

火災成長及濃煙擴散建模系統

——以某膠囊旅館為例

Fire Growth and Smoke Transport Modeling, CFAST—Take capsule hotel as an Example

黃俊達*

Chun-Ta Huang

邱晨瑋**

Chen-Wei Chiu

李雨修***

Yu-Hsiu Li

摘要

近十年來臺灣開始盛行背包客自助旅行，尤其是膠囊旅館更受旅客歡迎，隨著旅客的增多以及膠囊旅館的廣設，由於膠囊旅館具有與一般旅館不同特性，若發生火災將造成巨大的風險危機，為探討膠囊旅館火災可能有發生的狀況變化，本研究利用電腦模擬程式 CFAST 進行各種火災情境模擬，並參考消防法規模擬消防安全設備，最後提出結果與建議，作為消防人員執行是類場所火災搶救及預防工作參考。

關鍵字：膠囊旅館、CFAST、火災、消防安全設備

Abstract

In the past ten years, self-service backpackers have been popular in Taiwan, especially capsule hotels are more popular with tourists. However, with the increase of tourists and the wider establishment of capsule hotels, we found that capsule hotels have a huge risk if a fire occurs due to their particularities. In order to understand the fire process, the study uses CFAST to simulate various fire scenarios and sets up fire safety equipment regarding laws and regulations. The final simulation results are presented here. Appropriate recommendations are provided here as a basis for firefighters to rescue or

* 私立中國科技大學土木與防災設計碩士班、臺北市消防局忠孝分隊隊員，E-mail: tonyaally@gmail.com.tw。

** 回應作者：臺灣警察專科學校消防安全科教授兼科主任，交通大學機械工程博士，E-mail: eswin.wei@gmail.com。

*** 國立陽明交通大學碩士，E-mail: toyuhsiu@gmail.com。

fire reference to laws and regulations. Finally put forward results and suggestions. Appropriate recommendations are provided here as a basis for firefighters to rescue or fire safety inspections.

Key words: Capsule Hotel, CFAST, Fire, Fire Safety Equipments

壹、緒論

一、研究動機

隨著自助旅遊的盛行，旅客在選擇住宿的考量條件也跟以往大有不同，以前的旅客會花較多的金額住進大型旅館以求居住安全與舒適，但近幾年開始流行花費最少的金額來達到住宿的需求，以簡單便利為主要原則，因此發展出以床計價的新型態經營模式，尤其是以太空艙模式的膠囊旅館【1】更是旅客所廣為接受及歡迎。

經資料查詢目前臺北市以及新北市已有旅宿業開始經營以太空艙模式為主的膠囊旅館【2】，依內政部於 104 年 11 月《消防安全法令執法疑義研討會決議事項》【3】，膠囊旅館的場所類別為《各類場所消防安全設備設置標準第 12 條第 1 款第 5 目》【4】，同時明確指示膠囊旅館該如何設置火警自動警報設備、自動撒水設備以及防焰物品等相關規定，但其決議事項的內容是依照現有的法令規定作為延伸，消防人員在進行該場所安全檢查及相關火災預防工作時，對於膠囊旅館火災危害未能清楚，恐有執行法令的不確定性或無法向業者詳細解釋說明及宣導相關概念。

然而近年來的災例顯示（如表 1），旅館火災易造成人員傷亡，雖未曾有過膠囊旅館出現大型火災之事件，但非膠囊旅館與膠囊旅館具有相似火災危害性（如：不特定收容人員、收容人員處於休憩睡眠狀態），因此我們對其可能帶來的災害尚未全盤掌握，只能依靠以往的救災經驗作沙盤推演。

因上述的疑慮，故本研究會針對膠囊旅館倘若發生火災時，模擬各種狀況的發生，除了配合現有的法規以及決議事項來設置消防安全設備外，同時設定各種不同的情境並利用美國國家標準暨技術研究院開發電腦模擬程式（The Consolidated Model of Fire and Smoke Transport, CFAST）【5】進行模擬測試，以了

解各種情境下，火災濃煙變化情形，以利消防人員在進行消防安全檢查、消防演練、防火宣導甚至是火災搶救更有科學化的依據。

表 1 臺灣歷年發生之旅館火災統計表

發生日期	發生場所	傷亡情形
1987/02/01	高雄東寶旅社	19 死 19 傷
1989/01/29	嘉義東興旅社	5 死 2 傷
1989/06/22	花蓮花旗飯店	11 死 9 傷
1992/10/20	高雄花旗飯店	18 死 13 傷
1996/02/21	花蓮漢宮別館	5 死
1998/08/30	新竹東賓旅館	1 死 10 傷
1998/01/29	台北富都飯店	1 死 3 傷
2002/07/31	金門皇鼎飯店	2 死 5 傷
2003/11/14	桃園四季飯店	5 死 10 傷
2004/08/16	台東知本富野飯店	疏散 1,300 餘人
2009/03/02	台北白雪大旅社	8 死
2014/04/13	薇閣汽車旅館	上百人倉促逃生
2017/06/25	台北凱薩大飯店	疏散 200 餘人

資料來源：內政部統計處，2017【6】

二、研究目的

太空艙式的膠囊旅館在我國算是新興產業並具有特殊性，目前法規制訂是依附於現有的法令或解釋函，對於消防安全檢查人員在進行消防安全設備檢查時，容易發生對法規的不確定性或多種解讀，再者膠囊旅館若是發生火災時，對於消防搶救人員也是相當陌生，若無數據化的依據，那針對此類的火災就只能憑靠經驗而不是適合的作業流程。

膠囊旅館因其特殊性、不特定人員進出、旅客的行為模式各自不同，導致影響火災的因素就具有更多不確定性，因此本研究針對膠囊旅館內部所設置太空艙式膠囊之居室（以下簡稱：艙房），利用美國國家標準暨技術研究院開發電腦模擬程式 CFAST 進行模擬研究，設定不同情境，探討火災發生後，艙房的煙熱分布變

化，模擬情境如下：

假設膠囊旅館的某間艙房內走廊起火：

- (一) 在沒有設置消防安全設備下，艙房火災及濃煙的反應變化。
- (二) 設置定溫式探測器以及偵煙式探測器，比較其動作時間。
- (三) 設置密閉式撒水頭(以下簡稱：撒水頭)，查看撒水頭反應時間【7】(Response Time Index, RTI) 差異，影響艙房的煙熱分佈。
- (四) 在膠囊門開啟狀態下，走廊起火燃燒對於膠囊內部影響。

三、研究範圍與限制

(一) 研究範圍

本研究對象為膠囊旅館，其經營方式為艙房內設置太空艙式膠囊供收容人員休息睡眠，太空艙式膠囊係指收容人員個人休息睡眠處所，艙房係指併排堆疊多個太空艙式膠囊之居室空間，本研究範圍係針對艙房進行火災風險模擬，模擬比較各種情境下的火災成長及濃煙擴散反應變化。

本研究並針對艙房火災煙熱危害及設置消防安全設備，進行模擬研究，另有關旅館內部管理人員及旅客身心狀況(如：年齡性別、行動能力及逃生避難行為等)，未納入研究範圍。

(二) 研究限制

目前評估模擬火災方法的種類很多，火災模擬方法所適用的場所、規範及限制各有其差異性及適用性，本研究以運行美國國家標準暨技術研究院開發電腦軟體程式 CFAST，作為評估火災危害研究方法，並討論該艙房內的煙熱反應變化、各種消防安全設備在動作下所帶來的影響結果，故本研究之火災風險模擬結果，僅為一種可行的評估方式，非代表該場所實際火災危險或防火安全。

本研究以某間設置太空艙式膠囊旅館作為模擬對象，根據火災模擬評估後的結果進行討論，並針對該場所提出相關建議以利消防安全設備設置的選擇，提供消防人員對於是類場所防火安全及火災搶救觀點。

本研究以某間膠囊旅館進行火災煙熱模擬，模擬結果無法適用所有的膠囊旅館，亦無法代表該膠囊旅館發生火災時，危險性、煙熱變化及消防安全設備動作等預期評估結果。

四、研究方法與流程

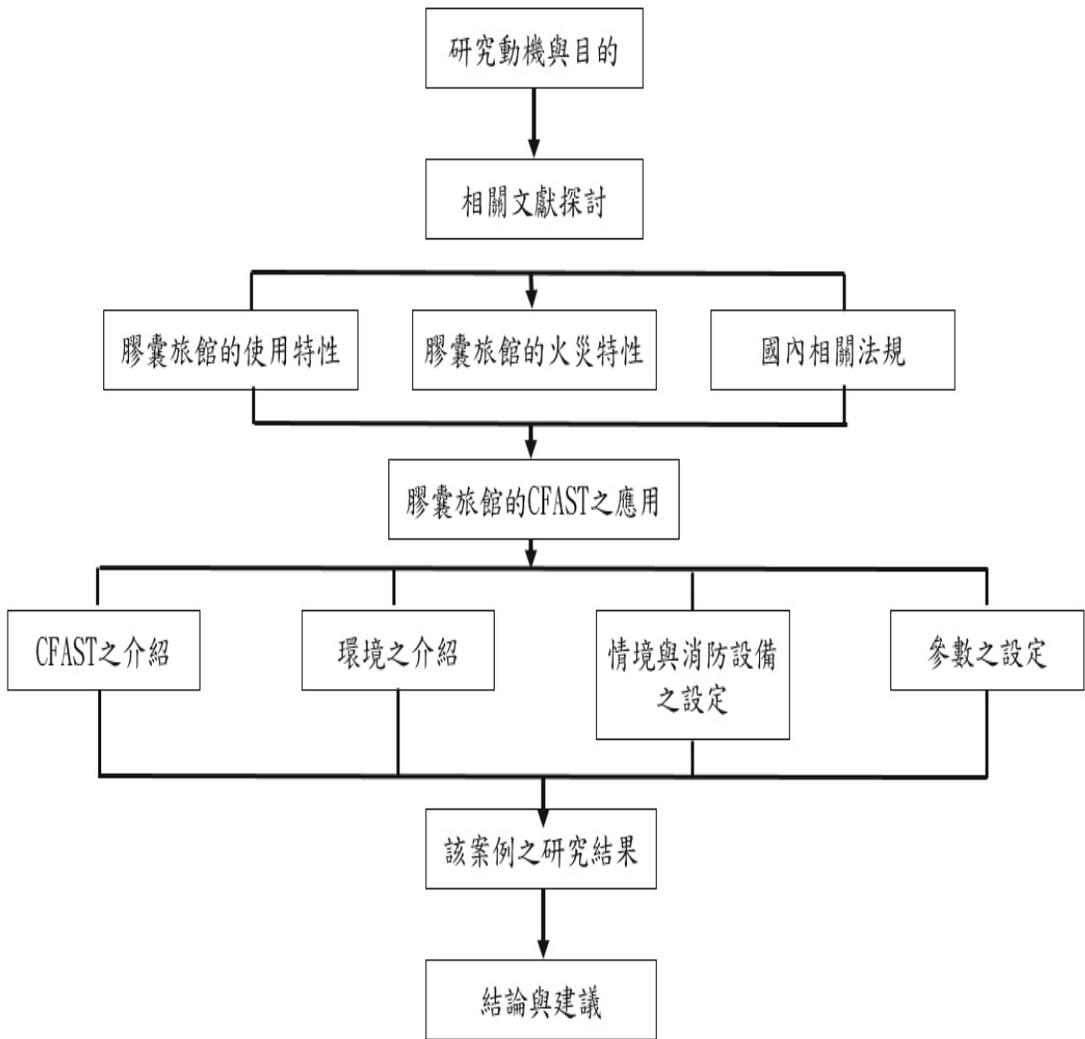


圖 1 研究方法與流程

資料來源：本研究製作

貳、文獻探討

一、膠囊旅館的使用型態及特性

膠囊旅館是「Capsule Hotel」的音譯，由於其空間狹小，其睡眠單位空間就像是一個膠囊，故稱之為「膠囊旅館」，然而每個為單位的膠囊其外觀又像是太空艙，

故又有「太空艙旅館」之稱。這類型的旅館起源於日本，因該國家地狹人稠，故建築師黑川紀章利用此特殊原因，便設計出能充分利用資源與節約空間的創意式便捷旅館【8】。

為了妥善利用空間資源以及達到旅客的睡眠目的，此類型的旅館必定是為極高密度的旅館住宿設施，雖然膠囊旅館的優點就是便宜、居住方便且設備齊全，但缺點就是出入的旅客較為繁雜，不容易管理，而且在旅宿安全上也是有疑慮的【9】。

二、膠囊旅館的火災危險特性

因其空間設計的高密度性，膠囊型床鋪多為玻璃纖維強化塑膠、ABS 樹脂材料等材質構成【2】，再加上旅居人數較為密集，故有下列火災危險特性：

（一）火災擴大延燒及不易察覺【10】：

因膠囊的組成通常為合成樹脂等高分子材料構成，如玻璃纖維強化塑膠（FRP）、ABS 樹脂材料等，而國內尚無明確的規範以及合適的檢驗機制，倘若發生火災時，合成樹脂膠囊型床鋪起火時，即使初期火災時具有阻燃性，但恐因大量可燃性氣體產生，也易造成火勢的擴大延燒。

再者因膠囊門為不透明設計，關閉期間若艙內發生火災時恐有察覺不易之情形，也有可能造成火勢延燒之情形。

（二）人員避難逃生不易【9】：

膠囊旅館其設計為簡易型旅宿，勢必無過多的裝潢設備，因而可以爭取大量的旅客入住，再加上常有將膠囊分為上下兩層，故在人員避難逃生方面會困難重重。

若當火災發生且有大量濃煙竄出時，可能會增加人員避難逃生時間、避難通道遭膠囊門阻滯、人員逃生時互相推擠以及上層的人員因緊急避難而摔落至地面。

（三）若膠囊旅館設置於地下層，火災濃煙不易排出【11】

因高密度的合成樹脂膠囊設置，起火時，容易產生大量的濃煙，若是膠囊旅館設置於建築物地下層，因無直接通向外部開口，會有火災濃煙蓄積不易排出的疑慮，造成更大的火災危害風險。

三、國內消防安全設備相關法規

本研究將整理膠囊旅館相關的消防安全設備法規，以了解如何設置消防安全設備，以符合法規的期待。

- (一) 旅館場所分類《各類場所消防安全設備設置標準第 12 條第 1 款第 3 目》：
將觀光旅館、飯店、旅館、招待所（限有寢室客房者），訂為甲類場所。
- (二) 無開口樓層《各類場所消防安全設備設置標準第 4 條第 2 款》：如表 2 所列

表 2 無開口樓層定義表

	樓層規定	單一開口面積規定	所有開口面積合計規定
建築物之各樓層供避難及消防搶救用之有效開口面積未達下列規定者	十一層以上之樓層	具可內切直徑五十公分以上圓孔之開口	合計面積為該樓地板面積三十分之一以上者
	十層以下之樓層	具可內切直徑五十公分以上圓孔之開口	1. 合計面積為該樓地板面積三十分之一以上者。 2. 但其中至少應具有二個內切直徑一公尺以上圓孔或寬七十五公分以上、高一百二十公分以上之開口

資料來源：本研究製作

(三) 自動撒水設備：

參照《各類場所消防安全設備設置標準第 17 條第 1 款及第 3 款》、《各類場所消防安全設備設置標準第 46 條第 2 款》，彙整如表 3 所示。

表 3 自動撒水設備法規整理表

法規	規定場所	規定設備
各類場所消防安全設備設置標準第 17 條第 1 款	十層以下建築物之樓層，供第十二條第一款第一目所列場所使用，樓地板面積合計在三百平方公尺以上者。	設置自動撒水設備
各類場所消防安全設備設置標準第 17 條第 1 款	地下層或無開口樓層，供第十二條第一款所列場所使用，樓地板面積在一千平方公尺以上者。	

法規	規定設備	規定防護半徑
各類場所消防安全設備設置標準第 46 條第 2 款	一般反應型撒水頭（第二種感度）	各層任一點至撒水頭之水平距離在二點一公尺以下。但防火構造建築物，其水平距離，得增加為二點三公尺以下。
	快速反應型撒水頭（第一種感度）	各層任一點至撒水頭之水平距離在二點三公尺以下。但設於防火構造建築物，其水平距離，得增加為二點六公尺以下。撒水頭有效撒水半徑經中央主管機關認可者，其水平距離，得超過二點六公尺。

資料來源：本研究製作

（四）火警自動警報設備

參照《各類場所消防安全設備設置標準第 19 條第 2 款及第 4 款》，彙整如表 4 所示。

表 4 火警自動警報設備法規整理表

法規	規定場所	規定設備
各類場所消防安全設備設置標準第 19 條第 2 款	六層以上十層以下之建築物任何一層樓地板面積在三百平方公尺以上者。	設置火警自動警報設備
各類場所消防安全設備設置標準第 19 條第 4 款	地下層或無開口樓層，供第十二條第一款第一目、第五目，樓地板面積在一百平方公尺以上者。供同條第一款其他各目及其他各款所列場所使用，樓地板面積在三百平方公尺以上者。	

資料來源：本研究製作

（五）排煙設備

參照依照《各類場所消防安全設備設置標準第 28 條第 1 款》以及《各類場所消防安全設備設置標準第 188 條第 7 款及第 8 款》，彙整如表 5 所示。

表 5 排煙設備法規整理表

法規	規定場所	規定設備
各類場所消防安全設備設置標準第 28 條第 1 款	供第十二條第一款所列場所使用，樓地板面積合計在五百平方公尺以上。	設置排煙設備
	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。	
法規	規定設備	設置方式
各類場所消防安全設備設置標準第 188 條第 7 款及第 8 款	排煙口之開口面積在防煙區劃面積之百分之二以上，且以自然方式直接排至戶外。	排煙口無法以自然方式直接排至戶外時，應設排煙機。
各類場所消防安全設備設置標準第 188 條第 8 款	<ol style="list-style-type: none"> 1. 排煙機應隨任一排煙口之開啟而動作。 2. 一防煙區劃時，在該防煙區劃面積每平方公尺每分鐘一立方公尺以上。 3. 在二區以上之防煙區劃時。 4. 地下建築物之地下通道。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 排煙機之排煙量在每分一百二十立方公尺以上。 2. 防煙區劃面積每平方公尺每分鐘一立方公尺以上。 3. 在最大防煙區劃面積每平方公尺每分鐘二立方公尺以上。 4. 其總排煙量應在每分鐘六百立方公尺以上。

資料來源：本研究製作

(六) 消防安全法令執法疑義

內政部 104 年 11 月消防安全法令執法疑義研討會決議事項，彙整如表 6 所示。

表 6 有關膠囊旅館決議事項整理表

規定項目	規定內容
場所類別	各類場所消防安全設備設置標準第 12 條第 1 款
偵煙式探測器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 每步行 15 公尺設置一顆。 2. 距離盡頭牆壁或出口在 7.5 公尺以下。 3. 膠囊型之休眠空間均設置一顆（進出部分為常時開放者不在此

規定項目	規定內容
	限)。
地區音響裝置之音壓	於休眠空間內需達 60 分貝(dB)以上。
自動撒水設備	1. 必須設置。 2. 於膠囊型之休眠空間。
窗簾、布幕、寢具	達到防焰性能
防火管理之避難引導	達 2 人以上負責
若民宿場所採膠囊式經營	1. 依民宿管理辦法規定設置消防安全設備。 2. 膠囊型之休眠空間應設置住宅用火災警報器（進出部分為常時開放者不在此限） 3. 走道並應設置偵煙式住宅用火災警報器。

資料來源：本研究製作

參、電腦模擬程式 CFAST 之應用

一、電腦模擬程式 CFAST

(一) CFAST 介紹

火災成長和煙霧擴散建模系統（Fire Growth and Smoke Transport Modeling, CFAST）是由美國國家標準暨技術研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）所發展出的一套系統，並模擬特定建築物環境中過去及潛在的火災和濃煙的風險影響，其系統可以適用於消防人員或其他相關的防災設計人員，包含工程師以及建築師等。

電腦模擬程式 CFAST 為火災及濃煙兩種模型，能夠預測遭受火災影響的多個空間結構，並可以分析使用者指定的火災時間內，其濃煙和氣態燃燒產物隨時間變化的分布及整個建築物內的溫度，而模擬結果使用 Smokeview 程式來顯示，彩色的三度空間動畫可觀察電腦模擬程式 CFAST 所模擬火災狀況，包含：溫度、各種氣體濃度及跨多房間結構的濃煙層的生長與擴散情形結果【12】。而本研究使用電腦模擬程式 CFAST 的版本為 7.6.0, Smokeview 為 6.7.15。

(二) CFAST 與其他電腦模擬程式比較【13】

以火災現象為主軸的電腦模擬程式，依模擬架構及運行模式，主要可分

為區域模式 (Zone Model) 及場模式 (Field Model) 兩種，區域模式將空間劃分成數個區域 (常見為上下二層)，相同區域內假設為相同物理特性，透過各式質能守恆原理，計算不同區域熱、煙及質量等變化情形，而場模式係將空間劃分為眾多格點，利用數值方法將物理特性參數方程式重複疊代，計算各格點模擬結果，因所需假設條件較少，對火災現象有更詳細、正確的描述，能模擬複雜形狀建築物內煙的流動、煙層溫度與濃度等，但需要較強大電腦設備及較多運行程式時間；下列概述比較常用區域模式電腦模擬程式 (COMPBRNⅢe、CFAST 及 FIVE)。

1. COMPBRNⅢe

COMPBRNⅢe 程式為火災危險度評估工具，可模擬設備損害的預測時間，燃料擺放蔓延的火災成長模式 (包括沿著電纜托架的側延燒)，也可模擬經由非連接燃料蔓延的成長模式，而產生多個互相作用的火災，使用單維非穩態的熱傳導模式，熱氣層使用半穩態的模型，如果火災改變，熱氣層也會隨著改變，該軟體不處理跨區劃空間之間的火災蔓延。

2. CFAST

CFAST 程式可設定水平與垂直開口，可設定隨時間開啟或關閉，其結構體 (如：天花板、地板及牆) 材質可自行設定，可設定自然及機械通風排煙，具有模擬撒水頭及火警探測器動作情形功能，以可設定環境監測點，有利於分析探討火災煙熱變化情形。

3. FIVE

FIVE 程式主要模擬火災受損害狀況，模擬結果較保守，輸入一個明確的火災及一些火災對象物，可模擬該火災是否會造成損害，該程式列入起火室內三個重要的區域：火羽柱、天花板下熱氣流及熱氣層，可模擬起火室內任一物體所受的輻射熱量傳導，但該程式模擬火災成長較不精確，使用者必須明確的指出火災的物理特性。

(三) CFAST 驗證【14】

NIST 及其他機構針對電腦模擬程式 CFAST 進行廣泛驗證研究，對於 CFAST 版本的缺陷或不足之處，持續在較新的版本修正及提升改善。

在 CFAST 運用於小空間範圍之驗證研究【15、16、17】，Chow 以單側 1 至 2 公尺小空間為研究場景，採用實驗與 CFAST 模擬進行相互比對方式，

項目包含：以可調熱功率輸出的電加熱器來驗證 CFAST 溫度模擬結果、比較有機溶劑（乙醇、正庚烷及煤油）燃燒行為與溫度變化及小型燃燒室燃燒所形成之煙層與熱氣溫度，Chow 表示仔細選擇 CFAST 輸入參數，實驗結果與模擬結果將具有高程度相似性。

在 CFAST 模擬撒水滅火之驗證研究【18】，CFAST 程式具有模擬撒水對於火源抑制的計算功能，Chow 以中庭屋頂撒水頭為研究背景，評估 CFAST 模擬所預測撒水頭動作情形與實際狀況間差異，評估項目包含：撒水頭的啟動、撒水頭對熱量反應及撒水需求量，研究結果顯示，CFAST 預測情形與實驗結果具有高程度吻合。

本研究對象空間結構形狀方正且空間大小非為大規模，區域模式不需較高電腦設備規格，操作便利，而區域模式電腦模擬程式中，CFAST 程式為二層模式，能更仔細分析探討上下層煙熱變化，且 CFAST 程式持續更新及接受研究單位認證、開發單位修正及優化，故本研究採用 CFAST 程式作為研究方法電腦模擬程式。

二、膠囊旅館環境介紹

本研究是以新北市某一間膠囊旅館作為基底藍圖，並透過實際調查設計出本研究的模擬環境，該膠囊旅館位於樓高十層建物的地下一層，該空間為《各類場所消防安全設備設置標準》所定義無開口樓層，其旅館共有十一間艙房，分別為六間的男宿艙房、四間的女宿艙房以及一間親子混和艙房，本研究針對其中一間男宿艙房作為模擬對象，有關說明如表 7。

表 7 艙房及膠囊說明

環境項目	設計情況
膠囊旅館所在位置	建築物地下一層
艙房空間	長 8.5 公尺、寬 6 公尺、高 3 公尺
艙房走道門數量、位置及材質	於走廊端點 1 個走道門，材質為防火門
艙房走道門高度及寬度	高 2.4 公尺、寬 0.9 公尺，門頂端距離天花板 0.6 公尺
艙房走廊位置及寬度	走廊位於艙房內部中間、寬 1.6 公尺
艙房內消防安全設備	偵煙式探測器、撒水頭、排煙設備
膠囊尺寸	長 2.2 公尺、寬 1.3 公尺、高 1.3 公尺

環境項目	設計情況
艙房內膠囊數量及配置	合計 24 個，以走廊為界，每側計有 12 個，每側分成上下層，每層 6 個。
膠囊及膠囊門材質	合成樹脂 ABS
膠囊內部配備	電視、音響、USB 插座 2 個、電源插座 1 個
備註：艙房及膠囊示意圖，詳如圖 2 及圖 3。	

資料來源：本研究製作

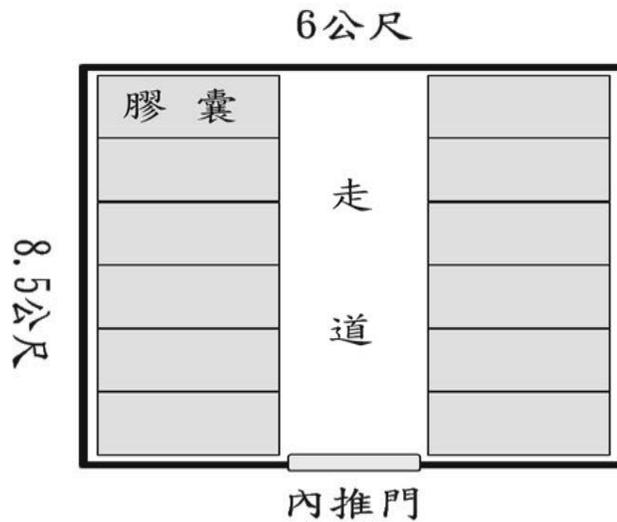


圖 2 艙房平面圖

資料來源：本研究製作

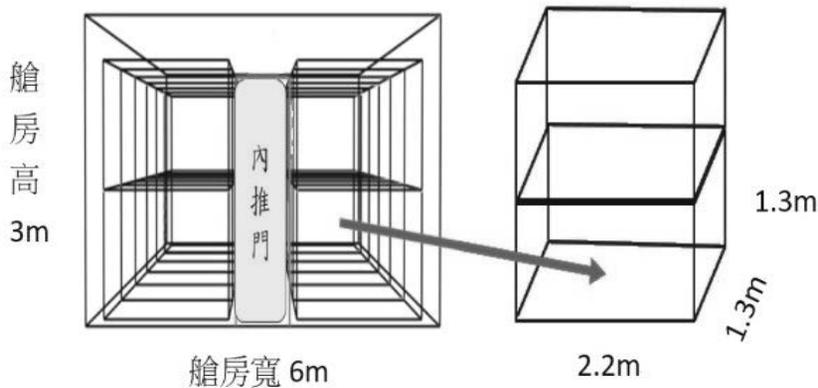


圖 3 艙房垂直透視圖與膠囊大小示意圖

資料來源：本研究製作

三、模擬情境

(一) 模擬情境：

艙房走道設定 1 處起火源：

1. 無設置消防安全設備，艙房的火災及濃煙的反應變化，部分膠囊門開啟狀態。
2. 設置溫式探測器及偵煙式探測器，比較其動作時間差別。
3. 一般反應型及快速反應型撒水頭反應時間。

(二) 建置模型（艙房空間及設置膠囊）：

依據本研究對象膠囊旅館艙房環境，於電腦模擬程式 CFAST 建置模型（如圖 4），艙房設置 24 個膠囊，以走廊為界，每側計有 12 個，每側分成上下層，每層 6 個，艙房走道門頂端距離天花板 0.6 公尺，艙房高度 3 公尺，每個膠囊高 1.3 公尺，上下兩個堆疊配置，故上層膠囊頂部距離天花板 0.4 公尺，而艙房長度為 8.5 公尺，膠囊寬度為 1.3 公尺，每側單層併排設置 6 個膠囊，故距離兩側的牆壁分別為 0.4 公尺及 0.3 公尺（如圖 5）。

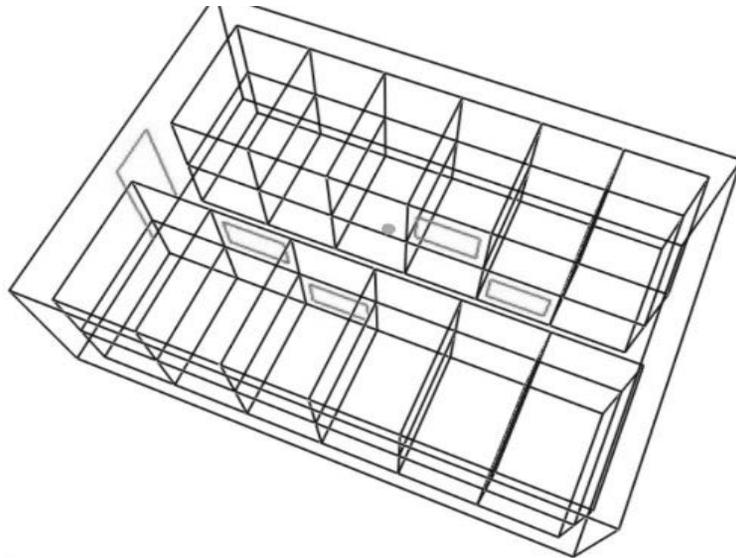


圖 4 艙房空間及膠囊配置

資料來源：本研究製作

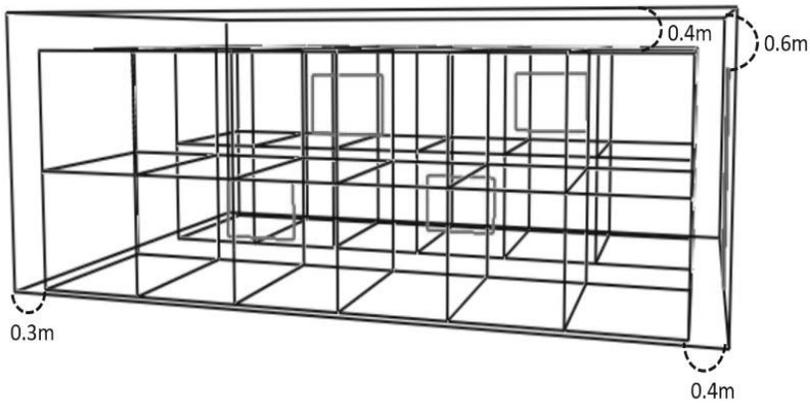


圖 5 膠囊、走道門與牆壁之距離

資料來源：本研究製作

為探討開啟的膠囊門於火災發生過程中，膠囊內溫度與濃煙的情形，利用電腦模擬程式 CFAST 探討火災發生時關門的重要性【19】，因此將 4 個膠囊門設定為開啟的狀態（如圖 6），另為模擬探討艙房密閉空間的火災溫度成長及濃煙擴散情形狀態，將艙房走道門設定為關閉。

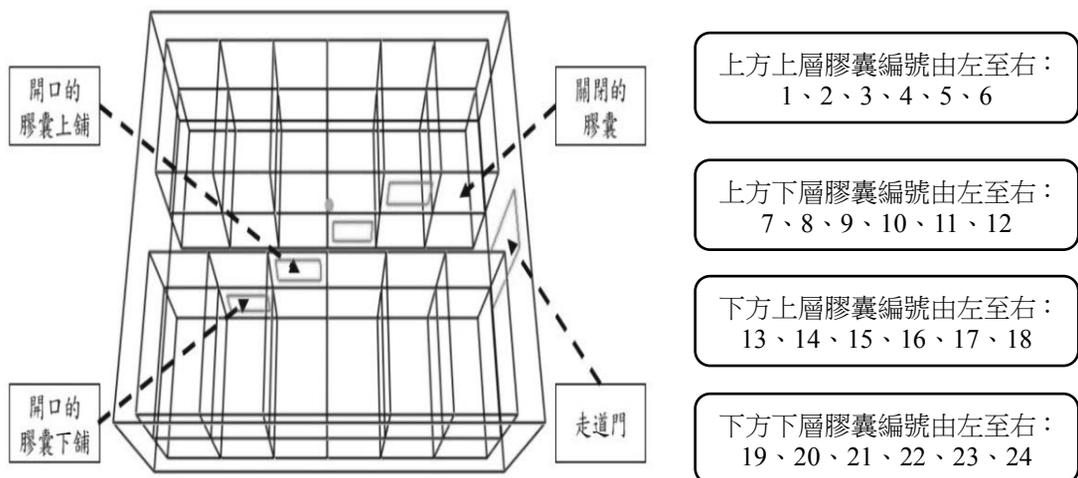


圖 6 走道門及膠囊門

資料來源：本研究製作

(三) 設置火源：

假設靠近走道中央位置（膠囊編號 10 及 22 之間）設定為起火源（如圖 7），依電腦軟體程式 CFAST 內建資料，燃燒成長速度為中速（Medium）、火災成長係數(k)為 300、燃燒到達釋熱峰值（HRR Peak）時間為 300 秒，燃燒釋熱峰值為 1054KW，穩定燃燒（Steady Burning Period）時間為 300 秒，燃燒衰退（Decay Time）時間為 300 秒（如圖 8）。

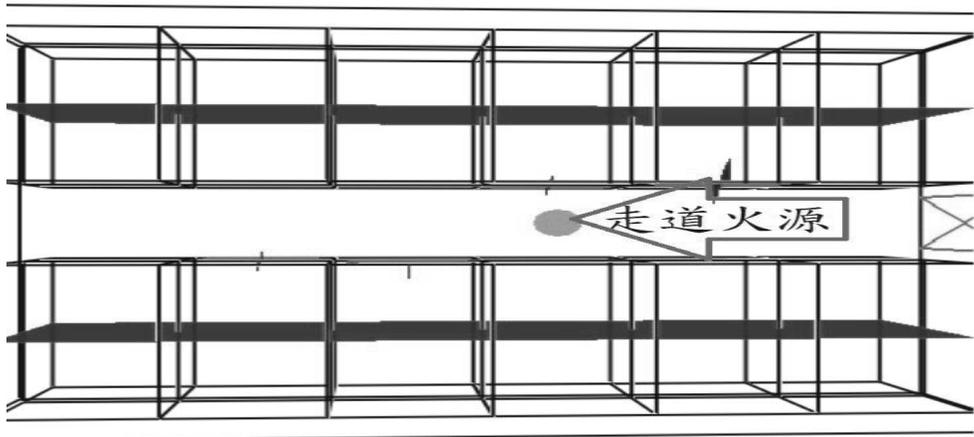


圖 7 火源位置圖

資料來源：本研究製作

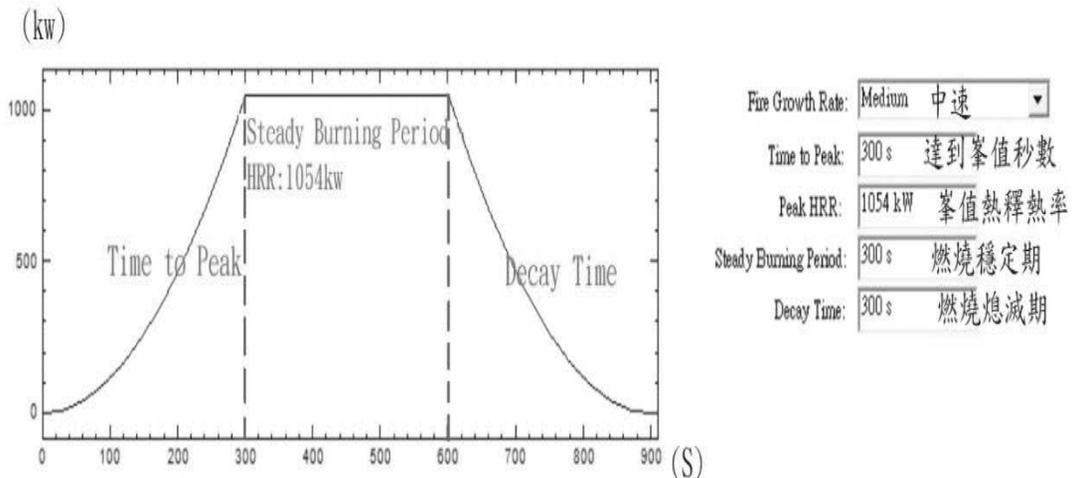


圖 8 火源熱釋熱率數值設定圖

資料來源：本研究製作

(四) 設置消防安全設備

本研究模擬消防安全設備，依《內政部 104 年 11 月消防安全法令執法疑義研討會決議事項》及《各類場所消防安全設備設置標準第》規定，設置探測器、撒水頭及排煙設備。

1. 偵煙式探測器及定溫式探測器：

依照《內政部 104 年 11 月消防安全法令執法疑義研討會決議事項》決議規定旅館內走道每步行距離 15 公尺至少設置 1 個偵煙式探測器，且距離盡頭牆壁或出口在 7.5 公尺以下，且本艙房的走道長 8.5 公尺，只需要裝設 1 顆偵煙式探測器。

因本研究目的之一為探討偵煙式探測器與定溫式探測器的動作時間差別，故本研究模擬另外裝置定溫式探測器，並設在與偵煙式探測器相同位置，而本研究選擇的探測器種類為一種，性能設定值如表 8 所示，另為了探究不同位置是否對偵煙式探測器以及定溫式探測器造成動作時間差別，於艙房走道上平均設置 3 顆探測器（如圖 9）。

表 8 探測器設定值

名稱	性能設定值	數量
偵煙探測器	動作濃度：10%，30 秒內	3
定溫式探測器	動作溫度：50°C，120 秒內	3

資料來源：本研究製作

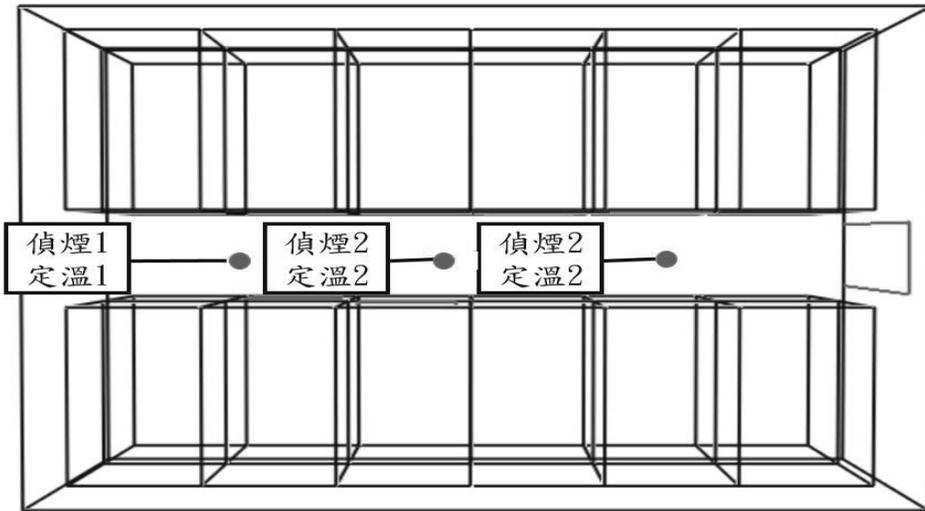


圖 9 探測器裝置圖

資料來源：本研究製作

2. 自動撒水設備：

依照《各類場所消防安全設備設置標準第 17 條第 3 款》設置自動撒水設備及《各類場所消防安全設備設置標準第 46 條第 2 款》規定，設置一般反應型撒水頭及快速反應型撒水頭，並比較兩種撒水頭動作差別，本研究設定撒水頭規格如表 9 所示，並配合法規設置撒水頭位置，艙房走道最少需要設置 3 顆撒水頭，故將快速反應型撒水頭及一般反應型撒水頭設置在相同位置（如圖 10）。

表 9 撒水頭設定值

名稱	性能設定值	數量
快速反應型撒水頭	撒水方向向下，動作溫度：72°C，RTI：80 流量：80L/min，防護半徑：2.6m	3
一般反應型撒水頭	撒水方向向下，動作溫度：72°C，RTI：130 流量：80L/min，防護半徑：2.3m	3

資料來源：本研究製作

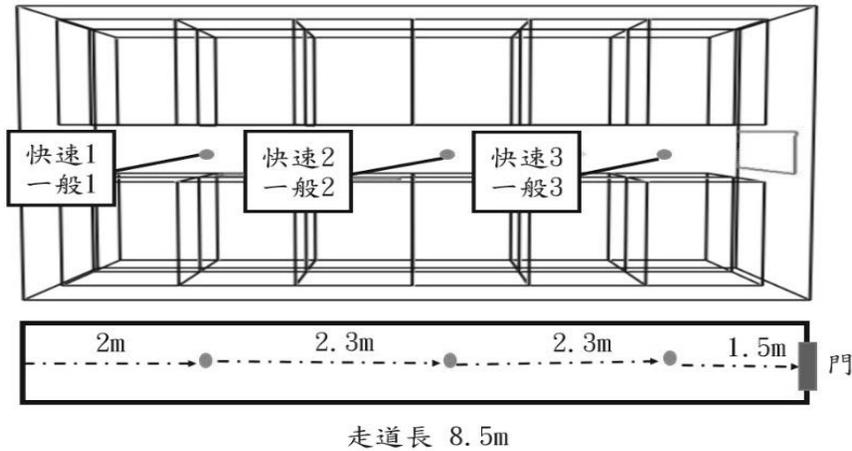


圖 10 撒水頭裝置圖

資料來源：本研究製作

3. 排煙設備：

依照《各類場所消防安全設備設置標準第 188 條第 7 款及第 8 款》規定，排煙機之排煙量在每分鐘一百二十立方公尺以上，且在一防煙區劃時，在該防煙區劃面積每平方公尺每分鐘一立方公尺以上，本研究模擬艙房面積為 51 平方公尺（長 8.5 公尺、寬 6 公尺），設定排煙閘門 1 處、尺寸為 1 平方公尺及風速為 0.04 立方公尺/秒（如表 10），另本研究為探討火災濃煙擴散情形，將排煙設備設置於走道底部遠離火源位置（如圖 11）。

表 10 排煙設備設定值

名稱	性能設定值	數量
排煙閘門	尺寸：1 平方公尺 風速：0.04 立方公尺/秒 (m ³ /s)	1

資料來源：本研究製作

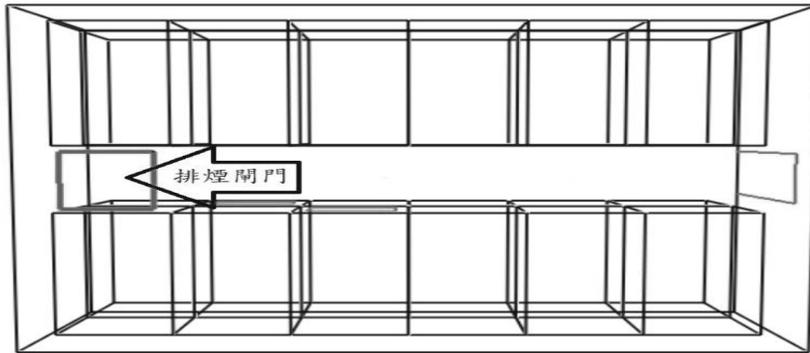


圖 11 排煙閘門位置圖

資料來源：本研究製作

(五) 模擬參數設定：

本章節說明電腦模擬程式 CFAST 相關參數的設定，使模擬情境與實際情況趨近相符。

1. 模擬環境設定 (Simulation)：

模擬環境設定模擬時間為 1,200 秒，動畫圖表輸出間隔為 60 秒，其餘參數設定，如：室內外溫度、室內溼度及室外壓力，均為電腦模擬程式 CFAST 內建數值（如圖 12）。

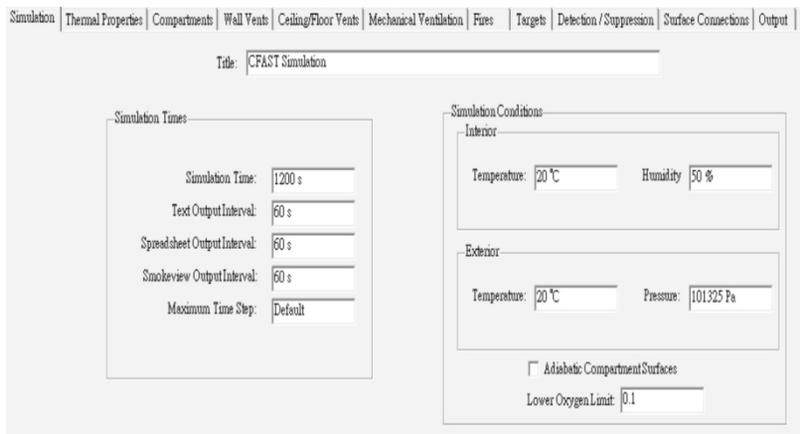


圖 12 情境設定

資料來源：本研究製作

2. 構造材質設定 (Thermal Properties)：

本研究模擬設定艙房構造材質，天花板及牆壁為矽酸鈣板 (Calcium

silicate Board)，地板為防火磚 (Fire brick)，膠囊設定為 ABS 塑膠，針對各該材質參數所需隔熱係數 $\text{kW}/(\text{m}^2\text{C})$ 、密度 kg/m^3 、比熱 $\text{kJ}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$ 及輻射率等項目，矽酸鈣板及防火磚使用電腦模擬程式 CFAST 內建的數值，ABS 塑膠則參考實物材質數據【20】進行設定 (如圖 13)。

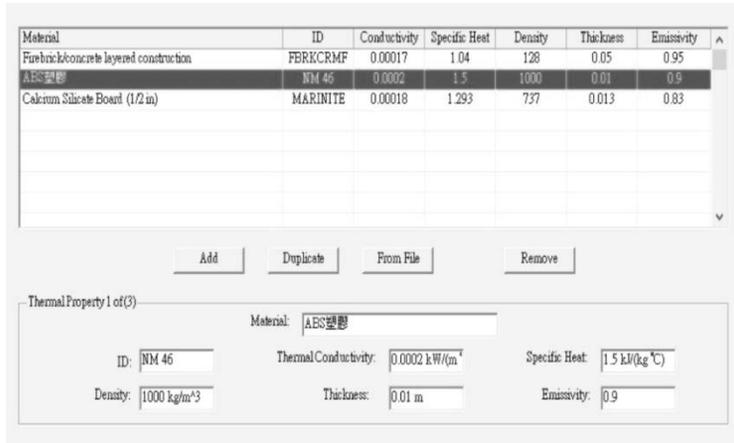


圖 13 構造材質設定

資料來源：本研究製作

3. 空間設定 (Compartments)：

本研究模擬在設定空間項目中，先設定艙房 (長 8.5 公尺、寬 6 公尺及高 3 公尺)，艙房內部再設置 24 個膠囊 (每個長 2.2 公尺、寬 1.3 公尺及高 1.3 公尺)，總計設定 25 個空間 (如圖 14)。

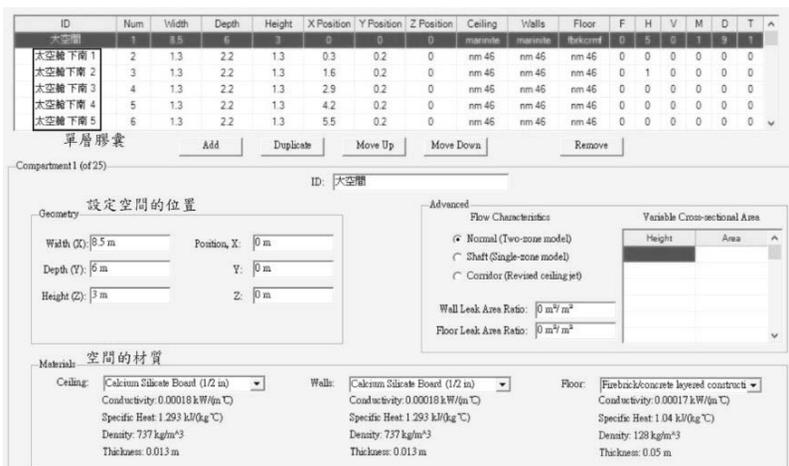


圖 14 構造材質設定

資料來源：本研究製作

4. 牆壁開口設定 (Wall Vents):

本次研究模擬於艙房設置 1 個常時關閉的艙房門 (高 2.4 公尺、寬 0.9 公尺)，艙房門連接艙房走廊與艙房外部，於上下層膠囊中，各設定 2 處常時開啟膠囊門 (每個高 1 公尺、寬 1 公尺)，位置為膠囊面向走廊側正中間，膠囊門連接膠囊內部與艙房走廊 (如圖 15)。

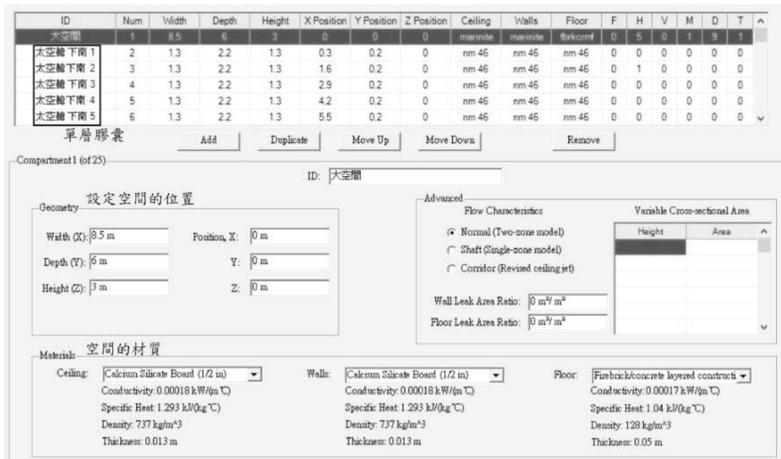


圖 15 牆壁開口設定

資料來源：本研究製作

5. 天花板及地板的通風設定 (Ceiling / Floor Vents):

本研究模擬未有天花板及地板的通風口，故該項目免設定。

6. 排煙設備設定 (Mechanical Ventilation):

艙房設定 1 個排煙閘門，面積 1 平方公尺，風速為 0.04m³/s，而排煙方向從艙房內部至艙房外部，本研究模擬未探討排煙設備與撒水頭相互影響，為利模型建置及模擬便利，故設定在排煙設備動作情形下進行撒水頭模擬，啟動因素利用時間來控制，設定為常時開啟 (如圖 16)。

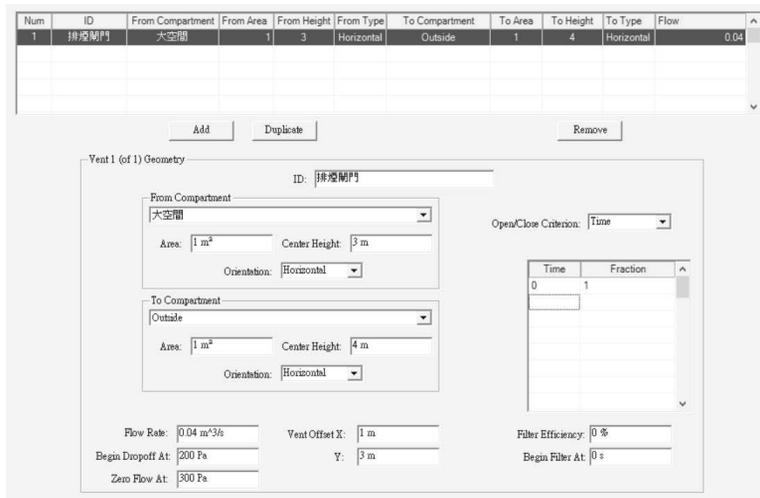


圖 16 排煙設備設定

資料來源：本研究製作

7. 火源設定 (Fire)：

依照本研究模擬情境之設置火源內容進行設定。

8. 觀測目標設定 (Targets)：

在大空間的中心偏天花板設立一個圓盤形觀測點，將觀測點設定成矽酸鈣板，並作為連動排煙設備用途（如圖 17）



圖 17 觀測目標設定

資料來源：本研究製作

9. 探測器及撒水頭設定 (Detection / Suppression) :

同時設立偵煙式及定溫式探測器各 3 顆，以利比較兩者動作時間的差別，設置撒水頭 3 顆，比較一般反應型與快速反應型撒水頭之滅火時效的差異性 (如圖 18)。



圖 18 探測器及撒水頭設定

資料來源：本研究製作

10. 傳熱設定 (Surface Connection) :

查看封閉的膠囊起火，如何影響周邊空間的溫度，本研究設定某一上層膠囊起火，讓其傳熱至其他相鄰的膠囊，並讓其傳熱功效達 0.5 (如圖 19)。



圖 19 探測器及撒水頭設定

資料來源：本研究製作

肆、研究結果

一、走道起火，無消防安全設備，艙房的溫度與濃煙分佈：

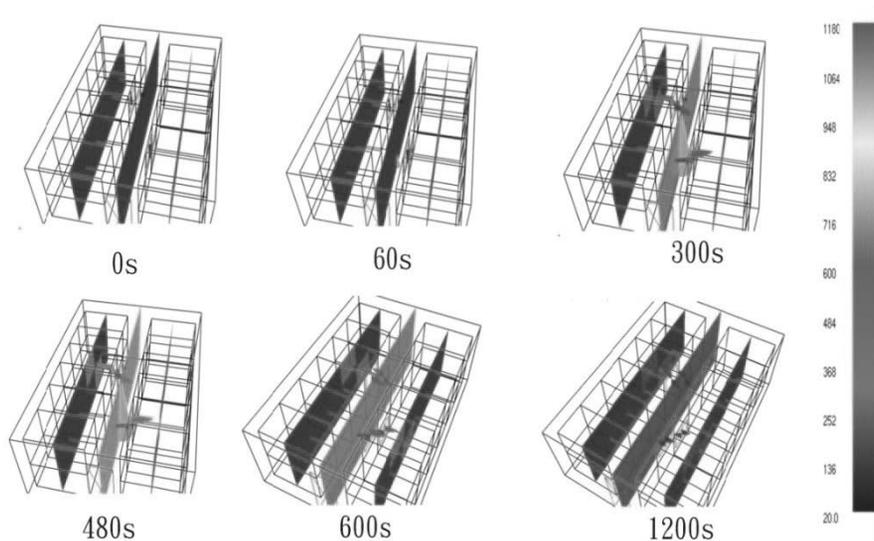


圖 20 無設備下其火災溫度分佈

資料來源：本研究製作

根據圖 20 顯示，自模擬開始經過 60 秒時，艙房內溫度變化少，於 300 秒達到熱釋放率峰值，走廊溫度已達到 250°C，於 480 秒達到最高溫度 400°C，於 600 秒時，依設定值燃燒開始衰退，溫度開始下降，於 1200 秒模擬結束時，走廊及膠

囊門開啟的膠囊內部仍有將近 130°C。

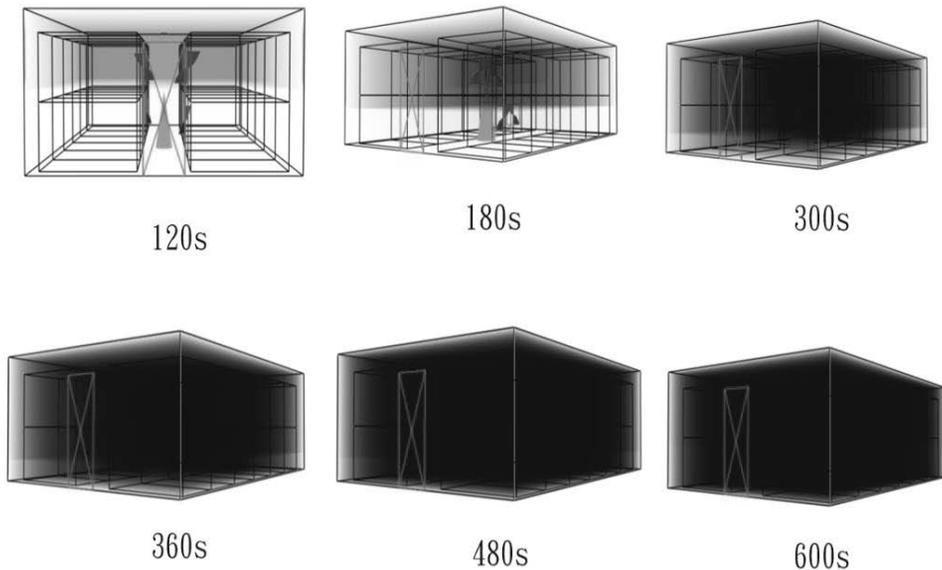


圖 21 無設備下其濃煙分佈

資料來源：本研究製作

根據圖 21 顯示，濃煙在 120 秒就開始生成，180 秒已明顯蓄積在頂部，300 秒時達到熱釋放率峰值，其濃煙已大量生成，600 秒的時候火源開始衰退。

二、定溫式探測器與偵煙式探測器動作時間比較：

表 11 探測器動作時間比較表，在無其他消防安全設備影響下

探測器種類	偵煙 1	偵煙 2	偵煙 3
動作時間	100 秒	100 秒	100 秒
探測器種類	定溫 1	定溫 2	定溫 3
動作時間	131 秒	101 秒	101 秒
動作時周遭溫度	125°C	172°C	172°C

資料來源：本研究製作

由表 11 得知偵煙式探測器動作反應時間較定溫式探測器快，不同偵煙式探測器雖然設置位置不同，但動作時間都在 101 秒，3 組偵煙式探測器動作時，各探測器遮光率數值皆相同，探究其原因可能係電腦模擬程式 CFAST 為區域模式軟體，

開發設計以火災二層為基礎，對於遮光率之偵測及反應，可能無法模擬出較細微差異。

定溫式探測器會因離火源的遠近而有不同的動作時間，從圖 22 得知火源位於定溫 2 及定溫 3 之間，同時在 100 秒時，偵測到的溫度為 50°C ，故此 2 顆探測器一起動作，再者因較為靠近火源，故動作時間較為接近偵煙式探測器。反之定溫 1 較為源離火源，故在 131 秒才開始動作，而偵測到的溫度為 63°C 。

雖然本次實驗模擬的偵煙式探測器以及定溫式探測器兩者動作時間只差 1 秒，但我們可以從定溫 1 發現其動作時間較偵煙式探測器晚 30 秒。

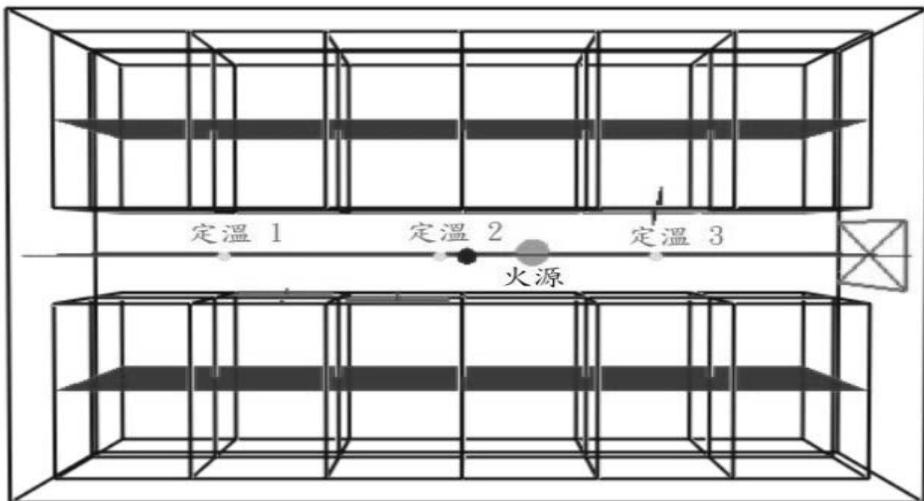


圖 22 定溫式探測器與火源位置圖

資料來源：本研究製作

三、撒水頭反應時間其快慢如何影響該艙房內的溫度分布：

本研究模擬情境為觀察快速反應行撒水頭與一般反應型撒水頭，對該艙房所產生的溫度分布及滅火效能差異性（如圖 23、圖 24 及表 12）。

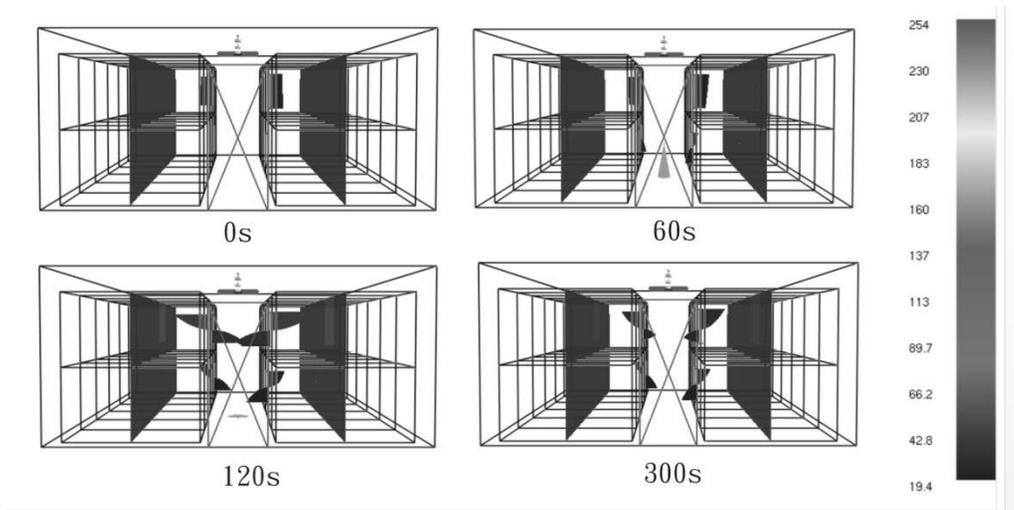


圖 23 快速反應型撒水頭其影響溫度分布

資料來源：本研究製作

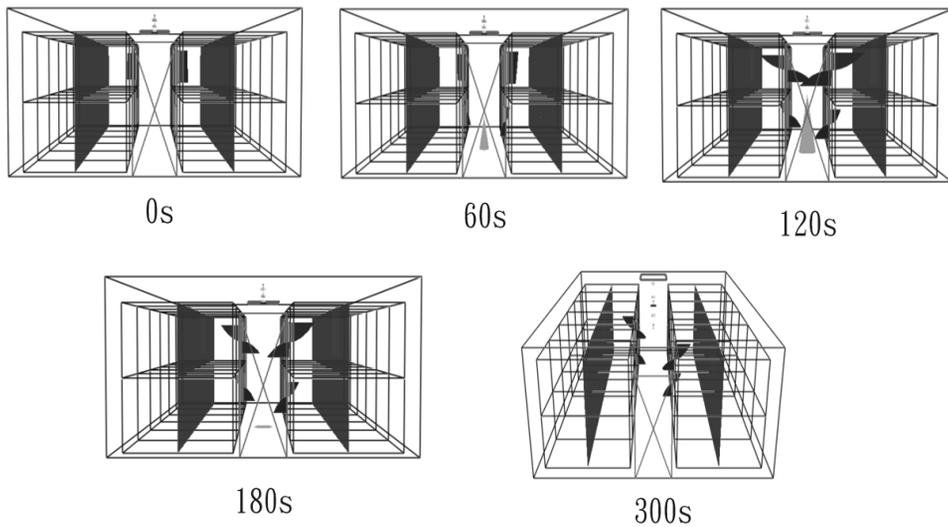


圖 24 快速反應型撒水頭其影響溫度分布

資料來源：本研究製作

表 12 撒水頭動作差異比較表

撒水頭種類	開始動作時間	總共滅火	動作比較
快速反應型	107 秒	9.57 秒	較快
一般反應型	120 秒	10.3 秒	稍慢

資料來源：本研究製作

本次研究模擬結果顯示，一般反應型及快速反應型撒水頭模擬情境，3 顆撒水頭接僅有 1 顆位於走廊中間撒水頭有動作，亦得知快速反應型撒水頭其動作時間及滅火時間稍快於一般反應型撒水頭，但本艙房因空間較為狹小，且只針對走道起火，故差距不是很明顯，再者得知當撒水頭動作後，火源被侷限，而不會延燒至其他的空間，因此對該艙房溫度下降。

四、排煙設備對該艙房的排煙效果：

本次研究模擬情境為快速反應型撒水頭與一般反應型撒水頭產生的模擬結果，如圖 23 及圖 26 所示，由本次研究模擬得知，當排煙設備啟動時，搭配快速反應型撒水頭進行滅火，艙房較無明顯的濃煙蓄積，尤其在 600 秒的時候開始出現明顯的差異。

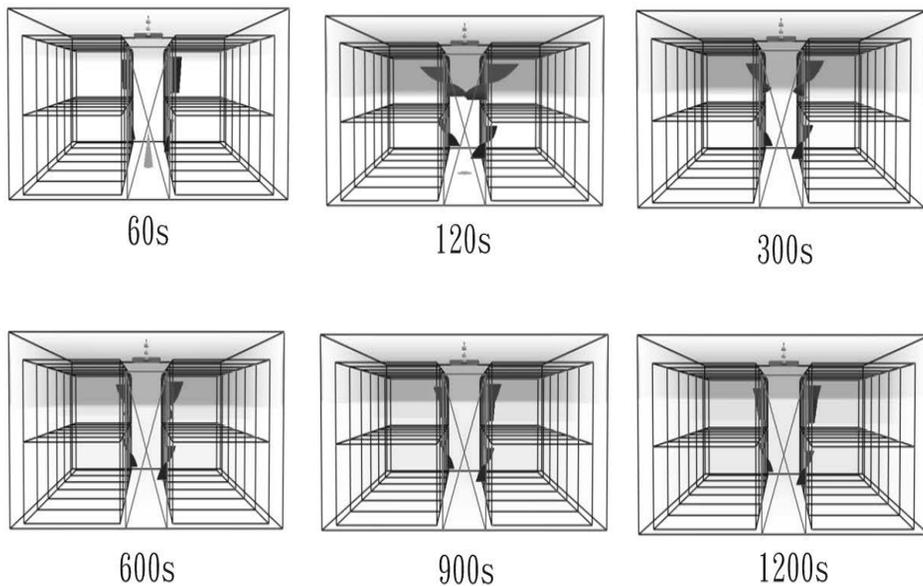


圖 25 快速反應型撒水頭與排煙設備其影響煙分布

資料來源：本研究製作

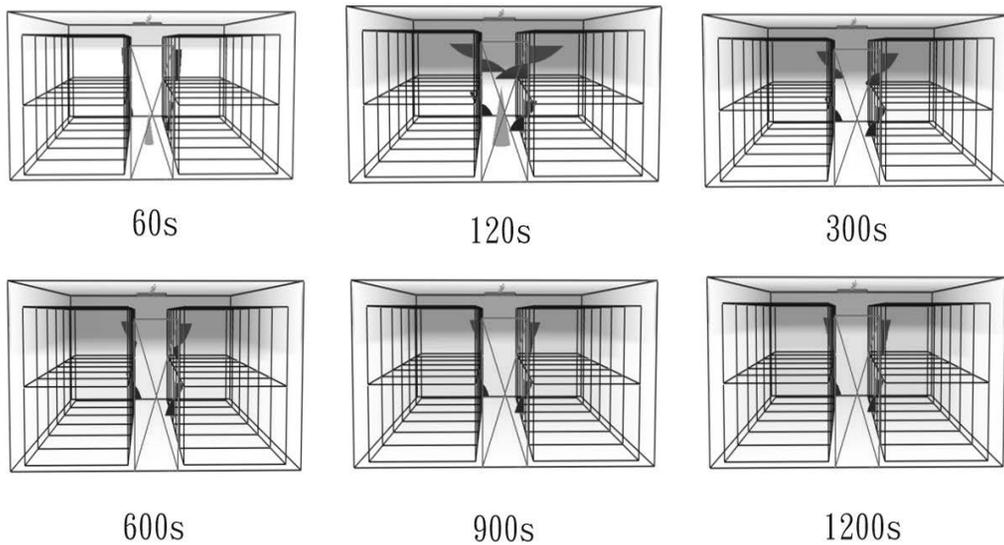


圖 26 一般反應型撒水頭與排煙設備其影響煙分布

資料來源：本研究製作

五、數據分析：

(一) 溫度曲線圖

依據圖 27 及圖 28 顯示，當撒水頭動作後會將溫度控制在 50°C 以下，若無則會到達 300°C 以上，於 1200 秒後，艙房溫度仍有將近 150°C，而溫度的變化在空間上層（高位）及下層（低位）的趨勢是相近。

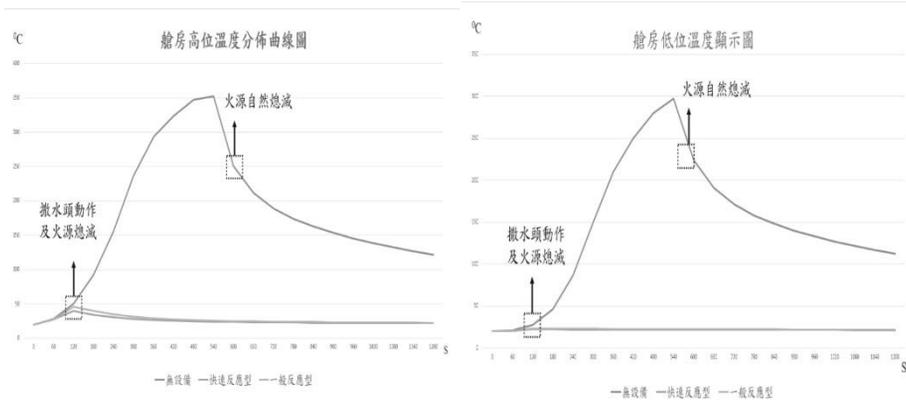


圖 27 艙房高位溫度分佈曲線圖 圖 28 艙房低位溫度分佈曲線圖

資料來源：本研究製作 資料來源：本研究製作

(二) 氧氣濃度曲線圖

依據圖 29 顯示，當自動撒水頭動作後會氧氣濃度仍維持在 20%，若無則會降至 5%。從圖中還可以得知在 540 秒的時候，氧氣濃度已降至 5%，同時濃煙也蓄積整個空間。

艙房氧氣濃度變化曲線圖

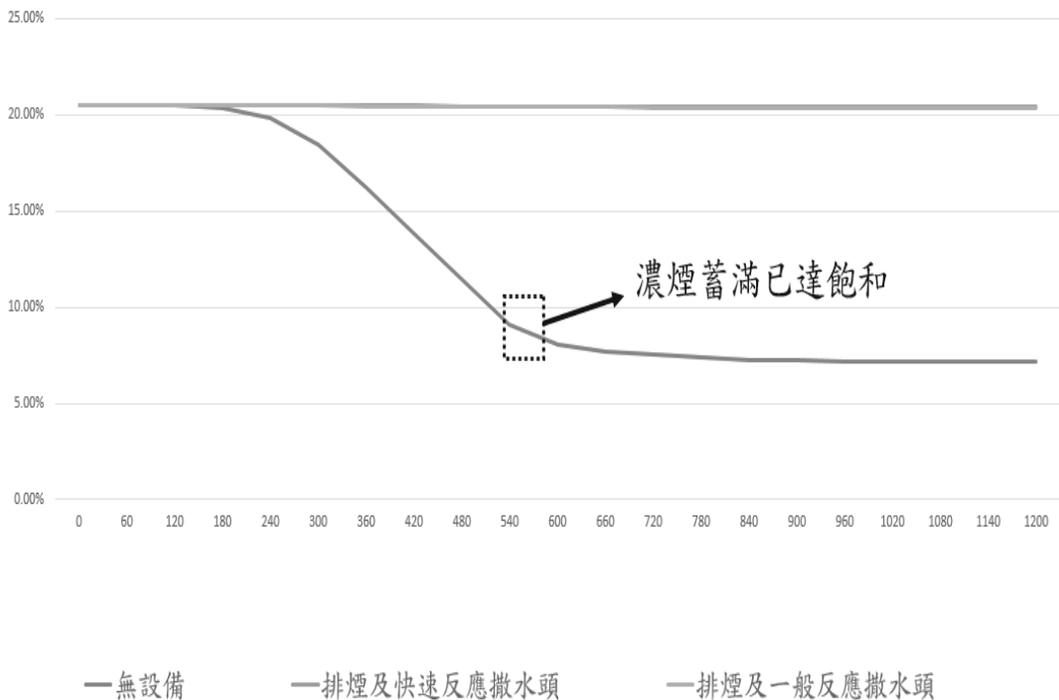


圖 29 艙房氧氣濃度曲線圖

資料來源：本研究製作

(三) 煙層高度曲線圖

依據圖 30 顯示，該空間較不會有大量的濃煙蓄積而且會維持一定速度排出，但 1,200 秒後仍有殘留的濃煙蓄積。

在無消防安全設備的動作下，煙會快速的蓄積，當 300 秒到 600 秒之間，煙已呈現曲線平衡，剛好是火源處於穩定期，到 600 秒後該曲線開始向上爬升，此時火源進入衰退期，但無排煙的關係，該空間的濃煙無法消散。

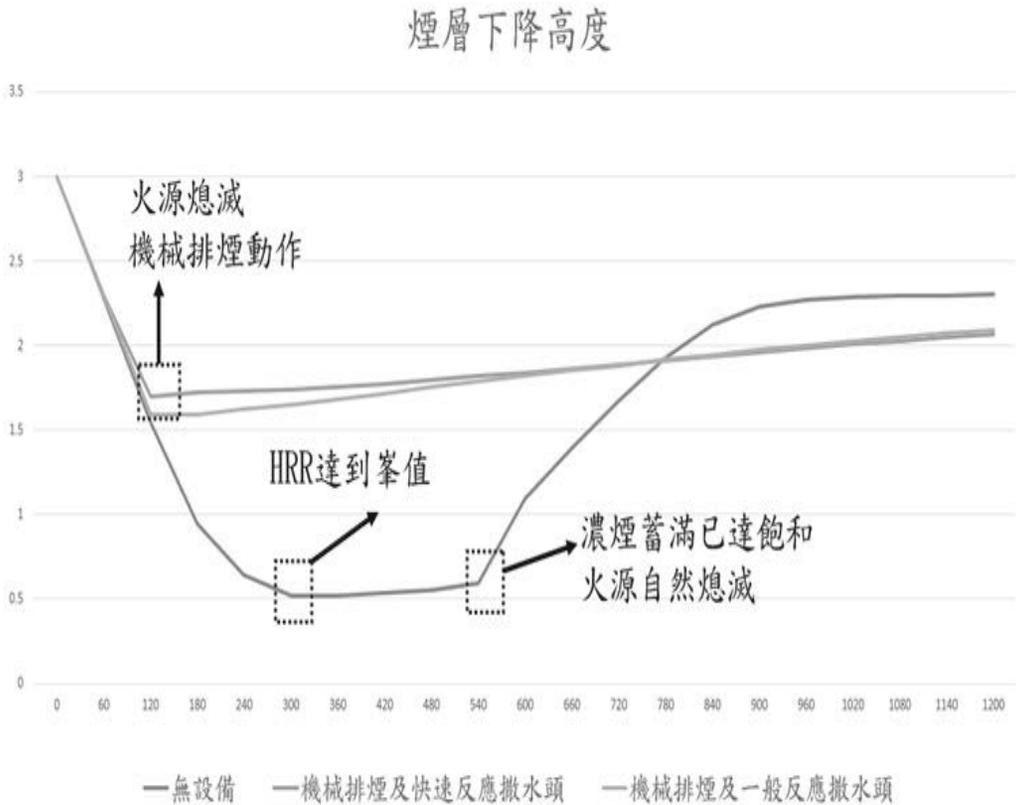


圖 30 艙房煙層高度曲線圖

資料來源：本研究製作

伍、結論與建議

一、火警自動警報設備探測器之設置

從研究結果得知，偵煙式探測器動作時間較為快速，內政部於 104 年 11 月《消防安全法令執法疑義研討會決議事項》規定，膠囊旅館應該裝設偵煙式探測器，本研究模擬結果呼應該規範，設置偵煙式探測器儘早發揮警報功效。

二、自動撒水設備撒水頭之設置

內政部 104 年 11 月《消防安全法令執法疑義研討會決議事項》，無規定應裝設一般反應型或快速反應型的撒水頭，依本研究模擬結果顯示，撒水頭動作後可有效抑制火勢發展，快速反應型在動作時間及滅火時間上，皆較一般反應型有優

勢，故建議日後探討強化膠囊旅館消防安全議題，可將快速反應型撒水頭列入強化分針。

三、膠囊門之開啟與關閉

從研究模擬結果得知，膠囊門未關閉情形下，膠囊內部會因艙房走廊之火源燃燒，而有高溫及濃煙的影響，然膠囊內部空間狹小且材質非不燃材料，收容人員於關閉膠囊門之膠囊內臨時避難，其可行性有待日後其他研究探討。

四、建議日後探討艙房空間內不同物質燃燒反應情形

本研究模擬以探討膠囊旅館艙房特殊構空間發生火災，艙房內部溫度煙層變化及消防安全設備動作情形，針對不同起火物燃燒反應特性及煙粒子比例，對於探討膠囊旅館火災現象及收容人員安全之影響，建議可作為本研究之延續，以利未來是類場所消防安全提升。

陸、參考文獻

1. 聶方珮、匡龍華、陳宏明，「膠囊旅館選擇偏好與住宿意願研究」，觀光與休閒管理期刊，2019，第7卷，第1期；102-114。
2. 蔡綽芳、楊欣潔、雷明遠，「膠囊型旅館建築物有關防火避難及消防規定檢討之研究」，臺灣建築學會「建築學報」，2020年6月，第112期；99-113。
3. 《消防安全法令執法疑義研討會決議事項》，內政部，民國104年，11月。
4. 《各類場所消防安全設備設置標準》，內政部消防署，民國107年，10月。
5. CFAST – Consolidated Fire and Smoke Transport (Version 7), Users guide, National Institute of Standards Technology, USA (2015).
6. 統計處，內政部，2017年。
7. Multer, Thomas L. (1 September 2009). "Sprinkler Protection of Storage Facilities Goes Green". BNP Media. Retrieved 6 February 2013.
8. 匡龍華、林建文，「膠囊旅館服務品質與滿意度之關係探討」，觀光與休閒管理期刊，2020，第8卷，第2期；27-37。
9. 林利國、楊文生，「太空艙式膠囊旅館之防火規劃及安全管理對策探討」，中華民國營建工程學會第十六屆營建產業永續發展研討會，2018。
10. 蔡綽芳、楊欣潔、湯潔新、陳建銘、張文耀「膠囊型旅館建築物有關防火避難及消防規定檢討之研究」，內政部建築研究所協同研究報告年度，民國107年。
11. 張邦立、湯潔新、張尚文、郭彥谷、曾淑芬，「大規模地下空間避難弱者之情境模擬及避難疏散策略」，內政部建築研究所委託研究報告，民國101年12月。
12. CFAST, Fire Growth and Smoke Transport Modeling, National Institute of Standards Technology, USA (2010), 摘自：<https://www.nist.gov/el/fire-research-division-73300/product-services/consolidated-fire-and-smoke-transport-model-cfast>.
13. 沈子勝，火災危害分析（Fire Hazard Analysis）技術研究，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告計畫編號 922001INER004，民國93年11月30日。
14. Richard D. Peacock, Glenn P. Forney, Paul A. Reneke, CFAST – Consolidated Fire And Smoke Transport (Version 7) Volume 3: Verification and Validation Guide, NIST Technical Note 1889v3, 2021.02.
15. G. Lui and W. Chow. A Short Note on Experimental Verification of Zone Models with an Electric Heater. International Journal on Engineering Performance-Based

Fire Codes, 5:30, 2003.

16. W. Chow. Studies on Closed Chamber Fires. *Journal of Fire Sciences*, 13:89, 1995.
17. W. Chow. Experimental Evaluation of the Zone Models CFAST, FAST and CCFM.VENTS. *Journal of Applied Fire Science*, 2:307, 1992-1993.
18. W. Chow. Predictability of Flashover by Zone Models. *Journal of Fire Sciences*, 16:335, September/October 1988.
19. 逃生避難原則，防災知識，內政部消防署，摘自：
<https://www.nfa.gov.tw/cht/index.php?code=list&ids=269>。
20. 主要材料的比重，比熱，導熱係數，Heat-tech 熱科技公司，摘自：
<https://heater.heat-tech.biz/tc/infrared-panel-heater/science-of-the-infrared-rays/7747.html>。

