

以 FDS 模擬局限空間火災 與實驗檢證之研究



內政部建築研究所自行研究報告
中華民國 97 年 12 月



097-301070000G2-021

以 FDS 模擬局限空間火災 與實驗檢證之研究



研究主持人：蔡銘儒

研究人員：李鎮宏

謝煒東

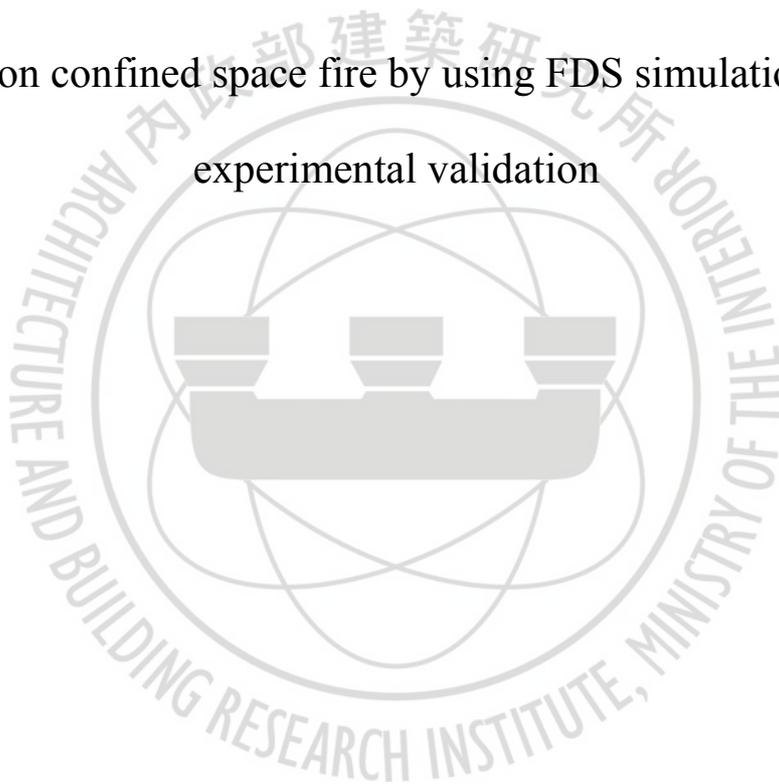
內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 97 年 12 月



ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

Study on confined space fire by using FDS simulations and
experimental validation



BY

Ming Ju Tsai

Chen Hung Lee

Wei Dong Hsieh

December , 2008



目錄

目錄	i
圖目錄	ii
表目錄	iv
摘要	v
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究內容與限制	1
第三節 研究方法與流程	2
第二章 國內使用 FDS 情形回顧	4
第一節 電腦程式 FDS 介紹	4
第二節 國內使用 FDS 模擬火災文獻回顧	8
第三節 FDS 選用緣由	23
第四節 FDS 使用注意事項	24
第三章 火源模擬驗證	26
第一節 電腦模式驗證標準	26
第二節 材料參數探討與火源模擬驗證	28
第三節 局限空間火災成長模擬驗證	48
第四章 火災對梁構件熱傳模擬驗證	53
第一節 實驗規劃	53
第二節 局限空間火災溫度傳佈模擬驗證	57
第三節 火災環境溫度熱傳遞至梁構件模擬驗證	72
第五章 結論與建議	79
第一節 結論	79
第二節 建議	79
參考書目	80
附錄一 期初審查會議記錄與回應	88
附錄二 期中審查會議記錄與回應	89
附錄三 期末審查會議記錄與回應	93
附錄四	96
附錄五	106
附錄六	113
附錄七	117
附錄八	137

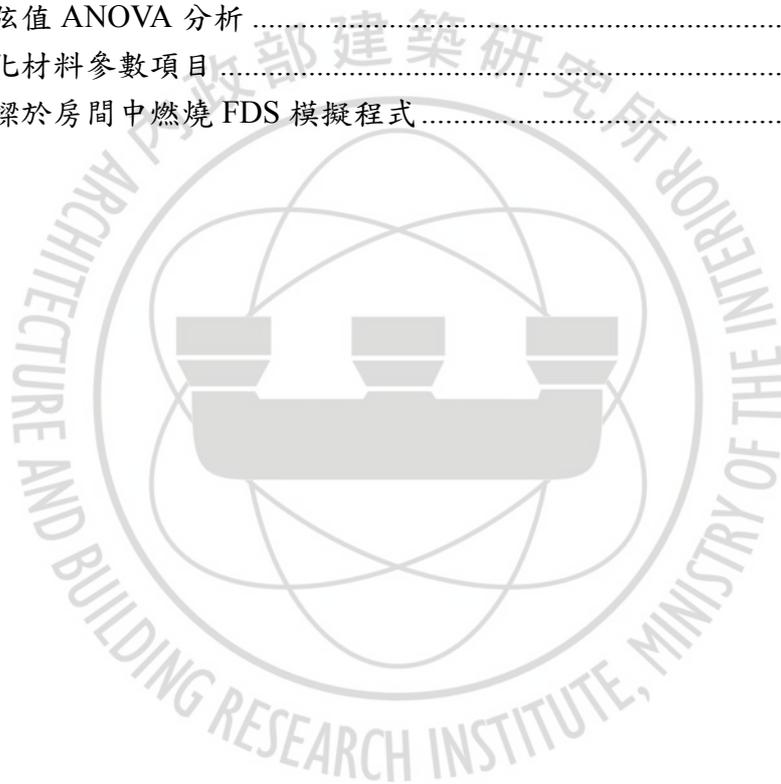
圖目錄

圖 1-1 研究流程圖.....	3
圖 2-1 SmokeView 畫面.....	5
圖 2-2 FDS 運算架構圖.....	5
圖 2-3 電腦平行運算示意圖.....	7
圖 2-4 平行運算之效率 / 電腦數示意圖.....	8
圖 3-1 酒精膏火源熱釋放率量測實驗與 FDS 模擬.....	28
圖 3-2 酒精膏火源 FDS 模擬與實驗熱釋放率歷程比對.....	29
圖 3-3 木堆於煙罩下進行熱釋放率實驗配置.....	29
圖 3-4 FDS 木堆開放空間燃燒模型.....	31
圖 3-5 FDS 模擬參數修改歷程.....	35
圖 3-6 test3~test10 木堆燃燒模擬與實驗熱釋放率歷程比較圖.....	36
圖 3-7 test10~test18 木堆燃燒模擬與實驗熱釋放率歷程比較圖.....	36
圖 3-8 test18-1~test18-7 木堆燃燒模擬與實驗熱釋放率歷程比較.....	37
圖 3-9 一層 9 支，45 支木條於煙罩下燃燒實驗與 FDS 模擬比對.....	38
圖 3-10 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 模擬結果.....	43
圖 3-11 木材比熱與溫度關係.....	43
圖 3-12 木材熱傳導係數與溫度關係.....	44
圖 3-13 參數變化模擬結果.....	44
圖 3-14 每層 3 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對.....	50
圖 3-15 每層 9 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對.....	50
圖 3-16 每層 15 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對.....	51
圖 3-17 模擬火災場景.....	51
圖 3-18 全尺度火災模擬與實驗熱釋放率歷程比對.....	52
圖 3-19 全尺度火災模擬與實驗總熱釋放歷程比對.....	52
圖 4-1 鋼梁表面測溫點佈設.....	53
圖 4-2 梁構件測溫點配置.....	54
圖 4-3 平板測溫計構成.....	54
圖 4-4 平板測溫計實體圖.....	55
圖 4-5 房間內梁、燃燒器與測溫樹配置圖.....	55
圖 4-6 測溫樹測溫點配置.....	56
圖 4-7 實驗用燃燒器.....	56
圖 4-8 梁構件配置位置示意圖.....	56
圖 4-9 梁構件置於樓板下 30 cm.....	57
圖 4-10 梁構件平板測溫點與表面溫度鐳點照片.....	57
圖 4-11 火源燃燒熱釋放率.....	58

圖 4-12 實驗照片圖	58
圖 4-13 I 型樑平板測溫點與樑上溫度量測結果.....	59
圖 4-14 箱型樑平板測溫點與樑上溫度量測結果	59
圖 4-15 測溫樹溫度量測結果與平板測溫點量測結果比對圖	60
圖 4-16 FDS 模型.....	60
圖 4-17 測溫樹 3-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖	65
圖 4-18 測溫樹 4-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖	66
圖 4-19 測溫樹 5-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖	67
圖 4-20 測溫樹 6-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖	68
圖 4-21 測溫樹 1-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖	68
圖 4-22 測溫樹 2-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖	69
圖 4-23 FDS 模擬過程截圖.....	70
圖 4-24 FDS 模擬過程截圖 (含黑煙)	70
圖 4-25 不同時間下高度 200 公分平面之溫度分佈圖	71
圖 4-26 不同時間下 FDS 模擬邊界溫度圖	72
圖 4-27 FDS-ABAQUS 分析流程.....	75
圖 4-28 梁全長溫度分佈(time=60min)	75
圖 4-29 北側(N)鋼梁表面溫度實驗與分析歷時比較圖	76
圖 4-30 中間(M)處鋼梁表面溫度實驗與分析歷時比較圖	76
圖 4-31 南側(S)鋼梁表面溫度實驗與分析歷時比較圖	77
圖 4-32 箱型梁溫度歷時分布圖	78

表目錄

表 3-1	實驗歷程與照片	28
表 3-2	FDS 木堆模擬所用重要參數列表	30
表 3-3	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表	39
表 3-4	參數引用值	39
表 3-5	控制因子及水準表	40
表 3-6	FDS 模擬模型	40
表 3-7	函數分析結果	45
表 3-8	norm 值 ANOVA 分析	46
表 3-9	餘弦值 ANOVA 分析	47
表 3-10	變化材料參數項目	48
表 4-1	鋼樑於房間中燃燒 FDS 模擬程式	61



摘要

關鍵詞：FDS、檢證、局限空間火災

一、研究緣起

室內火災燃燒過程是一種複雜的物理、化學的綜合過程，而影響燃燒因素並非一成不變是隨機發生的，也因此造成火災燃燒過程及火災溫度的隨機性(馮猛，2007)，且因大尺度火災模擬實驗，所需人力、物力、經費與時間龐大，在有限條件下以及火災變因複雜等因素，為利於研究分析，實驗往往所能採用之模型及態樣有限，實驗所得結果必然無法確切斷定火災成長因素影響性，有鑑於此，國際上陸續發展出數種火災模擬程式，透過程式之模擬再選擇必要之實驗驗證，將可提高研究或設計效能，本研究之火災模擬分析將採用 NIST (National Institute of Standards and Technology) 研發而成，頗為流傳之火災模擬軟體 FDS (Fire Dynamics Simulator) 為模擬工具，以 FDS 所預測之流場速度、溫度對比實驗之相關量測，其準確性約 80%(黃育祥，2005)，本研究採用 FDS 為工具主要是免費軟體在 NIST 之網頁上即可下載，而且使用者廣泛，並且有操作問題之討論區可供使用者彼此交換意見，整體而言，本研究將以此程式模擬，再與實驗結果進行比對檢證，以作為後續之研究工具。

二、研究方法及過程

今年研究將著眼於局限空間火災成長與延燒，以歷年於內政部建築研究所防火實驗中心建置的 10MW 大尺度燃燒分析裝置、ISO 9705 房間量熱儀及可調整天花板高度之單一房間火災模式驗證實驗屋之局限空間，所進行之研究實驗資料為 FDS 模擬場景與參數設定進行模擬，再將模擬結果與實驗結果進行比對，期使局限空間火災成長與延燒模擬得以得到本土化之檢證，並建立模擬驗證技術，以及參考國際防火研究領導人論壇(FORUM)之「熱傳遞量測及計算」國際合作實驗計畫，進行實驗比對及建立房間火災熱傳遞至鋼構件之計算，作為建築構造耐火評估依據，使後續之研究或設計可先以模擬搭配以最適化因子分析模式，研析出火災成長、延燒及構件火害行為之要因，再據以研擬最適化對策與驗證，以縮短研究期程、節省實驗資源，並可供作性能設計，進行最適化防火性能設計以提昇建築防火安全。

本研究所使用模擬實驗火源資料以柳安木堆為主，在進行模擬研究過程中，以 ISO 9705 之集煙罩下木堆燃燒實驗，進行模擬驗證先探討出柳安木之燃燒性質資料作為模擬輸入之參數，再以 10MW 下較大木堆量燃燒實驗及模擬，以進一步驗證材料燃燒性質及作必要之修正，完成木堆火源之模擬與驗證後，再以面積 5m×6m 具兩對向之 0.8m(寬)×2m(高)開口之局限空間內，以可控制之變因與非實務裝修之實驗所得資料，以經驗證過之火源參數資料，進行局限空間火災模擬，以及由模擬方式與實驗結果比對檢證其影響火災成長之因子，同時發展以火災模擬資料轉換熱傳遞模式，並作為構件耐火性能分析，在本研究模擬所得僅限

於研究所用條件下所得結果，要進一步模擬實際裝修空間火災情境，必須建立各種材料、傢俱等本土燃燒資料參數作為輸入參數，並且須要進行必要之檢證。

三、重要發現

1. 本研究以材料之熱傳導係數(k_v)、比熱(c_v)、密度(ρ_v)、Arrhenius pre-exponential factor(Z)、反應能(E_A)、熱解熱(ΔH_p)以及碳化層熱傳導係數(k_c)、比熱(c_c)、密度(ρ_c)等 9 項為實驗設計參數，進行 FDS 模擬，經函數分析與變異分析，獲得主要影響模擬結果之參數為 Arrhenius pre-exponential factor(Z)。
2. 建築火災過程計算機模擬結果的合理性和精確度經常是建築防火設計和驗證過程中質疑的焦點；本研究已針對火災模式驗證與文件化等標準研訂如附錄四至附錄八，以可供設計者設計評估與主管官署評定參考。
3. 電腦模擬之材料特性實驗項目與實驗方法，則研訂標準指引於附錄七取得用於決定性火災模式數據之標準指引。
4. 由本研究模擬驗證結果，以 FDS5 所新增功能進行固相燃燒模擬方面，其模擬在每層 9 支以下木角材之木堆於局限空間燃燒模擬，可符合常態燃燒範圍。
5. 由局限空間火災溫度傳佈模擬與實驗驗證方面，在本研究模擬與實驗比對結果，靠近火源附近的天花板氣場溫度模擬結果比實驗值低約達 100°C 預測準確度較差，但鋼樑高度（離地 180~230 公分）的模擬結果接近於實驗值；相反的，相較遠離火源時，天花板與上層溫度模擬結果較接近於實驗值，而下層溫度則受到鋼樑對氣場的擾動，因此準確度較低，但模擬結果比實驗值略高。
6. 本研究已建立自 FDS 輸出溫度資料轉換，進行有限元素火害結構分析，將可建構完整之火災成長至結構火害之模擬。
7. 在本研究之 FDS 模擬熱釋放率與溫度成長方面尚有諸多參數須探討與量測法建立，以增加模擬結果之可靠性。
8. 本研究在 FDS 熱釋放率模擬方面主要以 10 cm 大小網格進行模擬，經與實驗驗證可得到常態性燃燒範圍內，可縮短模擬時間，有助於初步篩選出有利防火設計條件。

四、主要建議事項

建議一

立即可行建議—訂定火災模式驗證與文件化等標準。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部標準檢驗局

本研究參考 ASTM 相關標準研訂「決定性火災模式預測能力評估標準指引」、「火災模式電腦軟體文件製作指引」、「判斷決定性火災模式之使用與限制之

標準指引」、「取得用於決定性火災模式數據之標準指引」及「制訂火災危害評估標準之標準指引」5 項以火災模擬程式進行模擬所應具備之要項標準，如以火災模擬程式進行模擬作為性能設計用途時，依據標準對模擬程式與模擬過程作一驗證，可加強其模擬結果可靠性。

建議二

中長期建議— 研訂火災數值模式需作為輸入值的材料性質實驗標準

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部標準檢驗局

在本研究條件下以固相燃燒模擬及驗證結果顯示，如能掌握材料參數，其模擬是可符合常態性之燃燒結果，據此如能研訂材料各項參數特性實驗或推估標準，並建立材料參數資料庫，將有助進一步火災安全研究，亦有助於設計者進行防火性能設計，以及建築防火安全主管機關審核。





Abstract

Keywords: FDS, Validation, Confined space fire

1. Origin of this study

Indoor fire is a complex physical and chemical process. Random factors introduced during fire resulted in the unpredictability of it. Since large scale experiment cost a lot of resources, it is important to develop a numerical simulation skill to numerical predicted the fire growth. NIST FDS has been used widely and had 80% accuracy. FDS is freely available through the internet and had an active user's group for discussion. This research used FDS as a simulation tool. The results of simulation were compared with the experimental data.

2. Research method and process

This year, we focused on the fire growth and spreading in confined space. By using the recent data collected from 10MW, ISO9750 and ceiling height adjustable single room fire experiments. We had established an FDS model based on these data. By comparison of simulation result and experimental data, one can establish the localized verification of fire growth and spreading in confined space. In addition, we can also establish the techniques in simulation validation. We also performed a international co-operation project on the measurement and calculation of heat transfer of steel beam, in order to evaluate the fire endurance of structure.

We used a spruce wood crib as the simulated fire source. First, we used the data of wood crib burning under the ISO9705 hood to obtain the burning characteristics. Then, comparison of FDS simulation and the experimental data was performed to make some modifications to the material properties. When we were able to simulate the wood crib burning well, we select a confined space of dimension 5m×6m with opposite openings of 0.8m×2m as a subject for simulation. Simulated results are used for further simulation of structural components in fire. Current results applied only to the configuration in this research. It is important to establish a local material burning and properties database for further validation and application.

3. Important findings

- 3.1 Material properties such as thermal conductivity(k_v)、specific heat(c_v)、density(ρ_v)、Arrhenius pre-exponential factor(Z)、reaction energy(E_A)、heat of pyrolysis(ΔH_p) and the thermal conductivity of char layer(k_c)、specific heat of char(c_c)、char density(ρ_c) are important in FDS simulation. Material properties based on experimental data should be able to improve the reliability of simulation results.
- 3.2 Accuracy of compartment fire simulation was usually the issue of

performance-based design. Therefore, validations of fire model and standardization of documents will provide both designer and government officer references.

- 3.3 Using FDS5 to perform solid phase combustion simulation, the prediction accuracy was in a reasonable range for a confined space wood crib burning. However, the material properties can be obtained by experimental method, it is important to build a standard for obtaining material properties through experimental data. This will help the improvement and development of fire simulation.
- 3.4 From the comparison simulation and experiment temperature, it was found that the temperature of FDS simulation near the burner is 100°C below the experimental data. At the height of steel beam, the simulation result correlated well with experimental data. On the contrary, the simulation result correlated better near the ceiling when the measurement was taken far from the burner.
- 3.5 A technique of transferring the FDS temperature measurement into structure analysis software for further analysis has been established. We are now able to analyze the whole fire history from fire growth to structure damage under fire.
- 3.6 There are some parameters in FDS simulation and methods of measurements need to be further investigated in order to improve the reliability of simulation results.
- 3.7 We used 10 cm mesh size in the FDS heat release simulation in this study. The results show a good correlation with the experimental data. Therefore, we are able to screen out some conditions good for fire design.

4. Main suggestions

For immediate strategies:

Five ASTM standard related to the essential parameters for performing numerical simulation has been reviewed. By following these standards for determining the parameters, results of the fire performance-based simulation would be more reliable.

For long-term strategies:

Our research indicated that if the material properties can be properly determined, the simulation results can well simulate the real combustion result. Therefore, it is advised to establish standards for obtaining material properties for simulation and to collect material database. This would help the performance design and verification.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

蔡銘儒、謝煒東(2006)以 ISO 9705 房間火災模擬實驗進行了兩因子(木堆分佈狀況、木堆堆疊密度)三水準，共計九種實驗條件，每種條件下進行 10 次重複試驗，合計 90 次的木堆燃燒試驗，結果顯示單一木堆燃燒速度與熱釋放率最高，在相同火載量下，木堆分散時，燃燒速度會減緩，且熱釋放率會降低。在相同火載量下，木堆數目變多時，燃燒速度也會減緩，經分析燃燒速度基本上與可燃物密度呈現線性的關係，即火災成長速率與可燃物密度成正比。此外，實驗結果也歸納出在假設火災符合常態分配模式，並假設計算所得之火災持續時間之信賴區間為 $+2\sigma$ (標準差)，經實驗統計結果仍有將近 0.4σ 的機率大於計算時間值。

蔡銘儒、謝煒東(2007)再利用 10MW 燃燒產物分析器來進行較大尺度的燃燒模擬。研究重點著重於火災成長之影響因數探討，如通風、火源分佈、火源密度、天花板高度及壁面裝修材料等 5 因子，透過田口實驗設計方法，加以探討其對火災成長之影響，實驗中所選定之影響火災成長因子及空間條件分析結果顯示，木堆堆疊密度為主要影響因子，其次為木堆數量、天花板高度以及開口數量，影響性最小的則是同為不燃性之壁裝條件，由此可見木堆堆疊密度對火災成長之影響性，然而在防火性能設計方面，通常將可燃物換算等燃燒熱之木材重量表之為火載量；而在性能設計驗證模擬如能正確模擬材料燃燒特性，對於火災成長與延燒將更能進一步設計出符合性能設計目的。

然而室內火災燃燒過程是一種複雜的物理、化學的綜合過程，而影響燃燒因素並非一成不變是隨機發生的，也因此造成火災燃燒過程及火災溫度的隨機性(馮猛，2007)，且因大尺度火災模擬實驗，所需人力、物力、經費與時間龐大，在有限條件下以及火災變因複雜等因素，為利於研究分析，實驗往往所能採用之模型及態樣有限，實驗所得結果必然無法確切斷定火災成長因素影響性，有鑑於此，國際上陸續發展出數種火災模擬程式，透過程式之模擬再選擇必要之實驗驗證，將可提高研究或設計效能，本研究之火災模擬分析將採用 NIST (National Institute of Standards and Technology) 研發而成，頗為流傳之火災模擬軟體 FDS (Fire Dynamics Simulator) 為模擬工具，以 FDS 所預測之流場速度、溫度對比實驗之相關量測，其準確性約 80%(黃育祥，2005)，本研究採用 FDS 為工具主要是免費軟體在 NIST 之網頁上即可下載，而且使用者廣泛，並且有操作問題之討論區可供使用者彼此交換意見，整體而言，本研究將以此程式模擬，再與實驗結果進行比對檢證，以作為後續之研究工具。

第二節 研究內容與限制

今年研究將著眼於局限空間火災成長與延燒，以歷年於內政部建築研究所防火實驗中心建置的 10MW 大尺度燃燒分析裝置、ISO 9705 房間量熱儀及可調整天花板高度之單一房間火災模式驗證實驗屋之局限空間，所進行之研究實驗資料為 FDS 模擬場景與參數設定進行模擬，再將模擬結果與實驗結果進行比對，期使局限空間火災成長與延燒模擬得以得到本土化之檢證，並建立模擬驗證技

術，以及參考國際防火研究領導人論壇(FORUM)之「熱傳遞量測及計算」國際合作實驗計畫，進行實驗比對及建立房間火災熱傳遞至鋼構件之計算，作為建築構造耐火評估依據，使後續之研究或設計可先以模擬搭配以最適化因子分析模式，研析出火災成長、延燒及構件火害行為之要因，再據以研擬最適化對策與驗證，以縮短研究期程、節省實驗資源，並可供作性能設計，進行最適化防火性能設計以提昇建築防火安全。

本研究所使用模擬實驗火源資料以柳安木堆為主，在進行模擬研究過程中，以 ISO 9705 之集煙罩下木堆燃燒實驗，進行模擬驗證先探討出柳安木之燃燒性質資料作為模擬輸入之參數，再以 10MW 下較大木堆量燃燒實驗及模擬，以進一步驗證材料燃燒性質及作必要之修正，完成木堆火源之模擬與驗證後，再以面積 5m×6m 具兩對向之 0.8m(寬)×2m(高)開口之局限空間內，以可控制之變因與非實務裝修之實驗所得資料，以經驗證過之火源參數資料，進行局限空間火災模擬，以及由模擬方式與實驗結果比對檢證其影響火災成長之因子，同時發展以火災模擬資料轉換熱傳遞模式，並作為構件耐火性能分析，在本研究模擬所得僅限於研究所用條件下所得結果，要進一步模擬實際裝修空間火災情境，必須建立各種材料、傢俱等本土燃燒資料參數作為輸入參數，並且須要進行必要之檢證。

第三節 研究方法與流程

一、研究方法

- (一)文獻探討：蒐集國內使用 FDS 模擬研究之經驗，探討其使用之問題與應注意事項，作為本研究模擬之參考。
- (二)實驗資料整理：整理以往之實驗資料，針對模擬所須之輸入參數，建立或本土參數資料，補充本土材料燃燒性質實驗資料。
- (三)模擬與實驗資料比對：進行模型建立與模擬，將模擬結果與實驗資料進行比對，研析其可能之問題點，並探討解決對策。
- (四)以田口實驗設計法及模擬方式進行最適化因子分析。
- (五)探討發展由 FDS 火災模擬結果以熱傳遞模式及以有限元素法進行構件耐火分析法。

二、研究流程

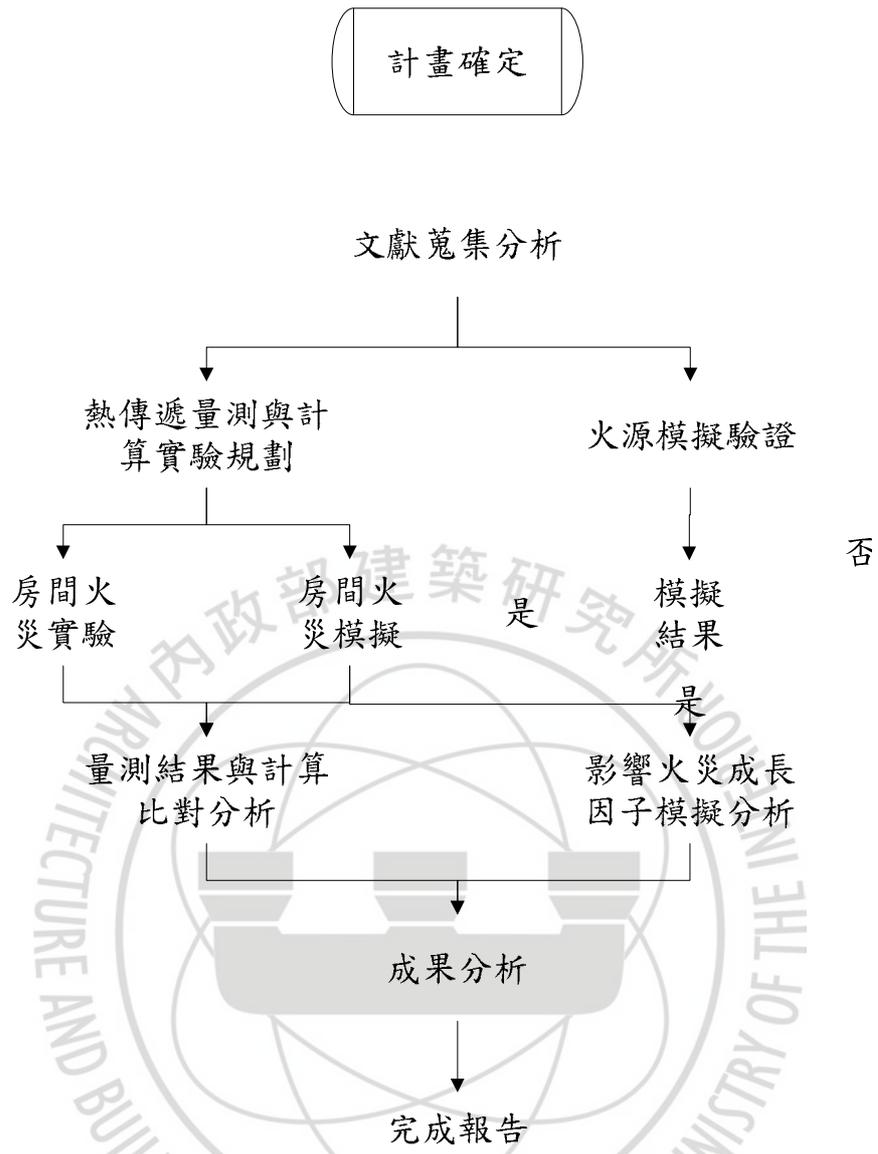


圖 1-1 研究流程圖

第二章 國內使用 FDS 情形回顧

第一節 電腦程式 FDS 介紹

一、FDS 模擬軟體簡介

FDS 模擬軟體是由美國 NIST(National Institute of Standards and Technology)於西元2000 年2 月公開發表第一版，2001年發表第二版，2002 年 11 月發表第三版，2004年7月發表第四版，2007年10月已發展到第5.0版。FDS 是一套計算流體力學(CFD Computational Fluid Dynamics)軟體，亦即所謂的場模式(Field Model)，採用大渦流模擬LES (Large Eddy Simulation) 以及直接數值模擬DNS (Direct Numerical Simulation) 解控制方程式，軟體的核心是 Navier-Stokes 方程組推導簡化而來，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，適用的範圍為低馬赫數(low mach number)的流場分析，亦即火場中由熱驅動的低速流場，著重在煙流及熱傳遞的現象，在燃燒理論方面採用混合分率模式(mixture fraction model)，解出計算區域中之各物理量變化情形，可預測室內外之多種火災問題、建築物之排煙系統、撒水頭動作、火災探測以及其他非壓縮流體之熱對流現象，目前已成為分析火災現象之最主要軟體，也有學者利用FDS 進行火場重建，由FDS 的模擬重建火場推估火災成長的方式。

二、FDS 的架構與功能

FDS 為一動態火場氣流體流動計算軟體 (CFD; Computational Fluid Dynamic)，使用DNS 及LES 方程式，將模擬範圍切割成若干正立方體之數值網格 (Computational Grid)，所有之計算必須在此諸格點完成，因此格點劃分的愈細計算上也愈煩複所須之時間愈久，但結果會較為合理精確，計算完成後透過 Smokeview 瀏覽軟體，將空間狀況與模擬結果以實體比例輸出至螢幕上，以方便使用者可以清楚地從螢幕上了解整個火災發展之過程，如圖 2- 1 所示：

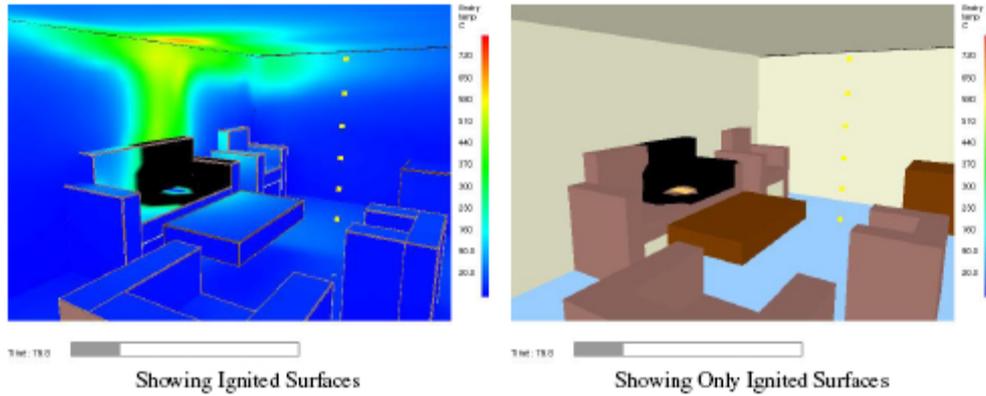


圖 2- 1 SmokeView 畫面[NIST(2007)¹]

此軟體可應用於建築物室內火災、室外火災、流體流動及熱力學上熱傳之計算。軟體架構如圖 2- 2 所示：

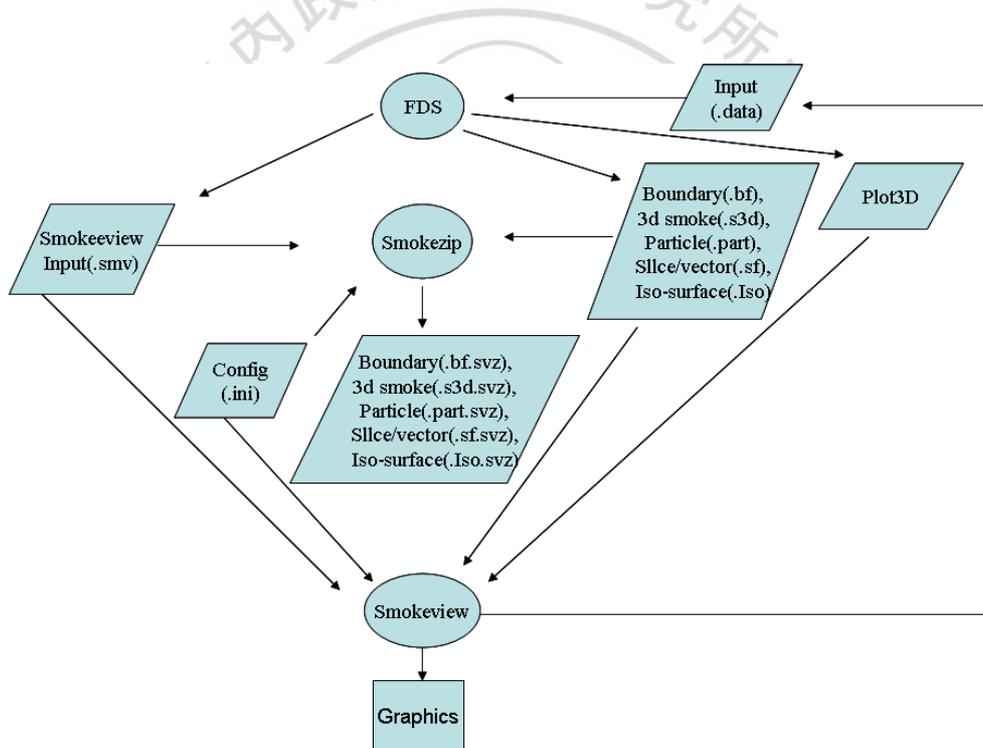


圖 2- 2 FDS 運算架構圖[NIST(2007)]

首先針對欲模擬之對象物及所須輸出(Output)之結果建立一輸入檔(Input) *.data，經FDS程式之計算後，製造輸出計算結果檔*.smv、*.sf、*.bf、*.part、*.iso、*.q、*.ini，再經由瀏覽程式smokeveiw觀看整個模擬計算過程，其功能包括：模擬火場中煙層(氣流)流動方向、煙層溫度、煙層下降速度、火場能見度、燃燒釋熱率(HRR)、可燃物燃燒速度、自動灑水頭灑水動作及灑水分佈、感熱式探測器動作、火場溫度分佈、壓力、O₂、CO₂及CO濃度、排煙設備動作等。

¹ NIST,User's Guide for Smokeview Version 5- A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data,pp4 and pp39,2007

三、FDS 模擬內容設定與一般程序

一般進行FDS 軟體運算上之主要操作內容及設定程序如下：

- (一)蒐集相關資料：建築物平面圖、內部空間區劃與開口通道、消防設備使用狀況、可燃物之擺設及其可燃物燃燒特性參數等。
- (二)決定模擬方式：整棟模擬、樓層模擬、區劃空間模擬、單室模擬、開放空間燃燒模擬或其他應用模擬。
- (三)設定模擬範圍大小(Computational Domain)
- (四)決定格點大小(Grid、Multi-block geometry)
- (五)模擬時間(Time Limits)
- (六)設定火災境況及決定起火源大小位置(Design Fire & FireScenario)
- (七)設定燃燒反應參數與材料邊界條件(Combustion Parameters & Boundary Condition)
- (八)實物輸入(Creating Obstructions)
- (九)VENT & SURFACE
- (十)輸入撒水設備或探測器(Sprinkler & Detector)
- (十一)決定輸出內容(Output Files：THCP、SCLF、BNDF、ISOF、PL3D)
- (十二)執行電腦運算(fds<*.data)
- (十三)結果分析與判斷(SMOKEVIEW)

四、FDS 平行運算簡介[黃育祥(2004)]

格點(Grid)大小對於FDS 運算使用LES model 預測建築物內火災產生的煙流動與熱傳的計算上重大之影響及差異，網格劃分愈細者其結果較粗網格者理想，但所花費之計算時間也就愈大，以目前桌上型個人電腦而言，100 萬個格點數尚屬可負荷之範圍，超過此範圍在計算上曠日費時，無法因應目前工程上之須求。

模擬對象的格點數必須小於一定的尺度方能精確地計算出流場的黏滯應力。火羽柱(fire plume)最小長度尺度(length scale)為火災特徵直徑(characteristic fire diameter) D^* [McCaffery, 1989]，亦即：

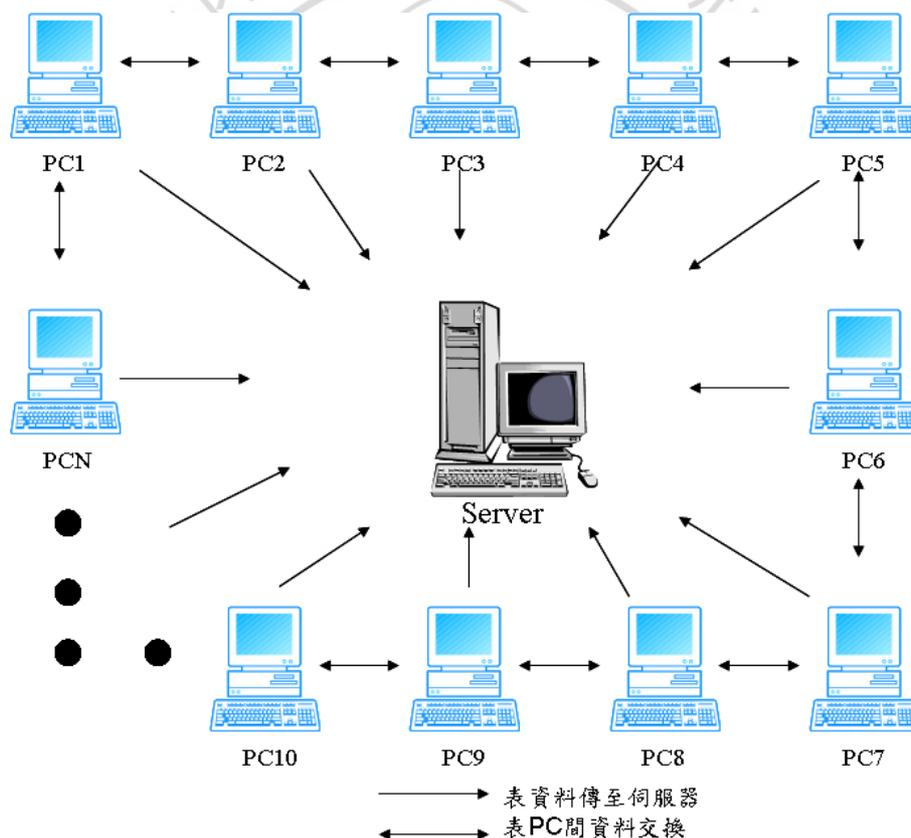
$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} C_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

電腦數值分析網格愈細其有限差分近似解愈準確，細網格計算可得較精確之溫度與速度，但所須花費之電腦計算時間及結果所佔之電腦記憶體也就愈大，使用者必須在兩者之間取得適當的平衡。

隨著FDS 在國內愈來愈多人於模擬流體運動的領域內廣泛運用，計算的網格格點愈切愈細，模擬的對象格局愈來愈大，格點也朝向百萬格點數邁進，即進

入電腦大量運算的境界；雖然，隨著電腦科技的不斷進步，逐漸解決了FDS 對電腦運算能力的要求，但是單機電腦性能再強，仍是以單機作業運算，即使使用較高等級之Pentium 4、3.0GHz，並加大其記憶體容量(RAM=1.0GB)之個人電腦而言，僅能處理100 萬以內格點數之計算，約為10m×10m×10m 之對象，以10cm×10cm×10cm 格點來劃分之量，如格點再切細或對象尺寸加大，則電腦運算效率立即明顯下降，對於大空間場所之模擬，無法在運算效率與精確度兩者之間取得平衡，甚至電腦會對格點數過大之模擬退出運算，根本無法執行模擬。

有鑑於此，FDS4.0 版以後之版本即針對此項弱點，加入了平行運算之功能，以資源分享之觀點將多台電腦之運算能力結合在一起，同一案件，先切割成數個區塊，各個區塊均指定單獨的電腦來處理該區塊資料之運算，可大大降低單一電腦處理之資料量，相鄰區塊之電腦間亦需資料交換，然後將處理完之資料傳遞至主機電腦彙整，即可得到如同單機電腦運算之結果，此時運算時間較單機電腦運算縮短甚多，視連結電腦之數量而定；如圖 2-3 平行運算示意圖所示。



理論上，電腦數量愈多，則運算時間愈短，但在運算效率及電腦數量之成本考量上，需取得有效之平衡值，並非一味增加電腦數就可以有效縮短運算時間，當電腦數超過合理值（如電腦間資料交換量達到網路傳輸量），或分配給各電腦之資料量與增加之電腦數無明顯縮小時，即達到平行運算效率之臨界值，即效率

(時間)／成本(電腦數)達成平衡之最佳值，如圖 2-4 平行運算之效率(時間)／成本(電腦數)示意圖。

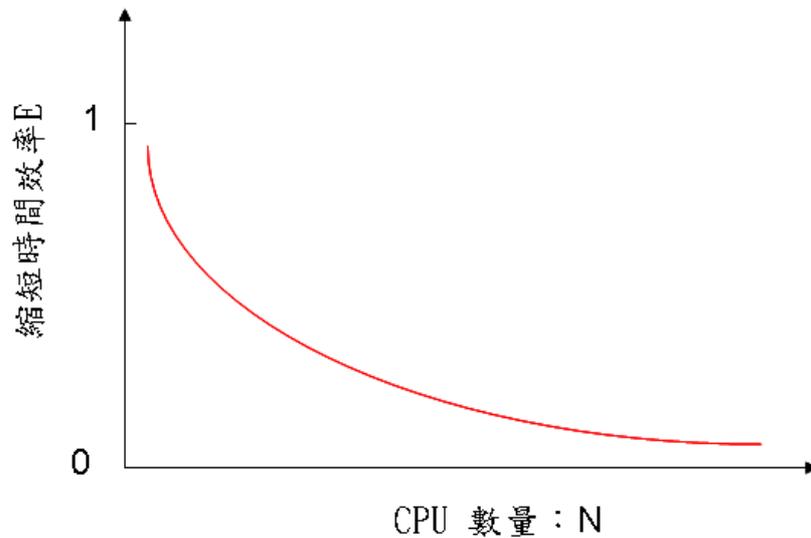


圖 2-4 平行運算之效率 / 電腦數示意圖

第二節 國內使用 FDS 模擬火災文獻回顧

本研究由國家圖書館全國博碩士論文資訊網及各大學電子學位論文資訊，蒐集國內建築火災研究方面使用 FDS 作為模擬工具之學位論文，由論文摘要中整理其 FDS 之模擬對象，並將模擬項目以火災成長延燒、煙控避難、消防滅火、構造防火、重建與其他加以分類整理如下：

一、成長延燒

作者	出版年	摘要
蔡清雄	2004	本研究針對核能電廠內安全相關開關箱室進行火災模擬案例研究。以火災發生頻率高且火災後果嚴重之開關箱室作為火災後果模擬對象，並使用 FDS 來模擬火場及相鄰開關箱室溫度之變化。
邱晨瑋	2005	本論文共分兩部份。第一部份為火災房間實驗及數值模擬，係針對火災房間探討回燃現象，以及天花板及牆壁裝修對閃燃現象之影響為主要研究目標。總共進行了五次貨櫃屋全尺寸燃燒實驗。在數值模擬方面，由於場模式與區域模式之燃燒模式均運用完全燃燒的化學計量方程式，所以火災溫度有高估的現象，且由於貨櫃本身係鑄鋼所構成，因金屬不易蓄熱導致其輻射回櫃效應不如水泥，所以閃燃與回燃發生時間應較使用水泥者為長，但整體而言，也與二種模式的模擬結果與實驗數據均有不錯的近似。

		<p>本論文第二部分是以前SFPE性能式設計程序來評估設計十二吋晶圓廠無塵室煙控系統，本研究使用FDS模擬無塵室中火災煙流動情形。</p>
邱健倫	2007	<p>本研究主要分為兩個部分，第一個部分主要是以FDS來模擬暫態的密空間的火場，再以文獻的實驗驗證用大尺度渦流模擬(LES)法在模擬房間紊流流場及溫度分佈之能力，並依Smagorinsky模式裡不同經驗參數的模擬結果根據實驗數據來加以分析比較。</p>
黃雄義	2005	<p>本研究以FDS為模擬工具，評估FDS 替代房間試驗之可行性。FDS 模擬前需輸入格點配置及材料參數，因此本研究以「使用者」角度探討格點與材料參數之最佳選擇方式，研究中發現軟體準確度與使用者所輸入之格點配置條件及材料參數影響重大。故本研究可分為三部份，首先進行最佳格點尺寸及配置條件分析，之後決定適合之材料熱屬性參數，最終進行石膏板及耐燃合板ISO 9705房間試驗並與模擬結果進行比對。</p> <p>本格點配置研究結果顯示 $\Delta t = 0.05$時可獲得單一火源熱釋放率、溫度、氣流速度、火焰高度準確模擬結果為最佳使用格點尺寸。非均勻格點配置上以寬高比在1:2時可獲得最佳結果。Multi-block區塊間格點重疊方式不同雖會影響模擬結果但差異不大，另在非火源區塊較大格點與火源區塊格點有效使用比例為1:3以下較為適當。</p> <p>房間試驗模擬結果顯示火場條件未涉及可燃物延燒時較能準確預測地板熱通量及天花板附近氣體溫度，但延燒發生時，則無法準確評估房間溫度及閃燃現象，此外對於房間氧氣、二氧化碳及一氧化碳濃度變化均無法準確預測，由結果顯示FDS即使採用最佳格點配置條件及材料熱屬性參數仍無法準確預測房間試驗結果，代表FDS 燃燒模式仍有待改善，無法完全取代ISO 9705房間試驗。</p>
萬復森	2005	<p>本研究使用未具試體延伸板及具試體延伸板兩項裝置進行牆面延燒，之PMMA進行實驗。模擬部份，FDS結果顯示，寬度影響加熱強度及延燒速率，但其數值及趨勢均與實驗不符，無法模擬牆面延燒及寬度效應。</p>
莊英吉	2007	<p>本研究透過文獻分析、BRI 2002電腦模擬、FDS電腦模擬及全尺寸火災試驗，探討火載量、開口面積、居室大小、火災室溫度分布、可燃物排列、可燃物材質、火災持續時間及周壁隔熱性質...等相關因子對於建築物居室燃燒的影響，經研究評估後，最後將試驗設備建立為一棟兩樓高的鋼構建築物可進行預期的全尺寸火災模擬試驗。</p>

蘇莫捷	2007	本研究假設公寓集合住宅某一住戶發生火警，運用火災模擬軟體FDS加以分析，將其模擬的結果與消防介入搶救時間加以比對，藉此了解閃燃之臨界時間，並提出閃燃與爆燃防範、因應之建議，以供消防實務界及後續研究者參考。
張文龍	2004	本文以數值模擬方法，針對油槽區各式儲油槽做一分析，以場模式FDS軟體模擬油槽區火災，以不同的油槽直徑、安全間距、燃燒油料在不同風速下進行電腦模擬分析，以此模擬火場發生情形來探討發生火災時的火災油槽對鄰近油槽的影響及油槽安全間距恰當與否。
余家均	2007	本研究以CRT電視機為對象，進行火災燃燒試驗、煙毒性指數試驗，並輔以FDS (Fire Dynamics Simulator) 火災模擬軟體，透過CRT電視機火災燃燒試驗之結果，進行住宅居室空間之模擬，以探討CRT電視機火災之危害性。 在FDS模擬方面，本文將CRT電視機火災試驗參數導入FDS中進行住宅案例之火災模擬，可得火場中溫度、煙毒氣濃度、能見度及煙層下降影響等重要參數，可藉此評估住宅居室空間內發生CRT電視機火災時之危害性。

二、煙控避難

作者	出版年	摘要
邱奕雄	2005	本研究針對無塵室之特殊性，討論其為何會有適法性的原因及依法設置時的缺點，並提供國外的相關要求以為未來政府相關單位參考外，還利用性能式設計來替兩案例作排煙系統設計，以替代部分不適用的法規。在案例1中，無塵室因使用運送軌道來搬運12吋晶圓，因此需採用下排煙系統。案例2則為目前閒置中的TFT-LCD面板廠無塵室，故其須作最經濟的排煙系統規劃。本研究以性能式設計及配合先進軟體模式如FDS平行處理技術與SIMULEX，完成兩個防火安全設計案例。
王俊傑	2003	本研究是以性能式設計程序來評估設計十二吋晶圓廠無塵室煙控及上下排煙系統，並且利用FDS模擬無塵室中火災煙流動情形。在避難模式方面，利用動態避難模擬軟體SIMULEX模擬出晶圓廠人員避難情形，並且利用避難簡算公式(紐西蘭模式、日本DRES模式、2000年版日本建築基準實施令)評估人員避難安全。
林木榮	2002	本論文主要探討CD-R工廠在火災緊急應變系統設計中有關人員生命安全防護之有效性分析，此研究從三個方向著手。第

		一，利用火災風險分析概念，分別尋找高火災風險製程單元與區域；第二，利用FDS來模擬高火災風險製程單元與區域所造成之溫度、煙濃度、殘氧濃度與二氧化碳之危害特性；第三，利用 IES所發展人員避難逃生軟體SIMULEX來分析人員避難模式與時間。
賴葦芸	2001	本論文分為兩個方向來探討無塵室內的火災防護。第一，利用FDS來模擬廠房內煙流漫延的情形；第二，利用簡算模型與電腦動態避難程式 (Simulex) 來討論廠房內人員的避難動線與避難時間。最後歸納第一與第二部分之工作對我國的建築技術規則提出相關的建議修正方向。
解力行	2006	本研究在火災熱釋放率與煙流縱向速度之關係利用FDS 模擬。火災熱釋放率與局限速度之關係依照O. Vauquelin 之實驗參數進行電腦模擬。在低火災熱釋放率時，模擬之縱向速度明顯低於O. Vauquelin 之速度；而於高火災熱釋放率時，模擬之速度卻反而顯著的高於O. Vauquelin 甚多。接著，將模擬獲取之L/H 與U/U ₀ 相關數據，與O. Vauquelin 實驗中所得之L/H 與U/U ₀ 關係圖比對，結果顯示模擬之點狀線形在0.2MW 時與O. Vauquelin 頗為一致；但於10MW 接近L=4H 及L>4H 處卻有偏離現象，此差異可能係O. Vauquelin 使用之煙霧為冷煙，而FDS 為火場所致。
謝蕙如	2006	本研究採用縮小尺度模型實驗及數值模擬作為研究方法，首先依不同縮小尺度之模型進行數值模擬，接著進行地下通道全尺度及縮小模型之數值模擬，最後以相同之火災情境條件，進行地下通道之縮小模型尺度實驗，探討地下通道之特殊煙流現象。 由數值模擬及尺度實驗之各項結果發現，數值模擬結果由於受限於火源相關參數及模擬條件等影響，其數值模擬之火焰結構與尺度實驗之火焰結構不同，導致火源上方接近天花板之模擬溫度與尺度實驗數據差距過大。但於沿著通道流動之天花板噴流模擬溫度分佈則與尺度實驗有相同趨勢，均沿著軸向距離逐漸遞減。而在煙流沿著通道軸向之平均流動速度部分，數值模擬結果與實驗結果皆呈現相同之平均流動速度。
傅世昌	2006	本研究即以雪山隧道尺寸截取其中一段作為研究對象，應用火災動態模擬FDS來探討雪山隧道的火災情境分析及救援相關策略。本研究針對火災模擬軟體FDS和其平行運算的應用做介紹。
王振益	2007	本研究將比較分析國內外高層建築物火災災例及藉由火災動態模擬分析(FDS)，探討高層建築物防火安全問題之所在，並尋找出高層建築物防火安全對策，期望對於高層建築物火災災

		害之抑制能有所助益，進而提昇都市之整體安全與居住之品質。
黃永富	2007	本文係以FDS為研究工具，模擬大空間巨蛋體育館之自然排煙窗方位對於煙控系統安全性能之影響，以改善不適當之排煙系統設置，避免因受自然風之影響而使濃煙不易排出，蓄積於建築物內。
林俊豪	2005	本研究以近年被使用作為火災模擬分析之FDS火災模擬軟體作為分析工具。本研究考慮大空間中庭中發生之火災針對大空間排煙口參數進行模擬分析，如設置位置、風速與風量等對於大空間排煙之影響，並使用排煙指數分析中庭拉穿效應(plug-holing)對排煙效率的影響大小，並設溫度偵測樹測量來觀察火災煙流的分佈狀況，以期能找到最佳之設置參數與建議，作為日後性能式設計與大空間火災實驗規劃之用。
李政儒	2006	本研究係針對一建築物中央空調系統(Heating, Ventilating, and Air-Conditioning, HVAC)與煙控併用系統進行風險評估與分析驗證。此研究從三個方向著手，第二部分為應用火災模擬軟體(Fire Dynamics Simulator, FDS)針對煙控系統改善前後進行火災後果模擬及量化分析，經模擬火場後，可以得到火場中煙流的危害特性，進而運用其數據來分析討論火場中煙層下降的情形。
陳建銘	2006	本研究應用火場模擬軟體FDS及建築物防火避難安全性能驗證技術手冊作為模擬工具，增設防火門、提升防火門遮煙性及增設直通樓梯等改善項目為輸入變數，針對垂直核集中型集合住宅建築物進行火場及避難模擬計算，再對各項模擬結果加以比較，分析各改善方法的成效。
蕭敬倫	2007	本研究內容以火源成長模式、煙流特性、建築物內煙流動情形等火災模式的基礎理論出發，對於現在國內所依據之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」中之方法以及美國火災研究機構NIST所開發的火災模擬軟體FDS和此研究之煙層高度預測方法之間來做比較。
楊育荃	2007	本研究最主要的目的在決定FDS使用於大型室內空間的正確性與限制性。但在軟體的使用方面，隨著使用者格點配置的設定方式不同，可能會導致結果會有所不同，如火源位置的格點數與寬高比，當火源位置的格點數不足時會造成低估火焰溫度的情形發生，在Ma. 與Quimtiere的研究中提到使用FDS軟體進行模擬，在 $\Delta t = 0.05$ 時會有最佳的溫度預測值，但在大型空間中要達到 $\Delta t = 0.05$ 是相當困難的，為了讓模擬的結果有更高的可信度，本研究從案例分析中發現在大型空間裡，若不考慮火源位

		置的溫度時， 0.1~0.15即可有很好的煙流溫度預測值。
楊育荃	2002	於2000年時，NIST/BFRL（美國國家標準暨技術協會火災實驗室）發展出來一套CFD火災模擬軟體FDS（Fire Dynamics Simulator），這兩年來幾乎成為世界各國對於火災研究的使用者所使用最多的電腦火災模擬軟體，但在軟體的使用方面，隨著使用者設定的格點（Grid）配置與邊界條件的設定方式不同，可能會導致結果有所不同，本研究希望可以從案例分析中找出其中的不同性，讓未來的火災研究者做為實驗模擬的依據。
薛朝鴻	2004	在理論模式分析方面使用FDS進行模擬，模擬火災發生時建築物內的煙流、溫度分佈、二氧化碳濃度分佈及能見度分佈，再配合英國Greenwich大學消防安全工程團隊（Fire Safety Engineering Group）研發的building EXODUS人員避難模擬軟體，以期能將理論模式應用於實際建築設計。
楊志偉	2005	本研究以高雄捷運O5車站為研究對象，研究工具採用FDS與SIMULEX（避難逃生軟體），針對O5車站所設計之防煙區劃、防煙垂壁深度及排煙閘門之開啟模式，提出可行性之評估及改善之法。
黃智鴻	2006	本研究透過火災模擬軟體FDS針對核能電廠中易生濃煙區進行模擬，本研究評估該易生濃煙區在火災發生且排煙設備失效時濃煙分佈及能見度下降時間對進行救災之影響，以及探討該易生濃煙區之失火對策所規劃的救災路徑以及前進指揮所設置位置之合適性，而可提供給未來國內核能電廠在編寫或更新失火對策時之參考。
陳旭景	2003	本研究從相關避難安全理論出發，比較英國、美國、日本、紐西蘭、澳洲等國性能式法規，並以目前施工中之TAIPEI 101塔樓為例，分析作業場所火災危險因子並找出火源位置、規模與燃燒時間，援用日本避難安全驗證法與FDS電腦模擬軟體，探討施工中建築物於發生火災時，人員避難安全性，並提出防火安全管理對策，將有助於日後施工中建築物防火、避難安全之參考。
李明儒	2006	本研究為了瞭解無線感測網路系統應用於隧道以提高隧道防救災機制，在理論分析方面透過電腦模擬方法，使用FDS程式來預測隧道火災試驗結果。
林文華	2006	本研究以地下高雄捷運標準車站防煙垂壁做為個案研究，藉NFPA 130避難逃生環境參數之安全性與FDS電腦軟體模擬火災情境做為性能式設計與法規式設計比較防煙垂壁有無之影響，進一步探討對機電管路空間影響。

吳俊霖	2007	本文使用FDS火災動態模擬軟體來試驗，假設公寓內加裝探測器設備如一氧化碳探測器、偵煙探測器、熱探測器等，對火災逃生時的幫助以及影響，利用FDS能夠有效測試出火災時煙的流動以及火的竄燒情形，以及氧氣濃度、一氧化碳濃度和溫度分佈情形，加上公寓內的擺設以及家俱裝潢和材料等變數，來探討如何防止火勢蔓延以及防止被煙嗆傷的危機，進而加裝所需設備及器材，甚至改變家俱或是裝潢的材質，進一步讓居家生活更安全，降低火災所造成的傷亡。
王俊偉	2006	本研究以建築物內的空調風管與防火閘門為方向，配合FDS軟體和實際操作互相驗證。
蕭建永	2006	本研究以空間內的空調風管與防火閘門為方向，使用FDS火災模擬軟體建構一個3D的模擬空間並設置風管來做模擬，且在風管內設置一防火閘門，來了解風管內煙流的方向和火勢的大小，以做為評估辦公大樓火災發生時防火閘門的抵禦能力。
曾政斌	2007	本文特利用FDS模擬軟體，對「雪山隧道」進行火災模擬，以探討當火災發生時，火場之溫度、CO濃度及氣層高度等之變化，以及對隧道內人員的危害，繼而作為隧道消防搶救及避難逃生之參考。
黃民杭	2007	本論文以數值模擬軟體FDS，針對台灣高速鐵路桃園青埔車站地下月台進行案例分析。首先以FDS進行無防火措施模擬，再以現有的防火設施進行模擬比對，對於火災發生時之流場，溫度場及煙霧濃度作三維模擬分析，分析模擬結果所得之速度，溫度及一氧化碳濃度分布和相關的能見度及熱輻射強度來驗證車站排煙系統之設計性能是否能符合NFPA130所建議之逃生環境標準。
胡元瀚	2007	本文利用FDS來進行火災模擬，探討當火災發生時火場之煙流、二氧化碳濃度及氣層高度等變化，以及對生命財產所造成之影響，以瞭解火場各區域溫度傳播、濃煙擴散等情況，並將模擬結果做驗證，以探討遠茂光電之防火安全，並助於在規劃人員避難逃生及防火設計評估，供DVD光碟廠廠房興建及加強防火管理上參考之。
李志鴻	2007	本文將利用FDS來進行火災模擬，探討當雪山隧道發生火災時隧道內的煙控設施對隧道火場之煙流、CO濃度、熱輻射及氣層高度變化的影響，以瞭解隧道火場上、下游其溫度傳播、濃煙擴散等情況，並將模擬結果與歐洲UPTUN計劃中的隧道全尺寸火災試驗結果相互驗證，模擬結果供長隧道公路未來規劃、設施改善及防火之參考依據。
鄭亦婷	2006	本文以國內空廚廠房為研究對象，進行防火安全能力評估，並

		由防火安全評估結果中選定特定區域進行火災情境模擬分析，將利用FDS火災模擬軟體進行火災情境模擬分析，以探討火場濃煙流動、溫度場及CO濃度之變化，並採用火災危險度評估方法以判定模擬情境下之火災風險度。模擬分析的結果可與防火安全評估結果相互比對驗證，以期能提供及改善該產業之防火安全能力。
唐敏賢	2006	本文即以發光二極體 (Light Emitting Diode) 磊晶廠為例，利用FDS來進行火災模擬，探討當火災發生時火場之煙流、二氧化碳濃度及氣層高度等變化，以及對生命財產所造成之影響，以瞭解火場各區域溫度傳播、濃煙擴散等情況，並將模擬結果做驗證，以探討發光二極體磊晶廠之防火安全，並助於在規劃人員避難逃生及防火設計評估，供發光二極體業界在廠房興建及加強防火管理上參考之。書
賴志忠	2004	本研究使用FDS模擬KTV火災之各種情境。經過FDS的火災模式計算後，所得到的火場溫度、壓力、流速、一氧化碳、能見度等重要參數的分佈狀況，進而利用這些數據來分析討論各個火場的情況。此外，本研究希望藉由分析的結果，來討論及改進消防戰術戰技之運用，以降低火災對人員的傷害，增加消防搶救的效率。
林明勳	2007	本研究使用FDS火場模擬軟體，著重觀察長公路隧道發生火災時，目前國內所設計之縱式通風排煙系統是否有足夠能力，將火災燃燒產生之濃煙順利往發生火災之下風處（依循車行方向）排除，以確保用路人可以不受濃煙影響下順利逃生。
陳清峰	2007	本研究首先將蒐集具備挑高中庭及大空間建築物煙控系統之相關文獻加以分析整理，並利用CFD-MODEL電腦模擬軟體，配合各種模擬條件，針對不同中庭結構之建築物進行分析探討。本研究以相同之補氣口高度及火源熱釋放率模擬條件，模擬不同中庭結構之建築物。 另一方面，本研究依尺度法則之規定，對不同中庭結構之大空間建築物進行1/2縮小尺度電腦模擬，探討1/2縮小尺度模型實驗之可行性。
葉琮勤	2006	本研究之大空間之煙控系統性能式設計乃依據美國NFPA 92B, "Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas" 作為主要依據。充分考量大空間頂部之蓄煙特性，及自然排煙之性能。並以3D CFD電腦模擬分析及全尺度實驗印證，進行其煙控性能之驗證分析。經由分析不同火災情境之火場性質，如溫度分佈、CO濃度分佈、能見度分佈、煙層分佈等，藉以判定本建築物所設計之煙控系統性能，是否可提供

		一條無煙之逃生避難路徑。
柯建明	2003	本文由FDS與另一國際間流體計算應用著名軟體 (Star-CD)，模擬比較地下車站火災時狀況且預測火災之煙沈積高度，和高度沈降速率。模擬結果顯示煙沈積高度及煙沈積速度比對之誤差皆在工程容許範圍內，對往後CFD模擬有著重要參考價值。
陳榮進	2001	於第四章，介紹月台層煙控系統之設計分析，說明定址式排煙之優點，並利用美國國家標準局(National Institute of Standards and Technology)建築物與火災研究實驗室(Building and Fire Research Laboratory)研發之火災成長預測程式—CFAST與FDS (Fire Dynamics Simulator)火災模擬軟體做為輔助工具，預測火災之煙沈積速度，模擬捷運車站月台層發生火災時，捷運車站月台層之濃煙煙層高度沈降速率及煙層溫度分佈。
沈建宏	2004	本研究以廠辦建築物為研究方向，根據國內80~92年間各類場所發生重大火災案例的起火原因與調查結果，本研究共收集308例廠辦建築之火災案例，進行廠辦建築安全評估之研究。由各國評估表，經分析比較整理，得安全評估因素20個大項、55個細項與其相對權重之關係，另將安全評估因素的影響程度分成A~E個評分等級，獲得防火安全量化評分，此為建築物防火安全的定量評估法；另外，本研究唯恐定量評估法不夠周延，特以FDS火災模擬程式，進行個案火災危害度分析，藉以估計人員的極限避難逃生時間，與人員實際避難逃生時間進行安全評價；如此亦可與定量評估法的結果相互印證。
鄭宗敏	2007	本文針對該建築物特性、火災類別、火災危險要因；並運用現行國際常用之火災動態模擬軟體FDS，設定電腦模擬評估條件，選定案例作風險分析，藉此了解該類建築物在發生火災時，評估火煙發展狀況及人員避難危害程度，同時在電腦模擬過程中，加入相關安全設備、強化防火避難設施及防火安全管理作為時，比較建築物火煙發展及對人員避難逃生之影響，以求相互印證，進而謀求防治對策與改善之道，更促使民眾能自主檢核，有效降低災害發生及損失率，以期提升台灣地區居住環境安全。
李慶彥	2007	本研究以透過行人流相關理論進行時間模擬假設，再以運輸問題指派方法建立避難逃生基本決策模式，並且探討模式的適用性與限制。在模式的限制條件上本研究以煙流擴散的時間當作避難逃生主要限制條件，運用火災模擬軟體FDS模擬煙流，以國立故宮博物院為案例探討火災時煙流對於模式之影響，期望能藉此研究提供避難逃生指引與防災演練參考。

蘇進忠	2007	因目前對於火災煙流與建築物外部空間關係之研究較為缺乏，故本研究嘗試以此角度切入進行研究，以FDS火災數值模擬軟體模擬並探討當使用自然排煙之特別安全梯排煙室空間設計於 H型平面之集合住宅中間時，由排煙室排出之火災煙流會否滯留於排煙室建築外部空間，進而由外往內影響兩側居室人員安全，以及不同的建築外部空間尺度比例是否會影響火災煙流之流動。
崔朝陽	2003	本研究以日本西元二〇〇〇年(平成12年)建築基準法修正公布之避難安全檢證法，分析影響避難時間及煙層下降速度之因子，進而使用FDS火災模擬軟體以功能性設計方法，比較分析其避難安全性能，最後以一處位於臺北市某地下商場(地下街)建築物，嘗試應用日本避難安全檢證法及FDS火災模擬評估方法，探討店舖及通道如有火災發生時，是否可得到避難安全並控制火勢，進而分析當自動撒水設備、自動防火鐵捲門或排煙設備等主動式或被動式防火失效時，其火災成長模式及對於避難安全之影響，以冀作為我國未來推動性能式法規在避難安全性能評估及防火性能評估應用上之基礎研究。
陳昱勳	2004	本研究考慮兩種之捷運列車火災之情境，分別為列車外底盤電阻格間高溫起火引起底盤著火與列車車廂內蓄意縱火之兩種情境，並參考國內外的文獻與設計案例，以尋求最佳化設計參數及其對逃生之影響。本研究以FDS火災模擬軟體作為分析工具，其主要功能是用來模擬火災現象。本研究將建構多種案例，分析火災的多種情境模式，了解各種情況的煙流蔓延狀態，這些結果，將有助於工程設計或營運階段參考之用。
蘇水波	2004	本報告透過現場實際量測緊急運轉模式下風速與臨界速度進行比對檢討，並藉由煙流電腦模擬程式FDS進行電腦模擬分析驗證等方法進行研究。
盧建宏	2007	本研究利用性能式設計法 (performance-based design method) 之驗證程序和步驟，以及數值火災模擬軟體FDS以及SIMULEX人員逃生避難軟體分別進行煙控系統設計分析與避難性能評估。
邱木全	2005	本研究係針對一通信行動電話廠進行完整之整合性火災風險評估分析。此研究從四個方向著手，第一為風險評估技術之建立；第二為企業火災保險風險分析；第三為火災後果量化分析，利用NIST發展之場模式FDS來模擬高火災風險製程單元與區域所造成之溫度、煙濃度、殘氧濃度與二氧化碳之危害特性；之後為人員安全分析，利用IES所發展之人員避難逃生軟體分析人員避難模式與時間。最後歸納整體風險分析結果以了

		解通信產業之火災風險程度。
林靜慈	2006	本研究利用性能式設計法 (performance-based design method) 之設計程序和步驟，以及數值模擬軟體 FDS (Fire Dynamics Simulator)，針對捷運地下車站公共區以及軌道區進行案例分析。首先根據火災緊急疏散檢核，選取其中最嚴重之案例 (the worst case) 作為模擬案例，接著再以 FDS 模擬軟體，對於火災發生時之流場，溫度場及煙霧濃度作三維模擬分析，分析模擬結果所得之速度，溫度及一氧化碳濃度分布和相關的能見度及熱輻射強度來驗證車站排煙系統之設計性能是否能符合 NFPA130 所建議之逃生環境標準。
黃國勇	2004	本論文研討半導體廠煙控系統設計及動作程序探討。整個煙控系統性能測試或驗證，使用電腦煙控軟體 FDS 進行模擬分析探討。最後將完整的煙控系統與廠區緊急應變進行結合，透過應變演練，期將可能事故損失降至最低。
黃培誠	2005	本論文以屋內電力設備場所火災之行為做研究，首先研究電力設備的熱源、熱傳遞方式及燃燒特性與危害；再採用西元 2004 年 NIST 修正之 FDS 作模擬工具，求得電力設備在起火燃燒後該場所煙、熱與時間的相關數據。

三、消防滅火

作者	出版年	摘要
張岱軒	2007	本研究主要針對防火上經常使用的密閉式自動撒水頭，在各種不同火源位置下進行實驗，並分析影響撒水頭作動的因素。同時使用 FDS 進行模擬，並與實驗結果進行比較。整體而言 FDS 對此實驗所進行的模擬相當準確，而且溫度的分布趨勢也與實驗大致一樣。
王瑋榆	2006	本研究使用 FDS 探討排氣櫃內部裝設二氧化碳滅火系統之滅火效能。並將數值模擬之設定參數以全尺度實驗方式進行實驗二氧化碳滅火系統之滅火效能與氣流狀態之研究。由本研究之數值模擬與全尺度結果顯示，排氣櫃內部氣流狀態為排氣櫃安全效能所需考慮之設計參數之一。
沈義哲	2006	本研究除蒐集國內、外有關高科技廠房潔淨室 (Cleanroom) 設置自動撒水設備之相關規定，綜合研擬高科技廠房潔淨室自動撒水設備之相關設置建議，另為了解高科技廠房潔淨室設置自動撒水設備之適用性，並採用 FDS 模擬高科技廠房潔淨室發生火災時，在受潔淨室下吹式氣流影響下，其所設自動撒水設備之動作狀況，探討不同反應靈敏度 (RTI 值) 或不同放水量之撒水頭作動放水時，火場之變化情形。

高士峰	2005	本研究主要是以蒐集國內外集合住宅建築物防火及消防安全設備設置、施工、改善等相關法規、文獻、工程及火災災例等相關資料，並找出火害因子進行比較分析與歸納整理，進而探討集合住宅建築物防火評估之機制，再藉針對某一集合住宅內部裝修隔間材料及重新加裝探測器使用FDS火場模擬軟體，如此一來便可在模擬中得知相關數值如氧濃度分佈、一氧化碳濃度分佈、溫度分佈情形、能見度分布情形、釋熱率、探測器動作時間等，以作為本研究成果之一。
林建勳	2003	在理論模式分析方面使用FDS進行模擬，模擬所得之結果將與撒水實驗結果加以驗證比對，確實瞭解理論模式分析之正確性與合理性，以期能將理論模式應用於實際建築設計。本研究藉由電腦數值模擬與實驗所得之結果尚稱合理，雖然模擬所預測之溫度、撒水頭作動時間等結果與實驗數值有些許差距，不過對於整體的變化趨勢仍有不錯的預測結果。
蘇家彥	2007	本文以「質化」的方式探討世界道路協會不建議隧道裝設自動滅火系統的理由，輔以FDS模擬大貨車火災、遊覽車火災與油池火災之火災情境，探討天花板型撒水頭與側牆式撒水頭之動作對避難環境的影響。
郭聰誠	2006	本研究即以雪山隧道作為研究的對象，應用FDS的模擬來探討撒水系統應用於雪山隧道的滅火性能分析。 首先在文獻探討上面了解隧道的特性及應用在隧道上的自動滅火設備的討論，再針對火災模擬軟體FDS和其平行運算的應用做介紹。接著模擬大客車在隧道中起火的火災情境，並模擬撒水系統在撒水頭口徑不同及壓力不同和啟動方式不同對於隧道中的大客車的滅火性能作一比較。
張溯	2004	本論文並基於火災模擬軟體FDS的多項特殊功能，而使用該模式針對電纜托網火災進行模擬評估，本研究透過電腦火災模擬分析探討兩條電纜托網間不同距離、空間通風狀況、排煙設備、自動撒水設備對火勢發展以及受熱目標所產生的影響，可以提供未來國內相關單位改善國內核電廠消防安全設計及進行消防安全評估之參考。
陳佑任	2006	本研究係針對醫療院所消防安全設施之現況，並藉由性能化設計方法進行評估，但由於性能化設計評估之範圍十分廣泛，現階段僅以自動灑水設備之性能化設計為首要目標，進行CFD model之模擬。
陳泓翔	2006	國內消防法規「各類場所消防安全設備設置標準」，常常只定義一些不可更改之數字，缺乏彈性。若能配合現今最流行之性能化設計 (Performance Based Design)，作一統整規劃，並

	<p>引以為國內消防法規之規範，便可解決許多傳統法規無法解決之問題。本研究依國內定溫式局限型探測器 (fixed temperature heat detector) 之測試標準，經由反應時間指數 (Response Time Index, RTI) 公式於不同作動溫度下計算，發現竟會得出相同之 RTI，此與 Underwriters Laboratories (UL) 之測試標準有所不同。而且國內消防法規對於定溫式局限型探測器之裝設規定仍有改善之空間，尤其當屋中有橫樑時，只將橫樑高度作二分法，其高度若超過 40cm，則劃分為兩個探測區塊；若高度在 40cm 以下，則不須分為兩個探測區塊，此條法規亦與美國 NFPA (National Fire Protection Association) 72 之規範相去甚遠，根據本研究之模擬結果，建議於大空間建築物且屋內有樑時，雖有裝設定溫式局限型偵測器亦須考慮其裝設位置與探測面積。再者，一般大眾所認知之穩態火災 (油類火災)，其溫度上升曲線與認知不同，若使用火災模擬軟體 Fire Dynamics Simulator (FDS) 模擬火場情境時，必須使用該油類之溫度上升曲線，其模擬方能得到較佳之結果。</p>
--	---

四、構造防火

作者	出版年	摘要
鄭柏青	2006	<p>本研究對象所探討的截火幕防火設備，包括(1)單層截火幕、(2)雙層截火幕不同間距(嵌夾空氣層)之二種類型，模擬裝置以小型加熱爐及全尺寸設施為對象，並以上述裝置應用於火災動態模擬軟體 FDS，藉以探討該類型的阻熱性能及輻射分級，是否符合法規等相關規範之需求。</p> <p>本研究以目前防火區劃法規需求下，蒐集截火幕防火設備之相關文獻，並以 FDS 模擬防火設備背溫及輻射熱，觀察火災發生時截火幕防火設備之阻熱性與週遭溫度變化情形，而後進行尺寸效應之探討，並提出阻熱性成效分析結果。</p>
簡力堅	2006	<p>本文藉由 FDS 模擬火場的樑柱間的溫度變化與 SAP2000 結構分析軟體相輔相成，探討受高溫下，鋼結構的整體破壞行為，以期有助於災害之預防。</p>
何國晟	2003	<p>就已知之緻密輕質骨材混凝土、無細輕質骨材混凝土及常重混凝土之熱學性質，利用 FDS (Fire Dynamic Simulator) 程式，模擬其熱傳遞行為並比較其效益。</p>

五、重建

作者	出版年	摘要
黃育祥	2005	<p>火場重建係以科學原理為基礎來研判火場最為可能之發展情形。火場模擬重建之要素是以火災調查為本，結合火災工學、FDS模擬軟體相輔相成。詳細調查火場可燃物之配置、通風效應、建築物之設計、滅火設備之影響、安全設備之特性及火源之評估等，透過模擬軟體將火災情境重現，可說明火、煙成長的情形。該項模擬分析起火原因及火災成長情境所預測之結果，與實際情形來比較。對於複雜火場之調查提供更多之效益、理解及清晰度。</p> <p>在理論模式分析方面使用FDS進行模擬，模擬所得之結果將與火災現場燃燒情形加以驗證比對，確實瞭解理論模式分析之正確性與合理性，以期能應用於實際火災調查當中。</p>
王春財	2007	<p>本研究是以桃園縣大園鄉菓林村的一棟透天民宅為研究對象，利用「FDS」軟體來分析火場，以電腦模擬火場各物理現象，針對上層溫度及CO氣體濃度等參數的變化，探討參數對火場及人員逃生的影響，進而利用這些資訊可以讓我們平時做好防火準備。</p>
范姜群 傑	2007	<p>本研究針對位於台北縣樹林市龍興街火災案例，進行防火安全能力評估，並由防火安全評估結果中選定特定區域進行火災情境模擬分析，將利用FDS 火災模擬軟體進行火災情境模擬分析，以探討火場濃煙流動、溫度場及CO濃度之變化，探討相關參數對火災的影響以瞭解各參數對人員逃生有何影響。</p>
張文政	2007	<p>本研究針對位於桃園縣中壢市大同路民宅建築火災案例，利用FDS模擬火災發生的情形來探討發生火災時的危險性，並且改變各種不同參數（分析火場在不同情況下主火源數量、易燃物數量、鐵門開口及房門開口、隔間材質不同之參數）來分析建築物之火場變化，並利用其結果：溫度與CO濃度的變化之結果作為逃生時間之依據，並提供相關單位參考與改善的方向，進而利用這些資訊（針對更改不同之主火源數量、易燃物數量、鐵門開口及房門開口、隔間材質的參數模擬之結果在進行探討之）可以讓我們平時做好防火準備。</p>
林俊良	2007	<p>本研究是以大里市透天民宅為研究對象，利用「FDS」軟體來分析火場，透過電腦以場模式來模擬火場中之物理現象，軟體的核心是 Navier-Stokes 方程組，用於解析熱驅動的低速流場，著重在煙流與熱傳遞現象，針對上層溫度、氣層高度及CO氣體濃度的變化，探討相關參數對火災的影響，研究結果期冀能對防火工程上有著參考價值。</p>

黃惠靖	2007	本文以高雄縣大樹鄉住宅火災為研究對象，利用FDS進行火災情境模擬分析，探討當時火場的火流分布、濃煙流動、溫度分佈及上層溫度、CO濃度之變化、容許逃生時間，將分析結果與消防局火災調查課的鑑定資料相互驗證，以期能提供類似建築物參考，降低火災發生後對人員造成的傷害，甚至於降低火災發生的機率。
李中儒	2007	本研究是以三重市重新路五樓公寓火災為研究對象，此次火災為典型煙囪效應的火災，並利用FDS來分析火場，以電腦模擬火場各種物理現象，它屬於場模式，適用於多重區間建築且能模擬火災的環境，並針對上層溫度、氣層高度及一氧化碳濃度的變化，探討相關參數對火災的影響，並利用這些資訊可以讓我們防範此類火災。
曾鴻志	2007	本文係透過真實案例，利用「FDS」軟體來分析火場，檢視火災發生時造成重大傷亡的原因，並針對影響火災之重要因子，做不同的參數修正，以探討火場之上層溫度、氣層高度及CO氣體濃度等變化，進而利用這些資訊以了解公寓對防災的改善方法。
何臺增	2006	本文系透過真實案例，利用電腦程式FDS火災軟體類比火災，藉由自然煙控為主題，以可能影響火災之因子，如防煙垂壁、蓄煙井及開口大小等相關參數的條件設定。依據火災類比結果，描述自然煙控設施，對火場及人員逃生之影響，並比較不同之參數條件，對火場溫度變化與濃煙擴散等之影響，探討火災傷亡的原因與火災之可能影響因子，做不同的參數修正，尋求合適化的結果，獲得較佳之煙控模式及人員逃生建議，希望藉由本文的探討研究，對醫療院所防火效能之提升與提供消防工程設計之參考，有所助益。
謝宗呈	2006	本研究以東方科學園區火災為案例，收集相關資料、訪視現場及參考災後鑑定報告，探討高層建築煙囪效應火災擴散模式，利用電腦火災場模式軟體 FDS，模擬當時火災現象所引起之煙囪效應及密閉空間之燃燒情形，並且設定各種參數變化交互分析比對，以了解不同的火場環境及防火安全設定對其煙囪效應結果之影響，探討出最佳化消防安全設計及措施。
陳鴻中	2006	本研究將以財團法人蘭陽仁愛醫院第二院區的火災案例作為模擬分析背景，借由案例探討火場在模擬各建築材料的改變下，對火場的影響程度的不同，並進一步找出最佳的設計條件，以分析火場的建築材料特性與人員避難之影響性，做為醫療院所在防火工程建築材料選擇上的參考。

六、其他

作者	出版年	摘要
廖俊傑	2007	本研究利用FDS程式來進行火災模擬探討；再輔以實際燃燒爐實驗之量測結果，將模擬與實驗之數據相互比照，以探討實際燃燒之過程。 本研究初步驗證火災模擬器火焰的可控制性與實驗過程的安全性，並確定此FDS可用於火災模擬器下的火災模擬，對於往後進步一的研究下，可依FDS先行模擬之結果來判斷實驗中可能遇到的困難及危害性，進而加以預防提高實驗之成功率與準確性。

由國內學術論文使用 FDS 整理，顯示主要使用於煙控避難模擬為主，在重建模擬方面，亦主要以作為煙控避難設計改善為主要考量，由部分以實驗及 FDS 模擬比較之文獻，其比較結果以煙控、撒水頭作動相關之研究，大致表示可接受，但於火災成長延燒方面之研究，則顯示在燃燒模式方面須再深入研究。

此一結果主要為 FDS 適用的範圍為低馬赫數(low mach number)的流場分析，亦即火場中由熱驅動的低速流場，著重在煙流及熱傳遞的現象，因此在以 FDS 所預測之流場速度、溫度對比實驗之相關量測，其準確性約 80%(黃育祥，2005)，但對燃燒與延燒情形，由於火災燃燒過程是一種複雜的物理、化學的綜合過程，而且燃燒過程及火災溫度的隨機性(馮猛，2007)關係，其模擬方面則尚待努力。

第三節 FDS 選用緣由

由沈子勝(2004)²選用FDS軟體為模擬工具理由而言，基本上也是大多數使用FDS之理由，以下就其理由臚列如下：

- (一)FDS為一場模式火災模擬軟體，相較於分區模式，對火災現場有更精確的模擬，而隨著電腦科技的不斷進步，亦逐漸解決了FDS對電腦運算能力的要求。
- (二)FDS具有強大的後處理程式SMOKEVIEW，對火場內之溫度場、速度場、熱傳導、熱輻射、熱對流、CO濃度、CO2濃度、能見度等之參數均能以優越的3D立體視覺效果呈現，甚至即使非消防專業人員亦可一目了然。
- (三)軟體取得容易，且更新快速，FDS可直接至NIST 網站免費下載(<http://www.nist.org>)，可省下不少費用，因此使用者眾多，有機會成

²沈子勝，火災危害分析技術研究，2004，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告。

為強勢的火場模擬軟體。

- (四)程式撰寫者與使用者間的溝通管道暢通，可為使用者遭遇的問題作迅速的回應，也常常接受使用者的建議進程式修改，因此功能愈來愈齊全。
- (五)NIST建有廣泛的火場實驗資料庫，FDS可與這些實驗進行比對，因此程式的可靠度、準確度頗佳，足供工程使用。
- (六)FDS是至目前為止，較為完整且專門為火場模擬所撰寫的軟體，在火場的模擬設定上會比較簡單、迅速，可輕易建構複雜的空間，面對複雜的火場資訊，FDS常常可用簡單的程式即可完成描述。
- (七)FDS具有其他軟體所沒有的撒水頭模式 (Sprinkler Mode)，可以模擬裝設撒水設備對火災發展的影響。
- (八)FDS 符合現今軟體的潮流，為一開放原始程式(open source)軟體，整個程式都可為大眾所檢視，集大眾之力可加速程式碼的正確性。
- (九)FDS 程式附有免費的database，其中包括多種常用材質的熱物理特性參數、化學反應參數、灑水頭等，使用者可省去不少尋找特性參數的困擾。

第四節 FDS 使用注意事項

由何明錦(2005)³，楊育荃(2001)⁴，黃雄義(2004)⁵整理FDS 使用上注意事項如下：

- (一)無論那種軟體，使用上必有其適用場合與使用上特有之限制，使用者使用前應充份了解軟體之使用上限制與功能，因此熟讀軟體之說明書與其技術手冊成為操作前必要之工作。
- (二)火災是一複雜之燃燒過程，基本上應無法精確地模擬，加上程式本身設計上一些不確定因素因此在操作上及判讀上需要豐富火災燃燒工學上之知識。
- (三)程式本身無法判定輸入資料之正確與否，因此使用者對輸入之任何邊界條件應有判斷與比對求證之必要，否則輸入一堆不正確之資料，所得結果也必將無法使用。
- (四)FDS 大都是依小型的火場實驗數據發展完成，因此對於相對大型的火災誤差可能較大。
- (五)FDS 的一般火場模擬在速度及溫度場準確度約在80~90%。
- (六)FDS 的撒水作用大都在冷卻作用，較無能力將火源抑制，因此撒水後火場溫度會降低，但不會改變火源大小。
- (七)數值網格(Computational Grid)之大小形狀對計算結果會造嚴重之差異

³何明錦、張寬勇，住商複合建築物火災危險評估與防火避難安全對策之研究，2005，內政部建築研究所研究報告。

⁴楊育荃，建築物火災模式特性分析及實際案例之應用，2001，雲林科技大學機械工程系碩士論文。

⁵黃雄義，以 FDS 預測 ISO9705 房間試驗火場情境之可行性研究，2004，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所碩士論文。

- 性，基本上以正方形之網格最為適當，網格劃分愈細者其結果較大網格者理想，但所花費之計算時間及結果所佔之記憶體也就愈大。
- (八)低馬赫數(Low Mach number)，忽略聲波音波效應，故無法模擬爆炸現象。
- (九)FDS 程式關於火災燃燒現象可分為油盤模式及延燒模式，但NIST不建議使用延燒模式。
- (十)邊界條件的設定需特別小心，不同邊界條件的結果最好能與理論推導出來的結果互相比較，以求得其一致性。如果能有實際的實驗數據予以佐證則更完美。
- (十一)在火災模式的模擬中，除了邊界條件的給定之外，格點的設置也是影響結果產生的重要因素，所以在決定格點數目時也必須考慮到格點與物件的配合性。
- (十二)明顯地，火場現象是如此地複雜，如果採用一組線性偏微分組(partial differential equations) 模擬時難免有許多條件需要假設而且許多數值以平均量取代更需特別小心不確定度的影響。
- (十三)在FDS中仍有許多BUG，所以在火載量的訂定上最好能自行定義其熱釋放率成長曲線，不然可能會產生實際計算的火載量與所欲模擬的火載量不同的問題。
- (十四)在進行密閉空間的模擬計算時，需小心確定是否符合質量守恆的原則，當然若有開口部時，也需小心假設其邊界條件。
- (十五)一般模擬物件參數選用上多數使用者以FDS 本身資料庫為選用參考，但所提供之物件熱屬性參數僅為常用值，面對實際火場可能變化影響以及實際材料不同的熱屬性條件下，此常用值的使用並不一定合適。
- (十六)FDS 對於未產生延燒之材料在熱釋放率及天花板附近氣體溫度具不錯預測能力。但對於涉及材料延燒模擬上，則完全無法準確預測火焰延燒行為及閃燃時間。仍需後續研究以了解延燒行為之模擬。

第三章 火源模擬驗證

第一節 電腦模式驗證標準

陳俊勳(2000)表示，目前我國不可能自行研發相關的計算工具，因此如何去確認國外所研發各式各樣火災危害及風險評估有關的計算工具可以為我國應用，應是第一個首要考量的重點。以 HAZARD I 等著名火災模式，這些都非我國自行研發，完全引用一定會有適應不良的情形產生。最主要的是材料不同，再加上使用的習性不同以及氣候不同等因素可能會造成計算結果預測的偏差(陳俊勳，1999)，汪箭(2005)亦提到建築火災過程計算機模擬結果的合理性和精確度經常是建築防火設計和驗證過程中質疑的焦點。所以目前火災模擬軟體雖可在經濟、安全無虞的條件下將火場大致情況模擬出來，然其正確性則需要藉由當時火場的資料以及事後的調查報告來加以改進，以符合真實的情況(陳俊勳，2001)。

電腦模式可區分為區域模式(zone model)及場模式(field model)，Zone model 無法對於 pyrolysis(高溫分解)model 預測確認燃燒與高溫分解相互關係間的火災成長模式，對於一個大空間採用 zone model 及 field model 會產生非常不一樣輸出結果的規範標準(簡賢文，2001)，區域模擬的方法用于大空間會受到一定的限制，一般而言多單元區域模擬優于一單元區域模擬。多單元區域劃分原則上應排除單元劃分的數量對計算結果的影響，因此單元劃分數的敏感性分析是必要的(汪箭，2005)。

由汪箭(2005)針對FDS不同版本的計算結果差異分析，通過計算例分析發現不同版本的計算結果有時會存在差異。此外，隨著人們對火災科學認識的不斷深化，火災模型的不斷完善，電腦模擬技術在防火安全工程領域的研究與實踐日益得到重視，越來越多學者把電腦模擬技術用于實際問題的計算(鄒高萬，2007)，但電腦模擬結果與實際情況之差異有多大，模擬結果是否可信，不同模型得到的模擬結果哪一個更好，也是模式使用上必須評估，通常火災實驗結果與模擬預測結果常能以時間變化的曲線來表達，Peacock(1999)將函數分析法引入到火災模擬結果的誤差分析，Friday(2001)則嘗試用該法進行了計算預測結果與實驗結果之誤差分析，因此模式計算與實驗結果比對驗證是可以統計分析方法得到量化評估指標。

性能法規在施行過程中，主管官署有時候會碰到一個難題，也就是用什麼方法來驗證這種設計符合「性能式」法規(王鵬智，1999)，性能法規尚在萌芽階段而且隨著知識的進化發展，仍有許多障礙尚待克服。其中一項最主要的缺點是如何證明它能遵照其設定的目標發展，難以評估是否符合其設立的目標(丁育群，1999)。因此，要加速性能化規範的制訂和實施進程，總結國內外的經驗，應著力解決好以下幾個問題：對建築物的防火安全水平進行量化、正確處理性能化設計中的不確定性、對性能化設計的驗證、性能化文件的編制、各環節間的連續性(劉靜，2006)。

「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」中，就申請避難安全性能驗證作業事項九、審查作業注意事項(一)審查者應要求相關計算、試驗或分析文件、圖說的副本，同時確認這些資料是依據避難安全性能規定進行性能驗證，且須通過計算、試驗或分析中所規定之內容。(二)審查者應要求完整的分析文件，包括火災模式的描述、相關參數輸入與輸出資料表、使用者所進行的假設以及相關限制的敘述。係參考ASTM E1895-97判定決定性火災模式之用途與限制之標準指引

Chaper 7.2，就電腦模式驗證方面在 Jason(2000)及 Piotr(2006)曾就 FDS 的驗證與確認進行研究，在 NIST 由 Kevin(2007)正在制訂 FDS 的驗證與確認規範，已完成驗證規範草案，此外美國 NRC(Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research)由 Najafi(2007)等進行一系列的電腦模式與實驗的驗證與確認報告，綜合以上資料，本研究將就 ASTM 相關規定，對於火災模式之驗證評估、文件化及重要材料特性數據之試驗法等，進行探討並就標準用意概略述說如下。

ASTM E1355-05a 指出，模式評估的過程對建立火災模式可接受的用途，及各種限制非常重要，要對某模式作完整的評估是不可能的，當適用於一種應用或場景的模擬，並不代表適用於不同的場景。火災模式目前除已用於火災研究實驗室外，並擴大至工程學、火災設施及法律團體。需對火災模式進行充分的評估，以確保使用模式者能判斷模式的科學與技術基礎的適當性、選定的模式適合預期用途、及了解模式預測結果的可信賴程度；適當的評估有助於預防火災模式的被誤用。

ASTM E1355-05a 提供為描述評估火災模式的預測能力的建議過程。此過程包括對模式及其欲評估的場景作概略的描述，提供以量化模式預測各種不確定因子的靈敏度的各種方法進行分析，及評估模式預測準確度的數種替代方案。歷來數值的準確度與時間間隔的大小與錯誤有關，更完整的評估需納入空間的離散度；最後，提供有關摘要評估過程所需的各種相關文件。

ASTM E1472-07 則提供作為火災模式及防火工程學其他領域的科學與工程運算所準備的電腦軟體，應敘明的資料，主要是以三類文件的方式提供：(1)技術文件、(2)使用手冊、及(3)安裝、維護與程式設定手冊，標準並未指出數值其主要用意在於協助了解、使用、轉移、保存及修改電腦軟體，當在撰寫文件時，已考量標準所含的選項與指示，則軟體能更快用於預定目的，對火災模式的電腦軟體充分敘明，可確保使用者能判斷模式的科學與技術基礎的適當性、選擇適當的電腦操作環境、及在敘明的限制內有效的使用軟體，充分的敘明有助於預防火災模式的誤用。

Chris(2006)以材料熱解模式以 FDS 模擬材料表面溫度及質量損失率歷程，提出具熱裂解性質材料如木材，模擬所須木材熱傳導係數(k_v)、比熱(c_v)、密度(ρ_v)、Arrhenius pre-exponential factor(Z)、反應能(E_A)、熱解熱(ΔH_p)以及碳化層熱傳導係數(k_c)、比熱(c_c)、密度(ρ_c)等 8 項材料性質資料。

ASTM E1591-07 為促使與模擬輸入數據的品質高度相關的火災模式計算的準確度增加，重點是房間火災的區域模式，但其他類型的數學火災模式也需許多相同的輸入變數，提供數學火災模式需作為輸入值的材料性質，提供各項輸入變數如下所列：空氣/燃料比、燃燒效率、對流熱量轉移係數、密度、發射率、逸入係數火焰撲滅係數、火焰散佈參數、燃燒熱、氣化熱、熱解熱、熱量釋出速度、起火溫度、質量流失速度、物種產生速度、熱解溫度、比熱、導熱性、及熱慣性。

ASTM E 1895 - 07 對火災模式使用者，及負責制訂用於火災風險與火災危害評估的火災模式的限制的主管機關提供建議，也對火災模式制訂者指出其模式之適當用途與限制提供建議。標準用意在於協助於火災評估中，有無適當使用火災模式，這些評估類形是用於產品研發，及設計與建構上，進一步的指引則列於 ASTM E1546 標準內。

此標準的用意不在處理或限制任何評估火災模式正確使用的方法，而是在說明於火災危害評估中如何使用火災模式，火災模式的其他用途包括火災後的分析、研究、教育與訴訟。其主要適用於房間火災的區域模式，與電腦流體動力學

模式，但其他類型的數學模式，也需對其預測能力進行類似的評估。

ASTM E1546-07內容涵蓋火災危害評估標準的制訂，提供評估會傷及人、動物或財產的火災危害的程序。

由此，本研究乃參考ASTM相關標準，引用研訂為我國在防火性能設計時所用之火災模式驗證與文件化等標準(詳附錄二~六)，以供設計者設計評估與主管官署評定參考。

第二節 材料參數探討與火源模擬驗證

1. 火源設定

影響 FDS 模擬準確度與真實性的因素有許多，其中材料參數算是影響甚巨的，由於 FDS 在材料特性上有許多的設定，且各個參數兼有交互作用，因此要如何釐清各參數的影響，使模擬結果可以與實驗結果接近，又符合物理意義，需要多方面探討。因此於本節中，將針對數個材料參數對於模擬出熱釋放率變化曲線的影響進行研究。

於本節中，將使用 2007 年內政部建築研究所防火實驗中心以木堆於 ISO9705 煙罩下之燃燒實驗，作為模擬對象。木堆使用酒精膏作為引燃火源(如圖 3-1 所示)，此火源的熱釋放率歷程以及 FDS 模擬結果如圖 3-2 所示。此處主要取用酒精膏燃燒實驗值的平均值來設定 FDS 模擬燃燒器所需要的熱釋放率變化歷程。後續 FDS 模擬所使用之火源設定即是以此做為基準。

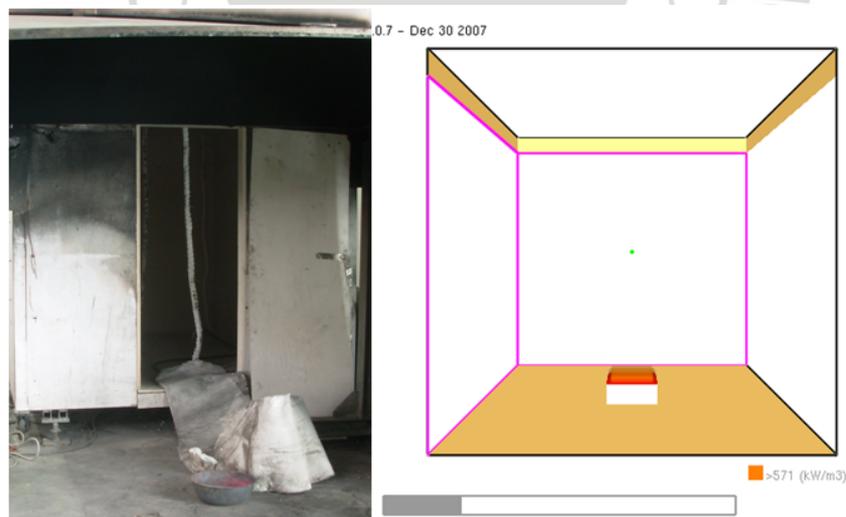


圖 3-1 酒精膏火源熱釋放率量測實驗與 FDS 模擬(取自蘇鴻奇，2007)

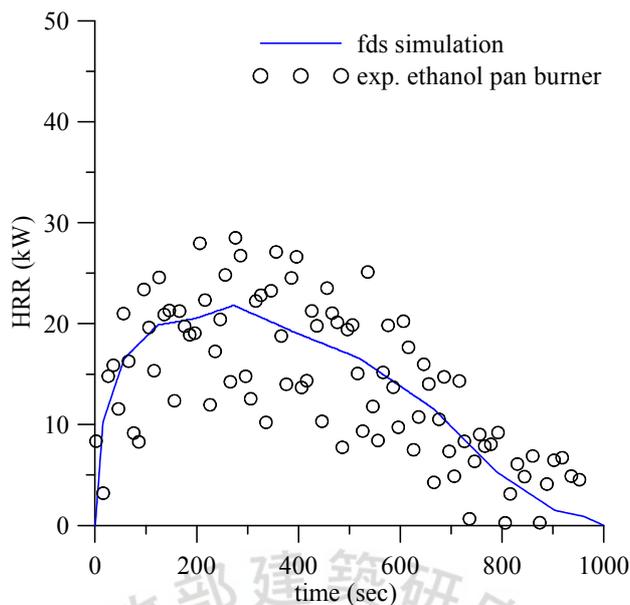


圖 3-2 酒精膏火源 FDS 模擬與實驗熱釋放率歷程比對

2. FDS 模型設定與實驗比對對象

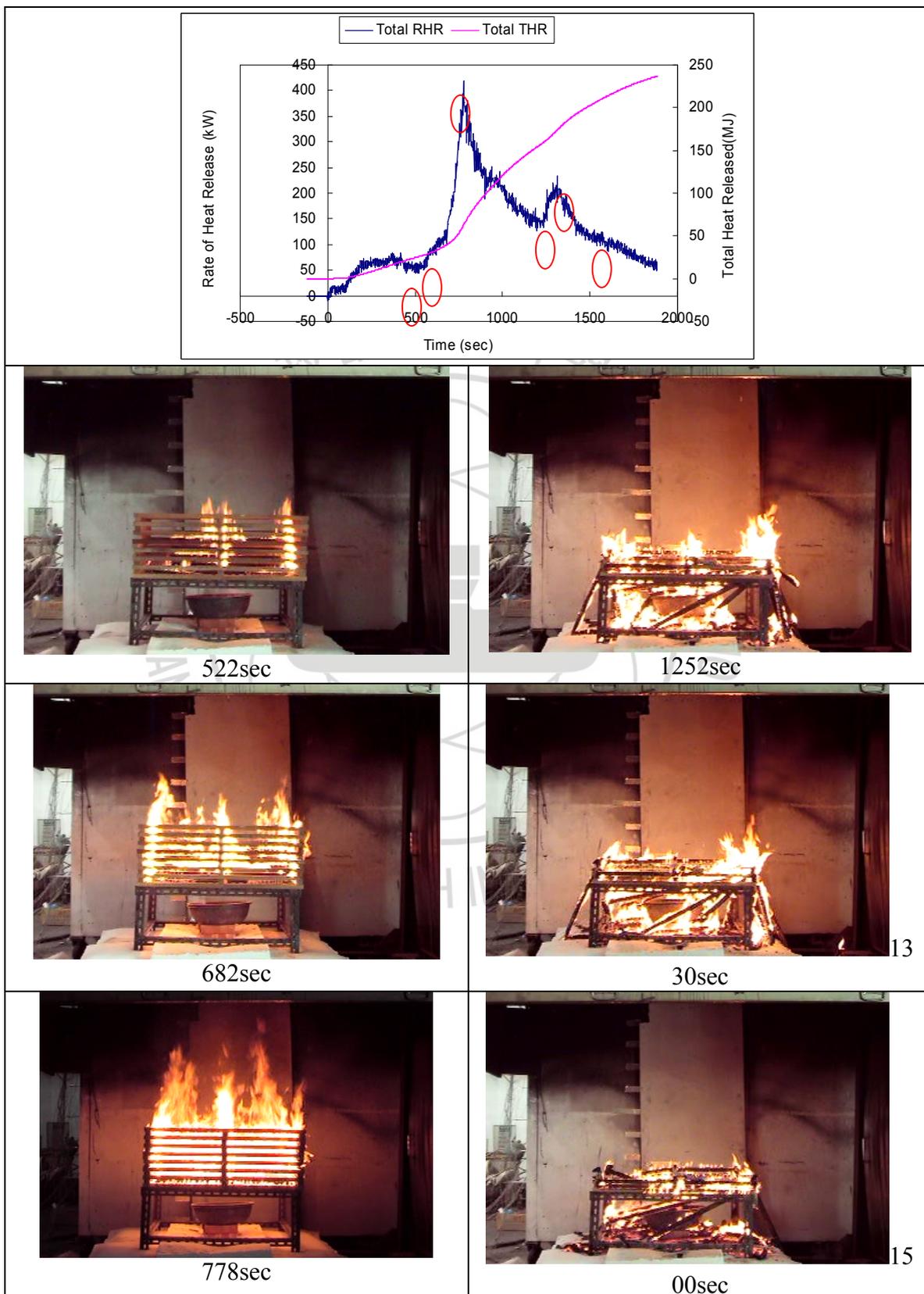
完成火源設定之測試後，即進行 ISO9705 煙罩下的木堆熱釋放率模擬，模擬對象為蘇鴻奇（2007）研究中的實驗案例，該實驗條件為 45 支經烘乾木條，以一層 3 支，堆疊 15 層的方式擺放，木堆中央正下方為前述酒精膏火源，實驗配置如圖 3-3 所示，實驗歷程與過程照片則如

表 3-1 所示。



圖 3-3 木堆於煙罩下進行熱釋放率實驗配置（蘇鴻奇，2007）

表 3-1 實驗歷程與照片



由上

表 3-1 所示的實驗歷程，500 秒之前，基本上是屬於木堆引燃與延燒階段，酒精膏火源的火焰引燃底層之木條，引燃後的木條則向外側延燒，約 680 秒時，木條已延燒至最外側，此時基本上整堆木堆處於燃燒狀況，火勢迅速增大，約 780 秒時，火勢達到最大，之後由於木條中可燃物減少，使得熱釋放率持續變小，約 1250 秒時，木堆崩塌，此時木堆可燃表面積增大，因此火勢再次成長，約 1330 秒時達到高峰，之後便持續遞減，直到木堆火焰熄滅為止。

以下將使用上述實驗作為模擬目標，建立 FDS 模型，模型模擬空間為 3m×3m×3m 的空間，上方為 2.5m³/s 的抽氣設備，四周為開放的邊界條件，地板為 INERT。木堆置於正中央，木堆模擬排列方式與實驗相同，火源使用酒精膏火源，置於木堆正下方，格點大小為 5cm 一格，共 216000 個格點，建好之模型，如圖 3-4 所示。

Smokeview 5.0.7 - Dec 30 2007

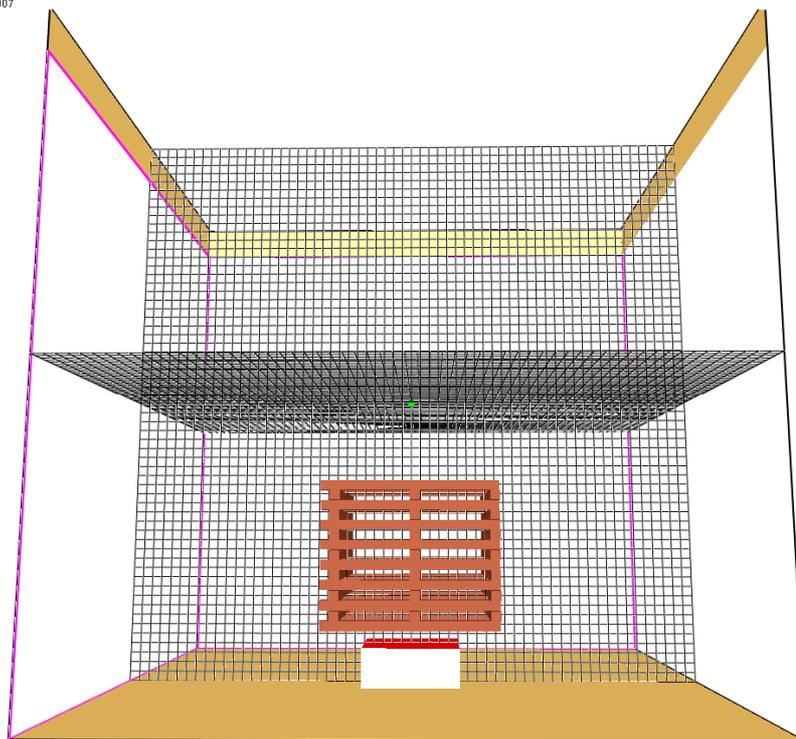


圖 3-4 FDS 木堆開放空間燃燒模型

所建立好之 FDS 模型，使用反應參數以及材料性質取自 FDS5 手冊中，第 18 章驗證中之木頭反應項 (WOOD) 以及杉木 (SPRUCE) 材料性質開始模擬。性質列表如表 3-2 所示。主要參數為 REAC，以 wood 的反應性質來代表整體化學反應，木條材質為 SPRUCE，主要由 SPRUCE_VIRGIN 以及 water 組成。而 SPRUCE_VIRGIN 於燃燒時，則會產生可燃氣以及 SPRUCE_CHAR。下表所列反白部分為後續模擬將調整並探討之參數。

表 3-2 FDS 木堆模擬所用重要參數列表

<pre> &REAC ID='WOOD', C=3.40, H=6.20, O=2.50, N=0.00, IDEAL=.TRUE., EPUMO2=1.1020000E004, CO_YIELD=4.3565517E-003, MASS_EXTINCTION_COEFFICIENT=7.6000000E003/ </pre>
<pre> &SURF ID='SPRUCE', RGB=128,51,26, TEXTURE_MAP='psm_spruce.jpg', TEXTURE_WIDTH=0.67, TEXTURE_HEIGHT=2.44, BURN_AWAY=.TRUE., BACKING='EXPOSED', MATL_ID(1,1:2)='SPRUCE_VIRGIN','Water', MATL_MASS_FRACTION(1,1:2)=0.99,0.0100, THICKNESS(1)=0.050 MASS_FLUX(1)=0.012/ </pre>
<pre> &MATL ID='SPRUCE_VIRGIN', DENSITY=450.00, N_REACTIONS=1, HEAT_OF_REACTION=400.00, RESIDUE='SPRUCE_CHAR', REFERENCE_TEMPERATURE=320.00 THRESHOLD_TEMPERATURE=320.00, CONDUCTIVITY=0.20 SPECIFIC_HEAT=1.3 NU_FUEL=0.2000, NU_RESIDUE=0.50, N_T=0.50, N_S=1.00 / SPECIFIC_HEAT_RAMP='SPRUCE_VIRGIN_SPECIFIC_HEAT_RAMP', CONDUCTIVITY_RAMP='SPRUCE_VIRGIN_CONDUCTIVITY_RAMP', REFERENCE_RATE=0.71, RAMP ID='SPRUCE_VIRGIN_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=20.00, F=1.20/ RAMP ID='SPRUCE_VIRGIN_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=500.00, F=3.00/ </pre>

<pre>RAMP ID='SPRUCE_VIRGIN_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.00, F=0.1300/ RAMP ID='SPRUCE_VIRGIN_CONDUCTIVITY_RAMP', T=500.00, F=0.2900/</pre>
<pre>&MATL ID='SPRUCE_CHAR', DENSITY=150.00, EMISSIVITY=1.00 CONDUCTIVITY=0.12 SPECIFIC_HEAT=1.5/ SPECIFIC_HEAT_RAMP='SPRUCE_CHAR_SPECIFIC_HEAT_RAMP', CONDUCTIVITY_RAMP='SPRUCE_CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP', RAMP ID='SPRUCE_CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.00, F=0.0770/ RAMP ID='SPRUCE_CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP', T=900.00, F=0.1600/ RAMP ID='SPRUCE_CHAR_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=20.00, F=0.68/ RAMP ID='SPRUCE_CHAR_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=400.00, F=1.50/ RAMP ID='SPRUCE_CHAR_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=900.00, F=1.80/</pre>
<pre>&MATL ID='Water', SPECIFIC_HEAT=4.19, CONDUCTIVITY=0.60, DENSITY=1.0000000E003, EMISSIVITY=1.00, N_REACTIONS=1, HEAT_OF_REACTION=2.2600000E003, NU_WATER=1.00, N_T=1.00, THRESHOLD_TEMPERATURE=100.00, N_S=1.00, A=1.0000000E020, E=1.6200000E005/</pre>

3. 模擬參數調整與結果

本研究首先建立一木堆於煙罩（抽氣口）下受酒精膏火源引燃之 FDS 模型進行模擬，並與實際實驗結果比對，進而從比對結果來修正材料參數，期望能透過這種利用實驗來修正模擬過之材料參數，能夠進一步應用於不同幾何與空間狀況下進行預測。

目前研究中 FDS 材料參數之修改歷程如圖 3-5 所示。test1 與 test2 為使用 FDS5 內建之材料性質，與實際實驗結果差距甚遠，因此後續不予考慮。test3 開始，使用之材料性質為 VTT 研究單位 Jukka (2004) 等人利用 FDS 進行模擬與實驗比對的研究報告中節錄（表 3-2）。之後的模擬歷程，主要是針對模擬與實驗結果間的差異，試圖修改特定參數來使 FDS 模擬所得之熱釋放率曲線能夠接近實驗值。

由圖 3-6 可知，在 test10 之前所調整的參數，對於熱釋放率曲線的影響程度不大，一直到調整 mass_flux 之後才有明顯之效果，在這個過程中，調整過 reference_rate、熱性質 (conductivity 與 specific_heat) 的反應熱 (heat_of_reaction) 等設定，所得到之熱釋放率曲線，與實驗值有明顯的不同，即在一開始就達到最大熱釋放率，並維持一個熱釋放率高峰的平臺，之後便熄滅。在將 mass_flux 這個參數刪除後，木堆便無法被引燃 (test9)，影響程度

明顯，因此從 test10 開始，便嘗試調整 mass_flux 此一參數，來設法使熱釋放率曲線能夠與實驗值更接近。

持續測試之後發現，mass_flux 與熱釋放率最高值以及熱釋放率成長階段的斜率有明顯的關係，熱釋放率最高值熱釋放率成長階段的斜率會隨著 mass_flux 值的降低而隨著降低，當 mass_flux=0.0033 (test17) 時，熱釋放率成長曲線與實驗值較接近，由圖 3-7 所示，但 FDS 模擬出的熱釋放率曲線顯示木堆分成兩階段燃燒，第一階段為 0~750 秒，此段結果與實驗結果相當接近，但是 750 秒之後，FDS 模擬之木堆演變成側向延燒，因此熱釋放率維持在 300kW 約 350 秒左右，於 1100 秒又再次升高，形成第二階段的燃燒，此種兩階段的燃燒現象，在實驗上並不明顯。實驗上所量測到的曲線，雖然也是有兩個階段，但是第二階段的燃燒，主要是因為木堆倒塌，造成燃燒面積改變所致。

由於調整 mass_flux 僅能夠使熱釋放率成長期的曲線接近實驗所量測到的，因此 test18-1~test18-7 嘗試在固定 mass_flux 為 0.0033 的狀況下，改變其他參數，觀察是否可以讓 FDS 模擬結果能更貼近實驗的狀況。因此 test18-1~test18-7 調整了 thickness、nu_residual、threshold_temp、density 與反應項的 EPUMO2 等參數。

圖 3-8 為模擬的熱釋放率曲線變化圖。由圖可之，當 thickness 由原本 0.05 (test18) 改成 0.025 (test18-1) 時 (實驗用木條厚度)，熱釋放率成長曲線基本上與未改之前相近，但是達到火勢全盛期之後就立刻下降，並沒有熱釋放率平台的現象。在嘗試修改燃燒物轉換成灰份 (char) 的比例參數 nu_residual 這個參數時 (test18-2 與 test18-5) 發現，nu_residual 的增加，會使得延燒成長點延後，此時熱釋放率成長段的曲線與實驗值較為接近，但後期的第二段火勢成長，還是與實驗現象差距甚大。

Test18-3 則是修改 threshold_temp，此參數控制化學反應開始的臨界溫度，將此參數從 360°C 降低到 280°C，可以很明顯看到木堆燃燒時間提前，若把此參數調高至 440°C (test18-4) 則木堆無法被引燃。

由於 test18-5 僅在火勢成長階段與實驗值接近，後段的變化則與實驗值差距甚大，因此基於 test18-5，嘗試修改反應向中的 EPUMO2 值，將其由 11020 改至 8000 (test18-6)，期望能夠將第二段的火勢成長降低，結果反而加速火勢成長不如預期。於是嘗試修改木堆性質的 density，由 450→500 (test18-7)，期望能透過較高的密度，使得延燒減緩，結果如預期，火勢成長延後，但是還是依舊出現第二段的火勢成長。

截至目前為止，的參數調整研究發現，mass_flux、threshold_temperature、density 與 EPUMO2 等，對於木堆於煙罩下燃燒的模擬均有影響，但調整這些參數依舊無法使 FDS 模擬結果能完全符合實驗值，僅能在火勢成長階段可以接近實驗結果，並無法模擬整個燃燒歷程，原因還待後續研究期程再行探究。

以 FDS 模擬局限空間火災與實驗檢證之研究

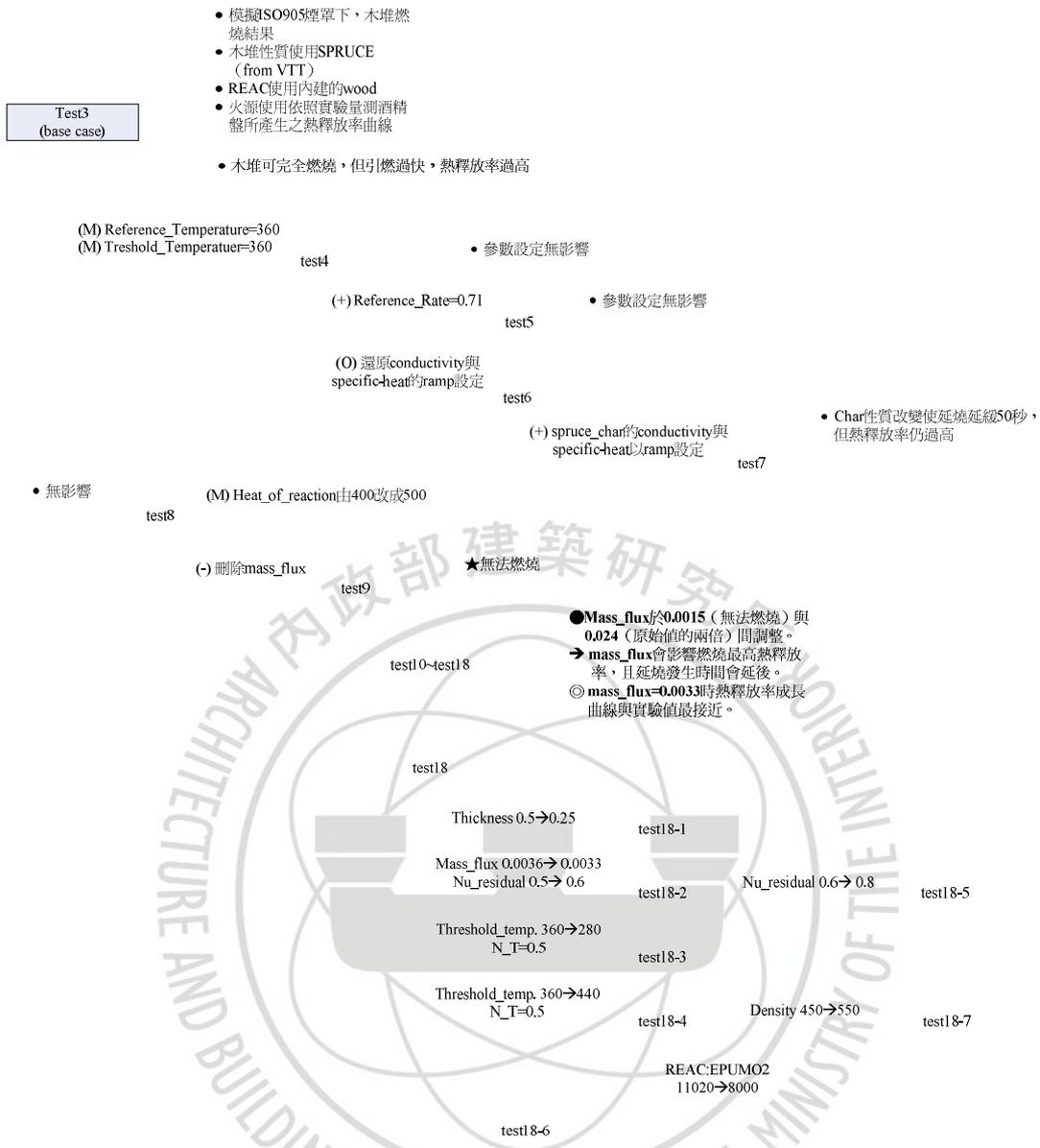


圖 3-5 FDS 模擬參數修改歷程

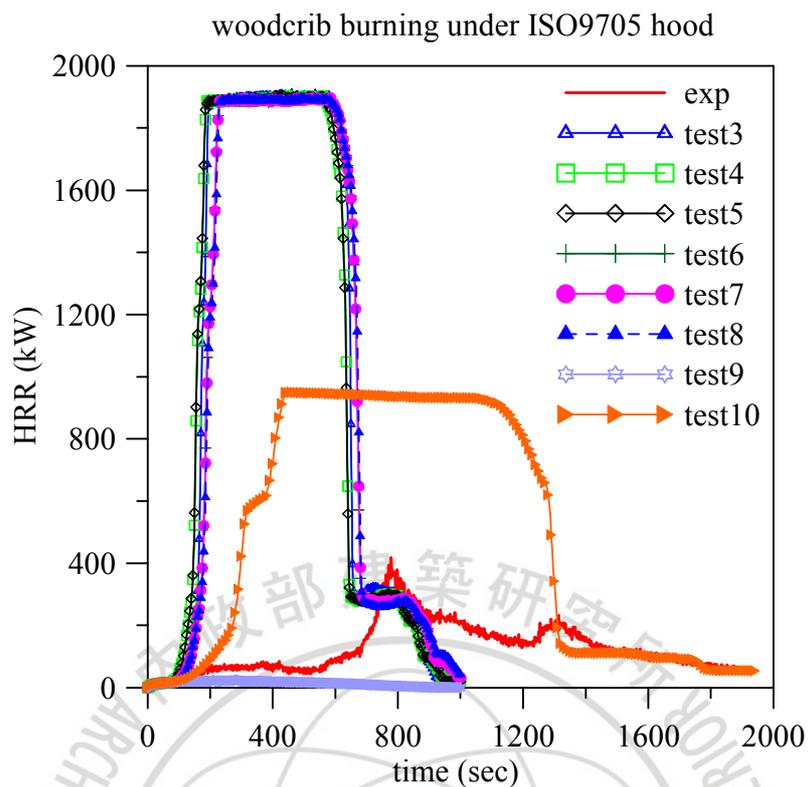


圖 3-6 test3~test10 木堆燃燒模擬與實驗熱釋放率歷程比較圖

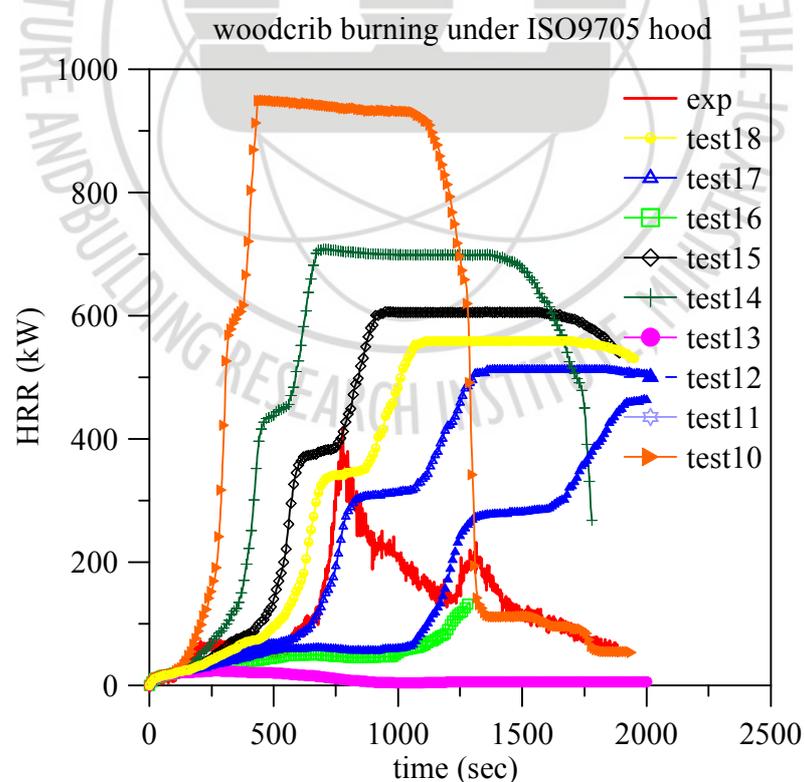


圖 3-7 test10~test18 木堆燃燒模擬與實驗熱釋放率歷程比較圖

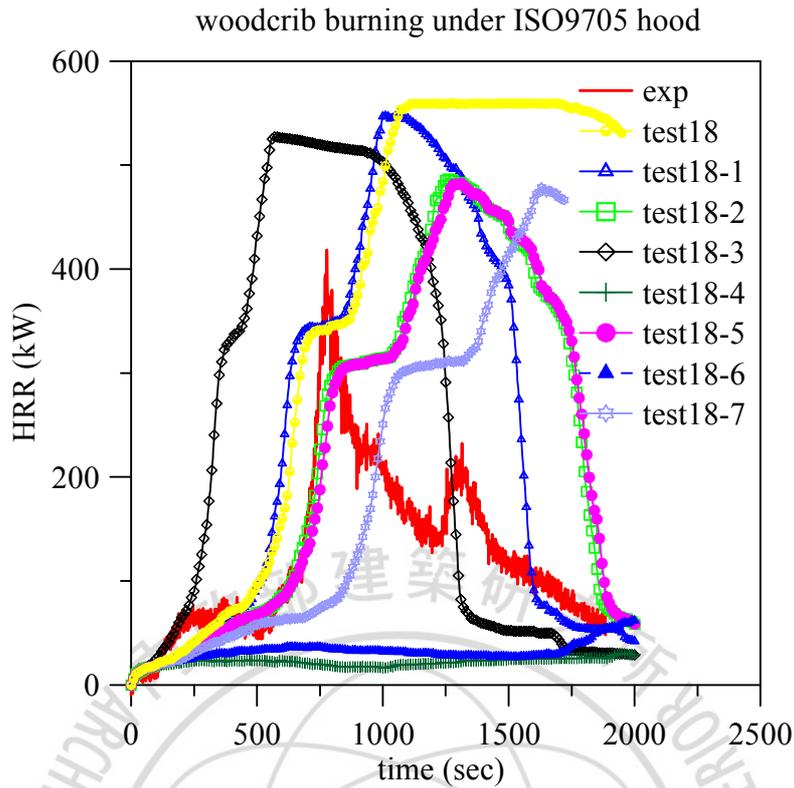


圖 3-8 test18-1~test18-7 木堆燃燒模擬與實驗熱釋放率歷程比較

由以上的模擬結果，可知 test18-5 所設定的參數性質能所模擬所得熱釋放率成長曲線與實驗量測值最接近。因此，嘗試改變木條的堆疊方式，改以一層 9 支，共 5 層的擺放方式，執行 FDS 模擬，並與實驗量測值比對。模擬比對結果如圖 3-9 所示，可發現，在前述的木堆擺放下（一層 3 支，15 層），FDS 經由參數調整可以使模擬結果的熱釋放率成長階段與實驗值接近，但是同樣的材料參數套用於不同的擺放方式時，卻明顯無法模擬預測。因此以目前的案例而言，小空間，可燃物聚集的狀況下，FDS 模擬燃燒現象除了受到材料性質影響之外，可燃物幾何性質也可能是影響重點之一，因此 FDS 在此種狀況下的預測能力仍須加以探討。

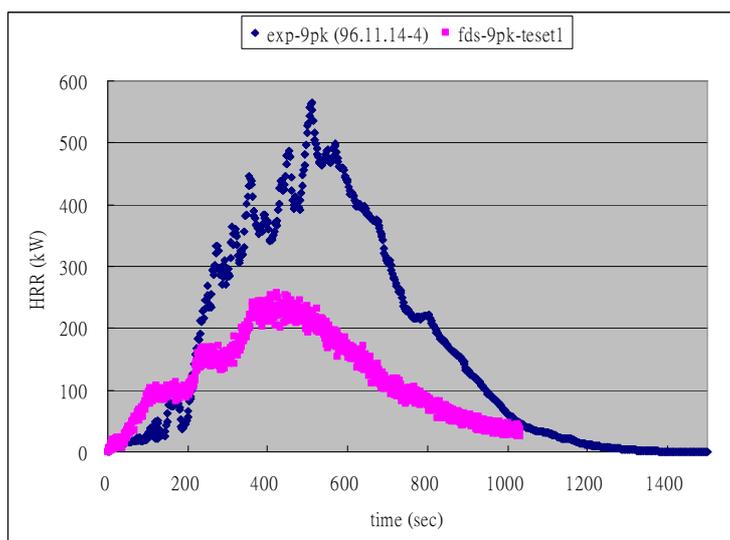


圖 3-9 一層 9 支，45 支木條於煙罩下燃燒實驗與 FDS 模擬比對

4. 模擬參數影響性分析

前述主要以試誤法探討參數之影響性，較無法掌握及瞭解各參數對於模擬結果之影響程度，為進一步深入探討，以下參考 Chris(2006)提出火災模擬必要之材料參數，在無碳化過程之材料之熱傳導係數(k_v)、比熱(c_v)、阿瑞尼士方程式前指數係數(Z : pre-exponential)、活化能(E_A)及裂解熱(ΔH_p)，具碳化性材料則須碳化層之熱傳導係數(k_c)、比熱(c_c)及密度(ρ_c)。

本研究模擬為木堆燃燒，其材料為木材是具碳化特性之材料，因有 8 項參數，此 8 項參數將以田口式品質設計的實驗設計法(李輝煌，2003)之直交表配置進行模擬，模擬結果以函數分析法計算模擬結果與試驗數據值之差異與兩曲線之形狀相似性，最後以田口方法之望目特性分析各參數對模擬結果與試驗符合性之影響程度及組合，再據以最佳組合進行模擬確認並掌握各參數之影響程度，作為後續研究參考。

(1) 參數配置與模擬

模擬變化之參數有 8 項，由田口方法之直交表中可配滿(飽和直交表實驗)8 個因子，且各因子效應與交互作用混淆程度比其他飽和直交表實驗小，也是最被田口博士推薦使用之直交表，為 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 如表 3-3，以此直交表則只須進行 18 次之模擬，延續前述模擬模型，以 FDS 使用受冊對網格之建議參考評估公式

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty C_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \text{ 及所提建議 } \frac{D^*}{dx} \text{ 在 4 至 16 之間，計算得到最粗網格可設 10}$$

cm 進行模擬，可較快獲得參數影響性。

8 項參數數值可參考 ASTM E1546-07 測得，但其中 ASTM E1546-07 5.16.1.3 提到當 Arrhenius 形式首先只是一個近似值時，找到動力的參數 Z (前指數係數)， n (反應級數)及 E (活化能)是相當困難的，本研究將不作此方面材料參數之測試，先就 NIST FDS5.2 版第 21.2.2 A Charring Solid (charring_solid) 模型及文獻 Chris 之材料參數數值，引為各參數範圍如表 3-4，由於所選用之直交表第 1 行為 2 因子，比較兩項資料所列數值中碳化層之熱傳導係數(k_c)，分別為 0.08 及 0.1(W/mk)，其差異最小，故將此參數以此 2 值作為因子，其於參數以兩項資

料數值為其範圍，再取其中間值形成 3 因子予以配置如表 3-5，基本模型如表 3-6，另由先前模擬發現 SURF ID 之參數 mass_flux 其作用具強制材料以固定之質量釋放產生燃燒反應，因此於成長至旺盛期時會有一平台產生，與實際木材燃燒不同，探討此參數應是使用於液態或氣態燃料(如汽油或固定流量之可燃氣)之燃燒情形，因此後續之模擬將捨棄此參數。

表 3-3 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

表 3-4 參數引用值

Property	NIST FDS5.2	Chris(2006)
k_v (w/mK)	0.15	0.2
c_v (kJ/kgK)	2.3	1.5
Z (m/s)	2.8E+19	8.3E+7
E_A (kJ/kmol)	2.424E+5	1.63E+5
ΔH_p (kJ/kg)	0	1000
k_c (w/mK)	0.08	0.10
c_c (kJ/kgK)	1.1	1.0
ρ_c (kg/m ³)	140	100

表 3-5 控制因子及水準表

因子符號	說明	水準一	水準二	水準三
A	k_c (w/mK)	0.08	0.10	---
B	k_v (w/mK)	0.15	0.175	0.2
C	c_v (kJ/kgK)	1.5	1.9	2.3
D	Z (m/s)	8.3E+7	1.40E+19	2.8E+19
E	E_A (kJ/kmol)	1.63E+5	2.03E+5	2.424E+5
F	ΔH_D (kJ/kg)	0	500	1000
G	c_c (kJ/kgK)	1.0	1.05	1.1
H	ρ_c (kg/m ³)	100	120	140

表 3-6 FDS 模擬模型

<pre> &REAC ID=' WOOD' C=3.40 H=6.20 O=2.50 N=0.00 IDEAL=.TRUE. EPUM02=1.1020000E004 CO_YIELD=4.3565517E-003 MASS_EXTINCTION_COEFFICIENT=7.6000000E003/ </pre>
<pre> &SURF ID=' SPRUCE' RGB=128,51,26 STRETCH_FACTOR=0.5 TEXTURE_MAP=' psm_spruce.jpg' TEXTURE_WIDTH=0.67 TEXTURE_HEIGHT=2.44 BURN_AWAY=.TRUE. MATL_ID(1,1:2) = ' CELLULOSE', ' WATER' MATL_MASS_FRACTION(1,1:2) = 0.80,0.20 BACKING= ' EXPOSED' THICKNESS(1) = 0.025/ </pre>
<pre> &MATL ID = ' CELLULOSE' SPECIFIC_HEAT = 1.5 CONDUCTIVITY_RAMP=' CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP' DENSITY = 400. N_REACTIONS = 1 A = 8.3E7 E = 1.63E5 HEAT_OF_REACTION =0.00 REFERENCE_TEMPERATURE=235.00 THRESHOLD_TEMPERATURE=235.00 </pre>

<pre> NU_RESIDUE =1.0 NU_FUEL=0.2000 RESIDUE = 'ACTIVE' / &RAMP ID='CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.00, F=0.150/ &RAMP ID='CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=500.00, F=0.2900/ </pre>
<pre> &MATL ID = 'ACTIVE' EMISSION = 1.0 SPECIFIC_HEAT = 1.5 CONDUCTIVITY_RAMP='ACTIVE_CONDUCTIVITY_RAMP' DENSITY = 400. N_REACTIONS = 2 A(1:2) = 1.3E10, 3.23E14 E(1:2) = 1.505E5, 1.965E5 N_T=0.50 N_S=1.0 HEAT_OF_REACTION(1:2) = 418., 418. NU_RESIDUE(1:2) = 0.20, 0.0 NU_FUEL(1:2)= 0.80, 1.0 RESIDUE(1) = 'CHAR' / &RAMP ID='ACTIVE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.00, F=0.150/ &RAMP ID='ACTIVE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=500.00, F=0.2900/ </pre>
<pre> &MATL ID = 'WATER' EMISSION = 1.0 DENSITY = 1000. CONDUCTIVITY = 0.6 SPECIFIC_HEAT = 4.19 N_REACTIONS = 1 A = 1E20 E = 1.62E+05 NU_WATER = 1.0 HEAT_OF_REACTION = 2260. / </pre>
<pre> &MATL ID = 'CHAR' EMISSION = 1.0 DENSITY = 100. SPECIFIC_HEAT = 1.0 CONDUCTIVITY_RAMP='CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP' / &RAMP ID='CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.00, F=0.080/ &RAMP ID='CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP', T=900.00, F=0.2500/ </pre>

(2) 模擬結果之函數分析

火災試驗，特別是大尺度試驗，常是單次試驗或重複次數很少，難以進行統計分析，不過火災試驗常能表示成時間變化曲線，進行誤差分析時可取某或某些特定点進行定量分析，但對整條曲線的分析通常難以定量進行(鄒高萬，2007)。

為了定量分析模擬預測結果與試驗結果相符合程度，Richard(1999)以函數

分析法用於火災模擬結果之誤差分析，因試驗或模擬結果可以時間變化曲線表示，時間變化曲線是由 n 個數據點連接而成，每一結果曲線可被視為一個單一的 n 維向量，兩向量間之距離稱為 norm，用於描述兩曲線間規範化以後的相對誤差或值在量級上之差異；兩向量夾角之餘弦(cosin)，用於描述兩曲線形狀的相似程度，當試驗曲線與模擬曲線對應數據點之值大小相當時，norm 值趨近於 0，當兩曲線之形狀相似時，餘弦趨近於 1，norm 及餘弦之計算式分別如下：

$$\frac{\|E-m\|}{\|E\|} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - m_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i)^2}} \quad (1)$$

$$\frac{\langle E, m \rangle}{\|E\| \|m\|} = \frac{\sum_{i=2}^n \frac{(E_i - E_{i-s})(m_i - m_{i-s})}{s^2(t_i - t_{i-1})}}{\sqrt{\sum_{i=2}^n \frac{(E_i - E_{i-s})^2}{s^2(t_i - t_{i-1})} \sum_{i=2}^n \frac{(m_i - m_{i-1})^2}{s^2(t_i - t_{i-1})}}} \quad (2)$$

式中，下標 i 表示第 i 個時間增量； s 表示所分析之時間間隔內所包含的數據點個數。

模擬結果如圖 3-10 所示，由圖已知每一模擬結果曲線與實驗相差甚巨，以函數分析結果如表 3-7，以兩向量間之距離 norm 值，以 EXP1、4、9、11、15、17 之值 0.98 似乎較接近 0，此一原因在於實驗值不大，而該 6 次之模擬結果是木堆未被引燃之結果，相較於被引燃而較接近於實驗結果，因此其結果並不能被接受，如並同兩曲線之形狀餘弦比較結果，並無任何模擬結果具有與實驗結果相似性。

以變異分析(ANOVA)，兩向量間之距離 norm 值分析結果如表 3-8，整體而言結果並不具重要性(significant)，由個別參數分析，僅阿瑞尼士方程式前指數係數(Z : pre-exponential)是有其重要性，而且影響模擬過程中材料是否被引燃，顯示出為影響模擬結果最重要之參數；兩曲線之形狀餘弦比較分析結果(如表 3-9)更不具重要性，但由個別參數分析仍顯現以阿瑞尼士方程式前指數係數最重要。

由變異分析結果，後續模擬以火源可引燃為模擬考量，因此以變化阿瑞尼士方程式前指數係數，另為減少模擬時間，網格設 10 cm，並參考 Clancy(2002)所表示木材之熱傳導及比熱隨溫度變化如圖 3-11、圖 3-12，設定材料參數之熱傳導與比熱，其材料參數設定如表 3-10，經多次模擬結果僅能得到圖 3-13 之結果較趨近實驗結果，但仍差距甚多，探討原因在於實驗受到複雜的材料化學變化影響，模擬所用之計算式基本上是統計歸納出之經驗公式，單一次實驗結果與經驗公式相符機率有限，由蔡銘儒、謝煒東(2006)之研究在相同條件下進行 10 次實驗，其結果並無完全相同之結果，由於在開放空間下所作之實驗資料大多為單次實驗，因此執著於模擬出符合單次實驗結果並不具意義，因此後續之模擬將逕行依據蔡銘儒、謝煒東(2006)於 ISO 9705 標準實驗房間內多次實驗之研究，以模擬結果落於多數實驗結果範圍內之結果為基礎，再行後續之研究。

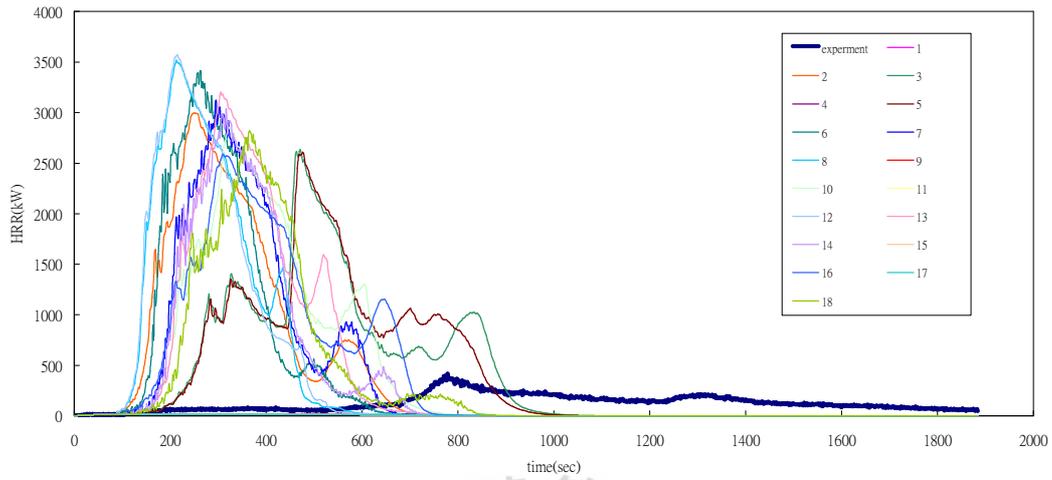


圖 3-10 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 模擬結果

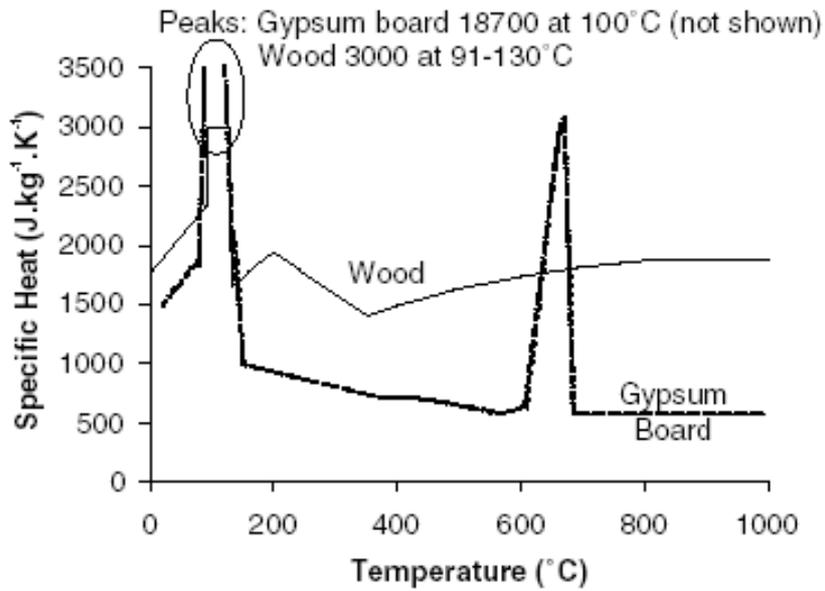


圖 3-11 木材比熱與溫度關係(Clancy, 2002)

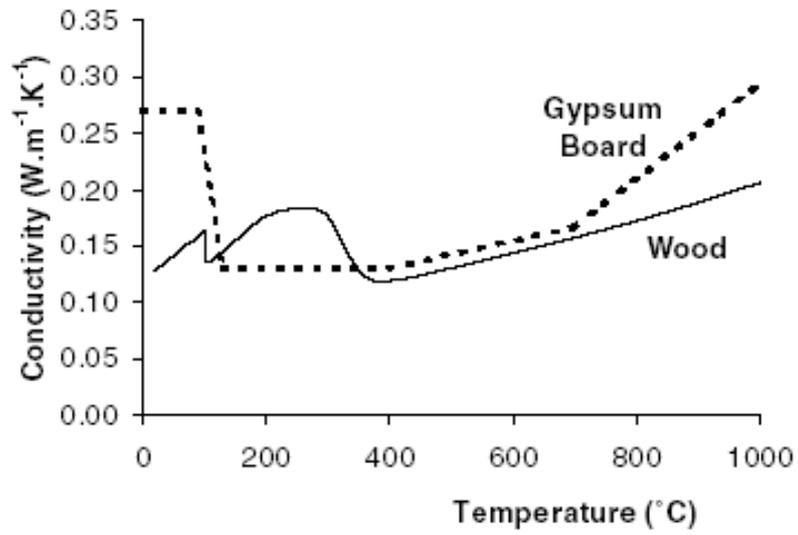


圖 3-12 木材熱傳導係數與溫度關係(Clancy, 2002)

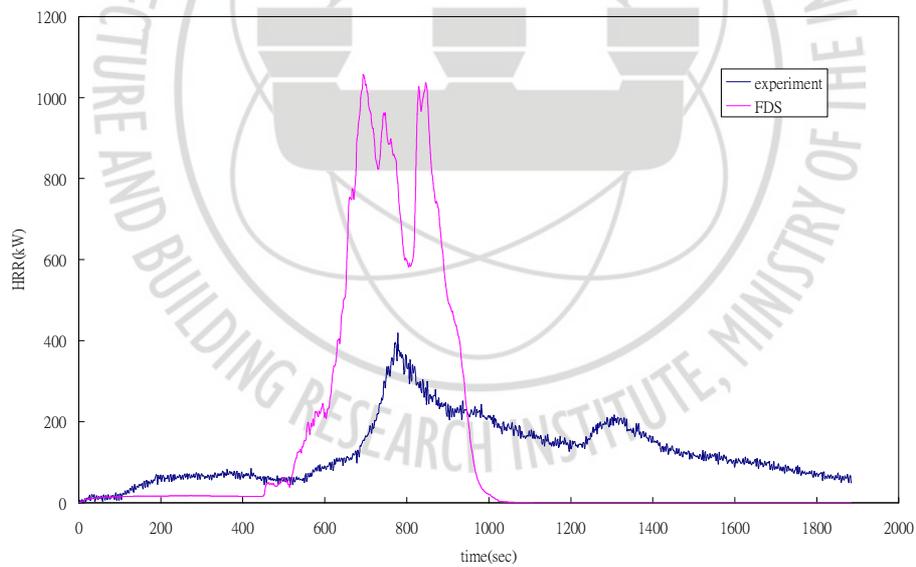


圖 3-13 參數變化模擬結果

表 3-7 函數分析結果

Exp.	A	B	C	D	E	F	G	H	norm	cosin
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.98	0
2	1	1	2	2	2	2	2	2	5.71	0
3	1	1	3	3	3	3	3	3	4.48	-0.01
4	1	2	1	1	2	2	3	3	0.98	0
5	1	2	2	2	3	3	1	1	4.55	0
6	1	2	3	3	1	1	2	2	6.07	0
7	1	3	1	2	1	3	2	3	5.71	0
8	1	3	2	3	2	1	3	1	6.47	-0.01
9	1	3	3	1	3	2	1	2	0.98	-0.01
10	2	1	1	3	3	2	2	1	5.52	-0.01
11	2	1	2	1	1	3	3	2	0.98	0
12	2	1	3	2	2	1	1	3	6.45	0
13	2	2	1	2	3	1	3	2	6.04	0.01
14	2	2	2	3	1	2	1	3	5.51	-0.03
15	2	2	3	1	2	3	2	1	0.98	0
16	2	3	1	3	2	3	1	2	5.23	-0.03
17	2	3	2	1	3	1	2	3	0.98	0
18	2	3	3	2	1	2	3	1	5.13	-0.01

表 3-8 norm 值 ANOVA 分析

ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	87.82217	15	5.854811	9.921074	0.0953	not significant
A-A	0.044006	1	0.044006	0.074568	0.8104	
B-B	0.015633	2	0.007817	0.013245	0.9869	
C-C	0.012033	2	0.006017	0.010195	0.9899	
D-D	84.37223	2	42.18612	71.48506	0.0138	
E-E	0.8953	2	0.44765	0.75855	0.5687	
F-F	2.177733	2	1.088867	1.845102	0.3515	
G-G	0.141633	2	0.070817	0.12	0.8929	
H-H	0.1636	2	0.0818	0.138611	0.8783	
Residual	1.180278	2	0.590139			
Cor Total	89.00245	17				

The Model F-value of 9.92 implies there is a 9.53% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

In this case D are significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

表 3-9 餘弦值 ANOVA 分析

ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0.0018	15	0.00012	5.4	0.1672	not significant
A-A	8.89E-05	1	8.89E-05	4	0.1835	
B-B	0.000178	2	8.89E-05	4	0.2000	
C-C	1.11E-05	2	5.56E-06	0.25	0.8000	
D-D	0.000811	2	0.000406	18.25	0.0519	
E-E	4.44E-05	2	2.22E-05	1	0.5000	
F-F	0.000311	2	0.000156	7	0.1250	
G-G	0.000344	2	0.000172	7.75	0.1143	
H-H	1.11E-05	2	5.56E-06	0.25	0.8000	
Residual	4.44E-05	2	2.22E-05			
Cor Total	0.001844	17				

The "Model F-value" of 5.40 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 16.72 % chance that a "Model F-value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

In this case there are no significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

表 3-10 變化材料參數項目

&MESH IJK=30, 30, 30, XB=-1.5, 1.5, -1.5, 1.5, 0, 3 /
&REAC ID=' WOOD' C=3.40 H=6.20 O=2.50 N=0.00 IDEAL=. FALSE. EPUMO2=9.6020000E003 CO_YIELD=4.3565517E-003 MASS_EXTINCTION_COEFFICIENT=7.6000000E003/
&SURF ID=' SPRUCE' RGB=128, 51, 26 TEXTURE_MAP=' psm_spruce. jpg' TEXTURE_WIDTH=0.67 TEXTURE_HEIGHT=2.44 BURN_AWAY=. TRUE. MATL_ID(1, 1:2) = ' CELLULOSE', ' WATER' MATL_MASS_FRACTION(1, 1:2) = 0.80, 0.20 BACKING= ' EXPOSED' THICKNESS(1) = 0.03/
&MATL ID = ' CELLULOSE' SPECIFIC_HEAT_RAMP=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP' CONDUCTIVITY_RAMP=' CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP' DENSITY = 400. N_REACTIONS = 1 A = 5.0E20 E = 2.24E5 HEAT_OF_REACTION =0.00 REFERENCE_TEMPERATURE=235.00 THRESHOLD_TEMPERATURE=235.00 NU_RESIDUE =1.0 NU_FUEL=0.2000 RESIDUE = ' ACTIVE' /
&RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=20.00, F=1.00/ &RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=90.00, F=1.50/ &RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=91.00, F=1.60/ &RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=130.00, F=1.60/ &RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=131.00, F=1.0/ &RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=200.00, F=1.00/ &RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=375.00, F=0.80/ &RAMP ID=' CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.00, F=0.110/ &RAMP ID=' CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=235.00, F=0.150/

&RAMP ID=' CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=500.00, F=0.1200/	
&MATL ID	= ' ACTIVE'
EMISSION	= 1.0
SPECIFIC_HEAT_RAMP	= ' ACTIVE_SPECIFIC_HEAT_RAMP'
CONDUCTIVITY_RAMP	= ' ACTIVE_CONDUCTIVITY_RAMP'
DENSITY	= 400.
N_REACTIONS	= 2
A(1:2)	= 1.0E10, 1.23E13
E(1:2)	= 1.505E4, 1.65E4
N_T	= 0.50
N_S	= 1.0
HEAT_OF_REACTION(1:2)	= 418., 418.
NU_RESIDUE(1:2)	= 0.30, 0.0
NU_FUEL(1:2)	= 0.70, 1.0
RESIDUE(1)	= ' CHAR' /
&RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=20.00, F=1.00/	
&RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=90.00, F=1.50/	
&RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=91.00, F=1.60/	
&RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=130.00, F=1.60/	
&RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=131.00, F=1.0/	
&RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=200.00, F=1.00/	
&RAMP ID=' CELLULOSE_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=375.00, F=0.80/	
&RAMP ID=' CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.00, F=0.110/	
&RAMP ID=' CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=235.00, F=0.150/	
&RAMP ID=' CELLULOSE_CONDUCTIVITY_RAMP', T=500.00, F=0.1200/	
&MATL ID	= ' CHAR'
EMISSION	= 1.0
DENSITY	= 120.
SPECIFIC_HEAT_RAMP	= ' CHAR_SPECIFIC_HEAT_RAMP'
CONDUCTIVITY_RAMP	= ' CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP' /
&RAMP ID=' CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.00, F=0.080/	
&RAMP ID=' CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP', T=400.00, F=0.110/	
&RAMP ID=' CHAR_CONDUCTIVITY_RAMP', T=1000.00, F=0.1200/	
&RAMP ID=' CHAR_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=20.00, F=0.68/	
&RAMP ID=' CHAR_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=400.00, F=0.70/	
&RAMP ID=' CHAR_SPECIFIC_HEAT_RAMP', T=900.00, F=0.95/	

第三節 局限空間火災成長模擬驗證

經由材料參數探討與火源模擬驗證過程瞭解，阿瑞尼士方程式前指數係數影響性非常大，由於火源實驗上無足夠量化資料供模擬驗證，本節逕以蔡銘儒、謝煒東(2006)於 ISO 9705 標準實驗房間內多次實驗資料，進行本研究主題，在多次模擬後得到表 3-10 之材料參數設定，以此設定進行在 ISO 9705 標準房間內側角落單堆木堆(每層 3 支角材共 45 支)進行模擬，模擬結果如圖 3-14 在成長期間可符合常態實驗範圍內，燃燒盛期則高於實驗值，衰退期則與實驗值差異較大。

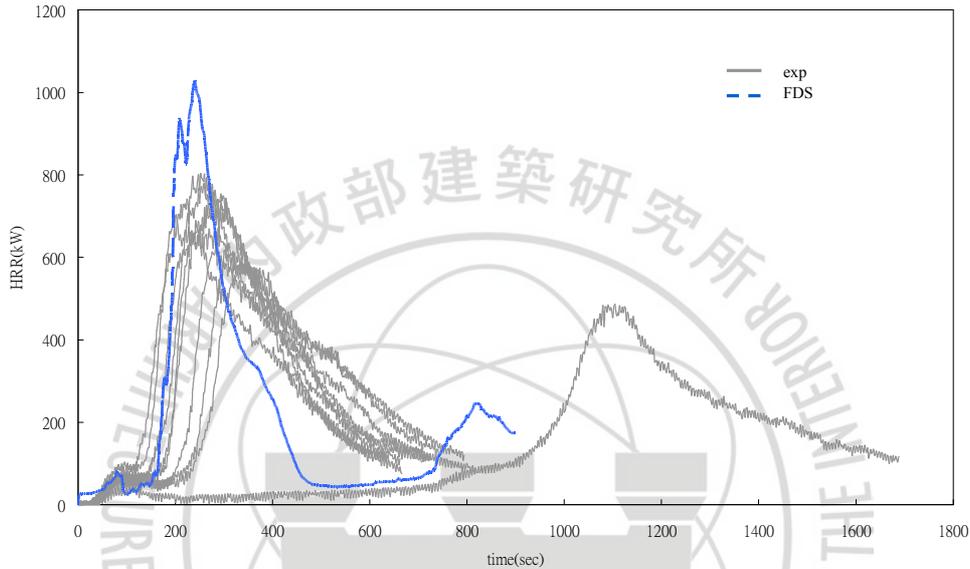


圖 3-14 每層 3 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對

將此材料參數用於 ISO 9705 標準房間內側角落單堆木堆(每層 9 支角材共 45 支)再進行模擬，模擬結果如圖 3-15，在完整燃燒過程可符合常態實驗範圍內。

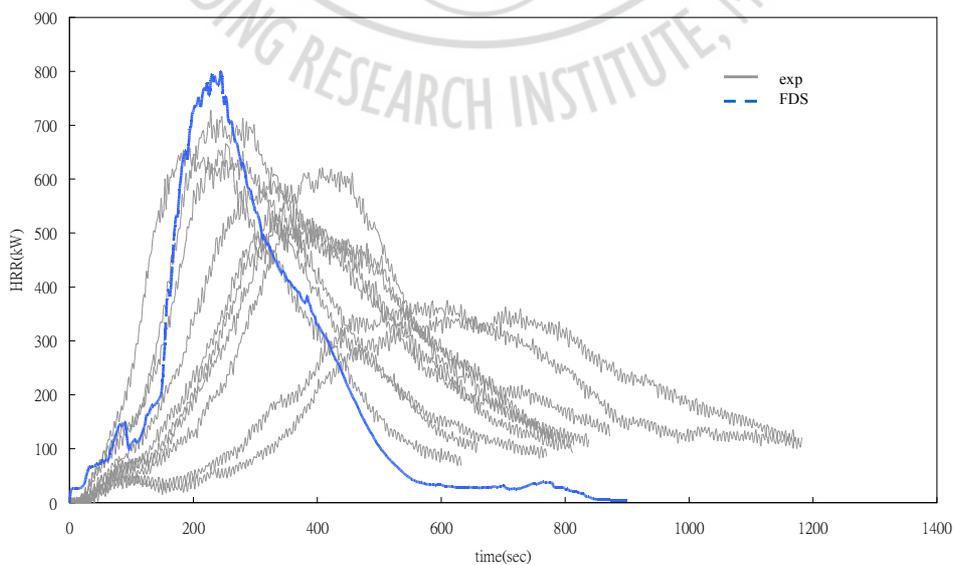


圖 3-15 每層 9 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對

為進一步驗證，再將此材料參數用於 ISO 9705 標準房間內側角落單堆木堆（每層 15 支角材共 45 支）再進行模擬，模擬結果如圖 3-16，則無法模擬完全引燃。

由以上模擬結果，固相燃燒部分在材料可實驗量測而得，將可確保模擬之可靠性，而非實驗量測可得項目如阿瑞尼士方程式前指數係數，則須有量化之實驗資料取得，且其適用條件必須進一步探討。

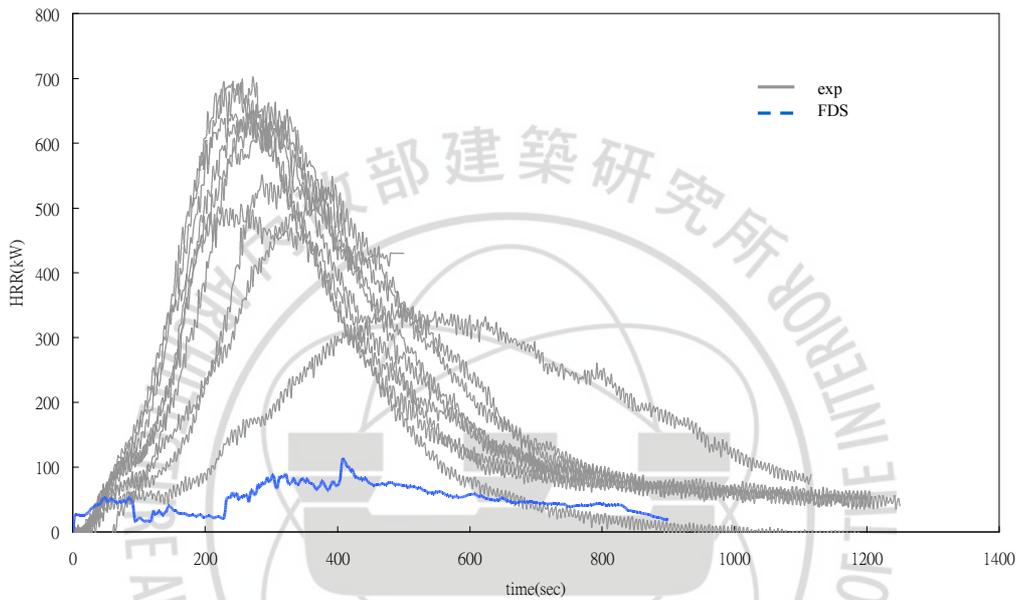


圖 3-16 每層 15 支木堆房間燃燒模擬與實驗比對

以上之模擬在實務上尚有差距，為能探討有實際壁裝情形，在模擬上之運用，再以林大惠(2007)進行壁裝於櫥櫃火災模擬實驗，如圖 3-17 模擬場景與壁裝條件。

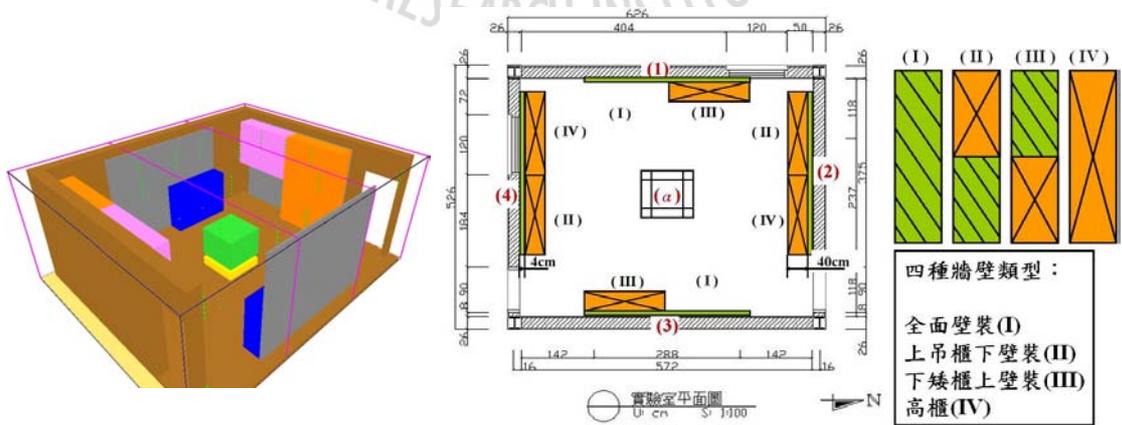


圖 3-17 模擬火災場景

材料參數設定仍以表 3-10 設定，但此部分之壁裝及木堆用角材由量測其密

度為 500kg/m^3 ，而櫥櫃用之合板設定為 700kg/m^3 ，模擬結果如圖 3-18，未能顯現出雙峰特性，在最大熱釋放率則有低估，但由總熱釋放比較如圖 3-19，由圖及函數分析 $\cos\theta=1$ ，其成長延燒過程是一致的，但總熱釋放則低估。

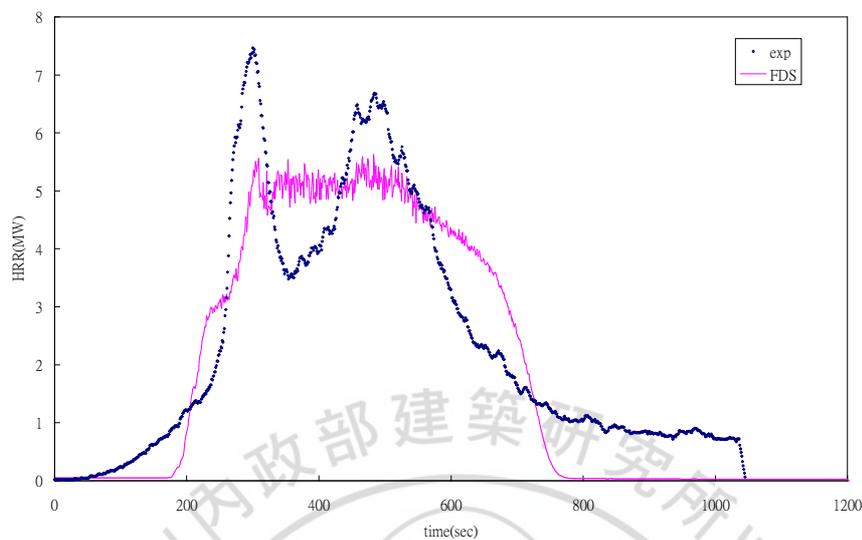


圖 3-18 全尺度火災模擬與實驗熱釋放率歷程比對

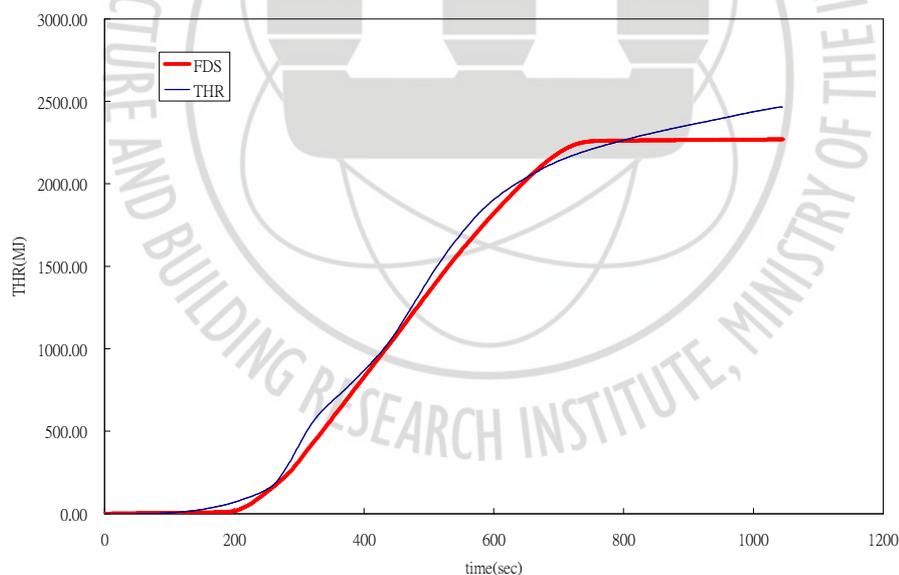


圖 3-19 全尺度火災模擬與實驗總熱釋放歷程比對

由本研究模擬驗證結果，以 FDS5 所新增功能進行固相燃燒模擬方面，其模擬在每層 9 支以下木角材之木堆於局限空間燃燒模擬，可符合常態燃燒範圍，不過在其材料參數方面，可經由實驗測得部分，如能建立實驗標準，再以實驗值設定，較能確保模擬之可靠性，至於非實驗可得部分，如能經由模擬及量化實驗比對建立其資料庫，將更有助於火災模擬之發展與應用。

第四章 火災對梁構件熱傳模擬驗證

火災一旦不幸發生，首重人員得以安全避難與逃出火災區，其次要能確保建築結構安全，以免危及整棟建築內非火災區避難人員以及救災人員之安全，因此火災過程中，火勢的成長過程、火災區內之熱流傳佈過程等之模擬、預估，將可提供防火設計時人員逃生避難指標，而火災區內之熱流傳佈之模擬過程資料之輸出，則可藉由火災-熱-結構分析軟體(Dat Duthinh, 2007)，進行結構安全分析與防火設計，本章將由火災室內火勢成長以 FDS 模擬與實驗比對，並參考 Ulf Wickstrom(2007)於 FORUM2007 年會中邀請會員參與之比對研究，所作專題報告實驗規劃，進行實驗以及火災-熱-結構模擬分析比對，本研究在火災成長與溫度傳佈模擬仍以 FDS 進行研擬與實驗比對驗證，再以 FDS 模擬輸出資料同步由 ABAQUS/Standard 有限元素數值模擬，同時進行構件在火災中熱傳對構件表面與內部溫度之傳遞分析比對，以作為日後構造防火設計參考。

第一節 實驗規劃

一、試體規格：

1. 箱型梁：
 - 1.1. 材質：SS41
 - 1.2. 規格：□ 300×300×12×6000 mm
2. I 型梁：
 - 2.1. 材質：SS41
 - 2.2. 規格：H300×150×10×18.5×6000 mm

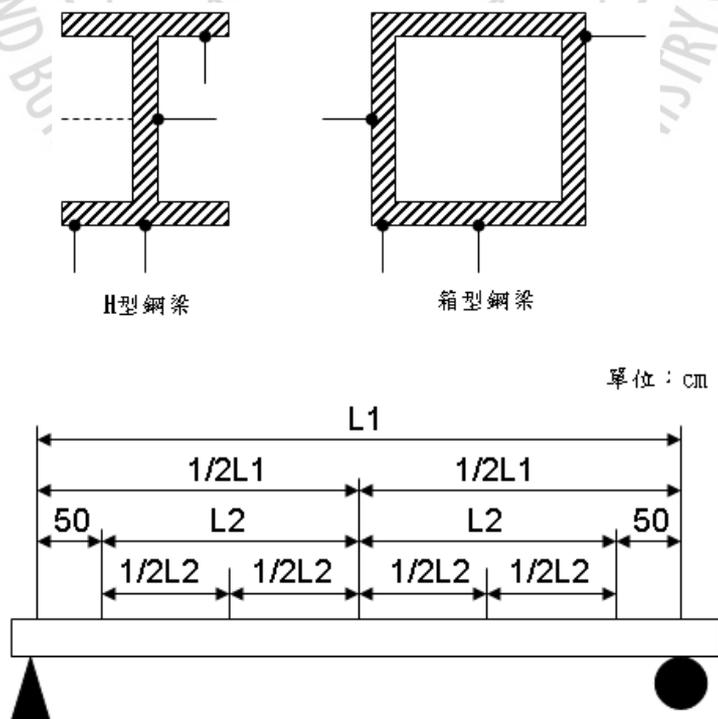


圖 4-1 鋼梁表面測溫點佈設[CNS 12514]

二、測溫點佈設：

1. 梁體面測溫點依 CNS 12514 以 K-TYPE 測溫線於每支試體三個斷面，每個斷面 4 點，共 12 點，如圖 4-2。

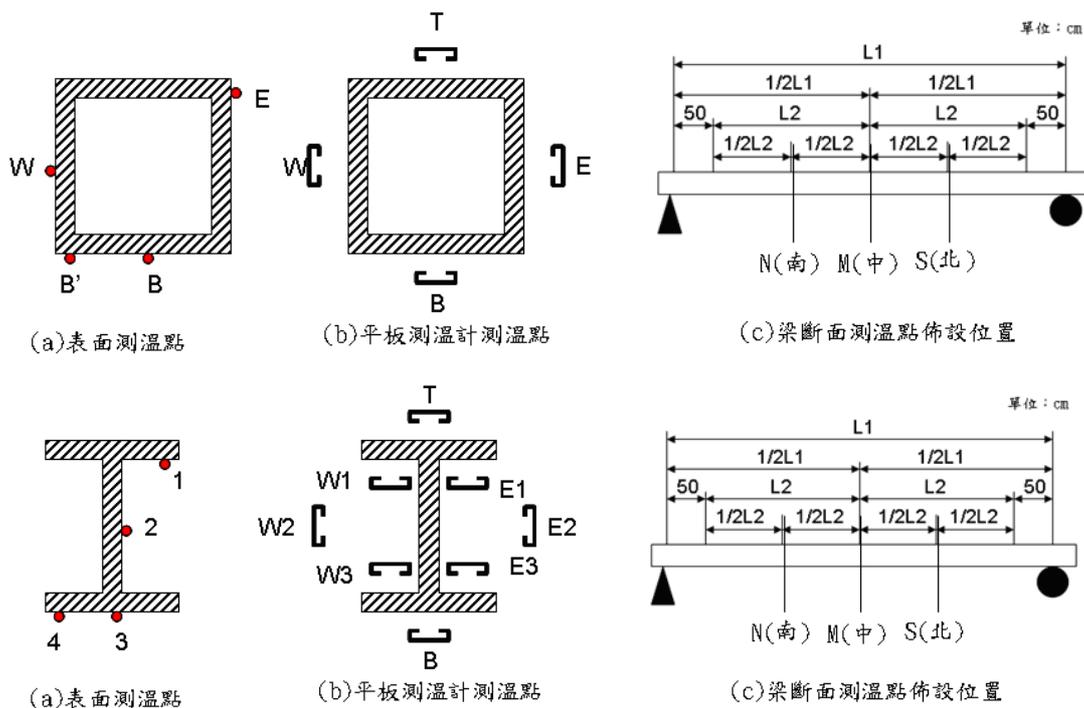


圖 4-2 梁構件測溫點配置

2. 平板測溫計：配置如圖 4-2(b)

- 2.1. 箱型梁：分為三個斷面，每個斷面 4 點，共 12 點。每一平板測溫板離試體表 100 mm，以不鏽鋼支承架作支撐，與試體隔離。
- 2.2. I 型梁：分為三個斷面，每個斷面 8 點，共 24 點。每一平板測溫板離試體表 100 mm，以不鏽鋼支承架作支撐，與試體隔離。
- 2.3. 平板測溫計依 CNS 12514 附錄 1 製作，如圖 4-3 及圖 4-4 所示。

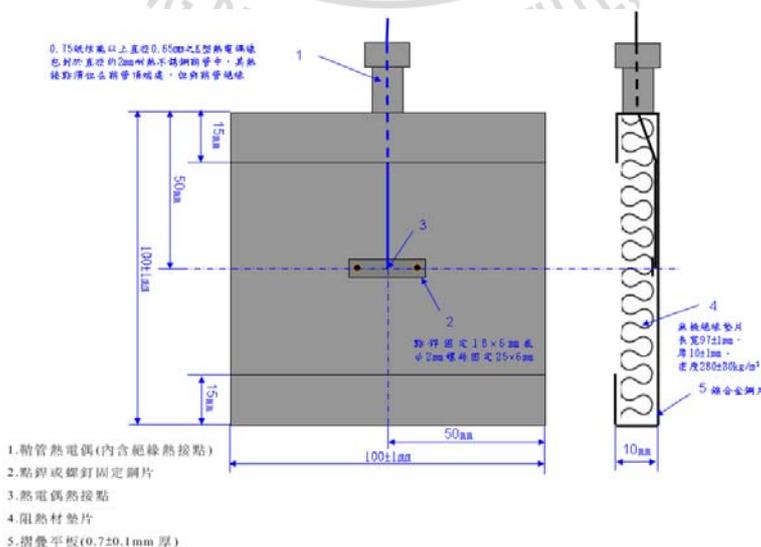


圖 4-3 平板測溫計構成



圖 4-4 平板測溫計實體圖

三、實驗空間配置：

1. 實驗房間：6m 寬×6m 長×2.4m 高，開口：於南北兩側牆之東側各有一 0.8m 寬×2m 高之開口及一組門，實驗時北側開口關閉，維持南側開口，如圖 4-5。
2. 測溫樹：分別於房間面積四分格中心點各設一測溫樹，於房間中心及西面牆中間各設一測溫樹，如圖 4-6。
3. 燃燒器：以 ISO 9705 之 30 cm×30 cm 開口標準燃燒器(如圖 4-7)，使用液化石油氣(LPG)為燃料，流量約為 11 LPM，可提供 600~800kW 之熱釋放率。
4. 梁構件配置：配至於房間南北向，依房間中心測溫樹分設於兩側，兩支梁間隔為 30 cm(如圖 4-8)，梁頂面距屋頂板 30 cm(如圖 4-9)及梁構件平板測溫點與表面溫度鉚點照片(如圖 4-10)。

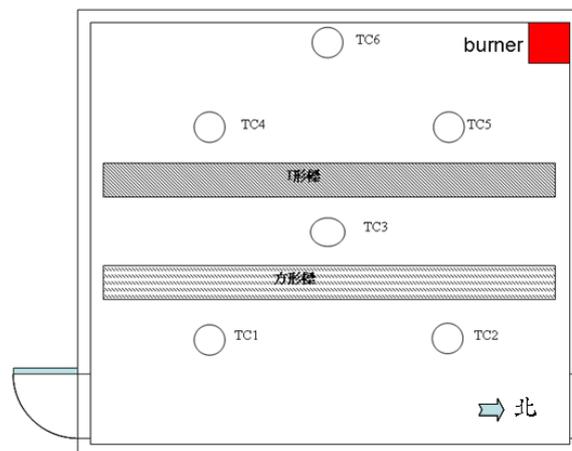


圖 4-5 房間內梁、燃燒器與測溫樹配置圖

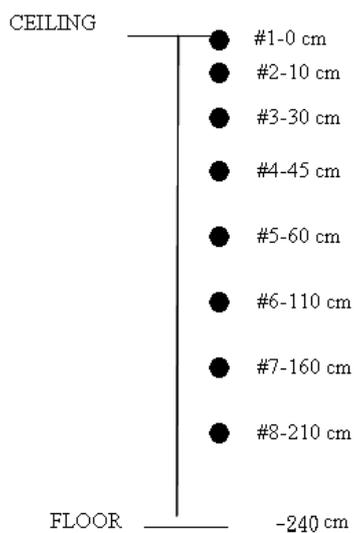


圖 4-6 測溫樹測溫點配置



圖 4-7 實驗用燃燒器

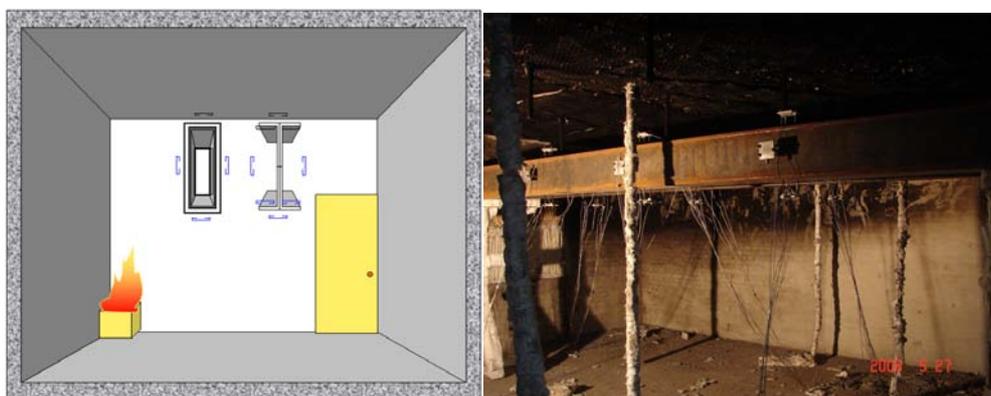


圖 4-8 梁構件配置位置示意圖

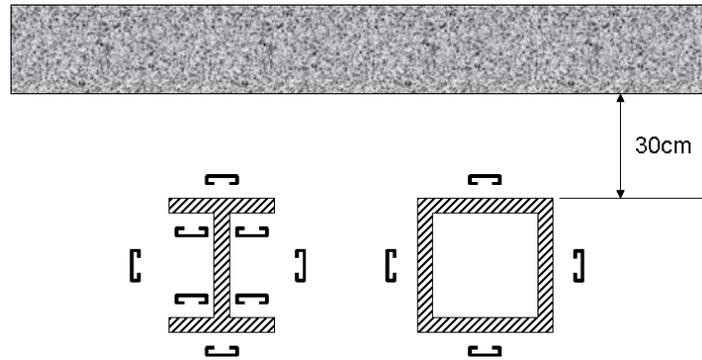


圖 4-9 梁構件置於樓板下 30 cm

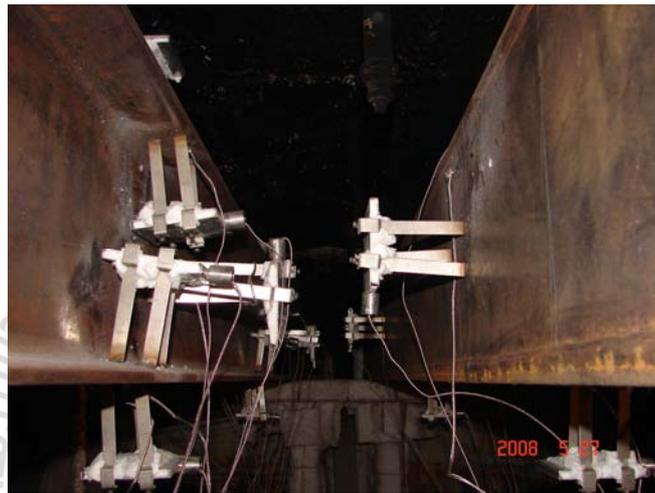


圖 4-10 梁構件平板測溫點與表面溫度鐳點照片

第二節 局限空間火災溫度傳佈模擬驗證

實驗過程以液化石油氣為火源燃料，經由燃燒器引燃燃燒，於 ISO 9705 之標集煙罩下測得其平均熱釋放率約 0.84MW(如圖 4-11)，以此進行房間實驗(如圖 4-12)所量得的溫度如圖 4-13、圖 4-14 所示，圖中左側至右側分別為實驗屋中北側至南側的溫度量測結果。由於火源座落於實驗屋中的西北側，I 型樑又較箱型樑靠近火源，因此由量測結果可得知較靠近火源處溫度明顯較高，即 I-beam(north)較 I-beam(south)來得高，I-beam 的溫度又較 B-beam 來得高。

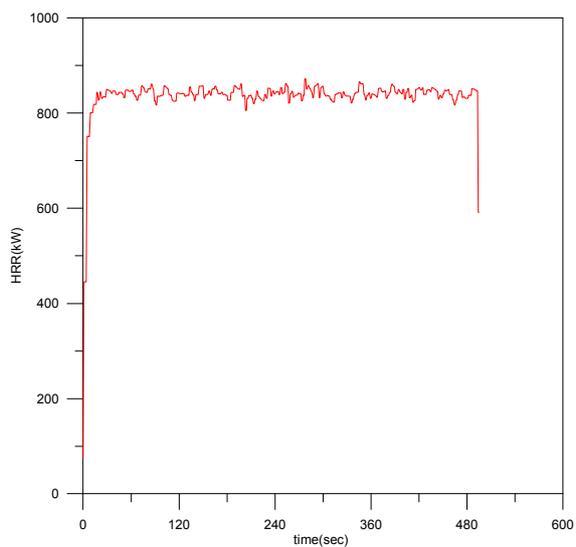


圖 4-11 火源燃燒熱釋放率



圖 4-12 實驗照片圖

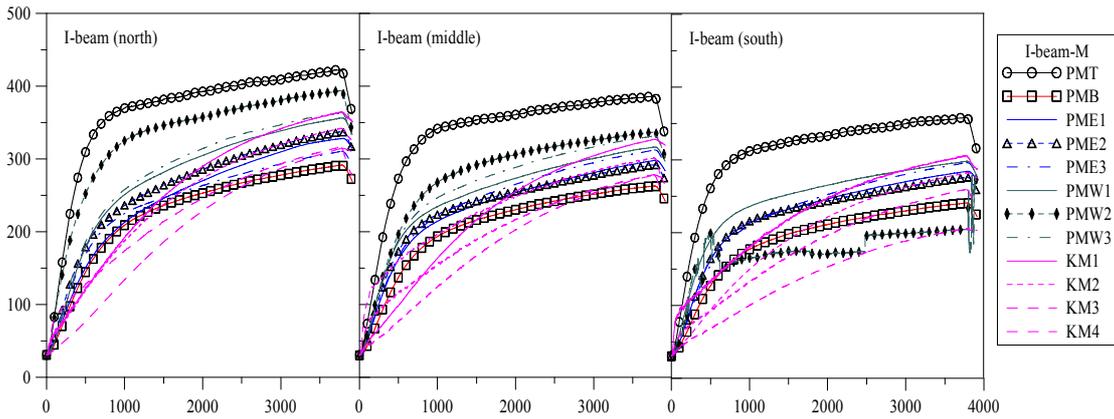


圖 4-13 I 型樑平板測溫點與樑上溫度量測結果

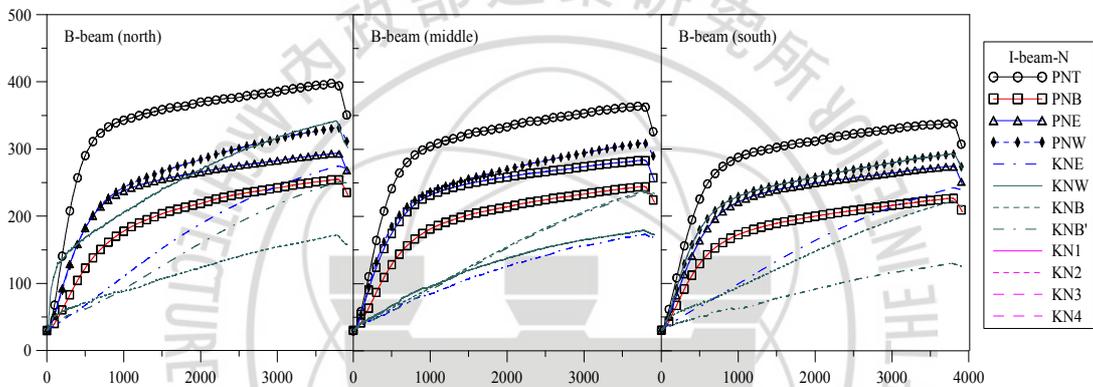


圖 4-14 箱型樑平板測溫點與樑上溫度量測結果

將實驗中所配置的測溫樹溫度量測結果與平板測溫點量測結果比對，結果如圖 4-15 所示，圖中 exp3-1、exp3-3、exp3-5 與 exp3-6 為置於實驗屋中央的測溫樹天花板下 0、30、60 與 110cm 處，與該測溫樹最接近處為樑上測溫點的中段部分，PMT（上方平板測溫點）與 PMB（下方平板測溫點）。由圖中可得知，測溫樹的反應時間較快，因此溫度上升速率較高，反觀平板測溫器，因為需加熱平板部分才能使位於平板後方的測溫點量到溫度，因此反應較慢，到達穩定溫度的時間，約差距 400 秒左右。穩定之後的鋼樑上方平板測溫點溫度介於 exp3-1 與 exp3-3 之間，主要該點的量測位置約為天花板下方 20cm 處。下方平板測溫點所量到的穩定溫度也介於測溫樹 3-5 與 3-6 之間。由以上資訊顯示，平板測溫點所量測到的溫度基本上與傳統測溫點量測到的結果接近，僅初始的溫度反應時間較慢。

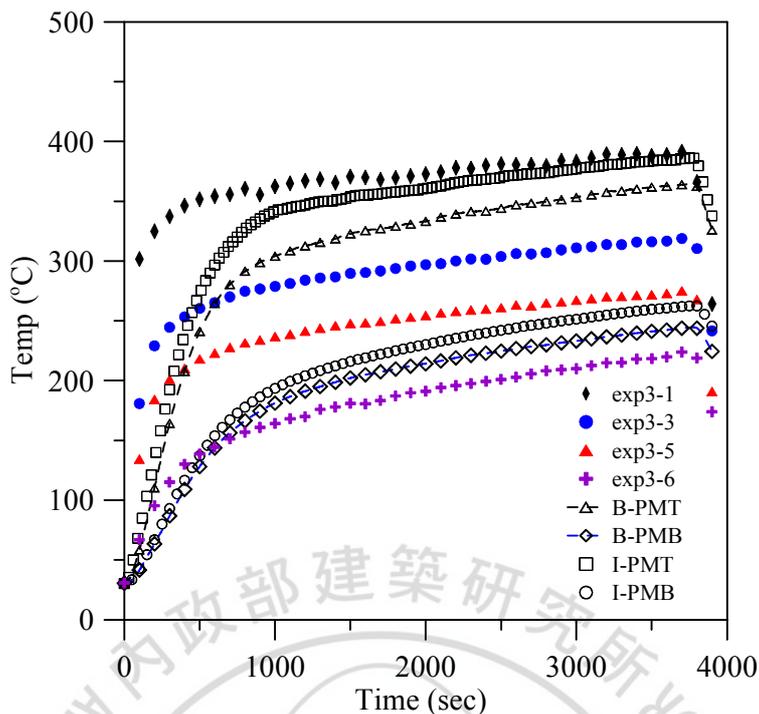


圖 4-15 測溫樹溫度量測結果與平板測溫點量測結果比對圖

對鋼樑組於實驗屋中燃燒行為有基本概念後，以下將針對 FDS 模擬部分進行說明，圖 4-16 為於 Pyrosim 建立之模型，使用均勻格點，牆面及天花板材質使用防火磚 (fire bricks)，房間中燃燒器、測溫點與鋼樑 (I 形樑、箱形樑) 等擺設位置以及開口大小、位置等條件均與實驗條件相同，詳細 FDS 程式碼如表 4-1 所示。

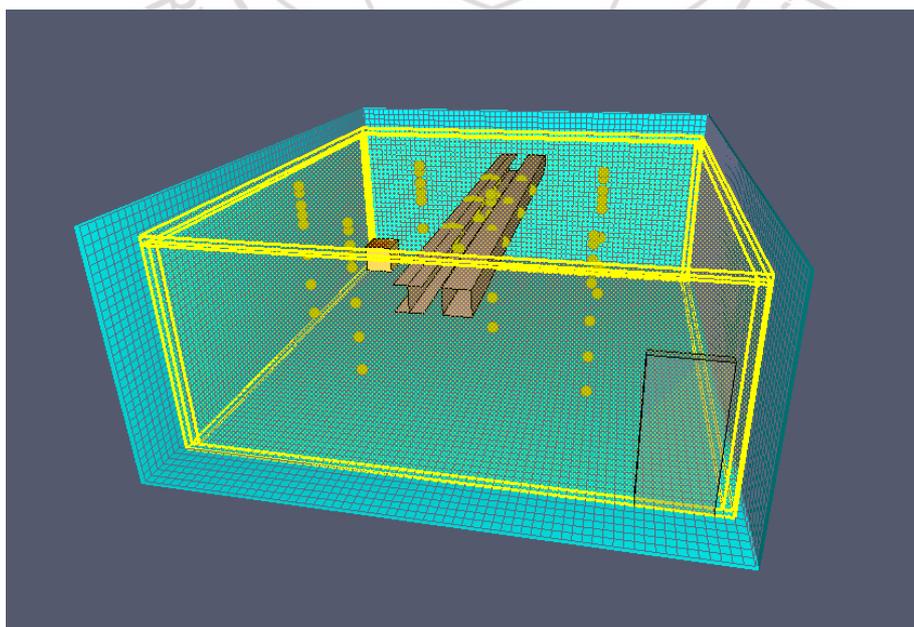


圖 4-16 FDS 模型

表 4-1 鋼樑於房間中燃燒 FDS 模擬程式

```
thin-plate-test7.fds
Generated by PyroSim - Version 2008.1
2008/10/7 下午 02:04:55
-----PyroSim-generated Section-----

&HEAD CHID='thin-plate-test7/'
&TIME T_END=4.0000000E003/
&DUMP RENDER_FILE='thin-plate-test7.ge1', DT_DEVC=60.00,
DT_RESTART=2.0000000E003, WRITE_XYZ=.TRUE.,
PLOT3D_QUANTITY='HRRPUV','oxygen','PRESSURE','TEMPERATURE','VELOCITY'/
&MISC HUMIDITY=60.00, Tmpa=28.00, SURF_DEFAULT='OPEN', RESTART=.TRUE./

&MESH ID='MESH', IJK=64,72,30, XB=-0.2000,6.20,-0.70,6.50,0.00,3.00/

&REAC ID='PROPANE',
    C=3.00,
    H=8.00,
    O=0.00,
    N=0.00,
    HEAT_OF_COMBUSTION=4.6460000E004/

&MATL ID='FIRE BRICK',
    FYI='NBSIR 88-3752 - NBS Multi-Room Validation',
    SPECIFIC_HEAT=1.04,
    CONDUCTIVITY_RAMP='FIRE BRICK_CONDUCTIVITY_RAMP',
    DENSITY=750.00,
    EMISSIVITY=0.80/

&RAMP ID='FIRE BRICK_CONDUCTIVITY_RAMP', T=20.00, F=0.3600/
&RAMP ID='FIRE BRICK_CONDUCTIVITY_RAMP', T=200.00, F=0.3600/
&RAMP ID='FIRE BRICK_CONDUCTIVITY_RAMP', T=300.00, F=0.3800/
&RAMP ID='FIRE BRICK_CONDUCTIVITY_RAMP', T=600.00, F=0.4500/

&MATL ID='STEEL',
    SPECIFIC_HEAT=0.4600,
    CONDUCTIVITY=45.80,
    DENSITY=7.8500000E003,
    EMISSIVITY=1.00/
```

```

&SURF ID='BURNER',
    COLOR='RED',
    TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',
    HRRPUA=2.6050000E003,
    TAU_Q=-15.00/
&SURF ID='WALL',
    RGB=200,200,200,
    MATL_ID(1,1)='FIRE BRICK',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.0120/
&SURF ID='STEEL SHEET',
    RGB=255,204,204,
    BACKING='EXPOSED',
    MATL_ID(1,1)='STEEL',
    MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.00,
    THICKNESS(1)=0.0120/

&DEVC ID='BPMB', QUANTITY='ADIABATIC_SURFACE_TEMPERATURE',
XYZ=3.25,3.00,2.00, IOR=-3/
&DEVC ID='BPME', QUANTITY='ADIABATIC_SURFACE_TEMPERATURE',
XYZ=3.10,3.00,2.15, IOR=-1/
&DEVC ID='BPMT', QUANTITY='ADIABATIC_SURFACE_TEMPERATURE',
XYZ=3.25,3.00,2.30, IOR=3/
&DEVC ID='BPMW', QUANTITY='ADIABATIC_SURFACE_TEMPERATURE',
XYZ=3.40,3.00,2.15, IOR=1/
&DEVC ID='BPNB', QUANTITY='ADIABATIC_SURFACE_TEMPERATURE',
XYZ=3.25,1.80,2.00, IOR=-3/
....
....
....
....
測溫點與測溫樹位置
....
....
....
....

&HOLE XB=5.10,5.90,-0.1000,0.00,0.00,1.80/ Door
    
```

```
&OBST XB=0.00,0.50,5.50,6.00,0.00,0.50, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/ Gas-Burner
&OBST XB=-0.1000,0.00,0.00,6.00,0.00,2.60, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='WALL'/ Wall
&OBST XB=-0.1000,6.10,-0.1000,0.00,0.00,2.60, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='WALL'/ Wall
&OBST XB=6.00,6.10,0.00,6.00,0.00,2.60, COLOR='INVISIBLE', SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='WALL'/ Wall[1]
&OBST XB=-0.1000,6.10,6.00,6.10,0.00,2.60, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='WALL'/ Wall[1]
&OBST XB=-0.1000,6.10,-0.1000,6.10,2.60,2.70, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='WALL'/
Ceiling
&OBST XB=2.60,2.90,0.00,6.00,2.30,2.30, SURF_ID='STEEL SHEET'/ SteelBeam[2]
&OBST XB=2.60,2.90,0.00,6.00,2.00,2.00, SURF_ID='STEEL SHEET'/ SteelBeam[1]
&OBST XB=3.40,3.40,0.00,6.00,2.00,2.30, PERMIT_HOLE=.FALSE., SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='STEEL SHEET'/ SteelBeam[1]
&OBST XB=3.10,3.40,0.00,6.00,2.00,2.00, PERMIT_HOLE=.FALSE., SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='STEEL SHEET'/ SteelBeam[1]
&OBST XB=2.75,2.75,0.00,6.00,2.00,2.30, SURF_ID='STEEL SHEET'/ SteelBeam
&OBST XB=3.10,3.10,0.00,6.00,2.00,2.30, PERMIT_HOLE=.FALSE., SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='STEEL SHEET'/ SteelBeam
&OBST XB=3.10,3.40,0.00,6.00,2.30,2.30, PERMIT_HOLE=.FALSE., SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='STEEL SHEET'/ SteelBeam[1][1]

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.2000,-0.2000,-0.70,6.50,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent
Min X for MESH
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=6.20,6.20,-0.70,6.50,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent Max
X for MESH
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.2000,6.20,-0.70,-0.70,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent
Min Y for MESH
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.2000,6.20,6.50,6.50,0.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent
Max Y for MESH
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.2000,6.20,-0.70,6.50,0.00,0.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent
Min Z for MESH
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-0.2000,6.20,-0.70,6.50,3.00,3.00, COLOR='INVISIBLE'/ Vent
Max Z for MESH

&BNDF QUANTITY='BACK_WALL_TEMPERATURE'/
&BNDF QUANTITY='HEAT_FLUX'/
&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/
```

```

&ISOF QUANTITY='HRRPUV', VALUE=1.0000000E003/
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE=100.00,500.00,1.0000000E003/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.40/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.60/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.00/
&SLCF QUANTITY='RADIANT_INTENSITY', PBX=1.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.50/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.20/
&SLCF QUANTITY='RADIANT_INTENSITY', PBZ=2.00/
&SLCF QUANTITY='oxygen', PBX=1.50/
&SLCF QUANTITY='oxygen', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.00/
&SLCF QUANTITY='oxygen', VECTOR=.TRUE., PBZ=5.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.00/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=5.00/

&DEVC ID='MESH_MIN_TEMPERATURE_MIN', QUANTITY='TEMPERATURE',
STATISTICS='MIN', XB=0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00/
&DEVC ID='MESH_MIN_TEMPERATURE_MAX', QUANTITY='TEMPERATURE',
STATISTICS='MAX', XB=0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00/
&DEVC ID='MESH_MIN_TEMPERATURE_MEAN', QUANTITY='TEMPERATURE',
STATISTICS='MEAN', XB=0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00/

&TAIL /

```

於 FDS 模擬上，本研究假設鋼樑的厚度對於熱流場影響甚微，因此鋼樑視為片狀障礙物 (OBST)，以簡化模型設計。燃燒器為 0.5x0.5m 之方形燃燒器，輸出熱釋放率為 650kW，使用 t^2 成長曲線作為燃燒器火源的成長設定。

圖 4-17 為位於房間中央的測溫樹實驗量測結果 (Exp) 與 FDS 模擬結果比較圖。測溫樹編號為 3-1~3-5 分別為距離地面 240 公分 (天花板下位置)、230 公分、210 公分 (鋼樑上表面)、195 公分與 180 公分 (鋼樑下表面) 之位置，以此五點作為比較基準，主要是此高度之測溫樹與鋼樑擺放位置接近，可以提供鋼樑附近氣場溫度資料。由圖 4-17 可以看出，FDS 模擬的溫度變化與實驗量測值以函數分析結果 norm 值分別為 0.07、0.07、0.06、0.10、0.15，而 cosin 值

為 0.88、0.91、0.9、0.89 及 0.81，在曲線型式有很高之相似性，在數值亦相當接近，由其在 210 公分以上的氣場溫度與實驗量測結果相當接近，210 公分以下的溫度預測高於量測值。

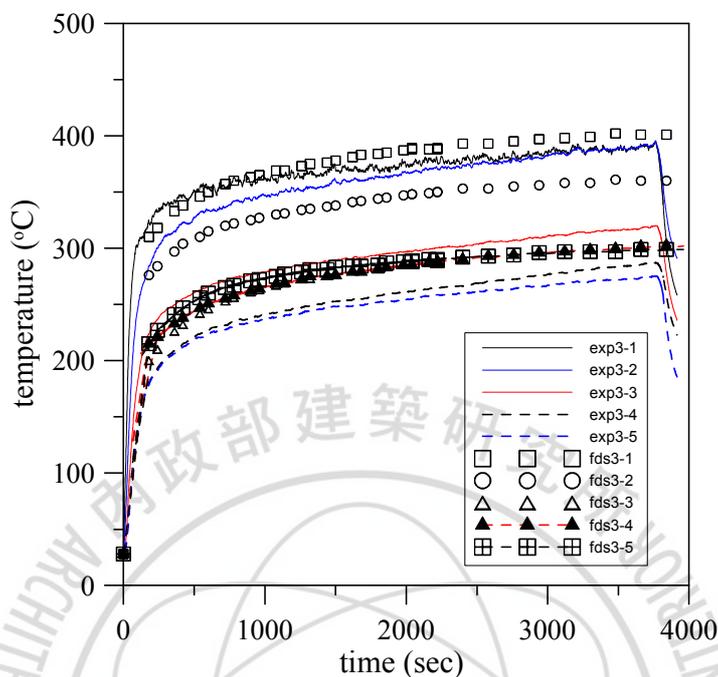


圖 4-17 測溫樹 3-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖

圖 4-18 為位於兩根鋼樑外側，較遠離燃燒器（圖 4-5 左上方）測溫樹實驗量測結果（Exp）與 FDS 模擬結果比較圖。經函數分析結果 norm 值分別為 0.09、0.07、0.06、0.05、0.11，而 cosin 值為 0.92、0.89、0.87、0.86 及 0.84，由圖中可以看出，僅 180cm（測點 4-5）的溫度預測高於量測值之外，其餘部分的氣場溫度模擬較位於中央的測溫樹來得相近。

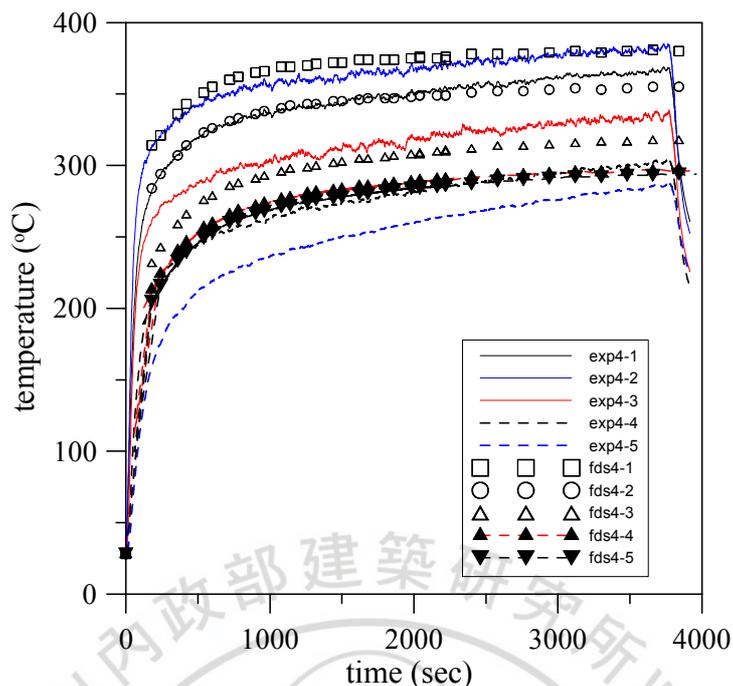


圖 4-18 測溫樹 4-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖

圖 4-19 為位於兩根鋼樑外側，較靠近燃燒器（圖 4-5 右上方）測溫樹實驗量測結果 (Exp) 與 FDS 模擬結果比較圖。經函數分析結果 norm 值分別為 0.13、0.11、0.09、0.21、0.07，而 cosin 值為 0.85、0.88、0.86、0.78 及 0.77，由分析結果與圖可以看出，鋼樑所在高度位置 (5-1~5-4) 上之氣場溫度模擬，FDS 模擬結果皆低於量測值，僅 180cm (測點 5-5) 的溫度預測值比較相近，但其成長型式預測與量測相似性較低。

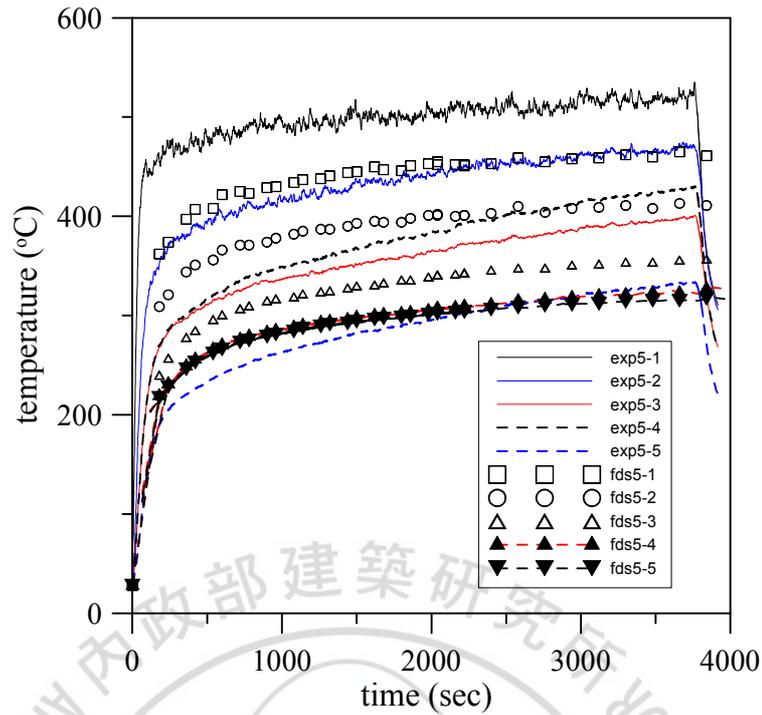


圖 4-19 測溫樹 5-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖

圖 4-20 為位於兩根鋼樑外側，較靠近燃燒器與壁面（圖 4-5 中央上方靠牆壁測）測溫樹實驗量測結果 (Exp) 與 FDS 模擬結果比較圖。經函數分析結果 norm 值分別為 0.18、0.15、0.19、0.06、0.14，而 cosin 值為 0.88、0.88、0.83、0.81 及 0.78，此部分之模擬結果，與測溫樹 5 的狀況接近，溫度測點 (6-1~6-3) FDS 模擬結果皆低於量測值最大溫差約 100°C，僅溫度測點 (6-4) 預測值較相近。

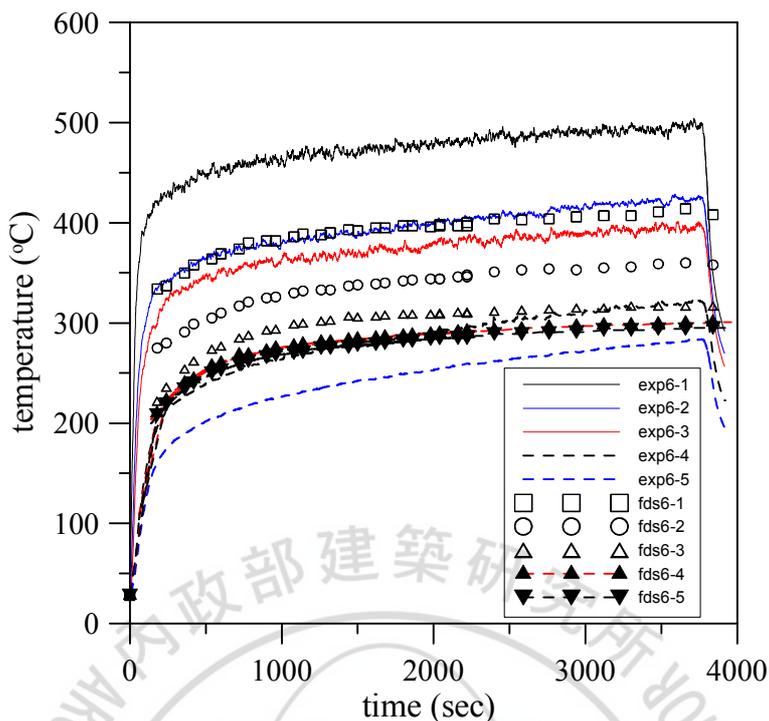


圖 4-20 測溫樹 6-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖

圖 4-21 為位於兩根鋼樑外側，較靠近開口（圖 4-5 左下方靠開口）測溫樹實驗量測結果（Exp）與 FDS 模擬結果比較圖。經函數分析結果 norm 值分別為 0.13、0.21、0.17、0.17、0.26，而 cosin 值為 0.92、0.88、0.89、0.88 及 0.78，由於受熱煙由開口流出以及冷空氣由開口進入影響，模擬結果各點溫度皆高於實測值約 50°C 左右。

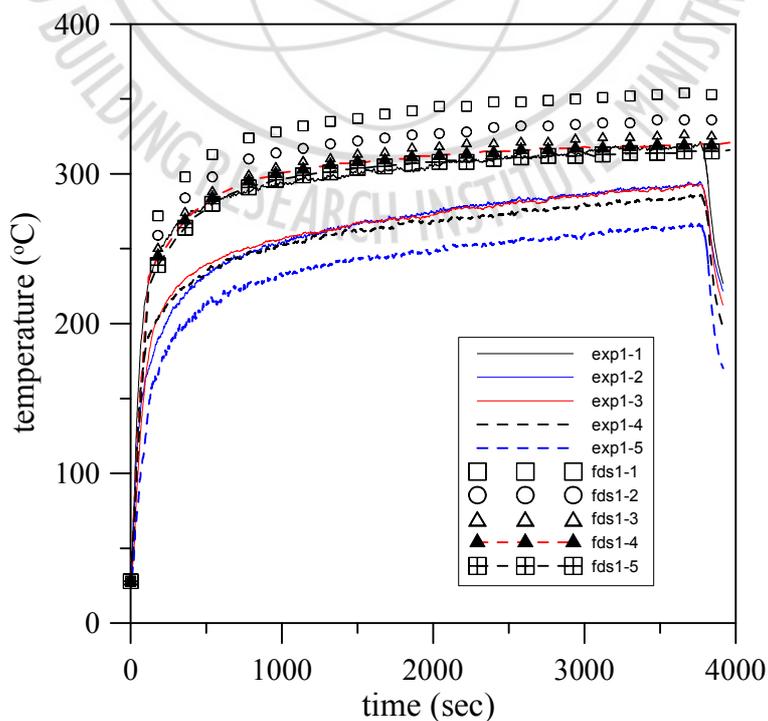


圖 4-21 測溫樹 1-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖

圖 4-22 為位於兩根鋼樑外側，開口側靠近內測牆壁側（圖 4-5 右下方靠牆壁側）測溫樹實驗量測結果 (Exp) 與 FDS 模擬結果比較圖。經函數分析結果 norm 值分別為 0.06、0.04、0.05、0.07、0.13，而 cosin 值為 0.90、0.90、0.87、0.87 及 0.76，由較遠離燃燒器熱源，其模擬與實測值較接近，與測溫樹 4 情形相似。

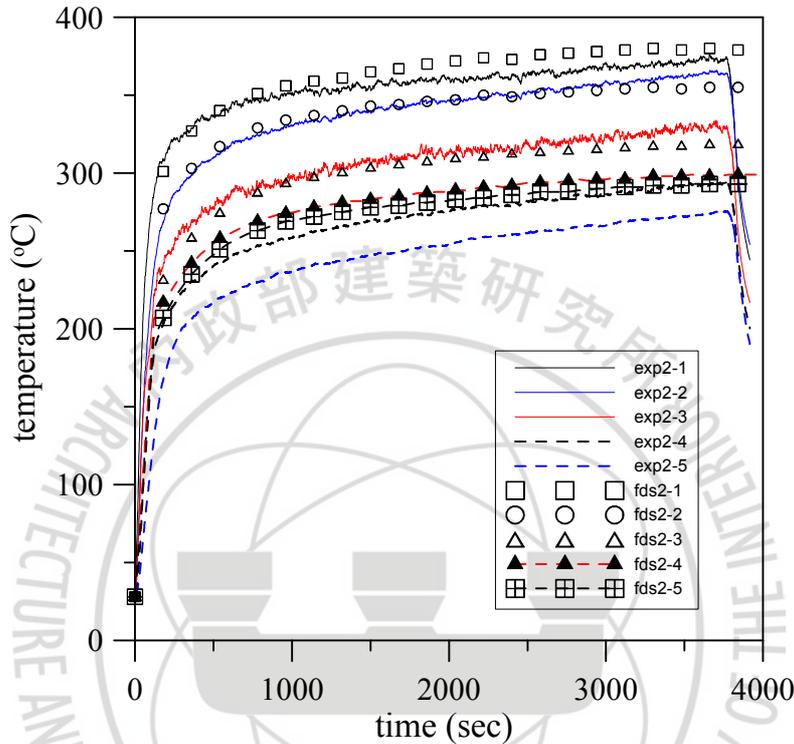


圖 4-22 測溫樹 2-FDS 模擬結果與實驗之溫度變化圖

由以上溫度結果分析可得知，靠近火源附近的天花板氣場溫度預測準確度較差，但鋼樑高度（離地 180~230 公分）的模擬準確；相反的，相較遠離火源時，天花板與上層溫度模擬較準確，而下層溫度則受到鋼樑對氣場的擾動，因此準確度較低。

圖 4-23、4-24 為 FDS 模擬過程截圖，模擬產生的火源火焰與煙層狀況與實驗所觀察到的接近。

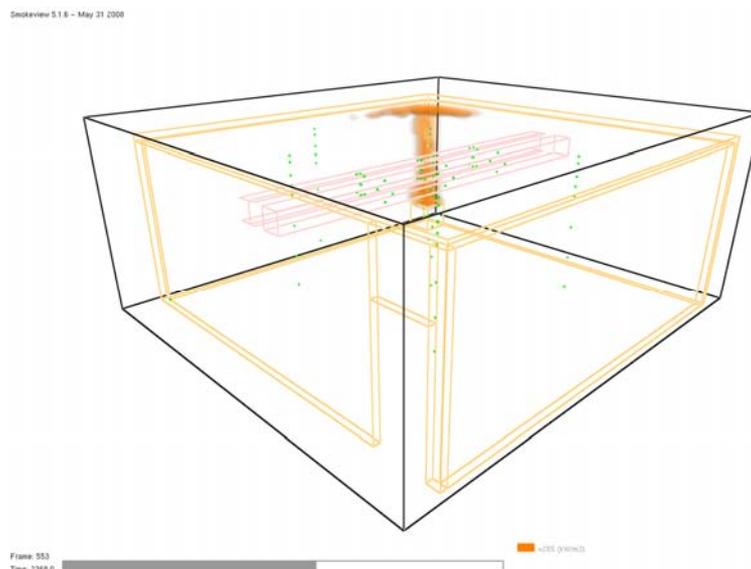


圖 4-23 FDS 模擬過程截圖

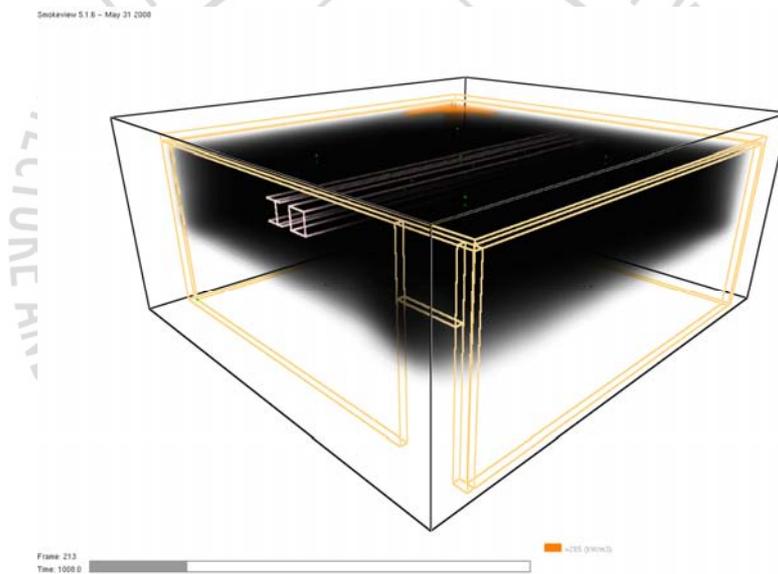


圖 4-24 FDS 模擬過程截圖 (含黑煙)

觀察 FDS 模擬之結果，圖 4-25 為不同時間下高度 200 公分平面之溫度分佈圖，由圖中可觀察出，主要熱區在於燃燒器正上方，200 公分處的溫度，在燃燒器引然後 500 秒之後一直到模擬時間結束（4000 秒），並無太大變化，顯示燃燒器可以提供一個均勻的熱環境，作為分析之用。

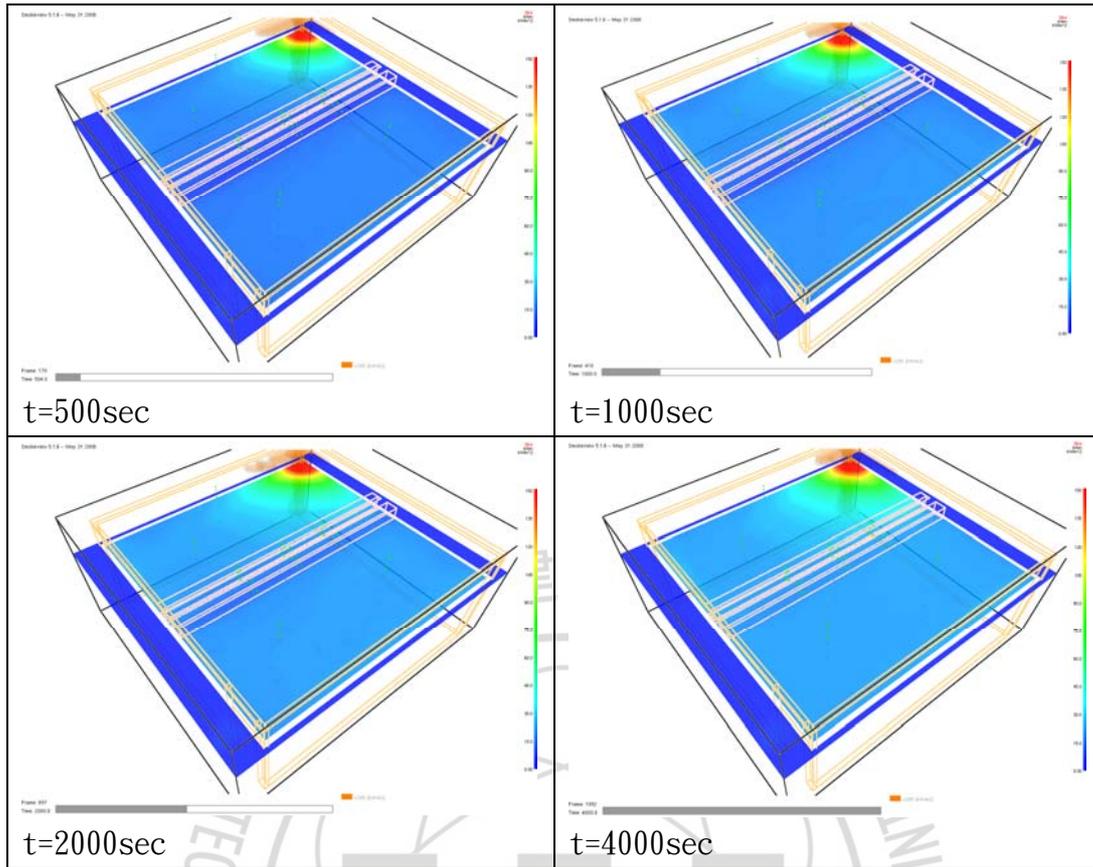


圖 4-25 不同時間下高度 200 公分平面之溫度分佈圖

圖 4-26 則為不同時間下，四周牆面以及鋼樑表面之熱通量值 (heat flux)，由圖中可以看出，於 500 秒時，燃燒器之熱主要傳到附近的牆面，因此燃燒器附近之牆面熱通量值較大，此時柱子所受到的熱通量約 8.5kW/m^2 左右，靠近火源側較遠離火源側來得高，1000 秒之後牆面的熱通量有降低的現象，原因為此時煙層透過又下方之開口流出，使得上層之煙氣減少，蓄積的熱量降低，因此使得傳至壁面與鋼量的熱通量也相對降低。

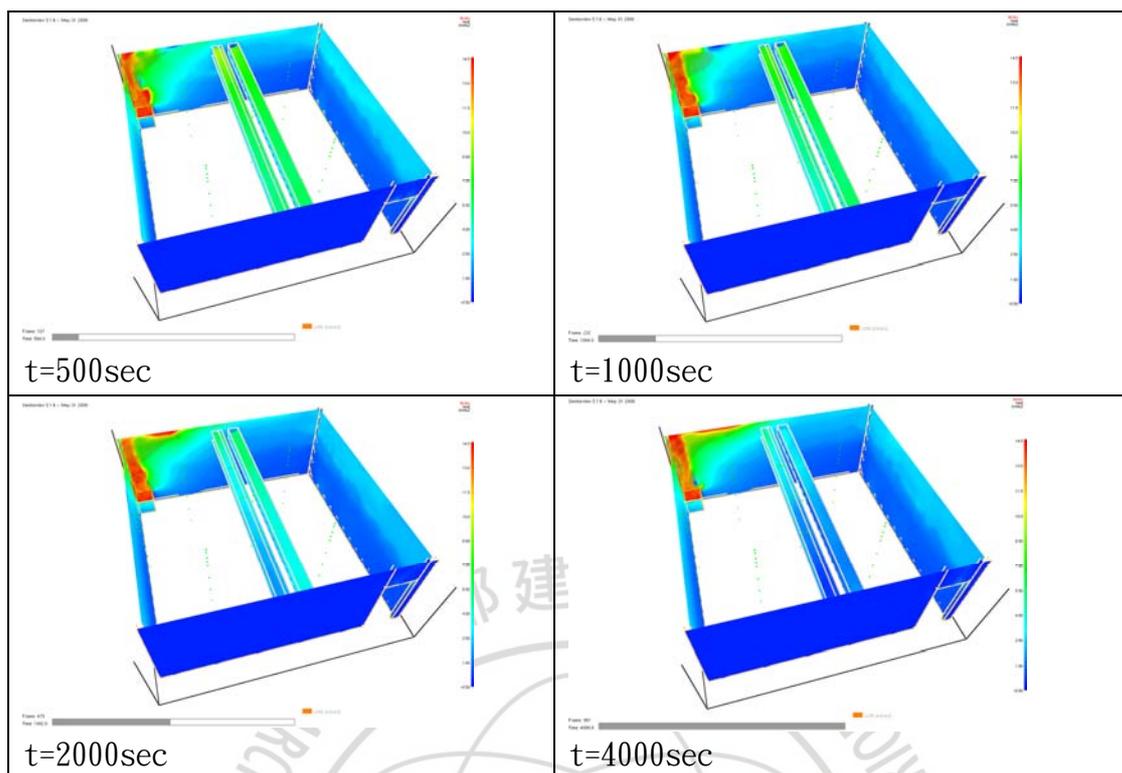


圖 4-26 不同時間下 FDS 模擬邊界溫度圖

第三節 火災環境溫度熱傳遞至梁構件模擬驗證

自 911 雙子星大樓倒塌後，美國 NCST(National Construction Safety Team)彙整相關研究，建議未來應對於真實火災與結構行為間之電腦分析方法加以探討，包含火災發生時物件延燒、閃燃發生至全盛期與降溫階段甚至結構倒塌等模擬。目前雖有相關軟體可進行實際火場模擬（如 FDS），但僅能就該居室空間氣場溫度分佈，或火災延燒與持續時間加以分析，對於該火場溫度如何同步造成結構變形或倒塌等行為，尚無建立分析介面或統合性軟體可供利用。據此，對於火災－結構（Fire- Structure）分析介面與統合性分析軟體之建立有其必要性。

由於火災現象極為複雜，想要利用實驗的方式來了解火災所有的物理現象極為困難，實驗的數據與分析給予建築物經實際火害後相當好的比對與驗證，但目前之實驗均僅針對在標準升溫曲線下，單一構件受火災後之耐火性，對於較複雜的建築物與火災情境，實驗分析的方法就難以提供整個火災狀況，但是火災學的規律是兼有確定性及隨機性，因為火災科學具有確定性，因此可以用模擬研究手段探索它，又因為火災的規律具有隨機性，所以須對大量的火災數據進行統計分析，火災過程的模擬研究的科學依據：承認火災過程遵循一訂的規律，這個規律既可以在模擬實驗中再現，也可以抽象成控制火災過程的數學表達式，(張永恆，2007)，因此可以透過數值方法來模擬各種火災情境下之溫度分佈。因此有必要

透過數值方法來模擬各種火災情境下之溫度分佈。火災會因為起火方式、延燒速度、內部環境的不同，使得火災熱流場空間之溫度分佈有相當大的差異，因此對建築物本體亦有不同程度的傷害，而結構件如柱、梁也會因為所在位置之不同，以及與樓板、隔間牆的相關位置，可能會使構件遭受一至四面之火害加熱，會使構造內部產生不均勻的溫度分佈，構件內材料受到熱應力後會產生不同的力學行為，使得建築物火害後的強度不均勻的減低。

目前國外最新相關研究係由 NIST(Ulf Wickstrom, 2007)提出如何建立火災-熱傳-結構之分析介面，其重點在於應用絕熱表面溫度(AST)來取得火災下結構構件之表面溫度歷時；在中國張永恆(2007)以 FDS 進行火災模擬計算火災下空氣的實際升溫曲線，在升溫曲線下採用有限元素分析軟體 ANSYS 對受火構件截面的溫度分佈計行分析與計算，高佐人等(2007)則提出採用系統集成的方法將現有火災模擬軟體、結構分析軟體以及材料高溫退化模型、破壞檢測模型有機的結合起來，實現對火災過程中結構破壞的模擬；而國內林誠興(2006)以 FDS 火災模擬軟體模擬單一區間內部樑受火害時之邊界溫度，再以熱傳導理論，利用有限差分(Finite Difference Method)數值方法，模擬鋼筋混凝土複合矩形樑內部溫度分佈，主要探討不同火源位置與熱釋放率大小對樑熱傳遞與結構強度之影響，並根據 ACI 318-99 Building Code 之假設條件及溫度效應對鋼筋及混凝土材料之影響，將斷面分割為 M×N 個單元，以塊狀系統(Lumped systems)之觀念，將每一單元內假設為等溫、等性質，以 Fortran 程式語言撰寫與計算分析；惟該方法須另行撰寫結構分析部份之程式，無法與常用之商業結構分析軟體結合利用其分析上之優越性與多樣性，而僅能針對特定構件斷面或形狀加以應用。

為擴展前揭分析應用上之範疇，並能準確的預測火勢發展與結構熱傳與強度折減的情形，後續將應用 FDS 火災模擬軟體分析火災中之熱流場，配合 NIST 所建議之絕熱表面溫度，將火災對建築物之熱傳與力學行為效應，搭配結構有限元素軟體計算(如 ANSYS、ABAQUS)，與相關實驗文獻來輔助熱傳遞與強度計算模型建立的正確性，供建築物受火害後結構強度估算程式供參考應用，為未來研究 Fire-Structure 介面整合之一大方向。

一、研究方法

(一)、建築物構件熱傳特性

為了要計算火場環境溫度熱傳遞至建築構件內，首先必須知道材料之熱學性質與熱傳導有關之性質，主要為比熱及熱傳導係數，另外因密度會影響熱擴散係數之大小，故亦需加以了解。

參考 Eurocode-3(1995)所建議的這些參數數值，大致有以下幾項：

(1) 密度(Density)- ρ

規範建議採用鋼材密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

膨脹係數(Expansion Coefficient)- α

依規範所建議，熱膨脹係數採用 $\alpha = 14 \times 10^{-6}$

(2) 比熱(Specific Heat)-C

依規範所建議的計算公式如下：

(a) $20^\circ\text{C} \leq T < 600^\circ\text{C}$

$$C = 425 + 7.73 \times 10^{-1} T - 1.69 \times 10^{-3} T^2 + 2.22 \times 10^{-6} T^3 \quad J/\text{kgK}$$

(b) $600^\circ\text{C} \leq T < 735^\circ\text{C}$

$$C = 666 + \frac{13002}{738 - T} \quad J/\text{kgK}$$

(c) $735^\circ\text{C} \leq T < 900^\circ\text{C}$

$$C = 545 + \frac{17820}{T - 731} \quad J/\text{kgK}$$

(d) $900^\circ\text{C} \leq T < 1200^\circ\text{C}$

$$C = 950 \quad J/\text{kgK}$$

T: is the steel temperature ($^\circ\text{C}$)

(3) 熱傳導係數(Thermal Conductivity)- k

所建議的計算公式如下

(a) $20^\circ\text{C} \leq T < 800^\circ\text{C}$

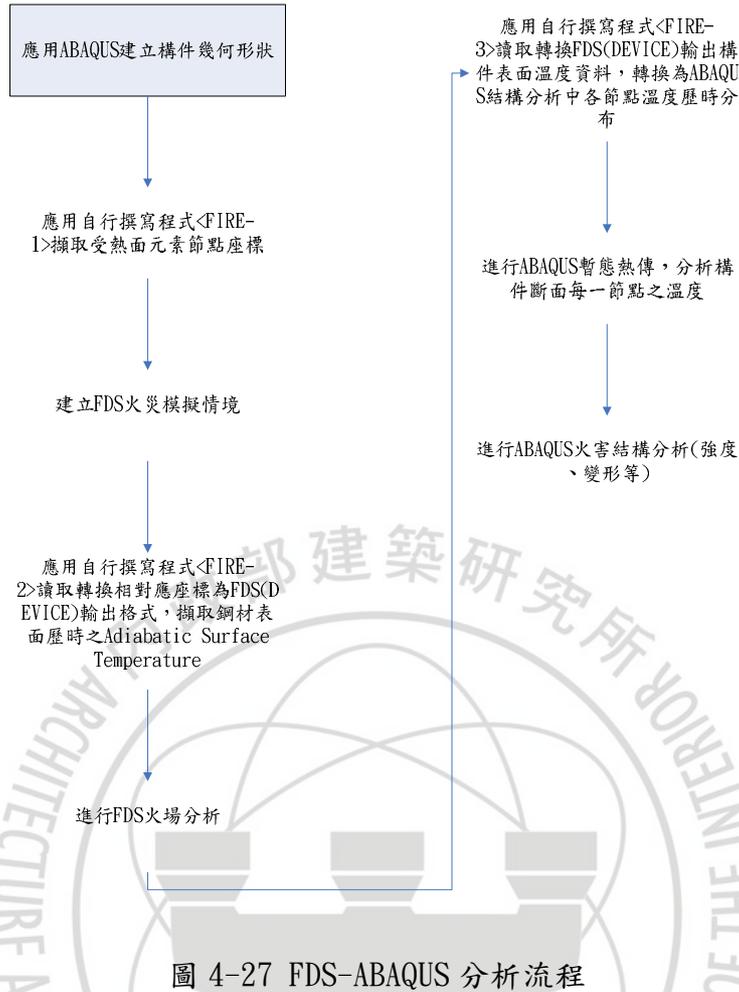
$$k = 54 - 3.33 \times 10^{-2} T \quad W/\text{mK}$$

(b) $800^\circ\text{C} \leq T < 1200^\circ\text{C}$

$$k = 27.3 \quad W/\text{mK}$$

(二) 分析流程(梁溫度分佈之探討)

本研究在實驗上進行了箱型梁與I型梁，由於I型梁在型狀較複雜，需要較多時間進行解析與模擬，因此本研究僅就箱型梁進行模擬分析；此外，平板測溫計在本研究模擬結果未盡理想，在此部分將留待後續研究。在箱型梁模擬首先截取FDS模擬樑之邊界溫度隨時間變化的情形，再將動態溫度變化帶入熱傳導數值模型來估算鋼梁內部受不同火害時之溫度分佈（流程如下圖4-27），計算時鋼材之熱傳導係數、比熱等參數均隨溫度而改變。



二、分析結果

依斷面位置(N、M、S)圖4-29至圖4-33所示為箱型斷面梁其表面溫度實驗值與FDS分析結果如下：

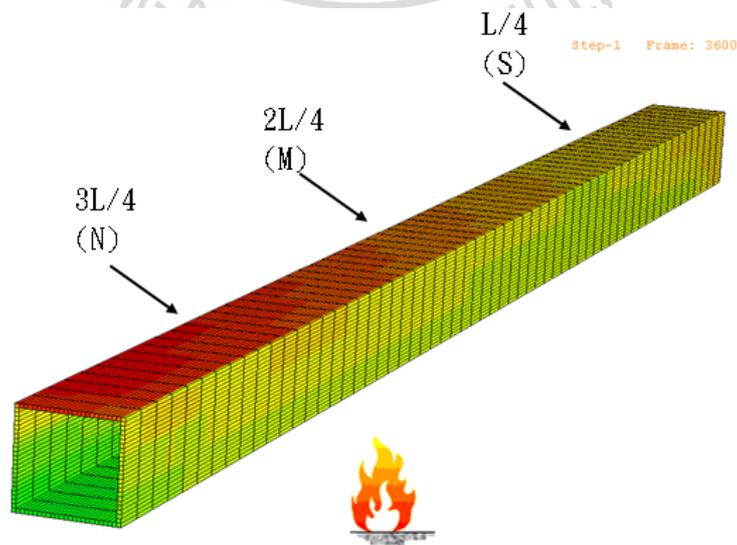


圖4-28 梁全長溫度分佈(time=60min)

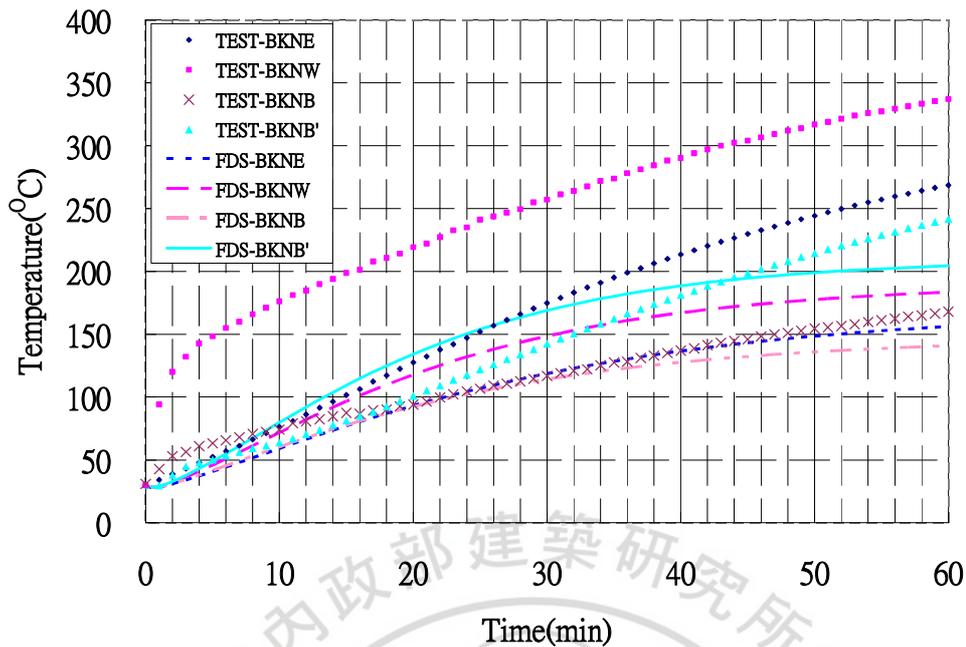


圖 4-29 北側(N)鋼梁表面溫度實驗與分析歷時比較圖

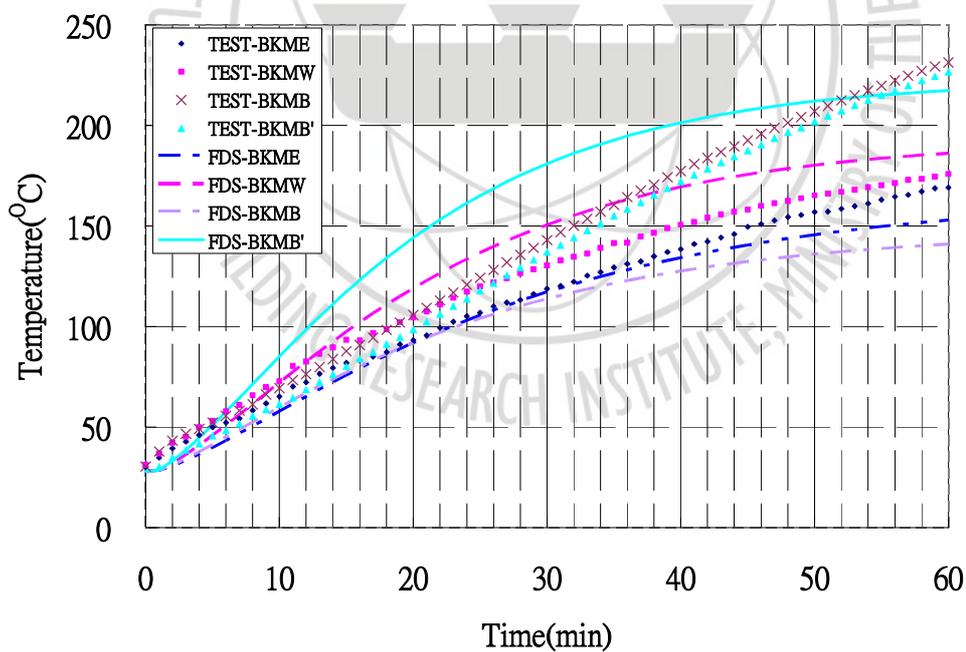


圖 4-30 中間(M)處鋼梁表面溫度實驗與分析歷時比較圖

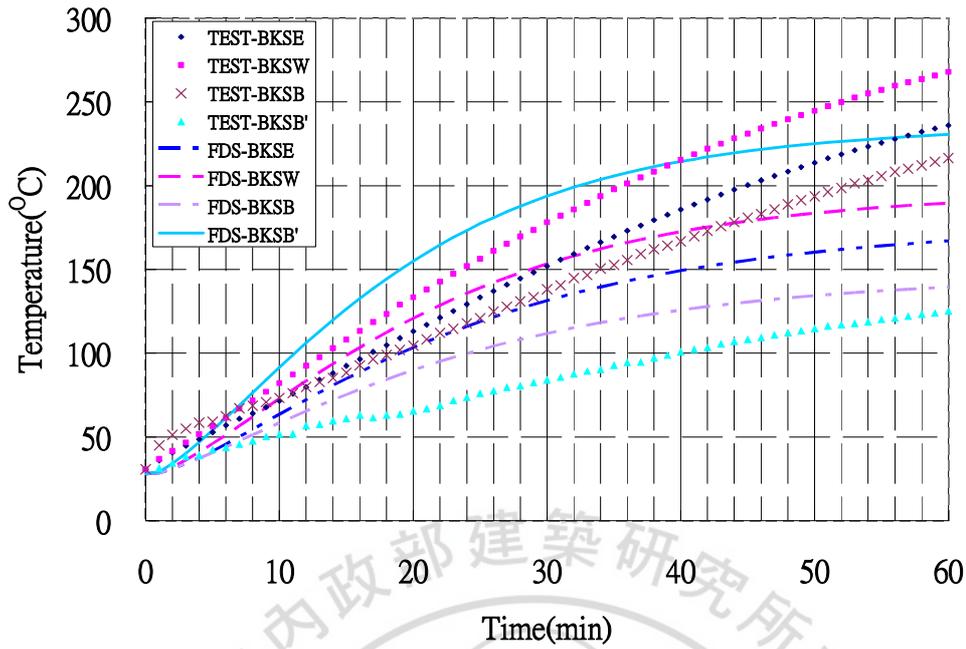


圖 4-31 南側(S)鋼梁表面溫度實驗與分析歷時比較圖

由圖 4-29 可知表面測溫點 BKNW 實驗值遠高於其他測點，且與分析值差異頗大，其原因可能為該測點較接近火源，另圖 4-31 表面測溫點 BKSB' 實驗值遠低於其他測點，主要該點較遠離火源；整體鋼梁表面溫升歷時經分析與實驗值比對，其發展趨勢在前 10 分鐘內大致相符，10 分鐘後模擬值則較實驗值為低，顯示本研究在模式建立與分析上仍有探討之空間。

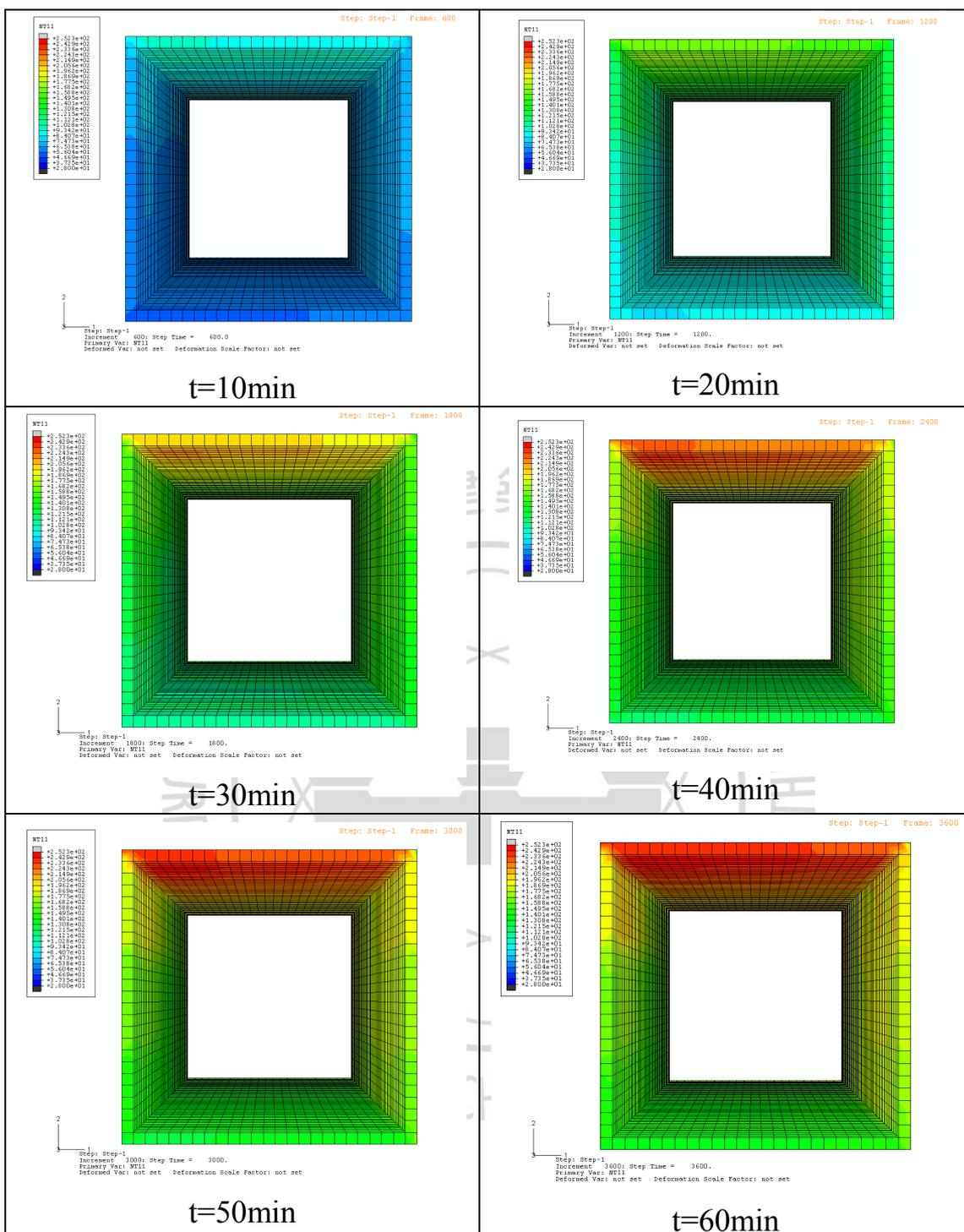


圖 4-32 箱型梁溫度歷時分布圖

另應用結構分析軟體進行斷面溫度分佈暫態熱傳分析結果(如圖4-32)，本研究已可結合FDS與有限元素分析軟體之方法與流程，由於在FDS方面之模擬結果已低於實驗值，因此在有限元素分析方面則不作深入探討，但由CFD與FEM可同步結合進行火災與結構火害行為模擬，將有助於火災及結構防火安全設計分析與應用。

第五章 結論與建議

第一節 結論

1. 本研究以材料之熱傳導係數(k_v)、比熱(c_v)、密度(ρ_v)、Arrhenius pre-exponential factor(Z)、反應能(E_A)、熱解熱(ΔH_p)以及碳化層熱傳導係數(k_c)、比熱(c_c)、密度(ρ_c)等 9 項為實驗設計參數，進行 FDS 模擬，經函數分析與變異分析，獲得主要影響模擬結果之參數為 Arrhenius pre-exponential factor(Z)。
2. 建築火災過程計算機模擬結果的合理性和精確度經常是建築防火設計和驗證過程中質疑的焦點；本研究已針對火災模式驗證與文件化等標準研訂如附錄四至附錄八，以可供設計者設計評估與主管官署評定參考。
3. 電腦模擬之材料特性實驗項目與實驗方法，則研訂標準指引於附錄七取得用於決定性火災模式數據之標準指引。
4. 由本研究模擬驗證結果，以 FDS5 所新增功能進行固相燃燒模擬方面，其模擬在每層 9 支以下木角材之木堆於局限空間燃燒模擬，可符合常態燃燒範圍。
5. 由局限空間火災溫度傳佈模擬與實驗驗證方面，在本研究模擬與實驗比對結果，靠近火源附近的天花板氣場溫度模擬結果比實驗值低約達 100°C 預測準確度較差，但鋼樑高度（離地 180~230 公分）的模擬結果接近於實驗值；相反的，相較遠離火源時，天花板與上層溫度模擬結果較接近於實驗值，而下層溫度則受到鋼樑對氣場的擾動，因此準確度較低，但模擬結果比實驗值略高。
6. 本研究已建立自 FDS 輸出溫度資料轉換，進行有限元素火害結構分析，將可建構完整之火災成長至結構火害之模擬。
7. 在本研究之 FDS 模擬熱釋放率與溫度成長方面尚有諸多參數須探討與量測法建立，以增加模擬結果之可靠性。
8. 本研究在 FDS 熱釋放率模擬方面主要以 10 cm 大小網格進行模擬，經與實驗驗證可得到常態性燃燒範圍內，可縮短模擬時間，有助於初步篩選出有利防火設計條件。

第二節 建議

1. 目前較著名之火災模式，都非我國自行研發，完全引用一定會有適應不良的情形產生，最主要的是模擬使用之建材不同，再加上使用的習性不同以及氣候不同等因素可能會造成計算結果預測的偏差，在以模擬程式模擬結果作為性能設計驗證工具時，有必要訂定模擬程式驗證等相關標準，以利主管機關與評定機關審查及驗證。
2. 在本研究條件下以固相燃燒模擬及驗證結果顯示，如能掌握材料參數，其模擬是可符合常態性之燃燒結果，據此建議研訂材料各項參數特性實驗或推估標準，並建立材料參數資料庫，將有助進一步火災安全研究。

參考書目

1. 蔡銘儒、謝煒東，建築物構造防火性能驗證技術之火災持續時間研究，2006，內政部建築研究所。
2. 蔡銘儒、謝煒東，建築物居室火災成長之研究-火災成長因素影響性探討，2007，內政部建築研究所。
3. 馮猛，室內火災隨機性研究，2007，同濟大學碩士論文。
4. 蘇莫捷，閃燃與爆燃對消防人員危害之研究，2007，雲林科技大學環境與安全工程系碩士論文。
5. 蕭敬倫，區域火災的煙層高度預測，2007，雲林科技大學機械工程系碩士班。
6. 楊育荃，數值模擬於大型室內空間中火煙模式之應用於研究，2007，雲林科技大學工程科技研究所博士論文。
7. 林建勳，排煙設備與撒水設備交互影響特性之研究，2003，雲林科技大學機械工程系碩士論文。
8. 楊育荃，建築物火災模式特性分析及實際案例之應用，2002，雲林科技大學機械工程系碩士論文。
9. 薛朝鴻，性能式煙控與避難運用在排煙室之研究，2004，雲林科技大學機械工程系碩士論文。
10. 楊志偉，捷運內火災意外時煙控與逃生策略之建立與評估，2005，臺灣大學機械工程學研究所碩士論文。
11. 蘇家彥，隧道火災於自動撒水系統動作後之避難環境分析，2007，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
12. 黃智鴻，核電廠失火對策之研究，2006，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
13. 郭聰誠，雪山隧道自動撒水設備滅火性能分析之研究，2006，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
14. 張溯，核電廠消防安全評估之研究，2004，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
15. 陳旭景，TAIPEI 101 施工中建築物避難安全對策之研究，2003，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
16. 黃育祥，應用火災工學與火災模擬軟體 FDS 於火場之重建，2005，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
17. 李明儒，應用無線感測網路提高隧道防救災機制之研究，2006，中原大學土木工程研究所碩士論文。
18. 林文華，地下車站空間防煙垂壁設計之研究，2006，中華大學營建管理研究所碩士論文。
19. 吳俊霖，FDS 火災動態模擬對於舊式公寓加裝防火安全設施之分析評估，2007，中華技術學院機電光工程研究所碩士論文。
20. 王俊偉，建築防火閘門與防火披覆材料測試之探討，2006，中華技術學院機電光工程研究所碩士論文。
21. 蕭建永，利用 FDS 模擬辦公空間防火閘門與空調風管之性能研究，2006，中華技術學院機電光工程研究所碩士論文。
22. 簡力堅，低樓層鋼結構火害行為之分析，2006，中興大學土木工程學系所碩士論文。

23. 曾政斌，火災對雪山隧道內人員危害之研究，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
24. 黃民杭，高鐵桃園青埔站月台煙流之分析及影響，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
25. 王春財，大園菓林 9 鄰透天民宅火災模擬，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
26. 胡元瀚，遠茂光電防火評估，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
27. 范姜群傑，樹林龍興街獨棟公寓火場場模式模擬研究，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
28. 張文政，桃園縣中壢大同路民宅火災模擬，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
29. 林俊良，大里民宅火場熱流場模式數值模擬，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
30. 李志鴻，雪山隧道火災煙控系統評估與電腦模擬分析，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
31. 黃惠靖，高雄縣大樹鄉住宅火災案例分析，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
32. 李中儒，三重重新路五樓雙拼公寓火災模擬分析，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
33. 曾鴻志，台北市雨聲街公寓火災場模式模擬研究，2007，元智大學機械工程學系碩士論文。
34. 何臺增，自然煙控對蘭陽仁愛醫院火場影響之研究，2006，元智大學機械工程學系碩士論文。
35. 謝宗呈，汐止東方科學園區火災煙窗效應之模擬與探討，2006，元智大學機械工程學系碩士論文。
36. 鄭亦婷，國內空廚廠房之防火安全評估，2006，元智大學機械工程學系碩士論文。
37. 唐敏賢，發光二極體磊晶廠之防火安全評估，2006，元智大學機械工程學系碩士論文。
38. 陳鴻中，建築材料對蘭陽仁愛醫院火災案例之影響評估，2006，元智大學機械工程學系碩士論文。
39. 張文龍，油槽區火災安全間距研究，2004，元智大學機械工程學系碩士論文。
40. 賴志忠，建築物火災電腦模擬與消防戰術之研究 --以 KTV 用途為例，2004，元智大學機械工程學系碩士論文。
41. 林明勳，長公路隧道縱式通風排煙系統之性能化分析，2007，長榮大學職業安全與衛生研究所碩士論文。
42. 陳清峰，挑高空間煙控系統之分析與探討，2007，長榮大學職業安全與衛生研究所碩士論文。
43. 陳佑任，醫療院所自動灑水設備性能化設計之探討，2006，長榮大學職業安全與衛生研究所碩士論文。
44. 陳泓翔，火警探測器之性能化設計，2006，長榮大學職業安全與衛生研究所碩士論文。
45. 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，2006，國立中山大學機械與機電工程學系研究所博士論文。

46. 柯建明，大型車站建築之火災煙控系統設計與電腦模擬分析，2003，國立中山大學機械與機電工程學系研究所碩士論文。
47. 陳榮進，新型捷運車站性能式煙控與避難系統設計分析，2001，國立中山大學機械與機電工程學系研究所碩士論文。
48. 何國晟，以電腦模擬輕質混凝土熱傳遞性質之研究，2003，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
49. 沈建宏，廠辦建築防火安全評估法之研究，2004，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
50. 鄭宗敏，建築物防火安全管理與風險分析之研究，2007，國立台北科技大學工程科技研究所博士論文。
51. 李慶彥，煙流行為於博物館火災避難逃生決策支援模式之研究-以國立故宮博物院為例，2007，國立台北科技大學土木與防災研究所論文。
52. 蘇進忠，自然排煙之排煙室建築外部空間與火災煙流之模擬研究-以集合住宅特別安全梯為例，2007，國立台北科技大學建築與都市設計研究所碩士論文。
53. 崔朝陽，地下商場性能式防火避難安全評估之研究，2003，國立台北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文。
54. 陳昱勳，隧道列車火災之模擬研究，2004，國立台北科技大學冷凍與低溫科技研究所碩士論文。
55. 蘇水波，鐵路地下化隧道通風緊急運轉模式與人員繞越火場避難逃生，2004，國立台北科技大學冷凍與低溫科技研究所碩士論文。
56. 黃培誠，屋內型配電室火災防護之研究，2005，國立台灣科技大學電機工程系碩士論文。
57. 盧建宏，挑高中庭之性能式火災煙控設計研究，2007，國立交通大學機械工程系所碩士論文。
58. 邱木全，整合性火災風險評估分析在通信行動電話廠之應用與探討，2005，國立交通大學工學院碩士在職專班產業安全與防災學程碩士論文。
59. 林靜慈，捷運車站防火性能設計探討，2006，國立交通大學機械工程系所論文。
60. 黃國勇，半導體廠煙控系統設計及動作程序之有效性研究，2004，國立交通大學工學院碩士在職專班產業安全與防災學程碩士論文。
61. 蔡清雄，火災模擬運用於核能電廠防火設計案例研究，2004，國立交通大學工學院碩士在職專班產業安全與防災學程碩士論文。
62. 邱奕雄，性能式煙控設計與避難分析~以無塵室為例，2005，國立交通大學機械工程系所碩士論文。
63. 邱晨瑋，區劃空間火災閃燃及回燃現象實驗及十二吋晶圓廠防火性能設計之研究，2005，國立交通大學機械工程系所碩士論文。
64. 王俊傑，高科技廠房防火工程設計應用-以晶圓廠為例，2003，國立交通大學機械工程系所碩士論文。
65. 林木榮，火災後果模擬運用在緊急應變系統設計，2002，國立交通大學產業安全與防災學程碩士班碩士論文。
66. 賴葦芸，高科技廠房防火安全性能研究-避難安全評估，2001，國立交通大學機械工程系所碩士論文。
67. 邱健倫，密閉空間火場模擬及熱應力分析，2007，國立成功大學航空太空工

- 程學系碩士論文。
68. 張岱軒，撒水頭作動時間的實尺寸房間分析，2007，國立成功大學機械工程學系碩士論文。
 69. 解力行，隧道火災局限速度之數值模擬，2006，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所碩士論文。
 70. 黃雄義，以 FDS 預測 ISO9705 房間試驗火場情境之可行性研究，2005，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所碩士論文。
 71. 王瑋榆，二氧化碳滅火系統應用於排氣櫃之研究，2006，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所碩士論文。
 72. 謝蕙如，地下通道煙流現象之縮小模型實驗探討，2006，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所碩士論文。
 73. 萬復森，牆面火焰延燒寬度效應之研究，2005，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所碩士論文。
 74. 傅世昌，公路隧道塞車時火災模擬與搶救對策之研究，2006，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
 75. 王振益，高層建築物防火安全改善對策之研究，2007，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
 76. 黃永富，排煙口設計對大空間建築物煙控之影響研究——以高雄現代體育館為例——，2007，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
 77. 林俊豪，大空間排煙口設置參數對排煙性能影響之研究，2007，國立臺北科技大學冷凍空調工程系所碩士論文。
 78. 沈義哲，高科技廠房自動撒水設備設置之研究，2006，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
 79. 鄭柏青，截火幕防火設備運用於防火區劃之火場模擬研究，2006，國立臺北科技大學建築與都市設計研究所碩士論文。
 80. 高士峰，集合住宅火害因子與防火評估之研究，2005，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
 81. 李政儒，應用 FMEA 在建築物中央空調與煙控併用系統風險評估之研究，2006，國立臺灣科技大學自動化及控制研究所碩士論文。
 82. 莊英吉，建築物防火區劃構件與部品之全尺寸火災試驗設備及方法開發，2007，國立臺灣科技大學建築系博士論文。
 83. 陳建銘，舊有集合住宅直通樓梯梯間避難安全性能改善研究——建築防火避難設施改善方法與其成效分析，2006，國立臺灣科技大學建築系碩士論文。
 84. 廖俊傑，火災模擬器之實驗與數值分析，2007，淡江大學航空太空工程學系碩士論文。
 85. 吳宜洲，大客車主動式滅火系統之研究，2006，雲林科技大學/機械工程系碩士論文。
 86. 吳品蓉，長公路隧道消防安全設備設置必要性之研究——以雪山隧道為例，2007，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
 87. 蕭世弘，加護病房避難安全策略及緊急應變作為之研究——以某醫學中心為例，2007，中央警察大學消防科學研究所碩士論文。
 88. 余家均，CRT 電視機火災危害性之研究，2007，中華大學營建管理研究所碩士論文。
 89. 鄭維金，半導體製程排氣風管細水霧防火效能評估之研究，2004，交通大學

- 產業安全與防災學程碩士論文。
90. 陳明桐，捷運隧道火災之數值模擬及其在人員避難與救援策略應用研究，2005，[高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所](#)碩士論文。
 91. 李訓谷，大空間中庭建築性能式煙控系統設計分析，2001，國立中山大學機械工程學系研究所。
 92. 張冠吾，火災模擬方法應用於消防滅火訓練設施設計之研究，2006，臺灣大學化學工程學研究所碩士論文。
 93. 張冠吾，火災模擬軟體(FDS)初探，2004，警學叢刊第三十四卷第四期。
 94. 孫禹銘，捷運地下車站月台門洩漏量分析，2004，財團法人中華顧問工程司中華技術電子書第 62 期。
 95. 高雅娟，捷運地下車站火災應變安全系統可靠度評估，2004，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
 96. 林瑞玉、呂信忠，矽甲烷供應系統火場模擬實例，2005，工業安全科技。
 97. 蘇水波、蔡尤溪、林啟基，鐵路地下化隧道通風對人員繞越火場避難逃生之研究，2004，2004 年能源與冷凍空調學術暨建築物能源管理技術研討會，經濟部能源局。
 98. 陳昱勳、蔡尤溪，捷運隧道內列車火災安全之模擬研究，2004，2004 年能源與冷凍空調學術暨建築物能源管理技術研討會，經濟部能源局。
 99. 沈子勝，火災危害分析技術研究，2004，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告。
 100. 台電公司核一廠用過核子燃料乾式貯存設施設置安全分析報告 ch_08 消防防護計畫，2007，台灣電力公司。
 101. 何明錦、張寬勇，住商複合建築物火災危險評估與防火避難安全對策之研究，2005，內政部建築研究所研究報告。
 102. 沈子勝，核電廠火災危害分析技術之研究，2005，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告。
 103. 沈子勝，核電廠火災危害分析技術研究，2003，行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告。
 104. 林仲廉、高崇洋、張祖烈、劉家彰、湯敬民、蕭培黃，新型火災模擬器製作與性能測試，2007，勞工安全衛生研究季刊第 15 卷第 3 期第 218-231 頁。
 105. 解力行、隧道火災局限速度之數值模擬，2007，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士論文。
 106. 黃國倫，隧道火場新增體積計算，2007，第五屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會。
 107. 鄒高萬、周允基、董惠、鄧治，火災模擬結果誤差分析的函數分析法，2007，中國安全科學學報第 17 卷第 3 期第 40-44 頁。
 108. 陳俊勳，”我國建築防火安全工程及設計法發展策略及必要項目規畫研究”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，2000。
 109. 陳俊勳，「建築物火災安全評估及電腦模式之應用」，建築物防火法規與防火安全設計研討會論文集，1999。
 110. 陳俊勳，”建築物火災成長延燒防止技術之性能式設計法之研究”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，2001。
 111. 汪箭、吳振坤、肖學鋒、何亞平，火災模擬計算軟件不同版本的計算結果差異，2005，消防科學與技術第 24 卷第 6 期第 698-700 頁。

112. 汪箭、吳振坤、肖學鋒、何亞平、” 建築防火性能化設計中火災場景的設定”，消防科學與技術第 24 卷第 1 期 P38-43，2005。
113. 簡賢文，” 建築物火災避難安全及煙控性能式設計法之研究(二)避難安全性能式設計法部分”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，2001。
114. 王鵬智，” 由加拿大經驗探討我國性能防火法規之執行策略”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，1999。
115. 丁育群、王鵬智，「國際建築防火法規之發展趨勢」，建築物防火法規與防火安全設計研討會論文集，1999。
116. 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」，2004。
117. 劉靜、程遠平、高宇飛，” 向性能化防火規範轉變應注意的幾個問題”，防災減災工程學報第 26 卷第 2 期 P235-239，2006。
118. 蘇鴻奇，” 火載量型態與延燒特性研究”，內政部建築研究所計劃成果報告，2007。
119. 鄒高萬、周允基、董惠、鄧治，” 火災模擬結果誤差分析的函數分析法”，中國安全科學學報第 17 卷第 3 期 P40-44，2007。
120. 李輝煌，” 田口方法品質設計的原理與實務”，高立圖書有限公司，2003。
121. 林大惠，” 建築物火災於防火性能的全尺寸驗證與整合分析”，內政部建築研究所計劃成果報告，2007。
122. 林誠興，” 建築物火災行為與結構安全之性能模擬分析”，行政院國家科學委員會專案計劃成果報告，2006。
123. Jik-Chang Leong、Falin Chen、James Y.S. Sun，Smoke Propagation in a Semi-circular Tunnel Fire with a Time-Dependent Heat Release Rate，2006，中國機械工程學會第二十三屆全國學術研討會論文集。
124. NIST, User's Guide for Smokeview Version 5- A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data, pp4 and pp39, 2007.
125. Chris Lautenberger、Guillermo Rein、Carlos Fernandez-Pello，The application of a genetic algorithm to estimate material properties for fire modeling from bench-scale fire test data，Fire Safety Journal，2006，41：p.204.
126. Hong HUANG、Ryozo OOKA、Shinsuke KATO、Hong CHEN，Optimal design of smoke control system using CFD and Genetic Algorithms，生產研究，2006，50 卷 1 號：p. 59。
127. R.D.Pecock、P.A.Reneke、W.D.Davis、W.W.Jones，Quantifying fire model evaluation using functional analysis，Fire Safety Journal，1999，33：p.167-184.
128. P.A.Friday、F.W.Mowrer，Comparison of FDS Model Predictions with FM/SNL Fire Test Data，National Institute of Standards and Technology，NIST GCR 01-810，Gaithersburg，USA，2001.4.
129. Standard Guide for Evaluating the Predictive Capability of Deterministic Fire Models ,ASTM E1355-05a ,American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA,2005.
130. Standard Guide for Documenting Computer Software for Fire Models ,ASTM E1472-07, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA,2007.
131. Standard Guide for Obtaining Data for Deterministic Fire Models ,ASTM E1591-07, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA,2007.

132. Standard Guide for Determining Uses and Limitations of Deterministic Fire Models ,ASTM E1895-07, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA,2007.
133. Kevin McGrattan、Anthony Hamins、Simo Hostikka、Jason Floyd、Bryan Klein、Fire Dynamics Simulator(Version 5)Verification and Validation Guide Volume 1: Verification(Draft)、National Institute of Standards and Technology、NIST Special Publication、2007.
134. B. Najafi, F. Joglar, J. Drisbach, Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Application Volume1 Main Report, U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research , NUREG-1824, EPRI 1011999,Final Report,2007.
135. A. Hamins, K. McGrattan, Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Application Volume2 Experimental Uncertainty, U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research , NUREG-1824, EPRI 1011999,Final Report,2007.
136. J. Dreisbach, K. Hill, Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Application Volume3 Fire Dynamics Tools(FDT^s), U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research , NUREG-1824, EPRI 1011999,Final Report,2007.
137. F. Joglar, Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Application Volume4 Fire-Induced Vulnerability Evaluation (FIVE-Rev1), U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research , NUREG-1824, EPRI 1011999,Final Report,2007.
138. R. Peacock, P. Reneke, Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Application Volume5 Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model (CFAST), U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research , NUREG-1824, EPRI 1011999,Final Report,2007.
139. F. Joglar, B. Guatier , L. Gay , J. Texeraud, Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Application Volume6 MAGIC, U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research , NUREG-1824, EPRI 1011999,Final Report,2007.
140. K. McGrattan, Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Application Volume7 Fire Dynamics Simulator , U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research , NUREG-1824, EPRI 1011999,Final Report,2007.
141. Jason Mark Clement, Experimental Verification of the Fire Dynamics Simulator(FDS) Hydrodynamic Model(DRAFT),University of Canterbury, Christchurch, New Zealand,2000.
142. Piotr Smardz, Validation of Fire Dynamics Simulator (FDS) for forced and natural convection flows, Master of Science in Fire Safety Engineering of University of Ulster,2006.
143. Jukka Hietaniemi, Simo Hostikka and Jukka Vaari, “FDS simulation of fire spread – comparison of model results with experimental data,” ESPOO 2004, VTT Working Papers 4.
144. Dat Duthin, Kevin McGrattan, Abed Khaskia,” Recent advances in fire-structure analysis” , Fire Safety Journal、2007、43 : p.161-167.
145. Ulf Wickström,” Heat transfer measurements and calculations - A proposal for a Forum research project”, The International FORUM of Fire Research Directors Annual Meeting,2007.

146. Richard D. Peacock, Paul A. Reneke, William D. Davis, Walter W. Jones, "Quantifying fire model evaluation using functional analysis", Fire Safety Journal, 1999, 33 : p.167-184.
147. P. Clancy, " A Parametric Study on the Time-to-Failure of Wood Framed Walls in Fire" ,Fire Technology, 2002, 38 : p.243-269.



附錄一 期初審查會議記錄與回應

審查意見	研究團隊回應
1. 本案可由實驗室以往所進行的實驗加以進行模擬驗證，以進一步對 FDS 設定參數調整。	依照辦理，本研究係依 96 年之實驗資料進行 FDS 模擬比對。
2. 建議參考 VTT 模式以實驗室各項不同實驗法進行實驗與模擬驗證。	本年度將先就實驗結果與 FDS 模擬所須參數進行研究比較分析，所提建議擬納入往後年度研究參考。
3. FDS 模擬熱釋放率所需參數建議加以探討，以供進行火災成長模擬熱釋放率之參考依據。	依照辦理，本研究係模擬材料受火源引燃燃燒為主，以探討所須之材料參數。
4. 請就標準實驗的加熱昇溫曲線加以模擬與驗證。	本年度將先就實驗結果與 FDS 模擬所須參數進行研究比較分析，所提建議擬納入往後年度研究參考。
5. 本年度是否再以田口實驗法進行實驗應加以說明。	本年度在完成材料受火源引燃燃燒模擬之後，後續研究將就 96 年度以田口實驗法實驗之料以 FDS 模擬比對，故不再作以田口實驗法進行實驗，在成果報告中將依照納入加以說明。
6. 模擬與驗證結果，應加以對火勢大小、延燒範圍之模擬要件及限制等提出建議。	依照辦理，將於成果報告中整理提出建議。
7. 應就 FDS 模擬火災成長準確性不足之原因加以探討。	依照辦理，將於成果報告中整理探討及說明。
8. 就 FDS 所提供之材料性質資料庫加以探討比對是否有地區性之差異。	依照辦理，將於成果報告中整理探討及說明。
9. 針對 FORUM 計劃進行房間火災試驗之意義應加以說明。	依照辦理。
10. 建議可就模擬與實驗結果以統計相似度分析方法作為模擬結果準確度評估。	將就模擬結果之曲線與實驗曲線以函數分析法，以數值方式作為模擬結果準確度評估。

附錄二 期中審查會議記錄與回應

審查意見	研究團隊回應
<p>嚴技正定萍：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 世界各國運用 FDS 做火災模擬的比例非常高，我們善加吸收運用作為 CNS 火災模式預測能力評估標準是非常正確的方法。 2. 第五章初步結論提到(第二行)因習性不同及氣候不同，可能造成計算結果預測的偏差，在材料之熱傳導係數、比熱、熱解熱許多數據是否以本土之數據實測值做計算基礎增加可靠度。 3. 本研究資料蒐集整理非常詳實。 	<p>感謝委員肯定。</p> <p>本研究主要目的之一，在於整理運用火災模擬所須之材料特性參數及其所須測試方法，以供後續研究研訂相關材料特性測試標準，以及進行模擬前可先測試各項材料之參數，做為計算基礎增加可靠度。</p> <p>感謝委員肯定。</p>
<p>郭教授詩毅：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 文獻回顧對近年來的研究進行整理，範圍廣泛且完整。 2. 研究所用柳安木堆為火源材料，為進一步模擬實際裝修空間，必須建立本土燃燒資料(材料參數影響很大)，作為模擬用輸入參數，此部份可再作發揮。 3. 計算機模擬發展成熟，對學界、業界、主管官署皆有助益，此部份有必要進一步發展。 4. 計算機模擬的結果在應用及參考評定上也要再作思考，若後續計畫能建立本土參數資料庫，則更具應用完整性。 	<p>感謝委員肯定。</p> <p>本研究在於瞭解模擬程式所用之材料參數之影響性，為簡化以免使用多種材料時而無法達到目的，故以單一柳安木堆，被引燃時其材料參數之影響性作探討。</p> <p>將以實驗來驗證以供各界參考。</p> <p>先瞭解所須之材料特性參數項目及其測試方法後，在後續研究將建立材料所須特性測試標準，再進行參數資料庫之建立。</p>

<p>鄭教授復平：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. FDS 的每個參數所代表之意義，建議加以詳細說明，以利其他使用者使用參考。 2. 國外使用習性與國內不同，尤其是使用鋁帷幕與磚牆對於散熱模式差異很大，對這些參數之影響應一併注意。 3. 燃燒的溫度分布因使用者習性不同會有不同，建議考慮其差異性。 	<p>由參數眾多將先就本研究以材料備引燃所須參數所探討項目作整理供後續研究參考。</p> <p>研究時間有限將納入後續研究參考。</p> <p>研究時間有限將納入後續研究參考。</p>
<p>鍾教授興陽：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 針對 FDS 模擬火災的國內文獻回顧縮蒐集詳實、完整。 2. 如在經費許可範圍內，未來研究案可採用一些商用軟體例如 FLUENT、STAR-CD、PHOENICS、CFX … 等等與 FDS 結果相比較。 3. 針對第四章鋼材的熱傳參數，除 Eurscode-3 有建議公式外，美國 NIST 針對 WTC 倒塌也作了完整的鋼材熱傳參數實驗，研究團隊可參考採用。 4. 建立本土材料燃燒資料庫有助模擬之正確性。 	<p>感謝委員肯定。</p> <p>將納入後續研究參考。</p> <p>將先就 Eurscode-3 部分進行研究，如有時間再參考 NIST 的資料進行探討或納入後續研究參考。</p> <p>為本研究目標，惟時間有限將於後續研究逐步建立。</p>
<p>趙教授文成：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 宜先取得國外標準例題或 benchmark 以瞭解該程式之參數意義及敏感性。 	<p>本研究係以材料備引燃特性進行探討，此方面在 FDS 第 5 版才增加較多材料燃燒特性參數，而該版係今年 NIST 才修訂，國外尚無例題可參考，惟將與 FORUM</p>

<p>2. 文獻收集相關完整。</p> <p>3. Gas burner 之溫度變化非穩定狀態但於梁平板上，溫度測點讀數卻穩定變化，是否正確，請再瞭解。</p> <p>4. 建議探討文獻中對 FDS 之瞭解程度。</p>	<p>之計畫結果進行比對。</p> <p>感謝委員肯定。</p> <p>所附之圖為 Gas burner 流量與熱釋放率調整測試，因剛完成房間實驗，尚未整理，期末報告已將實驗中 Gas burner 之單位時間流量所燃燒之熱釋放率修正。</p> <p>因文獻中大多未將其所建參數附錄，且量大，將盡力整理。</p>
<p>陳教授永祥：</p> <p>1. 電腦模擬與實驗結果，應多做比較並說明其異同點及理由。</p> <p>2. 請與其他文獻相關實驗或電腦模擬結果作參考比較。</p> <p>3. 研究內容純學術性較高，應用性較不足，建議可作一些實物燃燒模擬，以強化應用性。</p> <p>4. 研究期間建議可作專家訪談或座談，以加強研究成果。</p>	<p>此為本研究之目標。</p> <p>本研究係以所能掌握且較清楚之實驗條件進行模擬驗證，其他文獻相關實驗其詳細條件較難取得，故委員所建議將納入後續研究參考，在能掌握模擬之要件後，再予以比對。</p> <p>由於目前的模擬程式大多為計算流體力學所發展，而材料燃燒係化學與物理變化，因此要以物理模式模擬化學變化，須要較多材料燃燒特性，故本研究簡化以單一材料進行模擬，以瞭解模擬所須影響參數後，後續研究再逐步進行實物燃燒模擬。</p> <p>參與「建築物火災於防火性能全尺寸驗證與整合分析（二）數值模擬分析」專家諮詢會議。</p>
<p>陳組長建忠：</p> <p>1. Forum 所邀比對實驗務必掌控時效完成，必要時以獨立報告書陳送。</p>	<p>將於期末報告中專章探討及於11月完成獨立報告陳送。</p>

<p>2. FDS 的 18 項限制條件，請具體於報告中表達，以便後續使用者、審查者之參考。</p> <p>3. 電腦分析程式(程式)之驗證標準，請具體提出。</p>	<p>已列於報告中。</p> <p>已研訂標準草案於附錄中。</p>
---	------------------------------------



附錄三 期末審查會議記錄與回應

審查意見	研究團隊回應
<p><u>鄭教授復平</u>：</p> <p>1、FDS 模擬成果正確與否與使用參數關係至大，建議繼續執行，期使能有關於參數使用之參考指南，以利推行，否則無法驗證其正確性。</p> <p><u>鍾教授興陽</u>：</p> <p>1、本研究案兼顧實驗與分析，並利用 FDS 進行火源模擬與局限空間火災之溫度分佈模擬，已獲致相當成果，相信未來在更準確的材料參數建立後，能有更好之模擬。</p> <p>2、第四章之圖形，如圖 4-25、4-26、4-27、4-29、4-30、4-31、4-32 因有灰階變化，但在報告中無法看出其變化程度，希望研究團隊在成果報告時能將圖形加大、加深來顯示。</p> <p><u>林教授文山</u>：</p> <p>1、本研究文獻蒐集詳實完整。</p> <p>2、材料參數探討與火源模擬檢證，以 FDS 模擬採用單一實驗檢證，經調整其參數後可於火災成長期擬合，無法完全模擬火災歷程，實驗比對資料很重要，一般選用比對之實驗資料應具公證性(許多文獻比對驗證過)，且這一比對資料僅為單一試驗結果，建議可先參考文獻之實驗結果(多組實驗平均)。</p> <p>3、本研究以多次實驗結果進行檢證工作，為一合理方向，圖 3-14、3-15、3-16 無法辨識實驗與 FDS 曲線。</p> <p>4、FDS 模擬輸入資料很重要，表 3-10 及表 4-1 為 FDS 輸入設定，建議將此化為文字敘述或表格，並對所使用參數說明(為何用此參數，參數參考文獻為何)。</p>	<p>納入後續研究參考。</p> <p>感謝委員肯定。</p> <p>已作修正。</p> <p>除以單一實驗進行模擬外，也以多組重覆性實驗資料作模擬比對，如第三章第三節。</p> <p>已作修正。</p> <p>參數意義於 FDS5_User_Guide Chapter 13 中有詳細列表說明，FDS 使用者應詳參，因說明資料太多在本研究中不作敘述。</p>

<p>5、對於結構防火而言，可能為最高溫度在構件上之分佈(因為材料之勁度及強度，因溫度升高而減少，影響結構安全)，火災歷程對結構防火或許並不是特別重要，是否有其他方法可供參考。</p>	<p>火災歷程是一種熱(溫度)與時間關係，在火災歷程中空間溫度場之變化，則直接影響結構安全。</p>
<p><u>黃教授然：</u></p>	
<p>1、請敘明建立火災影響因子模擬評估驗證模式。</p>	<p>敘明於第三章第二節 4。</p>
<p>2、圖 4-13 及圖 4-14 標示不清請修正。</p>	<p>已修正。</p>
<p>3、相關文獻蒐集完整，以統計方法進行參數分析值得肯定。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>
<p>4、結論 2 請依研究成果更加明確敘述。</p>	<p>已修正。</p>
<p><u>郭教授詩毅：</u>(書面意見)</p>	
<p>1、目前所應用的火災模擬程式，皆非我國所自行研發，如我國所用材料參數、氣候因素、使用習慣等的差異，在應用上一定存有若干界面問題，如考慮自行發展一套本土火災程式，則又不符合經濟，故如何消除此界面或差異，是一個努力的方向，建議後續研究可以列入。</p>	<p>納入後續研究參考。</p>
<p>2、另同時也建議訂定相關模擬程式驗證之標準，讓產官學各界在應用或審查上，有所依據。</p>	<p>已研訂如附錄四至附錄八。</p>
<p>3、後續研究建議建立材料所需特性測試標準，再行建立本土參數資料庫，則研究成果能具有完整性的呈現，在應用上更具效用。</p>	<p>納入後續研究參考。</p>
<p><u>台北市土木技師公會：</u></p>	
<p>1、以火災成長模擬 FDS 之規模尺寸較小，是否可代表真實狀況。</p>	<p>本研究已以長 6m 寬 6m 空間進行模擬，由於大空間實驗在經費、人力與時間上皆須考量且不易進行，如能由較小規模先得到驗證，在往大規模空間進行模擬與驗證較能掌握關鍵性變數。</p>
<p>2、建議能建立火場之等溫度線更能理解 FDS 之結果。</p>	<p>溫度場之變化性較複雜，本研究先以相較複雜性較低之熱釋率進行驗證為主，溫度場之探討將納入後續研究參考。</p>
<p><u>台北市建築師公會：</u></p>	

<p>1、建議結論以研究目的及預期成果作收斂。</p> <p><u>陳組長建忠</u>：</p> <p>1、房間實驗溫度並未到達標準溫度時間曲線，且各測溫點溫差仍大，請補充。</p>	<p>已作修正。</p> <p>房間實驗係以提供穩定燃燒源，非耐火爐之標準實驗，故無所謂標準溫度時間曲線，且火源係單一並非全面性，故各測點溫度因距離火源遠近關係，會有差異，因非標準耐火爐實驗，無法控制為均溫性，不過此一不均勻溫差現象較符合實際火災現象。</p>
---	--



附錄四

中華民國國家標準	火災模式評估—	總號	○○○○○○-1
CNS	第 1 部 決定性火災模式預測能力評估標準指引	類號	A○○○○
Fire model evaluation-Part 1 : Standard Guide for evaluating the predictive capability of deterministic fire models			
目 錄			
章 節	目 錄		頁 次
1. 適用範圍.....			
2. 用語釋義.....			
3. 概要.....			
4. 重要性與用途.....			
5. 一般方法.....			
6. 模式與情境之定義.....			
7. 模式之理論基礎.....			
8. 數學與數值之強健度.....			
9. 模式靈敏度.....			
10. 模式評估.....			
11. 評估報告.....			
公 布 日 期 年 月 日	經濟部標準檢驗局印行		修訂公布日期 年 月 日

1. 適用範圍

本指引旨在提供評估火災模式於特定用途預測能力的方法。用意在含蓋可用來評估火災對於結構物內及結構物之影響的所有決定性數值模式。

評估火災模式於特定用途預測能力的方法，由下列四個方面組成：

- 界定進行評估的模式與情境。
- 確定模式採用的理論基礎與假設的適當性。
- 確認模式數學與數值的強健度。
- 量化模式預測於類似火災情境的事件過程結果的不確定度與準確度。

本標準並非在處理任何與使用本標準有關的安全關切事項，使用者有責任制訂適當的安全與衛生基準，並在使用前決定其管理限制的可行性。

本指引在分析作為 CNS ○○○○○○-3 指引詳細內容下，認定了解模式的用途與限制。

本標準不可作為提供量化措施用。

2. 用語釋義

2.1 定義：本指引中有關建築物防火詞彙，係參考 CNS 2579、CNS 12680、CNS 14651、CNS 14652 及 CNS 14996 中所規定有關品質及防火安全之主要用語。

2.2 特定用於本標準之用語的定義。

2.2.1 模式評估：係指量化某模式施行於特定用途時所得的選定結果，其準確度之過程。

2.2.2 模式確認：係指經由支持某事之存在或真實之資料之提供，證實某計算方法，業已滿足預期用途或應用之要求，能準確代表實際情境的過程。

2.2.2.1 討論：確認的根本策略是指出及量化概念與計算模式在預期用途上的錯誤與不確定性。

2.2.3 模式查證：係指經由支持某事之存在或真實之資料，證實某計算方法的實施，能準確代表制訂者計算方法的概念描述，及計算方法的答案的過程。

2.2.3.1 討論：計算模式證明的根本策略是指出及量化計算模式及其結果之誤差。

2.2.4 模式的精密度係指某模式的決定性能力及其可重複性之變異程度。

2.2.5 模式準確度係指模式複製實際火災的發展之偏差程度。

3. 概要

本指引的內容為描述評估火災模式的預測能力的建議過程。此過程包括對模式及其欲評估的情境作概略的描述。接下來的內容為提供進行分析，以量化模式評估各種不確定因子的各種方法，及評估模式預測準確度的數種替代方案。歷來數值的準確度與時間間隔的大小與誤差有關。更完整的評估需納入空間的考量。最後，本指引提供有關摘要評估過程所需的各種相關文件。

4. 重要性與用途

4.1 模式評估的過程對建立火災模式可接受的用途及各種限制非常重要。要對某模式作完整的評估是不可能的，是以本指引的用意在提供能評估模式於特定用途的預測能力的方法。對一種應用或情境確認，並不適用於對不同的情境確認。本指引提供實施評估過程的數種替代方案，包括依標準火災測試對預測能力進行比較、全尺度火災實驗、現場經歷、已發表的文獻、及先前已評估過的模式。

4.2 火災模式目前除已用於火災研究實驗室外，並擴大至工程學、火災設施及法律團體。需對火災模式進行充分的評估，以確保使用模式者能判斷模式的科學與技術基礎的適當性、選定的模式適合預期用途、及了解模式預測結果的可信賴程度。適當的評估有助於預防火災模式的誤用。

4.3 本指引假定當依 CNS ○○○○○○-3 指引詳細分析時，能了解模式的用途與限

制。

- 4.4 本指引的用意在配合其他標準指引一起使用，並供下列人員使用：
 - 4.4.1 模式發展者—用來證明特定計算方法用於特定應用的用途。模式發展部分應包括精密度的鑑定、可行性的限制及獨立測試。
 - 4.4.2 模式使用者—用來確保正確採用適當的模式於應用上，且該模式可提供適當的準確度。
 - 4.4.3 模式功能代碼的發展者—確保有將確認計算程序併入代碼內。
 - 4.4.4 核准人員—確保在提交案中引用的以數學模式計算所得的結果，能符合本指引的要求，清楚顯示模式是於現行限制內使用，且具有可接受的準確度。
 - 4.4.5 教育者—可證明其所教的計算方法的應用方式與接受度。
- 4.5 本指引的用意並非在描述可接受的測試程序。
- 4.6 本指引的重點為火災發展的數值模式。
 - 4.6.1 模式的精密度係指某模式的決定性能力及其可重複性之變異程度。
 - 4.6.2 模式準確度係指模式複製實際火災的發展之偏差程度。
5. 一般方法
 - 5.1 本評估火災模式於特定用途預測能力的方法，由下列四個方面組成：
 - 5.1.1 界定進行評估的模式與情境。
 - 5.1.2 確定模式採用的理論基礎與假定的適當性。
 - 5.1.3 確認模式數學與數值的強健度。
 - 5.1.4 量化模式預測於類似火災情境的事件過程結果的不確定度與準確度。
 - 5.2 模式與情境之定義：
 - 5.2.1 模式文件：充分文件包括電腦軟體在內的計算模式，對評估模式科學與技術基礎的適當性，及運算程序的準確度是絕對需要的。此外，充分的文件也有助於預防火災模式的誤用。有關以電腦為基礎的火災模式的指引文件，列於CNS ○○○○○○-2指引內，而決定性火災模式的用途與限制，及所需的知識列於CNS ○○○○○○-3指引內。評估火災模式預測能力的詳細內容列於第6.1節。
 - 5.2.2 情境文件：對評估關切的情境或現象提供完整的描述，以促進模式適當的應用、幫助形成模式符合實際的輸入值、及建立判斷評估結果的標準。評估火災模式預測能力的詳細資料列於第6.2節內。
 - 5.3 模式中的理論基礎與假設：對模式固有的基礎物理學與化學進行獨立審查，以確保組合來形成整個模式的各子模式的適當應用。評估火災模式預測能力的詳細資料列於第7節內。
 - 5.4 數學與數值強健度：對模式的電腦執行檢查，以確保此類執行符合指出的證明。評估火災模式預測能力的詳細資料列於第8節內。此部分加上第5.3節，可構成模式的確認。
 - 5.5 量化模式的不確定度與準確度：
 - 5.5.1 模式的不確定度：縱使決定性模式通常是仰賴由實驗量度、實驗相關性、或由工程學判斷所得的估算值作為輸入值，但模式輸入值的不確定度，會導致產出值具有對應的不確定度。靈敏度分析可依據模式輸入值經估算的不確定度，來量化產出值的不確定度。取得火災模式輸入數據的指引，列於CNS ○○○○○○-4指引內。評估火災模式預測能力的靈敏度分析詳細資料列於第9節內。
 - 5.5.2 實驗不確定度：一般來說，量測結果只是所測試特定量試體的近似值或估算值，所以結果只有在以不確定度的量化計算後才算完成。進行全尺度燃燒試驗法，列於CNS 15048。評估量測不確定度的指引，列於國際標準組織(ISO)的量測不確定度表示指引內。

5.5.3 模式評估：以預測火災模式取得火災行為的準確度估算值，包含確定有使用適合欲模式化情境的正確模式輸入值、選擇適合模式化情境的正確模式、以選定模式作正確計算、及對模式計算結果作正確的解釋。以對計算預測結果不同的了解程度，來評估特定情境可能誤差的各種來源。評估火災模式預測能力的詳細資料列於第 10 節內。

6. 模式與情境之定義

6.1 模式文件：對欲評估的模式應提供詳細資料，使評估使用者能獨立重複進行評估。至少應提供下列資料：

6.1.1 模式的名稱與版本別。

6.1.2 模式制訂者的姓名。

6.1.3 相關出版品的表單。

6.1.4 指出模式用途、限制與結果。

6.1.5 模式的類型，亦即在有限體積法、拉格朗座標等共通基礎等。

6.1.6 模式嚴密度的聲明，包括：

6.1.6.1 模式內定的各種假設，及模式公式所含的支配方程式。

6.1.6.2 解方程式使用的數值，及各種解答使用的方法。

6.1.7 公式中與指定用途，或其他可能用途有關的其他假設。

6.1.8 運算模式所需輸入的數據。

6.1.9 電腦程式所設定的所有數據，或模式制訂時所假設的所有數據。此部分應納入經驗資料，及選擇內定的不確定度。例如區域模式需納入熱柱方程式，而計算流體力學(CFD)模式應納入可自由移動/不能移動的邊界條件。

6.2 模式已評估過的情境：應提供已進行評估的各種參數範圍的詳細資料。足夠的資料應包括能使評估使用者獨立重複評估的資料，至少需提供下列資料：

6.2.1 關於情境或現象的描述。

6.2.2 模式所要評估的預測量的表單。

6.2.3 每種數量所需的準確度。

7. 模式之理論基礎

7.1 模式的理論基礎應由一或多位公認完全精通火災現象的物理學與化學，且未參與模式建立的專家進行同儕審查。刊於同儕審查期刊中有關模式理論基礎的文獻，足以達成此審查目的。審查應包括：

7.1.1 文件完整度的評估，尤其是各種假設與近似值的評估。

7.1.2 評估公開科學文獻中是否有足夠的科學證據，能證明模式使用方法與假設的適當性。

7.1.3 評估實驗或參考數據用於模式內容中的常數與內定值的準確度與可行性。

7.1.4 當假設及此選擇的相關性需閉合方程式時(不包括於第 7.1.3 節)時，解題的方程式組。

8. 數學與數值之強健度

8.1 應實施的分析包括：

8.1.1 分析測試：當程式實施於已知數學解答的情況時，分析測試是測試模式具有正確功能的有用工具。但只有相對較少的情況(尤其是複雜的情境)，具有已知的分析解答。需對各子模式實施分析測試。舉例來說，如能經由分佈提供密閉空間的熱損答案時，模式要能實施此計算。

8.1.2 規範檢查—規範應以結構性的基礎，最好由第三團體以全人工方式，或以規範檢查程式來偵測電腦規範內的不規則與不一致性來確認。規範檢查的過程可增加程式能將數據處理至正確程式內能力的信賴程度，但不能提供程式可能適當性與準確度的指示。

8.1.3 數值測試—數學模式通常是以微分或積分方程式表示。模式通常是非常複

雜的，且分析答案很難甚至無法找到。需有數值技術來找出近似的答案。這些數值技術對所預測的結果，可能是誤差的來源。數值測試包括從模式使用的方程式系統的答案中，研究殘餘值的強度，以做為數值準確度的指標，並以殘餘值的減少作為數值收斂的指標。代數方程式需進行誤差(不確定度)測試、常微分方程式對時間間隔誤差，及偏微分方程式需進行網格離散度分析。此應包括檢查答案的殘餘誤差、輸出變數的穩定性、適當量保存的整體檢查、邊界條件的影響、及有無網格與時間間隔收斂。最後，需檢查有無達成一致性與穩定性的要求。

8.1.4 許多火災問題包含各種物理過程的交互反應，例如化學或熱過程與機械反應。與過程有關的時間刻度會有具體的差異，很容易造成數值的難度，此種問題稱為僵硬。一些數值方法具有難度與僵硬的問題，因其盲從般的遵守迅速的變化，縱使該變化在答案中比一般趨勢更不重要。對於僵硬的問題可由已研發出特別的運算法來解決。

8.1.5 文獻中已考量過預測火災模式的數值準確度。

9. 模式靈敏度

9.1 火災成長模式通常是以型態如下的常微分方程式系統為基礎：

$$\frac{dz}{d\tau} = f(z, p, \tau) \quad z(\tau = 0) = z_0 \quad (1)$$

其中：

z (z_1, z_2, \dots, z_m) 代表方程式系統的答案向量(例如質量、溫度或體積)。
 P (p_1, p_2, \dots, p_n) 代表輸入參數的向量(例如房間面積、房間高度、熱釋放率)。

τ 代表時間。

這些方程式的答案一般無法明確知道，而需以數值判定。為研究此類方程式組的靈敏度，應將輸出值 z_j 對輸入值 p_i ($j = 1, \dots, m$ 且 $i = 1, \dots, n$) 偏微分來檢視。

9.2 A 模式的靈敏度分析是種模式參數的變化，會如何影響模式產生結果的研究。模式預測可能對輸入數據、模式化相關物理學與化學的嚴密度、及對數值處理準確度的不確定度靈敏。進行靈敏度分析的目的是評估模式輸入值的不確定度，展現於結果的不確定度。此部分的資料可用來：

9.2.1 決定模式中的支配變數。

9.2.2 界定每個輸入變數量值的可接受範圍。

9.2.3 量化輸出變數對輸入數據變異的靈敏度。

9.2.4 通知及警告可能使用者，有關在選擇輸入值與運算模式時應小心的程度。

9.3 模式的輸入值包括：

9.3.1 情境的特定數據：例如範圍的幾何學、環境條件及火災性質的特定數據。

9.3.2 特性數據：例如導熱度、密度與熱容等。

9.3.3 數值常數：例如紊流模式常數、拽引係數與孔徑常數。

9.4 進行火災模式的靈敏度分析不是件簡單的工作，許多模式需輸入大量的數據，方可得到多輸出變數對預期時間的預測。

9.4.1 時間與經費變成決定分析內容與程度的重要因子。在設計靈敏度分析實驗會面臨的一個實際問題，是所需的模式運算次數，會因輸入參數的數目，及考量的獨立變數的數目而快速增加。所以將所有因子納入進行實驗，在耗費的人力與回收上是不可行的。

9.4.2 在許多情況下，基於取得有關輸入參數變化造成的影響，及隨後應考量的重大交互作用的資料的目的，實施部分因子實驗便已足夠。在此情況下，第三階或更高階的交互作用可以忽略。

9.4.3 對多參數模式進行靈敏度分析，一個有效的方法，是以可處理的單一模式模擬數來進行分析。對較高等級的非線性火災模式，最常選用的方法是拉丁高立方抽樣法(Latin hypercube sampling)：

9.4.3.1 拉丁高立方抽樣法：此法是將輸入參數的可能範圍，區分為具同等機率的N個區間。對每個輸入參數，於每個區間隨意選擇一個值。接著從每個輸入參數所得的N個機率中隨意選出一個值。此值的組合用於第一個模擬。此處理步驟重複N次以產生N組參數，以用於共N次模擬。目前已有軟體可用於計算拉丁高立方抽樣法的參數值。

9.5 已有數種靈敏度分析的方法用於火災模式。選擇何種方法應依可用的資源，及欲分析的模式而定。兩種常用的方法如下：

9.5.1 整體法：此法是產生輸入參數整個範圍的平均靈敏度量值。本法需了解輸入參數的機率密度函數，而在火災模式中通常是未知的。

9.5.2 區域法：本法是產生輸入參數特定組合的靈敏度量值，且需對輸入參數的範圍重複實施，以取得模式整體功能的資料。各種方法可在不修改模式的方程式組下實施，但需慎選輸入參數來取得好的估算。直接方法以衍生自以模式解開的方程式組的靈敏度方程式，來補充模式解開的方程式組。接著以靈敏度方程式配合模式的方程式系統解開，以取得靈敏度。直接方法需併入火災模式的設計內，且通常未能從現有的火災模式取得。有數種等級有關的區域法，依方程式(1)的命名，將這些方法分列於下。

9.5.2.1 各種提供靈敏度函數估算的有限差分法，以近似輸出值 z_i 對輸入值 p_i 的偏導數，作為有限差分：

$$\frac{\partial z_j}{\partial p_m} = \frac{z_j(p_1, p_2, \dots, p_m + \Delta p_m, \dots, p_k) - z_j(p_1, p_2, \dots, p_m, \dots, p_k)}{\Delta p_m} \quad (2)$$

$j = 1, 2, \dots, n, \quad m = 1, 2, \dots, k$

此方法容易實施，但一如各種有限差分法，選擇 Δp_m 對取得好的估算值非常重要。為決定n-k個首階靈敏度方程式，需對模式進行k +1次運算。此可以較大的系統或平行的系統同時運算。

9.5.2.2 直接方法從常微分方程式系統，衍生出靈敏度微分方程式：

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial z_j}{\partial p_m} = \frac{\partial f_j}{\partial p_m} + \sum_i \frac{\partial f_j}{\partial z_i} \frac{\partial z_i}{\partial p_m} \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad m = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

這些方程式接著配合模式的微分方程式系統解開，以取得靈敏度。要計算n×k個首階靈敏度，需進行1次模式運算。這些可直接併入模式內，並以一個n + (n · k)微分方程式的配對組來解開，或未配對解開模式方程式，並以模式的解答及適當的插補體系重複進行靈敏度方程式。

9.5.3 反應曲面法：一個適當的向量函數，符合模式運算的選定組，接著假設所得的變化模式，會以模式相同的方式表現。經由適當的選擇函數，所得的變化模式會比實際模式更易分析。接著以解方程式來實施變化模式的靈敏度分析。變化模式解答的Jacobian矩陣代表靈敏度方程式。

10. 模式評估

10.1 模式應對其特定用途下，量化預測結果的能力進行評估，例如：

10.1.1 火災成長與延燒(以溫度、煙霧及氣體濃度來表示)。

10.1.2 火焰延燒速率、耐火性等。

10.1.3 火災危害(以逃出時間與保持能力等來表示)。

10.1.4 主動與被動防火的應變。

10.1.5 其他一些性質。

- 10.2 模式評估可解決預測火災模式中，設計與用途上多種可能的誤差來源，包括有將適合情境的正確模式輸入值模式化、對選定的模式正確計算、及正確解釋模式的計算結果。對特定情境進行評估，及以對計算的預測結果不同程度的了解，可解決這些多種可能的誤差來源。要知道只有一個或多個評估程度可納入特定的模式評估。
- 10.2.1 盲式計算：應提供模式使用者有關模式化情境的基本描述。在此種應用時，問題描述非正確的，模式使用者有責任從問題描述中，制訂適當的模式輸入值，包括幾何學、材料性質及火災描述的其他詳細資料。以特定模式模擬情境所需的其他資料，留給模式使用者判斷。除了說明模式於實際終端使用情況的相容性，需對使用模式來制訂模式的適當輸入數據者的能力進行測試。
- 10.2.2 特殊計算：應提供模式使用者有關模式輸入值的詳細完整描述，包括幾何學、材料性質及火災描述的其他詳細資料。作為盲式計算的追蹤，此測試可對模式的基礎物理學，與更完整的敘明情境間提供更審慎的比較。
- 10.2.3 公開計算：應提供模式使用者有關情境的最完整資料，包括幾何學、材料性質、火災描述、及用於評估前兩種計算的實驗測試或板凳模式運算的結果。缺少的輸入值在公開與盲式計算比較時會變得最明顯。
- 10.2.4 問題描述與模式輸入值：不同的模式，在上述三個層級的問題描述的詳細程度也會不同。舉例來說，一些模式在幾何學上需精確的描述，而其他模式只需簡單描述室內的體積即可。對一些模式需對火災的熱釋放率、熱裂解速率及物種產生速率等需輸入值作詳細的描述；而其他模式，這些參數可能是計算出的產出值。對三種層級的評估，每一級的問題描述均應詳細到能對問題進行模擬。
- 10.3 模式需以下列一種或多種工具來評估：
- 10.3.1 與標準測試法比較：
- 10.3.1.1 進行測試的指引，是以相關測試方法來提供。一般的測試條件均完整界定，且把重點放在一個或多個特定的產出變數。
- 10.3.1.2 模式的預測能力可依測試的產出變數來測試。此方法在評估設計來預測耐火性、火焰延燒速率等數量的的模式特別有用。
- 10.3.1.3 當數據可取得時，模式的預測能力能以測試/實驗數據的不確定度，與因模式輸入值的不確定度所產生的模式結果的不確定度進行比較來查看。
- 10.3.2 與特為選定評估的全尺度測試進行比較：
- 10.3.2.1 進行全尺度區劃測試的指引，列於CNS 15048內。
- 10.3.2.2 模擬應設計成儘可能複製所要評估情境的明顯特徵。數據應包含足夠詳細的資料(例如最初的情況、時間刻度等)，來建立預測與實測量間的對應性。
- 10.3.2.3 預測能力可以比較重要量值的預測量與實測量、比較火災的重要事件、及將模式預測的重要行為屬性，與模擬時所測得的重要行為屬性比較來評估。
- 10.3.2.4 當數據可取得時，模式的預測能力能以全尺度測試結果的變異，與模式靈敏度來查看。
- 10.3.3 以先前已發表的全尺度測試數據進行比較：
- 10.3.3.1 應小心以確保測試有高度模擬所要評估的情境。舉例來說，模式預測的輸入數據應反映實際的測試條件，且一些數據需正常化，以確保比較的準確度。
- 10.3.3.2 雖然重要的量值可能已進行或未進行測量，但預測能力常可以比

較重要變數的預測量與實測值、比較火災的重要事件、及將模式預測的重要行為屬性，與模擬時所測得的重要行為屬性比較來評估。

10.3.3.3 當數據可取得時，模式的預測能力能以全尺度測試結果的變異，與模式靈敏度來查看。

10.3.4 與敘明的火災經驗進行比較：

10.3.4.1 火災經驗的統計數據，需對其可信度加以判斷。

10.3.4.2 模式的預測能力可與真實火災目擊者的闡述來比較。

10.3.4.3 模式預測能力可與各種材料於火災時的已知行為(例如材料的熔解溫度)來比較。

10.3.4.4 模式預測能力可與觀察到的火災後情況，例如各種材料於火災時的已知行為(例如材料的熔解溫度)、火災延燒的程度及保持能力等來比較。

10.3.5 與經證實的基準模式比較：

10.3.5.1 應小心以確保基準模式已對關切的情境評估。

10.3.5.2 預測能力可以比較重要量值的預測值、比較兩個模式所預測的火災重要事件、及比較兩個模式預測的重要行為屬性來評估。

10.3.5.3 當數據可取得時，模式的預測能力能以兩個規模預測靈敏度的變異來查看。

10.3.6 量化模式評估：任何預測量所需及認定的一致程度，依該量值在評估的特定用途範疇內的典型用途、比較的性質、及比較相對於其他已進行比較的程度而定。

10.3.7 對於單點比較，例如時間對重要事件或波峰值比較時，比較的結果應以絕對差異表示(模式值－參考值)、相對差異(模式值－參考值)/參考值、或其他比較來表示。

10.3.8 對於兩個時間為基礎的曲線的比較，量化比較依曲線的特徵而定：

10.3.8.1 對穩定狀態或接近穩定狀態的比較，比較應以平均絕對差異，或平均相對差異表示。

10.3.8.2 非穩定狀態的比較：

(a) 比較應以計算出的絕對差異或相對差異的範圍表示。

(b) 比較應以關切量的時間積分值的比較來表示。

(c) 基準的概念提供向量長度的定義。兩個向量間的距離只是兩個向量間的

差異所得的向量長度。符號表示為 $\|\vec{x}\|$ ，其中 \vec{x} 是 n 次空間向量 ($x_1,$

x_2, \dots, x_{n-1}, x_n) 的意思。所有的數據可以每個時間點測得值的向量 \vec{E}

來表示，而模式於相同時間點的預測值可以向量 \vec{m} 表示。這兩個向

量間的距離是向量差異的基準或 $\|\vec{E}-\vec{m}\|$ 。歐幾里德基準是計算此長

度最直覺的方式：

$$\|\vec{x}\| = \sqrt{\sum_i x_i^2} \quad (4)$$

兩個向量的內積 (\vec{x}, \vec{y}) ，等於兩個向量的長度，乘以其間的餘弦值，或

$$\left(\vec{x}, \vec{y}\right) = \frac{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\| \cos\left(\angle\left(\vec{x}, \vec{y}\right)\right)}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \cos\left(\angle\left(\vec{x}, \vec{y}\right)\right) \quad (5)$$

或

$$\cos\left(\angle\left(\vec{x}, \vec{y}\right)\right) = \frac{\left(\vec{x}, \vec{y}\right)}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \quad (6)$$

為兩條曲線形狀的差異。

選擇內積為標準點的乘積，可提供與典型的歐幾里德解釋一致：

$$\left(\vec{x}, \vec{y}\right) = \sum x_i y_i \quad (7)$$

函數x的Hellinger內積，使得依據函數的一階導數界定為x(0)=0：

$$\left(\vec{x}, \vec{y}\right) = \int_0^T x'(t) y'(t) dt \quad (8)$$

對於不連接的向量，可以如下的一階導數近似：

$$\left(\vec{x}, \vec{y}\right) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{i-1})(y_i - y_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \quad (9)$$

依據曲線的一階導數或切線值，Hellinger內積與基準，可提供兩個向量形狀比較的靈敏量值。Hellinger內積的差異，可依割線而界定如下：

$$\left(\vec{x}, \vec{y}\right) = \frac{\int_{pT}^T (x(t) - x(t-pT)) \cdot (y(t) - y(t-pT)) dt}{(pT)^2} \quad (10)$$

其中 $0 < p < 0.5$ 界定為割線的長度。割線內積的限值，為當p 0為Hellinger內積時。對於不連續的向量，這可是Hellinger幾何學的近似類比值：

$$\left(\vec{x}, \vec{y}\right) = \frac{\sum_{i=s}^N (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-1}} \quad (11)$$

當s=1時，割線的定義等於不連續的Hellinger內積。依p或s的值，割線的內積與基準，可提供數據的平順程度，所以能對向量間的大尺度差異作最佳的測量。對於具固有小尺度干擾的實驗數據，或具數值不穩定的模式預測，割線可提供一個過濾器，來比較無根本干擾的曲線間的整個函數型態。最後，歐幾里德與割線內積混成，可對歐幾里德基準的排名順序，與割線比較的函數型態間得到平衡。從上述的原理，兩個內積的總和也是個內積。在此，我們將考量歐幾里德內積，與割線內積的加權總和，或等於：

$$\left(\vec{x}, \vec{y}\right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N x_i y_i + \frac{1}{n-s} \frac{\sum_{i=s}^N (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-s}} \quad (12)$$

當歐幾里德相對差異與餘弦值，於所有模式具有近似的排名時，餘弦在模式預測間不會提供許多差異。Hellinger與割線值能提供較廣的範圍，因為其特別比較實驗與模式的函數型態。此混合方式結合兩種方式的最好特徵。當混合型的基準低於0.3，及混合形狀倍數高於0.9時，滿足兩條曲線一致的標準。

11. 評估報告

11.1 評估報告的用意在提供足夠詳細的資料，使評估使用者能獨力重複進行評估。評估報告至少應提供下列資料：

11.1.1 評估報告的日期。

11.1.2 負責評估的人員與機構。

11.1.3 評估報告的特定參考資料。可參考模式證明、實驗測量報告、靈敏度分析報告、及其他評估報告。

11.1.4 第 6.1 節與 6.2 節所列，模式與所要評估的情境描述。

11.1.5 第 7 節所列模式理論基礎的描述。

11.1.6 第 8 節所列數學與數值強健度的描述。

11.1.7 第 9 節所列進行的靈敏度分析的詳細資料。

11.1.8 依第 10 節所述所進行的模式預測能力的分析的詳細資料。

11.1.9 其他火災情境評估已知的用途限制。

引用標準：ASTM E 1355-05a Standard Guide for Evaluating the Predictive Capability of Deterministic Fire Models

相關標準：CNS ○○○○○○-2 火災模式評估—第 2 部火災模式電腦軟體文件製作標準指引

CNS ○○○○○○-3 火災模式評估—第 3 部判斷決定性火災模式之使用與限制之標準指引

CNS ○○○○○○-4 火災模式評估—第 4 部取得用於決定性火災模式數據之標準指引

CNS 2579 品質管制詞彙

CNS 12680 品質管理系統-基本原理與詞彙

CNS 14651 建築物防火詞彙-一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙-防火安全用語

CNS 14996 建築物防火詞彙-防火試驗用語

CNS 15048 建築材料耐燃性試驗法-全尺度燃燒試驗法

附錄五

中華民國國家標準	火災模式評估—	總號	○○○○○○-2																		
CNS	第 2 部火災模式電腦軟體文件 製作指引	類號	A○○○○																		
<p style="text-align: center;">Fire model evaluation-Part 2 : Standard Guide for Documenting Computer Software for Fire Models</p> <p style="text-align: center;">目 錄</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">章節</th> <th style="text-align: right;">頁次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 範圍</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>2. 專門術語</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>3. 重要性與用途</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>4. 文件類型</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>5. 所有文件共通的項目</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>6. 技術文件之內容</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>7. 使用手冊的內容</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>8. 安裝、維護與程式設定手冊之內容</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> </tbody> </table>				章節	頁次	1. 範圍	2. 專門術語	3. 重要性與用途	4. 文件類型	5. 所有文件共通的項目	6. 技術文件之內容	7. 使用手冊的內容	8. 安裝、維護與程式設定手冊之內容
章節	頁次																				
1. 範圍																				
2. 專門術語																				
3. 重要性與用途																				
4. 文件類型																				
5. 所有文件共通的項目																				
6. 技術文件之內容																				
7. 使用手冊的內容																				
8. 安裝、維護與程式設定手冊之內容																				
公 布 日 期 年 月 日	經濟部標準檢驗局印行		修訂公布日期 年 月 日																		

1. 範圍

- 1.1 本指引提供為火災模式，及防火工程學其他領域的科學與工程運算所準備的電腦軟體，應敘明的文件結構與內容。
- 1.2 指引是以三類文件的方式提供：(1)技術文件、(2)使用手冊、及(3)安裝、維護與程式設定手冊。
- 1.3 本標準並未指出數值。建議在證明與制訂火災模式時，以SI單位為標準。
- 1.4 本標準的用意並非在處理任何與使用本標準有關的安全關切事項。本標準的使用者有責任制訂適當的安全與衛生基準，並在使用前決定其管理限制的可行性。
- 1.5 本標準不作為提供量化措施用。

2. 專門術語

- 2.1 定義：本指引中有關建築物防火詞彙，係參考CNS 2579、CNS 12680、CNS 14651、CNS 14652及CNS 14996中所規定有關品質及防火安全之主要用語。

3. 重要性與用途

- 3.1 本指引對撰寫為火災模式，及防火工程學其他領域的科學與工程運算所準備的電腦軟體的使用手冊，及其他文件者提供建議事項。本指引提供三類文件的資料。
- 3.2 本指引的用意在協助了解、使用、轉移、保存及修改電腦軟體。當在撰寫文件時，已考量本指引所含的選項與指示，則軟體能更快用於預定目的。
- 3.3 火災模式目前除已用於火災研究實驗室外，並擴大至工程學、火災設施及法律團體。需對火災模式的電腦軟體充分敘明，以確保使用者能判斷模式的科學與技術基礎的適當性、選擇適當的電腦操作環境、及在敘明的限制內有效的使用軟體。充分的敘明有助於預防火災模式的誤用。

4. 文件類型

4.1 總論：

- 4.1.1 預期文件有許多層次，從只希望能運作程式的使用者所需的文件，至有意對程式作廣泛修改或增加的使用者所需的文件。
- 4.1.2 本指引對三類文件：(1)技術文件、(2)使用手冊、及(3)安裝、維護與程式設定手冊需納入的項目提供建議。建議於這些手冊納入的項目，可組合成單一文件。
- 4.1.3 文件的撰寫與建構，應反映使用者預期的程度。
- 4.2 技術文件—此類文件意供對模式的科學基礎的深度解釋有興趣者使用。科學或工程學期刊中的文章，是此類文件的例子。
- 4.3 使用手冊—此自行納入的手冊是供火災模式的使用者使用。具有此類手冊，模式的使用者應能了解模式的應用與方法、再現電腦操作環境及樣本問題的結果、修改數據輸入值、及於特定參數範圍與極度情況下運算程式。此手冊應夠詳細至可作為輸入數據與解釋結果的參考文件。
- 4.4 安裝、維護與程式設定手冊—此類手冊是供負責執行電腦程式者、修改或增加程式以符合地方需求者、轉換程式至不同電腦環境者、或修改程式以反映科技進展者使用。當來源碼能取得時，建議提供此類手冊。

5. 所有文件共通的項目

5.1 程式身份：

- 5.1.1 提供程式或模式的名稱、描述性的標題、及界定版本別所需的其他資料。
- 5.1.2 指出模式名稱的任何縮寫或短標題。
- 5.1.3 強調使用與複製上的任何法定限制。
- 5.1.4 描述與其他模式的關係。

- 5.2 程式的更改：
- 5.2.1 提供已更改程式的名稱、完整身份與版本別。
 - 5.2.2 指出程式的同等版本，及已作的更改。
 - 5.2.3 指出更改的部分，並提供更改的原因。
- 5.3 作者與協助責任：
- 5.3.1 提供取得更詳細資料的說明，或納入負責提供協助者的地點、頭銜、姓名、電話號碼及寄件地址。
 - 5.3.2 描述模式的發展史，及負責人與組織的名稱與地址。
 - 5.3.3 指出模式目前的位置。
 - 5.4 可取得的材料—列出任何程式包的內容與費用，及取得此材料的程序。
 - 5.5 電腦軟體摘要—摘要指出程式的能力，及執行所需的最低硬體需求。
6. 技術文件之內容
- 6.1 問題或功能：
- 6.1.1 界定火災模式化的問題，或由程式執行的功能，例如計算火勢成長、煙霧散佈與人的移動等。
 - 6.1.2 描述火災的整個問題環境，在此可納入整個區塊或流程圖。
 - 6.1.3 納入各種背景資料，例如可行性研究或理由陳述。
- 6.2 技術特徵描述：
- 6.2.1 可傳達對理論與數學基礎完整的了解，參考公開的文獻。
 - 6.2.2 理論基礎：
 - 6.2.2.1 描述現象的理論基礎，及模式依據的物理原理。
 - 6.2.2.2 提供管理方程式與使用的數學模式。
 - 6.2.2.3 指出火災模式依據的主要假定，及任何簡化的假定。
 - 6.2.2.4 提供對模式理論基礎任何獨立審查的結果。CNS ○○○○○○-1 指引中建議應由一或多位公認完全精通火災現象的物理學與化學，且未參與模式建立的專家進行審查。
 - 6.2.3 數學基礎：
 - 6.2.3.1 描述取得數值答案所使用的數學技術、程序與運算法。
 - 6.2.3.2 提供運算法與數值技術的參考資料。
 - 6.2.3.3 以傳統專門術語提供數學方程式，並顯示其在代碼中如何實施。
 - 6.2.3.4 論述以重要運算法所得結果的精密度，及任何已知對特定電腦設施的依賴性。
 - 6.2.3.5 對於反覆的答案，論述收斂測試的使用與解釋，並建議收斂標準的量值範圍。對機率性的答案，論述具統計差異結果的精密度。
 - 6.2.3.6 指出以運算法與數值技術為基礎的模式之限制。
 - 6.2.3.7 提供已對模式的數學與數值強健度所實施分析的結果。適合本指引目的的分析間的分析測試、代碼檢查與數值測試，列於CNS ○○○○○○-1 指引內。
- 6.3 程式特徵描述：
- 6.3.1 描述程式。
 - 6.3.2 列出使用程式所需的輔助程式或外部數據檔。
- 6.4 數據庫：提供數據庫的來源、內容與使用的資料。
- 6.5 評估預測能力：提供以CNS ○○○○○○-1 指引所列的方法，評估模式於特定用途的預測能力的結果。納入評估所使用的場景，及以該評估用於其他火災場景時的已知限制。
- 6.6 靈敏度：提供模式靈敏度分析的結果(請見CNS ○○○○○○-1 指引)。
7. 使用手冊的內容

- 7.1 技術文件：納入或摘要技術文件(第6節)。
- 7.2 程式特徵描述：
 - 7.2.1 納入程式詳細的自行納入的特徵描述。
 - 7.2.2 界定實施的基本處理工作，及描述使用的方法與程序。計算的體系流程圖非常有用。
 - 7.2.3 線上資料(提示與協助等)可以印製的使用手冊補充。
- 7.3 操作與安裝資料：
 - 7.3.1 提供將程式安裝於標的系統的說明，適當時納入系統與測試數據的典型對話。
 - 7.3.2 指出程式已成功執行的電腦，及任何所需的周邊設備，包括記憶體的需求與磁帶。
 - 7.3.3 指出程式設定語言與使用的版本。
 - 7.3.4 指出軟體作業系統與使用的版本，包括數據庫的路徑。
- 7.4 程式考量事項：
 - 7.4.1 描述解決各種問題所使用的各種主要選項的功能，特別注意選項組合時的影響。
 - 7.4.2 描述程式可從對計算結果的測試，而可動態選擇的替代路徑。
 - 7.4.3 描述供程式重新格式化資料的輸入項目，與產出項目間的關係。
 - 7.4.4 描述實施邏輯作業程式的決定方法與技術基礎。
 - 7.4.5 描述發生於程式內的作業基礎。
- 7.5 輸入數據：
 - 7.5.1 一般考量事項：
 - 7.5.1.1 描述輸入資料的來源，例如手冊、期刊、研究報告、標準測試與實驗等。
 - 7.5.1.2 描述特定的輸入技術與需求，例如格式、空白域處理、與項目的指令。
 - 7.5.1.3 描述連續情況的處理。提供數據保持，或於下個案例重新初始化的條件。
 - 7.5.1.4 提供內定值，或管理這些值的公約。
 - 7.5.1.5 指出依穩定性、準確度及實用性的輸入限值，及所形成的產出限制。
 - 7.5.1.6 當程式內有界定的專有值時，列出其性質與指定值。
 - 7.5.1.7 指出取得專有值與其他輸入數據需使用的程序。CNS ○○○○○○-1 指引提供作為數學火災模式輸入值所需的材料專利權與其他數據。對於各種輸入變數，CNS ○○○○○○-1 指引納入詳細的描述，及如何取得的資料。
 - 7.5.1.8 提供模式中主要變數的資料。
 - 7.5.2 各種輸入變數的特定考量事項：
 - 7.5.2.1 提供變數的名稱。
 - 7.5.2.2 提供變數的特徵描述或定義。
 - 7.5.2.3 提供變數的因數單位。
 - 7.5.2.4 提供內定值。
 - 7.5.2.5 當未廣泛使用時提供來源。
- 7.6 外部數據檔：
 - 7.6.1 列出每個外部數據檔的內容與架構。
 - 7.6.2 數據檔使用與程式執行間的關係。
 - 7.6.3 形成、修改或編寫這些外部數據檔所使用的輔助程式的參考資料。

- 7.7 系統控制之需求：
 - 7.7.1 描述設定與運作電腦程式所需的程序。
 - 7.7.1.1 列出執行程式所需的作業系統控制指令。
 - 7.7.1.2 納入程式的整組提示，及適當回應的範圍。
 - 7.7.2 描述輸入值如何與數據檔互動。
 - 7.7.3 描述如何中斷程式。
 - 7.7.3.1 對程式的每個階段(輸入、執行與產出)，描述如何實施下列功能：
 - (1) 暫時中止程式接著恢復。
 - (2) 中止與離開程式。
 - 7.7.3.2 描述檔案與數據在中斷後的狀態。
 - 7.8 產出資料：
 - 7.8.1 描述程式的產出值。
 - 7.8.2 已編輯的產出值與輸入選項間的關係。
 - 7.8.3 產出值與方程式間的關係。
 - 7.8.4 描述結果的一般化，及列出相關的因數單位。
 - 7.8.5 指出產出值的特定型態，例如圖表或圖形。
 - 7.9 人員與程式需求：
 - 7.9.1 指出實施典型運算所需的人力時間與設定時間。
 - 7.9.2 指出實施典型運算所需的技能類型。
 - 7.9.3 提供使使用者能估算於電腦系統的典型應用的電腦執行時間的資料。
 - 7.10 樣本問題：
 - 7.10.1 提供樣本數據檔與相關的產出值，使使用者能確認程式有正確運作。
 - 7.10.2 描述與數據檔有關的物理問題。
 - 7.10.3 考量在選擇樣本問題時的下列因子：
 - (1) 選擇基準問題，或完整界定的例子。
 - (2) 運作大部分已程式設定的選項。
 - (3) 只使用合理量的電腦時間。
 - 7.10.4 在提供已編輯的產出值時，納入下列資料：
 - (1) 重要項目的詳細結果。
 - (2) 結果的精密度。
 - (3) 產出參數，尤其是產出強度級數的重要性。
 - 7.10.5 提供電腦執行樣本問題時間的強度級數，包括中央處理器時間、周邊處理器時間、與經過時間。
 - 7.11 禁止與限制事項：
 - 7.11.1 列出禁止的硬體與軟體。
 - 7.11.2 提供數據範圍與能力。
 - 7.11.3 描述當違反限制時的程式行為，及描述恢復程序。
 - 7.11.4 當準確度特徵明顯時，應詳細描述。
 - 7.11.5 提供在選擇輸入值，及運算模式時應注意的資料及注意程度。
 - 7.11.6 提供火災模式於特定應用時的一般與特定限制。第E1895號指引提供可用於火災危害分析的火災模式的系統性評估方法。
 - 7.12 錯誤訊息：
 - 7.12.1 列出初當出現錯誤訊息時應採取措施的說明。
 - 7.12.2 描述錯誤訊息顯示的方式並加以解釋。
 - 7.13 參考資料—列出與火災模式或軟體直接有關的出版品與其他參考材料。
8. 安裝、維護與程式設定手冊之內容

8.1 總論:

- 8.1.1 可參考於使用手冊中所描述的項目，提供進一步的資料，及詳細解釋程式設定。
- 8.1.2 可以電腦產生的文件來補充，或取代傳統的文件，例如來源程式表單、子路徑名稱與進入點的交互參考字典、及程式的邏輯流程圖。

8.2 系統需求:

8.2.1 硬體需求:

- 8.2.1.1 列出程式已成功測試的機器組態。
- 8.2.1.2 列出主記憶體的儲存需求、輔助儲存器(磁片與磁帶)的量與類型、及周邊設備(列表機與繪圖機)。
- 8.2.1.3 指出所有特定硬體，例如時鐘與線上溝通管道。

8.2.2 軟體需求:

- 8.2.2.1 指出作業系統、語言處理器、相關的子路徑庫、及支援程式。指出製造商的版本與釋出物。
- 8.2.2.2 描述與製造商的支援軟體間已知的變異，例如局部數學與運用路徑，及其他與安裝有關的軟體。

8.3 軟體結構:

- 8.3.1 對於專利程式或開鎖系統，使用者可能無法取得此文件。

8.3.2 來源程式:

- 8.3.2.1 指出來源語言。
- 8.3.2.2 納入可顯示程式的整個結構與邏輯的流程圖，及詳細的流程圖。子程式的名稱應列於圖內。
- 8.3.2.3 與電腦安裝支援設施有關的已知區域的定點。
- 8.3.2.4 納入撰寫程式所使用的程式設定技術的描述性，或圖形描述，亦即重疊架構、測試計畫與一般用途。
- 8.3.2.5 提供來源表單，或確定其可立即取得。
- 8.3.2.6 程式內使用的註釋。註釋的自由使用，是了解程式的關鍵。

8.3.3 子部的文件:

- 8.3.3.1 提供程式內各主要功能子部的文件。此類文件可包含程式的註釋，或解釋程式的內文、或同等材料。
- 8.3.3.2 主要功能子部包括但不限於：功能、子路徑、迴圈、及與決定點有關的各個子部。

8.3.4 程式與子程式的詳細資料:

- 8.3.4.1 界定主程式與每個子程式的角色與功能。指出論證表與其用途。
- 8.3.4.2 對特別的子程式，列出可連接該子程式的路徑。
- 8.3.4.3 問題變數及常數與程式記憶術間的關係。
- 8.3.4.4 描述共享儲存指定，例如FORTRAN中的COMMON。
- 8.3.4.5 描述由與機器有關的子程式的功能。
- 8.3.4.6 有能力由未來程式使用的子程式，或程式模組的詳細文件。當為獨立實體時，可列出參考資料，或納入主程式文件內。

8.3.5 程式設定的考量事項:

- 8.3.5.1 描述儲存分配與數據管理的程序。指出記憶體需求與問題有關的性質。論述會影響數據儲存的替代程式。
- 8.3.5.2 任何重疊與區段的文件。
- 8.3.5.3 描述重新啟動、恢復與連續案例的能力。

8.3.6 變數表:

- 8.3.6.1 列出程式與子程式的各項變數與參數。此表應納入其在程式內的

用途與目的，及其輸入值與結果。指出其為區域或整體變數，亦即其是在模組內實施，或在系統的兩個或多個模組中共用。

8.3.6.2 界定路徑中所有有意義的符號與排列。請參考數學或技術註解，及技術文件中使用的術語。提供單位。描述參數的指定值與最初值及其範圍。論述其會如何影響運算過程。

8.4 數據檔：

8.4.1 敘明暫時與外部數據檔的名稱、用途、結構、模式與數據元素。

8.4.2 論述與數據庫與檔案的使用與維護有關的程式程序。提供數據檔保存與分配的需求。

8.4.3 指出使用的邏輯器材。描述每種器材的用途，及相關的數據阻斷體系。指出每種器材內的資料內容與格式。論述相關物理器材的用途與需求。

8.5 外部考量—對於是以一組程式的一部分，或是較大系統內的一個模組而研發的程式，應提供將程式併入較大系統的限制與數據需求。

8.6 編輯、解釋、組合與下載—提供編輯、解釋、組合與下載程式的說明。如最好使用特定的下載順序時，應提供原因及加以解釋。

引用標準：ASTM E 1472-07 Standard Guide for Documenting Computer Software for Fire Models

相關標準：CNS ○○○○○○-1 火災模式評估—第1部 決定性火災模式預測能力評估標準指引

CNS ○○○○○○-3 火災模式評估—第3部

CNS ○○○○○○-4 火災模式評估—第4部

CNS 2579 品質管制詞彙

CNS 12680 品質管理系統-基本原理與詞彙

CNS 14651 建築物防火詞彙-一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙-防火安全用語

CNS 14996 建築物防火詞彙-防火試驗用語

附錄六

中華民國國家標準	火災模式評估一	總號	○○○○○○-3
CNS	第 3 部判斷決定性火災模式之使用 與限制之標準指引	類號	A○○○○
Fire model evaluation-Part 3: Standard Guide for Determining Uses and Limitations of Deterministic Fire Models			
目錄			
章節			頁次
1. 範圍			
2. 專門術語			
3. 重要性與用途			
4. 文件類型			
5. 所有文件共通的項目			
6. 技術文件之內容			
7. 使用手冊的內容			
8. 安裝、維護與程式設定手冊之內容			
公 布 日 期 年 月 日	經濟部標準檢驗局印行		修訂公布日期 年 月 日

1. 範圍

- 1.1. 本指引提供系統性評估可用於領地火災危害分析的決定性火災模式的方法。
- 1.2 本指引提供指出決定性火災模式於特定應用時的一般，與特定限制的方法。
- 1.3 本指引意在協助模式發展者、模式使用者及主管機關使用決定性火災模式。
- 1.4 本標準的用意並非在處理任何與使用本標準有關的安全關切事項。本標準的使用者有責任制訂適當的安全與衛生規範，並在使用前決定其管理限制的可行性。
- 1.5 本火災標準不可作為提供量化措施用。

2. 專門術語

- 2.1 定義：本指引中有關建築物防火詞彙，係參考CNS 2579、CNS 12680、CNS 14651、CNS 14652及CNS 14996中所規定有關品質及防火安全之主要用語。

3. 重要性與使用

- 3.1 本指引對火災模式使用者，及負責制訂用於火災風險與火災危害評估的火災模式的限制的主管機關提供建議。本指引也對火災模式發展者指出其模式之適當用途與限制提供建議。
- 3.2 本指引的用義在協助評估於火災評估中，有無適當使用火災模式。這些評估類形是用於產品研發，及設計與建構上。
- 3.3 本指引的用意不在處理或限制任何評估火災模式正確使用的方法，而是在說明於火災危害評估中如何使用火災模式。火災模式的其他用途包括火災後的分析、研究、教育與訴訟。
- 3.4 本指引的主要重點為房間火災的區域模式，與電腦流體動力學模式。但其他類型的數學模式，也需對其預測能力進行類似的評估。

4. 給模式使用者之指引

- 4.1 模式使用者的第一個步驟，應是界定預期火災風險，及火災危害評估的範圍，接著應判定火災模式在提供決策過程所需資料上，是否是適當的工具。
- 4.2 使用者接著應決定可使用那些模式。有些模式是具有專利權，或有些是無法取得的。
 - 4.2.1 使用者電腦硬體的能力，應考量評估的規模與複雜度，也應限制可使用的火災模式。
 - 4.2.2 名為「火災與煙霧之電腦模式調查」的工廠共同報告中，列有1994年可使用的各種火災模式的表單。
- 4.3 對於列入考量的各個模式，應取得可用的證明，並決定其是否適合用來處理CNS 000000-2指引中所述的各項議題。
- 4.4 使用者接著應決定何種模式能符合評估的需求。舉例來說，單室模式可否用於多室評估。附件中的問題表可用來考慮某模式於特定用途下的適當性。
- 4.5 如模式不符合使用者的需求，則使用者接著應決定將該模式作適當修改的可行性。
 - 4.5.1 本協會強烈建議當對火災模式的規定作任何修改時，應與模式發展者協商。修改部分應完整敘明。
 - 4.5.2 新規定應對應用方式作全面的確效。確效方法列於CNS 000000-1指引內。
- 4.6 其他火災科學工具的使用，例如在小規模與大規模火災測試中，CNS 14705及CNS 15048中的測試方法，會以現有的模式，或無可接受的電腦火災模

式更為適當。

- 4.7 如某模式明顯符合使用者的需求，接著需對下列議題進行研究、了解及敘明，以作為評估的一部分。
 - 4.7.1 確認火災模式各種已知，或已頒布的限制，例如房間的幾何學、通風或火災規模。也應處理這些限制對使用者評估的影響。
 - 4.7.2 判定模式的根本假定，例如區域火災模式的兩層假定。這些假定對使用者評估的影響需加以處理。
 - 4.7.3 判定模式中具特徵性的各項變數。
 - 4.7.4 決定模式需輸入的數據，同時也需決定相關數據的可及性，及需使用何種標準測試方法來制訂需輸入的數據。在決定數據類型來源時，可參考CNS 000000-4指引。也應決定與輸入數據有關的不確定性。
 - 4.7.5 決定數值的嚴格度，及評估任何可能相關的問題，例如模式無法聚集於評估的限制內。
 - 4.7.6 決定每種模式的確效程度，以建立其在評估領域內的適當用途。確效包括與其他經確效的模式比較，與火災測試結果比較、及與實際火災的經驗一致。確效的方法列於CNS 000000-1指引內。
 - 4.7.7 如無法取得確效數據，則需進行靈敏度分析，以決定改變重要輸入變數，對火災危害估算的影響，及提供工程上對產出結果的限制。
- 4.8 火災模式於火災風險與火災危害評估的使用需完整敘名。文件至少需納入所有輸入值、假定、修改、及確定該模式於特定應用的佐證資料。
5. 給模式發展者之指引
 - 5.1 模式發展者在制訂過程，確效與證明其模式時，應考量正確用途及可能的誤用。這些考量慮事項須反映在提供指出正確用途及可能的誤用的指引文件內。
 - 5.2 發展者應提供內容為描述已知的數值與物理限制，及模式固有的假定的可取得文件供民眾審查。此部分應遵守CNS 000000-2文件內的指引。
 - 5.3 發展者應提供模式預測能力的文件供民眾審查。評估火災模式的過程，列於CNS 000000-1指引文件內。
 - 5.4 發展者應提供內容為描述已知的數值與物理限制，及模式固有的假定的可取得文件供民眾審查。
 - 5.4.1 提供此文件的方法是頒布詳細的技術文件或使用手冊。制訂此類文件的格式，列於CNS 000000-2指引文件內。
 - 5.4.2 其他的範例是於技術文件中，列出各種假定與限制，並以軟體貼上。此類文件的一個範例是由一級危害電腦軟體組提供的「一級危害的假定與限制摘要」。
 - 5.4.3 證明及處理火災模式的限制的其他例子，是將限制納入電腦代碼內。預期結果可以程式界面、互動式警示、或鎖定不當輸入數據來達成。
 - 5.5 模式發展者應描述用來確效模式的測試方法，及如何形成用於火災模式的數據。
 - 5.6 對模式的描述應提供在供同儕審查的公開文獻內。
6. 給主管機關的指引
 - 6.1 通常是由個人或一個實體，來負責管理審查，及包含使用火災模式的工程評估的接受度。
 - 6.2 為協助審查過程，可要求模式使用者提交特定的資料。
 - 6.2.1 審查者需索取模式證明的影本，並確認其符合CNS 000000-2指引中的要求事項。
 - 6.2.2 審查者需索取有關模式預測能力的資料，並確認其符合CNS 000000-1

指引中的要求事項。

- 6.2.3 審查者需索取分析的完整證明，包括模式的描述、輸入與產出值的表單、所有使用者作出假定的表單、及模式已知限制的表單。
- 6.2.4 審查者應要求提交有關模式使用者的經歷、教育程度、及可證明使用者具有使用火災模式知識的證書。此類經歷應包括一般火災模式及特定模式用於關切應用的經歷。
- 6.2.5 審查員應索取分析中使用的來源碼的影本，可能是模式發展者所寫的來源碼，或模式使用者修改後的代碼(請見第4.5.1節)。
- 6.2.6 審查者應索取靈敏度分析報告，以研究輸入變數改變對火災危害估算的影響。
- 6.2.7 審查者應索取其他的計算方式，來評估各種假定與子模式的靈敏度。

附件

(非強制性資料)

XI. 用於火災模式的問題

XI.1 附件XI.1是在決定火災模式於特定用途的適當性時可問的問題表單。

1. 模式可處理幾個房間、樓層或總體積？
2. 模式能否處理一個項目以上的燃燒？
3. 模式能否處理仍在悶燒、未燃燒、閃絡前、及閃絡後的火災？
4. 模式的產出值是什麼，及需納入什麼？
5. 需有什麼輸入值，及需取得何種數據？
6. 模式能否處理一個樓層以上的火災與煙霧？
7. 模式有無高度、面積或開放尺寸的限制？
8. 燃料是否可能產生不尋常幅射的火焰。如是的話，該模式能否調整。
9. 火災能否持續夠長至室內內襯也起火。如是的話，該模式有無考慮樓板、天花板或牆壁材質的熱性質，或這些表面是否會燃燒。
10. 火災是否會影響空氣從開口處流入。如是的話，該模式能否容納此部分的影響？
11. 區域模式的假定能否處理問題？
12. 該模式能從建築物追蹤出何種火災效應？
13. 火災持續夠久時，牆壁或天花板的結構完整性是否會成為一項因子。如是的話，模式有無考慮結構完整性發生改變的時機與嚴重度？
14. 模式有無考慮火災周邊環境氧氣濃度的改變？
15. 模式能否警告使用者不實際的輸入或產出值？
16. 使用者能否選擇能追蹤影響，且有足夠準確度的時間步驟？
17. 模式能否處理天花板從上層噴出的影響？
18. 模式能否解釋火災壓制系統的影響？
19. 模式有無考慮風，及外部溫度等環境影響？
20. 於電腦流體動力學模式中，網的大小能否足以捕捉相關的幾何學與數據點？

附錄七

中華民國國家標準	火災模式評估—	總號	○○○○○-4																		
CNS	第 4 部取得用於決定性火災模式 數據之標準指引	類號	A○○○○																		
		Fire model evaluation-Part 4 : Standard Guide for Obtaining Data for Deterministic Fire Models																			
<p>目錄</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">章節</th> <th style="text-align: right;">頁次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 範圍</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2. 專門術語</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3. 重要性與使用</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4. 摘要</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5. 區域火災模式之數據</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6. 數據來源</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7. 關鍵字</td> <td></td> </tr> <tr> <td>參考文獻</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				章節	頁次	1. 範圍		2. 專門術語		3. 重要性與使用		4. 摘要		5. 區域火災模式之數據		6. 數據來源		7. 關鍵字		參考文獻	
章節	頁次																				
1. 範圍																					
2. 專門術語																					
3. 重要性與使用																					
4. 摘要																					
5. 區域火災模式之數據																					
6. 數據來源																					
7. 關鍵字																					
參考文獻																					
公布日期 年 月 日	經濟部標準檢驗局印行		修訂公布日期 年 月 日																		

1. 範圍

- 1.1 本指引描述火災數值模式中需作為輸入值的數據。
- 1.2 本指引是以如何取得數據來提供。
- 1.3 本指引的重點為區劃火災區域模式。
- 1.4 本指引以SI單位為表示的量值。
- 1.5 本標準的用意並非在處理任何與使用本標準有關的安全關切事項。本標準的使用者有責任制訂適當的安全與衛生基準，並在使用前決定其管理限制的可行性。
- 1.6 本火災標準不可作為提供量化措施用。

2. 專門術語

- 2.1 定義：本指引中有關建築物防火詞彙，係參考CNS 2579、CNS 12680、CNS 14651、CNS 14652及CNS 14996中所規定有關品質及防火安全之主要用語。

3. 重要性與使用

- 3.1 本指引主要是供火災數值模式的使用者與制訂者使用，對進行火災測試者也有幫助，可使其了解小規模火災測試結果的一些重要應用與用途。所以本指引可使與輸入數據的質非常相關的火災模式計算的準確度增加。
- 3.2 本指引的重點是區劃火災的區域模式，但其他類型的火災數值模式也需許多相同的輸入變數亦可使用。

4. 摘要

- 4.1 本指引提供火災數值模式需作為輸入值的材料性質，與其他數據的編輯。對每個輸入變數，本指引均納入詳細的描述，及如何取得的資料。
- 4.2 下列各項輸入變數分別於下列各節論述：第5.1節：空氣/燃料比、第5.2節：燃燒效率、第5.3節：對流熱量轉移係數、第5.4節：密度、第5.5節：放射率、第5.6節：逸入係數、第5.7節：火焰撲滅係數、第5.8節：火焰散佈參數、第5.9節：燃燒熱、第5.10節：氣化熱、第5.11節：熱解熱、第5.12節：熱量釋出速度、第5.13節：起火溫度、第5.14節：質量流失速度、第5.15節：物種產生速度、第5.16節：熱解溫度、第5.17節：比熱、第5.18節：導熱性、及第5.19節：熱慣性。
- 4.3 本文件也對找出各種輸入變數量值提供一些指引。

5. 區域火災模式之數據

5.1 空氣/燃料比：

5.1.1 簡介：

5.1.1.1 火焰可特徵化為預混合或擴散。預混合火焰可界定為因完整混合燃料與氧化劑起火所產生的火焰。擴散火焰可界定為區域內最初與氧化劑分開的燃料，因與氧化劑碰到並混合而起火所造成的火焰。擴散火焰是大火情況較常見的類型。正在燃燒的傢俱是擴散火焰燃燒的例子。

5.1.1.2 大多數火災氧化劑的來源，是一般空氣中所含的氧氣。如火焰接獲不足的氧氣，而無法使存在的燃料蒸汽全部燃燒時，此火焰視為「氧氣受限」或「氧氣缺乏」。化學計量燃燒係指燃燒區域可用的氧氣量，剛好等於完全燃燒所需量的情況。燃料受限的火焰，是可用的氧氣量高於可用燃料蒸汽完全燃燒所需量的一種火焰。燃料受限火焰有時也稱為「自由燃燒火」。

5.1.1.3 燃料的空氣/燃料比，是每單位燃料質量燃燒所需空氣質量的量

5.3 對流熱量轉移係數:

5.3.1 簡介:

5.3.1.1 對流熱量轉移是指熱量(能量)在固態表面,與接觸的流體間,因兩者溫度差的移動。對流熱量轉移的模式需使用對流熱量轉移係數,通常是以 h 代表,其定義如下:

$$h \equiv \frac{q''}{\Delta T} \quad (3)$$

其中:

q'' = 每單位面積轉移的能量,單位為 W/m^2

ΔT = 表面與移動之流體間的溫度差,單位為絕對溫度 K

5.3.1.2 對流熱量轉移係數的SI單位為 $W/m^2 \cdot K$,是流體性質(導熱率、密度與黏稠度)、流體流動的性質(速度與紊流)、及固態表面幾何學的函數。

5.3.2 取得對流熱量轉移係數的程序:

5.3.2.1 一般方法:

- (1) 選擇正確的熱量轉移係數是困難的,因為需納入許多變數,即使在數學火災模式中會碰到相對較少的實際情況。
- (2) 希望取得熱量轉移係數值者,通常會搜尋先前最佳實施於某問題或情況下的值,例如熱量轉移參考書中所含的來源(例如參考文獻(2))。當流體為空氣時,情況可進一步簡化。大多數火災模式假設煙霧有類似的行為,且有與空氣類似的物理特徵。
- (3) 舉例來說,混亂氣流與垂直平面間交換的對流熱量轉移係數,可近似如下:

$$h = 0.95(\Delta T)^{1/3} \quad (4)$$

其中:

$h = W/m^2 \cdot K$ 。

ΔT = 垂直表面與空氣之間的溫度差,單位為絕對溫度 K 。

5.3.2.2 一些現有火災模式的內定值:

- (1) 一些目前的模式具有固定的熱量轉移係數,無論熱層內的條件為何,均將係數設定為約等於 $10W/m^2 \cdot K$ 的常數。
- (2) 其他模式,例如CFC V (3)與FIRST (4)使用較為複雜的方法,將熱量轉移係數表示為熱層溫度的函數。在此方法中將下限選為 $5W/m^2 \cdot K$,及上限為 $50W/m^2 \cdot K$ 。此方法計算 h 表示如下:

$$h = \min[50 W/m^2 K, 5 + 0.45(T_i - T_w)] \quad (5)$$

其中:

T_i = 層的溫度,單位為絕對溫度 K

T_w = 牆壁溫度,單位為絕對溫度 K

- (3) 最後,有些模式(5,6)使用更複雜的方法,熱量轉移係數是用為Grashof Number(Gr)及Prandtl Number(Pr)函數的Nusselt Number(Nu)來計算,其公式類似:

$$Nu \equiv \frac{hl}{k} = C_1 (Gr Pr)^y \quad (6)$$

其中

h = 對流熱量轉移係數,單位為 $W/m^2 \cdot K$,

l = 表面的特徵長度，單位為 m。
 k = 流體的導熱率，單位為 $W/m \cdot K$ ，
 C_1 = 常數
 y = 常數

- (4) 此方程式暗指熱量轉移是由自然對流所支配，這在所有房間火災中並非永遠是對的。舉例來說，熱柱會產生驅動熱量轉移的重要速度。因為此速度是於熱量轉移過程的外部產生，所以牆壁或物體與這些流動間的對流熱量轉移是強迫而非自然的。對於強迫對流，Grashof Number(Gr) 及 Prandtl Number(Pr) 函數的 Nusselt Number(Nu) 的方程式如下：

$$Nu \equiv \frac{hl}{k} = C_2 Re^x Pr^y \quad (7)$$

其中：

C_2 = 常數
 x = 常數

- 5.3.3 使用的裝置—除非在特定情況需有熱量轉移係數，否則同圖形數據與公式中選定一個量值，應能提供足夠的準確度。如需實驗數據，所需的裝置會依欲探討的問題而有很大的差異。

5.4 密度：

5.4.1 簡介：

- 5.4.1.1 材料的密度是每單位體積的質量。在火災模式中，密度通常是以 kg/m^3 為單位。
- 5.4.1.2 材料加熱時密度會改變有兩個原因：揮發物可能會流失，及因數會改變。雖然可得到溫度依賴度的相關性(7)，但許多模式是使用固定(房間)的溫度值。

5.4.2 取得密度的程序：

- 5.4.2.1 材料的密度是用測量樣本的質量與體積來決定。特定類型的建築材料，中華民國國家標準制訂有詳細的標準，舉例來說，CNS 451 木材密度試驗法。
- 5.4.2.2 當密度隨溫度變化時，質量隨溫度的變化可以熱重分析來決定，而體積隨溫度的改變，可用膨脹計分析來決定(7, 8)。

5.4.3 使用的裝置：

- 5.4.3.1 天平
5.4.3.2 卡尺、尺
5.4.3.3 膨脹計裝置
5.4.3.4 熱重分析儀

5.5 放射率：

- 5.5.1 簡介—材料的放射率是其表面單位面積輻射出的能量，與相同溫度下黑體輻射出的能量的比值。材料的放射率代表其在所有波長的熱輻射行為。放射率無單位，且其上限為整個黑體。
- 5.5.2 取得放射率的方法—可參考CNS 12066或ASTM C835、ASTM E408。

5.6 逸入係數：

- 5.6.1 簡介—火焰與熱柱的質量流速，在房間區域火災模式中，通常是經由衍生自逸入理論的實驗方程式計算。後者是依據空氣以一定高度逸

入火焰或熱柱的量，與其在該高度時的速度成比例的假定為基礎。
逸入係數界定為兩個速度或流速間的比例常數。此係數沒有單位。

5.6.2 取得逸入係數的程序:

5.6.2.1 對於預測火焰與熱柱的模式，流經實驗方程式，逸入係數是包埋在這些方程式內。這些方程式是依實驗數據的相關性而得到，且通常固定輸入至模式代碼內，使得使用者很難改變。一些模式考慮火焰與熱柱對牆壁或牆角的逸入減少。此通常是自動以火災地點的基礎來完成，且使用者不可改變逸入係數。

5.6.2.2 一些模式，未使用實驗火焰與熱柱方程式，而改在火焰與熱柱區域，納入守恆方程式的數值答案。逸入係數顯示於守恆方程式內，而使用者可指定其值。此係數值的選擇是以經驗與微調來導引，使模式預測與實驗數據能有最佳的一致性。

5.6.3 使用的裝置—目前尚無測量逸入係數的標準化裝置，但已有許多實驗裝置已用來分析擴散的火焰與熱柱。決定逸入的一個方法是納入火焰或熱柱的詳細速度、溫度與組成圖(10, 11)。但此種測量方式非常耗時，且從測得的數據積分所得的流速傾向是錯誤的。所以測量逸入的惟一實用方法是Beyler與Zukoski等人採用的層級法的逸入常數(12, 13)。

5.7 火焰撲滅係數:

5.7.1 簡介—火焰撲滅係數與整個波長光譜的放射率、火焰強度及溫度等平均輻射參數有關。是以下列方程式來計算火焰的發射能量:

$$E = A\sigma_f^A(1 - e^{-kl}) \quad (8)$$

其中:

E = 火焰的放射能量，單位為W

A = 火焰的包含區域，單位為m²

σ = 波茲曼常數，等於 $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

T_f = 火焰溫度，單位為絕對溫度K

k = 火焰撲滅係數，單位為m⁻¹

l = 路徑長度，單位為m

k也稱為吸收係數、吸收排放係數或有效排放係數。

5.7.2 取得火焰撲滅係數的程序—係數k可用測量放射率 ϵ 與路徑長度l來估算，假設發射率可表示為 $\epsilon = 1 - e^{-kl}$ 。

5.7.3 使用的裝置—測量火焰撲滅係數無需使用裝置。撲滅係數是以測量方程式中除k以外的其他各種火焰參數來決定。火災模式中包含許多此類實驗方程式，但在文件中通常未敘明參數代表的意義及如何決定。要強調的是此方程式是高度實驗性的，是以火焰區域、火焰溫度與撲滅係數需以自行一致的方式決定。

5.8 火焰散佈參數:

5.8.1 簡介:

5.8.1.1 沿表面相對流動的火焰散佈速度，可經由deRis最早創立的方程式來預測(14):

$$V_p = \frac{\phi}{k\rho c(T_{ig} - T_s)^2} \quad (9)$$

其中

V_p = 火焰運行速度，單位為m/s

φ = 火焰散佈參數，單位為 W^2/m^3

k = 熱傳導係數，單位為 $W/m \cdot K$

ρ = 密度，單位為 kg/m^3

c = 熱容，單位為 $J/kg \cdot K$

T_{ig} = 表面引燃溫度，單位為絕對溫度K

T_s = 表面在火焰到達前的溫度，單位為絕對溫度K。

5.8.1.2 火焰延燒參數 f ，在特定方向及標準空氣環境下，是熱量從火焰轉移至燃料的特徵之一，也是材料的特性之一，單位為 W^2/m^3 。

5.8.2 取得火焰延燒參數的程序—火焰延燒參數可從對流火焰延燒數據，亦即火焰在發光程度(或表面溫度)範圍內的延燒速度取得。此測試方法於ASTM E1321及ISO 5658測試方法中描述。要強調的是此方程式 V_p 是高度實驗性的，是以火焰運行速度、熱傳導係數 k 、密度 ρ 、熱容 c 與表面引燃溫度 T_{ig} 需以首尾一致的方式決定。表面引燃溫度 T_{ig} 與熱傳導係數 k 、密度 ρ 及熱容 c 分列於第5.13節與第5.19節。

5.8.3 使用的裝置:

5.8.3.1 LIFT裝置 (ASTM E1321、ISO 5658測試方法)

5.9 燃燒熱:

5.9.1 簡介—所有的燃燒反應均會產生能量。燃燒熱界定為一單位數量的燃料完全氧化時產生的熱量。燃燒熱的SI單位為kJ/kg。

5.9.2 取得燃燒熱的程序:

5.9.2.1 燃燒熱是以燃燒彈卡計測量。方法是將已知質量的燃料置於含純氧的隔熱裝置內完全燃燒。此方法可產生燃燒的總熱量。燃燒的淨熱量可用燃燒的總熱量減去蒸氣的潛在熱量(水為2.26kJ/kg)來決定。

5.9.2.2 有效的燃燒熱也可從以氧氣熱量計進行的其他測試取得。舉例來說，圓錐量熱儀法(CNS 14705測試方法)測量質量流失速度與熱量釋出速度。此環境會發生不完全燃燒。有效的燃燒熱 $\Delta h_{c,eff}$ 是熱量釋出速度與質量流失速度的比值。

$$\Delta h_{c,eff} = \frac{\dot{q}}{\dot{m}} \quad (10)$$

其中

\dot{q} = 熱釋率，單位為kW

\dot{m} = 樣本的質量損失率，單位為kg/s

5.9.3 使用的裝置:

5.9.3.1 氧彈卡計法(CNS 10835, ASTM D 5865測試方法)

5.9.3.2 圓錐量熱儀法(CNS 14705測試方法)

5.9.3.3 ICAL裝置(ASTM E1623測試方法).

5.9.3.4 傢俱熱量計

5.10 氣化熱:

5.10.1 簡介—材料的氣化熱等於需經由其暴露表面供應，將一個質量單位轉換成氣體揮發物的熱量。

$$\Delta h_g = \frac{\dot{q}_{net}''}{\dot{m}''} \quad (11)$$

其中

\dot{q}_{net}'' = 流入材料的淨熱量，單位為kW/m²

\dot{m}'' = 材料的質量流失速度，單位為kg/m²·s

Δh_g 的單位為kJ/kg。

5.10.2 取得氣化熱的程序：

5.10.2.1 對燃燒中的樣本，進入材料的淨熱通量，等於來自火焰與外部熱通量的輻射與對流熱的總和，減去從表面流失的輻射熱量。火焰通量與熱損依表面溫度而定，是以很難測量。圓錐量熱儀法(CNS 14705測試方法)已配合表面溫度量值來決定木材產品與PMMA的氣化熱 Δh_g 。

5.10.2.2 有些材料的表面溫度相當地固定，且與暴露條件無關。質量損失率以外部發光產量的函數作圖，呈相當的線性關係。氣化熱的值可從通過數據點的迴歸線的斜率的倒數來估算。Tewarson與Petrella已使用此技術，來取得多種塑膠材料的氣化熱值(15, 16)。

5.10.2.3 不幸的是，許多材料的表面溫度並非固定的，尤其是會碳化的材料，及會產生大量煙霧的材料。Tewarson與Petrella的方法仍在使用，但所得的結果不具太多的物理意義。許多研究人員已使用修正的氣化熱方程式，來取得與時間相關的氣化熱曲線來代替單一值(17-19)。

5.10.3 使用的裝置：

5.10.3.1 圓錐量熱儀法(CNS 14705測試方法)

5.10.3.2 ICAL裝置 (ASTM E1623測試方法)

5.10.3.3 火災增長裝置(ASTM E 2058測試方法)

5.11 裂解熱(反應熱)：

5.11.1 簡介：

5.11.1.1 化學反應通常包含能量的產生或吸收。熱解熱是材料於裂解時排放或減少的能量，也可界定為原材料與產物間焓的差。在計算反應的熱量時，產物是假定在裂解溫度，而原材料是假定在周邊溫度。裂解熱的SI單位為J/kg，有時在模式中也以J/m³或J/s·m³為單位。

5.11.1.2 縮尺測試通常是測量小量樣本暴露在完整描述的熱條件下的裂解熱。裂解熱或對應的焓的變化，通常是進行裂解的固態材料的能量平衡方程式的輸入參數。

5.11.1.3 裂解熱通常存在於計算固態材料內的溫度數據的模式內。內能的產生可以數種不同的方式代表，依模式而定。一種常用的方法是將裂解熱 Q(kJ/kg)，乘以局部分解速度(kg/m³·s)，來取得能量產生量。另一種替代方法是以 dE/dt(kW/m³)來代表產生的能量。

5.11.2 取得裂解熱的程序：

5.11.2.1 測量裂解熱最常用的實驗程序是示差掃描熱量計(DSC)。將數毫

克的少量樣本置於裝置上。裂解是以使用特定的時間溫度暴露來取得。將熱量加至樣本與惰性參考化合物內，使兩種材料維持在相同溫度。將加入的熱量記錄，並假設吸熱與放熱反應會有相同的能量減少或獲得。DSC的結果會受顆粒大小與加熱速度等因子影響。因為這些因子，可論斷少數樣本的DSC結果不能代表材料的行為。DSC程序也可用來測量蒸發等物理過程相關的焓的獲得或流失，及材料的熱容。

5.11.2.2 裂解熱於放熱反應通常為負值，而在吸熱反應為正值。DSC的結果通常是以曲線提供。

5.11.2.3 替代的熱分析法是示差熱量分析(DTA)，此法是測量樣本與參考材料的溫度差，作為溫度的函數。裂解熱的量化結果可從DTA 結果計算而得。熱重量計(TGA)可用來測量質量的流失作為溫度的函數。

5.11.2.4 裂解熱的估算值也可用其他量值來計算。一個替代方法是測量反應熱，是加入產物的焓，並將其從原材料的焓減去。

5.11.2.5 上述方法並不適用於分層的組合材料。

5.11.3 使用的裝置：

5.11.3.1 有數種坊間儀器可使用，且通常是設計來進行其他類型的熱分析與DSC。DSC的基本元件是樣本容器、加熱組、可程式設定的溫度控制器、惰性參考材料、及測量與記錄器材。

5.11.3.2 DSC的程序與裝置是於ASTM E 537與ASTM E 793測試方法中論述。能量補償DSC與熱通量DSC是兩類的裝置。DSC 設備的校正於ASTM E967與ASTM E 968規範中論述。

5.12 熱釋放率：

5.12.1 簡介—火災影響的實際計算需了解燃燒速率。燃燒速率可表示為燃料揮發物的質量產生速率，或熱量釋出速率 \dot{q} 。熱釋放率的單位是W或kW。

5.12.2 取得熱釋放率的程序：

5.12.2.1 熱釋放率無法從材料特性的基本量值來預測，其是熱環境、燃料揮發與揮發物燃燒效率的函數。熱釋放率與質量損失率與下列方程式有關：

$$\dot{q} = \dot{m}x\Delta h_{c,net} \quad (12)$$

其中：

$\Delta h_{c,eff}$ =揮發物燃燒的淨熱量，單位為kJ/kg

x =燃燒效率

\dot{m} =燃料的質量損失率，單位為kg/s

5.12.2.2 熱釋放率也可用假設只由H₂O與CO₂反應，及O₂耗盡及產生CO時所產生的熱量來估算(20)。熱量釋出速度可用下列方程式算出(21)：

$$\dot{q}'' = k_{O_2} \dot{D}''_{O_2} \quad (13)$$

與

$$\dot{q}'' = \frac{\Delta h_{c,net}}{k_{CO_2}} G''_{CO_2} + \frac{\Delta h_{c,net} - \Delta h_{CO}}{k_{CO}} G''_{CO} \quad (14)$$

其中：

\dot{q}'' = 每單位面積的熱量釋出速度，單位為kW/m²

$\Delta h_{c,net}$ = 材料完全燃燒的淨熱量，單位為kJ/kg

Δh_{CO} = CO燃燒的熱量，單位為kJ/kg

\dot{D}_{O_2}'' = 每單位表面積的氧氣耗盡速度，單位為kg/m²·s

k_{O_2} = 氧對燃料的質量化學計量比，單位為kg/kg

k_{CO_2} = CO₂的最大可能產量，單位為kg/kg

k_{CO} = CO的最大可能產量，單位為kg/kg

G_{CO_2}'' = CO₂的產生率，單位為kg/m²·s

G_{CO}'' = CO的產生率，單位為kg/m²·s

5.12.3 使用的裝置：

5.12.3.1 熱釋放率可用火災氣體流出的焓來估算。俄亥俄州州立大學 (ASTM E 906 測試方法) 採用此原理，但已證實很困難且通常不準確。大多數熱釋放率測量器材目前是使用氧氣熱量計原理 (22)，一如圓錐量熱儀法 (CNS 14705 測試方法) 採用的原理。小規模測量可使用下列裝置：

- (1) 俄亥俄州州立大學熱量計 (ASTM E 906 測試方法)，最好依耗氧量修改 (23-25)。
- (2) 圓錐量熱儀法 (CNS 14705 測試方法)
- (3) 火災增長裝置 (ASTM E 2058 測試方法)

5.12.3.2 大尺度量測可以下列裝置取得：

- (1) ICAL 裝置 (ASTM E1623 測試方法)
- (2) 傢俱熱量儀 (26)
- (3) 工廠相互火災產物收集熱量計 (27)
- (4) 房間/角落測試 (CNS 15048 測試方法)

5.12.3.3 這些大尺度測試通常是在過度通風下進行。當將此數據用於房間火災模式時，需考慮通風限制、上煙層及牆壁之熱回饋。

5.13 引燃溫度：

5.13.1 簡介：

5.13.1.1 固態燃料的引燃是界定為初始氣相火焰燃燒。當固態材料暴露於外部熱量時，有些點會開始熱裂解，燃料蒸汽會在邊界層與空氣混合，不久後熱裂解速度足以達到可燃的下限值。此混合物在特定情況下將被引燃。

5.13.1.2 引燃2種形式：

- (1) 引燃器引燃-初期在混合可燃氣由點火器下可被引燃燃燒，此點火器可為燃氣火焰、電氣火花或灼熱電熱線。在引燃器週邊產生足夠高的溫度，開始產生燃燒反應。
- (2) 非引燃器引燃-如果無引燃器引燃，則固態燃料表面必須達到足夠高的溫度，才會引起燃燒反應。

5.13.1.3 固態燃料暴露於特定熱通量是否會起火的預測，是個非常困難的問題。需考量固相與氣相的熱量與質量的轉移及氣相中的流體流動與混合。許多研究人員已假定重要的表面引燃的溫度標

準以簡化問題，且能維持可接受的準確度。此重要溫度便是引燃溫度，其在無引燃器引燃之溫度是高於有引燃器引燃之溫度。對各種引燃模式，引燃溫度是材料的一個特徵，且在熱通量上不會有差異。SI 單位為攝氏溫度或絕對溫度。

5.13.1.4 有些研究人員已實際測量起火的表面溫度，並證實其是工程學分析的一個合理標準(28, 29)。

5.13.2 取得引燃溫度的程序:

5.13.2.1 引燃溫度可以兩種方式取得。第一種是於引燃測試時實際測量表面溫度。一些研究人員將細的熱電偶(5mil 或更細)置於試樣表面。此方法因很難處理細的熱偶，及很難確保與表面有良好的接觸所以很難實施。監視表面溫度的更實用的技術是以狹小角度的紅外線熱解儀，對於表面的小點上，但此方法是測量輻射熱而非表面溫度。此輻射部分會從表面放射或反射。因為表面特徵在暴露時會改變，且通常只概略知道，所以以熱解儀的讀數來計算表面溫度並不常用。

5.13.2.2 取得表面溫度的其他方法，是將一些起火理論應用在一組起火測試結果上。此類數據可以將試樣暴露於熱通量範圍內的任何裝置取得，例如 ASTM E 906、ASTM E 1321，或 CNS 14705 測試方法。

5.13.2.3 由 Quintiere 等人(30)所開發一個綜合的理論，引導說明引燃資料可由 LIFT 裝置(測驗方法 E 1321) 獲得。關鍵的熱通量，那是在點火引燃不再發生的輻照度下，可由實驗發現。引燃溫度當時隨著在樣品表面關鍵的輻照度和為非常大的次(穩態)由一個熱平衡方程式可見。

5.13.3 使用的裝置:

5.13.3.1 如前節所述，任何能將試樣暴露於熱通量範圍內的裝置都是適合的裝置，如 CNS 14743。

5.13.3.2 測量表面溫度並無標準，可用熱電偶或紅外線高溫計等。

5.14 質量損失率:

5.14.1 簡介:

5.14.1.1 大多數參與火災燃燒的燃料都是氣相的燃料。此種燃料的質量損失率，等於燃料氣化的速度。質量損失率的 SI 單位為 kg/s，有時也以 $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 表示。

5.14.1.2 縮尺測試是測量暴露於完整描述的熱條件下的試樣的質量損失率。數值房間火災模式可於明確點預測熱環境。當有暴露及縮尺測試的數據，模式便可決定涉及材料的質量損失率。

5.14.2 取得質量損失率的程序:

(1) 大表面的燃燒與物體的燃燒需加以區分。當火焰於表面的延燒能正確計算時，數學模式只能預測大表面的質量損失率。常用的程序是將表

面分成小的區塊，使每個區塊的熱通量能一致考量。

- (2) 數學模式也需考慮燃料的方向，此可經由暴露只在受火焰回流的主要影響方向，及隨後在固態/氣態界面的暴露來達成。

5.14.2.1 大表面

- (1) 模式使用的程序是依據熱量計於發光程度範圍所取得的縮尺質量損失數據。材料某區塊或樣本的質量流失速度可表示如下：

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{q}_e'' + \dot{q}_f'' - \dot{q}_i''}{\Delta h_g} \quad (15)$$

其中：

\dot{m}'' = 每單位面積的質量損失率，單位為kg/s·m²

\dot{q}_e'' = 外部發光或暴露，單位為kW/m²

\dot{q}_f'' = 來自火焰的熱量流，單位為kW/m²

\dot{q}_i'' = 表面流失的熱量，單位為kW/m²

Δh_g = 氣化熱，單位為kJ/kg

- (2) 一些不會碳化材料的燃燒行為，或多或少像液態燃料(例如PMMA)。燃燒材料的表面溫度是固定的，且穩定態的 \dot{m}'' ，當材料夠厚時，可依常數 \dot{q}_e'' 取得。對於此種材料，可在一放射照度範圍在一縮尺量熱計測試出數值，在常數 $\dot{q}_f'' - \dot{q}_i''$ 及 Δh_g 可由 \dot{m}'' 與 \dot{q}_e'' 關係圖形(詳5.10.2)，經由內插及斜率獲得，許多材料並不這些材料的行為，但由 \dot{m}'' 與 $\dot{q}_f'' - \dot{q}_i''$ 及 Δh_g 之近似值仍然可接受。

- (3) Tewarson等人(15)廣泛的使用此技術，但也探討氧氣濃度對燃燒速度的影響。結果發現火焰輻射是氧氣濃度的線性函數，所以可用對發光程度範圍取得的質量損失數據及氧氣濃度將 \dot{q}_f'' 與 \dot{q}_i'' 區隔。

- (4) 碳化性材料例如木材並沒有 $\dot{q}_f'' - \dot{q}_i''$ 及 Δh_g 之常數，雖然 \dot{q}_e'' 是常數。在這情況下，單位面積質量損失率計算可利用小型熱量計，於固定幅照度下進行一系列曝火下質量損失率，並將其內插繪制歷時曲線，其時間軸並且須要其刻度，例如使用總質量損失。

- 5.14.2.2 項目-假如考慮通風限制及由上層與延伸到天花板的回饋，模式能直接由傢俱量熱儀(26)引用質量損失率曲線獲得，如果這樣的曲線不是可用的，項目可能被看作一次表面的收集。其他技術有時對根據縮尺數據估計一個燃燒的項目的質量損失率是可用的。

5.14.3 使用的裝置：

5.14.3.1 大表面的縮尺數據：

- (1) 圓錐量熱儀法(CNS 14705測試方法)
- (2) 火災增長裝置(ASTM E 2058測試方法)。

5.14.3.2 項目的全尺度數據：

- (1) ICAL裝置 (ASTM E 1623測試方法)。
- (2) 傢俱熱量儀 (26)。
- (3) 房間/角落測試(CNS 15048測試方法)，及其他的儀器。

5.15 物種產生率:

5.15.1 簡介—物種一詞是指化學物種，亦即燃燒過程的產物。在某些情況下，物種也用來指火災與煙霧層保持能力有關的產物。因為火災涉及複雜的化學，所以無法以主要的原理來預測物種產生率。所以需仰賴實驗數據來預測物種產生率。物種產生率的SI單位，與質量損失率同樣是kg/s，有時也可以kg/m²表示。

5.15.2 取得物種產生率的程序:

5.15.2.1 一些實驗裝置可記錄物種的產生。圓錐量熱儀、傢俱熱量儀及數種全房間實驗可以特定的氣體測計來測量一些物種。於這些火災實驗所記錄的氣體濃度通常包括氧氣、二氧化碳、一氧化碳及碳氫化合物。

5.15.2.2 使用實驗量值，及物種產生率與燃料質量損失成直接比例的假設，可以下列關係式取得每個物種的比例常數：

$$Y_j = \frac{\int_0^t \dot{G}_j'' dt}{\int_0^t \dot{G}_f'' dt} \quad (16)$$

其中:

Y_j = 物種的產量，j，單位為kg/kg,

$\dot{G}_f''(t)$ = 每單位表面積的燃料蒸汽的質量產生率，單位為kg/m²·s(註：等於燃料質量損失率 \dot{m}'')

$\dot{G}_j''(t)$ = 每單位表面積的物種j的質量產生速度，單位為kg/m²·s.

5.15.2.3 在取得物種產量後，可用來模式化預測物種的產生：

$$\dot{G}_j''(t) = Y_j \dot{G}_f''(t) = Y_j \dot{m}'' \quad (17)$$

5.15.2.4 Y_j 的值會隨時間而改變，依燃燒條件而定。在此種情況下， Y_j 需界定為時間的函數，而非先前提供的時間平均值。在此種情況下， Y_j 於時間 t^* 時的瞬間值為：

$$Y_j(t^*) = \frac{\dot{G}_j''(t^*)}{\dot{G}_f''(t^*)} \quad (18)$$

5.15.2.5 上述的處理過度簡化問題，在取得數據所使用的實驗方法需特別小心。一些變數會影響物種產生率，包括燃料的類型、燃料的幾何學、輻射回饋至燃料表面。物種產生率也是火災房間內通風的一個強的函數，在低度通風與過度通風的情況下，強度等級會有很大的差異。

5.15.3 使用的裝置

5.15.3.1 縮尺測試:

- (1) 圓錐量熱儀法(CNS 14705測試方法)
- (2) 火災增長裝置 (ASTM E 2058測試方法)

5.15.3.2 全尺度測試:

- (1) ICAL 裝置 (ASTM E 1623測試方法)
- (2) 傢俱熱量儀 (26)
- (3) 房間/角落測試 (CNS 15048測試方法)

5.15.3.3 在測量不同物種需使用特定的氣體分析儀。

5.16 裂解溫度:

5.16.1 簡介:

5.16.1.1 當固態材料暴露於外部熱量時，一些點會開始裂解。裂解界定為無氧時的熱分解。特定類型的塑膠(例如PMMA)的燃燒，或多或少類似液體的燃燒。表面會發生相(液態到氣態)的改變，且無固態殘餘物。木材等其他材料不會完全蒸發，但也會產生碳化。碳化層會隨時間變厚，深層的裂解會比表面為快。

5.16.1.2 對於這兩類材料，熱解通常模式化為Arrhenius型化學反應的燃燒：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \sum_{i=1}^{i=j} A_i (\rho_i - \rho_{ic})^{n_i} \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right) \quad (19)$$

其中:

ρ = 密度，單位為 kg/m^3

t = 時間，單位為s

ρ_i = 成分i的密度，單位為 kg/m^3

ρ_{ic} = 成分i的最後(碳)密度，單位為 kg/m^3

n_i = 成分i的反應級數

A_i = 成分i的前指數係數

E_i = 成分i的活化能，單位為J/mole

R = 通用氣體常數，單位為J/mole·

T = 絕對溫度，單位為K

5.16.1.3 透過Arrhenius 形式的方程式的模型化裂解不瑣屑，即使燃料被近似為只由一個成分組成。這是，因為當Arrhenius 形式首先只是一個近似值時，找到動力的參數A，n 及E是相當困難的。

5.16.1.4 當被典型火災情境加熱評價時，很多建築材料開始熱解的那個溫度以下，其熱解是可以忽略，這溫度被活化能控制。熱解在相對狹窄的溫度範圍內完成，這因為，在熱解的開始之後，對於一個只幾度的溫度增加來說增加比率非常急劇。在此同時，燃料被耗盡，密度迅速接近零。

5.16.1.5 試圖避開被Arrhenius方程式錯綜複雜的牽聯，很多研究者已經假設一旦達到重要相依的溫度，熱解將突然發生。這溫度， T_D ，是熱解溫度。SI單位是 $^{\circ}\text{C}$ 或絕對溫度K。

5.16.2 取得裂解溫度的程序:

5.16.2.1 有些材料可由一些研究報告取得 T_D 值，例如由Schaffer(31)的研究可得木材較常用值 288°C 。

5.16.2.2 如無相關研究資料可得時，也可以熱重分析評估 T_D 值，熱重分析是以少量材料量測其質量損失率(或一個別成分在受熱下其穩定

率)，Arrhenius 方程式是用來關聯起這些資料。如上所述，熱解是在一個小的溫度範圍內完成。 T_p 值是可以被評估的，意指在此範圍或是在一些其他代表值中。 T_p 值是從不同點火引燃的 T_{ig} 值，但此兩者在一些材料中是十分密切的，而 T_{ig} 值是可以用來評估 T_p 值的。

5.16.3 使用的裝置—在測量裂解溫度上並無標準的火災測試法，如上所述 T_p 值可由 TGA 評估而得，也有可能還要取決由簡化的裂解模式到質量損失率或以 CNS 14705 測試所得之熱釋放率。

5.17 比熱:

5.17.1 簡介:

5.17.1.1 某材料的比熱量是指使 1kg 材料升高絕對溫度 1K 所需的熱量。對於在某些溫度物化性質會改變的材料，其比熱可界定為使 1kg 材料升高絕對溫度 1K 所需的反應熱。

5.17.1.2 材料會隨物化性質改變的熱反應，在一些火災模式中，是將比熱與其他相關的潛熱區隔來特徵化；在一個模式中要非常謹慎確定何種形式的比熱是須要的。

5.17.1.3 初期火勢成長模式需房間內襯材料比熱的數據。另一方面，預測建築材料抗火的模式需有比熱上與溫度相關的數據。

5.17.2 取得比熱的程序

5.17.2.1 比熱通常是以示差掃描熱量計對大的溫度範圍量測。

5.17.2.2 有數種坊間的示差掃描熱量計可以使用。

5.17.3 使用的裝置:

5.17.3.1 示差掃描熱量計

5.18 熱傳導:

5.18.1 簡介:

5.18.1.1 熱傳導是指熱(能量)從高溫向低溫部分穿過材料轉移的過程，以溫度梯度來表示。熱傳導轉移模式(暫態或穩態)必需了解材料的熱傳導率。通常熱傳導率以 k 來表示，其單位為 $W/m \cdot K$ 及其定義如下：

$$k = \frac{-\dot{q}''}{\left(\frac{dT}{dx}\right)} \quad (20)$$

其中:

\dot{q}'' = 每單位面積於 x 軸方向導熱轉移率，單位為 W/m^2 , and dT/dx = x 軸方向的溫度梯度

5.18.1.2 熱傳導與水分含量、溫度、多孔性、密度及材料的微結構有關。有些模式忽略此相關性，而以常數值來代替。

5.18.2 取得熱傳導率的程序:

5.18.2.1 有兩種方法可測量固體的熱傳導率，穩態與暫態方法。

5.18.2.2 穩定態技術是使用熱量來源使試樣維持在穩定的溫度梯度(7)。測得的熱傳導率是引用熱面與冷面溫度的平均值。此技術很慢，需數天才能決定少數溫度下的熱傳導率。

5.18.2.3 暫態法測試固體熱傳導率通常稱為”熱線法”(32)，其測試法是量測沿試樣長度方向埋設在試樣中線形熱源在一定時間內的溫

升。透過焊接在熱線中點的熱電偶測量熱線溫度隨時間的變化。該線的溫度變化即是被測材料熱傳導系數，此法較穩態法快。

5.18.3 使用的裝置：

- 5.18.3.1 平板比較法(CNS 7332測試方法)
- 5.18.3.2 平板直接法(CNS 7333測試方法)
- 5.18.3.3 監測熱板裝置(ASTM C 177測試方法)
- 5.18.3.4 熱流計 (ASTM C 518測試方法)

5.19 熱慣性：

5.19.1 簡介：

- 5.19.1.1 材料的熱慣性 $k\rho c$ ，是由熱傳導 k 、密度 ρ 及比熱 c 之乘積，其單位為 $J^2/s \cdot m^4 \cdot K^2$ 。
- 5.19.1.2 模式中所稱熱慣性包含固體之暫態熱傳導，一個固體含有越高之熱慣性，當將其置於液態流體中時，趨於該液態溫度所需之時間將更長。

5.19.2 取得熱慣性的程序：

- 5.19.2.1 熱慣性可應用熱傳導、密度及比熱量測結果得到，其測試法如本指引5.4、5.17及5.18節。
- 5.19.2.2 在建立分析模式時，尤其當固體承受快速的熱衰減，例如發生火焰散佈該表面時，引用有效熱慣性是非常有用的，有效熱慣性可經由分析曝露在輻射熱源下之火花引燃實驗來決定(測試方法 ASTM E 1321)

5.19.3 使用的裝置：

- 5.19.3.1 俄亥俄州州立大學量熱計 (ASTM E 906測試方法)。
- 5.19.3.2 LIFT 裝置 (ASTM E 1321測試方法)。
- 5.19.3.3 圓錐量熱儀法(CNS 14705測試方法)
- 5.19.3.4 ICAL 裝置 (ASTM E 1623測試方法)。

6. 數據來源

- 6.1 在一些初期火勢成長，與建築構件耐火模式中，前述第5節的各種輸入變數的值是經由內定值，或材料性質資料中併入。更多的數據資料可從熱傳、熱力學與燃燒教科書，及工程手冊(例如文獻出34))的參考書中，以及本指引所附參考文獻中找到，特殊材料之數據或狀態也能在研究報告中找到(例如文獻(35))。

7. 關鍵字

- 7.1 空氣/燃料比、燃燒效率、對流熱量轉移係數、火災模式數據、密度、放射率、逸入係數、火災模式、火焰撲滅係數、火焰延燒參數、燃燒熱、氣化熱、熱解熱、熱釋放率、引燃溫度、質量損失率、材料特性、物種產生率、熱解溫度、比熱、熱傳導率、熱慣性。

參考文獻

- (1) Mitler, H., "The Physical Basis for the Harvard Computer Fire Code," Home Fire Technical Report No. 34, Harvard University, Cambridge, MA, 1978.
- (2) Holman, J., Heat Transfer, McGraw-Hill Inc., New York, NY, 1986.
- (3) Mitler, H., and Emmons, H., "Documentation for CFC V, the Fifth

- Harvard Computer Fire Code,” NBSGCR 81-344, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1981.
- (4) Mitler, H., and Rockett, J., “User’s Guide to FIRST, A Comprehensive Single-Room Fire Model,” NBSIR 87-3595, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1987.
 - (5) Tanaka, T., “A Model of Multiroom Fire Spread,” NBSIR 83-2718, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1983.
 - (6) Jones, W., “A Multicompartment Model for Spread of Fire, Smoke and Toxic Gases,” *Fire Safety Journal*, Vol 9, 1985, pp. 55 - 79.
 - (7) Harmathy, T., “Properties of Building Materials,” *The SFPE Hand book of Fire Protection Engineering*, National Fire Protection Association, Quincy MA, 1988, Section 1/Chapter 26, pp. 378 - 391.
 - (8) Harmathy, T., “Properties of Building Materials at Elevated Temperatures,” DBR Paper No. 1080, NRCC 20956, National Research Council of Canada, Ottawa, Ont., 1983.
 - (9) Smith, E., and Satija, S., “Release Rate Model for Developing Fires,” *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol 105, 1983, pp. 282 - 287.
 - (10) McCaffrey, B., “Purely Buoyant Diffusion Flames: Some Experimental Results,” NBSIR 79-1910, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1979.
 - (11) Tran, H., and Janssens, M., “Modeling the Burner Source Used in the ASTM Room Fire Test,” *SFPE Journal of Fire Protection Engineering*, Vol 5, 1993, pp. 53 - 66.
 - (12) Beyler, C., “Major Species Production by Solid Fuels in a Two-Layer Compartment Fire Environment,” *Fire Safety Science—Proceedings of the First International Symposium*, Hemisphere Publishing Company, Washington, DC, 1986, pp. 431 - 440.
 - (13) Morehart, J., Zukoski, E., and Kubota, T., “Species Produced in Fires Burning in Two-Layered and Homogeneous Vitiated Environments,” NIST-GCR 90-585, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1990.
 - (14) deRis, J., “Spread of a Laminar Diffusion Flame,” *Twelfth Symposium (International) on Combustion*, Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 1969, pp. 241 - 252.
 - (15) Tewarson, A., and Pion, R., “Flammability of Plastics, I: Burning Intensity,” *Combustion and Flame*, Vol 26, 1976, pp. 85 - 103.
 - (16) Petrella, V., “The Mass Burning Rate of Polymers, Wood and Liquids,” *Journal of Fire and Flammability*, Vol 11, 1980, pp. 3 - 21.
 - (17) Sibulkin, M., “Heat of Gasification for Pyrolysis of Charring Materials,” *Fire Safety Science—Proceedings of the First International Symposium*, Hemisphere Publishing Company, Washington, DC, 1986, pp. 391 - 400.
 - (18) Janssens, M., “Cone Calorimeter Measurements of the Heat of Gasification of Wood,” *Proceedings of the Inter am ’ 93 Conference*, Interscience Communications, London, UK, 1993, pp. 549 - 558.
 - (19) Urbas, J., “Non-Dimensional Heat of Gasification Measurements in the Intermediate Scale Rate of Heat Release Apparatus,”

- Journal of Fire and Materials, Vol 17, 1993, pp. 119 - 124.
- (20) Heat Release in Fires , Elsevier, London, UK, 1992.
- (21) Tewarson, A., "Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires," SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1988, Section 1/Chapter 13, pp. 179 - 199.
- (22) Huggett, C., "Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen Calorimetry Measurements," Journal of Fire and Materials, Vol 4, 1980, pp. 61 - 65.
- (23) Tsuchiya, Y., "Methods of Determining Heat Release Rate: State-of-the-Art," Fire Safety Journal, Vol 5, 1982, pp. 49 - 57.
- (24) Ostman, B., Svensson, G., and Blomqvist, J., "Comparison of Three Test Methods for Measuring Rate of Heat Release," Journal of Fire and Materials , Vol 9, 1985, pp. 176 - 184.
- (25) Tran, H., "Modifications to an Ohio State University Apparatus and Comparison with Cone Calorimeter Results," Proceedings of the AIAA/ASME Thermophysics and Heat Transfer Conference , American Society of Mechanical Engineers, HTD, Vol 141, 1990, pp. 131 - 139.
- (26) Babrauskas, V., "Upholstered Furniture Heat Release Rates Measured with a Furniture Calorimeter," NBSIR 82-2604, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1982.
- (27) Heskestad, G., "A Fire Products Collector for Calorimetry into the MW Range," FMRC J.I. COZEI.RA, Factory Mutual Research Corporation, Norwood, MA, 1981.
- (28) Atreya, A., Pyrolysis, Ignition and Fire Spread on Horizontal Surfaces of Wood, Ph.D. Thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1983.
- (29) Thomson, H., Drysdale, D., and Beyler, C., "An Experimental Evaluation of Critical Surface Temperature as a Criterion for Piloted Ignition of Solid Fuels," Fire Safety Journal, Vol 13, 1988, pp. 185 - 196.
- (30) Quintiere, J., and Harkleroad, M., "New Concepts for Measuring Flame Spread Properties," NBSIR 84-2943, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1984.
- (31) Schaffer, E., "An Approach to the Mathematical Prediction of Temperature Rise within a Semi-Infinite Wood Slab Subjected to High-Temperature Conditions," Pyrodynamics, Vol 2, 1965, pp. 117 - 132.
- (32) The Measurement of Thermal Conductivity of Fire Protection Materials , British Steel Corporation Research Organization, Fire and Steel Construction, 1982.
- (33) Gross, D., and Loftus, J., "Surface Flame Propagation on Cellulosic Materials Exposed to Thermal Radiation," Journal of Research, Vol 67C, 1963, p. 251.
- (34) Perry's Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill, New York, NY, 1984.
- (35) Gross, D., "Data Sources for Parameters Used in Predictive Modeling of Fire Growth and Smoke Spread," NBSIR 85-3223, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1985.
- (36) Emmons, H., Mitler, H., and Trefethen, L., "Computer Fire Code III," Home Fire Project Technical Report No. 25, Harvard University, Cambridge, MA, 1978.
- (37) Zukoski, E., and Kubota, T., "Two-layer Modeling of Smoke

- Movement in Building Fires,” *Journal of Fire and Materials*, Vol 4, 1980, pp. 17 - 27.
- (38) Quintiere, J., and McCaffrey, B., “The Burning of Wood and Plastic Cribs in an Enclosure: Volume I,” NBSIR 80-2054, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1980.
- (39) Pape, R., Waterman, T., and Eichler, “Development of a Fire in a Room from Ignition to Full Room Involvement—RFIRES,” NB-SGCR 81-301, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1981.
- (40) Mitler, H., “The Harvard Fire Model,” *Fire Safety Journal*, Vol 9, 1985, pp. 7 - 16.
- (41) Mitler, H., and Rockett, J., “How Accurate is Mathematical Fire Modeling?” NBSIR 86-3453, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1986.
- (42) MacArthur, C., “Dayton Aircraft Cabin Fire Model, Version 3, Volume 1: Physical Description,” DOT/FAA/CT-81/69-1, Federal Aviation Administration, Atlantic City, NJ, 1982.
- (43) Cooper, L., “A Mathematical Model for Estimating Available Safe Egress Time in Fires,” *Journal of Fire and Materials*, Vol 6, 1982, pp. 135 - 144.
- (44) Cooper, L., and Stroup, D., “ASET-A Computer Program for Calculating Available Safe Egress Time,” *Fire Safety Journal*, Vol 9, 1985, pp. 29 - 45.
- (45) Walton, W., “ASET-B: A Room Fire Program for Personal Computers,” *Fire Technology*, Vol 21, 1985, pp. 293 - 309.
- (46) Sauer, J., and Smith, E., “Mathematical Model of a Ventilation Controlled Compartment Fire,” *Journal of Fire Sciences*, Vol 1, 1983, pp. 235 - 254.
- (47) Green, T., *Mathematical Modeling of Fire*, Ph.D. Thesis, Ohio State University, 1987.
- (48) Tanaka, T., “A Model of Multiroom Fire Spread,” *Fire Science and Technology*, Vol 3, 1983, pp. 105 - 121.
- (49) Curtat, M., *Modelisation de l'Essai de Coin*, Centre Scientifique et Technique du Batiment, Rapport Final, Convention No. 79.61.02 avec le Ministere de l'Urbanisme et du Logement, Paris, France, 1983.
- (50) Gahm, J., “Computer Fire Code VI—Volume 1,” NBSGCR 83-451, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1983.
- (51) Gahm, J., “Computer Fire Code VI—Volume 2,” NBSGCR 83-451, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1983.
- (52) Rockett, J., and Morita, M., “The NBS/Harvard Mark VI Multi-Room Fire Simulation,” NBSIR 85-3281, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1985.
- (53) Hagglund, B., “A Room Fire Simulation Model,” FAO Report 620501-D6, Department of Defense, Stockholm, Sweden, 1983.
- (54) Hagglund, B., “A Room Fire Simulation Model,” *Journal of Fire and Materials*, Vol 8, 1984, pp. 105 - 111.
- (55) Jones, W., “Future Directions for Modeling the Spread of Fire, Smoke, and Toxic Gases,” *Fire Safety: Science and Engineering*, ASTM STP 882, ASTM, Philadelphia, PA, 1985, pp. 70 - 96.
- (56) Jones, W., and Peacock, R., “Verification and Experimental Validation of a Model for Fire Growth and Smoke Transport,” *Fire*

- Safety Science, Proceedings of the Second IAFSS Symposium, Hemisphere, New York, NY, 1989, pp. 897 - 906.
- (57) Jones, W., and Peacock, R., "Technical Reference Guide to FAST 18," NIST Technical Note 1262, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1989.
- (58) Ho, V., Siu, N., Apostolakis, G., and Flanagan, G., "COMPBRN III—A Computer Code for Modeling Compartment Fires," NUREG/CR-4566, ORNL/TM-10005, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, 1986.
- (59) Dietenberger, M., "Improved Furniture Fire Model within FAST: HEMFAST-2," Interim Technical Report UDR-TR-87-1135, University of Dayton Research Institute, Dayton, OH, 1987.
- (60) Dietenberger, M., "A Validated Furniture Fire Model with FAST (HEMFAST)," Technical Report UDR-TR-88-136, University of Dayton Research Institute, Dayton, OH, 1988.
- (61) Davis, W., and Cooper, L., "Estimating the Environment and the Response of Sprinkler Links in Compartment Fires with Draft Curtains and Fusible Link Actuated Ceiling Vents, Part II: User Guide for the Computer Code LAVENT," NISTIR 89-5122, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1989.
- (62) Satterfield, D., and Barnett, J., "User's Guide for WPI/Fire Version 2—Compartment Fire Model," Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, 1990.
- (63) Cooper, L., Forney, G., and Moss, W., "The Consolidated Compartment Fire Model, (CCFM) Computer Code, Application CCFM. Vents, Parts I - IV," NISTIR 4342-4345, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1990.
- (64) Jones, W., and Forney, G., "A Programmer's Reference Manual for CFAST, the Unified Model of Fire Growth and Smoke Transport," NIST Technical Note 1283, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1990.
- (65) Wickstrom, U., and Goransson, U., "Flame Spread Predictions in Room/Corner Test Based on the Cone Calorimeter," Proceedings of the Interam '90 Conference, Interscience Communications, London, UK, 1990, pp. 211 - 219.
- (66) Magnusson, S. E., Karlsson, B., and Andersson, B., "Numerical Simulation of Room Fire Growth on Combustible Linings and a Rational Classification Model," Proceedings of the Interam '90 Conference, Interscience Communications, London, UK, 1990, pp. 43 - 54.
- (67) Dietenberger, M., "Technical Reference and User's Guide for FAST/FFM Version 3," NISTCGR 91-589, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1991.
- (68) Birk, D., An Introduction to Mathematical Fire Modeling, Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, 1991.
- (69) The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, 1988.
- (70) Fire Protection Handbook, National Fire Protection Association, Boston, MA, 1992.

附錄八

中華民國國家標準	火災模式評估—	總號	○○○○○○-5																		
CNS	第5部制訂火災危害評估標準之 標準指引	類號	A○○○○																		
<p>Fire model evaluation-Part 5 : Standard Guide for Development of Fire-Hazard-Assessment Standards</p> <p>目錄</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">章節</th> <th style="text-align: right;">頁次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 範圍.....</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>2. 專門術語.....</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>3. 重要性與使用.....</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>4. 關鍵要素.....</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>5. 火災危害與火災風險間的關係.....</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>6. 火災危害評估標準.....</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>7. 火災危害評估程序.....</td> <td style="text-align: right;">.....</td> </tr> <tr> <td>附錄 A</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				章節	頁次	1. 範圍.....	2. 專門術語.....	3. 重要性與使用.....	4. 關鍵要素.....	5. 火災危害與火災風險間的關係.....	6. 火災危害評估標準.....	7. 火災危害評估程序.....	附錄 A	
章節	頁次																				
1. 範圍.....																				
2. 專門術語.....																				
3. 重要性與使用.....																				
4. 關鍵要素.....																				
5. 火災危害與火災風險間的關係.....																				
6. 火災危害評估標準.....																				
7. 火災危害評估程序.....																				
附錄 A																					
公布日期 年 月 日	經濟部標準檢驗局印行	修訂公布日期 年 月 日																			

1. 範圍

- 1.1 本指引文件的內容涵蓋火災危害評估標準的制訂。
- 1.2 本指引文件是針對制訂將提供評估會傷及人、動物或財產的火災危害的程序的標準。
- 1.3 本標準的用意並非所有與本標準使用有關的所有安全關切事項。在使用前建立適當的安全性與健康規範，及決定法規限制的施行性，為本標準使用者的責任。
- 1.4 本火災標準不可用來提供量化的量測基準。

2. 專門術語

- 2.1 定義：本指引中有關建築物防火詞彙，係參考CNS 2579、CNS 12680、CNS 14651、CNS 14652及CNS 14996中所規定有關品質及防火安全之主要用語。

3. 重要性與使用

- 3.1 本指引文件旨在提供制訂火災危害評估標準者使用。此類標準預期對製造商、建築師、規格撰寫者與主管機關有用。
- 3.2 作為指引，本文件提供制訂火災危害標準的方法、尚未制訂的固定程序的資料。數據的限制、可行的測試與模式、與科學知識會對火災危害評估程序構成重大的限制。
- 3.3 雖然本指引文件的重點是制訂產品的火災危害評估標準，但提供的觀念也適用於各種製程、活動、空間與建築物。

4. 關鍵要素

- 4.1 本指引文件以下列各款為其要素：
 - 4.1.1 火災危害評估標準的目的，是對組合依特定使用條件的產品的火災危害相關資料時，提供標準化的程序。
 - 4.1.2 組合的資料應與評估特別指定的產品，在指定火災場景範圍內的火災危害的目的相關。
 - 4.1.3 組合的資料應明確與量化，且應提供對於產品在特定標準界定的條件下的火災危害的充分檢查，使能對該產品的火災危害作確認的選擇與決定。
 - 4.1.4 具說服力的科學案例，需以其敘明的程序、數據與危害措施，可處理與某產品的火災危害相關問題，且其足夠的準確度與效度，無法以更完整的評估程序作出決定的實質改變的的特定火災危害評估標準來證明。如果對所有欲處理的產品無法作出此類案例，則應敘明在何種情況下，需使用更完整的危害評估程序。

- 4.1.5 缺少有足夠範圍與經證實效度的數據來源、測試方法或計算程序，來證明需有特定的火災危害評估程序，無法成為使用範圍較窄與未經證實效度的數據來源、測試方法或計算程序的充分理由。本協會承認此類產品的火災危害評估應以相關未標準化的程序，實施於任何事件。當使用此類未標準化或未經確效的程序時，詳細資料應納入最終頒布的危害評估文件內，使程序變成標準化。
- 4.1.6 火災危害評估的主要結果，應顯示某產品在標準敘明的某些或全部危害量測基準，及所有或部分場景下，相較於其他產品，或相較於這些量測基準與場景的基線危害值，會使火災危害增加、不變或降低。衍生自與非衍生自各產品的火災危害評估的基線值已可取得。但當某產品是依現有用途提出時，應與具相同用途的現有產品進行比較。舉例來說，如某產品的危害於標準中敘明的所有比較，均一致評定高於參考值時，則該產品(或現有產品)的整體火災危害評估應高於基線的火災危害。
- 4.1.7 如評估顯示某產品在標準敘明的所有危害量測基準與所有場景，未一致評定為高於、等於或低於其他產品或基線，則需有判定規則。此類規則應以各種場景或組成的函數，對各個場景與危害量測基準適當加權下，來決定整體危害。請注意場景不只會影響各種危害量測基準的值，也會影響這些量測基準在決定整體危害時的加權。
5. 火災危害與火災風險間的關係
- 5.1 區分火災危害標準與火災風險標準兩詞非常重要。兩者的關係將於附錄A2作進一步的論述。
6. 火災危害評估標準
- 6.1 火災危害評估標準的型態與內容，應符合中華民國國家標準的表格與型態手冊。
- 6.2 火災危害評估標準應納入加標示的節次：範圍、重要性與用途、專用術語、與詳細程序，這些節次應依此順序編號與排列。
- 6.2.1 範圍—範圍聲明應清楚指出：
- 6.2.1.1 關切的產品或產品等級。
- 6.2.1.2 標準中納入的火災場景。
- 6.2.1.3 標準中使用的假設。

- 6.2.1.4 火災危害評估程序的架構，包括測試方法、模式、其他計算程序、數據來源、危害量測基準、採用的評估標準或程序。
- 6.2.1.5 標準實施的任何限制，例如產品併入組裝內的方式、形態與方向、產品使用必需的幾何限制、產品使用的數量、產品的終端使用、及施行標準的空間類型。
- 6.2.2 重要性與用途：
- 6.2.2.1 標準火災危害評估程序的主要用途，與任何限制應清楚描述。
- 6.2.2.2 評估對使用者的重要性應清楚指出。
- 6.2.3 專用術語—火災危害評估標準特定使用的術語應清楚界定，應使用 CNS 14651、CNS 14652 及 CNS 14996—專用術語中界定的標準術語，前述標準專用術語中仍在制訂的術語，列於本指引文件的附錄 A1 內。
- 6.2.4 詳細程序：
- 6.2.4.1 本節應對火災危害評估程序，及其組成部分作詳細的描述，包括測試方法、計算程序、場景描述、數據來源、及評估標準或程序。
- 6.2.4.2 如某計算程序包含模式時，應清楚指出使用的版本，及該模式強調的主要假設與限制。也應指出確認資料，或缺少確認資料。
- 6.2.4.3 如使用計算程序時，應納入樣本計算。
- 6.2.4.4 應清楚指出與參考標準測試方法。當採用的國家標準尚未納入某測試方法時，其描述中應提供當以視為標準測試方法單獨提交時應納入的所有資料。應納入未標準化方法的再現性與確認的數據。如果某標準測試方法已經修改，則應納入修改的詳細資料，及修改對結果影響的證據。這些指引也適用於任何大規模測試方案。
- 6.2.4.5 如引用火災經驗或專家判斷的數據來源，則應敘明組合數據的程序，及數據的準確度、精確度與可靠度。此數據應使進行或審查火災危害評估者易於取得。
7. 火災危害評估程序
- 7.1 火災危害要素的概述—因火災產生的毒性(麻醉性與刺激性)物質、因對流與輻射通量產生的熱傷害(熱壓與灼傷)、煙霧造成的視力模糊(影響避難的能力)、氧氣耗盡、或結構損壞、對人類或動物造成的傷害。直接因熱、腐蝕性煙霧、煙灰或滅火劑所造成的財產損失，或因企業中斷，或其他對財產用於其設計目的的能力的不利影響間接造成的財產損失。產品的火災危害依其性質、如何使用、使用的環境，包括涉及的人數與類型，及暴露

- 於火災的財產的價值與易碎性而定。所以特定產品的火災危害評估程序，應對產品、如何使用及其環境加以描述。
- 7.2 制訂火災危害評估標準—在制訂火災危害評估標準的七個基本步驟如下：
- 7.2.1 界定範圍(例如關切的產品或產品級別、產品於何處或如何使用)。
- 7.2.2 指出待評估的傷害的量測基準(例如死亡、受傷、企業損失與財產損失)。
- 7.2.3 指出及描述關切的場景(例如產品性質、幾何學、通風與場景的其他特徵、熱源的考量事項及居住人的詳細資料)。
- 7.2.4 指出產生火災危害量測基準所需的測試方法或計算程序。
- 7.2.5 使用場景來界定測試方法或計算程序的重要參數。
- 7.2.6 指出證明選定的測試方法或計算程序所需的數據類型與來源。
- 7.2.7 指出評估相對於傷害程度的火災危害量測基準的標準或程序。
- 7.3 界定範圍與內容—第一階段包含界定火災危害評估標準適用的產品或產品級別(亦即範圍)，及檢查可用來界定火災危害評估程序參數的產品或產品級別與其用途的變異點及共通點。此可經由回答下列問題來達成：
- 7.3.1 產品或產品級別—產品或產品級別涵蓋什麼？定義是否足夠清楚，使人永遠能判定某產品是否能以標準涵蓋？定義是否廣泛至所有能夠取代涵蓋產品的產品皆被納入？定義是否具足夠的特異性，而不會進行無效的比較，例如用途非常不類似的產品的比較，及無法符合標準的所有假設？
- 7.3.2 參與火災的產品—產品於何時及如何傾向變成參與火災？本產品級別在特定用途下，在火災中是否扮演特定的角色，而傾向成為火災的惟一關切點(例如最初的熱源、最初的燃料來源、主要或最大量的燃料來源、每單位產品的高嚴重度、火勢散佈的主要途徑、具風險的主要價值部分)？依據此資料，是否有下列火災測試應變與其他特徵的子組，能有效隔離成為惟一能對此產品級別於火災危害的主要差異？考慮下列事項：
- 7.3.2.1 可燃性。
- 7.3.2.2 火焰散佈速率。
- 7.3.2.3 熱釋放尖峰速率，火災成長速率、釋出的總熱量。

- 7.3.2.4 質量損失率或煙霧產生速率。
- 7.3.2.5 產生煙霧的不透光性。
- 7.3.2.6 產生煙霧的腐蝕性。
- 7.3.2.7 產生的毒性物種(刺激劑與麻醉劑)的檔案—速率、總量、毒性能力。
- 7.3.2.8 熱解速率。
- 7.3.2.9 於火災情況的耐久性—結構完整性、導熱性、機械反應(例如熔解、崩塌)。
- 7.3.2.10 熄滅的容易度。
- 7.3.2.11 使用產品相對於居住者規模與類型的量。

7.3.3 環境：

7.3.3.1 產品將用於一般與特定環境？特定財產用途主要區分如下：

- (1) 集會用財產
- (2) 教育用財產
- (3) 健康照護、收容與懲治財產
- (4) 居住財產
- (5) 商業與企業財產
- (6) 基本工業、公用設施、國防或農業財產
- (7) 製造財產
- (8) 儲存財產
- (9) 特別財產

注意事項1—第7.3.3款所列只是範例，評估標準在住所上可能更具特異性。

7.3.3.2 此資料及其他產品環境的資料，能否指出可能暴露於涉及產品的火災的人數，或財產的數量或價值、居住者的特殊能力與限制、及財產的特殊特徵或弱點？此資料能否指出對特定火災-測試反應，及第7.3.2款選定的其他特徵的整體火災危害的相對重要性？

7.3.3.3 舉例來說，用於住宅或店舖等小型財產的產品，其涉及火災的最

重要量測基準，可能包括其引起火災(可燃性)的能力，及產生有害情況的速度(熱釋放、煙霧產生速率、產生毒性物種的檔案)。對用於高聳的旅館或辦公大樓等大型財產的產品，其他涉及火災的量測基準也應關切，例如其對大面積產生危害情況的能力(火焰-散佈速率、產品使用的量、釋出的總熱量、產生的毒性物質總量)。

7.3.3.4 再舉另一個例子，用於人口緻密財產(多家庭住宅區、民眾集會場所)的產品，涉及火災最值得關切的量測基準，可能是強調產品對居住者造成危害情況(熱釋放、毒性物種)的能力。而當產品用於工業財產，最關切的量測基準應是強調產品造成使更換或修復費用昂貴的財產受損，或對廠區運轉重要的財產受損的火災效應的能力(於火災情況下的耐久度、煙霧的腐蝕性)。

注意事項2—與場景選擇及評估火災危害的測試方法或計算程序有關的財產用途資料，及其他環境因子，列於第7.3.4款。

7.3.4 立即環境—當產品影響涉及火災的情況之時，是否瞭解產品的條件與立即環境？產品是否永遠位於暴露或封閉的空間？那一類的防火設施將產品與其他空間區隔(舉例來說，一般的牆壁、火災等級的牆壁、一般可打開的門、或具自動閉合器材的防火門)？當產品用於建築物系統，或空氣處理系統或開放樓梯等其他特性的區域時，是否會促使產品的火災效應輸送至財產的遠端部分？產品通常是以單一單位，或組裝的元件使用？是否有其他產品常與待評估產品有關(舉例來說，地毯與其墊子)，或安裝程序會影響產品形成火災危害？濕度過高或過低是否會影響產品的功能？

7.3.4.1 產品使用條件的範圍為何，有無會影響其火災功能的年限、使用與濫用的型態？依據此類問題的答案，應如何準備產品樣本及其環境來進行測試？

7.4 指出用來計算火災危害的量測基準—有數種基準可用來計算火災危害，每種基準各有優缺點。

7.4.1 最終結果的量測基準，例如死亡、受傷或財產損失，與火災對人與財產的影響最直接相關的結果。此直接相關是此基準的一項優點，但這些基準需使用不只敘明產品及其立即環境，也需敘明整棟建築物或住

所及其居住者的場景。當分析超過產品的立即環境時，會更難隔離出各產品間的差異，但此影響是真實的。7.4.1.1用以評估到達特定火災條件的中間型方法，例如視力減退、閃絡，或氧氣不足而會影響居住者與財產。此方法缺少需實施直接死亡或損害分析的嚴格性，但可設定有意義的共通標準來評斷產品。當使用此中間型方法時，標準應清楚敘明決定達到特定火災條件的危害評估，但不一定與死亡與損失有關。

7.4.2火災測試反應特徵(Fire-Test-Response Characteristics)的量測基準，可單獨使用，或作為火災特徵檔案的一項要素來使用。這些基準直接來自測試方法，可降低其不確定性，且傾向依據只涉及產品的測試，可簡化隔離出各產品差異的過程。這些是此類檔案的優點。但各種火災測試反應特徵個別與總體對產品於真正火災時加諸的危害的相對重要性、相互反應及相關性，需用更完整的評估方式，例如經證實的科學法則、大規模測試、及真正火災的分析進行比較來證實。各種火災危害量測基準均需進行此類比較，但火災特徵檔案最為需要，因為其離終端結果量測基準最遠，這是此方法的缺點。此外，結果評估的標準可能難以實施，或難以從火災特徵檔案衍生，因為各種特徵刻度的差異使得對終端結果量測基準的真正重要性，可能無法由這些刻度的值反映。

7.4.3火災特徵指標是種成份火災測試反應特徵，或固有的火災性質計算的量測基準。此種指標可更容易區別產品間的差異，且因其整合數個火災測試反應特徵，而可作為簡單評估標準的證明，這些是此方法的優點。此方法的缺點包括需證明此指標有效整合各種成份特徵，且可能需與從大規模測試，及真正火災的分析的結果進行比較。

7.4.3.1此階段的用意是選擇足以估算及決定產品對火災危害的貢獻度，提供有效技術資料的危害量測基準。對人及財產的損害的最終結果，永遠是火災危害評估關切的事項，但如能以較簡單的程序，及危害的相關量測基準能對產品得到相同評估結果來證實時，則無須用到這些結果的直接量值。

7.4.3.2 此中間型方法在場景變數變得無法駕馭，或在現實世界無法控制的情況下特別有價值。

7.5 指出與描述場景：

7.5.1 場景是指需選擇與敘明測試方法、火災模式或計算程序，來產生一種或多種火災危害量測基準的一組詳細資料。這些詳細資料是以對應其相對危害能以由無限空間數所界定的測試方法、火災模式或計算程序所反映的一組真實火災所選出。其例子為某種能指出與界定場景有關的某些層次的獨特電腦為基礎的危害分析程式的輸入規格的表單，舉例來說：

7.5.1.1 火災最初燃料的位置、其火災測試反應特徵、及其固有的火災性質。

7.5.1.2 起火熱源的位置與其熱釋放特徵。

7.5.1.3 靠近最早起火物品的其他物品的鄰近度與特徵。

7.5.1.4 涉及建築物的完整排列，包括房間與地板數、房間與其他區域的空間、及房間與區域間及房間與室外間的開口與通風口。

7.5.1.5 所有房間內襯的熱性質、除涉及的第一個房間或區域以外的房間與空間的可燃物荷載量、提供火焰散佈通道的成份與成品的性質與數量、防火設施(門與牆壁等)的性質、及需破壞的條件。

7.5.1.6 會影響產品的弱點及對火勢反應的人數、財產的數量與價值、及人與財產的位置與特徵。

7.5.2 因為評估的焦點是產品，所以最重要的場景層次通常是界定造成產品涉及火災的火災條件，或指出當產品的貢獻度會有最大危害結果的火災點。要作出此類決定，需回答下列問題：

7.5.2.1 該產品有無可能是最初起火的物品？當產品已以相同的方式使用時，可用歷來火災經驗的分析來決定。如答案為是時，相同的分析可指出諸如下列各種最初熱源的相對重要性：

(1) 灼熱的物體(點燃的香煙、壁爐的餘火或火花、過度負載的電線)。

(2) 輻射熱來源(設計來或已知會產生熱的裝置)。

(3)開放火焰來源(火柴或打火機、火把、氣體為燃料的鍋爐、壁爐的火、垃圾的火)。

(4)觸媒餵養的火(設定於使用觸媒的產品上的點火)。

7.5.2.2 即使不是最初起火的物品，但產品是否可能是主要的燃料來源？此可用產品涉及火勢通常開始的房間及區域的相對數量，及釋出總熱能來估算。如答案為是時，則可能需制訂暴露於產品的熱源參數。

7.5.2.3 產品是否可能是火焰散佈的通道？此可用歷來大火災的審查來估算。如答案為是時，則可能需敘明以代表已完全形成的火，但尚未充滿大型房間或地板的火災條件的熱源的產品的測試方法。

7.5.2.4 暴露的民眾(或最重要的財產)離火多近，及此是否暗指產品涉及火災的最重要階段？考量下列可能的空間關係：

(1)相同房間內起火時的人。

(2)同層樓其他室內的人，或以開放樓梯或空氣處理系統連接的相鄰樓層的人。

(3)於建築物內但遠離起火點(以防火設施、封閉樓梯或相當距離評定的離火的數層樓)的人。

(4)因滅火而暴露的人，例如消防隊、廠區的救火隊及員工等。

(5)火災後暴露的人(例如於檢查或清理時暴露的人)。

7.5.2.5 暴露者的心智、生理與年齡特徵？

(1)因年齡、體弱或心智能力阻礙逃離？

(2)逃離可能需多少時間？

7.5.2.6 減少危害是否需有特殊的安裝或結構的要求？

(1)當產品與同級的其他產品比較時，採用的數據在相同的安裝要求下是否有所關聯？

(2)在評估報告中有無清楚指出所需的減輕或防護措施？

7.5.3 如果指出第7.5.2節所列的區域之一為最關切區域時，可能代表有一種產品火災功能特徵是最重要的特徵，例如產品快速產生重大危害的能力、產品的總危害能力(例如使用的數量)、或其危害在壓制操作時及

後的持續性。此種判定接著可用來界定將用來測量產品於這些火災階段對火災危害貢獻度的測試方法或計算程序。

7.5.4 當對產品最關切的是其引起火災，或由產品本身迅速產生危害情況的能力時，則很有可能測試方法與計算程序無需明確說明超出其立即環境的產品，或敘明具風險的人與財產。所以此時分析可取消立即環境，且效度只會稍微降低且可減少計算程序，且可適當的併入檢查。反之，當對產品最關切的是使位於遠處的人暴露於大型火災的貢獻度，或火災相對晚期價值的濃度時，則如無明確說明界定建築物的場景層次，將無法界定有效的火災危害評估程序。

7.5.5 在各種情況下，此程序是用於已知的範圍與內容，來指出選擇測試方法、模式或計算程序的適當參數。沒有一種運算法或啟發法可完整敘明此過程。但共同的規範是建立最常見火災類型的一種或多種場景（舉例來說，涉及產品級別的致死火災的首要原因），及最嚴重火災類型的一種或多種場景（舉例來說，過去十年間涉及該產品的致死火災的特徵）。使用最可能對最嚴重的方法具有優點，因為可持續使用歷來的火災經驗，對專家提供可立即了解的內容，來對重要場景進行估算，且可能產生非常多樣化的場景，對該產品的火災能力提供某種保證。

7.6 指出測試方法或計算程序：

7.6.1 有可能在進行第7.3節（尤其是第7.3.2節）及第7.4節所列的步驟時，火災危害評估標準的制訂者，已找出可產生指定危害量測基準的適當測試方法與計算程序。則第6.2.1節與第6.2.3節所列的步驟，已提供這些測試方法與計算程序的參數規格。

7.6.2 此時標準制訂者應最關切第6.2.1節所界定的場景，可能目前無測試方法或計算程序可提供所需的參數，或選定的測試方法或計算程序的測試與經驗，可能不足以證實其可產生可正確代表真實火災的終端結果危害的危害量測基準。所以制訂者應審慎審查及證明選定測試方法或計算程序的證據基礎。如證據基礎不足，或顯示在方法或程序上有重大缺失時，則制訂者應經由進一步研究、重新設計程序、或標準範圍的限制來處理。

7.7使用場景來界定重要參數：

7.7.1測試方法或計算程序將需一些規格或輸入值。舉例來說，正在燃燒產品的熱釋放率的測試，將需有起火情況的規格(例如小規模起火)、熱通量強度、及控制燃燒大氣的氧氣或濕度程度的要求事項。估算涉及某產品的火災形成的計算程序，可能需輸入最先起火的物品的數據，其質量與燃燒特徵，及產品與最先起火的物品間的距離。

7.7.2測試方法或計算程序所需的每種規格與輸入值，應以從已選定場景的特徵來推論的基礎來設定。這可能需使用歷來重大火災的統計數字，及一些由專家證實的判斷。可能也需一些重複，在界定重要參數的過程中，找出重要場景定義上的模糊處，以釐清或重新定義，而完成界定重要參數的過程。場景與測試方法與計算程序需相容的界定，且三者可能均需重複修改使其相符。

7.7.3此運作也需指出選出的場景，與特定重要參數的範圍或值一致。在此種情況下，選定的特定值要能代表範圍。

7.7.4以場景特徵推論來界定重要參數的過程，通常無法遵照獨特的過程，但會受可取得資料的數量與品質所影響。基於此理由，所作的假設及佐證的證據需清楚敘明，以作為火災危害評估標準文件的一部分。

7.8指出數據的類型與來源—用於火災危害評估的數據包含下列類型：測試反應結果、實施小規模測試方法或大規模測試方案的數據、歷來火災特徵的量值或統計數字、或由專家證實的判斷。在選定數據時應觀察下列數點：

7.8.1數據的適當性與數據來源應依精密度與準確度的基本標準，及依計算程序的假設進行評估。

7.8.2火災經驗數據(歷來火災特徵的量值或統計數字)需證明有足夠的精密度，及用來形成精密度的詳細程度。其他類型的數據需證實其足以代表真實的火災情況。在所有層面上，沒有任何一種數據來源是優於其他數據的。

7.8.3完善設計的大規模實驗，可提供全規模火災的詳細數據。一些火災現象在小規模實驗中無法如大規模實驗，及真實火災中自行展現，且這些現象在真實火災後可能無法測量。所以任何未以大規模實驗作為數

據來源的火災危害評估程序，應依來自大規模實驗的數據進行檢查，以證明能正確捕捉相關現象。當使用房間規模火災測試，應適用 CNS 15048 標準。

7.8.4 小規模實驗可提供最大的控制能力，且比其他數據來源可產生非常詳細的數據，及較高的重現性。可行時，測試法應採用經美國材料與試驗協會委員會核准的標準測試方法。當無適當的美國材料與試驗協會委員會標準時，應採用已經經由共識過程完成制訂的其他標準。

7.8.5 如火災對人的影響的數據是以估算或計算得到，而非以測量所得時，應依火災經驗數據進行檢查，來證實估算或計算程序的重要假設(舉例來說，計算程序的公式或參數，測試使用的動物模式)，可產生與相關火災經驗一致的結果。

7.8.6 依據歷來火災所得的火災經驗數據，無法提供新產品的數據，或現有產品新用途的數據。所以任何單依火災經驗數據制訂的火災危害評估，將不可能有足夠的應用範圍。應知道各種火災經驗的數據來源在準確度，及特定詳細資料上均有限制，所以不可絕對採用。

7.8.7 危害分析中有關產品、建築物、人、行為或其他要素的數據需收集，且需知道其涉及火災或嚴重火災的方式，在重要層面會與較大產品級別、建築物、人、行為等的數據不同。

7.9 指出評估標準或程序—在此時火災危害評估程序應已設計到足以指出將使用何種量測基準，及應如何判定或計算，但以預期傷害為結果的解釋，仍可能具有其他的技術問題。

7.9.1 當使用一種以上火災測試反應特徵，或固有火災性質來決定危害，標準中應敘明用來計算產品與基線間、產品與其他產品、及產品間整體火災危害比較的程式。此程式可以是從數種特徵中計算一種整體危害計量的公式，此時應提供該公式的科學原理。此程式可以是一組判定規則，例如只有在所有量測基準中均為較佳，或最讓人關切的量測基準中較佳時，方能稱某產品優於其他產品的規則。在使用此規則時，在兩種產品的特定案例中，可能不夠強到能對整體危害提供明確的比較，在此情況下個案的風險可能需變成決定因子。

7.9.2 如評估程序無法得到以死亡、受傷或金錢損失的數目記錄的預期傷害時，則標準中應對火災危害量測基準(煙霧產生、溫度、一氧化碳含量等)的特定值或範圍的影響提供指引。

7.9.3 標準中不可試圖設定安全閾值，或其他通過/未通過的標準，但可敘明由使用該標準的負責人為決定火災危害量測基準，而特意的設定安全閾值，或其他通過/未通過的標準的所有步驟。

附錄 A

A1 專用術語

A1.1 環境—係指當暴露於起火源時，會影響材質、產品或組裝的行為的火災相關情況與周遭環境。

A1.2 火災特徵指標(n)—係指結合兩個或多個依與常見火災場景相容的測試條件制訂的材質、產品或組裝的火災測試反應特徵，以整體說明相對威脅的一種單一量化量測基準。請同時參照火災特徵檔案、火災危害、火災風險、火災測試反應特徵等術語的解釋。

A1.3 火災危害(n)—係指造成與火有關的傷害的能力。

A1.3.1 論點(Discussion)—係指會對人、動物或財產加諸一種或多種危害的火災。這些危害與環境，及材質、產品或組裝的數種火災測試反應特徵有關，包括但不限於：易引燃性、火焰散佈、熱釋放率、煙霧產生與遮蔽、燃燒產品的毒性、及易熄滅度。

A1.4 火災危害評估—係指測量或計算當材質、產品或組裝存在於相關火災場景，造成傷害能力的過程。

A1.5 火災風險(n)—係指發生火災，及對生命與財產造成損害與損失的可能性。

A1.6 火災風險評估—係指在界定的住所或情況下，計算於特定期間內造成火災損失可能性的一種方法。請同時參照火災風險一詞的解釋。

A1.7 火災場景(n)—係指與引發或形成特定火災的相關條件的詳細描述。

A1.8 火災測試特徵檔案—係指均依與常見火災場景相容的測試條件制訂，以整體說明相對威脅的材質、產品或組裝的一系列火災測試反應特徵。請同時參照火災危害、火災風險與火災測試反應特徵等詞的解釋。

A1.9 火災測試反應特徵—係指某材質、產品或組裝在控制的火災條件下，對熱源或火焰的反應特徵。此類反應特徵包括但不限於：易引燃性、火焰散佈、熱釋放、質量流失、煙霧產生、火勢的持久度、及煙霧的毒性能力。

A2. 火災危害與火災風險間的關係

A2.1 火災危害評估是度量產品在依標準程序審慎界定與分析的指定使用條件下的預期功能。火災風險評估是使用這些危害量測基準，加上發生的可能性、防火與警告特色、及居住者特徵來形成相關風險的量測基準。風險量測基準在地點與產品上相當具特異性，且在性質上因無法處理大量應區分的場景，所以相當雷同。

A2.2 某些對一組場景現有的模式，及推薦的風險評估程序，通常會指出一組場景級別：

A2.2.1 各級的所有場景相當類似。

A2.2.2 各級均有一個代表對應該級場景發生火災可能性的機率(P_i)。

A2.2.3 各級將有一個選定的代表場景，使得該代表場景的火災危害評估程序的危害量測基準 H_i ，為該級所有場景的機率加權平均危害量值的最佳估算。

A2.3 當採用此架構時，風險量測基準與危害量測基準的關係可以下列公式表示：

$$Risk = \sum_{i=1}^n P_i \times H_i$$

其中：

H_i = 場景級別*i*代表場景的危害。

P_i = 場景級別*i*的機率。

n = 場景級別的次數

對於火災風險評估標準，此公式顯示火災風險評估程序，可從火災危害評估程序、有效的場景級別結構、及場景級別機率數據的有效來源建構。

A2.4 中華民國國家標準目前尚未編訂風險評估的指引文件或程序，且附件 A2 中的資料只在幫助對某產品火災危害的了解，且使用該產品所涉的任何風險並非同義。風險與多種應詳細檢視的因子有關。