

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

避難安全性能驗證技術-高度性能設計法(Route C)與簡單性能設計法(Route B)之煙層下降時間比較研究

Verification Technology of Evacuation Safety Performance-Based Design-
Research and Comparison of Smoke Layer Descending Time
for Route C and Route B Methods

研究生:高李新

指導教授:陳俊勳 教授

中華民國一〇一年七月

避難安全性能驗證技術-高度性能設計法(Route C)與
簡單性能設計法(Route B)之煙層下降時間比較研究
Verification Technology of Evacuation Safety Performance-Based Design-
Research and Comparison of Smoke Layer Descending Time
for Route C and Route B Methods

研 究 生：高李新

Student : Lee-Hsin Kao

指導教授：陳俊勳

Advisor : Chiun-Hsun Chen

國立交通大學
工學院產業安全與防災學程
碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Industrial Safety and Risk
Management

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Industrial Safety and Risk Management

July 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 一 〇 一 年 七 月

避難安全性能驗證技術-高度性能設計法(Route C)與簡單性能設計法(Route B)之煙層下降時間比較研究

學生:高李新

指導教授:陳俊勳

國立交通大學工學院產業安全與防災碩士班

摘 要

我國於民國 93 年 1 月 1 日正式施行建築物得採性能式設計，讓設計者不再受限於傳統條例式防火法規之限制，而能依建築物之特性，設計出更創新且有彈性之建築物。目前我國性能式建築防火案件之審查評定單位為財團法人台灣建築中心(以下簡稱台灣建築中心)，其審定係為參照內政部建築研究所出版之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」為驗證基準(Route B)，或依建築消防機關認可之性能設計工具進行特定空間規劃之性能驗證評估法(Route C)，進行避難安全之驗證，其中 Route B 之相關參數、數據範圍及評估項目等，已詳列於技術手冊供設計者據以驗證，而 Route C 則是以主管機關或評定機構認可之電腦軟體進行各種情境之運算與模擬，且二者皆須賴具備專業能力資格者方得以操作或依具備專業能力資格者之指導下進行操作。

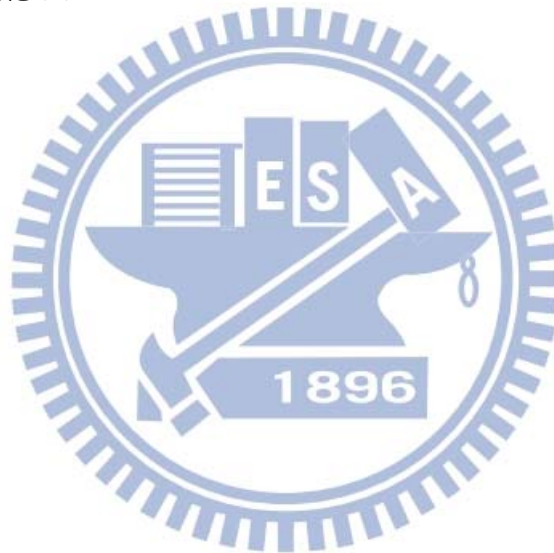
如採用 Route B 時，因其所須計算之相關參數、數據範圍及評估項目皆以明訂於技術手冊中，使用者僅需正確的依據設計之現況資料逐步套入手冊計算公式，即可驗證設計是否安全，而 Route C 則可將設計條件依不同條件輸入電腦，利用電腦模擬該等情境下之火、煙的狀態，因此雖然二者皆可求得煙層下降之時間，然 Route C 應可更能驗證火災所發生之各種情境，爰此，本研究將使用主管機關或評定機構認可之電腦軟體(Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5)於相同之火場條件下比較 Route B 之計算結果是否能與 Route C 電腦模擬結果一致。

本研究比較發現，於火載量設定上兩者使用的單位並不相同，且無法換算，不過「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」第 2.2.3 節提供了 T-square 火源成長模式，配合表 2-1 火源成長模式係數配合公式即可計算火災成長階段的火載量，作為 Route C 模擬輸入的重要數據。

對於煙產生量的結果也不相同，Route B 依照表列場所的火載量，即可計算出煙層下降時間，而 Route C 可藉由不同燃料特性中所輸入的煙生成量產生不同的結果，而於本研究發現在二種不同場所案例，為求得與 Route B 相同的結果，Route C 所須輸入的煙生成量值並非為一定值，且 Route B 所表列場所的火載量越高，Route C 所須輸入的值卻越低，此與常理所判斷的結果差異很大。

本研究也藉由同一場所中不同的天花板高度來觀察其中煙層下降時間變化的關係，經 Route B 計算結果發現，當天花板超過 5m 以上時，煙層下降時間並沒有因為天花板高度增加而有明顯的延長，而天花板高度於 7m 時，煙層下降時間甚至較天花板高度 5m 時更短，且比較 Route B 與 Route C 天花板高度 5m 的結果，Route C 即比 Route B 所計算的煙層下降時間更長。

關鍵字:防火避難、性能驗證、Route B、Route C、FDS、煙層、天花板高度



Verification Technology of Evacuation Safety Performance-Based Design-
Research and Comparison of Smoke Layer Descending Time
for Route C and Route B Methods

Student: Lee-Hsin Kao

Advisor: Dr. Chiun-Hsun Chen

Industrial Safety and Risk management
College of Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Based on August January 1, 2004, the purpose of building the mining design by performance, designers are no longer limited to traditional regulation-fire regulations limit, but in building characteristics, design a more innovative and flexible building. At present examination of evaluation unit our country performance type structural fire precaution case (hereafter refers to as TAIWAN ARCHITECTURE & BUILDING CENTER) as Architecture and Building Research Institute of Ministry of Interior, its examination is to refer to the Ministry of Interior to construct the research institute to publish it “the building fire protection to seek asylum the safety performance proof technique handbook” for the confirmation datum (Route B), or carries on performance of confirmation appraisal law the specific spatial plan of performance design tool according to the construction fire prevention institution approval (Route C), carries on seeks asylum confirmation of the security, Route B related parameter, data area and appraisal project and so on, has listed in detail in the technical manual according to confirms for the designer, but Route C is by the Controlling organization or the evaluation organization approvalThe computer software carries on operation and the simulation each kind of situation, and the two must depend have the specialized ability qualifications side to be able to operate or according to have the specialized ability qualifications under the instruction to carry on the operation.

If uses Route B, because its must the computation the related parameter, the data arrange and the appraisal items all by the technical manual, the user only needs

present situation of material gradually invagination handbook formula the correct basis design, then confirms designs whether safely, but Route C may the design conditions according to the dissimilar condition input computer, simulate using the computer this and so on under the situations the fire, the smoke condition, although therefore the two all may obtain time of the smoke level drop, however Route C should be possible to be able to confirm the fire to have each kind of situation, whence this, this research will use the controlling organization or evaluates the organization approval. The computer software (Fire Dynamics Simulator, FDS Version 5) confirms of computed result the Route B under the same scene condition whether can be consistent with the computer analogue result, strengthens uses reliability of the Route B.

This study compared the load settings in the fire is not the same on both units, and can not be translated. However, the verification guideline provides a fire growth curve to the fire growth coefficient with the formula to calculate the fire load of the fire growth phase, the Route C analog input data.

This is not the same for the results of the soot-yield. Route B, in according with fire lord table list to calculate declineing time of smoke layer. Route C, can produce different results by different fuel properties entered the smoke generated. This study found that two kinds of different case model, the smoke generated value is not obtained the same results with the Route B, to be entered for a certain value. Then The higher the amount of the Route B fire load table listed place, Route C to be input value more lower. This common sense judgment results vary widely.

This study also observed by the different ceiling heights in the same model which changes the relationship. Route B, the results found that when the ceiling is more than 5 meters or above, is not due to ceiling height increases significantly prolonged. The ceiling within 7 meters in height, the smoke layer declineing time is even shorter than 5 meters. Route C simulation results compare the Route B, which produce differences in ceiling height of 5 meters.

Key words : Evacuation Safety 、 Route B 、 Route C 、 FDS(Fire Dynamics Simulator) 、 Fire-lord 、 Smoke Level 、 Ceiling Hight

誌 謝

會重拾課本踏入研究所的學程，首要感謝許銘顯老師的鼓勵與鞭策，因為從他不斷的鼓勵與推動，使我能真正實現了攻讀研究所的理想。

在這段學習與成長的三年過程中幸運的接受到許多師長的關心與教誨；首先感謝陳院長俊勳於求學期間對於專業上的指導，在論文計畫審定及口試期間，感謝徐博士一量與邱博士晨瑋的指導，更感謝徐博士一量於百忙之中多次撥冗給予學生論文指導與斧正，使本論文更趨完備，在此致上最深的敬意，另外也要感謝同門師弟楊介雄對於本論文的協助。

在就讀期間與同學相處融洽，課堂上遇到了許多棘手問題，皆所幸在老師與同學不斷地研究與討論下，尋求解決問題的方法，內心充滿感謝之意。也由於同學間的相互鼓勵與關心，得以共同順利完成學業，同窗之情，莫感忘懷。

最後，要感謝母親、內人的體恤與照顧，及求學期間幫忙的朋友們，使得以順利完成學業，感恩大家。

目 錄

摘要	.....	I
誌謝	.....	V
目錄	.....	VI
表目錄	.....	IX
圖目錄	.....	X
第一章	緒論	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究動機及目的	2
1.3	預期成果	3
1.4	研究方法與進行步驟	4
1.4.1	文獻探討	4
1.4.2	計算驗證分析比較	4
1.4.3	結果歸納	4
第二章	文獻回顧	6
2.1	日本性能法規防火設計進程概述	6
2.1.1	確認檢證制度的充實	6
2.2.2	性能式檢證方法的開發	6
2.2.3	修正法規	6
2.2	歐美性能法規防火設計進程概述【5】	6
2.3	我國防火工程性能式設計概述	7
2.4	我國採用性能設計之現況	7
2.5	煙控性能設計說明	8
2.5.1	Route B 與 Route C 於火載量計算方式之差異分析	8
2.5.2	Route B 與 Route C 於煙產生量計算方式之差異分析	12
2.5.3	Route B 與 Route C 之優缺點與限制條件	15
第三章	案例分析	17
3.1	案例分析概述	17
3.1.1	辦公場所	17
3.1.2	百貨商場	17
3.2	案例之驗證說明	17
3.2.1	空間模型設定說明	17
3.2.2	火載量設定說明	18
3.2.3	排煙狀態設定說明	18
3.2.4	FDS 煙生成量設定說明	18
3.3	案例（一）辦公場所	20
3.3.1	辦公場所 Route B 之計算結果	20

3.3.2	辦公場所 Route C 之模擬結果	21
3.4	案例(二)百貨商場	37
3.4.1	百貨商場 Route B 計算結果	37
3.4.2	百貨商場 Route C 之模擬結果	38
3.5	案例(一)辦公場所之驗證分析	54
3.5.1	辦公場所情境(一)Route C 之驗證分析	54
3.5.2	辦公場所情境(二)Route C 之驗證分析	55
3.6	案例(二)百貨商場之驗證分析	57
3.6.1	百貨商場情境(一)Route C 之驗證分析	57
3.6.2	百貨商場情境(二)Route C 之驗證分析	58
第四章	煙生成量案例分析與驗證結果	60
4.1	修正辦公場所情境(一)Route C 煙產生量之驗證分析...	60
4.2	修正百貨商場情境(一)Route C 煙生成量之驗證分析...	65
4.3	增加天花板高度對於煙層下降時間之影響分析	70
第五章	結論與建議	73
5.1	結論	73
5.1.1	火載量之設定	73
5.1.2	煙產生量之設定	73
5.1.3	執行者的資格限制	74
5.2	建議	74
5.2.1	設計天花板高度之建議	74
5.2.2	煙產生量設定之建議	75
參考文獻	.....	76

表 目 錄

表 2.4-1	建築物防火避難評定業務統計表	8
表 2.5-1	內部裝修材火災成長率 α_m	9
表 2.5-2	火災成長模式係數	10
表 2.5-3	手冊堆積可燃物每平方公尺發熱量	11
表 3.2-1	辦公場所條件設定對照表	18
表 3.2-2	百貨商場條件設定對照表	18
表 3.3.1-1	辦公場所天花板高度 3m 無機械排煙煙層下降時間	20
表 3.3.1-2	辦公場所天花板高度 4m 無機械排煙煙層下降時間	20
表 3.3.1-3	辦公場所天花板高度 5m 無機械排煙煙層下降時間	21
表 3.3.1-4	辦公場所無機械排煙煙層下降時間與天花板高度對照表	21
表 3.3.2-1	辦公場所 FDS 模擬參數表	23
表 3.4.1-1	百貨商場天花板高度 3m 無機械排煙煙層下降時間	37
表 3.4.1-2	百貨商場天花板高度 4m 無機械排煙煙層下降時間	37
表 3.4.1-3	百貨商場天花板高度 5m 無機械排煙煙層下降時間	38
表 3.4.1-4	百貨商場無機械排煙煙層下降時間與天花板高度對照表	38
表 3.4.2-1	百貨商場 FDS 模擬參數表	41
表 3.5-1	Route B 煙層下降計算時間表	54
表 3.5-2	辦公場所情境(一)結果對照比較表	55
表 3.5-3	辦公場所情境(二)結果對照比較表	56
表 3.6-1	百貨商場煙層下降時間表	57
表 3.6-2	百貨商場情境(一)結果對照比較表	58
表 3.6-3	百貨商場情境(二)結果對照比較表	59
表 4.1-3	辦公場所情境(一)結果對照比較表	64
表 4.2-1	第一次修正百貨商場情境(一)結果對照比較表	65
表 4.2-2	百貨商場情境(一)結果對照比較表	69
表 4.3-1	辦公場所天花板高度 6m 無機械排煙煙層下降時間	71
表 4.3-2	辦公場所天花板高度 7m 無機械排煙煙層下降時間	71
表 4.3-3	Route B 辦公場所計算天花板高度與煙層下降時間差異對照表 ..	72

圖目錄

圖 1.2-1	火災避難時間示意圖	2
圖 1.4-2	研究流程圖	5
圖 2.4-1	建築物防火避難評定業務統計表	8
圖 2.3-2	軸對稱之煙羽流	13
圖 3.2-1	空間模型平面圖	19
圖 3.3.2-1	辦公場所火災成長趨勢圖	22
圖 3.3.2-2	辦公場所火源位置(一)	24
圖 3.3.2-3	辦公場所火源位置(二)	24
圖 3.3.2-4	辦公場所情境(一)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	26
圖 3.3.2-5	辦公場所情境(一)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	28
圖 3.3.2-6	辦公場所情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	30
圖 3.3.2-7	辦公場所情境(二)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	32
圖 3.3.2-8	辦公場所情境(二)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	34
圖 3.3.2-9	辦公場所情境(二)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	36
圖 3.4.2-1	百貨商場火災成長趨勢圖	39
圖 3.4.2-1	百貨商場火源位置(一)	40
圖 3.4.2-2	百貨商場火源位置(二)	40
圖 3.4.2-3	百貨商場情境(一)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	43
圖 3.4.2-4	百貨商場情境(一)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	45
圖 3.4.2-5	百貨商場情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	47
圖 3.4.2-6	百貨商場情境(二)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	49
圖 3.4.2-7	百貨商場情境(二)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	51
圖 3.4.2-8	百貨商場情境(一)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	53
圖 3.5.1-1	辦公場所情境(一)煙層下降時間比較曲線圖	55
圖 3.5.1-2	辦公場所情境(二)煙層下降時間比較曲線圖	56
圖 3.6.1-1	百貨商場情境(一)煙層下降時間比較曲線圖	58
圖 3.6.1-2	百貨商場情境(二)煙層下降時間比較水平曲線圖	59
圖 4.1-1	辦公場所情境(一)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	61
圖 4.1-2	辦公場所情境(一)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	62
圖 4.1-3	辦公場所情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	63

圖 4.1-4	辦公場所情境(一)煙層下降時間比較水平曲線圖	64
圖 4.2-1	第一次修正百貨商場情境(一)高度 1.8m 之能見度水平切面圖 .	65
圖 4.2-2	第二次修正百貨商場情境(一)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	67
圖 4.2-3	百貨商場情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	67
圖 4.2-4	百貨商場情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖	68
圖 4.2-5	百貨商場情境(一)煙層下降時間比較水平曲線圖	69
圖 4.3-1	Route B 辦公場所天花板高度與煙層下降時間差異對照曲線圖	72



第一章 緒 論

1.1 研究背景

因台灣四面環海，土地之取得原屬不易，尤以都會區域地狹人稠更甚，因此，建築物亦須朝向高層化與多元化使用發展，且隨著使用需求之日新月異，使得如巨蛋體育館、超大型百貨商場、住商複合使用之超高層集合住宅等建築物應運而生，而我國自民國三十四年二月二十六日內政部訂定公布施行建築法始，歷經多次修正、刪除及新增各項條文，其條例之完整性對於一般建築物之設計上，有其高度適用性及便利性；然而對於特殊建築物之適用性似有窒礙難行之處，爰此，內政部為順應國際建築設計潮流，特於民國 93 年 1 月 1 日正式公告施行，准予以性能式法規從事建築物之防火避難安全設計，以滿足特殊建築物使用之特性需求，並符合其必要之安全性。

依據性能式法規之規定，可分為簡單驗證法(以下簡稱 Route B)及高度性能設計法(以下簡稱 Route C)，而為配合性能式法規之施行，內政部建築研究所遂出版「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」【1】以為採用 Route B 之驗證基準，其所謂避難安全檢證，即針對即使在該建築物之任何一居室發生火災情況之下，當該建築物內所有人員皆在逃生通道(居室～走廊～樓梯間)上時，將導致逃生行動困難的煙尚不致下降到足以阻礙到逃生之高度一事進行確認，並做為牴觸法令部分的安全性評定，其評定對象可分為僅樓層逃生及整棟建築物逃生。而 Route C 主要為採用電腦軟體模擬，於避難時間驗證之較為常用軟體，如 Simulex、EXODUS 等，CFD 軟體於火場模擬之應用則以美國國家標準與技術研究院所出版之 FDS 較為通用，且經過驗證其可靠度亦廣為國際間所接受，本研究即採用 FDS 作為 Route C 模擬的軟體。

如前所述，國際上有許多軟體可供選用，而選用 FDS 的原因如下：【5】

1. 軟體取得容易，且更新快速。FDS 可直接至 NIST 網站免費下載。

2. FDS 是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，面對複雜火場資訊，FDS 常常可用簡單的程式即可完成描述。
3. NIST 建有廣泛的火場實驗室資料庫，FDS 可與這些實驗進行比對，同時，NIST 也與國際上相關的火災測試機構合作進行火場驗證，因此程式的可靠度、準確度頗佳，足供工程使用。
4. 我國政府單位認可的建築火災評估軟體，國內用者眾多。

1.2 研究動機及目的

於 Route B 中對於煙層下降時間之計算，係依據居室空間形狀、可燃物發熱量、內部裝修材料等影響因素計算其發煙量，再對照居室容許蓄煙之體積，該體積之計算高度須為室內天花板平均高度與容許煙層下降至距離地面 1.8m 範圍之高度，以計算煙層下降時間，再對照是否大於如圖 1.2-1 所示，從人員發現火災至全部人員於起火室成功避難所需的時間。

$$t_s = \frac{A_{room} \times (H_{room} - 1.8)}{\max(V_s - V_e, 0.01)} \quad (1) \quad 【1】$$

t_s 居室發火災而產生的煙層下降至有礙於避難高度前所需要的時間(單位：分)

A_{room} 該居室的地板面積(單位： m^2)

H_{room} 從該居室地面最高位置算起的天花板平均高度(單位：m)

V_s 煙層等生成量(單位： m^3/min)

V_e 有效排煙量(單位： m^3/min)

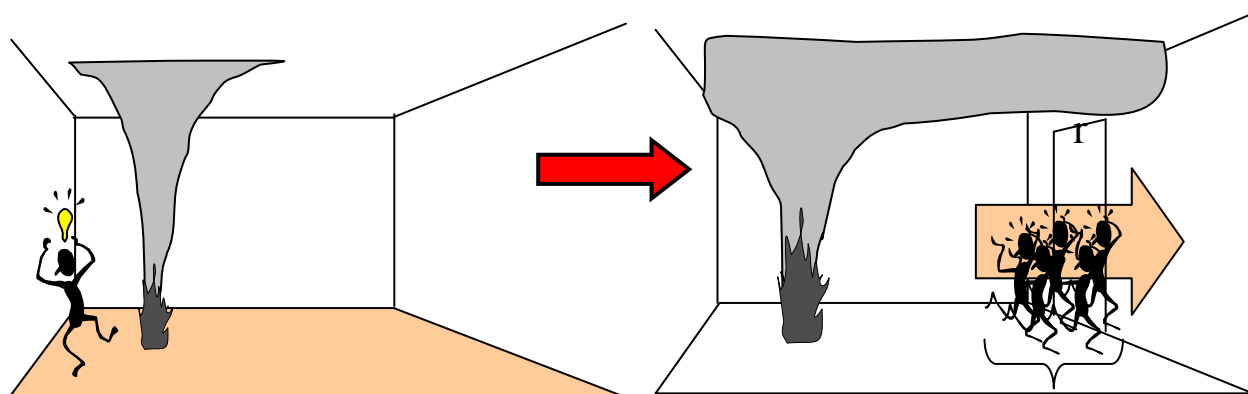


圖 1.2-1 火災避難時間示意圖

上述計算公式為參考日本檢證法而來，為日本依據過去研究成果所演化而成之數據，使用者僅需就所檢證之建築物類型及條件，依照手冊所規定之計算公式，逐步演算即可得到驗證之結果，因此，稱為簡單性能設計法，當然其中各參數之引用仍得由具備專業能力資格者(如建築師、具有專業技術人員執照或具相當經驗之專家等)，並依具有該專業能力資格者之指導下方能得到正確之驗證結果。

雖然我們可以確信該等公式皆已接受驗證，也於日本及我國行之有年；惟因於性能設計法規中，仍有高度性能設計法可供驗證，雖基於實務上經濟效益及成本之考量，較不可能採取二案併呈之操作性，因此，期望透過本研究之內容，比較兩者之相關性。

本研究之目的即因為目前所提送審查之採用性能式法規設計案例中，一般如能適用 Route B 之規定者，即直接依其所訂定之標準驗算，除非有其不適用性，方另採 Route C 驗證，而因二者皆能取得煙層下降時間之計算結果，而二者所使用之參數及公式並不相同，因此，希望透過本研究的辦公場所及百貨商場等類似案例，比較其結果是否為一致。

1.3 預期成果

透過本研究之驗證結果，可得知於同一場所、同一條件下，其驗證結果是否皆能趨近於一致，不論其結果是否相同，皆能獲知何種檢證法較為嚴謹，或二者成果確為一致，所以期望本研究以下的結果能於未來提供使用者操作時之參考。

1. 熱釋率的設定-以往進行 FDS 模擬時，對於如何設定合理的熱釋率往往莫衷一是，因此期望藉由本研究取得合理的設定值。
2. 煙生成量的設定-有關影響 FDS 模擬煙層下降時間結果的重要因素之一，應為所設定燃燒物中的煙生成量(Soot-Yield)，至於應設立何種燃燒物也頗難以決定，所以藉由本研究比較 Route B 的結果，了解煙生成量的值。
3. 天花板高度對於煙層下降時間的影響-天花板高度實際對於煙層下降時間的影響，了解是否天花板越高，煙層下降時間確實月長。

1.4 研究方法與進行步驟

本研究方法是針對高樓層辦公大樓及百貨商場等類型之建築物進行驗證比對，主要先依「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」(以下簡稱手冊)所規定之場所特性，分別計算居室之煙層下降時間，再以相同之條件建立 FDS 之 Model，依據 Route B 所計算之煙層下降時間進行模擬，對照其結果。

因此，本研究以文獻探討、計算驗證分析比較及結果歸納等為主要研究方法，分述如下：

1.4.1 文獻探討

蒐集、整理並翻譯國內、外有關性能式設計之法規、研究報告、學術論文、設計實例等相關文獻，對於此兩驗證法有關煙之相關公式進行系統式之整理與分析，作為本研究對照分析之理論依據。

1.4.2 計算驗證分析比較

本研究以採百貨公司及辦公室等二類型之場所，以 Route B 公式計算煙層下降時間，並採 Route C 以相同設計條件使用 FDS 軟體模擬，對照分析結果。

1.4.3 結果歸納

將本研究對照分析之初步結果以表列方式予以扼要歸納，以利檢視判讀。

本論文的研究流程請參閱圖 1.4-1。

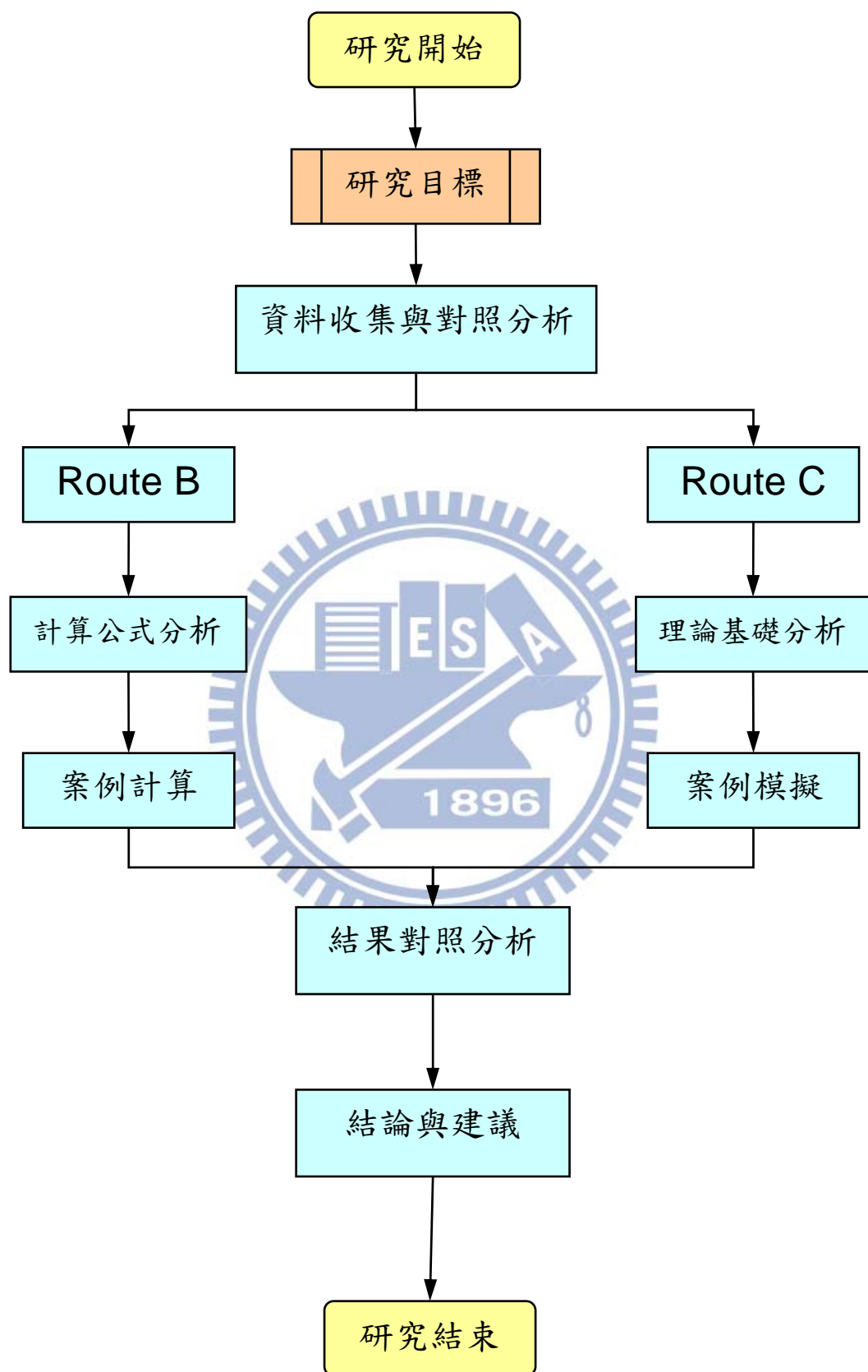


圖 1.4-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 日本性能法規防火設計進程概述

日本建築防火法規施行性能化的進程：【10】

2.1.1 確認檢證制度的充實

1. 日本運用建設省特別認定(舊有第 38 條)-對於不符合法律規定者，以特案方式審查通過，為朝向以性能式規定的認定方式。
2. 導入建築防災計畫評定-建築物不再只是盡到法律最低基準而已，對於合法但有改善必要者進行指導，並移轉為民間機關執行的業務。

2.2.2 性能式檢證方法的開發

1. 建築物之總合防火設計法開發-整理防火性能之基本要件及檢證的基本工具。
2. 防、耐火性能評價技術的開發-開發各部分材料之性能檢證實驗及檢證法。

2.2.3 修正法規

1. 1998.6 日本建築基準法實施大修正-導入性能基準並廢除舊有第 38 條規定。
2. 2000.6 確定技術的細項並且告示-開始以性能法規。

2.2 歐美性能法規防火設計進程概述【5】

歐美等先進國家以性能為導向的火災安全法規早在 1980 年就已開始，其中包括澳洲、加拿大、法國、英國和美國等國家及國際營建研究委員會(CIB)。早年國際標準組織(ISO)和 CIB 將建築物火災安全設計的工程發展逐步納入為國際發展的重點【19】，ISO/TC92/SC4(Fire Safety Engineering)更於 1995 年的下半年發表正式的防火工程設計指導原則(The Application of Fire Performace Concepts to Design Objectives)。

歐美於性能法規發展的初期，其定義及內容也存在許多爭議，然而經由澳洲、加拿大、法國、英國和美國等國家致力於性能法規的發展之後，在性能法規的定義上已漸形成共識，即是性能法規須具備下列四大要項：

1. 清楚敘明安全防護的目標何在，衡量結果的指標即是所欲達到目標本身的價值(例如拯救人員生命安全或財物)。
2. 定可證實的性能要求，且該項要求具有與前項目標兩者之間環環相扣可示範和量化的關係。
3. 容許任何可達到性能要求的解決方法。
4. 通常是設立某一特定的安全水準作為性能目標。【20】【21】

2.3 我國防火工程性能式設計概述

於目前法規架構中，傳統條例式法規與性能式法規之設計有其明顯之差異，以往不論建築防火避難與消防安全設備之設計案例，設計者於設計之初僅須充分依據「建築技術規則」及「各類場所消防安全設備設置標準」等法規之條例規範，即可符合其所規定之最低防護需求，至於此一設計可否達到真正之安全則無法驗證。

相較之下，性能式火災安全工程主要為考量整體火場建築系統間之關聯性，通常於設計時會超過個別規範之規定，因此對於小規模火勢但具高潛在之使用者會較偏向性能式設計，因其具有更高之防護設計，另一方面，性能式設計可依特定狀況而設計，可更準確反應出特定建築物火災之影響力，其結果可使特定高危險區域之火災防護能力超過條例式法規之要求。

一般執行性能式法規過程中，依據使用者設定之防損目的，以定義火災安全目標及性能目的至為重要，而將單一使用者所能接受之量化風險與社會之安全期待作到一致是相當困難之工作，但至少目前我國於審核防火工程性能式設計案之主要依據應為以避難者生命之保護為最高原則，即無論於任何火災情境下，須能確認避難者於正常避難行為下，皆能避難成功。【5】

2.4 我國採用性能式設計之現況

我國自民國 93 年正式實施性能式設計法規以來，因可配合使用需求使得設計彈性增大，許多建物所有權人為使建築物達到最佳使用化，仍願選擇設計成本較高且審查期較久之性能式設計方案，依據財團法人台灣建築中心之評定實績資料統計如下說明：

表 2.4-1 建築物防火避難評定業務統計表

申請類別 年度	性能設計案	性能(含綜合)案	綜合檢討案	合計
94 年度	1	5	6	12
95 年度	5	2	11	18
96 年度	7	3	21	31
97 年度	-	5	-	5
合 計	13	15	38	54

資料來源：財團法人台灣建築中心

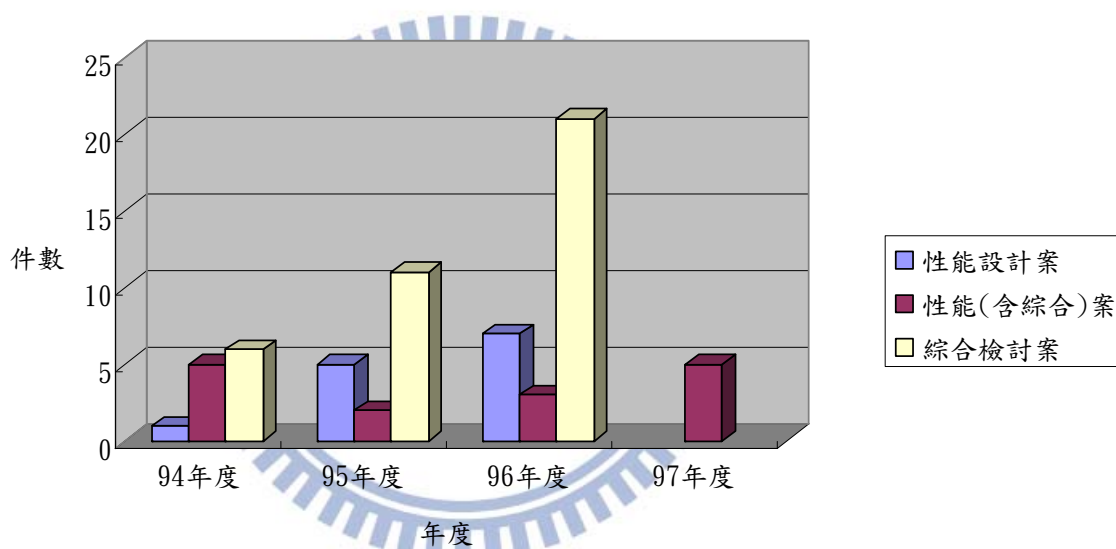


圖 2.4-1 建築物防火避難評定業務統計表

2.5 煙控性能設計說明

2.5.1 Route B 與 Route C 於火載量計算方式之差異分析

建築物性能式設計驗證中，對於火載量或熱釋放率的輸入為其重要參數之一，驗證建築物安全所需的相關數據皆與火載量或熱釋放率息息相關，例如火場溫度、煙生成量、一氧化碳濃度及火災持續時間等【13】，因此，一旦所輸入錯誤的火載量，所得之結果必然也無法驗證場所之真正安全性。

關於 Route B 之各類場所之火載量資料已明列為表供計算者引用（詳表 2.3.3），雖甚為方便卻也缺乏彈性，且因該數據皆譯自日本，恐無法符合我國國情之需求【13】。最重要者是該火載量單位為 MJ/m²，此為作功的單位，並非熱量單位，須經時間單位轉換後才成熱量單位，然而依據手冊表 2.3.1 之堆積可燃物每平方公尺發熱量設計火源大小之公式計算推導

$$Q = \alpha (t - t_o)^2 \quad (1)$$

$$Q = (t/t_g)^2 \quad (2)$$

Q ：燃燒成長期熱釋放率

t ：時間(sec)

t_o ：起火時間(sec)，通常設定為 0

t_g ：熱釋放率達 1MW 之特性時間(sec)

α ：成長係數(Kw/s²)

然而，事實上 Route B 並未真正使用到上述二公式，且其中所運用的下列二個公式(12)(13)，所求得的 α_m 、 α_f 並未說明單位為何，且無從計算此二個數值對於火災成長率的真正意義。

$$\alpha = (\alpha_m + \alpha_f) \quad (3)$$

$$\alpha_f = \begin{cases} 0.0125 & (q_l \leq 170) \\ \frac{0.0125}{2.6 \times 10^{-6} q_l^{5/3}} & (q_l > 170) \end{cases} \quad (4)$$

α_m 則直接以表列定質表示，如下表所示：

表 2.5-1 內部裝修材火災成長率 α_m

耐燃一級	0.0035
耐燃二級	0.014
耐燃三級	0.056
木材及其他級外材料	0.35

表 2.5-2 火災成長模式係數

	成長係數	成長時間
T-Squared Fires	α (Kw/s ²)	T _g (s)
緩慢(Slow)	0.002931	600
普通(Medium)	0.01172	300
快速(Fast)	0.04689	150
極快(Ultra Fast)	0.1876	75

資料來源：手冊表 2-1

假設以百貨商場 960(MJ/m²)及辦公場所值 560(MJ/m²)計算 α_m 、 α_f 所得數值如下：

百貨商場

$$\alpha_f = 2.6 \times 10^{-6} (960)^{5/3} = 0.2429$$

$$\alpha_m = 0.0035 \text{ (取耐燃一級)}$$

$$\alpha = 0.2429 + 0.0035 = 0.2464$$

辦公場所

$$\alpha_f = 2.6 \times 10^{-6} (560)^{5/3} = 0.09892$$

$$\alpha_m = 0.0035 \text{ (取耐燃一級)}$$

$$\alpha = 0.09892 + 0.0035 = 0.10242$$

比較表 2.3.2 中的數值差異頗大，百貨商場案例超過極快速火災模式 1.3 倍及辦公場所超過快速火災模式 2.2 倍，因此，判斷二種計算之值應不屬同一單位，所得之熱釋放率似乎皆不甚合理，如欲用於 Route C 之火載量設定，而取得與 Route B 較一致之合理數據甚為困難，所以有關 Route C 熱釋放率之設定模式，將以採用參照手冊表 2-1 T-Squared Fires 模式，以公式 $Q = \alpha (t - t_0)^2$ 計算各段時間所達火災熱釋放率，代入 FDS 模擬設定，詳於第三章說明。

表 2.5-3 手冊堆積可燃物每平方公尺發熱量

居室種類			熱釋放率 (單位: MJ/m ²)
住宅的起居室			720
住宅以外建築物內的臥室			240
辦公室及其他類似地點			560
會議室及其他類似地點			160
教室			400
體育館的競技場及其他類似地點			80
博物館或美術館的展示室及其他類似地點			240
經營百貨店或是物品銷售業的店鋪	家具或書籍等賣場及其他類似用途的場所		960
	其他部分		480
餐飲店及其他餐飲室	簡易餐廳		240
	其他餐飲店		480
劇場、電影院、演藝場、觀覽場、集會廳、集會場、及其他類似用途的房間	觀眾席部份	固定座位時	400
		其他場所	480
	舞台部份		240
室內停車場或是汽車修理廠	室內停車場及其他類似場所		240
	車道及其他類似場所		32
走廊、樓梯及其他通道			32
玄關大廳、大廳及其他類似場所	劇場、電影院、演藝場、觀覽場、集會廳、集會場、及經營百貨店或是物品銷售業的店鋪、以及供應其他類似用途的建築物		160
	其他		80
升降機及其他建築設備的機械室			160
頂樓廣場或陽台			80
倉庫及保管其他物品的房間			2000

2.5.2 Route B 與 Route C 於煙產生量計算方式之差異分析

有關 Route B 煙層下降計算之基本原則，依據「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」第 2.20 節說明：其計算基本原則需依據空間基本形狀、可燃物發熱量、排煙方式等影響因素而計算其煙層下降時間。其主要認為火災產生之煙隨著浮力上升並蓄積於天花板下方，而居室上方之煙層與下方之空氣層將產生層化現象，當火災持續成長改變下方空氣層溫度，煙層亦隨之向下沉降，下降時間以降至足以危害人身安全之 1.8m 止。【1】

其煙霧之產生量依照下列公式算出：

$$V_s = 9[(\alpha_f + \alpha_m) A_{room}]^{1/3} [H_{low}^{5/3} + (H_{low} - H_{room} + 1.8)^{5/3}] \quad (5)$$

V_s 煙霧產生量(單位 m^3/min)

α_f 參照手冊 2.19.1 所規定之公式計算 α_f 數值。

$q_t \leq 170$ 時	$\alpha_f = 0.125$
$q_t > 170$ 時	$\alpha_f = 2.6 \times 10^{-6} q_t^{5/3}$
在這表中， q_t 代表該起居室的裝載可燃物每 $1m^2$ 的熱釋放率(單位： MJ/m^2)	

α_m 參照手冊表 2.10 所規定之裝修材質，選取 α_m 數值。

耐燃一級	0.0035
耐燃二級	0.014
耐燃三級	0.056
木材及其他類似的裝修材料	0.35

A_{room} 該居室的地板面積(單位： m^2)

H_{low} 從該居室地面最低位置算起之平均天花板高度(單位： m)

H_{room} 從該居室基準點算起之平均天花板高度(單位： m)

因此，由上述 Route B 之公式得知，其火災成長率乘以區劃面積計算發煙量之方式，應為假設火災初始即產生最大發煙量，其所計算之煙產生率與起火居室高度成正比，此定義與 NFPA 92B 3.2.2 節所描述之穩定火災模式看起來似乎相同(即穩定火災之定義為具有恆定熱釋率之火災。同樣地，預期火勢迅速成長至某一限制)；但 NFPA 92B 主要考量為燃料以上之高度距煙層下方之高度，與 Route B 之計算基準略有不同，且其另於 3.2.3 節不穩定火災中述及不穩定火災是因時間關係而變化之火災，T 平方線性通常假設為不穩定火災型態。因此，T 平方火災之模擬方式即可表示為火災成長之線性關係，所以國內為補正 Route B 該公式於小型空間之不適用性，特再研擬提出簡易二層法之計算方式，該法即以 T 平方火災成長模式為計算基礎，亦較能趨近實際火災之成長模式。

根據 NFPA 92B 3.8 節對於煙生成量速率計算提供三種模式，本次以穩定火災之軸對稱煙羽流型態為主要探討目標【6】：

1. 軸對稱煙羽流。
2. 回廊溢出煙羽流。
3. 窗孔煙羽流等三種型態。

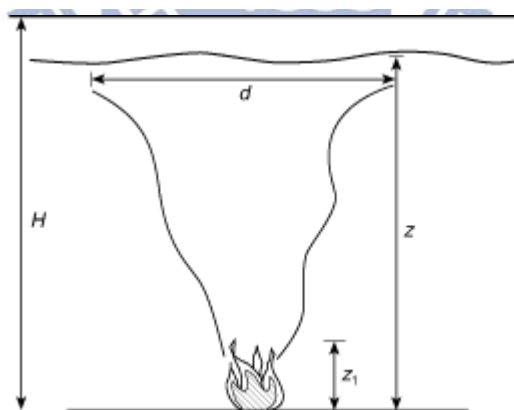


圖 2.3-2 軸對稱之煙羽流

由下列公式可預得於限制高度以上之發煙量流率， m ：

$$m = [0.022 Q_c^{1/3} z^{5/3}] + 0.0042 Q_c \quad (z > z_l) \quad (6)$$

m = 煙羽流於高度 z 時之流量(lb/sec)

z = 燃料以上之高度 (ft)

Q_c = 對流部分之熱釋率(Btu/sec)

由下列公式可預得於火焰尖端以下之發煙量流率， m ：

$$m = 0.0208 Q_c^{3/5} z \quad (z \leq z_f) \quad (7)$$

另為能以體積單位以實際量化而表示煙產生率 (ft³/min)。此公式可透過由煙密度所劃分之流量及速率容納推算：

$$V = 60 m / \rho \quad (8)$$

ρ = 煙之密度 (lb/ft³)

其中煙密度大約相等於空氣密度，空氣之密度於海平面 68°F 時為 0.075 lb/ft³，於另一溫度之空氣密度可由下列公式計算：

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{528}{460 + T} \quad (9)$$

$\rho_0 = 0.075$ (lb/ft³)

ρ = 於溫度 T 時煙之密度 (lb/ft³)

T = 煙之溫度 (°F)

上述公式為 NFPA 92B 3.8 節中預期火災起源於類似移除所有牆壁之天井區域樓板上，於此種情況下，空氣可從所有方向及沿著煙羽流之整個高度而被捲吸進入煙羽流，直至煙羽流變成淹沒於煙層中，並以煙密度實際計算煙之產生率，如此計算應更為科學化、合理化。因此，NFPA 92B 對煙產生量之計算方式端視煙層與火燄高度之間關係之差異而採適用之公式。

雖然，最後兩者煙產生率的單位皆為體積容量；但 NFPA 92B 為先計算出流量， m (lb/sec)，再考量煙密度(lb/ft³)與流量的關係，計算而得煙產生率的值， V (ft³/min)，且其引用熱釋率之對流部分(Q_c)單位為(Btu/sec)，經公式驗算後其體積單位確為無誤。

假設二者公式一致，因此，由 NFPA 92B 反推算 Route B 公式中 $[(\alpha_f + \alpha_m) A_{room}]^{1/3}$ 除以空氣密度後應與 $Q_c^{1/3}$ 的單位相同，但經如下換算 α_f 、 α_m 結果並無法得到相同的結果。

$$[(\alpha_f + \alpha_m) A_{room}(\text{m}^2)]^{1/3} \div \rho (\text{Kg/m}^3) = Q_c^{1/3} (\text{Kw/sec})$$

$$[(\alpha_f + \alpha_m) A_{room}(\text{m}^2)]^{1/3} = Q_c^{1/3} (\text{Kw/sec}) \times \rho (\text{Kg/m}^3)$$

$$(\alpha_f + \alpha_m)^{1/3} = [Q_c^{1/3} (\text{Kw/sec}) \times \rho (\text{Kg/m}^3)] \div [A_{\text{room}} (\text{m}^2)]^{1/3}$$

由上列算式得知，因須加乘空氣密度後，單位卻無法平衡，得到有效單位，如果不考量空氣密度所換算所得的單位似較合理，但原始公式中 V_s 已是單位時間的體積單位(m^3/min)，與流量確實需要密度單位換算，所以 Route B 的公式實在無法如同 NFPA 92B 般經由單位換算得到合理的單位，該算式是否合理並無法驗證。

因此，藉由輸入燃料特性中煙的生成量 soot_YIELD(kg/kg)數值，模擬出何數值能符合 Route B 所計算的煙層下降時間，亦可推論 Route B 的計算結果是否較為嚴苛。

2.5.3 Route B 與 Route C 之優缺點與限制條件

Route B 之優點為計算步驟明確，僅須依其所要求之設計條件帶入既定之公式，即可得出結果，一般以使用 Microsoft Office 之 Excel 軟體計算甚為便利。其缺點為須進行建築物內任一居室或樓層之避難安全性能驗證，甚至須進行整棟避難安全性能驗證，對於居室數量多之建築物，其計算變得繁瑣，配合每一居室重複著所有計算程序，而該計算皆須以人力輸入所有居室資料，所須花費之人力、精神及數量亦相當可觀。

Route B 之限制條件如「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」第 1.6 節所述及之：【1】

1. 建築物必須為防火構造建築物。
2. 不適用於無法自力完成避難行動人員之場所。
3. 該驗證法是在以下火災模式進行：
 - (1) 火災進行之假設限定發生於起火居室內，指起火到擴大延燒之初期火災。
 - (2) ²-fire growth model。
 - (3) Zone model。
4. 每一防煙區劃面積 $\leq 1500\text{m}^2$ 。
5. 天花板高度限制 $< 20\text{m}$ 。
6. 除排煙相關設施外，不考量其他滅火設備動作之影響。

除上述限制條件外，其他符合之建築物皆可以此驗證法進行其避難安全驗證，另面積小於 100m^2 之居室於應用手冊計算時，幾乎無

法達到避難時間要求，因此，Route B 亦不適用於小面積居室之驗證，而須另採 Route C 簡易二層法之計算模式。

Route C 之優點以本研究所採用之 FDS 為例，所有複雜之運算皆仰賴電腦執行，於電腦運算期間可從事其他作業而不浪費時間，因其結果以三維立體動態模式呈現，可清楚判斷過程之正確性，且一旦模型建立完成，如欲修改參數或增加感測元件等皆相當便利；而其缺點為其主要運算雖借助電腦執行，然而所須進行之代數運算仍須耗費相當時間(主要視模型格點密度大小及模擬時間之長短而定)，此缺點雖經改進後可於電腦所完成模擬之時間隨時檢閱，但欲完成較複雜模型之完整成果仍須待電腦完成所有運算，且如執行多種情境之設立案例，同樣須耗費相當長之時間以等待結果。

基本上 FDS 除較不適合用於模擬悶燒的環境，另外因一般送審時多採用固定火源方式，而不是採用延燒模式(如採延燒模式所有裝修材料參數皆需設定詳細，將使模擬環境變得相當複雜)，所以溫度計算值、熱幅射計算等較容易受質疑，也導致無法計算火勢擴大延燒及邊界環境若是設定不精確結果將會差很多。

除上述情況外，Route C 較無特定限制條件，應視所使用之軟體而定，就 FDS 而言，小至一單獨居室空間，最大甚至可模擬美國前世貿大樓受恐怖攻擊時之情境，其模擬成果與實際景氣幾近一致，由此可知，最重要為使用者是否能正確輸入符合實際環境之所有參數，否則無法得到趨近實際之成果，亦無法從其判斷其之安全性，因此，如欲用於實務之驗證，是否須如 Route B 般訂定之執行者的資歷規範，值得加以探討。

第三章 案例分析

3.1 案例分析概述

本研究所選定之案例為辦公室及百貨商場二種類型，其建築特性分別說明如下：

3.1.1 辦公場所

依據「建築技術規則」第三之四條第一項第一款規定高度達二十五層或九十公尺以上之高層建築物應檢具防火避難綜合檢討報告書及評定書，或建築物防火避難性能設計計畫書及評定書，經中央主管建築機關認可，因目前廠辦大樓皆以超高樓層之建築型態，仍須進行避難安全驗證，而依其建築型態較適合以 Route B 為性能設計法，所以特以辦公場所為驗證案例之一。

3.1.2 百貨商場

由於國人消費型態改變，使得近年來百貨公司如雨後春筍般的不斷成立，且有群聚現象，以信義計畫區為例，其周邊即有超過 10 家以上知名百貨商場，每逢假日或舉辦活動時，總是人潮洶湧，所以就場所特性而言具有一定之危險性。

以往於性能式法規尚未通過施行時，受限於建築技術規則之相關規定，使得無法就場所之使用特性作適當設計，例如第 93 條第 2 款到達直通樓梯之步行距離及第 98 條直通樓梯總寬度之規定，可能使商場內須設置數量可觀之樓梯，嚴重影響到百貨商場使用之完整性，此點由通過施行性能式法規後，由所提送申請免適用之條文即以上述條款為最大宗。

即因目前新建之百貨商場幾乎皆採性能式設計，而依其場所特性除挑空開放區域外，多以 Route B 驗證其安全性，早期於 93 年多起百貨商場即以 Route B 提送性能式設計之審查，因此，特以商場為驗證案例之一。

3.2 案例之驗證說明

3.2.1 空間模型設定說明

本研究主要在於驗證 Route B 及 Route C 於煙層下降時間計算上是否可為一致，所以先建立一共同模型空間，在同樣空間條件下分別

以二種驗證法計算並對照模擬結果，於空間模型的選擇上，以採 $20\text{m} \times 20\text{m} = 400\text{m}^2$ 的面積作為空間模型，再以 3m、4m 及 5m 的天花板高度分別進行模擬驗證，採用此模型為因目前依據「各類場所消防安全設備設置標準」規定的最小防煙區劃為 500m^2 ，以此面積規劃將成 $20\text{m} \times 25\text{m}^2$ 的長方形空間，為能使模擬空間較單純化，因此採用接近最小防煙區劃面積的正方形面積。

3.2.2 火載量設定說明

本研究的場所特性包括辦公場所及百貨商場，二種場所依據手冊表 2.3.3 規定為 $560\text{MJ}/\text{m}^2$ 及 $960\text{MJ}/\text{m}^2$ ，而 Route C 之驗證條件則以參照手冊第 2.2.3 節 t^2 火災曲線圖，採快速及極快速起火模式進行模擬。

3.2.3 排煙狀態設定說明

為能區分顯示該模型空間煙層下降狀態，以採無設機械排煙進行對照驗證。

3.2.4 FDS 煙生成量設定說明

為能區分顯示該模型空間煙層下降狀態，以採無設機械排煙條件對照驗證，先以聚苯乙烯 POLYSTYRENE 作為燃燒物質，依據 FDS Database 中 $\text{SOOT_YIELD} = 0.164$ 為煙生成量的設定值，檢視模擬結果後，再視結果是否調整煙生成量的設定值，以符合 Route B 的計算結果，並得據以比較 FDS 設定值與 Route B 的對應關係。

表 3.2-1 辦公場所條件設定對照表

模擬案例	空間	火載量	FDS 煙生成量	排煙
Route B	400m^2	$560\text{MJ}/\text{m}^2$	-	無
Route C	400m^2	2MW	$0.164\text{kg}/\text{kg}$	無

表 3.2-2 百貨商場條件設定對照表

模擬案例	空間	火載量	FDS 煙生成量	排煙
Route B	400m^2	$960\text{MJ}/\text{m}^2$	-	無
Route C	400m^2	2MW	$0.164\text{kg}/\text{kg}$	無

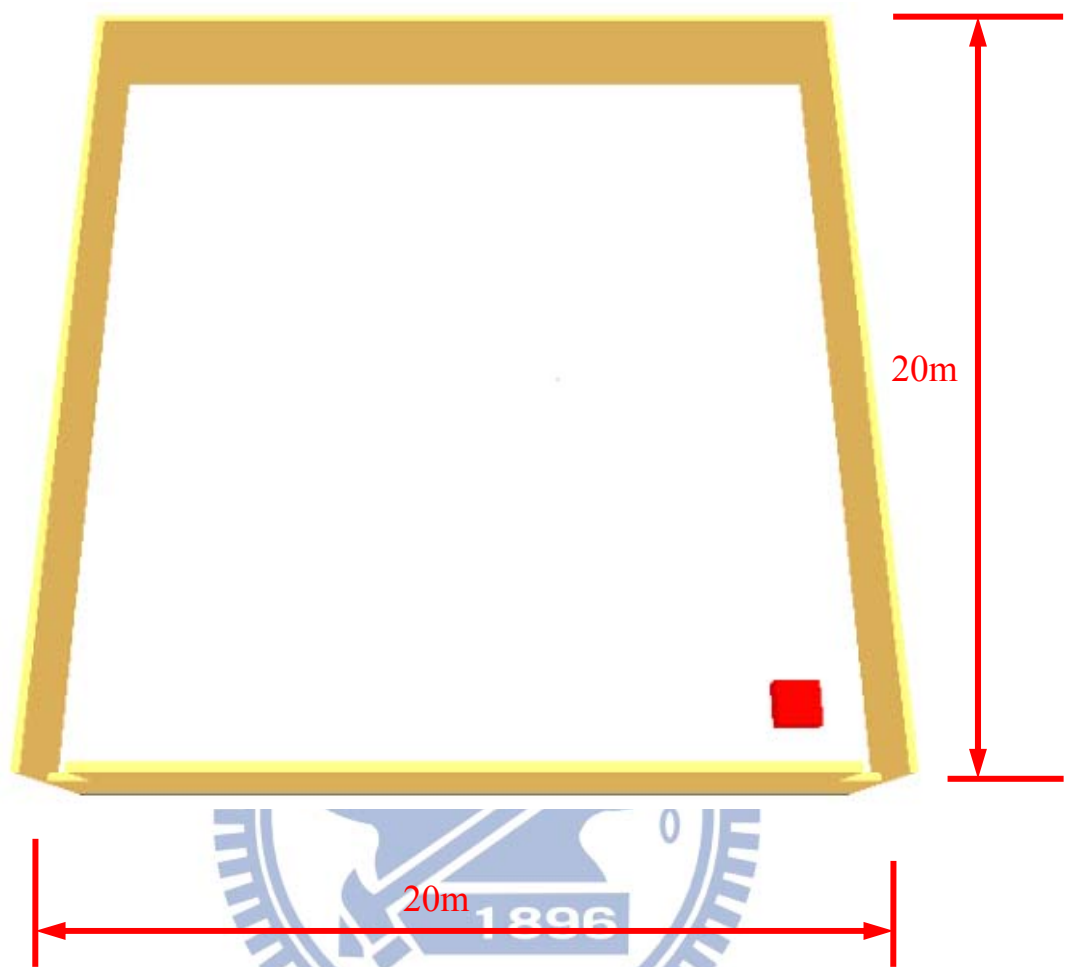


圖 3.2-1 空間模型平面圖

3.3 案例（一）辦公場所

3.3.1 辦公場所 Route B 之計算結果

根據 3.2 節說明之設定條件，計算無機械排煙狀態，天花板於 3m、4m 及 5m 高度下，所得計算煙層下降時間結果如下：

表 3.3.1-1 辦公場所天花板高度 3m 無機械排煙煙層下降時間

項次		單位	辦公場所	備註
居室面積	A_{room}	(m^2)	400	
基準點起算之平均天花板高度	H_{room}	(m)	3.0	
可燃物發熱量	q_l	(MJ/m^2)	560	
堆積可燃物火災成長率	α_f		0.09892	$2.6 \times 10^{-6} q_l^{5/3}$
裝修材料火災成長率	α_m		0.0035	耐燃一級
煙的產生量	V_s	(m^3/min)	276.247	
有效排煙量	V_e	(m^3/min)	0	
火災室煙層下降時間	T_{s1}	(min)	1.73758	

表 3.3.1-2 辦公場所天花板高度 4m 無機械排煙煙層下降時間

項次		單位	辦公場所	備註
居室面積	A_{room}	(m^2)	400	
基準點起算之平均天花板高度	H_{room}	(m)	4.0	
可燃物發熱量	q_l	(MJ/m^2)	560	
堆積可燃物火災成長率	α_f		0.09892	$2.6 \times 10^{-6} q_l^{5/3}$
裝修材料火災成長率	α_m		0.0035	耐燃一級
煙的產生量	V_s	(m^3/min)	395.35898	
有效排煙量	V_e	(m^3/min)	0	
火災室煙層下降時間	T_{s1}	(min)	2.22583	

表 3.3.1-3 辦公場所天花板高度 5m 無機械排煙煙層下降時間

項次		單位	辦公場所	備註
居室面積	A_{room}	(m^2)	400	
基準點起算之平均天花板高度	H_{room}	(m)	5.0	
可燃物發熱量	q_l	(MJ/m^2)	560	
堆積可燃物火災成長率	α_f		0.09892	$2.6 \times 10^{-6} q_l^{5/3}$
裝修材料火災成長率	α_m		0.0035	耐燃一級
煙的產生量	V_s	(m^3/min)	536.23882	
有效排煙量	V_e	(m^3/min)	0	
火災室煙層下降時間	T_{s1}	(min)	2.387	

由以上計算結果，彙整煙層下降時間如下表所示：

表 3.3.1-4 辦公場所無機械排煙煙層下降時間與天花板高度對照表

項次	天花板高度 (M)	煙層下降時間	
		(min)	(sec)
1	3	1.73758	104
2	4	2.22583	134
3	5	2.378	143

3.3.2 辦公場所 Route C 之模擬結果

1. 參數設計條件

各種參數設定條件說明如下：

(1) 火災成長趨勢參照手冊第 2.2.3 節說明，如下圖所示：

以公式 $Q = \alpha (t - t_0)^2$ 計算

α 值參考表 2.3.2 快速火災成長模式取 0.04689，換算各階段火災成長趨勢：

$$Q_1 = 0.04689(10-0)^2 = 4.489\text{kw}$$

$$Q_2 = 0.04689(50-0)^2 = 117.225\text{kw}$$

$$Q_3 = 0.04689(100-0)^2 = 486.0\text{kw}$$

$$Q_4=0.04689(150-0)^2=1055.025\text{kw}$$

$$Q_5=0.04689(200-0)^2=1875.6\text{kw}$$

$$Q_6=0.04689(207-0)^2=2009.18961\text{kw}$$

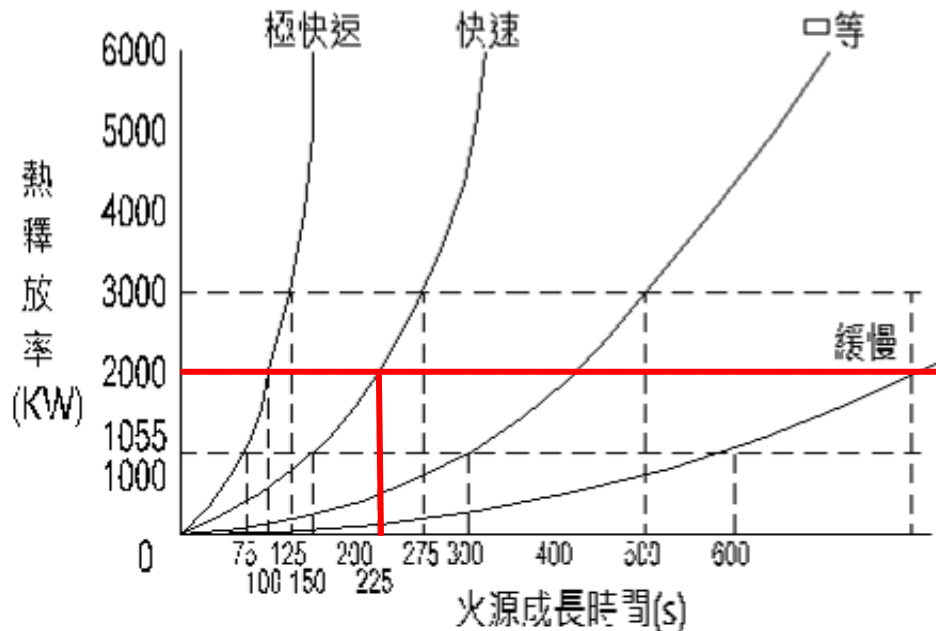


圖 3.3.2-1 辦公場所火災成長趨勢圖

資料來源:手冊圖 2-1

因此，本案例 Route C 模擬時間，參考表 3.3.1-4 中 Route B 所計算最長煙層下降時間(143sec)，而選擇如圖 3.3.2-1 快速曲線中熱釋放率成長至 2MW 所須的 225sec 作為模擬時間，所以取 **2000 kW/ m²** 為最大熱釋放率輸入參數。

- (2) 消防安全設備以不考量主動式滅火設備啟動之條件，僅設定以類似局限型偵煙探測器以偵測能見度。
- (3) 火源位置分設於二種情境，情境(一)以參照手冊 第 2.17 節說明假設起火點位於居室出口寬度最大處附近發生火災，而本次所建立的模型有二處等寬出入口，因此情境一火源位置將放置於左側出入口附近；而情境(二)起火點則設於出入口對面中央位置，距離二主要出入口等遠位置，以比較二種情境煙層下降時間之差異性。(如圖 3.2.2-1 及 3.2.2-2 所示)
- (4) 火災成長模式於本案例所設計之熱釋放率規模，如本文第 2.3 節所述，並無法取得與 Route B 相同的換算規則，因此以採手

冊第 2.2.3 節所述 t^2 火災成長曲線中的快速火災成長規模進行模擬。

- (5) 格點分析為辦公空間尺寸及格點設定本次模擬之辦公場所尺寸為 $20\text{m} \times 20\text{m} \times 6\text{m}$ ，為期配合 FDS 的軟體特性，於同一格點的 x 、 y 、 z 方向的尺寸均設定為相等，亦即每個格點的長寬高比 (aspect ratio) 均為 1；所以本研究在格點設定方面皆採用長、寬、高均為 0.2m 的格點尺寸進行計算，以確立其準確度。因此選取格點體為 $0.2\text{m} \times 0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ ，總格點數量為 $100 \times 100 \times 30 = 300,000$ 個格點，總模擬時間係依據三種不同之天花板高度而經 Route B 所計算出之最長煙層下降時間，統一以 225sec 為模擬時間。

表 3.3.2-1 辦公場所 FDS 模擬參數表

設定條件	設定值	說明
火源位置	辦公場所(一)之門口處及中下方靠外牆二處	一處為靠近主要出口對避難逃生有重大影響，另一處為一般火災模式，如圖 3.2.2-1~2
起始溫度	25°C	考慮起火前空調作用下之常態溫度。
火災規模	2.0MW	依手冊第 2.2.3 節公式(2.1)快速火災模式計算各階段火災成長規模
火災成長曲線	以 t-squared 快速燃燒模式	依手冊第 2.2.3 節圖 2-1 t-squared 火災成長曲線進行設計。
火源燃燒種類	&REAC ID = 'POLYSTYRENE' SOOT_YIELD = 0.164 CO_YIELD = 0.06 C = 8. H = 8. HEAT_OF_COMBUSTION = 10400. IDEAL = .TRUE. /	依據 FDS 4.0 版資料庫 (database)，主要以煙產生量 SOOT_YIELD = 0.164 為主要對照結果
格點大小	$0.2\text{m} \times 0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$	選取 x 、 y 、 z 皆為 0.2m 的格點大小。
自然補氣口	由外牆二出入口作為補氣來源	考慮火災發生時現場實際開口換氣條件
模擬時間	225 秒	依據三種不同天花板高度而經 Route B 所計算出之煙層下降時間再對照火災成長至 2MW 之時間，以時間較長者計
撒水系統	假設無撒水的狀況	本案假設撒水失靈狀況下，進行較為保守之模擬驗證。
排煙設備	無機械排煙	配合 Route B 無設置排煙量

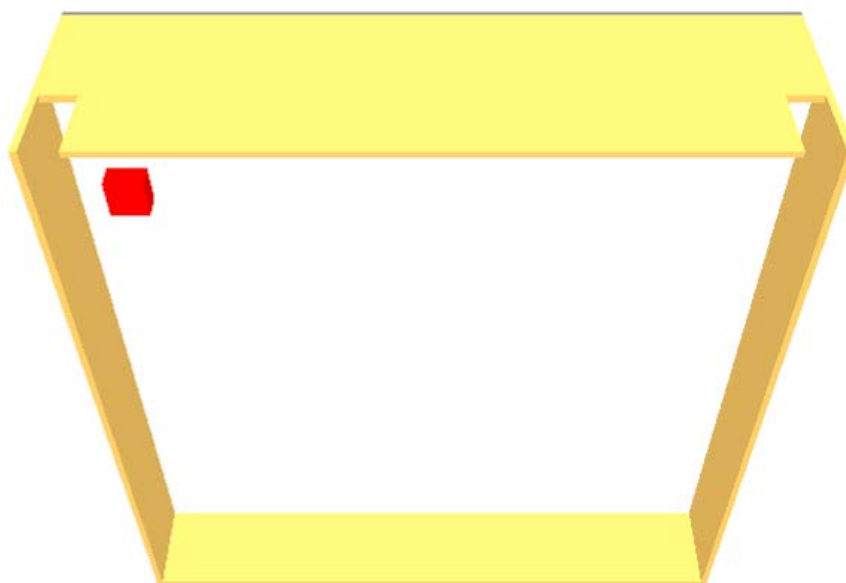


圖 3.3.2-2 辦公場所火源位置(一)

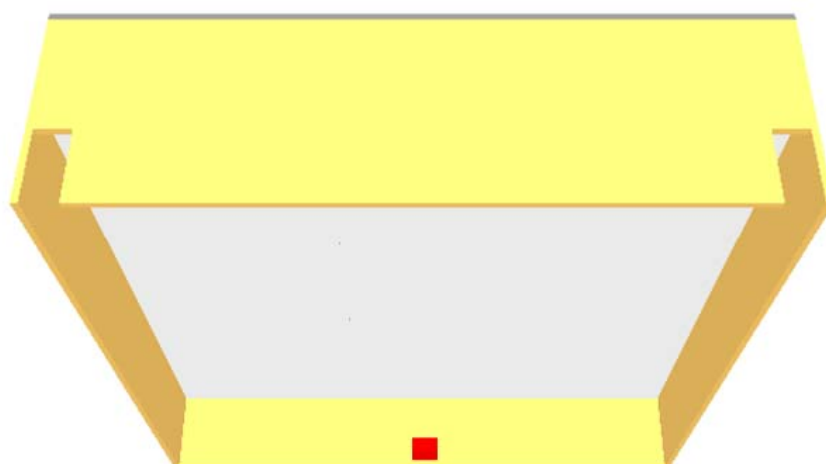


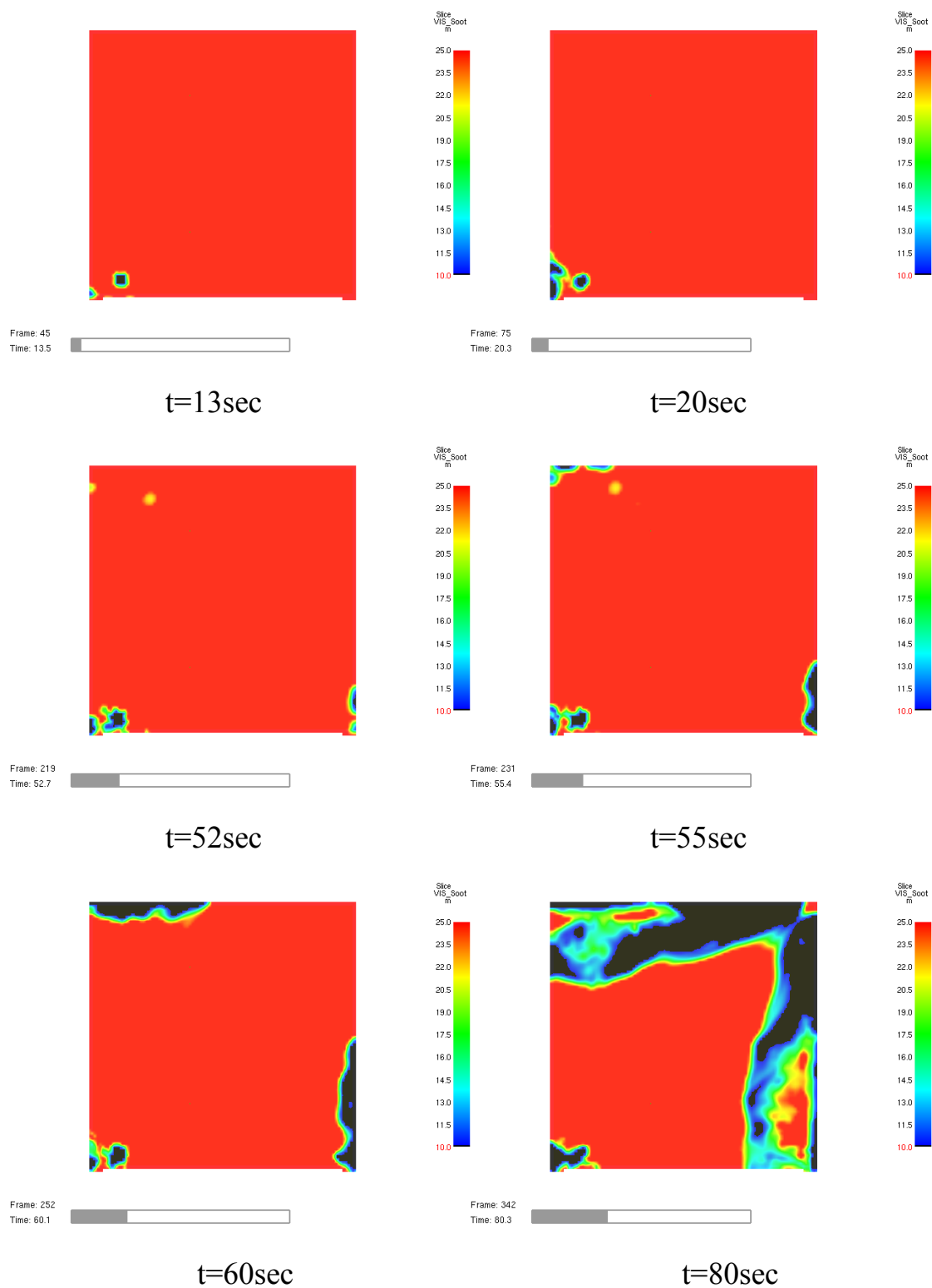
圖 3.3.2-3 辦公場所火源位置(二)

2. 安全界定標準

人員生命安全標準意即逃生人員在安全狀態下，有足夠時間可以安全的逃離出火災現場，原本應就火災逃生時煙毒、火場溫度、一氧化碳濃度等，對避難人員造成逃生障礙或是影響避難人員生理狀態之危害因子納入考量，但因 Route B 僅計算煙層下降至 1.8m 的時間與避難時間作比較，並未考量在此段時間內危害因子，因此本研究亦不納入上述危害因子作為模擬參數。

3. 辦公場所情境(一)之模擬結果

(1) 依據辦公場所情境(一)比對 Route B 計算天花板高度於 3m 時，煙層下降至 1.8m 之時間，其總模擬時間 225sec，結果如下：



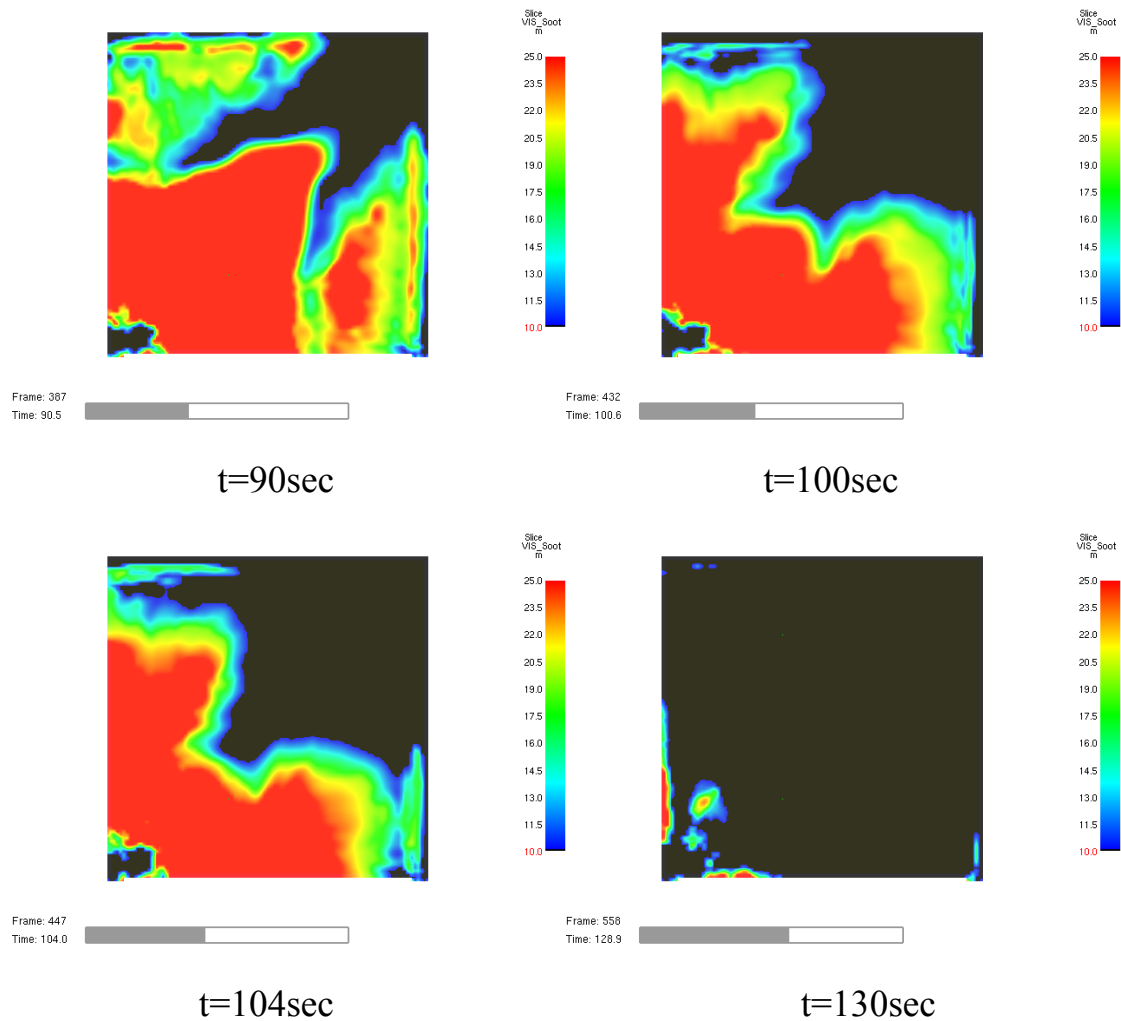
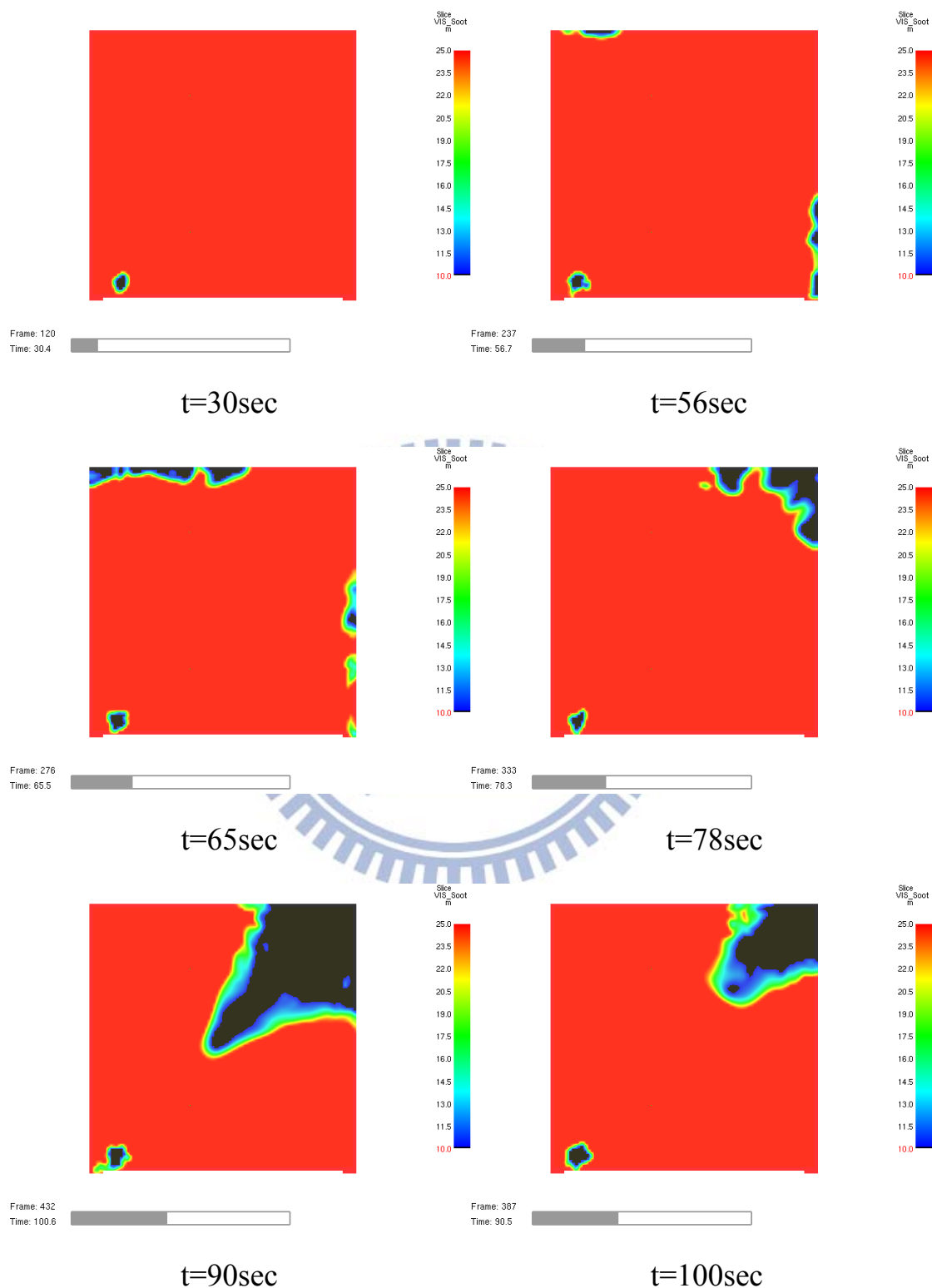


圖 3.3.2-4 辦公場所情境(一)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

由以上模擬結果初步判斷，起火後約 20 秒時，起火點附近 1.8 公尺高度的能見度即出現低於 10m，55 秒時居室左上方亦煙層蓄積而出現低於 10m 的狀態，直至 80 秒時煙層已由上方及右側蓄積向起火點靠近，最後 130 秒時全區能見度皆已低於 10m，該結果與 Route B 所計算的 104 秒煙層下降至 1.8m 的結果差異很大。

(2) 依據辦公場所情境(一)比對 Route B 計算天花板高度於 4m 時，
煙層下降至 1.8m 之時間，其總模擬時間 225 秒，結果如下：



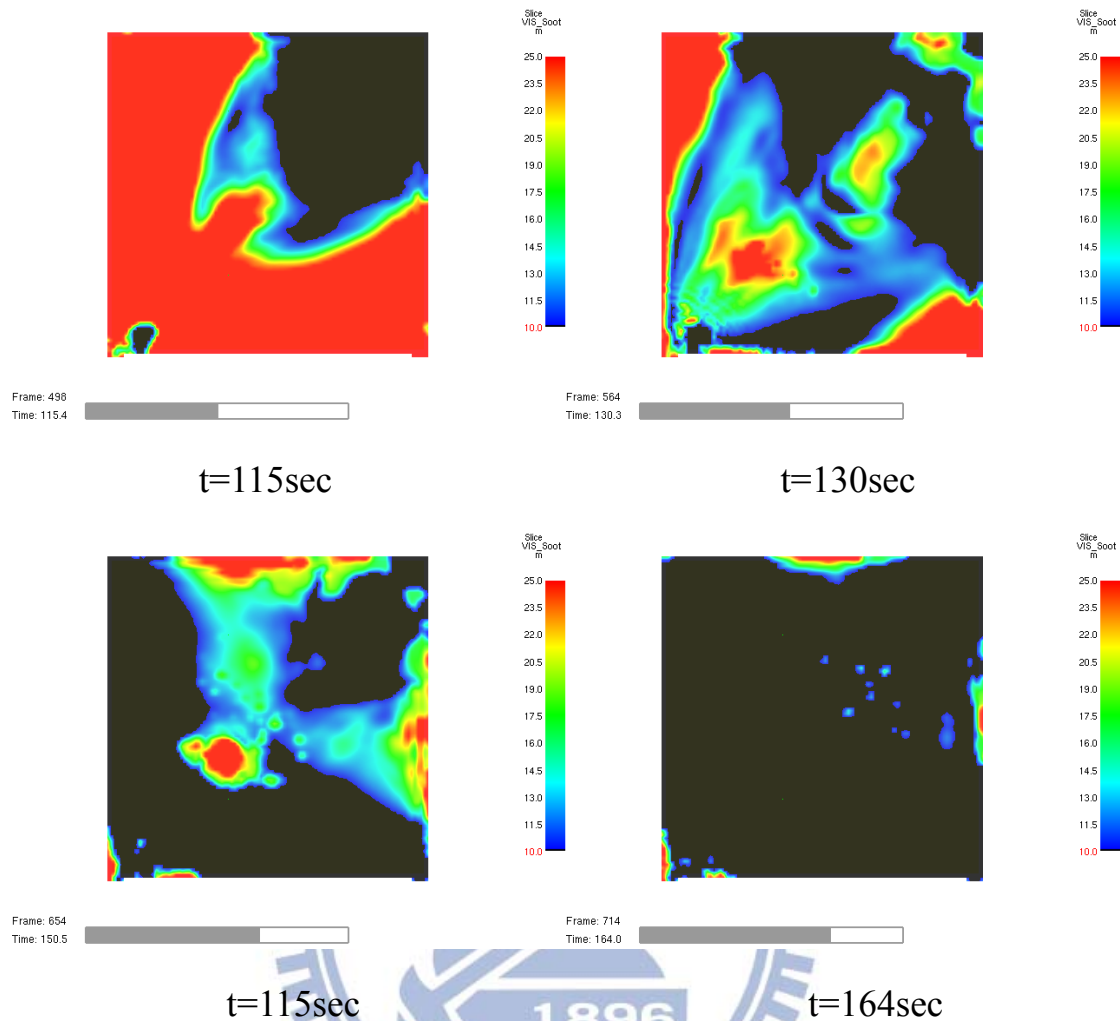
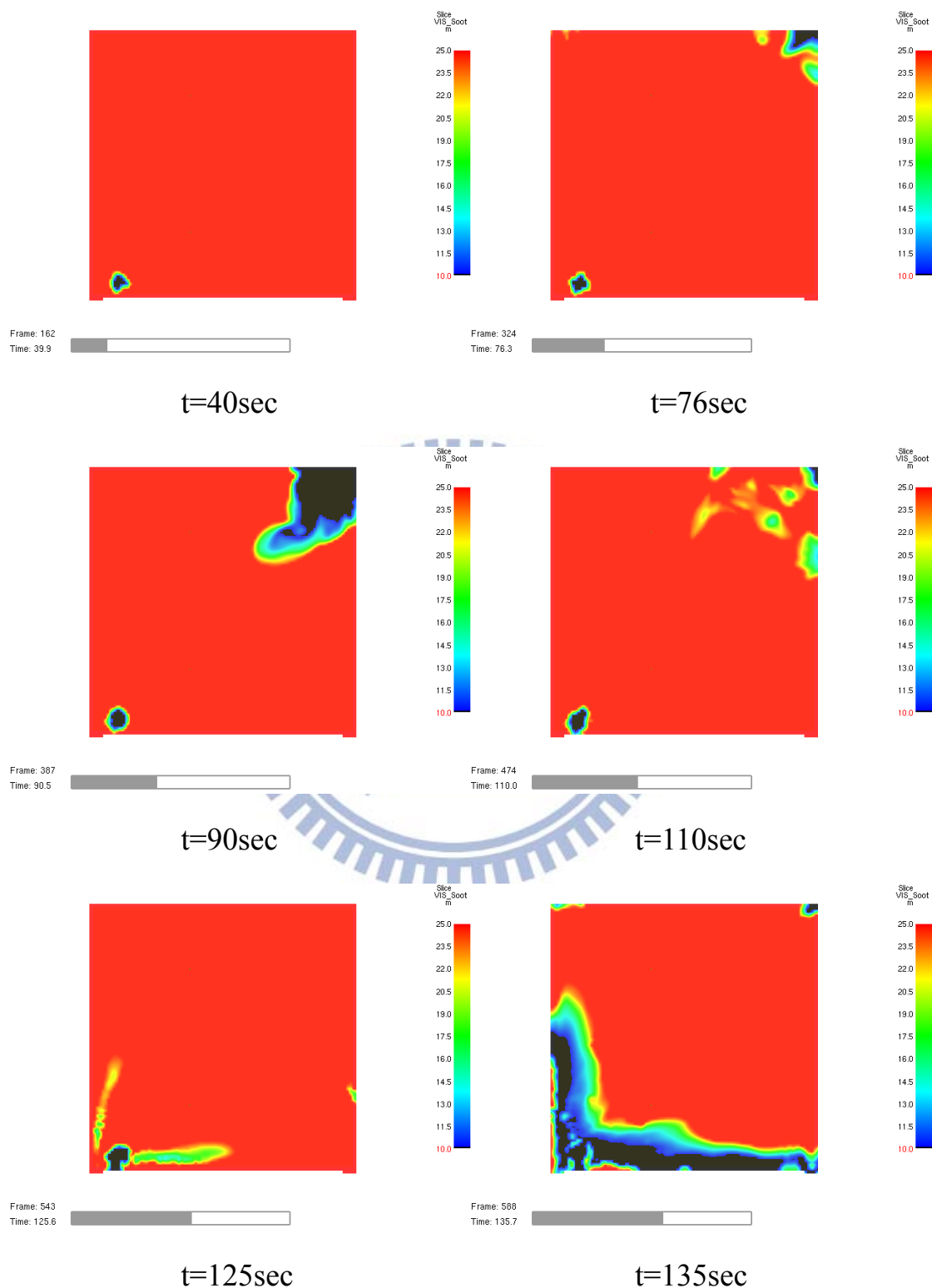


圖 3.3.2-5 辦公場所情境(一)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

由情境(一)天花板高度 4m 的模擬結果來看，起火後約 56 秒時，居室上方及右側 1.8 公尺高度的能見度即出現煙層出現低於 10m 的狀態，於 78 秒時煙層蓄積於右上角，能見度亦已低於 10m，直 90 秒時煙層已由上方及右側蓄積向起火點逐漸靠近，最後 164 秒時全區能見度皆已低於 10m，該結果與 Route B 所計算的 134 秒煙層下降至 1.8m 的結果差異很大。

(3) 依據辦公場所情境(一)比對 Route B 計算天花板高度於 5m 時，
煙層下降至 1.8m 之時間，其總模擬時間仍為 225 秒，結果如下：



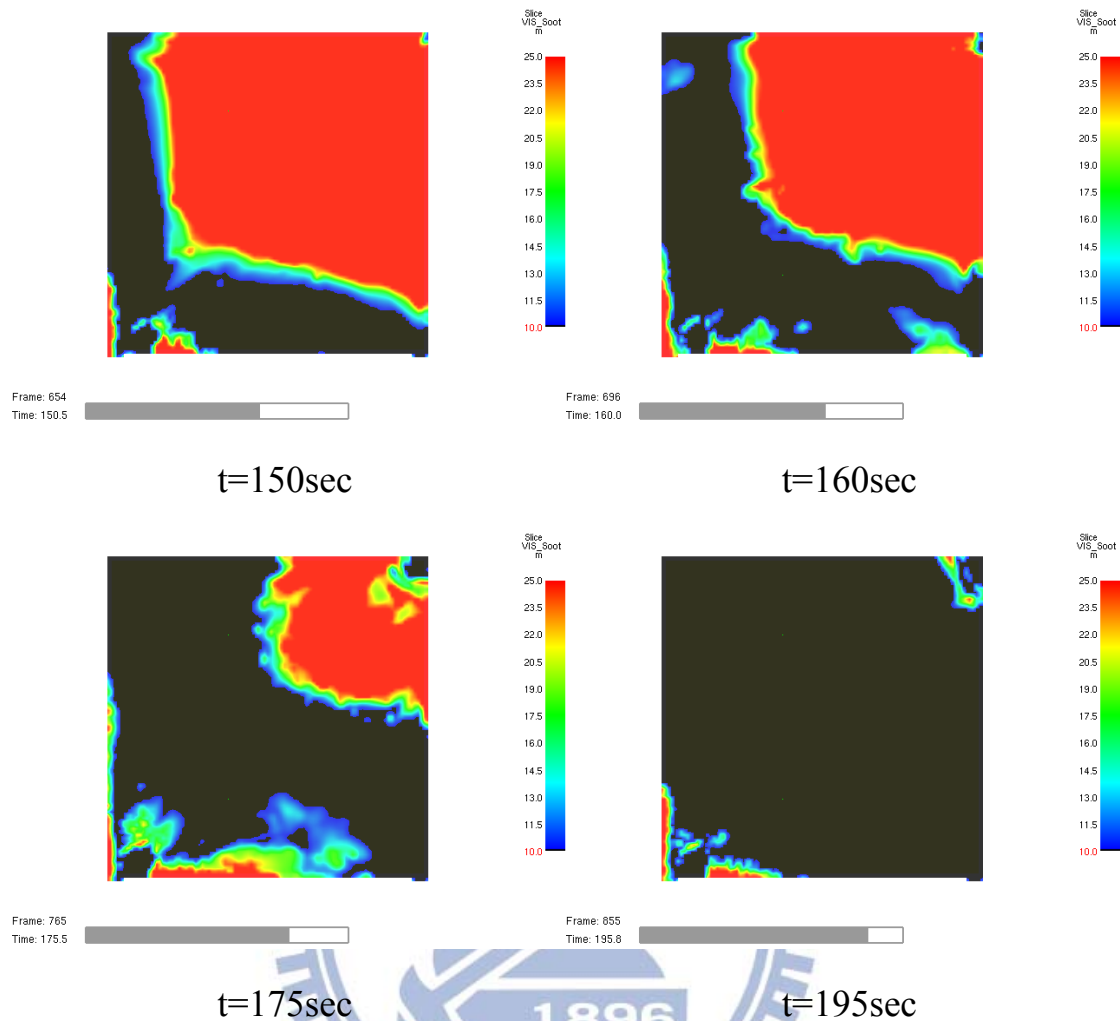
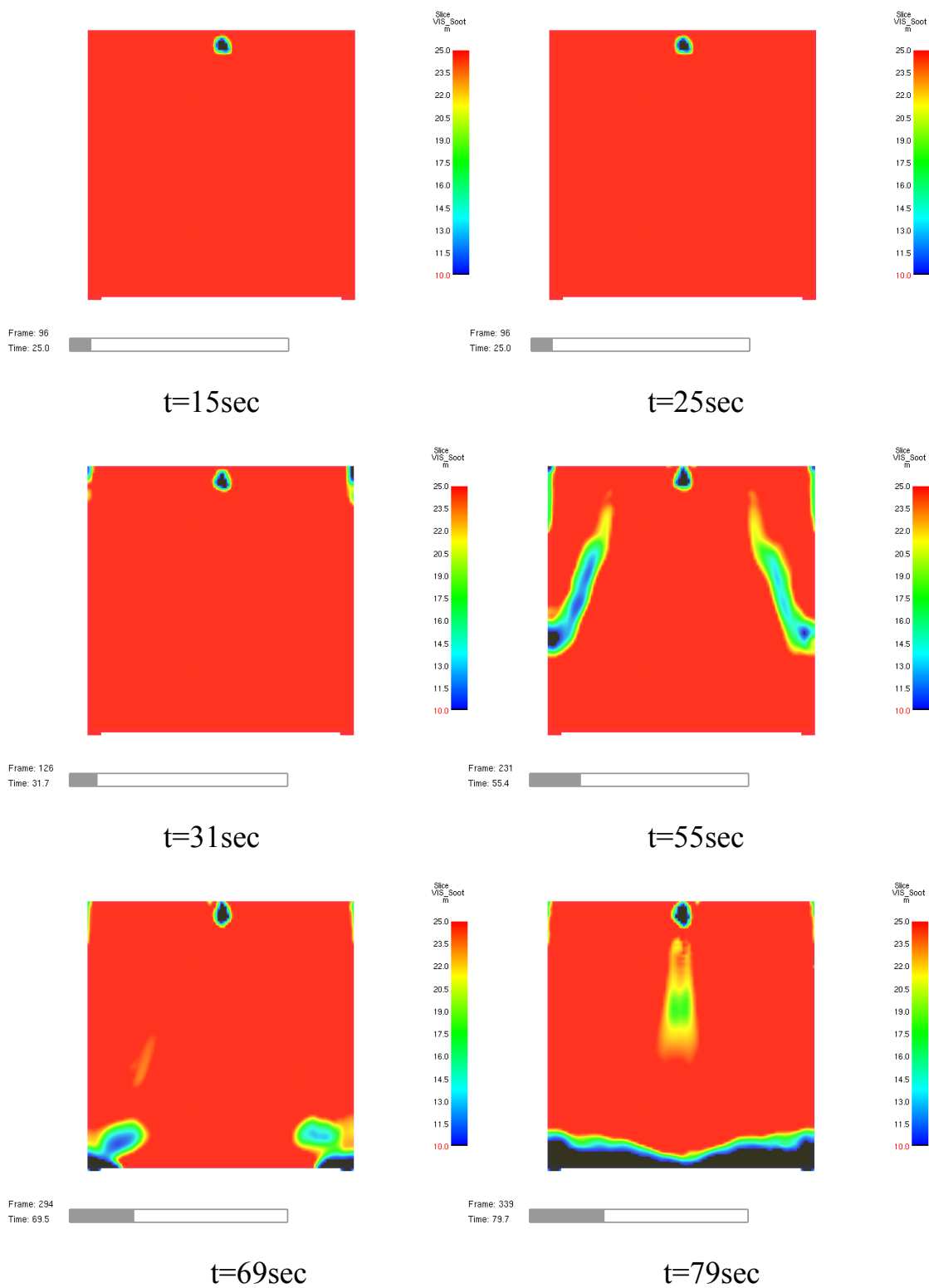


圖 3.3.2-6 辦公場所情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

最後觀察模擬情境(一)天花板高度 5m 的結果，起火後約 76 秒時，居室右上方 1.8 公尺高度的能見度出現煙層出現低於 10m 的狀態，於 90 秒時煙層蓄積於右上角，能見度亦已低於 10m 且向中央區漫延，可是於 110 秒時因為煙層擴散的緣故，全區暫時恢復較佳的能見度，直到 125 秒時煙層已擴散回至起火點，再由起火點方向沿斜對角方向擴散，約 160 秒時半區的能見度皆低於 10m，，最後 195 秒時全區能見度皆已低於 10m，該結果與 Route B 所計算的 143 秒煙層下降至 1.8m 的結果仍然差異很大。

4. 辦公場所情境(二)之模擬結果

(1) 情境(二)將火源移至下方中央距離二出入口等距之位置，同樣先模擬天花板高度 3m 時，煙層下降至 1.8m 的時間，其總模擬同樣為時間 225 秒，結果如下：



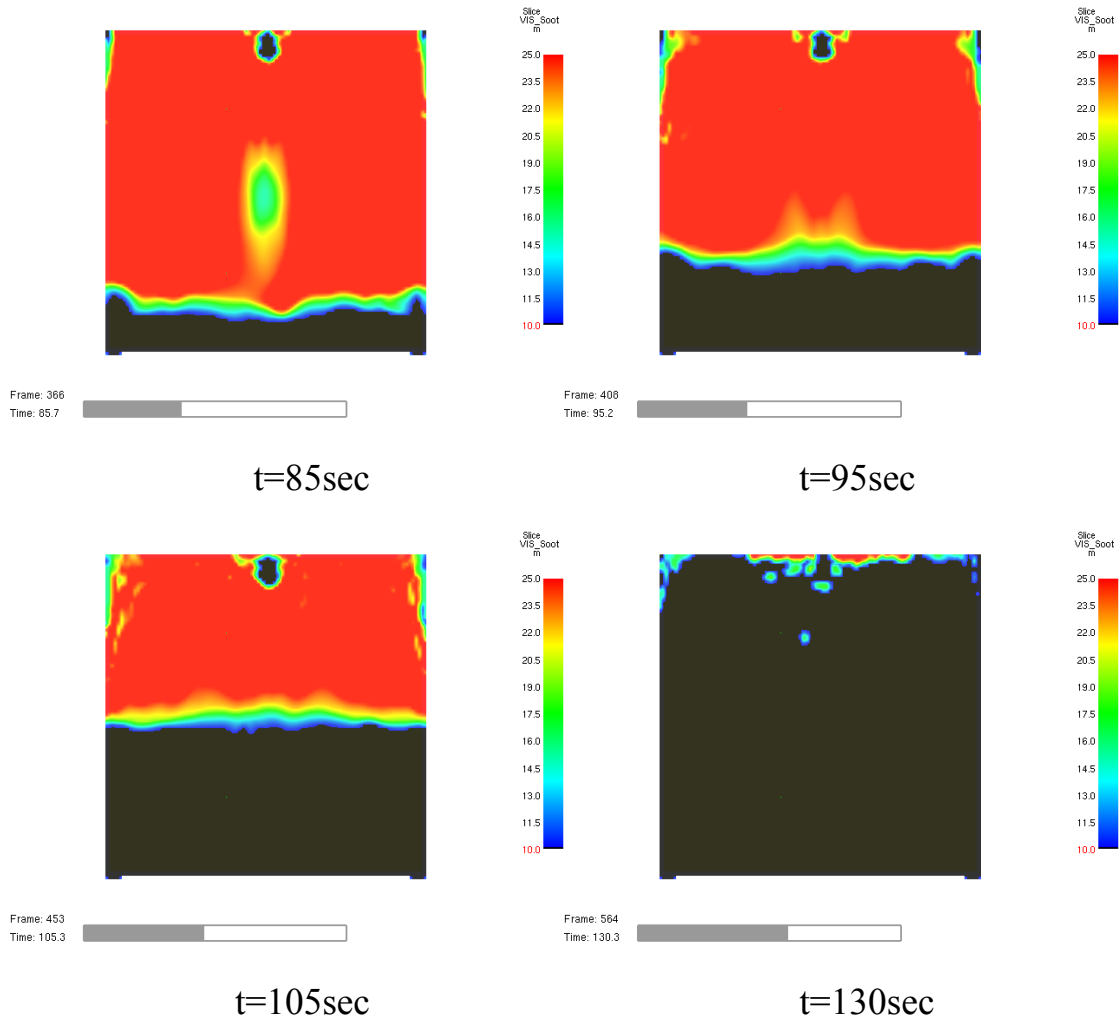
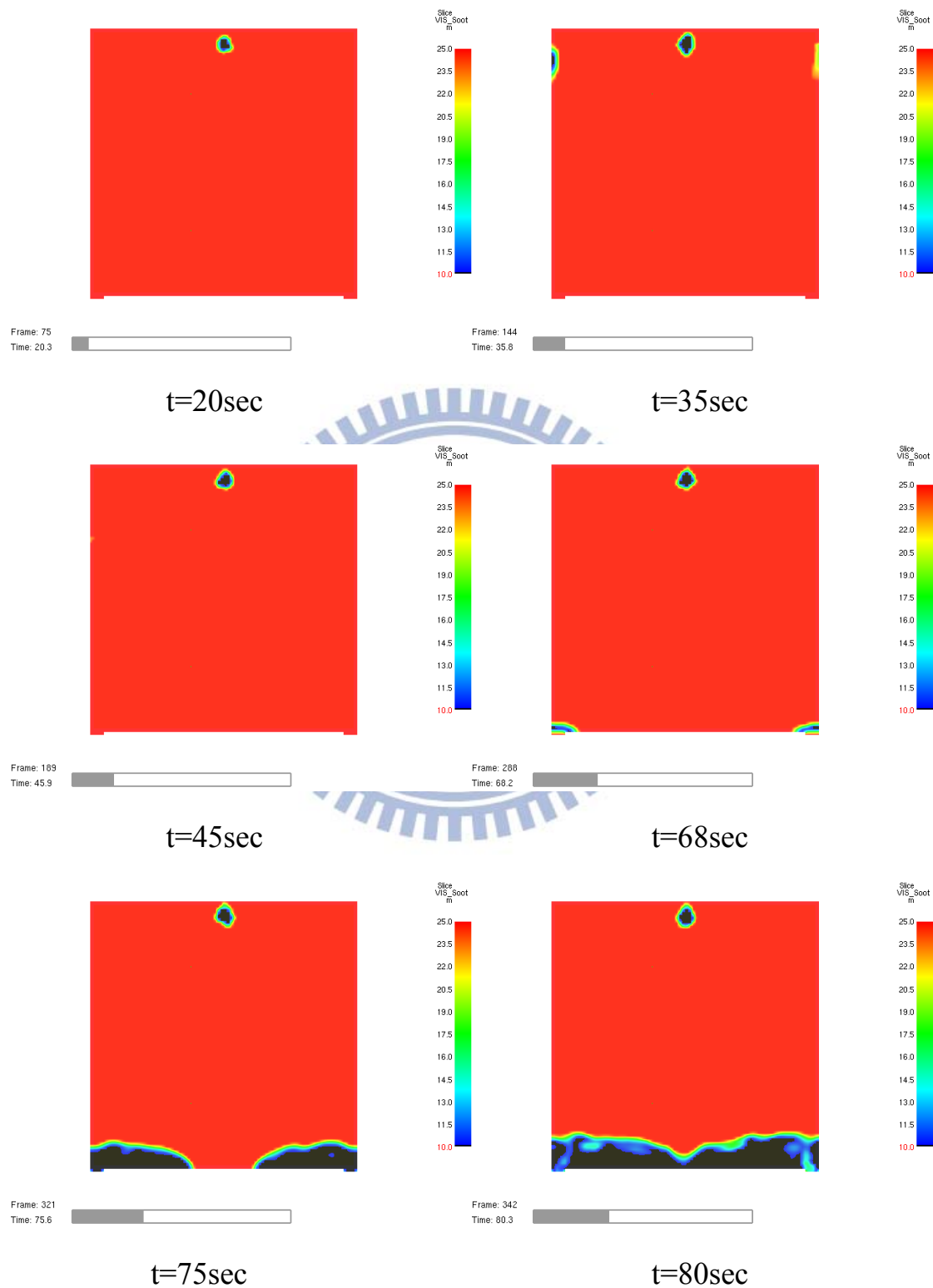


圖 3.2.2-7 辦公場所情境(二)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

由情境(二)-1 模擬天花板高度 3m 的結果判斷，起火後約 31 秒時，起火點左右二側 1.8m 高度的能見度出現低於 10m 的狀態，55 秒時已擴散煙層至居室中段位置，69 秒時煙層已由流動至下方外牆處，79 秒煙層蓄積下降至 1.8m，105 秒時一半居室能見度皆已低於 10m，最後 130 秒時全區能見度皆低於 10m。

該結果因起火位置不同，導致煙層流動的方向也不同，甚至煙層下降時間較於情境(一)-1 快，但結果與 Route B 所計算的 104 秒煙層下降至 1.8m 的結果差異還是很大。

(2) 同上之火源位置而依據情境(一)-2 之相同條件，模擬天花板 4m 時，比對 Route B 計算煙層下降至 1.8m 之時間，其總模擬時間 225sec，結果如下：



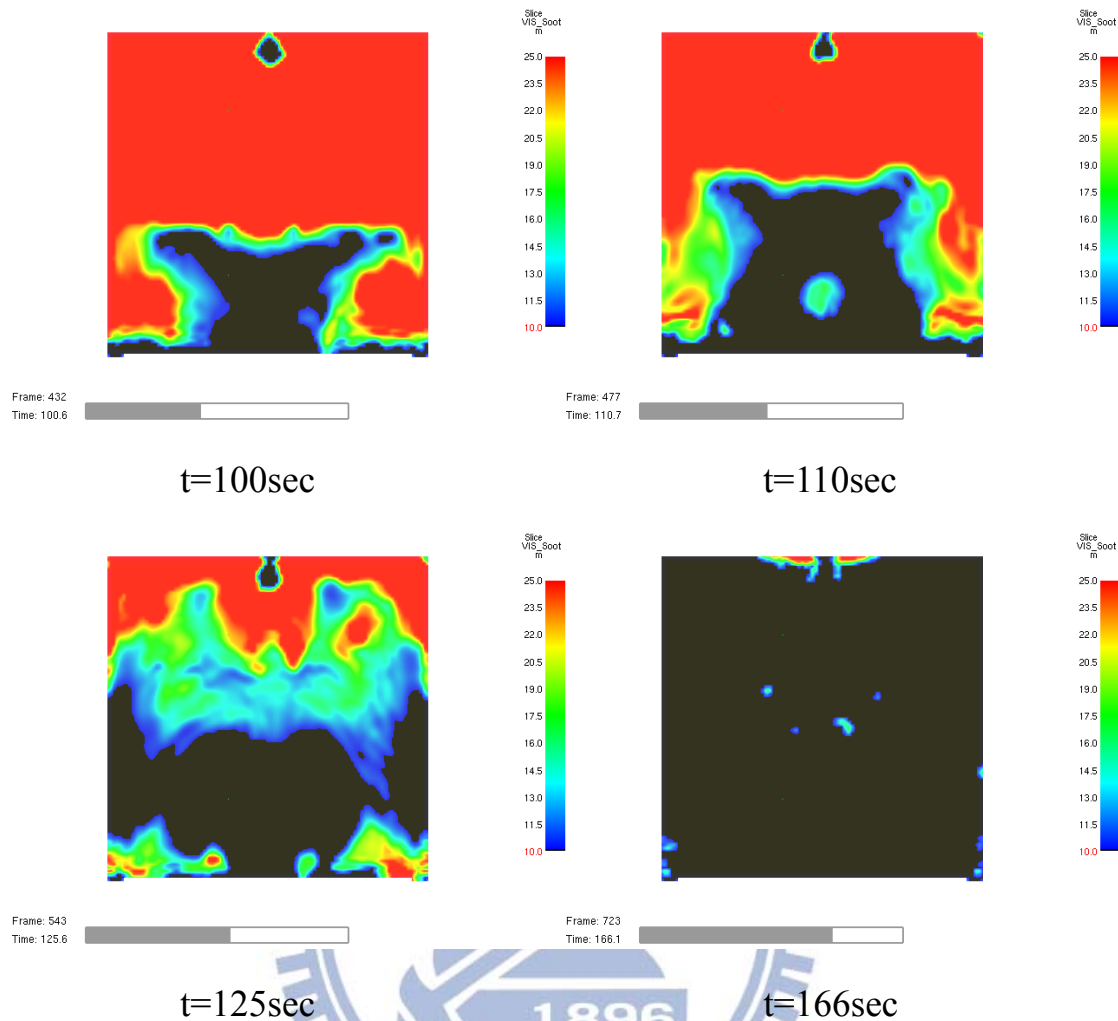
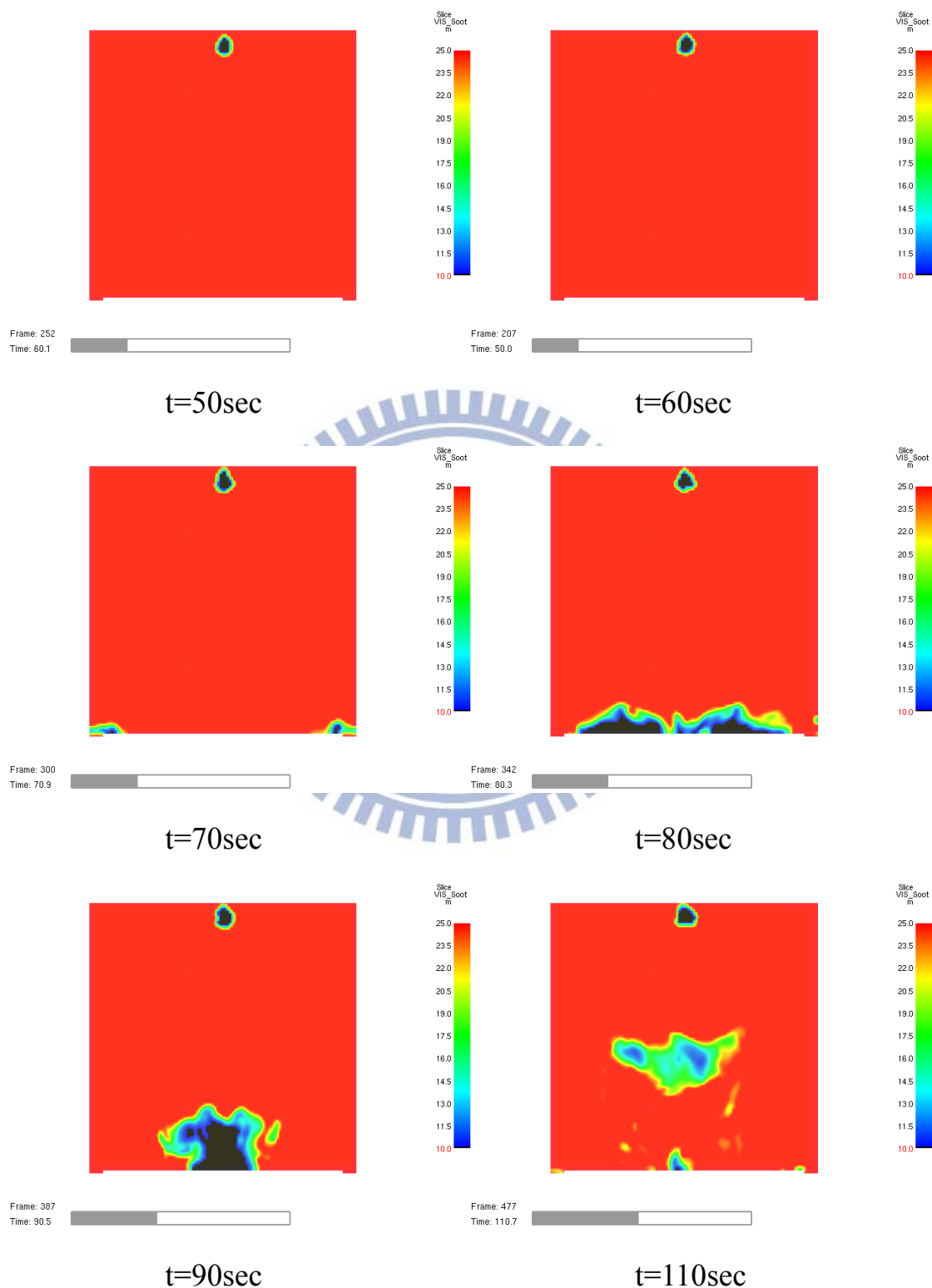


圖 3.3.2-8 辦公場所情境(二)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

由情境(二)-2 模擬天花板高度 4m 的結果判斷，起火後約 35 秒，起火點左側 1.8 公尺高度的能見度先出現低於 10m 的狀態，45 秒時由於煙層擴散效果，全區能見度恢復 25m 以上，68 秒時因煙層已擴散至居室下方位置並開始蓄積，此時能見度再出現低於 10m 的狀態，煙層於 80 秒時在出入口處蓄積下降至 1.8 公尺，110 秒時一半居室能見度皆已低於 10m，最後 166 秒時全區能見度皆低於 10m。

上述結果雖與情境(一)-2 略有不同，但整體煙層下降時間差異不大，因此該結果與 Route B 所計算的 134 秒煙層下降至 1.8m 的結果不符。

(3) 同上之火源位置而依據情境(一)-3 之相同條件，模擬天花板 5m 時，比對 Route B 計算煙層下降至 1.8 公尺之時間，其總模擬時間 225sec，結果如下：



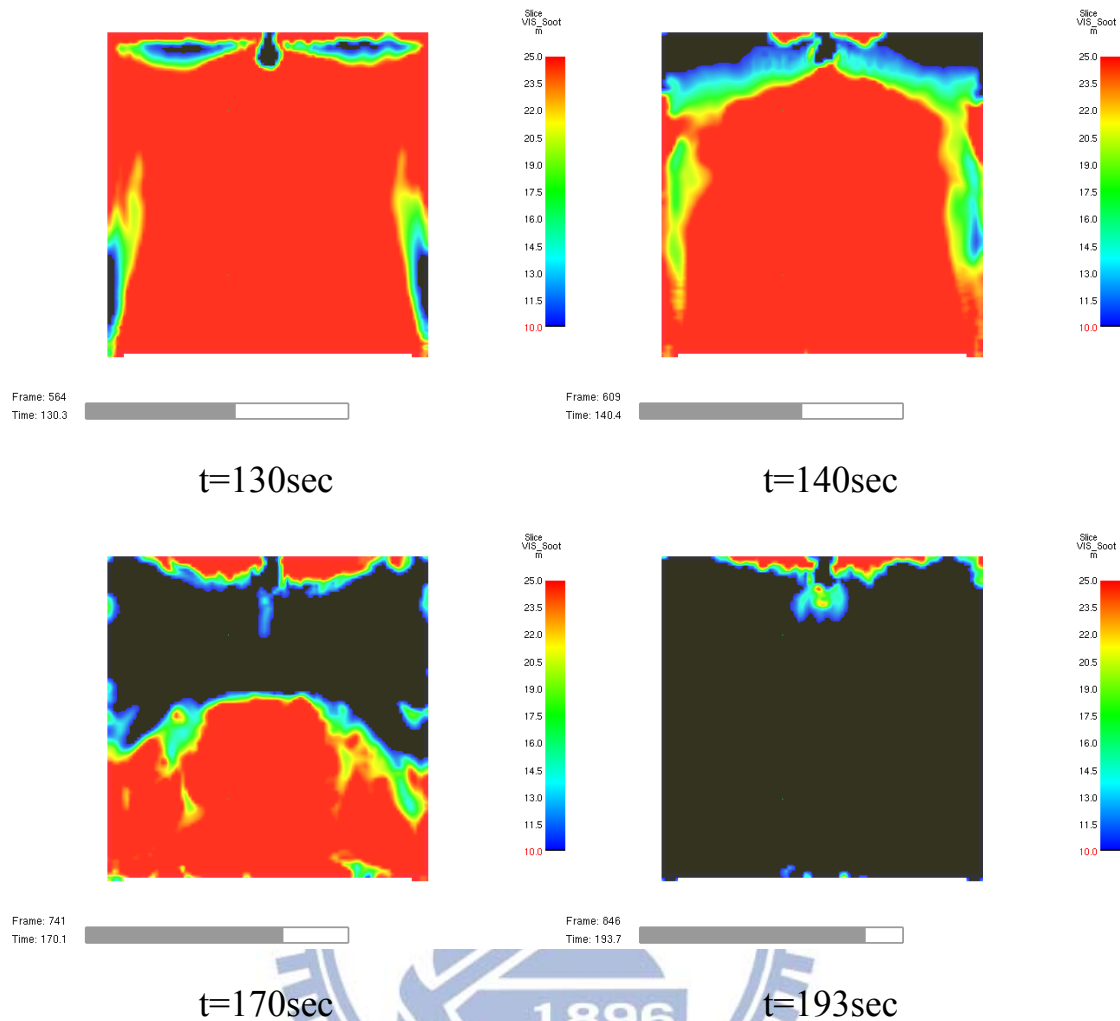


圖 3.3.2-9 辦公場所情境(二)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

由情境(二)-3 模擬天花板高度 5m 的結果判斷，起火後約由於天花板高度加高，增加蓄煙空間，60 秒時全區仍保有能見度 25m 以上，而時間到達 70 秒時居室下方開始出現 1.8 公尺高度的能見度低於 10m 的狀態，110 秒時由於煙層擴散效果，全區能見度恢復至 13m 以上，130 秒時因煙層已擴散至居室下方位置並開始蓄積，此時能見度再出現低於 10m 以下，煙層於 140 秒時在起火點二側蓄積下降至 1.8m，170 秒時一半居室能見度皆已低於 10m，最後 193 秒全區能見度皆低於 10m。

上述結果與 Route B 所計算 143 秒煙層下降至 1.8m 的結果仍然不符。

3.4 案例(二)百貨商場

根據 3.2 節說明之設定條件，計算無機械排煙狀態，天花板於 3m、4m 及 5m 高度下，所得計算百貨商場煙層下降時間結果如下：

3.4.1 百貨商場 Route B 計算結果

表 3.4.1-1 百貨商場天花板高度 3m 無機械排煙煙層下降時間

項次		單位	百貨商場	備註
居室面積	A_{room}	(m ²)	400	
基準點起算之平均天花板高度	H_{room}	(m)	3.0	
可燃物發熱量	q_l	(MJ/m ²)	960	
堆積可燃物火災成長率	α_f		0.2429	$2.6 \times 10^{-6} q_l^{5/3}$
裝修材料火災成長率	α_m		0.0035	耐燃一級
煙的產生量	V_s	(m ³ /min)	370.15437	
有效排煙量	V_e	(m ³ /min)	0	
火災室煙層下降時間	T_{s1}	(min)	1.29676	

表 3.4.1-2 百貨商場天花板高度 4m 無機械排煙煙層下降時間

項次		單位	百貨商場	備註
居室面積	A_{room}	(m ²)	400	
基準點起算之平均天花板高度	H_{room}	(m)	4.0	
可燃物發熱量	q_l	(MJ/m ²)	960	
堆積可燃物火災成長率	α_f		0.2429	$2.6 \times 10^{-6} q_l^{5/3}$
裝修材料火災成長率	α_m		0.0035	耐燃一級
煙的產生量	V_s	(m ³ /min)	529.75726	
有效排煙量	V_e	(m ³ /min)	0	
火災室煙層下降時間	T_{s1}	(min)	1.66114	

表 3.4.1-3 百貨商場天花板高度 5m 無機械排煙煙層下降時間

項次		單位	百貨商場	備註
居室面積	A_{room}	(m^2)	400	
基準點起算之平均天花板高度	H_{room}	(m)	5.0	
可燃物發熱量	q_l	(MJ/m^2)	960	
堆積可燃物火災成長率	α_f		0.2429	$2.6 \times 10^{-6} q_l^{5/3}$
裝修材料火災成長率	α_m		0.0035	耐燃一級
煙的產生量	V_s	(m^3/min)	718.52777	
有效排煙量	V_e	(m^3/min)	0	
火災室煙層下降時間	T_{s1}	(min)	1.78142	

由以上計算結果，彙整煙層下降時間如下表所示：

表 3.4.1-4 百貨商場無機械排煙煙層下降時間與天花板高度對照表

項次	天花板高度 (M)	煙層下降時間	
		(min)	(Sec)
1	3m	1.29676	78
2	4m	1.66114	100
3	5m	1.78142	107

3.4.2 百貨商場 Route C 之模擬結果

1. 參數設計條件

本案例 Route C 模擬，將依 Route B 的計算為依據，同樣以無設機械排煙為模擬狀態，各種參數設定條件說明如下：

(1) 火災成長趨勢參照手冊第 2.2.3 節說明，如下圖所示：

以公式 $Q = \alpha (t - t_0)^2$ 計算

α 值參考表 2.3.2 極快速火災成長模式取 0.1876，換算各階段火災成長趨勢：

$$Q_1 = 0.1876(10-0)^2 = 18.76 \text{kw}$$

$$Q_2=0.1876(50-0)^2=469\text{kw}$$

$$Q_3=0.1876(75-0)^2=1055.25\text{kw}$$

$$Q_4=0.1876(105-0)^2=2068.29\text{kw}$$

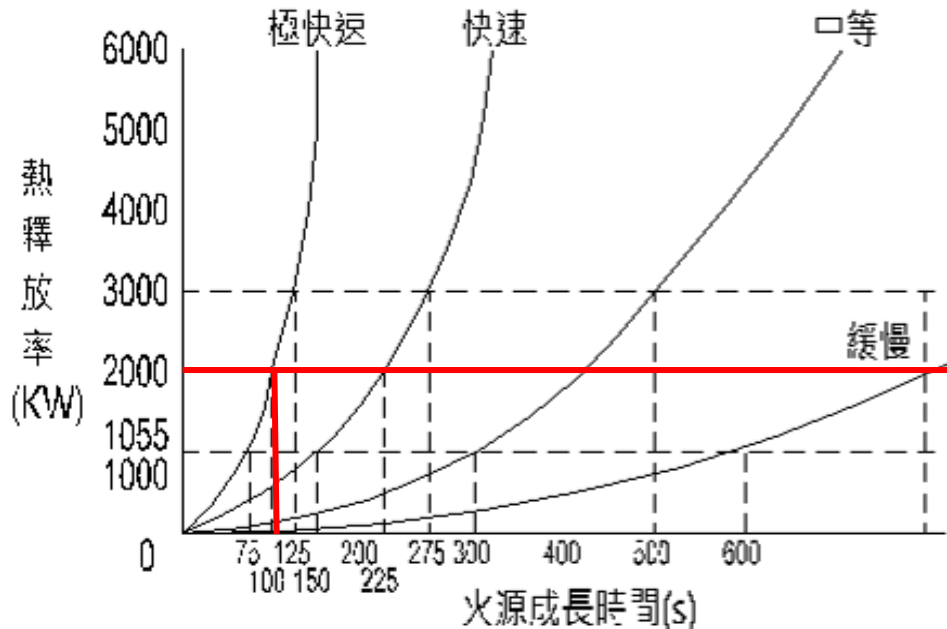


圖 3.4.2-1 百貨商場火災成長趨勢圖

資料來源:手冊圖 2-1

因此，本案例 Route C 模擬時間，參考表 3.4.1-4 中 Route B 所計算最長煙層下降時間(107sec)，而選擇如圖 3.4.2-1 極快速曲線中熱釋放率成長至 2MW 所須的 150sec 作為模擬時間，所以取 **2000 kW/m²** 為最大熱釋放率輸入參數。

- (2) 消防安全設備同樣以不考量主動式滅火設備啟動之條件，設定以類似局限型偵煙探測器以偵測能見度。
- (3) 火源位置相同於辦公場所，分設於二種情境，情境(一)以參照手冊 第 2.17 節說明假設起火點位於居室出口寬度最大處附近發生火災，而本次所建立的模型有二處等寬出入口，因此情境一火源位置將放置於左側出入口附近；而情境(二)起火點則設於出入口對面中央位置，距離二主要出入口等遠位置，以比較二種情境煙層下降時間之差異性。(如圖 3.4.2-1 及 3.4.2-2 所示)
- (4) 火災成長模式於本案例所設計之熱釋放率規模，如本文第 2.3 節所述，並無法取得與 Route B 相同的換算規則，因此以採手

冊第 2.2.3 節所述 t^2 火災成長曲線中的極快速火災成長規模進行模擬評估。

- (5) 百貨商場空間尺寸及格點設定與本次所模擬之辦法場所尺寸同為 $20\text{m} \times 20\text{m} \times 6.0\text{m}$ ，僅採單一防火區劃為模擬區域，因此，仍選取格點體為 $0.2\text{m} \times 0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ ，總格點數量為 $100 \times 100 \times 30 = 300,000$ 個格點，總模擬時間係依據三種不同之天花板高度而經 Route B 所計算出之最長煙層下降時間，設為 150sec 等。

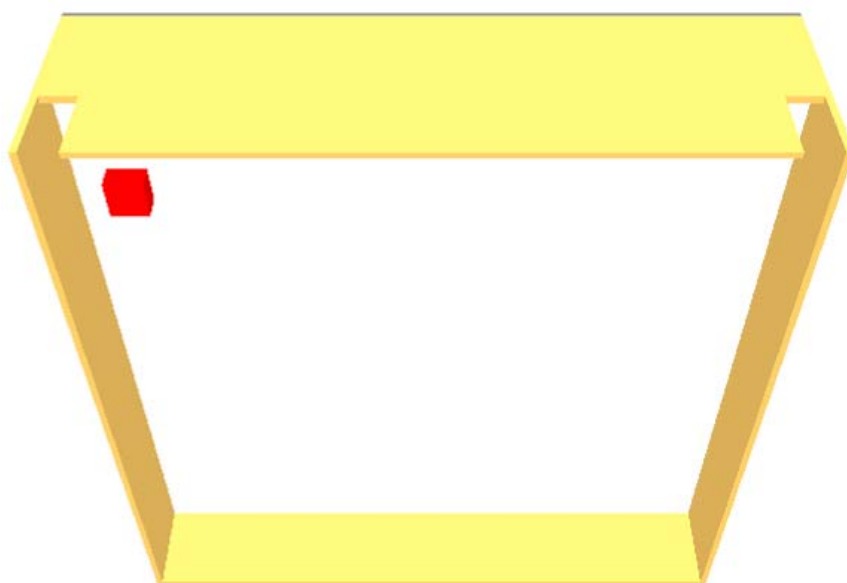


圖 3.4.2-1 百貨商場火源位置(一)

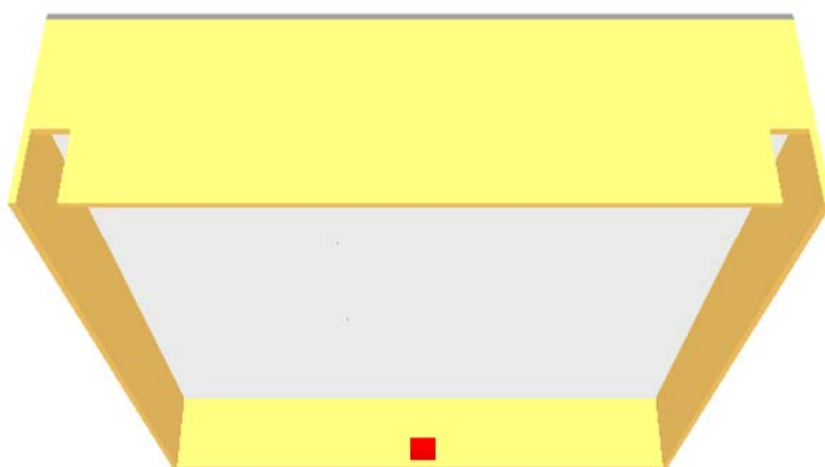


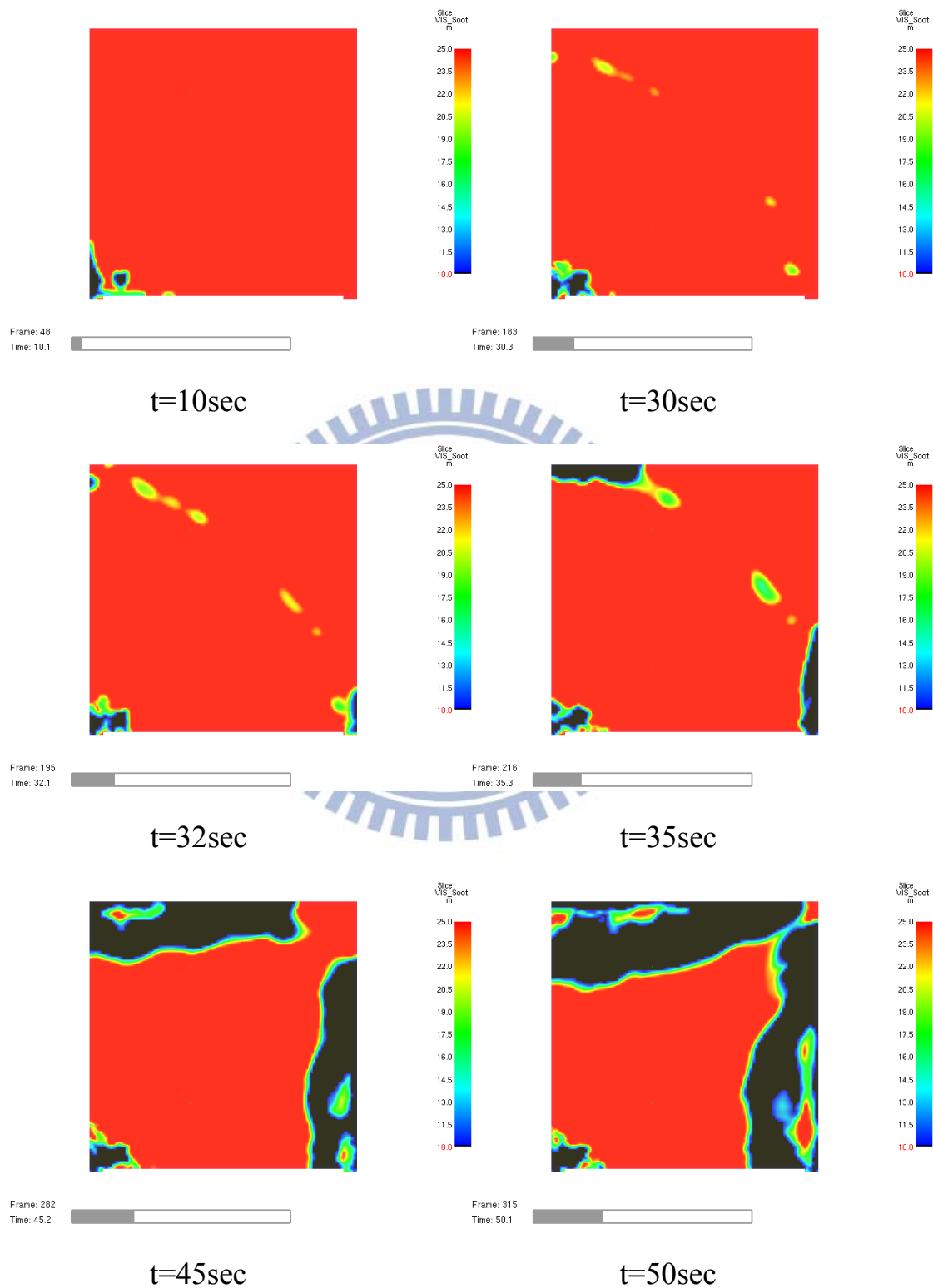
圖 3.4.2-2 百貨商場火源位置(二)

表 3.4.2-1 百貨商場 FDS 模擬參數表

設定條件	設定值	說明
火源位置	辦公場所(一)之門口處及中下方靠外牆二處	一處為靠近主要出口對避難逃生有重大影響，另一處為一般火災模式，如圖 3.2.2-1~2
起始溫度	25°C	考慮起火前空調作用下之常態溫度。
火災規模	2.0MW	依手冊第 2.2.3 節公式(2.1)極快速火災模式計算各階段火災成長規模
火災成長曲線	以 t-squared 快速燃燒模式	依手冊第 2.2.3 節圖 2-1 t-squared 火災成長曲線進行設計。
火源燃燒種類	&REAC ID = 'POLYSTYRENE' SOOT_YIELD = 0.164 CO_YIELD=0.06 C = 8, H = 8. HEAT_OF_COMBUSTION = 10400. IDEAL = .TRUE. /	依據 FDS 4.0 版資料庫 (database)，主要以煙產生量 SOOT_YIELD = 0.164 為主要對照結果
格點大小	0.2m x 0.2m x 0.2 m	選取 x、y、z 皆為 0.2m 的格點大小。
自然補氣口	由牆面開門處等作為補氣來源	考慮火災發生時現場實際開口換氣條件
模擬時間	150 秒	依據三種不同天花板高度而經 Route B 所計算出之煙層下降時間再對照火災成長至 2MW 之時間，以時間較長者計
撒水系統	假設無撒水的狀況	本案假設撒水失靈狀況下，進行較為保守之模擬驗證。
排煙設備	無機械排煙	無機械排煙

3. 百貨商場情境(一)之模擬結果

(1) 依據百貨商場情境(一)比對 Route B 計算天花板高度於 3m 時，煙層下降至 1.8m 之時間，其總模擬時間 150sec，結果如下：



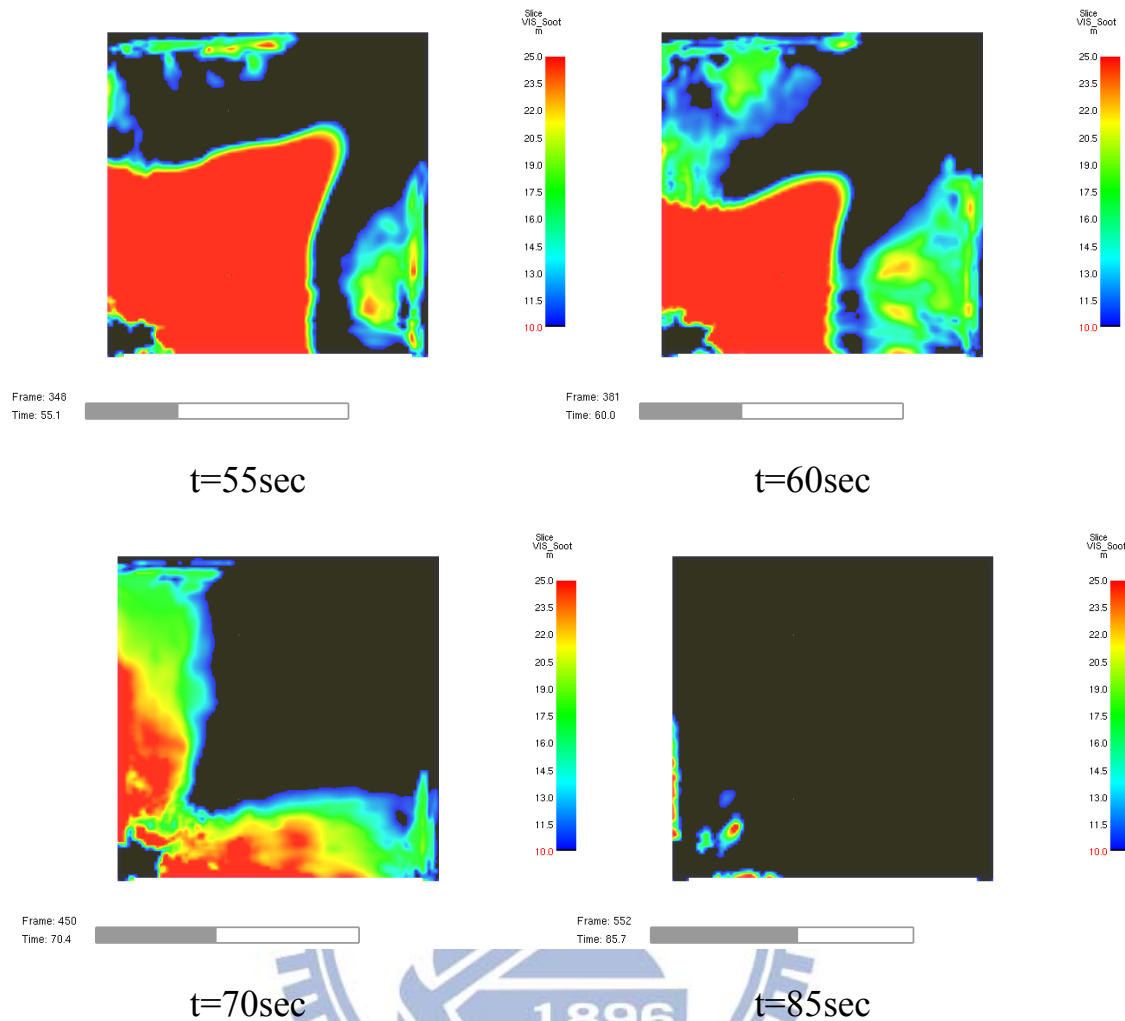
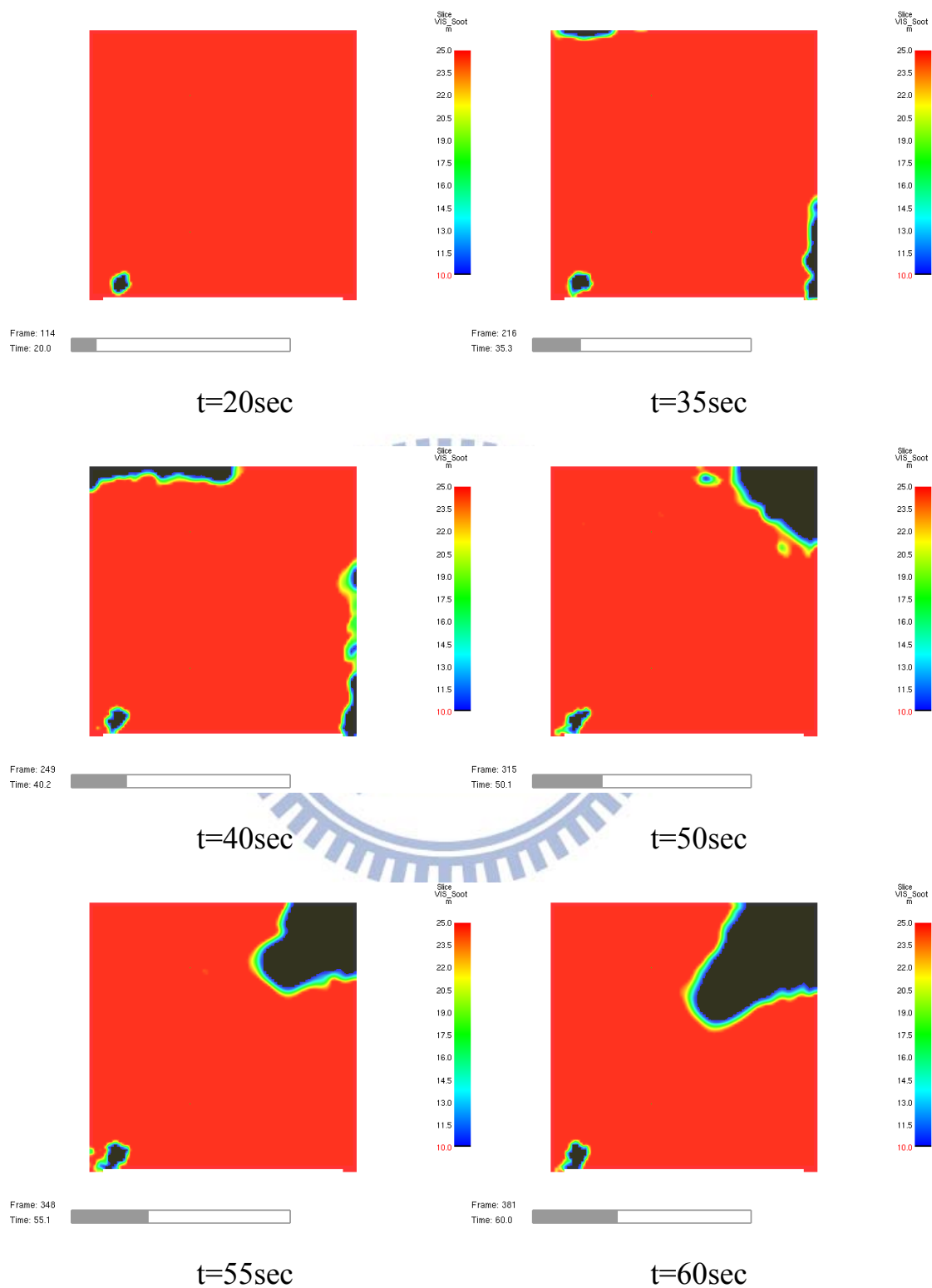


圖 3.4.2-3 百貨商場情境(一)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

經由以上百貨商場情境(一)天華板高度 3m 的模擬結果判斷，起火後約 32 秒時，起火點右側附近及 1.8m 高度的能見度即出現低於 10m，35 秒時居室左上方即煙層蓄積而出現低於 10m 的狀態，直至 55 秒時煙層已由上方及右側蓄積向起火點靠近，最後 85 秒時全區能見度皆已低於 10m，該結果與 Route B 所計算的 78 秒煙層下降至 1.8m 的結果差異很大。

(2) 依據百貨商場情境(一)比對 Route B 計算天花板高度於 4m 時，
煙層下降至 1.8m 之時間，其總模擬時間為 150sec，結果如下：



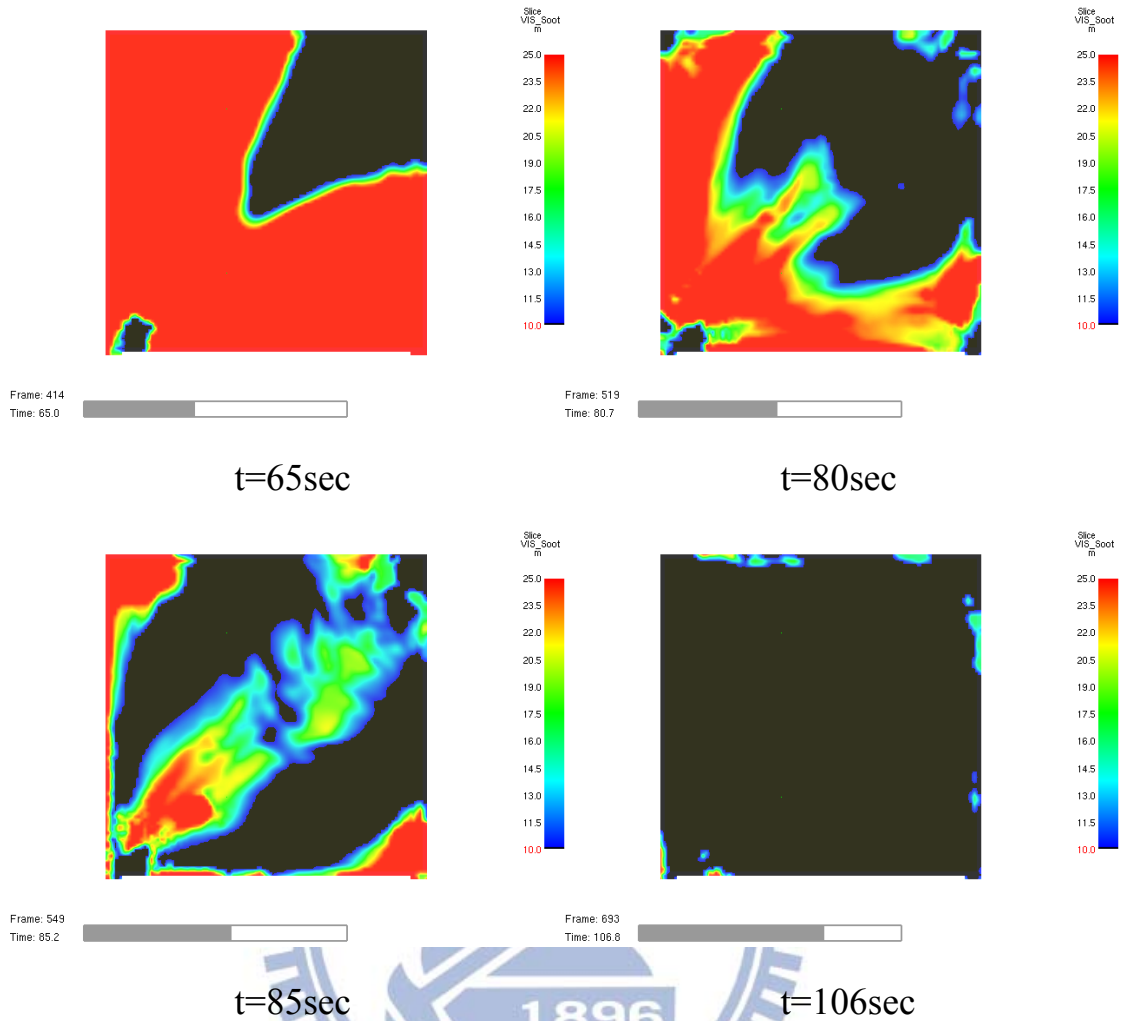
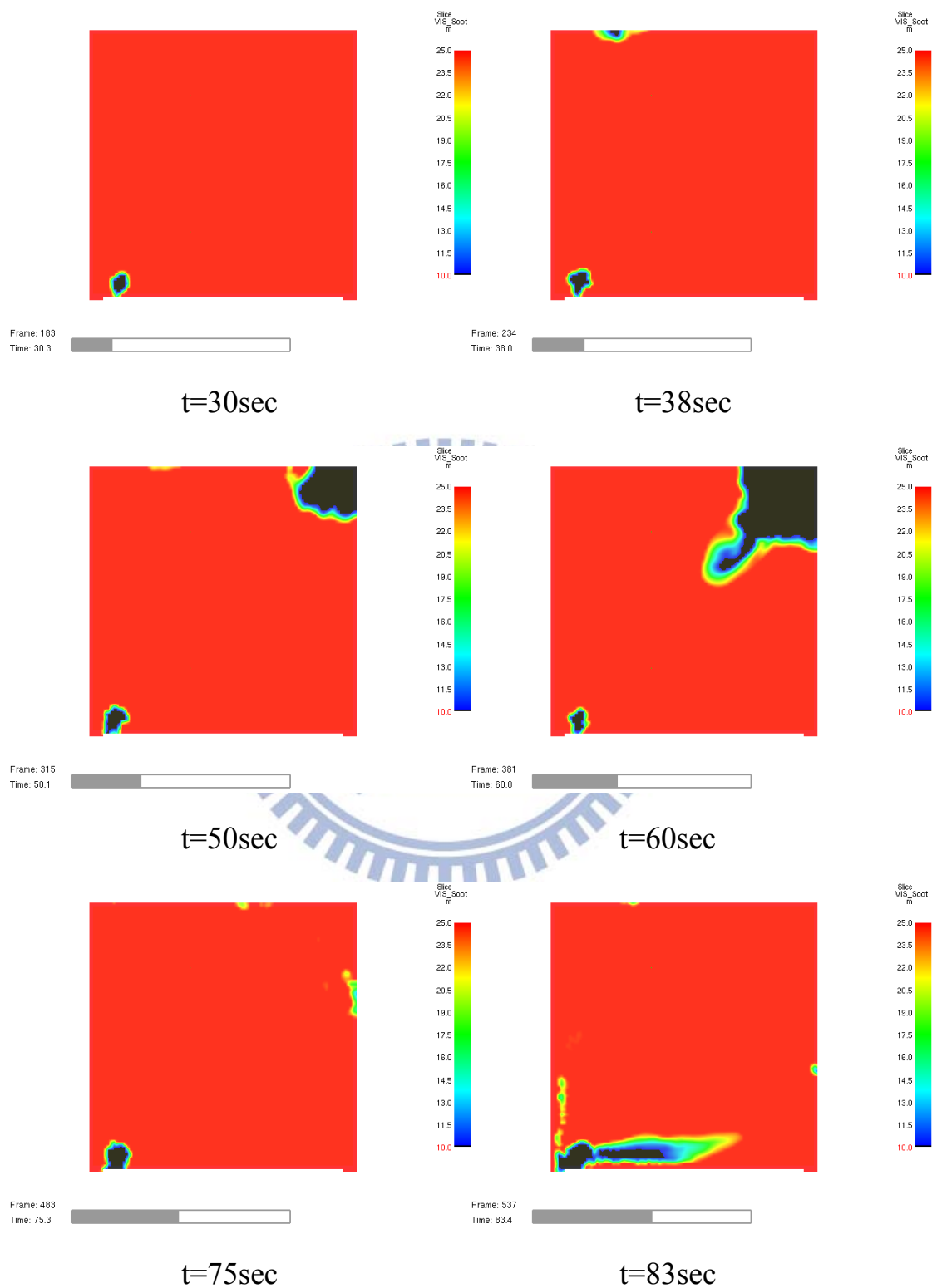


圖 3.4.2-4 百貨商場情境(一)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

由情境(一)天花板高度 4m 的模擬結果來看，起火後約 35 秒時，居室上方及右側 1.8 公尺高度的能見度即出現煙層出現低於 10m 的狀態，於 50 秒時煙層蓄積於右上角，能見度亦已低於 10m，直至 65 秒時煙層已由上方及右側蓄積向起火點逐漸靠近，最後 106 秒時全區能見度皆已低於 10m，該結果與 Route B 所計算的 100 秒煙層下降至 1.8m 的結果相差了約 65 秒。

(3) 依據百貨商場情境(一)比對 Route B 計算天花板高度於 5m 時，煙層下降至 1.8m 之時間，其總模擬時間仍為 150sec，結果如下：



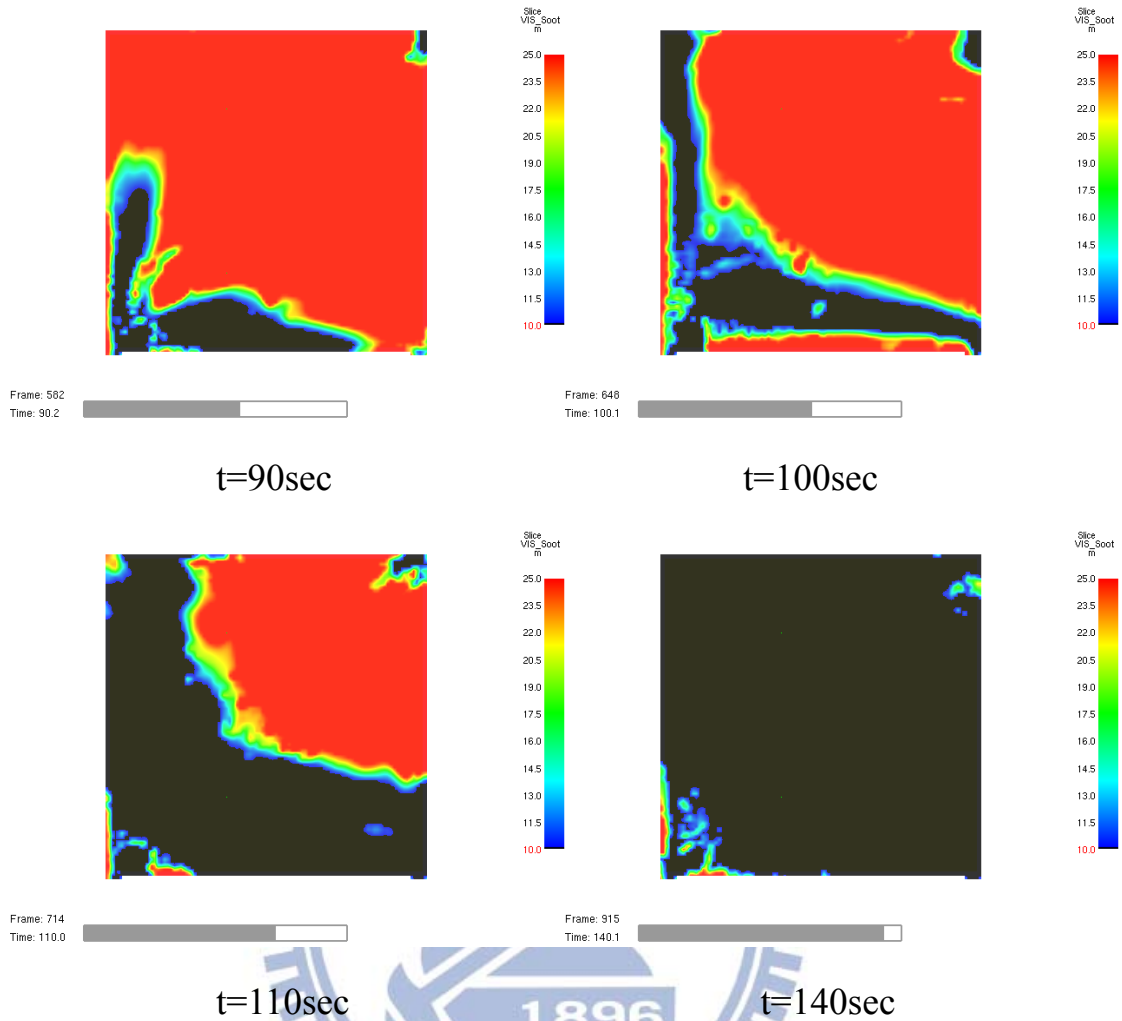
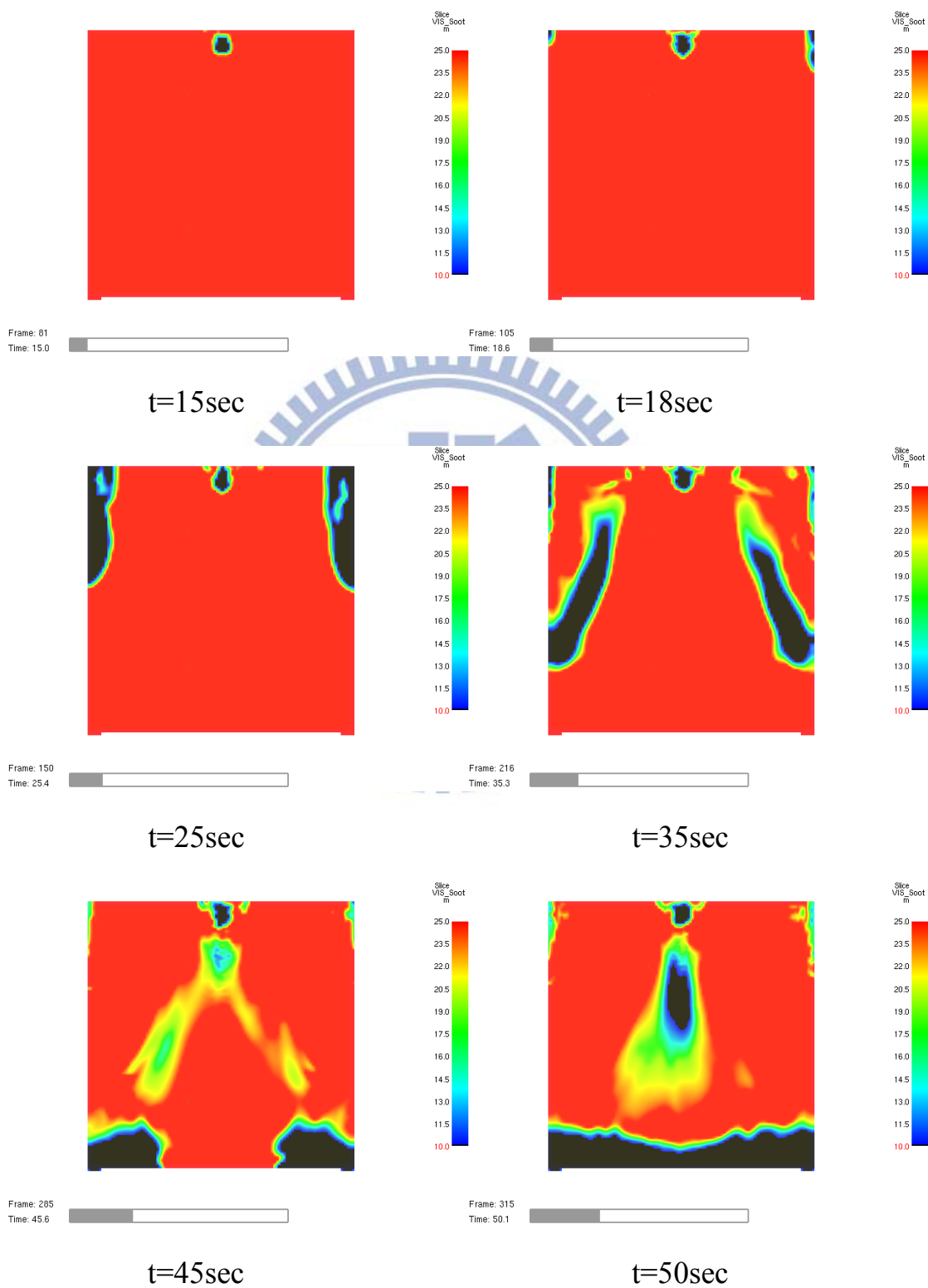


圖 3.4.2-5 百貨商場情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

最後觀察模擬百貨商場情境(一)天花板高度 5m 的結果，起火後約 50 秒時，居室右上方 1.8m 高度的能見度出現煙層出現低於 10m 的狀態，於 60 秒時煙層蓄積於右上角，能見度亦已低於 10m 且向中央區漫延，可是於 75 秒時因為煙層擴散的緣故，全區暫時恢復較佳的能見度，但於 83 秒時煙層迅速擴散回至起火點，再由起火點方向沿斜對角方向擴散，約 110 秒時半區的能見度皆低於 10m，最後 140 秒時全區能見度皆已低於 10m，該結果與 Route B 所計算的 107 秒煙層下降至 1.8m 的結果仍然差異相當大。

4. 百貨商場情境(二)之模擬結果

(1) 情境(二)將火源移至下方中央距離二出入口等距之位置，同樣先模擬天花板高度 3m 時，煙層下降至 1.8m 的時間，其總模擬同樣為時間 150sec，結果如下：



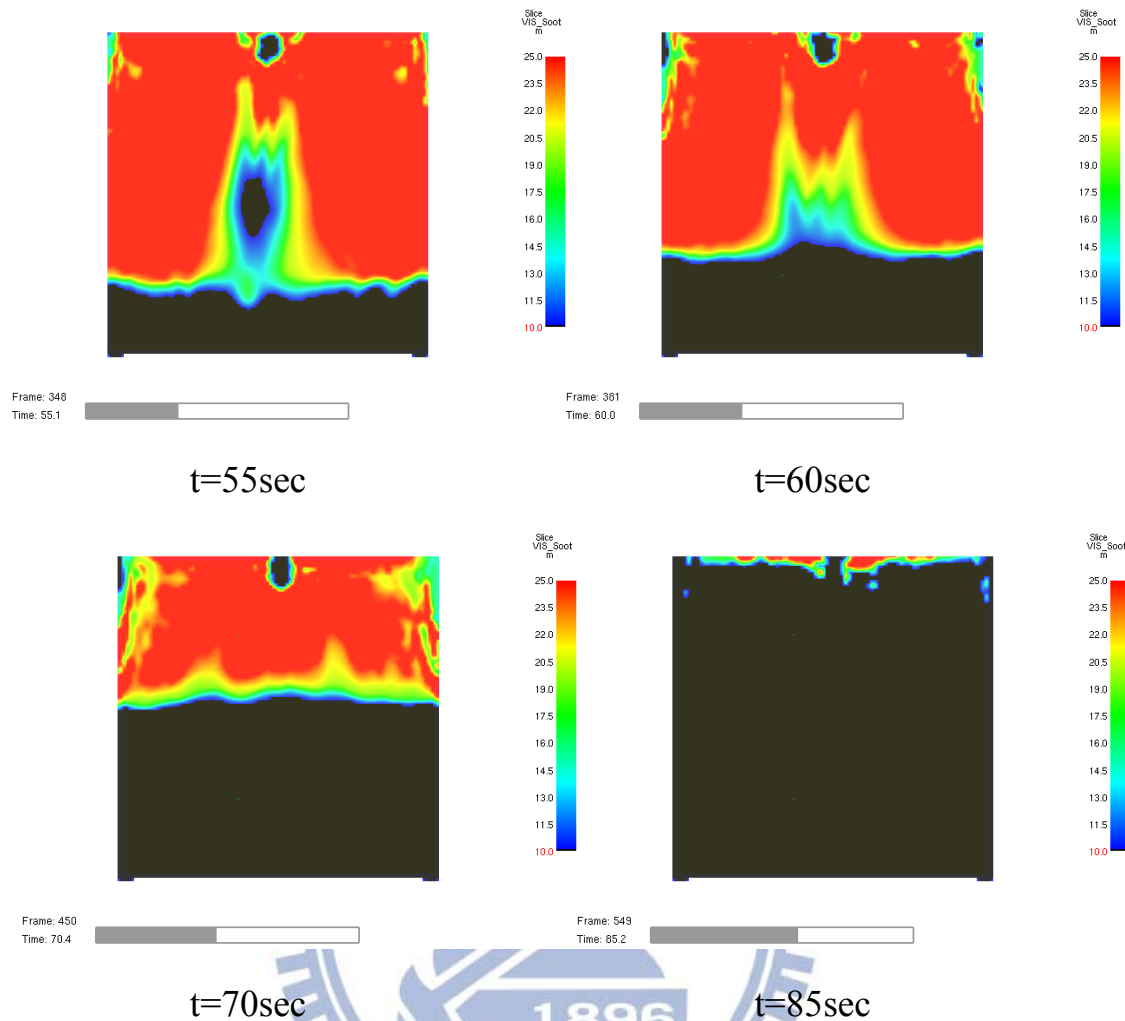
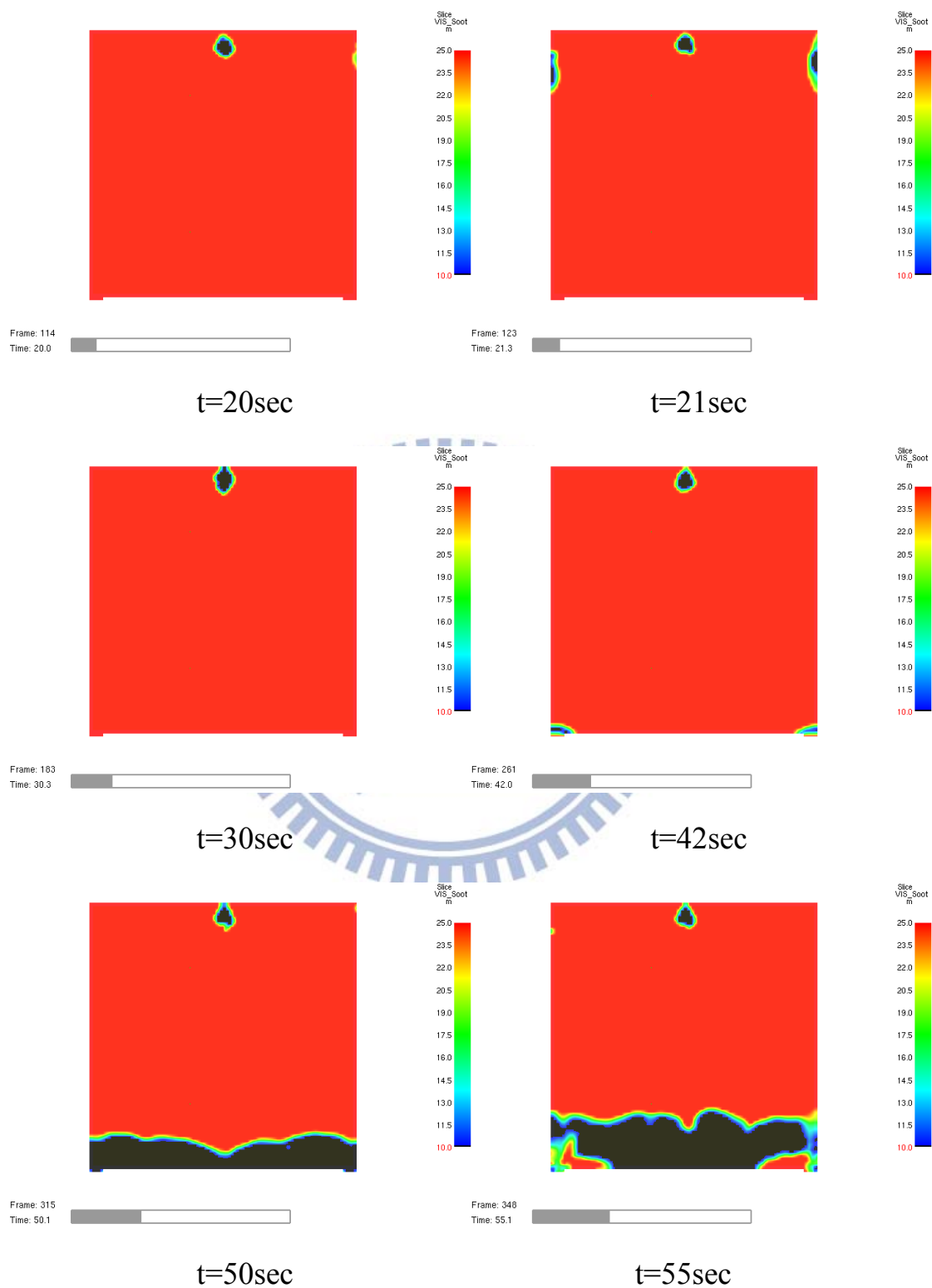


圖 3.4.2-6 百貨商場情境(二)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

由百貨商場情境(二)-1 模擬天花板高度 3m 的結果判斷，起火後約 18 秒時，起火點左右二側 1.8m 高度的能見度出現低於 10m 的狀態，並且持續沿二側牆邊往出入口方向擴散，短短 45 秒時煙層已流動至下方外牆處，70 秒時一半居室能見度皆已低於 10m，最後 85 秒時全區能見度皆低於 10m。

該結果因起火位置不同，導致煙層流動的方向也不同，煙層下降時間較於情境(一)-1 快，結果與 Route B 所計算的 78 秒煙層下降至 1.8m 的結果當然差異還是很大。

(2) 依據百貨商場情境(一)比對 Route B 計算天花板高度於 4m 時，煙層下降至 1.8m 之時間，其總模擬時間為 150sec，結果如下：



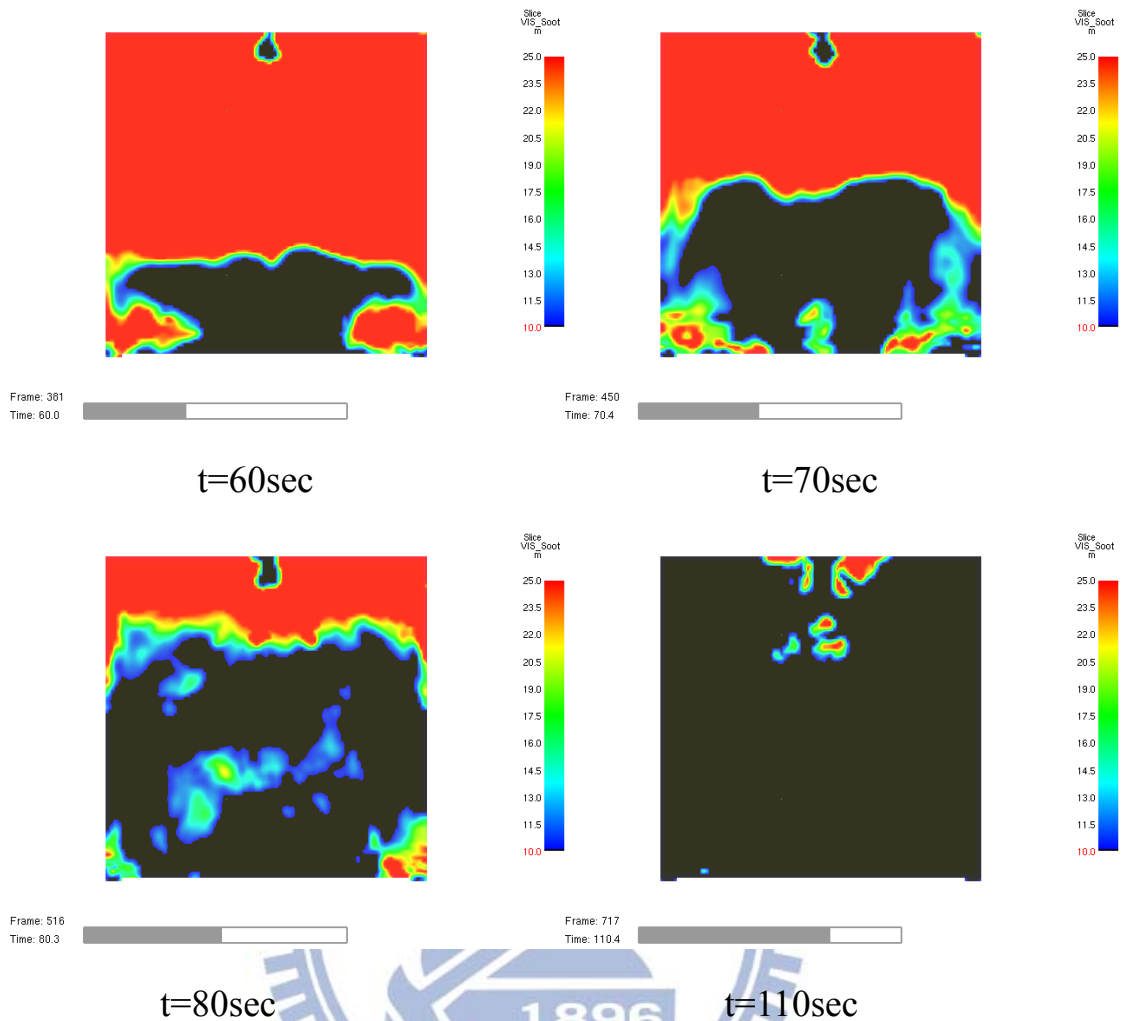
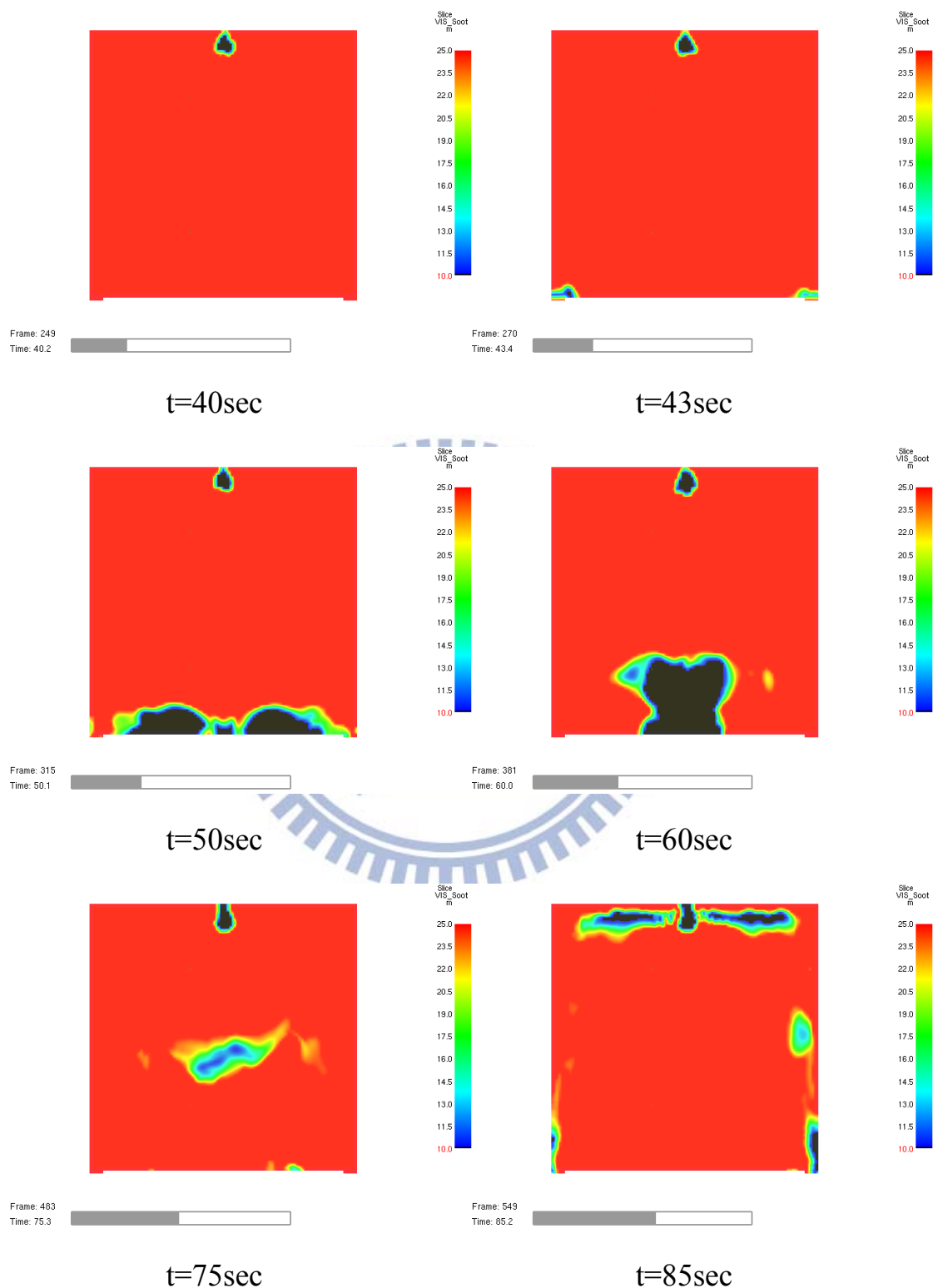


圖 3.4.2-7 百貨商場情境(二)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

由百貨商場情境(二)-2 模擬天花板高度 4m 的結果判斷，起火後約 21 秒，起火點左右側 1.8m 高度的能見度先出現些微低於 10m 的狀態，30 秒時由於煙層擴散效果，全區能見度恢復 25m 以上，42 秒時因煙層已擴散至居室下方位置並開始蓄積，此時能見度再出現低於 10m 的狀態，煙層於 50 秒時在出入口處蓄積下降至 1.8 公尺，70 秒時一半居室能見度皆已低於 10m，最後 110 秒時全區能見度皆低於 10m。

上述結果雖與情境(一)-2 略有不同，但整體煙層下降時間差異不大，因此該結果與 Route B 所計算的 100 秒煙層下降至 1.8m 的結果不符。

(3) 依據百貨商場情境(二)比對 Route B 計算天花板高度於 5m 時，
煙層下降至 1.8m 之時間，其總模擬時間仍為 150sec，結果如下：



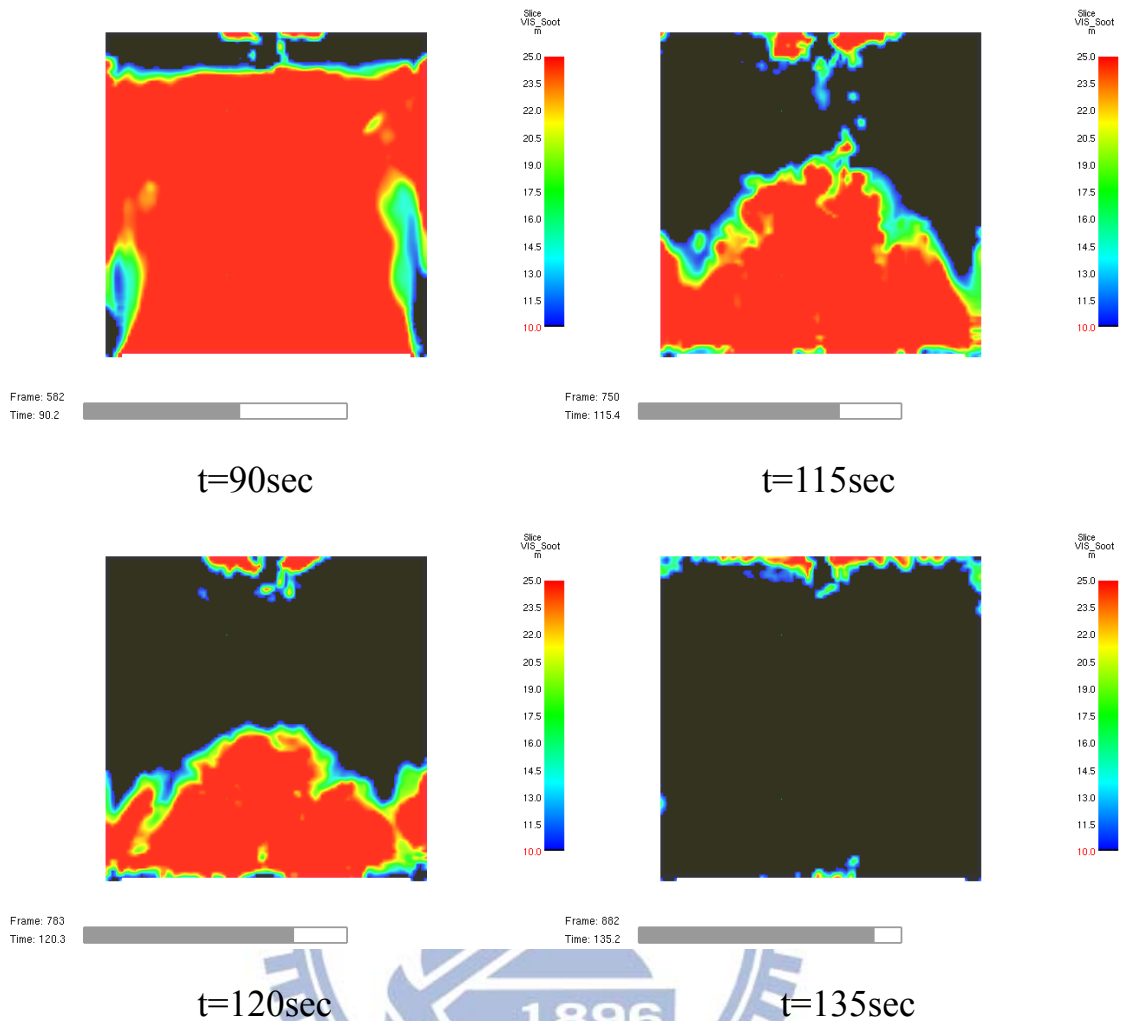


圖 3.4.2-8 百貨商場情境(一)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

由情境(二)-3 模擬天花板高度 5m 的結果判斷，起火後雖因天花板高度提高，增加蓄煙空間，但於 43 秒時居室下方開始出現 1.8 公尺高度的能見度低於 10m 的狀態，75 秒時由於煙層擴散效果，全區能見度短暫恢復至 13m 以上，85 秒時因煙層已迅速擴散至居室下方位置並開始蓄積，此時能見度再出現低於 10m 以下，煙層於 90 秒時在起火點二側蓄積下降至 1.8 公尺，115 秒時一半居室能見度皆已低於 10m，最後 135 秒全區能見度皆低於 10m。

上述結果與 Route B 所計算 107 秒煙層下降至 1.8m 的結果仍然不符。

3.5 案例(一)辦公場所之驗證分析

以 Route B 依場所特性，參照手冊所規定之各項數據代入公式計算，並依據各排煙量計算煙層下降至 1.8 公尺之時間，所得之煙層下降時間彙整如表 4.4-1 所示，而 Route C 因除可配合 Route B 所計算之參數外，尚可調整不同起火源位置，模擬不同情境下之火災狀態，因此，以下將就 FDS 所模擬之各種結果對照 Route B 作一分析說明。

表 3.5-1 Route B 煙層下降計算時間表

項次	天花板高度 M	煙層下降時間	
		(min)	(sec)
1	3	1.73758	104
2	4	2.22583	134
3	5	2.387	143

3.5.1 辦公場所情境(一)Route C 之驗證分析

情境(一)主要為將火源位置比起手冊第 2.17 節說明，而設於較靠近二出入口的其中一處(詳圖 3.2.2-1)，因此，依各天花板高度所模擬之結果皆無法符合 Route B 所計算的結果。

1. 當起火源位於出入處時，於天花板高度 3m 的模擬結果，起火後約 20 秒時，起火點附近 1.8m 高度的能見度即出現低於 10m，該結果與 Route B 所計算的 104 秒煙層下降至 1.8m 的結果差異很大。
2. 於天花板高度 4m 的模擬結果來看，起火後約 56 秒時，居室上方及右側 1.8 公尺高度的能見度即出現煙層出現低於 10m 的狀態，與 Route B 所計算的 134 秒煙層下降至 1.8m 的結果差異還是很大。
3. 最後觀察模擬情境(一)天花板高度 5m 的結果，起火後約 76 秒時，居室右上方 1.8m 高度的能見度出現煙層出現低於 10m 的狀態，該結果與 Route B 所計算的 143 秒煙層下降至 1.8m 的結果仍然差異很大。

將上列三種天花板高度的煙層下降時間對照 Route B 之結果彙整如下：

表 3.5-2 辦公場所情境(一)結果對照比較表

天花板高度 (M)	3	4	5	備註
Route B	104	134	143	SEC
Route C	20	56	76	SEC
結果	不符合	不符合	不符合	

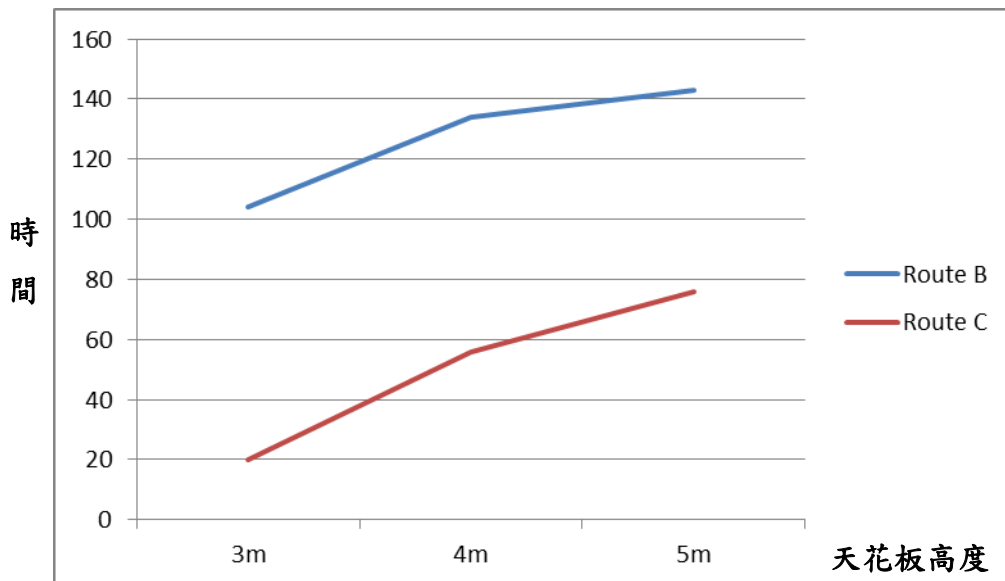


圖 3.5.1-1 辦公場所情境(一)煙層下降時間比較曲線圖

3.5.2 辦公場所情境(二)Route C 之驗證分析

情境(二)主要為將火源位置設於靠近主要出入口處(詳圖

3.2.2-2)，距離出入口較遠，其模擬結果如下說明：

1. 由情境(二)-1 模擬天花板高度 3m 的結果判斷，起火後約 31 秒時，起火點左右二側 1.8m 高度的能見度出現低於 10m 的狀態，該結果因起火位置不同，導致煙層流動的方向也不同，甚至煙層下降時間較於情境(一)-1 快，但結果與 Route B 所計算的 104 秒煙層下降至 1.8m 的結果差異還是很大。
2. 由情境(二)-2 模擬天花板高度 4m 的結果判斷，起火後約 35 秒，起火點左側 1.8 公尺高度的能見度先出現低於 10m 的狀態，上述結果雖與情境(一)-2 略有不同，但整體煙層下降時間差異不大，因此該結果與 Route B 所計算的 134 秒煙層下降至 1.8m 的結果不符。

3. 由情境(二)-3 模擬天花板高度 5m 的結果判斷，起火後約由於天花板高度加高，增加蓄煙空間，60 秒時全區仍保有能見度 25m 以上，而時間到達 70 秒時居室下方開始出現 1.8 公尺高度的能見度低於 10m 的狀態上述結果與 Route B 所計算 143 秒煙層下降至 1.8m 的結果仍然不符。

將情境(二)對照上列三種排煙量設計參數對照 Route B 之結果彙整如下表：

表 3.5-3 辦公場所情境(二)結果對照比較表

天花板高度 (M)	3	4	5	備註
Route B	104	134	143	SEC
Route C	31	35	70	SEC
結果	不符合	不符合	不符合	

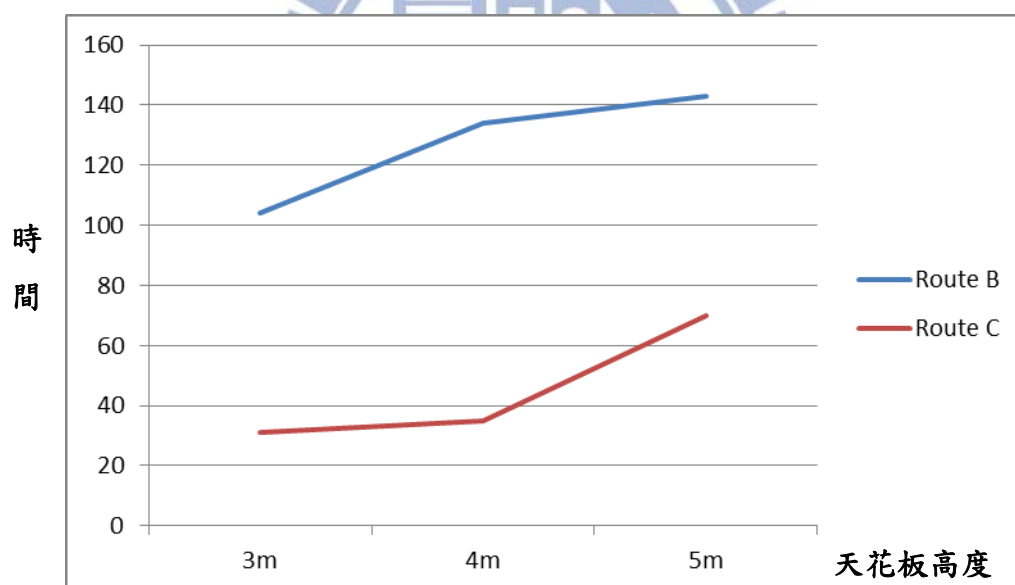


圖 3.5.1-2 辦公場所情境(二)煙層下降時間比較曲線圖

3.6 案例(二)百貨商場之驗證分析

依據不同天花板高度所得之煙層下降時間彙整如下表所示：

表 3.6-1 百貨商場煙層下降時間表

項次	天花板高度 (M)	煙層下降時間	
		(min)	(sec)
1	3	1.29676	78
2	4	1.66114	100
3	5	1.78142	107

3.6.1 百貨商場情境(一)Route C 之驗證分析

情境(一)主要為將火源位置設於較靠近出入口處(詳圖 3.3.2-1)，本案例空間雖然相同於案例(一)，但因火載量較案例(一)為高，因此，煙層下降相對亦較快，依各天花板高度所模擬之結果分述如下：

1. 由百貨商場情境(一)天花板高度 3m 的模擬結果判斷，起火後約 32 秒時，起火點右側附近及 1.8 公尺高度的能見度即出現低於 10m，該結果與 Route B 所計算的 78 秒煙層下降至 1.8m 的結果差異很大。
2. 天花板高度 4m 的模擬結果來看，起火後約 35 秒時，居室上方及右側 1.8 公尺高度的能見度即出現煙層出現低於 10m 的狀態，該結果與 Route B 所計算的 100 秒煙層下降至 1.8m 的結果相差了約 65 秒。
3. 模擬百貨商場情境(一)天花板高度 5m 的結果，起火後約 50 秒時，居室右上方 1.8 公尺高度的能見度出現煙層出現低於 10m 的狀態，該結果與 Route B 所計算的 107 秒煙層下降至 1.8 m 的結果仍然差異相當大。

將情境(一)對照上列二種排煙量設計參數對照 Route B 之結果彙整如下表：

表 3.6-2 百貨商場情境(一)結果對照比較表

天花板高度 (M)	3	4	5	備註
Route B	78	100	107	SEC
Route C	32	35	50	SEC
結果 2	不符合	不符合	不符合	

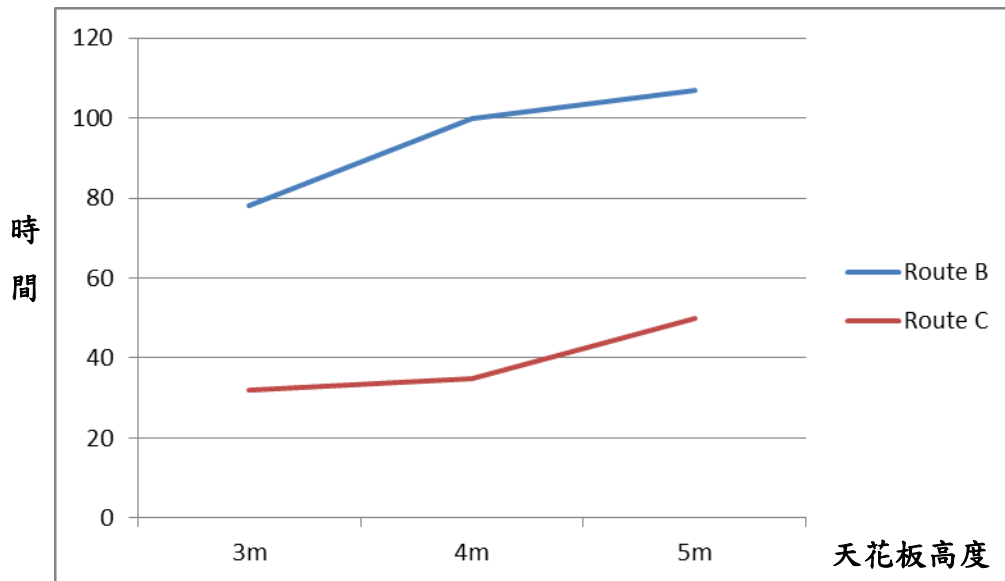


圖 3.6.1-1 百貨商場情境(一)煙層下降時間比較曲線圖

3.6.2 百貨商場情境(二)Route C 之驗證分析

情境(二)主要為將火源位置設於離二出入口最遠處(詳圖

3.2.2-2)，其模擬結果如下說明：

1. 由百貨商場情境(二)-1 模擬天花板高度 3m 的結果判斷，起火後約 18 秒時，起火點左右二側 1.8 公尺高度的能見度出現低於 10m 的狀態，並且持續沿二側牆邊往出入口方向擴散，該結果雖因起火位置不同，導致煙層流動的方向也不同，煙層下降時間較於情境(一)-1 快，但結果與 Route B 所計算的 78 秒煙層下降至 1.8m 的結果當然差異還是很大。
2. 由百貨商場情境(二)-2 模擬天花板高度 4m 的結果判斷，起火後約 21 秒，起火點左右側 1.8 公尺高度的能見度先出現些微低於 10m 的狀態，上述結果雖與情境(一)-2 略有不同，但整體煙層下降時間

差異不大，因此該結果與 Route B 所計算的 100 秒煙層下降至 1.8m 的結果不符。

3. 由情境(二)-3 模擬天花板高度 5m 的結果判斷，起火後雖因天花板高度提高，增加蓄煙空間，但於 43 秒時居室下方即開始出現 1.8 公尺高度的能見度低於 10m 的狀態，上述結果與 Route B 所計算 107 秒煙層下降至 1.8m 的結果仍然不符。

將情境(二)對照上列二種排煙量設計參數對照 Route B 之結果彙整如下表：

表 3.6-3 百貨商場情境(二)結果對照比較表

天花板高度 (M)	3	4	5	備註
Route B	78	100	107	SEC
Route C	18	21	43	SEC
結果	不符合	不符合	不符合	

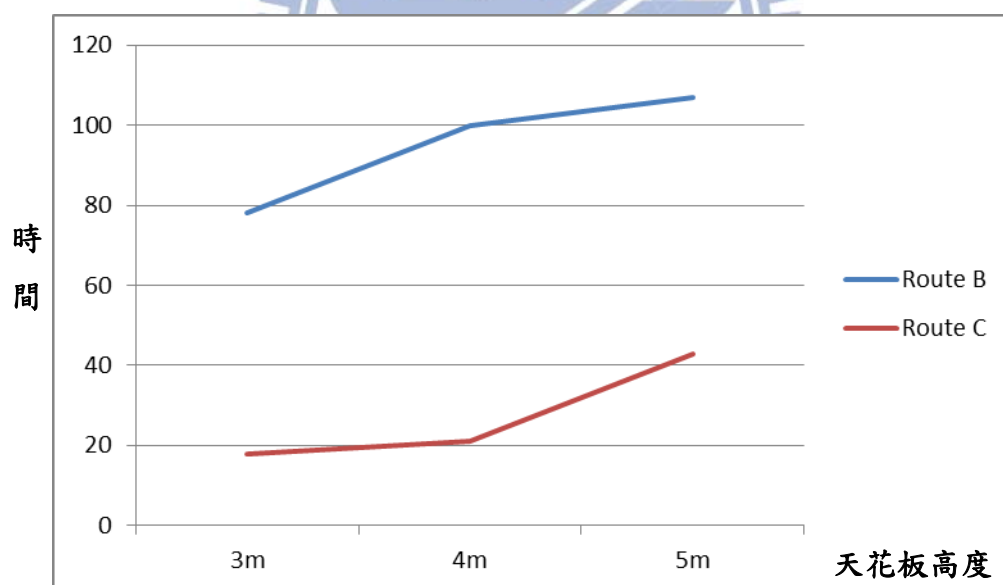


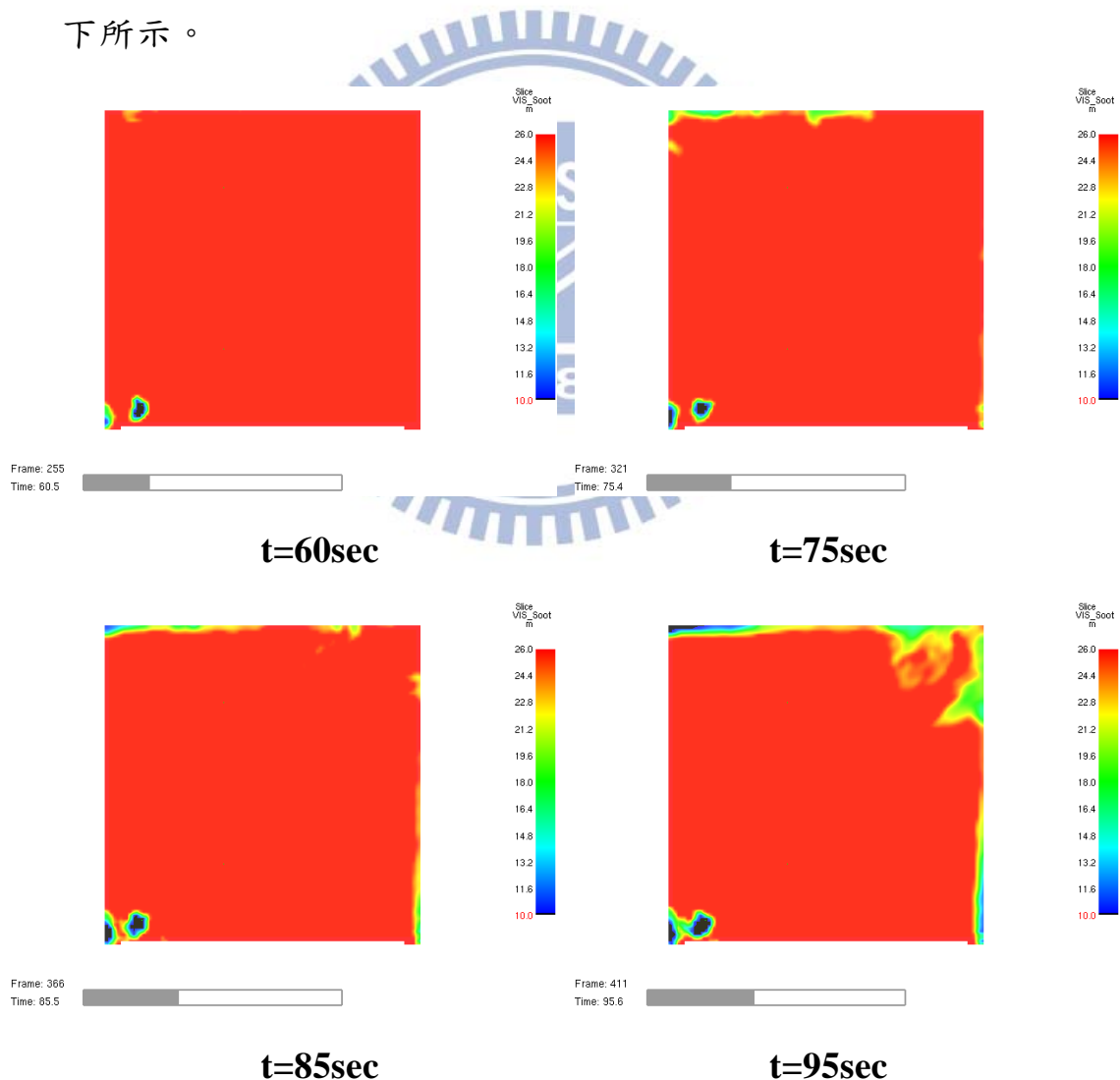
圖 3.6.1-2 百貨商場情境(二)煙層下降時間比較水平曲線圖

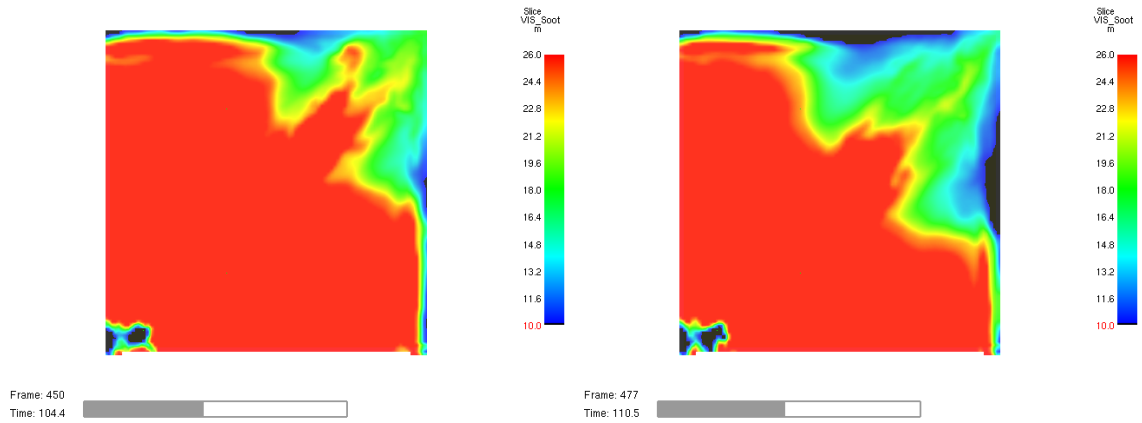
第四章 煙生成量案例分析與驗證結果

4.1 修正辦公場所情境(一)Route C 煙產生量之驗證分析

如第三章所述，Route C 於二種情境三種條件皆無法符合 Route B 之結果，所以檢討 FDS 設定參數，原所選定之燃料聚氨酯(類) POLYSTYRENE 的煙產生量 $\text{SOOT_YIELD} = 0.164(\text{kg/kg})$ ，因此嘗試修正燃料為煤油 KEROSENE 及使用 FDS 內定值，它的煙產生量分為， $\text{SOOT_YIELD} = 0.042(\text{kg/kg})$ 及 $\text{SOOT_YIELD} = 0.01(\text{kg/kg})$ ，以此二種煙生成量條件下，以第一種火源位置為條件再行模擬。

經觀察辦公場所案例，以煤油 KEROSENE 的結果對照手冊所計算之煙層下降時間較能夠一致，首先天花板高度 3m 的結果分析如下所示。





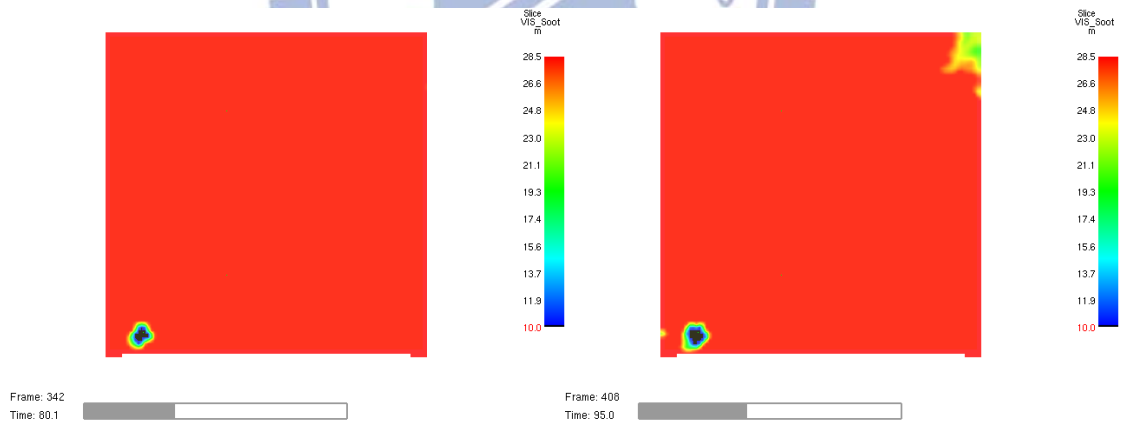
t=104sec

t=105sec

圖 4.1-1 辦公場所情境(一)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

觀察以修正煙產生量之模擬結果，天花板高度 3m 時，煙層下降速度與手冊所計算之時間已趨於一致，全區之煙層能見度於 Route B 所計算的 104 秒皆能符合標準，且於 105 秒時即出現能見度低於 10m 的狀態。

再觀察天花板高度 4m 的結果分析如圖 4.1-2 所示。



t=80sec

t=95sec

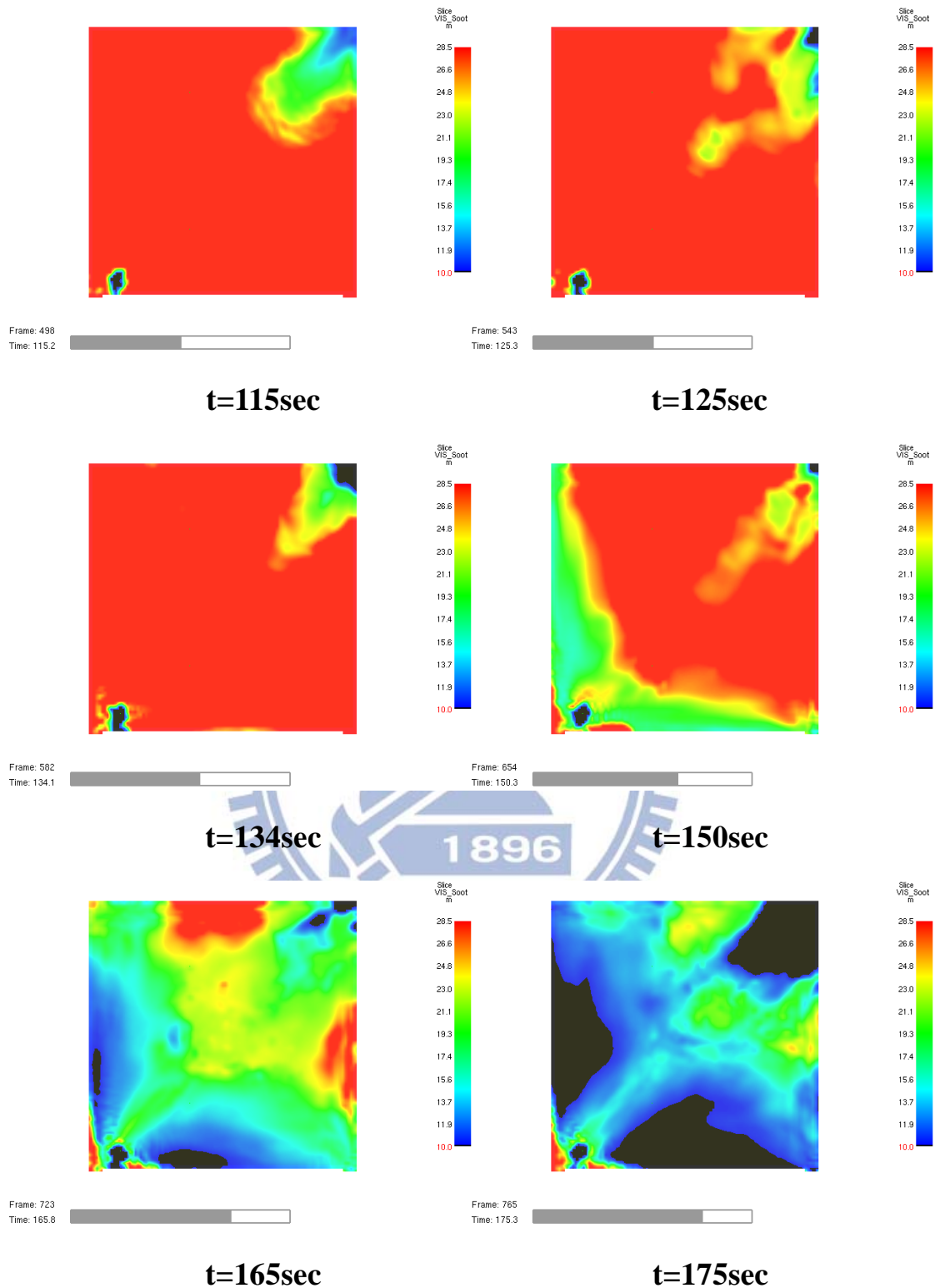


圖 4.1-2 辦公場所情境(一)-2 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

觀察以修正煙產生量之天花板高度 4m 的模擬結果，煙層下降速度雖於 125 秒~134 秒間於左上方出現一極小部分的空間超過標準，但直到 150 秒能見度狀態並未有太大變化，因此初步判斷該結果亦能與手冊所計算之時間已趨於接近。

辦公場所情境(一)天花板高度 5m 的模擬結果分析如圖 4.1-3 所示。

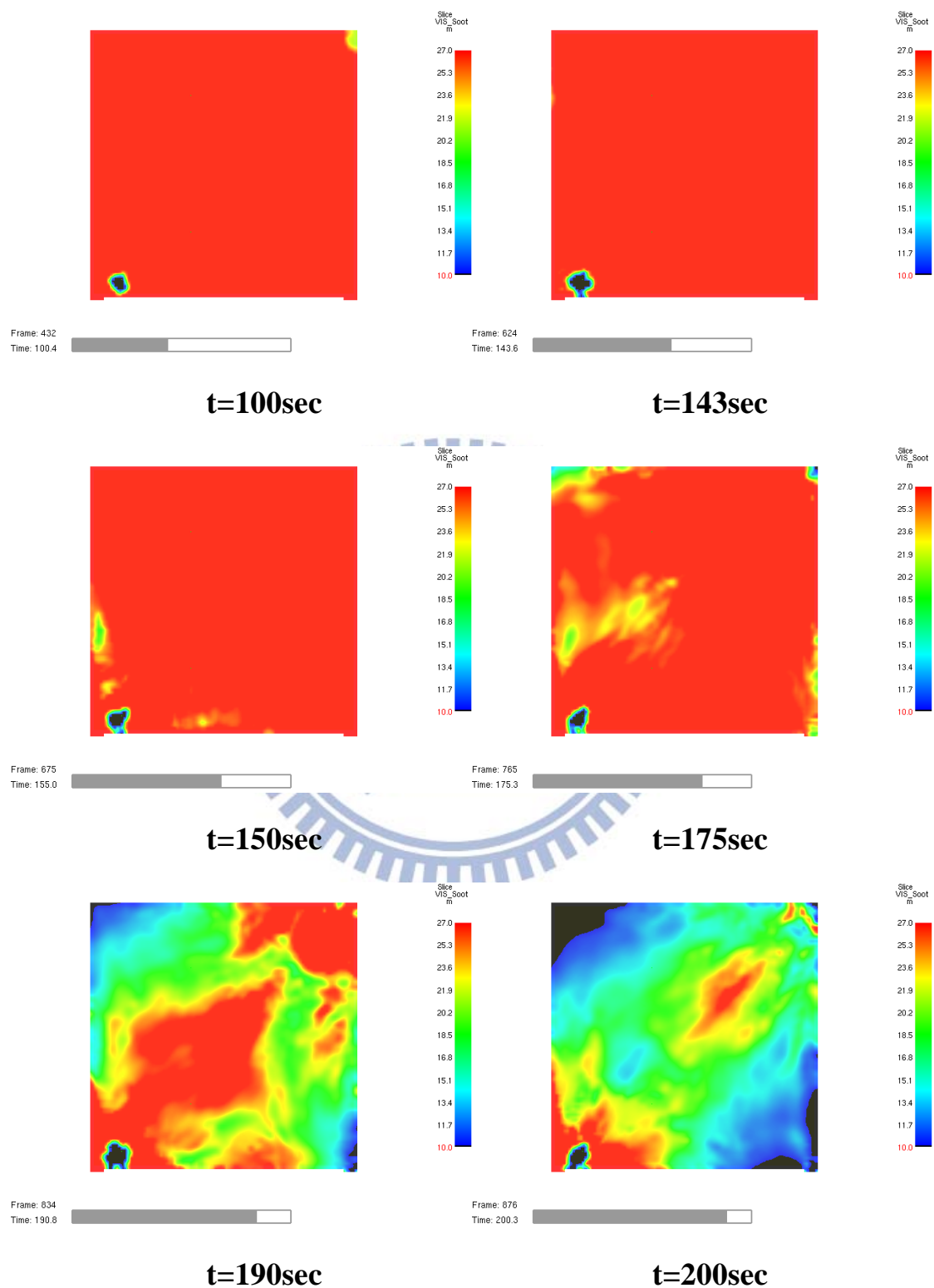


圖 4.1-3 辦公場所情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

觀察以修正煙產生量之天花板高度 5m 的模擬結果，煙層下降速度於 175 秒時左上方出現一極小部分的空間超過標準，該結果與手冊所計算之時間卻延長約 21 秒。

表 4.1-3 辦公場所情境(一)結果對照比較表

天花板高度 (M)	3	4	5	備註
Route B	104	134	143	SEC
Route C	104	134	164	SEC
結果	符合	符合	不符合	

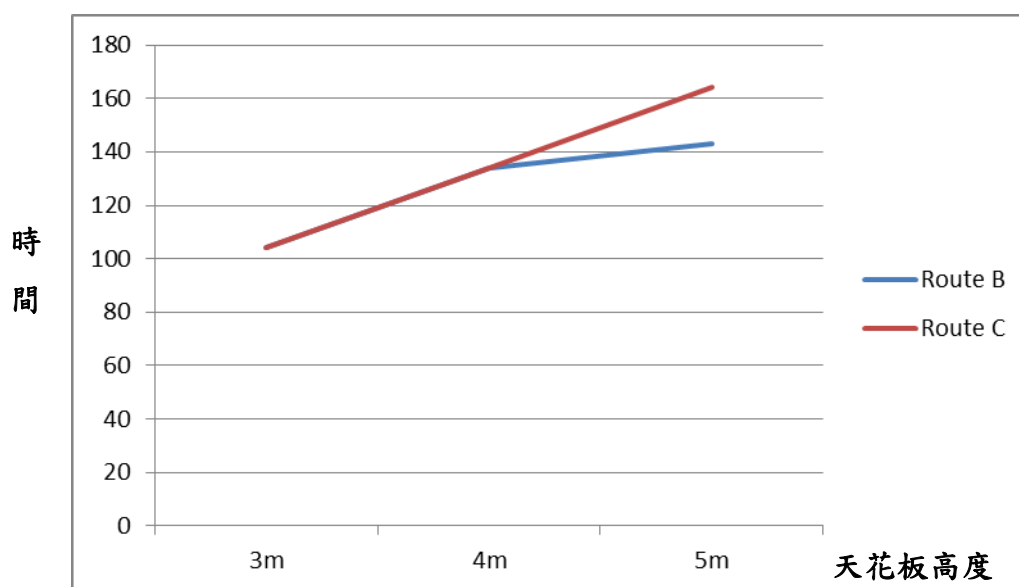


圖 4.1-4 辦公場所情境(一)煙層下降時間比較水平曲線圖

有關 Route C 於天花板 5m 時仍無法符合 Route B 的結果，將於下節修正百貨商場案例後的結果，再行檢討說明。

4.2 修正百貨商場情境(一)Route C 煙生成量之驗證分析

其與辦公室之各情境模擬結果類似，Route C 於以上二種情境的三種天花板高度，同樣皆無法符合 Route B 之結果，所以仍再以煤油 SOOT_YIELD=0.042 為 FDS 燃料輸入參數，再以第一種火源位置為條件模擬，並觀察其結果是否能與 Route B 所計算之煙層下降時間趨於一致，但結果該值仍然較 Route B 所計算的煙層下降時間快。

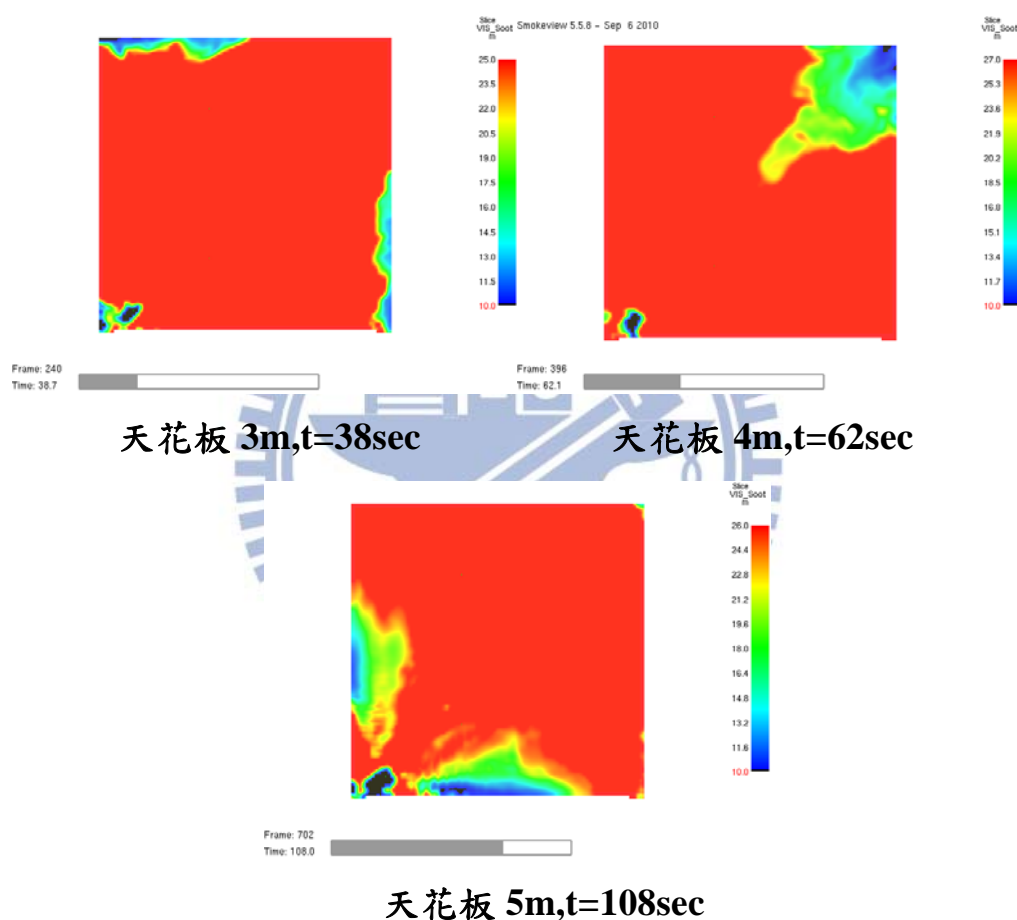


圖 4.2-1 第一次修正百貨商場情境(一)高度 1.8m 之能見度水平切面圖

表 4.2-1 第一次修正百貨商場情境(一)結果對照比較表

天花板高度 (M)	3	4	5	備註
Route B	78	100	107	SEC
Route C	38	62	108	SEC
結果	不符合	不符合	符合	

第一次修正結果與辦公場所案例有很大差異，天花板高度 3m 及 4m 時仍無法符合，但天花板高度 5m 已符合兩者的結果。為研究其中變化的關係，因此第二次修正改採丙烷 PROPANE 為燃料，設定 SOOT_YIELD 值 = 0.02(kg/kg)作為模擬參數，觀察天花板高度 3m 結果分析如下圖所示。

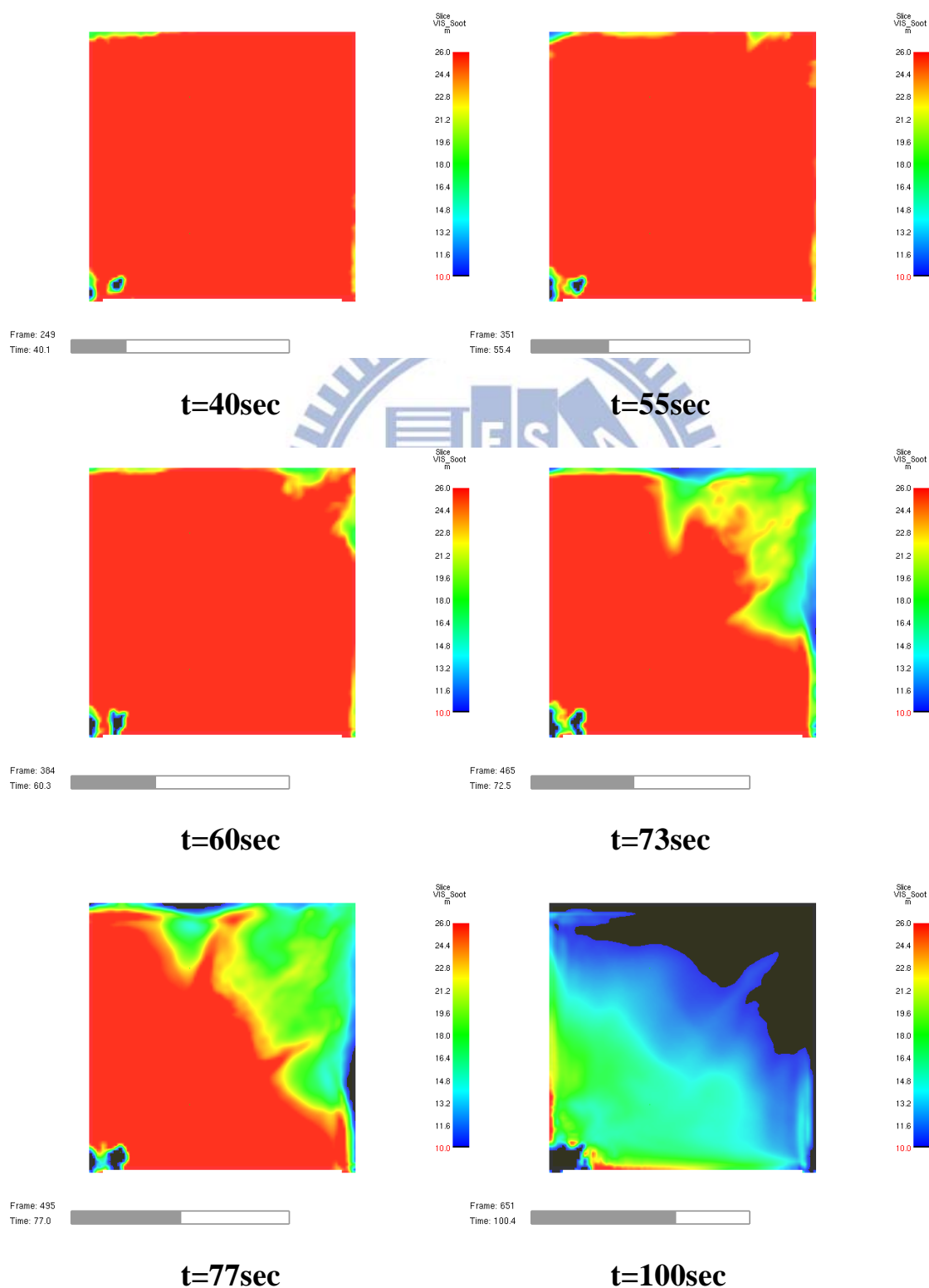


圖 4.2-2 第二次修正百貨商場情境(一)-1 高度 1.8m 之能見度水平切面圖
再觀察天花板 4m 的模擬結果。

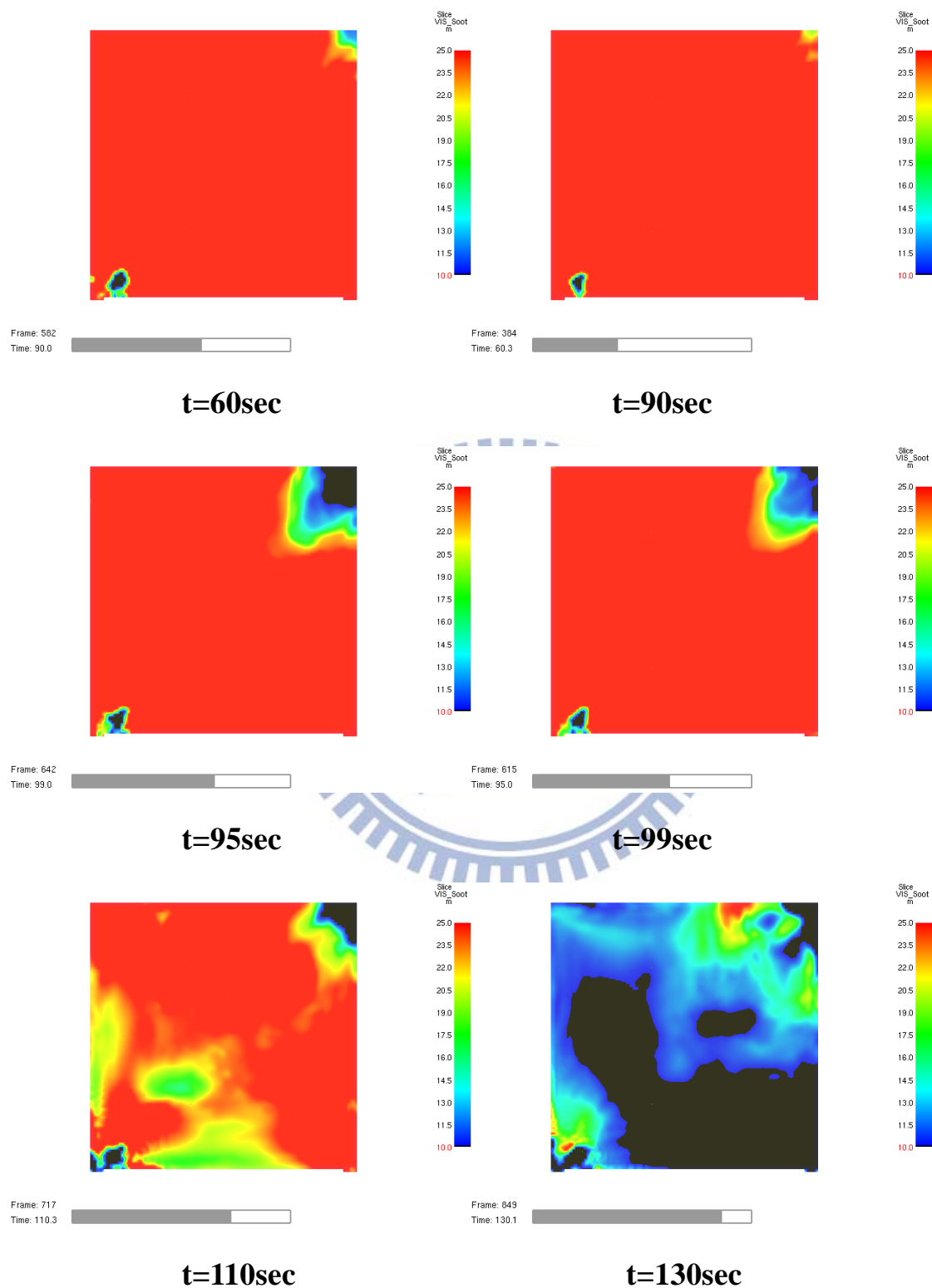


圖 4.2-3 百貨商場情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

最後觀察天花板 5m 的模擬結果。

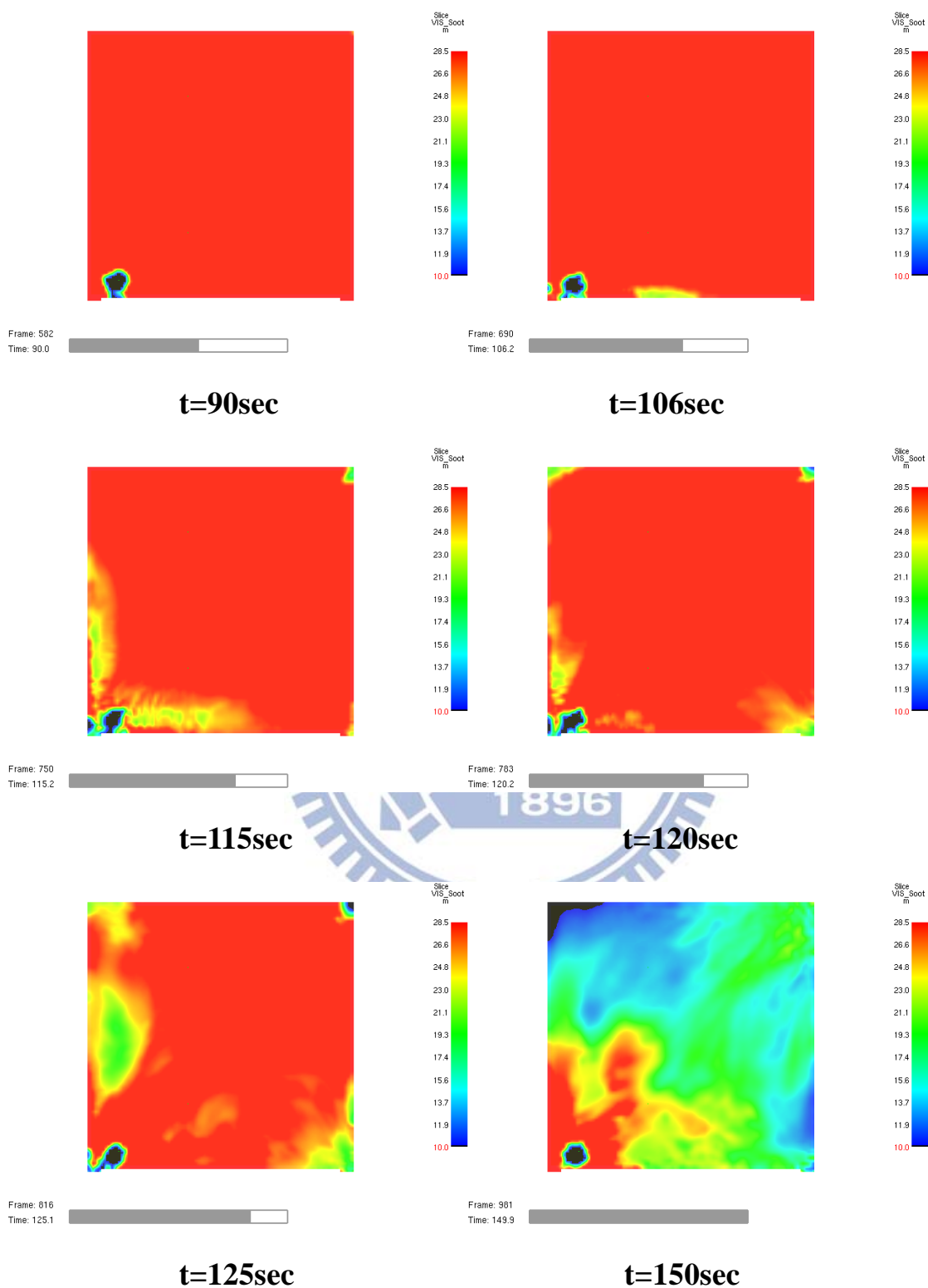


圖 4.2-4 百貨商場情境(一)-3 高度 1.8m 之能見度水平切面圖

表 4.2-2 百貨商場情境(一)結果對照比較表

天花板高度 (M)	3	4	5	備註
Route B	78	100	107	SEC
Route C	78	100	150	SEC
結果	符合	符合	不符合	

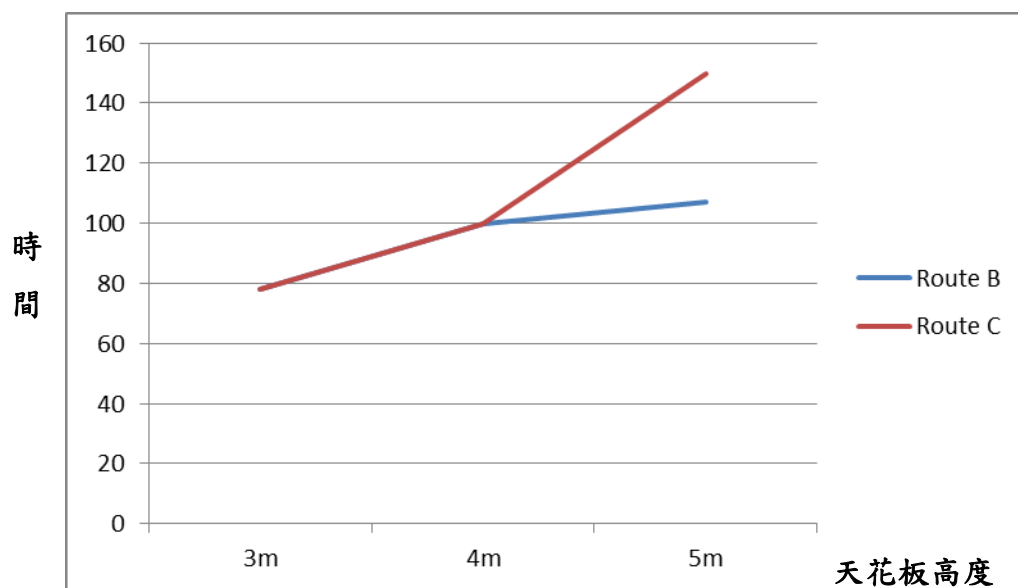


圖 4.2-5 百貨商場情境(一)煙層下降時間比較水平曲線圖

經過第二次修正百貨商場案例的煙生成量檢討分析，才與辦公場所案例的結果相同，天花板高度 3m 及 4m 的煙層下降時間已相同，但 Route C 於天花板 5m 的煙層下降時間反而較 Route B 更延長約 43 秒，對於此現象將另於第 4.3 節中檢討說明。

4.3 增加天花板高度對於煙層下降時間之影響分析

由本研究第 4.1 節及第 4.節發現 Route C 於天花板高度 3m 及 4m 時，煙層下降時間已趨近 Route B 所計算的結果，但於天花板高度 5m 時，Route C 所模擬的煙層下降至 1.8m 時間，相較於 Route B 的計算時間較長，再分析 Route B 所計算天花板高度公式 4m 與 5m 的煙層下降時間僅差約 10 秒鐘(詳表 4.1-1)，為確認此一差異性，特將手冊有關計算煙生成量及計算煙層下降時間的公式作一分析，以確切了解關鍵的所在。

有關計算煙生成量公式：

$$V_s = 9[(\alpha_f + \alpha_m) A_{\text{room}}]^{1/3} [H_{\text{low}}^{5/3} + (H_{\text{low}} - H_{\text{room}} + 1.8)^{5/3}] \quad (5)$$

假設為同一場所且樓板及天花板無高低差，因此， $(\alpha_m + \alpha_f)$ 及居室面積皆為定值，所以影響煙生成量唯一變數確為天花板高度 $(H_{\text{low}}^{5/3})$ 。

另有關計算層下降時間公式：

$$t_s = (A_{\text{room}} \times (H_{\text{room}} - 1.8)) \div \max(V_s - V_e, 0.01) \quad (11)$$

如上述條件說明，於無排煙狀態下，代表蓄煙體積的分子，天花板高度當然是主要影響因素，再除以煙生成量，即得煙層下降至 1.8m 的時間，而為能更明確分析其相對應關係，以本研究辦公場所為例，繼續計算天花板高度 6m 及 7m 的結果，以總體分析相對應關係，計算結果如下所示。

表 4.3-1 辦公場所天花板高度 6m 無機械排煙煙層下降時間

項次		單位	辦公場所	備註
居室面積	A_{room}	(m^2)	400	
基準點起算之平均天花板高度	H_{room}	(m)	6.0	
可燃物發熱量	q_l	(MJ/m^2)	560	
堆積可燃物火災成長率	α_f		0.09892	$2.6 \times 10^{-6} q_l^{5/3}$
裝修材料火災成長率	α_m		0.0035	耐燃一級
煙的產生量	V_s	(m^3/min)	697.30889	
有效排煙量	V_e	(m^3/min)	0	
火災室煙層下降時間	T_{s1}	(min)	2.409626	

表 4.3-2 辦公場所天花板高度 7m 無機械排煙煙層下降時間

項次		單位	辦公場所	備註
居室面積	A_{room}	(m^2)	400	
基準點起算之平均天花板高度	H_{room}	(m)	7.0	
可燃物發熱量	q_l	(MJ/m^2)	560	
堆積可燃物火災成長率	α_f		0.09892	$2.6 \times 10^{-6} q_l^{5/3}$
裝修材料火災成長率	α_m		0.0035	耐燃一級
煙的產生量	V_s	(m^3/min)	877.3699	
有效排煙量	V_e	(m^3/min)	0	
火災室煙層下降時間	T_{s1}	(min)	2.370722	

由上述結果發現，煙層下降時間並未隨著天花板高度的增加而明顯增加，天花板高度 6m 的煙層下降時間與天花板高度 5m 的煙層下降時間幾乎一樣，而天花板高度 7m 的煙層下降時間甚至較天花板高度 4m 的煙層下降時間更快，分析其最主要原因在於影響蓄煙空間的天花板高度(H_{ROOM})僅為一次方且須減去 1.8m 的安全高度，但影響煙生成量的天花板高度卻為 5/3 次方。

因此，當天花板高度等數增加時，相對蓄煙體積僅能依居室面積等倍數增加，而煙生成量卻因天花板高度增加而成 5/3 次方，所以

當天花板高度增加至 7m 時，煙層下降時間不因增加蓄煙空間而增加，卻因空間增加的煙生成量大於所增加的蓄煙空間而加快煙層下降時間，但這與實際模擬的結果落差很大，該公式的計算結果確實存在不合理性。

表 4.3-3 Route B 辦公場所計算天花板高度與煙層下降時間差異對照表

項次	天花板高度 (M)	煙層下降時間		差異
		(min)	(sec)	
1	3	1.73758	104	-
2	4	2.22583	134	+20
3	5	2.378	143	+9
4	6	2.409626	145	+2
5	7	2.370722	142	-3

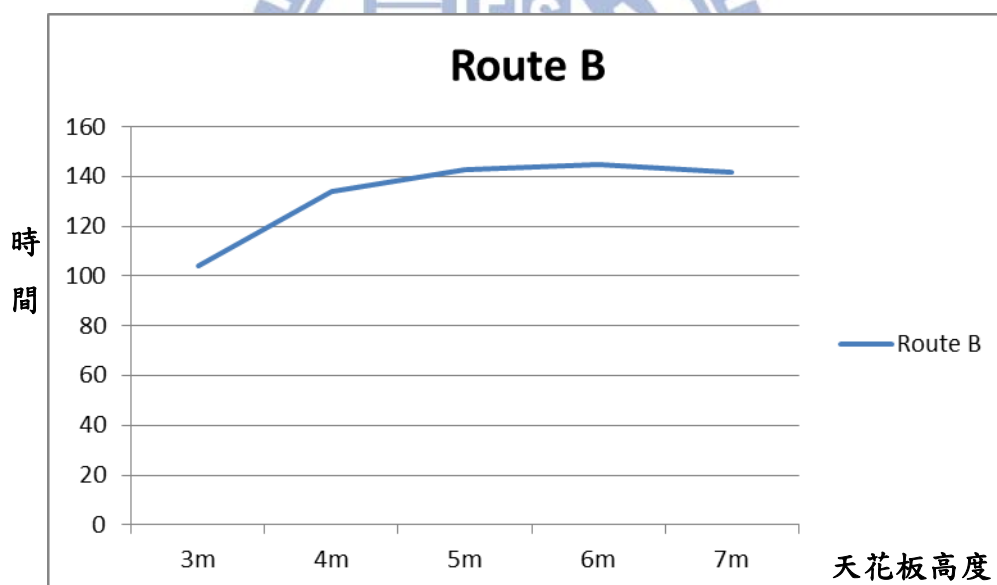


圖 4.3-1 Route B 辦公場所天花板高度與煙層下降時間差異對照曲線圖

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究可綜合歸納下列各點結論：

5.1.1 火載量之設定

如 2.3.3 節所述手冊所定義之火載量計算方式並無法換算 FDS 所須輸入之熱釋放率，此為本研究最難相互驗證之部分，問題在於手冊所定義之堆積可燃物之單位為 MJ/m²，而 FDS 之所須熱釋放率單位為 KW/m²，即瓦特應等同於單位時間內所作功焦耳之功率，因此，手冊內所定義之焦耳單位應為產生瓦特功率作用單位時間內所需做的功，或稱瓦特·秒，所以該單位即應缺少合理之時間單位，致整組公式無法推算出合理的對應單位。

為此於 FDS 驗證時參照手冊第 2.2.3 節 t² 火災曲線圖，採快速及極快速起火模式進行模擬，以公式 $Q=\alpha(t_0-t)^2$ 計算單位時間內所產生的熱能。由於兩種單位無法驗證何者較為嚴苛，因此假設二種數值運用於 Route B 及 Route C 皆為合理。

5.1.2 煙產生量之設定

因 Route B 計算煙產生量的公式為定值，所計算的煙產生量亦為定量，而 FDS 可藉由輸入不同燃料特性中的煙產生量 (SOOT_YIELD)，而產生不同的模擬結果，本研究就此特性所模擬的結果即發現辦公室場所案例中，SOOT_YIELD=0.042kg/kg 時，於天花板高度 3m 及 4m 時，煙層下降時間相符，而於百貨商場案例中，SOOT_YIELD 卻須設定為 0.02kg/kg，於天花板高度 3m 及 4m 時，煙層下降時間才能相符，但以上結果並不能說明何種方式較嚴苛，僅驗證於此二種場所案例所對應煙產生量的差異性。

另外第 4.1.2 節研究發現僅天花板高度 3m 及 4m 可符合模擬結果，卻於天花板高度 5m 時，Route C 所模擬的煙層下降至 1.8m 時間，相較於 Route B 的計算時間較為長，而且 Route B 甚至於天花板 7m 所計算煙層下降時間相較天花板於 5m 時更短，因為 Route B 採用的公式以整體空間計算煙產生量，因此相對天花板高度愈高時，相較蓄煙容積的比例便會造成煙層下降時間反而更快，但於模

擬過程中可發現隨時間的增加煙層逐漸層積下降時，此時煙產生量受煙層佔據起火空間而改變條件，即此時空間內的高度已非原始的空間高度，煙產生量也相對受影響而減少，因此才產生於天花板高度 5m 以上時有不同的結果。

5.1.3 執行者的資格限制

目前 Route B 於手冊上即有明文規定執行者的條件與資歷，但目前對於 Route C 尚無確切的規範，此點是值得加以探討訂定之必要性。

綜上所論，本研究以不同情境及設定條件模擬後，就煙產生量設定而言，FDS 所設定的煙產生量配合 Route B 不同條件下，亦會產生不同的 SOOT_YIELD 設定值，而當天花板超過 5M 時所產生不同的結果，因一般辦公場所及百貨商場之天花板高度皆於 5M 以下，所以也驗證目前百貨商場可適用 Route B 作為性能式之驗證法，事實上目前國內天花板高度不高的居室($H < 4m$)都用 Route B 進行運算，因為較容易調整參數，也比較快，所以有時儘管所計算的避難時間只比煙層下降時間快不到 2 秒，即便如此，申請仍然屬於安全範圍，因此除非有挑高中庭之類似場所，才再佐以 Route C 驗證法，否則一般仍以 Route B 作為主要的驗證法。

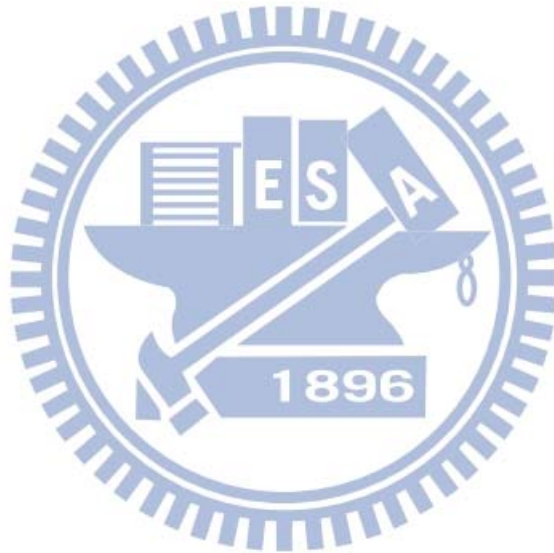
5.2 建議

5.2.1 設計天花板高度之建議

Route B 驗證法之主要精髓即在如何讓煙層下降至 1.8 公尺之時間較長於人員避難時間，因此，最重要之關鍵便在於如何延長煙層下降時間或縮短人員避難時間，縮短人員避難時間最方便之方式為增加門開寬度，但於一般建築設計中，門開寬度有一定限制，並不能任意加大，而增加天花板的高度為另一符合安全驗證之方式，可延長煙層下降時間最快的方式，但經本研究發現天花板增加超過 5M 時，以 Route B 計算時，並非較有利的設計，因此建議以 Route B 作為檢證法時，天花板高度以 4M 最為適當，如尚無法符合安全需求時，便須考量門開寬度或增加排煙能力等因素來加速避難時間或延長煙層下降時間。

5.2.2 煙產生量設定之建議

以往於進行 FDS 模擬時，對於燃燒物的選用通常依場所特性為之，但如對照 Route B 的條件，本研究的結果發現，煙產生量的設定值應以不超過 0.042kg/kg 為基準，而該數值正為煤油燃料的設定值，相對於二種驗證法而言應較公平。



參 考 文 獻

- [1] 陳建忠，建築物防火避難安全性能驗證技術手冊，內政部建築研究所，台北，民國九十三年。
- [2] 何明錦，簡賢文，建築物防火避難安全性能驗證技術手冊修訂研究，內政部建築研究所，台北，民國九十七年。
- [3] 日本避難安全檢證法解說及計算案例解說，日本，2001。
- [4] FDS(Version 5)User's Guide，NIST，U.S. Department of Commerce，September 6，WASHINGTON，2010。
- [5] 邱晨瑋，高科技廠無塵室防火工程性能式設計，鼎茂圖書出版股份有限公司，台北，民國九十八年。
- [6] NFPA 92B，GUIDE for Management System in Mall, Atria, and Large Areas，Massachusetts USA，2000。
- [7] NFPA 101，Life Safety Code，Massachusetts USA，2000。
- [8] NFPA 204，Guide for Smoke and Heat Venting，Massachusetts USA，2000。
- [9] 陳俊勳，建築防、排煙技術及簡易二層法之案例簡介，內政部建築研究所，台北，民國九十五年。
- [10] 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劃研究，內政部建築研究所，台北，民國八十八年。
- [11] 陳俊勳，建築物火災成長延燒防止技術之性能式設計法研究，內政部建築研究所，台北，民國九十年。
- [12] 楊冠雄，建築物防火之煙控設計分析，高雄復文圖書出版社，高雄，民國八十五年。
- [13] 蔡匡忠，性能設計與設計火源檢證研究火載量與閃燃時間評估在性能法規上之應用研究，內政部建築研究所，台北，民

國九十四年。

- [14]江崇誠、沈子勝、陳建忠，高層辦公建築避難演練驗證與避難安全評估之研究，內政部建築研究所，台北，民國九十二年。
- [15]何明錦、簡賢文、陳建忠，性能式防火避難安全設計法之研究(二)煙控與避難驗證及審查技術規範，內政部建築研究所，台北，民國九十一年。
- [16]何明錦、江崇誠，建築物利用實態與人員避難行動特性之調查研究(一)以「百貨公司」為例，內政部建築研究所，台北，民國八十八年。
- [17] ISO 16732，Fire Engineering-Guidance on Fire Risk Assessment, Section 4.2.1, International Organization for Standardization (ISO)
- [18] ISO 13387-2，Fire Engineering-Part 2: Design Fire Scenarios and Design Fires, Section 5.2, Step 1 and Step 2 Identification of important design fire scenarios, International Organization for Standardization (ISO)
- [19] D. Peter Lund, CAE, International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, in Proceedings: Inteenational Council for Building Research Studies and Documentation (CIB), The Netherlards, Ottawa, Ontario, Canada, September 24-26, 1996.
- [20]林木榮、黃崇綺，「性能式火災安全設計發展之介紹」，工業安全科技季刊，第二十九期，民國八十八年。
- [21]雷明遠，「國內功能性防火安全設計技術發展現況」，經濟部工業工安環保報導，第五期，民國九十年。