

高層國際商務旅館煙控性能設計之研究

Analysis of smoke control performance-based design at high-rise international business hotels

邱晨瑋¹、張丁元²、陳俊勳³

Chen-Wei Chiu、Ting-Yuan Chang、Chun-Hsun Chen

摘要

我國建築物內排煙設計大都依照各類場所消防安全設備設置標準與建築技術規則設計施工篇來規劃，通常形成一種固定化與不變性，無法依照場所實際特性使排煙裝置作有效利用。這些設備在消防安全檢查上，只要功能正常啟動、排煙量符合法規就行，無法考慮到是否真正確保人命安全，因此實務上有所謂替代性（RouteB）、性能式（RouteC）來強化消防安全、保障生命財產。

本研究以 25 樓高層建築物之商務旅館，假定標準層內客房起火，排煙設計採我國法規，對比性能式設計之梯間加壓，歸納最適合防煙模式。文獻舉國內外學者研究及美國防火協會 NFPA 等資料，列出有關煙的規範以及介紹各種煙控模式。起火處假定旅館內標準層客房起火，加入火災模擬軟體 FDS，模擬煙層下降至 1.8m 時間。

經結果發現客房一與客房五起火，在排煙模式下，右排煙室煙層下降時間較無排煙模式時短。而在排煙與梯間加壓並用模式下直至 300 秒時，排煙室及安全梯都能維持良好能見度與溫度，但因量測點位於走廊，當客房五起火後，梯間加壓化使濃煙往走廊中間集中，導致在 144 秒時煙層高度便低於 1.8m。另外，同面積情境以進排煙 2m³/s 的風量啟動下，比風量 4m³/s、6m³/s 的煙層下降時間長。以法規所定進排煙風量 4m³/s 啟動，排煙室面積只要 5m² 以上，煙層能維持在高度 1.8m 以上。情境 S-1 的面積較偏方形，情境 A-2 的面積較偏長形，二者面積相似，其 FDS 模擬結果，情境 S-1 的煙層高度維持在 1.8m 以上，情境 A-2 的煙層高度在 164 秒時便低於 1.8m。

¹ 教授；臺灣警察專科學校消防安全科；eswin.wei@gmail.com

² 產業安全與防災學程碩士班；國立交通大學；tingyuan0107@gmail.com

³ 副校長；國立交通大學；chchen@mail.nctu.edu.tw

關鍵字：旅館、煙控模式、FDS、梯間加壓、排煙室

ABSTRACT

The internal smoke exhaust system in Republic of China is mostly designed according to the Standard of Installing Fire Safety Equipment the construction articles in Building Technical Regulations. It usually leads to fixation and invariance and cannot make the exhaust device flexible to the actual characteristic of the place. The exhaust device may pass fire safety inspection and functions well in the normal case, however, it cannot ensure the life safety in practice. Therefore, there is a so-called substitute (Route B) and performance-type (Route C) to strengthen the fire safety and protect life and property.

This study takes a 25-floor business hotel as an example. We assume that the fire occurs in a standard room. The smoke exhaust system is designed according to the regulations in our country, adopts the contrast performance design of the refuge stairways pressure, and has the most suitable smoke-proof mode. This literature summarizes the domestic and foreign researches, the data from American Fire Prevention Association NFPA, and so on. We list the smoke regulation and introduce various smoke control modes. We use the fire simulation software, FDS, and simulate the smoke layer dropped to 1.8m.

The results found that, when Room 1 and Room 5 were fired, in the smoke extraction mode, the smoke on the right exhaust chamber fell faster than the smoke-free model. Moreover, in the exhaust and staircase pressure mode, until 300 seconds, the exhaust chamber and the emergency staircase can maintain good visibility and temperature. Due to that the measurement point is in the corridor, when Room 5 is fired, the pressure in the staircase makes the smoke concentrate in the middle of the corridor, resulting in that the smoke layer is lower than 1.8M after 144 seconds. In addition, if the area is fixed, when the exhaust capacity is $2\text{m}^3/\text{s}$, the smoke layer fell down more slowly than the cases where the exhaust capacities are $4\text{m}^3/\text{s}$ and $6\text{m}^3/\text{s}$. If the exhaust capacity is $4\text{m}^3/\text{s}$, as the regulation, when the area of the smoke room is no less than 5m^2 , the smoke level can be maintained no lower than 1.8M height. In Scenario S-1, the region is a square. In Scenario A2, the region is a rectangle. The areas are similar in the two cases. The FDS simulations show that the height of the smoke layer in Scenario S-1 is always above 1.8M and that of Scenario A2 is lower than 1.8M after 164 seconds.

Keyword : hotel, smoke control modes, FDS, refuge stairways pressure, exhaust chamber

壹、前言

一、研究動機

現行建築法及消防法對於建築物有相關的要求，但多數旅館業者認為只要符合現行法規規範，就可確定這場所必定是安全無虞，但常疏忽掉場所使用上隱藏的危機，只要是檢查合格後發生災害，就歸咎檢查人員不確實。許多旅館業者欠缺對於場所防火安全的多方面評估，包括員工訓練不足、用火用電未注意、內部裝潢材料未有防焰效果，以及分析各項可能發生火災原因以及可能延燒路徑評估。翻開歷史資料顯示，國內案例：花旗大飯店 17 死 13 傷（81 年，高雄市）、嘉年華大樓 11 死 8 傷（84 年，嘉義市）、四季飯店 5 死 10 傷（92 年，桃園市）、白雪大旅社 8 死（98 年，台北市），國外案例：美國米高梅酒店 85 死約 700 傷。種種案例顯示這些符合當時法規之飯店、旅館，發生火災時依然造成嚴重人命傷亡，這些傷亡者幾乎受濃煙侵害，顯示不論是國內外案例，條列化的法規不足應用於實際發生境況。現階段我國法規對於旅館的排煙系統仍然依照逐條設計方式，而本人認為這樣不足應於各大型商務旅館，尤其是高層建築物的商務旅館。但如能設計有別於不同規格式法規的排煙系統，並於旅館發生火災時，能確實保障住宿旅客的安全，對於旅館業者永久經營的策略與維護住宿旅客的生命安全都會有顯著的提升效果。

二、研究目的

規格式法規不管場所火載量、發煙量大小，千遍一律的條文綁定排煙設計，而多年來旅館火災案例應證符合條文的場所仍然有人員傷亡，換言之，規格式法規無法適用發煙量大之旅館。傳統的排煙設計是將煙抽離開建築物，發煙量過大的居室，即使排煙機排煙風量符合法規，啟動後將一部分的濃煙抽離居室，剩餘的濃煙還是會往其他路徑前進，蔓延至居室、走道、樓梯、管道並向上竄升。防煙區劃內排煙風量是照樓地板面積計算，但只僅適合一般場所，各類場所消防安全設備設置標準之排煙設備未把發煙量考慮進去，本研究標準層各客房均小於 100m^2 ，依法免設居室排煙設備，各標準層排煙設備是設置於排煙室內，而排煙室內排煙設備亦是以抽離建築物為主，進排煙量一律為固定的，這設計對大型商務旅館是否真的適合？因此，打破傳統將煙排出的觀念，透過加入梯間加壓化煙控

設計，控制煙的流向，延長煙層下降時間，是此研究目的。

本研究初步以國內法規排煙設備之啟動，觀察煙層流動情形，再來採用梯間加壓化搭配排煙設備做比較，研究內容為下：

- (一) 以標準層客房起火，觀察煙流走向，在同樓層但不同客房之間（客房一與客房五為主），觀察何處較為危險，未來可做為旅館在避難動線上最適化的安全考量。
- (二) 傳統排煙與梯間加壓化二者之間，分別設定不同情境與防排煙模式，採取文獻資料設定火源大小及熱釋率、排煙與加壓風量等等，以 FDS 模擬出煙層的下降至 1.8 公尺時間，比較出與傳統排煙的差異性，並提供我國國際商務旅館在設計消防排煙系統時的參考方向與法規的修正。
- (三) 本研究分二部分，其一為不同客房起火與煙控模式比較，其二為右排煙室面積與風量之比較。

三、研究範圍及研究限制

(一) 研究範圍

以各門均打開狀態做模擬，第一部分研究 25 層高層建築物大型商務旅館於火災發生時，排煙設備啟動與梯間加壓模式探討作範圍。目前我國以煙控設計為主的高層建築物少數，因此參考美規之梯間加壓防煙方法，國外多以壓差觀念做為防排煙之設計，與國內排煙把煙單純排出的概念不同，藉以找出這二者比較之下，煙降時間的差異。此外，本研究排煙設備均指機械式排煙，設定範圍在排煙室排煙及安全梯間與緊急昇降機兼用之排煙室（以下稱兼用排煙室），不做簡易二層與建築物防火避難安全性能驗證技術手冊的煙層下降時間比較。

1. 起火處設定：4-25 標準層客房，選擇客房一以及客房五作為此模擬處所，如圖 1 及圖 2 所示：

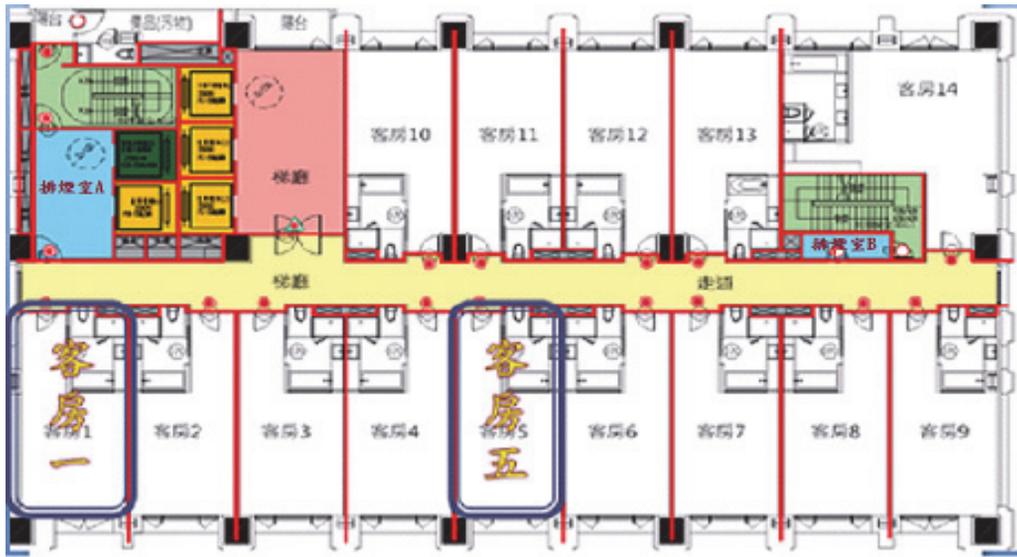


圖 1 旅館標準層平面圖（資料來源：如註【⁴】）

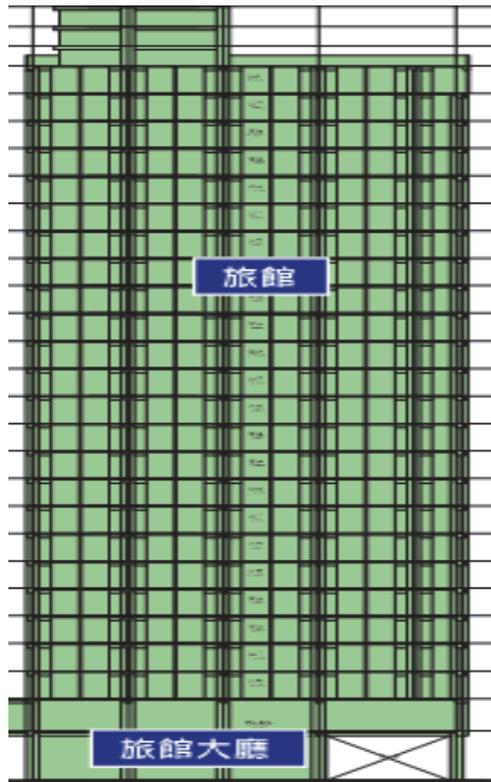


圖 2 旅館標準層立面圖（資料來源：如註【⁴】）

⁴ 南榮開發南港區旅館住宅新建工程防火避難綜合檢討報告書，民國 105 年 4 月。

1. 設定模式如下：

(1) 模式一：無排煙

(2) 模式二：排煙室排煙

(3) 模式三：排煙室排煙與安全梯間加壓化並用，並用部分啟動排煙室排煙同時，啟動梯間加壓。

2. 梯間加壓化進風速（量）設定：參考文獻資料後設定 3.6m/s（9.5m³/s）。

由於左右排煙室之安全門與尺寸不同，左安全門較大，右安全門較小，二者開口差異會影響風速大小，此研究將左右安全門通過風速設定一致，左排煙室風速較小，以左排煙室為主。

第二部分以右排煙室為研究範圍，目前我國對於非兼用之排煙室（不與緊急升降機共用的排煙室），未明確規定面積大小，而法規規定排進風量至少應為 4m³/s 以上。而空間過小的排煙室蓄煙能力較差，煙層下降時間會較短。為此列出在高度一致下，同面積不同風量、同風量不同面積，在不同差異下的煙層下降時間做比較。

1. 同面積不同風量：設定風量為 2m³/s、4m³/s、6m³/s，面積皆為 3.936m²。

2. 同風量不同面積：設定風量為法規所訂 4m³/s，面積分別設定大略接近 3m²、4m²、5m²。

(二) 研究限制

1. 火災發生於單一樓層區域，排除跨樓層火災與 HVAC 影響，煙流模擬僅限單一樓層區域。

2. 不討論發生閃燃後與滅火設備的抑制、消防人力所介入的影響。

3. 排除非正常火災燃燒歷程，如縱火。

4. 無外部風影響。

貳、濃煙特性以及相關文獻探討

一、濃煙特性

美國國家防火協會（NFPA）對煙的定義，煙由物質燃燒後形成的固體懸浮物、液態氣態粒子，再加上空氣混合而成。燃燒的產物通常包括固體微粒、燃燒不完全的燃料、水蒸氣、一氧化碳、二氧化碳與其他有毒、腐蝕性氣體等。煙為火災過程中重要產物【⁵】，其濃煙所造成的能見度為避難者是否逃出建築物，以及救災

⁵ 內政部消防署網站 <http://www.nfa.gov.tw/main/Unit.aspx?ID=&MenuID=378&ListID=129>，民國 106

人員能否找出火災、撲滅火災的影響因素。煙會使人陷入驚慌狀況，因為它有視線遮蔽及刺激效應，在許多情況下，逃生路徑上的煙會比熱早達到危險程度，在大型旅館之中，下塌飯店的旅客對於旅館場所必定不熟悉，一旦發生火災，心理一定是呈現恐慌狀態，加上煙的遮蔽效應，對周遭環境的逃生只能憑本能直覺。此外，濃煙還有看不見的毒性氣體，一般材料之熱分解與燃燒生成物種類非常多，有時多達百種以上，對人體而言，具有毒性氣體生成物僅是其中一部分，如表 1 所列舉項目。這些氣體之毒害性成分可分為三類：

- (一) 窒息性或昏迷性。
- (二) 感官或呼吸器官有刺激性之成分。
- (三) 其他異常毒害性成分。

表 1 有機高分子材料燃燒產生之毒性氣體

成分	來源材料
CO, CO ₂	有機高分子材料
HCN, NO, NO ₂ , NH ₃	羊毛，皮革，聚丙烯睛〔PAN〕，聚尿酯〔PU〕，耐龍，胺基樹脂……等
SO ₂ , H ₂ S, COS, CS ₂	硫化橡膠，含硫高分子材料，羊毛
HCl, HF, HBr	聚氯乙稀〔PVC〕，聚四氟乙稀〔PTFE〕
烷，烯	聚烯類及許多其化分子
苯	聚苯乙烯，聚氯乙稀，聚酯等
酚，醛	酚醛樹脂
丙烯醛	木材，紙
甲醛	聚縮醛
甲酸，乙酸	纖維素纖維織品

資料來源：如註【⁴】

煙不僅有毒性與遮蔽性，甚至具有高溫特性，由人體吸入後，會產生嗆傷以及吸入性灼傷，另外因濃煙會導致氧的分壓降低，有時會有缺氧情況發生。

二、相關文獻分析

依 2009 年版之 NFPA-92A 標準【⁶】的梯間加壓設計手法，於梯間設置風機

年 5 月。

⁶ National Fire Protection Association, NFPA 92A, Recommended Practice for Smoke-Control

並對梯間加壓，以防止濃煙進入梯間，提供建築內部人員一個安全逃生環境，亦可提供救災人員進入的安全空間。一棟 25 層高層建築物大型商務旅館，於火災發生時，易形成煙囪效應【⁷】，使煙往垂直方向行進擴散，其速度達 3~4m/s 之間，比人行進於樓梯速度（約 0.5m/s）還要快，又安全梯為內部人員唯一的垂直疏散通道，這時必須透過風機所產生加壓風力，使氣體流動與壓力差控制煙氣流向，達到安全梯間、前室（或稱排煙室）無煙的環境，進而保障住宿旅客安全疏散與搶救人員工作的進行。

NFPA-92A 為壓差系統之基本設計準則【⁸】，適用特別安全梯或緊急昇降機排煙室的排煙系統，設計方式為樓梯加壓系統和安全梯排煙室的通風系統，樓梯間加壓之方法，是利用防煙區劃壓差進行煙的控制，不需考慮起火處所之環境是否安全，為阻止濃煙從起火處所進入排煙室與安全梯間，排煙系統亦是維持以及建立壓差之要件。此外特別安全梯排煙室面積之規定，我國並無相關資料可循，以一般成年人體寬與輪椅尺寸，特別安全梯排煙室尺寸長寬度分別應 230cm 及 170cm 以上。倘若濃煙流入安全梯間後【⁹】，梯間加壓與排煙系統未啟動，起火層以上人員由安全梯避難，此刻梯間加壓啟動，因加壓緣故會使濃煙往下推進，造成安全梯間濃煙瀰漫，建議在排煙室的偵煙探測器感知到動作後，梯間加壓就應啟動，避免延遲啟動造成對梯間的濃煙加壓。

機械排煙方法為利用風機將起火建築物內的濃煙，透過排煙風機與排煙管道將煙抽離建築物，並有進氣風機協助補氣的方式進行，依照消防安全設備設置標準第 189 之規定【¹⁰】，特別安全梯或緊急昇降機間排煙室之排煙設備進風量與排煙量為 $4\text{m}^3/\text{s}$ （兼用為 $6\text{m}^3/\text{s}$ ）；機械正壓送風方法為對建築物內欲保護之區域進行加壓送風，保護區域如走廊、排煙室、安全梯間等，並有壓力梯度維持一定的正壓差（如圖 3），以抵抗起火居室的濃煙流向保護區域。

Systems,2009.

⁷ 陳繼斌、張貴林，「高層建築防煙樓梯間前室送風聯動控制可靠性研究」，消防科學與技術，第 30 卷第 8 期，683 頁，民國 100 年 8 月。

⁸ 鍾基強等人，「防火性能設計建築物有關煙控系統可靠度及功能查驗之研究」，內政部建築研究所委託研究報告，民國 102 年 12 月。

⁹ 陳建中，「超高層建築物火災之煙控系統與避難逃生模擬之研究」，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系，碩士論文，民國 100 年 6 月。

¹⁰內政部消防署，各類場所消防安全設備設置標準，民國 105 年 5 月。

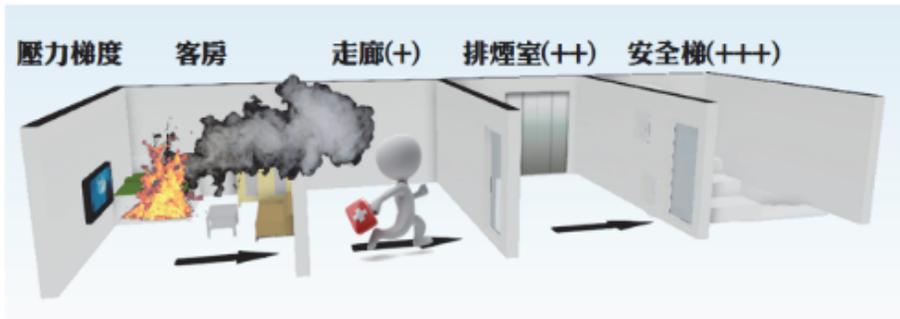


圖 3 壓力梯度示意圖（資料來源：本研究繪製）

機械防排煙技術於 20 世紀 80 年代時【¹¹】，北美就進行高層建築物防排煙之研究，現今該技術依然非常適用大型建築物、高層建築物、地下建築物，如馬來西亞吉隆坡雙峰塔大樓即採用機械正壓與排煙的模式，並且許多研究試驗與火災證明其防排煙之效果顯著，國際上許多高層建築物與地下建築物採用防排煙技術作為主要消防措施，此外防排煙風機是該系統的核心【⁶】，對其啟動方式必須非常可靠，若發生火災無法正常啟動，會使人員避難的時間大幅縮短，防排煙機啟動方式如下表 2：

表 2 防排煙機啟動方式

方式	說明
偵煙探測器連動	以火警自動警報設備作移報，連動防排煙設備。控制方式環節較多，一旦探測器或中繼器故障、迴路斷線無法動作時，將失去控制。
防災中心控制	防排煙設備啟動與停止直接由中心手動控制，可靠性較高，亦可確保自動控制失效後，防災中心人員可直接操作。
送風口連動	直接開啟送風口，藉由送風口開啟連動控制盤，啟動防排煙設備。
手動控制	採用手動方式操作控制盤，對防排煙機採取啟動與停止。

資料來源：本表自行整理

我國排煙設備規範以逐條方式規定，設計內容沿日本排煙規範，研究指出有設置排煙設備比無排煙設備的逃生時間增加約 43%【¹²】，可見排煙設備重要性，

¹¹蘭彬、錢建民，「國內外防排煙技術研究的現狀和研究方向」，消防科學與技術，第 2 期，17 頁，民國 90 年 3 月。

¹²蔡綽芳等人，「防煙區劃內隔間開口設計對機械排煙效能影響之研究」，內政部建築研究所，民國

但因裝潢、裝修材料更易，加上居室內家具、家電以及旅客住宿的私人物品，火災發生時其發煙量我們無法去精計，梯間排煙排進風量以及排煙設備排煙量之計算僅以防煙區劃面積來看，萬一發煙量超過排煙設備負荷時，煙就開始蔓延，進入避難通道而影響人們逃生，若能加上梯間加壓防煙可進一步確保逃生安全。NFPA92 對於梯間加壓設計採取非補償式與補償式（氣壓之控制），並有單點與多點送風，如下表 3

表 3 氣壓控制與加壓方式

加壓方式 氣壓控制	單點送風	多點送風
非補償式	設置成本低，直接對梯間加壓，梯間壓力無法隨防火門打開而作壓力補償，靠近送風機安全門打開便失效。	設置成本較高，需設置風管與送風口，送風量固定，安全門開啟太多便失效
補償式	設置成本較高，直接對梯間加壓，可自動調節或釋放過量壓力，靠近送風機安全門被打開便失效。	設置成本最高，需設置風管與送風口，送風量可自動調節或釋放過量壓力，此方法最好。

資料來源：本表自行整理

英國標準（BS）與歐盟規範（EN）以壓差進行煙控【¹³】，分為加壓與負壓系統，加壓煙控系統：如同美規，在保護區域提供正壓，梯間以送風機送風形成壓力梯度，維持人員逃生路徑安全；負壓煙控系統，於火場設置排煙設備，使鄰近受保護區域壓力較低。對於不同場所分類有不同的設計條件，BS/EN 對於旅館棟分類為 D 類（適用供人員於睡眠之場所），正常情況下需要更多時間才會進行梯間疏散，對該環境不熟悉或需要協助，此外本研究對象是亦屬樓高 25 層高層建築物，依我國法令規定火警警鈴採分層鳴動，在 BS/EN 規範也可歸類在 E 類（火災時採分階段疏散），思考在火災發展中，會產生較大火場壓力與濃煙，分階段疏散並保護梯間無煙環境，D 類與 E 類皆規定加壓梯間流向開啟門扇之風速不得小於 0.75m/s，送風機可設置於建築物頂部或底部。

中國大陸防排煙主要規定於 GB50016-2015 建築設計防火規範，由原本詳細規

102 年

¹³蔡尤溪，安全梯間加壓防煙設計技術手冊，內政部建築研究所。

範排煙設施部分，簡化條文對於防煙樓梯、前室與消防電梯前室或合用前室設置防煙設施，其學者亦表示採用機械加壓送風，對防煙樓梯進行加壓，使壓力大於前室，前室壓力大於走道，能有效防止濃煙入侵並進行人員安全疏散。火警發生時，同時開啟防煙樓梯各樓層防火門數量對加壓送風影響極大，應避免全棟同時廣播通報避難，以免人員同時疏散造成推擠以及各防火門大量開啟，會造成起火層之防火門斷面風速太低無法阻擋濃煙。加壓風量方面，專業人士建議低於 20 層加壓風量採 25000 至 30000CMH【¹⁴】，20~32 層者採用 30000~40000CMH 之加壓風量，若前室亦採加壓方式者，20~32 層前室風量 18000~24000CMH，梯間風量 20000~24000CMH，如表 4。

表 4 加壓設計風量，單位 CMH

加壓位置 樓層位置	安全梯	同時加壓	
		前室（排煙室）	安全梯
20~32 層	30000~40000	18000~24000	20000~24000
20 層以下	25000~30000		

資料來源：本表自行整理

世界各國如美國、日本、中國的大樓建築物已都有採用梯間加壓方式，並且用於醫療大樓、辦公大樓以及國際旅館，我國方面部分亦有採用梯間加壓之建築物，有體育館、辦公大樓、會議廳等，其設計模式類似美規：考慮門縫洩漏風量、設置壓力感測器來控制壓差、設計洩風口以防梯間壓力過大等，梯間加壓之煙控模式已漸在我國推展開。

表 5 國內外採用梯間加壓案例之建築物

國外採用梯間加壓建築物		
建築物名稱	樓層數	總風量（CMH）
波士頓附屬醫療大樓（美）	16	16128
舊金山辦公大樓（美）	31	31608
上海華亭賓館（中）	26	34000
大連國際飯店（中）	26	36000

¹⁴何明錦等人，「空調兼排煙與天花板空間蓄煙暨加壓防煙設計技術之研究」，內政部建築研究所協同研究報告，內政部建築研究所，民國 104 年 12 月。

新宿野村大樓（日）	50	21200
國內採用梯間加壓建築物		
台北和信醫院	7	42500
台北市國際會議中心	6	41820
台北市宏國辦公大樓	19	50303

資料來源：如註【¹³】

參、研究設計與方法

一、火災模擬軟體 FDS 介紹

本研究使用的 FDS 模擬軟體是由美國 NIST (National Institute of Standards and Technology) 所開發。FDS 於 2000 年 2 月發表後，到目前為止已經有十年的經驗並經歷多次的改版與修正，於 2014 年更新至第 6.1.2 版，未來仍會持續改進，FDS 的發展時程表 6 所示【¹⁵】。此軟體採用直接數值模擬 DNS (Direct Numerical Simulation, DNS) 以及大渦流模擬 LES (Large Eddy Simulation) 兩種方式來解聯立的偏微分方程式，而且方程式直接由 Navier-Stokes 推導簡化而出來，是符合質量守恆、動量守恆、物種守恆以及能量守恆的流體力學方程式，且適用範圍為低馬赫數 (Low Mach Number) 的流場分析，可視為火場中藉由熱驅動的低速流場。燃燒理論之中採混合分率模式 (Mixture Fraction Model)，算出需計算的區塊中各種物理變化情形。FDS 將空間分割為多格細小的格點，利用數值方法求解各個守恆之統御方程式，亦即所謂的場模式 (field model)，可較精確的預估火災發生時各項的物理數據，因此也更適合於複雜的建築空間或大空間建築物的火災模擬。

表 6 FDS 發展時程

年份	版本
2000 年 02 月	第 1 版
2001 年 12 月	第 2 版
2002 年 11 月	第 3 版
2004 年 07 月	第 4 版

¹⁵黃祈勝，「公路隧道煙控啟動模式及避難策略之研究－以雪山隧道為例」，國立交通大學產業安全與防災學程，碩士論文，民國 104 年。

2007 年 10 月	第 5 版
2012 年 10 月	第 6 版

資料來源：如註【14】

二、PyroSim 介紹

PyroSim 是一個互動式模型建立軟體作為火災動力學計算軟體 (FDS) 之前端設計。此套件模軟體提供即時的回饋並確保輸入 FDS 之文件格式正確。建模時可以任意切換公制單位模式或英制單位模式。PyroSim 提供二維和三維幾何創建功能，並可使用旋轉、複製、移動等功能簡化空間建立之程序。現代建築外觀的多樣化及量體的大型化增加了分析者建立模型之難度，為了能有效提高分析者運用 FDS 之效率，使用可視化之建模軟體創建空間之模型並設定空間之邊界條件，除了可降低建模之困難度，亦可減少分析者在空間建立及邊界條件設定發生錯誤之可能，或是在第一時間即可進行修正。

以下介紹建模之步驟順序：

(一) 建立幾何外觀 (Obstruction)

在 PyroSim 繪圖的介面中，可透過直接建立 3D 模型或是透過 2D 分別繪製各樓層空間幾何，在 2D 的建構模式中，可匯入建築平面圖做為考，可支援之檔案格式如 bmp, dxf, gif, jpg, png, tga, 及 tif，複雜之建築空間以 2D 方式進行較為快速。

(二) 表面性質設定 (Surface)

此步驟用於定義固體 (solid) 以及通風口 (vent) 之性質。在此，固體表面可定義熱傳導、或是燃燒性質；通風口則可定義風速或溫度等性質。

(三) 消防排煙設備設置 (Devices)

建模過程中可依建築設計建立撒水設備、火警探測器以及機械排煙設備前兩項均屬設備 (device) 之設定，而機械排煙設備則以通風口 (vent) 進行設定，其中火警探測器目前具有連動其他設備之功能，此功能亦大為提升模擬之真實度。

(四) 量測點設置 (Devices)

運用 FDS 計算之前，分析者須先由建築模型判斷模擬空間內何處具有重要之分析結果，如 CO、溫度、能見度、熱輻射及速度場等，由事前之規劃，模型建立時即進行量測點設置，量測點對於不同之量測對象可分氣體

及固體之量測點 (gas phase and solid phasedevice)，在量測點設置處可獲得對應時間之量化數據。

(五) 初始條件設定

模型空間內之初始環境條件亦可在 PyroSim 平台設定，初始條件一般以設定環境溫度為主。

(六) 邊界條件設定

模型之邊界條件設定即為重要，在建築空間開口部以及外氣是否有速度場之存在均應詳細考慮以進行設定，對於與外氣連通或是自然風影響均可透過通風口 (vent) 進行設定。

(七) 網格劃分 (Meshes)

透過 Meshes 可將所建之模型劃分網格，就網格大小可分為單一網格 (Uniform Meshes) 及非單一網格 (Nonuniform Meshes)，在較為龐大之模型內使用單一網格易造成網格數過多導致運算時間過長或是無法分析之情形，當網格數目過多但放大網格大小又會導致計算結果誤差過大之情況下，建議使用非單一網格，將模型切割為多個空間，在各空間以不同大小之網格進行劃分，一般以火源附近區域使用最小之網格，而向外區域則可略為放大。不論是以單一網格或是非單一網格進行網格劃分時，分析者均應進行網格測試，以找尋合理之網格大小。

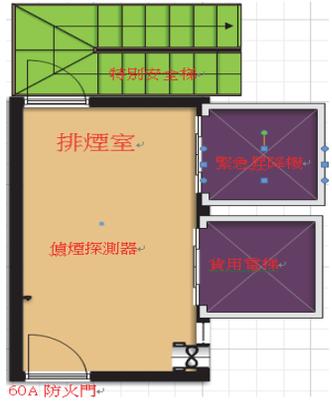
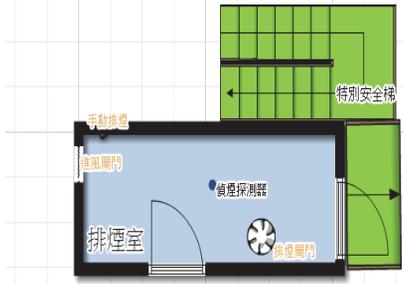
(八) 計算條件設定 (Simulation parameter)

在此可設定模型運用 FDS 計算之時間及求解方法，運算時間以秒為單位，而求解方法可選擇 Large Dddy (LDS) 或是 Direct Numerical (DNS)。

三、FDS 邊界條件建立

本研究使用 FDS 版本 5.5.3 的版本，模擬對象高層建築物旅館棟標準層單一樓層內客房起火，該標準層每層共有 14 間客房，最小及最大客房分別為 32.6m^2 及 49.58m^2 ，距離安全梯最近客房 1 與客房 8，最遠則是客房 5，客房及走廊距天花板高度皆為 3.2m，起始溫度 26 度。一共有二座不同方向特別安全梯，排煙室二間（一間與緊急升降機共用），如圖 1。二間排煙室對照如表 7。

表 7 左右排煙室比較

	左排煙室 (含緊急升降機)	右排煙室
面積	20.47m ²	3.936m ²
排煙閘門	70×70 (cm ²)	90×40 (cm ²)
進風閘門	100×50 (cm ²)	90×40 (cm ²)
進排風量	6m ³ /s	4m ³ /s
探測器	光電式侷限型二種	光電式侷限型二種
距天花板高度	2.6m	2.6m
防火門規格	寬 120cm 高 220cm，60A	寬 90cm 高 220cm，60A
		
	左排煙室 (含緊急升降機)	右排煙室

資料來源：本表自行整理

(一) 出入口外氣影響

本案高層建築物空氣流場不會有強風來影響其出入口的風速，故在模擬設定值中並未設定入口風速。

(二) 火源設定

本案高層建築物之火災設計熱釋放率規模乃依據建築物避難驗證手冊所建議之 $Q = \alpha t^2$ 火災成長曲線，其中 $\alpha = \alpha_f + \alpha_m$ ， α_f 為居室堆積可燃物之火災成長率，採用 $\alpha_f = 2.6 \times 10^{-6} \times q_l^{5/3} = 0.024$ (旅館客房為住宅以外之居室，採 $q_l = 240$)， α_m 為內部裝修材料之火災成長率，依表 8 所示： $\alpha_m = 0.0035$ ，故最後所採用 α 值 $\alpha = \alpha_f + \alpha_m = 0.024 + 0.0035 = 0.0275$

進行模擬評估，假定沙發起火燃燒，火源面積採用 1m×1m，故每單位面積為 1MW，火災成長曲線採用 T-squared Fire 進行模擬評估，即於約 190 秒左右，熱釋放率即達到 1MW。

表 8 內部裝潢材料火災成長率

裝修材料耐燃等級	成長係數 (kW/s ²)
耐燃一級	0.0035
耐燃二級	0.014
耐燃三級	0.056
其他	0.35

資料來源：如註【¹⁶】

(三) 模擬範圍及格點設定

1. 模擬範圍

本案高層建築物所模擬部分為建築物之單一樓層，參考建築物防火避難安全性能驗證技術手冊，針對同樓層客房內的煙降做不同模式的模擬，故選定高層建築中單一樓層範圍來進行模擬。

2. 模擬空間尺寸與格點設定

本案例高層建築物，標準層單層範圍總長度 41m、寬度 23m、高度 4.2m，因天花板裝潢緣故，客房與走廊高度 3.2m、排煙室 2.6m，模擬外觀圖 4 圖 5，整體電腦模擬時間為 300 秒，模擬之格點為 0.15m × 0.15m × 0.15m 總格點數量為 1,169,532 個。

¹⁶內政部建築研究所，建築物防火避難安全性能驗證技術手冊，第一版第四刷，P49 頁，民國 100 年 8 月。

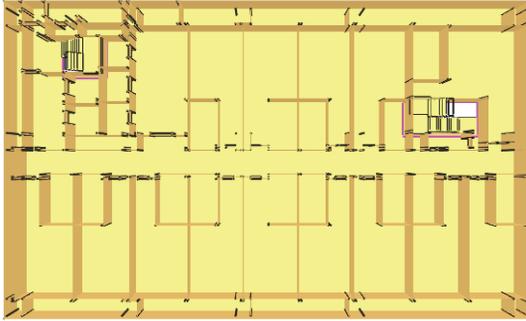


圖 4 FDS 模擬平面圖（本研究繪製）

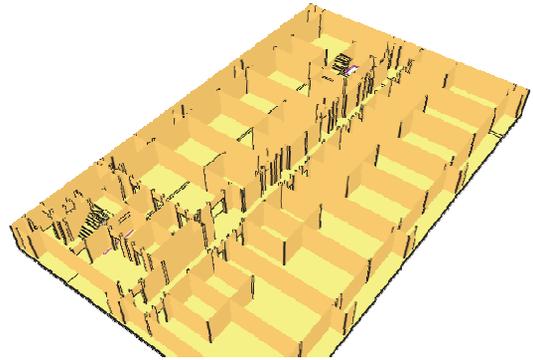


圖 5 FDS 模擬立體圖（本研究繪製）

3. 火災特徵直徑

本研究在格點設定方面以全區均勻格點方式作為本格點配置方式，考慮 FDS 模擬之效率與正確性，在評估最佳的隔點尺寸設定上，本研究採用火源特徵直徑的計算方式來計算最大熱釋放率下的最佳格點尺寸，其原理說明如下：

國外學者 Beum et al【¹⁷、¹⁸、¹⁹】定義火源附近最小長度尺寸 (length scale) 以火災特徵直徑 (characteristic fire diameter) D^* 表示，公式如下：

$$D^* = \left[\frac{\dot{Q}}{\rho_0 \cdot c_p \cdot T_0 \cdot \sqrt{g}} \right]^{\frac{2}{5}}$$

其中 Q^* 為熱釋放率 (KW)、 ρ_0 為空氣密度 (kg/m^3)、 C_p 為空氣比熱 ($\text{KJ}/\text{Kg}\cdot\text{K}$)、 T_0 為環境溫度 (K)、 g 為重力加速度 (m/s^2)。另依據國內外學者相關研究可知，若 FDS 格點尺寸為 $0.1D^*$ 時 LES model 之時間平均軸心速度與溫度會與 MaCaffery 的實驗回歸公式吻合，亦即表示若預正確模擬單一火災煙流燃燒情形，格點尺寸以 $0.1D^*$ 之尺度最為適合。因此以上述特徵尺寸計算公式計算作為本計畫最佳格點大小的設定依據。

以本研究最大火源熱釋放率 $Q = 1000\text{kW}$ 來計算，可得 D^* 為 2.375m ，則 $0.1D^*$ 約為 23.75cm ，本研究後續以 $15 \times 15 \times 15\text{cm}$ 作為格點之大小。

¹⁷Baum, H. R., and B. J. McCaffrey. "Fire induced flow field-theory and experiment." Fire Safety Science, 1989, 2: 129-148.

¹⁸McGrattan, Kevin B., Howard R. Baum, and Ronald G. Rehm. "Large eddy simulations of smoke movement." Fire Safety Journal, 1998, 30.2: 161-178.

¹⁹Zhong, Wei, et al. "Influence of longitudinal wind on natural ventilation with vertical shaft in a road tunnel fire." International Journal of Heat and Mass Transfer, 2013. 57.2: 671-678.

肆、煙控啟動機制分析

一、不同客房起火與煙控模式比較

本研究以無排煙、排煙室機械排煙、梯間加壓與排煙室機械排煙並用等三種模式並針對煙降時間、溫度、能見度做比較，以及設定客房一與客房五起火，這二間客房做對比原因如下（表 9）：

客房一：為最靠近排煙室，一旦起火該處因濃煙瀰漫，所有人員必須從另一邊安全梯疏散且只有一處出入口，往客房一方向亦是往電梯的方向且為旅客熟悉進出動線，因此選定客房一做模擬。

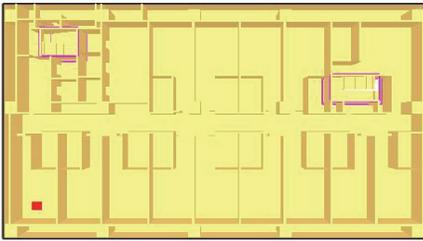
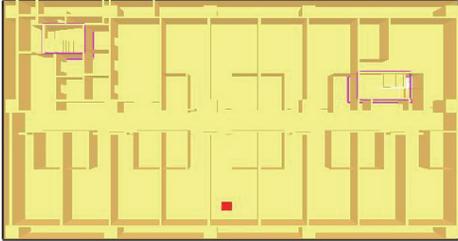
客房五：位於單一樓層中間位置，假若火警發生，客房五左右二邊房客避難會從各左右安全梯疏散避難，因為中間避難距離二側安全梯最遠，避難時間會比較長，且以建築物防火避難安全性能驗證技術手冊計算避難時間，是以避難路徑最長來計算，因此以客房五做起火房。

表 9 設定客房起火處原因

起火處 條件	客房一	客房五
位置	最靠近排煙室	樓層中間位置
逃生路線	人員只能從另一處安全梯疏散	人員可往二旁安全梯疏散
旅客動線	為旅客來往熟悉動線	路徑為該層最長

排煙室機械排煙風量採用法規所訂的 $4\text{m}^3/\text{s}$ （兼用為 $6\text{m}^3/\text{s}$ ），梯間加壓所採文獻所列的風量，因本研究為 25 層高層建築物，依表 4 換算建議安全梯單獨加壓風量為 34000CMH，通往安全梯的門視為進氣口（面積 2.64m^2 ），梯間加壓風量 34000CHM 換算大約以 $3.6\text{m}/\text{s}$ 風速進入排煙室。依檢修申報作業基準規定，客房內探測器採用光電式局限型二種（蓄積型），排煙室採用光電式局限型二種（非蓄積型）。各項條件設定如下表 10：

表 10 煙控機制設定之條件

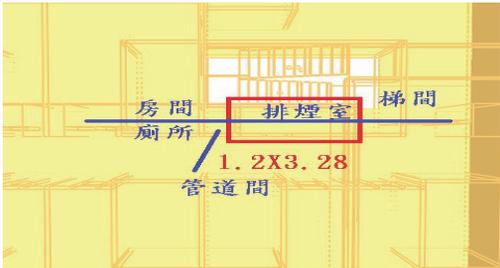
客房一		客房五	
			
加壓風速 (量)	3.6m/s (9.5 m ³ /s)		
探測器	光電式局限型二種：客房 (蓄積型)、排煙室 (非蓄積型)		
機械排煙風量	4m ³ /s (兼用為 6m ³ /s)		
火源規模	1MW，燃燒面積為 1m × 1m。		
火源成長係數	0.0275		
起始溫度	26°C (高層建築為旅館棟皆有空調控溫，其溫度 26°C)		
模擬時間	300 秒		
生命安全界限	建議人員逃生安全環境要求【 ²⁰ 】，在距樓地板高度=1.8 時，溫度<60°C，能見度>10m，煙層高度>1.8m。		
量測點	客房：房內中間位置。 走廊：走道中間位置。 排煙室：排煙室中間位置。 安全梯：梯間中間位置。		

二、右排煙室面積與風量之比較

在高層建築物內，普遍排煙室的空間較小蓄煙能力差，因此探討該標準層相對較小的排煙室。右排煙室面積，建模後設定尺寸為寬 1.2m、長 3.28m，面積為 3.936m²，以客房五作為起火室，以同面積 1.2×3.28 (m²) 不同風量 (2、4、6m³/s)，比較原法規所規定減少風量與增加風量後之差異性；以法規所定同風量 (4m/s²) 但不同面積，比原建模之右排煙室減少與增加面積後之差異性，並以同寬、同長與文獻所列面積做比較，觀察濃煙流動在同面積而不同形狀的空間，是否因排煙設備啟動後所得的結果所有不同。煙控機制設定之條件皆與第一部分相同。

²⁰陳建忠、楊冠雄，大空間建築性能式火災煙控系統設計規範之建立與應用分析手冊，內政部建築研究所協同研究報告，民國 97 年 12 月。

表 11 右排煙室設定條件

右排煙室			
起火處：客房五			
模擬時間：300 秒			
俯視圖	立面圖		
			
同面積不同風量	面積 (m ²)	風量 m ³ /s	
	1.2×3.28	2	
		4	
6			
同風量不同面積	風量 m ³ /s	面積 (m ²)	
	4	同寬比較	1.2×2.5
			1.2×3.28
			1.2×4.16
		同長比較	0.92×3.28
			1.2×3.28
			1.5×3.28
長寬不同比較	1.7×2.3		
	1.2×3.28		

伍、模擬結果分析

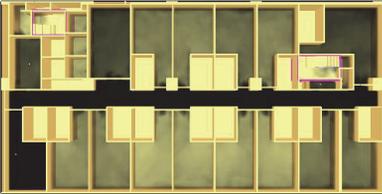
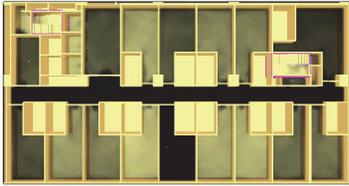
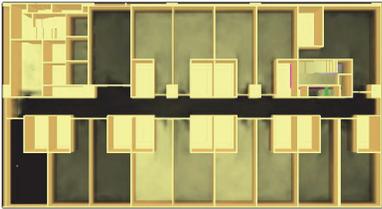
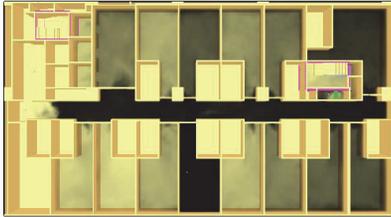
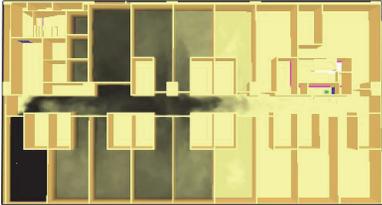
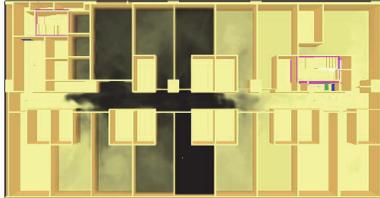
第一部分本研究針對客房一的起火點（情境1）與客房五的起火點（情境2），兩種情境在無排煙時分別對客房、走廊、排煙室的狀況來做分析，再來配合不同的煙控模式做比較。無排煙（第1種模式）與目前依照法規所設定之排煙模式（第2種模式），再加上梯間加壓與排煙室排煙並用（第3種模式）、單獨梯間加壓（第4種模式）來比較其差異性。其比較之量測點均在距地板 1.8 公尺高的位置，並依

據人員安全條件中的溫度、能見度，以及煙層高度來探討，模擬時間 300 秒。表 11 為各情境與模式比較表，表 12 為各情境達 300 秒時的煙層流動圖：

表 11 各情境與模式比較表

情境-模式	起火處	模式	梯間加壓風速 (量)	左排煙 口風量	右排煙口 風量
1-1	客房一	無排煙	0	0	0
1-2	客房一	排煙室排煙	0	6m ³ /s	4m ³ /s
1-3	客房一	梯間加壓與 排煙	3.6m/s (9.5 m ³ /s)	6m ³ /s	4m ³ /s
2-1	客房五	無排煙	0	0	0
2-2	客房五	排煙室排煙	0	6m ³ /s	4m ³ /s
2-3	客房五	梯間加壓與 排煙	3.6m/s (9.5 m ³ /s)	6m ³ /s	4m ³ /s

表 12 各情境達 300 秒時煙層流動圖

情境 1-1	情境 1-1
<p data-bbox="197 325 329 339">Smokeview 5.6 - Oct 29 2010</p>  <p data-bbox="197 625 258 654">Frame: 1000 Time: 300.0</p>	<p data-bbox="782 331 901 344">Smokeview 5.6 - Oct 29 2010</p>  <p data-bbox="782 615 843 644">Frame: 1000 Time: 300.0</p>
情境 1-2	情境 2-2
<p data-bbox="197 721 329 735">Smokeview 5.6 - Oct 29 2010</p>  <p data-bbox="197 1044 258 1074">Frame: 1000 Time: 300.0</p>	<p data-bbox="753 713 886 727">Smokeview 5.6 - Oct 29 2010</p>  <p data-bbox="753 1050 815 1079">Frame: 1000 Time: 300.0</p>
情境 1-3	情境 2-3
<p data-bbox="197 1158 329 1172">Smokeview 5.6 - Oct 29 2010</p>  <p data-bbox="197 1475 258 1505">Frame: 1000 Time: 300.0</p>	<p data-bbox="762 1164 895 1177">Smokeview 5.6 - Oct 29 2010</p>  <p data-bbox="762 1471 823 1501">Frame: 1000 Time: 300.0</p>

一、客房一及客房五火災比較（情境 1-1、2-1）

表 13 不同客房無排煙模式之比較表

情境	起火處	模式	梯間加壓風速 (量)	左排煙口風量	右排煙口風量
1-1	客房一	無排煙	0	0	0
2-1	客房五	無排煙	0	0	0

(一) 溫度

由於客房一出來的對面即為左排煙室的位置，因此在濃煙蔓延出來後，會較快進入到左排煙室的位置，在圖 6（左）中可發現左排煙室的溫度上升與走廊的溫度上升很接近；而客房五火災的情境圖 6（右），是先在走廊上蔓延後再到兩側的排煙室，因此右排煙室的溫度上升與左排煙室的溫度上升差不多，皆比走廊溫度上升慢。

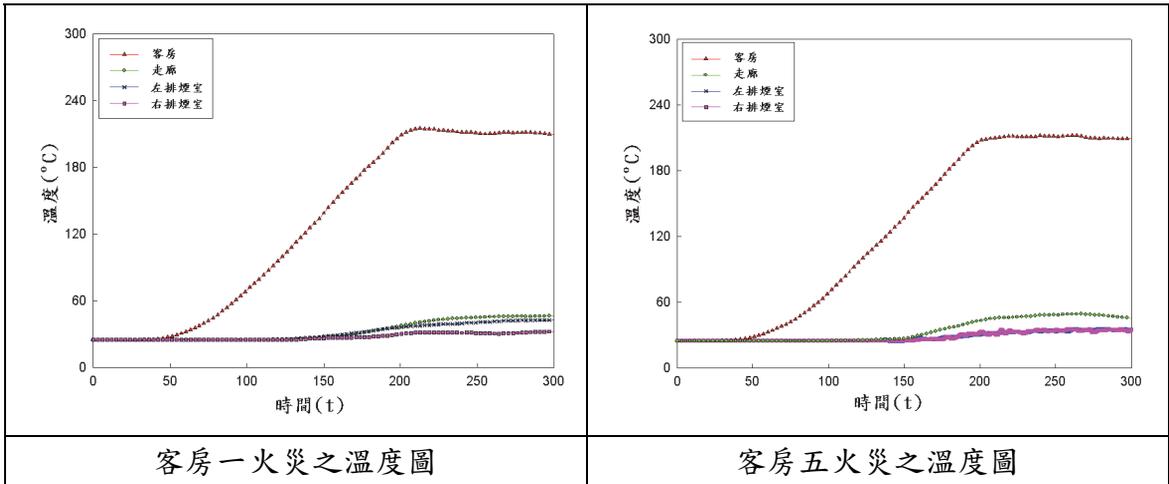


圖 6 情境 1-1 與情境 2-1 溫度比較曲線圖

表 14 無排煙模式，距樓地板 1.8m 高度，溫度達 60°C 的時間 (s)

位置起火處	客房一	客房五
房間	93	93
走廊	超過 300	超過 300
左排煙室	超過 300	超過 300
右排煙室	超過 300	超過 300

(二) 能見度

圖 7 (左) 中，客房一火災的能見度在走廊與左排煙室的下降時間都很接近，主要是因為濃煙迅速竄進左排煙室，造成無法有效將走廊與左排煙室區隔開來，而使得能見度快速下降；而客房五火災則是先在走廊蓄積以後才進入排煙室，故在圖 7 (右) 中可發現排煙室的能見度下降時間會比走廊還要來的慢。

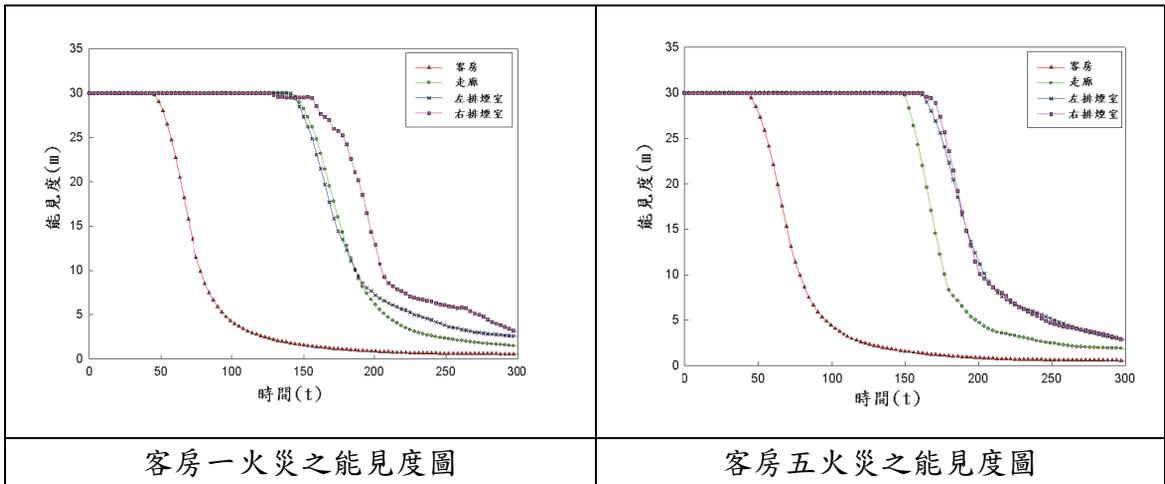


圖 7 情境 1-1 與情境 2-1 之能見度比較曲線圖

表 15 無排煙模式，距樓地板 1.8m，能見度<10M 時間 (s)

位置起火處	客房一	客房五
房間	76	76
走廊	186	177
左排煙室	186	204
右排煙室	204	201

(三) 煙層高度

圖 8 (左) 為客房一火災的煙層高度圖，可看得出來煙竄進左排煙室的時間點很快，加上排煙室高度比走廊還低，與前述之能見度圖一致，故客房一火災位置對於逃生避難上會有較大的挑戰性，因此若考慮有避難弱者時需考慮此火災情境；而圖 8 (右) 中客房五火災的右排煙室與左排煙室雖然室高度一樣，但右排煙室空間較小，蓄煙能力差，故蓄煙後較容易下降，

因此煙層下降時間比左排煙室還快。

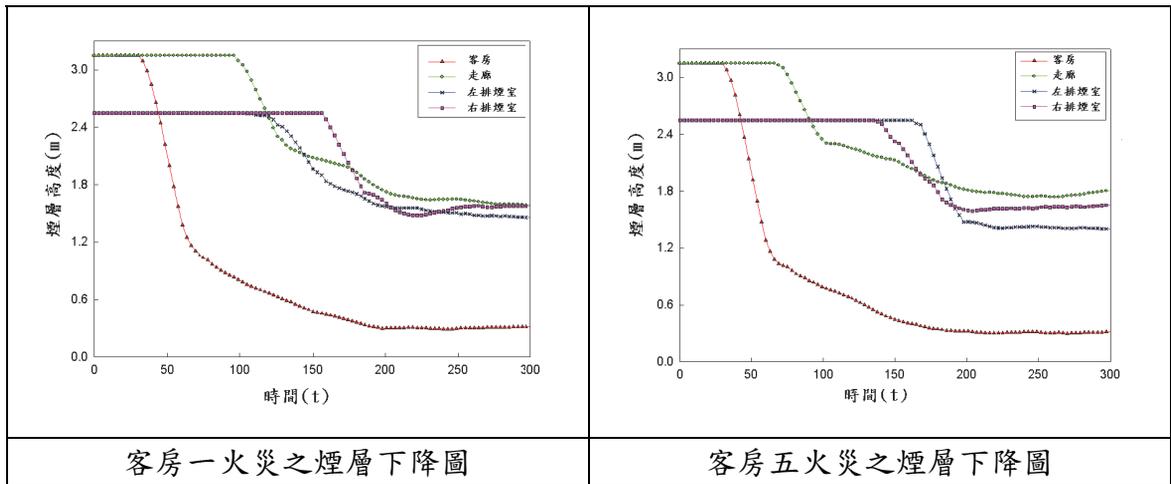


圖 8 情境 1-1 與情境 2-1 之煙層下降比較曲線圖

表 16 無排煙模式，距樓地板 1.8m 高度，煙層高度<180cm 時間 (s)

位置起火處	客房一	客房五
房間	53	53
走廊	189	201
左排煙室	162	186
右排煙室	180	177

二、客房一及客房五火災比較 (情境 1-2、2-2)

表 17 不同客房排煙模式之比較表

情境	起火處	模式	梯間加壓風速 (量)	左排煙口風量	右排煙口風量
1-2	客房一	排煙室排煙	0	6m ³ /s	4m ³ /s
2-2	客房五	排煙室排煙	0	6m ³ /s	4m ³ /s

(一) 溫度

圖中可觀察到，直至 300 秒除了起火居室，走廊、左右排煙室溫度都未超過 60°C，左排煙室溫度幾乎無變化，顯示排煙設備有效地將熱帶走；圖 9 (右) 而在右排煙室溫度曲線有明顯上升情形，溫度甚至高過走廊，而二者溫度均低於 60°C，可觀察客房五起火後，走廊部分因無排煙設備，呈

現較為穩態的煙層蓄積情形，煙流入右排煙室並啟動排煙設備時，排煙設備的進排煙口設置位置關係而產生紊流造成煙層擾動嚴重，將熱煙帶至下方與空氣混合。

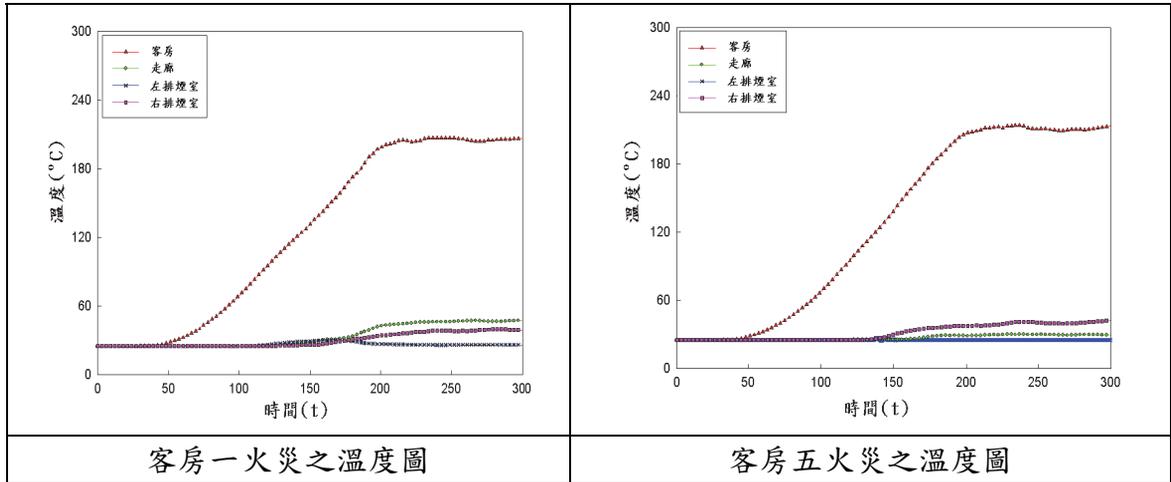


圖 9 情境 1-2 與情境 2-2 之溫度圖

表 18 排煙模式，距樓地板 1.8m 高度，溫度達 60°C 的時間 (s)

位置起火處	客房一	客房五
房間	93	93
走廊	超過 300	超過 300
左排煙室	超過 300	超過 300
右排煙室	超過 300	超過 300

(二) 能見度

在能見度部分，可看出這二種情境的左排煙室均維持良好的能見度；在走廊與右排煙室部分，圖 10 (左) 走廊曲線下降比右排煙室快，客房一起火後，煙先從左邊走廊開始蓄積，部分流入左排煙室以排煙設備排出，部分往走廊右邊開始蔓延，先在走廊蓄積之後再進入右排煙室，因此走廊能見度會比右排煙差。圖 10 (右) 右排煙室曲線下降比走廊快，客房五起火後，煙先從走廊二側開始蓄積，俟走廊能見度低於 10m 時，煙早已流入右排煙室。

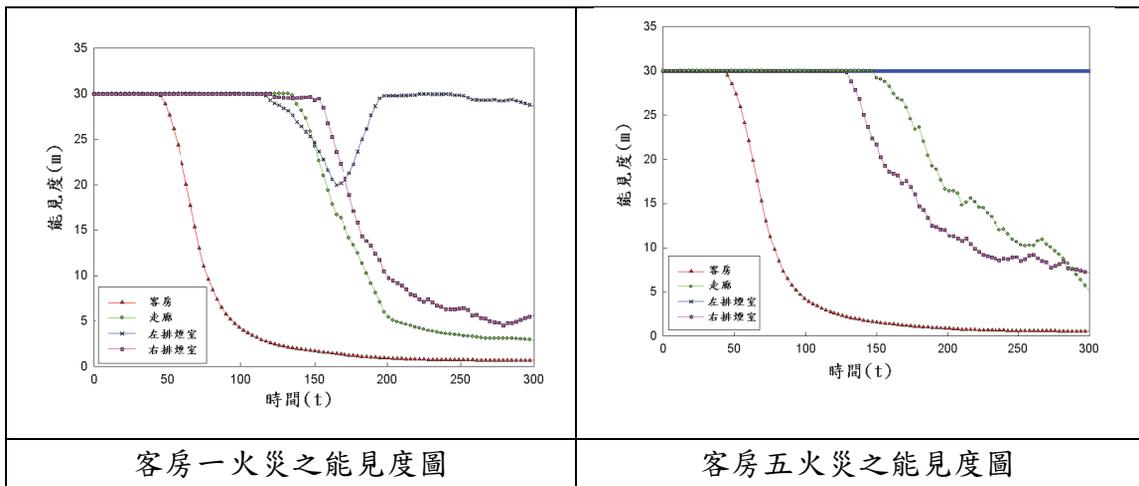


圖 10 情境 1-2 與情境 2-2 之能見度比較曲線圖

表 19 排煙模式，距樓地板 1.8m，能見度<10M 時間 (s)

位置起火處	客房一	客房五
房間	76	76
走廊	186	276
左排煙室	超過 300	超過 300
右排煙室	198	216

(三) 煙層高度

圖 11 (左) 排煙模式的啟動是進排氣一起動，加上進風口設於走廊往排煙室的安全門旁，所以走廊煙流會加速往右邊移動，走廊量測點的位置在中間，故排煙模式時走廊的煙層高度會降比較快。在圖 11 (右) 中可看到右排煙室煙層有下降到 1.8m 的情形，其下降時間 (表 20) 快於無排煙模式 (表 16)，右排煙室在無排煙模式下是為穩態累積濃煙，相對於設置排煙設備時，進排煙啟動後在右排煙室內讓煙與空氣快速混合，導致煙層擾動較嚴重。

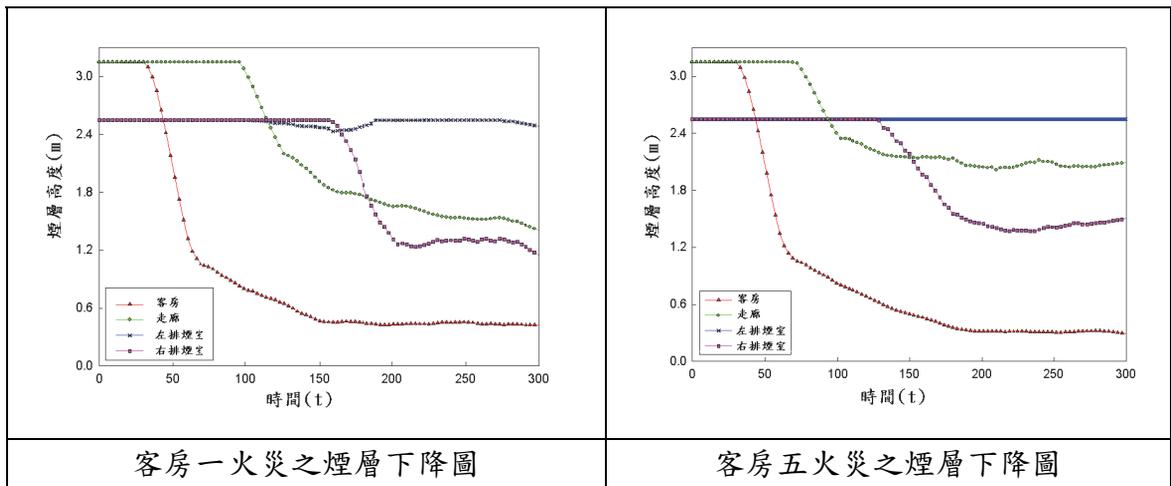


圖 11 情境 1-2 與情境 2-2 之煙層下降比較曲線圖

表 20 排煙模式，距樓地板 1.8m 高度，煙層高度<180cm 時間 (s)

位置起火處	客房一	客房五
房間	53	53
走廊	162	超過 300
左排煙室	超過 300	超過 300
右排煙室	181	164

三、客房一及客房五火災比較 (情境 1-3、2-3)

表 21 不同客房梯間加壓與排煙並用之比較表

情境	起火處	模式	梯間加壓風速 (量)	左排煙口風量	右排煙口風量
1-3	客房一	梯間加壓與排煙並用	3.6m/s (9.5 m ³ /s)	6m ³ /s	4m ³ /s
2-3	客房五	梯間加壓與排煙並用	3.6m/s (9.5 m ³ /s)	6m ³ /s	4m ³ /s

(一) 溫度

可觀察到下圖二者差別在於走廊部分，由於量測點位於走廊中間位置，客房五起火後，因二側安全梯梯間加壓使煙熱往走廊方向集中，以致圖 12 (右) 走廊曲線變化較為明顯。

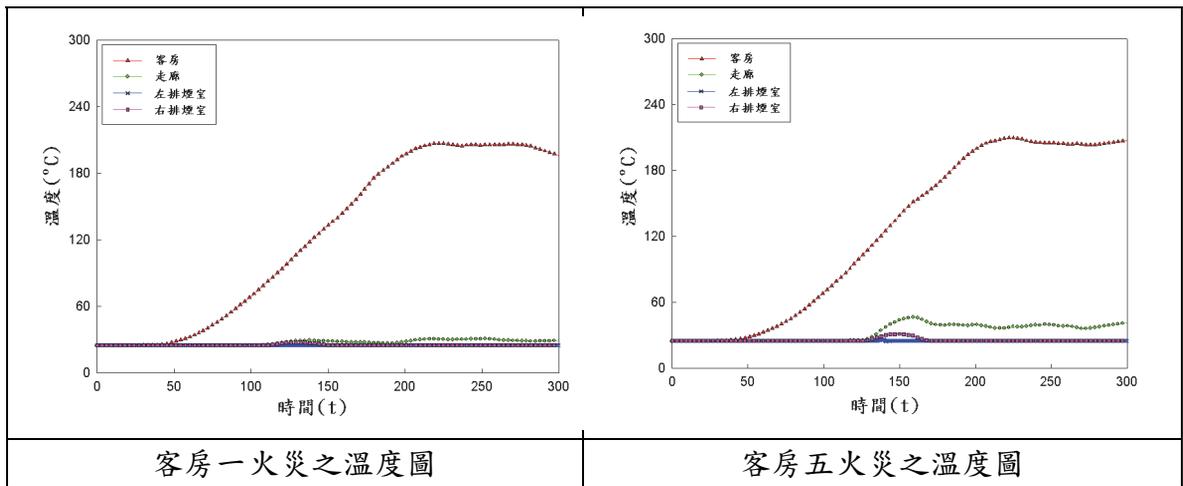


圖 12 情境 1-3 與情境 2-3 之溫度圖

表 22 梯間加壓與排煙並用，距樓地板 1.8m 高度，溫度達 60°C 的時間 (s)

位置起火處	客房一	客房五
房間	93	93
走廊	超過 300	超過 300
左排煙室	超過 300	超過 300
右排煙室	超過 300	超過 300

(二) 能見度

煙都往走廊集中，走廊部分圖 13 (右) 看出能見度低於 10 公尺，而圖 13 (左) 未低於 10 公尺，又客房一離量測點較遠，梯間加壓後量測點附近的能見度變佳，所以曲線短暫上升，直到濃煙持續產生蓄積到量測點附近後，又開始下降；客房五因二側梯間均加壓，使濃煙往走廊中間的量測點集中，能見度很快地降低。

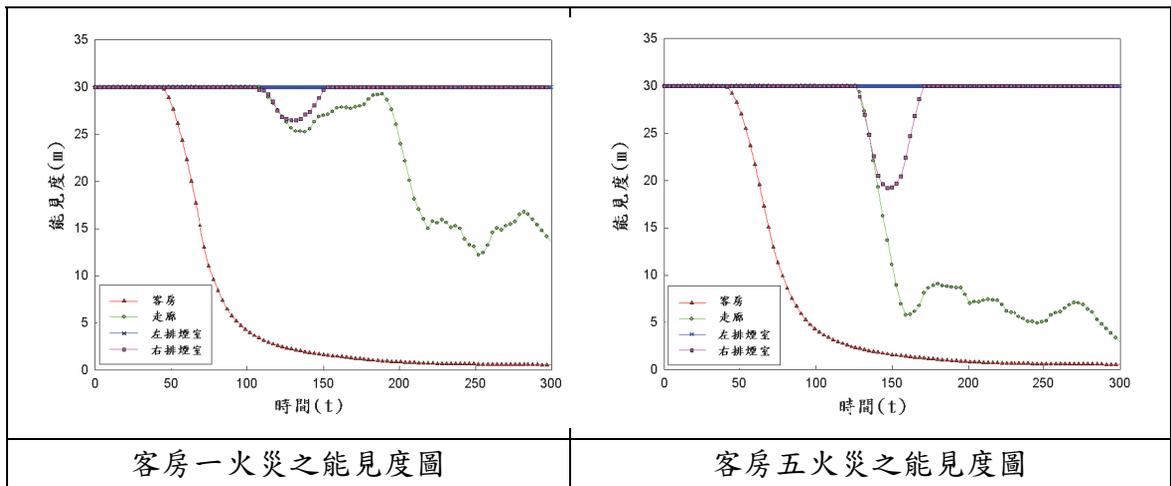


圖 13 情境 1-3 與情境 2-3 之能見度比較曲線圖

表 23 梯間加壓與排煙並用，距樓地板 1.8m，能見度<10M 時間 (s)

位置起火處	客房一	客房五
房間	76	76
走廊	超過 300	151
左排煙室	超過 300	超過 300
右排煙室	超過 300	超過 300

(三) 煙層高度

客房一的走廊以及左右排煙室煙層高度均維持在 1.8m 以上，而客房五的走廊煙層高度明顯地低於 1.8m，其情形與能見度相同，均是二側安全梯加壓使煙層高度降低。

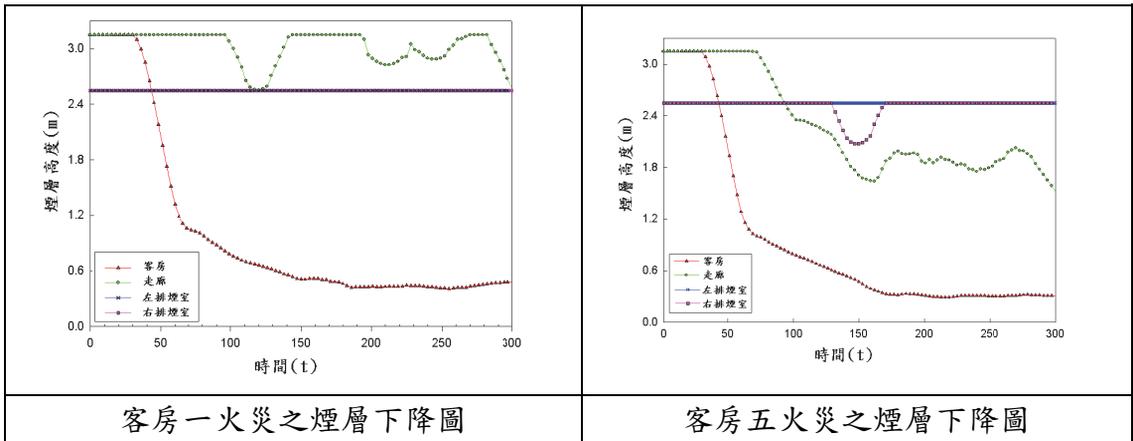


圖 14 情境 1-3 與情境 2-3 之煙層下降比較曲線圖

表 24 梯間加壓與排煙並用，距樓地板 1.8m 高度，煙層高度<180cm 時間 (s)

位置起火處	客房一	客房五
房間	53	53
走廊	超過 300	144
左排煙室	超過 300	超過 300
右排煙室	超過 300	超過 300

第二部分針對右排煙室部分，也就是現階段依照我國消防設備設置標準設置，以 $4\text{m}^3/\text{s}$ 風量進排煙，其煙層下降至 1.8m 的時間跟無排煙模式比較。參照表 16 及表 20 列出表 25，可看出裝設排煙設備的右排煙室發揮效用有限，其煙層下降秒數甚至快於無排煙模式。

表 25 右排煙室煙層下降至 1.8m 時間 (s)

模式起火處	無排煙	排煙室排煙
客房一	180	181
客房五	177	164

因此以客房五起火的右排煙室做面積與風量變化，以同面積不同風量、同風量不同面積做比較，能否有比現階段法規所定的結果還優異，相關面積與風量如下表 26，模擬時間 300 秒。

表 26 各面積與風量之比較表

同面積 不同風量	情境 A	面積 (m ²)		風量 (m ³ /s)	模擬時間(秒)
	A-1	3.936		2	
A-2	4				
A-3	6				
同風量 不同面積	情境 (W、L、S)	面積 (m ²)		風量 (m ³ /s)	
	W-1	同 寬	1.2×2.5	4	
	W-2		1.2×3.28		
	W-3		1.2×4.16		
	L-1	同 長	3.28×0.92		
	L-2		3.28×1.2		
	L-3		3.28×1.52		
	S-1	1.7×2.3			

一、同面積不同風量

以面積 3.936m² 近似 4 m² 加入不同風量，下圖表分別為風量 2、4、6 m³/s 不同時間的煙層流動圖。由表 27 可看出風量 2m³/s 表現最為佳。表 28 為三種風量的危險時間值，圖 15 為三種風量的煙層高度曲線圖。由圖表得知，右排煙室在風量 4m³/s、6m³/s 下煙層高度很快地低下降至 1.8m，對面積 4 m² 而言，相同面積空間，在較小風量時所表現的排煙功效大於其他二者風量。

表 27 不同時間情境下的煙層流動圖

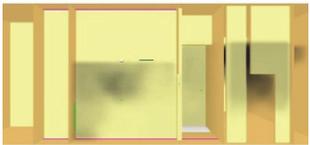
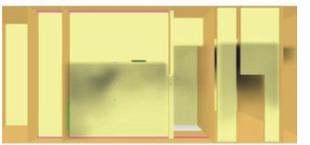
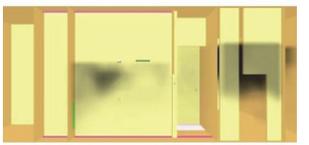
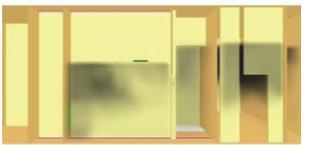
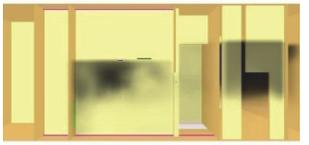
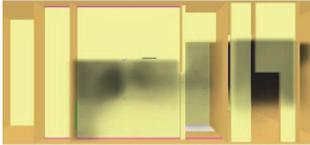
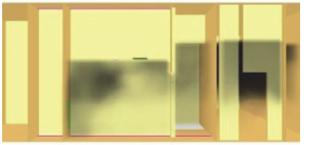
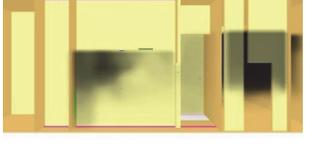
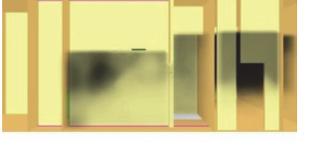
情境 秒	A-1 (風量 2m ³ /s)	A-2 (風量 4m ³ /s)	A-3 (風量 6m ³ /s)
192	 <p>Frame: 643 Time: 192.6</p>	 <p>Frame: 643 Time: 192.6</p>	 <p>Frame: 643 Time: 192.6</p>
228	 <p>Frame: 703 Time: 228.6</p>	 <p>Frame: 703 Time: 228.6</p>	 <p>Frame: 703 Time: 228.6</p>
264	 <p>Frame: 603 Time: 264.6</p>	 <p>Frame: 603 Time: 264.6</p>	 <p>Frame: 603 Time: 264.6</p>
300	 <p>Frame: 1039 Time: 300.6</p>	 <p>Frame: 1039 Time: 300.6</p>	 <p>Frame: 1039 Time: 300.6</p>

表 28 不同風量的危險時間 (s)

不同風量比較	風量 2m ³ /s	風量 4m ³ /s	風量 6m ³ /s
危險時間	210	164	153

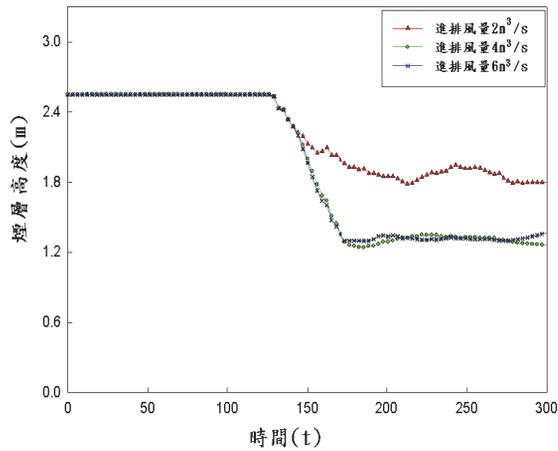


圖 15 不同風量比較曲線圖

二、同風量不同面積

以法規所定 $4\text{m}^3/\text{s}$ 比較不同排煙室面積、形狀，表 29 為同寬而不同面積之煙層流動，圖 16 為曲線圖。從煙層流動圖當中，看出情境 W-3 直到 300 秒，排煙室內的煙分布空間並無情境 W-1、W-2 多，表 30 為三種不同面積的危險時間值；曲線圖部分，情境 W-3 煙層高度維持在 1.8m 以上。

表 29 同寬而不同面積之煙層流動

情境 秒	W-1 (1.2×2.5) m ²	W-2 (1.2×3.28) m ²	W-3 (1.2×4.16) m ²
192	<p>Frame: 503 Time: 192.0</p>	<p>Frame: 483 Time: 192.0</p>	<p>Frame: 483 Time: 192.0</p>
228	<p>Frame: 763 Time: 228.0</p>	<p>Frame: 763 Time: 228.0</p>	<p>Frame: 763 Time: 228.0</p>

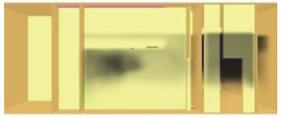
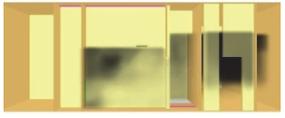
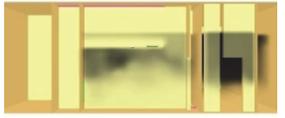
情境 秒	W-1 (1.2×2.5) m ²	W-2 (1.2×3.28) m ²	W-3 (1.2×4.16) m ²
264	 Frame: 80 Time: 264.0	 Frame: 80 Time: 264.0	 Frame: 80 Time: 264.0
300	 Frame: 100 Time: 300.0	 Frame: 100 Time: 300.0	 Frame: 100 Time: 300.0

表 30 三種不同面積的危險時間 (s)

不同面積比較 (同寬)	W-1 (1.2×2.5) m ²	W-2 (1.2×3.28) m ²	W-3 (1.2×4.16) m ²
危險時間	160	164	超過 300

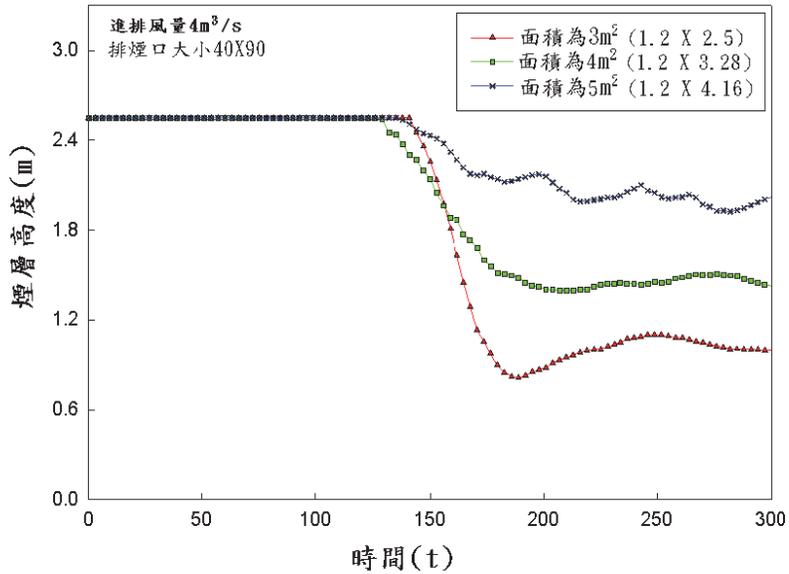


圖 16 同寬而不同面積之煙層曲線圖

表 31 為同長而不同面積之煙層流動，圖 17 為其曲線圖。從煙層流動圖看出情境 L-3 至 300 秒時，在排煙室空間內的煙分布似乎比情境 L-1、L-2 來的多，但從表 32 來看這三種情境在 300 秒時的溫度與能見度圖比較圖時，情境 L-3 表現得比較好，表 33 為三種不同面積的危險時間值；曲線圖部分，情境 L-3 煙層高度維持在 1.8m 以上。

表 31 同長而不同面積之煙層流動

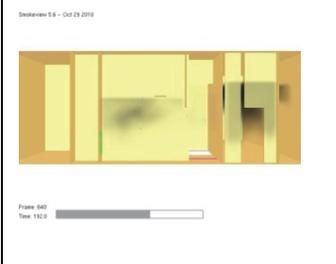
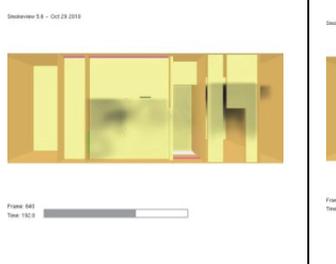
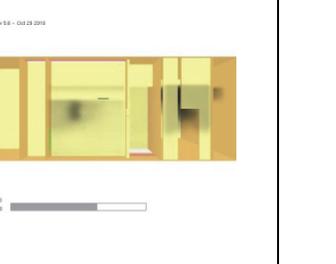
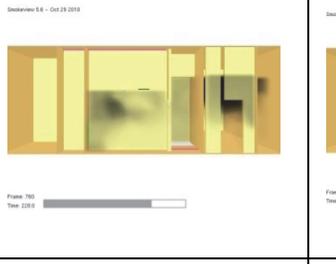
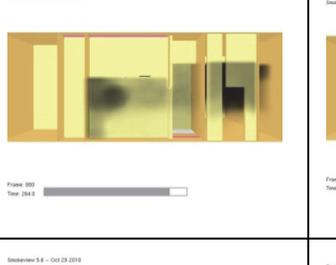
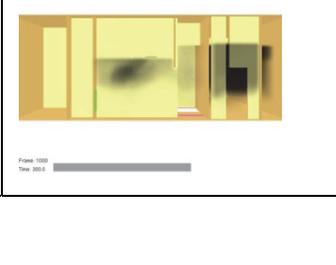
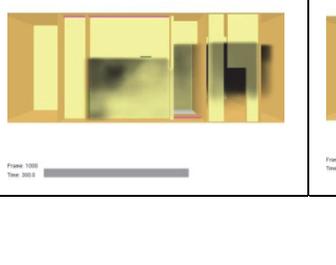
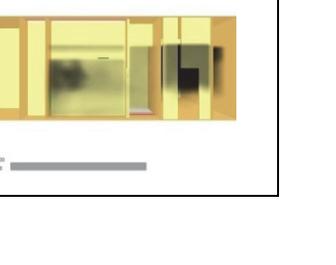
情境 秒	L-1 (3.28×0.92) m ²	L-2 (3.28×1.2) m ²	L-3 (3.28×1.52) m ²
192	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 640 Time 192.0</p>	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 640 Time 192.0</p>	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 640 Time 192.0</p>
228	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 760 Time 228.0</p>	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 760 Time 228.0</p>	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 760 Time 228.0</p>
264	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 880 Time 264.0</p>	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 880 Time 264.0</p>	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 880 Time 264.0</p>
300	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 1000 Time 300.0</p>	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 1000 Time 300.0</p>	 <p>Smokeview 5.8 - Oct 23 2018 Frame 1000 Time 300.0</p>

表 32 同長而不同面積，300 秒時溫度與能見度

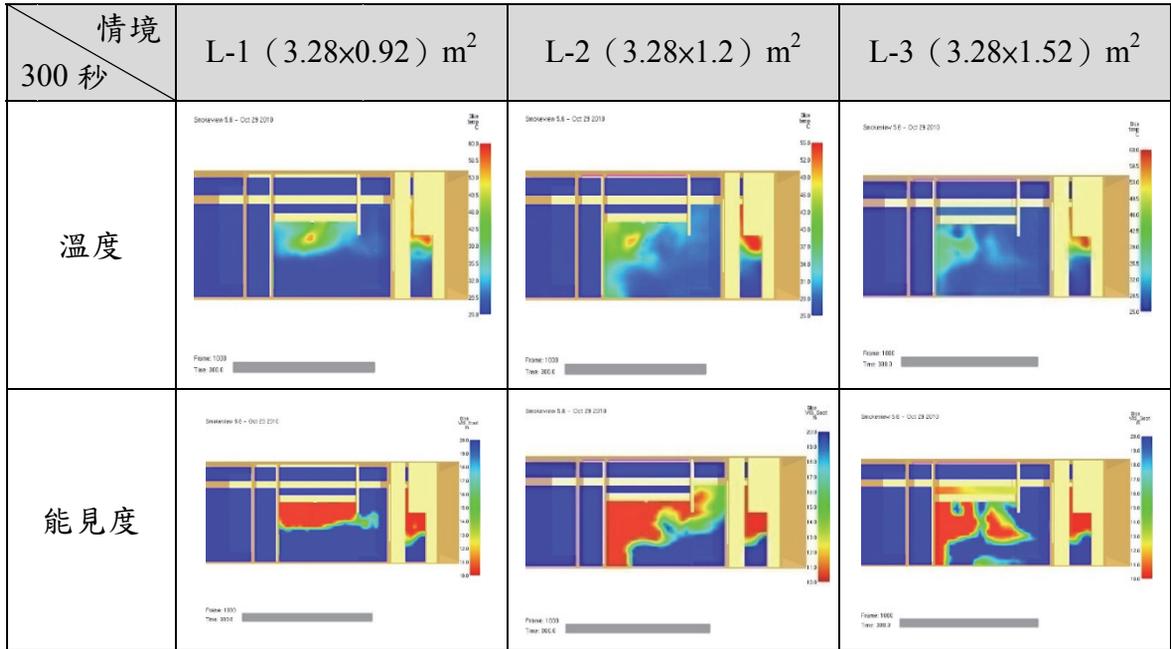


表 33 三種不同面積的危險時間 (s)

不同面積比較 (同長)	L-1 (3.28×0.92) m ²	L-2 (3.28×1.2) m ²	L-3 (3.28×1.52) m ²
危險時間	154	164	超過 300

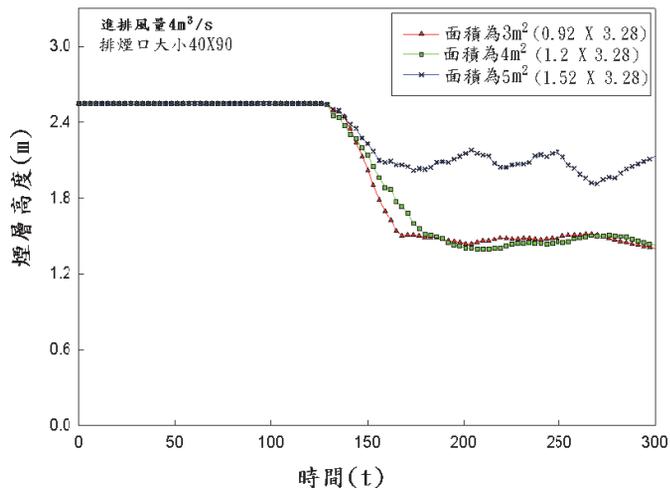


圖 17 同長而不同面積之煙層流動曲線圖

情境 S-1 為 1.7×2.3 (m²) 之排煙室，在鍾基強的「防火性能設計建築物有關煙控系統可靠度及功能查驗之研究」中提到：排煙室建議寬度不應小於 1.7m，長度不應小於 2.3m，以此面積相對於本研究 1.2×3.28 (m²) 之情境 A 排煙室面積，為較偏方形的排煙室，而情境 A 排煙室較偏長形，二者面積只相差 0.026 m²。以現行法規排煙室之排煙風量 4m³/s 啟動之下，表 34 為情境 A-2 (與情境 W-2、L-2 為本研究原右排煙室) 與情境 S-1 之煙層流動圖比較，圖中看出情境 S-1 的煙明顯較情境 A-2 的少，煙大都由排煙設備排出；圖 18 為情境 A-2 與情境 S-1 曲線圖，情境 S-1 煙層高度均維持在 1.8m 以上。

表 34 情境 A-2 與情境 S-1 之煙層流動圖比較

秒	情境	情境 A-2	情境 S-1
192		<p>Simulation S.6 - Oct 29 2016 Frame 842 Time 192.0</p>	<p>Simulation S.6 - Oct 29 2016 Frame 842 Time 192.0</p>
228		<p>Simulation S.6 - Oct 29 2016 Frame 792 Time 228.0</p>	<p>Simulation S.6 - Oct 29 2016 Frame 792 Time 228.0</p>
264		<p>Simulation S.6 - Oct 29 2016 Frame 892 Time 264.0</p>	<p>Simulation S.6 - Oct 29 2016 Frame 892 Time 264.0</p>
300		<p>Simulation S.6 - Oct 29 2016 Frame 1000 Time 300.0</p>	<p>Simulation S.6 - Oct 29 2016 Frame 1000 Time 300.0</p>

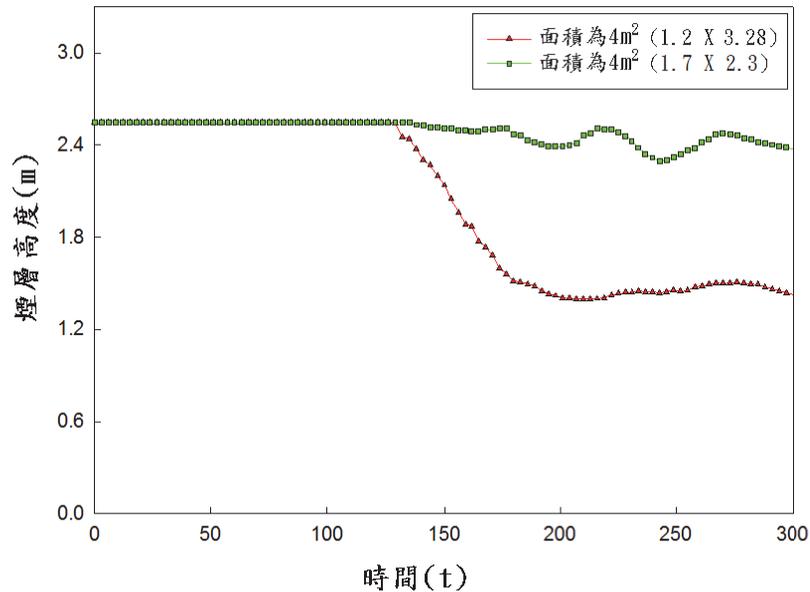


圖 18 情境 A-2 與情境 S-1 之煙層流動曲線圖

陸、結論

本研究在不同的煙控模式比較之下，有以下幾點結論：

一、不同客房起火與煙控模式比較

- (一) 在「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」呈現的是較為穩態的煙層下降模式，本研究以 FDS 在無排煙模擬下可發現不同火源位置（情境 1-1 與情境 2-1），對於火場的煙流情況有很大的不同，因此性能式驗證可提供更多的火場參考。
- (二) 在排煙模式中，可以發現不論是客房一起火或是客房五起火，右排煙室的煙降時間均不甚理想，甚至情境 2-2（排煙室排煙）的煙降時間比情境 2-1（無排煙）還快，依法設置的安全梯排煙室之排煙設備之 4m³/s 風量，此風量採體積流量計算，而煙密度會隨溫度做改變，煙體積亦是。以質量流率觀點，若排煙口距進風口較遠，排煙口進入空氣若比煙多，表示進風口進入空氣多而排煙排出的煙少，以致煙層在小空間快速累積，又進風產生紊流煙層擾動嚴重，無法完全將煙排出，雖煙層溫度未大於 60°C，在能見度與煙層高度不佳下，卻也會影響逃生。因此在設計小面積排煙室時，應考慮該排煙室空間形狀與進排煙口設計位置，以利控制煙流。

- (三) 在情境 1-3 與情境 2-3 中，排煙設備搭配安全梯間加壓均未使濃煙侵入左右排煙室，唯獨情境 2-3 在走廊時，因濃煙往中間集中加上量測點位於走廊中間位置，以致測得煙層下降時間較快，而情境 1-3 的濃煙是往走廊左邊集中，因此造成二者差異，建議可在走廊設置排煙設備，將走廊的煙直接排出，延長煙層下降時間。

二、右排煙室面積與風量之比較

- (一) 同面積不同風量中，觀察到情境 A-1 的煙降時間比情境 A-2、A-3 還要長。降低風量以 $2\text{m}^3/\text{s}$ 的進排煙風量，模擬嘗試使紊流情形減少，所產生的煙降時間比進排煙風量 $4\text{m}^3/\text{s}$ 、 $6\text{m}^3/\text{s}$ 分別多出 46 秒、57 秒，顯示排煙室面積若較小，應採取較小進排煙風量，以免因紊流使煙層快速下降。換言之，在相同空間內，給予的風量越多受到干擾的空氣也越多，加上進排煙口面積均相同，在風量大，風速亦大之下擾流情形越嚴重，因此針對小面積排煙室應考慮實際空間，規劃適當的進排煙風量。
- (二) 同風量不同面積中，情境 W-3 與情境 L-3 的煙層高度均維持在 1.8m 以上，情境 W-1、L-1 與情境 W-2、L-2 煙層高度則是低於 1.8m。因此排煙室的排煙設備以法規所定 $4\text{m}^3/\text{s}$ 之風量下，排煙室面積只要 5m^2 以上，其煙層高度可維持在 1.8m 以上。
- (三) 二者面積相近的情境 A-2 與情境 S-1，前者面積較偏長方形，後者面積較偏正方形，其結果排煙設備啟動後，情境 S-1 內的煙流大都被抽走。若排煙室空間較小，建議採取偏方形設計。

參考文獻

- 南榮開發南港區旅館住宅新建工程防火避難綜合檢討報告書，民國 105 年 4 月。
內政部消防署網站 <http://www.nfa.gov.tw/main/Unit.aspx?ID=&MenuID=378&ListID=129>，民國 106 年 5 月。
- National Fire Protection Association, NFPA 92A, Recommended Practice for Smoke-Control Systems, 2009.
- 陳繼斌、張貴林，「高層建築防煙樓梯間前室送風聯動控制可靠性研究」，消防科學與技術，第 30 卷第 8 期，683 頁，民國 100 年 8 月。
- 鍾基強等人，「防火性能設計建築物有關煙控系統可靠度及功能查驗之研究」，內政部建築研究所委託研究報告，民國 102 年 12 月。
- 陳建中，超高層建築物火災之煙控系統與避難逃生模擬之研究，國立雲林科技大

- 學環境與安全衛生工程系，碩士論文，民國 100 年 6 月。
- 內政部消防署，各類場所消防安全設備設置標準，民國 102 年 5 月。
- 蘭彬、錢建民，「國內外防排煙技術研究的現狀和研究方向」，消防科學與技術，第 2 期，17 頁，民國 90 年 3 月。
- 蔡綽芳等人，「防煙區劃內隔間開口設計對機械排煙效能影響之研究」，內政部建築研究所，民國 102 年。
- 蔡允溪，安全梯間加壓防煙設計技術手冊，內政部建築研究所。
- 何明錦等人，「空調兼排煙與天花板空間蓄煙暨加壓防煙設計技術之研究」，內政部建築研究所協同研究報告，內政部建築研究所，民國 104 年 12 月。
- 黃祈勝，「公路隧道煙控啟動模式及避難策略之研究—以雪山隧道為例」，國立交通大學產業安全與防災學程，碩士論文，民國 104 年。
- 內政部建築研究所，建築物防火避難安全性能驗證技術手冊，第一版第四刷，P49 頁，民國 100 年 8 月。
- Baum, H. R., and B. J. McCaffrey. "Fire induced flow field-theory and experiment.", *Fire Safety Science* , 1989 , 2: 129-148.
- McGrattan, Kevin B., Howard R. Baum, and Ronald G. Rehm. "Large eddy simulations of smoke movement." *Fire Safety Journal* ,1998 ,30.2: 161-178.
- Zhong, Wei, et al. "Influence of longitudinal wind on natural ventilation with vertical shaft in a road tunnel fire." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013. 57.2: 671-678.
- 陳建忠、楊冠雄，大空間建築性能式火災煙控系統設計規範之建立與應用分析手冊，內政部建築研究所協同研究報告，民國 97 年 12 月。

