

以 FDS 電腦模擬程式重建旅館建築物火災事件

Using Fire Dynamics Simulator (FDS) to Reconstruct an Inn Fire Accident

紀人豪¹、陳政洞²、王士承³、陳建忠⁴

J. H. Chi¹, C. T. Chen², S. C. Wang³, C. J. Chen⁴

¹吳鳳科技大學 消防學系(所) 副教授 E-mail: chi.jen-hao@wfu.edu.tw

²華夏技術學院 資產與物業管理系 兼任講師 E-mail: chendunn@yahoo.com.tw

³吳鳳科技大學 消防學系(所) 博士教師 E-mail: s909202@yahoo.com.tw

⁴內政部建築研究所 安全防災組 組長 E-mail: john@abri.gov.tw

¹Associate Professor, Department of Fire Science, Wu Feng University

²Part-time Lecturer, Department of Assets and Property Management, Hwa Hsia Institute of Technology

³Part-time Lecturer, Department of Fire Science, Wu Feng University

⁴Group Leader, Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

摘要

旅館的旅客多數來自外地，對週遭環境並不熟悉，如果火災發生在深夜，將造成重大傷亡。本文以台灣傷亡最嚴重的旅館火災事件為案例，參照官方的火災鑑定報告書，確認起火點的位置，引用 NIST 對雙人用棉質彈簧床的火災實驗資料，作為模擬本案起火源燃燒所需的輸入參數。再以 NIST 最新發表的 FDS 電腦模擬程式為工具，參照 NFPA921 的規定，重建火災的溫度、煙層高度、CO 濃度等火災危害因子之變化情形，以及每位人員的避難時間。根據電腦模擬結果，本案例在 2 樓至 3 樓樓梯出入口位置，約在火災發生後，220 至 318 秒之間，皆已達到危害人命的程度，此時內部人員已經難以向外逃生，造成如此嚴重的傷亡事件。

關鍵詞：旅館火災事件、火災調查、FDS 電腦模擬程式、火災危害因子、人員避難時間、人命危害基準

Abstract

If an inn fire occurs in the middle of the night, it will cause a great deal more injuries and deaths. This paper examines as a study case an inn fire accident that resulted in the some of the most serious casualties in Taiwan's history. Examination of the official fire investigation report allows us to determine the fire origination point. Experimental data by NIST for a queen-size foam mattress is used as the input parameter to simulate the initial fuel for the fire. The latest Fire Dynamics Simulator (FDS) program from NIST is used, referring to NFPA921 regulations. The personnel evacuation time and time variants for various fire hazard factors, such as temperature, smoke layer height, and carbon monoxide density, are taken into account. By simulation analysis shows, the stair entrance area on the



2nd to 4th floor reached the life-threatening level about 220~318 seconds after fire started. At this point during the fire, the people would be very difficult to escape from fire site so that resulted in the most serious casualties in Taiwan as this case study.

Keywords : Inn fire accident, Fire investigation, Fire Dynamics Simulator program, Fire hazard factors, Personnel evacuation time, Life-threatening level.

壹、前言

一般旅館的旅客大都來自外地，對於旅館的建築環境並不熟悉，一旦發生火災，容易造成嚴重的人員傷亡。近年來，國際上發生許多重大的旅館火災案例，例如 2009 年 4 月 13 日凌晨 1 點左右，發生在波蘭西北部波莫瑞的旅館火災事件，造成 21 人死亡、20 人受傷[1]；2007 年 6 月 7 日 10 點左右，發生在美國佐治亞州弗代爾汽車旅館火災，造成 5 人死亡、6 人受傷[2]；2005 年 4 月 15 日凌晨 2 點左右，發生在法國巴黎第 9 街區的旅館火災事件，造成 21 人死亡、19 人受傷[3]。可見這些老舊的小型旅館，確實存在高度的火災風險。本文以台灣傷亡最嚴重的旅館火災事件為案例，依照 NFPA921 重建火災情境的要項[4]，以最新版的 FDS 電腦模擬程式為工具，重建火災發生時，建築物內部的溫度、煙層高度、CO 濃度等火災危害因子之變化情形，以及內部人員的避難時間。將前述各項的模擬結果與現場勘查等相關資料，進行比對分析後，驗證電腦模擬結果的可靠度，以判斷本案例火災造成人員重大傷亡的原因。

貳、火災情境案例說明

本案例地點在台北市大同區太原路的白雪旅社，發生時間在 2009 年 3 月 2 日凌晨 2 點 42 分左右。建築物的 1 樓為一般店家，不屬於旅館範圍，2 至 5 樓則為旅館範圍。本案疑似遭人縱火，依照官方的火災鑑定報告書，起火點應在無人居住的 2 樓 106 室。火災發生後，建築物內部的警報設備發出聲響，二樓櫃台後面的服務生，以及 101 室的旅客，開始四處查看，起初並無任何發現。隨後經由 2 樓 103 室的房客告知，無人居住的 106 室有人員活動的聲響與物質燃燒的異味，故由服務生打開 106 室的房門，發現猛烈的火災濃煙竄出，往二樓的其他空間四處擴散。但此時前述 3 人，卻未能及時通知樓上的旅客，僅自行迅速逃往 1 樓，等到 3 人逃離火場後，才打電話向消防隊報案。消防隊接獲通知後，立即趕到現場進行搶救，約在 29 分鐘後，就撲滅火勢。該案火災發生時，火場內部共有 23 人，其中 4 人自行逃離現場，11 人由消防雲梯車救出，6 人被火災燒死，1 人跳樓身亡，1 人在逃生時跌倒，頭部受到重傷而死亡，共造成 8 人死亡。

本案各樓層地板、房間、樑等建築物的結構體均為混凝土材質。各房間門大小為寬度 0.8m，高度 1.8m，而門的開關情況，依照火場調查的資料，予以記錄。房間內的廁所門大小為寬度 0.8m，高度 1.8m，均為常開狀態。火場大部份以木質材料裝潢，如房門、櫥櫃、天花板等。2 樓共有 6 間房間與 1 間儲藏室，接待櫃台設於 2 樓往 1 樓的樓梯出入口附近，如圖 1(a)。2 樓各房間上方均有對走廊之通風窗戶，且與走廊天花板高度相差約 40cm，如圖 4(a)。3、4 樓均各有 11 間房間，且走廊均呈 U



字形，如圖 1(b)、圖 1(c)。5 樓有 1 間房間，1 間儲藏室，以及空調用的水塔等，如圖 1(d)，屋頂則為三角形之鐵皮構造。

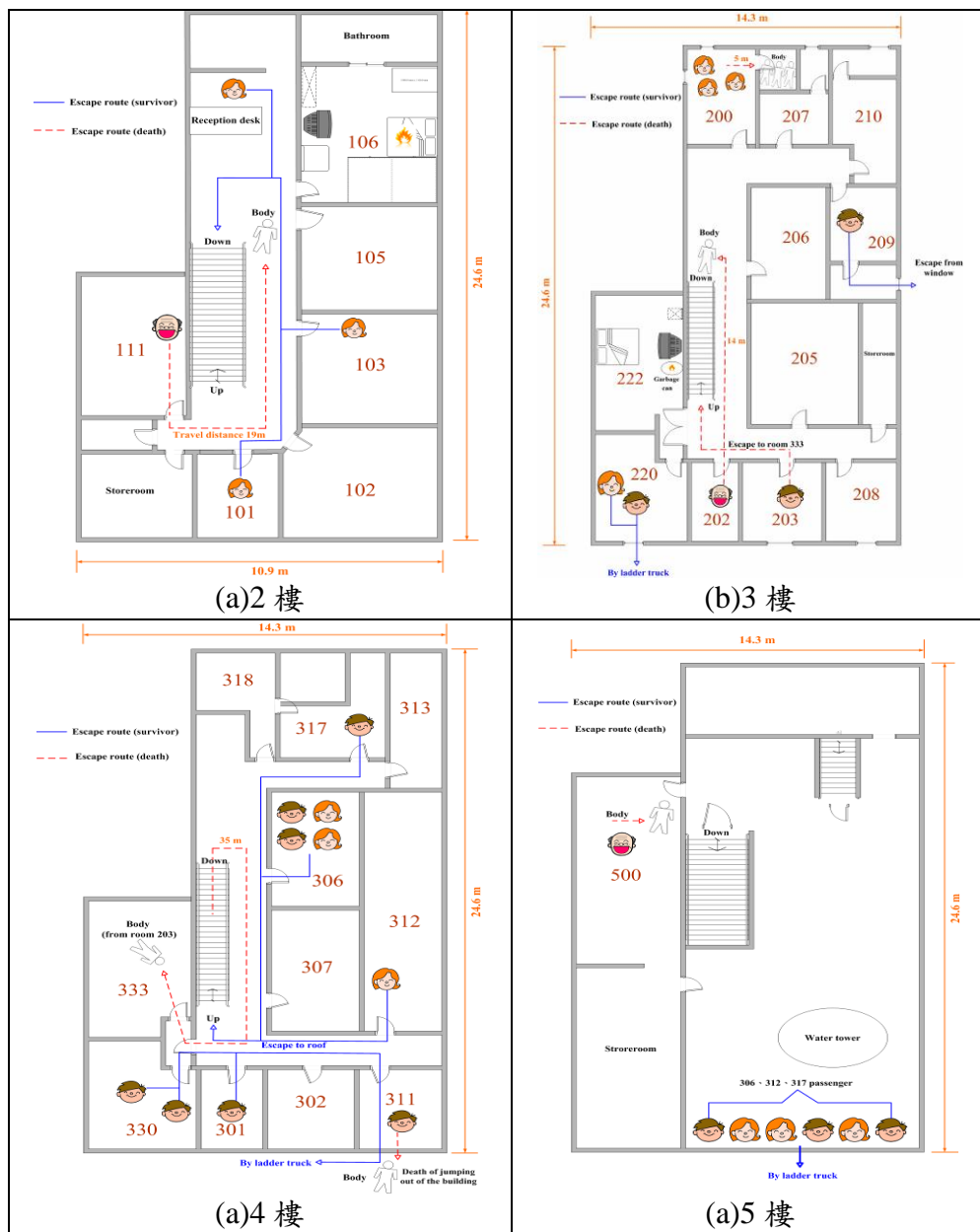


圖 1. 本案例的各樓層平面配置與人員逃生路徑圖

(資料來源:本研究整理)



參、火災案例的電腦模擬分析

有關 NFPA921 重建火災情境的要項[4]，可分為(1)最可能的起火點位置;(2)火災發生原因分析;(3)火災延燒路徑分析;(4)煙霧等危害因子分析;(5)火災危害情境下，人員避難逃生的結果;(6)消防隊的搶救行為等等。本文以台灣傷亡最嚴重的旅館火災為案例，將火災現場調查資料、目擊者與倖存者的訪談記錄、官方的火災鑑定報告等資料，予以比對分析後，以 FDS 電腦模擬程式為工具，建構本案電腦模擬的數值模型，並逐步完成前述 NFPA921 的火災重建要項。

一、FDS 火災模擬程式簡介

FDS 電腦模擬程式乃由美國 NIST(National Institute of Standards and Technology) 所開發[5]。於 2000 年 2 月公開發表第 1 版，目前持續改進中。FDS 是一種計算流體力學的軟體 (Computational Fluid Dynamics, CFD)，以場模式來模擬不同的火災情境 [6]，目前該程式已被國際公認，並經常被廣泛使用[7-8]。但過去 FDS 第 4 版以前的程式，僅能模擬火災危害因子的變化情境，對於同樣處於火災現場的人員避難逃生之情境，並無法同時模擬。有鑑於此，美國 NIST 與芬蘭 VTT 技術研究中心合作，將 FDS 模擬火災燃燒所產生的高溫、煙層高度、有毒氣體濃度等危害因子，影響人員避難行為與判斷能力之程度，以 EVAC 程式，予以模擬[9]。如此，將明確獲知，避難人員身處火災現場時，其生理、心理的反應與行為，並可計算人員經由房間、走廊，最後到達樓梯逃生口的避難時間[10]。所以，本文採用 2010 年 6 月發表，最新的 FDS 5.5.3+EVAC 2.2.2 作為模擬工具。該版本的電腦程式，可將模擬火災情境與人員避難的相關參數，寫在同一個輸入檔案中，同時運算火災與避難的數值模型。使用者除可獲得溫度、煙層高度、有毒氣體濃度等危害因子的變化情形外，同時可獲得個人的避難時間，以及是否成功逃生的結果。此為本文採用該版本的電腦程式，作為模擬分析的工具之主要理由。

二、建構火災案例的數值模型

本文根據前述的相關資料，建構本案例的火災模擬之數值模型。由於 1 樓店面不屬於旅館範圍，如圖 2(a)所示，且火害情況相當輕微。故數值模型由二樓開始建構，模擬區間劃分為二樓大小，X 軸為 0 至 11.4 m，Y 軸為 0 至 15 m，Z 軸為 3.2 m~6.5m。而三樓至五樓大小，則為 X 軸 0 至 14.4 m，Y 軸 0 至 15 m，Z 軸 6.5 m~18.5 m，如圖 2(b)所示。另外，本文以整棟建築物作為火災模擬的數值模型，火場的模擬空間 (simulation space) 相當大，如果格點(grid)設定太小時，會消耗電腦記憶體容量甚大，而無法執行模擬。所以，同時考量電腦運算效率與模擬成果的精確度，經過多次模擬測試後，以 0.2 m×0.2 m 為最佳的格點尺寸，故二樓區域格點尺寸為 76×100×22，三樓至頂樓區域格點尺寸為 96×100×80，整棟建築物模擬的總格點數合計為 935,200。



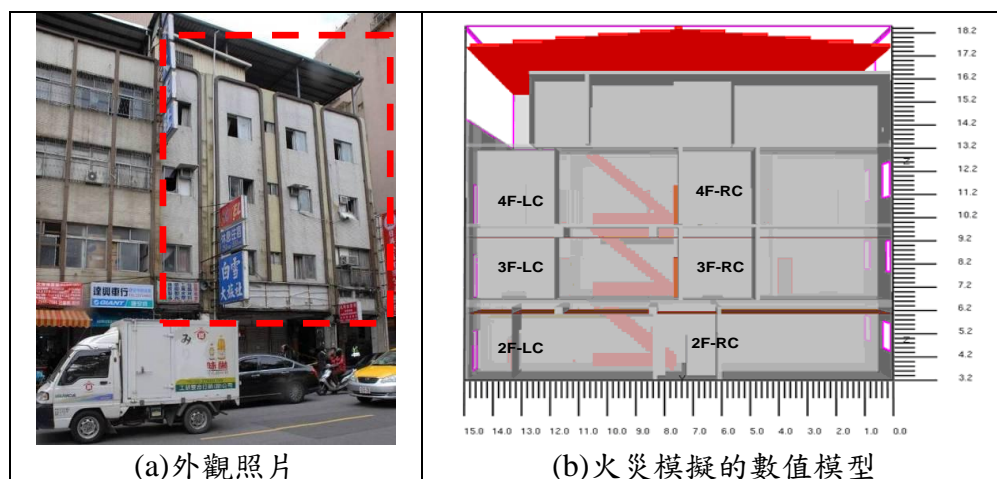


圖 2. 本案例外觀照片與火災模擬的數值模型圖(資料來源:圖(a)為本研究拍攝、圖(b)為本研究整理)

三、火災情境的模擬與驗證

根據官方的火災鑑定報告書，本案起火點確定在二樓 106 室鐵桌與彈簧床間，如圖 3(a)的紅色箭頭(1)處。火災發生時，2 樓的 106 室、105 室皆無人居住，但隔壁 103 室的旅客，當時有聽到人員活動的聲響與聞到物質燃燒之異味，故以人為縱火的可能性為最高。以電腦程式重建火災情境而言，計算起火點燃燒產生的熱釋放率(the heat release rate (HRR))，是非常重要的過程[11]。本案起火點旁邊的棉質彈簧床起火燃燒後，火勢往天花板處擴展，再由 2 樓走廊，沿著樓梯往上面樓層延燒。故本文引用美國 NIST 對雙人用彈簧床燃燒的實驗資料，燃燒時間達 300 秒時，每單位面積的熱釋放率可達 $1,000(\text{KW}/\text{m}^2)$ ，燃燒速度為 $0.1(\text{m}/\text{s})$ ，作為電腦模擬的輸入參數[5]。

起火源位於二樓 106 室門口與鐵桌間，起火原因疑似遭人縱火，在引燃棉質彈簧床後，產生大量輻射熱再引燃木質天花板後，火勢迅速擴大。另與火災實際情境相比對後，讓起火源之火勢於 210 秒後熄滅。由於服務生查看 106 室時有將房間門開啟，因此設定起火 210 秒後 106 室門被開啟，總模擬時間為 1,200 秒。

如前所述，火勢引燃起火點旁邊的棉質彈簧床，如圖 3(a)的紅色箭頭(2)處，產生大量的燃燒熱，並延燒至天花板，如圖 3(b)。隨後火流經由 106 室的天花板向外延燒，火流燒穿 106 室上方的氣窗後，如圖 4(a)的紅色箭頭；火流竄入 2 樓走廊天花板的上方，如圖 4(b)。由於該天花板內部可燃物甚多，如圖 5(a)，火勢沿著走廊天花板內部，往 2 樓 105 室與 103 室，以及 2 樓往 3 樓的樓梯方向延燒。最後，火流沿著樓梯迅速往 3、4 樓延燒，如圖 5(b)，致使 3、4 樓靠近樓梯附近之房間，包括 3 樓的 200 室、206 室、207 室、222 室，以及 4 樓的 306 室、317 室、318 室，這些房間的燒毀情形，較其它房間相對嚴重。



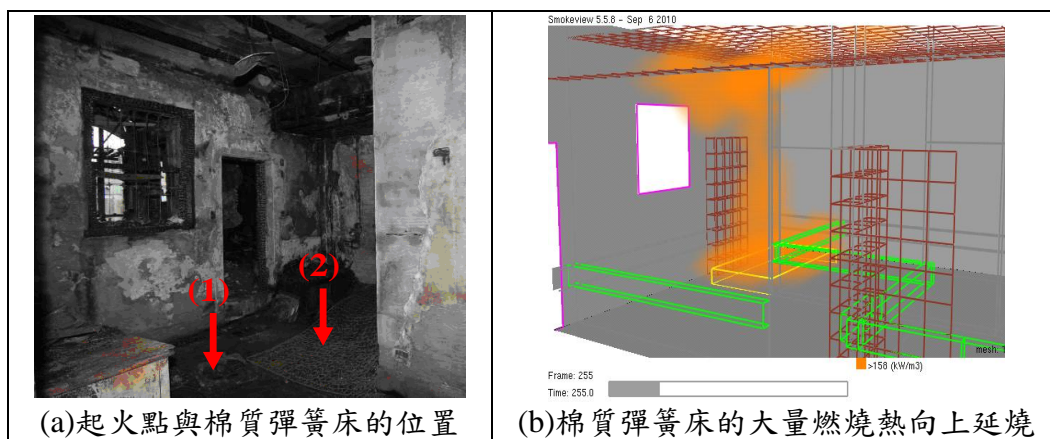


圖 3. 本案起火點位置的現場況照片與電腦模擬成果之對照圖 (資料來源:圖(a)為本研究拍攝、圖(b)為本研究整理)

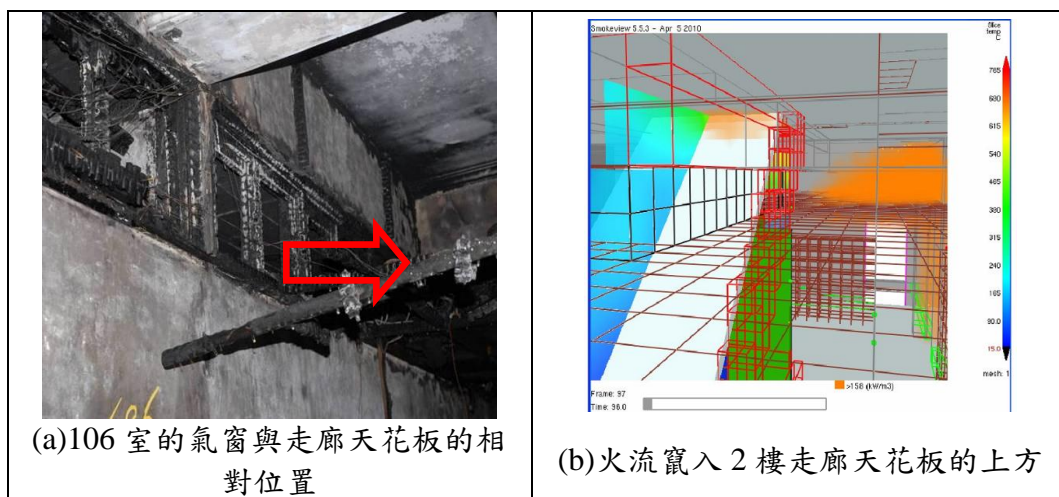


圖 4. 本案 106 室的氣窗與走廊天花板的相對位置與電腦模擬成果圖 (資料來源:圖(a)為本研究拍攝、圖(b)為本研究整理)

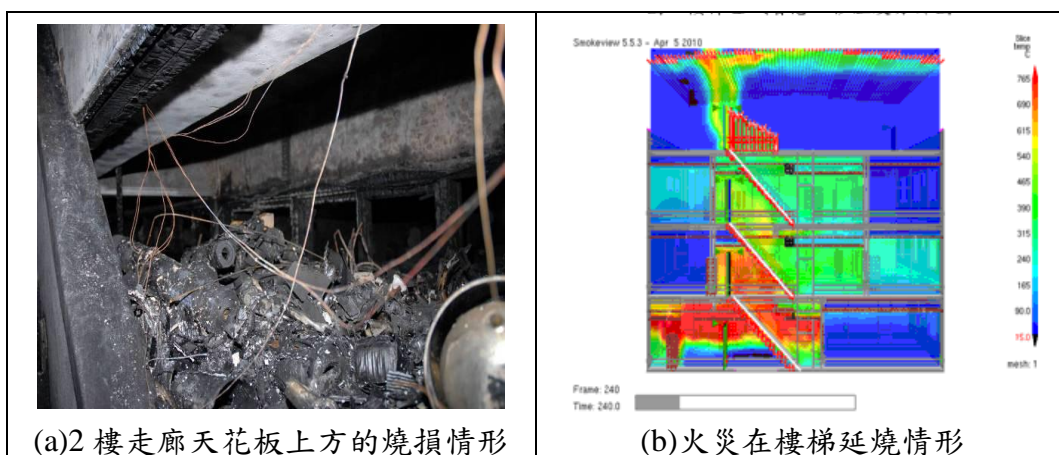


圖 5. 本案 2 樓走廊天花板上方的燒損情形與電腦模擬成果圖 (資料來源:圖(a)為本研究拍攝、圖(b)為本研究整理)



四、火災危害因子的分析與驗證

由於本案例僅有一座逃生樓梯，人員在建築物內部進行避難逃生時，須經由走廊，進入各樓層的樓梯。為瞭解各樓層的樓梯出入口附近區域，其溫度、煙層高度，以及 CO 濃度等危害因子之變化情形，本文將這些區域分別編號，如圖 2(b)。通常火場中溫度如達到 120°C 以上時，人的皮膚與肺部將受到嚴重灼傷[12]。而火場中的 CO 濃度如達到 1,000ppm 以上時，人員將失去逃生能力[13]。根據參考文獻[14]，火場中的煙層高度如果降到 1.8m 以下時，將達到無法避難逃生的環境條件。所以，本文將前述火場中人體可以忍受的極限，與電腦模擬結果比對後，以判斷本案例人員的傷亡原因。

根據電腦模擬的結果，圖 6 的 2F-LC 曲線，顯示該區域在 230 秒左右，溫度達到約 120°C 並開始上升，在 440 秒時達到 608°C；由圖 7 的 2F-LC 曲線，該區域在 200 秒左右，煙層高度降至離地 2.4m 的位置，約在 245 秒左右，已降至離地 1.80m 以下的位置；再由圖 8 的 2F-LC 曲線，該區域在 240 秒左右，CO 濃度已近於 1,000 ppm，在 300 秒左右，CO 濃度已近於 10,000 ppm。由此可見，當火災發生約 230 秒以後，內部人員已難以藉由 2F-LC 這個區域，往 1 樓方向逃生，如圖 9(a)。另外，在圖 6 的 2F-RC 曲線，該區域在 253 秒左右，溫度達到約 120°C 並開始上升，在 580 秒時達到 570°C；由圖 7 的 2F-RC 曲線，該區域同樣在 200 秒左右，煙層高度已降至離地 2.4m 的位置，250 秒左右，更降至離地 1.80m 以下的位置；再由圖 8 的 2F-RC 曲線，該區域在 220 秒左右，CO 濃度已超過 1,000 ppm，在 290 秒左右，CO 濃度已超過 10,000 ppm。由此可見，當火災發生約 220 秒以後，內部人員已難以藉由 2F-RC 這個區域，往 3 樓方向逃生，如圖 9(b)。

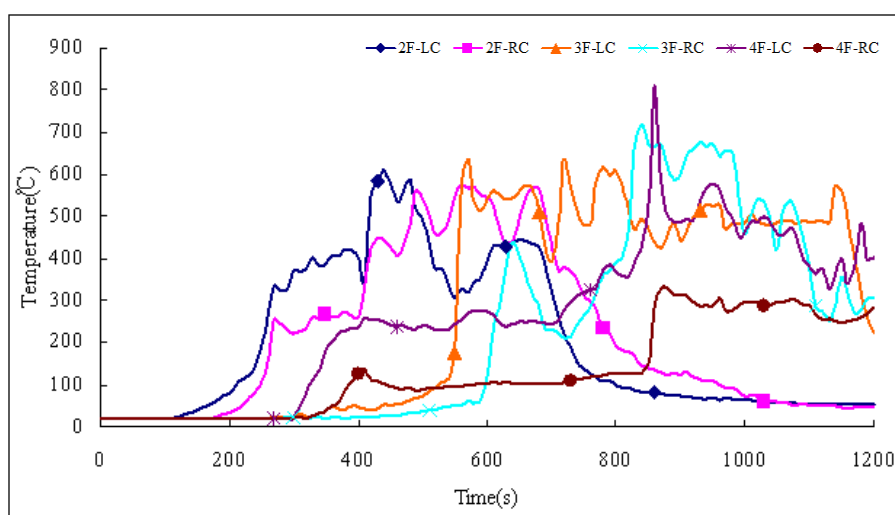


圖 6. 本案例 2 至 4 樓樓梯出入口附近區域的溫度變化曲線圖 (資料來源:本研究整理)

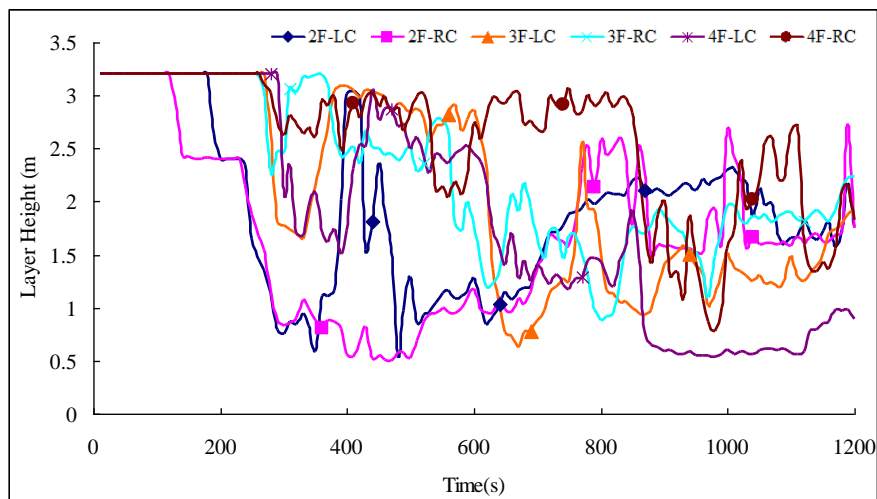


圖 7. 本案例 2 至 4 樓樓梯出入口附近區域的煙層高度變化曲線圖 (資料來源:本研究整理)

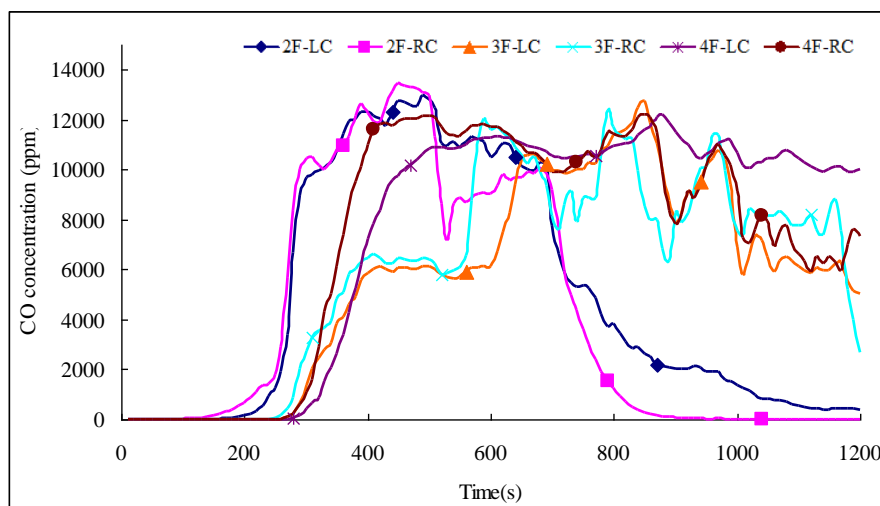


圖 8. 本案例 2 至 4 樓樓梯出入口附近區域的 CO 濃度變化曲線圖 (資料來源:本研究整理)



圖 9. 本案例 2 樓火災燒毀情形之照片圖 (資料來源:本研究拍攝)



在圖 6 的 3F-LC 曲線，在 540 秒左右，溫度到達 120°C 並開始上升，在 580 秒時，已接近 650°C；由圖 7 的 3F-LC 曲線，該區域在 290 秒左右，煙層高度降至離地 1.80 m 的位置，隨後由於 5 樓逃生門被人打開，造成濃煙由該逃生門排出，使該區域的煙層高度上升，平均約在離地 2.8m 的位置，但隨後因室內火災趨於猛烈，煙層高度在 670 秒左右，降至離地 0.62m 的位置；由圖 8 的 3F-LC 曲線，該區域在 295 秒左右，CO 濃度已超過 1,000 ppm，在 400 秒左右，CO 濃度已近於 6,000 ppm。由此可見，當火災發生約 290 秒以後，內部人員已難以藉由 3F-LC 這個區域，往 2 樓方向逃生，如圖 10(a)。另外，在圖 6 的 3F-RC 曲線，在 598 秒左右，溫度到達 120°C 並開始上升，約在 840 秒時，可達到 720°C；由圖 7 的 3F-RC 曲線，該區域在 570 秒左右，煙層高度降至離地 1.80m 的位置，同樣由於 5 樓逃生門被人打開，造成濃煙由該逃生門排出，使該區域的煙層高度上升，平均約在離地 3.2m 的位置，但隨後因室內火災趨於猛烈，煙層高度，在 800 秒左右，降至離地 0.88m 的位置；由圖 8 的 3F-RC 曲線，該區域在 285 秒左右，CO 濃度已超過 1,000 ppm，在 380 秒左右，CO 濃度已近於 6,000 ppm。由此可見，當火災發生約 285 秒以後，內部人員已難以藉由 3F-RC 這個區域，往 4 樓方向逃生，如圖 10(b)。



圖 10. 本案例 3 樓火災燒毀情形之照片圖



圖 11. 本案例 3 樓火災燒毀情形之照片圖

(資料來源:本研究拍攝)



在圖 6 的 4F-LC 曲線，在 335 秒左右，溫度到達約 120°C，在 860 秒時，達到室內最高溫 810°C；由圖 7 的 4F-LC 曲線，該區域在 318 秒左右，煙層高度降至離地 1.80m 的位置，隨後由於 5 樓逃生門被人打開，造成濃煙由該逃生門排出，使該區域的煙層高度上升，平均約在離地 2.8m 的位置，但隨後因室內火災趨於猛烈，煙層高度約在 920 秒左右，降至離地 0.56m 的位置；由圖 8 的 4F-LC 曲線，該區域在 325 秒左右，CO 濃度已超過 1,000 ppm，在 390 秒左右，CO 濃度已近於 6,000 ppm。由此可見，當火災發生約 318 秒以後，內部人員已難以藉由 4F-LC 這個區域，往 3 樓方向逃生，如圖 11(a)。另外，在圖 6 的 4F-RC 曲線，在 398 秒左右，溫度到達約 120°C，而在模擬時間 1200 秒以內，溫度皆維持在 330°C 以下；由圖 7 的 4F-RC 曲線，該區域在 860 秒以後，煙層高度才會降至離地 1.80m 的位置之下，在 860 秒以前，該區域煙層平均高度約在離地 2.7m 的位置；由圖 8 的 4F-RC 曲線，該區域在 300 秒左右，CO 濃度已超過 1,000 ppm，在 350 秒左右，CO 濃度已近於 6,000 ppm。由此可見，當火災發生約 300 秒以後，內部人員已難以藉由 4F-RC 這個區域，往 5 樓方向逃生，如圖 11(b)。

肆、火災案例的人員避難分析

一、建構人員避難的數值模型

本文根據前述的相關資料，建構本案的人員避難之數值模型。將火災發生時，原本各樓層人員為 2 樓 4 人，3 樓 8 人，4 樓 10 人，以及 5 樓 1 人，共計 23 人的資料輸入。由於該旅館的旅客，對於建築物內部的環境設施，不是非常熟悉。所以，除了 2 樓的服務生，對於場所內部的熟悉度設定為 100 % 外，其餘人員的熟悉度均設定為 70 %。另外，有關人體對於火災產生的高溫、有毒氣體等危害因子，所能忍受的程度，電腦程式已根據不同類型的避難人員，而有其程式內建的設定值。使用者僅需輸入，人員失去避難行為能力狀態下的煙層高度，故本文依據參考文獻[14]，設定前述的煙層高度為 1.8 m。而 EVAC 程式在計算人員由房間、走廊、樓梯，最後到達逃生出口時，全部時間稱為避難時間，將避難時間視為避難行動前的準備時間，加上避難行動後的移動時間。在移動時間部分，由於目前 EVAC 程式有根據人體的尺寸比例、步行速度等條件，內建 5 種的避難人員類型，分別為一般成年人、成年男子、成年女子、小孩、老年人[9]。

本文根據火災調查資料，選擇避難人員的類型，並設定每個人的開始位置後，由程式自行運算，獲得每位人員的移動時間。至於，前述的準備時間，乃根據火災發生後，倖存者訪談紀錄、倖存者與死亡者的開始位置、倖存者與死亡者的逃生路徑，以及死亡者的陳屍位置等資料，經過反覆模擬測試後，推算每個人的準備時間。所以，估計本案 2 樓 111 室的人員，避難行動前的準備時間約 310 秒；2 樓其餘 3 人約為 210 秒；3 樓全體人員約為 240 秒；4 樓全體人員約為 280 秒；5 樓的 1 人約為 300 秒。有關本案例模擬人員避難的數值模型，如圖 12。



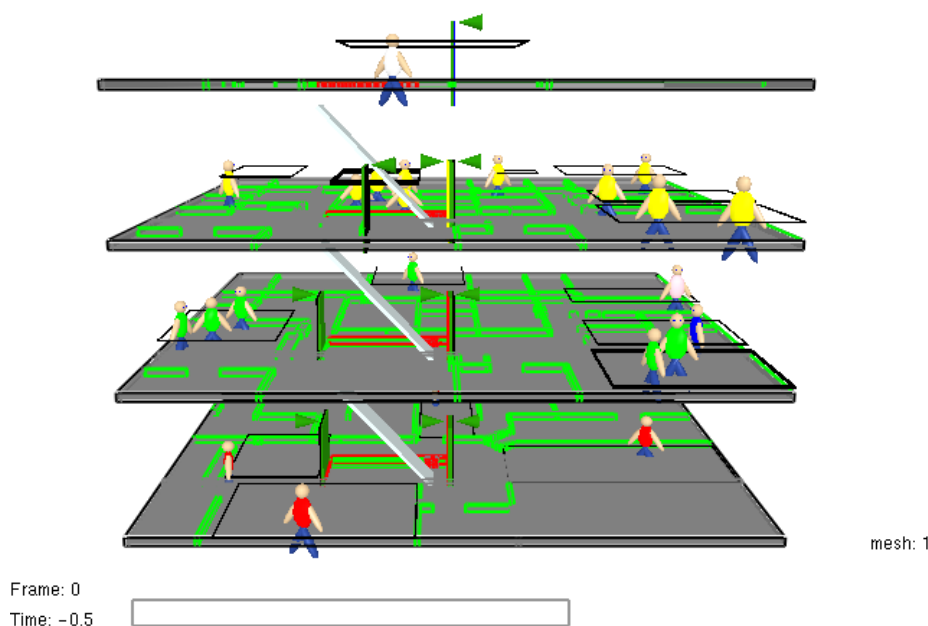


圖 12. 本案例人員避難模擬的數值模型圖

(資料來源:本研究整理)

二、人員避難情境之分析

本文根據火災調查資料，於各樓層平面圖中，繪製每位人員避難逃生路徑，如圖 1(a)~(d)；並參考表 1 的電腦模擬結果，重建本案火災發生時，內部人員避難逃生之情境如後所述。

火災發生時，2 樓共有 4 人，其中 3 人約在火災發生後，210 秒開始往 1 樓方向出口逃生，約在 222~238 秒之間，先後逃離火場。而 111 室人員在火災發生後，約在 310 秒開始逃生，移動約 19 m 的距離後，約在 333 秒時，喪生於 2 樓往 1 樓的樓梯出入口，如圖 1(a)。

在 3 樓共有 8 人，估計在火災發生後，約在 250 秒開始逃生。其中，202 室人員想往 2 樓逃生，移動約 14 m，約在 275 秒時到達往 2 樓樓梯的出入口，但因該區域已經濃煙密佈，該員約在 337 秒時喪生，如圖 1(b)。203 室人員則先移動約 35 m，逃至 4 樓的 333 室躲藏，約在 387 秒打開 333 室的房門時，因吸入大量濃煙而喪生，如圖 1(b)、圖 1(c)。200 室 3 位馬來西亞籍的旅客，因對建築物的環境不熟悉，一直在室內等待救援，但因門窗被強大的熱流燒破，大量濃煙竄入，3 人約在 639 秒於房內廁所喪生。209 室的旅客，則打破房內廁所的窗戶，在 1110 秒左右逃至鄰房，安全脫困。220 室 2 人則一直留在房內，約在 876~910 秒之間，藉由消防雲梯車而逃離火場。前述說明，如圖 1(b)所示。

4 樓共有 10 人，估計在火災發生後，約在 290 秒開始逃生。其中，306 室、312 室、317 室，計有 2 位男人、2 位女人、2 位小孩共 6 人，約在 308~320 秒之間，逃至 5 樓陽台，再由消防雲梯車逃離火場，如圖 1(c)、圖 1(d)。而 311 室的 1 位男性旅

客，在火災發生時，因過度緊張，尚未等到消防人員的幫忙，就自行跳樓身亡。301室、330室，計有3位男人，約在288秒左右，逃入311室等待救援，再由消防雲梯車逃離火場。前述說明，如圖1(c)所示。

5樓500室僅有1人，估計在火災發生後，約在310秒開始逃生。由於該位老人眼睛失明，逃生速度緩慢，約在332秒時，不慎跌倒，重傷不治而死亡，如圖1(d)。

表1 電腦模擬的人員避難時間表

房號	類型	人員類型	人數(人)	避難時間(秒)	避難結果
櫃台		成年女子	1	223.36	倖存者
101室		成年女子	1	237.25	倖存者
103室		成年女子	1	222.02	倖存者
111室		老年人	1	332.67	死亡者
200室		成年女子	3	639.17 639.28 639.88	死亡者 死亡者 死亡者
202室		老年人	1	337.77	死亡者
203室		成年男子	1	386.95	死亡者
209室		成年男子	1	1109.1	倖存者
220室		成年男子	1	876.83	倖存者
		成年女子	1	910.02	倖存者
301室		成年男子	1	287.56	倖存者
306室		成年男子	1	308.74	倖存者
		成年女子	1	310.21	倖存者
		小孩	1	315.2	倖存者
		小孩	1	319.49	倖存者
311室		成年男子	1	-	跳樓身亡
312室		成年女子	1	316.54	倖存者
317室		成年男子	1	320.1	倖存者
330室		成年男子	2	288.46 289.12	倖存者 倖存者
500室		老年人	1	332.91	死亡者

(資料來源:本研究整理)

伍、討論與建議

通常旅館火災若發生在深夜，將造成重大傷亡。以本案為例，2樓通往1樓與3樓的樓梯出入口區域，在火災發生後，約在220~230秒之間，已達到危害人命的程度。3樓通往2樓與4樓的樓梯出入口區域，在火災發生後，約在285~290秒之間，亦已達到危害人命的程度。4樓通往3樓與5樓的樓梯出入口區域，在火災發生後，約在300~318秒之間，亦已達到危害人命的程度。經查閱本案死者的驗屍報告，除不考慮5樓500室的1位失明老人，因跌倒撞傷頭部，重傷而死，及311室的1位男子，因



過度緊張，跳樓身亡以外，其餘 6 位死者的死亡原因，皆是吸入過多 CO 而死，與前述模擬的結果相符。另外，本案火災發生在深夜，根據倖存者的訪談紀錄，火災發生時，旅館內多數人員已處於睡眠狀態。雖然當時警報設備確實發出聲響，但多數人員在昏睡狀態，對於警鈴的聲音仍有相當懷疑的心態，致使本案除了最先發現火災的 3 人外，其餘人員的準備時間，長達 240~310 秒之間。

過去曾有國際防火專家，提出小規模火災，人員的避難逃生方式，應緊閉室內門窗，防止濃煙由門縫滲入，且應停留於室內，等待消防人員的救助；如此，會比盡速逃離火場的傳統思維，更為安全[15]。以本案為例，由消防隊接獲報案電話，至火災撲滅，僅約歷時 29 分鐘，火災規模確實不大。消防人員在 3 樓救出 2 人、4 樓救出 3 人、5 樓救出 6 人，共計 11 人，約占全部人數的 48%，消防救援能力甚高。所以，本文曾經模擬，前述 6 位死者，皆停留於室內，等待消防人員的救助之情境。發現 3 樓的 202 室、203 室共 2 位旅客，因其房間位置的火災危害程度較為輕微，且鄰近外面馬路，如能停留於室內，應能順利被消防人員安全救出。反觀 2 樓 111 室的老人，因行動緩慢，且該房間位置，約在火災發生 300 秒時，煙層高度已降至 1.0m 以下，CO 濃度超過 10,000ppm；約在 450 秒時，火災溫度將近 600°C，如此高度危險的環境，即使停留於室內，仍會死亡。同樣 3 樓 200 室的 3 位馬來西亞籍的旅客，因其房間位置火災危害的程度，與 2 樓 111 室差不多，故如果這 3 人停留於室內，仍會死亡。因此，前述專家的論述，並不能適用於所有的火災情境。可見火災燃燒過程中，充滿許多不確定的因素，致使人員避難逃生的對策，並沒有完全不變的原則，此為火災可怕之處。

FDS 電腦程式，經過 10 年以上的不斷發展與更新，其可靠度已被國際公認。目前最新版本的程式，可在同一個輸入檔案中，寫入火災模擬與人員避難的輸入參數，同時運算火災與避難的數值模型。如此，將同時獲得溫度、煙層高度、有毒氣體等危害因子的變化情形，以及個人的避難時間、是否成功逃生等結果。所以，鑑識人員如能善用 FDS 電腦模擬技術，配合各種試驗技術，再根據目擊者訪談與現場採證資料，將能完整重建火災情境，確保火災鑑識結果不僅公正與客觀，且內容準確無誤[16]。另外，防火工程師亦可應用該程式，判斷各種火災防範對策的效用，實為火災鑑識定與工程技術的一項重大發展。

誌謝

本文承蒙內政部建築研究所提供研究經費(計劃編號: 099301070000G1009)，在研究期間，承蒙內政部消防署、富邦產險公司等先進，提供寶貴的火災案例資料，在此致上最深的謝意。

參考文獻

- [1] http://big5.xinhuanet.com/gate/big5/news.xinhuanet.com/photo/2009-04/13/content_11180554.htm (accessed March 15, 2010)
- [2] <http://www.sinchew.com.my/node/37107?tid=2> (accessed March 15, 2010)
- [3] <http://www.people.com.cn/BIG5/paper1787/14545/1293296.html> (accessed March 15,



2010)

- [4] National Fire Protection Association. NFPA 921: guide for fire and explosion investigations. Orlando, 2004 Edition.
- [5] NIST, National Institute of Standards and Technology, <http://www.nist.gov/index.html> (accessed March 15, 2010) ◦
- [6] Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Jason Floyd, Howard Baum, Ronald Rehm, William Mell, Randall McDermott (2010) “Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model”, NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology.
- [7] Jae-Wook Kwon, Nicholas A Dembsey, Christopher W Lautenberger, “Evaluation of FDS : Upward Flame Spread”, Fire Technology, Vol. 43(4), pp. 255-284, 2007.
- [8] Peter Vidmar, Stojan Petelin, “Analysis of the effect of an external fire on the safety operation of a power plant”, Fire Safety Journal, Vol. 41, pp. 486-490, 2006.
- [9] Timo Korhonen, Simo Hostikka, “Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac Technical Reference and User’s Guide”, VTT Technical Research Centre of Finland, 2010.
- [10] Glenn P. Forney, “Smokeview (Version 5) - A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume I: User’s Guide”, NIST Special Publication 1017-1, National Institute of Standards and Technology, 2010.
- [11] Angi MC, David JJ. The Application of NIST’s Fire Dynamics Simulator to the investigation of carbon monoxide exposure in the deaths of three Pittsburgh fire fighters. *J Forensic Sci* 2004; 49 (1): 104-107.
- [12] SFPE Hand Book of Fire Protection Engineering. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2002 Edition.
- [13] National Fire Protection Association. NFPA 101: Life Safety Code, Orlando, 2006 Edition.
- [14] Chen CC, Chien WH. Technical manual of performance verification for fire escaping safety of building. Taipei: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior, Executive Yuan, Taiwan, 2008.
- [15] Zhao G, Lin JH. Study on the emergency response in fire science. 5th Conference on Performance-Based Fire and Fire Protection Engineering, Guang-Zhou, China, November 7-9, 2010
- [16] Tzu-Sheng Shena, Yu-Hsiang Huangb, Shen-Wen Chiena, “Using fire dynamic simulation (FDS) to reconstruct an arson fire scene”, Building and Environment, Vol. 43, pp. 1036–1045, 2008.

