

目錄

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 目錄..... | I |
| 圖目錄..... | III |
| 表目錄..... | VII |
| 摘要..... | IX |
| Abstract..... | XIII |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 第一節 研究動機與背景..... | 1 |
| 第二節 研究方法及進度說明..... | 4 |
| 第二章 蒐集之資料及文獻分析..... | 7 |
| 第一節 國內相關文獻回顧..... | 7 |
| 第二節 美國自然排煙的設計規範..... | 8 |
| 第三節 鄰近國家自然排煙的設計規範..... | 10 |
| 第三章 我國相關防煙法規..... | 15 |
| 第一節 建築法令..... | 15 |
| 第二節 消防法令..... | 18 |
| 第四章 電腦數值模擬與 FDS 程式說明..... | 21 |
| 第一節 電腦數值模擬方法..... | 21 |
| 第二節 電腦數值模擬區劃..... | 23 |
| 第三節 FDS 程式說明..... | 24 |
| 第四節 FDS 統御方程式..... | 26 |
| 第五章 自然排煙案例研究與數值模擬..... | 29 |
| 第一節 案例研究..... | 29 |
| 第二節 數值模擬..... | 47 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| 第三節 模擬結果分析..... | 69 |
| 第六章 全尺度模型實驗量測與電腦模擬分析..... | 71 |
| 第一節 實體模型建置說明..... | 71 |
| 第二節 量測參數及實驗方法..... | 73 |
| 第三節 全尺度實驗模擬實測..... | 80 |
| 第四節 實驗實測與 FDS 電腦模擬分析..... | 101 |
| 第五節 實驗結果與分析..... | 111 |
| 第七章 結論與建議..... | 113 |
| 第一節 結論..... | 113 |
| 第二節 建議事項..... | 115 |
| 附錄一 計畫審查會議回應表..... | 117 |
| 附錄二 期中審查回覆表..... | 119 |
| 附錄三 期末審查回覆表..... | 123 |
| 附錄四 第 1 次專家座談會議紀錄..... | 127 |
| 附錄五 第 2 次專家座談會議紀錄..... | 131 |
| 附錄六 第 3 次專家座談會議紀錄..... | 133 |
| 附錄七 全尺寸模型實測照片摘錄..... | 135 |
| 附錄八 設計建議參考事項..... | 139 |
| 參考資料..... | 143 |

圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1 工作流程圖 | 5 |
| 圖 2 正煙囪效應下建築物管道與外界壓差 | 8 |
| 圖 3 正、逆煙囪效應下之氣流移動示意 | 9 |
| 圖 4 火場浮力造成之壓差變化 | 9 |
| 圖 5 FDS 模擬程式與 SMOKEVIEW 程式架構圖..... | 25 |
| 圖 6 案例一建築物外觀 | 30 |
| 圖 7 案例一平面圖 | 30 |
| 圖 8 案例二建築物外觀 | 31 |
| 圖 9 案例二平面圖 | 32 |
| 圖 10 建築物外牆風壓係數 C_w 分佈情況..... | 37 |
| 圖 11 矩型建築物風壓係數 C_w 分佈情況..... | 37 |
| 圖 12 地表風速外型圖 | 39 |
| 圖 13 建築物外部氣流示意圖 | 43 |
| 圖 14 自然排煙口配置與流場相對位置區分圖 | 43 |
| 圖 15 案例一 FDS 平面及立體模型示意圖（排煙口長向配置） | 48 |
| 圖 16 案例二 FDS 平面及立體模型示意圖（排煙口短向配置） | 48 |
| 圖 17 案例一 FDS 平面及立體模型示意圖（特別安全梯間排煙室） | 49 |
| 圖 18 案例一 FDS 格點設定情況示意圖 | 51 |
| 圖 19 案例二 FDS 格點設定情況示意圖 | 52 |
| 圖 20 外部風速 2M/S—溫度及能見度統計比較 | 57 |
| 圖 21 外部風速 4M/S—溫度及能見度統計比較 | 57 |
| 圖 22 外部風速 6M/S—溫度及能見度統計比較 | 58 |
| 圖 23 外部風速 8M/S—溫度及能見度統計比較 | 58 |

| | | |
|------|----------------------------------|----|
| 圖 24 | 上行流區—溫度及能見度統計比較 | 58 |
| 圖 25 | 下洗流區—溫度及能見度統計比較 | 59 |
| 圖 26 | 平行流區—溫度及能見度統計比較 | 59 |
| 圖 27 | 平行左側流區—溫度及能見度統計比較 | 59 |
| 圖 28 | 平行右側流區—溫度及能見度統計比較 | 60 |
| 圖 29 | 平行流區—溫度及能見度統計比較（長向偏左側位置） | 60 |
| 圖 30 | 平行流區—溫度及能見度統計比較（長向偏右側位置） | 60 |
| 圖 31 | 平行流區—溫度及能見度統計比較（特別安全梯間排煙室） | 61 |
| 圖 32 | 外部風速 2M/S—壓力響應情況比較 | 61 |
| 圖 33 | 外部風速 4M/S—壓力響應情況比較 | 62 |
| 圖 34 | 外部風速 6M/S—壓力響應情況比較 | 62 |
| 圖 35 | 外部風速 8M/S—壓力響應情況比較 | 62 |
| 圖 36 | 外部風速 2M/S—溫度及能見度統計比較 | 64 |
| 圖 37 | 外部風速 4M/S—溫度及能見度統計比較 | 64 |
| 圖 38 | 外部風速 6M/S—溫度及能見度統計比較 | 65 |
| 圖 39 | 外部風速 8M/S—溫度及能見度統計比較 | 65 |
| 圖 40 | 上行流區—溫度及能見度統計比較 | 65 |
| 圖 41 | 下洗流區—溫度及能見度統計比較 | 66 |
| 圖 42 | 平行流區—溫度及能見度統計比較 | 66 |
| 圖 43 | 平行左側流區—溫度及能見度統計比較 | 66 |
| 圖 44 | 平行右側流區—溫度及能見度統計比較 | 67 |
| 圖 45 | 外部風速 2M/S—壓力響應情況比較 | 67 |
| 圖 46 | 外部風速 4M/S—壓力響應情況比較 | 67 |
| 圖 47 | 外部風速 6M/S—壓力響應情況比較 | 68 |
| 圖 48 | 外部風速 8M/S—壓力響應情況比較 | 68 |
| 圖 49 | 全尺度模型實驗隔間示意圖 | 72 |

| | | |
|------|--|-----|
| 圖 50 | 實驗儀器配置平面圖 | 74 |
| 圖 51 | 進行實驗相關器材 | 75 |
| 圖 52 | 全尺度模型實驗流程圖 | 76 |
| 圖 53 | 長邊(CASE1)開口位置示意圖 | 77 |
| 圖 54 | 短邊(CASE2)開口位置示意圖 | 77 |
| 圖 55 | 外氣風速量測示意圖 | 78 |
| 圖 56 | 長向(CASE1-A)排煙室溫度曲線圖 | 83 |
| 圖 57 | 長向(CASE1-B)排煙室溫度曲線圖 | 85 |
| 圖 58 | 長向(CASE1-C)排煙室溫度曲線圖 | 86 |
| 圖 59 | 長向(CASE1-A)排煙室能見度曲線圖 | 88 |
| 圖 60 | 長向(CASE1-B)排煙室能見度曲線圖 | 90 |
| 圖 61 | 長向(CASE1-C)排煙室能見度曲線圖 | 91 |
| 圖 62 | 短向(CASE2-A)排煙室溫度曲線圖 | 93 |
| 圖 63 | 短向(CASE2-A)排煙室能見度曲線圖 | 95 |
| 圖 64 | 長向(CASE1-A)與短向(CASE2-A)排煙室溫度曲線比較圖 | 97 |
| 圖 65 | 長向(CASE1-A)與短向(CASE2-A)排煙室能見度曲線比較圖 | 98 |
| 圖 66 | CASE1-A 與 CASE2-A 45 度開口示意圖 | 99 |
| 圖 67 | CASE1-A 與 CASE2-A 45 度開口排煙室溫度曲線圖 | 100 |
| 圖 68 | CASE1 FDS 格點設定情況示意圖 | 101 |
| 圖 69 | CASE2 FDS 格點設定情況示意圖 | 102 |
| 圖 70 | CASE1-A 實測與 FDS 模擬溫度圖 | 104 |
| 圖 71 | CASE1-B 實測與 FDS 模擬溫度圖 | 104 |
| 圖 72 | CASE1-C 實測與 FDS 模擬溫度圖 | 105 |
| 圖 73 | CASE2-A 實測與 FDS 模擬溫度圖 | 106 |
| 圖 74 | CASE1-A 實測與 FDS 模擬能見度圖 | 107 |
| 圖 75 | CASE1-B 實測與 FDS 模擬能見度圖 | 108 |

| | | |
|------|-----------------------------|-----|
| 圖 76 | CASE1-C 實測與 FDS 模擬能見度圖..... | 109 |
| 圖 77 | CASE2-A 實測與 FDS 模擬能見度圖..... | 110 |

表目錄

| | |
|--|-----|
| 表 1 特別安全梯或緊急昇降機排煙室排煙條文修正對照表 | 2 |
| 表 2 GB 50045—95 高層民用建築設計防火規範 | 10 |
| 表 3 GB 50016—2012 建築設計防火規範 | 11 |
| 表 4 建築法部份 | 15 |
| 表 5 建築技術規則部份 | 17 |
| 表 6 消防法部份 | 18 |
| 表 7 各類場所消防安全設備設置標準部份 | 19 |
| 表 8 案例差異分析表 | 34 |
| 表 9 各種地形 α 值表 | 40 |
| 表 10 臺北氣象站 1981-2010 年月平均風速(1 次/10MIN) 統計表 | 41 |
| 表 11 臺北市常年地表風速估算表 | 41 |
| 表 12 安全門二側(於 133N 開門力時) 最大壓差限值表 | 45 |
| 表 13 案例一 FDS 模型之摘要資料 | 51 |
| 表 14 案例二 FDS 模型之摘要資料 | 52 |
| 表 15 排煙室容許溫度及能見度判別標準 | 54 |
| 表 16 案例一(緊急昇降機間排煙室) 模擬項目統計說明表 | 55 |
| 表 17 案例一(特別安全梯間排煙室) 模擬項目統計說明表 | 56 |
| 表 18 案例二模擬項目統計說明表 | 63 |
| 表 19 外氣調整實測數據 | 78 |
| 表 20 模擬情境表-長邊(CASE1) | 81 |
| 表 21 模擬情境表-短邊(CASE2) | 92 |
| 表 22 CASE1 FDS 模型之摘要資料 | 102 |
| 表 23 CASE2 FDS 模型之摘要資料 | 103 |

摘要

關鍵詞：排煙室、自然排煙、建築防煙、高層建築

一、研究緣起

煙是火災發生時影響人員逃生的重要因素，除有危害性之外，濃煙也會降低能見度。高層建築的排煙室通往安全梯，是重要的逃生途徑，若是排煙室的煙流受到各種因素造成之擾動，將不利於人員逃生。我國各類場所消防安全設備設置標準中，特別安全梯或緊急昇降機(或兼用)之排煙室可採用自然排煙，排煙口可直接面向戶外，或經由進風及排煙風管達到有效排煙的目的，排煙室的基本規定僅有排煙口與進氣口的高度、面積與風量及排煙管斷面積。過去研究文獻顯示，建築設計以及風向均可能影響自然排煙的效能，再者排煙室的深寬比、空間配置及建築外部空間之進深及面寬，對於排煙的效能也可能有所影響。故本研究將針對以上問題以實際模型實驗及電腦模擬進行探討，提出設計與法規面的檢討，以及提升排煙室排煙性能之建議。

二、研究方法

(一)文獻回顧：

本計畫先從蒐集國內外排煙室或類似之排煙設計文獻進行分析，以國外相關設計規範進行比較分析，作為我國法規及規範修訂之參考。

(二)學者專家座談會：

本計畫舉辦兩場學者專家座談會，邀請相關學者專家、建築師及空調技師、消防設備師、政府相關主管單位等代表提供建言，對於期程內研究成果，提出階段性建議，並對本計畫研究方向提供寶貴建議，使本案結論更加完善。

(三)電腦軟體模擬及實驗驗證：

透過案例之蒐集整理、電腦模擬分析等研究方法，再建置實驗進行測試驗證並與電腦模型之分析比對。本研究全尺度之實驗模型，模擬特別安全梯或緊急昇降機之排

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

煙室，以自然排煙模式進行測試。本研究也以案例建物建構電腦模擬，找出影響排煙性能的主要因子，提出提升排煙室之排煙性能改善建議。

三、重要發現

(一)文獻分析發現，在自然排煙的研究上，過去以大空間之自然排煙設備性能驗證為主，對於特別安全梯間及緊急昇降機間排煙室之自然排煙口性能探討，尚無具體研究案例及成果可供參考，在以防煙為主的美國建築法規內對本問題亦無提及。

(二)由本研究結果顯示，在無風情況下，排煙室自然排煙口開啟後，在天花板 180cm 高度之實驗及模擬結果，均達到人員可維生環境條件，顯示依法設置之自然排煙口，在正常操作情況下，其性能符合人員避難需求。

(三)經電腦模擬及實驗驗證後發現，特別安全梯間及緊急昇降機間排煙室之自然排煙口性能，在無風情況下，當排煙口開啟後，持續進行排煙，直到排煙室溫度場下降至接近室外溫度時，排煙現象停止；在有外部風情況下，當排煙口動作後，排煙室溫度下降至接近室外溫度時，排煙情況仍持續，且排煙室內之溫度場下降速度及煙流消散速度隨外部風速增加呈現加快之趨勢，由此現象顯示，外部風作用對於排煙室此種構造條件及操作方式之空間，其排煙性能驗證結果，有別於過去認為外部風不利於自然排煙口排煙性能之總體認知，研判原因，本研究排煙室面積約為 12m²，在長向牆面設置排煙口時，受風縱深為 3m，而一般居室之排煙區劃面積（法定為 500m² 以下）及受風縱深則遠大於排煙室，就紊流混合深度問題，一般居室自然排煙口在受風後，其排煙效果或會異於本研究呈現之成果。

(四)一般長方型排煙室，當排煙口設置於長向牆面時，其整體排煙性能上優於設置於短向牆面。

(五)排煙室設置於建築物受風面之中心區域（平行流區），相對於其他位置在受外部風影響時有較佳之排煙性能。

(六)面積較小之排煙室，相較於面積較大之排煙室，有較佳之排煙性能。

(七)高層建築物尚有外部風壓問題，過大的風壓或可導致排煙室防火門開啟困難問

題，以及影響其他空間不利之熱煙流竄，而風壓大小，取決於外部風速之影響；綜整本研究結果，防火門容許壓差建議在 75Pa，其對應之容許外部風限速約為 4m/s，其對應之建築物高度約為 50m。

四、主要建議事項

本研究主要以現行法規為基礎，結合座談會及審查會中各專家學者、業界、政府相關主管機關等代表提供之意見，及實地實例電腦軟體模擬及實驗驗證，相關結果提供主要建議事項如下：

建議一

排煙室幾何型狀、排煙口設置、開口方式及設計建議參考事項：立即可行建議

主辦機關：中華民國消防設備師公會全國聯合會、中華民國全國建築師公會

協辦機關：內政部建築研究所、消防署、財團法人台灣建築中心

一般長方型排煙室，當排煙口設置於長向牆面時，其整體排煙性能優於設置於短向牆面；且排煙室設置於建築物受風面之中心區域（平行流區），相對於其他位置在受外部風影響時有較佳之排煙性能之設計建議：在開口全開時，是靠煙本身溫度所造成的熱浮力與外氣給予的驅動力，而當以在 45 度角開啟時，大部分只靠著煙本身的熱浮力為驅動力，結果得知自然排煙室之自然排煙口開口方式建議以全開方式開啟，可得到較佳之排煙性能。本研究已依成果完成綜整，並歸納提出設計建議事項。建請主管機關及各設計單位參考，以改善現行排煙設計方式，提升建築物火災避難之安全性。

建議二

排煙室自然排煙口設計高度限制之深入研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部消防署、財團法人台灣建築中心

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

高層建築物外部風壓可能導致排煙室防火門開啟因難問題，在相對自然排煙性能無虞情況下，參考國外文獻、法令及本研究結果後建議，排煙室防火門容許壓差可採用 75Pa 或是利用附錄八公式(1)計算得知；如壓差採用 75Pa 其對應之容許外部風限速約為 4m/s，其對應之建築物高度約為 50m，準此，排煙室以自然排煙口設計之方式，建議設置於 50m 以下高度為宜。建議增列消防安全設備設置標準第 189 條第 7 目：建築物高度超過 50 公尺之樓層，採機械排煙設備。

建議三

外部風對自然排煙室排煙性能之深入研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部消防署、財團法人台灣建築中心

有關本研究初次提出外部風作用有利於排煙室排煙性能之結果，在模擬與全尺寸實驗部分已獲得充足資料，惟礙於本次研究經費及現有實驗場地限制，無法將成果延伸至其他相關問題，如外部風對居室自然排煙與梯間自然排煙之性能差異性等，建議持續進行後續研究，俾使本案結論更為完整。

Abstract

Keywords : Smoke exhaust lobby, natural smoke exhaust, building smoke control, high rise building

Introduction

Smoke is an important factor of safe evacuation in a case of fire. Besides smoke hazard, smoke would also lower the visibility. For high rise buildings, smoke lobby is the passage and important evacuation route to the special safe staircase. If the smoke flowing into the smoke lobby and flow disturbances occurs, it would impede the personnel evacuation. In the fire code smoke lobby for the special safe staircase (can be shared by emergency elevator) can apply natural smoke exhaust. The smoke can be exhausted to the outside, or by using ducting for inflow and smoke exhaust. For natural smoke exhaust, the basic requirements are the heights of makeup air inlet and the height of the exhaust outlet, or the cross section area for the exhaust duct. The past research showed that building design and the outside wind are factors to the smoke exhaust effectiveness. Moreover, the aspect ratio of the smoke lobby, the space outside the building, can also affect smoke exhaust. This research addresses the problems stated above by full scale experiments and computer modeling. Research results are presented for the experiments and the comparison with computer modeling. Discussion is given on the design guide and fire code amendment, on the base of improving the safety of smoke lobby.

Research methods

The research methods are described as follows:

1. Literature search regarding codes and research on the factors of natural smoke exhaust. Comparison of codes in Taiwan with that practiced in other countries. The research literature as well as codes and standards were analyzed for possibility of adoption to

the present codes of Taiwan.

2. Researchers and professionals in the areas of HVAC, fire engineering, and government officials were invited to two seminars held in different stages of the research. Comments made in the seminars were considered in the research works.
3. Full scale experiments for natural smoke exhaust were conducted, along with computer modeling for comparison, and computer modeling for actual building cases. Key factors of natural smoke exhaust was tested in the experiments and modeled in the computer analysis. Improvements on natural smoke exhaust were proposed.

Research results

The important finds in this research are described as bellows:

1. Research literature focuses more on natural smoke in large buildings but not smoke lobby.
2. It was found that in the case of no wind, natural smoke exhaust can maintain tenable conditions under a height of 180cm, with the current fire code, meet the need of safe evacuation.
3. The experimental results and computer modeling show that with no wind conditions, smoke exhaust would continue until the temperature in the smoke lobby reaching the outside temperature. In the case of outdoor wind, however smoke exhaust would proceed after the smoke lobby temperature has reached the outdoor condition. Moreover temperature would decrease faster with high wind speed, along with faster smoke diffuse. This study shows that contrary to some previous research, outside wind is advantageous to natural smoke exhaust. The cause would be the smoke lobby has an area of 12m^2 , with the short side at 3m (compared to smoke zone $< 500\text{m}^2$), the turbulence mixing length could be larger than the smoke lobby depth, and has enhancement effects on smoke exhaust.

4. Smoke exhaust at the long side has better performance than at the short side.

Smoke lobby located the center of building block (middle floor), has parallel flow characteristics at the smoke exhaust plane, and performs better than other locations.

5. Smaller smoke lobby appears to have better smoke exhaust performance.
6. Wind pressure can have adverse effects for high rise buildings, such as excessive door opening force and smoke spread inside the building, etc. An door opening force analysis suggest that the pressure on the fire door should not exceed 75Pa, corresponding to 4m/s wind and a building height of about 50m.

Applications proposed

Immediate applications of the research results are proposed as below:

1. This proposal is referred to the practice engineers, and the government officials. Natural smoke exhaust is better designed at the long side of smoke lobby as a whole this would have better natural smoke exhaust. The smoke exhaust opening when designed nearer to the center of building façade would perform better in the presence of external winds. Experimental results show that full smoke exhaust opening performs better than 45° opening. In addition to hot smoke buoyancy forces natural smoke vent would be enhanced more by external wind at full opening. It is therefore suggested full opening of smoke vent would be a better design. This report has proposed some good practice regarding to the position of smoke vent relative to the building façade, relative location in the smoke lobby, opening angle and the height limitation. It is suggested that the proposal be considered in the practice and in the design review by the government officials.
2. Outdoor Outdoor wind could impose high pressure on the fire door and cause excessive high opening force. With reference to NFPA standard allowable wind pressure of 75Pa is suggested. It is also proposed that in practice appropriate wind pressure can be calculated according to NFPA standard using Equation (1) in the Appendix. The

pressure of 75Pa as proposed corresponds to wind speed of 4m/s at the smoke vent. In correspond a building height limit of 50m is suggested. It is proposed that natural smoke exhaust should be applied for buildings below 50m height. This proposal is referred to the practice engineers, and for the government officials to amend the fire code in the future.

3. The research results show that outdoor wind is advantageous to the smoke exhaust, verified by experiments and computer modeling. However the results can be extended other applications such as room smoke exhaust and natural smoke exhaust for staircase, etc. Further research in these areas is proposed.

第一章 緒論

第一節 研究動機與背景

火災發生影響人員逃生主要因素之一為煙，煙會降低能見度危害人員逃生，而排煙室卻是重要的逃生途徑，若是排煙室的煙流動受到各種因素所造成之擾動，將不利於人員逃生。建築物特別安全梯或緊急昇降機間(或兼用)的排煙室，提供建築物中的人們避難緩衝與消防人員由外部進入救災救護使用空間。我國建築物排煙室之排煙系統設計依據及法規沿革大約可分為：民國 78 年以前建築物依「建築技術規則」[1]設計施工編第 100 條、102 條，民國 78-84 年建築物依「各類場所消防安全設備設置標準」第 21 條及 106 條，民國 85-102 年建築物依「各類場所消防安全設備設置標準」[2]第 28 條及 188 條及 189 條，納入於消防搶救上之必要設備。

現今依建築技術規則或各類場所消防安全設備設置標準，所設置之建築物特別安全梯或緊急昇降機(或兼用)的排煙室，可採用自然排煙，排煙口可直接面向戶外，或經由進風及排煙風管達到排煙的功能，目前依法令排煙基本上僅對排煙口之高度面積及進排煙管的斷面積等進行條列式規定。

從消防法規發展沿革著眼，在 85 年版「各類場所消防安全設備設置標準」修正頒佈後，特別安全梯或緊急昇降機排煙室之排煙檢討及設計方式，並沒有做改變只著眼於開口高度、管道開口尺寸及進排風風量等(詳表 1)。然而，以台灣地窄人稠的特性，建築物樓層一直往上在發展，高度也越來越高，建築設計以及風向均可能影響自然排煙的實際排煙效能，顯然排煙室已經不是每一個建築場所，皆可套用各類場所消防安全設備設置標準去設計。

就排煙室而言，當火災發生時，是否可藉由自然排煙或機械排煙，自然進風或機械進風，提供有效的排煙量，以達預期的排煙性能，需深入進行探討與研究分析，以確保該區域於初期火災時能保持無煙危害，對於人員避難、等待救援與消防人員救災有絕對之重要性。從整體建築物避難逃生概念切入，保持排煙室空間無煙狀態，有利於人員初期避難逃生之使用，本研究擬針對以上問題以全尺度實驗及電腦模擬進行探

討，依據研究成果提出設計及法規面的檢討之建議，藉由法令強度提升，相對增加整體的建築物安全性能。

表 1 特別安全梯或緊急昇降機排煙室排煙條文修正對照表

| 「各類場所消防安全設備設置標準排煙」特別安全梯或緊急昇降機排煙室排煙條文修正對照 | | |
|--|--|--|
| 版本 | 78 年版 | 102 年版 |
| 條文 | <p><u>第 21 條</u></p> <p>左列場所應設置排煙設備：</p> <p>一、供第五條第一款第一日至第八目使用之樓層，每層樓地板面積超過五百平方公尺以上者。但每一百平方公尺內以分間牆或以防煙壁區劃分隔者，不在此限。</p> <p>二、無窗戶及無開口樓層之居室。</p> <p>三、供第五條第一款第一目使用之舞台部分，樓地板面積大於三百平方公尺以上者。</p> <p>四、<u>依建築技術規則應設置特別安全梯、門及緊急昇降機間之場所者。</u></p> | <p><u>第 28 條</u></p> <p>下列場所應設置排煙設備：</p> <p>一、供第十二條第一款及第五款第三目所列場所使用，樓地板面積合計在五百平方公尺以上。</p> <p>二、樓地板面積在一百平方公尺以上之居室，其天花板下方八十公分範圍內之有效通風面積未達該居室樓地板面積百分之二者。</p> <p>三、樓地板面積在一千平方公尺以上之無開口樓層。</p> <p>四、供第十二條第一款第一目所列場所及第二目之集會堂使用，舞臺部分之樓地板面積在五百平方公尺以上者。</p> <p>五、<u>依建築技術規則應設置之特別安全梯或緊急昇降機間。</u></p> |
| | <p><u>第 106 條</u></p> <p>緊急昇降機間及特別安全梯之進風排煙設備應依左列規定設置：</p> <p>一、排煙口在平時應保持關閉狀態，需要排煙時利用煙感應器連動開關予以開啟，其開口門扇之構造應注意不受開放排煙時所發生氣流之影響。</p> <p>二、排煙口如裝設排風機，應能隨排煙口之開啟而自動操作，其排風量不得小於每分鐘一百二十立方公尺。</p> <p>三、排煙口、排煙風（管）道及其他與火</p> | <p><u>第 189 條</u></p> <p>特別安全梯或緊急昇降機間排煙室之排煙設備，依下列規定選擇設置：</p> <p>一、設置直接面向戶外之窗戶時，應符合下列規定：</p> <p>（一）在排煙時窗戶與煙接觸部分使用不燃材料。</p> <p>（二）窗戶有效開口面積位於天花板高度二分之一以上之範圍內。</p> <p>（三）窗戶之有效開口面積在二平方公尺以上。但特別安全梯排煙室與緊急昇降機間兼用</p> |

| | |
|--|--|
| <p>煙之接觸部分均應以不燃材料建造。排煙風(管)道之構造以金屬或石棉製造者，除以厚十公分以上金屬以外之不燃材料包覆者外，應離開木料等易燃材料十五公分以上。其為鋼筋混凝土造者，厚度不小於十五公分；其為無筋混凝土或磚造者，厚度不得小於二十三公分。</p> <p>四、排煙設備應接緊急電源。</p> <p>五、建築物高度超過三十公尺或地下層樓地板面積超過一千平方公尺之排煙設備，應將控制及監視工作集中於中央管理室。</p> <p>六、設有每秒可進風、排煙四立方公尺以上，並可隨進風口、排煙口之開啟而自動操作之進風機、排煙機者，進風之開口面積不得小於一平方公尺(兼作排煙室使用時，不得少於一點五平方公尺)，開口位置應開設在樓地板或設於天花板高度二分之一以下範圍內之牆壁上，開口應直通連接戶外之進風管道，管道之內部面積，不得小於二平方公尺(兼作排煙室使用時，不得小於三平方公尺)。</p> | <p>時(以下簡稱兼用)，應在三平方公尺以上。</p> <p>(四)前目平時關閉之窗戶設手動開關裝置，其操作部分設於距離樓地板面八十公分以上一百五十公分以下之牆面，並標示簡易之操作方式。</p> <p>二、設置排煙、進風風管時，應符合下列規定：</p> <p>(一)排煙設備之排煙口、排煙風管、進風口、進風風管及其他與煙接觸部分應使用不燃材料。</p> <p>(二)排煙、進風風管貫穿防火區劃時，應在貫穿處設防火閘門；該風管與貫穿部位合成之構造應具所貫穿構造之防火時效；其跨樓層設置時，立管應置於防火區劃之管道間。但設置之風管具防火性能並經中央主管機關認可，該風管與貫穿部位合成之構造具所貫穿構造之防火時效者，不在此限。</p> <p>(三)排煙口位於天花板高度二分之一以上之範圍內，與直接連通戶外之排煙風管連接，該風管並連接排煙機。進風口位於天花板高度二分之一以下之範圍內；其直接面向戶外，開口面積在一平方公尺(兼用時，為一點五平方公尺)以上；或與直接連通戶外之進風風管連接，該風管並連接進風機。</p> <p>(四)排煙機、進風機之排煙量、進風量在每秒四立方公尺(兼用時，每秒六立方公尺)以上，且可隨排煙口、進風口開啟而自動啟動。</p> <p>(五)進風口、排煙口依前款第四目設手動開關裝置及探測器連動自動開關裝置；除該等裝置或遠隔操作開關裝置開啟外，平時保持關閉狀態，開口葉片之構造應不受開啟時所生氣流之影響而關閉。</p> <p>(六)排煙口、進風口、排煙機及進風機連接緊急電源，其供電容量應供其有效動作三十分鐘以上。</p> |
|--|--|

(資料來源：參考資料 2)

第二節 研究方法及進度說明

本計畫的目的為：

- 一、蒐集國內外有關排煙室自然排煙法規與研究文獻分析了解，供我國修訂相關法規的參考。
- 二、由自然排煙室及排煙口配置的排煙性能實驗結果，確認現行自然排煙設計的性能及有效性。
- 三、既設目標建物建電腦模擬研究，探討影響排煙性能的主要因子。
- 四、由電腦模擬與實驗結果，結合國內外相關法規文獻的了解，提出對自然排煙室的排煙性能之設計建議參考事項，以提升業界對自然排煙的設計安全性。

本計畫之研究內容包括以下數項：

- 一、以案例建構 FDS 電腦模型，包括室內之擺置，材料熱值設定。
- 二、FDS 電腦模型排煙室自然排煙性能之模擬及探討。
- 三、實體模型模擬量測，其幾何形狀及設置位置對排煙性能之影響研究。
- 四、各種可能影響排煙性能因素。
- 五、舉辦座談會彙整相關學者專家意見。

本計畫之研究方法為：

- 一、研究調查國內建築物特別安全梯或緊急昇降機(或兼用)的排煙室，排煙設備之設置現況，以了解其設計與使用問題。
- 二、建築物居特別安全梯或緊急昇降機(或兼用)的排煙室之設計案例研究。
- 三、國內、外建築物排煙室或自然排煙之法規規範研究，作為未來修訂相關法令及技術規則等參考。
- 四、進行 FDS 電腦模擬找出影響排煙的重要因子。
- 五、以全尺度模型進行量測，實驗結果與 FDS 模擬結果作比對分析。
- 六、舉辦座談會彙整相關學者專家意見。

本計畫主要工作內容及其詳細進行步驟及目前進度，如以下之工作流程圖：(詳圖 1)

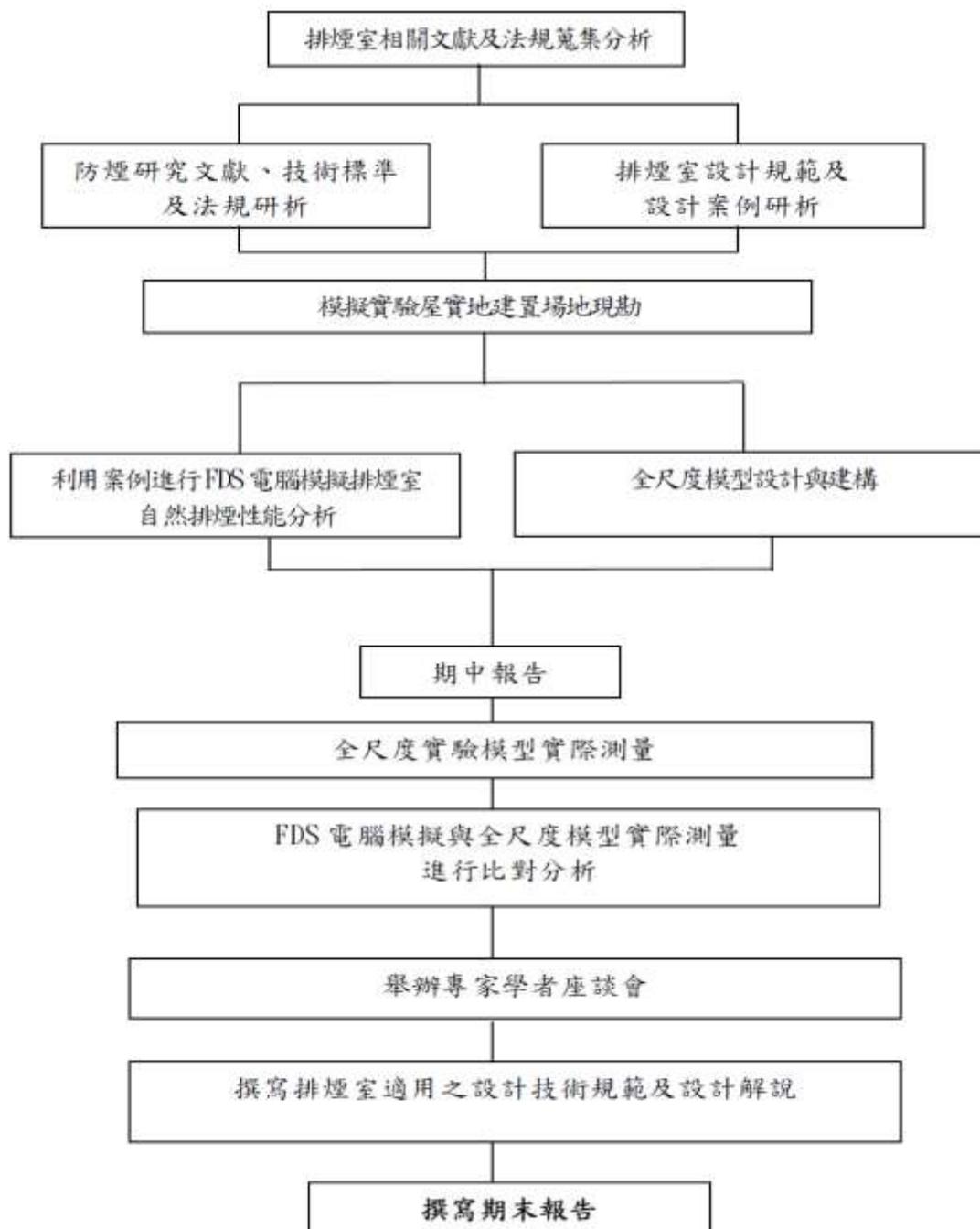


圖 1 工作流程圖

(資料來源：本研究整理)

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

本研究預期完成下列工作項目及成果：

- 一、國內外有關排煙室自然排煙法規與研究文獻分析了解，供我國修訂相關法規的參考。
- 二、由自然排煙室及排煙口配置的排煙性能實驗結果，提出自然排煙設計建議參考。
- 三、排煙室之自然排煙係依各類場所消防安全設備標準設置，然而對於外部風對不同高度樓層之影響，本研究結果將達成了解其相對之排煙性能關係。
- 四、既設目標建物建電腦模擬研究，找出影響排煙性能的主要因子，提出提升排煙性能的改善建議。
- 五、由電腦模擬與全尺度實驗結果，結合國內外相關法規文獻的了解，提出對自然排煙室的排煙性能之設計建議參考事項，以提升業界對自然排煙的設計安全性。

第二章 蒐集之資料及文獻分析

第一節 國內相關文獻回顧

國內目前消防及建築法規排煙設計，以「各類場所消防安全設備設置標準」[2]、「建築技術規則建築設計施工編、建築構造編、建築設備編」[1]為設計依據，以排除煙霧降低煙之危害為主，於建築物之安全梯、特別安全梯或緊急昇降機排煙室之排煙設備，可採用機械排煙或自然排煙方式設計，法規規定將於第3章詳細探討。

在國內之相關研究部份，楊冠雄[3]之研究為大空間建築自然煙控設計之全尺度實驗與驗證，探討現行消防法規中，有關煙控系統部分，典型條例式法規之規定防煙區劃面積大小、防煙壁下垂之深度、排煙口位置與排煙量大小等等設計。而針對現行消防法規並無充分考慮建築物特性，如自然排煙、蓄煙區、中庭等性能式設計方法列入研究，如煙層底部高度計算、每小時換氣率、不同狀況相對應之排煙量設計等等。以期訂定本土化之技術規範，對於具備大空間之挑高建築而言，條例式煙控系統設計並不能完全重現發生火災時之煙流動狀況。對於大空間採取性能式煙控系統設計，以便於發生火災時，提供一條無煙之逃生路徑，確實保障人身安全。

鍾基強[4]為內政部建築研究所作了緊急昇降機及特別安全梯梯間排煙設備之研究，及性能式煙控系統設計與檢證規範之研究-高層建築自然排煙之可行性分析[5]，探討於建築技術規則內對於有直接對外之開口可採用自然排煙之設計，且對自然排煙口面積大小有明確規定。排煙口在平時應保持關閉狀態，需要排煙時以手搖式裝置，或利用煙感應器連動之自動開關裝置，或遙控式開關裝置予以開啟，其開口門扇之構造應注意不受開放排煙時所發生之氣流之影響。但此部份對於自然排煙口並無開啟大小及開度之規定，在實際現場時常常發生不同意見之討論，因此進行自然排煙開口大小設計之風洞實驗以確實瞭解開啟角度與出口大小對自然排煙性能之影響。

第二節 美國自然排煙的設計規範

美國國家防火協會(National Fire Protection Association)推薦之設計規範 NFPA 92A[6]在以氣壓作煙控及梯間加壓系統方面建立了一些設計規範，相關之 NFPA 標準如 92B[7]，為大空間或中庭煙控之指導方針。

在美國冷凍空調工程協會手冊應用編[8]，探討煙囪效應，在正煙囪效應、逆煙囪效應下，因氣流溫度差異造成密度變化而形成之氣流移動方向，如圖 2、3、4 所示。尤其在高層建築物中，若排煙室採用自然排煙設計，應考慮煙囪效應對排煙系統之影響。

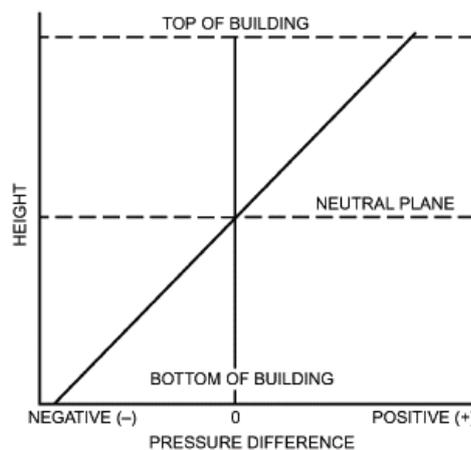


圖 2 正煙囪效應下建築物管道與外界壓差
(資料來源：參考資料 8)

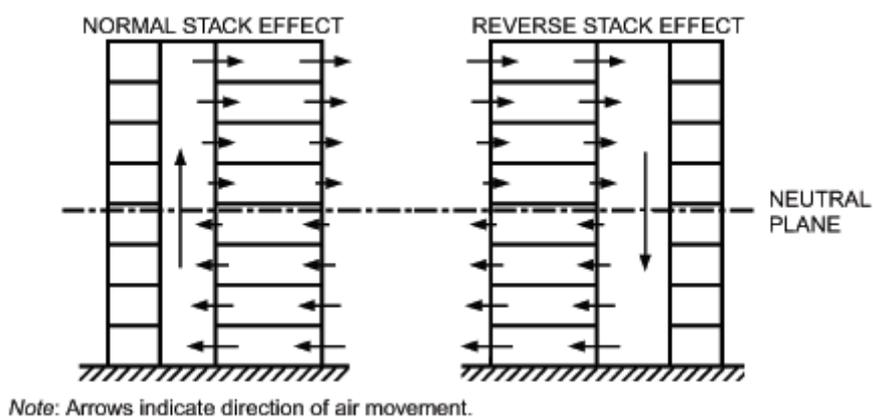


圖 3 正、逆煙囪效應下之氣流移動示意
(資料來源：參考資料 8)

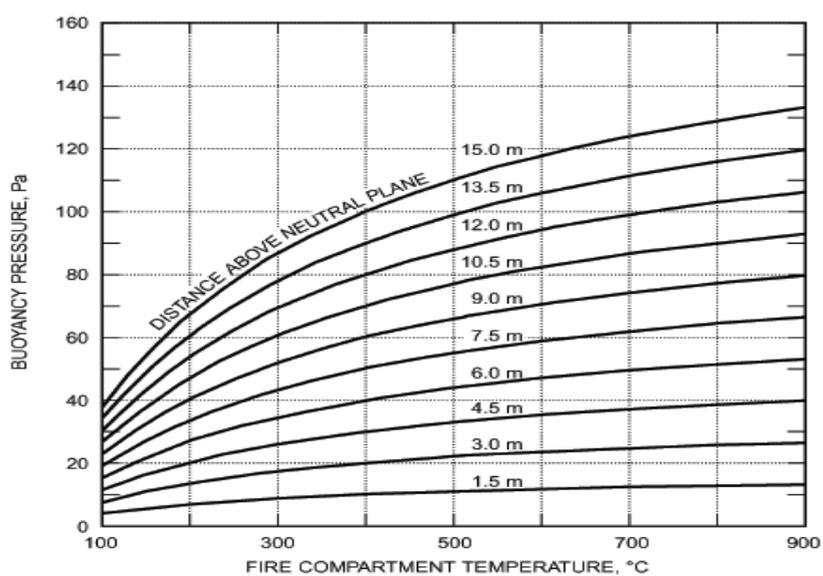


圖 4 火場浮力造成之壓差變化
(資料來源：參考資料 8)

第三節 鄰近國家自然排煙的設計規範

參考鄰近國家建築防災的設計規範，對自然排煙亦有相關規定。說明如下：

中國建築設計防火規範[9,10]，該規範適用於十層及十層以上的居住建築、建築高度超過 24m 的公共建築之新建、擴建和改建的高層建築及其裙樓，但不適用於單層主體建築高度超過 24m 的體育館、會堂、劇院等公共建築以及高層建築中的人民防空地下室。有關自然排煙之規定如下：

表 2 GB 50045—95 高層民用建築設計防火規範

| | |
|------|--|
| 自然排煙 | <p>8.2.1 除建築高度超過 50m 的一類公共建築和建築高度超過 100m 的居住建築外，靠外牆的防煙樓梯間及其前室、消防電梯間前室和合用前室，宜採用自然排煙方式。</p> <p>8.2.2 採用自然排煙的開窗面積應符合下列規定：</p> <p>8.2.2.1 防煙樓梯間前室、消防電梯間前室可開啟外窗面積不應小於 2.00 m²，合用前室不應小於 3.00 m²。</p> <p>8.2.2.2 靠外牆的防煙樓梯間每五層內可開啟外窗總面積之和不應小於 2.00 m²。</p> <p>8.2.2.3 長度不超過 60m 的內走道可開啟外窗面積不應小於走道面積的 2%。</p> <p>8.2.2.4 需要排煙的房間可開啟外窗面積不應小於該房間面積的 2%。</p> <p>8.2.2.5 淨空高度小於 12m 的中庭可開啟的天窗或高側窗的面積不應小於該中庭地面積的 5%。</p> <p>8.2.3 防煙樓梯間前室或合用前室，利用敞開的陽臺、凹廊或前室內有不同朝向的可開啟外窗自然排煙時，該樓梯間可不設防煙設施。</p> <p>8.2.4 排煙窗宜設置在上方，並應有方便開啟的裝置。</p> |
|------|--|

(資料來源：參考資料 9)

表 3 GB 50016—2012 建築設計防火規範

| | |
|-----------|---|
| 10.2 自然排煙 | <p>10.2.1 下列建築中靠外牆的防煙樓梯間、消防電梯間的前室和合用前室宜採用自然排煙設施進行防煙：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 二類高層公共建築； 2 建築高度不大於 100m 的住宅建築； 3 建築高度不大於 50m 的其他建築。 <p>10.2.2 設置自然排煙設施的場所，其自然排煙口的有效面積應符合下列規定：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 防煙樓梯間的前室、消防電梯間的前室，不應小於 2.0m²；合用前室，不應小於 3.0m²； 2 靠外牆的防煙樓梯間豎井，每 5 層內可開啟排煙窗的總面積不應小於 2.0m²； 3 中庭、劇場舞臺，不應小於其樓地面面積的 5%； 4 其他場所，宜取該場所建築面積的 2%~5%。 <p>10.2.3 自然排煙的視窗應設置在房間的外牆上方或屋頂上，並應有方便開啟的裝置。防煙分區內任一點距自然排煙口的水準距離不應大於 30m。</p> |
|-----------|---|

(資料來源：參考資料 10)

山海敏弘[11]說明了日本排煙設備基本法，對日本之設計規範也作了一些討論及說明。在日本，依照建築基準法令、消防法令，建築物有義務裝置排煙設備，但建築基準法令之排煙設備，係以「避難上及滅火上」之觀點，規範該設備之裝設，避難者可避免被煙所捲入而順利逃生，又期待消防隊員在滅火及搶救受困人員時能有效發揮作用。以下根據山海敏弘之資料對日本在防煙之規範作討論。

依日本建築基準法令，規定須裝置之排煙設備，可大區分如下，建築物居室之排煙設備，特別安全梯之附室(排煙室)及緊急昇降機間之排煙設備，及地下街通道之排煙設備等。因地下街通道之排煙設備較為特殊，故僅對裝設於住宅等之排煙設備及特別安全梯之附室及緊急昇降機間之排煙設備加以說明。需裝置排煙設備之居室為：

- (1) 高應用強度之場所，其樓地板面積超過 500 m²者。

- (2) 樓高三層以上且其樓地板面積超過 500 m²者。
- (3) 無窗戶之居室。
- (4) 總樓地板面積超過 1,000 m²之建築物中,居室面積超過 200 m²者。

但在用途上不裝設排煙設備對防火避難上不會特別構成問題時，可免除裝設排煙設備，其具體條件如下：(第 126 條之 2 第 1 項但書，昭和 47 年建告第 33 號)。

- (1) 建築法附表第一(甲)欄屬(二)項用途之特殊建築物中，樓板面積在 100 m²以內設置防火區劃者。
- (2) 學校或體育館。
- (3) 樓梯部分，昇降機之昇降通路部分。
- (4) 機械製造工場中，較無可能發生火災之部分。
- (5) 樓高為二層以下之住宅(總樓地板面積在 200 m²以下)或長條形住戶(樓地板面積在 200 m²以下)之房間，其樓地板面積 1/20 以上俱有換氣上有效之開口部者。
- (6) 用途上，不得不作為密閉滅火之部分。
- (7) 牆及天花板等皆採用耐火構造或以不燃材料製造並作小區劃者。

特別安全梯之附室及緊急昇降機樓梯間之排煙設備，特別安全梯之附室及緊急昇降機之樓梯間，義務規定須裝設排煙有效之窗戶或排煙設備。

日本「新建築防災計畫指針」1995 年版[12]，針對自然排煙的設置要點包括，自然排煙口設於直接面外氣之牆面，與鄰近建築之境界線至少應有 25cm 以上的空間。

建築物中庭自然排煙口，應注意熱氣上升對上層空間造成延燒。斷面積要求為 6-9 m²，外氣之風向、風速會影響排煙效果。對小建築影響較小，超高層建築則有顯著影響。

自然排煙口應注意外氣補氣源的供給，排煙口的形狀、構造、位置，及對上方樓層的構造應加以注意，以避免延燒。

比較我國及鄰近中國、日本等國，對於自然排煙室及排煙口配置，我國的「各類場所消防安全設備設置標準」，僅有排煙的基本規定，針對排煙口高度面積及進排煙管的斷面積進行規範。而日本之「新・建築防災計畫指針」則提及自然排煙口應注意

外氣補氣源的供給，排煙口的形狀、構造、位置，及對上方樓層的構造應加以注意，中國的建築設計防火規範，對防煙樓梯間及其前室、消防電梯間前室和合用前室，以採用自然排煙方式為優先。設置自然排煙設施的自然排煙的開窗面積有列出面向及場所建築面積的 2%~5%之規定。過去有研究成果顯示建築設計及風向均可能影響自然排煙的效能，再者排煙室的深寬比、空間配置及建築外部空間之進深及面寬，對於排煙的效能也可能有所影響。

第三章 我國相關防煙法規

我國建築物排煙系統設計依據及法規沿革，大約可分為：民國 78 年以前建物依「建築技術規則」設計施工編第 100 條-102 條，民國 78-84 年建物依「各類場所消防安全設備設置標準」第 21 條及 106 條，民國 85-102 年建物依「各類場所消防安全設備設置標準」第 28 條及 188 條-190 條。有關建築及消防等適用排煙設備之相關法令條文，綜整如後：

第一節 建築法令

民國 78 年以前興建之建築物，其消防安全設備，依建築法及建築技術規則，檢討設計施工。相關法令條文如表 4、表 5：

表 4 建築法部份

| | |
|----------------|--|
| 「建築法」 第七十七條 | <p>建築物所有權人、使用人應維護建築物合法使用與其構造及設備安全。直轄市、縣（市）（局）主管建築機關對於建築物得隨時派員檢查其有關公共安全與公共衛生之構造與設備。</p> <p>供公眾使用之建築物，應由建築物所有權人、使用人定期委託中央主管建築機關認可之專業機構或人員檢查簽證，其檢查簽證結果應向當地主管建築機關申報。非供公眾使用之建築物，經內政部認有必要時亦同。</p> <p>前項檢查簽證結果，主管建築機關得隨時派員或定期會同各有關機關複查。第三項之檢查簽證事項、檢查期間、申報方式及施行日期，由內政部定之。</p> |
| 「建築法」 第九十七條 | 有關建築規劃、設計、施工、構造、設備之建築技術規則，由中央主管建築機關定之，並應落實建構兩性平權環境之政策。 |
| 「建築法」 第九十一條 | 有左列情形之一者，處建築物所有權人、使用人、機械遊樂設施之經營者新臺幣六萬元以上三十萬元以下罰鍰，並限期改善或補辦手續，屆期仍未改善或補辦手續而繼續使用者，得連續處罰，並限期 |

| | |
|--------------------------|---|
| | <p>停止其使用。必要時，並停止供水供電、封閉或命其於期限內自行拆除，恢復原狀或強制拆除：</p> <p>一、違反第七十三條第二項規定，未經核准變更使用擅自使用建築物者。</p> <p>二、未依第七十七條第一項規定維護建築物合法使用與其構造及設備安全者。</p> <p>三、規避、妨礙或拒絕依第七十七條第二項或第四項之檢查、複查或抽查者。</p> <p>四、未依第七十七條第三項、第四項規定辦理建築物公共安全檢查簽證或申報者。</p> <p>五、違反第七十七條之三第一項規定，未經領得使用執照，擅自供人使用機械遊樂設施者。</p> <p>六、違反第七十七條之三第二項第一款規定，未依核准期限使用機械遊樂設施者。</p> <p>七、未依第七十七條之三第二項第二款規定常時投保意外責任保險者。</p> <p>八、未依第七十七條之三第二項第三款規定實施定期安全檢查者。</p> <p>九、未依第七十七條之三第二項第四款規定置專任人員管理操作機械遊樂設施者。</p> <p>十、未依第七十七條之三第二項第五款規定置經考試及格或檢定合格之機電技術人員負責經常性之保養、修護者。</p> <p>有供營業使用事實之建築物，其所有權人、使用人違反第七十七條第一項有關維護建築物合法使用與其構造及設備安全規定致人於死者，處一年以上七年以下有期徒刑，得併科新臺幣一百萬元以上五百萬元以下罰金；致重傷者，處六個月以上五年以下有期徒刑，得併科新臺幣五十萬元以上二百五十萬元以下罰鍰。</p> |
| <p>「建築法」 第九十四條之一</p> | <p>依本法規定停止供水或供電之建築物，非經直轄市、縣（市）（局）主管建築機關審查許可，不得擅自接水、接電或使用；未經許可擅自接水、接電或使用，處一年以下有期徒刑、拘役或科或併科新臺幣三十萬元以下罰金。</p> |
| <p>「建築法」 第九十五條</p> | <p>依本法規定強制拆除之建築物，違反規定重建者，處一年以下有期徒刑、拘役或科或併科新臺幣三十萬元以下罰金。</p> |

(資料來源：參考資料 13)

表 5 建築技術規則部份

| | |
|--|---|
| <p>「建築技術規則」建築設計施工編 第四章 防火避難設施及消防設備 第二節 排煙設備 第一百條</p> | <p>左列建築物應設置排煙設備。但樓梯間、昇降機間及其他類似部份，不在此限：</p> <p>一、供本編第六十九條第一類、第四類使用及第二類之養老院、兒童福利設施之建築物，其每層樓地板面積超過五〇〇平方公尺者。但每一〇〇平方公尺以內以分間牆或以防煙壁區劃分隔者，不在此限。</p> <p>二、本編第一條第三十一款第三目所規定之無窗戶居室。</p> <p>前項第一款之防煙壁，係指以不燃材料建造之垂壁，自天花板下垂五十公分以上。</p> |
| <p>「建築技術規則」建築設計施工編 第一百零二條</p> | <p>一、應設置可開向戶外之窗戶，其面積不得小於二平方公尺，二者兼用時，不得小於三平方公尺，並應位於天花板高度二分之一以上範圍內。</p> <p>二、未設前款規定之窗戶時，應依其規定位置開設面積在四平方公尺以上之排煙口，(兼排煙室使用時，應為六平方公尺以上)，並直接連通排煙管道。</p> <p>三、排煙管道之內部斷面積，不得小於六平方公尺(兼排煙室使用時，不得小於九平方公尺)，並應垂直裝置，其頂部應直接通向戶外。</p> <p>四、設有每秒鐘可進、排四立方公尺以上，並可隨進風口、排煙口之開啟而自動操作之進風機、排煙機者，得不受第二款、第三款、第五款之限制。</p> <p>五、進風口之開口面積，不得小於一平方公尺(兼作排煙室使用時，不得小於一·五平方公尺)，開口位置應開設在樓地板或設於天花板高度二分之一以下範圍內之牆壁上。開口應直通連接戶外之進風管道，管道之內部斷面積，不得小於二平方公尺(兼作排煙室使用時，不得小於三平方公尺)。</p> <p>六、排煙室之開關裝置及緊急電源設備，依本編第一〇一條之規定辦理。</p> |

(資料來源：參考資料 1)

第二節 消防法令

民國 78 年以後興建之建築物，其消防安全設備，依消防法及各類場所消防安全設備設置標準，檢討設計施工。相關法令條文如表 6、表 7 所示：

表 6 消防法部份

| | |
|--------------|--|
| 消防法 第六條 | <p>本法所定各類場所之管理權人對其實際支配管理之場所，應設置並維護其消防安全設備；場所之分類及消防安全設備設置之標準，由中央主管機關定之。</p> <p>消防機關得依前項所定各類場所之危險程度，分類列管檢查及複查。</p> <p>第一項所定各類場所因用途、構造特殊，或引用與依第一項所定標準同等以上效能之技術、工法或設備者，得檢附具體證明，經中央主管機關核准，不適用依第一項所定標準之全部或一部。</p> <p>不屬於第一項所定標準應設置火警自動警報設備之旅館、老人福利機構場所及中央主管機關公告場所之管理權人，應設置住宅用火災警報器並維護之；其安裝位置、方式、改善期限及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。</p> <p>不屬於第一項所定標準應設置火警自動警報設備住宅場所之管理權人，應設置住宅用火災警報器並維護之；其安裝位置、方式、改善期限及其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之。</p> |
| 消防法 第三十五條 | <p>依第六條第一項所定標準應設置消防安全設備之供營業使用場所，或依同條第四項所定應設置住宅用火災警報器之場所，其管理權人未依規定設置或維護，於發生火災時致人於死者，處一年以上七年以下有期徒刑，得併科新臺幣一百萬元以上五百萬元以下罰金；致重傷者，處六月以上五年以下有期徒刑，得併科新臺幣五十萬元以上二百五十萬元以下罰金。</p> |

| | |
|----------------------|--|
| <p>消防法 第三十七條</p> | <p>違反第六條第一項消防安全設備設置、維護之規定或第十一條第一項防焰物品使用之規定，經通知限期改善，逾期不改善或複查不合規定者，處其管理權人新臺幣六千元以上三萬元以下罰鍰；經處罰鍰後仍不改善者，得連續處罰，並得予以三十日以下之停業或停止其使用之處分。</p> <p>規避、妨礙或拒絕第六條第二項之檢查、複查者，處新臺幣三千元以上一萬五千元以下罰鍰，並按次處罰及強制執行檢查、複查。</p> |
|----------------------|--|

(資料來源：參考資料 14)

表 7 各類場所消防安全設備設置標準部份

| | |
|--|---|
| <p>「各類場所消防安全設備設置標準」 第二編 消防設計 第二十八條 (102 年版)</p> | <p>下列場所應設置排煙設備：</p> <ol style="list-style-type: none"> 一、供第十二條第一款及第五款第三目所列場所使用，樓地板面積合計在五百平方公尺以上。 二、樓地板面積在一百平方公尺以上之居室，其天花板下方八十公分範圍內之有效通風面積未達該居室樓地板面積百分之二者。 三、樓地板面積在一千平方公尺以上之無開口樓層。 四、供第十二條第一款第一目所列場所及第二目之集會堂使用，舞臺部分之樓地板面積在五百平方公尺以上者。 五、依建築技術規則應設置之特別安全梯或緊急昇降機間。 <p>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。</p> |
| <p>「各類場所消防安全設備設置標準」 第三編 消防安全設備 第四章 消防搶救上之必要設備 第三節 排煙設備 第一百八十九條</p> | <p>特別安全梯或緊急昇降機間排煙室之排煙設備，依下列規定選擇設置：</p> <ol style="list-style-type: none"> 一、設置直接面向戶外之窗戶時，應符合下列規定： <ol style="list-style-type: none"> (一) 在排煙時窗戶與煙接觸部分使用不燃材料。 (二) 窗戶有效開口面積位於天花板高度二分之一以上之範圍內。 (三) 窗戶之有效開口面積在二平方公尺以上。但特別安全梯排煙室與緊急昇降機間兼用時（以下簡稱兼用），應在三平方公尺以上。 (四) 前目平時關閉之窗戶設手動開關裝置，其操作部分設於距 |

| | |
|-----------------|---|
| <p>(102 年版)</p> | <p>離樓地板面八十公分以上一百五十公分以下之牆面，並標示簡易之操作方式。</p> <p>二、設置排煙、進風風管時，應符合下列規定：</p> <p>(一) 排煙設備之排煙口、排煙風管、進風口、進風風管及其他與煙接觸部分應使用不燃材料。</p> <p>(二) 排煙、進風風管貫穿防火區劃時，應在貫穿處設防火閘門；該風管與貫穿部位合成之構造應具所貫穿構造之防火時效；其跨樓層設置時，立管應置於防火區劃之管道間。但設置之風管具防火性能並經中央主管機關認可，該風管與貫穿部位合成之構造具所貫穿構造之防火時效者，不在此限。</p> <p>(三) 排煙口位於天花板高度二分之一以上之範圍內，與直接連通戶外之排煙風管連接，該風管並連接排煙機。進風口位於天花板高度二分之一以下之範圍內；其直接面向戶外，開口面積在一平方公尺（兼用時，為一點五平方公尺）以上；或與直接連通戶外之進風風管連接，該風管並連接進風機。</p> <p>(四) 排煙機、進風機之排煙量、進風量在每秒四立方公尺（兼用時，每秒六立方公尺）以上，且可隨排煙口、進風口開啟而自動啟動。</p> <p>(五) 進風口、排煙口依前款第四目設手動開關裝置及探測器連動自動開關裝置；除以該等裝置或遠隔操作開關裝置開啟外，平時保持關閉狀態，開口葉片之構造應不受開啟時所生氣流之影響而關閉。</p> <p>(六) 排煙口、進風口、排煙機及進風機連接緊急電源，其供電容量應供其有效動作三十分鐘以上。</p> |
|-----------------|---|

(資料來源：參考資料 2)

第四章 電腦數值模擬與 FDS 程式說明

第一節 電腦數值模擬方法

在流體動力的計算中，求解紊流方式中有：直接數值模擬法(Direct Numerical Simulation, DNS)、平均化紊流模式法(Reynolds Averaged Navier-Stokes Equation modelling, RANS)及大渦流模擬(Large Eddy Simulation, LES)。

一、直接數值模擬法(Direct Numerical Simulation, DNS)

直接數值模擬法(DNS)是直接求解高可信度的 Navier-Stokes 方程式，並非以近似解來模擬紊流，亦即用足夠小的網格涵蓋整個流場，只使用流體體動粘滯係數(Dynamic Viscosity)，而不使用任何假設或模式係數來閉合紊流模式，而以高階差分的數值方法，直接求解連續方程式及 Navier-Stokes 方程式。此法必須計算流場內之所有的大小旋渦動態變化，然而為了呈現出所有的渦流，最大應大到邊界尺寸，最小應小到消散運動，其所需的格點解析度必須精細到克氏尺度(Kolmogorov micro-scale)，以雷諾數為 10^6 的三維平板邊界層流場為例，約需 5×10^7 的格點數，若對一實際建築物條件(雷諾數約為 10^6)加以計算，則所需的格點數將達 5×10^{13} ；再者，計算時間間隔必須小到得以解析最快速的變動量，如此遠遠超過現今超級電腦的運算容量。目前此法僅適用於低雷諾數、簡單的邊界條件的流場，並不適用實際的工程問題。因此，以 DNS 之計算方法實際應用於火災模擬研究較為困難。

二、平均化紊流模式法(Reynolds Averaged Navier-Stokes Equation modelling, RANS)

平均化紊流模式法(RANS)，將流場內之大小渦流或隨時間變化之紊流，以特定之紊流模式產流場的等效粘係數(Effective Viscosity)，據以求取流場之 Navier-Stokes 方程式平均值解，此種計算方式失去了瞭解因紊流而產生之其他重要特性，且因特定紊流模式與流場之幾何條件相關，因此計算方式不具泛用性。而且火災發生時煙流動現象是瞬時萬變的，利用時間平均為基礎的 RANS 通常無法精確的預測複雜熱傳與渦流的發展。

三、大渦流模擬(Large Eddy Simulation, LES)

大渦流模擬(LES)是由 Deardorff (1970)提出，係介於 DNS 及平均化紊流模式法之運算方式。他建議模擬紊流流場時可以在頻率域(Frequency domain)或時間域(Time domain)中，僅計算大於網格尺寸(Grid Scale)之渦流，將小於網格尺寸之旋渦或紊流以次網格模式(Sub-grid Scale Model, SGS model)表示之，便可求得流場中的主流和較大的渦流，直接計算流場暫態變化，氣象預測常用這種方法進行天氣模擬。

經由 LES 模式計算，可取得所需之流場變化訊息及混沌(Chaos)，且計算結果也較不受於次網格紊流模式係數之設定，因此使得計算結果之可信度大為提升。FDS[15]內定採用 LES 模式，有相關之實驗驗證。為兼顧時效與可信度，本模擬之運算方式採用 LES 模式進行模擬。

第二節 電腦數值模擬區劃

以電腦數值模擬研究火災主要可分為兩種方式[16]，一般可區分為區域模式(Zone model)與場模式(Field model)兩種。

一、區域模式(Zone model)

所謂區域模式，是將建築物空間劃分若干個區域，每一個區域內再劃分成物理、化學性質(如：溫度、煙、濃度等)均勻的高溫煙層與低溫空氣層。並利用能量、質量守恆原理，預測火災的成長、煙的流動，以及每一個區域內的溫度、濃度分布情形。區域模式之求解方式為隱性(Implicit)型式，係利用高溫煙層與低溫空氣層之總守恆方程式與數值方法，代入輸入條件，迭代求出高溫煙層與低溫空氣層之物理特性。區域模式只能預測平均的場分布，此類工具均為二層模式。此類的計算軟體有 ASET、CFAST、FIRST (Fire Simulation Technique)、HAZARD、FAST (Fire and Smoke Transport)、CCFM、ASET、COMPF2、LAVENT...等。

二、場模式(Field model)

場模式如同計算流體力學(CFD)之計算方式，是將建築物空間劃分成多個控制體積(Control Volume)，且利用數值方法，將描述火災現象的動量、質量及組成成份、紊流參數等非線性偏微分方程式離散化成代數方程式，代入輸入條件重複迭代計算，模擬空間中各控制體積(即格點)之物理特性。預測火災發生過程中，每一個格點的速度、壓力、溫度、濃度值。場模式亦為隱性型式。但由於需要的假設較少，因此對火災現象，能較仔細、正確的描述，而且能預測複雜形狀建築物內煙的流動；可應用在預測因為高溫所引起的煙流擴散行為，同時也可進行對於煙層溫度及濃度的計算預測。目前採用場模式已可成功地模擬室內熱源，將室內空氣加熱之程度及煙流方向及大小。

但場模式仍無法以自然對流的方式，模擬受熱空氣所引起的熱對流效應，另外場模式並沒有討論火焰延燒的現象，無法將燃燒過程真實的完全模擬，則為有待突破之處。採用場模式模擬，所需的計算時間長，且要高階的工作或電腦方能執行。此類的計算軟體有 FDS、STAR-CD、FLUENT、PHOENICS、CFX4、FLOW3D...等。

第三節 FDS 程式說明

本研究所採用之工具為美國國家標準局與技術研究院(NIST, National Institute of Standards and Technology)建築與火災研究實驗室(Building and Fire Research Laboratory)所開發的 FDS(Fire Dynamics Simulator)火災模擬軟體[15]。該軟體於 2000 年 2 月發行，可在 Windows/OS X Lion 或 Linux 環境下使用，其主要功能是用來模擬火災現象，求解溫度、速度、壓力等參數場以了解各種情況下煙流的擴散狀態。NIST 持續對 FDS 程式進行版本更新，目前最新版本為 2014 年 9 月發行 6.1.2 版。

該軟體除了有針對火災設計的前後處理工具之外，尚有其他軟體所沒有的撒水頭模式。而後處理的工具為 Smoke view，可對溫度場、濃度場等模擬結果作 2D、3D 的動畫展示。NIST 持續對 Smoke view 程式進行版本更新，目前最新版本為 2014 年 9 月發行 6.1.12 版。

圖 5 為 FDS 模擬程式與 Smokeview 程式架構圖，以文字檔建立輸入，在 FDS 程式下執行求解，而輸出之結果，依輸出選項，分別建立附檔名為 smv、bf、s3d、part、sf、iso、q 等。而以 Smokeview 程式為後處理之界面，顯示計算結果之剖面、等值分布、煙塵分布等圖形，而以 JPG 檔輸出圖形。

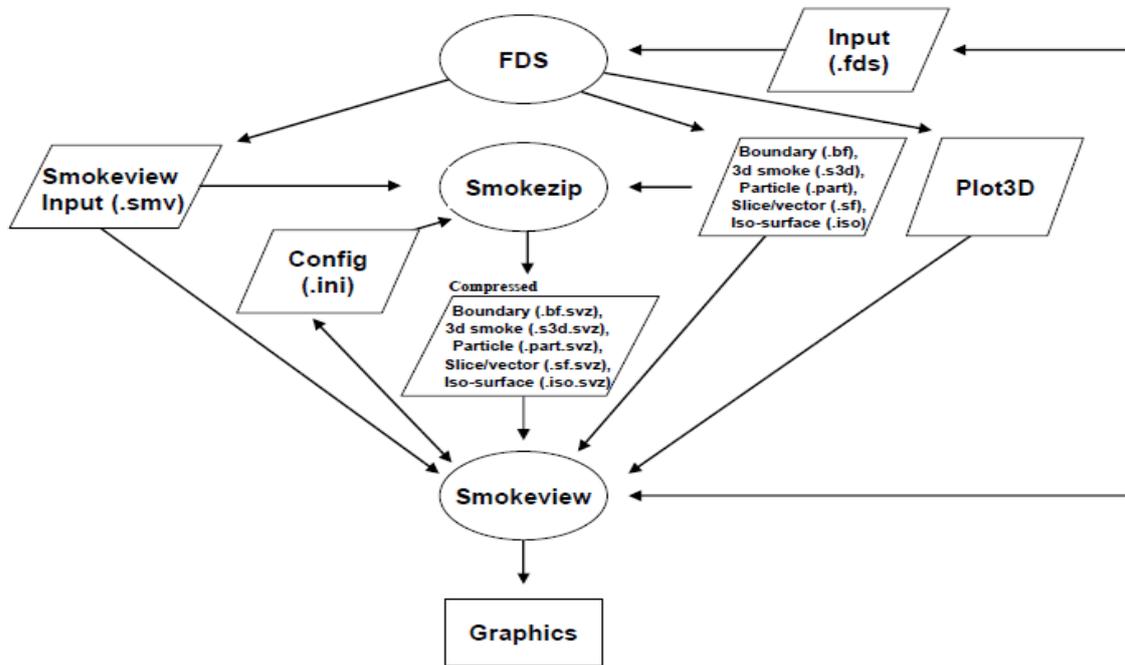


圖 5 FDS 模擬程式與 Smokeview 程式架構圖
(資料來源：參考資料 15)

第四節 FDS 統御方程式

FDS 應用的範圍為低馬赫數的流場分析，可分析與火災相關之溫度場、速度場、濃度場模擬計算，FDS 提供之物理模式應用如下：

- 一、室內及大氣中之各種火災問題
- 二、建築物之排煙系統、撒水頭系統之模擬。
- 三、非壓縮流體之溫度場、速度場、濃度場之計算。

FDS 程式由方程式(4.1)至(4.4)聯立求解計算區域的速度、溫度、密度與壓力等參數，在數值計算方法上，對空間座標的微分項採用二階中央差分法，時間的微分項則以顯性二階 Runge-Kutta 法離散，至於 Poisson 方程式形式的總壓力微分方程式，則利用快速傅利葉轉換法(Fast Fourier Transform)求解。

FDS 火災模擬軟體，是以數值方法求解控制方程式，包括模擬煙塵流動與熱量傳遞的數學模式。這些控制方程式基本上是由 Navier-Stokes 方程式推導而來，是屬於符合守恆守則的方程式，包括符合質量守恆的質量方程式、動量守恆的動量方程式以及能量守恆的能量方程式等等，其方程式如下：

1、連續方程式(Conservation of Mass)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (4.1)$$

2、動量方程式(Conservation of Momentum)

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) + \nabla p = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (4.2)$$

3、能量方程式(Conservation of Energy)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} - \frac{Dp}{Dt} = \dot{q}''' - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \nabla \cdot \mathbf{k} \nabla T + \nabla \cdot \sum_l h_l (\rho D)_l \nabla Y_l \quad (4.3)$$

4、化學種方程式(Conservation of Species)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_l) + \nabla \cdot \rho Y_l \mathbf{u} = \nabla \cdot (\rho D)_l \nabla Y_l + \dot{W}_l''' \quad (4.4)$$

上式中

ρ : 流體密度, (kg/m³)

t : 時間, (s)

u : 流體速度, (m/s)

p : 流體壓力, (kg/cm²)

g : 重力向量, (m/s²)

f : 外力向量 (重力向量除外), (kg/s²/m)

τ : 黏性應力張量, (kg/s²/m)

h : 流體熱焓, (kJ)

\dot{q}''' : 單位體積內的釋熱率, (kW/m³)

q_r : 輻射熱通率向量, (kW/m²)

k : 流體熱導度, (W/m/K)

T : 流體溫度, (K)

l : 化學種 l , (-)

h_l : 化學種 l 的流體熱焓, (kJ)

D : 擴散係數, (m²/s)

Y_l : 化學種 l 的質量分率, (-)

\dot{W}_l''' : 單位體積內化學種 l 的產生率, (-)

第五章 自然排煙案例研究與數值模擬

第一節 案例研究

5.1.1 實設案例選定

本研究整理排煙室面積標準，依內政部 95.6.19 台內營字第 0950803499 號解釋函，有如下說明：「按緊急昇降機機間係供消防人員攜帶救災裝備器材執行救災工作所需使用，並據本部消防署查日本（東京消防廳預防事務審查檢查基準）規範，每座緊急昇降機門廳之樓地板面積應在 10 平方公尺以上。故有關建築技術規則建築設計施工編第 107 條第 1 款第 6 目規定「每座昇降機間之樓地板面積不得小於 10 平方公尺」，上開規定機間面積之計算範圍，不包括機道或機廂所占面積。」，故建築物緊急昇降機機間排煙室面積設計，以大於 10 平方公尺為基準。

另於建築設計施工編第 97 條第 1 項第 5 款規定：「建築物達十五層以上或地下層三層以下者，各樓層之特別安全梯，如供建築物使用類組 A-1、B-1、B-2、B-3、D-1 或 D-2 組使用者，其樓梯間與排煙室或樓梯間與陽臺之面積，不得小於各該層居室樓地板面積百分之五；如供其他使用，不得小於各該層居室樓地板面積百分之三。」，且同條第 2 項規定：「安全梯之樓梯間於避難層之出入口，應裝設具一小時防火時效之防火門。建築物各棟設置之安全梯，應至少有一座於各樓層僅設一處出入口且不得直接連接居室。」，準此，本研究即依前述規定為案例選定依據。

經篩選可獲得之自然排煙設備設置案例，選擇較具代表性的典型排煙設計，做為本研究之實際建築物案例，並以此做為本研究基礎模型，發展後續模擬計劃。其規模及設備檢討情況分述如下說明：

一、案例概述：

案例一：某辦公大樓（建築物如圖 6、平面圖如圖 7）

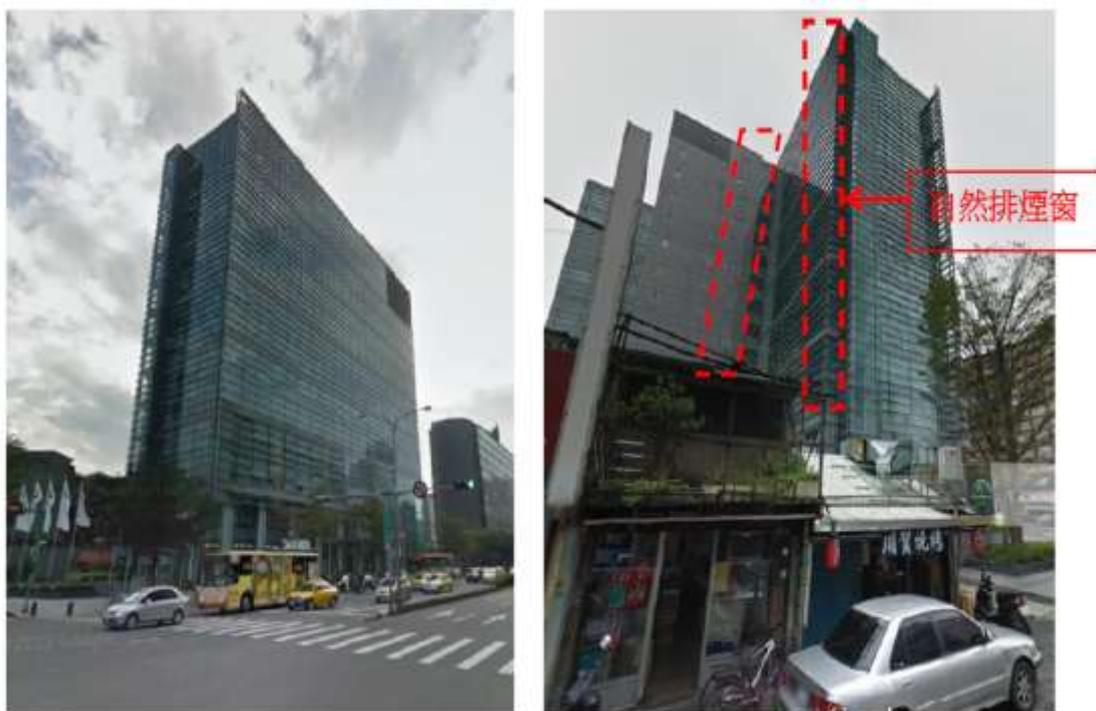


圖 6 案例一建築物外觀
(資料來源：本研究整理)

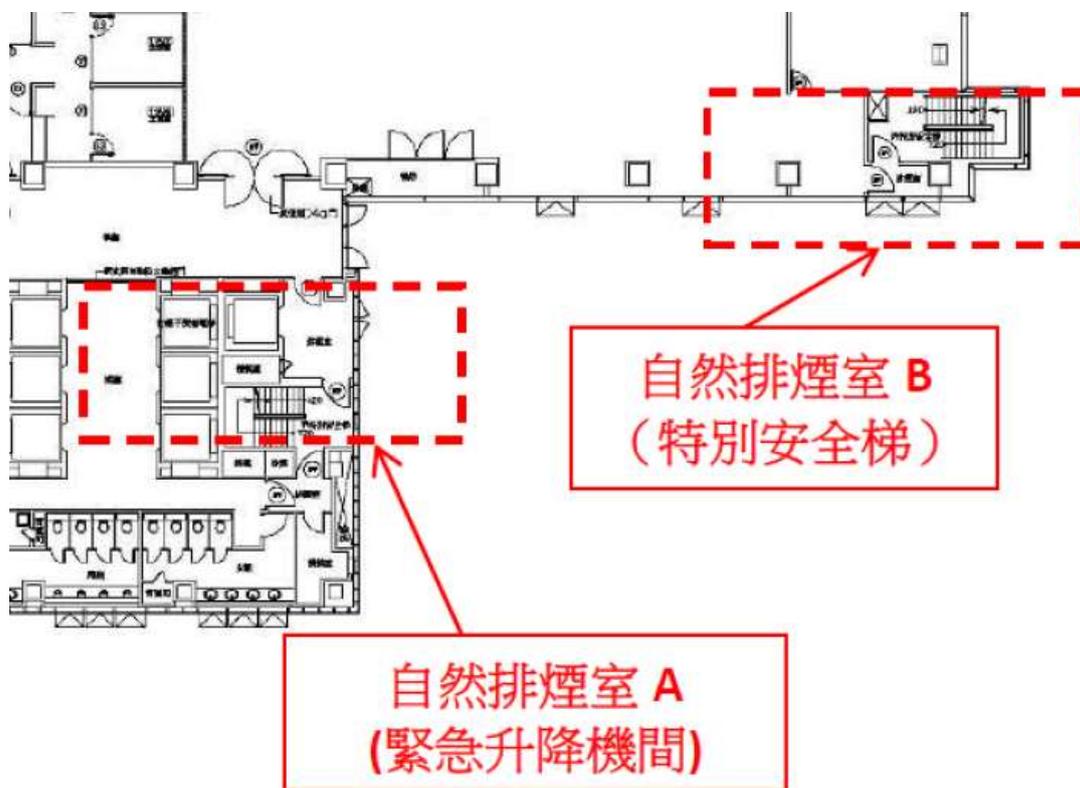


圖 7 案例一平面圖
(資料來源：本研究整理)

(一)建築結構：RC 構造，地上 15 層，地下四層

(二)建築面積：2065.87 平方公尺

(三)樓層高度：58.1 公尺。

(四)緊急昇降機間排煙室設備：自然排煙窗（有效排煙面積：2 平方公尺）。

(五)特別安全梯排煙室設備：自然排煙窗（有效排煙面積：2 平方公尺）。

(六)法規適用情況：

1、本場所符合各類場所消防安全設備設置標準第 28 條第 5 款規定，為應設置緊急昇降機間及特別安全梯排煙室排煙設備之場所。

2、本建築排煙室依各類場所消防安全設備設置標準第 189 條規定檢討設計設置。

案例二：某辦公大樓（建築物如圖 8、平面圖如圖 9）



圖 8 案例二建築物外觀
（資料來源：本研究整理）

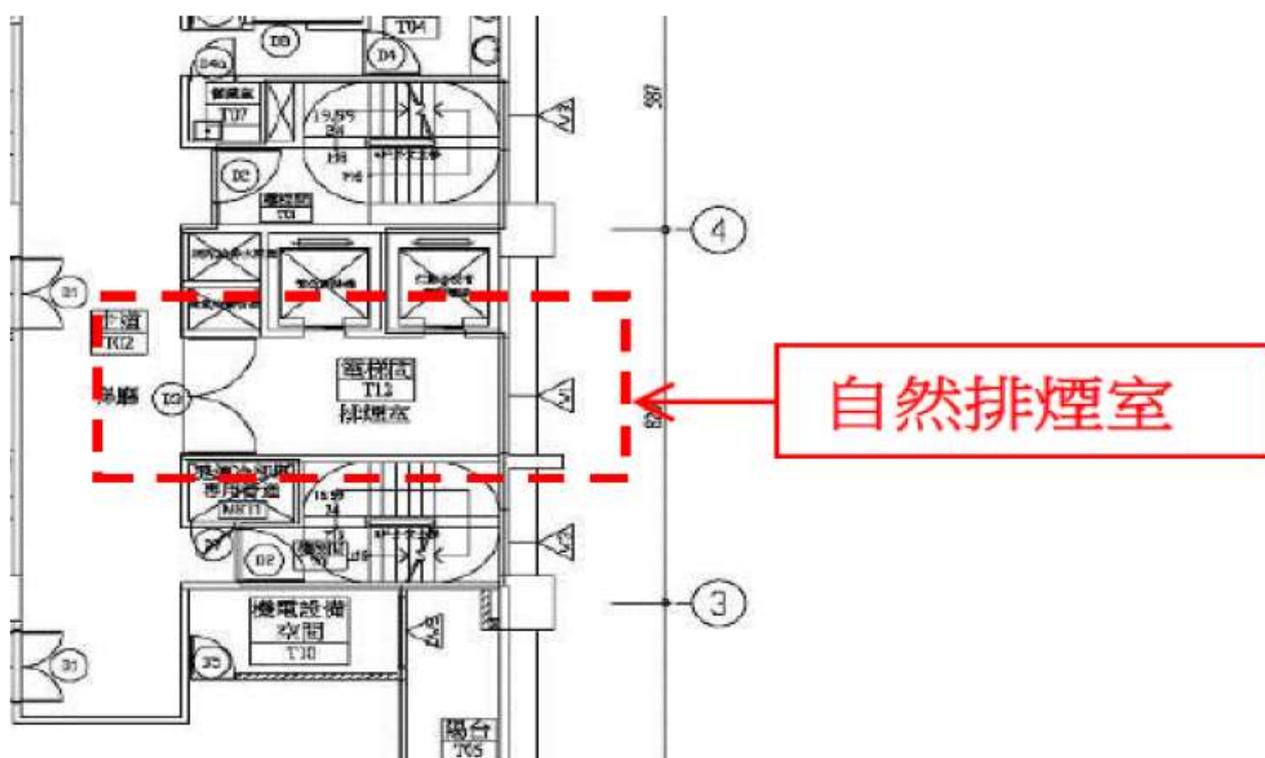


圖 9 案例二平面圖

(資料來源：本研究整理)

(一)建築結構：RC 構造，地上 15 層，地下 4 層

(二)建築面積：483 平方公尺

(三)樓層高度：49.64 公尺。

(四)緊急昇降機間排煙室設備：自然排煙窗（有效排煙面積：2 平方公尺）。

(五)法規適用情況：

1、本場所符合各類場所消防安全設備設置標準第 28 條第 5 款規定，為應設置緊急昇降機間排煙設備之場所。

2、本建築排煙室依各類場所消防安全設備設置標準第 189 條規定檢討設計設置。

5.1.2 差異性分析

一、案例一：

本研究案例排煙室 A(緊急昇降機間排煙室)，為典型的梯間排煙設計案例，其排煙口位置，設於排煙室長向牆面。本案例排煙室為專用，其面積依規定設計為 2 m^2 ，有效高度於天花板高度之 $1/2$ 以上，排煙室尺寸為 $4.3\text{m(L)} \times 2.95\text{m(W)} \times 3\text{m(H)}$ ，面積約為 12.7 m^2 。由於排煙口設置之牆面位於較寬之長向，為 4.3m ，故自然排煙窗設計可依外牆情況有多種位置及型狀之變化。此種長向配置型態之設計案例，將設定為本研究之第一種研究類型，用以探討排煙口配置與排煙性能之相互關係。

本案例另設有特別安全梯排煙室 B，其排煙口位置亦設於排煙室長向牆面，惟排煙室尺寸僅 $2.97\text{m(L)} \times 1.38\text{m(W)} \times 3\text{m(H)}$ ，面積約為 4.1 m^2 ，其餘設計與排煙室 A 同，此種面積小於 10 m^2 之梯排設計案例，將設定為本研究之第二種研究類型，用以探討排煙室面積與排煙性能之相互關係。

二、案例二：

本研究案例緊急昇降機間排煙室，為另一種典型的梯間排煙設計案例，其排煙口位置，設置於排煙室短向牆面，因排煙室為專用，其面積依規定設計為 2 m^2 ，有效高度於天花板高度之 $1/2$ 以上，排煙室尺寸為 $5.85\text{m(L)} \times 2.6\text{m(W)} \times 3\text{m(H)}$ ，面積為 15.21 m^2 。由於排煙口設置之牆面寬度僅約 2.6m ，故設置 $2\text{m(w)} \times 1\text{m(h)}$ 之自然排煙口於此牆面時，其上下方向及左右向位置相對已無多餘的移動空間，因此，在此種短向配置型態之梯排設計案例，將設定為本研究之第三種研究類型，用以探討短向排煙口配置與排煙性能之相互關係。

兩案例差異性分析詳表 8 說明。

表 8 案例差異分析表

| 名稱 | 設置位置 | 排煙室面積 | 排煙窗配置 | 備註 |
|-----|--------|----------------------|-----------|---------|
| 案例一 | 緊急昇降機間 | 12.7 m ² | 設於排煙室長向牆面 | 第一種研究類型 |
| | 特別安全梯 | 4.1 m ² | 同上 | 第二種研究類型 |
| 案例二 | 緊急昇降機間 | 15.21 m ² | 設於排煙室短向牆面 | 第三種研究類型 |

(資料來源：本研究整理)

5.1.3 排煙性能影響因子分析

火災生成的煙，受各種驅動力作用影響，會漫延飄散至建築物各處，形成煙害，其主要驅動力有煙囪效應、熱浮力、氣體膨脹、外部風、空調系統、電梯活塞效應等。

而良好的建築防火避難設施設計規劃，在火災的情況下，可提供一定能力的防火排煙性能，供人員逃生避難。從避難路徑的觀點而言，自然排煙室的設計，屬於相對安全的第二次安全區域，其位置於走廊通道及安全梯之間，藉由排煙室防火區劃及排煙設備，阻隔火煙，提供一個相對無煙的區域，供人員順利避難，在正常操作情況下，其出入口以常閉式防火門，或與火警系統連動之常開式防火門設置，以確保排煙室的區劃完整。

在功能正常的情況下，煙只有一種情況會進入排煙室，也就是火災室煙流已進入走廊通道（第一次安全區域），隨著避難人員開啓防火門進入排煙室同時，煙流一併進入排煙室內；人員進入排煙室防火門關閉後，煙流停止進入，已流入之煙層，則由排煙設備進行排除。

影響排煙室自然排煙窗性能相關因素，經考慮有以下部分：

一、排煙驅動力

(一)熱浮力作用

從驅動力而言，已經流入排煙室之煙層溫度 T_f ，與建築物外部大氣溫度 T_o ，仍保有一定之溫差，從 (5.1) 式，可得到因溫差產生的壓差 ΔP_{fo} ，方程式表示如下：

$$\Delta P_{fo} = \frac{\varepsilon P_{atm}}{R} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_f} \right) h \quad (5.1)$$

在此：

T_o = 建築物外部大氣溫度 (K)

T_f = 排煙室之煙層溫度 (K)

h = 煙層高度 (m)

g = 重力加速度

P_{atm} = 大氣壓力 (絕對壓力)

R = 空氣氣體常數

此壓差，即為自然排煙主要驅動力之熱浮力作用。

當煙層進入排煙室後，排煙用偵煙式探測器動作，連動開啓自然排煙窗進行排煙；從 (5.1) 式得知，在不考慮排煙口效應及其他外力情況下，當 $(1/T_o - 1/T_f)$ 項大於 0 時，浮力作用所產生的壓差可使煙流排出排煙室，而當 $(1/T_o - 1/T_f)$ 項等於 0 時，也就是煙層溫度下降至於外氣溫度時，排煙室內的浮力即消失不再作用。

(二) 氣體膨脹

而煙層溫度 T_f ，也會造成氣體膨脹，產生壓差驅動流場；氣體膨脹之體積流率比，與溫度比成以下關係：

$$\frac{\dot{V}_{OUT}}{\dot{V}_{IN}} = \frac{T_{OUT}}{T_{IN}} \quad (5.2)$$

在此：

\dot{V}_{OUT} = 流出之煙流體積流率 (m^3/s)

\dot{V}_{IN} = 流入之煙流體積流率 (m^3/s)

T_{OUT} = 流出之煙流溫度 (K)

T_{IN} = 流入之煙流溫度 (K)

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

而氣體膨脹作用，對排煙室排煙效果的影響較小，其原因係因排煙室開啟時流入之高溫煙層，其體積於防火門關閉後已呈固定，在火源無法對煙層加熱，煙流進入排煙室後與部分低溫空氣混合，並與外界進行熱交換，使得煙層溫度呈下降趨勢，在溫度未再升高情況下，氣體膨脹作用對排煙效果不會產生太大影響。

(三)外部風

外部風作用於建築物牆面的風壓 P_w ，可從 (5.3) 式獲得，其方程式表示如下：

$$P_w = \frac{1}{2} C_w \rho_o U_H^2 \quad (5.3)$$

在此：

C_w = 風壓係數 (無因次)

ρ_o = 外部空氣密度 (kg/m^3)

U_H = 外部風速 (m/s)

風壓係數 C_w ，與建築物的幾何外型、風向及周遭建築物和地形有關，Klote[16] 提出，在無地形地物阻礙的地區，典型的建築物外牆風壓係數 C_w 分佈情況如圖 10，矩型建築物風壓係數 C_w 分佈情況如圖 11。

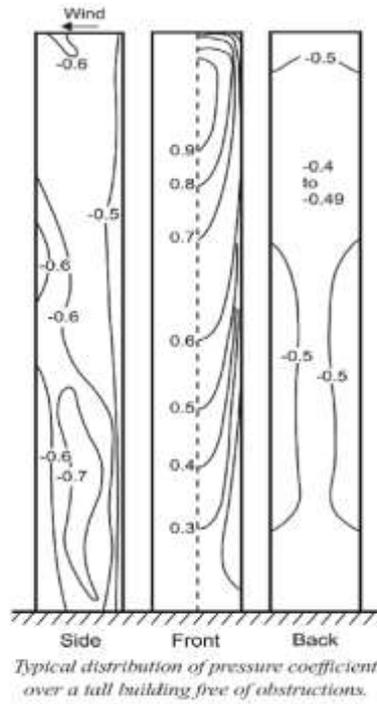


圖 10 建築物外牆風壓係數 C_w 分佈情況
(資料來源：參考資料 16)

| Building Height Ratio | Building Plan Ratio | Elevation | Plan | Wind Angle α | \bar{C}_f for Surface | | | |
|--|------------------------------------|-----------|------|---------------------|-------------------------|-------|------|-------|
| | | | | | A | B | C | D |
| $\frac{h}{w} \leq \frac{1}{2}$ | $1 < \frac{l}{w} \leq \frac{3}{2}$ | | | 0° | +0.7 | -0.2 | -0.5 | -0.5 |
| | | | | 90° | -0.5 | -0.5 | +0.7 | -0.2 |
| | $\frac{3}{2} < \frac{l}{w} \leq 4$ | | | 0° | +0.7 | -0.25 | -0.6 | -0.6 |
| | | | | 90° | -0.5 | -0.5 | +0.7 | -0.1 |
| $\frac{1}{2} < \frac{h}{w} \leq \frac{3}{2}$ | $1 < \frac{l}{w} \leq \frac{3}{2}$ | | | 0° | +0.7 | -0.25 | -0.6 | -0.6 |
| | | | | 90° | -0.6 | -0.6 | +0.7 | -0.25 |
| | $\frac{3}{2} < \frac{l}{w} \leq 4$ | | | 0° | +0.7 | -0.3 | -0.7 | -0.7 |
| | | | | 90° | -0.5 | -0.5 | +0.7 | -0.1 |
| $\frac{3}{2} < \frac{h}{w} \leq 6$ | $1 < \frac{l}{w} \leq \frac{3}{2}$ | | | 0° | +0.8 | -0.25 | -0.8 | -0.8 |
| | | | | 90° | -0.8 | -0.8 | +0.8 | -0.25 |
| | $\frac{3}{2} < \frac{l}{w} \leq 4$ | | | 0° | +0.7 | -0.4 | -0.7 | -0.7 |
| | | | | 90° | -0.5 | -0.5 | +0.8 | -0.1 |

Note: h = height to eaves or parapet; l = length (greater horizontal dimension of a building); w = width (lesser horizontal dimension of a building).
Average pressure coefficients for walls of rectangular buildings free of local obstructions (adapted from MacDonald [1975]).

圖 11 矩型建築物風壓係數 C_w 分佈情況
(資料來源：參考資料 16)

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

鍾基強[17]在模擬都市區中高層建築上一正方形截面所受到的平均風壓係數也曾提出，在迎風面上的平均風壓，當風向角 θ 在 $0^\circ\sim 90^\circ$ 時為正值， $90^\circ\sim 180^\circ$ 時為負值。

上述文獻說明，在建築物牆面與風向呈正交時，風壓係數 C_w 有極大值，亦即，在此種情況下，外部風會產生最大正壓，作用於自然排煙系統上。

(四) 驅動力交互作用

在排煙口尚未開啟前，排煙室煙流主要受熱浮力作用影響；在排煙口開啟後，煙流則受到熱浮力作用與外部風效應二種作用力驅動。將熱浮力驅動的自然排煙行為視為自由對流現象，則受外部風效應影響的排煙情況則可視為強制對流現象。在排煙室自然排煙的過程中，兩種驅動力將持續交互作用，至排煙過程結束。

從避難者的觀點而言，排煙室內的煙流必須愈少愈安全，而進入排煙室的煙流，可否能由自然排煙窗順利排出，為本研究所需探討的重點，如前所述，自然排煙窗有其排煙的限制因素，其主要驅動力之熱浮力作用，端視煙流的溫度，理論上，煙流溫度愈高，排煙效果愈好，但高溫煙流不利人員可維生環境；另一驅動力為外部風作用，在過去研究中，外部風一直被認為是不利自然排煙之因素，但從高樓層居室的開窗經驗上判斷，不管居室是否為密閉，在有外部風的情況下，開窗後均會產生部分對流現象，對流會造成室外新鮮空氣進入排煙室，其流率是否有助於降低室內溫度，稀釋煙的濃度，甚至煙粒子藉由對流現象帶出室外，達到排煙效果，將為本研究另一個探討的項目。

二、地表風與樓層高度

地表風為典型的流體流動現象，受到無滑動條件（no-slip condition）及地面障礙物作用，呈現速度邊界層現象，如圖 12 所示：

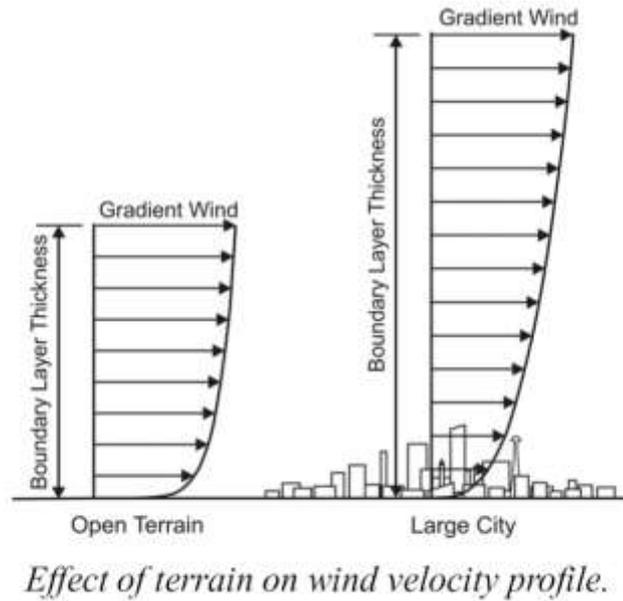


圖 12 地表風速外型圖
(資料來源：參考資料 16)

Klote[16] 亦提出，地表風的速度邊界層之近似方程式如下：

$$U = U_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^a \quad (5.5)$$

在此：

U = 距地面高度 (計算) 風速 (m/s)

U_0 = 參考高度風速 (m/s)

Z = 距地面高度值 (m)

Z_0 = 參考高度 (m)

a = 風力指數 (無因次)

風力指數 a ，依地形情況而定，各種地形之 a 值如下表 9 所示：

表 9 各種地形 α 值表

| 地形分類 | 說明 | 風速邊界層高度 (m) | 風力指數 α |
|------|----------|-------------|---------------|
| 1 | 大城市之市中心 | 460 | 0.33 |
| 2 | 郊區、鄉村 | 370 | 0.22 |
| 3 | 開闊之平原 | 270 | 0.14 |
| 4 | 海岸、冰原、沙漠 | 210 | 0.1 |

(資料來源：改編自 ASHRAE 2009) [18]

有關表 9 各項地形分類判別標準，說明如後：

(一) 地形 1：

大城市之市中心區，至少有 50% 的建築物高度大於 20 公尺者，建築物迎風面的前方至少有 800 公尺間距或建築物高度 10 倍的範圍(兩者取較大值) 係屬此種條件下，使用此種地形數值。

(二) 地形 2：

城市、郊區、森林區，或獨棟集合住宅地區，上風處超過 460 m 或建築物 10 倍的高度以上，取較大者，使用此種地形數值。

(三) 地形 3：

地勢平坦開闊之地面、草原或地面散佈的障礙物高度皆小於 9.1 公尺的地區。

(四) 地形 4：

平坦無障礙物區域，風可流經之距離至少 1.6km 以上。

以臺北市地形情況為例，大部分區域依表 5.2 判斷，較符合地形 1 之分類，在推算風速時，風力指數 α 值得取 0.33 為基準。

在參考風速部分，根據中央氣象局臺北氣象站自 1981 年至 2010 年月平均風速以每 10 分鐘觀測一次之風速統計結果顯示[19]，臺北市平均風速約介於 2.2~3.4m/s 之間(如表 10)。

前述相關資料為依據，以常年最大平均風速 3.4m/s(10 月份)為參考風速，風力指

數 a 值取 0.33，代入 (5.5) 式，可獲得臺北市地表風速之概略情況 (如表 11)，本研究將依此分析結果做為後續電腦模擬及實驗規劃之參考數據。

表 10 臺北氣象站 1981-2010 年月平均風速(1 次/10min) 統計表

| 月份 | 平均風速 (m/s) | 觀測高度(m) | 統計期間 | 測站位置 |
|------|------------|-----------------|-----------|---|
| 1 月 | 2.8 | 33.8 (風杯風速計) | 1981-2010 | 東經： 121°30'24.15" 北緯： 25°02'22.62" (公園路 64 號) |
| 2 月 | 2.7 | | | |
| 3 月 | 2.6 | | | |
| 4 月 | 2.7 | | | |
| 5 月 | 2.6 | | | |
| 6 月 | 2.2 | | | |
| 7 月 | 2.2 | | | |
| 8 月 | 2.4 | | | |
| 9 月 | 2.9 | | | |
| 10 月 | 3.4 | | | |
| 11 月 | 3.3 | | | |
| 12 月 | 3 | | | |

(資料來源：中央氣象局全球資訊網)

表 11 臺北市常年地表風速估算表

| 距地面高度 Z (m) | 計算風速 U (m/s) | 樓層高度 (概略) |
|---------------|----------------|--------------------|
| 1 | 1.06 | 地面層 |
| 7 | 2.02 | 2F |
| 23 | 2.99 | 7F |
| 55 | 3.99 | 18F |
| 109 | 5 | |
| 189 | 6 | (新光大樓 51F：238.15m) |
| 301 | 7 | |
| 452 | 8 | (101 大樓頂樓：448m) |
| 460(邊界層高度) | 8.05 | |

(資料來源：依據 Klote 地表風速經驗公式推算整理)

三·排煙口幾何尺寸

自然排煙口性能，受排煙口幾何尺寸影響；在「防煙區劃內隔間開口設計對機械排煙效能影響之研究」中[20]，吾人曾提出部分與排煙口相關之結果，概述如下：

- (一) 矩型之有效開口比例，以“寬大於高”的扁長形狀比例，有較佳之排煙性能。
- (二) 有效開口設置高度對排煙性能有直接的影響，裝置位置越高，排煙效果越好。
- (三) 有效開口在相同高度設置時，各水平位置排煙性能差異不大。

2%有效開口，係利用熱浮力作用之消防排煙設備，其原理與自然排煙口相同，因此，在排煙口幾何形狀的選擇上，得採用與2%有效開口結論相同之“寬大於高”的扁長形狀比例，較符合自然排煙之性能特性。在安裝高度部分，亦得採取裝置位置越高，排煙效果越好之結論。

而水平位置排煙性能部分，在2%有效開口之驅動力主要為熱浮力及空氣膨脹作用，自然排煙室則受到熱浮力及外部風效應之交互影響，在溫度場變化情況不同，且外部風可能造成排煙室內部流場變化等因素下，排煙口水平位置是否對自然排煙性能造成影響，本研究中將於後續電腦模擬中，配合排煙室在短向及長向的排煙口安裝方式驗證模擬時，一併進行水平位置排煙性能部分之探討。

四、建築物外部流場與排煙窗位置之相對關係

依過去研究顯示，建築設計及風向均可能影響自然排煙之效能；如圖13及圖14所示，建築物外部流場分佈與自然排煙口配置之相對位置，概略可區分為五個區域：

- (一) 平行流區：流線水平由中間向左右轉向，為中段靠中線樓層之理想流線情況。
- (二) 上行流區：流線水平且向上轉向，為中上方樓層之理想流線情況。
- (三) 下洗流區：流線水平且向下轉向，為中下方樓層之理想流線情況。
- (四) 平行右側流區：流線水平且向右轉向，為中右側樓層之理想流線情況。
- (五) 平行左側流區：流線水平且向左轉向，為中左側樓層之理想流線情況。

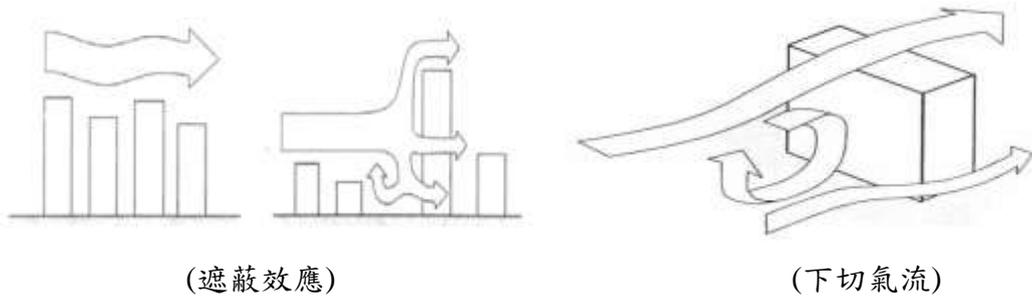


圖 13 建築物外部氣流示意圖
(資料來源：參考資料 17)

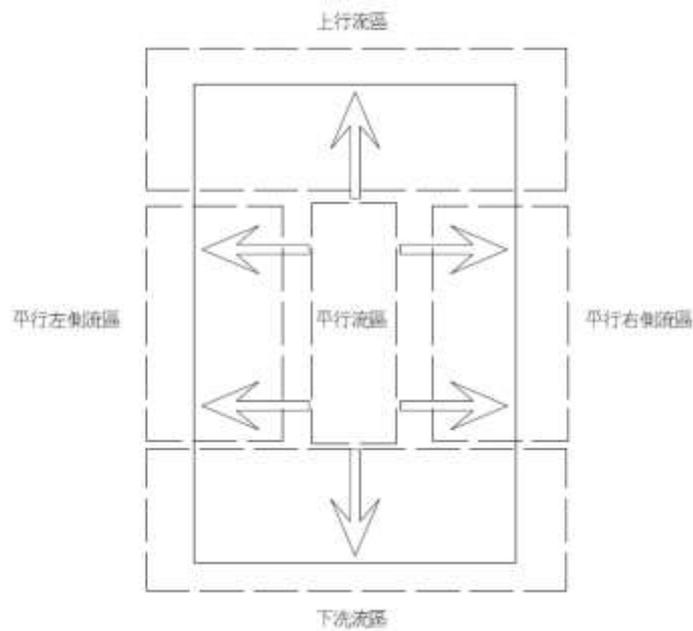


圖 14 自然排煙口配置與流場相對位置區分圖
(資料來源：本研究整理)

由於外部風場非穩態流場，且受地形地物影響甚鉅，風場在通過建築物時所呈現的風向及風速，難以由計算方式求得；然而，透過數值模擬方式，運用特定邊界條件，造成一穩態外部流場，可模擬建築物在特定的風場條件下，各不同位置排煙口排煙性能趨勢。

五、防火避難設施

依建築技術規則設計施工編第 83 條規定第 1 項第 1 款規定：「建築物自 11 層以上部分，每 100m² 以具有一小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備與各該樓層防火構造之樓地板形成區劃分隔.....」；同編第 92 條第 1 項第 4 款規定：「防火構造建築物內各層連接直通樓梯之走廊牆壁及樓地板應具有一小時以上防火時效，並以耐燃一級材料裝修為限。」；同編第 97 條第 1 項第 3 款第 1 目規定：「（特別安全梯之構造）樓梯間及排煙室之四週牆壁除外牆依前章規定外，應具有一小時以上防火時效，其天花板及牆面之裝修，應為耐燃一級材料。...」，準此，防火避難設施在正常管理維護及操作情況下，初期火災時人員從火災區域進入避難路徑之走廊（第一次安全區域），通過排煙室（第二次安全區域），到達安全梯（第三次安全區域），通達避難層完成避難程序，火煙應受到防火區劃限制，無法侵入避難路徑。

在避難過程中，我們假設，第一次安全區域產生區劃不完整情況，遭火煙侵入，當然，此種現象是可能發生的，此時，排煙室做為阻絕火煙的第二道防線，就必須發揮作用，保障進入排煙室的避難人員，能於可維生環境下，進行避難；本研究將假設在此種情況之各種不利條件，進行後續模擬情況想定，以探討自然排煙口之性能情況；然而，在探討自然排煙窗性能前，如能做好建築物防火避難設施管理及維護，減少煙流進入排煙室的總量，更有利於保障避難者的人身安全。

5.1.4 與排煙室相關之影響因素

自然排煙口進行排煙的動作過程中,除了受前述各項因子影響外，尚需考量因排煙口開啟後，外部風產生排煙室內部壓力上昇的問題，因為排煙室壓力上昇，會造成排煙室防火門開啟困難。

由柏努利方程式可知，外部風在進入排煙室後流動受阻並趨於停止，此時，動壓下降，靜壓上昇，以得到內外流場全壓平衡，此為排煙室內靜壓上昇原因；而排煙室因受防火門阻隔，防火門內外兩側將產生壓差，此壓差如發生在人員避難時，將於防

火門上產生一個與開門方向相反的反作用力，造成避難人員開門負荷，此一開門負荷，我們以開門力稱之；避難人員打開防火門的力量大小，與性別、年齡、體力狀態有關，因此，我們要有一個合理的開門力限值，方可使避難人員有效逃生，而外部風速也必需加以限制，其所產生的壓力，必需在可接受的範圍內。

Klote[16]對一般單開門提出開門力的計算方程式如下：

$$F = F_{dc} + \frac{WA\Delta p}{2(W-d)} \quad (5.6)$$

在此：

F =開門力(N)

F_{dc} =關門器（門弓器）作用力(N),

W =門扇寬度 (m)

Δp =壓差(Pa).

A =門扇面積(m²),

d =門把距門框距離(m)

而 NFPA 101[22]已對開門力制定了最大限值，為 133N，且對數種尺寸之單開門依該限值代入公式（5.6），計算出最大壓差結果，如表 12 所示。

表 12 安全門二側（於 133N 開門力時）最大壓差限值表

| Door Closer Force (N) | Door Width | | | | |
|-----------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.81 m | 0.91 m | 1.02 m | 1.12 m | 1.22 m |
| 25 | 113 | 102 | 92 | 84 | 78 |
| 30 | 108 | 97 | 88 | 80 | 74 |
| 35 | 103 | 93 | 83 | 77 | 71 |
| 40 | 98 | 88 | 79 | 73 | 67 |
| 45 | 92 | 83 | 75 | 69 | 64 |
| 50 | 87 | 78 | 71 | 65 | 60 |
| 55 | 82 | 74 | 66 | 61 | 56 |
| 60 | 77 | 69 | 62 | 57 | 53 |
| 65 | 71 | 64 | 58 | 53 | 49 |

Note: The door height is 2.13 m, and the distance from the doorknob to the knob side of the door is 0.76 m.

(資料來源：參考資料 16)

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

本研究將依上述說明，針對外部風速所產生的壓力及開門力問題，進行電腦模擬及探討，藉以分析排煙性能與避難人員開門力之相互影響情況。

第二節 數值模擬

5.2.1 模擬問題說明

針對前一節實際設計案例一及案例二之自然排煙室現況問題分析，綜整可能影響自然排煙設備性能因素，待探討分析事項說明如後：

一、自然排煙窗設置位置與排煙室幾何形狀之相對關係，可分為短向安裝及長向安裝二種，此二種安裝方式，在相同的邊界條件下，其排煙性能差異性探討。

二、不同樓層高度及安裝於建築物外部不同位置之自然排煙窗，受地表風（外部風）作用後，其排煙性能影響情況之探討。

三、受外部風作用後，自然排煙窗長向置中安裝與偏左（右）安裝，對排煙性能影響情況之探討。

四、排煙室面積大小對自然排煙窗性能影響情況之探討。

5.2.2 模擬條件設定

參考案例一、二緊急昇降機間及特別安全梯間自然排煙室設置情況，簡化其外型結構後，建模情況如下：圖 15 為案例一自然排煙口長向配置之建模情形，其尺寸為 13m(L)x10.6m(W)x3.2m(H)，排煙室設定為 6m(L)x3m(W)x3.2m(H)，面積為 18m²，自然排煙口尺寸為 2m(W)x1m(H)，面積為 2m²。

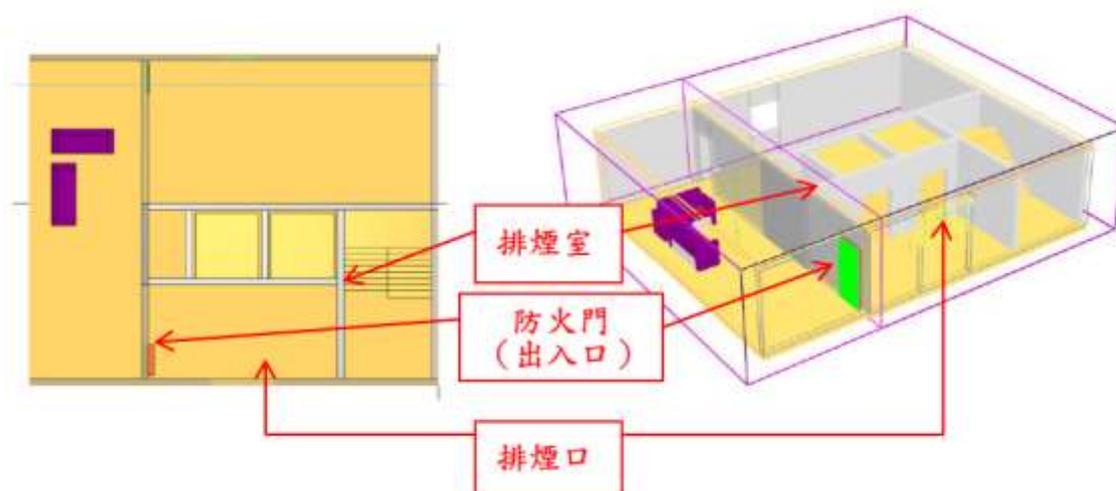


圖 15 案例一 FDS 平面及立體模型示意圖 (排煙口長向配置)
(資料來源：本研究整理)

圖 16 為案例二自然排煙口短向配置之建模情形，其尺寸為 10m(L) x 10.6m(W) x 3.2m(H)，為利模擬及後續分析，排煙室尺寸設定與案例一相同，為 6m(L) x 3m(W) x 3.2m(H)，面積為 18m²，自然排煙口尺寸為 2m(W)x1m(H)，面積為 2m²。

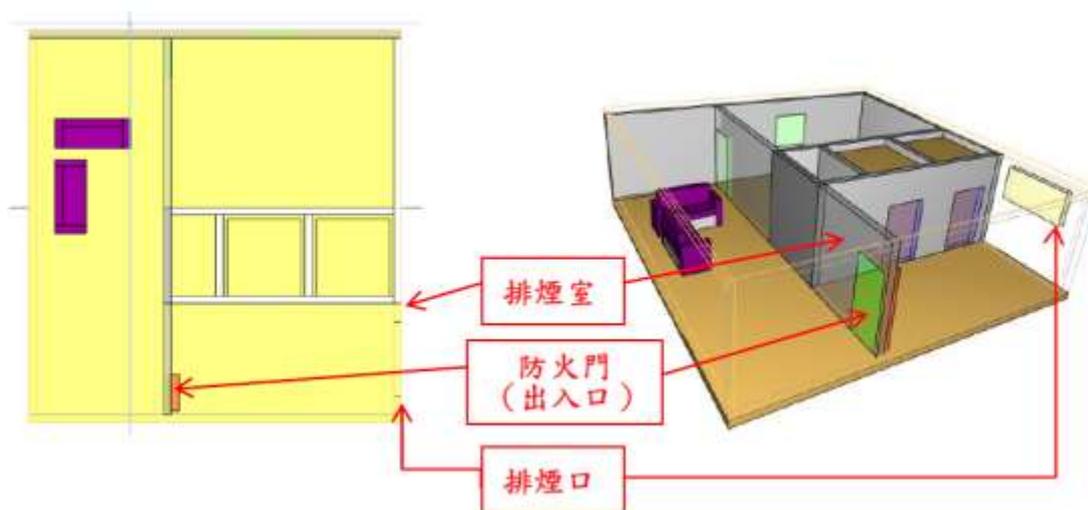


圖 16 案例二 FDS 平面及立體模型示意圖 (排煙口短向配置)
(資料來源：本研究整理)

另一案例為特別安全梯之排煙室，如圖 17 所示，由於特別安全梯在法令上無面積限制，因此，排煙室以小於 10m^2 進行建模，用以比對排煙室面積大小對排煙口性能之影響。本案例尺寸為 $9.4\text{m(L)} \times 10.6\text{m(W)} \times 3.2\text{m(H)}$ ，排煙室尺寸設定為 $2.4\text{m(L)} \times 2\text{m(W)} \times 3.2\text{m(H)}$ ，面積為 4.8m^2 ，自然排煙口尺寸為 $2\text{m(W)} \times 1\text{m(H)}$ ，面積為 2m^2 。

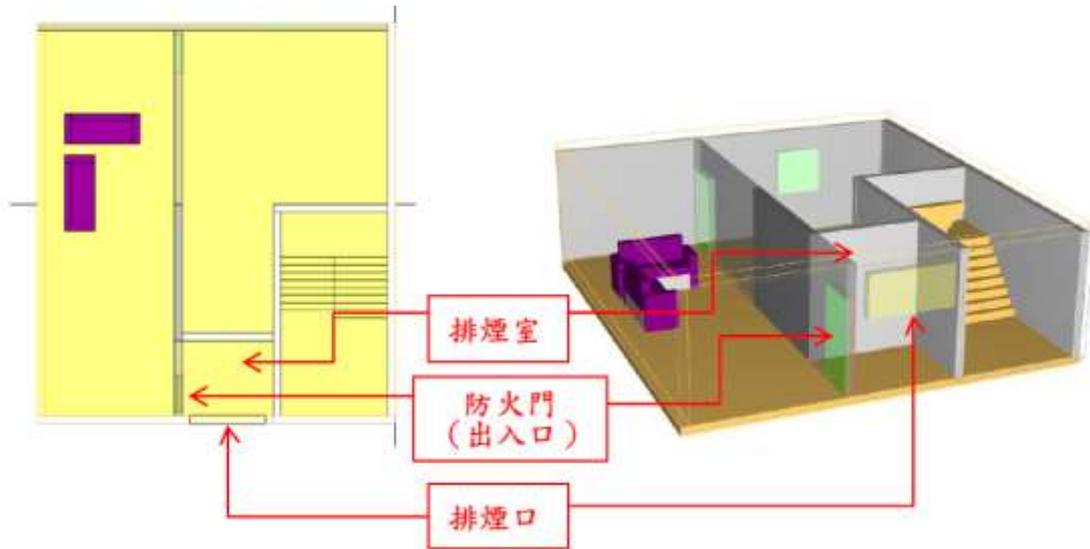


圖 17 案例一 FDS 平面及立體模型示意圖（特別安全梯間排煙室）
（資料來源：本研究整理）

依本研究模擬所需情況，結構體及各物件材料性質設定說明如後：

- 一、結構體設為混凝土。
- 二、出入口（防火門）設定為不燃材料（INERT）。
- 三、以沙發為發火源，其材質設為飾布材質（UPHOLSTERY），燃燒熱為 $30,000\text{kJ/kg}$ 。
- 四、室內外初始溫度設定為 20°C 。
- 五、外部風依表 5.2 分析結果設定。
- 六、排煙口與建築物外部相對位置依圖 15、圖 16、圖 17 分析情況配置。
- 七、火源位置，固定設定於沙發座墊。

5.2.3 格點選定

當以數值計算方法進行模擬分析時，須探討模型之尺寸對數值計算之影響，即為格點分析。其原理是僅改變模型中，梯度最大區域（即火源）附近之格點大小，而其他模擬條件應保持相同，比較相同位置之特定參數計算結果差異，以得知格點精度對數值計算收斂狀況之影響，在與其模擬時間比較選擇誤差較小且耗費時間較短之格點大小，做為後續模擬之基準。

本次格點選定，依案例模型，其火災室尺寸為 10.2m(L)× 3.6 m(W)× 3 m(H)，其模擬配置發火源為沙發之熱釋放率預估，火災室最大熱釋放率為 1.2MW。在火源附近之格點配置，以 FDS 模擬火災產生的濃煙之流動與熱傳問題，計算模型格點的解析度需達一定之尺寸，方可得到收斂，以確保計算結果之正確。FDS 以火源附近最小長度尺度（length scale）為火災特徵直徑（Characteristic fire diameter, D^* ），亦即

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} \cdot C_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (5.1)$$

上式中：

D^* = 火災特徵直徑，(m)

\dot{Q} = 火源的熱釋放率，kW

ρ_{∞} = 外氣空氣密度，(kg/m³)

C_p = 定壓空氣比熱，(kJ/kg/K)

T_{∞} = 外界空氣溫度，(K)

g = 重力加速度，(m/s²)

參考 FDS 使用手冊[15]建議，熱釋放率 $\dot{Q} = 1.2 \text{ MW}$ ， D^* 為 1.03m，則 0.1 D^* 約為 0.1 m；考量本次模擬，主要目的為排煙室自然排煙窗性能探討，其所在位置於火源區

域外部，因此，在格點設定上，火災室部分以 0.1m 作為初步估計火源附近所需合理之格點尺寸，火災室以外部分則以 0.2m 進行設定。圖 18 為案例一網格設定情況，相關模型摘要如表 13；圖 19 為案例二網格設定情況，相關模型摘要如表 14。

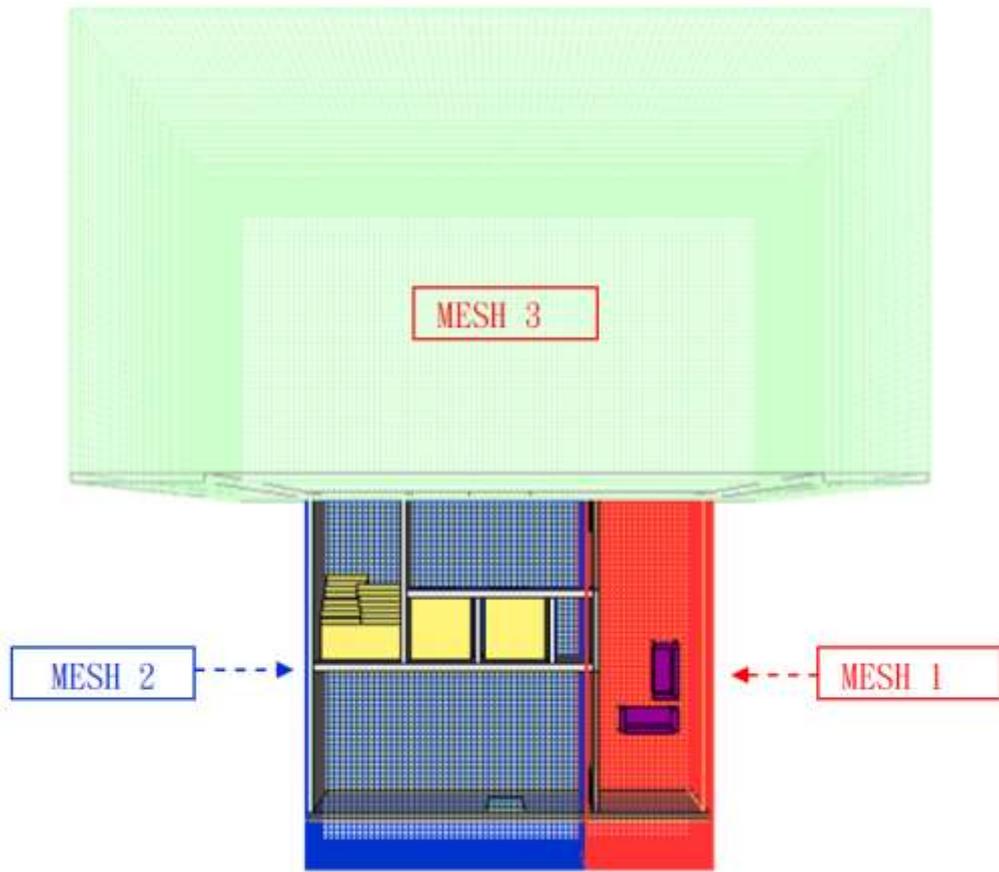


圖 18 案例一 FDS 格點設定情況示意圖
(資料來源：本研究整理)

表 13 案例一 FDS 模型之摘要資料

| 模型尺寸 (公尺) | 網格編號 | 網格尺寸 | 網格數 | 網格總數 |
|-----------------------------|--------|-------------------|----------|----------|
| 13m(L)x10.6m(W) x3.2m(H) | MESH 1 | 0.10m×0.10m×0.10m | 153,600. | 534,300. |
| | MESH 2 | 0.20m×0.20m×0.20m | 43,200. | |
| | MESH 3 | 0.20m×0.20m×0.20m | 337,500. | |

(資料來源：本研究整理)

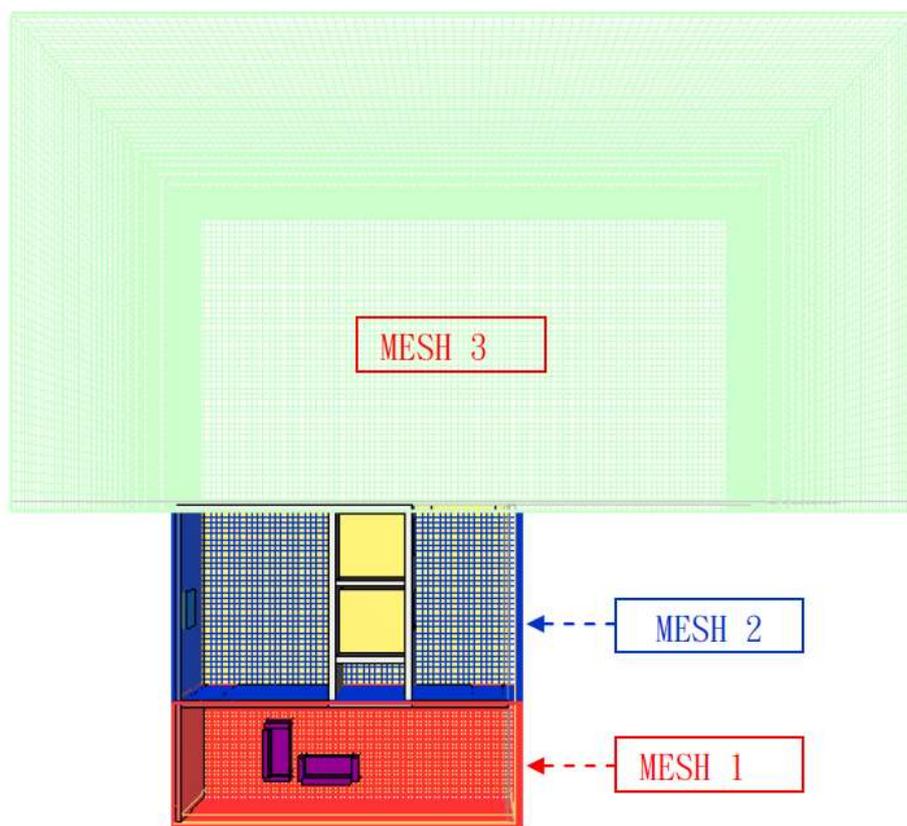


圖 19 案例二 FDS 格點設定情況示意圖
(資料來源：本研究整理)

表 14 案例二 FDS 模型之摘要資料

| 模型尺寸 (公尺) | 網格編號 | 網格尺寸 | 網格數 | 網格總數 |
|-------------------------------|--------|-------------------|----------|----------|
| 10.6m(L)x10.6m(W) x3.2m(H) | MESH 1 | 0.10m×0.10m×0.10m | 138,240. | 501,660. |
| | MESH 2 | 0.20m×0.20m×0.20m | 25,920. | |
| | MESH 3 | 0.20m×0.20m×0.20m | 337,500. | |

(資料來源：本研究整理)

5.2.4 模擬標準說明

有關火場的可維生環境判別標準，參考國內外相關標準，節錄 NFPA 130 附錄 B[19] 部分資料，及葉琮勤在”大空間建築性能式煙控系統設計之 3D CFD 電腦模擬分析與全

尺度實驗印證”[23]，研究整理國際間常用之判斷標準結果，有以下數個判別項目，說明如下：

一、容許溫度

火場溫度在數秒內允許之最高溫為 60°C，最初 6 分鐘允許暴露之平均溫度為 49°C。通常人員在數秒內越過火場，其溫度採低於 60°C 為判定基準。

二、CO 濃度

在數秒內允許之最高濃度為 2,000 ppm，最初 6 分鐘暴露平均濃度不大於 1,500 ppm，最初 15 分鐘暴露平均濃度不大於 800 ppm，其餘條件暴露平均濃度不大於 50 ppm。通常允許人員逃生避難之環境採 CO 濃度低於 1,500 ppm 為判定基準。

三、能見度

火場煙流之能見度，在有照明的避難指標，能辨視的距離為 30 m，門及牆壁能辨視的距離為 10 m。通常人員逃生避難環境之能見度採大於 10 m 為判定基準。由於排煙室尺寸，在長向部分實務上可能未達 10m，因此本研究在能見度的判定上，除採用上述說明之 10m 外，將另以排煙室長向最大尺寸為判別依據，且高度標準將以 180cm 高度（容許煙層下降高度）進行比對。

四、輻射熱強度

關於輻射熱 q'' (Radiation Heat Flux) 部份，在數秒內允許暴露值最大為 6,305 W/m² 或 6.3 kW/m²，最初 6 分鐘允許暴露平均強度 1,576 W/m²，其餘條件之暴露平均強度為 946 W/m²。人員越過火場時接受到最大輻射強度，僅為數秒的時間，故輻射熱強度採 6.3 kW/m² 為判定基準。

五、煙層底部高度

我國採用之容許煙層下降高度為距地板面高度 1.8m。

由於排煙室本身在安全強度上與一般火場不同，且排煙室內的煙流行為，不同於火場內部，因無火源加熱現象，且於自然排煙窗開啟後與外氣流通，在受外部風影響下，煙層預判會有明顯擴散現象，因此，在 CO 濃度、輻射熱強度及煙層底部高度等項目，將不納入分析比對項目，僅利用空間容許溫度及能見度二項，作為自然排煙窗性能判別標準，如表 15 所示。

表 15 排煙室容許溫度及能見度判別標準

| 判別項目 | 判別標準 |
|------|---------------------------|
| 容許溫度 | < 60 °C |
| 能見度 | > 10 m (或 > 4.8m 排煙室最大長度) |

(資料來源：本研究整理)

5.2.5 模擬情況及結果分析

5.2.5.1 案例一：長向自然排煙口配置

一、緊急昇降機間排煙室

(一) 火災劇本

1、火源設定：點火源設於沙發上，以 160kW 點火，由程式依模擬條件進行非穩態燃燒。

2、煙流進入排煙室情況：模擬人員進入排煙室時防火門開啟，煙流隨人員進入排煙室內情形；為利比對，模擬情況將以超過一般可維生環境條件設定，防火門開啟將以熱電偶測得火災室側之煙層溫度達 150°C 時開啟防火門，10 秒鐘後關閉防火門，煙流由熱浮力及氣體膨脹作用驅動進入排煙室。

3、煙流流量測定：防火門位置由 fds 設定量測流入之體積流率，用以概略計算流入之煙流量體。

4、自然排煙口開啟時機：排煙室內設有偵煙探測器乙只，當探測器動作時，模擬動作後延遲情況，於 30 秒後連動自然排煙口開啟。

5、外部風條件：不同樓層高度之自然排煙口，其受外部風作用，有不同的風速條件，模擬不同樓層高度所對應之風速，依表 16 所示，於建築物正面 10m 外以穩態正交風向，初始風速為無風至每秒 8m，風向角依建築物幾何外形及邊界條件設定，使模擬結果呈現外部風場產生上、下、左、右、中等五個不同流場情況，進行模擬。

6、取 2m/s、4m/s、6m/s、8m/s 等四組外部風速，在改變自然排煙口不同水平位置（左側及右側）情況下，進行模擬。

案例一緊急昇降機間排煙室模擬項目統計說明表如表 5.8 所示。

表 16 案例一（緊急昇降機間排煙室）模擬項目統計說明表

| 模擬項目編號 | 條件 | 模擬情況 |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| CASE1-W0 (BASE CASE) | 外部風速= 0m/s | 排煙室溫度， 能見度 排煙室溫度， 能見度 |
| CASE1-M-W2 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| CASE1-M -W4 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE1-M -W6 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE1-M-W8 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| CASE1-UP-W2 | 上行流區，排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| CASE1- UP-W4 | 上行流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE1- UP-W6 | 上行流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE1-UP-W8 | 上行流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| CASE1-DN-W2 | 下洗流區，排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| CASE1-DN-W4 | 下洗流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE1- DN-W6 | 下洗流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE1- DN-W8 | 下洗流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| CASE1-R-W2 | 平行右側流區，排煙口置中，外部風速=2m/s | |
| CASE1-R-W4 | 平行右側流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE1-R-W6 | 平行右側流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE1-R-W8 | 平行右側流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| CASE1-L-W2 | 平行左側流區，排煙口置中，外部風速=2m/s | |
| CASE1-L-W4 | 平行左側流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE1-L-W6 | 平行左側流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE1-L-W8 | 平行左側流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| CASE1-ML-W2 | 平行流區，排煙口偏左，外部風速= 2m/s | |
| CASE1-ML-W4 | 平行流區，排煙口偏左，外部風速= 4m/s | |
| CASE1-ML-W6 | 平行流區，排煙口偏左，外部風速= 6m/s | |

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

| | | |
|-------------|-----------------------|--|
| CASE1-ML-W8 | 平行流區，排煙口偏左，外部風速= 8m/s | |
| CASE1-MR-W2 | 平行流區，排煙口偏右，外部風速= 2m/s | |
| CASE1-MR-W2 | 平行流區，排煙口偏右，外部風速= 4m/s | |
| CASE1-MR-W2 | 平行流區，排煙口偏右，外部風速= 6m/s | |
| CASE1-MR-W2 | 平行流區，排煙口偏右，外部風速= 8m/s | |

(資料來源：本研究整理)

二、特別安全梯間排煙室

(一) 火災劇本

1、火源設定、煙流進入排煙室情況、煙流流量測定、自然排煙口開啟時機等，與緊急昇降機間排煙室相同。

2、外部風條件：本項風速條件仍以建築物正面 10m 外穩態正交風向，初始風速為無風至每秒 8m，風向角依建築物幾何外形及邊界條件設定產生之中間(平行流區)風場，進行模擬。

案例一特別安全梯間排煙室模擬項目統計說明表如表 17 所示。

表 17 案例一（特別安全梯間排煙室）模擬項目統計說明表

| 模擬項目編號 | 條件 | 模擬情況 |
|----------------------------|-----------------------|---------------|
| CASE1-SM-W0 (BASE CASE) | 外部風速= 0m/s | 排煙室溫度， 能見度 |
| CASE1-SM-W2 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| CASE1-SM-W4 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE1-SM-W6 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE1-SM-W8 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |

(資料來源：本研究整理)

三、模擬結果:

綜整表 16 及表 17 各項模擬結果，以高度 1.8m 為基準，擷取溫度及能見度資料，進行下列模擬結果統計：

(一)在相同風速情況下，排煙口設於建築物正面不同位置之性能結果統計如圖 20 至圖 23 所示。(圖例 W0、W2 為風速，圖例末碼 M—平行流區，L-平行左側流區，R-平行右側流區，UP—上行流區，DN-下洗流區)

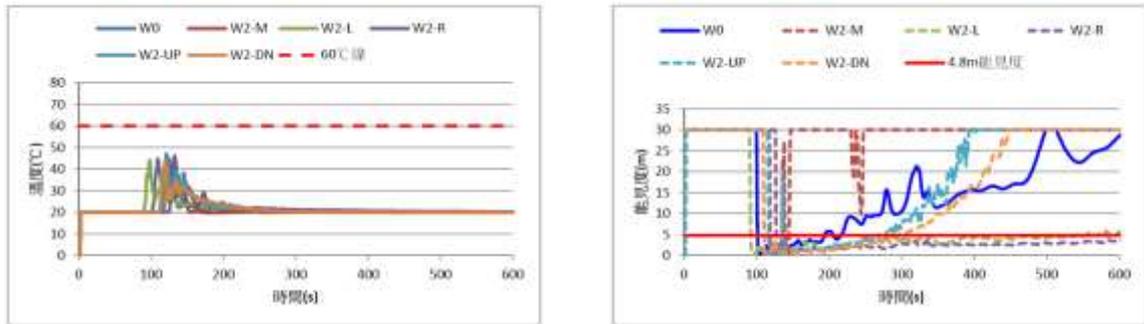


圖 20 外部風速 2m/s—溫度及能見度統計比較

(資料來源：本研究整理)

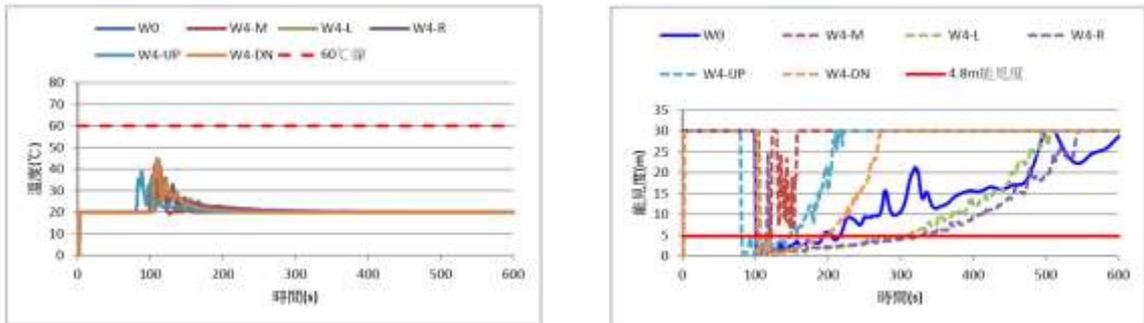


圖 21 外部風速 4m/s—溫度及能見度統計比較

(資料來源：本研究整理)

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

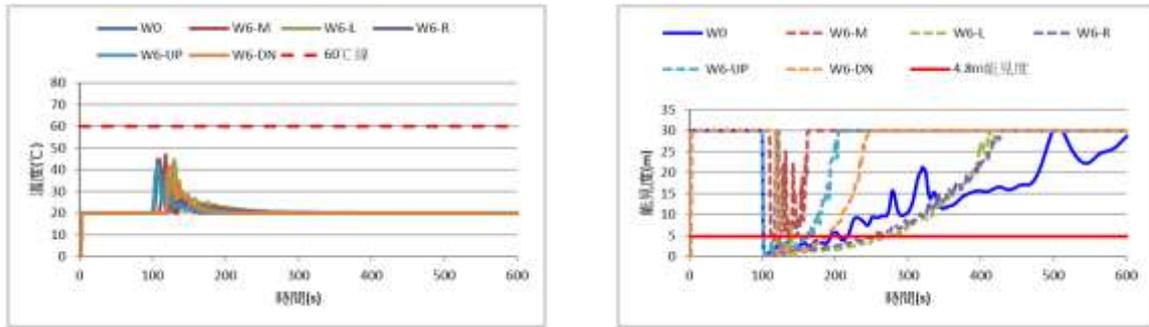


圖 22 外部風速 6m/s—溫度及能見度統計比較

(資料來源：本研究整理)

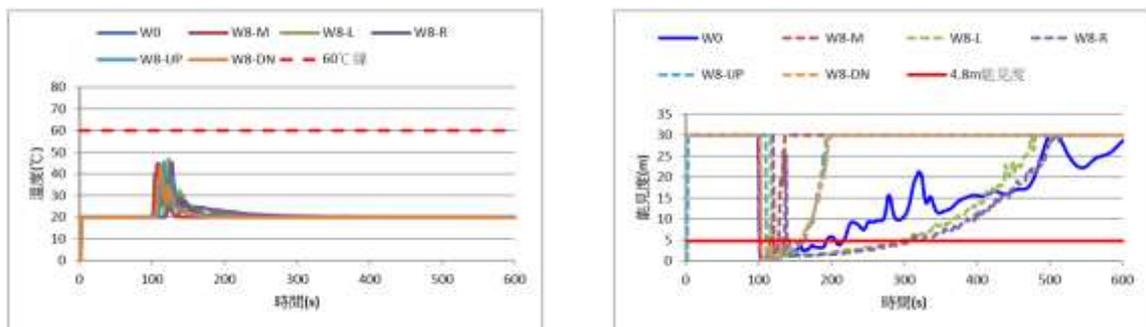


圖 23 外部風速 8m/s—溫度及能見度統計比較

(資料來源：本研究整理)

(二) 在不同風速情況下，排煙口設於相同位置之性能結果統計如圖 24 至圖 28 所示。

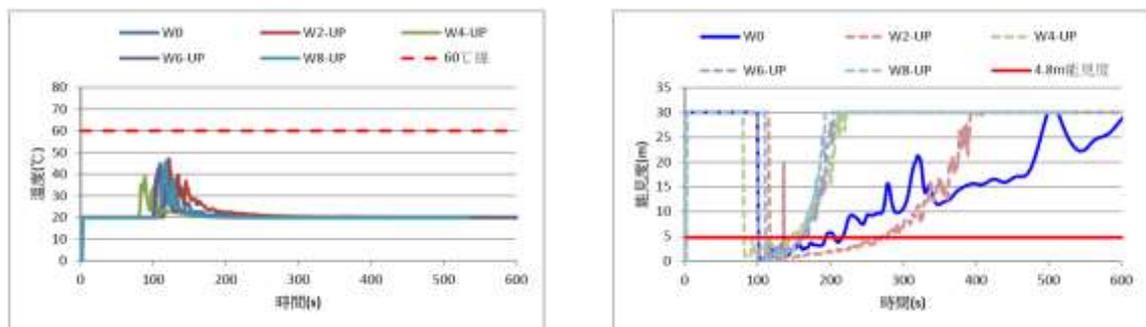


圖 24 上行流區—溫度及能見度統計比較

(資料來源：本研究整理)

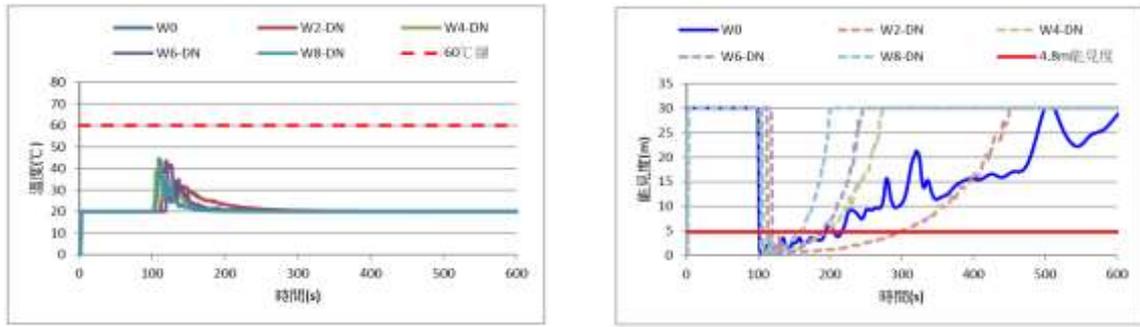


圖 25 下洗流區－溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

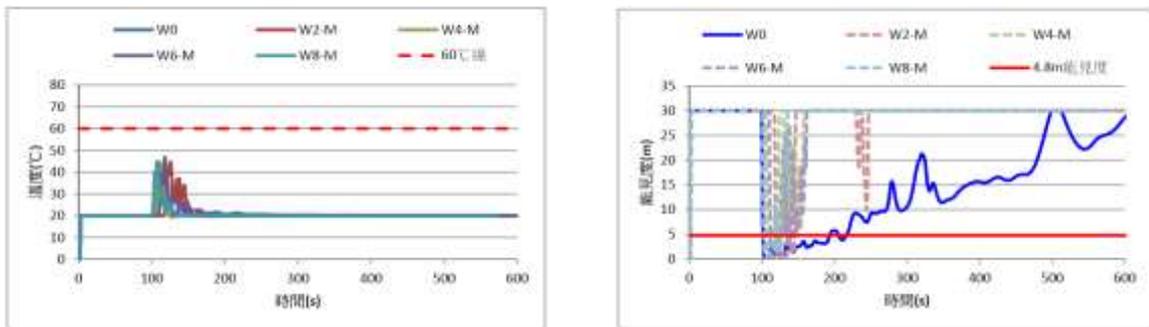


圖 26 平行流區－溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

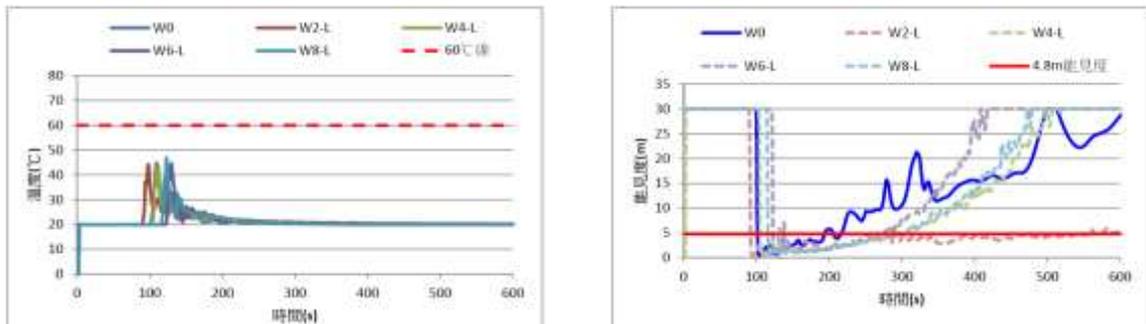


圖 27 平行左側流區－溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

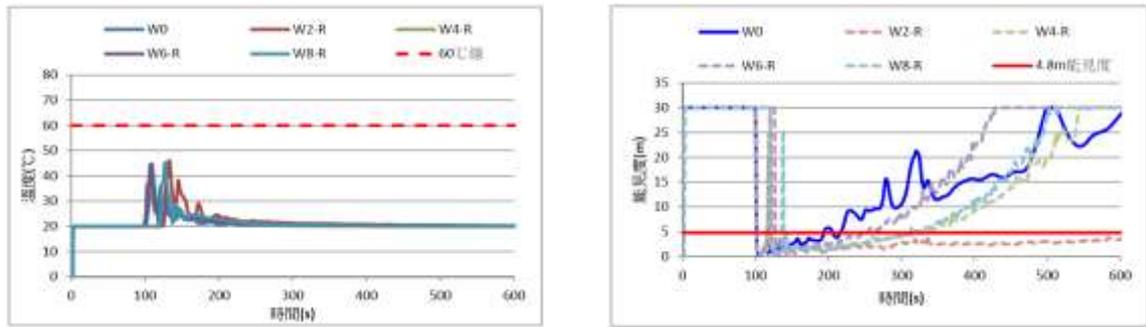


圖 28 平行右側流區－溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

(三) 在不同風速情況下，排煙口在平行流區，設於排煙室長向偏左側位置及右側位置之性能結果統計如圖 29 至圖 30 所示。(圖例 W0、W2 等為風速，圖例末碼 ML—排煙口裝設於長向偏左側位置，MR—排煙口裝設於長向偏右側位置)

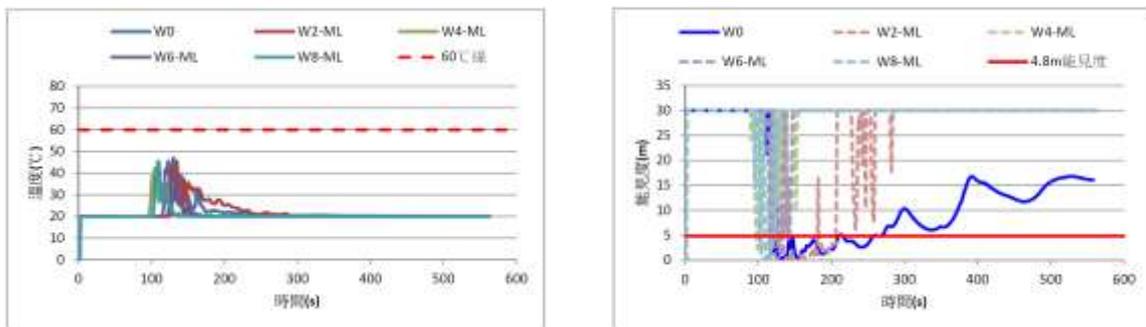


圖 29 平行流區－溫度及能見度統計比較 (長向偏左側位置)
(資料來源：本研究整理)

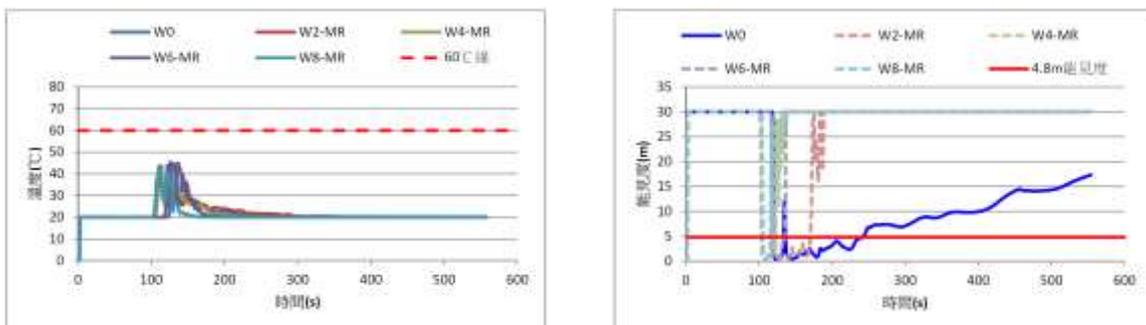


圖 30 平行流區－溫度及能見度統計比較 (長向偏右側位置)
(資料來源：本研究整理)

(四) 特別安全梯間排煙室，在不同風速情況下，排煙口在平行流區，性能結果統計如圖 31 所示。

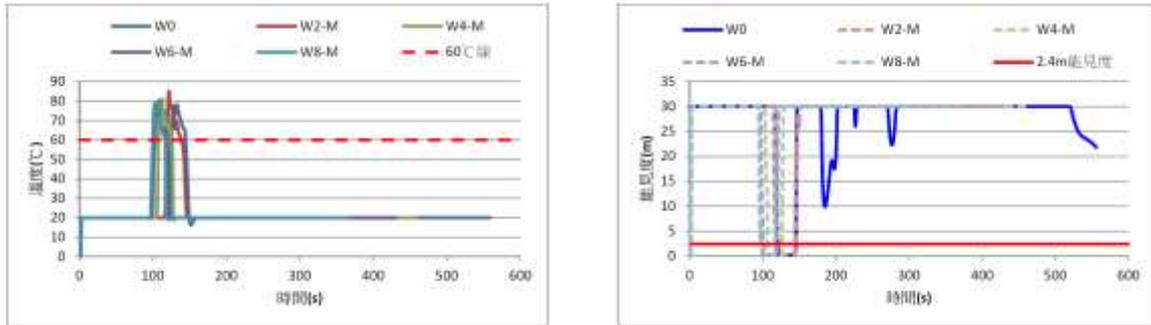


圖 31 平行流區一溫度及能見度統計比較 (特別安全梯間排煙室)

(資料來源：本研究整理)

(五) 特別安全梯間排煙室，在不同風速情況下，外部風效應對排煙室產生之壓力響應情況圖 32 至圖 35 所示。

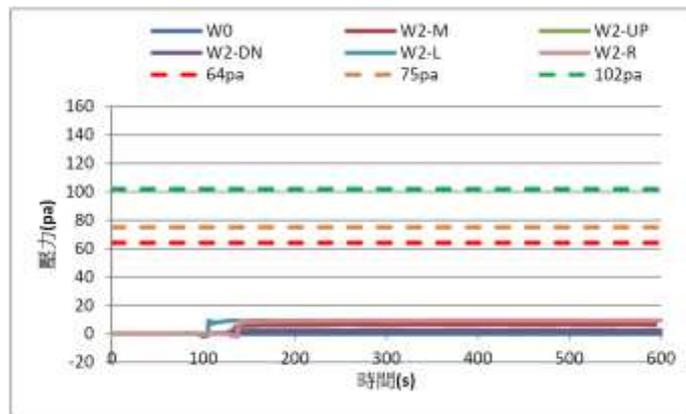


圖 32 外部風速 2m/s—壓力響應情況比較

(資料來源：本研究整理)

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

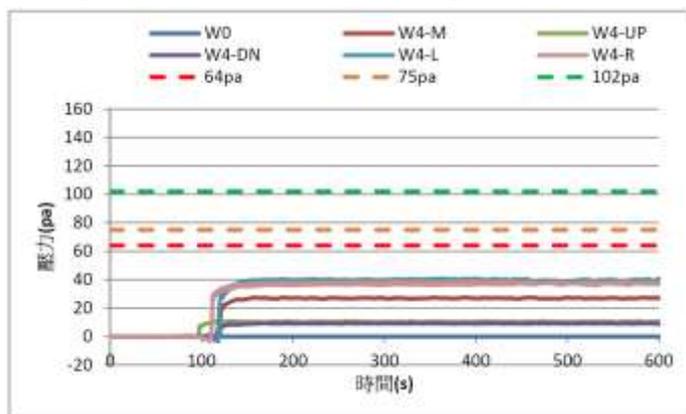


圖 33 外部風速 4m/s—壓力響應情況比較
(資料來源：本研究整理)

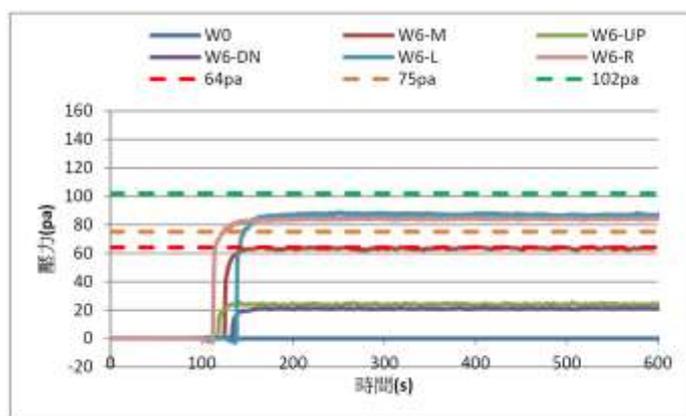


圖 34 外部風速 6m/s—壓力響應情況比較
(資料來源：本研究整理)

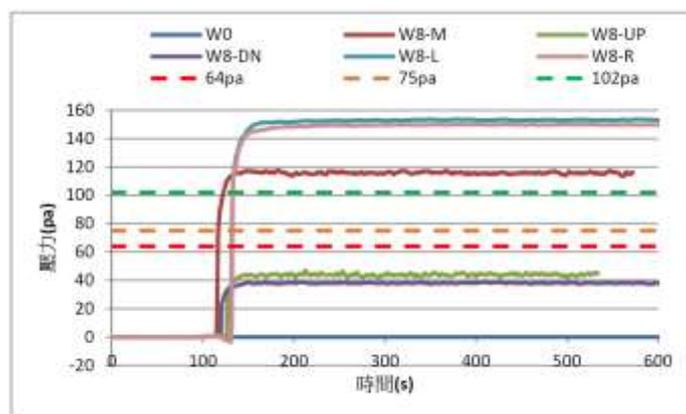


圖 35 外部風速 8m/s—壓力響應情況比較
(資料來源：本研究整理)

5.2.5.2 案例二：短向自然排煙口配置

一、火災劇本

(一) 火源設定、煙流進入排煙室情況、煙流流量測定、自然排煙口開啟時機、外部風條件等，同案例一緊急昇降機間排煙室所示。

案例二模擬項目統計說明表如表 18 所示。

表 18 案例二模擬項目統計說明表

| 模擬項目編號 | 條件 | 模擬情況 |
|-------------------------|-------------------------|---------------|
| CASE2-W0 (BASE CASE) | 外部風速= 0m/s | 排煙室溫度， 能見度 |
| CASE2-M-W2 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| CASE2-M-W4 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE2-M-W6 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE2-M-W8 | 平行流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| CASE2-UP-W2 | 上行流區，排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| CASE2-UP-W4 | 上行流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE2-UP-W6 | 上行流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE2-UP-W8 | 上行流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| CASE2-DN-W2 | 下洗流區，排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| CASE2-DN-W4 | 下洗流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE2-DN-W6 | 下洗流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE2-DN-W8 | 下洗流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| CASE2-R-W2 | 平行右側流區，排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| CASE2-R-W4 | 平行右側流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| CASE2-R-W6 | 平行右側流區，排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| CASE2-R-W8 | 平行右側流區，排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| CASE2-L-W2 | 平行左側流區，排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| CASE2-L-W4 | 平行左側流區，排煙口置中，外部風速= 4m/s | |

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

| | | |
|------------|------------------------|---------------|
| CASE2-L-W6 | 平行左側流區，排煙口置中，外部風速=6m/s | 排煙室溫度， 能見度 |
| CASE2-L-W8 | 平行左側流區，排煙口置中，外部風速=8m/s | |

(資料來源：本研究整理)

二·模擬結果

綜整表 18 各項模擬結果，以高度 1.8m 為基準，擷取溫度及能見度資料，進行下列模擬結果統計：

(一) 在相同風速情況下，排煙口設於建築物正面不同位置之性能結果統計如圖 36 至圖 39 所示。(圖例 W0、W2 為風速，圖例末碼 M-平行流區，L-平行左側流區，R-平行右側流區，UP-上行流區，DN-下洗流區)

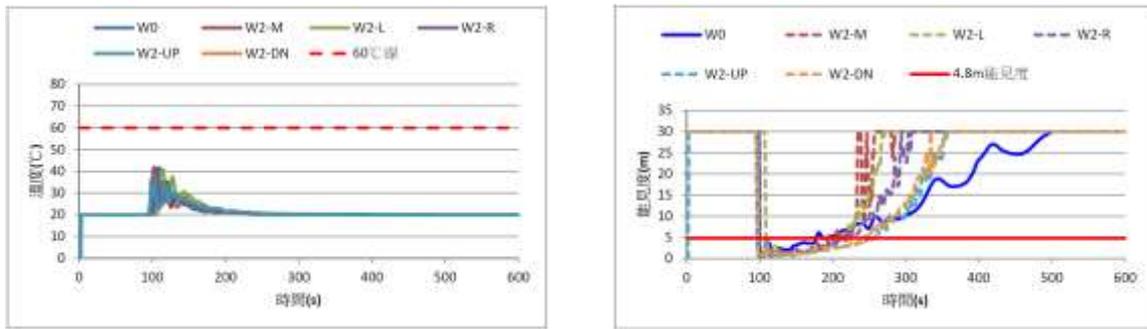


圖 36 外部風速 2m/s—溫度及能見度統計比較

(資料來源：本研究整理)

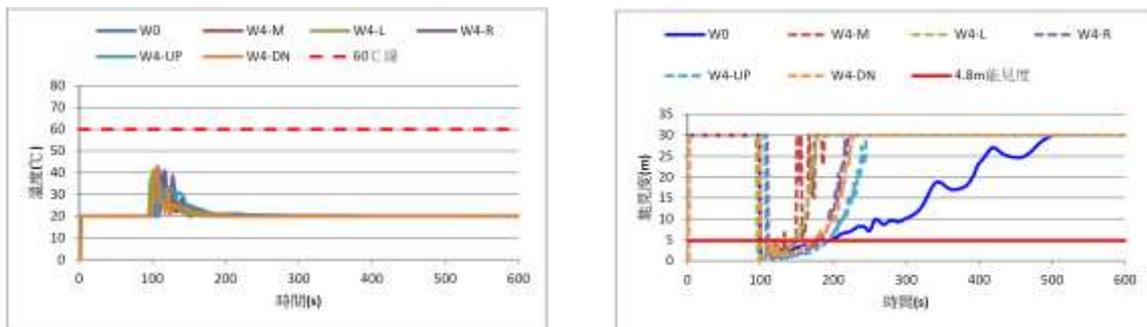


圖 37 外部風速 4m/s—溫度及能見度統計比較

(資料來源：本研究整理)

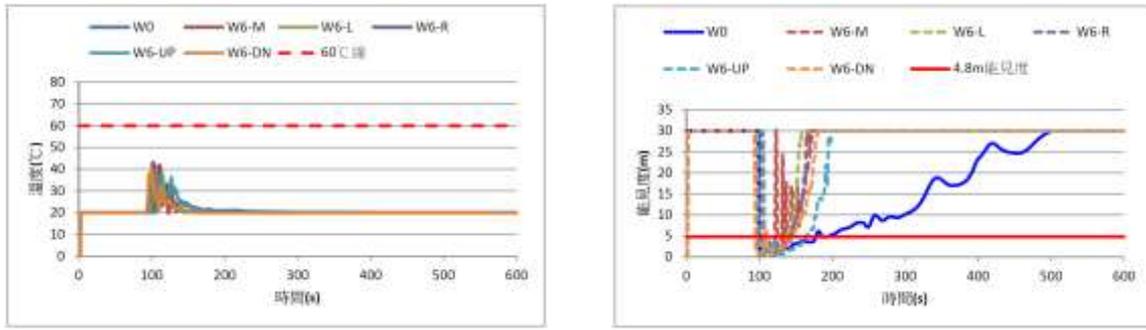


圖 38 外部風速 6m/s—溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

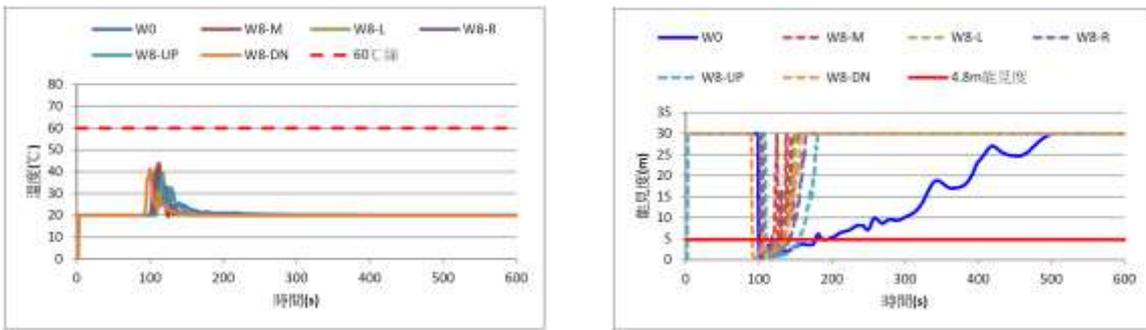


圖 39 外部風速 8m/s—溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

(二) 在不同風速情況下，排煙口設於相同位置之性能結果統計如圖 40 至圖 44 所示。

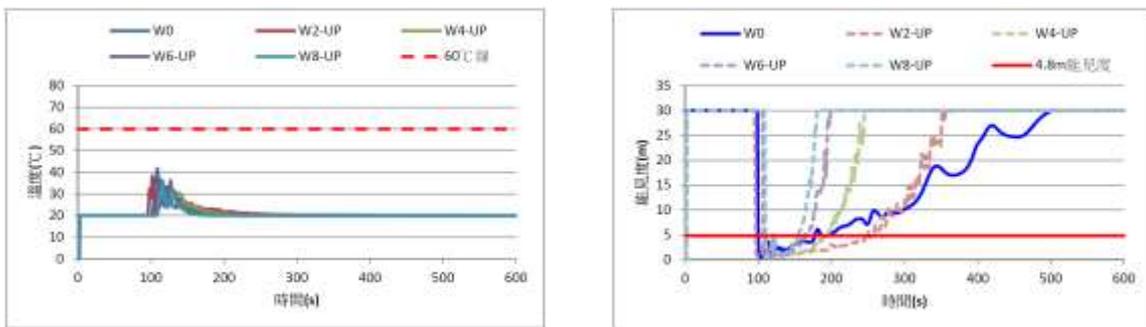


圖 40 上行流區—溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

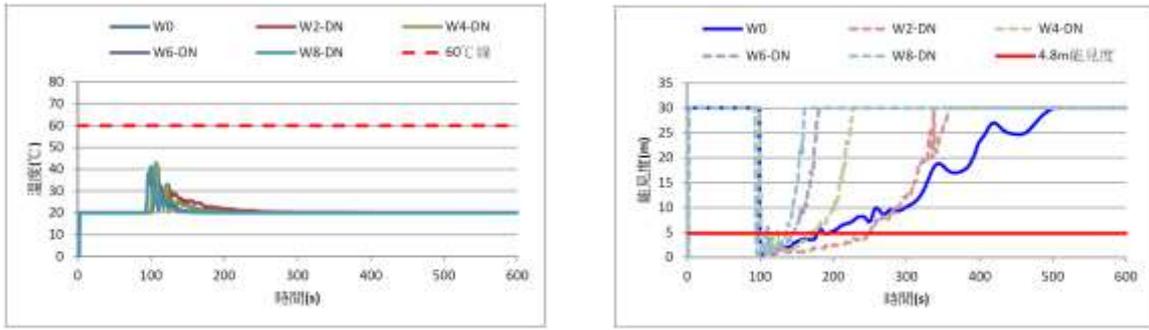


圖 41 下洗流區—溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

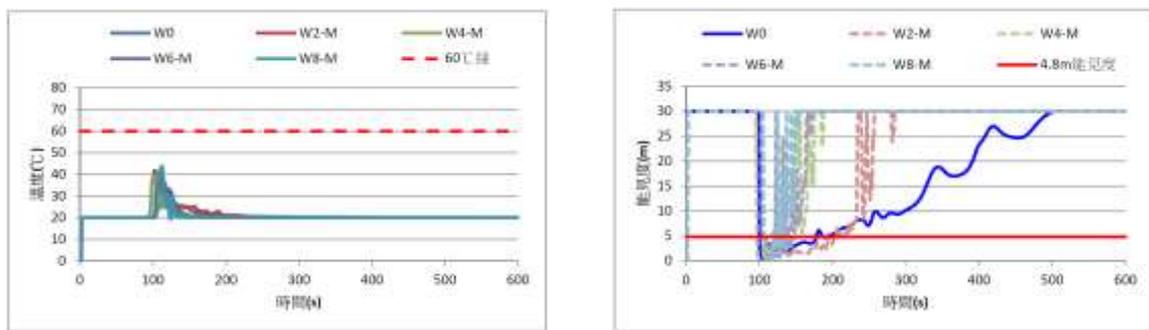


圖 42 平行流區—溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

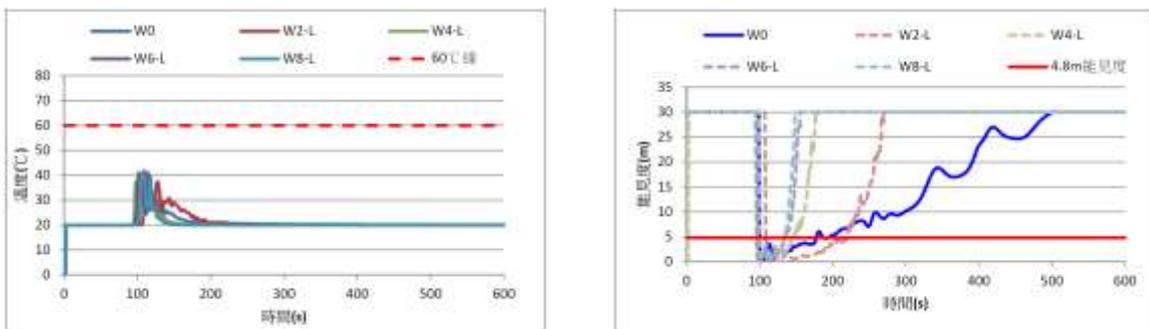


圖 43 平行左側流區—溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

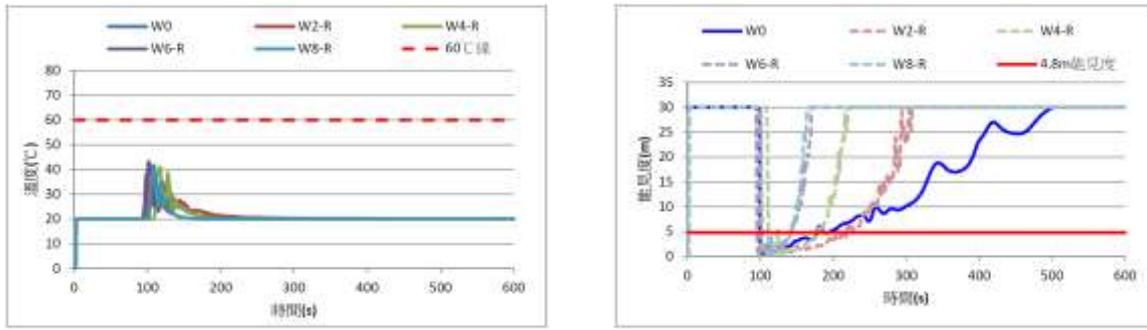


圖 44 平行右側流區—溫度及能見度統計比較
(資料來源：本研究整理)

(三) 在不同風速情況下，外部風效應對排煙室產生之壓力響應情況，如圖 45 至圖 48 所示。

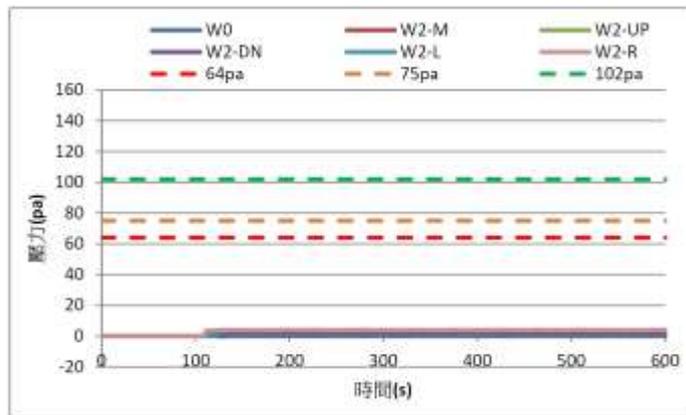


圖 45 外部風速 2m/s—壓力響應情況比較
(資料來源：本研究整理)

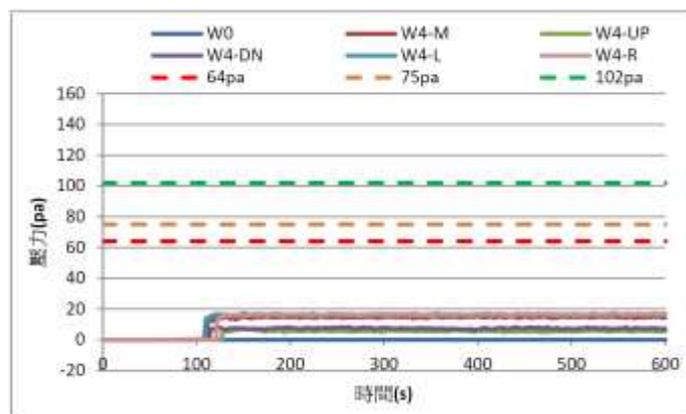


圖 46 外部風速 4m/s—壓力響應情況比較
(資料來源：本研究整理)

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

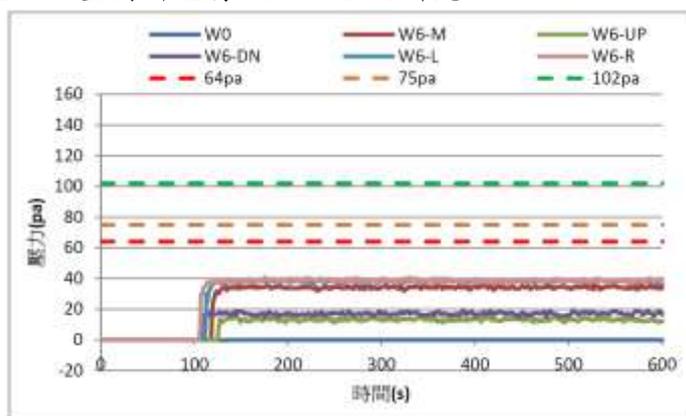


圖 47 外部風速 6m/s—壓力響應情況比較
(資料來源：本研究整理)

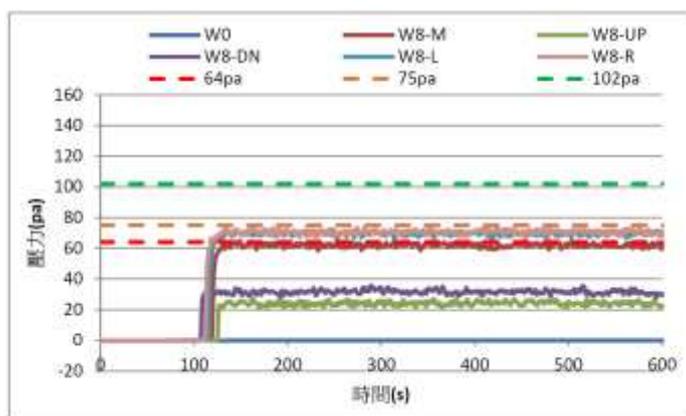


圖 48 外部風速 8m/s—壓力響應情況比較
(資料來源：本研究整理)

第三節 模擬結果分析

依據本研究所需之各項邊界條件及火災劇本設定情況下，經電腦模擬排煙口之性能結果，綜整分析如後：

一、熱浮力及外部風作用對排煙性能之影響：

從各組模擬結果顯示，在有外部風作用情況下，排煙室溫度下降至接近室外溫度時，排煙情況仍持續，顯示外部風作用有助於排煙室排煙性能，且當外部風速愈大時，排煙室內煙流消散呈現愈快速之趨勢。

二、排煙室幾何形狀、排煙口設置位置與排煙性能之相互關係：

從案例一緊急昇降機間排煙室各種排煙口模擬情況，以外部風場流線方向區分為平行流等五個流場區域，設定相同之火災條件情況下，進行排煙性能模擬結果發現，排煙口於建築物外部之設置位置，受外部風影響時之排煙性能，有很大的差異，如圖 20 至圖 28 統計結果顯示，排煙口設置於平行流、上行流、下行流等三區時，受風後之排煙效果明顯優於平行左側流及平行右側流區，尤其以平行流區較佳。

然而，在相同條件下，案例二緊急昇降機間排煙室之模擬情況，如圖 36 至圖 44 所示，各位置之排煙性能無太大差異，但在平行流區，較其他位置有較好的排煙表現。

由上述模擬結果研判，排煙口設置於不同外部位置時，雖因外部風向發生不同的響應，但仍依風速大小產生一定的排煙性能趨勢；然對於排煙室的幾何形狀，反而有較大的響應。

三、排煙口安裝於排煙室長向牆面（置中，偏左，偏右）之排煙性能比較：

以平行流區排煙口進行排煙性能比較結果如圖 29 至圖 30，於置中、偏左、偏右三個位置之排煙性能差異不大。

四、排煙室面積大小對排煙口性能之影響：

案例一特別安全梯間排煙室（小排煙室）模擬結果如圖 31 所示，在設定條件相同之情況下，其排煙性能較案例一緊急昇降機間排煙室（大排煙室）性能良好，其原因有三，其一為較小之排煙室，從火災室進入之煙流流量相對較大面積排煙室少，在法

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

定的排煙口面積設置情況下，相同流率之煙流，可得到較快的排煙效果；其二，較小面積之排煙室，原有室內冷空氣之容積小於大面積排煙室，在初期火災室內入侵之煙流溫度受到冷空氣混合量較少，因此，在排煙窗尚未開啟前，排煙室內有較高之煙流溫度，浮力效應較為顯著；其三，排煙室空間愈小，對於外部風所產生之影響愈大。

五、排煙室對外部風之壓力響應比較：

排煙室防火門兩側壓差大小，與排煙性能雖無直接關係，但會造成避難人員開門力問題，影響人員逃生；本研究各模擬案例之防火門尺寸依實際情況，設定為寬 90cm、高 210cm，此一尺寸，依表 12 所示，其兩側最大容許壓差約在 102Pa 至 64Pa 之間，其壓差差距為關門器之作用力所致，如取其中間值，約為 75Pa。

從案例一圖 32 至圖 35 顯示，各位置之壓力響應隨外部風速上昇而增加，且在平行左側流及平行右側流區，其壓力響應大於其他位置，在風速的限度上，如取 75Pa 之容取壓差中間值為容許之外部風速，則對應圖 33 及圖 34，風速在 4m/s 以下時，可符合上述容許壓差；案例二圖 45 至圖 48 比較結果顯示，各位置之壓力響應在平行流、平行左側流及平行右側流區，其壓力響應大於其他位置，但整體比對小於案例一數值，在 8m/s 風速時亦未超過 75Pa；在二案例整體結果比較顯示，在壓力響應上，案例二（排煙口安裝於短向）較案例一（排煙口安裝於長向）為佳，且以最不利於壓力響應之排煙室情況判斷，可容許之外部風速建議在 4m/s 為宜，其容許高度對應表 11，約為 55m（配合法令建議為 50m）。

六、排煙室煙流容許溫度比較：

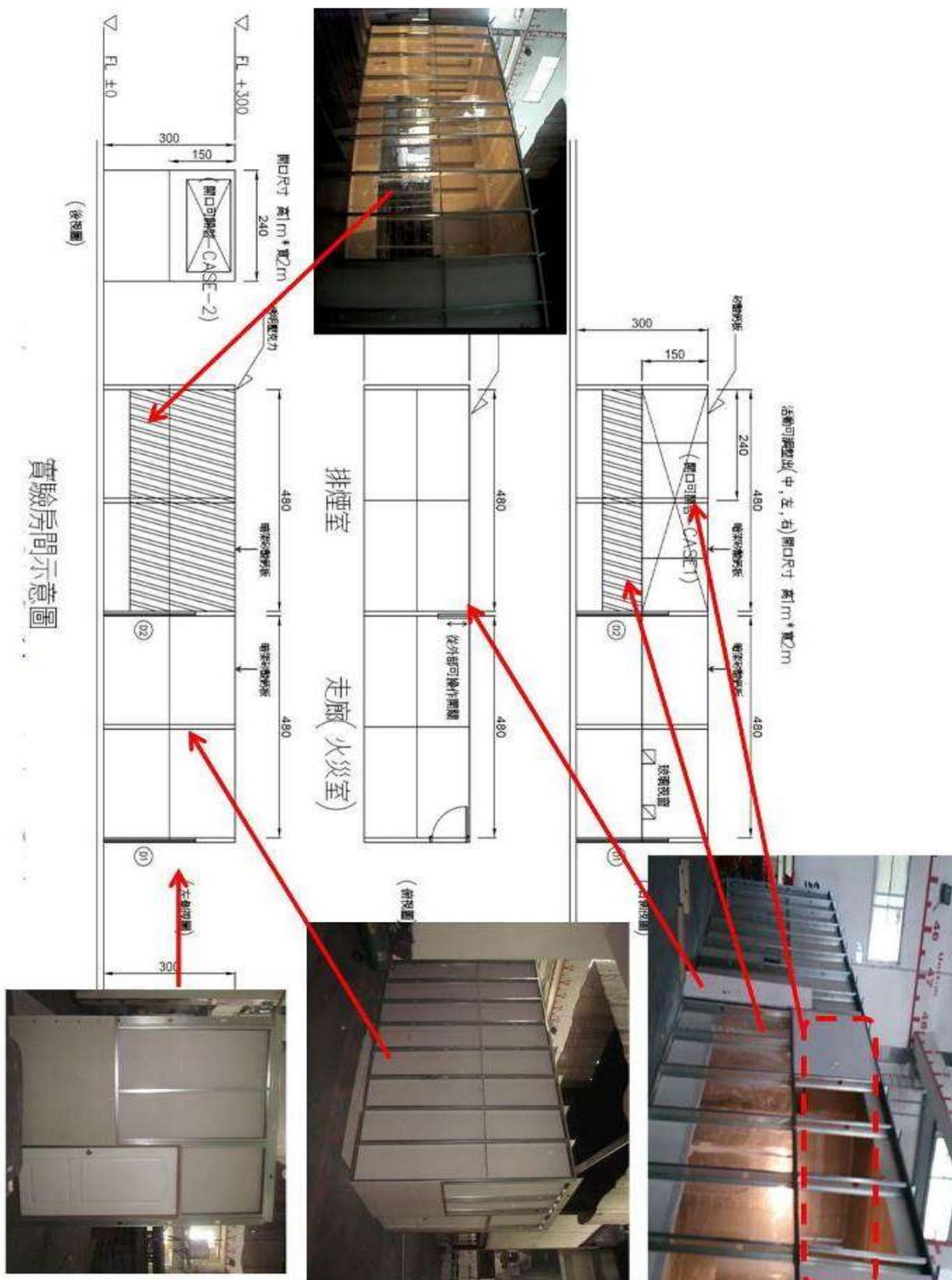
在容許溫度上，1.8m 高度以下除案例一特別安全梯排煙室在排煙口動作前之階段達 80°C 以外，其餘均低於 60°C。

第六章 全尺度模型實驗量測與電腦模擬分析

本研究案排煙室之自然排煙火災煙控全尺度實驗場地，利用內政部建築研究所位於台南歸仁的防火實驗室，進行全尺度模型建置，藉由排煙室入口與開口位置變化(長向、短向)、開門時間與外氣風速的控制，得到火場中各區域溫度分佈、煙氣擴散及照度等情況，進行探討相關排煙室自然排煙設計參數影響。

第一節 實體模型建置說明

全尺度實體模型，依本研究案典型案例轉換成火災煙控全尺度模型進行模擬，全尺度模擬空間配置分為走廊區(起火點)與排煙室兩個隔間，空間設置尺寸為走廊區 2.4m(W) * 4.8m(L) * 3.0m(H)與排煙室 2.4m(W) * 4.8m(L) * 3.0m(H)，兩間空間尺寸採用 1:1 的方式配置。走廊區為模擬火災發生時生成煙的蓄積空間，排煙室為以自然排煙口的方式進行排煙，走廊區與排煙室之間以外拉門控制開啟時間，排煙室開口外部以工業用風扇模擬外氣正面風並搭配變頻器調整風速。走廊與排煙室分別裝設防火玻璃觀測窗與壓克力板，以利於實驗進行時之觀察，於排煙室裝設可拆板調整開口尺寸與面積，以模擬排煙室在不同的使用情形下測試其排煙性能之差異性。(詳圖 49)。



第二節 量測參數及實驗方法

一、實驗儀器，詳圖 51 所示。

(一) 熱電偶 Thermocouple (K TYPE)

於走廊區與排煙室天花板下方，平均距離每 1.2 公尺設置 1 組 K 型熱電耦，以形成熱電耦樹，量測火場之煙層溫度。

(二) 風速計

量測模擬之外氣，藉以控制風機轉速達到模擬不同外氣風速變化之效果。

(三) 火源火盤(火盤尺寸：寬 24 吋*長 33 吋*高 5 吋)

火盤一只並利用柴油(0.5 公升)、95% 甲醇(0.5 公升)與機油(0.05 公升)，模擬真實火場之溫度與煙氣。

(四) 工業風扇

模擬戶外風速用，以正面風模擬外氣，並由變頻器控制調整風速。

(五) 照度計

量測排煙室照度衰退與回復之時間，藉以了解能見度變化情形。

(六) 實驗儀器配置平面，詳圖 50 所示。



圖 51 進行實驗相關器材
(資料來源：本研究整理)

二、實驗流程：如圖 52 所示。

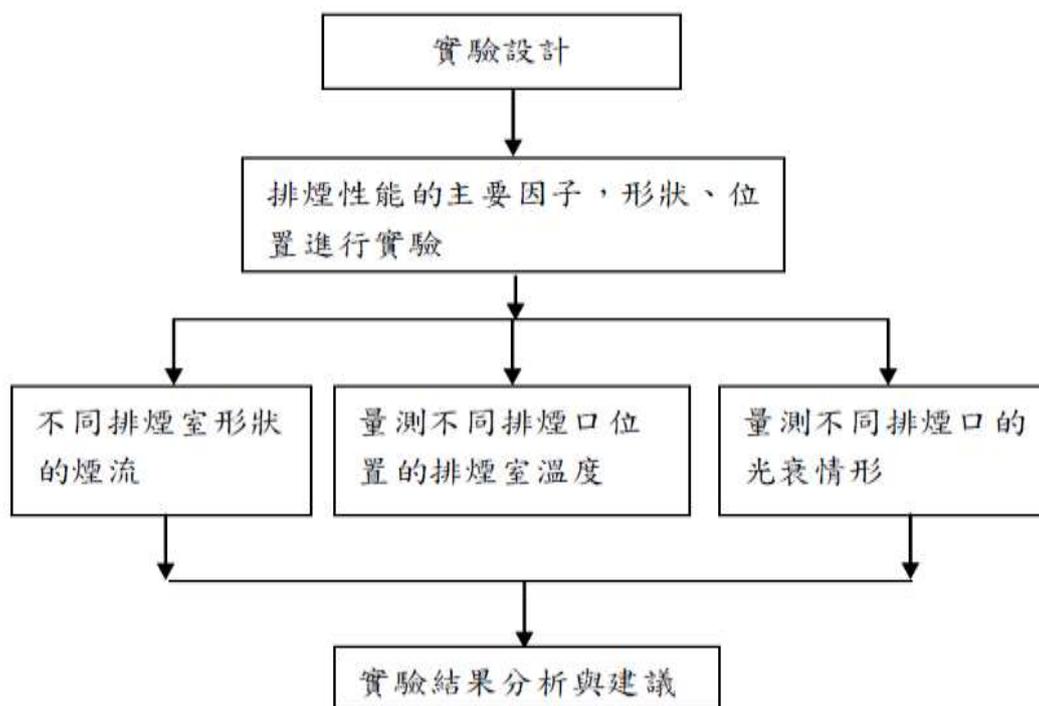


圖 52 全尺度模型實驗流程圖

(資料來源：本研究整理)

三、實驗方法

- (一) 建置實驗實體模型房間，分為走廊與排煙室兩區域。
- (二) 利用火盤，模擬火災時所生成的煙。
- (三) 控制煙生成量與外氣風速改變。
- (四) 分為長向置左、中、右(CASE1-A、B、C)與短向置中(CASE2-A)開口變化，位置詳圖 53 與 54 所示。

活動開口面積皆為
高1m*寬2m

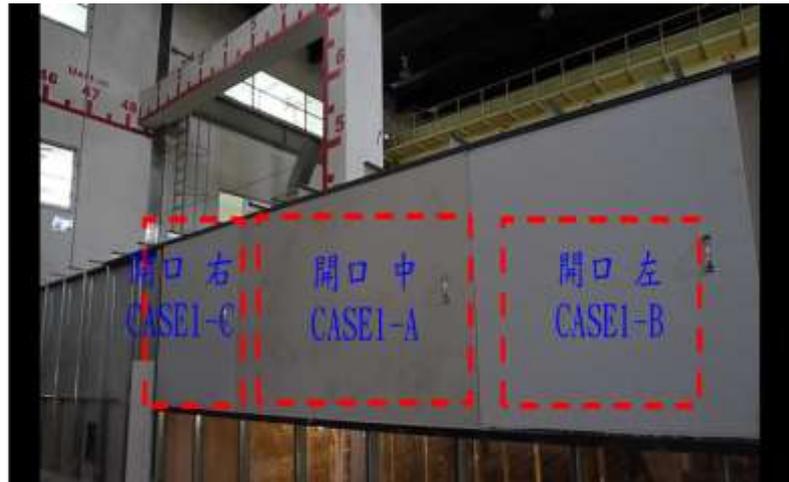


圖 53 長邊(CASE1)開口位置示意圖

(資料來源：本研究整理)

活動開口面積皆為
高1m*寬2m



圖 54 短邊(CASE2)開口位置示意圖

(資料來源：本研究整理)

四、模擬外氣風速調整

模擬外氣風速採用工業風扇與變頻器做為外氣風速變化調整，風機、風速計與排煙口位置之風速量測相關位置點詳圖 55 所示。所測得知數據詳表 19 所示。

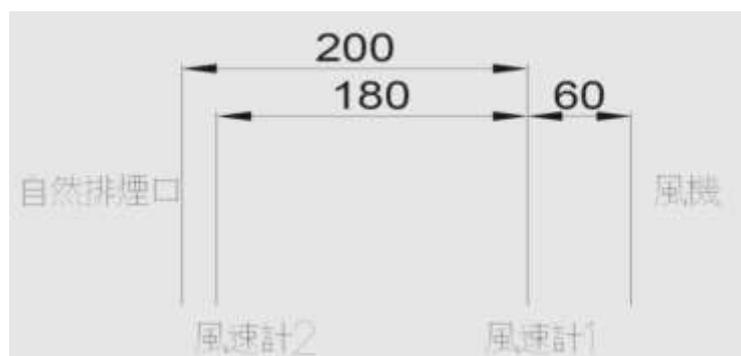


圖 55 外氣風速量測示意圖

(資料來源：本研究整理)

表 19 外氣調整實測數據

| 位置點 | 風速(m/s) | | | |
|-------|---------|------|------|------|
| 風速計 1 | 8 | 6 | 4 | 2 |
| 風速計 2 | 3.35 | 2.58 | 1.68 | 0.76 |

(資料來源：本研究整理)

五、能見度測試說明

能見度測試於排煙室空間內，模擬出口門燈光源採用一發光源代替，並對應三組照度計，安裝高度分別距離地面為 280 公分、180 公分與 80 公分高，利用電腦紀錄照度的衰減與回復情形來計算出能見度的優劣；能見度最高採用 30m 計算，而判斷依據採高度 180 公分為主，優劣標準如表 15 所示，能見度 > 4.8m(排煙室最大長度)以上為佳。

能見度計算，採用蘇崇輝[24]：研究中提到火場許多因素將影響火場的能見度，消光係數 (K) 與火場能見度具有相關性。一些研究探討物品燃燒時的煙的光學密度，採用計算煙的消光係數。根據 Lambert beer 定律，當波長(Wavelength)為 λ 之光束 (Luminous flux) 通過煙層時，光束強度的減弱具有以下關係：

$$I_{\lambda} = I_{\lambda 0} \exp(-KL) \quad (6.1)$$

$I_{\lambda 0}$ ：入射光之強度(cd)

I_{λ} ：透過煙層光之強度(cd)

L：煙層之厚度(m)

K：消光係數(m^{-1})

發光物體在火場能見度(Visibility)與消光係數的關係式如下：

$$K \times S = 3 \quad (6.2)$$

其中 K：消光係數(m^{-1})

S：火場能見度(Visibility)(m)

六、實驗程序說明

本研究案實驗程序，溫度採用高度 180 公分所測得之溫度，進行實驗；自然排煙口的性能優劣判定以人可維生環境為依據，採用高度離地面 1.8 米之溫度低於 60°C 與能見度 4.8m 為基準。

實驗程序：風機風量調整(變頻) → 火災室(走廊)點火 → 火災室溫度超過 150°C 再等溫度降至 150°C → 開門 10 秒 關門後 → 計時 30 秒 打開自然排煙口 → 排煙室降至 32°C (室溫)即停止實驗。

於實驗程序中開門時間採用 10 秒，為模擬火災發生時逃生人員 3-5 人經由防火門進入排煙室及門關閉之時間。

第三節 全尺度實驗模擬實測

火災煙控全尺度實驗模擬，就開口位置的差異性：自然排煙室內分為長向(CASE1)與短向(CASE2)兩個不同方向，長向(CASE1)的部分以開口位置變化再區分為置中(CASE1-A)、置左(CASE1-B)及置右(CASE1-C)三種情境；短向(CASE2)的部分為置中(CASE2-A)；外氣風速的差異性採用 0 m/s、2 m/s、4 m/s、6 m/s、8 m/s 之正面風速。自然排煙口的性能優劣判定以人可維生環境為依據，採用高度離地面 1.8 米之溫度低於 60°C 與能見度 4.8m 為基準。

一、模擬情境說明-長邊(CASE1)

長邊部分以開口位置區分為置中、置左及置右，並搭配風速變化 0 m/s、2 m/s、4 m/s、6 m/s、8 m/s，故長邊(CASE1)實驗情境共 15 種，並在實驗時紀錄溫度與照度數值變化情形，詳表 20 所示。

表 20 模擬情境表-長邊(CASE1)

| 項次 | 模擬項目編號 | 條件 | 量測項目 |
|----|-------------------------|------------------|---|
| 1 | CASE1-A0 (BASE CASE) | 排煙口置中，外部風速= 0m/s | 1、排煙室溫度 2、走廊溫度 3、照度 4、開門時間 10S |
| 2 | CASE1-A1 | 排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| 3 | CASE1-A2 | 排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| 4 | CASE1-A3 | 排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| 5 | CASE1-A4 | 排煙口置中，外部風速= 8m/s | |
| 6 | CASE1-B0 (BASE CASE) | 排煙口靠左，外部風速= 0m/s | |
| 7 | CASE1-B1 (離出入口最遠) | 排煙口靠左，外部風速= 2m/s | |
| 8 | CASE1-B2 (離出入口最遠) | 排煙口靠左，外部風速= 4m/s | |
| 9 | CASE1-B3 (離出入口最遠) | 排煙口靠左，外部風速= 6m/s | |
| 10 | CASE1-B4 (離出入口最遠) | 排煙口靠左，外部風速= 8m/s | |
| 11 | CASE1-C0 (BASE CASE) | 排煙口靠右，外部風速= 0m/s | |
| 12 | CASE1-C1 (靠出入口側) | 排煙口靠右，外部風速= 2m/s | |
| 13 | CASE1-C2 (靠出入口側) | 排煙口靠右，外部風速= 4m/s | |
| 14 | CASE1-C3 (靠出入口側) | 排煙口靠右，外部風速= 6m/s | |
| 15 | CASE1-C4 (靠出入口側) | 排煙口靠右，外部風速= 8m/s | |

(資料來源：本研究整理)

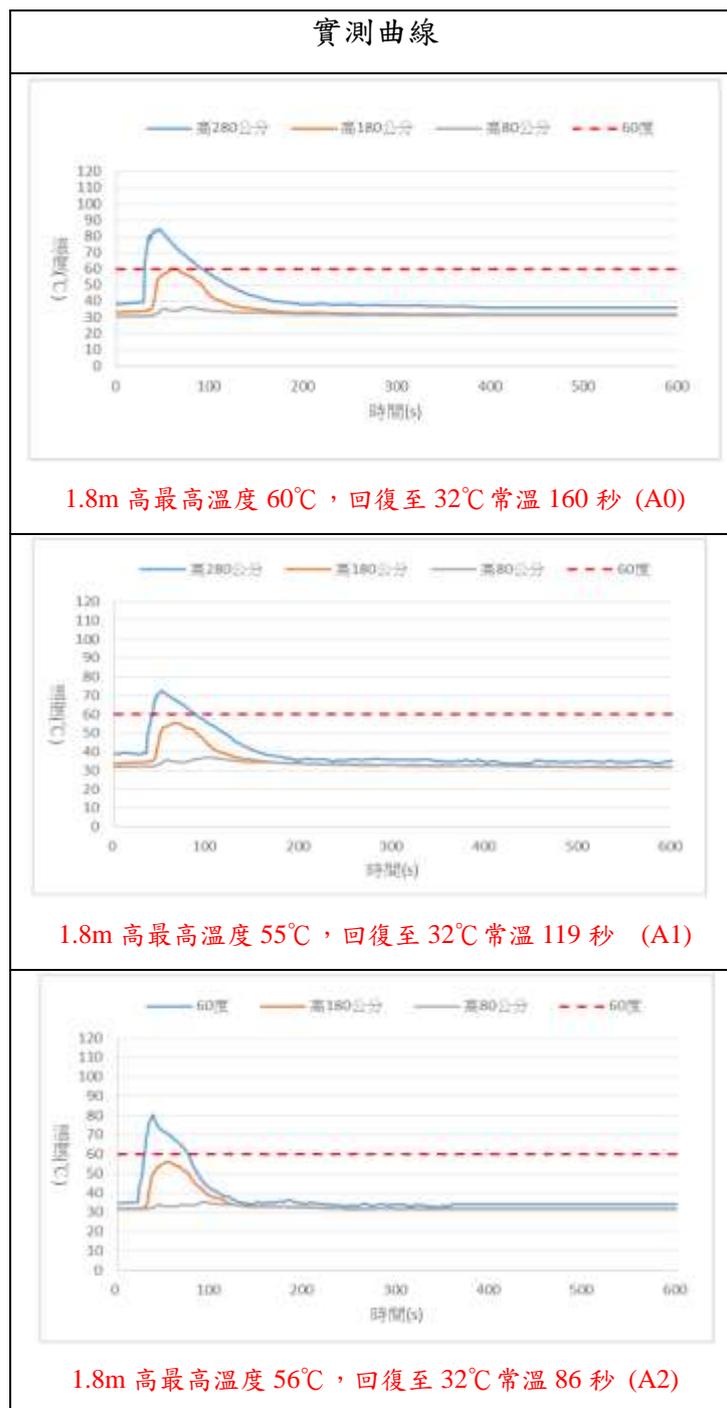
二、實測溫度與能見度曲線圖

(一) 排煙室溫度

1. 長向(CASE1-A)排煙室溫度

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

開口置中之情境，測試結果發現排煙室在無外氣風速影響時，測得位於離地面 180 公分處之最高溫度為 60°C，當有外氣風進入排煙室時，對於排煙室的溫度較有利於人員逃生避難條件，而以外氣風速 8m/s 最高溫度為 43°C，溫度從 43°C 降至 32°C(室溫) 的時間約 35 秒特別明顯，詳圖 56 所示。



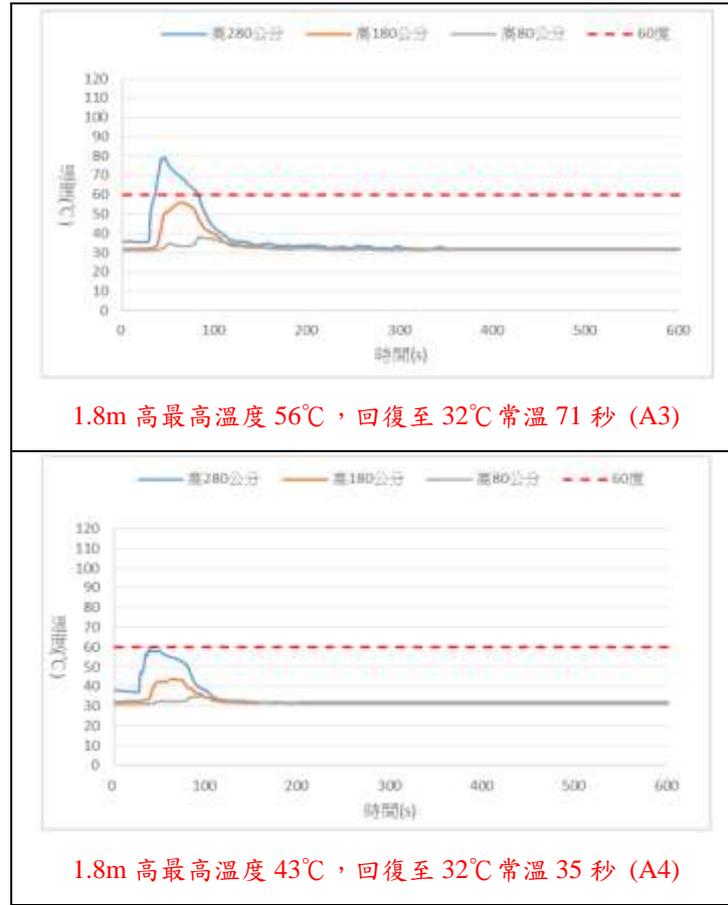
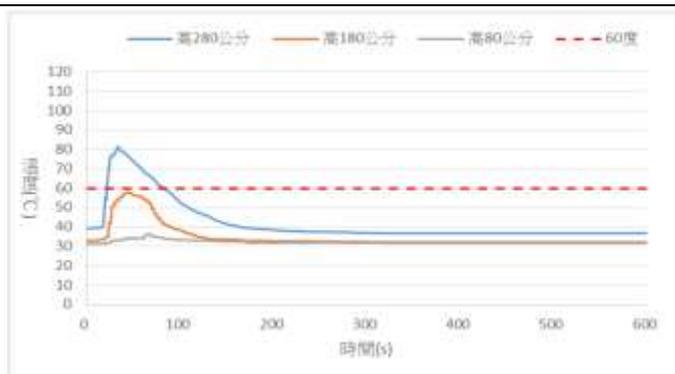


圖 56 長向(CASE1-A)排煙室溫度曲線圖
(資料來源：本研究整理)

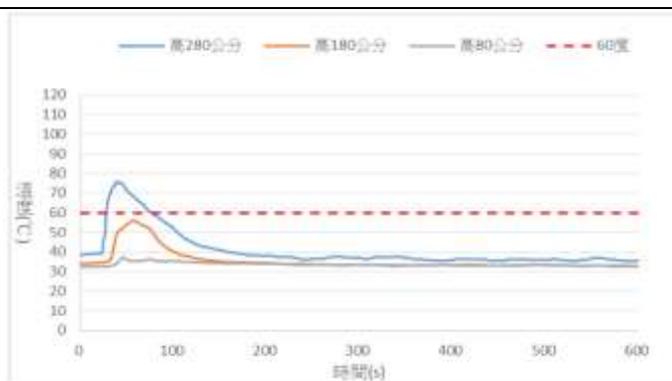
2. 長向(CASE1-B)排煙室溫度

開口置左之情境，測試結果發現排煙室在這組實測數值中，無論有無外氣風的影響最高溫度為 58-55°C，與 CASE1-A 相比較下對於排煙室的溫度較不利於人員逃生避難條件，而以外氣風速 8m/s 最高溫度為 55°C，溫度從 55°C 降至 32°C(室溫)的時間約 81 秒，詳圖 57 所示。

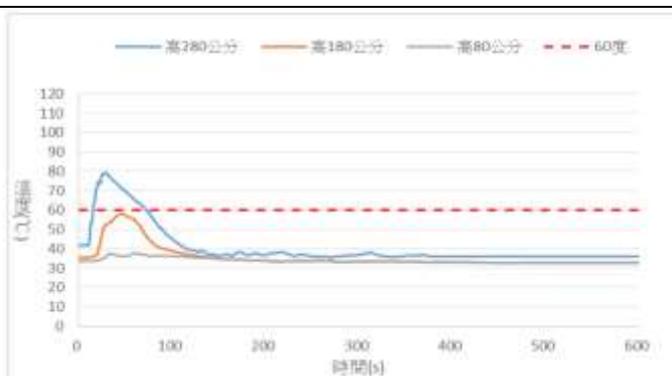
實測曲線



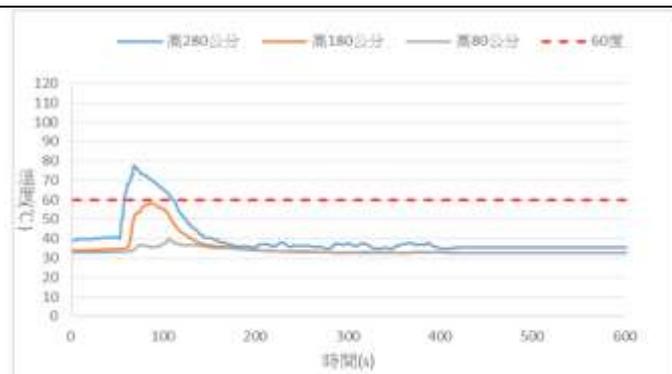
1.8m 高最高溫度 57°C，回復至 32°C 常溫 142 秒 (B0)



1.8m 高最高溫度 55°C，回復至 32°C 常溫 187 秒 (B1)



1.8m 高最高溫度 57°C，回復至 32°C 常溫 134 秒 (B2)



1.8m 高最高溫度 58°C，回復至 32°C 常溫 126 秒 (B3)

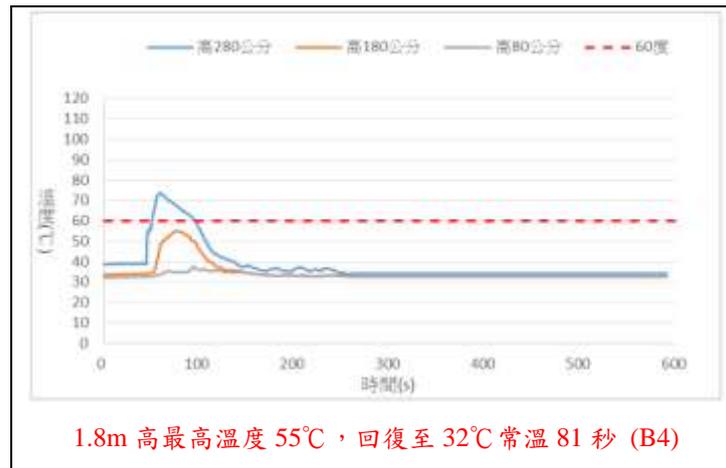
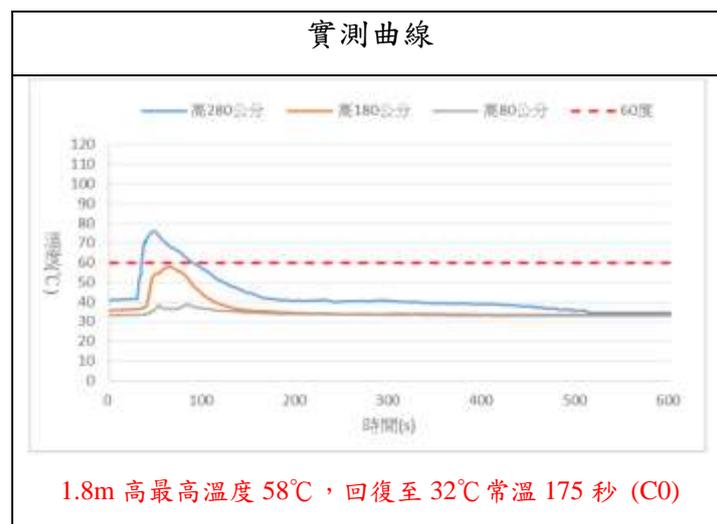


圖 57 長向(CASE1-B)排煙室溫度曲線圖
(資料來源：本研究整理)

3 · 長向(CASE1-C)排煙室溫度

開口置右之情境，測試結果發現排煙室溫度情形與 CASE1-B 類似，無論有無外氣風的影響，測得位於離地面 180 公分處最高溫度為 59-55°C，與 CASE1-A 相比較下對於排煙室的溫度較不利於人員逃生避難條件，而以外氣風速 8m/s 最高溫度為 57°C，溫度從 57°C 降至 32°C(室溫)的時間約 76 秒，詳圖 58 所示。



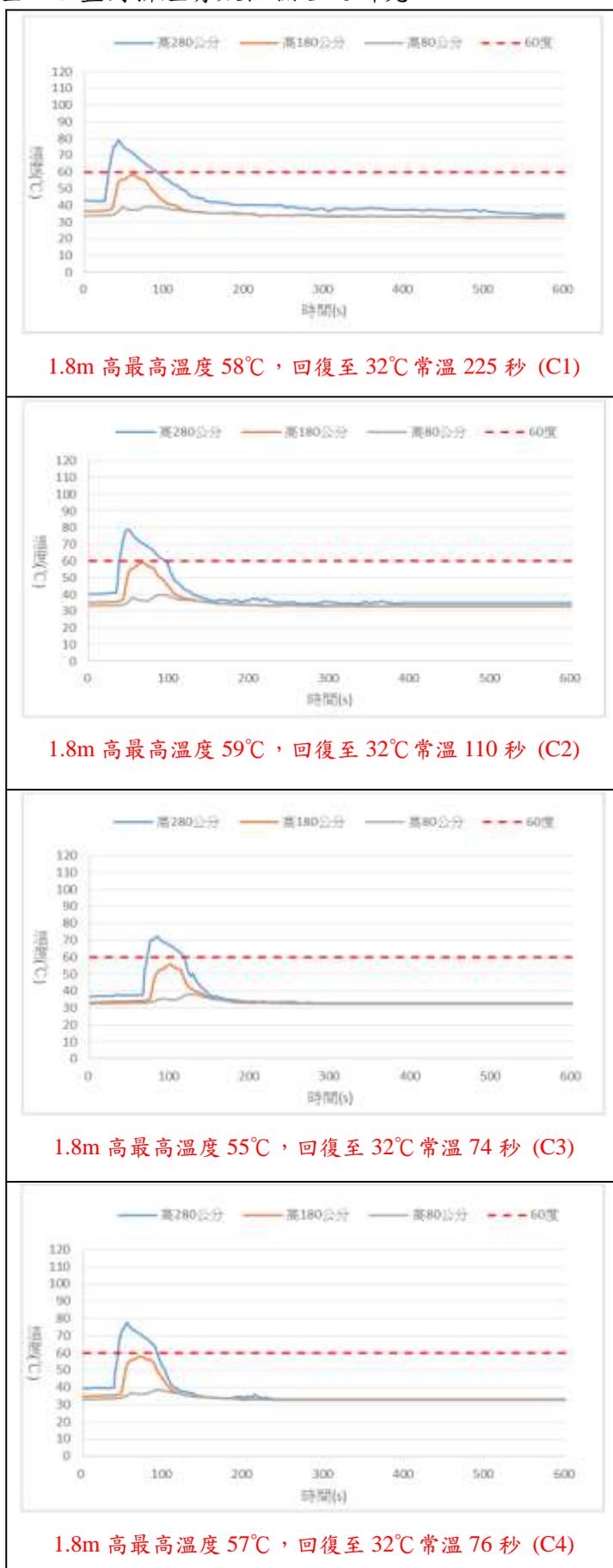


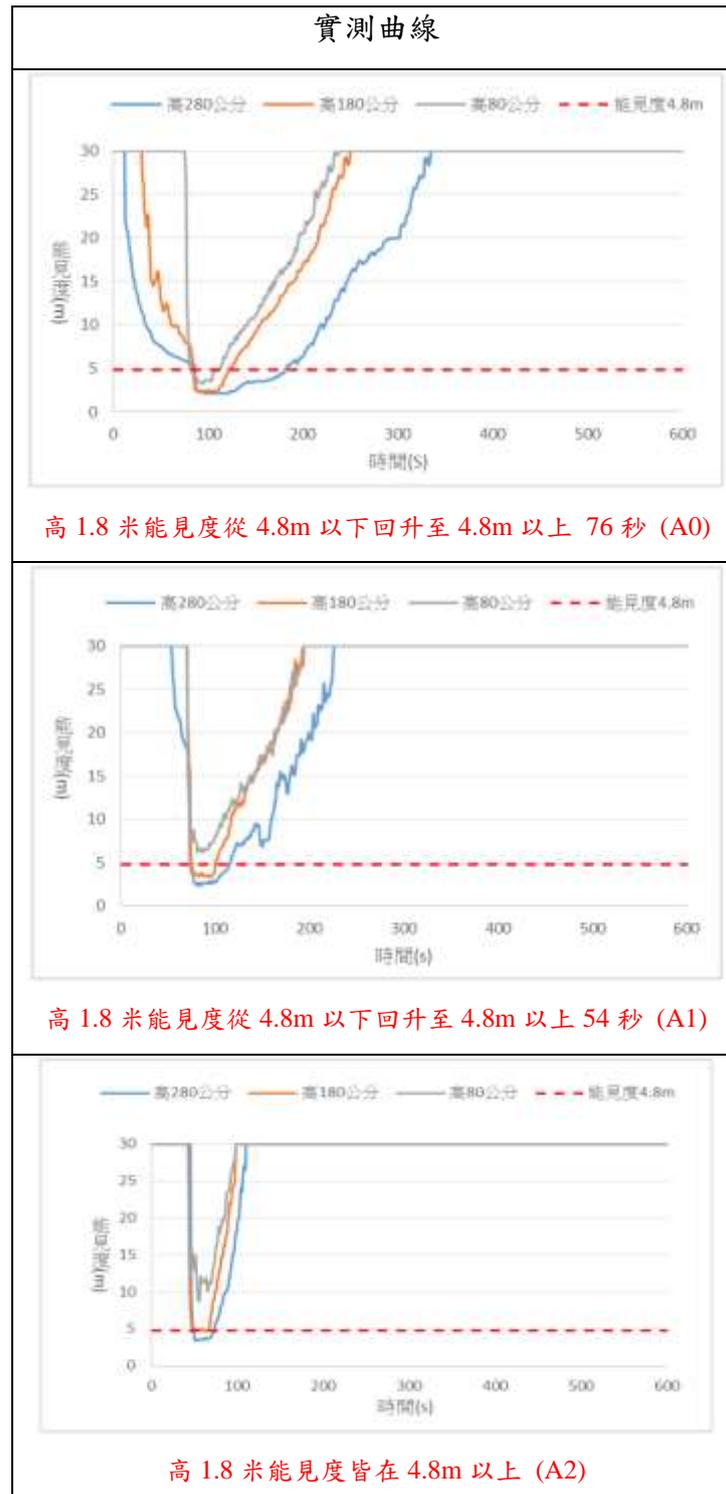
圖 58 長向(CASE1-C)排煙室溫度曲線圖

(資料來源：本研究整理)

(二) 能見度

1. 長向(CASE1-A)排煙室能見度

開口置中之情境，測試結果發現排煙室能見度在無外氣風速影響時，測得位於離地面高 180 公分處能見度，從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上回復時間約 76 秒，當有外氣風進入排煙室時，對於排煙室的能見度較有利於人員逃生避難條件，而以外氣風速 8m/s 時能見度均維持在 4.8m 以上特別明顯，詳圖 59 所示。



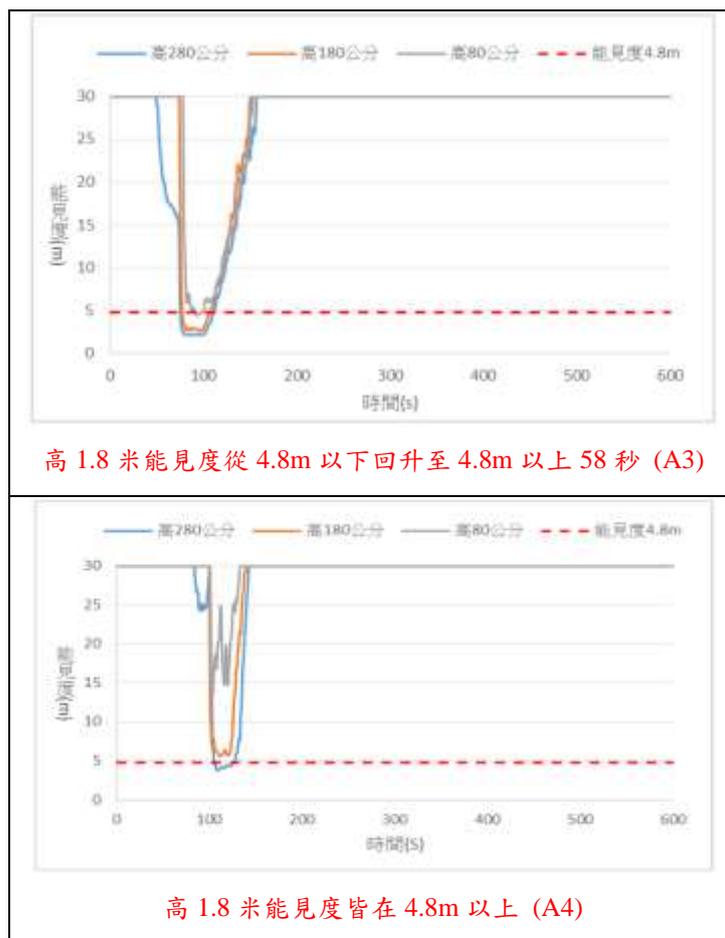


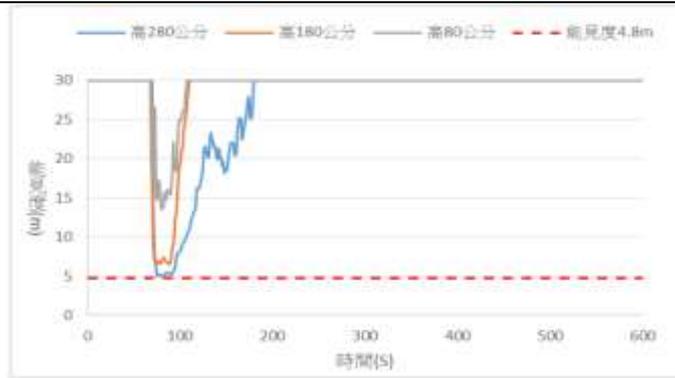
圖 59 長向(CASE1-A)排煙室能見度曲線圖

(資料來源：本研究整理)

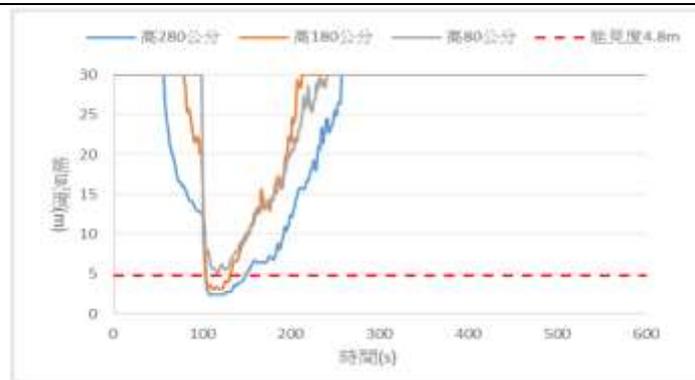
2 · 長向(CASE1-B)排煙室能見度

開口置左之情境，測試結果發現排煙室能見度在無外氣風速影響時，測得位於離地面高 180 公分處能見度皆在 4.8m 以上，相對之下反而當有外氣風進入排煙室時，對於排煙室的能見度的改善較無明顯之差異，詳圖 60 所示。

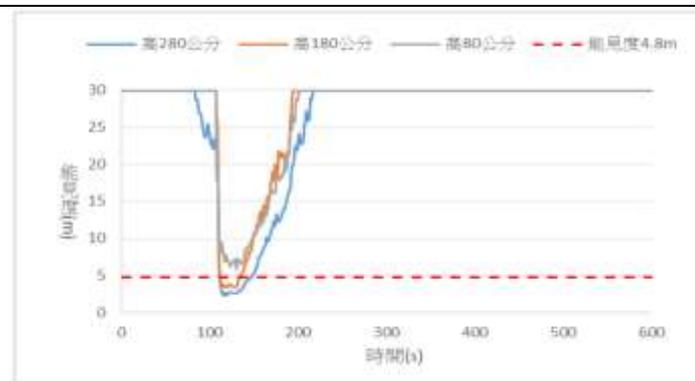
實測曲線



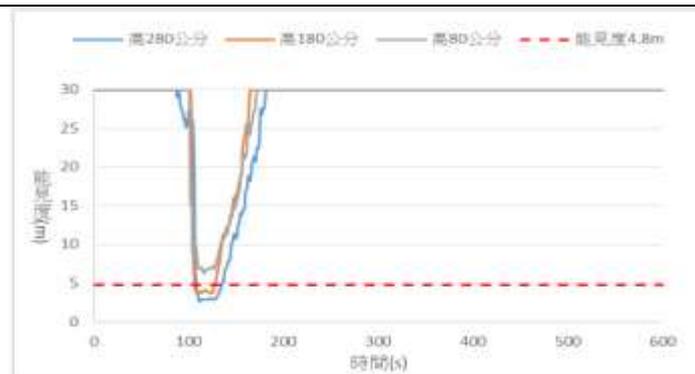
高 1.8 米能見度皆在 4.8m 以上 (B0)



高 1.8 米能見度從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上 56 秒 (B1)



高 1.8 米能見度從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上 44 秒 (B2)



高 1.8 米能見度從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上 42 秒 (B3)

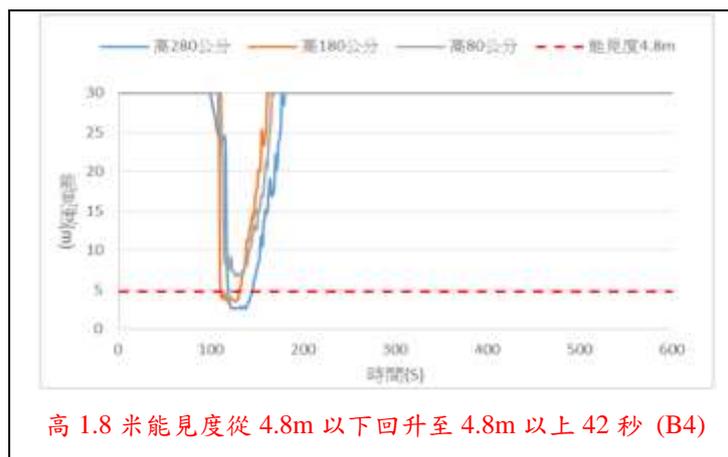
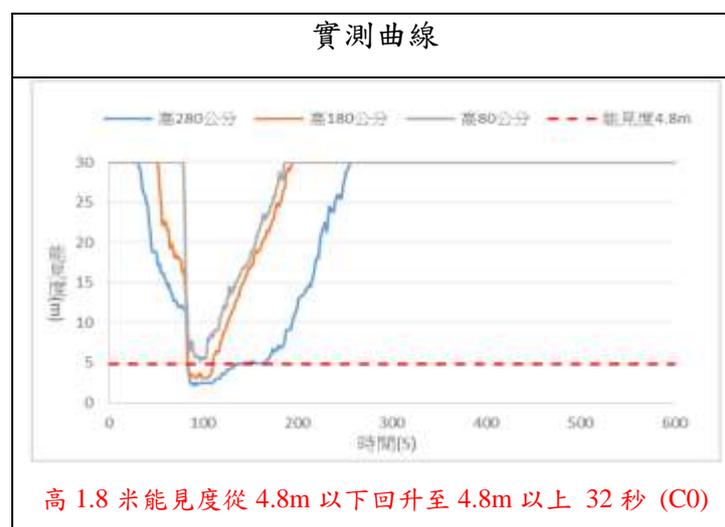


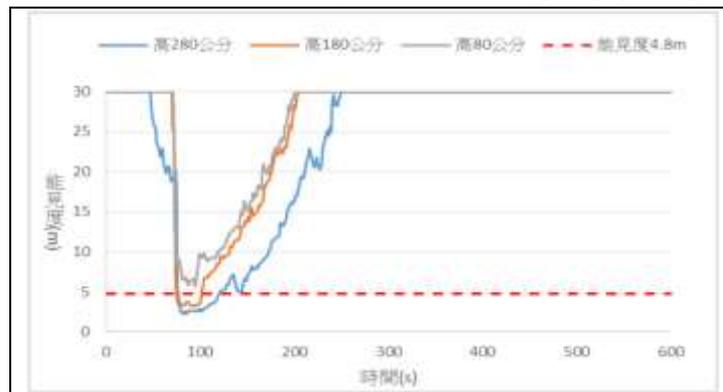
圖 60 長向(CASE1-B)排煙室能見度曲線圖

(資料來源：本研究整理)

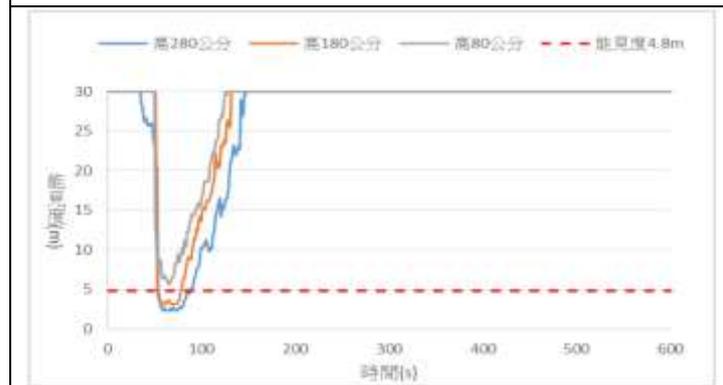
3 · 長向(CASE1-C)排煙室能見度

開口置右之情境，測試結果發現排煙室能見度在有無外氣風速影響時，測得位於離地面高 180 公分處能見度皆有在 4.8m 以下的情形發生，當有外氣風進入排煙室時，反而對於排煙室的能見度的改善較不利，詳圖 61 所示。

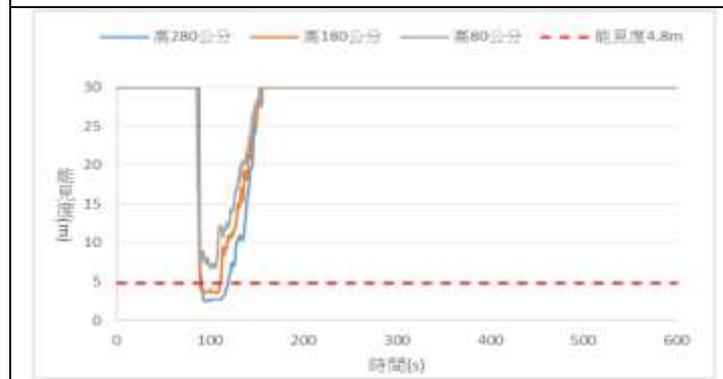




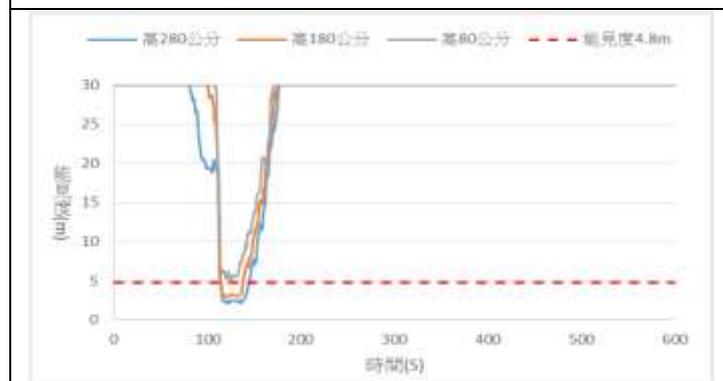
高 1.8 米能見度從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上 54 秒 (C1)



高 1.8 米能見度從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上 40 秒 (C2)



高 1.8 米能見度從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上 42 秒 (C3)



高 1.8 米能見度從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上 48 秒 (C4)

圖 61 長向(CASE1-C)排煙室能見度曲線圖
(資料來源：本研究整理)

三、模擬說明-短邊(CASE2)

短邊部分以開口置中，並搭配風速變化 0 m/s、2 m/s、4 m/s、6 m/s、8 m/s，故短邊(CASE2)實驗情境共 5 種，並在實驗時紀錄溫度與照度數值變化情形，詳表 21 所示。

表 21 模擬情境表-短邊(CASE2)

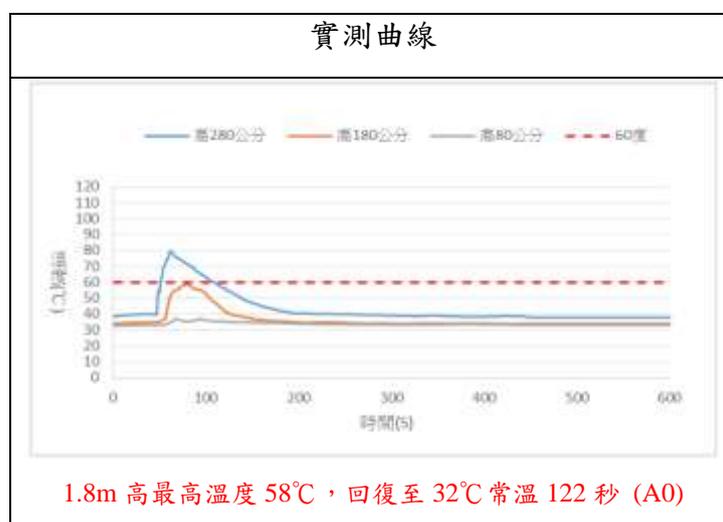
| 項次 | 模擬項目編號 | 條件 | 量測項目 |
|----|-------------------------|------------------|---|
| 1 | CASE2-A0 (BASE CASE) | 排煙口置中，外部風速= 0m/s | 1、排煙室溫度 2、走廊溫度 3、照度 4、開門時間 10S |
| 2 | CASE2-A1 | 排煙口置中，外部風速= 2m/s | |
| 3 | CASE2-A2 | 排煙口置中，外部風速= 4m/s | |
| 4 | CASE2-A3 | 排煙口置中，外部風速= 6m/s | |
| 5 | CASE2-A4 | 排煙口置中，外部風速= 8m/s | |

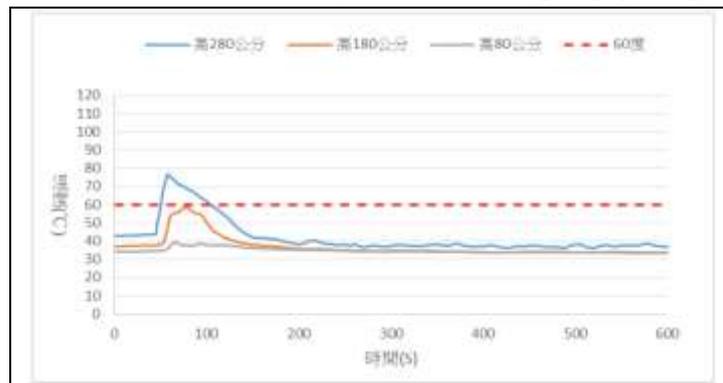
(資料來源：本研究整理)

四、實測溫度與能見度曲線圖

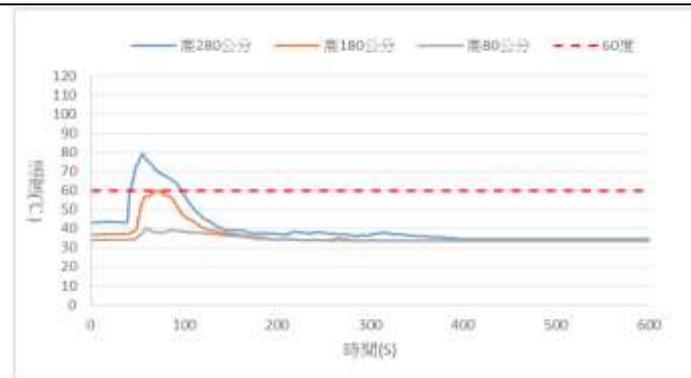
(一) 短邊(CASE2-A)排煙室溫度

位於短邊開口置中之情境，測試結果發現排煙室在有無外氣風速影響時，測得位於離地面 180 公分處之最高溫度為 56-60°C，當有外氣風進入排煙室時，以外氣風速 8m/s 最高溫度為 56°C，溫度從 56°C 降至 32°C(室溫)的時間約 98 秒，故無特別明顯差異，詳圖 62 所示。

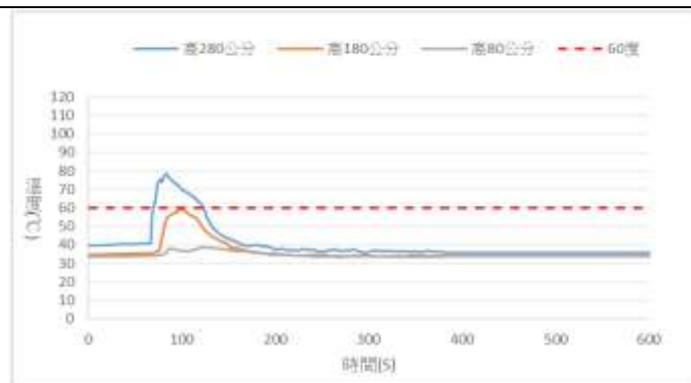




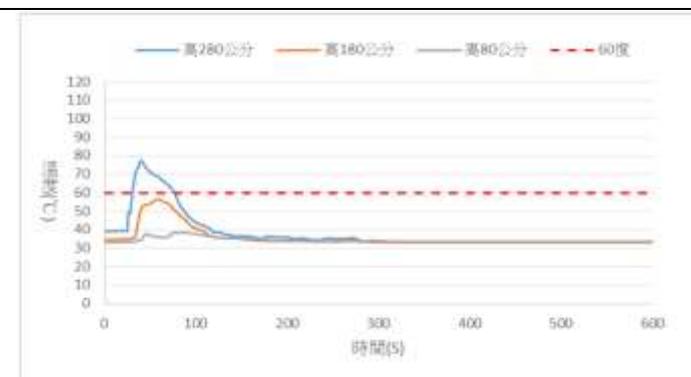
1.8m 高最高溫度 58°C，回復至 32°C 常溫 173 秒 (A1)



1.8m 高最高溫度 60°C，回復至 32°C 常溫 118 秒 (A2)



1.8m 高最高溫度 59°C，回復至 32°C 常溫 105 秒 (A3)

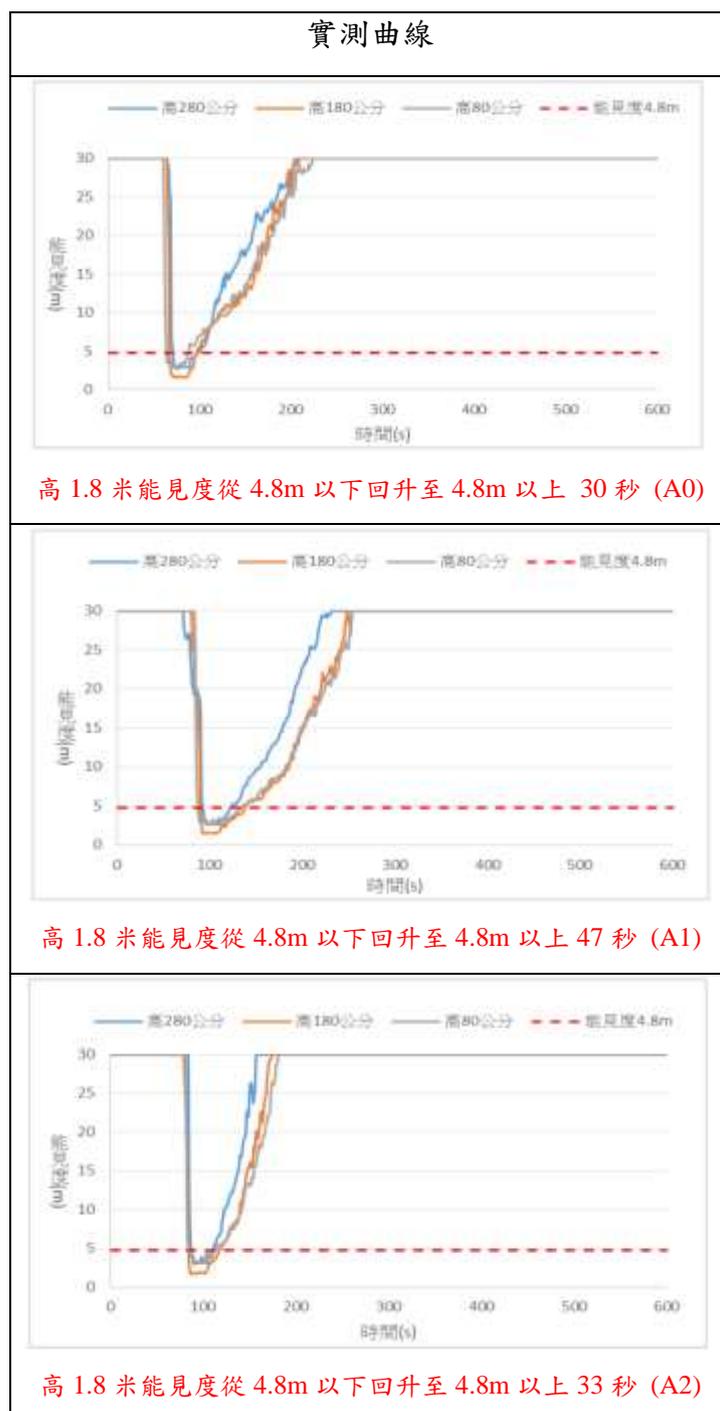


1.8m 高最高溫度 56°C，回復至 32°C 常溫 98 秒 (A4)

圖 62 短向(CASE2-A)排煙室溫度曲線圖
(資料來源：本研究整理)

(二) 短邊(CASE2-A)排煙室能見度

位於短邊開口置中之情境，測試結果發現排煙室能見度在有無外氣風速影響時，皆有在 4.8 公尺以下的情形，而從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上回復時間約 30-47 秒之間，在無外氣時相較下當有外氣風進入排煙室時，對於排煙室的能見度的改善效果較無益助，詳圖 63 所示。



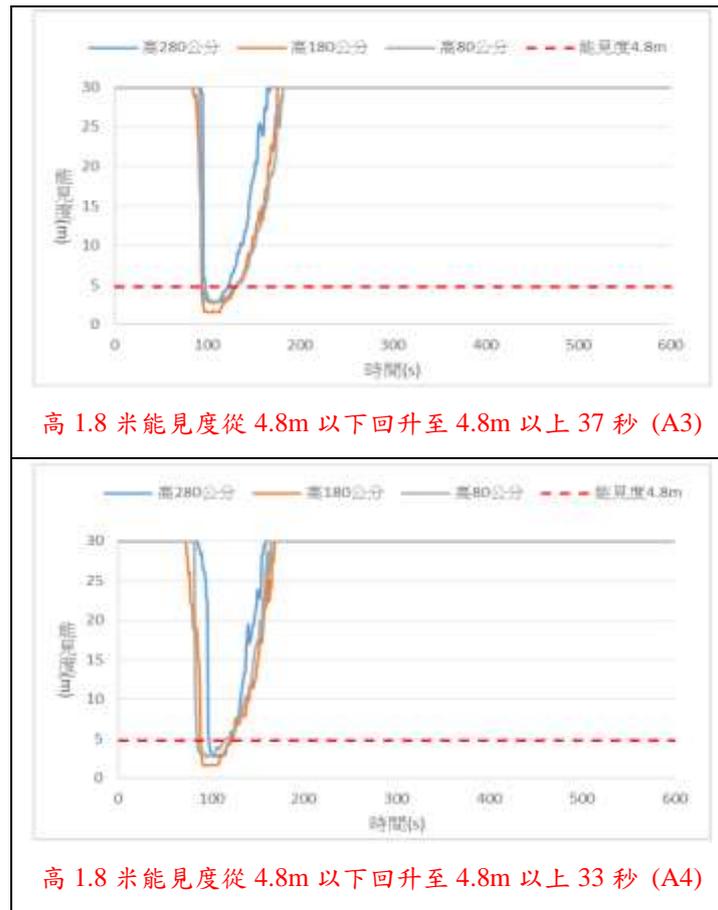


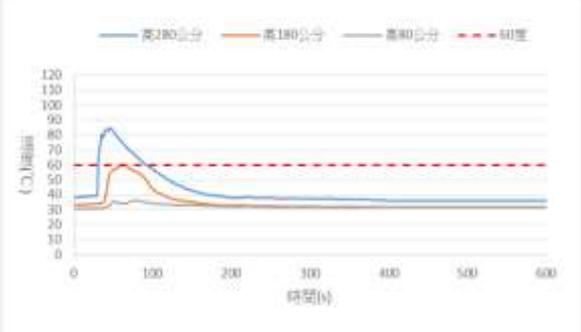
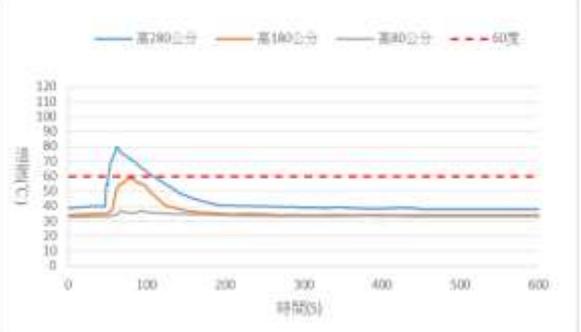
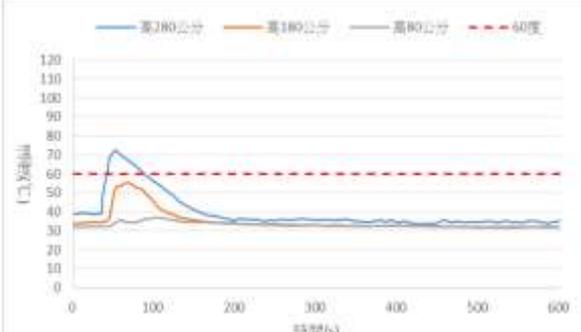
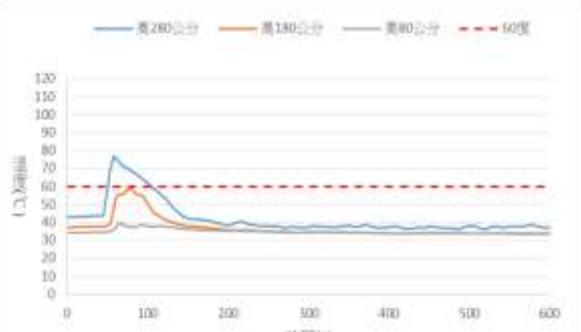
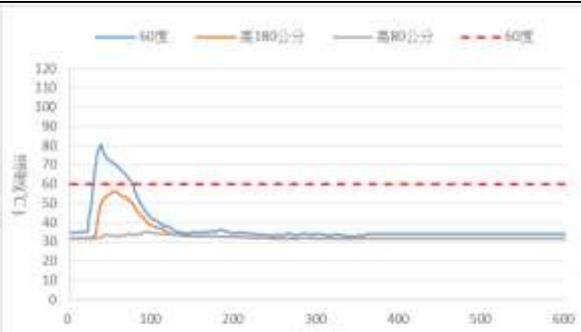
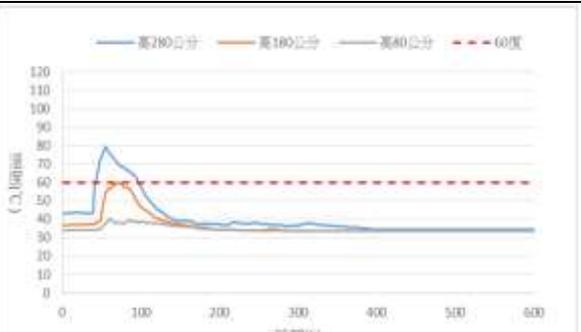
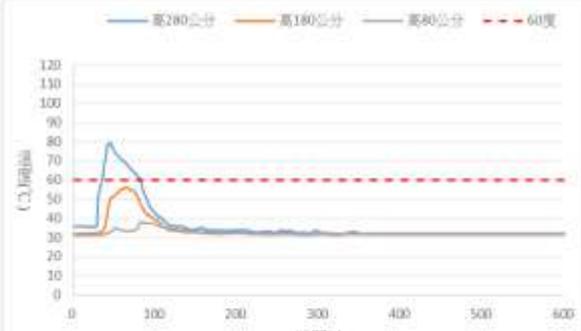
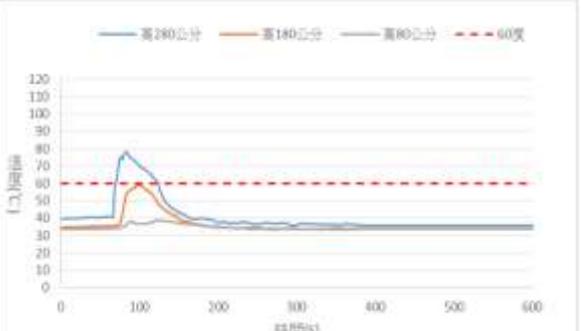
圖 63 短向(CASE2-A)排煙室能見度曲線圖
(資料來源：本研究整理)

五、實測 CASE1-A 與實測 CASE2-A 溫度與能見度曲線圖比較

兩者均為開口置中，分別位於長向與短向不同側，分析結果發現排煙室在長向時，測得位於離地面 180 公分處之最高溫度為 43-60°C，短向時，測得位於離地面 180 公分處之最高溫度為 56-60°C，兩者差異不大；而當有外氣風進入排煙室時，長向對於排煙室的溫度相較於短向有較低之溫度，尤其是以外氣風速 8m/s 最高溫度為 43°C，溫度從 43°C 降至 32°C(室溫)的時間約 35 秒，比起短向時間 98 秒特別明顯，詳圖 64 所示，故可得知，長向置中比起短向置中對於降溫有較佳之性能表現。

(一) 排煙室溫度比較

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

| 實測 CASE1-A(長向開口置中) | 實測 CASE2-A(短向開口置中) |
|---|--|
|  |  |
| <p>1.8m 高最高溫度 60°C，回復至 32°C 常溫時間 160 秒 (A0)</p> | <p>1.8m 高最高溫度 58°C，回復至 32°C 常溫時間 122 秒 (A0)</p> |
|  |  |
| <p>1.8m 高最高溫度 55°C，回復至 32°C 常溫時間 119 秒 (A1)</p> | <p>1.8m 高最高溫度 58°C，回復至 32°C 常溫時間 173 秒 (A1)</p> |
|  |  |
| <p>1.8m 高最高溫度 56°C，回復至 32°C 常溫時間 86 秒 (A2)</p> | <p>1.8m 高最高溫度 60°C，回復至 32°C 常溫時間 118 秒 (A2)</p> |
|  |  |
| <p>1.8m 高最高溫度 56°C，回復至 32°C 常溫時間 71 秒 (A3)</p> | <p>1.8m 高最高溫度 59°C，回復至 32°C 常溫時間 105 秒 (A3)</p> |

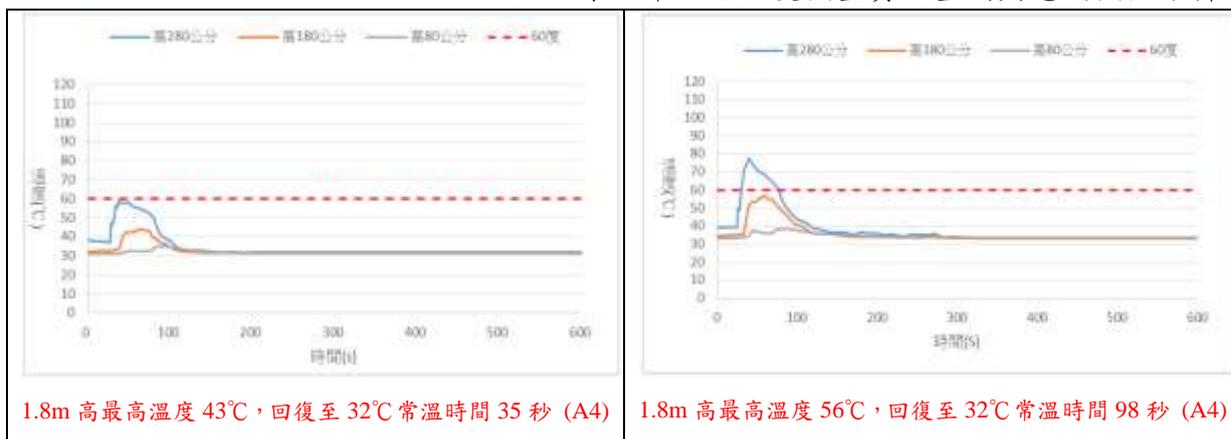
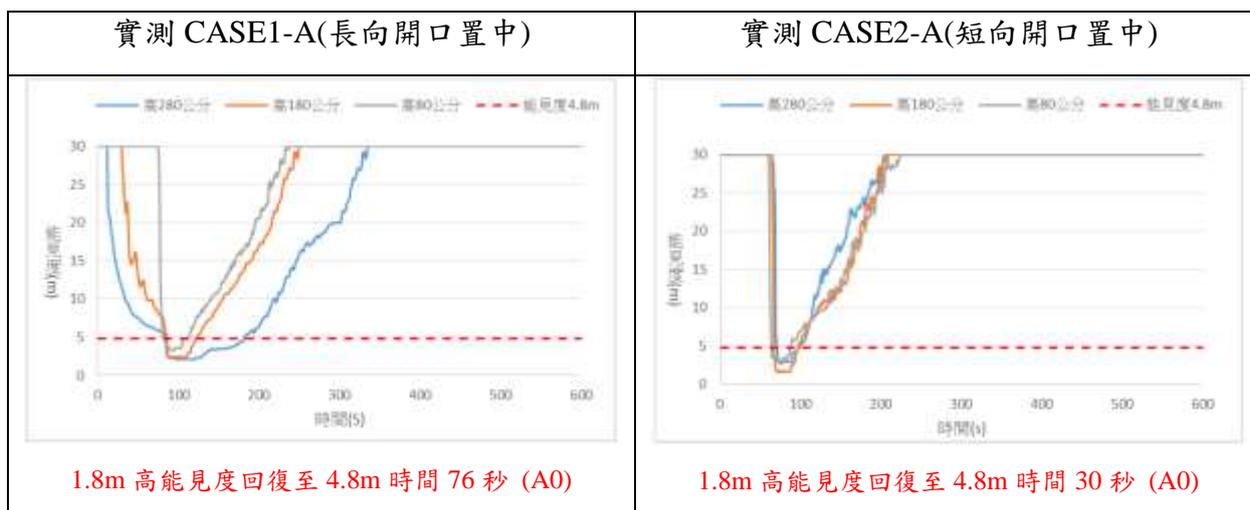


圖 64 長向(CASE1-A)與短向(CASE2-A)排煙室溫度曲線比較圖

(資料來源：本研究整理)

(二) 排煙室能見度比較

兩者均為開口置中，分別位於長向與短向不同側，分析結果發現排煙室在長向時，測試結果發現排煙室能見度在無外氣風速影響時，測得位於離地面高 180 公分處能見度，從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上回復時間約 76 秒，而位於短向測試結果從 4.8m 以下回升至 4.8m 以上回復時間約 30 秒，在無外氣風時短向有較佳之性能表現；而當有外氣風進入排煙室時，長向置中配置對於排煙室的能見度較有利於人員逃生避難條件，以外氣風速 8m/s 時能見度均維持在 4.8m 以上特別明顯，詳圖 65 所示。



自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

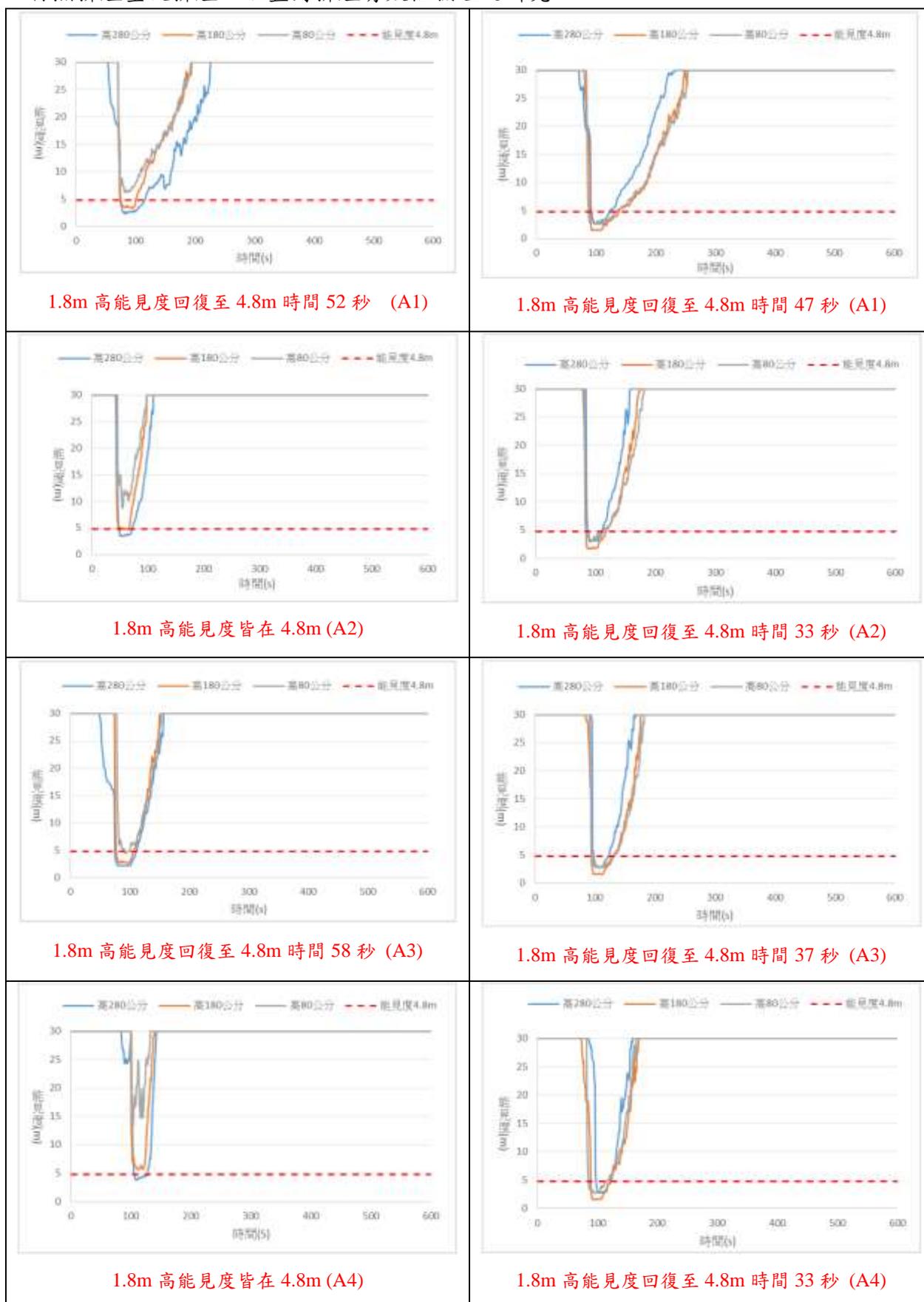


圖 65 長向(CASE1-A)與短向(CASE2-A)排煙室能見度曲線比較圖

(資料來源：本研究整理)

六、實測開口 45 度 CASE1-A 與開口 45 度 CASE2-A

以長向 CASE1-A0、A4 與短向 CASE2- A0、A4 自然排煙開口以 45 度開口進行排煙性能測試，45 度開口情形詳圖 66；外氣風速 A0 採用 0 m/s、A4 採用 8 m/s 之正面風速。



圖 66 CASE1-A 與 CASE2-A 45 度開口示意圖

(資料來源：本研究整理)

(一) 溫度曲線圖比較

兩者均為開口打開時呈現 45 度開口置中，分別位於長向與短向不同側，分析結果發現排煙室在長向時，測得位於離地面 180 公分處之最高溫度為 58、61°C，短向時，測得位於離地面 180 公分處之最高溫度為 58、59°C，兩者差異不大；而長向當有外氣風進入排煙室時，在外氣風速 8m/s，溫度從 61°C 降至 32°C(室溫)的時間約 110 秒；短向部分在有無外氣風進入排煙室時，溫度降至 32°C(室溫)的時間均約 120 秒，短向有無風時並無特別明顯差異，詳圖 67 所示，故可得知，短向置中比起長向置中開口呈現 45 度時，對於降溫相比下有較佳之性能表現；但與長邊置中(圖 56)與短邊置中(圖 62)全開開口相較之下 45 度開口不及於全開口的性能表現。

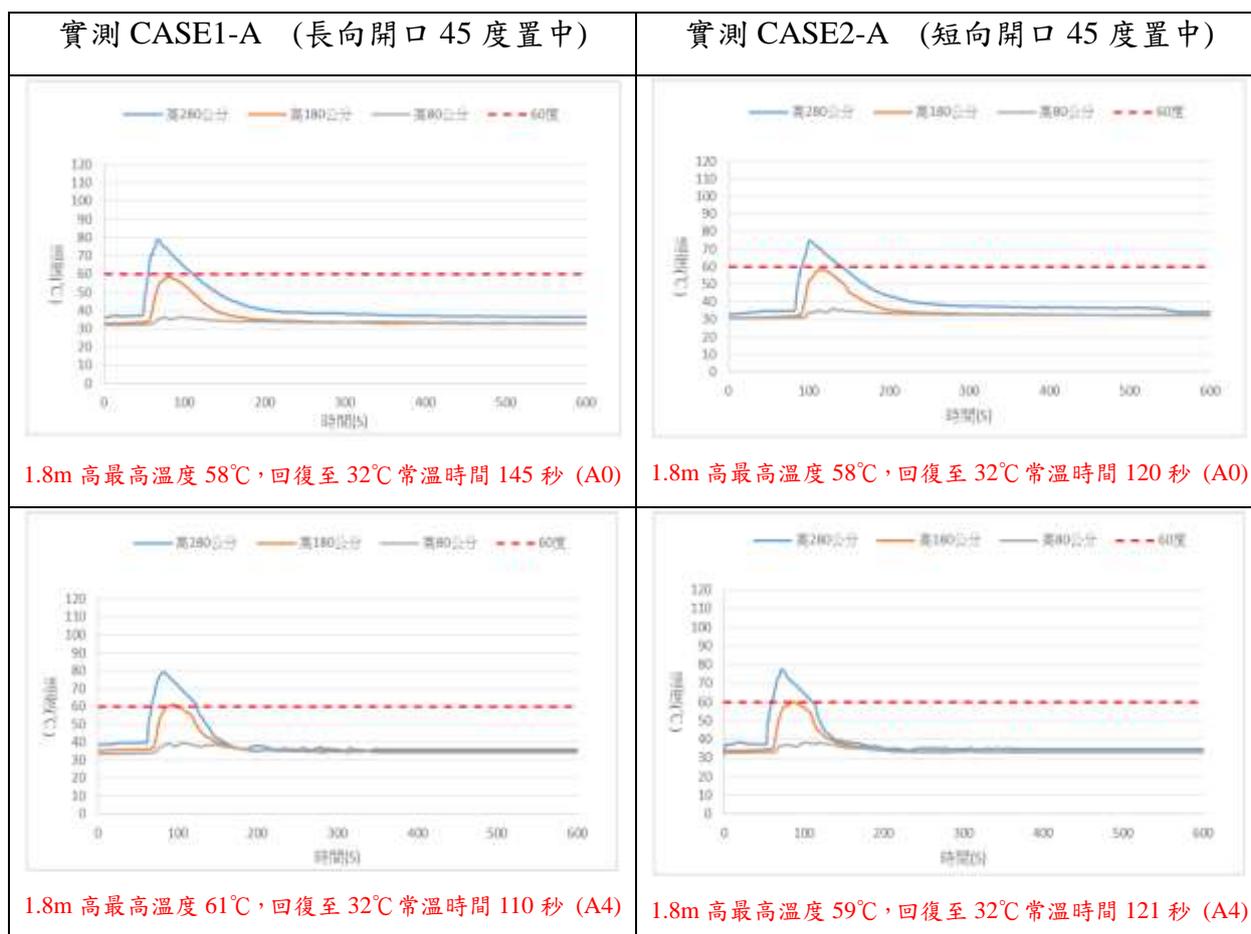


圖 67 CASE1-A 與 CASE2-A 45 度開口排煙室溫度曲線圖

(資料來源：本研究整理)

第四節 實驗實測與 FDS 電腦模擬分析

一、FDS 模擬說明

FDS 模擬模型尺寸同全尺度實體模型，模擬模型尺寸空間配置分為走廊區(起火點)與排煙室兩個隔間，空間設置尺寸為走廊區 2.4m(W) * 4.8m(L) * 3.0m(H)與排煙室 2.4m(W) * 4.8m(L) * 3.0m(H)，分為長向(CASE1-A、B、C)與短向(CASE2-A)，模擬外氣正面風速 0m/s 與 8m/s 做比較，藉此了解兩者的是否能夠呈現一致趨勢。

(一)長向 FDS 模擬模型

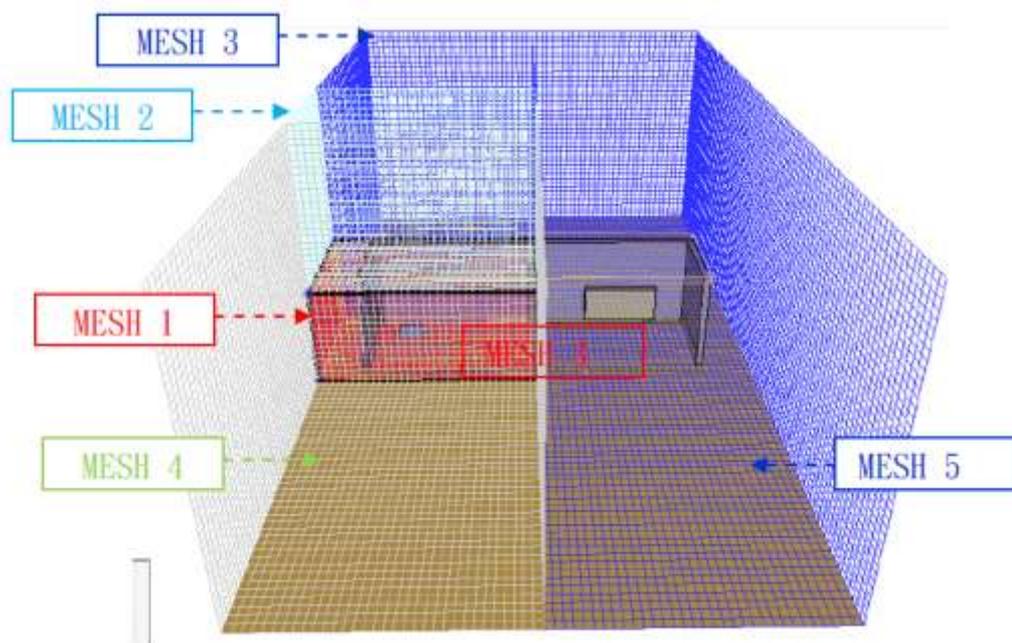


圖 68 CASE1 FDS 格點設定情況示意圖

(資料來源：本研究整理)

表 22 CASE1 FDS 模型之摘要資料

| 模型尺寸 (公尺) | 網格編號 | 網格尺寸 | 網格數 | 網格總數 |
|------------------------------|--------|-------------------|----------|----------|
| 10.2m(L)x2.8m(W) x3.2m(H) | MESH 1 | 0.10m×0.10m×0.10m | 61,440. | 299,520. |
| | MESH 2 | 0.20m×0.20m×0.20m | 12,800. | |
| | MESH 3 | 0.20m×0.20m×0.20m | 51,200. | |
| | MESH 4 | 0.20m×0.20m×0.20m | 51,200. | |
| | MESH 5 | 0.20m×0.20m×0.20m | 122,880. | |

(資料來源：本研究整理)

(二)短向 FDS 模擬模型

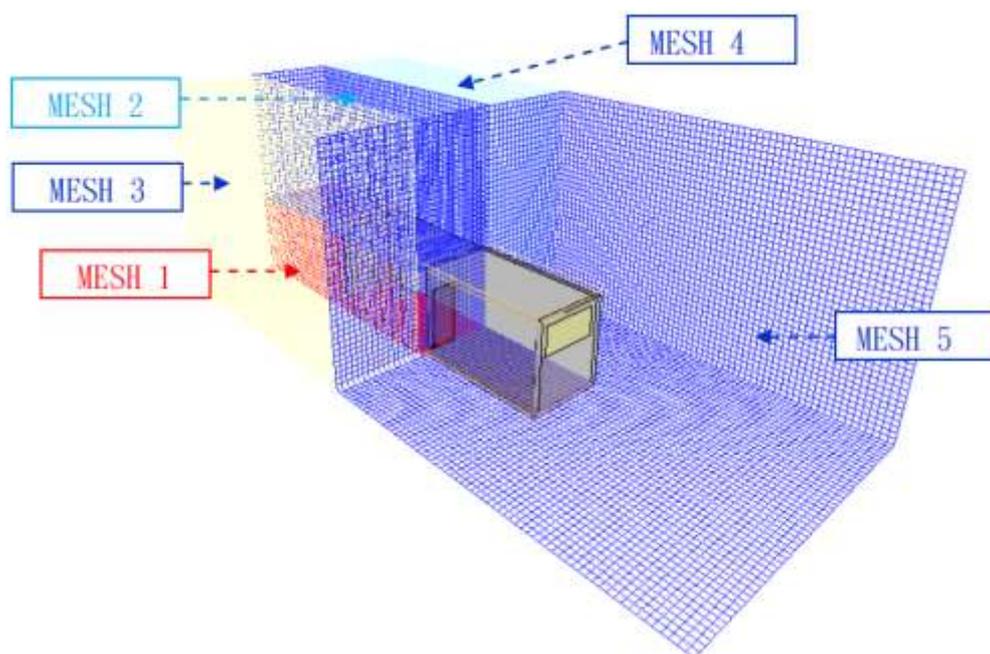


圖 69 CASE2 FDS 格點設定情況示意圖

(資料來源：本研究整理)

表 23 CASE2 FDS 模型之摘要資料

| 模型尺寸 (公尺) | 網格編號 | 網格尺寸 | 網格數 | 網格總數 |
|------------------------------|--------|-------------------|----------|----------|
| 10.2m(L)x2.8m(W) x3.2m(H) | MESH 1 | 0.10m×0.10m×0.10m | 96,000. | 312,000. |
| | MESH 2 | 0.20m×0.20m×0.20m | 20,000. | |
| | MESH 3 | 0.20m×0.20m×0.20m | 32,000. | |
| | MESH 4 | 0.20m×0.20m×0.20m | 36,000. | |
| | MESH 5 | 0.20m×0.20m×0.20m | 128,000. | |

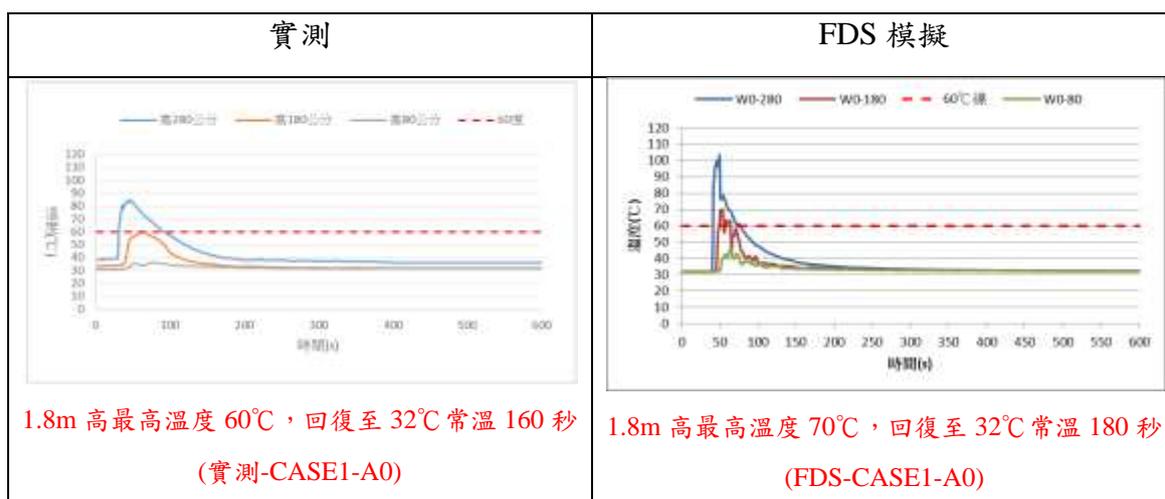
(資料來源：本研究整理)

二、實測與 FDS 模擬溫度與能見度分析

於長向(CASE1-A、B、C)與短向(CASE2-A)實測數值與 FDS 模擬數值所得之溫度與能見度較實測值高，實測數值位於離地面 180 公分處所測得最高溫約 60°C 左右，在 FDS 模擬數值所得之離地面 180 公分處所測得最高溫約 72°C 左右；能見度部分實測數值位於離地面 180 公分處在 CASE1-A4 時，能見度皆在 4.8m 以上，有利於避難逃生之環境維持，在 FDS 模擬數值中對於能見度的改善差異不大，詳圖 70 至圖 77 所示。

(一) 排煙室溫度

1. CASE1-A 溫度



自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

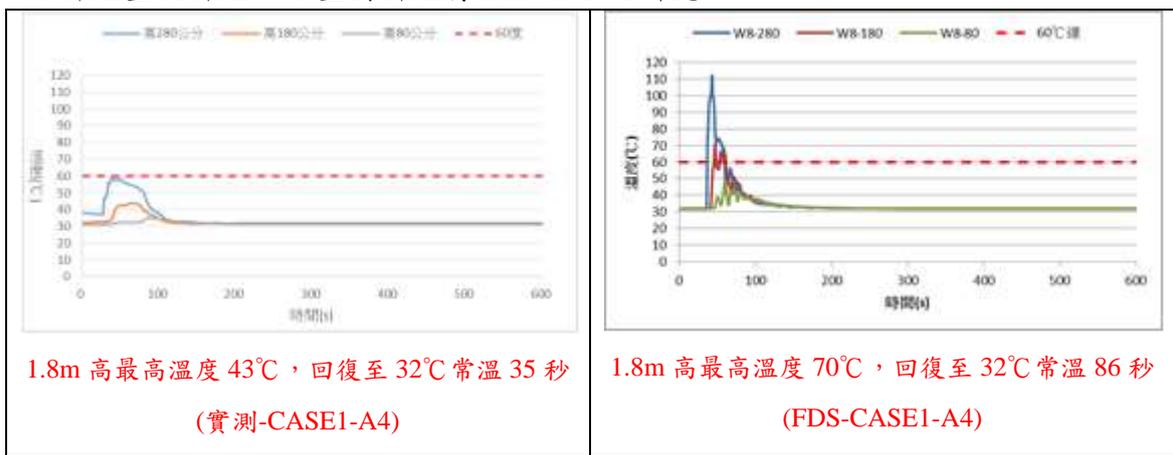


圖 70 CASE1-A 實測與 FDS 模擬溫度圖

(資料來源：本研究整理)

2 · CASE1-B 溫度

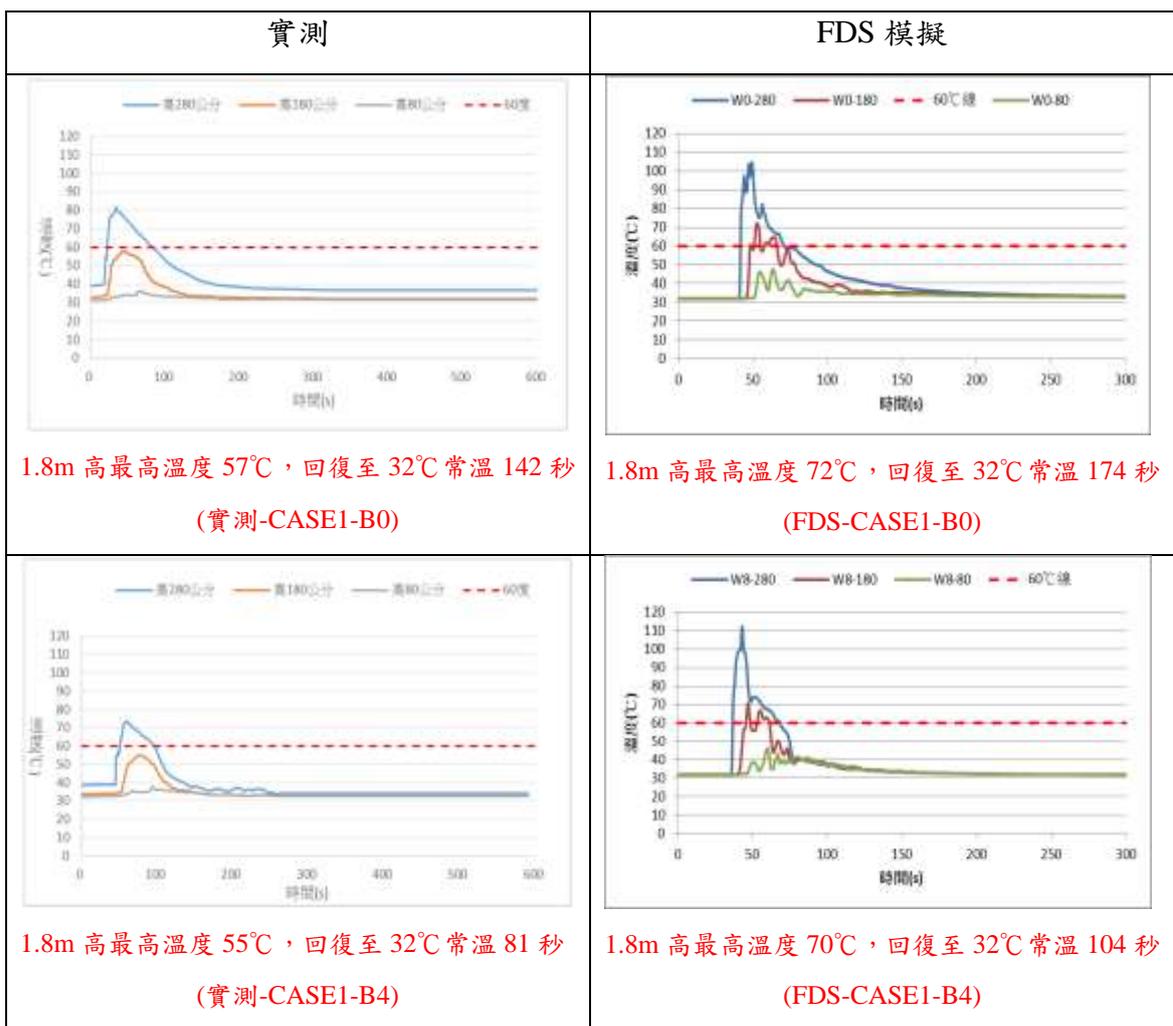


圖 71 CASE1-B 實測與 FDS 模擬溫度圖

(資料來源：本研究整理)

3 · CASE1-C 溫度

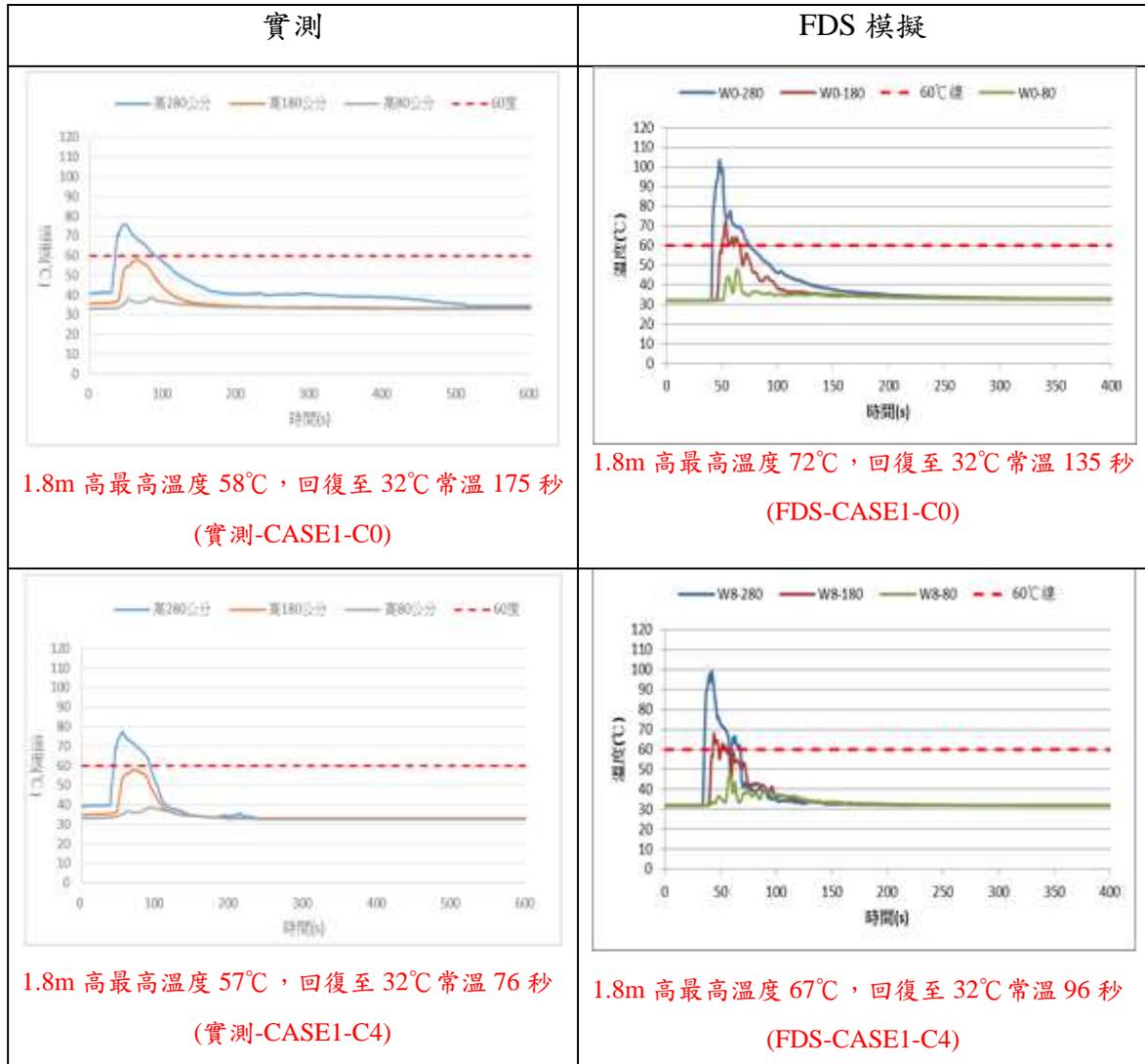


圖 72 CASE1-C 實測與 FDS 模擬溫度圖

(資料來源：本研究整理)

4 · CASE2-A 溫度

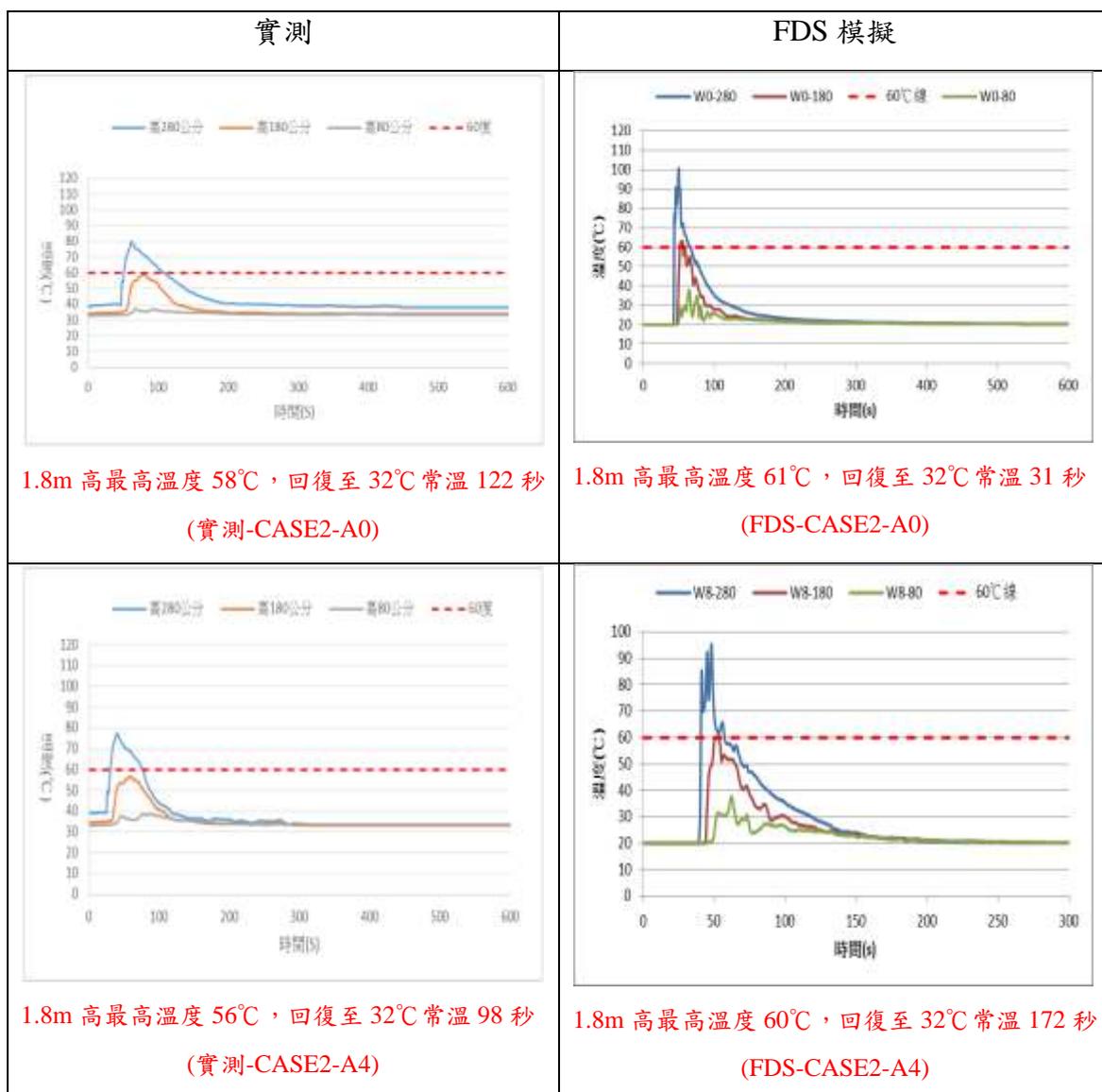


圖 73 CASE2-A 實測與 FDS 模擬溫度圖

(資料來源：本研究整理)

(二) 排煙室能見度

1 · 長向 CASE1-A 能見度

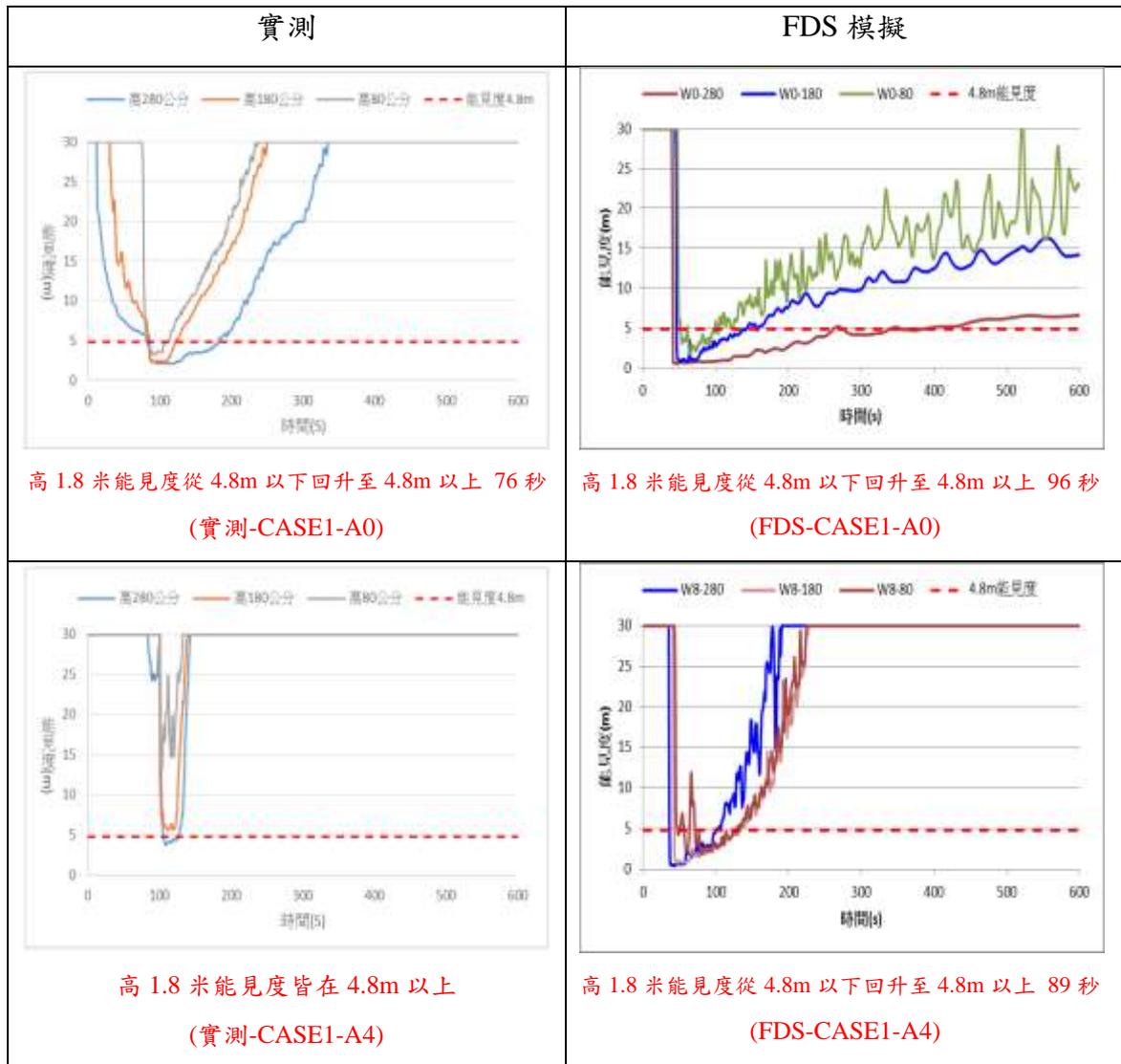


圖 74 CASE1-A 實測與 FDS 模擬能見度圖

(資料來源：本研究整理)

2 · 長向 CASE1-B 能見度

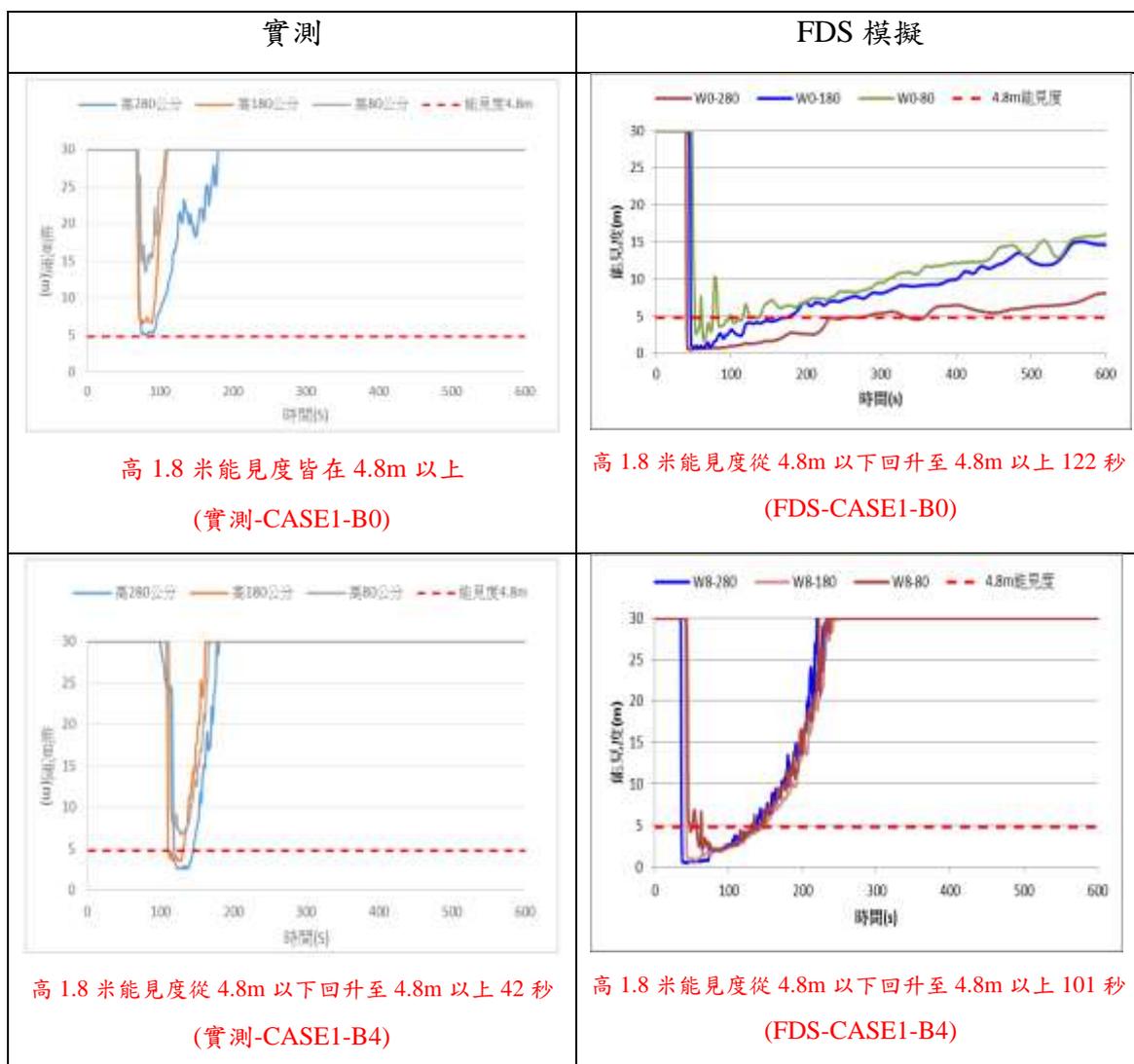


圖 75 CASE1-B 實測與 FDS 模擬能見度圖

(資料來源：本研究整理)

3 · 長向 CASE1-C 能見度

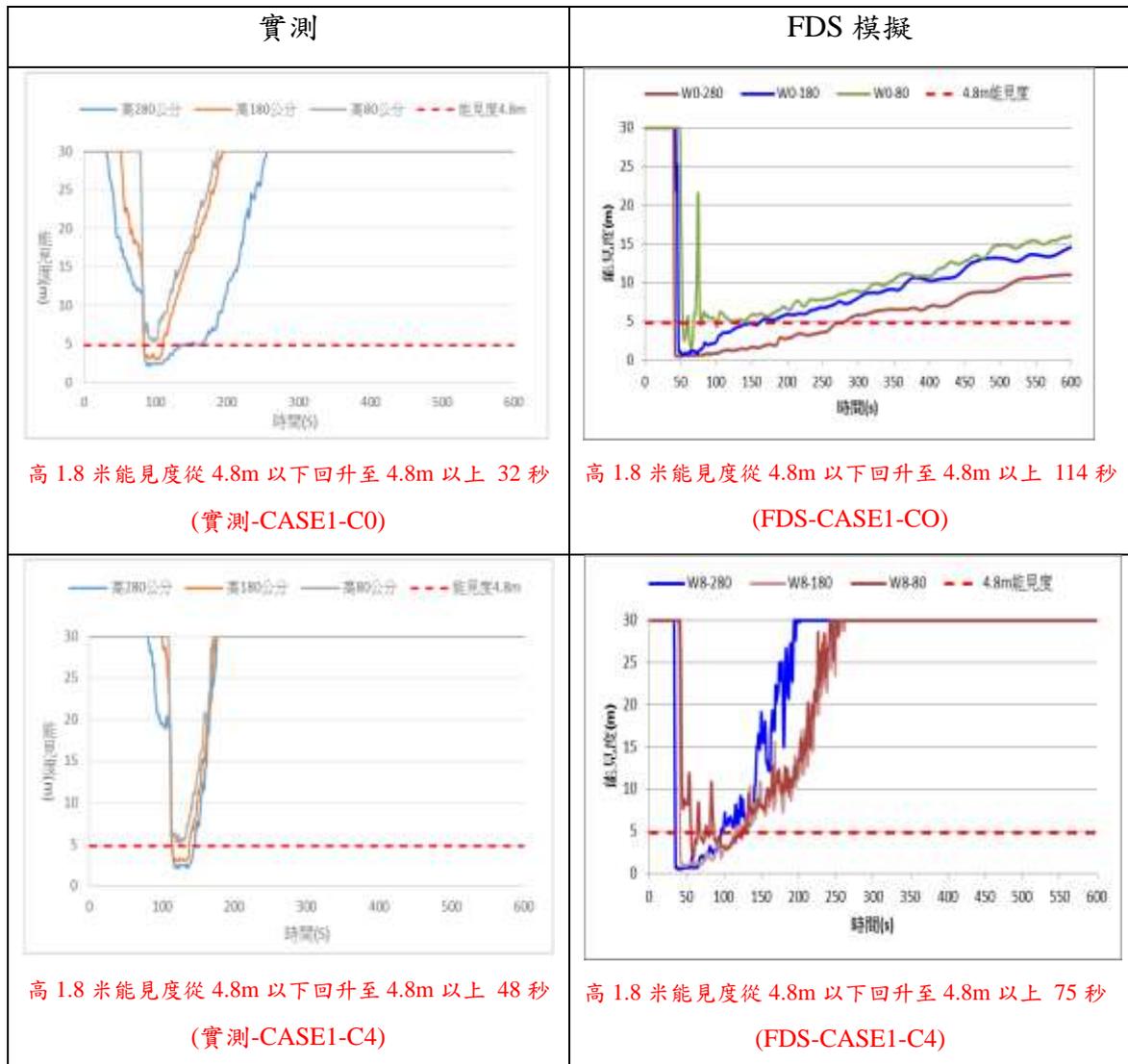


圖 76 CASE1-C 實測與 FDS 模擬能見度圖

(資料來源：本研究整理)

4 · 短向 CASE2-A 能見度

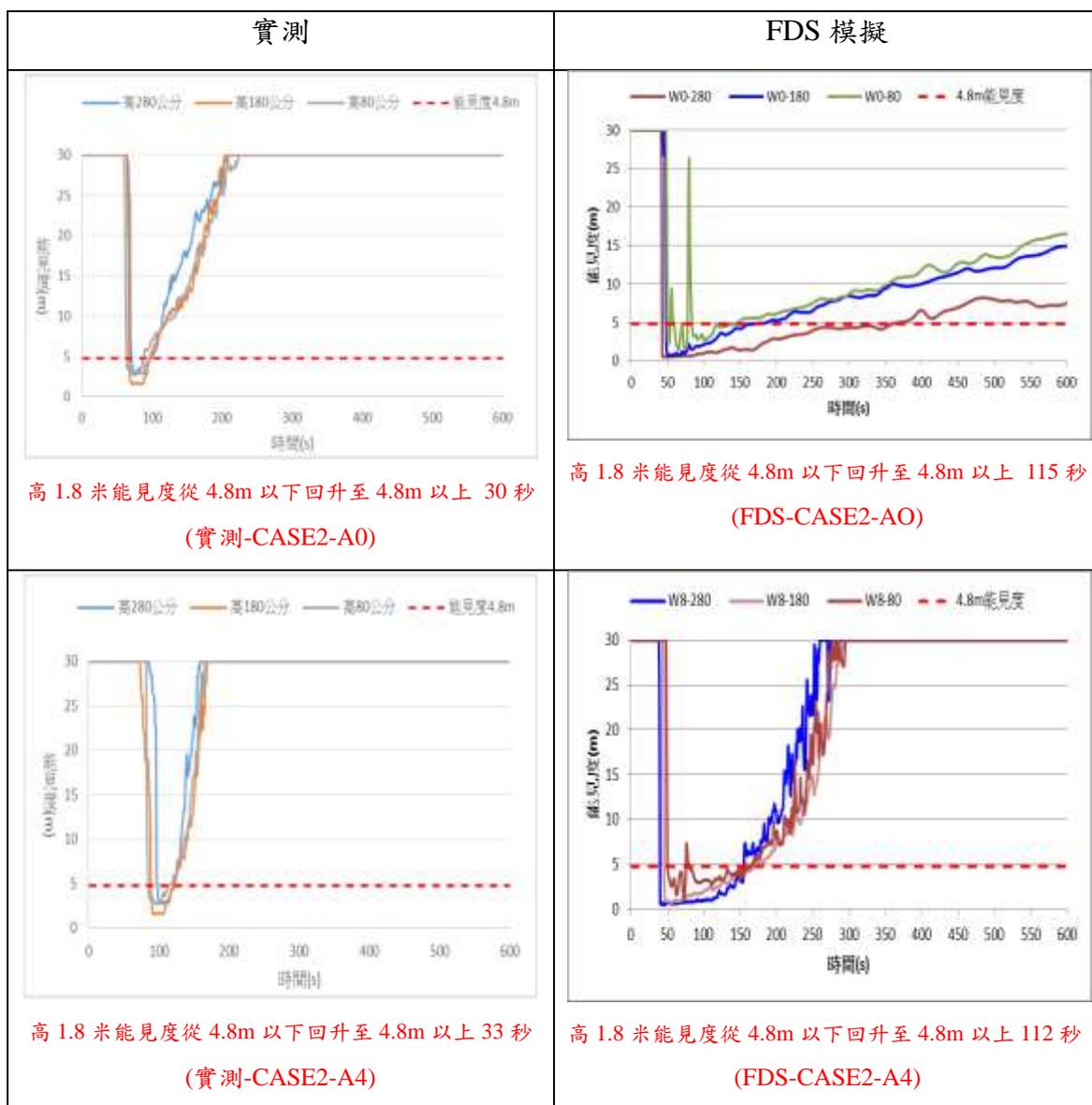


圖 77 CASE2-A 實測與 FDS 模擬能見度圖

(資料來源：本研究整理)

第五節 實驗結果與分析

一、實驗條件之限制因素

本次全尺度模型實驗量測，在進行模擬及資料擷取的過程中，有部分問題說明如後：

(一)由於受限於本研究案經費問題，在火災室及排煙室的設計，係以單層矽酸鈣板構建，在功能上僅考慮模型防火性能及煙流路徑之合理性，其餘如外層絕熱、模型氣密性、排煙設備動作控制等部分，則無法完全如實體建築物。

(二)外部氣流的產生，係以實驗室大型工業風扇產生必要之風速進行模擬，而風速的大小，則以變頻器調整控制；此種外部風場的產生方式，無法進行整流後使用，可能與自然風場有所差異，但以實驗場地及機具限制條件因素，在縮小觀察排煙口受外部風場影響的範圍情況下，如此產生之紊流風場，仍具有大型外部風場之紊流特性，仍可藉由實驗結果觀察排煙室內煙流與外部流場相對之流動情況與趨勢。

(三)煙流的形成，係以數種燃料混合燃燒產生，在燃燒的過程中，我們對火災室的溫度進行控制，在到達所需溫度後，目測火災室內煙層厚度及濃度，開啟排煙室防火門模擬人員避難行為；在火災室溫度場控制部分，透過熱電偶進行擷取，其結果有一定之準確度，在火災室煙流部分，由於每次燃燒之猛烈度不一，且目測煙流具有一定的誤差，因此，在進入排煙室的煙流量則無法準確控制，惟進入排煙室後之溫度場及煙流，在關閉防火門至排煙口開啟後，其實驗流程有其均一性，因此，可藉由實驗結果判斷排煙口之排煙性能趨勢。

(四)實驗量測參數項目，受限於本案經費及可用之設備，僅進行排煙室溫度場及能見度之量測，有關壓力變化部分，本實驗不予進行。

(五)實驗項目之選定，受限於實驗場地及機具條件限制，僅針對可進行之單一樓層模型，進行設計模擬，進而探討排煙口之性能；無法以實驗進行部分，在本研究中仍以數值模擬進行探討。

二、實驗結果分析

(一)熱浮力及外部風作用對排煙性能之影響：

由實驗結果顯示，在無風情況下，自然排煙口開啟後，二案例各組之溫度場及能見度情況，在天花板 180cm 高度量測結果，均達到人員可維生環境條件，顯示依法設置之自然排煙口，在正常操作情況下，其性能符合人員避難需求。

從各組實驗結果顯示，在有外部風作用情況下，排煙室溫度下降至接近室外溫度時，能見度顯示仍呈現持續散消之情況，此現象表示外部風作用有助於排煙室排煙性能，且當外部風速愈大時，排煙室內煙流消散呈現愈快速之趨勢。

(二)排煙室幾何形狀、排煙口設置位置與排煙性能之相互關係：

比對長向排煙口 case1 及短向排煙口 case2 實驗結果，在排煙性能（能見度）上，二者在有外部風時均優於無風狀態，而二案例在性能數據比較上，無太大差距。

(三)排煙口以外開 45 度與全開時之實驗結果比對：

依排煙口開啟情況之實驗結果比對，排煙口全開時，較外開 45 度有較快速的溫度場消散時間。

(四)排煙口安裝於排煙室長向牆面（置中，偏左，偏右）之排煙性能比較：

從長向排煙口 case1-A（置中）、B（左側）、C（右側）三個不同位置實驗結果統計，外部風對排煙效果之影響情況，三個位置無太大差異。

(五)排煙室煙流容許溫度比較：

在容許溫度上，二案例實驗結果在 1.8m 高度以下部分均低於 60°C，但在溫度場消散時間比較上，在有外部風影響情況下，長向排煙口 case1 較短向排煙口 case2 為快速。

(六)與數值模擬比對情況：

實驗數據經與數值模擬結果比對結果，在溫度場部分，模擬數值均高於實驗數值，此係為模型條件所預期之模擬結果，在趨勢上呈現一致且合理之情況；在能見度部分，趨勢上呈現有外部風場影響時，排煙效果不低於無風之排煙性能，且於排煙室溫度場下降至常溫時，排煙室仍呈現持續排煙之情況，顯示外部風對排煙室之性能確有影響。

第七章 結論與建議

第一節 結論

- 一、文獻分析發現，在自然排煙的研究上，過去以大空間之自然排煙設備性能驗證為主，對於特別安全梯間及緊急昇降機間排煙室之自然排煙口性能探討，尚無具體研究案例及成果可供參考，在以防煙為主的美國建築法規內對本問題亦無提及。
- 二、由本研究結果顯示，在無風情況下，排煙室自然排煙口開啟後，在天花板 180cm 高度之實驗及模擬結果，均達到人員可維生環境條件，顯示依法設置之自然排煙口，在正常操作情況下，其性能符合人員避難需求。
- 三、經電腦模擬及實驗驗證後發現，特別安全梯間及緊急昇降機間排煙室之自然排煙口性能，在無風情況下，當排煙口開啟後，持續進行排煙，直到排煙室溫度場下降至接近室外溫度時，排煙現象停止；在有外部風情況下，當排煙口動作後，排煙室溫度下降至接近室外溫度時，排煙情況仍持續，且排煙室內之溫度場下降速度及煙流消散速度隨外部風速增加呈現加快之趨勢，由此現象顯示，外部風作用對於排煙室此種構造條件及操作方式之空間，其排煙性能驗證結果，有別於過去認為外部風不利於自然排煙口排煙性能之總體認知，研判原因，本研究排煙室面積約為 12m^2 ，在長向牆面設置排煙口時，受風縱深為 3m，而一般居室之排煙區劃面積（法定為 500m^2 以下）及受風縱深則遠大於排煙室，就紊流混合深度問題，一般居室自然排煙口在受風後，其排煙效果或會異於本研究呈現之成果。
- 四、一般長方型排煙室，當排煙口設置於長向牆面時，其整體排煙性能上優於設置於短向牆面。
- 五、排煙室設置於建築物受風面之中心區域（平行流區），相對於其他位置在受外部風影響時有較佳之排煙性能。
- 六、面積較小之排煙室，相較於面積較大之排煙室，有較佳之排煙性能。
- 七、高層建築物尚有外部風壓問題，過大的風壓或可導致排煙室防火門開啟困難問題，以及影響其他空間不利之熱煙流竄，而風壓大小，取決於外部風速之影響；綜整

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

本研究結果，防火門容許壓差建議在 75Pa，其對應之容許外部風限速約為 4m/s，其對應之建築物高度約為 50m。

第二節 建議事項

本研究主要以現行法規為基礎，結合座談會及審查會中各專家學者、業界、政府相關主管機關等代表提供之意見，及實地實例電腦軟體模擬及實驗驗證，對於有利於初期人員避難逃生使用，相關結果提供主要建議事項如下：

建議一

排煙室幾何型狀、排煙口設置、開口方式及設計建議參考事項：立即可行建議

主辦機關：中華民國消防設備師公會全國聯合會、中華民國全國建築師公會

協辦機關：內政部建築研究所、消防署、財團法人台灣建築中心

一般長方型排煙室，當排煙口設置於長向牆面時，其整體排煙性能優於設置於短向牆面；且排煙室設置於建築物受風面之中心區域（平行流區），相對於其他位置在受外部風影響時有較佳之排煙性能之設計建議：在開口全開時，是靠煙本身溫度所造成的熱浮力與外氣給予的驅動力，而當以在 45 度角開啟時，大部分只靠著煙本身的熱浮力為驅動力，結果得知自然排煙室之自然排煙口開口方式建議以全開方式開啟，可得到較佳之排煙性能。本研究已依成果完成綜整，並歸納提出設計建議事項。建請主管機關及各設計單位參考，以改善現行排煙設計方式，提升建築物火災避難之安全性。

建議二

排煙室自然排煙口設計高度限制之深入研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部消防署、財團法人台灣建築中心

高層建築物外部風壓可能導致排煙室防火門開啟困難問題，在相對自然排煙性能無虞情況下，參考國外文獻、法令及本研究結果後建議，排煙室防火門容許壓差可採用 75Pa 或是利用附錄八公式(1)計算得知；如壓差採用 75Pa 其對應之容許外部風限速

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

約為 4m/s，其對應之建築物高度約為 50m，準此，排煙室以自然排煙口設計之方式，建議設置於 50m 以下高度為宜。建議增列消防安全設備設置標準第 189 條第 7 目：建築物高度超過 50 公尺之樓層，採機械排煙設備。

建議三

外部風對自然排煙室排煙性能之深入研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部消防署、財團法人台灣建築中心

有關本研究初次提出外部風作用有利於排煙室排煙性能之結果，在模擬與全尺寸實驗部分已獲得充足資料，惟礙於本次研究經費及現有實驗場地限制，無法將成果延伸至其他相關問題，如外部風對居室自然排煙與梯間自然排煙之性能差異性等，建議持續進行後續研究，俾使本案結論更為完整。

附錄一 計畫審查會議回應表

內政部建築研究所 103 年度

「自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究」委託研究計畫

審查意見及廠商回應一覽表

| 項次 | 審查委員意見 | 廠商回應 |
|----|--|---|
| 1 | 計畫主持人及主要工作人員是否有文章發表於期刊之紀錄? | 依委員意見，將補充主持人及工作人員所發表文章於服務計畫書。 |
| 2 | 研究成果之創意或自由回饋項目未敘述，請說明。 | 預期成果創意將在熱煙實驗及電腦模擬不同樓高在不同風速風向下自然排煙之效能。本計畫擬分析國外相關法規，提出適合我國國情之修訂建議，供主管機關及相關單位參考運用，作為本研究案最主要之回饋項目。 |
| 3 | 服務建議書未附目錄章節。 | 感謝委員指正，本項缺誤將依意見修正，俾使資料內容完備。 |
| 4 | 第 16 頁後之頁數未填上。 | 感謝委員指正，本項缺誤將依意見修正，俾使資料內容完備。 |
| 5 | 研究配置人力未列每人之人時以對應人事費用。 | 感謝委員，本計畫將依建築研究所之規定修改。 |
| 6 | 第八項研究進度及預期完成之工作項目內容，工作項目應列出權重，以對應預定進度百分比。 | 感謝委員，本項資料將依意見補充，俾使資料內容完備。 |
| 7 | 第九項研究預期對相關施政之助益內容稍嫌簡略應充實內容。 | 感謝委員，本項資料將依意見補充，俾使資料內容完備。 |
| 8 | 第 9 頁所舉採用 FDS 進行模擬並實際使用臺北、高雄及機場捷運地下車站及鐵工局地下車站通過全尺度煙控實驗測試，惟前述地下車站均為強制排煙與本計畫之自然排煙有所不同，請說明。 | FDS 為目前各國廣泛使用之火災模擬工具，可適用於機械排煙及自然排煙之模擬。在服務建議書內列舉本團隊以往部分 FDS 之研究案例，僅為加強說明本團隊執行火災模擬驗證之經驗及能力，確實符合本研究需要。 |
| 9 | 第 5~6 頁有節錄中國及日本對自然排煙之規定，本計畫團隊有否針對國內相關法規及環境提出適用之自然排煙之相關規定。 | 節錄國外相關法規，主要為了解國外發展情況及趨勢作為計畫規劃之參考，將以自然排煙室為主軸，探討國內相關法規及環境，依研究成果提出適切之運用規定。 |
| 10 | 緊急升降梯若設於防火區劃內，消防主管機關會要求在升降道內設灑水系統，如此對自然排煙之效果是否有影響，請說明。 | 為免造成避難影響，現行法令已規範排煙室免設撒水設備，因此，與本研究無重大影響。 |
| 11 | 本案計畫名稱「…有效性驗證之研究」其中之有效性如何定義? | 將訂定詳細之驗證方法、依據、驗證標準，以有效定義實驗結果，據以研判及分 |

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

| | | |
|----|--|--|
| | | 析。 |
| 12 | 第 7 頁，三.最後提到提升排煙性能的改善建議，提升排煙性能定義為何？ | 排煙性能包括排煙量及提供安全逃生避難，本計畫將依研究成果進行研判及分析，並提出提升排煙性能的改善建議。 |
| 13 | 研究進度中之工作項目中為何用「改善方案」這個名稱？ | 感謝委員指教，將於服務計畫書加強說明「改善方案」。 |
| 14 | 本案預期成果中，2.由自然排煙室及排煙口配置是否有各種幾何型狀的搭配及樓層考量。 | 本計畫於初步規劃已將自然排煙室及排煙口配置、幾何形狀及樓層等參數納入研究考量，相關內容於後續階段呈現。 |
| 15 | 排煙驗證如何做及在什麼條件下做？ | 本計畫將參考相關研究之建議，並以電腦模擬及實驗方式進行排煙效能驗證。 |
| 16 | 不同情境下之模型實驗，請問不同情境所指為何？ | 本計畫將以實際建築物排煙室構型為主要考量，加入人為使用情況等不同參數變化，做為情境考量之設計依據。 |
| 17 | 請說明創意或自由回饋。 | 預期成果創意將在熱煙實驗及電腦模擬不同樓高在不同風向下自然排煙之效能。本計畫擬分析國外相關法規，提出適合我國國情之修訂建議，供主管機關及相關單位參考運用，作為本研究案最主要之回饋項目。 |
| 18 | 請考量多大的火災，即多少 MW 的火產生的煙來分析？ | 感謝委員指教，本計畫將考量不同火災劇本如火載量等。 |
| 19 | 請蒐集影響自然排煙案例加以佐證，並將影響因素納入規範限制。 | 感謝委員指教，本項意見遵照辦理。 |
| 20 | 請提出具體法規修訂條文。 | 感謝委員指教，本項意見將依研究成果提出具體之法規修訂建議，以利相關單位參考運用。 |
| 21 | 排煙驗證程序方法本所於 102 年研究計劃已有建立，請以此為基進行相關案例驗證檢討。 | 本計畫將參考建築研究所在 102 年研究計畫所建議之排煙驗證程序，導入本研究之驗證架構。 |
| 22 | 請增加美國及歐盟之規定蒐集及探討分析，並以國內民情為考量，加以本土化。 | 依委員意見，本計畫將廣泛蒐集歐、美等相關法規及文獻，藉以瞭解各國研究情況及法規定訂要點，以適切之研析及考量，提出適合我國國情之法規修訂建議。 |
| 23 | 建議補充說明本研究與本所 102 年度相關研究之關係及差異。 | 依委員意見補充說明，俾使本研究內容獲得充份之參考價值，免於重複研究之虞。 |
| 24 | 建議未來在研究設計中，補充說明簡報第 21 頁各項因子應如何組合才可以獲得實驗結果的極值(最佳或最低極限值)或可供普遍應用的通用值。 | 感謝委員，本項資料將依意見補充，俾使資料內容完備。 |

附錄二 期中審查回覆表

內政部建築研究所 103 年度委託研究計畫案

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

期中審查回覆表

| 項次 | 審查意見 | 回覆辦理情形 |
|-------|---|----------------------|
| 賴啟銘委員 | | |
| 1 | 報告內容符合預期，執行成果良好。 | 謝謝委員意見。 |
| 2 | 摘要內容提及「現階段成果顯示：外部風作用有助於排煙性能；風速越大排煙性能越佳」。然而，建築物周遭戶外風場結構複雜，進而影響煙氣在排煙口處之流動行為與排煙口排煙性能，建議將多樣化戶外風場納入模擬條件後，再依據模擬結果予以判讀並據以總結。 | 謝謝委員意見，將後續補充。 |
| 3 | 模擬結果可加入煙流流動行為及流場結構分析，以釐清排煙途徑並確認其排煙確效性。 | 謝謝委員意見。 |
| 4 | 圖 5.2 與圖 5.4 應置入指北針，且建議將須線所示研究範圍予以放大。 | 謝謝委員意見。 |
| 5 | 請再核對圖 5.2、圖 5.4 以及表 5.1 之內容(空間名稱)。 | 謝謝委員意見，依意見修正。 |
| 曹昌歲委員 | | |
| 1 | 高層建築物(樓高超過 50m)其排煙室受外風影響之狀況，希望後續報告中，有更仔細考量與說明，以確認實驗結果準確性。 | 謝謝委員意見，依意見修正將後續補充。 |
| 林世昌委員 | | |
| 1 | 表 5.1 案例差異分析表，有三種研究類型與案例一及二的關係，文與表不一致請修正調整。 | 謝謝委員意見，依意見修正。 |
| 2 | 5.2.5 模擬情況與結果分析，對於外部風條件，未考慮是迎風面或背風面是否會影響研究結果，請納入考量。 | 謝謝委員意見，將後續補充。 |
| 3 | 建築物高度 50m 或高層建築物是適用自然排煙，可否納入研究方向對業界比較有吸引力。 | 謝謝委員意見，將後續補充並於期末報提出。 |
| 4 | 正交風向(最大正壓產生角度)產生最大正壓會比熱浮力小，有些難接受。 | |
| 5 | 初步研究二，外部風作用有助於排煙室排煙性能，必須等全尺度實驗後再下結論。 | 謝謝委員意見。 |

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

| | | |
|-------|---|--|
| 6 | 初步研究三，外部風速越大對排煙效果越佳，必須等全尺度實驗後再下結論。 | 謝謝委員意見。 |
| 陳文龍委員 | | |
| 1 | 本案是否只針對梯間排煙的自然排煙室及排煙口配置，而未包括居室排煙，請確認。 | 謝謝委員意見，本案只針對梯間排煙的自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證研究，排除居室排煙。 |
| 2 | 有關現行法規部分，下列事項請在確認： (1)P.11 有關各類場所只列 78 年版與 85 年版(P.26 有 102 年版)，因 85 年版與 102 年版(實際應為 93 年版)有所差異，建議 P.11 增列 102 年版。 (2)在後續，建議針對建築及消防法規在梯間排煙的差異，於以比較分析。 | 謝謝委員意見。 |
| 3 | P34-P.36 案例一、二，只列平面圖，建議增列截面圖，清楚呈現配置全貌。 | 謝謝委員意見。 |
| 4 | 梯間排煙基本上係屬救災據點，評估標準以熱輻射、煙層底部高度來評估是否妥適，請酌參。 | 謝謝委員意見。 |
| 黃建彰委員 | | |
| 1 | 以能見度及溫度判斷自然排煙效益是否恰當，外界風灌入排煙室溫度下降、能見度好，但煙沒有排出，建議在考慮自然排煙有效性，2012 年基隆某處設計自然排煙驗收時，因外風灌入無法排煙，而判斷無效。 | 謝謝委員意見，本案只針對梯間排煙的自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證研究，與居室排煙之情境不同。 |
| 2 | 考慮外界情形，戶外模擬邊界要多大才合理？如何瞭解本計畫電腦模擬合理性？ | 謝謝委員意見。 |
| 3 | 排煙室溫度依圖 5.12-5.72 很低，300 秒以後幾乎到達 20°C(沒有溫差)，請說明 300 秒後能見度為何仍在提升？ | 謝謝委員意見，因外氣引入稀釋煙層能度，所造成在 300 秒後能見度仍在提升。 |
| 4 | 請檢查邊界條件及質量守恆，如果風大量灌入，由何處排出。 | 謝謝委員意見，有外氣風灌入時，風會連同排煙室的煙一起從排煙口帶至戶外。 |
| 張矩墉委員 | | |
| 1 | 排煙口的徑向與軸向，令人不易理解。是指排煙室空間長短軸，或是與升降機呈現同向或是垂直配置？請做釐清。或是只與可開口部分有關？ | 謝謝委員意見，排煙口的徑向與軸向是指排煙室空間的長向與短向，將依意見修正。 |

| | | |
|--------|--|--|
| 2 | 外部風是正壓或是負壓是否都一致？ | 謝謝委員意見，本研究案是採正壓風向。 |
| 台灣建築中心 | | |
| 1 | 本研究分析採二案例為地上 15 層建築，建議後續研究納入高層建築物探討分析。 | 謝謝委員意見。 |
| 王獻堂委員 | | |
| 1 | 自然排煙建議應該考慮不同風向對於排煙窗排煙能力之影響。 | 謝謝委員意見，在後續研究補充。 |
| 2 | 火場位置及開口會影響中性帶變化與排煙效果，建議納入模擬參數探討。 | 謝謝委員意見。 |
| 3 | 實測不同風向之排煙效果可納入微差壓量測比對模擬結果。 | 謝謝委員意見，實測不同風向對本研究案有施行上的困難，此部分將採用 FDS 模擬探討。 |
| 何所長明錦 | | |
| 1 | 開口是否可以採用 45 度開口避免正面風影響自然排煙性能？ | 謝謝委員意見，將納入後續研究補充。 |

(以下空白)

附錄三 期末審查回覆表

內政部建築研究所 103 年度委託研究計畫案 自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究 期末審查回覆表

| 項次 | 審查意見 | 回覆辦理情形 |
|-------|--|--|
| 王獻堂委員 | | |
| 1 | 本研究實驗為單一層高度，因為高層建築物的不同開口與不同季節會有中性帶的因素影響，建議輔以模擬找出讓實務可依循的結論。 | 謝謝委員意見，已於第五章加入不同風向之模擬。 |
| 2 | 建議將研究結論整理成查核表單，供業界自主檢核或設計查核使用。 | 謝謝委員意見，本研究案已提出設計建議參考。 |
| 何三平委員 | | |
| 1 | 報告書第 5.2.4 節模擬標準說明有提及輻射熱強度，但模擬等結果似乎未提及，請說明。 | 謝謝委員意見，於表 15 有說明模擬判斷標準採用容許溫度及能見度判別標準。 |
| 2 | 本研究情境說明，請增加圖面說明，以利讀者了解情境之差異性說明。 | 謝謝委員意見，將於書面補充。 |
| 3 | 報告書第 71、72 頁之全尺度平面圖，請放大，並以橫式表達，以利規格等資料之顯示。 | 謝謝委員意見，將依委員意見修改報告第 71 及 72 頁之全尺度平面圖，將之放大以利資料之顯示。 |
| 4 | 報告書中排煙室防火門容許壓差 75 Pa 為平均值，是否有規範要求。 | 謝謝委員意見，本報告說明排煙室容許 75 Pa 壓差，乃引用美國 NFPA 92A，該標準以門開力 133N 作為計算基準，過高壓差使門開力過大會影響逃生之虞。 |
| 5 | 模擬與實測結果，趨勢一致，但結果仍有差距，因此請說明確認，實際建物模擬之準確性。 | 謝謝委員意見，本報告實驗與模擬中，有關防火門連續開啟時間均採用同一時間以利比較。 |
| 林世昌委員 | | |
| 1 | 實驗結果對外部風作用有助於排煙室排煙性能，且當外部風速愈大時，排煙室內煙流消散呈愈快速之趨勢（詳報告書第 111 頁），與期中報告有一致性。再與研究結論七（詳報告書第 112 頁），高層建築物尚有外部風壓問題，過大風壓或可導致排煙室防火門開啟困難問題，以及影響其他空間不力之熱煙流竄。排除 50 公尺以上 | 謝謝委員意見。 |

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

| | | |
|--------|---|---|
| | 建築物之適用性，具有向傳統認知妥協的意含。 | |
| 2 | 自然風是否大於渦卷風可再進行研究。 | 本報告已以流場渦流分析，發現排煙室因面積及縱深小，故渦流足於造成排煙室混流將煙排出，已用長短向排煙實驗之差異及渦流流場說明，故其有別於如縱深大的空間渦流長度可能遠小於空間之縱深。 |
| 徐一量委員 | | |
| 1 | 研究成果符合計畫預期成果。 | 謝謝委員意見。 |
| 2 | 不同風向對排煙的影響於本年度研究中尚未完整探討，建議後續研究可再加以探討。 | 謝謝委員意見。 |
| 3 | 實場實驗使用參數可再說明清楚，如火盤尺寸、油量、實驗時間序可再說明。 | 謝謝委員意見，將於書面內容補充說明。 |
| 許宗熙委員 | | |
| 1 | 目前自然排煙之法規規定是否適用？是否要追加限制應有所建議。 | 謝謝委員意見，目前法規所規定自然排煙符合初期逃生使用，本研究案建議當樓層高度超過 50m，排煙室不建議採自然排煙。 |
| 2 | 風速若不影響排煙性能，卻又建議設置於建物高度 50m 以下為宜，似有矛盾處。 | 謝謝委員意見，本研究案提出風速有利於排煙的效果，有助於初期人員避難逃生，但也會產生過高壓差使門開力過大會影響逃生之虞。 |
| 3 | 排煙室之防火門開啟時間，若設定為該樓層避難時間，應有說服力之假設。 | 謝謝委員意見，防火門開啟時間採 10 秒為預估 3-5 人避難逃生使用時間。 |
| 黃建彰委員 | | |
| 1 | 報告書第 73、74 頁燃料使用柴油加甲醇或是酒精，請確認(簡報是寫柴油)。 | 謝謝委員意見。 |
| 2 | 實驗程序以照度計量測能見度，建議在報告中說明由照度計轉換能見度程序。 | 謝謝委員意見，將於報告內容補充說明。 |
| 3 | 有光源及沒有光源的能見度是不相同，本實驗使用光源所得能見度是否可以推論就是實際排煙室在沒有足夠光源之能見度？ | 謝謝委員意見，依消防安全設備設置標準規定，排煙室內需設置出口標示燈，故為有光源之空間。 |
| 台灣建築中心 | | |
| 1 | 自然排煙窗之排煙室是否須考量排煙室最小面積限制，目前法規規定 2 m ² /3 m ² 之開口面積是否已足夠？ | 謝謝委員意見，目前法規所規定自然排煙符合初期逃生使用。 |
| 2 | 由簡報影片發現，迎風面自然排煙窗排煙恐有向上層回流，對於目前法規允許之 15 樓以上自然排煙窗設置有何改善建議。 | 謝謝委員意見，本研究案建議當樓層高度超過 50m，排煙室不建議採自然排煙。 |

| 雷明遠委員 | | |
|-------|---|---|
| 1 | 建請將本案研究發現具體事項轉化為法規增修建議條文(3 欄式)，如自然排煙室排煙口設置高度 50m(16 層樓)，以供各類場所消防安全設備設置標準或建築技術規則第 12 章增修條文參考。 | 謝謝委員意見，將於內容補充。 |
| 2 | 附錄所提”設計建議參考事項”，建請補充圖例說明，使報告書內容呈現更加具體易懂。 | 謝謝委員意見，將於內容補充。 |
| 3 | 以上兩點整理結果，希請於下次專家座談會時提出討論。 | 謝謝委員意見。 |
| 建研所 | | |
| 1 | 建請於報告書第七章補充說明在何種情境下獲得本研究 FDS 模擬與全尺度實驗結果。 | 謝謝委員意見，情境已於第五章與第六章提出說明。 |
| 何所長明錦 | | |
| 1 | 本研究實驗數據結果若明確，可對目前法規條文提出建議增修部分。 | 謝謝委員意見，將於內容補充。 |
| 2 | 本研究 FDS 數值模擬與實驗情境之設定宜再確認，例如火災發生在高層建築物的某一層樓時(不一定在高樓層)，其數值模擬結果如何？或實驗時外部風場較為簡化與實際風場有所差異，對所得實驗結果影響如何？值得進一步探討。 | 謝謝委員意見，本研究已採用兩個實例三種排煙室進行排煙室自然排煙模擬，並也模擬分析排煙室在不同樓高不同位置，在有外部風時以流場之流向分析發現其無顯著之影響，本研究模擬採正向風為最嚴苛的外部風條件。 |

(以下空白)

附錄四 第 1 次專家座談會議紀錄

內政部建築研究所103年度委託研究計畫案

「自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究」

第1次專家座談會議紀錄

壹、會議時間: 103 年 9 月 11 日 (星期三) 下午 14 時 00 分正

貳、會議地點:內政部建築研究所第四會議室

(新北市新店區北新路 3 段 200 號 15 樓第四會議室)

參、會議主持人:蔡尤溪教授

紀錄:卓鴻傑

肆、參加人員:

內政部建築研究所:

蔡綽芳組長 雷明遠研究員 李其忠副研究員

專家/學者:

吳俊瑩組長 曾偉文教授 曹昌歲建築師

蔡宜曆技師 鍾光民教授 蘇水波博士

研究單位:

林啟基博士 卓鴻傑研究助理 許文泉研究助理

伍、會議情形:

一. 主持人致詞: (略)

二. 研究單位報告: (略)

三. 專家/學家討論與建議: (建議事項表如附件)

四. 主持結論: (略)

五. 散會

(以下空白)

內政部建築研究所

「自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究」

第 1 次專家座談會建議事項表

| 專家/學者 姓名 | 建議內容 | 辦理情形 |
|-------------|---|---------------------|
| 蔡宜曆技師 | <p>1. 本案下標，外部風速愈大對排煙室之排煙效果愈佳，其結果似乎顛覆了傳統排煙室之概念，傳統概念在建築物高度愈高時，面對外部愈大風速，似乎是排煙效果會愈差，正好與此計劃下標結果相反。</p> <p>2. 若風速與排煙口平行，因外部風速流場造成負壓誘導，當然排煙效果愈好，但若屬正面風速與排煙口垂直，以本案臨界風速到 8m/s 動壓力達約 40Pa，是否仍有助於排煙效果，其研究結果仍需更加確實嚴謹。</p> <p>3. 看實驗模擬，採風機模擬外部風速，由於風速屬旋轉不穩流狀況，煙霧也呈旋轉散發，此是否有影響排煙效果，仍應再予確認。</p> | 感謝委員的意見，將納入後續研究參辦。 |
| 鐘光民教授 | <p>1. 來流風速及方向且清楚定義。</p> <p>2. 風速效應之結論與模型相關，相關陳述之情境應詳加說明。</p> | 本研究將於期末針對本建議事項進行補充。 |
| 蘇水波博士 | <p>1. 研究主題針對自然排煙室及排煙口配，實測及模擬結果，溫度及能見度曲線趨勢相近，驗證成效良好，但對建築物而言其僅屬單一系統，相關研究條件易受限，成果恐無法全面適用。</p> <p>2. 對建築物之安全性而言應以整體性考慮；以國內 2012 年 5 月雪山隧道發生通車以來最嚴重的死亡事故為例，事故造成 2 人交通事故死亡、34 人受傷，受傷人員主要係因聯絡隧道安全門開啟逃生後未關閉，致使濃煙進入造成人員嗆傷；簡報中 7.2 五. 相關事件: 美國紐約消防員 3 員死亡，亦因搶救時，開啟門後遭大量煙流所襲致死亡，本案逃生梯門打開後是否造成不良效應建議持續進行後續避難及搶救相關整體之研究。</p> | 感謝委員的意見，將納入後續研究參辦。 |
| 曹昌歲建築師 | <p>1. 排煙室除緊急昇降機之排煙室為 10m² 以上，若僅單純為別安全梯之排煙室面積大部分均 < 10m²，排煙室空間尺寸是否有影響本研究結論？</p> | 本研究將於期末針對本建議事項進行補充。 |

| | | |
|-------|---|---|
| | 2. 請補充說明風向條件。 | |
| 吳俊瑩組長 | <p>1. 排煙口開口形狀，通常有全開式、外推窗式或對開窗式，在相同的外部風情況下，可能會有不同的影響結果，請納入考量。</p> <p>2. 在排煙過程中，外部風場範圍可能相當巨大，如單純以風機動作所造成的局部風場所進行實驗，似乎有些疑慮，亦請納入實驗考量。</p> | <p>本研究將於期末針對實驗部分加做排煙口45度開啟情況，及風場分佈情況進行補充。</p> |
| 曾偉文教授 | <p>1. 從以往的經驗，國內在自然排煙的設計審查上，通常建議10F以上儘量不要以自然排煙方式設計，此為一般之看法，與本案初步建議結果有所不同。</p> <p>2. 在排煙口外側部分，建議以速度向量來觀測流場變化情況。</p> | <p>感謝委員的意見，將納入後續研究參辦。</p> |

(以下空白)

附錄五 第2次專家座談會議紀錄

內政部建築研究所103年度委託研究計畫案

「自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究」

第2次專家座談會議紀錄

壹、會議時間: 103年10月29日(星期三)下午15時00分正

貳、會議地點: 內政部建築研究所討論室(2)

(新北市新店區北新路3段200號13樓)

參、會議主持人: 蔡尤溪教授

紀錄: 卓鴻傑

肆、參加人員:

內政部建築研究所:

蔡綽芳組長 雷明遠研究員 李其忠副研究員

專家/學者:

鄭副組長志強 蘇水波博士

研究單位:

林啟基博士 卓鴻傑研究助理 許文泉研究助理

伍、會議情形:

一. 主持人致詞: (略)

二. 研究單位報告: (略)

三. 專家/學家討論與建議: (建議事項表如附件)

四. 主持結論: (略)

五. 散會

(以下空白)

內政部建築研究所

「自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究」

第 2 次專家座談會建議事項表

| 專家/學者 姓名 | 建議內容 | 辦理情形 |
|-------------|--|--|
| 鄭副組長志強 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 文獻探討國內之建築或消防排煙規定，以最新規定為主，舊的法規建議刪除。 2. 美國及鄰近國家(大陸、日本)探討略為簡單，建議充實，如日本建築法施行規則等規定，如果時間允許，增列香港、新加坡的規範，因為建築與國內相似。 3. 文獻探討以排煙室為範圍，如列居室排煙，應有所分類或分項，以為明確。 4. 排煙室的功能有二，一為相對安全區供收容人員避難，一為供消防人員搶救用應說明本次研究的目標為何？ 5. 模擬情境所界定之邊界條件，應說明及與實際情形吻合，例：防火門開 10 秒後關閉的理由？ 6. 排煙室供相對安全區使用時，重要的考量點除煙排出外，可能要考慮風吹進去時，加速煙層下降至最低的時間點，確認人員避難過程是否安全？ 7. 確認 FDS 模擬及全尺寸實驗之限制及邊界條件，是否相同？ 8. 研究下結論時，應檢視限制條件及情境，考量結論是否超過限制條件，審慎為之。 9. 建議四，建議消防署立即可行修改自然排煙設計，惟研究中未比對現行法規有何不妥？及研究論理基礎是否足夠？以及要修甚麼？請釐清。 | 感謝委員的意見，已在內文中加以修正。 |
| 蘇水波博士 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 是否應加入門壓力 75Pa 所對應之門尺寸？ | 感謝委員的意見，由公式 5.6 與表 12 可計算出門尺寸與推門壓力之關係。 |

(以下空白)

附錄六 第3次專家座談會議紀錄

內政部建築研究所103年度委託研究計畫案

「自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究」

第3次專家座談會議紀錄

壹、會議時間: 103年12月11日(星期四)下午15時00分正

貳、會議地點: 內政部建築研究所簡報室

(新北市新店區北新路3段200號13樓)

參、會議主持人: 蔡尤溪教授

紀錄: 卓鴻傑

肆、參加人員:

內政部建築研究所:

蔡綽芳組長 雷明遠研究員 李其忠副研究員

專家/學者:

吳俊瑩組長 楊艷禾科長 黃弟勝科長 曾偉文教授

林世昌理事長 邱治國理事長

研究單位:

林啟基博士 卓鴻傑研究助理 許文泉研究助理

伍、會議情形:

一. 主持人致詞: (略)

二. 研究單位報告: (略)

三. 專家/學家討論與建議: (建議事項表如附件)

四. 主持結論: (略)

五. 散會

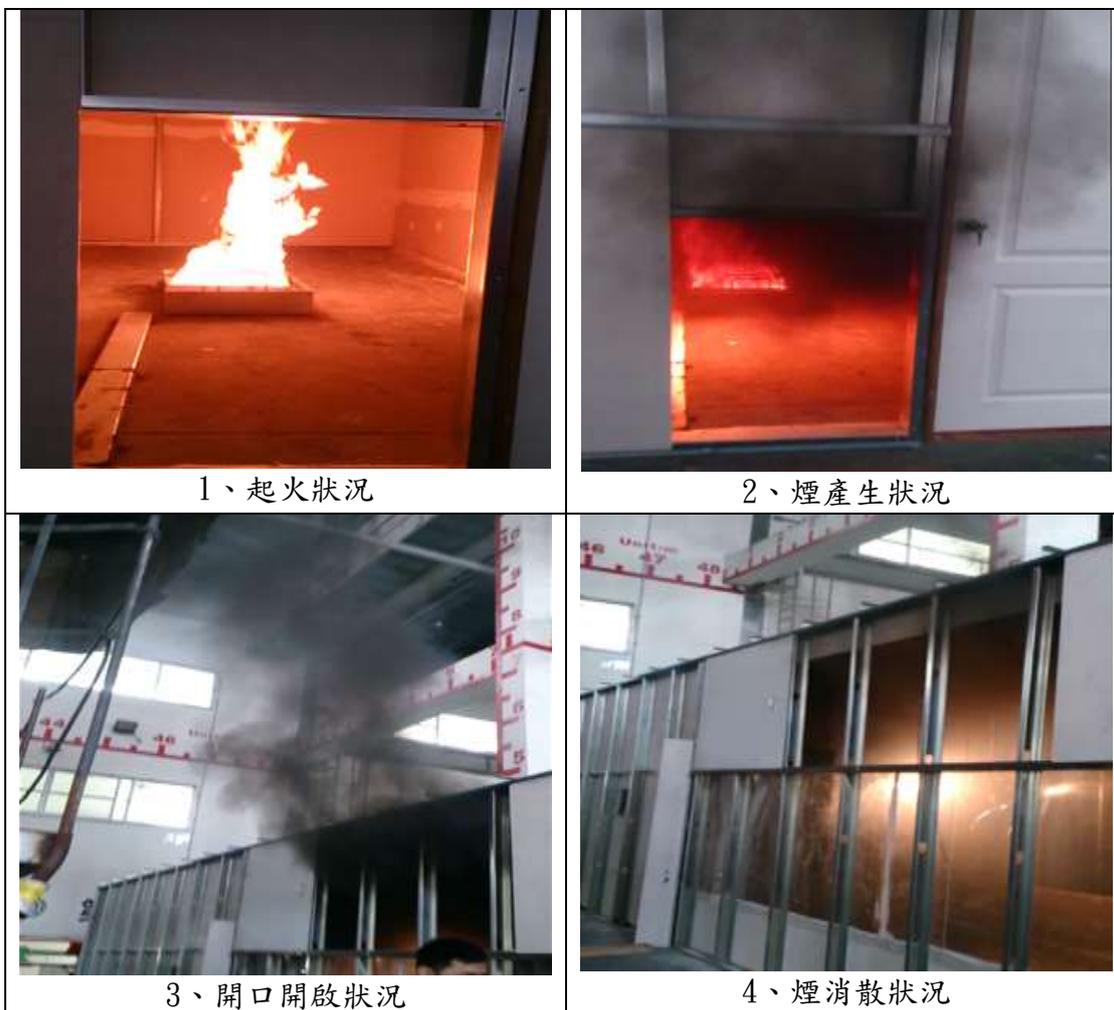
(以下空白)

內政部建築研究所
「自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究」
第 3 次專家座談會建議事項表

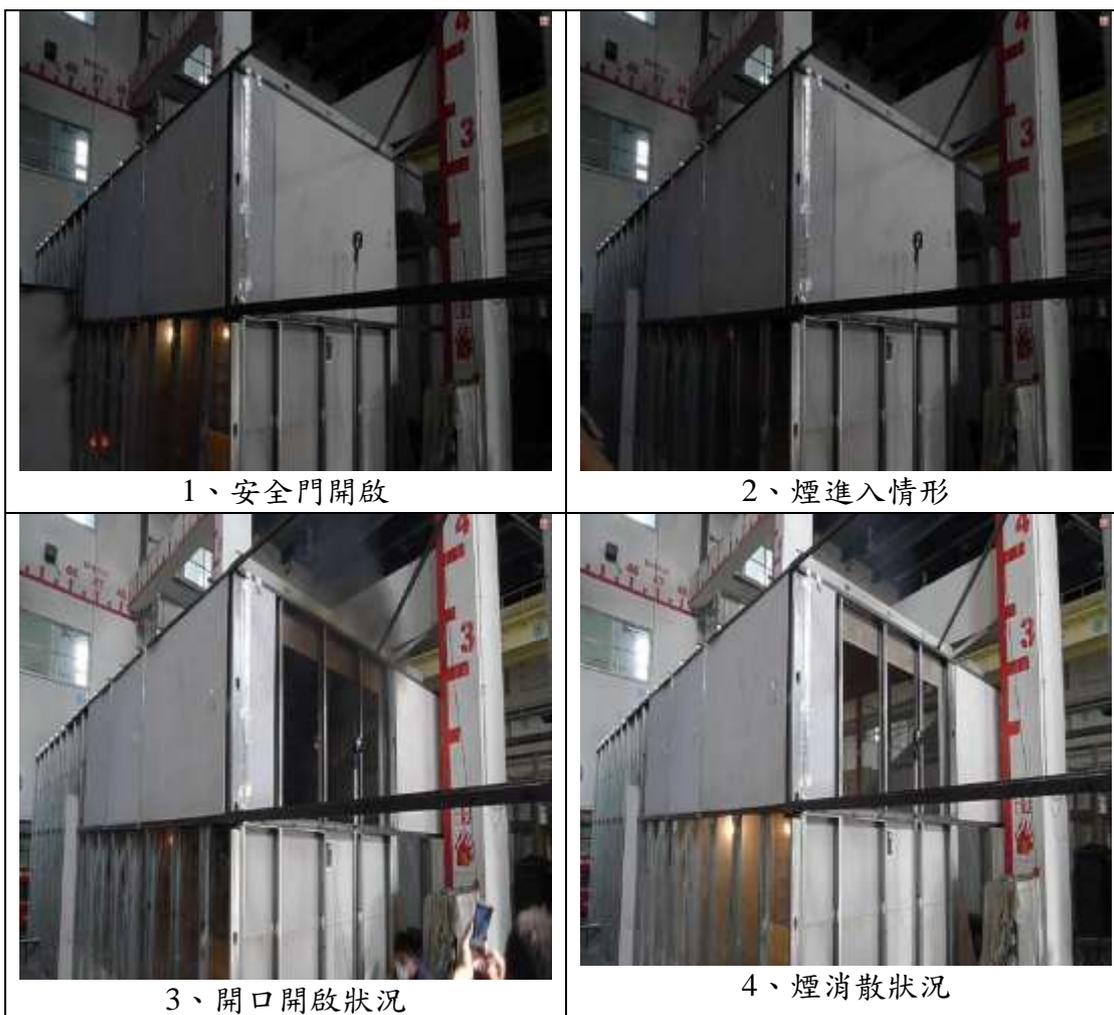
| 專家/學者 姓名 | 建議內容 | 辦理情形 |
|-------------|--|------------------------------------|
| 吳俊瑩組長 | 1. 能見度判斷依據為何？ 2. 門壓差設為 75Pa 依據為何？ 3. 建築物高度超過 50 公尺之樓層，採機械排煙設備之法規修改，列建議事項即可。 | 感謝委員的意見，已在第 45 頁說明。 |
| 楊艷禾科長 | 1. 排煙室也提供消防救災使用，建議列入日本及歐美之規範。 2. 排煙室可提供人員避難逃生相對的安全空間。 | 感謝委員的意見，本研究案僅對於有利人員初期避難使用建議。 |
| 黃弟勝科長 | 1. 建築物高度超過 50 公尺之樓層，是否須採機械排煙設備，可給予設計者彈性使用。 | 感謝委員的意見。 |
| 曾偉文教授 | 1. 能見度 4.8m、壓差 75Pa 及其他相關數據的依據為何？ 2. 將建築物高度超過 50 公尺之樓層，採機械排煙設備，納入法規修改是否是當？ | 感謝委員的意見，已在第 45、53 頁說明。 |
| 林世昌理事長 | 1. 建築物高度超過 50 公尺之樓層，採機械排煙設備之法規修改，可提建議事項。 2. 本研究案之相關數據未來可供為參考。 | 感謝委員的意見。 |
| 邱治國理事長 | 1. 開門時間設 10 秒，如果時間變長或不關上時，是否會產生變化？ | 感謝委員的意見，本研究案火災模擬劇本採 10 秒時間，藉以定性分析。 |
| 雷明遠研究員 | 1. 門壓差設為 75Pa 依據為何？ 2. 設計建議事項請補圖例說明。 3. 本研究案是採用正面風當作外部風場，如有背向風時將會產生負壓，有利排煙。 4. 特別安全梯與緊急升降機間排煙室，是否需要區別不同性？ | 感謝委員的意見，已在案例研究一、二與第 45 頁及附錄八中說明。 |

(以下空白)

附錄七 全尺寸模型實測照片摘錄



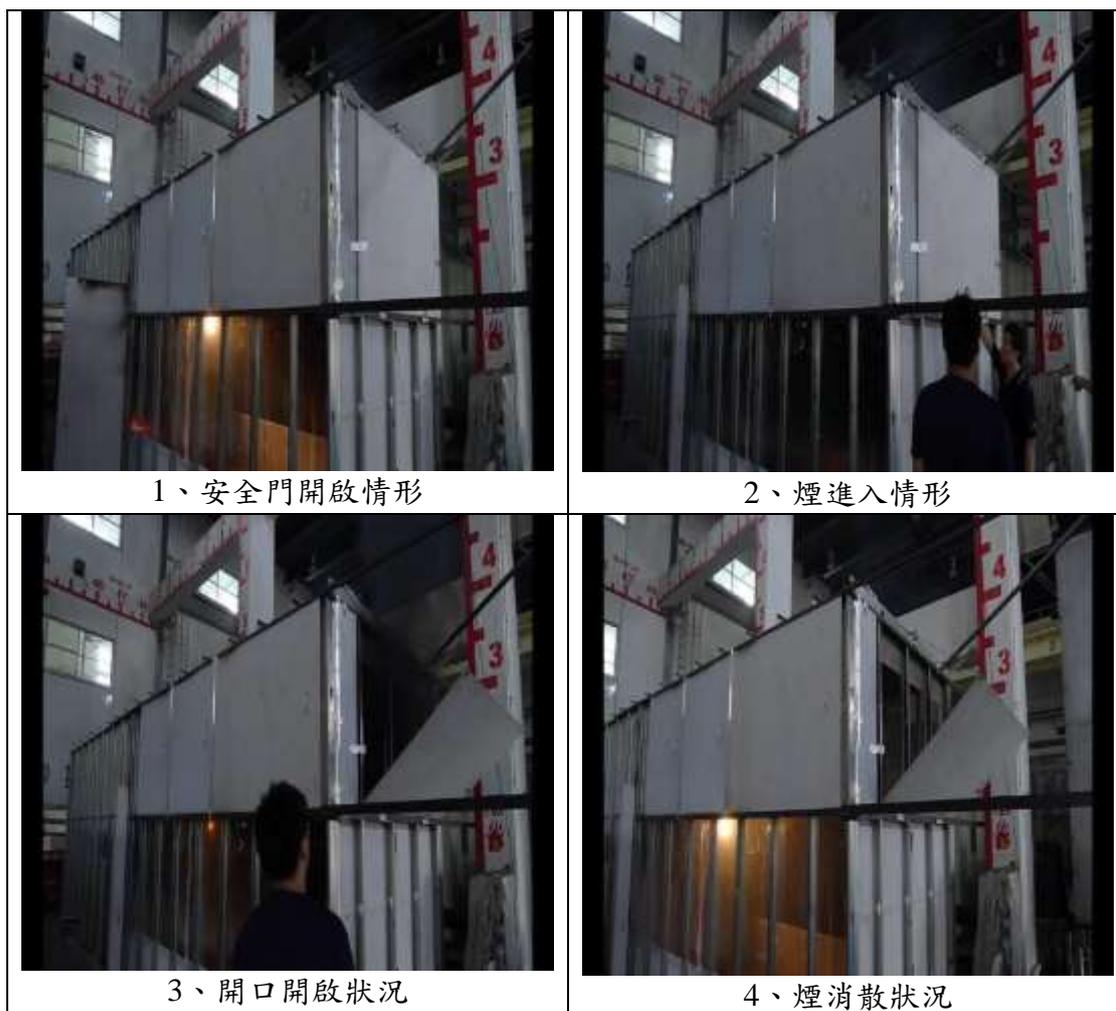
CASE1-A0 照片摘錄 (排煙口置中 外部風速 0m/s)



CASE2-A0 排煙室照片摘錄 (短向排煙口置中 外部風速 0 m/s)



CASE1-45-A0 排煙室照片摘錄 (長向排煙口置中開口 45 度 外部風速 0 m/s)



CASE2-45-A0 排煙室照片摘錄 (短向排煙口置中開口 45 度 外部風速 0 m/s)

附錄八 設計建議參考事項

建築物排煙室之自然排煙系統設計，對於有利於初期人員避難逃生使用，除可依照現行消防法規之「各類場所消防安全設備設置標準」有關自然排煙設備之相關條文辦理外，亦可參考本設計建議規範進行排煙室之自然排煙系統設計。

一、排煙室位置：設置於建築物受風面之中心區域。

二、開口設計：設置於長向牆面位置。

三、自然排煙口開啟方式：自然排煙口建議採用全開方式開啟。

四、排煙室相關出入口門：應確保火災發生時能夠關閉，採用常閉式或常開式並與火警系統連動方式設計。

五、外部風之壓力：外氣進入排煙室時，在通往排煙室之門上會產生壓力差，增加避難逃生人員須相對提高推門力，所以須考量在高風速時，高壓力差會影響避難逃生。依據國外文獻與研究結果，建議排煙室以自然排煙口設計時，建議設置於 50m 以下高度為宜。

六、門壓差之壓力：本研究提出門所受之壓差計算供設計使用者做為參考依據，以 Klote[16]對一般單開門提出開門力的計算方程式如下：

$$F = F_{dc} + \frac{WA\Delta p}{2(W-d)} \quad (1)$$

在此：

F =開門力(N)

F_{dc} =關門器（門弓器）作用力(N),

W =門扇寬度 (m)

Δp =壓差(Pa).

A =門扇面積(m²),

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

d =門把距門框距離(m)

也可參考 NFPA 101[22]已對開門力制定了最大限值為 133N，且對數種尺寸之單開門依該限值代入公式（1），計算出最大壓差結果，如下表所示。

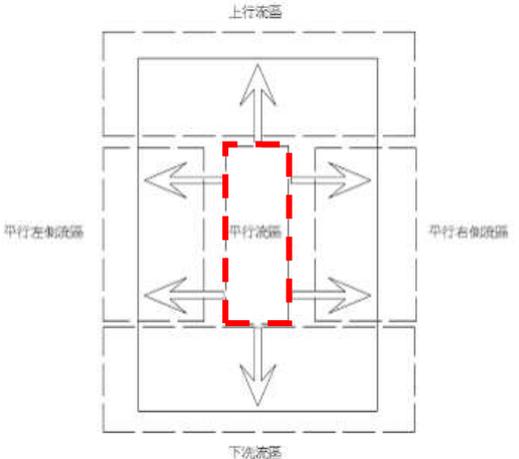
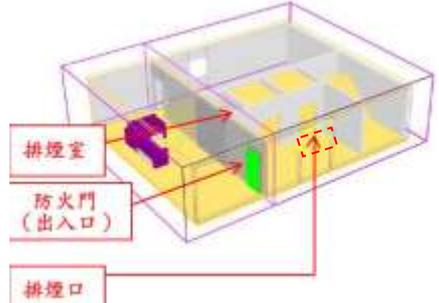
安全門二側（於 133N 開門力時）最大壓差限值表

| Door Closer Force (N) | Door Width | | | | |
|-----------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.81 m | 0.91 m | 1.02 m | 1.12 m | 1.22 m |
| 25 | 113 | 102 | 92 | 84 | 78 |
| 30 | 108 | 97 | 88 | 80 | 74 |
| 35 | 103 | 93 | 83 | 77 | 71 |
| 40 | 98 | 88 | 79 | 73 | 67 |
| 45 | 92 | 83 | 75 | 69 | 64 |
| 50 | 87 | 78 | 71 | 65 | 60 |
| 55 | 82 | 74 | 66 | 61 | 56 |
| 60 | 77 | 69 | 62 | 57 | 53 |
| 65 | 71 | 64 | 58 | 53 | 49 |

Note: The door height is 2.13 m, and the distance from the doorknob to the knob side of the door is 0.76 m.

(資料來源：參考資料 16)

設計建議參考事項表

| 設計形式 | 說明 | 備註 |
|------------------------------|--|--|
| <p>排煙室 位置設計</p> | <p>設置於建築物受風面之中心區域。(如右圖虛線範圍內)</p> |  |
| <p>自然排煙 開口設計</p> | <p>設置於長向牆面位置。(如右圖虛線範圍內)</p> |  |
| <p>自然排煙口 開啟方式</p> | <p>採用全開方式開啟。</p> |  |
| <p>排煙室相關 出入口門 設計</p> | <p>應確保火災發生時能夠關閉，採用常閉式或常開式並與火警系統連動方式設計。</p> | |
| <p>樓層高度 限制</p> | <p>排煙室以自然排煙口設計時，建議設置於50m 以下高度為宜。</p> | |

參考資料

- [1]內政部，「建築技術規則建築設計施工編、建築構造編、建築設備編」。
- [2]內政部，「各類場所消防安全設備設置標準」，民國 102 年 5 月。
- [3]楊冠雄，「大空間建築自然煙控設計之全尺度實驗與驗證」，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，92 年 12 月。
- [4]鍾基強，「緊急昇降及特別安全梯梯間排煙設備之研究」，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，87 年 6 月。
- [5]鍾基強，「性能式煙控系統設計與檢證規範之研究-高層建築自然排煙之可行性分析」，內政部建築研究所專題研究計畫成果報告，95 年 12 月。
- [6]NFPA 92A, Recommended Practice for Smoke-Control Systems, 2009 Edition, National Fire Protection Association。
- [7]NFPA 92B, Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas, 2009 Edition, National Fire Protection Association。
- [8]ASHRAE Handbook 2011 Application, Chapter 53 Fire and Smoke Management。
- [9]中國設計規範，GB 50016—2012 建築設計防火規範。
- [10]中國設計規範，GB 50045—95 高層民用建築設計防火規範。
- [11]山海敏弘，日本建築物排煙設備基準法簡介，中華民國冷凍空調研討會，85 年 12 月 14 日。
- [12]日本「新建築防災計畫指針」1995 年版。
- [13]內政部，「建築法」。
- [14]內政部，「消防法」。
- [15]NIST Special Publication 1019-5，Fire Dynamics Simulator (Version 5)User's Guide, National Institute of Standards and Technology, 2010。

自然排煙室及排煙口配置對排煙有效性驗證之研究

[16]J.H. Klote, and J.A. Milke, Principle of Smoke Management Systems, ASHRAE and SFPE, 2012。

[17]鍾基強、蘇崇輝、謝宗翰，性能式煙控系統設計與檢證規範之研究－高層建築自然排煙之可行性分析，內政部建研所委託研究報告，95年12月。

[18]ASHRAE, ASHRAE Handbook, 2009。

[19]中央氣象局全球資訊網，

http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/monthlyMean/Taiwan_ws.htm

[20]蔡綽芳、蔡允溪、雷明遠、李其忠、卓鴻傑、許文泉、楊森州，防煙區劃內隔間開口設計對機械排煙效能影響之研究，內政部建築研所委託研究報告，102年12月。

[21]NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems., 2010 Edition, National Fire Protection Association。

[22]NFPA 101, Life Safety Code, 2012 Edition, National Fire Protection Association。

[23]葉琮勤，大空間建築性能式煙控系統設計之 3D CFD 電腦模擬分析與全尺度實驗印證，國立中山大學機械與機電工程學系博士論文，95年7月。

[24]蘇崇輝、陳永隆、潘永藍、李文傑，以熱煙測試方法分析建築物居室火場煙層下降速率，燃燒季刊第二十三卷第二期，103年5月。