\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

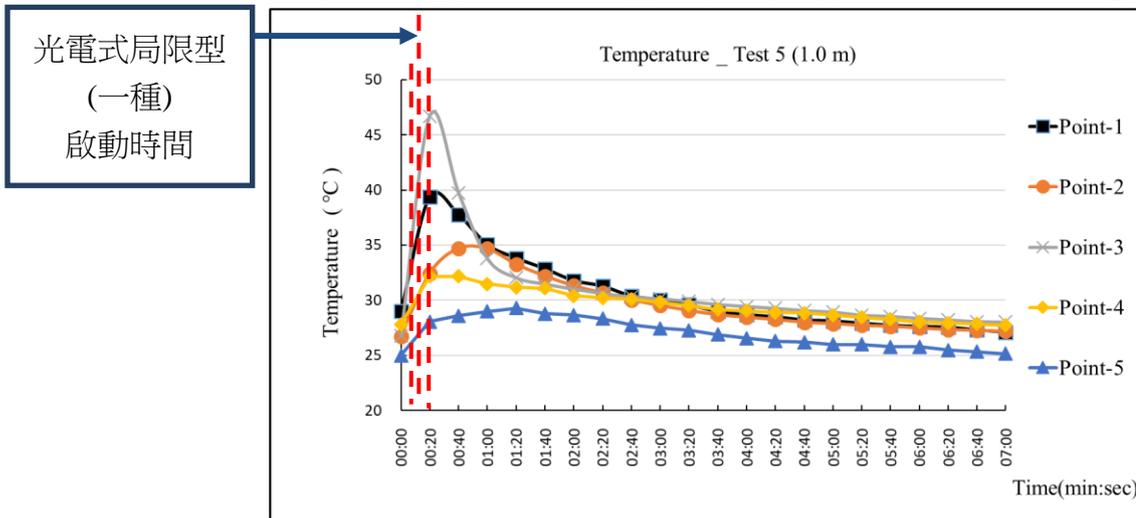


圖 5-18 實驗五\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

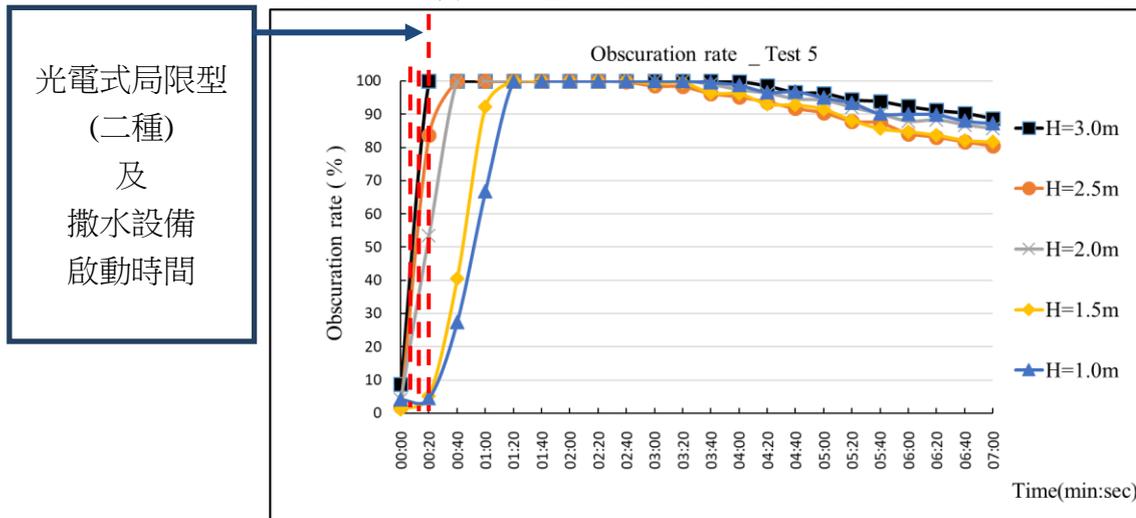


圖 5-19 實驗五\_煙層遮蔽率

(圖 5-17、5-18、5-19 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗六

火源種類		模擬情境										
報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房被人為縱火 (火勢成長極快)										
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料									
細水霧	火源兩側	偵煙設備連動	汽油 1L									
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力										
7 LPM		4 kg/cm <sup>2</sup>										
實驗目的												
承實驗五，此實驗目的為瞭解當起火位置變更為撒水頭兩側時，裝設細水霧型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。												
實驗配置平面圖												
實驗 6												
	<p>圖例</p> <table border="0"> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td> 火源位置</td> </tr> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td> CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> 撒水頭</td> <td> CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td> 雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td> 吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td> 光敏式接收端</td> </tr> </table>			偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置	偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器	撒水頭	CO濃度探測器	Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔
偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置											
偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器											
撒水頭	CO濃度探測器											
Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端											
吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔	光敏式接收端											

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗六

吸氣式偵煙  
探測設備  
及  
光電式局限型  
(一種)  
及  
光電式局限型  
(二種)  
及  
撒水設備  
啟動時間

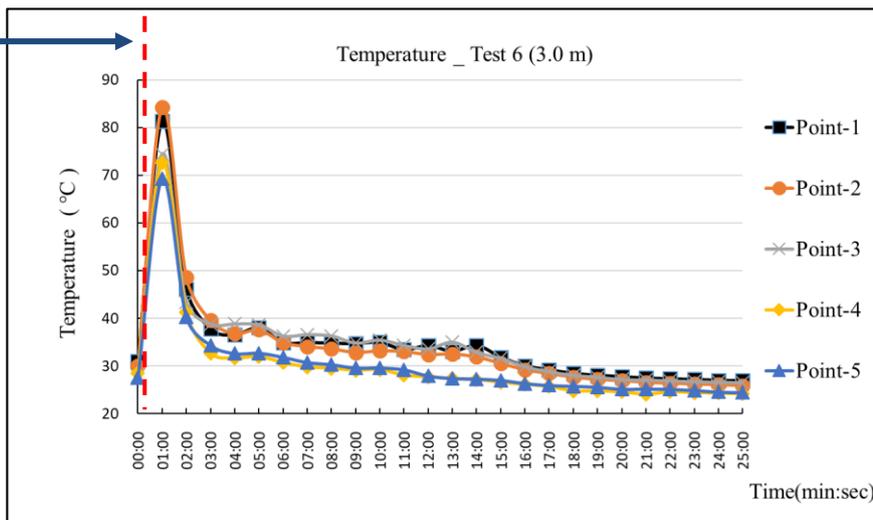


圖 5-20 實驗六\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

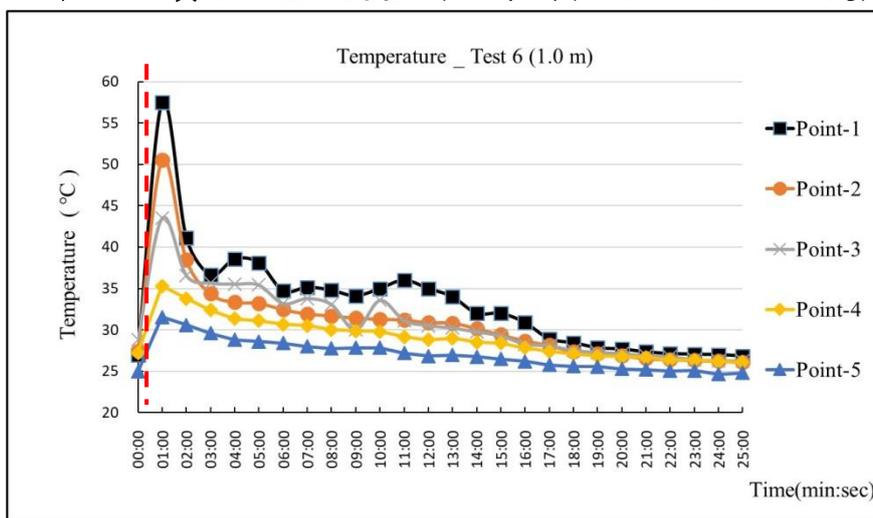


圖 5-21 實驗六\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

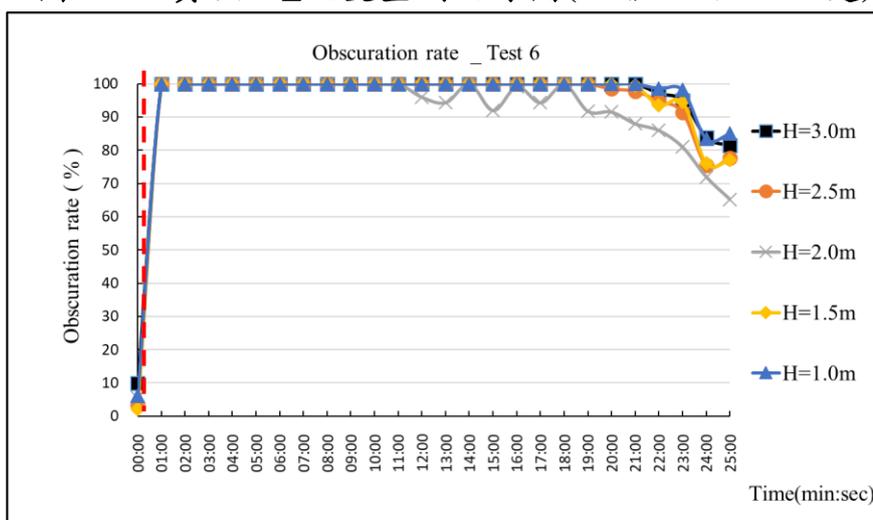


圖 5-22 實驗六\_煙層遮蔽率

(圖 5-20、5-21、5-22 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗七

火源種類		模擬情境										
報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房床鋪受微火源引燃 (例如：香菸)(火勢成長緩慢)										
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料									
細水霧	火源上方	偵煙設備連動	汽油 150mL									
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力										
7 LPM		4 kg/cm <sup>2</sup>										
實驗目的												
此實驗目的為瞭解居室住房起火時，火勢成長緩慢的情況下，裝設細水霧型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。												
實驗配置平面圖												
實驗 7	<p style="text-align: center; font-size: 24px; margin-bottom: 0;">750</p> <p style="text-align: right; font-size: 24px; margin-top: 0;">400</p>											
	<p>圖例</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td> 火源位置</td> </tr> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td> CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> 撒水頭</td> <td> CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td> 雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td> 吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td> 光敏式接收端</td> </tr> </table>			偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置	偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器	撒水頭	CO濃度探測器	Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔
偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置											
偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器											
撒水頭	CO濃度探測器											
Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端											
吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔	光敏式接收端											

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗七

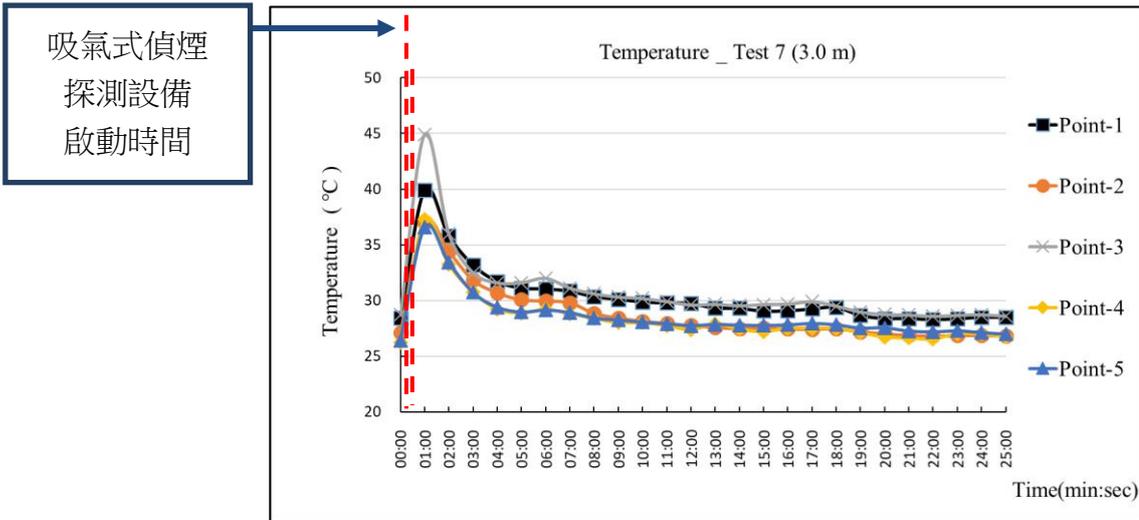


圖 5-23 實驗七\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

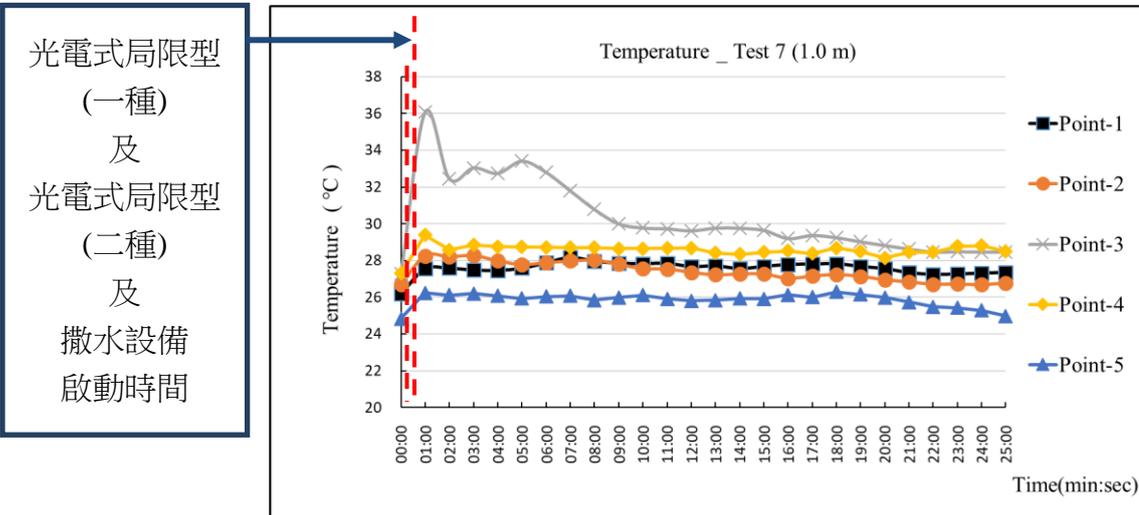


圖 5-24 實驗七\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

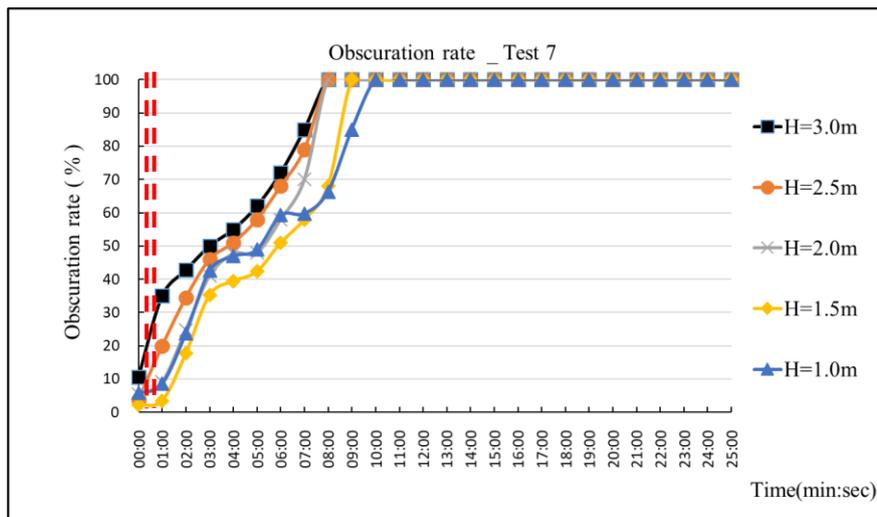
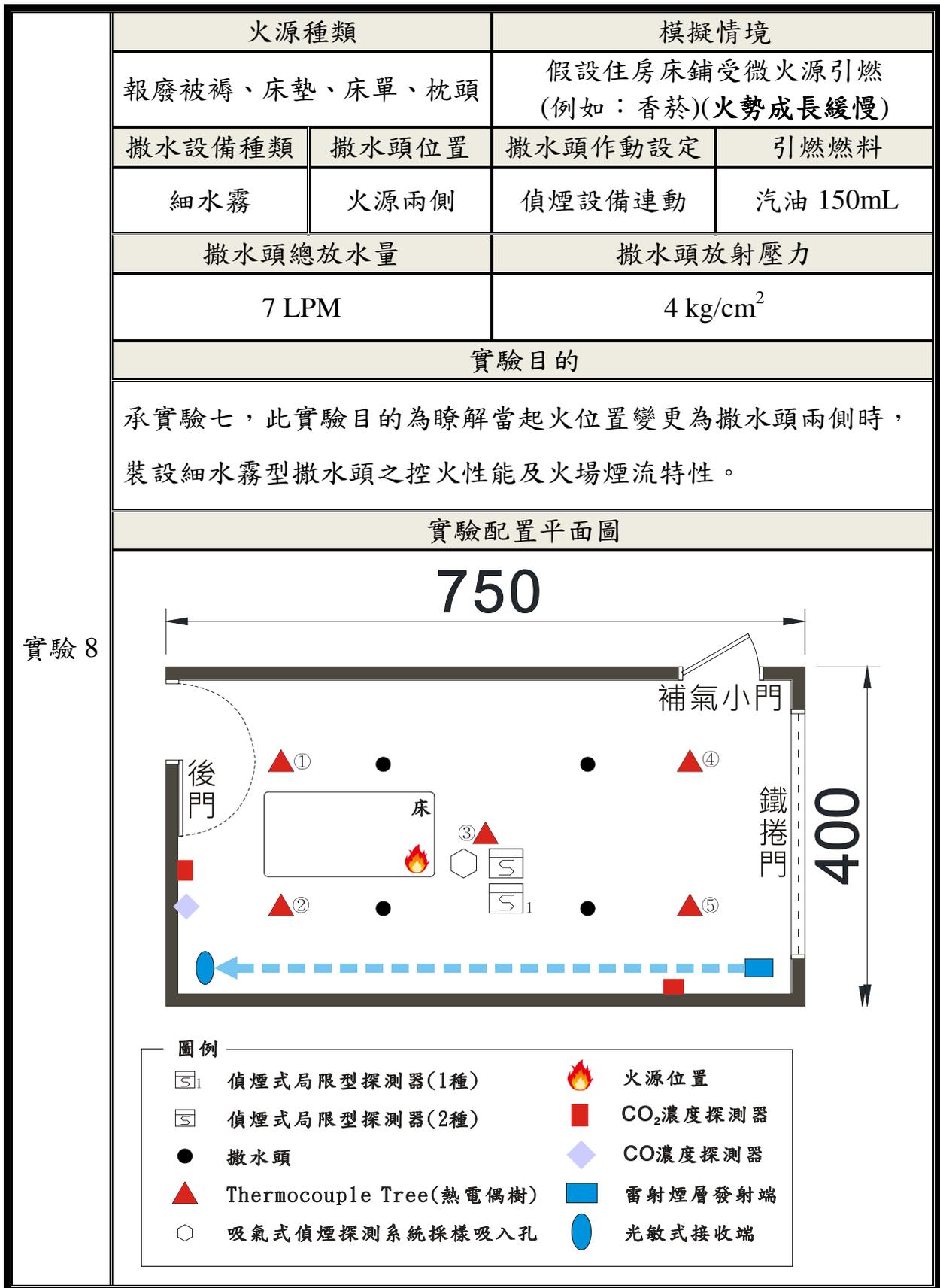


圖 5-25 實驗七\_煙層遮蔽率

(圖 5-23、5-24、5-25 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗八



(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗八

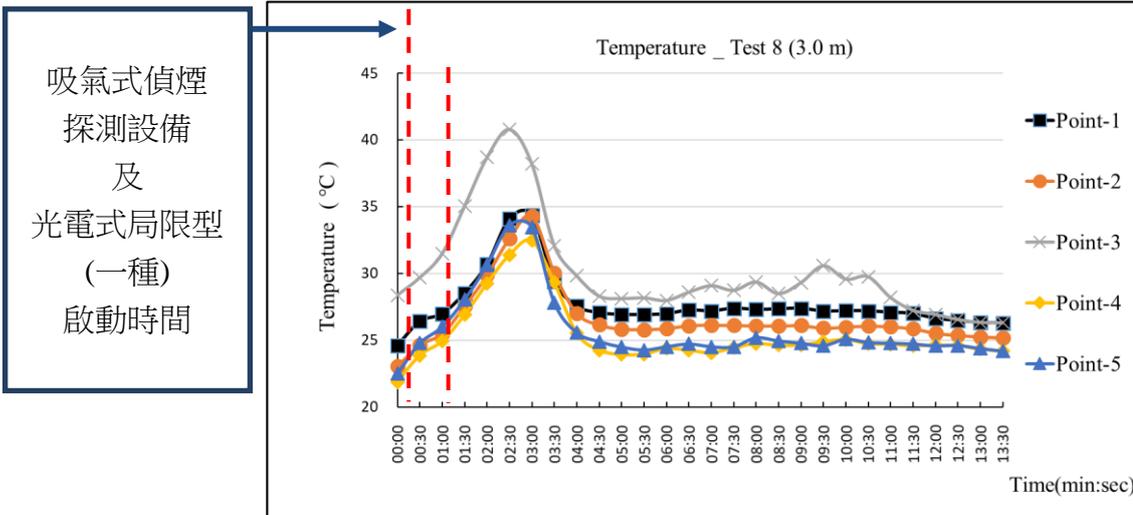


圖 5-26 實驗八\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

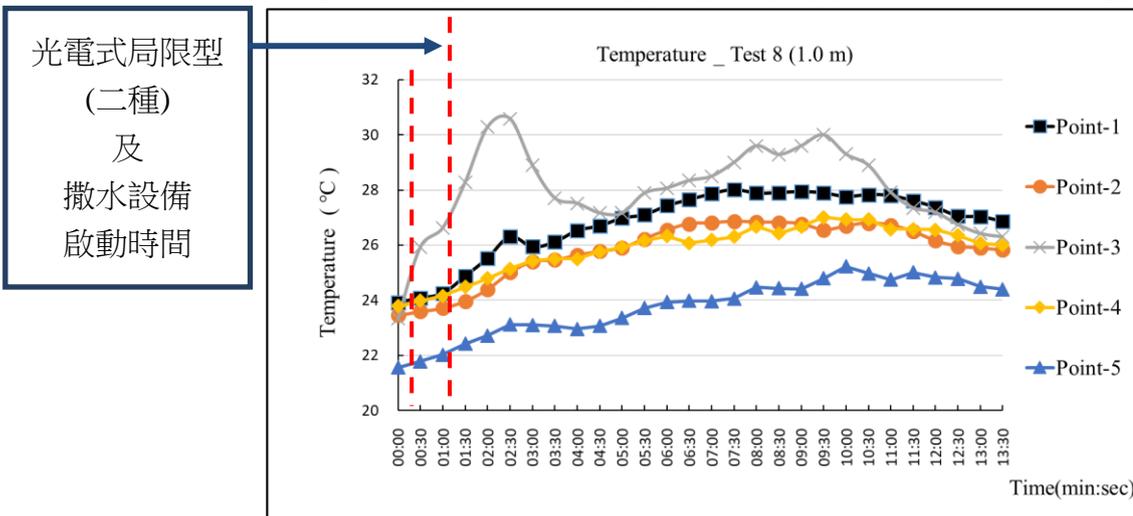


圖 5-27 實驗八\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

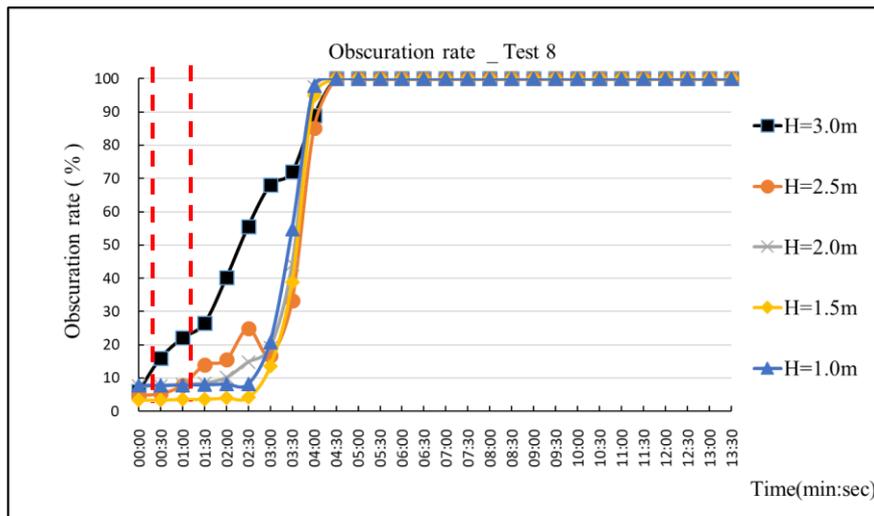


圖 5-28 實驗八\_煙層遮蔽率

(圖 5-26、5-27、5-28 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗九

火源種類		模擬情境																					
報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房被人為縱火 (火勢成長極快)																					
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料																				
一般自動型	火源上方	偵煙設備連動	汽油 1L																				
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力																					
80 LPM		1 kg/cm <sup>2</sup>																					
實驗目的																							
此實驗目的為瞭解居室住房起火時，火勢成長極快的情況下，裝設一般自動型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。																							
實驗配置平面圖																							
<p style="text-align: center;">750</p> <p style="text-align: right;">400</p> <p>後門 補氣小門 鐵捲門 床</p>																							
<p>圖例</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td></td> <td>火源位置</td> </tr> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td></td> <td>CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>撒水頭</td> <td></td> <td>CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td></td> <td>雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td></td> <td>吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td></td> <td>光敏式接收端</td> </tr> </table>					偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置		偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器		撒水頭		CO濃度探測器		Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端		吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔		光敏式接收端
	偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置																				
	偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器																				
	撒水頭		CO濃度探測器																				
	Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端																				
	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔		光敏式接收端																				

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗九

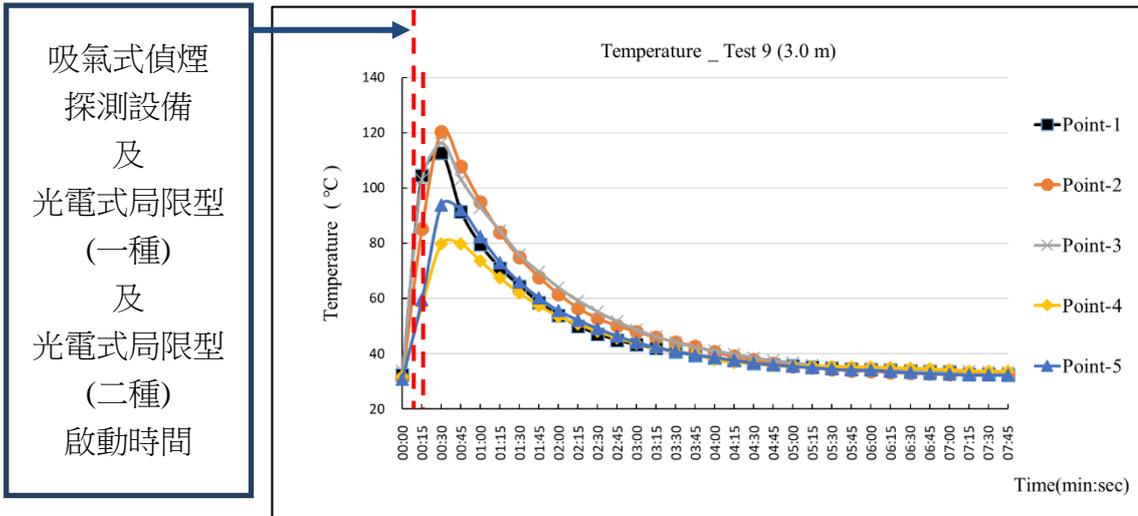


圖 5-29 實驗九\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

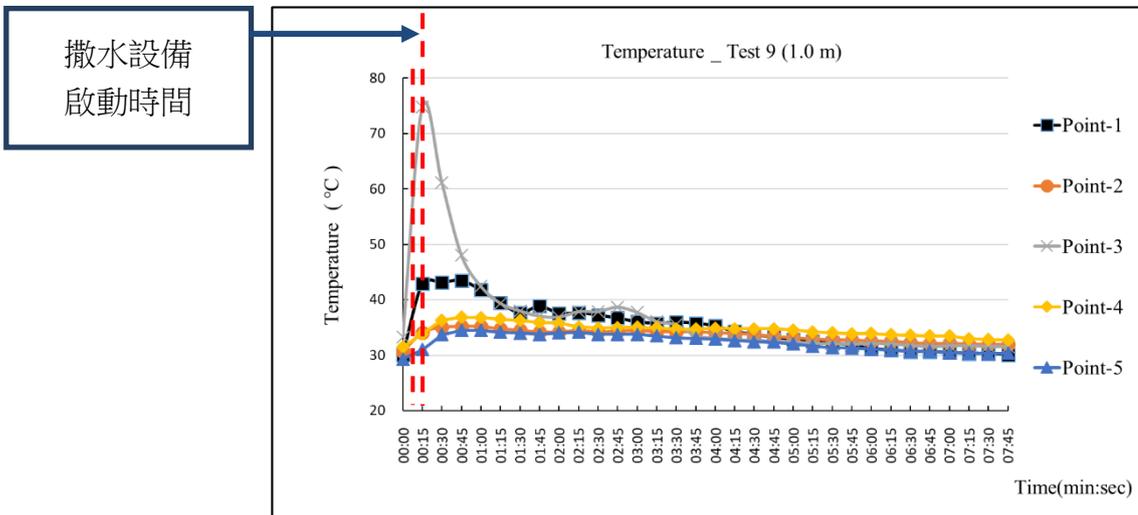


圖 5-30 實驗九\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

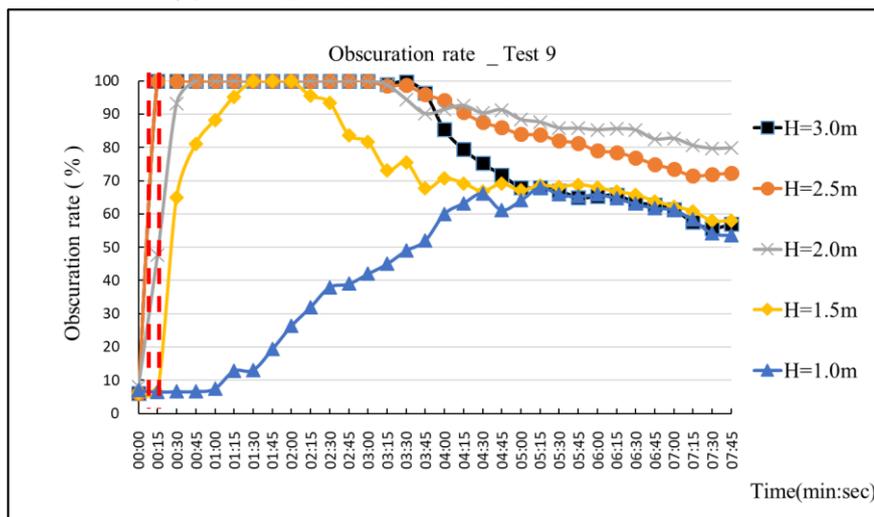


圖 5-31 實驗九\_煙層遮蔽率

(圖 5-29、5-30、5-31 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗十

實驗 10	火源種類		模擬情境																				
	報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房被人為縱火 (火勢成長極快)																				
	撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料																			
	一般自動型	火源兩側	偵煙設備連動	汽油 1L																			
	撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力																				
	80 LPM		1 kg/cm <sup>2</sup>																				
	實驗目的																						
	承實驗九，此實驗目的為瞭解當起火位置變更為撒水頭兩側時，裝設一般自動型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。																						
	實驗配置平面圖																						
	<div style="text-align: center;">750</div> <div style="text-align: center;">400</div>																						
<p>圖例</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td></td> <td>火源位置</td> </tr> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td></td> <td>CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>撒水頭</td> <td></td> <td>CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td></td> <td>雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td></td> <td>吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td></td> <td>光敏式接收端</td> </tr> </table>					偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置		偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器		撒水頭		CO濃度探測器		Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端		吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔		光敏式接收端
	偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置																				
	偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器																				
	撒水頭		CO濃度探測器																				
	Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端																				
	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔		光敏式接收端																				

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗十

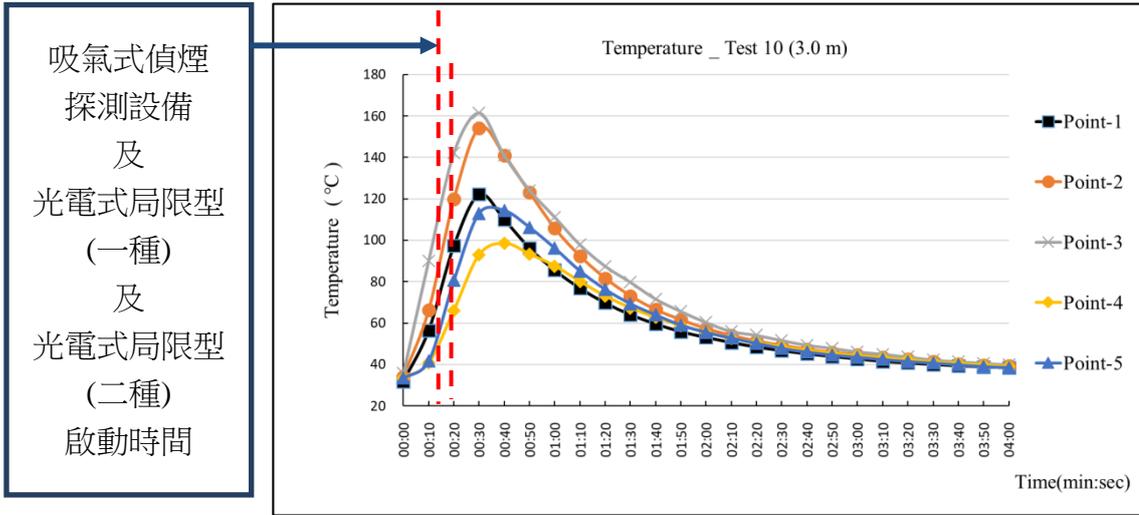


圖 5-32 實驗十\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

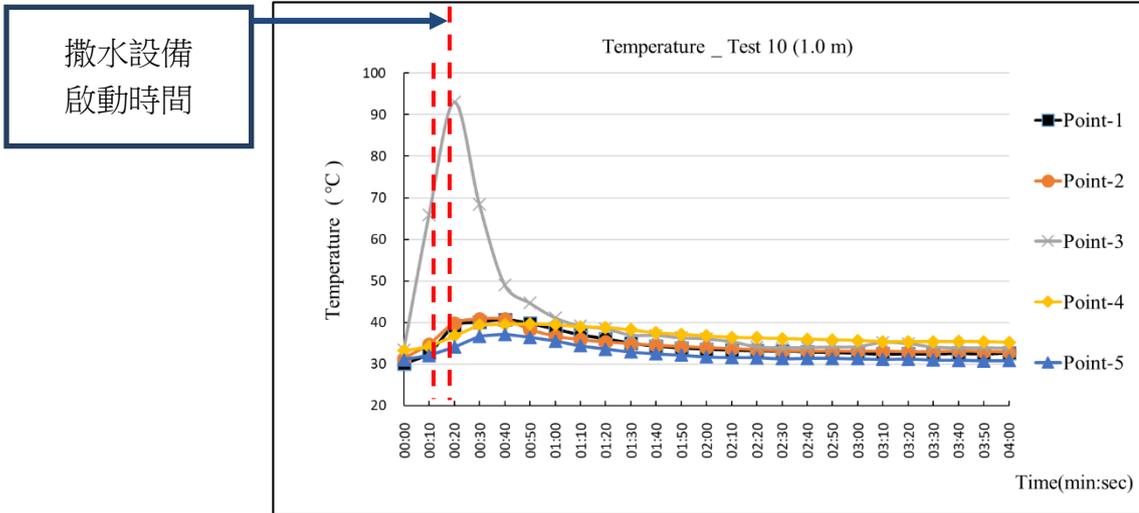


圖 5-33 實驗十\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

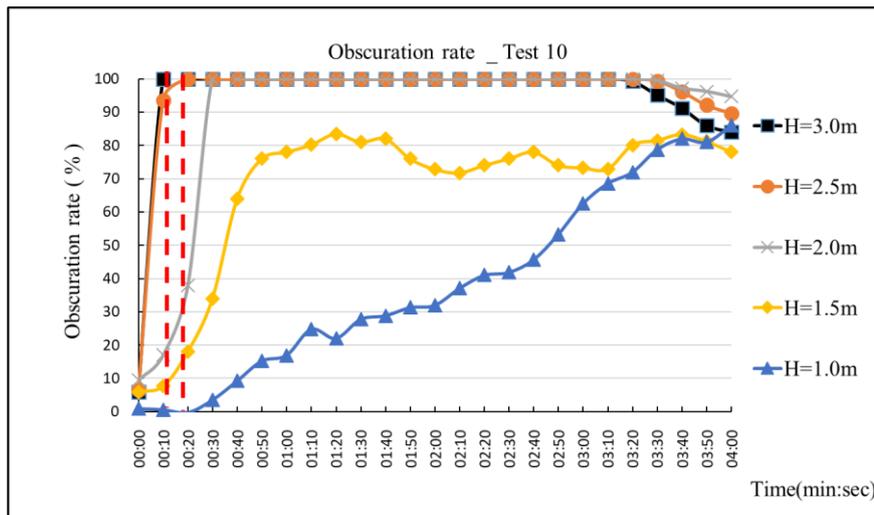


圖 5-34 實驗十\_煙層遮蔽率

(圖 5-32、5-33、5-34 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗十一

火源種類		模擬情境																				
報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房床鋪受微火源引燃 (例如：香菸)(火勢成長緩慢)																				
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料																			
一般自動型	火源上方	偵煙設備連動	汽油 150mL																			
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力																				
80 LPM		1 kg/cm <sup>2</sup>																				
實驗目的																						
此實驗目的為瞭解居室住房起火時，火勢成長緩慢的情況下，裝設一般自動型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。																						
實驗配置平面圖																						
實驗 11	<p style="text-align: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">750</p> <p style="text-align: right; font-size: 24px; font-weight: bold;">400</p>																					
	<p>圖例</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td></td> <td>火源位置</td> </tr> <tr> <td></td> <td>偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td></td> <td>CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>撒水頭</td> <td></td> <td>CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td></td> <td>雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td></td> <td>吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td></td> <td>光敏式接收端</td> </tr> </table>				偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置		偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器		撒水頭		CO濃度探測器		Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端		吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔	
	偵煙式局限型探測器(1種)		火源位置																			
	偵煙式局限型探測器(2種)		CO <sub>2</sub> 濃度探測器																			
	撒水頭		CO濃度探測器																			
	Thermocouple Tree(熱電偶樹)		雷射煙層發射端																			
	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔		光敏式接收端																			

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗十一

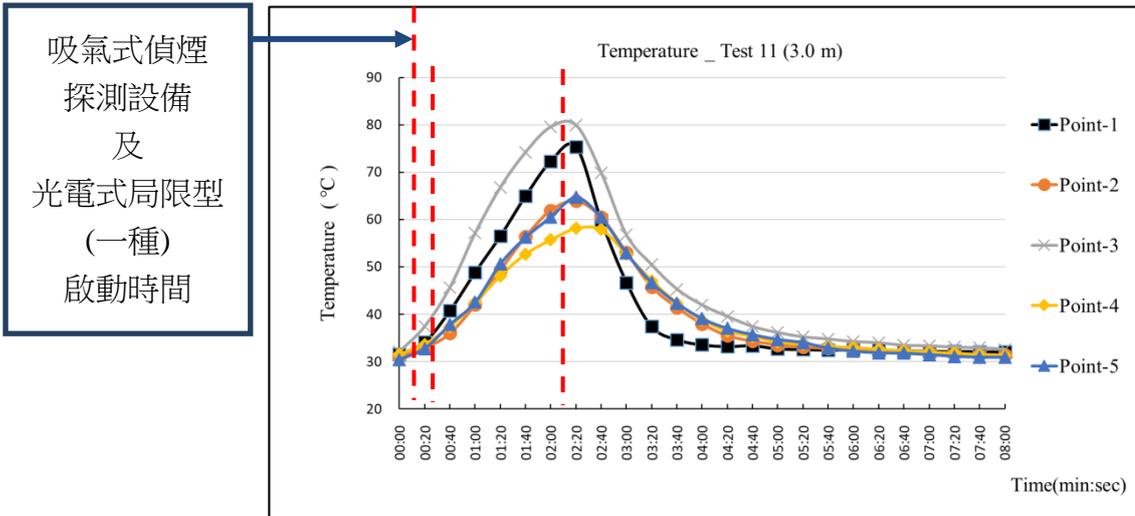


圖 5-35 實驗十一\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

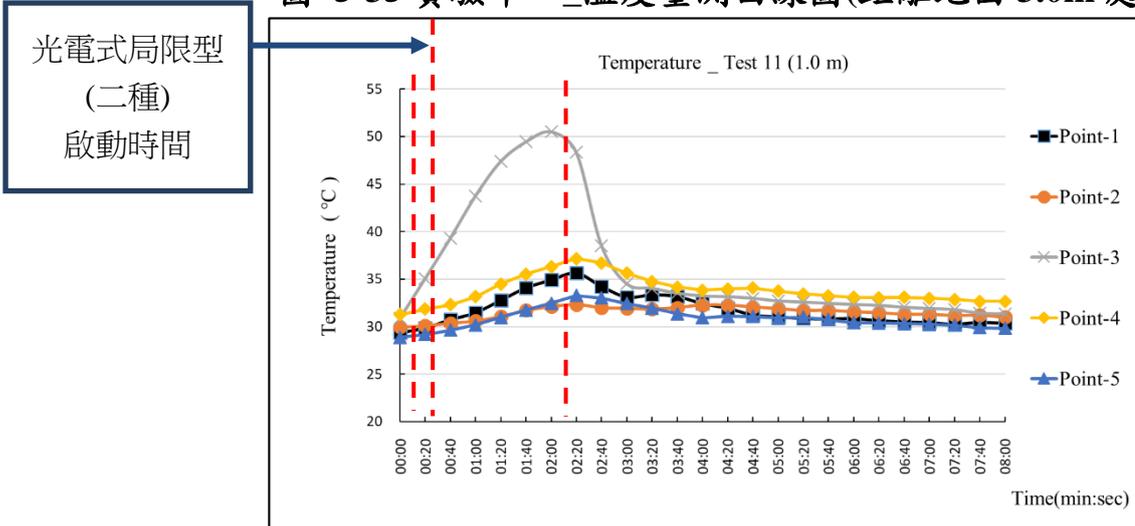


圖 5-36 實驗十一\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

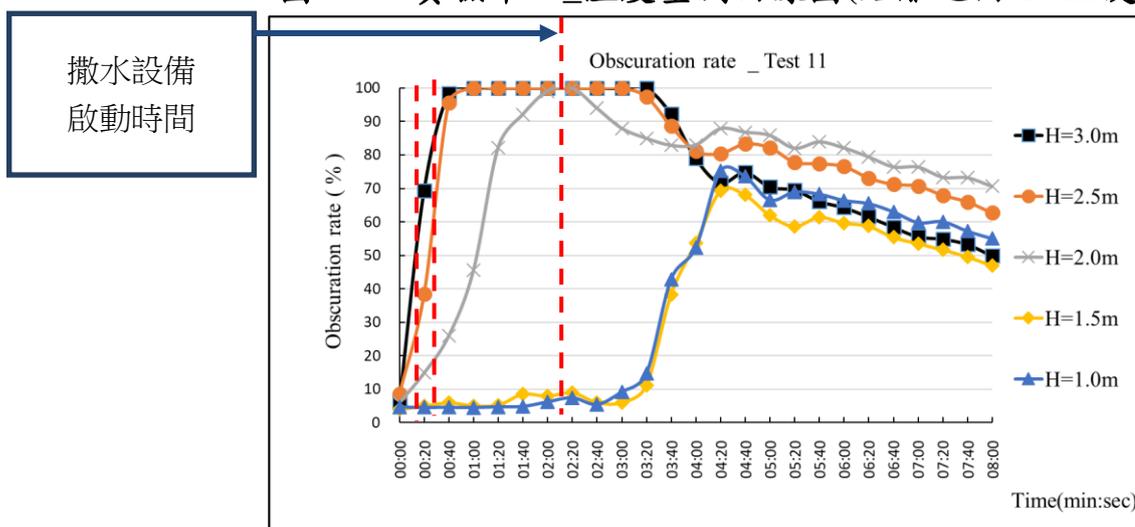


圖 5-37 實驗十一\_煙層遮蔽率

(圖 5-35、5-36、5-37 資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗十二

火源種類		模擬情境											
報廢被褥、床墊、床單、枕頭		假設住房床鋪受微火源引燃(例如：香菸)(火勢成長緩慢)											
撒水設備種類	撒水頭位置	撒水頭作動設定	引燃燃料										
一般自動型	火源兩側	偵煙設備連動	汽油 150mL										
撒水頭總放水量		撒水頭放射壓力											
80 LPM		1 kg/cm <sup>2</sup>											
實驗目的													
承實驗十一，此實驗目的為瞭解當起火位置變更為撒水頭兩側時，裝設一般自動型撒水頭之控火性能及火場煙流特性。													
實驗配置平面圖													
<p style="text-align: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">750</p> <p style="text-align: right; font-size: 24px; font-weight: bold;">400</p>													
<p>圖例</p> <table border="0"> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(1種)</td> <td> 火源位置</td> </tr> <tr> <td> 偵煙式局限型探測器(2種)</td> <td> CO<sub>2</sub>濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> 撒水頭</td> <td> CO濃度探測器</td> </tr> <tr> <td> Thermocouple Tree(熱電偶樹)</td> <td> 雷射煙層發射端</td> </tr> <tr> <td> 吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔</td> <td> 光敏式接收端</td> </tr> </table>				偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置	偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器	撒水頭	CO濃度探測器	Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端	吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔	光敏式接收端
偵煙式局限型探測器(1種)	火源位置												
偵煙式局限型探測器(2種)	CO <sub>2</sub> 濃度探測器												
撒水頭	CO濃度探測器												
Thermocouple Tree(熱電偶樹)	雷射煙層發射端												
吸氣式偵煙探測系統採樣吸入孔	光敏式接收端												

實驗 12

(資料來源：本研究整理)

水自動滅火設備實驗\_實驗十二

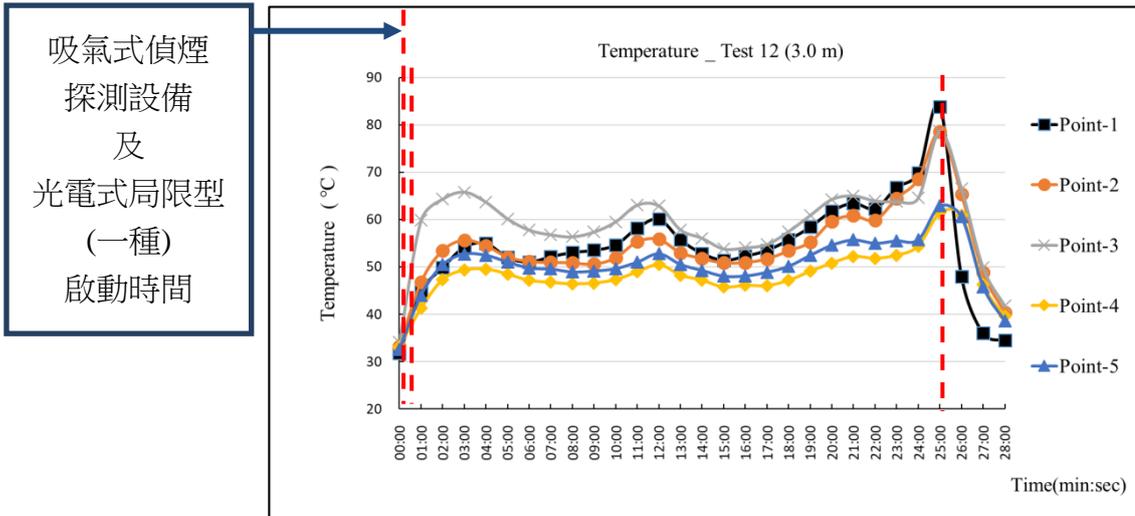


圖 5-38 實驗十二\_溫度量測曲線圖(距離地面 3.0m 處)

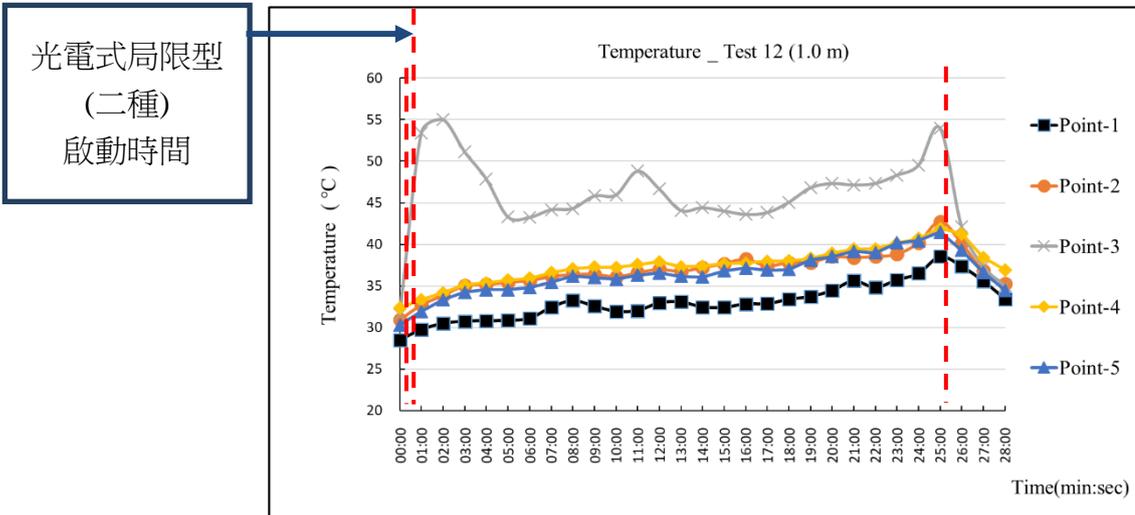


圖 5-39 實驗十二\_溫度量測曲線圖(距離地面 1.0m 處)

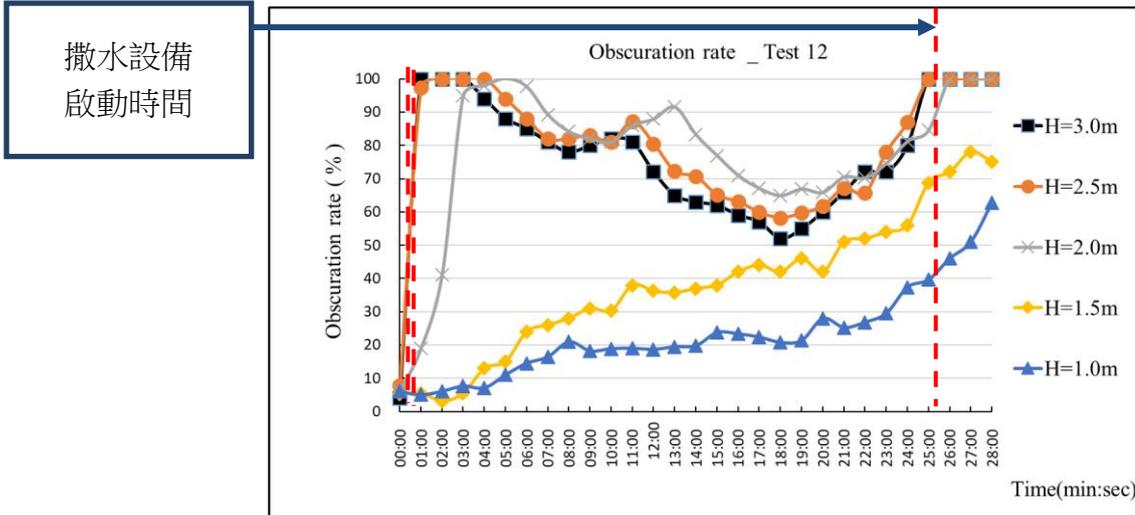


圖 5-40 實驗十二\_煙層遮蔽率

(圖 5-38、5-39、5-40 資料來源：本研究整理)

表 5-5 火警偵煙探測設備實驗總表

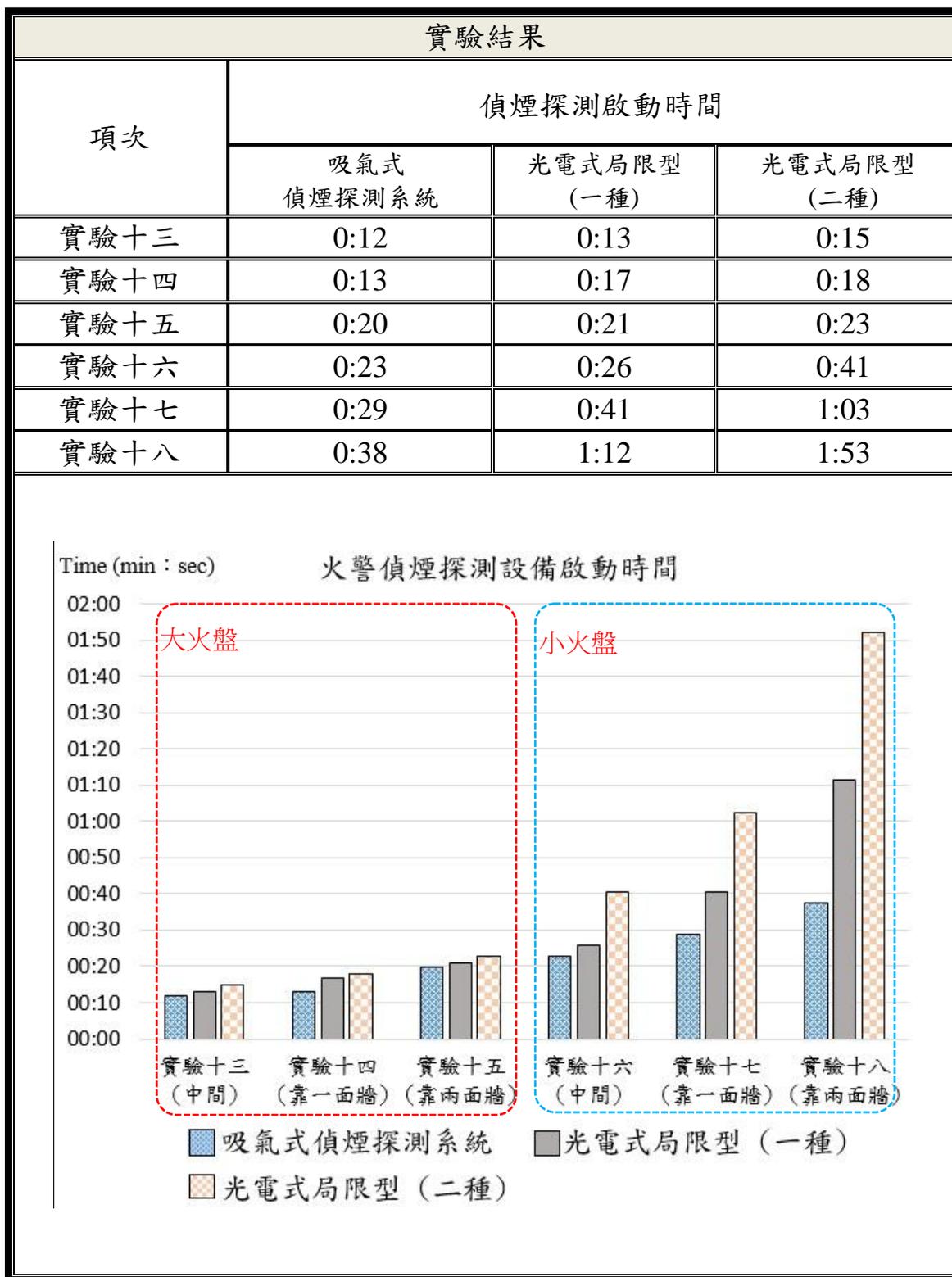
項目	油盤擺放位置	油盤尺寸(長 x 寬)
實驗十三	中間	65cm x 90cm
實驗十四	靠一面牆	65cm x 90cm
實驗十五	靠兩面牆	65cm x 90cm
實驗十六	中間	30cm x 30cm
實驗十七	靠一面牆	30cm x 30cm
實驗十八	靠兩面牆	30cm x 30cm
油盤擺放位置示意圖		
中間		
靠一面牆		
靠兩面牆		

(資料來源：本研究整理)

### 實驗操作步驟

- (一)安裝光電式局限型偵煙探測設備(一、二種)、吸氣式偵煙探測系統(ASD)，同時將電腦及實驗設備與數據收集系統連結。實驗開始前，再次確認訊號源傳輸及紀錄是否正常。
- (二)實驗前，將汽油倒入已放入水的油盆中。
- (三)實驗開始，點燃火源。
- (四)紀錄從點火開始至火源撲滅或熄滅之實驗數據，內容包含(溫度、煙層遮蔽值、CO 氣體濃度、CO<sub>2</sub> 氣體濃度、撒水頭啟動時間、火警偵煙探測設備啟動時間)。
- (五)火源撲滅或熄滅時，即為實驗結束。
- (六)實驗結束後，開啟排煙設備及各出入口，將起火室內熱煙排出室外，當所有量測數值回歸初始條件後，即可進行後續實驗。

### 火警偵煙探測設備實驗結果



(資料來源：本研究整理)

## 第五節 實驗結果分析

彙整本研究全尺寸實驗結果，探討不同水自動滅火設備對機構住房內泡棉床墊之滅火效果及起火位置對火警偵煙探測設備之偵知時間影響。其實驗結果分析如下：

### 一、水自動滅火設備對泡棉床墊之滅火效果關係分析(實驗1~12)

#### (一)火警偵煙探測設備偵知時間比較：

假設住房為人為縱火(火勢成長極快、煙生成量大)的情境，彙整火勢成長極快的六組實驗結果(表5-6)，可發現：

1. 吸氣式偵煙探測系統相較於光電式局限型偵煙探測器(二種)偵知時間提早約16~60%。
2. 吸氣式偵煙探測系統相較於光電式局限型偵煙探測器(一種)偵知時間提早約8~38%。
3. 光電式局限型偵煙探測器(一種)相較於光電式局限型偵煙探測器(二種)偵知時間提早約7~38%。

假設住房床鋪受微火源引燃(火勢成長緩慢、煙生成量小)的情境，彙整火勢成長緩慢的六組實驗結果(表5-7)，可發現：

1. 吸氣式偵煙探測系統相較於光電式局限型偵煙探測器(二種)偵知時間提早約48~72%。
2. 吸氣式偵煙探測系統相較於光電式局限型偵煙探測器(一種)偵知時間提早約5~44%。
3. 光電式局限型偵煙探測器(一種)相較於光電式局限型偵煙探測器(二種)偵知時間提早約12~68%。

表 5-6 火災偵知時間與撒水啟動時間表(火勢成長極快)

火勢成長極快_實驗結果				
項次	偵煙探測啟動時間(min : sec)			
	吸氣式偵煙探測系統	光電式局限型(一種)	光電式局限型(二種)	撒水頭啟動時間
實驗一	00 : 11	00 : 12	00 : 15	00 : 21 (熔斷啟動)
實驗二	00 : 13	00 : 16	00 : 18	00 : 21 (熔斷啟動)
實驗五	00 : 08	00 : 13	00 : 20	00 : 20 (連動啟動)
實驗六	00 : 10	00 : 13	00 : 21	00 : 21 (連動啟動)
實驗九	00 : 10	00 : 11	00 : 12	00 : 15 (熔斷啟動)
實驗十	00 : 11	00 : 13	00 : 14	00 : 19 (熔斷啟動)

(資料來源：本研究整理)

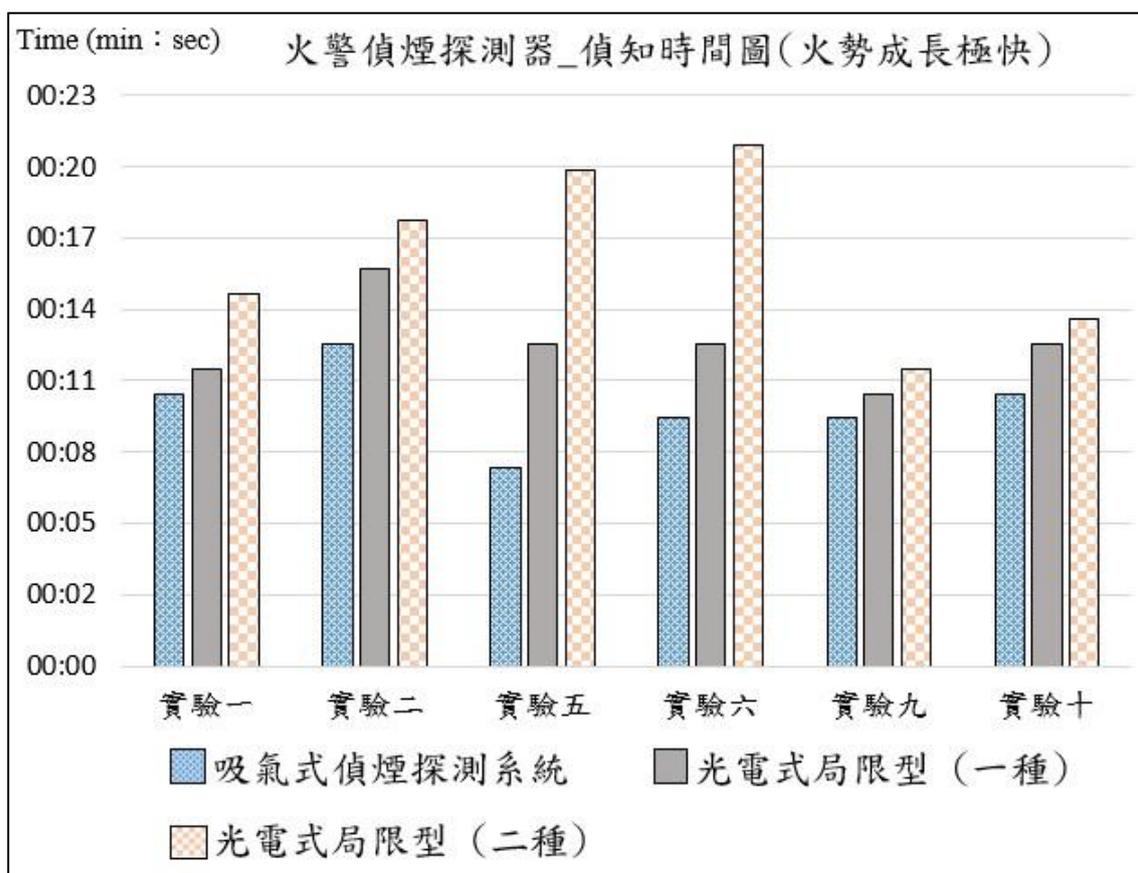


圖 5-41 偵知火災與撒水啟動時間圖(火勢成長極快)

(資料來源：本研究整理)

表 5-7 火災偵知時間與撒水啟動時間表(火勢成長緩慢)

火勢成長緩慢_實驗結果				
項次	偵煙探測啟動時間(min : sec)			
	吸氣式偵煙探測系統	光電式局限型(一種)	光電式局限型(二種)	撒水頭啟動時間
實驗三	00 : 15	00 : 18	00 : 33	N/A
實驗四	00 : 19	00 : 20	00 : 53	22 : 46 (熔斷啟動)
實驗七	00 : 15	00 : 27	00 : 31	00 : 31 (連動啟動)
實驗八	00 : 22	00 : 26	01 : 09	01 : 09 (連動啟動)
實驗十一	00 : 13	00 : 14	00 : 25	02 : 13 (熔斷啟動)
實驗十二	00 : 13	00 : 15	00 : 47	25 : 12 (熔斷啟動)

(資料來源：本研究整理)

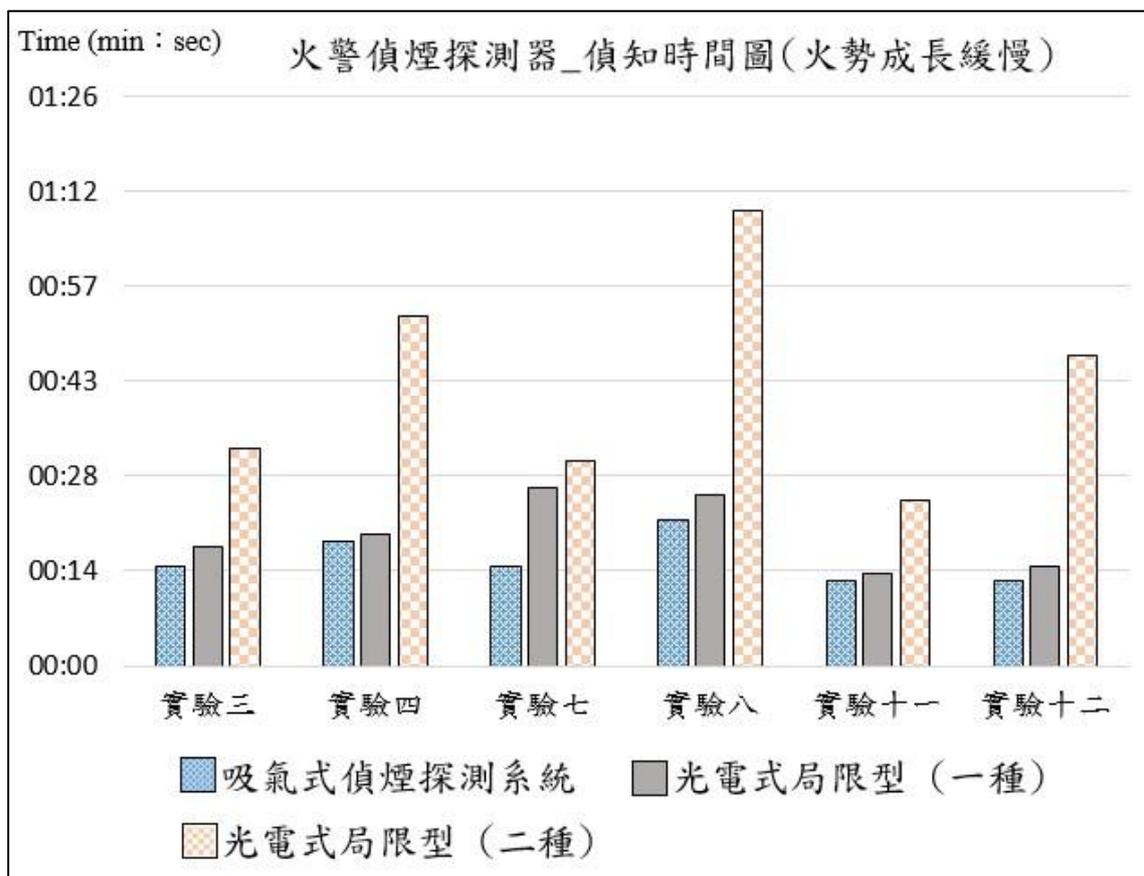


圖 5-42 偵知火災與撒水啟動時間圖(火勢成長緩慢)

(資料來源：本研究整理)

根據實驗結果，不管火勢成長極快或緩慢的情境下，吸氣式偵煙探測系統偵知時間均早於光電式局限型偵煙探測器(一、二種)約8~16%，而光電式局限型偵煙探測器(一種)偵知時間又早於光電式局限型偵煙探測器(二種)約7~12%。故長照機構居室若為了及早偵知火災發生爭取反應時間之目的，除了廚房、焚香處等較易產生煙霧之類似場所外，建議考量設置光電式局限型偵煙探測器(一種)或吸氣式偵煙探測系統為佳。

## (二)不同水自動滅火設備撒水作動時間比較：

依據實驗結果，假設住房為人為縱火(火勢成長極快)的情境下，三種不同水自動滅火設備均在21秒內撒水作動；而在假設住房床鋪受微火源引燃(火勢成長緩慢)的情境下，本研究所採用的三種不同水自動滅火設備作動情況各有差異，茲分別說明如下：

### 1. 細水霧自動撒水設備(實驗七、八)：

細水霧自動撒水設備為本研究所採用的三種不同水自動滅火設備中，啟動時間最早的。因細水霧自動撒水設備係藉由偵煙探測器偵知火災後連動啟動，而非由溫度感知達一定溫度後啟動。故當該居室在受微火源引燃已產生煙霧但卻未生成高溫的情況下，偵煙探測器若已偵知火災，將連動啟動細水霧自動撒水設備。

依據實驗結果，在假設住房床鋪受微火源引燃(火勢成長緩慢)的情境下，細水霧自動撒水設備啟動時間與光電式局限型偵煙探測器(二種)偵知時間相同，約為31~69秒。

## 2. 一般水自動滅火系統(實驗十一、十二)：

本研究所採用之一般水自動滅火系統撒水頭為一般反應型(第二種感度)玻璃球式撒水頭，其標示溫度為 $68^{\circ}\text{C}$ ，依據《密閉式撒水頭認可基準修正規定》，玻璃球式撒水頭作動溫度應在標示溫度之95~115%之間，即為 $64.6\sim 78.2^{\circ}\text{C}$ 之間。在試驗氣流溫度 $197^{\circ}\text{C}$ ，氣流速度 $2.5\text{m/s}$ 的條件下，若室溫假定 $30^{\circ}\text{C}$ ，其動作時間依《密閉式撒水頭認可基準修正規定》第10頁的公式計算，應在65秒內。

在實驗十一的過程中，於點火後133秒(2分13秒)破裂撒水，此時天花板溫度約為 $80^{\circ}\text{C}$ ；而在實驗十二直至25分12秒時，撒水頭才破裂撒水，此時天花板溫度亦約為 $80^{\circ}\text{C}$ 。依據實驗觀察，在實驗十二中，一般水自動滅火系統啟動時間較長的原因，可能是因為實驗十一、十二是假設住房床鋪受微火源引燃(火勢成長緩慢)的情境，其中實驗十二火勢過小使得氣流速度不足所致。

研究團隊雖致力控制每次實驗具有相同之點火狀態(包含燃料種類、燃料量、燃燒物種類、點火方式與點火位置)，但依據實驗觀察，燃燒物受微火源點燃後的火焰燃燒及蔓延情況不會每次都相同。

實驗十一、十二均在床尾以相同的點火狀態進行開始實驗，實驗十一點火後，火焰朝床墊中央蔓延，室內溫度穩定的持續攀升，2分多鐘後即達撒水頭玻璃球破裂溫度撒水；而實驗十二於點火後，火焰一開始朝床墊側邊蔓延，隨後沿著床面以小火緩慢延燒，室內溫度在

66°C 以下維持了約23分鐘，直至火焰逐漸延燒至枕頭處，產生較大火勢使溫度與氣流速度上升，撒水頭玻璃球才破裂撒水。

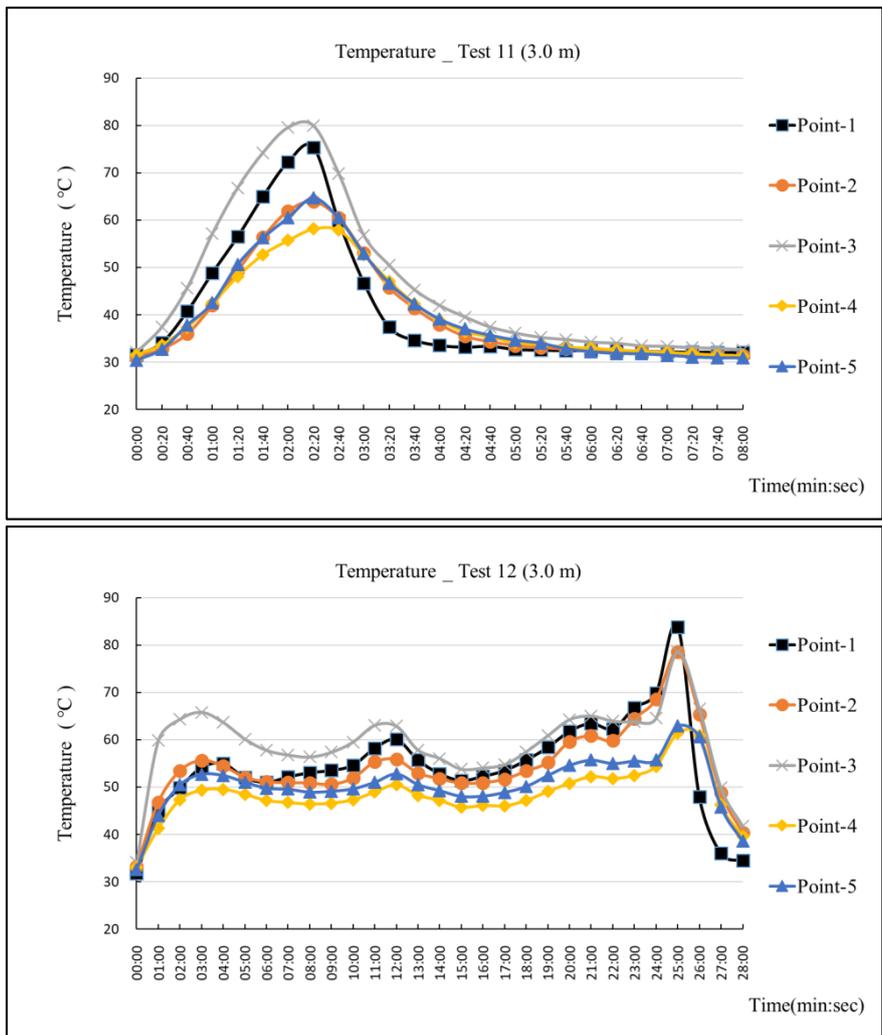


圖 5-43 實驗11、12 溫度量測曲線比較圖(距離地面3.0m處)

(資料來源：本研究整理)

### 3. 水道連結型自動撒水設備(實驗一～四)：

本研究所採用之水道連結型自動撒水設備撒水頭為第一種感度易熔元件型水道式撒水頭，其標示溫度為72°C，依據《密閉式撒水頭認可基準修正規定》，易熔元件型撒水頭作動溫度應在標示溫度之97~103%之間，即為69.8~74.1°C之間。在試驗氣流溫度135°C，氣流速

度1.8m/s的條件下，若室溫假定30°C，其動作時間依《密閉式撒水頭認可基準修正規定》第10頁的公式計算，應在26秒內。

依據實驗一、二的實驗結果，假設住房為人為縱火(火勢成長極快)的情境下，水道連結型自動撒水設備均在21秒內撒水作動，此時天花板溫度約130~140°C左右，符合密閉式撒水頭認可基準之規定。

但在實驗三的過程中，點火後30分鐘內，水道連結型自動撒水設備未啟動，此時天花板溫度約為140~150°C。而實驗四至22分46秒時，水道連結型撒水頭熔斷撒水，此時天花板溫度約為180°C。依據實驗觀察，推測水道連結型自動撒水設備未啟動或是啟動時間較長的原因，可能是因為實驗三、四是假設住房床鋪受微火源引燃(火勢成長緩慢)的情境，火勢較小使得氣流速度不足所致。

由此可知，即使環境溫度已達認可基準之氣流溫度，但若是氣流速度未能一併滿足，則有可能導致延遲水道連結型自動撒水設備撒水頭作動反應。

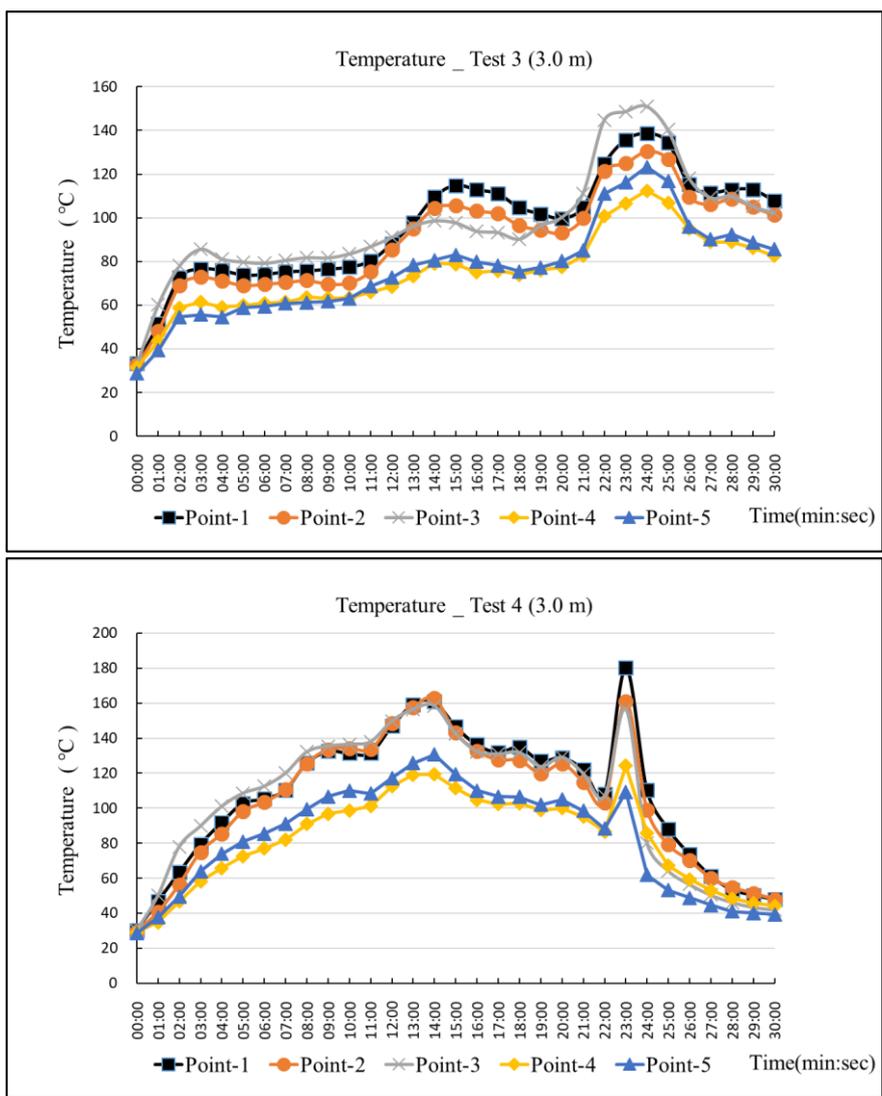


圖 5-44 實驗3、4\_溫度量測曲線比較圖(距離地面3.0m處)

(資料來源：本研究整理)

(三)不同水自動滅火設備控火情況及溫度比較：

水道連結型自動撒水設備共計四次實驗，除實驗1、2有完全滅火外(實驗1撒水後2分40秒滅火；實驗2撒水後1分04秒滅火)，實驗3、4均未能完全滅火。推論原因係實驗1、2在火勢成長極快的情況下，在點火後21秒時便啟動撒水設備，有效防止床墊延燒並及時撲滅火勢。而實驗3、4因火勢較小，推測因氣流速度不足無法使撒水頭於火災熔斷啟動或是啟動時間較晚。

細水霧自動撒水設備共計四次實驗(實驗5~8)，四次實驗

皆可完全滅火(實驗5撒水後5分01秒滅火；實驗6撒水後23分滅火；實驗7未記錄滅火時間；實驗8撒水後4分24秒滅火)，但依據實驗觀察滅火過程需要較長時間。細水霧自動撒水設備啟動方式為透過偵煙探測設備連動，可在火災初期啟動撒水設備，有效防止火勢擴大並抑制環境溫度。但由於放水量少於水道連結型自動撒水設備及一般自動撒水設備，可能影響火勢撲滅的效果。

一般水自動滅火系統共計四次實驗(實驗9~12)，四次實驗皆可完全滅火(實驗9撒水後5分16秒滅火；實驗10撒水後2分52秒滅火；實驗11撒水後4分14秒滅火；實驗12撒水後1分43秒滅火)，但依據實驗觀察，因一般水自動滅火系統放水量較大，雖有較理想之控火效果，但同時也有造成水損擴大的疑慮。

依據表3-7「人體承受危害程度指標分析表」所示，人體最高可承受在30分鐘內60°C左右的火場溫度，同時依現場觀察安養機構住房床鋪高度約離地1m左右。彙整本年度全尺寸實驗之溫度結果，探討撒水設備啟動前後之火場溫度變化，以瞭解不同水自動滅火設備之降溫能力，整理火場距離地面1m位置之最高溫度如表5-8所示。

由表5-8發現，水道連結型自動撒水設備在四次實驗中，距離地面1m位置之最高溫度約為106°C，撒水後降溫至60°C以下約需139秒，平均降溫速度為0.33~0.64°C/秒；而細水霧自動撒水設備啟動方式因係透過偵煙探測設備連動，可在火災初期啟動撒水設備，故在實驗過程中距離地面1m處的最高溫度皆維持在60°C以內；而一般水自動滅火系統在四次實驗中，距離地面1m位置之最高溫度約為91°C，撒水後降溫至60°C以下約需

15秒，平均降溫速度為1.06~1.97°C/秒。

由實驗結果可知，細水霧自動撒水設備因在火災初期即啟動，故距離地面1m處的最高溫度皆可維持在60°C以內。而一般水自動滅火系統由於放水量高於水道連結型自動撒水設備，故一般水自動滅火系統的平均降溫速度高於水道連結型自動撒水設備約3.2倍。

表 5-8 水自動滅火設備啟動前後火場溫度變化表

項次	撒水設備啟動對於火場 1m 處最高溫度變化		
	撒水設備 啟動時溫度(°C)	降溫至 60°C 所需撒水時間(秒)	平均降溫 (°C/秒)
實驗一	82.2	44	0.50
實驗二	72.7	20	0.64
實驗三	無熔斷啟動撒水		
實驗四	106.24	139	0.33
實驗五	46.68	火場溫度未超過 60°C	
實驗六	59.50		
實驗七	34.20		
實驗八	31.13		
實驗九	74.79	14	1.06
實驗十	91.47	16	1.97
實驗十一	51.06	火場溫度未超過 60°C	
實驗十二	54.86		

(資料來源：本研究整理)

(四)煙層遮蔽率及危害氣體方面：

彙整本年度水自動滅火設備之雷射煙層遮蔽率及危害氣體實驗結果，研究不同水自動滅火設備啟動對火場熱煙流動變化對於遮蔽率及危害氣體的影響。

由圖5-45~圖5-47距離地面1m高位置的煙層遮蔽率變化圖中可知，水道連結型自動撒水設備在四次實驗中，最快達到遮

蔽率100%的時間約為4分鐘，細水霧自動撒水設備約為50秒，而一般水自動滅火系統約為3分47秒。由實驗結果顯示細水霧自動撒水設備啟動後，在很短的時間內將導致空間內的能見度大幅下降，推論係由於細水霧自動撒水設備本身所噴撒的水霧液滴粒徑非常細小，同時空間內亦不斷產生濃煙，兩者混合後導致能見度不佳。

由圖5-48～圖5-50 CO<sub>2</sub>氣體濃度變化圖可知，在CO<sub>2</sub>氣體濃度部份，水道連結型自動撒水設備在四次實驗中，最高量測到約5000ppm(設備上限濃度)，一般水自動滅火系統最高量測到約4210ppm，而細水霧自動撒水設備最高量測到約2088ppm，約為另外兩種設備的42~50%。而由圖5-51～圖5-53 CO氣體濃度變化圖可知，在CO氣體濃度部份，水道連結型自動撒水設備在四次實驗中，最高量測到300ppm(設備上限濃度)，一般水自動滅火系統最高量測到約138ppm，而細水霧自動撒水設備最高量測到約95ppm約為另外兩種設備的32~69%。

若同時將所量測到的煙層遮蔽率與有害氣體濃度交叉分析後可知，細水霧自動撒水設備啟動後雖然會在很短的時間內使得空間內的能見度大幅下降，但無論是CO或CO<sub>2</sub>所量測到的氣體濃度均低於水道連結型自動撒水設備及一般水自動滅火系統，表示細水霧自動撒水設備滌煙效果優於另外兩者。而一般水自動滅火系統可能由於放水量高於水道連結型自動撒水設備，故有害氣體的濃度低於水道連結型自動撒水設備。

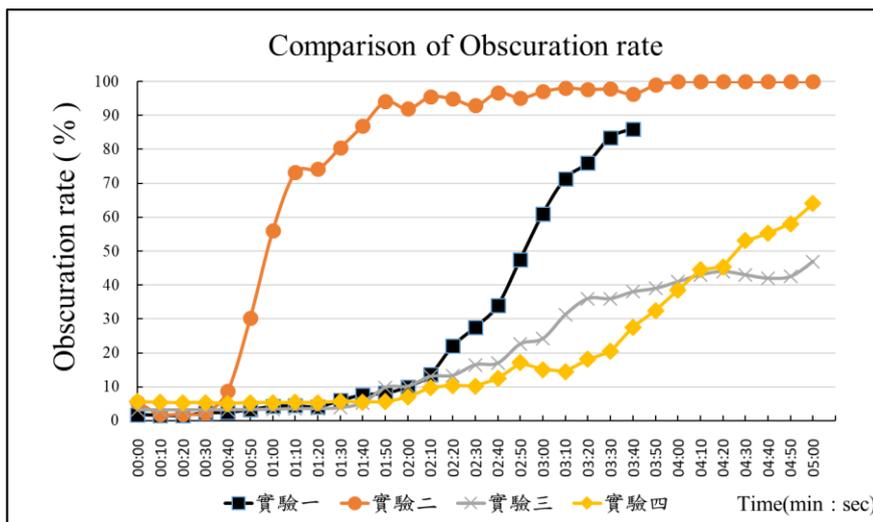


圖 5-45 水道連結型設備\_煙層遮蔽率變化圖(1m)

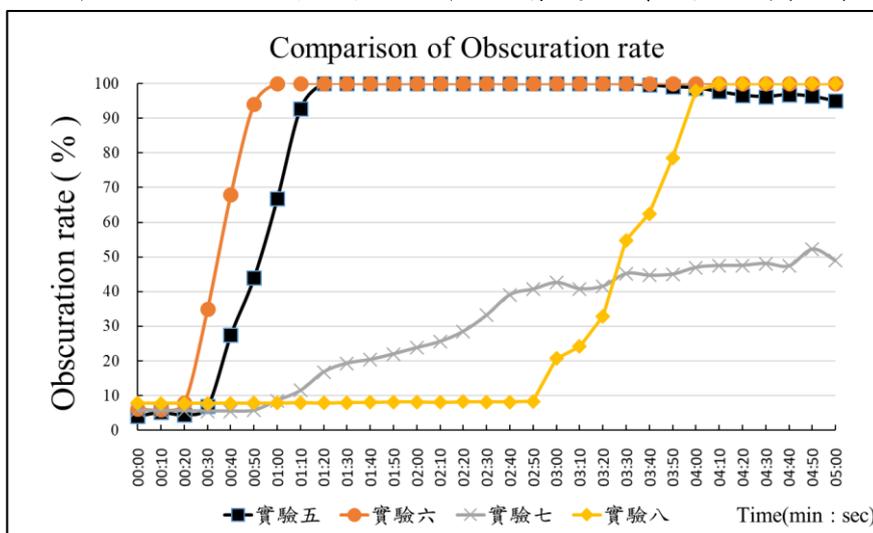


圖 5-46 細水霧設備\_煙層遮蔽率變化圖(1m)

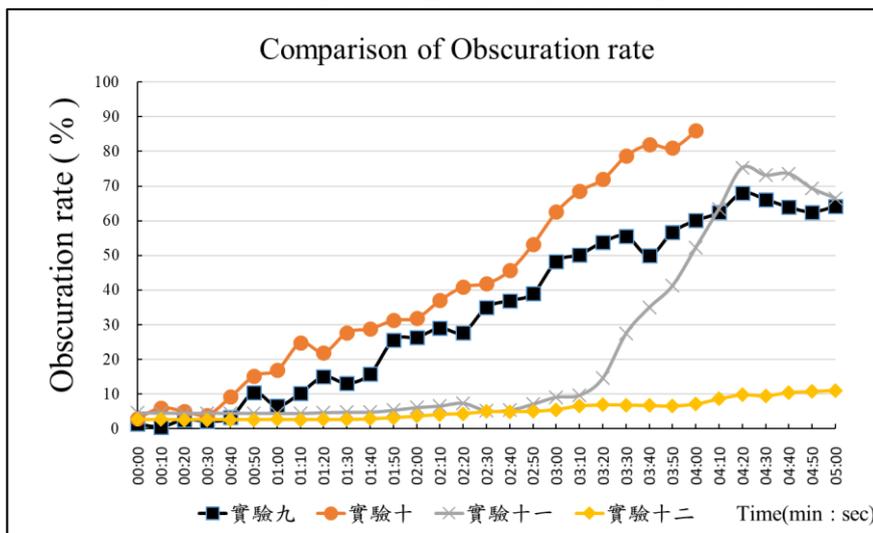


圖 5-47 一般自動撒水型設備\_煙層遮蔽率變化圖(1m)

(圖5-45、5-46、5-47資料來源：本研究整理)

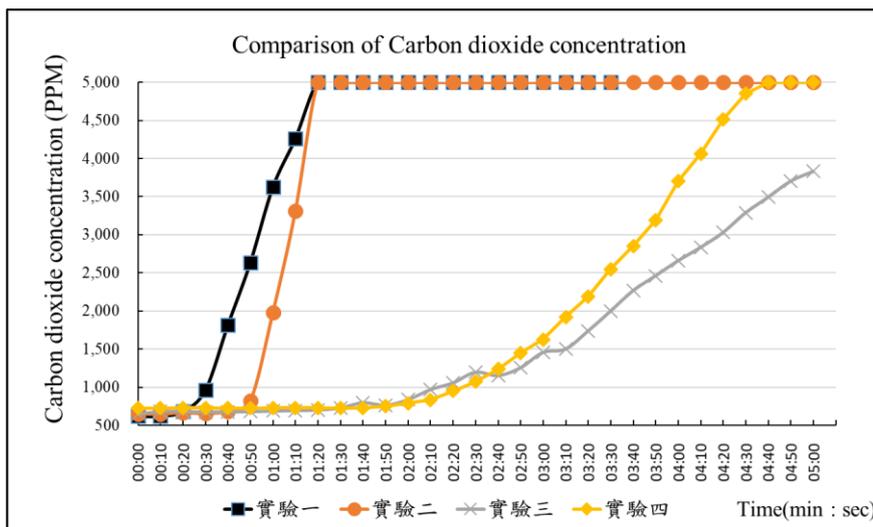


圖 5-48 水道連結型設備\_CO<sub>2</sub> 氣體濃度變化圖

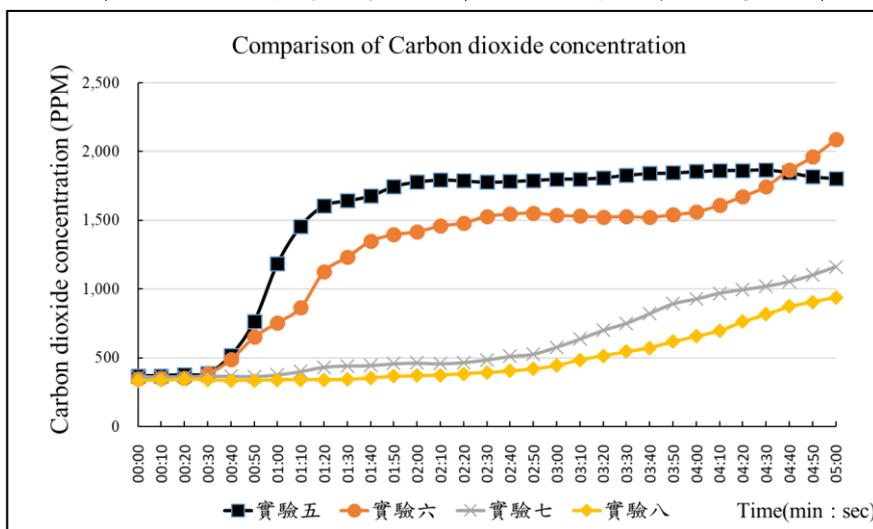


圖 5-49 細水霧設備\_CO<sub>2</sub> 氣體濃度變化圖

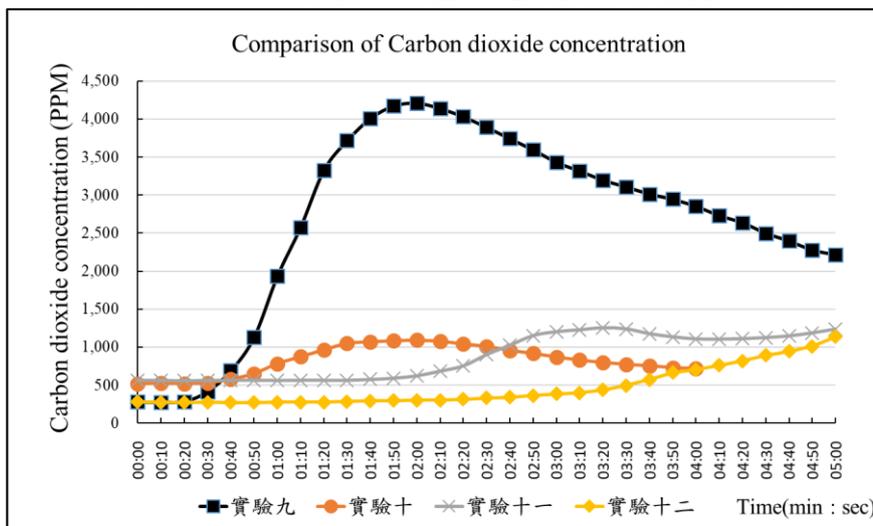


圖 5-50 一般自動撒水型設備\_CO<sub>2</sub> 氣體濃度變化圖

(圖 5-48、5-49、5-50 資料來源：本研究整理)

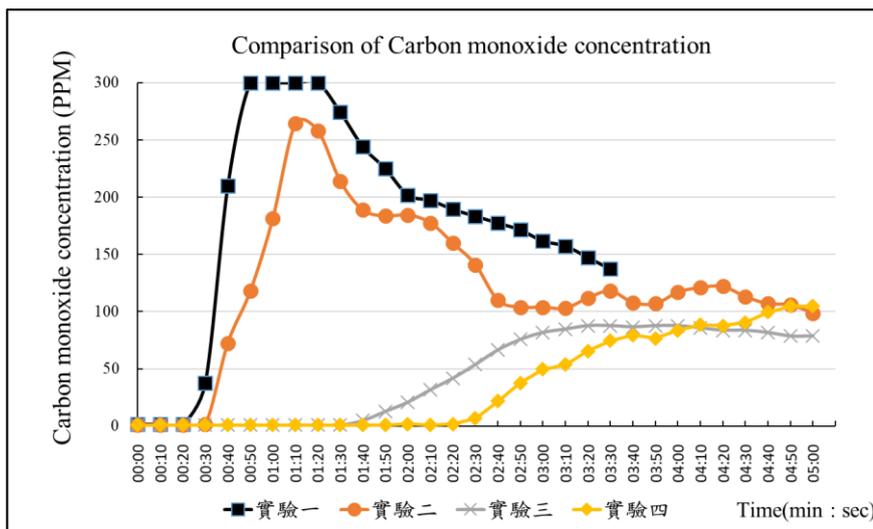


圖 5-51 水道連結型設備\_CO 氣體濃度變化圖

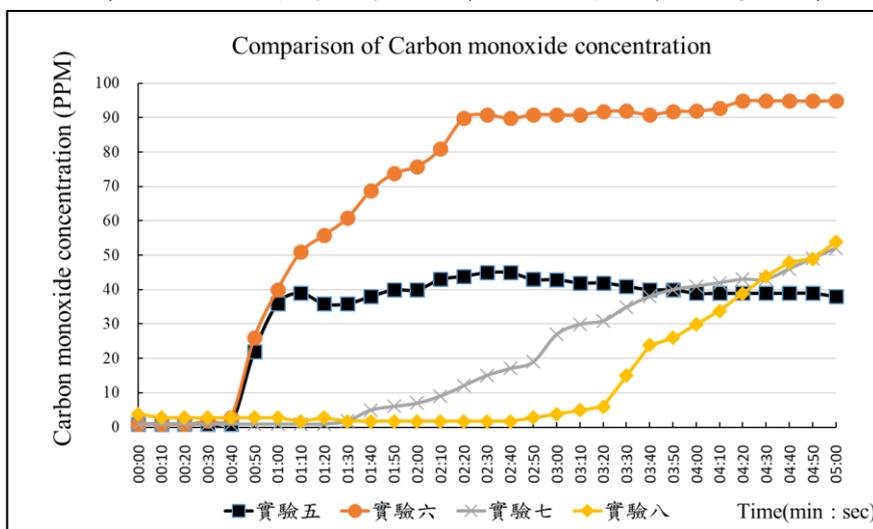


圖 5-52 細水霧設備\_CO 氣體濃度變化圖

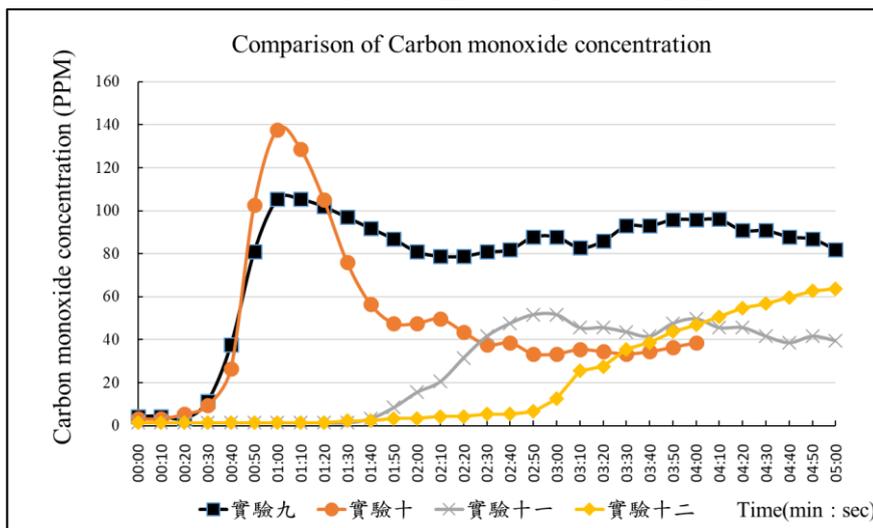


圖 5-53 一般自動撒水型設備\_CO 氣體濃度變化圖

(圖 5-51、5-52、5-53 資料來源：本研究整理)

## 二、水道連結型自動撒水設備若為開放式系統之可行性評估

目前日本與我國所採用的水道連結型自動撒水設備均為密閉濕式系統，為了評估水道連結型自動撒水設備若為開放式系統之可行性，本研究以假設住房為人為縱火(火勢成長極快)的情境下，規劃同時裝設四顆已破開之水道連結型撒水頭，並以光電偵煙探測器(二種)偵知作動後，加上十秒之延遲時間，手動開啟泵浦進行類似開放式撒水系統作動情境進行滅火，並將實驗結果與實驗一進行比較，其實驗相關結果如圖5-54、5-55、5-56所示：

將本次開放式實驗與實驗一之實驗結果進行比較，實驗一距離地面3m處的最高溫度約達130°C左右，開放式實驗約為68°C左右；實驗一約於點火後10秒左右，距離地面3m處即達完全遮蔽，開放式實驗延遲至約1分40秒左右；實驗一於距離地面3m處所量測到的最高遮蔽率約為85%左右，而開放式實驗約為27%左右；實驗一約於50秒時量測到CO濃度為300ppm(設備量測上限)，而開放式實驗最高CO濃度為45ppm左右；實驗一約於1分20秒時量測到CO<sub>2</sub>濃度為5000ppm(設備量測上限)，而開放式實驗最高CO<sub>2</sub>濃度為1500ppm左右。

由上述結果可知，水道連結型自動撒水設備若為開放式系統，可在火災初期經由偵煙探測器偵知火災後即刻作動，且所有撒水頭會同時撒水，可快速抑制火勢並降低室內溫度與有害氣體濃度，無須等待室內溫度升高達撒水頭感知溫度破裂撒水，依據實驗結果，水道連結型自動撒水設備若為開放式系統，在降溫、降低有害氣體濃度、降低遮蔽率等實驗量測項目上，效果優於密閉濕式。

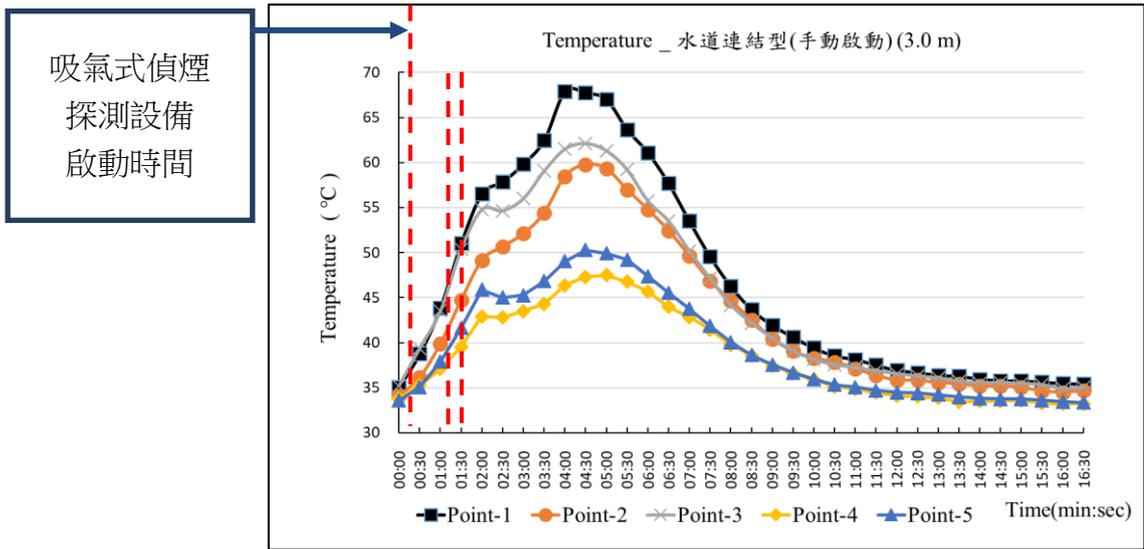


圖 5-54 開放式實驗溫度量測曲線圖(離地 3m 處)

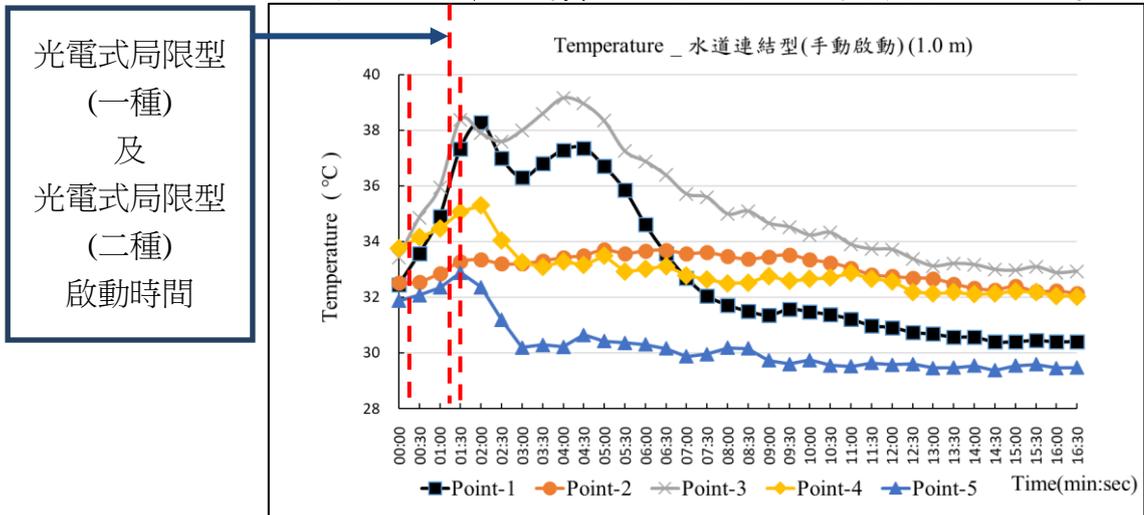


圖 5-55 開放式實驗溫度量測曲線圖(離地 1m 處)

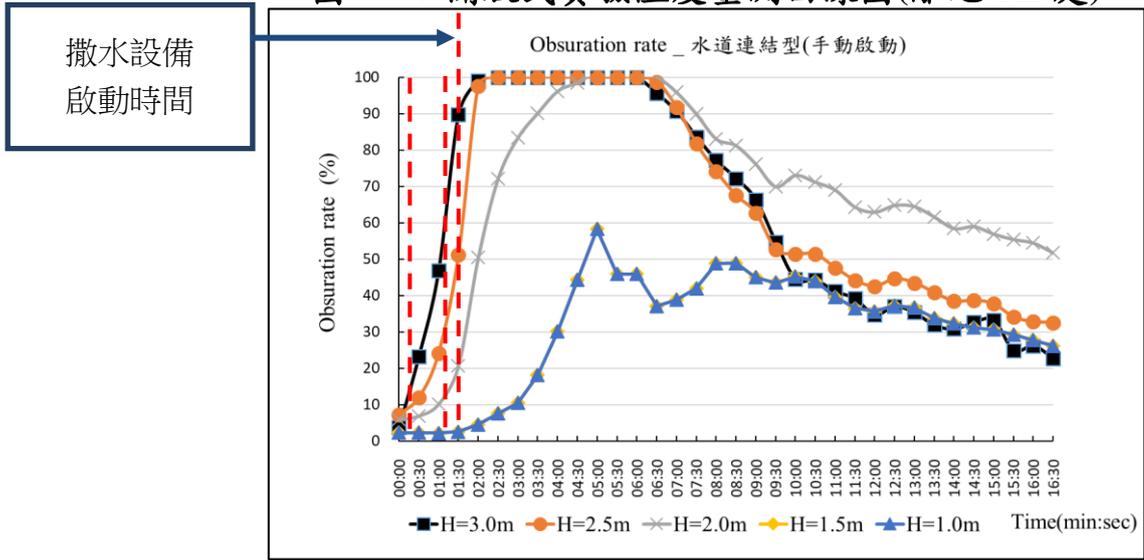


圖 5-56 開放式實驗煙層遮蔽率  
(圖5-54、5-55、5-56資料來源：本研究整理)

開放式系統主要動作流程係平時管內無水，作用時由探測器自動啟動或經由手動操作啟動，整個放水區域同時撒水，此種滅火方式勢必造成較大的水損傷害。若安裝於長照機構之開放式系統誤動作，恐有造成財產損失與住民傷害之虞。其中，由於長照機構住房內可能有無法自主行動或需仰賴供氧設備之住民，若開放式系統誤動作，撒水可能影響其供氧設備運作或是造成住民因水而嗆到，恐非相關業者所能承擔之責任。因此，雖開放式系統其效果優於密閉濕式系統，但若安裝於長照機構中，應考量避免裝設於住房內。

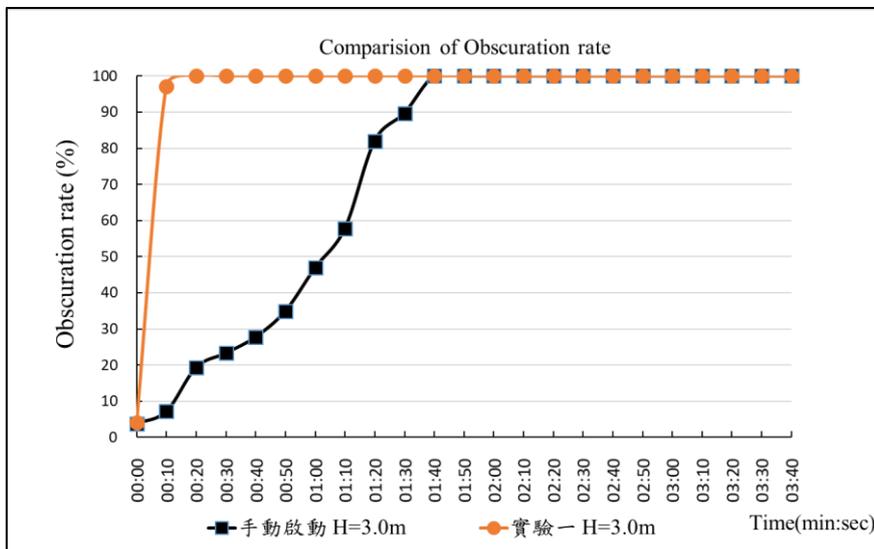


圖 5-57開放式實驗與實驗一之煙層遮蔽率比較(離地3m處)

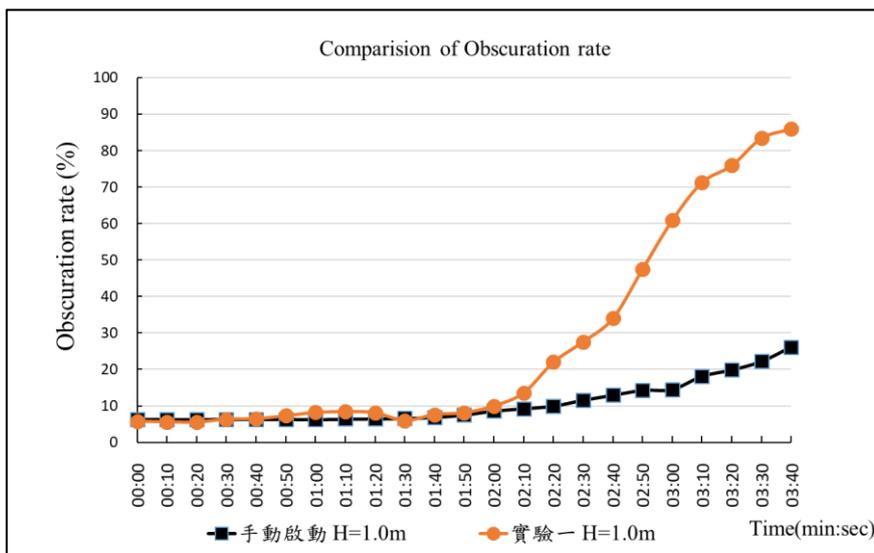


圖 5-58開放式實驗與實驗一之煙層遮蔽率比較(離地1m處)

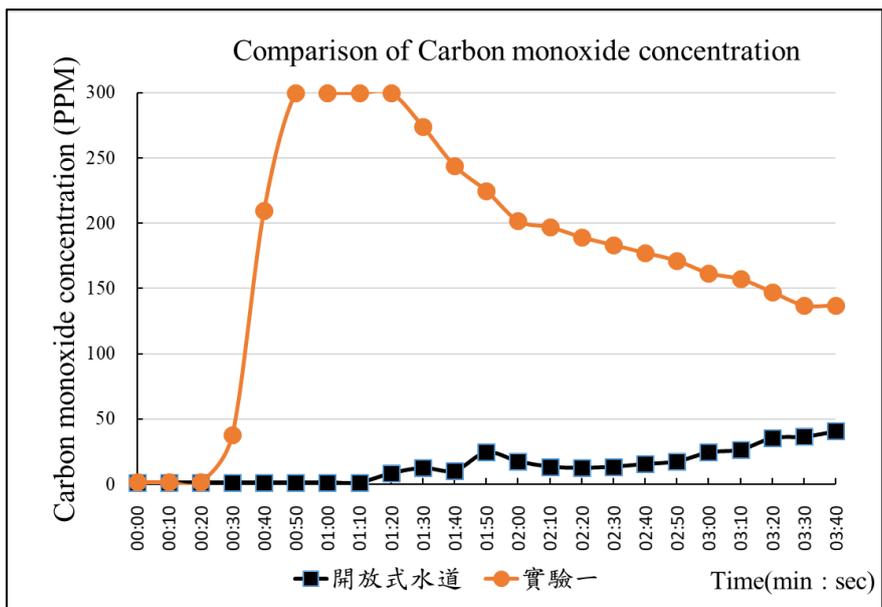


圖 5-59 開放式實驗與實驗一之CO濃度比較

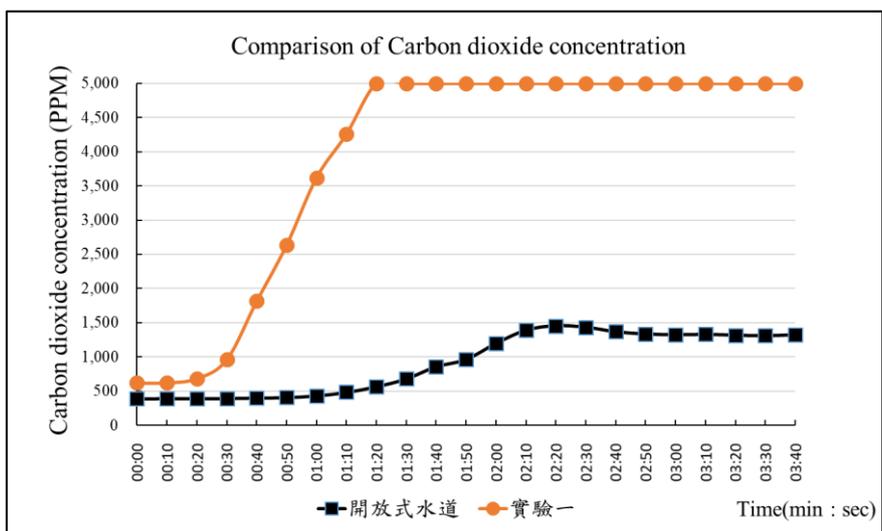


圖 5-60 開放式實驗與實驗一之CO<sub>2</sub>濃度比較

(圖5-57~5-60資料來源：本研究整理)

### 三、起火位置對火警偵煙探測設備關係分析(實驗13~18)

由火警偵煙探測設備實驗結果發現，火勢較大(煙生成量大)的情境下，吸氣式偵煙探測系統啟動時間與光電式局限型偵煙探測器(一、二種)相近，均在23秒內偵知啟動；而火勢較小(煙生成量小)的情境，吸氣式偵煙探測系統與光電式局限型偵煙探測器(一、二種)在偵知時間上有明顯差異。

以實驗18為例，吸氣式偵煙探測系統偵知時間為38秒，較光電式局限型偵煙探測器(一種)提早47%(光電式局限型偵煙探測器(一種)偵知時間為1分12秒)；較光電式局限型偵煙探測器(二種)提早66%(光電式局限型偵煙探測器(二種)偵知時間為1分53秒)。因此吸氣式偵煙探測系統對於火勢成長緩慢(煙成長成量小)的情況，有較佳的偵知表現。

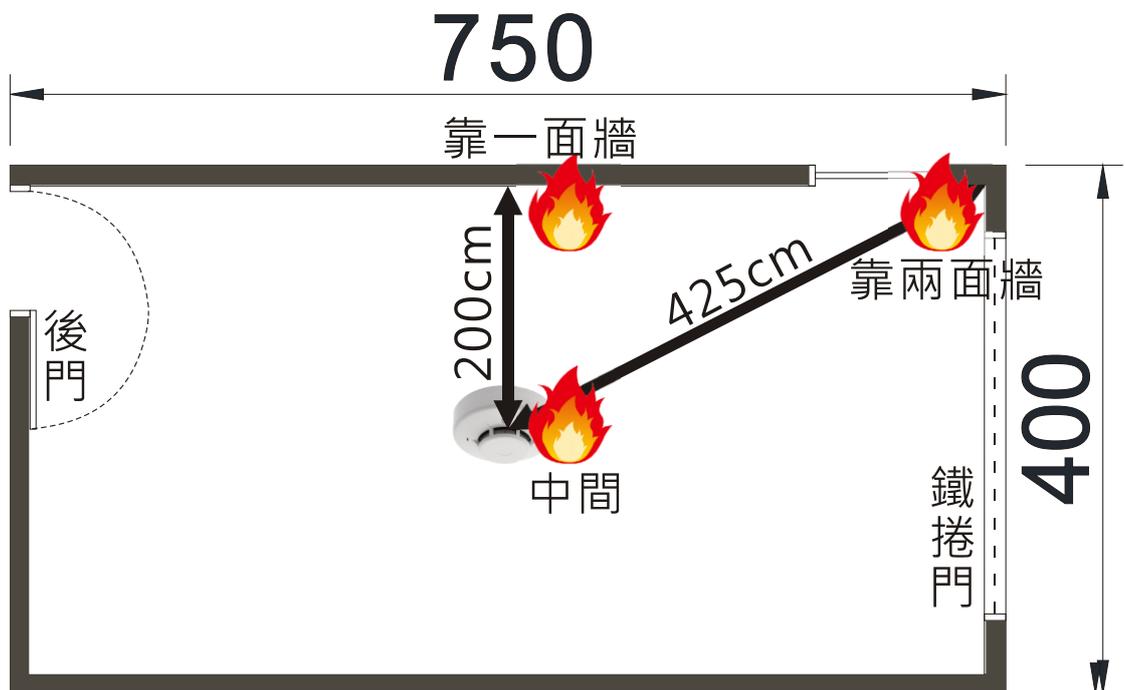


圖 5-61 起火位置與偵煙探測器距離示意圖  
(資料來源：本研究整理)

由實驗結果發現，當油盤位於角落(靠兩面牆)時，無論採用大火盤或小火盤，由於距離偵煙探測器最遠，故偵知時間最長。在小火盤(煙生成量小)的情境下，油盤位於靠一面牆相較於火盤放置於居室中間(最接近探測器)的位置，光電式局限型偵煙探測器(一、二種)偵知時間均約增加54%。油盤位於角落(靠兩面牆)相較於火盤放置於居室中間(最接近探測器)的位置，光電式局限型偵煙探測器(一、二種)偵知時間均約增加176%。

光電式局限型偵煙探測器(一、二種)的有效探測範圍依據《各類場所消防安全設備設置標準》第122條之規定，在天花板高度未滿4公尺的情況下有效探測範圍雖為 $150\text{m}^2$ ，但當偵煙探測器至角落距離若大於偵煙探測器至最近牆面距離2倍以上時，該居室應考慮增設偵煙探測器，避免火源距離偵煙探測器過遠，導致偵知時間過久。

## 第六節 小結

1. 根據實驗結果，吸氣式偵煙探測系統偵知時間早於光電式局限型偵煙探測器(一、二種)約 8~16%，而光電式局限型偵煙探測器(一種)偵知時間又早於光電式局限型偵煙探測器(二種)約 7~12%。
2. 在假設住房床鋪受微火源引燃(火勢成長緩慢)的情境下，即使環境溫度已達認可基準之氣流溫度，但若是氣流速度不足，則有可能導致延遲水道連結型自動撒水設備撒水頭作動反應。但此時火警自動警報設備已動作，而火勢尚未擴大，自衛消防編組人員應可持手動滅火設備（滅火器、室內消防栓）進行初期滅火。
3. 細水霧自動撒水設備因在火災初期即啟動，故實驗過程中距離地面 1m 處的最高溫度皆可維持在 60°C 以內。而一般水自動滅火系統由於放水量高於水道連結型自動撒水設備，故一般水自動滅火系統的平均降溫速度約高於水道連結型自動撒水設備 3.2 倍。
4. 同時將所量測到的煙層遮蔽率與有害氣體濃度交叉分析後可知，細水霧自動撒水設備啟動後雖然會使得空間內的能見度大幅下降，但無論是 CO 或 CO<sub>2</sub> 的氣體濃度均低於水道連結型自動撒水設備及一般水自動滅火系統，表示細水霧自動撒水設備滌煙效果可能優於兩者。
5. 依據實驗結果，水道連結型自動撒水設備若為開放式系統，在降溫、降低有害氣體濃度、降低遮蔽率等實驗量測項目上，效果優於密閉濕式。
6. 但當偵煙探測器至角落距離若大於偵煙探測器至最近牆面距離 2 倍以上時，該居室應考慮增設偵煙探測器，以避免火源距離偵煙探測器過遠，導致偵知時間過久。



## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究延續上年度之研究成果，加以探討火警偵煙探測設備及水自動滅火設備在不同情境規劃下的性能表現。同時利用電腦模擬軟體(Pyrosim)，模擬全尺寸居室之煙流特性與危害分析，最終透過實驗結果及模擬數據分析，提出以下結論：

1. 針對不同的水自動滅火設備對機構住房的泡棉床墊火災特性，經由本研究全尺寸實驗進行滅火效能驗證後，可知：
  - (1) 依據實驗結果，假設住房為人為縱火(火勢成長極快)的情境下，三種不同水自動滅火設備均在極短的時間(21 秒)內撒水作動。
  - (2) 若是在假設住房床鋪受微火源引燃(火勢成長緩慢)且細水霧自動滅火設備係藉由偵煙探測器偵知火災後連動啟動，而非由溫度感知達一定溫度後啟動的情形下，細水霧自動滅火設備啟動時間快於一般自動撒水設備及水道連結型自動撒水設備。故當該居室在受微火源引燃已產生煙霧但卻未生成高溫的情況下，偵煙探測器若已偵知火災，將於火災初期連動啟動細水霧自動撒水設備。
  - (3) 在假設住房床鋪受微火源引燃(火勢成長緩慢)的情境下，即使環境溫度已達認可基準之氣流溫度，若是氣流速度未能一併滿足，則有可能導致延遲一般水自動滅火系統及水道連結型自動撒水設備撒水頭作動反應。但此時火警自動

警報設備已動作，而火勢尚未擴大，自衛消防編組人員應可持手動滅火設備(滅火器、室內消防栓)進行初期滅火。

- (4) 針對不同的水自動滅火設備對機構住房的泡棉床墊火災特性，本研究共計進行 12 次全尺寸實驗。水道連結型自動撒水設備的四次實驗中有兩次未能完全滅火(為實驗 3、4)。推測係因火勢較小，氣流速度不足無法使撒水頭熔斷啟動或是啟動時間較晚。細水霧自動撒水設備雖四次實驗皆可完全滅火，但依據實驗觀察滅火過程需要較長時間，由於細水霧自動撒水設備放水量少於水道連結型自動撒水設備及一般自動撒水設備，可能影響火勢撲滅的效果。一般水自動滅火系統雖四次實驗皆可完全滅火，但依據實驗觀察，因一般水自動滅火系統放水量較大，雖有較理想之控火效果，但同時也有造成水損擴大的疑慮。
- (5) 依據實驗結果，細水霧自動撒水設備因在火災初期即啟動，故距離地面 1m 處的最高溫度皆可維持在 60°C 以內。而一般水自動滅火系統由於放水量高於水道連結型自動撒水設備，故一般水自動滅火系統的平均降溫速度高於水道連結型自動撒水設備約 3.2 倍。
- (6) 同時將所量測到的煙層遮蔽率與有害氣體濃度交叉分析後可知，細水霧自動撒水設備啟動後雖然會在很短的時間內使得空間內的能見度大幅下降，但無論是 CO 或 CO<sub>2</sub> 所量測到的氣體濃度均低於水道連結型自動撒水設備及一般水自動滅火系統，表示細水霧自動撒水設備滌煙效果優於另外兩者。

- (7) 依據實驗結果，水道連結型自動撒水設備若為開放式系統，在降溫、降低有害氣體濃度、降低遮蔽率等實驗量測項目上，效果優於密閉濕式。
2. 針對不同起火位置對不同火警偵煙探測設備的有效反應分析，經由本研究全尺寸實驗進行滅火效能驗證後，可知：
    - (1) 在火勢較大(煙生成量大)的情境下，吸氣式偵煙探測系統啟動時間與光電式局限型偵煙探測器(一、二種)相近，均在短時間(23 秒)內偵知啟動。
    - (2) 由實驗結果發現，當火盤位於角落(靠兩面牆)時，無論採用大火盤或小火盤，由於距離偵煙探測器最遠，故偵知時間最長。
    - (3) 在小火盤(煙生成量小)的情境下，油盤位於靠一面牆相較於火盤放置於居室中間(最接近探測器)的位置，光電式局限型偵煙探測器(一、二種)偵知時間均約增加 54%。油盤位於角落(靠兩面牆)相較於火盤放置於居室中間(最接近探測器)的位置，光電式局限型偵煙探測器(一、二種)偵知時間均約增加 176%。故當偵煙探測器至角落距離若大於偵煙探測器至最近牆面距離 2 倍以上時，該居室應考慮增設偵煙探測器，以避免火源距離偵煙探測器過遠，導致偵知時間過久。
  3. 本研究以電腦模擬軟體進行模擬居室火災的煙流特性，以評估法定排煙量是否滿足排煙性能。由模擬結果得知：
    - (1) 透過全尺寸實驗結果及模擬結果，加上起火室人員完全疏

散時間進行比較分析，得知居室以法定要求設置排煙設備，其排煙性能足以使起火室人員安全避難逃生，故推論法定排煙量應可滿足居室排除濃煙所需之性能。

- (2) 若在無撒水情境下假設以兩倍法定要求值設置排煙設備，加大自然排煙設備面積與加大機械排煙設備之排煙量相比，可延遲煙層下降至距離地面 1.8m 的較長時間。
- (3) 在有撒水情況下，因受濃煙可能受撒水拖曳影響，煙層將快速下降至距離地面 1.8m 處。同時，由於機械排煙係以機械風力強制將濃煙排除，故撒水一段時間後，將可維持煙層高度在距離地面 1.5m 以上。

4. 彙集上述實驗結果，本研究提出長照機構使用火災探測及滅火設備參考如下：

- (1) 在水系統自動滅火設備方面，各種設備均有其優點，綜合本研究所進行之全尺寸實驗結果，在使用偵煙式探測器連動啟動的前提下，細水霧自動滅火設備綜合效能較優，但該設備啟動後可能會與濃煙混合造成視線障礙不利於救助住房內之避難弱者。一般水自動滅火系統雖控火效果較佳但因空間需求過高不易裝設，而水道連結型自動撒水設備雖空間需求與設置成本較低，但滌煙效果較弱，故建議長照機構考量自身條件與需求擇一設置。
- (2) 在火災探測方面，吸氣式偵煙探測系統相較於光電式局限型偵煙探測器(一種)偵知時間提早約 5~8%，相較於光電式局限型偵煙探測器(二種)偵知時間提早約 16~48%，故建議長照機構考量設置光電式偵煙探測器(一種)或吸氣

式偵煙探測系統，以利及早發現狀況，爭取反應及救援時間。同時，若偵煙探測器至角落距離若大於偵煙探測器至最近牆面距離 2 倍以上時，該居室應考慮增設偵煙探測器，以避免火源距離偵煙探測器過遠，導致偵知時間過久。

## 第二節 建議與後續研究方向

本研究綜合本年度的研究成果與經驗，提出以下未來較具有研究價值的課題，供主管機關參考。

### 建議一

立即可行之建議：建立滅火設備同等滅火效能之驗證方法及基準

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：內政部建築研究所

依據消防署有關《各類場所消防安全設備設置標準》第 17 條修正條文(106.9.20 公告預告修正草案)規定：「未達 1000 m<sup>2</sup>場所得設置水道連結型自動撒水設備或與現行法令同等滅火效能之滅火設備...」，國內目前尚無「同等滅火效能」之相關規範，建議後續研究可參考 ISO6182-10 或 UL1626 建立滅火設備同等滅火效能之功能驗證方法及基準，以供消費者基於本身環境條件等限制下，可安裝適合且有效的消防安全設備。

### 建議二

立即可行之建議：將國內老人福利機構實際內裝材料之現況與防焰寢具進行後續研究與全尺寸實驗

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、內政部消防署

本研究於今年度完成長照機構全尺度居室火災探測及滅火設備之實驗及驗證分析，惟實驗過程中僅針對偵煙探測系統之反應與自動滅火設備之效能，以報廢之被褥、床墊、床單、枕頭進行燃燒實測，並未考量國內長照機構實際內裝材料之現況與防焰寢具對於火場燃燒所造成的影響，建議後續研究可將內裝材料與防焰寢具之燃燒行為進行全尺寸實驗。

## 附錄 審查回應表

### 一、期初審查（評審會議）回應表

項次	評選委員意見	廠商回應
1	請說明吸氣式偵煙探測系統在實際長照機構應用之情形。是否擬納入法規？	本團隊已於 106 年研究案中，於北部某長照機構裝設一套吸氣式偵煙探測系統，測試結果需視安裝環境微調其靈敏度以符合現場使用。研究結果將提供相關單位參考，研擬納入法規之可行性。
2	請說明 FDS 模擬受撒水系統之影響	全尺寸實驗所使用的各項參數，將會參考應用在 FDS 的電腦模擬上。
3	全尺度空間模擬火災及滅火驗證與實際空間配置之差異，是否會影響驗證結果？	全尺寸實驗與實際空間配置上一定會存在差異，僅能參考實際配置盡可能降低其差異性。
4	研究流程是否以 FDS 進行模擬後，再依模擬情形反應於全尺度空間配置進行火害探測及滅火設備之驗證？	本案研究流程係規劃全尺度實驗與 FDS 模擬，盡可能採用相同參數與條件進行，全尺寸實驗所使用的各項參數，將會參考應用在 FDS 的電腦模擬上。
5	全尺寸居室模擬火災探測，建議空間納入走廊、廚房(配膳	因受限於空間限制，本研究之全尺寸實驗仍以單一居室為

	室)及兩區劃空間(建築技術規則 99 條之 1)一併驗證分析檢討。	主。未來研究可考慮規劃走廊及廚房空間。
6	針對撤水水量、防護範圍及偵煙式探測器防護範圍應檢討最佳的配置方式，外加排煙(自然或機械式)納入檢討	本研究內容將考量納入檢討撤水水量、防護範圍及偵煙式探測器防護範圍最佳的配置方式，並考量以 FDS 電腦模擬檢討外加排煙之情況。
7	期末報告書建議納入給消防署及營建署等公部門爾後報行相關政策推動建議事項。	研究成果將提供消防署與營建署作為長照機構防火性能提升的建議。
8	基於研究期望「控制在起火居室內」的概念，本研究之實尺寸實驗是否有多居室，以判別實際延燒及煙流狀況，再進行 FDS 模擬。	因受限於空間限制，本研究之全尺寸實驗仍以單一居室為主，並考量以 FDS 電腦模擬檢討延燒及煙流狀況。
9	全尺寸驗證時各探測設備、滅火設備是否會應用 FDS 分析成果?	全尺寸實驗所使用的各項參數，將會參考應用在 FDS 的電腦模擬上。
10	服務建議書第 14 頁火源設置規劃以定量汽油點燃產生黑煙，是否與長照機構居室燃燒特性有適當連結?	該實驗主要測試火警自動警報裝置之性能，若以長照機構居室內之物品進行發煙量來源，恐無法定量分析而產生差異，故考量以定量汽油點燃產生黑煙作為基準。
11	研究成果是否可提供設計單位作為避難空間或防火區劃	研究成果將提供消防署與營建署作為長照機構防火性能

	之建議?	提升的建議。
12	本年度對於自來水連結式撒水系統應用啟動時間差異之實驗、分析。	感謝委員意見，遵照辦理。
13	建議本研究於全尺度空間觀察撒水頭何時啟動、幾個啟動、撒水時間長短、所需水量等項目之確認。	感謝委員意見，遵照辦理。
14	本案是否可採自動撒水系統、自來水連結式撒水系統也同時於全尺度空間進行測試。	因空間與設備成本限制，本研究將於台南實驗場架設水道連結型撒水系統，供全尺寸實驗之用。
15	本研究為國際先驅，建議研究成果能於國際期刊發表。	感謝委員意見，遵照辦理。

二、期中審查回應表

委員	委員評選意見	廠商回應
沈委員子勝	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議明述實驗之目的：如不同火災情境，不同探測器，不同防災手段(機械、自然排煙與撒水之互動組合)之效果。</li> <li>2. 除與模擬比較外，建議與相類似之災例進行分析。</li> <li>3. 保守提出建議的防災手段(列出研究中的限制)。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，已依據委員意見補充實驗目的，並以電腦模擬與全尺寸實驗探討不同探測器，不同防災手段(機械、自然排煙與撒水互動組合)之效果。</li> <li>2. 感謝委員意見，本研究重新以 108 年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗作為模擬規劃後，經比對實際量測之實驗數據與電腦模擬結果後，其溫度與煙層下降趨勢誤差均在 5% 以內，應可佐證本研究電腦模擬之可信度。</li> <li>3. 感謝委員意見，遵照辦理。</li> </ol>
林委員文興	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 第 52 頁，煙層高度設置 6 個量測點，主要在量測何項參數或數據？</li> <li>2. 第 54 頁，煙控模擬 4-6 主要為考慮撒水之影響？依表 4-5 似乎為水道連結式撒水，另建議考慮使用第一種感度撒水頭較切合實際。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，煙層高度量測點之規劃位置，係針對居室在不同位置可能會有不同的煙層高度所設定。</li> <li>2. 感謝委員意見，本研究電腦模擬所設定之水道連結式撒水頭即為第一種感度撒水頭。</li> <li>3. 感謝委員意見，已依據委員意見補充人員安全標</li> </ol>

	<p>3. 建議模擬 1~6，(1)對 kW、°C、CO、CO2 應訂定安全標準值，由實驗數據列表指出何種情境會超出安全值。(2)由研究角度列表分析比較各情境之優勢何在。(3)可比較發生閃燃之時間。</p> <p>4. 後續滅火試驗，細水霧與一般撒水、水道式動作方式不同，除考慮其滅火效能外，可否觀察水損情形。</p>	<p>準值及電腦模擬結果分析，並依據 108 年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗結果，在居室內僅一床著火的情境下，最高溫度約達 160°C，尚未滿足閃燃所需條件。</p> <p>4. 感謝委員意見，經實驗觀察，因一般水自動滅火系統放水量高於細水霧及水道式，故一般水自動滅火系統所造成的水損程度也較高。</p>
<p>周委員文智</p>	<p>1. FDS 電腦模式模擬結果與全尺寸實際火災分析結果進行比較、分析及建議。</p> <p>2. 實際火災與 FDS 之探測器作動時間點，撒水頭玻璃球或熔斷片啟動時間點的分析、比較及建議。</p>	<p>1. 感謝委員意見，本研究重新以 108 年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗作為模擬規劃後，經比對實際量測之實驗數據與電腦模擬結果後，其溫度與煙層下降趨勢誤差均在 5% 以內，應可佐證本研究電腦模擬之可信度。</p> <p>2. 感謝委員意見，電腦模擬所設置之偵煙探測器與撒水頭，皆以符合相關規定之參數進行設定，並已依據委員意見補充撒水頭玻璃球或熔斷片啟動</p>

		的時間數據。
陳委員信全	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議可考量小型房間，如 1 人房、2 人房的情形。</li> <li>2. 建議天花板高度，一般常見之 260、250 公分之情形，或有不同考量，請參考。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本研究重新以 108 年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗作為模擬空間規劃，並置入相同配置如床位、床頭櫃等，以契合實驗情境。</li> <li>2. 承上，該實驗屋天花板高度為 2.7m，應已為一般常見之天花板高度。</li> </ol>
張委員敬桐	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案研究成果將有利引用在工程實務有關消防設備之啟動方式與時機，有助設備防護有效性之評估。</li> <li>2. 部分文獻引用之敘述或用語建議修正，如主動式消防設備。</li> <li>3. 建議補強比對消防設備動作時間與人體危害臨界值，以利決定火災初期因應動作。</li> <li>4. 建議研擬加速啟動撒水之啟動方式，如預動式(single interlock 或 none interlock)或開放式之可行性，並評估業主對誤動作水損之忍受度。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見。</li> <li>2. 感謝委員意見，遵照辦理。</li> <li>3. 感謝委員意見，已依據委員意見補充人體危害臨界值及消防設備作動參數。(P.40、P.52)</li> <li>4. 感謝委員意見，已依據委員意見增設一組全尺寸實驗，實驗規劃以已破開之撒水頭配合偵煙探測器作動瞬間，以手動啟動泵浦之實驗方式模擬開放式水自動滅火系統。依據實驗結果其表現優於密閉式撒水系統。經訪談相關業者，對於該系統的穩定性與誤動作水損仍持保留態度。</li> </ol>
林委員大惠 (書面意見)	本計畫宜先分析歸納長照居室與一般居室的差	感謝委員意見，經現勘觀察，長照機構居室與一般居室之

	<p>異，如：火載量差異，室內空調差異，火災探測及滅火設備差異，人員動線差異...等，再行實驗及驗證分析，以釐清長照居室在火災探測及消防滅火，或逃生避難三方面有別於一般居室所需考量的重點差異。</p>	<p>環境條件並無太大差異，惟長照機構居室設有隔簾(但並非常時拉上)且部分住民可能為無法自主行動之避難弱者。故本研究同時結合 Pyrosim 及 Pathfinder 兩套軟體進行疏散時間模擬，藉由比對疏散過程中的火場特性，以人力不足的情況(僅兩名醫護人員)且需同時由兩名醫護人員才能移動無自主避難能力住民的病床，用以評估安全疏散的時間。</p>
<p>韓委員欽銓 (書面意見)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫以針對煙霧偵測器與水自動滅火設備進行功能與價格檢討，建議可以將其各項功能與價格，與不同場域，繪製一個分析比較表格。</li> <li>2. 計畫針對兩個因子，模擬六項情境，然而火災現場擺設與環境變化很大，建議可以增加環境各種可能性，更貼近真實環境，以增加模擬的可信度。</li> <li>3. 本計畫以 Pyrosim 電腦軟體模火災排煙與灑水設備的影響，建議於另一項計畫「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，遵照辦理。</li> <li>2. 感謝委員意見，本研究重新以 108 年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗作為模擬空間規劃，並置入相同配置如床位、床頭櫃等，以契合實驗情境。</li> <li>3. 感謝委員意見，本研究重新以 108 年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗作為模擬規劃後，經比對實際量測之實驗數據與電腦模擬結果後，其溫度與煙層下降趨勢誤差均在 5% 以內，應</li> </ol>

	<p>究」進行火災模擬時，可以參與，建置相關感測器，收集資料，將真實資料匯入模擬軟體中，增加模擬結果的可信度。</p>	<p>可佐證本研究電腦模擬之可信度。</p>
<p>中華民國全國建築師公會 楊建築師勝德</p>	<p>人員逃生在何種實驗數據下即應啟動？</p>	<p>感謝委員意見，若是微火源情境下，建議可先嘗試初期滅火，若滅火失敗，則應立即進行疏散逃生。</p>
<p>內政部營建署(洪技正信一、孫研究員立言)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 長照機構兩案分別涉及建管與消防方面，在最終成果中是否會將二方面結合，以達到1加1等於10的成效。</li> <li>2. 此案與前案共用圖例，請互相支援。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本研究重新以108年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗作為模擬空間規劃，並置入相同配置如床位、床頭櫃等，以契合實驗情境。</li> <li>2. 感謝委員意見，已依據委員意見重新以108年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」之實驗屋進行電腦模擬與結果整理。</li> </ol>
<p>中華民國消防設備師公會全國聯合會(劉秘書長大衛)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請說明在撒水及排煙的場景中，有無人員在場。</li> <li>2. 當撒水啟動時，至少也已達60°C，人員的承受度如何，可否自由行動。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本研究重新以108年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗作為模擬空間規劃，並置入相同配置如床位、床頭櫃等，以契合</li> </ol>

		<p>實驗情境，同時結合 Pyrosim 及 Pathfinder 兩套軟體進行疏散時間模擬，藉由比對疏散過程中的火場特性，評估法定排煙量是否足夠。由模擬結果得知，在無撒水情況下，不管裝設哪種排煙設備，其排煙性能皆足以滿足使起火室內人員疏散完畢。</p> <p>2. 依據 SFPE 防火設計手冊及紐西蘭設計指南所制定的危害標準，人員在 30 分鐘內可承受的極限溫度為 60°C，本研究以人力不足的情況(僅兩名醫護人員)且需同時由兩名醫護人員才能移動無自主避難能力住民的病床，用以評估安全疏散的時間。</p>
<p>雷研究員明遠</p>	<p>1. 電腦模擬的設定條件，請詳述補充。如床墊材質為何種泡棉。</p> <p>2. 模擬結果中排煙設備啟動時間係以偵煙器感知通報時間為準，惟該時間的煙層厚度應該多少時，才不會造成「plugholing effect (拉穿效應)」，亦即偵煙過度靈敏時造成排煙機過早啟</p>	<p>1. 感謝委員意見，本研究電腦模擬中的床墊材質設定為聚氨酯，已依據委員意見補充於報告書之中。</p> <p>2. 感謝委員意見，依模擬電腦畫面所示，採用自然排煙及法定排煙量之機械排煙，在偵煙探測器(二種)感知連動啟動時，均無產生拉穿效應。但若以兩倍法定排煙量之機械排煙，似乎有些微拉穿效應產生，故應可以此為據判</p>

	<p>動，會不會反而排煙效果不佳，請說明。</p>	<p>斷為偵煙器感知連動排煙時間差造成拉穿效應的影響，小於增加排煙量之機械排煙。</p>
<p>鄭主任秘書 元良</p>	<p>報告中提到機械排煙跟撒水關係之結論，建請進一步詳加確認。</p>	<p>感謝委員意見，本研究重新以108年度內政部建築研究所委託研究案之「長照機構居室全尺度火災特性實驗及應用研究」全尺寸實驗作為模擬空間規劃，並置入相同配置如床位、床頭櫃等，以契合實驗情境，同時結合 Pyrosim 及 Pathfinder 兩套軟體進行疏散時間模擬，藉由比對疏散過程中的火場特性，評估法定排煙量是否足夠。由模擬結果得知，在無撒水情況下，不管裝設哪種排煙設備，其排煙性能皆足以滿足使起火室內人員疏散完畢。</p>

三、期末審查回應表

委員	委員評選意見	廠商回應
江委員崇誠	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案研究成果在實務上特別是法規規定的各項設備有效性評估上深具意義。</li> <li>2. 三種滅火設備其啟動上差異應在其連動與否，其滅火效能應可提供日後使用機構之檢討與指引。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見。</li> <li>2. 感謝委員意見，本案全尺寸實驗三種滅火設備其啟動方式不同，一為撒水頭熔斷啟動，二為與探測器連動啟動，因啟動方式不同，故在報告書中僅紀錄啟動時間與說明，不做設備間之比較。</li> </ol>
林委員文興	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. P.X II 重要發現：建議改為樓地板 1000m<sup>2</sup> 以下可設置水道連結式系統。</li> <li>2. P.19 自動撒水應設場所規定，與消防規定略有不同，請修正。</li> <li>3. 實驗結果以 335 秒去評估各參數（如煙層、溫度等），能否整理各參數之標準值，評估或分析各參數在各種情境下，在多少時間會達到標準值？</li> <li>4. 結論中： <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 細水霧及撒水之動作方式不同，數據可參考，但不宜作為優劣點之評估。</li> <li>(2) 光電式探測器可建議優先考慮設</li> </ol> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，因長照機構自身條件與需求不同，故建議長照機構可自行考量設置滅火系統。</li> <li>2. 感謝委員意見，已依據委員意見檢視修正。</li> <li>3. 感謝委員意見，該模擬主要係評估法定排煙性能是否滿足人員安全避難逃生所需時間。煙層高度距離地面 1.8m 處為安全標準，在無撒水的情況下，無設置排煙設備約 306 秒煙層高度即達 1.8m；設置自然排煙者，約 352 秒煙層高度達 1.8m；設置機械排煙者，約 500 秒煙層高度達 1.8m。故推論法定排煙量應可滿足居室排除濃煙所需之性能。</li> <li>4.</li> </ol>

	<p>置一種光電式偵煙探測器。</p>	<p>(1) 感謝委員意見，本案全尺寸實驗三種滅火設備因啟動方式不同，故在報告書中僅紀錄啟動時間與說明，不做設備間之比較。</p> <p>(2) 感謝委員意見，遵照辦理。</p>
<p>張委員裕忠</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有關建議吸入式偵煙器，是否會過於靈敏，造成誤報，宜予說明或後續研究。</li> <li>2. 有關滅火設備、水霧、撒水、水道式連結，宜對背景(如偵煙的定溫動作溫度，開放式或密閉式等)加以論述，避免誤解。</li> <li>3. P.152 依實驗結果水道連結型自動撒水設備為開放式優於密閉式，本案似未使用開放水道連結型進行實驗，宜予釐清或說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，有關吸氣式偵煙探測系統是否適用於長照機構，已於 106 年度「適用於安養及長照服務機構之消防安全設備研究」研究案中進行探討。因各安養長照服務機構之平面、隔間與區域配置均不同，故若是安養長照服務機構設置吸氣式偵煙探測系統，建議應依需求個案設置並視需求調整靈敏度。</li> <li>2. 感謝委員意見，已依據委員意見於 P.98 加註滅火設備啟動方式。</li> <li>3. 感謝委員意見，報告書 P.145 中有針對水道連結型自動撒水設備若為開放式系統進行概略之可行性評估。依實驗結果，水道連結型自動撒水設備若為開放式，因啟動時間較早，故依實驗觀察其滅火效能優於密閉式。</li> </ol>

<p>張委員敬桐</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗樣態豐富貼近工程實作情況，結果具備參考價值。</li> <li>2. 實驗結果與火勢動態與消防設備啟動成效大致相等相關理論上之認知，合理性。</li> <li>3. 消防安全設備有效性能之探討，建議未來持續進行。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見。</li> <li>2. 感謝委員意見。</li> <li>3. 感謝委員意見，將納入後續研究建議。</li> </ol>
<p>韓委員欽銓</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗規劃與結果(P.100~P.125)的呈現方式似乎重複太多，建議再精簡。</li> <li>2. 報告書中圖表過於冗長，尤其是編號部分，建議相似的圖表以同一編號為主，再細分(a)，(b)，(c)...等(如 P.140、P.75)。</li> <li>3. 雲林實驗室以實際場域進行火災模擬但是電腦模擬無呈現，但是臺南實驗室卻電腦模擬和實際場域的數據都有，建議再做電腦模擬雲林實驗室的數據。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，因今年度研究共計進行 12 次水自動滅火設備全尺寸實驗，為使方便對照實驗規劃與實驗結果，故採用實驗規劃在前實驗結果在後之編排方式。</li> <li>2. 感謝委員意見，為報告書撰寫及圖表目錄整理方便，報告書中之圖表編號均採連續性號碼編號。</li> <li>3. 感謝委員意見，本研究案於雲科大實驗室所進行的實驗主要係確認火警偵煙探測設備及水自動滅火設備之性能有效性，故無進行相關電腦模擬。</li> </ol>
<p>衛生福利部護理及健康照護司 鄧宇君(書面意見)</p>	<p>報告書第 1 頁第一節「研究背景與研究範圍」有包括護理之家，但第 15 頁第二章文獻分析與研究第一節「長照機構類型與相關法規彙整」僅彙整老</p>	<p>感謝委員意見，本研究主要針對所服務或收容之對象的應變能力與逃生避難行為皆屬弱勢之機構，係以老人福利機構為主要研究對象。但考量護理機構或醫院等機構仍可能</p>

	<p>人福利法及長期照顧服務法，卻無護理人員法等規定，請再釐清研究主體與範圍。</p>	<p>存在類似住民，故將護理機構或醫院等機構包含在本研究範圍內，但護理機構或醫院等機構非本研究之主體，故在第二章文獻分析與研究中未彙整其相關規定。</p>
<p>中華民國全國建築師公會(楊建築師勝德)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗計畫相當務實，期待研究成果能善加利用。</li> <li>2. 全尺度試驗結果能給予使用有所幫忙，可加強推動如何避難。希望於前端設計者普通認知室內裝修分間牆高度至頂，甚為重要。</li> <li>3. 居室空間「長寬比」達一定比值時，探測器之配置應有所調整，可否利用這研究結果去挑戰現有的法規？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見。</li> <li>2. 感謝委員意見，本研究無涉及室內裝修分間牆高度至頂。</li> <li>3. 感謝委員意見，依本研究全尺寸實驗結果發現，當故當偵煙探測器至角落距離若大於偵煙探測器至最近牆面距離2倍以上時，該居室應考慮增設偵煙探測器。但本發現與法規並未有抵觸，僅提供實務面設計之考量。</li> </ol>
<p>社團法人台灣長期照顧發展協會全國聯合會(吳第明常務監事)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 政府對長照機構補助要有效能，應針對能夠提高防煙性、快速滅火及能有效降低有毒氣體之防火設施設備來進行。</li> <li>2. 細水霧使用應針對現有住宿型機構通盤分析，針對撒水頭靈敏度之差異，要有所提升確保使用者安全。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見。</li> <li>2. 感謝委員意見，細水霧滅火系統係經由探測器連動啟動，故該設備的靈敏度(啟動時間)應取決於探測器之靈敏度。為了及早偵知火災，建議長照機構可考量設置光電式偵煙探測器(一種)或吸氣式偵煙探測系統。</li> </ol>
<p>雷研究員明</p>	<p>本案進行實驗結果皆在</p>	<p>感謝委員意見，已依據委員意</p>

<p>遠</p>	<p>居室(試驗空間)天花板高度較高情況下進行，建議利用電腦模擬天花板較低時的可能結果，以供瞭解大多數一般機構居室空間的火災及煙氣發展情形。</p>	<p>見於 P.78 增加模擬天花板較低時之結果。從電腦模擬結果發現，當居室空間尺寸由「長 8m×寬 6m×高 2.7m」調整為「長 6m×寬 4m×高 2.4m」(約為 2~3 人房之大小)後，煙層下降時間由 300 秒增快至 252 秒。故由模擬結果可知，若起火居室為 2~3 人房之大小，應爭取於 4 分鐘內完成避難，以確保住民之安全。</p>
<p>蔡組長綽芳</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 第二案可避難時間 4 分鐘，而第三案可避難時間 6 分鐘，2 分鐘之差異在緊急避難的情境下有極大影響，建請各於報告書補充說明其原因，以免讀者困惑無所適從。</li> <li>2. 本研究及第二案之研究均在五人房及天高天花板的情境下進行實驗及模擬，建請增加長照機構 24m<sup>2</sup> 之小型居室、一般天花板高度之情境模擬，讓讀者能有所比較，以免全都引用五人房較長之避難時間來進行各式居室的避難演練。</li> <li>3. 目前兩個研究案均顯示有無開啟自然排煙</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，因本研究與第二案之全尺寸實驗之空間尺寸不同，故避難安全容許時間也會有差異，已依據委員意見於 P.78 增加模擬天花板較低時之結果。</li> <li>2. 感謝委員意見，已依據委員意見於 P.78 增加模擬天花板較低時之結果。從電腦模擬結果發現，當居室空間尺寸由「長 8m×寬 6m×高 2.7m」調整為「長 6m×寬 4m×高 2.4m」(約為 2~3 人房之大小)後，煙層下降時間由 300 秒增快至 252 秒。故由模擬結果可知，若起火居室為 2~3 人房之大小，應爭取於 4 分鐘內完成避難，以確保住民之安全。</li> <li>3. 感謝委員意見，依據本研究以最危險的情況(無裝</li> </ol>

	<p>窗對於煙層下降時間影響差異不大，這對於法規及實務應用可能會有挑戰性，建請各詳加檢討分析並說明其原因，讓報告更具有客觀性。</p> <p>4. 目前彙整表列有不同撒水設備之啟動時間，但缺少完成滅火時間之紀錄建請予以補充；另，長照機構住民移動避難相當困難，若撒水系統靈敏度不佳將危害到住民安全，連結探測器及手動併用之開放式撒水設備，可能是解決途徑之一，將可列入後續研究建議。</p>	<p>設排煙設備及撒水設備的情境)探討居室人員安全避難所需時間約需 335 秒。若以煙層高度距離地面 1.8m 處為安全標準，在無撒水的情況下，無設置排煙設備約 306 秒煙層高度即達 1.8m；設置自然排煙者，約 352 秒煙層高度達 1.8m。依結果顯示，開啟自然排煙窗雖僅爭取 46 秒的時間，但對於人員避難，卻是安全與否的臨界時間。故若機構條件允許，仍建議設置排煙設備。</p> <p>4.</p> <p>(1) 感謝委員意見，已依據委員意見補充滅火時間。</p> <p>(2) 報告書 P.145 中有針對水道連結型自動撒水設備若為開放式系統進行概略之可行性評估。依實驗結果，水道連結型自動撒水設備若為開放式，因啟動時間較早，故依實驗觀察其滅火效能優於密閉式。而提早啟動撒水設備雖能有效抑制火勢，但恐有妨礙救災活動之虞，設備與救災活動之間</p>
--	--	--

		如何配合，仍有待後續研究。
鄭主任秘書 元良	1. 預期成果是否要提出指引請再確認。	感謝委員意見，本研究延續上年度之研究成果，加以探討火警偵煙探測設備及水自動滅火設備在不同情境規劃下的性能表現。同時利用電腦模擬軟體(Pyrosim)，模擬全尺寸居室之煙流特性與危害分析，最終透過實驗結果及模擬數據，提出長照機構使用火災探測及滅火設備參考。



## 附件 密閉式撒水頭認可基準修正規定節錄

### 密閉式撒水頭認可基準修正規定

106 年 7 月 4 日內授消字第 1060823004 號令修正發布

撒水頭各部位不得出現明顯之腐蝕或損壞現象。

3. 本試驗後，應依壹十一(三)進行  $0.5 \text{ kgf/cm}^2$  (0.05 MPa) 壓力下之功能試驗。

(三) 鹽霧腐蝕試驗

1. 本試驗在鹽霧腐蝕試驗箱中進行。用重量百分比濃度 20 % 之鹽水溶液噴射而形成鹽霧。鹽水溶液之密度為  $1.126$  至  $1.157 \text{ g/cm}^3$ ，pH 值為 6.5 至 7.2。
2. 將撒水頭依正常安裝方式，用支撐架懸掛在試驗箱之中間部位。試驗箱之溫度應為  $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 。應收集從撒水頭上滴下之溶液，不使其回流到儲液器中作循環使用。在試驗箱內至少應從兩處收集鹽霧，以便調節試驗時所用之霧化速率和鹽水溶液之濃度。對於每  $80 \text{ cm}^2$  之收集面積，連續收集 16 小時，每小時應收集到 1.0 至 2.0 mL 之鹽水溶液，其重量百分比濃度應為 19 % 至 21 %。
3. 本試驗歷時 10 天。試驗結束後，取出撒水頭，在溫度  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 、相對濕度不超過 70 % 之環境中乾燥 7 天後，撒水頭各部位不得出現明顯之腐蝕或損壞現象。
4. 本試驗後，應依壹十一(三)進行  $0.5 \text{ kgf/cm}^2$  (0.05 MPa) 壓力下之功能試驗。

十一、動作試驗

(一) 動作溫度試驗

1. 將撒水頭置入溫度分布均勻之液槽內，標示溫度未滿  $79^\circ\text{C}$  者採用水浴(蒸餾水)， $79^\circ\text{C}$  以上者採用油浴(閃火點超過試驗溫度之適當油類)。由低於標示溫度  $10^\circ\text{C}$  之溫度開始以不超過  $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$  之加熱速度昇溫直至撒水頭動作(釋放機構應能完全分解，如屬玻璃球型，其玻璃球應破損)為止，實測其動作溫度。實測值  $\alpha_0(^\circ\text{C})$  以無條件捨去法取至小數第一位。此動作溫度實測值如屬易熔元件型應在其標示溫度之 97% 至 103% 之間；如屬玻璃球型應在其標示溫度之 95% 至 115% 之間。
2. 依下列公式計算動作溫度實測值 ( $\alpha_0$ ) 與標示溫度 ( $\alpha$ ) 之偏差，其值以無條件捨去法取至小數第一位。

$$\text{偏差}(\%) = \frac{\alpha_0 - \alpha}{\alpha} \times 100$$

(二) 玻璃球氣泡消失溫度試驗

1. 將撒水頭置入溫度分布均勻之液槽內，標示溫度未滿 79 °C 者採用水浴(蒸餾水)，79 °C 以上者採用油浴(閃火點超過試驗溫度之適當油類)。由低於標示溫度 20 °C 之溫度開始以不超過 0.5 °C / min 之加熱速度昇溫至玻璃球內氣泡消失之溫度或達標示溫度之 93 %，反覆試驗 6 次，求其氣泡消失溫度實測平均值  $\beta_0$ (°C)，此值用無條件捨去法取至小數第一位。玻璃球之氣泡消失溫度實測平均值，應在氣泡消失溫度申請值之 97% 至 103% 之間。
2. 依下列公式計算氣泡消失溫度實測平均值  $\beta_0$  對申請值  $\beta$  之偏差，此值取至小數點第一位。

$$\text{偏差}\% = \frac{\beta_0 - \beta}{\beta} \times 100$$

3. 本試驗與壹六(一)玻璃球之加熱冷卻試驗同時進行。

(三) 功能試驗

1. 功能試驗裝置如附圖 1 所示，將撒水頭依正常使用之安裝方式進行測試。
2. 對於撒水頭之每個正常安裝位置，在 0.5、3.5、10 kgf / cm<sup>2</sup>(0.05、0.35、1 MPa) 之水壓下，分別進行功能試驗。撒水頭啟動後，在 5 秒內達到規定壓力；撒水時間應不少於 90 秒。
3. 撒水頭應啟動靈活、動作完全，在啟動後達到規定壓力，應仔細觀察，如出現沉積現象，不得超過 1 分鐘。

十二、感度熱氣流感應試驗：依表 2 撒水頭標示溫度區分、感度種類以及設定水平氣流試驗條件，其實際動作時間，應在下列公式所計算之動作時間(t 值)內。

表 2

標示溫度區分	感度種類	試驗條件	
		氣流溫度(°C)	氣流速度(m/s)
未滿 75°C	第一種	135	1.8
	第二種	197	2.5
75°C 以上 未滿 121°C	第一種	197	1.8
	第二種	291	2.5
121°C 以上 未滿 162°C	第一種	291	1.8
	第二種	407	2.5
162°C 以上	第一種	407	1.8
	第二種	407	2.5

(備註：第一種感度種類係指快速反應型撒水頭；第二種感度種類係指一般反應型撒水頭)

$$t = \tau \times \log_e \left( 1 + \frac{\theta - \theta_r}{\delta} \right)$$

式中，t：動作時間(s)，用四捨五入法取至個位。

τ：時間常數(s)，第一種為 50 秒，第二種為 250 秒，有效撒水半徑為 2.8 m 者，僅適用第一種感度種類，時間常數為 40 秒。

θ：撒水頭之標示溫度(°C)

θ<sub>r</sub>：撒水頭投入前之溫度(°C)

δ：氣流溫度與標示溫度之差(°C)

檢測方法：

1. 撒水頭先以聚四氟乙烯膠帶密封於試驗配管上，再施以 1.0 kgf/cm<sup>2</sup> (0.1MPa) (水道連結型撒水頭為最低放水壓力 0.2kgf/cm<sup>2</sup> (0.02MPa) 或放水量 15L/min 時之放水壓力二者取最大值) 之空氣壓力。
2. 黃銅製裝置座(如附圖 2)之溫度，在試驗中應保持在 20±1°C。
3. 氣流溫度應在規定值±2°C 以內。
4. 氣流速度應在規定值±0.1 m/s 以內。
5. 安裝方向對水平氣流無方向性之撒水頭，可以任意方向裝置進行試驗；而具有方向性之撒水頭，則以水平氣流對感

## 參考書目

- [1] 伍家民，2006，「老人社會福利機構火災安全管理評估之研究」，長榮大學土地管理與開發研究所碩士論文。
- [2] 蔣華琪，2016，「養護中心消防安全提升之研究」，高苑科技大學機械與自動化工程研究所碩士論文。
- [3] NFPA 101, Life safety Code, 2006。
- [4] 日本消防法施行令，2008。
- [5] BOCA,“The BOCA National Building Code,,” Building Official Code and Administrators International, 1999。
- [6] 日本，建築基準法施工篇。
- [7] Ahrens, M., “Selections from US fires in selected occupancies: homes, Quincy, MA : National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division, 2006.
- [8] Zhang, G.C., Lee, A.H., Lee, H.C., and Clinton, M., “Occupant Behavior and Evacuation during the Chicago Cook County Administration Building Fire,,” Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 16, No.4, 2006, pp.283-309.
- [9] 林鴻志，2005，「安養、養護機構建築物防火避難設施設置規定之研究」，中華大學建築與都市計畫研究所碩士論文。
- [10] 陳玠佑，2009，「弱勢人員防火避難等待空間規劃原則初探」，內政部建築研究所。
- [11] 李惠閔，2015，「老人福利機構消防安全設備之適用性與有效性研究-以高雄市老人福利機構為例」，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所博士論文。
- [12] 劉芸蓁，2012，「老人機構防火煙控避難性能改善技術研究」，長榮大學職業安全與衛生研究所碩士論文。
- [13] 雷明遠，2015，「行動弱勢者照護機構火災風險自主檢核指南之研究」，內政部建築研究所。
- [14] 張慧蓓，2010，「老人養護機構安全管理之研究—中小型居室消防安全分析」，國立高雄應用科技大學人力資源發展系碩士論文。
- [15] 謝明諺，2011，「國內小型老人福利機構設置簡易型自動撒水設備之研究」，長榮大學職業安全與衛生研究所碩士論文。
- [16] 范韶均，2016，「住宿式長照服務機構避難安全設計改善之研究」，中國文化大學建築及都市設計學系碩士論文。
- [17] 高志璋，2014，「老人照護設施之居室逃生避難設計研究」，國立臺灣科技大學建築系碩士論文。

- [18] 張依如，2010，通風系統與撒水效應影響煙層之研究探討，長榮大學，職業安全與衛生學系研究所，。
- [19] 李明智，2016，「水系統滅火設備安裝施工及使用功能查驗方法之研究」，內政部建築研究所，台北。
- [20] 鍾基強，2014，「建築機械通風與空調設備防火防煙性能基準及驗證研究」，內政部建築研究所，台北。
- [21] 陳弘毅、紀人豪，2016，「火災學」，鼎茂圖書出版股份有限公司。
- [22] SFPE Handbook.
- [23] L. T. Wong, Hazard of thermal radiation from a heated fire shutter surface to a standing person.
- [24] 鍾基強，2013，「防火性能設計建築物有關煙控系統可靠度及功能查驗之研究」，內政部建築研究所，台北。
- [25] 陳泓翔，火警探測器之性能化設計，長榮大學，職業安全與衛生學系研究所，2006。
- [26] David V. Canter，1990，Fires and Human Behaviour

**長照機構全尺度居室火災探測及滅火設備之實驗及驗證分析**

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：**王榮進、鍾基強、陳又嘉、黃祥志、陳進澤**

出版年月：108年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-5448-07-3（平裝）