

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

防煙壁與排煙口位置對煙層高度影響之研究

Study on the Location of Smoke Barrier and Exhaust Port:
Its Relation with and Influence on Smoke Layer Height

研究生：洪聖旻

指導教授：陳建忠教授

金大仁教授

中華民國九十八年九月

防煙壁與排煙口位置對煙層高度影響之研究

Study on the Location of Smoke Barrier and Exhaust Port:
Its Relation with and Influence on Smoke Layer Height

研究生:洪聖旻 Student : Shen-Ming Hung

指導教授:陳建忠 Advisor : Chien-Jung Chen

金大仁 Advisor : Tai-Yan Kam

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

SEP 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年九月

防煙壁與排煙口位置對煙層高度影響之研究

學生:洪聖旻

指導教授:陳建忠

金大仁

國立交通大學工學院產業安全與防災碩士班

摘要

排煙設備為目前公共場所及大型空間常見之消防安全設備，惟現行消防安全設備設置標準採條列式規定，遇建築物形態構造較不同者，其排煙口與防煙壁設置即有許多法規規定與實務適用之問題，故性能式煙控設計研究方興未艾。97年05月15日各類場所消防安全設備設置標準修正後增加之規定，「防煙壁下垂高度未達八十公分時，排煙口應設在該防煙壁之下垂高度內」，其立意似與建築物防火避難安全性能驗證技術手冊中防煙壁規定相同。惟防煙壁設置之目的為何，其與蓄積煙層高度之關係，有待更進一步研究。

本研究欲利用目前許多國內外學者使用並經驗證之CFD火災模擬軟體-FDS (Fire Dynamics Simulator)為模擬工具，針對現行法規規定排煙口與防煙壁裝置位置與性能深入研究，瞭解目前規定之性能為何，並比較中國、日本相關規定，探討其排煙設備設置目的，綜合法規比較及模擬結果，提出可供我國排煙設備相關規定修正之建議。

Study on the Location of Smoke Barrier and Exhaust Port: Its Relation with and Influence on Smoke Layer Height

Student : Shen-Ming Hung

Advisor: Chien-jung Chen

Advisor: Tai-Yan Kam

Degree Program of Industrial Safety and Risk Management College of Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

Smoke control equipments are the common fire safety equipment installed in public places and large space now. However, the existing standard for installation of fire safety equipments is assuming the form of prescription code, so when the building type or structure is different from the norm, problems are likely to emerge as how to apply the regulations to and how to actually perform the installation of exhaust port and smoke barrier. This is why the design and research of performance-based smoke control are just in the ascendant. On May 15th, 2008, Standard for Installation of Fire Safety Equipments Based on Use and Occupancy were revised with a new provision, “...and the depth of the draft curtain is under 80 cm, the vent shall be installed within the depth of the overhanging draft curtain.” This idea seems to be similar with the regulation for smoke barriers in Handbook of Verification Method for Building Fire Egress Safety. Nevertheless, the purpose of installing smoke barriers and its relationship with the thickness of smoke deserve further researching.

The thesis will use CFD-FDS (Fire Dynamics Simulator), the certified simulator used by scholars all over the world, to conduct research on the existing regulations for the position and function of exhaust port and smoke barrier. In doing so, the thesis will explore what function the current regulations has required. Moreover, by comparing related regulations of China and Japan, the thesis will probe into the aim of installing smoke control equipments. Together with comprehensive comparison of regulations and simulation results, the thesis will offer advice on revision of the regulations for smoke control equipments.

誌 謝

少年易老學難成，一寸光陰不可輕，未覺池塘春草夢，階前梧葉已秋聲。這是宋朝朱熹的詩句，恰巧也是我現在的寫照。匆匆三年已過，現才頓時驚覺。總覺得還未到寫論文的時候，待要動筆之時，卻又有種種繁務纏身。但三年之中也完成學分修讀、完成終身大事、渡蜜月、歷經兩次職務調動、EMT II 訓練等人生經歷，這三年確實過得一點都不浪費。也因如此，總在工作與論文寫作中奮鬥，雖未焦頭爛額卻也左支右絀，求學之道實為艱辛。

非常感謝陳建忠老師，於學生撰寫論文期間悉心指導，因為工作因素所以在短時間內密集的與老師 meeting 並完成論文，造成老師您的不便在此向您說聲道歉。亦感謝金大仁老師給予學生邏輯思考之訓練，論文每遇困境，老師總能給我一盞學海明燈。當然也要感謝跟我一起找老師 meeting，奮鬥論文的同學淑惠，讓我完成論文的現在覺得，有同學真好。還有幫我組了一台夠快電腦，讓我跑 FDS 時間大幅縮短的高中好友文富。最後感謝父母親與家人的支持鼓勵，及我的另一半寧慧的默默支持。當然也不能忘了感謝，在我寫論文時總在腳邊晃來逛去靜靜陪伴的愛犬米魯酷。有了你們，才有今天這篇論文的產生！

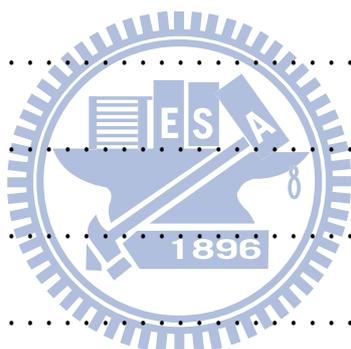
目錄

摘要.....	III
ABSTRACT.....	IV
誌謝.....	V
<u>目錄</u>	VI
<u>表目錄</u>	X
<u>圖目錄</u>	XI
<u>符號說明</u>	XVI
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.1.1 研究動機.....	1
1.1.2 研究目的.....	1
1.2 研究範圍與限制.....	2
1.2.1 研究範圍.....	2
1.2.2 研究限制.....	3
1.3 研究架構與研究流程.....	3
1.3.1 研究架構.....	3
1.3.2 研究流程.....	4
第二章 法規回顧	6

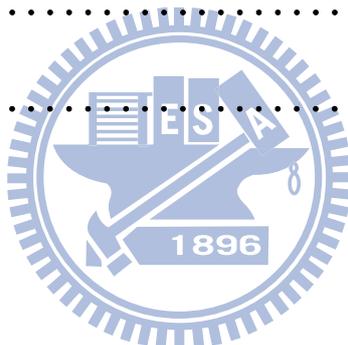
2.1 消防相關法規規定	6
2.1.1 各類場所消防安全設備設置標準	6
2.1.2 各類場所消防安全設備設置標準規定疑義解釋內授消字第 0960824121 號	9
2.1.3 各類場所消防安全設備設置標準規定疑義解釋內授消字第 0970821322 號	10
2.1.4 小結	13
2.2 建築相關法規規定	13
2.2.1 建築技術規則建築設計施工編規定	13
2.2.2 小結	16
2.3 日本相關排煙規範	16
2.3.1 消防法施行規則	16
2.3.2 建築基準法施行令	17
2.3.3 小結	19
2.4 中國相關排煙規範	20
2.4.1 中國建築設計防火規範	20
2.4.2 高層民用建築設計防火規範	22
2.4.3 小結	22
2.5 綜合分析	23



第三章 研究方法	26
3.1 研究工具-FDS 模擬軟體	26
3.1.1 FDS 原理	26
3.1.2 FDS 架構	30
3.2 FDS 驗證	31
3.2.1 其他學者驗證案例	31
3.2.2 FDS 實際模擬驗證	37
3.2.3 小結	44
3.3 實驗設計	45
3.3.1 火源設計	45
3.3.2 煙層高度判定	48
3.3.3 空間設計	50
3.3.4 模擬格點選定	51
3.3.5 排煙設備設計	53
3.4 FDS 模擬情境設定	53
第四章 FDS 模擬實驗結果	57
4.1 各情境平均煙層高度與時間關係圖	57
4.1.1 樓高 4.5m，防煙壁高 0.5m 情境組	57
4.1.2 樓高 4.5m，防煙壁高 0.8m 情境組	61
4.1.3 樓高 4.5m 對照情境組	65



4.1.4 排煙口高度 4.5m 全時開啟情境組	67
4.1.5 樓高 3m 之情境組	69
4.2 各情境煙層跨越防煙壁時間及第 120 秒時煙層分布情形	73
4.2.1 各情境煙層跨越防煙壁時間比較	73
4.2.2 各情境第 120 秒時煙層狀況圖	85
4.3 小結	98
第五章 結論與建議	107
參考文獻	111
附錄	116



表目錄

表 1 居室排煙設備裝置位置規定比較表(本研究整理).....	24
表 2 穩定火源設計基準表.....	46
表 3 T-squared 火源對照表.....	47
表 4 高度 4.5m FDS 模擬空間特性參數表.....	53
表 5 高度 3m FDS 模擬間特性參數表.....	54
表 6 FDS 模擬情境表.....	55
表 7 樓高 4.5m 之排煙口、防煙壁高度-平均煙層高度對照表	98
表 8 樓高 3m 之排煙口、防煙壁高度-平均煙層高度對照表	100
表 9 樓高 4.5m 之防煙壁高度-阻煙性能對照表.....	102
表 10 樓高 3m 之防煙壁高度-阻煙性能對照表.....	103
表 11 各情境煙層跨越防煙壁位置時間表.....	105

圖目錄

圖 1 研究架構圖	4
圖 2 研究流程圖	5
圖 5 平均天花板高度示意圖	12
圖 6 有效排煙量計算流程	14
圖 7 排煙效果係數計算流程	15
圖 8 FDS 工作流程圖	31
圖 9 VTT 驗證實驗空間尺寸圖	38
圖 10 VTT 驗證實驗 1 空間示意圖(火源 2MW，自然通風關閉)	39
圖 11 VTT 驗證實驗 2 示意圖(火源 3MW，自然通風關閉)	39
圖 12 VTT 驗證實驗 3 示意圖(火源 4MW，機械排煙開啟)	40
圖 13 VTT 驗證實驗 1 第 120 秒熱電耦所在斷面煙層高度示意圖	41
圖 14 VTT 驗證實驗 1 第 240 秒熱電耦所在斷面煙層高度示意圖	41
圖 15 VTT 驗證實驗 1 第 360 秒熱電耦所在斷面煙層高度示意圖	42
圖 16 VTT 驗證實驗 1 第 480 秒熱電耦所在斷面煙層高度示意圖	42
圖 17 VTT 驗證實驗 1 煙層高度比較圖	43
圖 18 VTT 驗證實驗 2 煙層高度比較圖	43
圖 19 VTT 驗證實驗 3 煙層高度比較圖	44
圖 20 初步煙層位置示意圖	49
圖 21 N-百分比法原理示意圖	50
圖 22 不同格點之時間平均軸心速度 (熱釋放率=24kW)	52

圖 23 不同格點之時間平均軸心溫度 (熱釋放率=24kW)	52
圖 24 FDS 模擬空間示意圖	55
圖 25 情境 1 平均煙層高度時間圖	58
圖 26 情境 2 平均煙層高度時間圖	58
圖 27 情境 3 平均煙層高度時間圖	59
圖 28 情境 4 平均煙層高度時間圖	59
圖 29 情境 5 平均煙層高度時間圖	60
圖 30 情境 6 平均煙層高度時間圖	60
圖 31 情境 7 平均煙層高度時間圖	61
圖 32 情境 8 平均煙層高度時間圖	62
圖 33 情境 9 平均煙層高度時間圖	62
圖 34 情境 10 平均煙層高度時間圖	63
圖 35 情境 11 平均煙層高度時間圖	63
圖 36 情境 12 平均煙層高度時間圖	64
圖 37 情境 13 平均煙層高度時間圖	64
圖 38 情境 14 平均煙層高度時間圖	65
圖 39 情境 15 平均煙層高度時間圖	66
圖 40 情境 16 平均煙層高度時間圖	67
圖 41 情境 17 平均煙層高度時間圖	68
圖 42 情境 18 平均煙層高度時間圖	68
圖 43 情境 19 平均煙層高度時間圖	69



圖 44 情境 20 平均煙層高度時間圖.....	70
圖 45 情境 21 平均煙層高度時間圖.....	70
圖 46 情境 22 平均煙層高度時間圖.....	71
圖 47 情境 23 平均煙層高度時間圖.....	71
圖 48 情境 24 平均煙層高度時間圖.....	72
圖 49 情境 1 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	73
圖 50 情境 2 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	74
圖 51 情境 3 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	74
圖 52 情境 4 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	75
圖 53 情境 5 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	75
圖 54 情境 6 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	76
圖 55 情境 7 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	76
圖 56 情境 8 第 24 秒時煙層跨越防煙壁.....	77
圖 57 情境 9 第 24 秒時煙層跨越防煙壁.....	77
圖 58 情境 10 第 22 秒時煙層跨越防煙壁.....	78
圖 59 情境 11 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	78
圖 60 情境 12 第 22 秒時煙層跨越防煙壁.....	79
圖 61 情境 13 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	79
圖 62 情境 14 第 22 秒時煙層跨越防煙壁.....	80
圖 63 情境 15 第 60 秒煙層情形.....	80
圖 64 情境 16 第 20 秒時煙層達空間正中央(防煙壁)位置	81

圖 65 情境 17 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	81
圖 66 情境 18 第 20 秒時煙層跨越防煙壁.....	82
圖 67 情境 19 第 22 秒時煙層跨越防煙壁.....	82
圖 68 情境 20 第 22 秒時煙層跨越防煙壁.....	83
圖 69 情境 21 第 24 秒時煙層跨越防煙壁.....	83
圖 70 情境 22 第 22 秒時煙層跨越防煙壁.....	84
圖 71 情境 23 第 22 秒時煙層跨越防煙壁.....	84
圖 72 情境 24 第 26 秒時煙層跨越防煙壁.....	85
圖 73 情境 1 第 120 秒煙層狀況圖.....	86
圖 74 情境 2 第 120 秒煙層狀況圖.....	86
圖 75 情境 3 第 120 秒煙層狀況圖.....	87
圖 76 情境 4 第 120 秒煙層狀況圖.....	87
圖 77 情境 5 第 120 秒煙層狀況圖.....	88
圖 78 情境 6 第 120 秒煙層狀況圖.....	88
圖 79 情境 7 第 120 秒煙層狀況圖.....	89
圖 80 情境 8 第 120 秒煙層狀況圖.....	89
圖 81 情境 9 第 120 秒煙層狀況圖.....	90
圖 82 情境 10 第 120 秒煙層狀況圖.....	90
圖 83 情境 11 第 120 秒煙層狀況圖.....	91
圖 84 情境 12 第 120 秒煙層狀況圖.....	91
圖 85 情境 13 第 120 秒煙層狀況圖.....	92



圖 86 情境 14 第 120 秒煙層狀況圖.....	92
圖 87 情境 15 第 120 秒煙層狀況圖.....	93
圖 88 情境 16 第 120 秒煙層狀況圖.....	93
圖 89 情境 17 第 120 秒煙層狀況圖.....	94
圖 90 情境 18 第 120 秒煙層狀況圖.....	94
圖 91 情境 19 第 120 秒煙層狀況圖.....	95
圖 92 情境 20 第 120 秒煙層狀況圖.....	95
圖 93 情境 21 第 120 秒煙層狀況圖.....	96
圖 94 情境 22 第 120 秒煙層狀況圖.....	96
圖 95 情境 23 第 120 秒煙層狀況圖.....	97
圖 96 情境 24 第 120 秒煙層狀況圖.....	97
圖 97 樓高 4.5m 情境-煙層高度比較圖.....	99
圖 98 樓高 3m 情境-煙層高度比較圖.....	100
圖 99 樓高 4.5m 防煙壁-火源側煙層高度比較圖.....	102
圖 100 樓高 3m 防煙壁-火源側煙層高度比較圖.....	103

符號說明

E : 每一防煙區劃之排煙量

A^* : 每一防煙區劃之排煙有效係數

V_e : 該居室有效排煙量

A_{room} : 該居室樓地板面積

H_{top} : 該居室最大高度

A_{sc} : 防煙區劃面積

H_w : 防煙壁下緣高度

\bar{H}_{st} : 有效開口上端之平均高度

W : 有效排煙口之排煙能力

ρ : 流體密度

u 、 v 、 w : 三維方向之速度

g : 為重力加速度

T : 溫度

C_p : 比熱

k : 熱傳導係數

p : 壓力

R : 理想氣體常數

H : 總壓力

D^* : 特徵火源直徑

\dot{Q} : 熱釋放率



ρ_0 : 空氣密度

C_0 : 空氣比熱

T_0 : 環境溫度

Q : 火源的熱釋放率

a : 火源的成長係數

t : 開始燃燒後的時間

t_0 : 著火時間

$\Delta T_{ref}(t)$: 煙層下降至測點之溫度與環境溫度之差

$T(z_{all}, t)$: 煙層至某測點之溫度

$T_{amb}(z_{all})$: 當時所在環境溫度

Z : 樓層高

T_u : 氣體上層溫度

T_l : 氣體下層溫度

z_{int} : 氣體中介面高度。



第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

1.1.1 研究動機

排煙設備為目前公共場所及大型空間常見之消防安全設備，現行法規規定大於 100 平方公尺之居室即須設置排煙設備。現行消防安全設備設置標準乃採條列式規定，但目前眾多新型態建築物因構造、用途關係無法適用排煙設備規定，而委託學者、專家採煙控設計送消防署專案審核¹。且產、學界已有許多針對特定空間之煙控、性能式排煙等相關研究，儼然成為排煙研究之主流。惟上述特殊空間型態建物畢竟屬於少數，其餘為數眾多之一般建築物仍適用現行法規，其排煙設備之排煙口²與防煙壁設置仍有許多適用之問題，造成設計、裝置、審查及檢查之困難，故本研究欲針對現行排煙法規中之排煙口與防煙壁之高度、位置等規定，利用FDS軟體做一基礎研究，以期解決其設計、裝置上之困難。而過去各類場所消防安全設備設置標準與建築技術規則皆對防煙壁與排煙口設置有所規範，兩者條文多所不同。但民國 97 年 03 月 13 日建築技術規則修訂及民國 97 年 05 月 15 日各類場所消防安全設備設置標準修正後排煙設備相關條文已可以競合，其面臨相同之困境。希能以此研究瞭解防煙壁、排煙口之作用與性能，以做為法規修正之芻議。

1.1.2 研究目的

¹依各類場所消防安全設備設置標準第 2 條規定。

² 本研究之排煙口僅限於機械排煙。

目前我國各類建築物建造時所遵循的消防安全設備法規，為「各類場所消防安全設備設置標準」。本法中，有關排煙口與防煙壁設置位置部分，僅規定防煙壁下垂之深度、排煙口位置等。各類場所消防安全設備設置標準第 188 條第三項規定：「…排煙口設於天花板或其下方八十公分範圍內…前項之防煙壁，指以不燃材料建造，自天花板下垂五十公分以上之垂壁或具有同等以上阻止煙流動構造者…」。以修法前之防煙壁功能而言，其明文為阻止煙流動之構造。但修法後又加註「防煙壁下垂高度未達八十公分時，排煙口應設在該防煙壁之下垂高度內」，此規定似賦予防煙壁蓄煙供排煙口排煙之作用，並更嚴格限制排煙口位置。且高 50 公分以上之天花板下結構物即為防煙壁。以目前建築物狀況而言，若防煙壁下垂高度未達八十公分時，排煙口應設在該防煙壁之下垂高度內，則樓板荷重大之場所，如工廠等，其樓板下必以較密之格子樑設計以承重。若該場所之樑深皆大於 50 公分，則以現行法規規定每一格子樑區劃皆須設置排煙口且須於防煙壁高度之上³。實際上施作困難且不符經濟效益，類似情形實所多見。故欲以本研究探討防煙壁其設置目的為何？及排煙口位置對煙層蓄積高度影響為何？並由研究結果提出合理有效之裝置建議。

1.2 研究範圍與限制

1.2.1 研究範圍

1. 以目前我國各類場所消防安全設備設置標準及建築相關法規中有關防

³ 依目前法規規定超過天花板下 50 公分之不燃構造物即為防煙壁。

煙壁及排煙口裝置規定為研究範圍，並比較日本、中國之相關法規，分析其規定差異及設置目的。

2. 探討我國相關規定中之防煙壁與排煙口，其設置位置對煙層之影響。
3. 本研究以美國NIST所製作之CFD火災模擬軟體FDS5.3為模擬實驗工具。

1.2.2 研究限制

1. 模擬實驗空間係依各類場所消防安全設備設置標準之規定應設防煙區劃空間，以 500m^2 為1區劃，共設2區劃，其中央設防煙壁分隔。模擬空間高度，依法若高於5米則排煙口可設於1/2樓地板高度即可，故高度採4.5m。研究空間尺寸為 $50\text{m}\times 20\text{m}\times 4.5\text{m}$ ，材質為混凝土。
2. 火源設計採較安全設計，其規模參考相關學者研究數據，採中等規模穩態丙烷火源位於一側區劃之角落處，釋熱率為2MW。
3. 排煙口為考慮研究結果收斂，於火源側設一組位於該區劃正中央，非採實務考慮風機能力及風損，將 500m^2 防煙區劃再予細分成更多小區劃。尺寸採實務常用 $0.6\text{m}\times 0.6\text{m}$ 尺寸。
4. 本研究係防煙壁及排煙口與煙層高度相對關係之研究，FDS除模擬煙流狀態及高度外，不考慮其他參數。
5. 本研究實際執行FDS模擬前已預做測試模擬，發現模擬至120秒時煙層已呈穩定狀態。故為節省模擬花費時間，FDS模擬時間共120秒。

1.3 研究架構與研究流程

1.3.1 研究架構

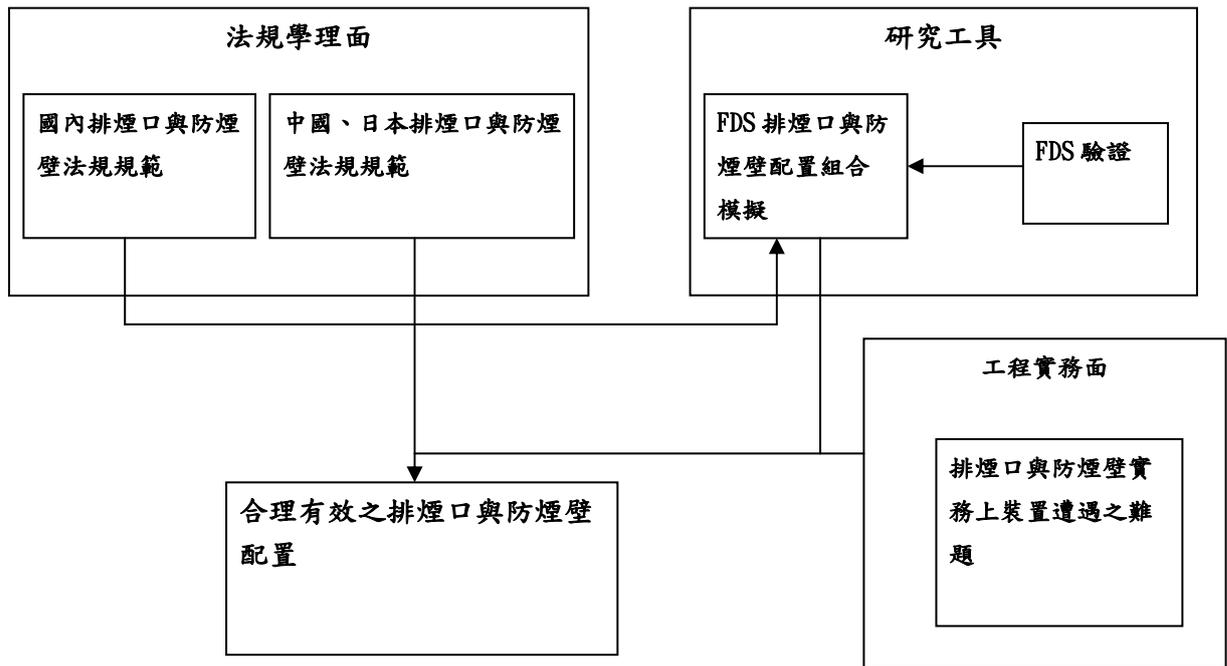


圖 1 研究架構圖

本研究之架構先比較各國相關之排煙條例式法規後，發現僅日本及中國有類似規定。故以我國規定與此二國規定做比較，探討其中之差異。並以我國目前排煙實務上所面對之問題做為參照，以期除改良目前規定矛盾之處且亦能解決目前實務上之困境。而使用之研究工具 FDS，先探討其使用限制及模擬之正確性，確保操作使用正確及能產出可用結果。以多種防煙壁及排煙口之配置探討防煙壁與排煙口之性能，並以結論探討防煙壁設置之實際功能為何與能因應多種建築型態之防煙壁、排煙口裝置規定。

1.3.2 研究流程

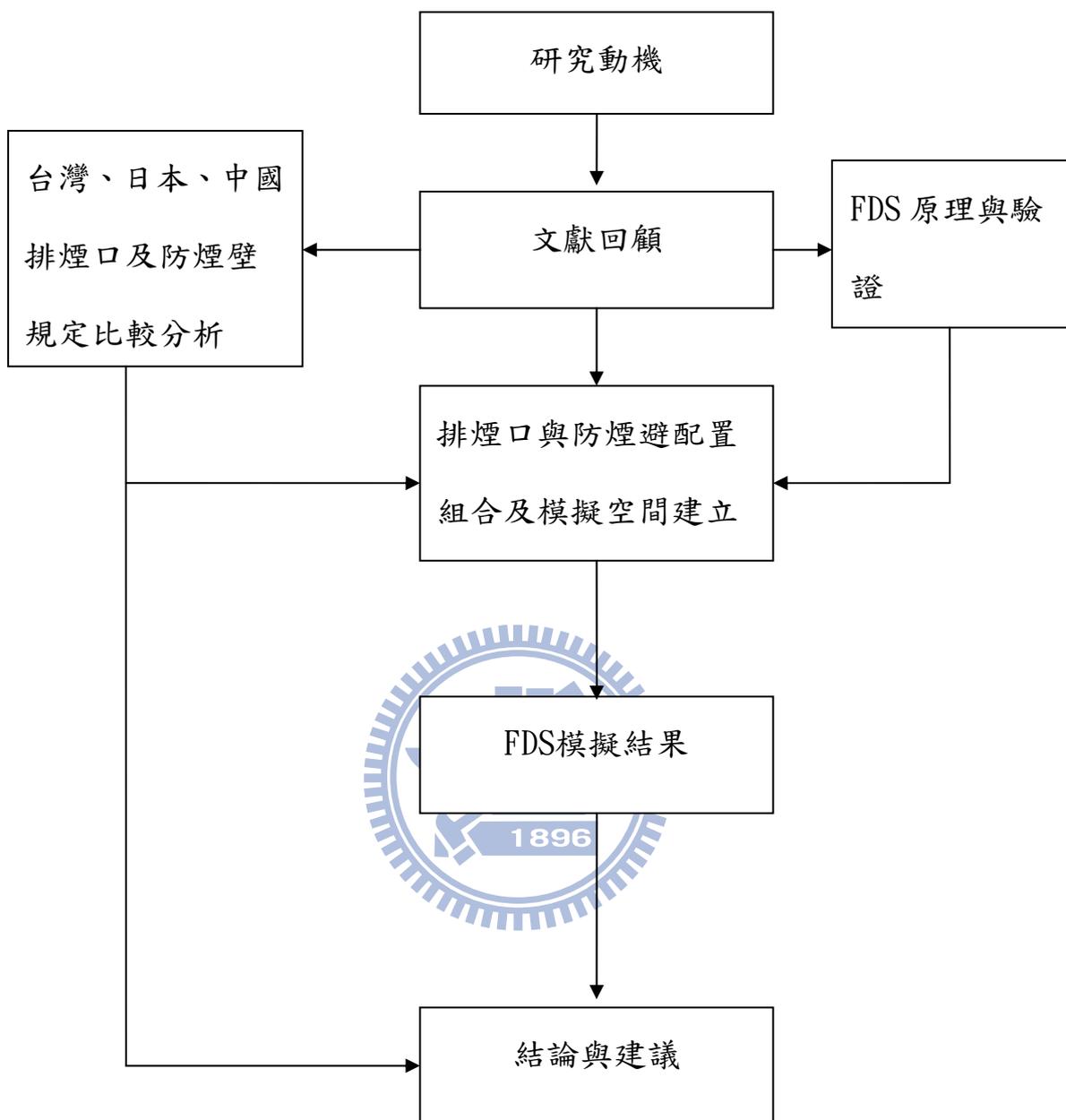


圖 2 研究流程圖

第二章 法規回顧

2.1 消防相關法規規定

排煙設備原規定於建築技術規則中，非屬消防安全設備。因民國 79 年至 86 年期間發生多起重大傷亡火災〔1〕，且火災產生之濃煙常造成消防人員搶救困難，故民國 82 年 12 月份召開內政部建管、消防專案協商小組第一次會議，並以內政部 82.12.3.台(82)內營字第 8289332 號函將室內排煙設備列入消防機關之消防安全設備審驗〔2〕。自民國 85 年修訂之各類場所消防安全設備設置標準中才明確規範室內排煙標準(78 年版各類場所消防安全設備設置標準中，只規範緊急昇降機間及特別安全梯間之排煙設備)。而於各類場所消防安全設備設置標準中之排煙設備分為 2 種，即自然排煙及機械排煙。自然排煙為採達樓地板面積 2%之天花板下 80 公分內開口，利用熱對流方式將煙排出。因其為排煙區劃全空間檢討，較少再以防煙壁區劃，幾無排煙口與防煙壁裝置位置之問題，故本研究不予討論。而機械排煙受限於風機能力、排煙口尺寸，通常有個別排煙口排煙能力之限制，故需將空間切割為符合其排煙能力之排煙區劃。有關排煙口與防煙壁規範如下。

2.1.1 各類場所消防安全設備設置標準

各類場所消防安全設備設置標準第 28 條為規定應設排煙設備場所，其主要須裝置場所為：

供第十二條第一款及第五款第三目所列場所使用，樓地板面積合計在五百平方公尺以上。

樓地板面積在一百平方公尺以上之居室，其天花板下方八十公分範圍內之有效通風面積未達該居室樓地板面積百分之二者。

樓地板面積在一千平方公尺以上之無開口樓層。

而前項場所之樓地板面積，在建築物以具有一小時以上防火時效之牆壁、平時保持關閉之防火門窗等防火設備及各該樓層防火構造之樓地板區劃，且防火設備具一小時以上之阻熱性者，增建、改建或變更用途部分得分別計算。

而第 188 條為應設後須如何設置之規定，主要規定有以下數項：

每層樓地板面積每五百平方公尺內，以防煙壁區劃。但戲院、電影院、歌廳、集會堂等場所觀眾席，及工廠等類似建築物，其天花板高度在五公尺以上，且天花板及室內牆面以耐燃一級材料裝修者，不在此限。

地下建築物之地下通道每三百平方公尺應以防煙壁區劃。

依第一款、第二款區劃（以下稱為防煙區劃）之範圍內，任一位置至排煙口之水平距離在三十公尺以下，排煙口設於天花板或其下方八十公分範圍內，除直接面向戶外，應與排煙風管連接。但排煙口設在天花板下方，防煙壁下垂高度未達八十公分時，排煙口應設在該防煙壁之下垂高度內。

排煙設備之排煙口、風管及其他與煙接觸部分應使用不燃材料。

排煙口之開口面積在防煙區劃面積之百分之二以上，且以自然方式直接排至戶外。排煙口無法以自然方式直接排至戶外時，應設排煙機。

排煙機應隨任一排煙口之開啟而動作。排煙機之排煙量在每分鐘一百二十立方公尺以上；且在一防煙區劃時，在該防煙區劃面積每平方公尺每分鐘一立方公尺以上；在二區以上之防煙區劃時，在最大防煙區劃面積每平方公尺每分鐘二立方公尺以上。但地下建築物之地下通道，其總排煙量應在每分鐘六百立方公尺以上。

前項之防煙壁，指以不燃材料建造，自天花板下垂五十公分以上之垂壁或具有同等以上阻止煙流動構造者。但地下建築物之地下通道，防煙壁應自天花板下垂八十公分以上。

97年5月15日各類場所消防安全設備設置標準修訂前，排煙口規定須裝置於天花板下80公分範圍內，防煙壁為天花板下50公分之不燃材料構造。以其規定來說防煙壁並無特別做為蓄煙供排煙口排煙之用，純為阻止煙流動之構造。但設置標準修訂後增加「但排煙口設在天花板下方，防煙壁下垂高度未達八十公分時，排煙口應設在該防煙壁下垂高度內」規定。以此規定凡防煙壁未達80公分則排煙口均應設在其下垂高度內，造成非地下建築物及地下通道之一般場所若應設排煙設備，則天花板下所有大於50公分之不燃構造物所圍起之範圍內，皆須裝置排煙口。因本條規定第一款第三項中明定依第一款、第二款區劃（以下稱為防煙區劃）之內，排煙口設於天花板或其下方八十公分範圍內，而此增加之規定將排煙口之位置限制於防煙壁之上，較法規修訂前明確¹，但卻造成排煙設備檢討及裝置之問

¹ 法規修訂前因未規範排煙口與防煙壁相對位置，故各縣市排煙設備審驗上有所不同。如可能將排煙口裝置於天花板下80公分後，要求再將防煙區劃用防煙壁向下延伸至低於排煙口位置，而若有其他大於50公分之防煙壁，則予以忽略。

題²。此應為法規邏輯出現衝突，應尋合理解決途徑。而法規於 28 條規定應設之場所，第 188 條規定應如何設置排煙設備(防煙壁、排煙口)，再於第 190 條規定如何免設。而大部分場所無論是否應設排煙設備，其天花板下必有可形成防煙壁之樑柱等構造，故形同已有設部分排煙設備。而若此場所應設排煙設備時，又須依法規規定區劃，但因已有部分已形成區劃之樑柱構造，則必使區劃更形複雜，甚產生衝突。又先規定應設場所再予以排除，此種法規編排邏輯必產生矛盾，合理方式為先規定排除之方式，無法滿足排除規定者才需設置排煙設備，此方式可避免法規自相矛盾之發生。

2.1.2 各類場所消防安全設備設置標準規定疑義解釋內授消字第

0960824121 號

提案六：依各類場所消防安全設備設置標準第188條應設置機械排煙設備之場所，天花板多處設有樑者，其排煙口及防煙壁設置疑義。

決議：應設排煙設備場所之樑為裸露式者，交錯之樑形成之各防煙區劃皆應設置排煙口。但其樓地板面積每500平方公尺防煙區劃內，防煙壁及排煙口之設置，符合各類場所消防安全設備設置標準第188條第1項第3款規定，並符合下列規範者，不在此限。

$$A+X \geq 50 \quad (1)$$

$$(A+X) - B \geq 30 \quad (2)$$

² 法規修訂前若遇天花板下格子樑(若均大於 50 公分)，雖大於 50 公分之可燃構造物皆為防煙壁，但排煙口可裝置於天花板下 80 公分內，只須註記某部分樑其為供防煙區劃區隔用即可符合規定。而修訂後排煙口須裝置於未滿 80 公分之防煙壁上方，則每一格子樑區劃之空間皆須裝置排煙口，困難度及成本大增。

式中，A：大樑深度（cm）。

B：中樑深度（cm）。

X：大樑下加設之垂壁高度（cm），其值得為0。

A+X：防煙壁下垂高度（cm）。

此疑義解釋規定應設排煙場所其天花板下裸露超過 50 公分之樑，其形成之區劃(以下簡稱格子樑區劃)內皆須設置排煙口，符合設置標準第 188 條之規定。惟此解釋規定之計算方式當大樑加防煙壁下垂高度(A+X)大於 80 公分時，中樑 B 為 50 公分則符合 $(A+X) - B \geq 30$ 。其結果表示認定以大樑(A+X)為防煙區劃之防煙壁，中樑 B 就算大於或等於 50 公分亦不為防煙區劃用防煙壁。此計算方式明顯違反設置標準第 188 條中「防煙壁，指以不燃材料建造，自天花板下垂五十公分以上之垂壁或具有同等以上阻止煙流動構造者」之規定，且若樑深皆大於 50 公分未滿 80 公分，則每一樑之區劃皆須設排煙口，亦不符合經濟。

2.1.3 各類場所消防安全設備設置標準規定疑義解釋內授消字第

0970821322 號

提案四：有關同一防煙區劃天花板高度不同時，排煙口之有效範圍認定疑義。

決議：按各類場所消防安全設備設置標準第188條第1項第3款明定，排煙口設

於天花板或其下方80公分範圍內；另內政部93年5月21日內授消字第

0930091048號令提案5決議明文，建築物天花板或斜屋頂與牆壁交接處

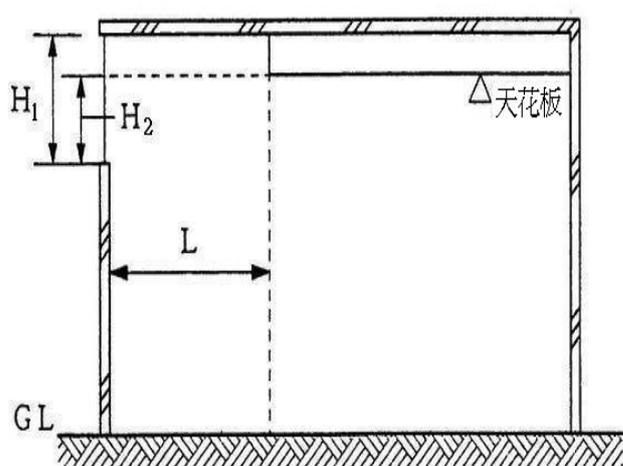
高度在5公尺以上，其排煙設備之排煙口符合所定要件者，該排煙口得

設於天花板或斜屋頂與牆壁交接處高度二分之一以上。至同一防煙區

劃之天花板高度不同時，其排煙口有效範圍，視實際個案空間配置條件，依下列方式之一認定：

一、天花板高度僅分為高低兩層，排煙口緊鄰較高天花板，則較高天花板之橫寬在80公分以上者，其排煙口之有效範圍，為較高天花板下方80公分範圍內；較高天花板之橫寬未達80公分者，其排煙口之有效範圍，為較低天花板下方80公分範圍內（圖3參照）。

二、核算平均天花板高度，視為前開規定天花板之高度。平均天花板高度未達5公尺者，其排煙口之有效範圍，為平均天花板高度下方80公分以上之範圍；平均天花板高度在5公尺以上者，其排煙口之有效範圍，為平均天花板高度二分之一以上之範圍。平均天花板高度，指防煙區劃部分樓地板面積除以防煙區劃部分容積之商（圖4參照）。



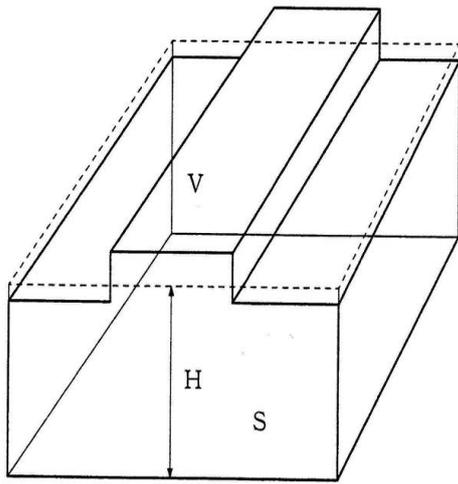
$L \geq 80\text{cm}$ 時，

H_1 為排煙口之有效範圍。

$L < 80\text{cm}$ 時，

H_2 為排煙口之有效範圍。 H_1 及 $H_2 \leq 80\text{cm}$ 。

圖3 有效天花板高度示意圖



$$H=V/S$$

式中，H：平均天花板高度(m)

V：防煙區劃部分之容積(m³)

S：防煙區劃部分之樓地板面積(m²)

圖 4 平均天花板高度示意圖

此疑義解釋第一項針對小範圍天花板高低差較無疑義，而第二項將較大範圍天花板高低差空間之天花板高度計算，採建築技術規則建築設計施工編第1條第1款第14項規定，以其室內樓地板面積除室內容積之商作天花板高度。若空間形狀與圖B類似則排煙口之裝置位置並無爭議，但若其空間剖面形狀如下圖5

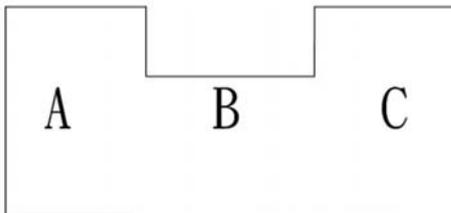


圖 5 平均天花板高度示意圖

則依此規定則平均天花板高度將高於較低處B，即平均天花板水平面將於A或C空間內。若B處天花板相對A及C處高低差大於50公分，依各類場所消防安全設備設置標準第188條規定「防煙壁，指以不燃材料建造，自天花板下垂五十公分以上之垂壁或具有同等以上阻止煙流動構造者」，則若排煙口設於A處，則就C處而言其受B處(可視為一超寬樑)之落差區劃，依2.1.3節

所述「應設排煙設備場所之樑為裸露式者，交錯之樑形成之各防煙區劃皆應設置排煙口」，則C處亦需設置排煙口。則此時若採平均天花板高度為基準，排煙口之設置即無法滿足前述相關規定。

2.1.4 小結

目前各項消防安全設備如發生法規疑義時，皆由消防署做統一疑義解釋。排煙設備相關疑義自各類場所消防安全設備設置標準施行以來，提問次數名列前矛，而針對所提出疑義之解釋通常未整體通盤考量，致解決此問題卻造成另一問題。今日修法後增加之排煙口須於防煙壁之上之規定，未經條文整體修正而直接加註，造成滯礙難行，且對防煙壁之名詞定義應更明確，及對其功能做基礎研究，以免造成實務應用上之誤解。我國法規常引用自國外先進國家，引用時應先瞭解其來龍去脈，如須修改以符合我國國情時，應整體修正而非僅修改部分，以免造成法規之自我矛盾。

2.2 建築相關法規規定

2.2.1 建築技術規則建築設計施工編規定

其第100條、第101條與第215之規定原則與各類場所消防安全設備設置標準第28條、第188條與第189條相同，其規定修訂後已可互通。而內政部建築研究所發行之建築物防火避難安全性能驗證技術手冊為依據建築技術規則總則篇第三條及第三條之四所稱「建築物防火避難安全性能設計計劃書」中之避難計劃之避難安全性能驗證規定〔3〕。其非採條例式之規定，而以公式之計算以得到一定之防火與避難性能，雖仍未達到完全針對場所量身

定做之性能式設計，但仍為我國性能式法規之濫觴。其中關於現行排煙相關計算簡述如後。

有效排煙口之排煙能力 E 乃依據排煙口的數量、排煙方式及設置位置計算；而排煙效果係數 A^* 則依據區劃內否設置防煙垂壁、設置之位置、防煙區劃之面積來計算，其流程如下〔4〕：

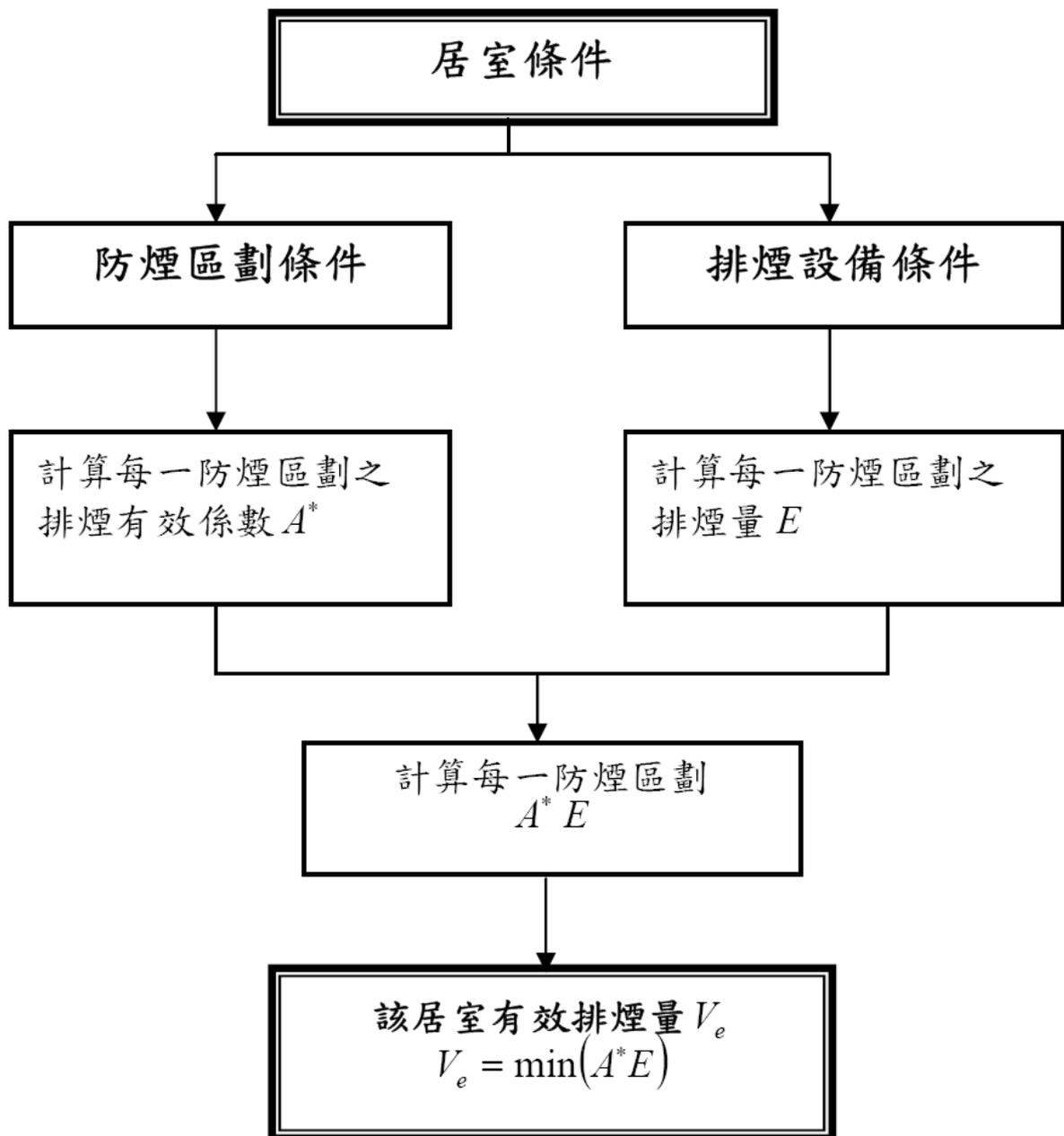


圖 6 有效排煙量計算流程

而居室無論分割為幾個防煙區劃，火源周邊之防煙區劃，因煙直接蓄積而煙層較厚，則有效排煙量大；反之若居室內部只有一防煙區劃，因區劃較大而使煙層較薄，有效排煙量也隨之變小。又排煙量會隨著煙層的厚度增加而增大，防煙壁的設置乃為使火源附近之煙層厚度增加，提高該防煙區劃排煙口之排煙能力。如防煙區劃較大之場所，其煙層蓄積時間長，則排煙效果係數小；但防煙壁高度較大之場所，其可蓄積較厚煙層，則排煙效果係數較大。排煙效果係數之計算流程如下：

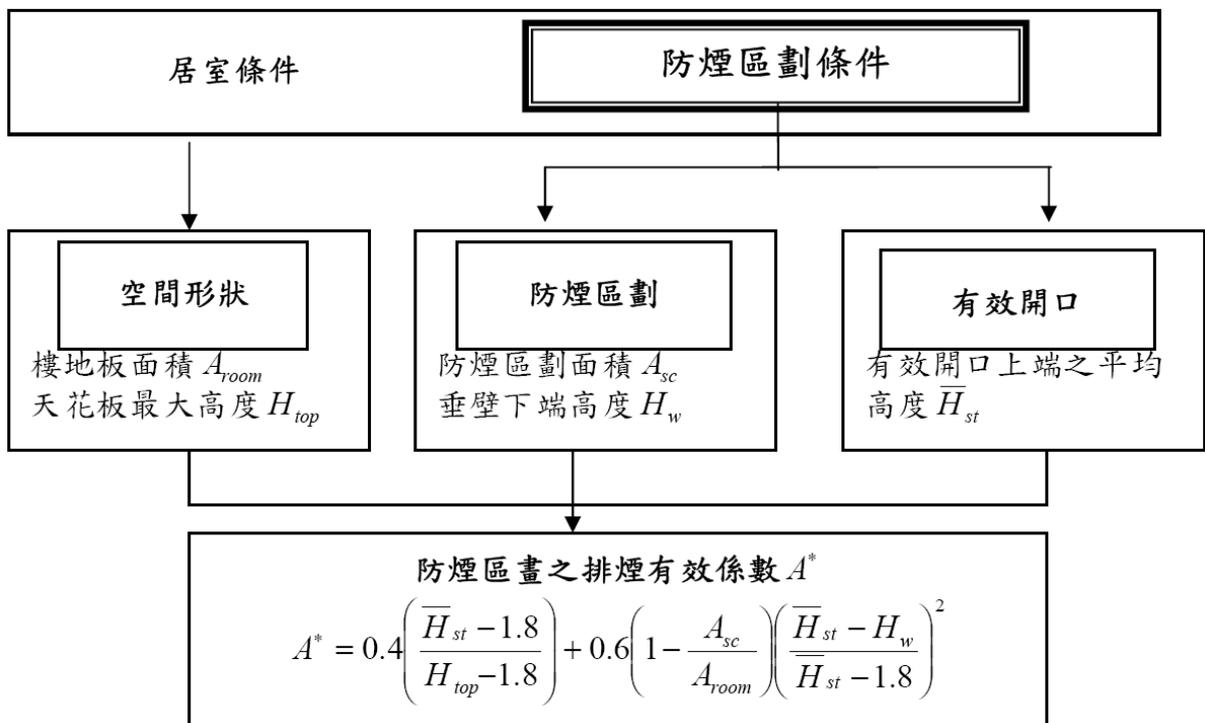


圖 7 排煙效果係數計算流程

而機械排煙之排煙量計算如下式

$$E = \min(\sum e) = \min \left(\sum \min \left\{ w, 3.9(H_c - 1.8)w^{2/3} \right\} \right) \quad (3)$$

(3)式中第一項 w 表示有效排煙口排出的能力，其排煙量值可能比實際排煙機的排煙能力小，故一般規定為其上限值。第二項 $3.9(H_c - 1.8)w^{2/3}$ (H_c 為排

煙口之高度)表示由排煙機所排除排煙口下方煙層之有效排煙量。由上述內容可知，依目前建築物防火避難安全性能驗證技術手冊中之計算式，可知防煙壁之目的為蓄積煙層以提高排煙效果係數，亦即蓄煙而非單純阻止煙流動之構造。而排煙口之目的主要為排出排煙口下方至高度1.8m處之煙層，使煙層不致低於1.8m之安全範圍。

2.2.2 小結

我國建築與消防法規之排煙口與防煙壁之規定修訂後兩者已能競合。排煙口須裝置於天花板下80公分內之規定，應由有效通風之高度推演而來，因煙有向上蓄積之特性，若開口未設於天花板下一定範圍內，則煙無法順利於開始蓄積初期順利排出。此原則亦適用於自然排煙，限制開口之高度及大小後即能有一定之排煙效果。而機械式排煙規定亦沿用有效通風及自然排煙之高度限制概念，未另行規範，且防煙與排煙區劃未做詳細說明，設置之邏輯前後順序並不明確。依建築物防火避難安全性能驗證技術手冊之類性能式規定，其防煙壁與排煙口設置之目的相對清楚明確，一為增加有效排煙量，另為排出排煙口下方至高度1.8m處之煙層。承上，就法規而言，為減少適法性之困擾，仍應清楚明訂規定之目的與名詞之定義，並須針對設置之邏輯順序做重新檢討。

2.3 日本相關排煙規範

2.3.1 消防法施行規則

第三十條第一款

イ 從天花板下設50公分以上(第二十八條第一項第一號所列防火對象,採80公分以上)之垂壁或其他同等性能以上之不燃材料造或包覆之阻煙構造。(以下稱防煙壁)樓地板面積五百平方米(第二十八條第一項第一號之防火對象,採三百平方米)以下,至少須設一區劃(以下稱防煙區劃)。但於有設給氣口(只限於用風管連接者)之防煙區劃,能有效排除煙之情形下,不在此限。

ロ 防煙區劃內任一點至排煙口距離須小於30公尺。

ハ 防煙壁須設置於天花板至樓地板高度1/2以上。

ニ 排煙風管須直接接予外氣流通處。

ホ 排煙口之構造由下訂之。

(イ) 當排煙口排煙時,不得因其排煙產生之氣流以致關閉。

(ロ) 排煙用之風管在排煙以外時須保持氣密,以確保排煙性能及安全。

2.3.2 建築基準法施行令

第3節 排煙設備

第116條之2

依本法第35條(含本法第87條第3項、第127條適用場所)中有關居室之通風窗或其他開口另行規定,其規定如下。

1. 其面積合計須達該居室面積1/20以上(須為第20條規定有效採光計算之部分)
2. 可開啟通風之面積合計須達該居室面積1/50以上(須在天花板下80厘米範圍內)。

若由隔扇、拉窗及其他隨時能打開之裝置所隔開之2室，於前項計算面積計算時，可做為1室計算。

第126條之2

由法規附表1中欄1到4中所列之總面積超過500平方米，樓層數3層以上總面積大於500平方米的特殊用途建築物(高度31米以下之居室，地板面積100平方米以內，以分間牆或天花板下方以不燃材料造或包覆之50厘米以上垂壁或其他具同等效能以上阻止煙流動構造「以下稱防煙壁」所區劃者外)，及不符合第116條2第1項第2款總面積超過1,000平方米居室規定之必須通風窗或開口場所。及樓地板面積超過200平方米之居室(高度31米以下，每100平方米內以防煙壁區劃者除外)必須設置排煙設備。

下略。

第126條之3

前條第1項之排煙設備，其構造規定如下。

1. 建築物之樓地板面積每500平方米以防煙壁區劃。
2. 排煙設備之排出口，風管及其他與煙接觸的部分，須為不燃材料構造。
3. 排煙口於第1號規定中之區劃部分(以下稱「防煙區劃」)離該防煙區劃各部分水平距離須為30米以下，其須裝置於天花板下80厘米(防煙壁高度未滿80厘米時須於防煙壁上方)以內。風管須直接將煙排出至外氣。
4. 排煙口須設置手動啟動裝置。
5. 前項之手動啟動裝置操作部分，裝置於牆面時其高度須位於地板上80厘米以上1.5米以下之，從天花板垂下時須於地板上方約1.8米之高度，且

須以易懂的方式標示使用方法。

6. 如果排煙口，除設置手動啟動裝置外，如偵煙探測器及移報裝置或搖控啟動裝置未啟動前須保持封閉狀態，啟動時排煙口之構造不得因排煙產生之氣流而關閉。
 7. 第115條第1項第3款規定之排煙風管，若須貫穿防煙壁，其間隙須以砂漿或其它不燃材料填實。
 8. 排煙口之面積須為防煙區劃地板面積的50分之1以上，除直接面對外氣者外，必須設置排煙機。
 9. 前項之排煙機，須隨任一排煙口啟動而連動啟動，且其排煙量最小為120立方米/分鐘以上，且符合防煙區劃之樓地板面積1平方米有1立方米之風量(若為2防煙區劃以上，則其風量須達最大區劃風量之2倍)以上。
- 下略。

2.3.3 小結

參照日本相關排煙規定後，可知台灣消防法規之基礎為參考日本相關法規，其排煙設備規定原則上與我國雷同。日本消防設備裝置規定部分主要乃由日本建築基本法施行令避難設施中規定，與我國主要為規定於消防法令中不同。而防煙壁未滿80公分時排煙口須位於其上之規定乃應參照日本建築基本法施行令第126條之3第1項第3款而來。惟二者規定之邏輯有所不同，日本排煙設備主要以防煙壁形成防煙區劃蓄煙，延長煙層水平擴散及垂直蓄積時間為主。如日本居室部分只要高度31m以下、每100m²內以防煙壁區劃即免設排煙設備，我國並未有如此規定。故以日本規定即使如面積

大於500 m²之工廠(高度小於31m)，其天花板下之樑只要大於0.5m且其所區劃之空間均小於100m²，其亦無須裝置排煙設備。若須裝置排煙設備之場所其天花板必為平滑構造無樑等不燃構造物所構成之防煙壁，故其須每500 m²內以防煙壁另作區劃，且排煙口裝置於其上方則屬合理，因無須穿樑或被格子樑區劃之問題。由日本規定亦可知防煙壁裝置場所其高度上限為31m，且以裝置防煙壁形成防煙區劃為主要防煙手段，排煙口僅為無法滿足防煙區劃規定時之輔助設備。我國排煙設備規定雖參照日本而來，但因應我國國情修正後，其裝置邏輯便與日本不同，造成規定上邏輯錯誤，以致實務執行無法有效符合法規規定，實應再行檢討後予以修訂。

2.4 中國相關排煙規範

2.4.1 中國建築設計防火規範

第 9.1.3 條

下列場所應設置排煙設施：

1. 丙類廠房中建築面積大於 300m²的地上房間；人員、可燃物較多的丙類廠房或高度大於 32.0m的高層廠房中長度大於 20.0m的內走道；任一層建築面積大於 5000m²的丁類廠房；
2. 佔地面積大於 1000m²的丙類倉庫；
3. 公共建築中經常有人停留或可燃物較多，且建築面積大於 300m²的地上房間；長度大於 20.0m的內走道；
4. 中庭；
5. 設置在一、二、三層且房間建築面積大於 200m²或設置在四層及四層以上



或地下、半地下的歌舞娛樂放映遊藝場所；

6. 總建築面積大於 200m^2 或一個房間建築面積大於 50m^2 且經常有人停留或可燃物較多的地下、半地下建築或地下室、半地下室；

7. 其它建築中長度大於 40.0m 的疏散走道。

第9.4.2條

需設置機械排煙設施且室內淨高小於等於 6.0m 的場所應劃分防煙分區；每個防煙分區的建築面積不宜超過 500m^2 ，防煙分區不應跨越防火分區。防煙分區宜採用隔牆、頂棚下凸出不小於 500mm 的結構樑以及頂棚或吊頂下凸出不小於 500mm 的不燃燒體等進行分隔。

第9.4.6條

機械排煙系統中的排煙口、排煙閥和排煙防火閥的設置應符合下列規定：

- 
- (1) 排煙口或排煙閥應按防煙分區設置。排煙口或排煙閥應與排煙風機連鎖，當任一排煙口或排煙閥開啟時，排煙風機應能自行啟動；
 - (2) 排煙口或排煙閥平時為關閉時，應設置手動和自動開啟裝置；
 - (3) 排煙口應設置在頂棚或靠近頂棚的牆面上，且與附近安全出口沿走道方向相鄰邊緣之間的最小水平距離不應小於 1.5m 。設在頂棚上的排煙口，距可燃構件或可燃物的距離不應小於 1m ；
 - (4) 設置機械排煙系統的地下、半地下場所，除歌舞娛樂放映遊藝場所和建築面積大於 50m^2 的房間外，排煙口可設置在疏散走道；
 - (5) 防煙分區內的排煙口距最遠點的水平距離不應超過 30m ；排煙支管上應設置當煙氣溫度超過 280°C 時能自行關閉的排煙防火閥；

(6)排煙口的風速不宜大於10m/s。

2.4.2 高層民用建築設計防火規範

第8.2.4條

排煙窗宜設置在上方，並應有方便開啟的裝置。

第8.4.1條

一類高層建築和建築高度超過32m的二類高層建築的下列部位，應設置機械排煙設施：

- (1) 無直接自然通風，且長度超過20m的內走道或雖有直接自然通風，但長度超過60m的內走道；
- (2) 面積超過100m²，且經常有人停留或可燃物較多的地上無窗房間或設固定窗的房間；
- (3) 不具備自然排煙條件或淨空高度超過12m的中庭；
- (4) 除利用窗井等開窗進行自然排煙的房間外，各房間總面積超過200m²或一個房間面積超過50m²，且經常有人停留或可燃物較多的地下室。

第8.4.4條

排煙口應設在頂棚上或靠近頂棚的牆面上。設在頂棚上的排煙口距可燃物構件或可燃物的距離不應小於1.00m。排煙口平時應關閉，並應設有手動和自動開啟裝置。

2.4.3 小結

中國相關規範亦同日本及我國，排煙口依防煙區劃設置，惟仍未對排煙口設置高度做出明確規定，僅於高層民用建築設計規範第8.2.4、8.4.4條

中規範排煙口應設在上方或頂棚上及靠近頂棚的牆面上，並未實際限制其裝置範圍。故可推測中國之法規其精神應與日本相同，其著重以防煙壁形成防煙區劃防止煙層擴散，排煙設備除特定場所外仍屬輔助設備。其並未如同我國強制規範排煙口須裝置於天花板下80公分及須位於防煙壁高度內，裝置彈性較我國為大。

2.5 綜合分析

我國各類場所消防安全設備設置標準中並無名詞定義之說明，故以目前防煙壁之設置目的而言，除原有阻止煙流動之構造外，應有蓄煙之作用，而其何種性能較佳仍有待研究，排煙口之裝置位置與性能應有因果關係。參照日本、中國法規與我國皆規定天花板下大於50公分以上樑或構造物等不燃物皆可做為防煙壁，且日本雖規定排煙口裝置高度，但其法規以防煙區劃為主，無法滿足防煙區劃規定者才需設置排煙口。又中國法規只規範防煙壁高度並未規範排煙口高度。二者排煙設備規定之目的以防煙壁形成防煙區劃阻止煙流動為主，排煙口控制煙層高度為輔。前述我國相關二法修法前防煙壁皆規範為天花板下50公分，排煙口為天花板下80公分，相繼修正後加註防煙壁下垂未滿80公分者，排煙口須於其下垂高度內。若以一般工廠為例(高度小於5公尺)天花板下有格子樑，若樑深皆未滿80公分，依修法後規定則每一格子樑區劃內皆須設排煙口。但實務上此要求並不經濟，且風管亦極難架設(須穿樑)。又以內授消字第0960824121號解釋，大樑加防煙壁若大於80公分而中樑為50公分時，中樑則可忽略之而以大樑加防煙壁為區劃。則此規定與設置標準188條之防煙壁規定之防煙壁定義有所

矛盾，且會造成。且天板有高低差者若排煙口位置採平均天花板高度計算，若天花板垂直落差達50公分以上，則由高對低來說有類似防煙壁區劃效果，又須依內授消字第0960824121號解釋每一區劃皆設排煙口。此為我國法規邏輯發生之謬誤，防煙壁及排煙口規範雖主要參考日本規定卻未採用其整套排煙設備裝置邏輯，以致造成目前使用遭遇之困難。參酌三國法規及實務設計裝置之問題後，應做防煙壁與排煙口功能之基礎研究，瞭解防煙壁及排煙口之性能，並提供經濟、合理及有效之設置規範建議。但以條例式法規而言，應採日、中之規定方式較佳。三國設置位置規定比較如下表。

表1居室排煙設備裝置位置規定比較表(本研究整理)

相關規定 法規	排煙口設置邏輯	防煙壁 高度	防煙壁材質	防煙區 劃面積	排煙口高度	排煙口距 防煙區劃 任一點距 離
各類場所消防 安全設備 設置標準	明文規定應設場所後，再規定如何設防煙區劃。區劃內再設排煙口。	0.5m或 0.8m以上	不燃材料	500m ²	天花板下0.8m內，及防煙壁之上。	30m
建築技術規則 建築設計 施工編	同上。	0.5m或 0.8m以上	不燃材料	500m ²	天花板下0.8m內。	45m
建築物防火 避難安全性能 驗證技術 手冊	設置區劃後再設排煙口。	0.3m以上	不燃材料	依其設計	天花板下0.3m內。	30m
日本消防法 施行規則	僅規定排除設置排煙設備場所。	0.5m或 0.8m以上(須於	不燃材料	300m ² 或 500m ²	未規範。	30m

		天花板 高度1/2 以上)				
日本建築基本法施行令	先規定免設排煙設備場所，應設後再行規範防煙區劃與排煙口	0.5m以上	不燃材料	500m ²	天花板下0.8m內，及防煙壁之上。	30m
中國建築設計防火規範	明文規定應設場所後，再規定如何設防煙區劃。區劃內再設排煙口。	0.5m以上	不燃材料	500m ²	未規範。	30m
中國高層民用建築設計防火規範	明文規定應設之空間，以空間為裝置基準而非區劃。再規定排煙口設置方式。	以空間為主無防煙壁規定。	未有此規定。	未有此規定。	僅規定於上方或靠近天花板及牆壁之上方即可。	30m



第三章 研究方法

3.1 研究工具-FDS模擬軟體

3.1.1 FDS原理

電腦模擬之發展上，可用來預測火災行為之數學模型，主要可分為兩種方式：區域模式(Zone model)及場模式(Field model)。區域模式是將區劃空間劃分數個區塊，每一區塊內的流場及物理化學性質假設為均勻，不同區塊有不同之性質，且區塊彼此間之動量、質量及熱量交換率則由動量通量、質量通量及熱通量來表示。雖然區域模式計算較簡單，運算較快，但需要大量的假設，而這些假設則需要實際實驗結果來作依歸，故對實驗之依存性極高。且最終僅能求解高溫煙層與低溫空氣層的平均物理性質，無法詳細描述火場狀況。場模式亦即CFD(Computational Fluid Dynamics)模式，是將計算空間劃分成眾多細小網格，並利用數值方法描述火災現象的動量、質量及其相關狀態。一般的場模式為將紊流模式等非線性偏微分方程式離散化成代數方程式，代入輸入條件後重複迭代計算模擬空間中細小網格之物理特性，預測火災發生過程中每個網格的氣流速度、壓力、溫度、濃度值。然而火災進行過程中氣流通常呈紊流狀態，所以場模式需要許多物理化學模型(如流體動力學模型、燃燒模型及熱輻射模型等)，來模擬火場中各種物理化學過程。其運算法可區分為直接數值模擬法(Direct Numerical Simulation, DNS)、雷諾平均法(Reynolds Averaged Navier-Stokes Equation modelling, RANS)以及LES法(Large Eddy

Simulation)三種。DNS 法為直接求解Navier-Stokes 方程式，對紊流無需任何假設。而通常DNS 所需的格點尺寸必須小於Kolmogorov [5] 尺度，一般為 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ m左右，故以目前的電腦能力很難用DNS直接模擬建築物火災的氣體流動現象。RANS法是利用時間平均Navier-Stokes方程式加上紊流預測模式來預測流體流動。目前RANS的紊流預測模式相當多，但尚無通用之紊流模式。且由於火災的煙流動現象是瞬時變化，利用以時間平均為基礎的RANS法通常無法精確預測複雜熱傳與渦流的發展。而LES法是將流體物理量區分為大尺度(grid-scale)與次格點尺度(subgrid scale)兩部分。對於大尺度的物理量在LES中直接由Navier-Stokes方程式求解，而於次格點尺度內的物理量則需要模式化。模擬對象的格點尺寸必須小於一定的尺度方能使次格點應力模型精確地計算出流場的黏滯應力。其優點為SGS model 僅需一個實驗常數，且可廣泛地應用在各種流場預測上。又由於紊流本身即為暫態，因此利用空間平均為基礎的LES法來預測煙流動現象較以時間平均為基礎的RANS法合適。本研究採用之火災煙控模擬程式為美國NIST (National Institute of Standards and Technology) 建築物與火災研究實驗室所發展之火災模擬軟體FDS (Fire Dynamics Simulator)。FDS程式即為以LES法為基礎的電腦火災模擬軟體。FDS以低馬赫數 (亦即weakly compressible) 統御方程式來描述受火災浮力驅動之氣體流動，並著重在煙流及熱傳遞現象。其統御方程式簡介如下 [6]：

連續方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \bar{u} = 0 \quad (4)$$

動量守恆方程式

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{1}{2} \nabla |\bar{u}|^2 - \bar{u} \times \omega \right] + \nabla p - \rho g = \nabla \cdot \sigma \quad (5)$$

能量守恆方程式

$$\rho c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{u} \cdot \nabla T \right] - \frac{dp_0}{dt} = q + \nabla \cdot k \nabla T \quad (6)$$

理想氣體方程式

$$p_0(t) = \rho R T \quad (7)$$

其中：

ρ 為流體密度 (kg/m³)

u 、 v 、 w 為三維方向之速度 (m/sec)

g 為重力加速度 (m/sec²)

T 為溫度 (K)

C_p 為比熱 (J/g·K)

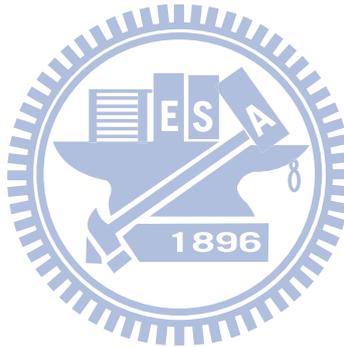
k 為熱傳導係數 (W/ K·m²)

p 為壓力 (N/m²)

R 為理想氣體常數 (J/mol·K)

FDS根據Boussinesq Approximation 將溫度 (T)、密度 (ρ)、與

壓力 (p) 區分為空間平均項 (Spatially Averaged Quantity) 與擾動項



(Perturbation) ，其型式如下：

$$T = T_0(t)(1 + \tilde{T}) \quad (8)$$

$$\rho = \rho_0(t)(1 + \tilde{\rho}) \quad (9)$$

$$p(\vec{r}, t) = p_0(t) - \rho_0(t)gz + \tilde{p}(\vec{r}, t) \quad (10)$$

空間平均項可由 (4) 、 (5) 與 (6) 以及絕熱過程 (Adiabatic Process) 表示如下：

$$p_0 \int_{\partial\Omega} \vec{u} \cdot d\vec{S} + \frac{V}{\gamma} \frac{dp_0}{dt} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \left(\int_{\Omega} q dV + \int_{\partial\Omega} k \nabla T \cdot d\vec{S} \right) \quad (11)$$

$$p_0 = \rho_0 R T_0 \quad (12)$$

$$\frac{\rho_0}{\rho_\infty} = \left(\frac{p_0}{p_\infty} \right)^{1/\gamma} \quad (13)$$

而速度、溫度與壓力的擾動項則可表示成：

$$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \tilde{T} = (1 + \tilde{T}) \left[\nabla \cdot \vec{u} + \frac{dp_0}{dt} \right] \quad (14)$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} - \vec{u} \times \omega + \nabla H = \frac{1}{\rho} [(\rho - \rho_\infty) \vec{g} + \vec{f} + \nabla \cdot \tau] \quad (15)$$

$$\nabla^2 H = -\frac{\partial(\nabla \cdot \vec{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \vec{F} \quad (16)$$

其中：

H 為總壓力

$$H = \frac{\tilde{p}}{\rho_0} + \frac{|\vec{u}|^2}{2} \quad (17)$$

$$\vec{F} = -\vec{u} \times \omega - \frac{1}{\rho} [(\rho - \rho_\infty) \vec{g} + \vec{f} + \nabla \cdot \tau] \quad (18)$$

綜合上述，FDS由(15)式的能量方程式、(16)式的動量方程式、(17)式的總壓力方程式以及(12)～(14)式的空間平均溫度、密度與壓力方程式聯立求解計算區域之速度、溫度、密度與壓力。在統御方程式的數值方法方面，FDS對空間座標的微分項採用二階中央差分法，時間的微分項則以顯性二階Runge-Kutta法離散化。而Poisson方程式形式之總壓力微分方程式則利用快速傅利葉轉換法(Fast Fourier Transform)直接求解。

3.1.2 FDS架構

FDS程式之主要架構可分為以下三部份：

(1)前處理部份

前處理部份中，以純文字格式輸入模擬建築物尺寸、網格配置、火源設定、煙控系統、灑水系統與邊界條件等，以做為下一階段數值運算之基礎。

(2)數值運算部份

此為FDS模擬程式之運算核心部份，將前處理之諸多參數讀入後，以數值方法求解，並將計算結果輸出至後處理。

(3)後處理部份

FDS之後處理為結合繪圖軟體「Smokeview」，可將FDS計算輸出之結果，利用圖形以2D與3D視覺化效果呈現。其餘模型中設置之偵測或感知設備所得之值，能以CSV格式儲存以供後續運算製表之用。

FDS 模擬程式之工作流程，如下圖所示〔7〕。

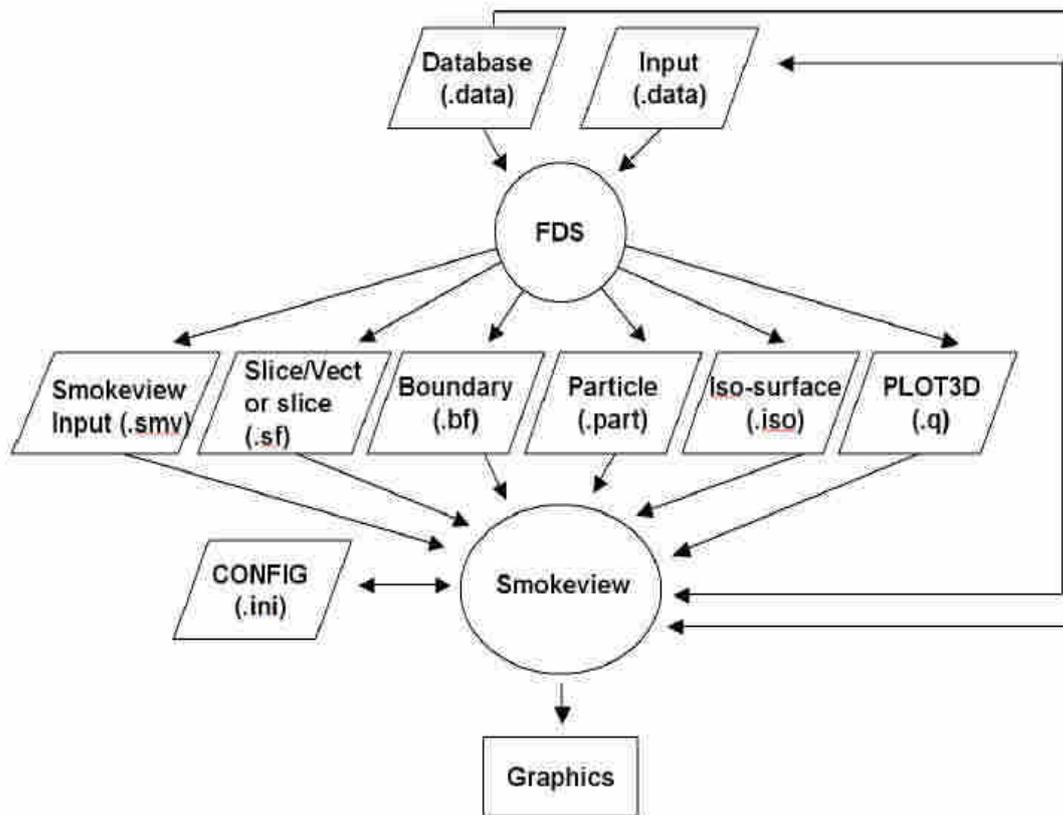


圖 8 FDS 工作流程圖

3.2 FDS驗證

3.2.1 其他學者驗證案例

FDS自發表後，目前已發展至5.3版。已有許多使用者應用FDS從事相關防火、排煙研究及性能式設計應用，其範圍可從性能式煙控系統設計、火場延燒行為、火場重建、撒水頭性能研究…等。而歸納以往相關研究結果可初步評估FDS有效使用範圍及限制，經由驗證可得知FDS模擬之可信度。ASTM E1355中定義了何謂驗證：「是一個確定某數學運算法其是否能精確描述及預測現實世界狀態所及程度的過程」〔8〕。而另一定義為FDS技術參考手冊5第3卷:驗證中所提：「驗證乃確定做為某重要真實物理現象其數學模型

之統御方程式是否正確之過程。一般來說驗證通常就是比較模擬結果與實驗結果」〔7〕。以下為國內外學者使用FDS預測或驗證真實火災之介紹。

1. McLeans Island Isoroom illustration〔9〕

Petterson為評估FDSv2.0預測室內溫度、氧氣濃度、煙層高度之準確性進行實驗及FDS 模擬。作者之結論如下：

- (1)FDS 無法正確獲得所需熱釋放率輸出值，需使用試誤法獲得所需值。
- (2)若格點過於粗糙，物件位置會受限於格點尺寸，而無法使物件坐落於正確位置增加模擬誤差。
- (3)格點配置愈精密除會增長計算時間外，並不代表較符合實驗值。
- (4)煙產生速率預設值偏低，使上層熱氣輻射熱回饋較低，導致房間下層氣體溫度低估。
- (5)引火源表面附近處若格點不夠精密，會降低模擬之準確度。

2. FDS MODELLING OF HOT SMOKE TESTING, CINEMA AND AIRPORT CONCOURSE〔10〕

澳洲學者Alex Webb為了驗證FDS用於大空間場所之安全設計之可信度，利用FDS重建了數個根據澳洲法規AS 4391 -1999所做的全尺寸實驗。並比較FDS模型與全尺寸實驗之差異。作者發現FDS用於防火工程設計上確實能合理的預測出某些參數於全尺寸實驗的結果，如熱煙層的狀態與高度，但其餘參數的部分差異仍大。且全尺寸實驗相較於全棟複雜建築物的真實火災情況，其仍處於控制條件的限制之下，不能真實反應實際火災情形。而FDS僅能預測此種受控制之全尺寸實驗結果，仍不能真實代表

火災情境。故作者結論為FDS能準確預測熱煙層之性能可作為防火工程設計之指引(guide)，但不可做為防火系統安裝之驗證工具(system install certification tool)。

3. Validation of FDS for the World Trade Center Investigation [11]

為了協助調查世貿中心恐怖攻擊並重建當時其建物受熱與結構狀態，FDS被選為其中一種調查模擬模型。而為了評估FDS是否能準確預測於一燃燒區劃中之熱流場用於此調查，NIST於2003年實施了一系列全尺寸實驗，這些實驗是以世貿中心案為參考設計。當時以FDS 4.0版本模擬與全尺寸實驗結果比較後其結論如下：

- (1) FDS能準確預期釋熱率與時間之關係。
- (2) FDS預測已釋出一半能量時間與實驗結果相比較，誤差於22%以內。
- (3) FDS預測已釋出一半能量時其釋熱率與實驗結果相比較，誤差於9%以內。誤差極小。
- (4) FDS預測特定火源持續加熱時間與實驗結果相比較，誤差於15%以內。惟燃燒後半之釋熱率預測稍低。
- (5) FDS預測火場上層氣體溫度與實驗結果相比較，誤差於10%以內。

以上足以驗證FDS之模型準確度。

4. Work by Zou and Chow [12]

學者Zou and Chow，利用一類似於ISO標準空間之區劃並使用不同尺寸之油盤燃燒提供不同之釋熱率最高達2.6MW及控制該區劃通風達能產生閃

燃之結果，以此全尺寸實驗結果與FDS 3.01模擬(93,000個均一格點)結果相比較。其結論為預測閃燃後火場之溫度與幅射熱通量於上述特定實驗設計下，其準確度與實驗結果極為符合。惟其有特別提到於冷卻階段時，FDS預測之區劃溫度低估達40%。

5. Three Dimensional Simulation of Fire Plume Dynamics [13]

Baum等人以FDS v1.0 模擬單一火源，並定義火柱最小長度尺度 (minimum length scale) 以火源特徵直徑 (characteristic fire

$$\text{diameter}) D^* \text{ 表示，其定義為：} D^* = \left[\frac{\dot{Q}}{\rho_0 C_0 T_0 \sqrt{g}} \right]^{\frac{2}{5}} \quad (19)$$

其中 \dot{Q} 為熱釋放率(W)， ρ_0 為空氣密度(kg/m^3)， C_0 為空氣比熱($\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$)， T_0 為環境溫度($^\circ\text{K}$)， g 為重力加速度(m/s^2)。文中以設計長45m×寬45m×高22m 之飛機棚中心放置熱釋放率15MW 尺寸3m×3m 之JP-5燃料火源燃燒實驗，並比較實驗與FDS模擬結果，其結論表示FDS可精確模擬單一火源溫度及氣流速度變化，並提出若欲正確的模擬單一火災煙流燃燒情形，格點尺寸以 $0.1 D^*$ 之尺度最為合適。

6. Validation of Fire Dynamics Simulator (FDS) for forced and natural convection flows [14]

學者Smardz於此研究中以FDS 4.07模擬與小尺寸實驗中驗證FDS對於強制與自然對流預測之正確性。其發現於其設計之實驗中，FDS預測氣體流速與溫度可達5~20%之誤差(與質量及熱傳導有關)。惟此實驗乃針對較簡單

之火場情境，其釋熱率被優先決定並作為模擬輸入條件。且此研究亦證實前人研究關於模擬格點大小將影響模擬結果之精確度，較大之格點與實驗結果相比較其誤差甚至大於20%。

7. 大空間中庭建築性能式煙控系統設計分析〔15〕

國內學者李訓谷以FDS 1.0模擬中國科學技術大學大空間火災實驗廳之全尺度大空間中庭建築火災實驗並與上述實驗結果相比較。其與比較分析結果顯示，利用場模式法可準確預測出火災產生之濃煙的流動現象以及煙層沈積速率。文中並以以一個20cm×20cm 的油盤燃燒（熱釋放率=24kW）測試模擬格點的解析度。計算區域為1.5m 長、1.5m 寬、3.5m 高。其結論為利用LES model 模擬中庭建築發生火災時之煙沈積與流動現象的最大格點尺寸為 $0.1 D^*$ 。

8. 以FDS 預測ISO 9705 房間試驗火場情境之可行性研究〔16〕

國內學者黃雄義以FDS 3.1為模擬工具，評估FDS 替代房間試驗之可行性。其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。其研究結果顯示 $R^*=0.05$ 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。其結論表示若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。

9. 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〔17〕

國內學者葉琮勤以FDS 3.1模擬與全尺寸(面積10300m²，高20m)實驗比較大空間性能式煙控設計與傳統法規式排煙設計性能孰佳。其結論中於FDS預測煙層高度與實驗結果相比較，其誤差分別為13.33%與18.31%。且240秒內FDS模擬與全尺寸實驗之煙沈積結果相當吻合，印證FDS模擬運用於建築物性能式煙控系統設計之可靠度。惟300秒後，由於全尺度實驗之燃料慢慢用盡，不似FDS模擬中持續供應燃料，故兩者之結果開始有較大之誤差。此研究並於實驗中收集其煙層溫度量測結果，並採用NFPA 92B中N百分比法判定煙層高度，於N百分比法之N值取N=60%時與全尺寸實驗結果印證，其高度幾近相同，故亦驗證NFPA 92B中N百分比法所預測之煙層高度。

10. 密閉空間火場模擬及熱應力分析〔18〕

國內學者邱健倫以FDS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，結果發現影響結果好壞的因素為網格大小，網格邊長取1/10特徵火焰直徑及Cs=0.16時在溫度場的預測平均誤差低於3%，在靠近天花板位

置也只有4%左右的誤差，顯示結果已優於先前文獻的模擬結果。與Cs (Smagorinsky constant)，在與Steckler實驗比較驗證後發現計算領域大小因邊界條件限制亦對結果造成誤差。模擬後結論在通風口的速度場及溫度場分佈與實驗數據比較都有令人滿意的結果。

3.2.2 FDS實際模擬驗證

VTT(Technical Research Centre of Finland)於2001年曾實施一全尺寸實驗，研究煙層於大空間及斜屋頂狀況下之移動情形〔19〕。其共實驗三種情境，空間尺寸為19m(高)×27m(長)×14m(寬)，外牆為內外1mm厚鋼板內夾5mm礦物棉，樓板為混凝土材質，每一情境之火源大小為2MW、3MW、4MW。情境3空間內離地12m處有一機械排煙，其開口為1m²，風速為11m³/s。此實驗之目的欲得到4種測量結果：熱氣體層溫度、厚度、火燄高及煙柱之溫度。其中共建立3組垂直熱電耦樹於空間正中切面(y軸7.2m處)及2個位於煙柱內之熱電耦，其所得數據用來與FDS模擬相對照。實驗所得熱氣體層溫度值再利用二層煙層高度判定法推算出其厚度〔20〕，再與FDS模擬計算輸出之熱煙層厚度值做一比較。

二層煙層高度判定法其原理如下〔21〕：

設熱煙層同一高度其溫度相同則可得連續方程式 $T(z)$ ，溫度 T 為樓高 z 之函數。

$$\begin{aligned}(H - z_{\text{int}})T_u + z_{\text{int}}T_l &= \int_0^H T(z)dz = I_1 \\ (H - z_{\text{int}})\frac{1}{T_u} + z_{\text{int}}\frac{1}{T_l} &= \int_0^H \frac{1}{T(z)}dz = I_2\end{aligned}\tag{19}$$

$$\text{故 } z_{\text{int}} = \frac{T_l(I_1 I_2 - H^2)}{I_1 + I_2 T_l^2 - 2T_l H} \quad (20)$$

$$\text{則 } (H - z_{\text{int}})T_u = \int_{z_{\text{int}}}^H T(z)dz \quad (21)$$

其中

$z=0$ 時為樓地板高， $z=H$ 時為天花板高， T_u 為上層溫度， T_l 為下層溫度， z_{int} 為中介面高度。

今利用FDS 5.3版本模擬其實驗情境，並與該實驗所得數據比較，以驗證其對煙層之預測能力。其實驗空間規格及空間配置如圖9~圖12，模擬時間600秒。

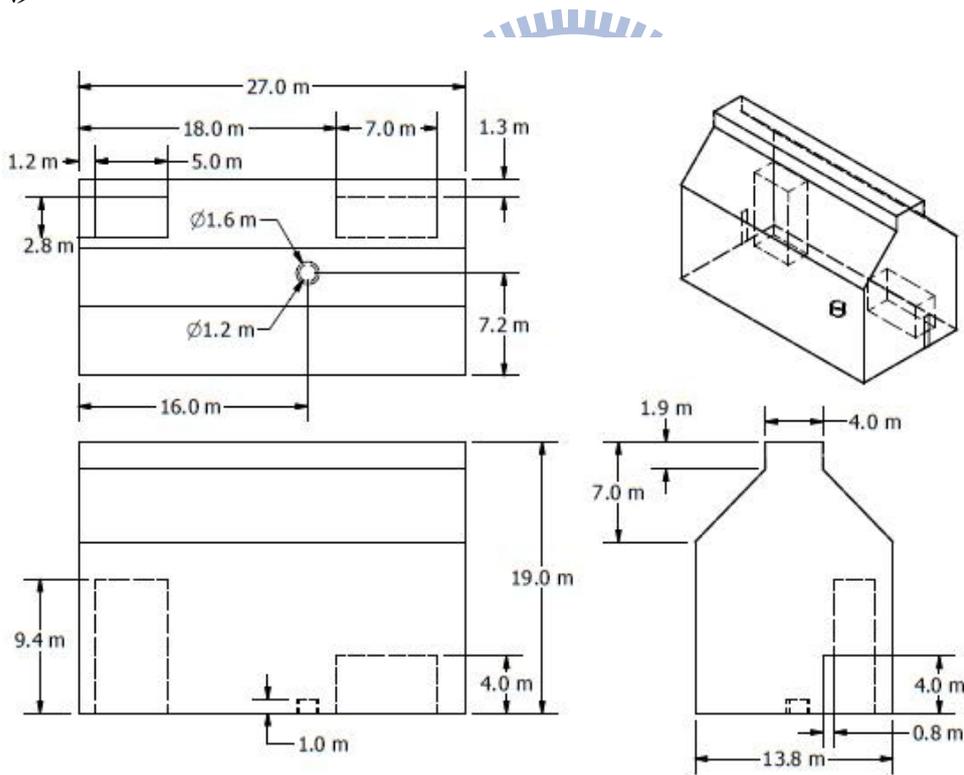


圖 9 VTT 驗證實驗空間尺寸圖

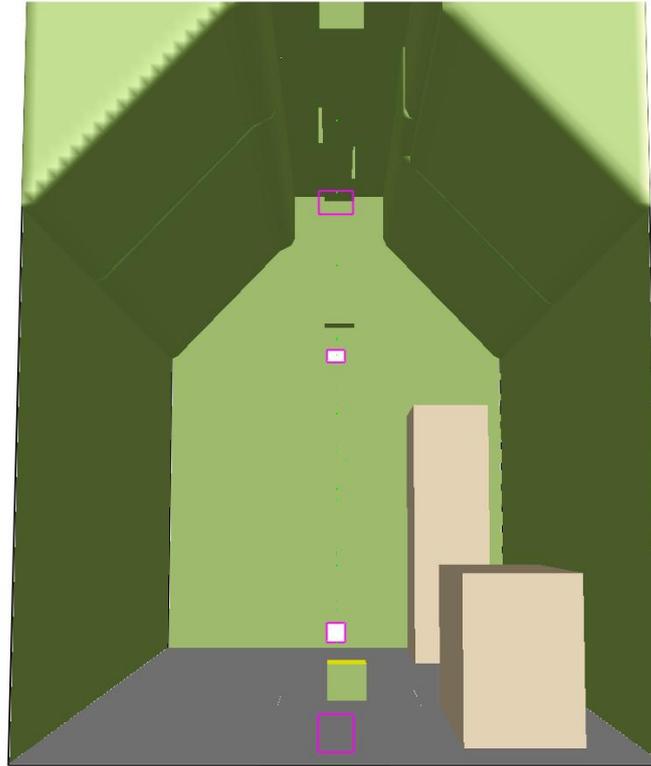


圖 10 VTT 驗證實驗 1 空間示意圖(火源 2MW，自然通風關閉)

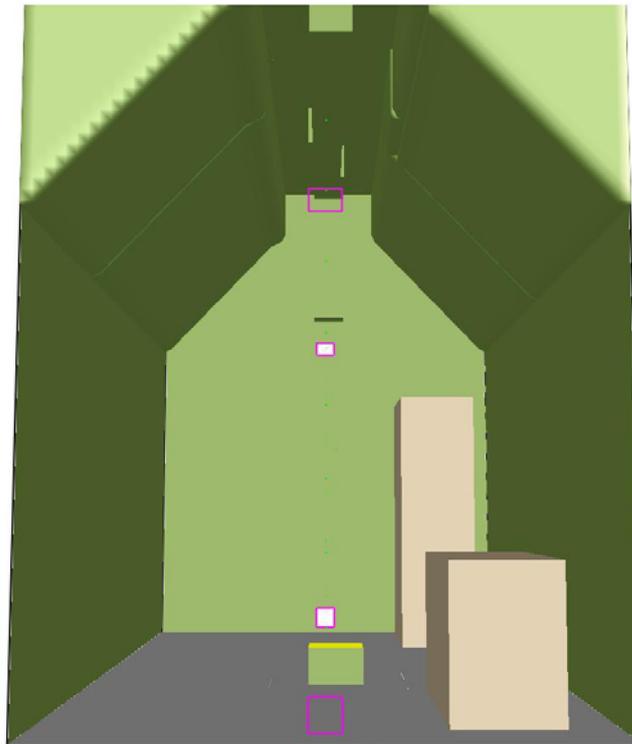


圖 11 VTT 驗證實驗 2 示意圖(火源 3MW，自然通風關閉)



圖 12 VTT 驗證實驗 3 示意圖(火源 4MW，機械排煙開啟)

為方便比較二者之差異，故利用其實驗之熱電耦樹所得數據(3 組熱電耦樹平均值)，以 EXCEL 利用(21)式計算得出平均煙層厚度。又 FDS 於輸入檔中設定之輸出值記錄為 CSV 格式檔案，今利用 EXCEL 將 FDS 輸出值依(21)式計算煙層厚度後，依每 60 秒為間隔，依各情境製表比較如下圖 18~19。

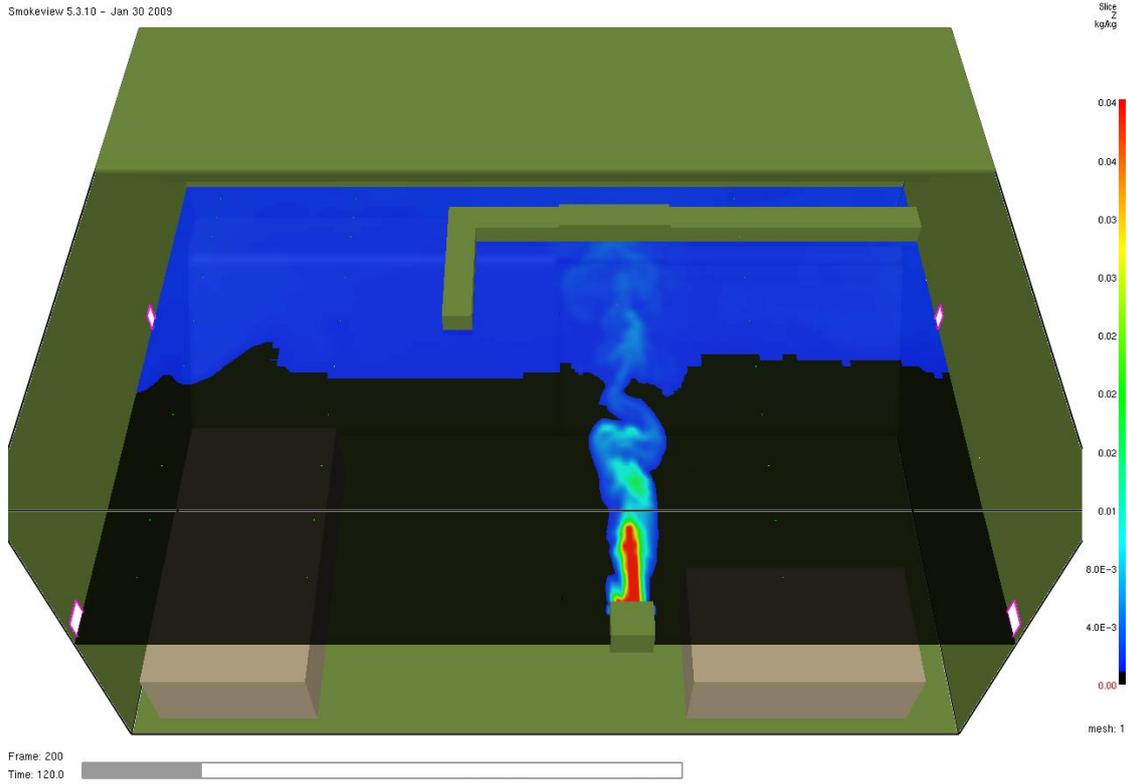


圖 13 VTT 驗證實驗 1 第 120 秒熱電耦所在斷面煙層高度示意圖

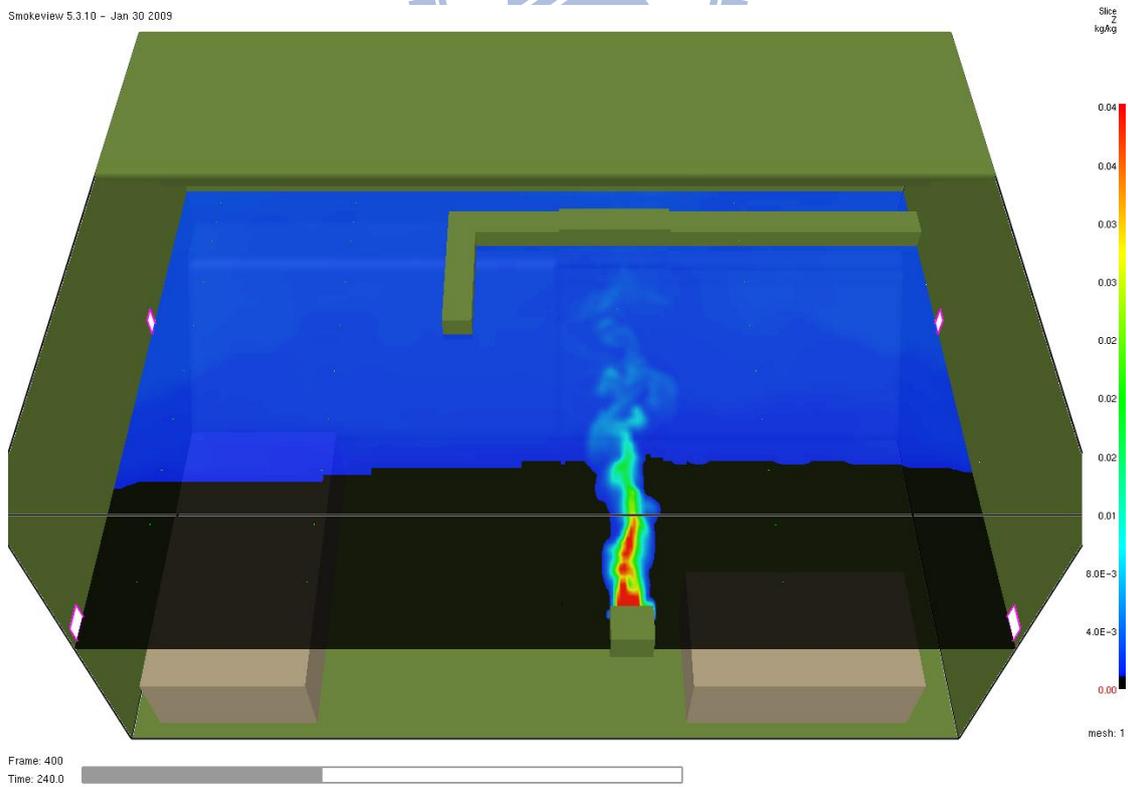


圖 14 VTT 驗證實驗 1 第 240 秒熱電耦所在斷面煙層高度示意圖

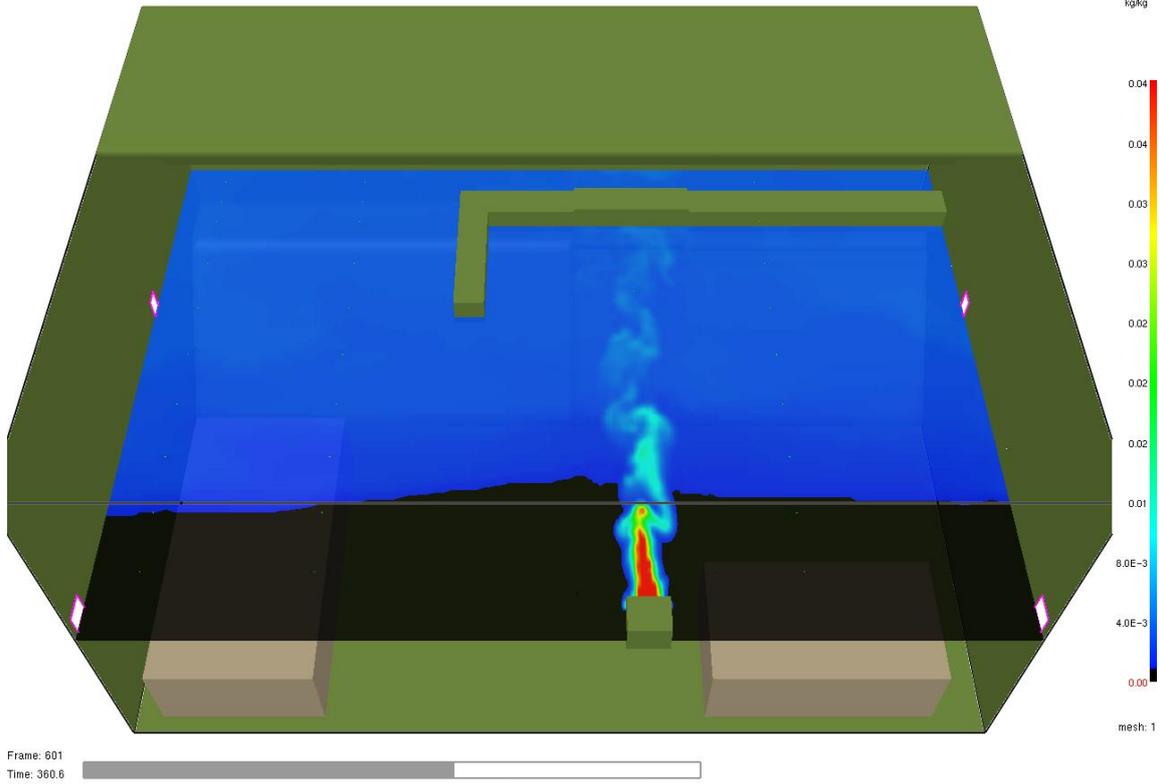


圖 15 VTT 驗證實驗 1 第 360 秒熱電耦所在斷面煙層高度示意圖

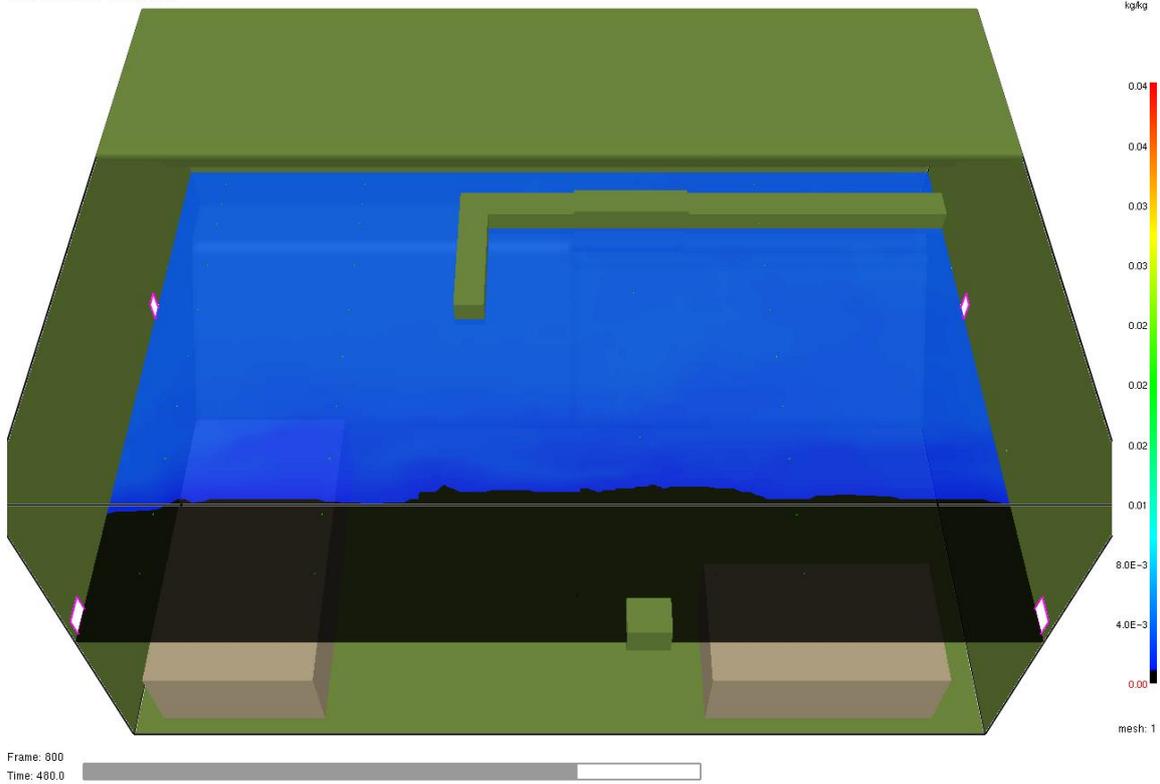


圖 16 VTT 驗證實驗 1 第 480 秒熱電耦所在斷面煙層高度示意圖

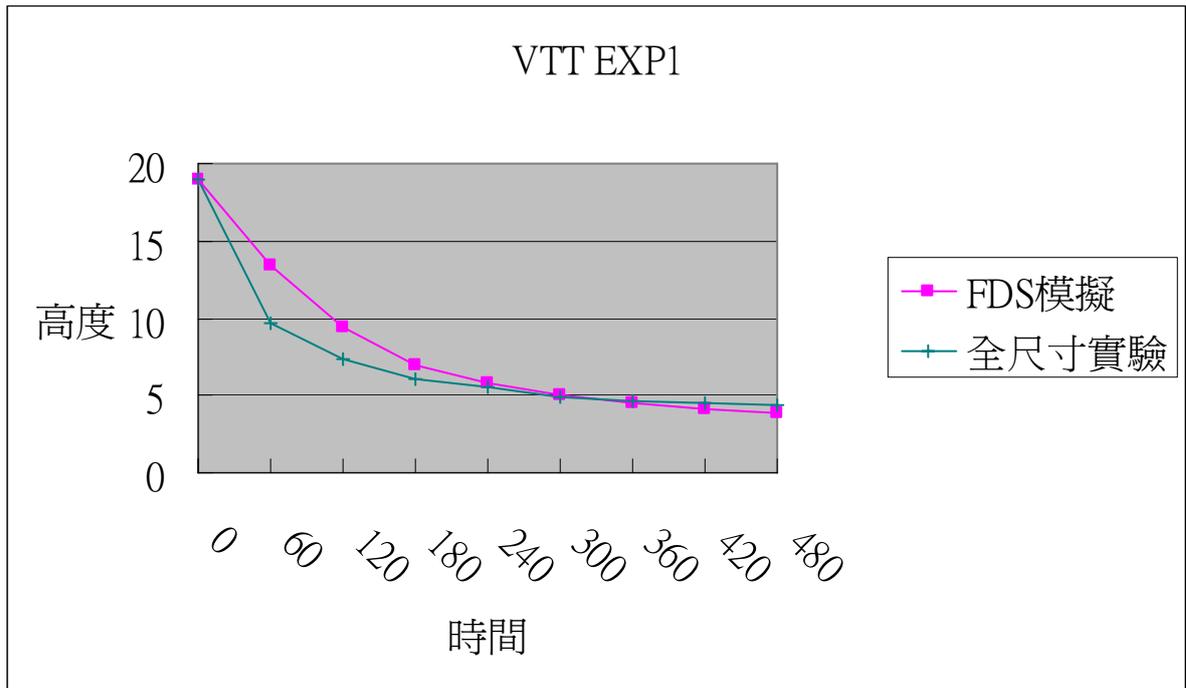


圖 17 VTT 驗證實驗 1 煙層高度比較圖

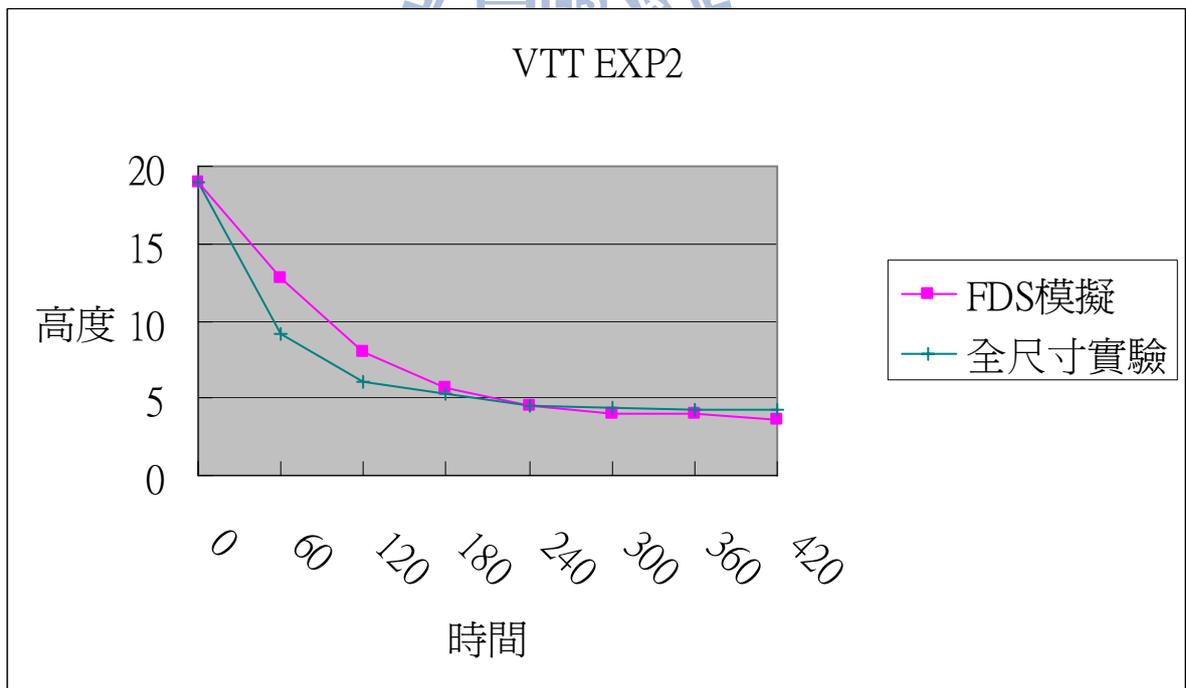


圖 18 VTT 驗證實驗 2 煙層高度比較圖

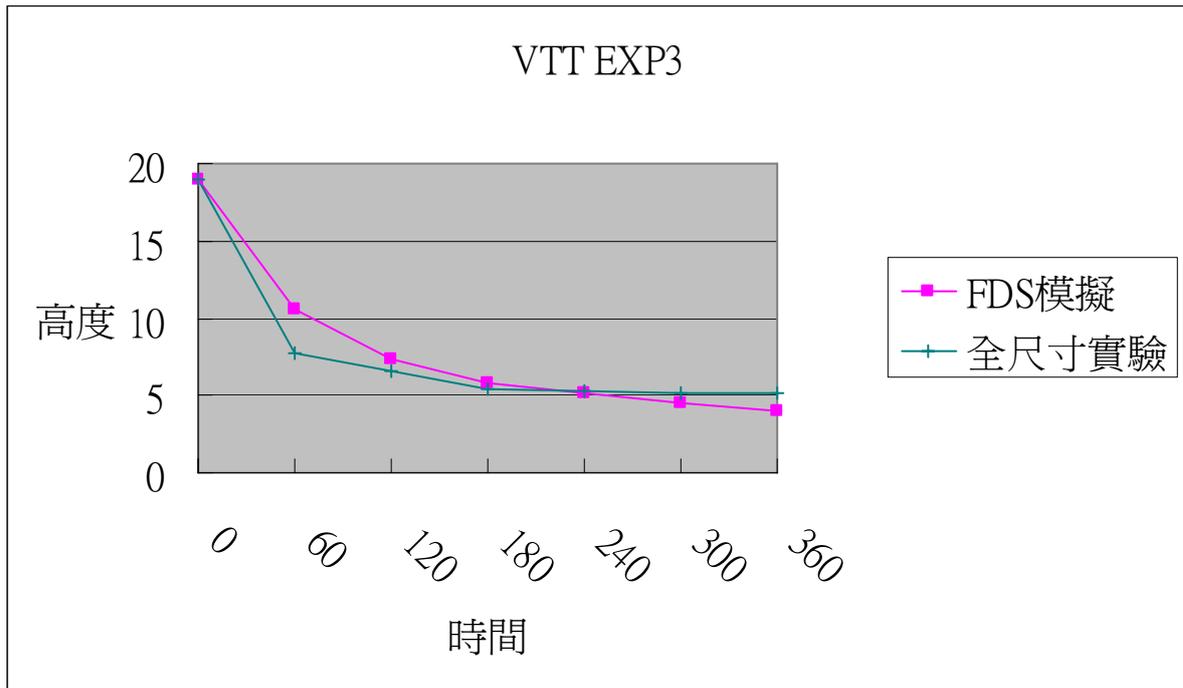


圖 19 VTT 驗證實驗 3 煙層高度比較圖

由上述結果可知 FDS 5.3 版其預測煙層厚度之能力與實驗所得數據之差距約於 10% 誤差內，以電腦模擬之正確性來說，已有足夠之可信度。故本研究以 FDS 5.3 版模擬實驗預測煙層高度，其結果應有足夠之正確性。

3.2.3 小結

電腦模擬使用上雖較方便且幾無需成本，於大型複雜場所或火災環境之再現上因成本及其他因素關係，無法實際實驗時，只能依靠電腦模擬。雖電腦模擬是以物理化學現象之方程式求解而成，但依模擬之精度與參數之輸入及電腦設備之能力，影響模擬結果甚深。故電腦模擬仍無法 100% 符合實際情況，經由不斷與實際實驗比較驗證持續修正程式，可增加模擬之正確性。NIST 於每次 FDS 新版本發行時，其技術手冊 (Technical Reference Guide) 中皆有一卷驗證篇作為 FDS 使用可信度之參考，第 5 版中卷 3 即為驗證

篇(Volume 3: Validation)。其中分為不同實驗參數討論FDS模擬與實際實驗比較之差異與準確度，且其中之驗證實驗皆由知名研究或公正單位所執行。使用FDS前，使用者應先參閱此卷，瞭解欲模擬參考項目使用上之限制及相關模擬參數之修正，以提高模擬之準確度。

綜合3.2節內容將FDS使用限制整理如下：

1. 模擬對象物需有適當之格點尺寸、比例及配置，不當之格點將影響物件位置、溫度、氣流速度、氣體濃度等模擬結果。
2. FDS 須輸入火源成長模式、材料之煙熱屬性等，若無相關實驗數據做依歸，則易不當使用於模擬軟體之中，造成模擬結果錯誤。
3. FDS 燃燒模式及輻射熱模式預測能力稍差，雖可經由調整FDS 內部 Smagorinsky 之Cs 參數及混合百分率條件改善模擬結果，但非一般使用者可行。

參考3.2.1節內容發現其多為探討單一火源煙流情境，眾多研究結果已證實FDS在煙流研究上具不錯的預測能力[22]，並已普遍被認可與採用。及3.2.2節利用本研究使用之工具FDS 5.3版模擬實驗前人研究，並與其全尺寸實驗比較所得結果，證實FDS 5.3版亦能準確預測煙流狀態。故以本研究以單一火源其大小及釋熱率已知情況下使用FDS模擬其煙流情形，應可獲得相當準確之模擬結果，惟模擬之格點大小與數量須於後節探討後再行設定。

3.3 實驗設計

3.3.1 火源設計

設定火源之大小為火災危險評估 (fire hazard assessment) 中最重要

的步驟，因為燃燒產生之熱量與濃煙等之實驗參數皆受其影響。通常火源的大小有下列三種型式：

(1)Steady Fire：

一般自然狀態下火源為不穩定狀態，但將其理想化成穩定火源，較易描述及做為研究之用。穩定火源其熱釋放率為一定值，一般應用上，通常採用穩定火源做為簡便明確且保守設計之用。Morgan建議將商業、住宅區之熱釋放率視為 500kW/m^2 ($44\text{Btu/s}\cdot\text{ft}^2$)，而辦公室建築之熱釋放率視為 225kW/m^2 ($20\text{Btu/s}\cdot\text{ft}^2$)，在特殊大空間建築中依據可燃物多寡，將擁有可燃物之熱釋放率視為 500kW/m^2 ($44\text{Btu/s}\cdot\text{ft}^2$)，而可燃物有限之熱釋放率則視為 225kW/m^2 ($20\text{Btu/s}\cdot\text{ft}^2$) [23]。由此可有一較簡便之方式可估算火勢成長趨勢與大小。穩定火源設計之基準量如表2 [24]

表 2 穩定火源設計基準表

空間中火源大小	Kw	Btu/s
在大型空間中可燃物有限的最小火源	2,000	1,900
在大型空間中具有可燃物的最小火源	5,000	4,700
大型火源	25,000	24,500

(2)Unsteady Fire：

一般火源初期燃燒的熱釋放率非常低，當火源成長至某臨界點後，其熱釋放率會與時間的平方成正比 [25]，為了模擬火災初期至到達穩定期之實際火災成長情形，可將此狀態以理想化的拋物線方程式描述為：

$$Q = a(t - t_0)^2 \quad (22)$$

其中

Q：火源的熱釋放率，kW(Btu/s) a：火源的成長係數，kW/s² (Btu/s²)

t：開始燃燒後的時間(s) t₀：著火時間(s)

因燃燒初期通常可忽略，故上式可簡化為：

$$Q = at^2 \quad (23)$$

其中

t：有效燃燒後的時間(s)

上式即為消防安全工程設計上通稱之" T-Squared Fires "。NFPA 92B(2000)

[26] 中廣泛使用此時間-火勢成長的概念，成長時間t定義為有效燃燒釋熱率達1055kW (1000Btu/s) 之時間。表3列出常見火源模式及t之值。

表 3 T-squared 火源對照表

項目	成長係數		成長時間
	kW/s ²	Btu/s ²	
T-Squared Fires curve			t(s)
緩慢(Slow)	0.002931	0.002778	600
普通(Medium)	0.01127	0.01111	300
快速(Fast)	0.04689	0.04444	150
極快速(Ultra Fast)	0.1878	0.1778	75

(3) Measured Fire Growth Curve :

Measured Fire Growth Curve 是利用 Cone-Calorimeter 或 Bench-Scale

Test及Full-Scale Test等方法實際量測得到欲調查之可燃物的熱釋放率，進而求出實際火災的熱釋放率。一般火源熱釋放率之決定係指火災發生時灑水頭啟動並將火源熱釋放率侷限於一穩定狀態，使其閃燃現象不致發生。目前各國標準對於各種可燃物之火災熱釋放率並無明確之定義，以美國NFPA 130而言，其內文中並無可供參考之數值。故一般若採用此火源設計需有先期之實驗研究得到欲研究釋熱率值，但此會增加實驗之成本及時間，非經濟快速之方法，除非援用可用之前人研究數據。

(4)火源釋熱率之選定

本研究為符合條列式法規較保守之特性，且為得到較明確之結果並減少其它因素影響，故選用steady fire火源設計。因本研究為代表一般性情境，不考慮火載量大之場所或縱火外加助燃劑等特殊燃燒，故火源大小參考表2設定為2MW之丙烷火源。

3.3.2 煙層高度判定

於代數方程式法或區域模式法中若欲求得煙層高度，可先將空間理想化地區分為高溫煙層與低溫空氣層，並由兩層之間的煙層界面(Smoke Layer Interface)來定義煙層高度。但實際煙層沈積時，會在高溫煙層與低溫空氣層之間存在一過渡區域(Transition Zone)，而此過渡區域底部高度即稱為初步煙層位置(First Indication of Smoke)，如圖30。

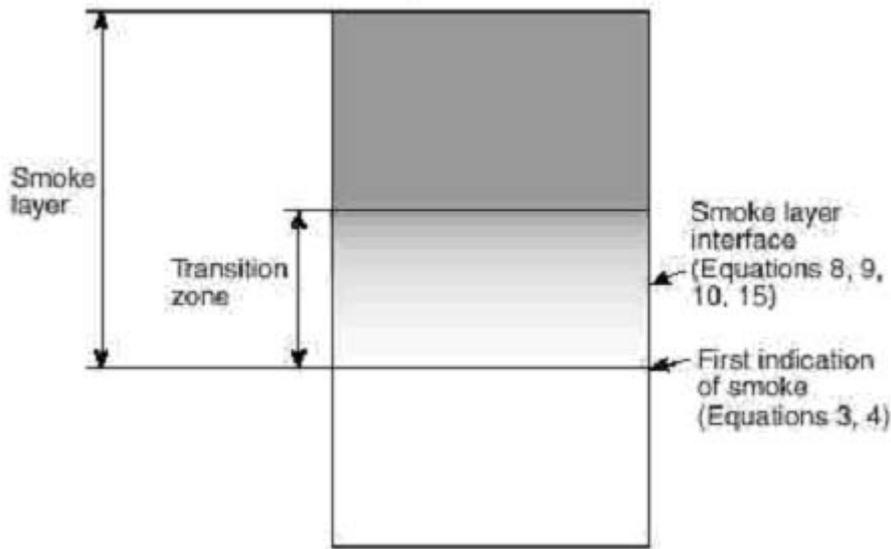


圖 20 初步煙層位置示意圖

而由於模擬或實驗中並無法直接取得煙層的高度，須依據Cooper[27]所使用的N-percent method所發現之煙層與溫度的關係，可依火場中的溫度變化來推估煙層的沉降高度，其說明如下：

當火源點燃一段時間後，每一組熱電偶量得之最高溫度減去該熱電偶之環境溫度

$$\Delta T_{ref}(t) = \max[T(z_{all}, t)] - T_{amb}(z_{all}) \quad (24)$$

其中 $\Delta T_{ref}(t)$: 煙層下降至測點之溫度與環境溫度之差

$T(z_{all}, t)$: 煙層至某測點之溫度(°C)

$T_{amb}(z_{all})$: 當時所在環境溫度(°C)

$$\text{設 } T_{amb}(z_{all}) = T(z_{all}, t = 0) \quad (25)$$

如熱電偶於t=0時所測溫度可假設為當時之環境溫度，則

$$\Delta T_{ref}(t) = \max[T(z_{all}, t)] - T(z_{all}, t = 0) \quad (26)$$

在N-percentage rule中，在時間t下熱電偶有一溫度升高 $\frac{N}{100} \Delta T_{ref}(t)$

$$\text{即 } T(z_i, t) - T_{amb}(z_i) \geq \left[\frac{N}{100} \Delta T_{ref}(t) \right] \quad (27)$$

則此時即可判定煙流已沉降至該熱電偶之高度，如圖31所示。

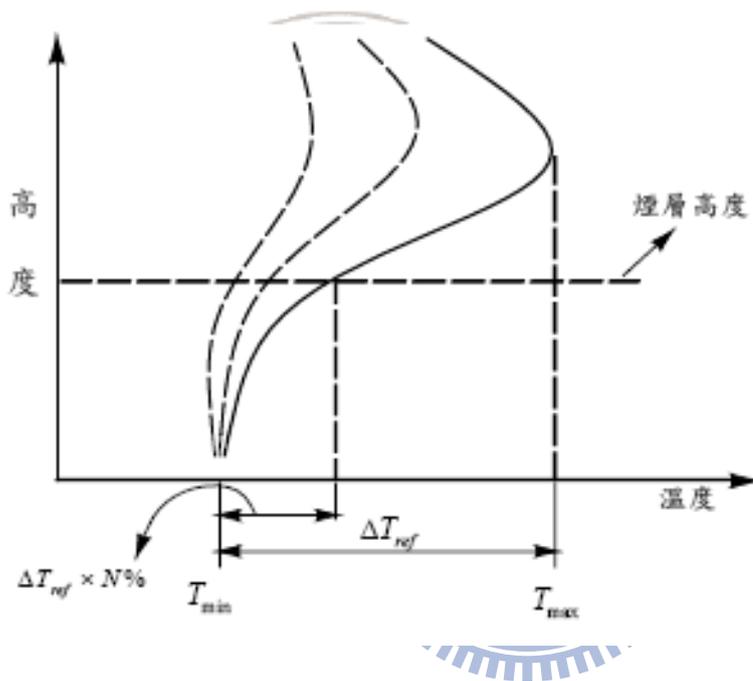


圖 21 N-百分比法原理示意圖

一般而言N值取愈小對於煙控設計愈保守安全。NFPA 92B指出判斷First Indication of Smoke的N值為10~20，而計算Heskestad煙捲吸率的N值則取80~90。本研究為得出一較安全保守之結果，N值取10做為計算依據。

3.3.3 空間設計

依各類場所消防安全設備設置標準第28條規定那些場所應設置排煙設備，由其第1項第2款規定「樓地板面積在一百平方公尺以上之居室，其天花板下方八十公分範圍內之有效通風面積未達該居室樓地板面積百分之

二者」，得知應設排煙之最小面積為 100m^2 居室。又依該標準第 188 條第 1 款規定「每層樓地板面積每五百平方公尺內，以防煙壁區劃。但戲院、電影院、歌廳、集會堂等場所觀眾席，及工廠等類似建築物，其天花板高度在五公尺以上，且天花板及室內牆面以耐燃一級材料裝修者，不在此限」，知樓高若超過 5m 且天花板及室內牆面以耐燃一級材料裝修者則免用防煙壁區劃，故本實驗樓高選定為 4.5m ，周邊牆面為水泥牆，面積為 $20\text{m}\times 50\text{m}$ ，長邊正中設防煙壁將空間分為各 500m^2 。

3.3.4 模擬格點選定

格點配置為運用 LES model 準確預測建築物內火災產生濃煙之流動與熱傳問題之一重要課題，其重點在於格點之解析度。模擬對象之格點尺寸必須小於一定的尺度始能使 subgrid-scale stress model 精確計算出中流場的黏滯應力 [5]。而火災煙柱最小長度尺度為火災特徵直徑由 (19) 式得知為

$$D^* = \left[\frac{\dot{Q}}{\rho_0 C_0 T_0 \sqrt{g}} \right]^{\frac{2}{5}} \quad (19)$$

其中 \dot{Q} 為熱釋放率 (W)， ρ_0 為空氣密度 (kg/m^3)， C_0 為空氣比熱 ($\text{KJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}$)， T_0 為環境溫度 ($^\circ\text{K}$)， g 為重力加速度 (m/s^2)。

於本研究中 $\dot{Q}=2\text{MW}$ ， $\rho_0=1.204\text{kg}/\text{m}^3$ ， $C_0=1.005\text{KJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}$ ， $T_0=298^\circ\text{K}$ ， $g=9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

將上述值代入 (19) 式得到 $D^*=1.257(\text{m})$ 。

又依3.2.1節FDS驗證研究中及國內學者柯建明文以一個20cm×20cm的油盤燃燒研究格點的解析度結果中得知〔24〕，當格點尺寸=0.1D*時LES模擬之時間平均軸心速度與溫度才會與McCaffery之實驗回歸公式吻合〔28〕（如下表）。因此利用LES model模擬火災時之煙沈積與流動現象的最大格點尺寸為0.1D*。

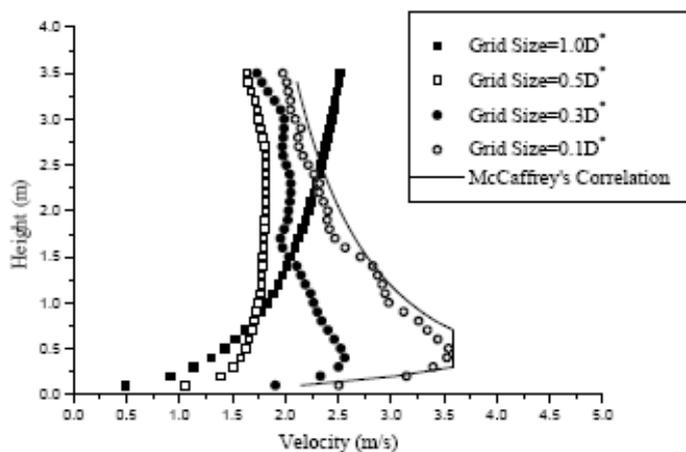


圖 22 不同格點之時間平均軸心速度（熱釋放率=24kW）

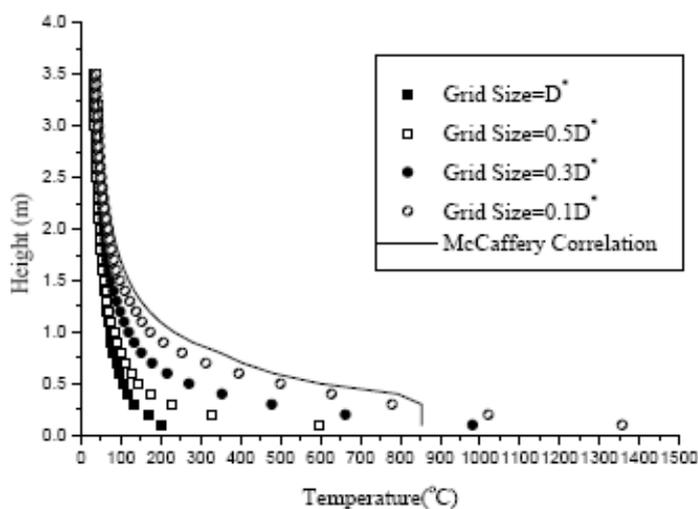


圖 23 不同格點之時間平均軸心溫度（熱釋放率=24kW）

故本研究之模擬格點尺寸為 $0.1 D^* = 0.1257(m)$ ，採均一格點方式，模擬空間共計 $400 \times 160 \times 36 = 2304000$ 格點。

3.3.5 排煙設備設計

依各類場所消防安全設備設置標準第188條第1項第8款「排煙機應隨任一排煙口之開啟而動作。排煙機之排煙量在每分鐘一百二十立方公尺以上；且在一防煙區劃時，在該防煙區劃面積每平方公尺每分鐘一立方公尺以上；在二區以上之防煙區劃時，在最大防煙區劃面積每平方公尺每分鐘二立方公尺以上。但地下建築物之地下通道，其總排煙量應在每分鐘六百立方公尺以上」。故本實驗模擬一防煙區劃面積定為 $500m^2$ ，則風機之排煙量最小應為 $500m^3/min$ 。排煙口面積採用一般尺寸 $60cm \times 60cm$ 。

3.4 FDS模擬情境設定

本研究所建構之空間特性參數如表4、表5，模擬空間如圖24，情境設計如表6

表 4 高度 4.5m FDS 模擬空間特性參數表

空間大小	$50m \times 20m \times 4.5m$ ， $0.1 D^* = 0.1257m$ ，共2304000格點
初始溫度	$25^\circ C$
初始速度	0
壁面材質	混凝土，厚0.1m
門	非火源側半側右方一個門呈開啟狀態， $2m \times 0.9m$
防煙壁材質	矽酸鈣板， $20m \times 0.5(0.8)m$ ，厚0.005m

機械排煙	火源側正中央上方(低於1/2樓地板高時於側壁)，0.6m×0.6m，排氣量500m ³ /min
探測器	偵煙探測器，蓄積時間20秒，火源側右下方
熱電偶	設於高度1.8m、2.25m、3m、3.7m、4m、4.2m處，位於X軸座標6.25m、12.5m、18.75m、31.25m、37.5m、43.75m等6處
火源	2MW穩定丙烷火源，火源側左上方距各牆面1m處

表 5 高度 3m FDS 模擬間特性參數表

空間大小	50m×20m×3m， $0.1D^*=0.1257m$ ，共1536000格點
初始溫度	25°C
初始速度	0
壁面材質	混凝土，厚0.1m
門	非火源側半側右方一個門呈開啟狀態，2m×0.9m
防煙壁材質	矽酸鈣板，20m×0.5(0.8)m，厚0.005m
機械排煙	火源側正中央上方(低於1/2樓地板高時於側壁)，0.6m×0.6m，排氣量500m ³ /min
探測器	偵煙探測器，蓄積時間20秒，火源側右下方
熱電偶	設於高度1.8m、2.1m、2.4m、2.6m、2.8m、3m處，位於X軸座標6.25m、12.5m、18.75m、31.25m、37.5m、43.75m等6處
火源	2MW穩定丙烷火源，火源側左上方距各牆面1m處

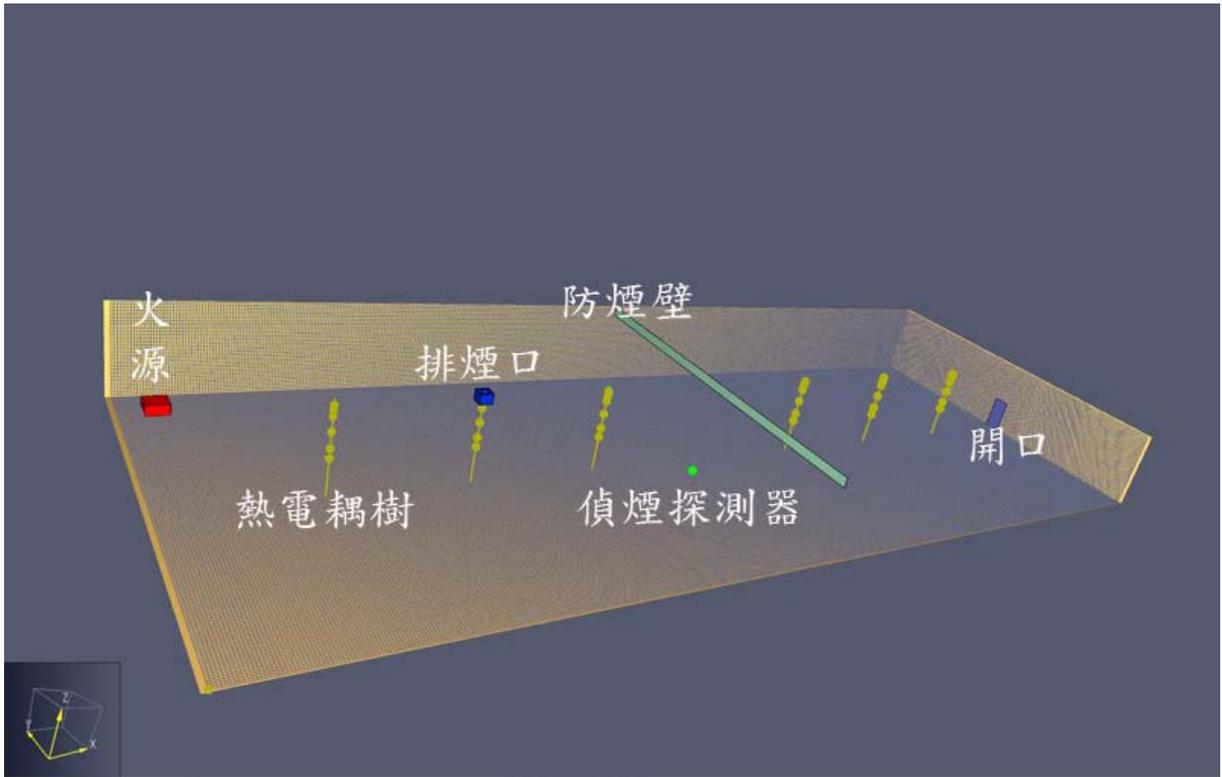
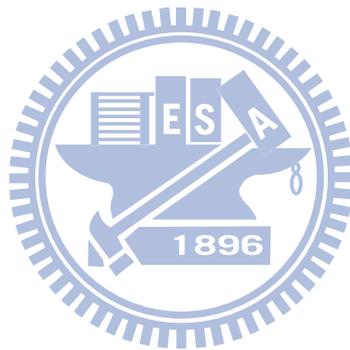


圖 24 FDS 模擬空間示意圖

表 6 FDS 模擬情境表

情境	樓地板高度	防煙壁高度	排煙口高度	排煙設備是否啟動	模擬開始排煙即起動
1	4.5m	0.5m	NA	否	否
2	4.5m	0.5m	4.5m	是	否
3	4.5m	0.5m	4.2m	是	否
4	4.5m	0.5m	4m	是	否
5	4.5m	0.5m	3.7m	是	否
6	4.5m	0.5m	2.25m	是	否
7	4.5m	0.5m	1.8m	是	否
8	4.5m	0.8m	NA	否	否
9	4.5m	0.8m	4.5m	是	否
10	4.5m	0.8m	4.2m	是	否
11	4.5m	0.8m	4m	是	否
12	4.5m	0.8m	3.7m	是	否
13	4.5m	0.8m	2.25m	是	否
14	4.5m	0.8m	1.8m	是	否
15	4.5m	2.25m	NA	否	否
16	4.5m	0m	NA	否	否
17	4.5m	0.5m	4.5m	是	是
18	4.5m	0.8m	4.5m	是	是

19	3m	0.5m	NA	否	否
20	3m	0.5m	3m	是	否
21	3m	0.5m	1.8m	是	否
22	3m	0.8m	NA	否	否
23	3m	0.8m	3m	是	否
24	3m	0.8m	1.8m	是	否



第四章 FDS模擬實驗結果

4.1 各情境平均煙層高度與時間關係圖

因FDS模擬後主要為利用其所附之smokeview程式做後處理，其主要為將運算結果做3D視覺化呈現，較易直覺化理解其模擬結果。但其亦會將設定檔中設定之各種偵測設備測量之值，以數值方式輸出記錄成檔，其格式為逗號分隔檔CSV格式。因目前可搭配FDS輸出之CSV檔做後處理或後續運算製表之程式有限，且需付費。故本研究藉由防煙壁所分隔之火源與非火源側所建立之各3組熱電耦樹，輸出其測量值為CSV檔後，利用EXCEL建立N-percent method公式，將六組熱電耦樹輸出之溫度值計算後轉為煙層高度值，並依二區劃之各三組高度數據平均，求出二側之平均煙層高度值後，再利用EXCEL將煙層高度值繪製成曲線圖，其結果臚列如下。

4.1.1 樓高4.5m，防煙壁高0.5m情境組

本情境組為固定樓高及防煙壁高度，藉由有無排煙口及排煙口高度之調整，觀察煙層高度之變化。以探討排煙口位置是否有效影響煙層之高度及現行法規排煙口之效率為何。無排煙口之情境乃為與下一防煙壁0.8m未設排煙口之情境做一比較，探討防煙壁之阻煙性能是否0.8m者較0.5m者為佳，或防煙壁其實際作用及與煙層高度之關係為何。

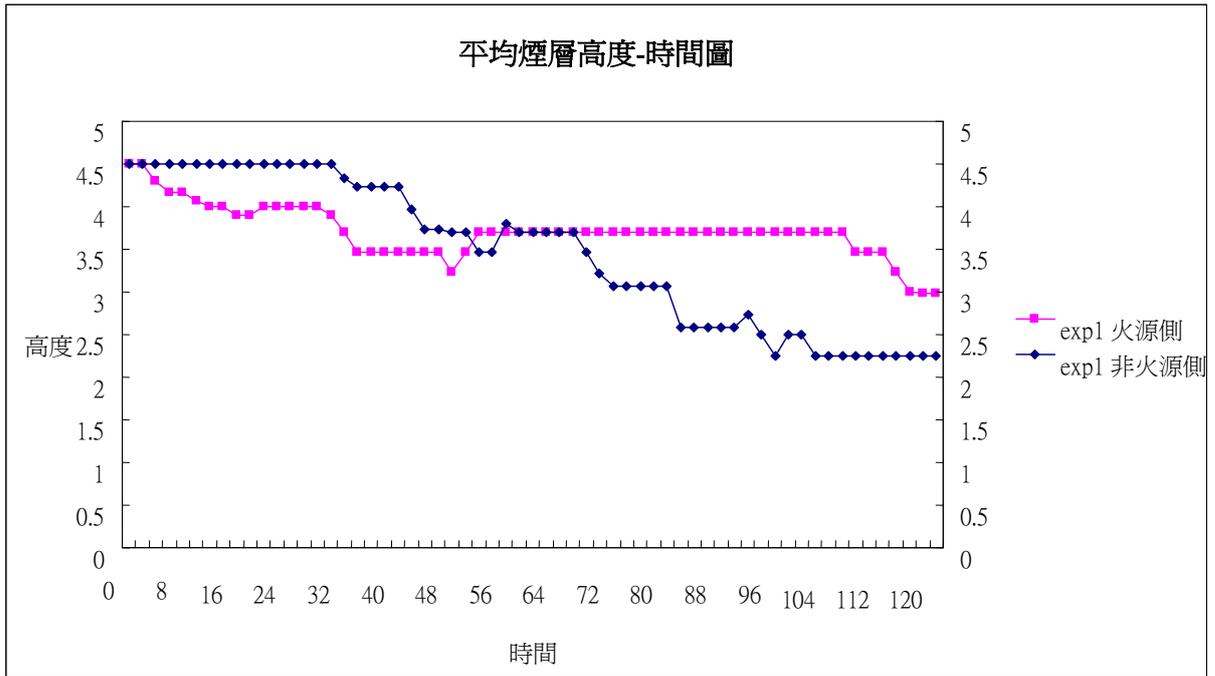


圖 25 情境 1 平均煙層高度時間圖

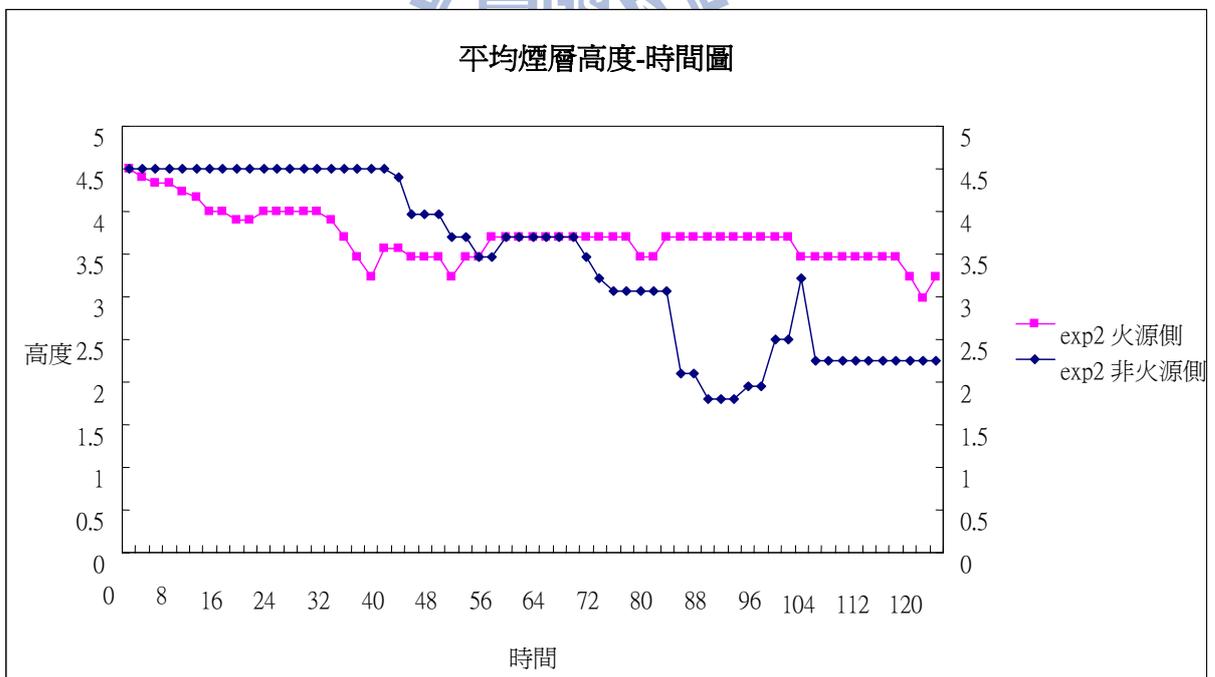


圖 26 情境 2 平均煙層高度時間圖

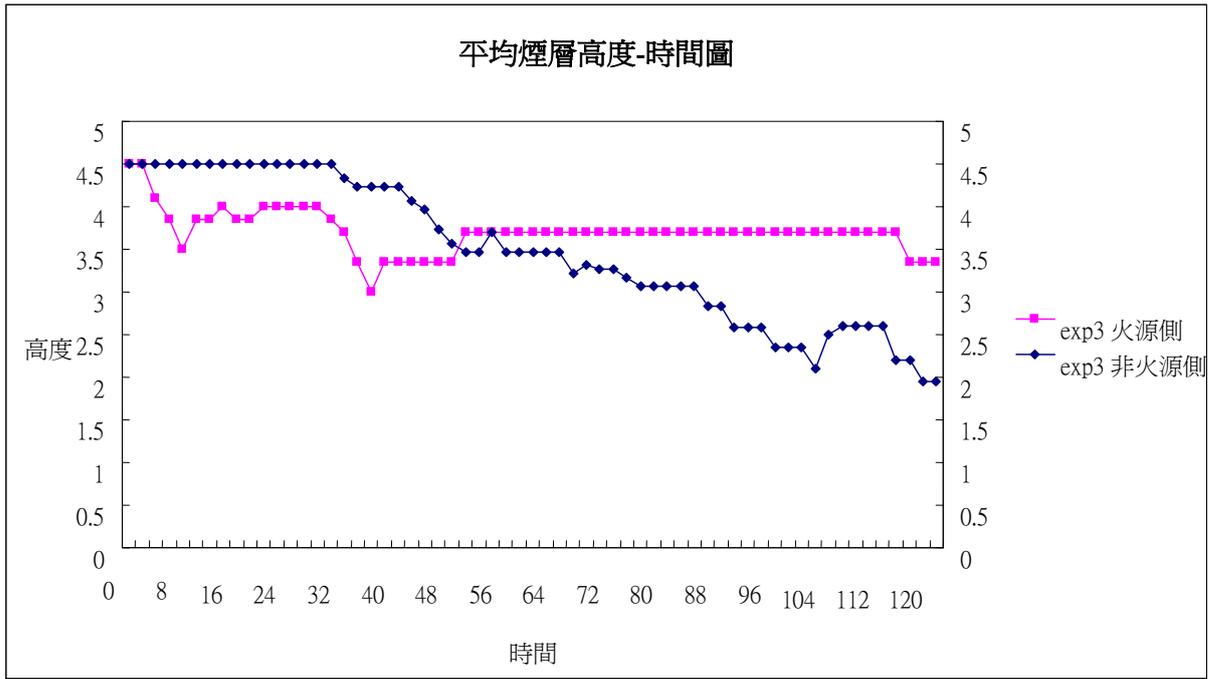


圖 27 情境 3 平均煙層高度時間圖

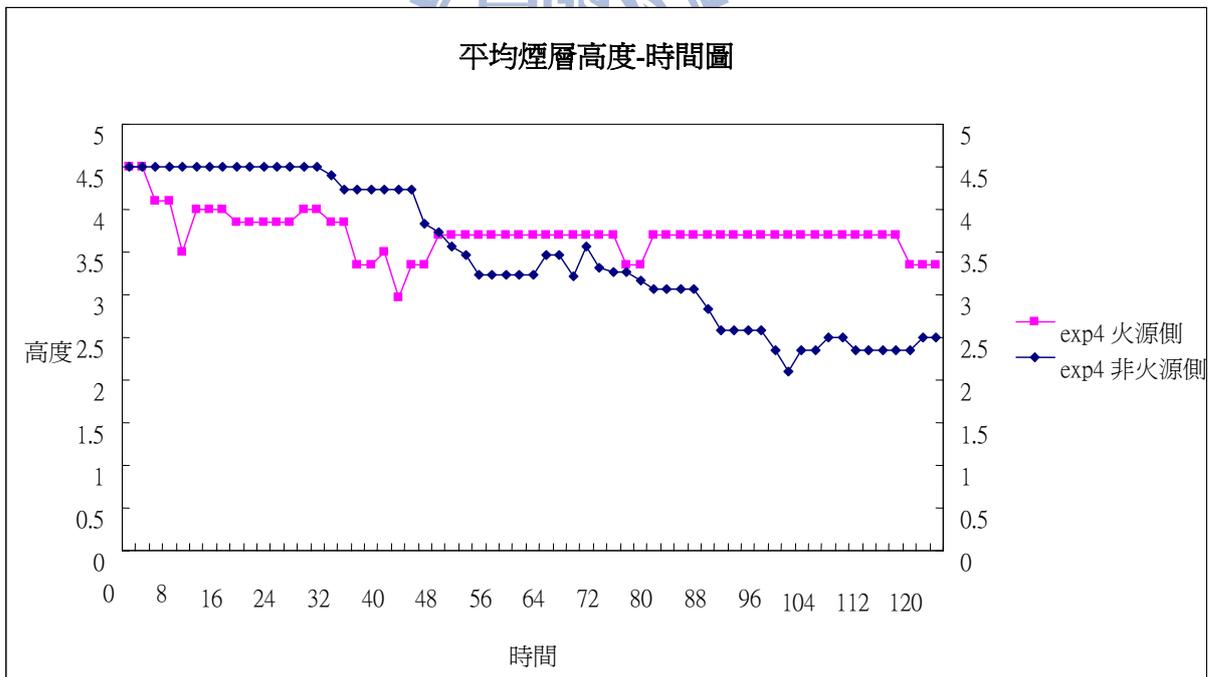


圖 28 情境 4 平均煙層高度時間圖

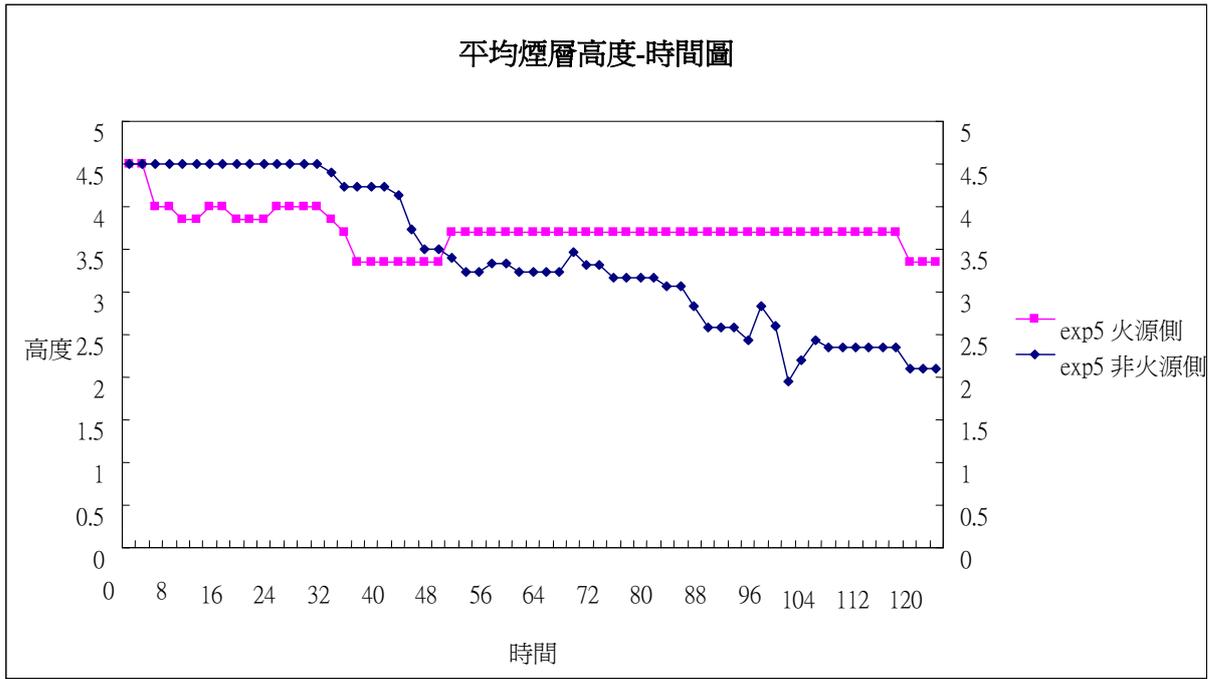


圖 29 情境 5 平均煙層高度時間圖

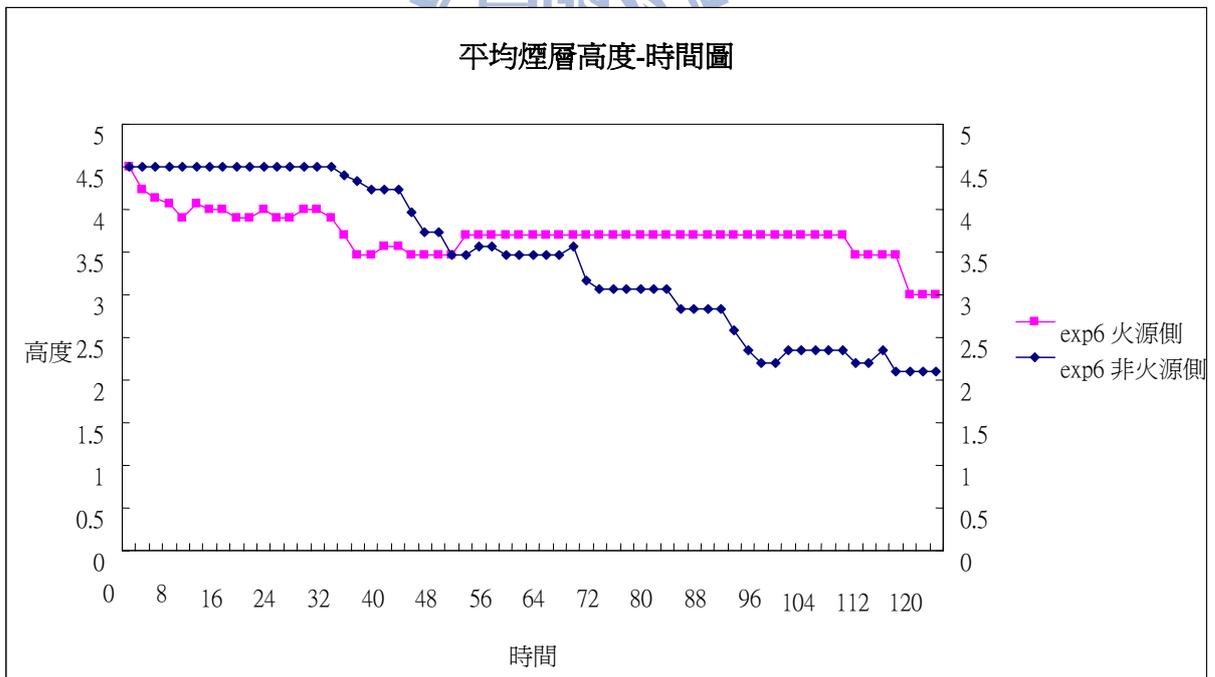


圖 30 情境 6 平均煙層高度時間圖

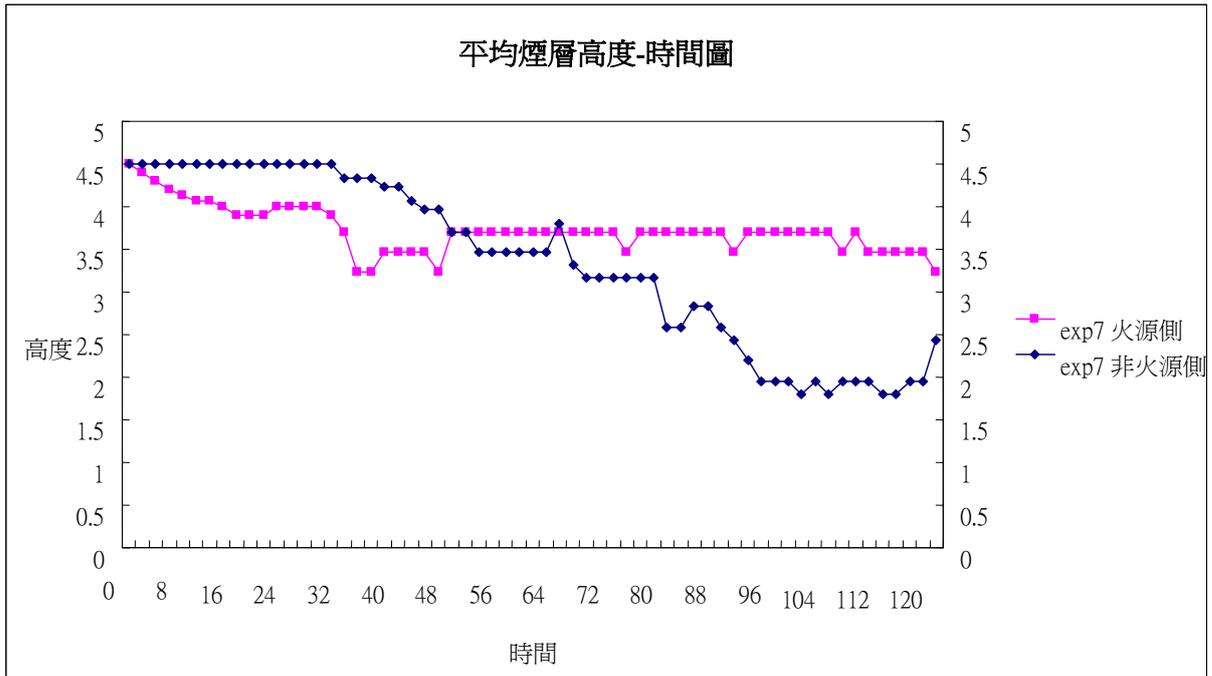


圖 31 情境 7 平均煙層高度時間圖

由各情境之模擬結果來看，非火源側之煙層約於 34 秒時開始下降，代表煙層已開始瀰漫於此區劃。又約在 50~56 秒間，兩區劃間之煙層高度已達到相同高度，其有無設排煙口及排煙口高度為何，對兩區劃間煙層之擴散時間並無明顯影響。但於兩側煙層達到相同高度後(低於防煙壁高度)，火源側受熱及壓力影響將煙層穩定推送至另一區劃，而其煙層高度幾維持不變。雖排煙口初期並無有效控制煙層高度，但至後期有設排煙口之情境可維持其高度較長時間，至另一區劃煙層回捲為止。而非火源側煙層高度煙受防煙壁擾動及無排煙口之因素，煙層高度明顯低於火源側。

4.1.2 樓高4.5m，防煙壁高0.8m情境組

本情境組與上一情境組除防煙壁高度調整為0.8m外，其餘均相同。以做為兩相比較之依據。

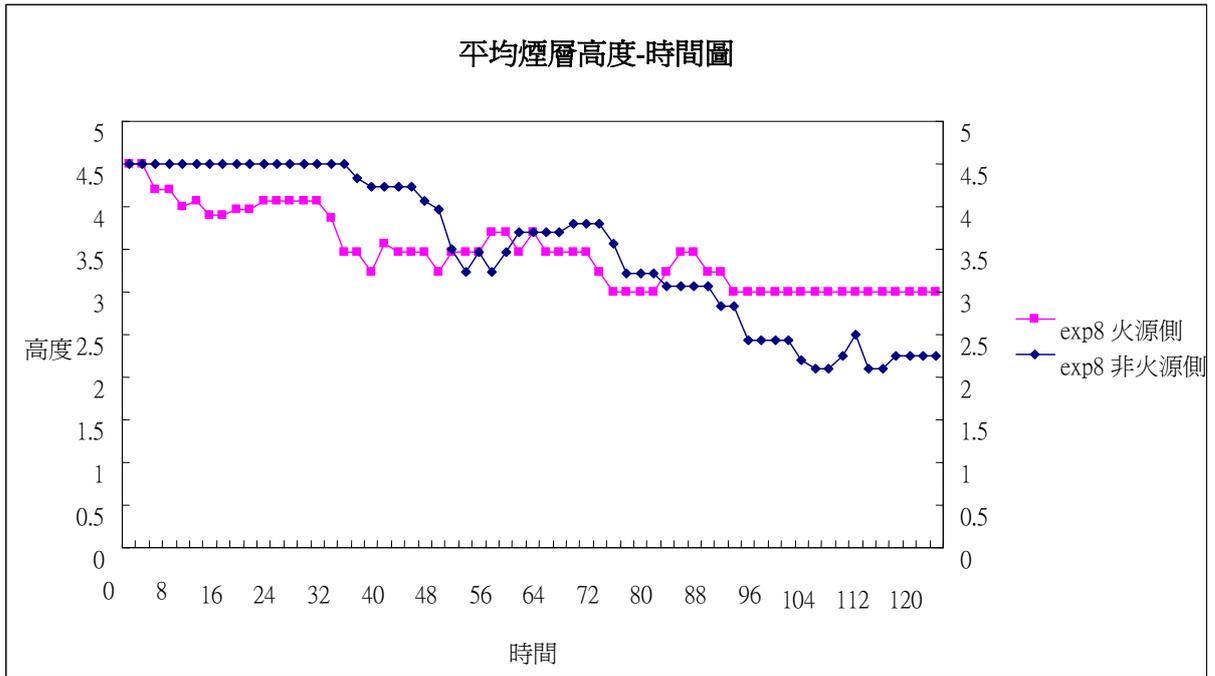


圖 32 情境 8 平均煙層高度時間圖

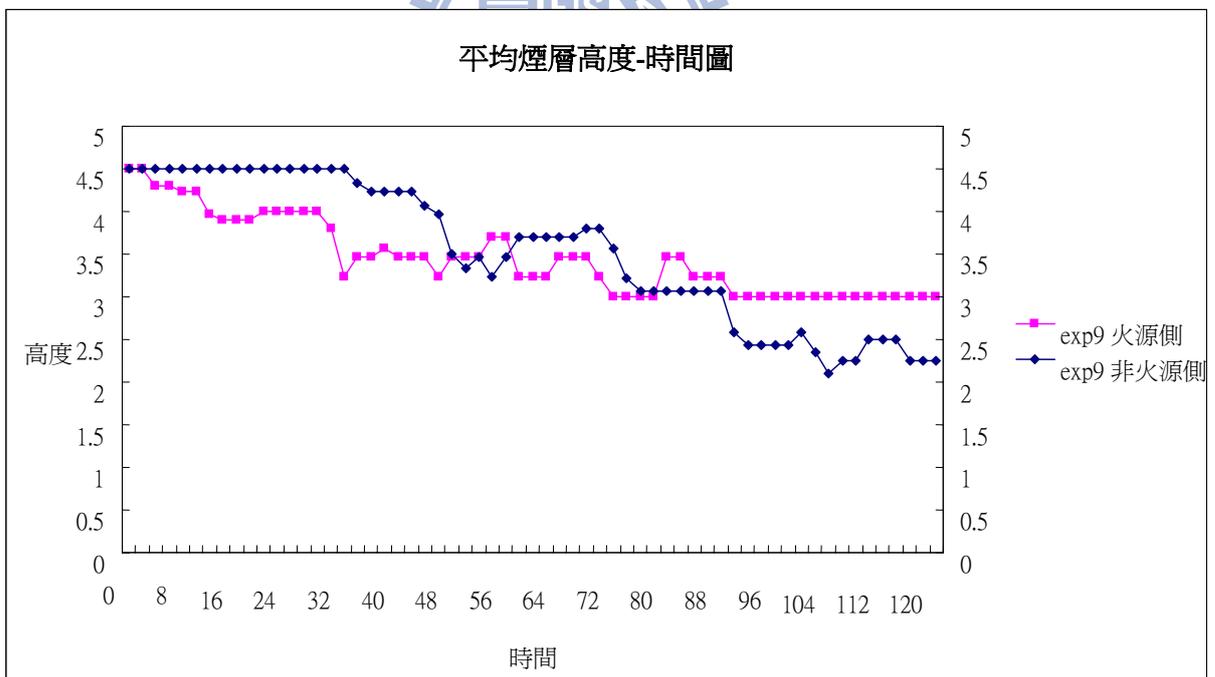


圖 33 情境 9 平均煙層高度時間圖

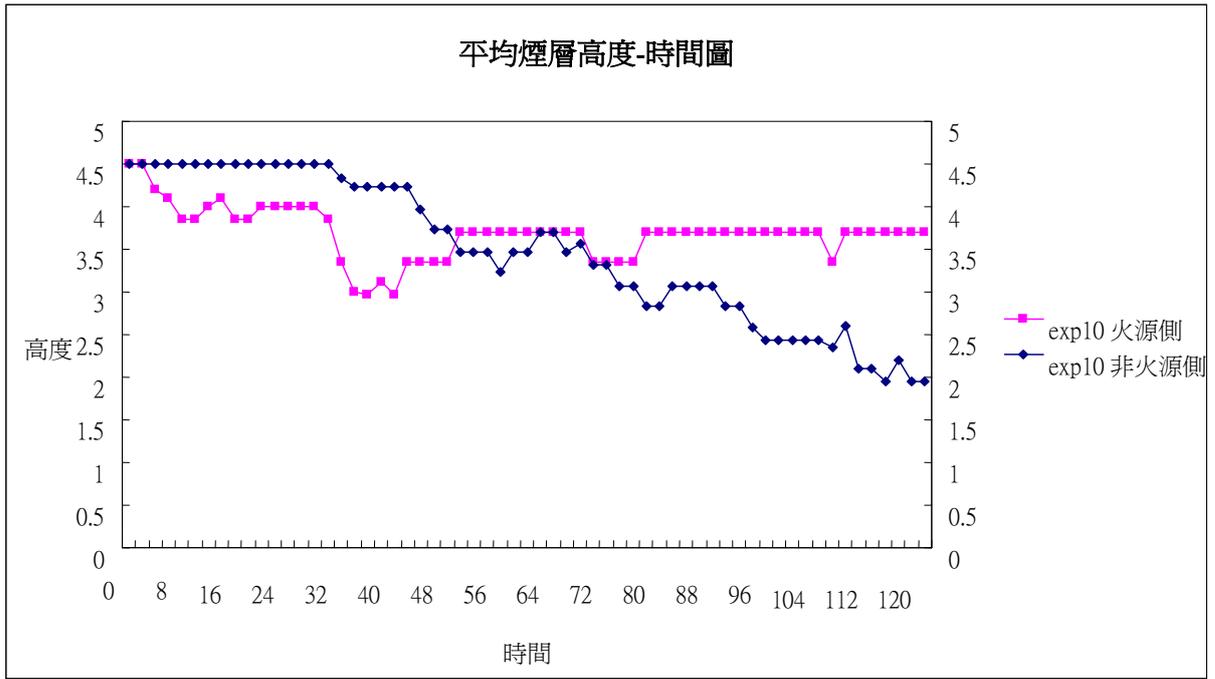


圖 34 情境 10 平均煙層高度時間圖

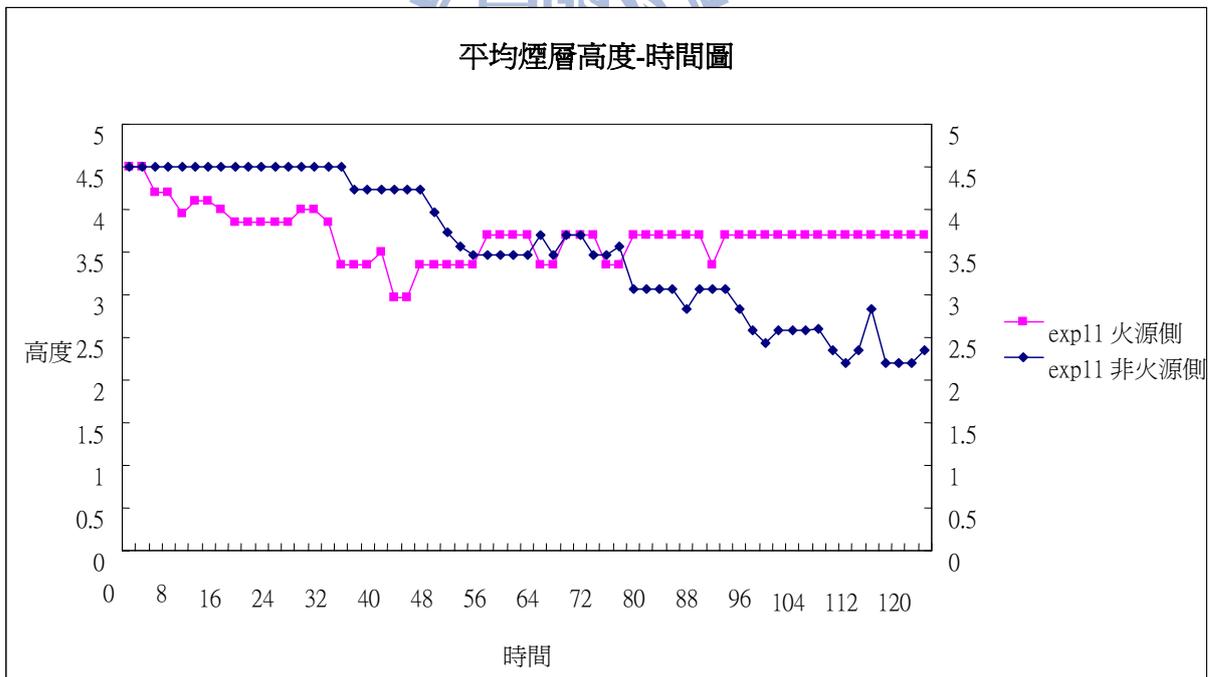


圖 35 情境 11 平均煙層高度時間圖

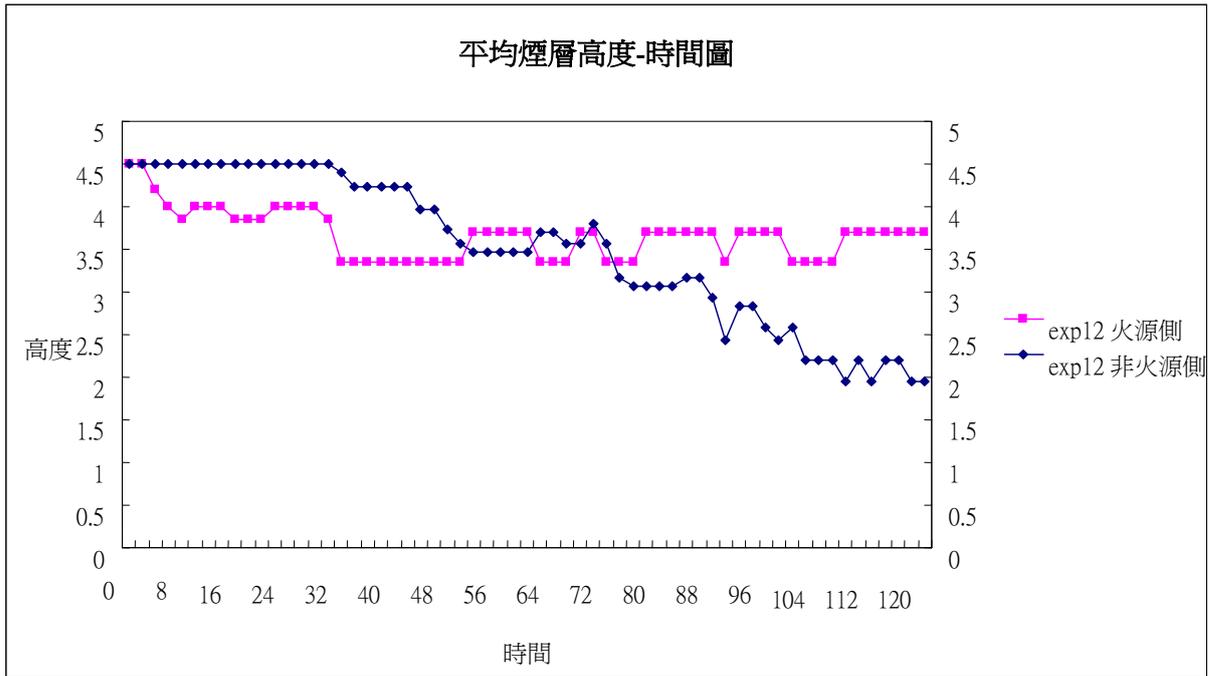


圖 36 情境 12 平均煙層高度時間圖

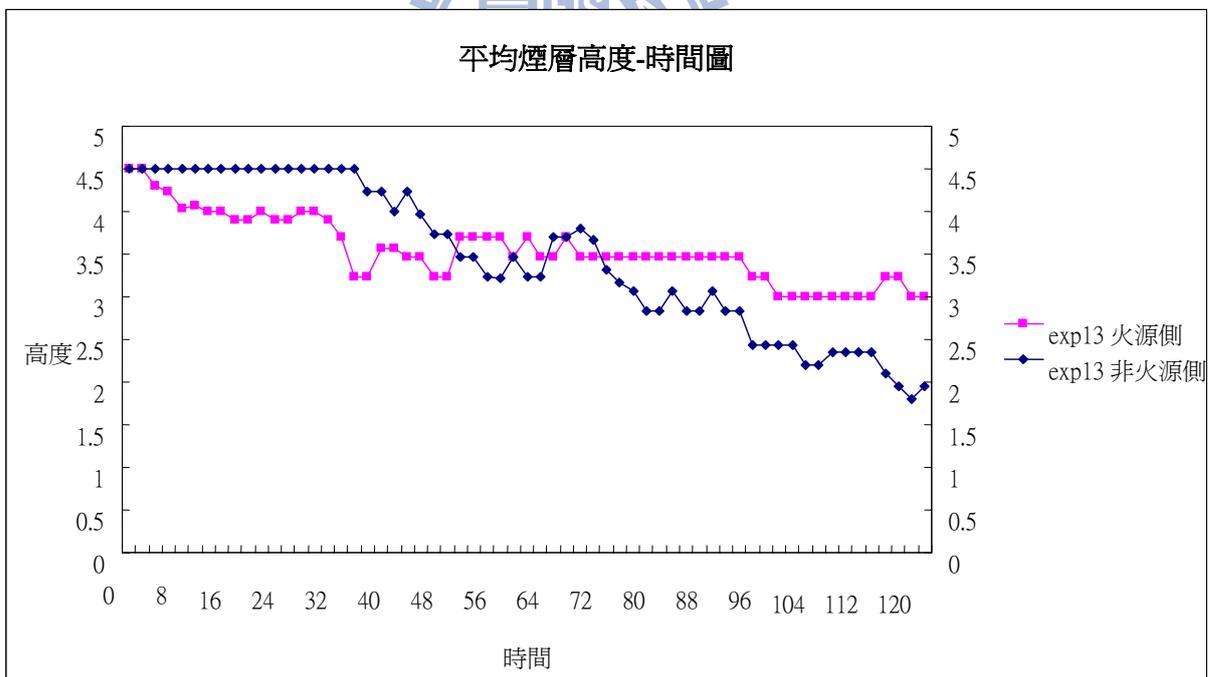


圖 37 情境 13 平均煙層高度時間圖

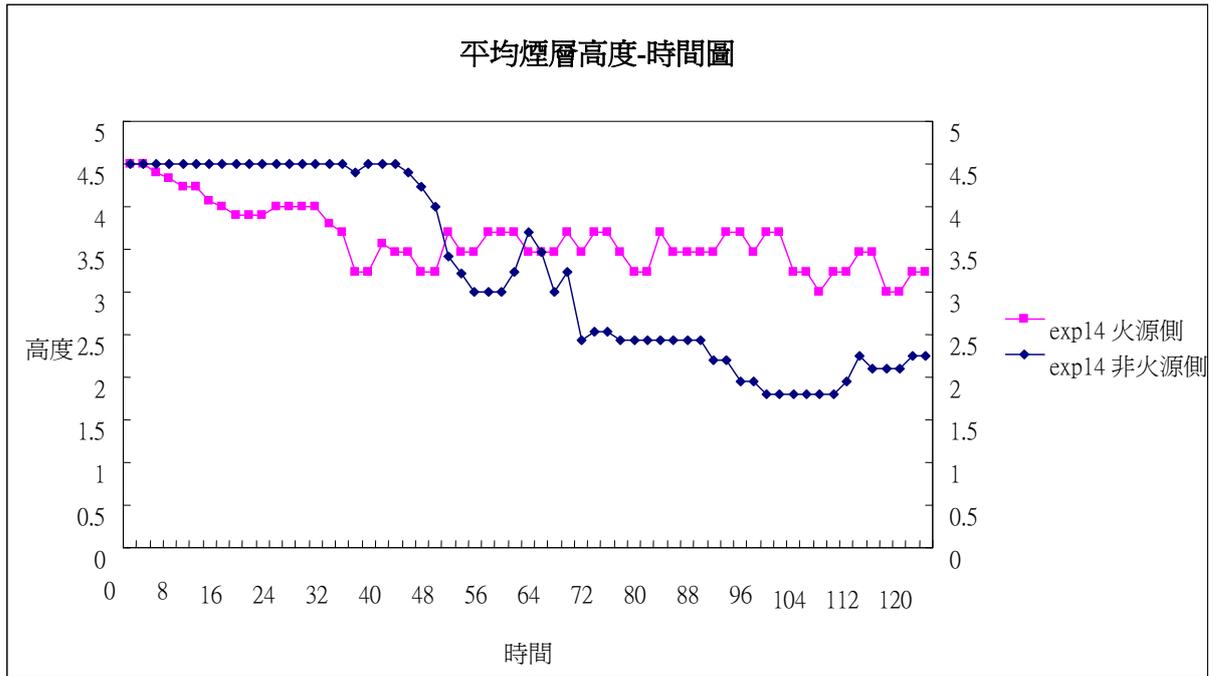


圖 38 情境 14 平均煙層高度時間圖

由各情境之模擬結果來看，兩區劃間之煙層高度並無明顯達到相同高度之時間，其煙層高度上下波動較防煙壁 0.5m 者為大。而非火源側煙層高度約於 36~46 秒間開始下降，阻煙性能明顯較 0.5m 防煙壁者為佳。且防煙壁 0.8m 時，排煙口位置愈低其阻煙擴散至下一區劃效果愈佳。以排煙口高 1.8m 之情境來說，非火源側之煙層開始下降時間延遲至 46 秒，較防煙壁 0.5m 者多約 12 秒。但非火源側煙層開始下降後，即持續下降。而火源側可看出煙層高度之波動，應為排煙口發生作用，且其似有理想裝置高度。以排煙口高度 4.2m、4m 之情境 10、11 來看，其煙層高度較其他情境穩定且較高，應為排煙口位於效率最佳位置之故。

4.1.3 樓高 4.5m 對照情境組

除以上二情境組外，為瞭解防煙壁至何高度可完全阻擋煙流跨越防煙區

劃，及未設防煙壁時煙流跨越原防煙壁位置所費時間。以做為以上二情境組之基準對照之用。因樓高 4.5m 防煙壁至一半高度及 2.25m 即已到達可容忍之高度極限，否則會造成人員壓迫感無法做為居室之用。故以 2.25m 為防煙壁高度模擬。而為避免排煙口之影響煙流，故此二情境皆未設置排煙口。

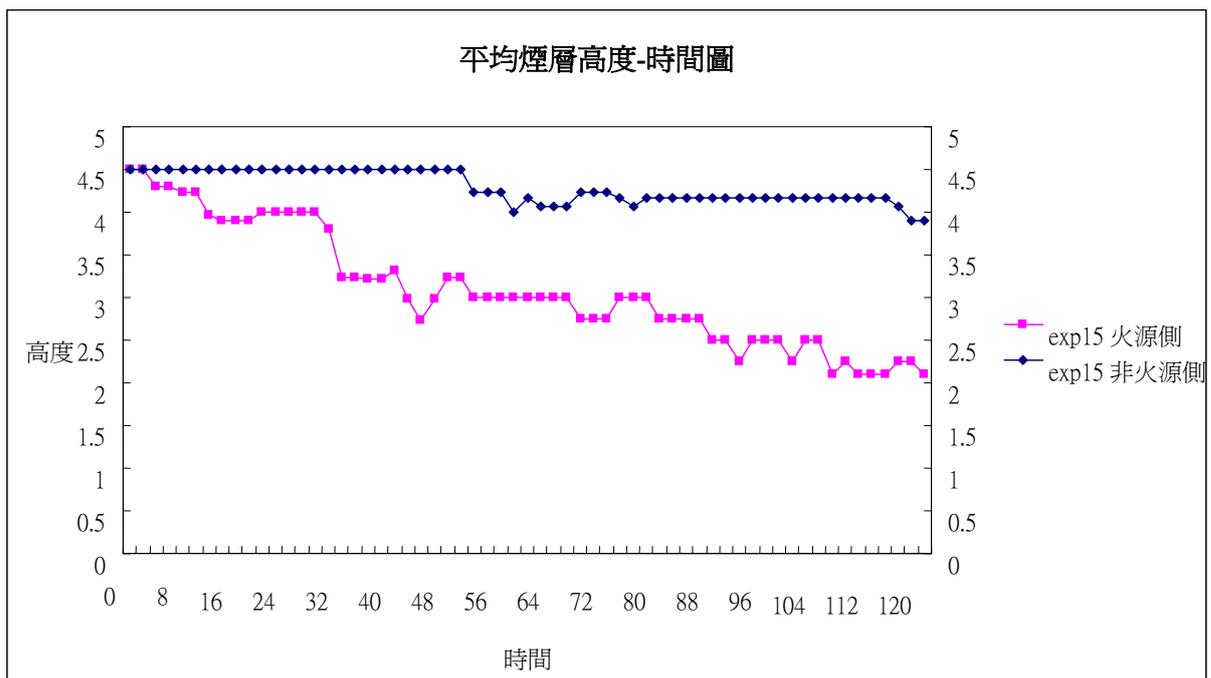


圖 39 情境 15 平均煙層高度時間圖

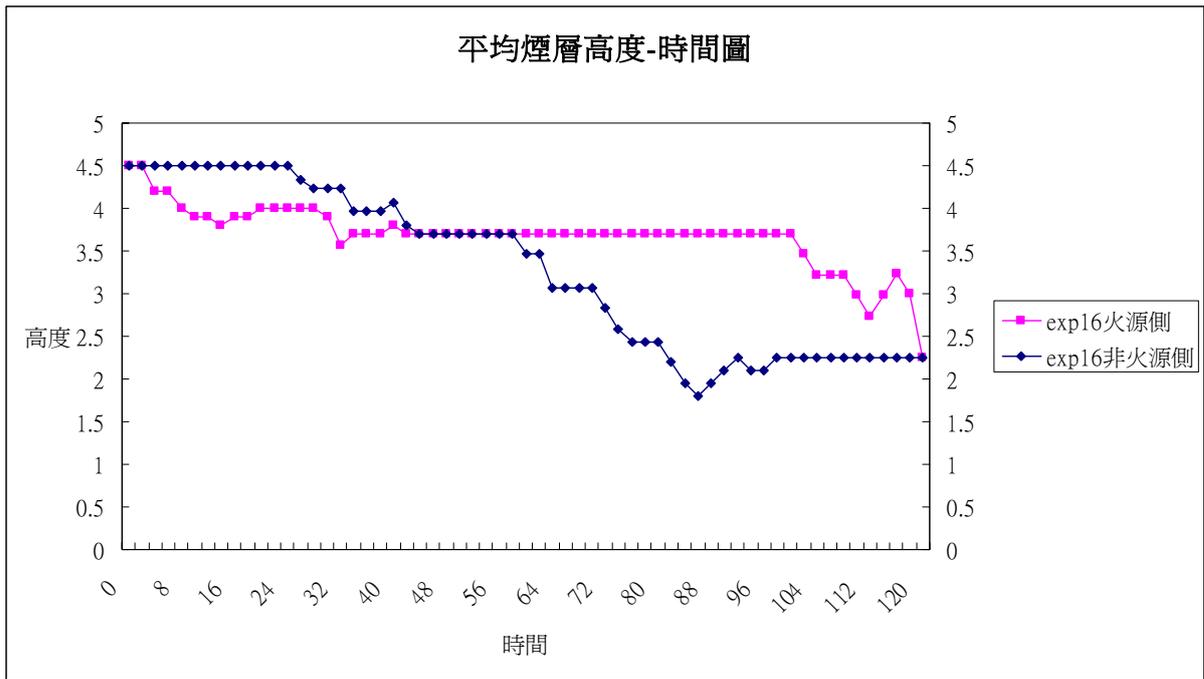


圖 40 情境 16 平均煙層高度時間圖

防煙壁 2.25m 之情境其煙層幾無法跨越防煙壁至另一區劃，至煙層高度低於 2.25m 時才有部分煙層散逸至另一區劃。而未設防煙壁時約至 46 秒時兩側煙層高度相同，而至 62 秒時非火源側煙層接觸空間邊緣後回捲，故煙層高度開始降低。至 104 秒時煙層回捲至火源側，使火源側煙層高度降低。約至 120 秒時兩側煙層達到等高。而以情境 16 相較前列有設排煙口情境，其煙層高度明顯較低，可見排煙口仍有發揮一定控制煙層效果，惟其效能仍須進一步探討。

4.1.4 排煙口高度 4.5m 全時開啟情境組

此情境組乃為瞭解排煙口之是否延遲，與煙層高度之關係。且為減少模擬所費時間，故其情境之設定與 4.1.1、4.1.2 節皆相同，排煙口僅設於 4.5m 處並全時開啟。

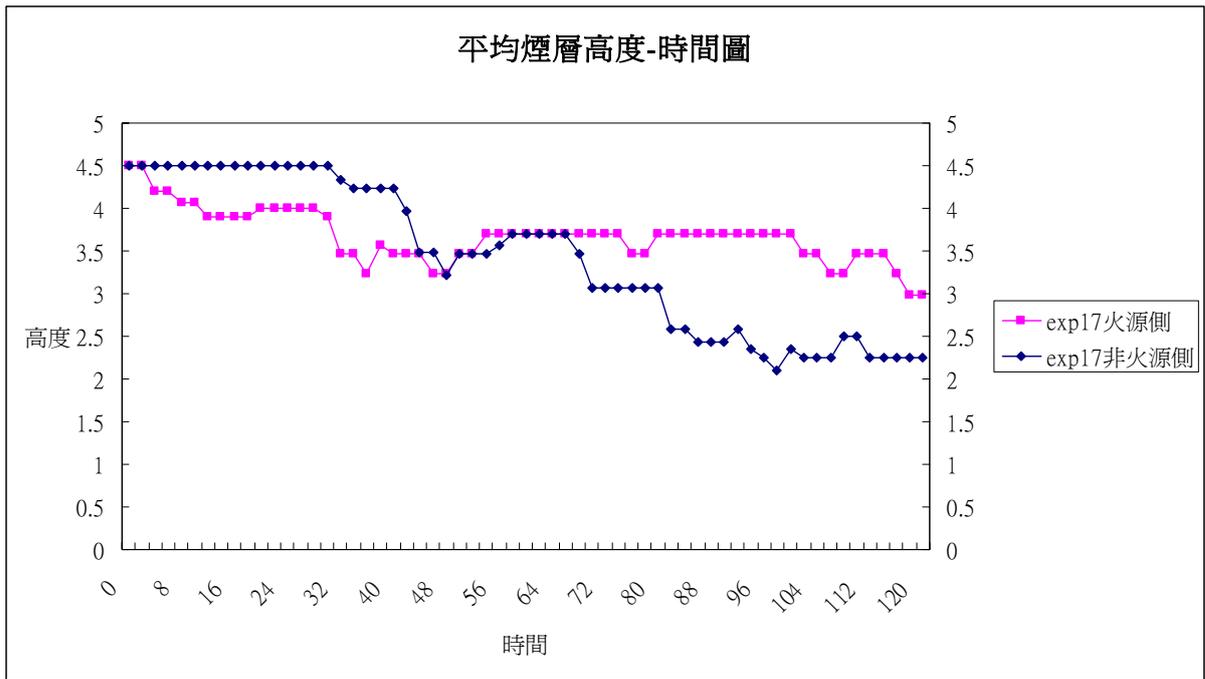


圖 41 情境 17 平均煙層高度時間圖

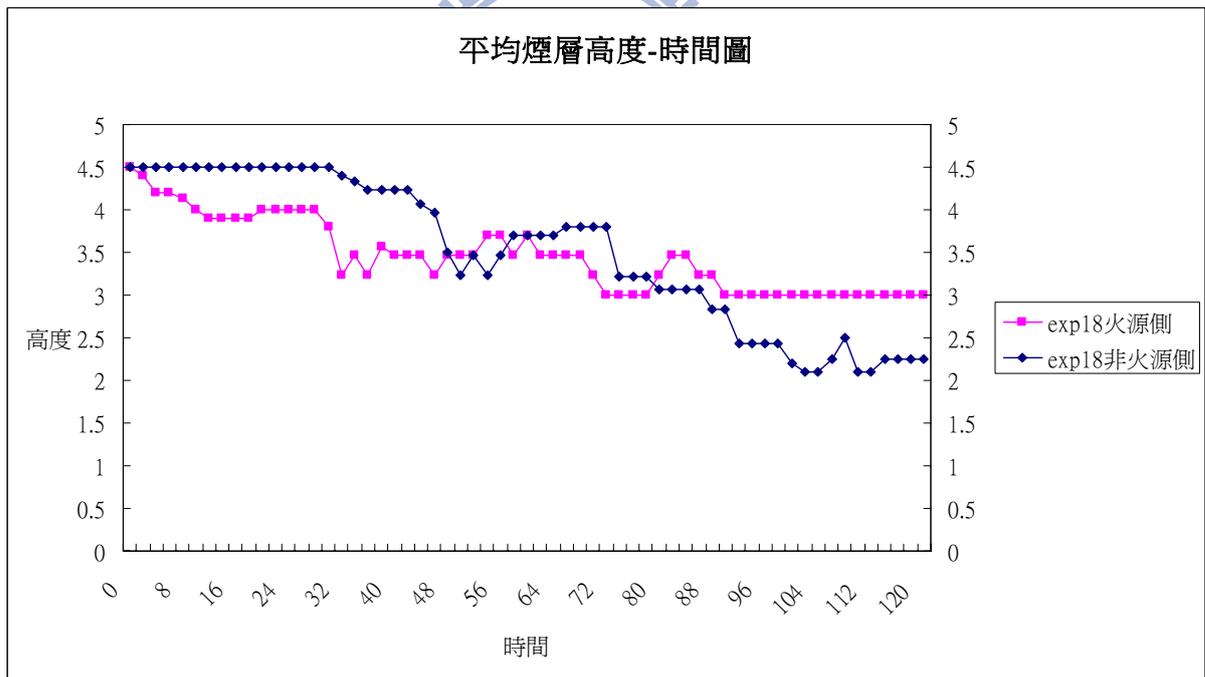


圖 42 情境 18 平均煙層高度時間圖

由模擬結果來看，非火源側煙層開始下降時間與排煙口有延遲者並無明顯差異，皆約在 34 秒。平均煙層高度、兩側煙層同高時間均與排煙口未延遲者無明顯差異。可推知排煙口若提早啟動並未對煙層高度等造成影響，

而延後至法規規定 60 秒上限是否有影響及其原因為何，因此非本研究欲探討之課題，故仍需其他研究者更進一步探討。

4.1.5 樓高 3m 之情境組

為瞭解樓高是否影響防煙壁及排煙口性能，故以 4.1.1、4.1.2 節之情境組方式，調整排煙口之有無及高度以觀察煙層高度變化。防煙壁高度亦為 0.5m(情境 19~21)及 0.8m(情境 22~24)，排煙口高度因樓高較低僅分為未設、3m、1.8m 三種。

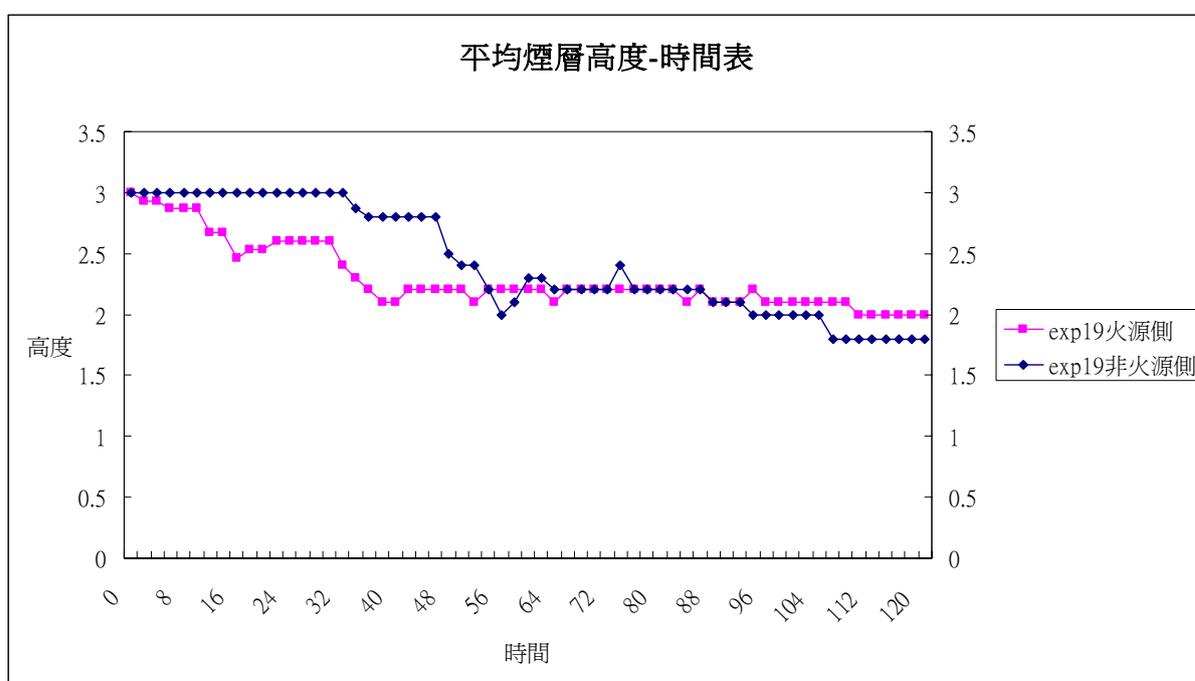


圖 43 情境 19 平均煙層高度時間圖

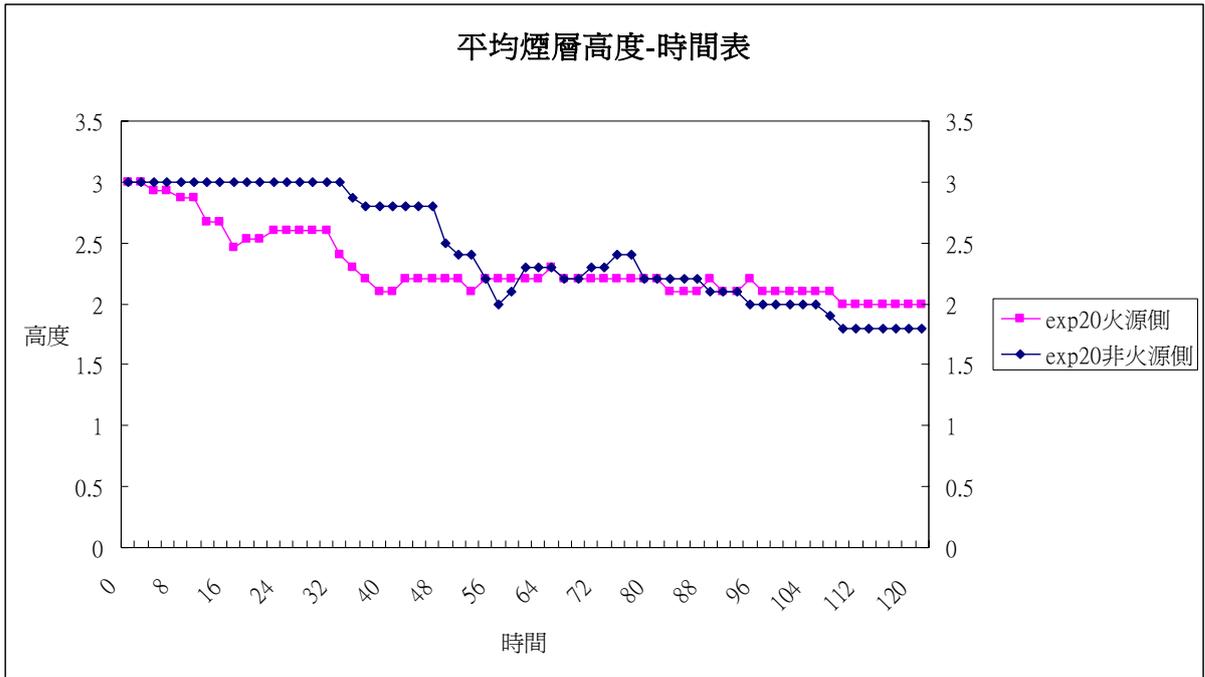


圖 44 情境 20 平均煙層高度時間圖

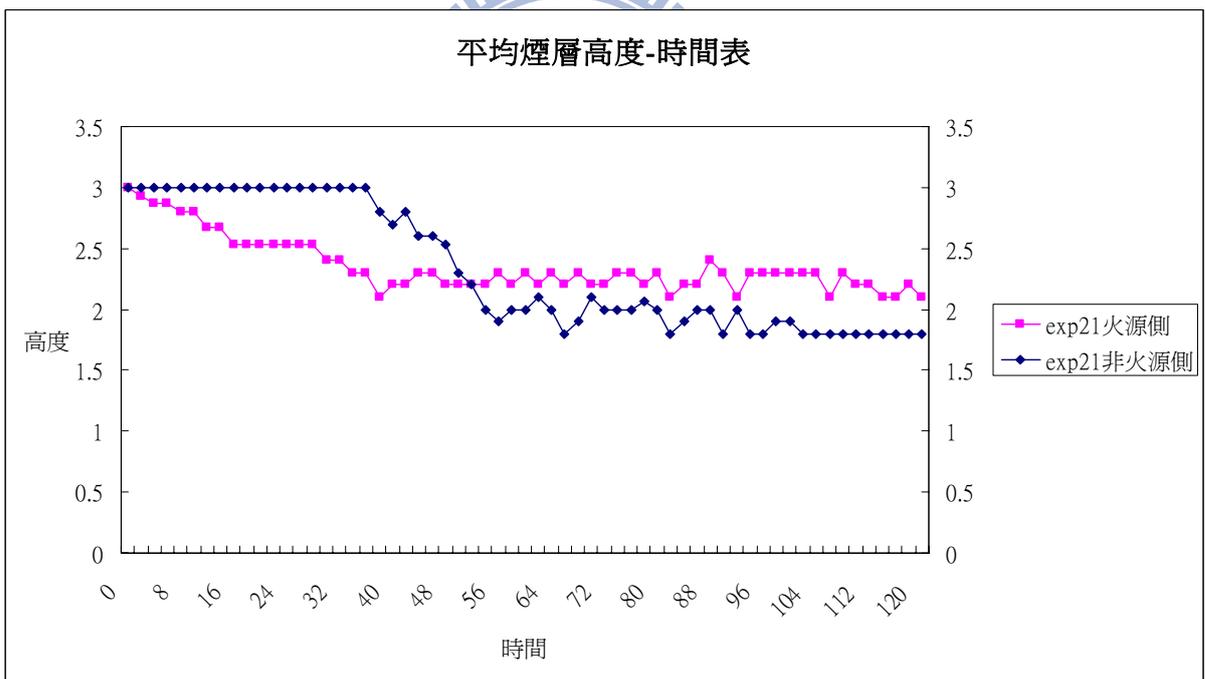


圖 45 情境 21 平均煙層高度時間圖

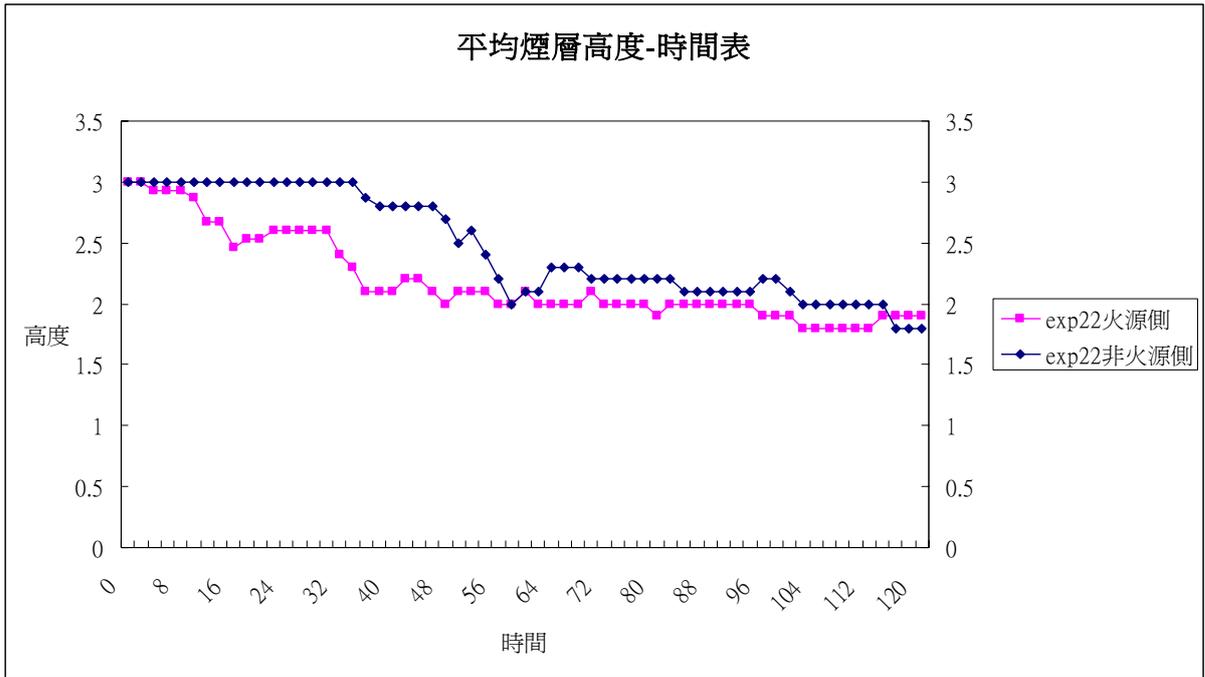


圖 46 情境 22 平均煙層高度時間圖

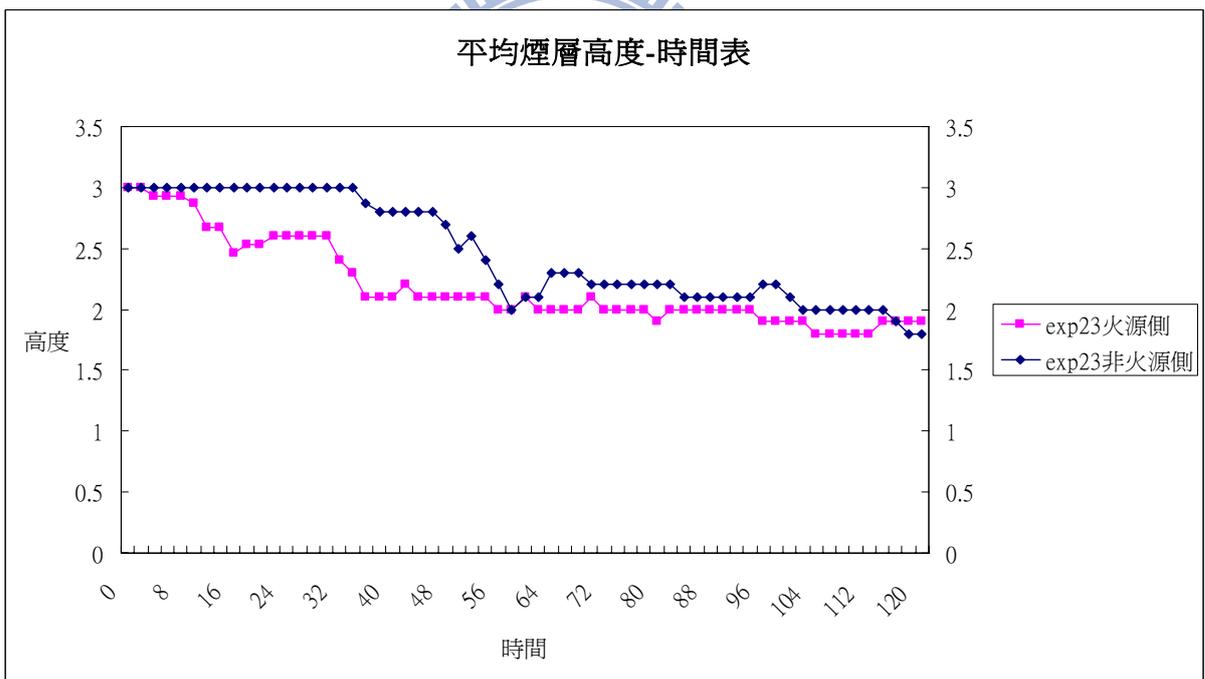


圖 47 情境 23 平均煙層高度時間圖

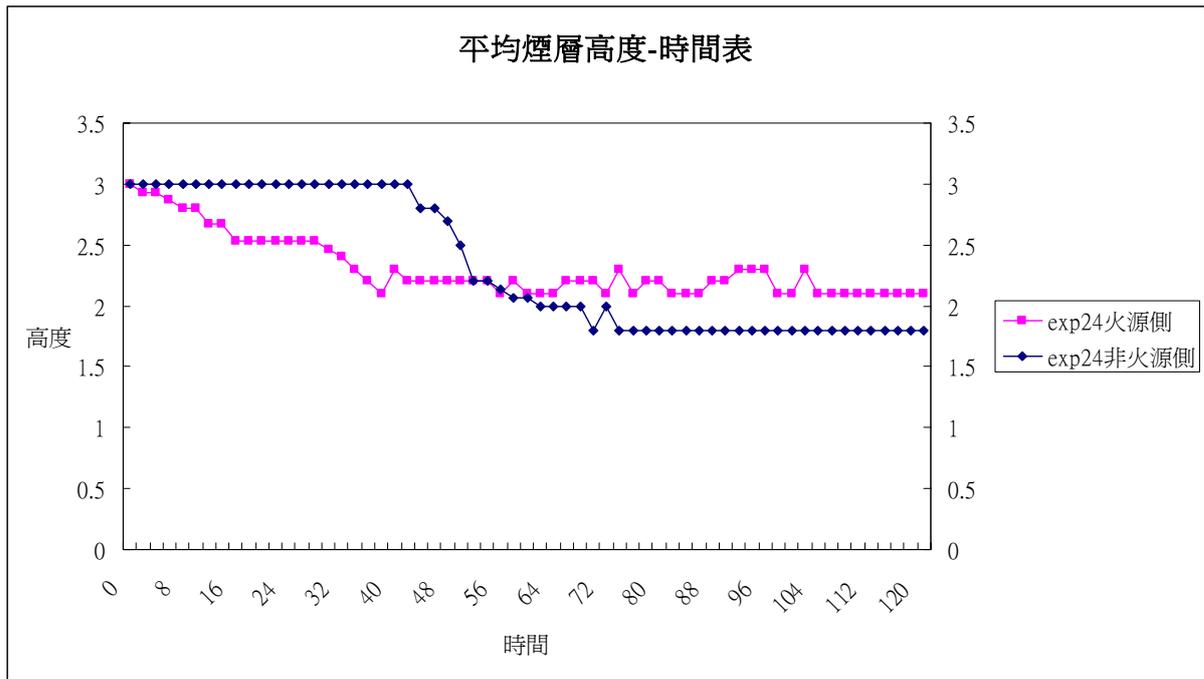


圖 48 情境 24 平均煙層高度時間圖

由模擬結果來看，其非火源側煙層開始降低時間約為36~46秒，時間較樓高4.5m者為長，其阻煙流動之性能較明顯。雖排煙口有無設置及其高度並無法有效影響煙層之擴散，但從模擬結果來說，排煙口較低者(情境21、24，排煙口高1.8m)，較未設及設於天花板者能控制煙層於較高位置，約於2.1m處。而為何排煙口較低反而可控制煙層於較高位置且較穩定，亦須於前述樓高4.5m情境者，做一深入探討。但總體而言，樓層高度較低者其防煙壁與排煙口性能較樓層高度高者為佳。

4.2 各情境煙層跨越防煙壁時間及第120秒時煙層分布情形

為瞭解各情境其煙層跨越防煙壁(位置)之時間差異，及模擬終了第120秒時煙層蓄積狀況，故每一情境均將其煙層跨越防煙壁時及第120秒時之煙層狀況以FDS後處理程式smokeview予以輸出，以做為一比較基礎及瞭解實際煙流擴散與蓄積情形，其結果亦臚列如下。

4.2.1 各情境煙層跨越防煙壁時間比較

以smokeview程式將各情境目視煙層跨越防煙壁時間，輸出圖檔以做為煙層擴散時間比較之用，並無法代表防煙壁之阻煙或防煙性能。阻煙及防煙性能須另行定義後比較才具意義。

Smokeview 5.3.10 - , exp1_0001_0000020_00.q



Field
X: 5001
Y: 0000
Z: 1000

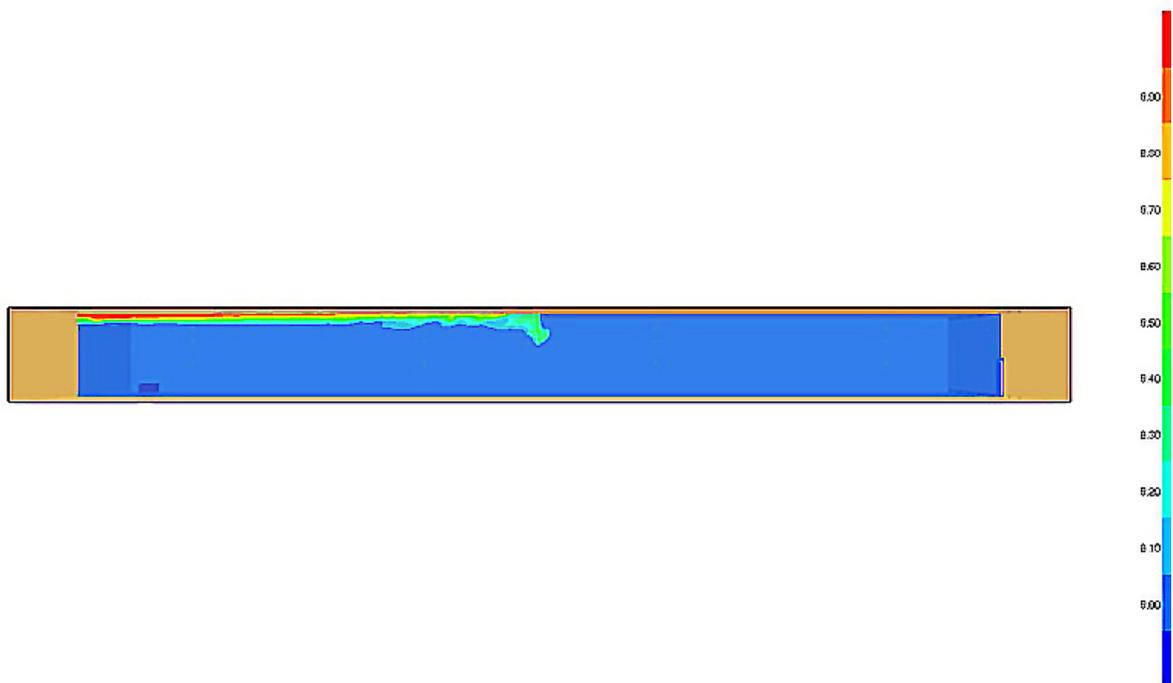


圖 49 情境 1 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

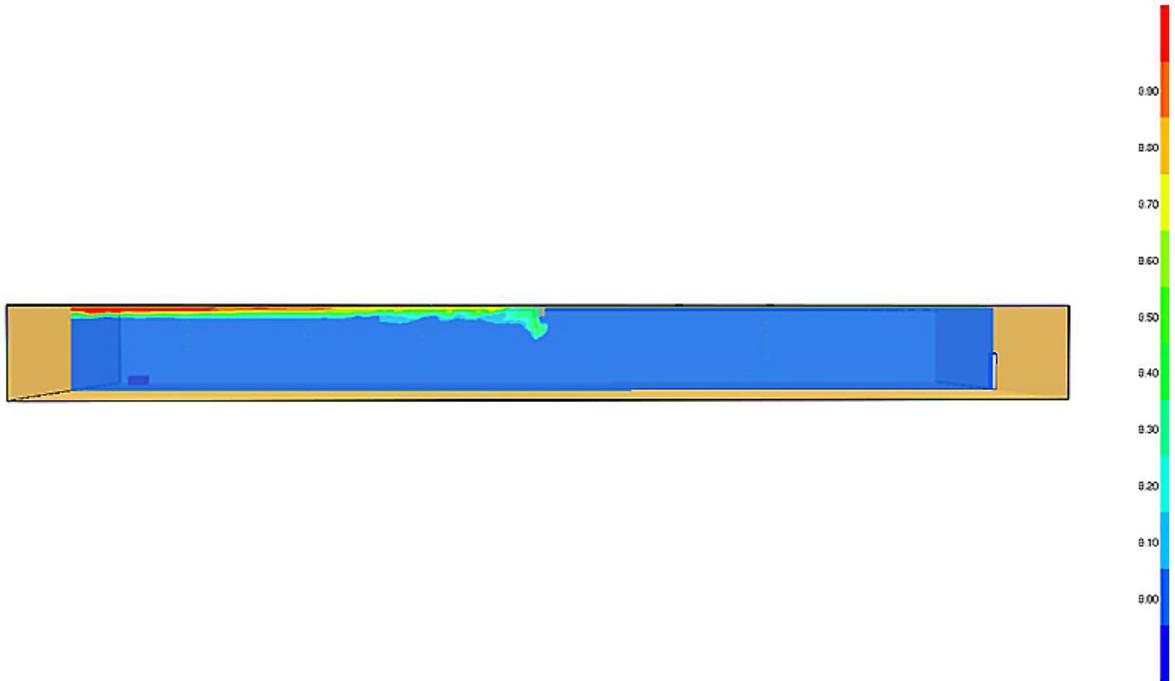


圖 50 情境 2 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

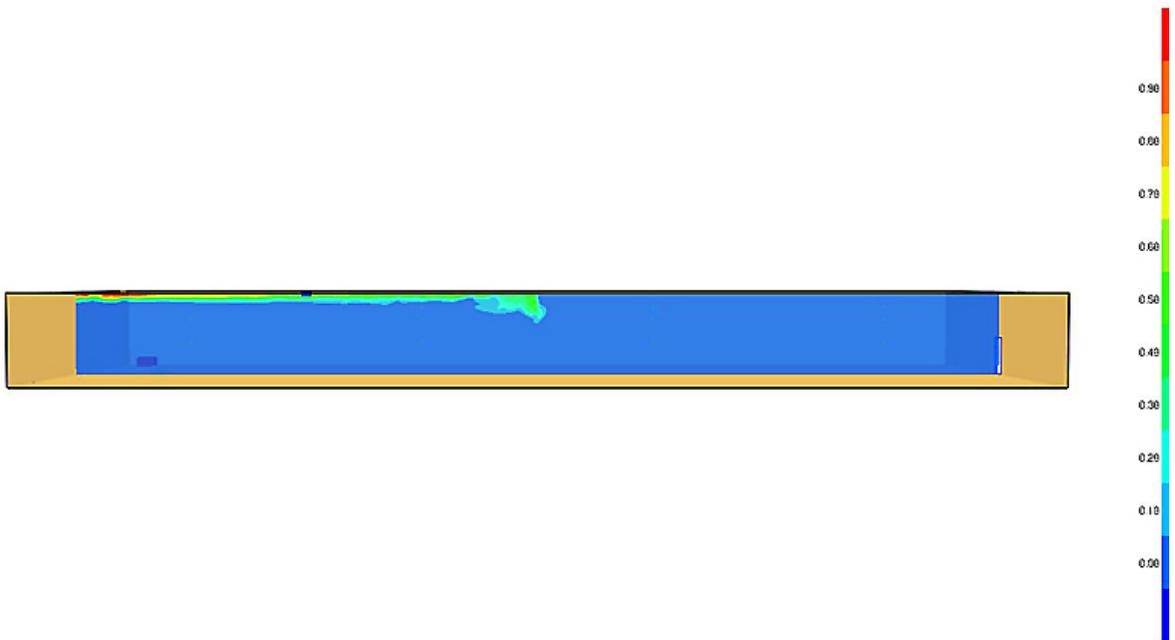


圖 51 情境 3 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

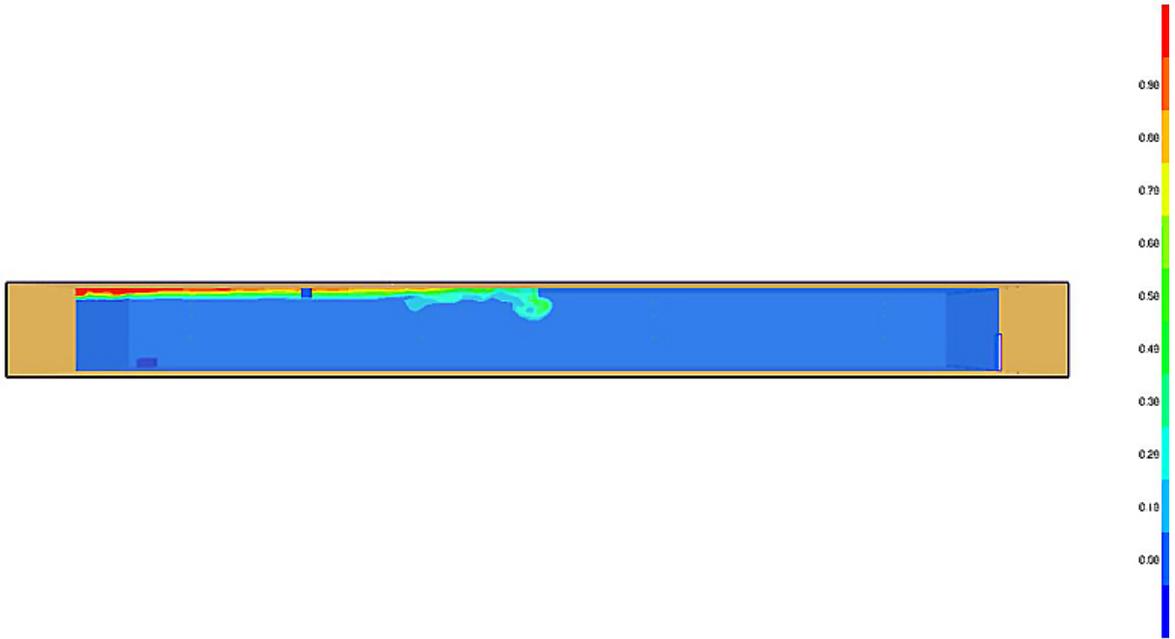


圖 52 情境 4 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

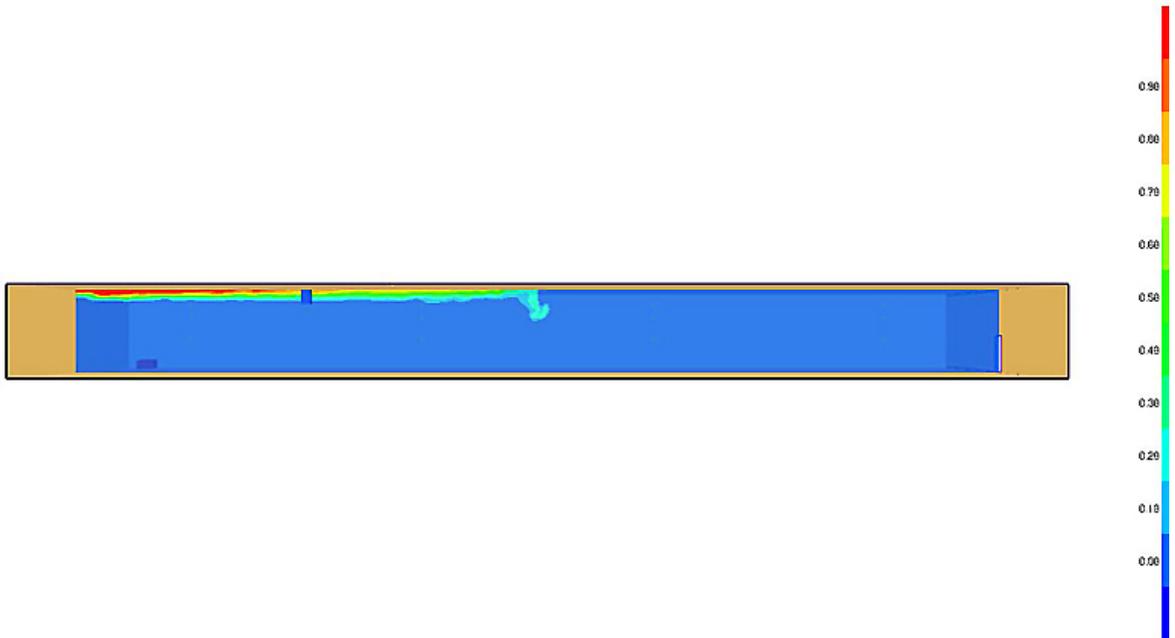


圖 53 情境 5 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

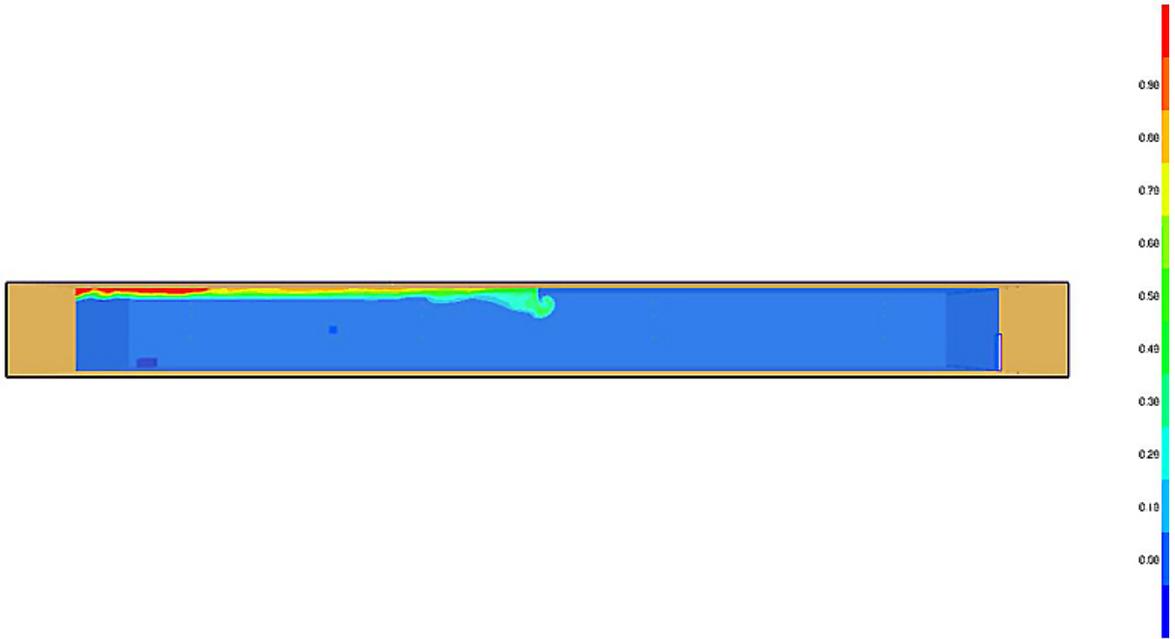


圖 54 情境 6 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

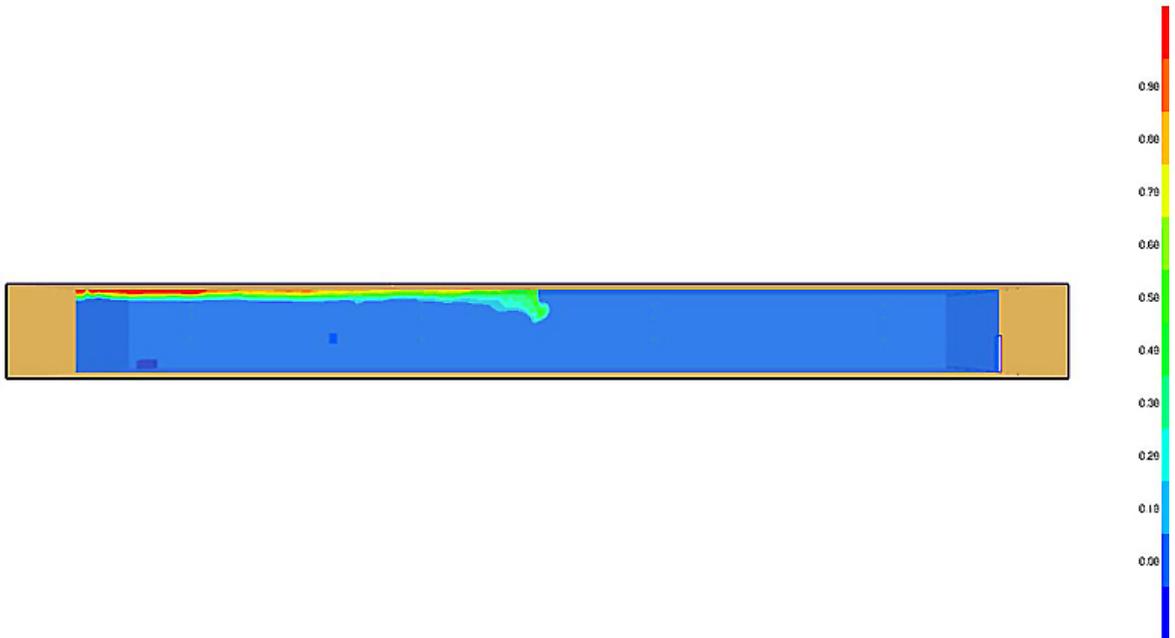


圖 55 情境 7 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

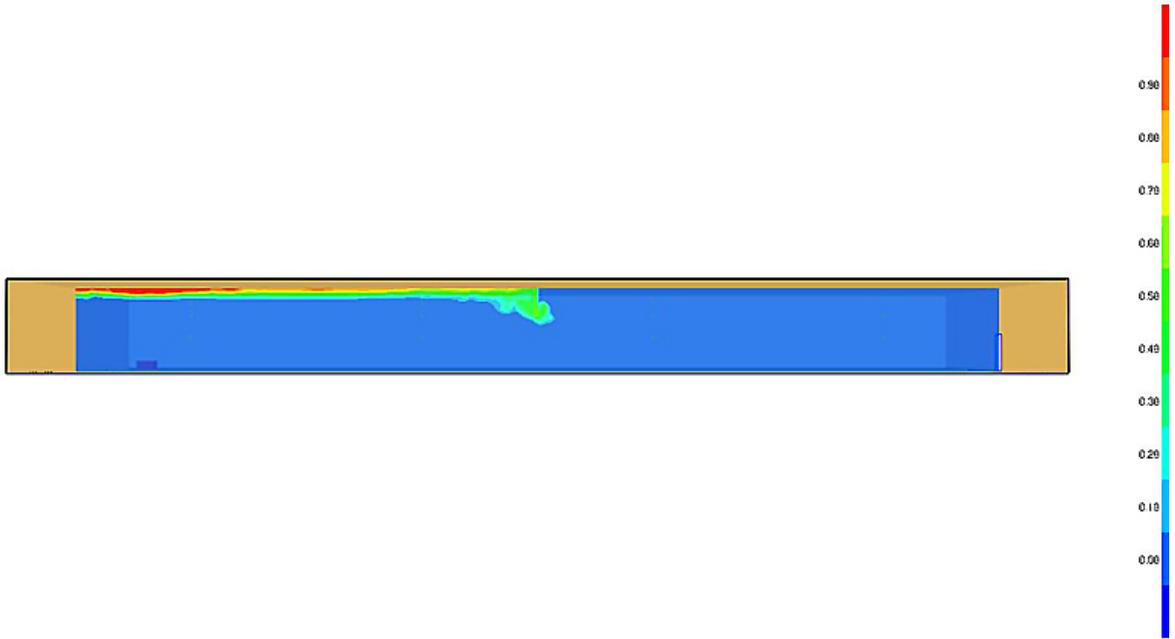


圖 56 情境 8 第 24 秒時煙層跨越防煙壁

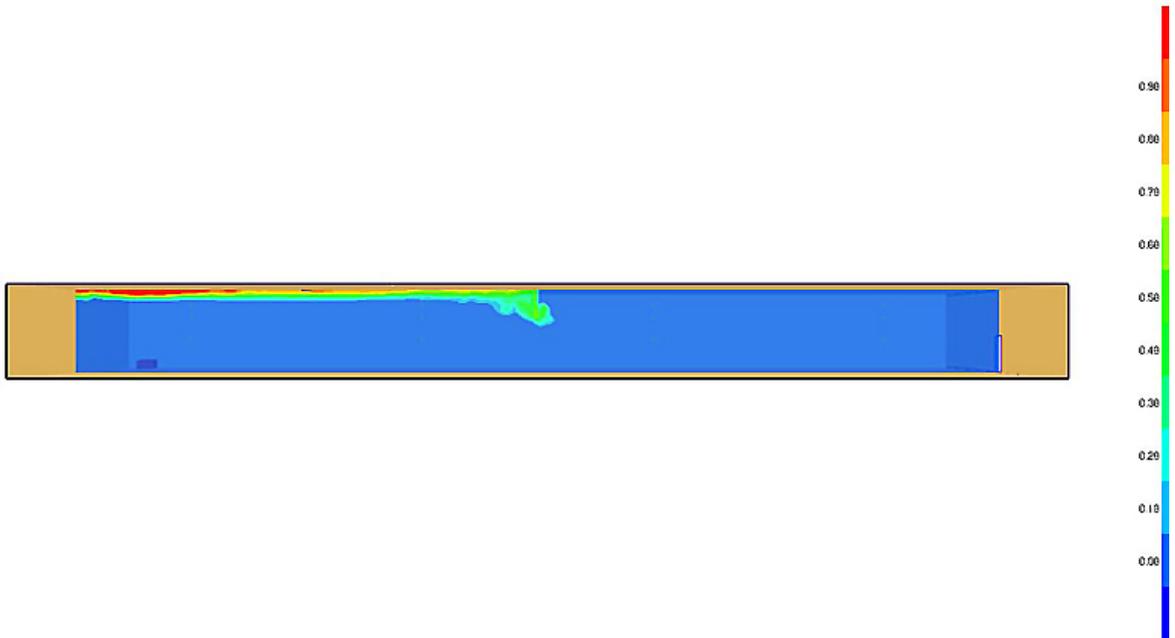


圖 57 情境 9 第 24 秒時煙層跨越防煙壁

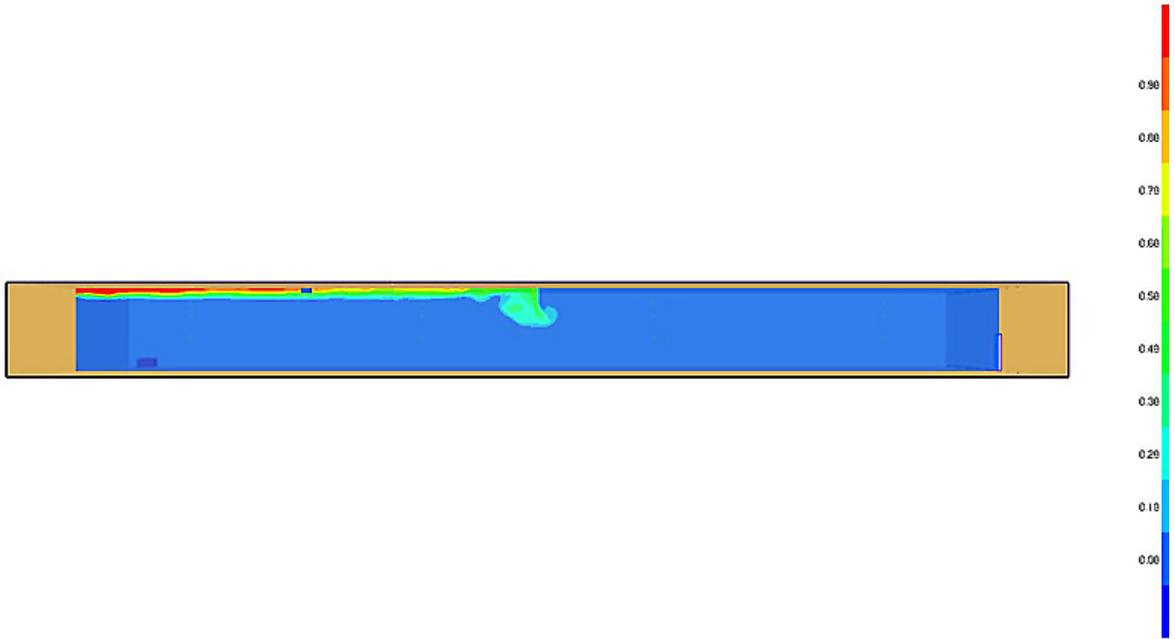


圖 58 情境 10 第 22 秒時煙層跨越防煙壁

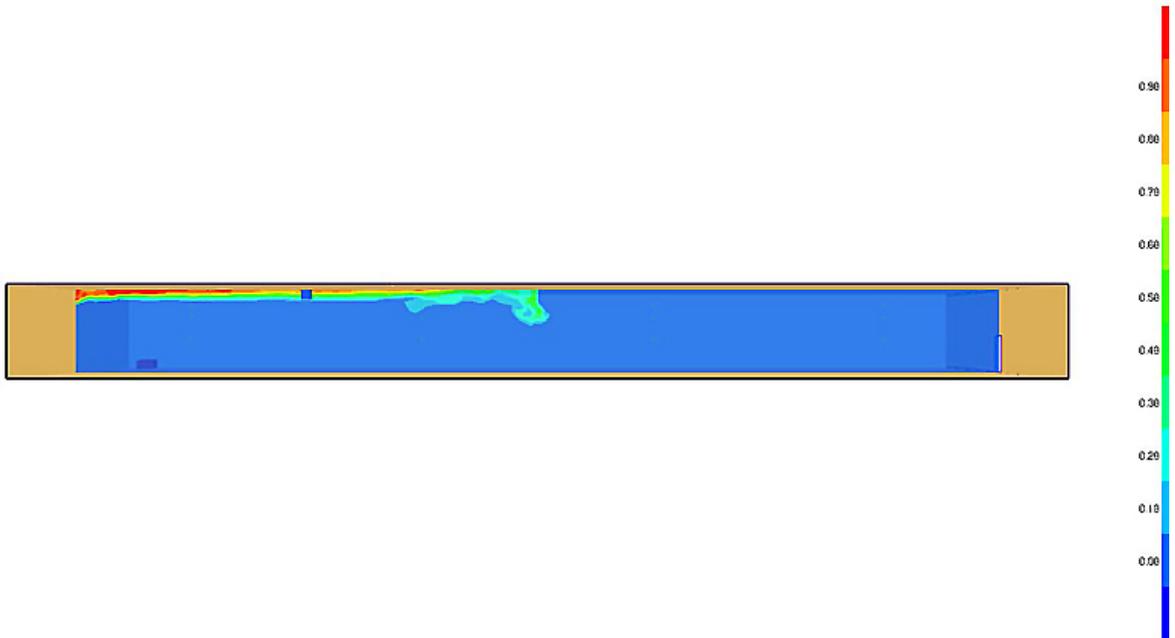


圖 59 情境 11 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

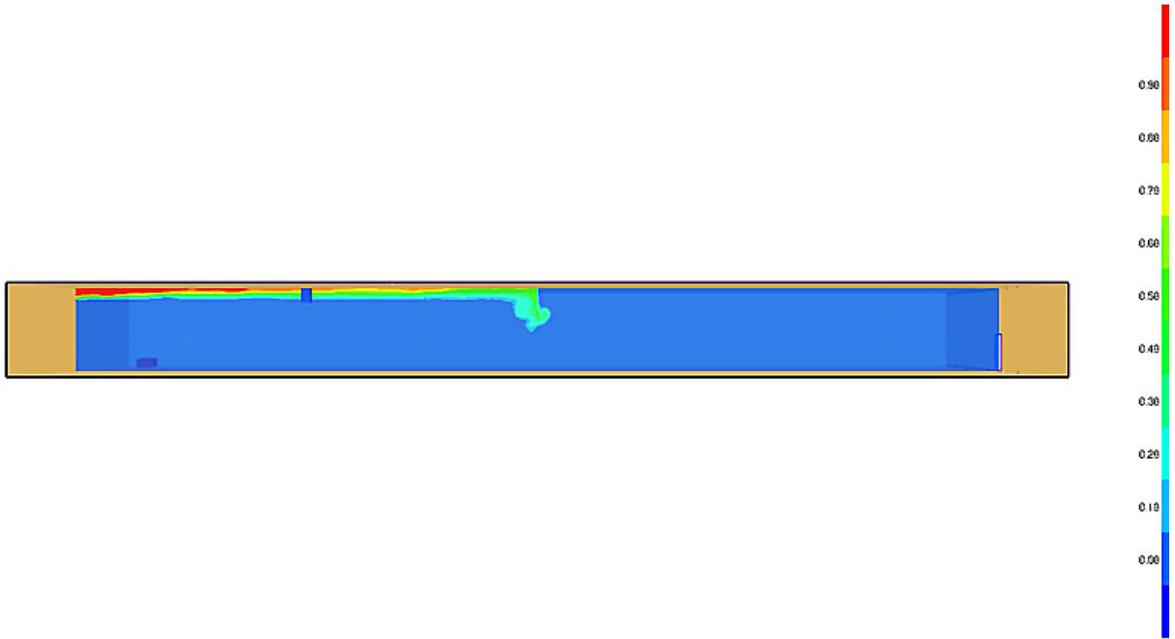


圖 60 情境 12 第 22 秒時煙層跨越防煙壁

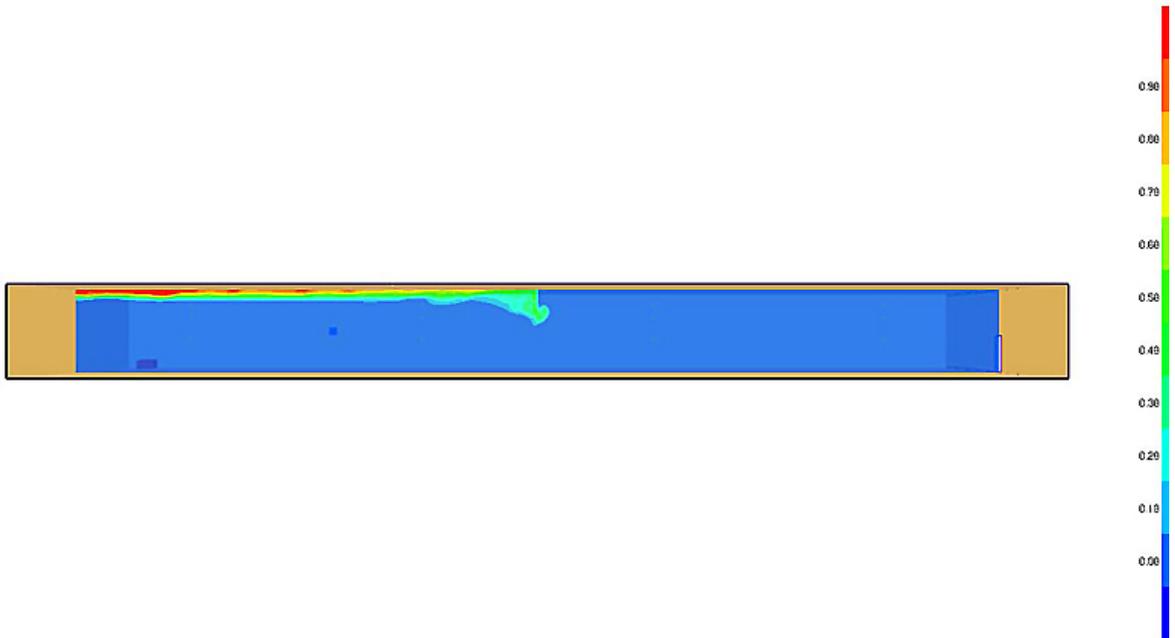


圖 61 情境 13 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

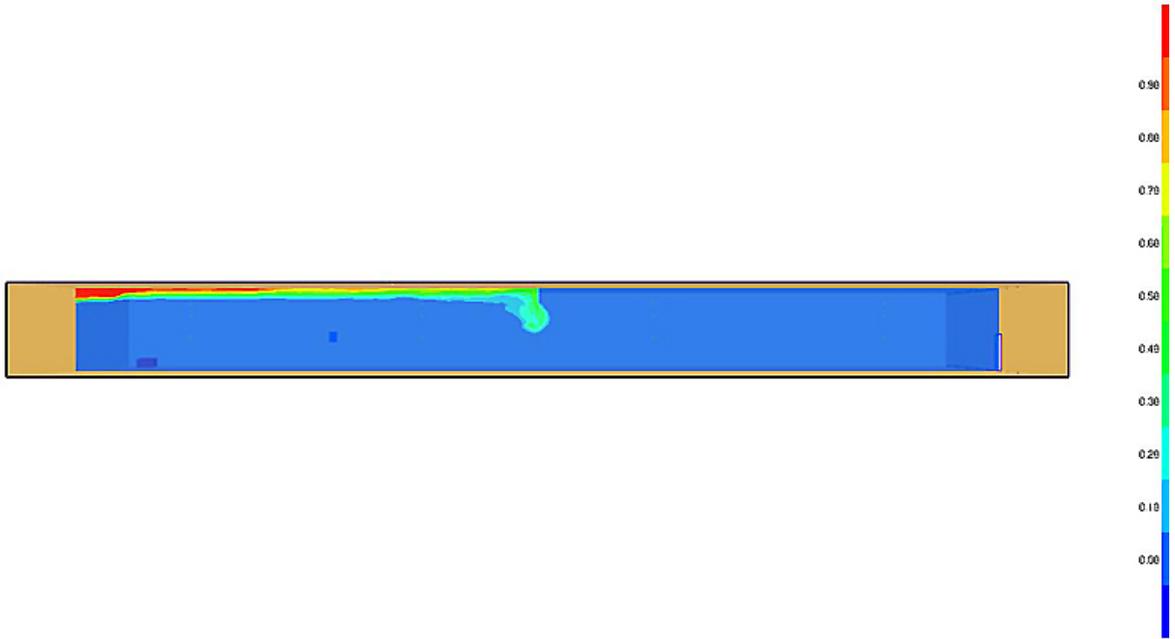


圖 62 情境 14 第 22 秒時煙層跨越防煙壁

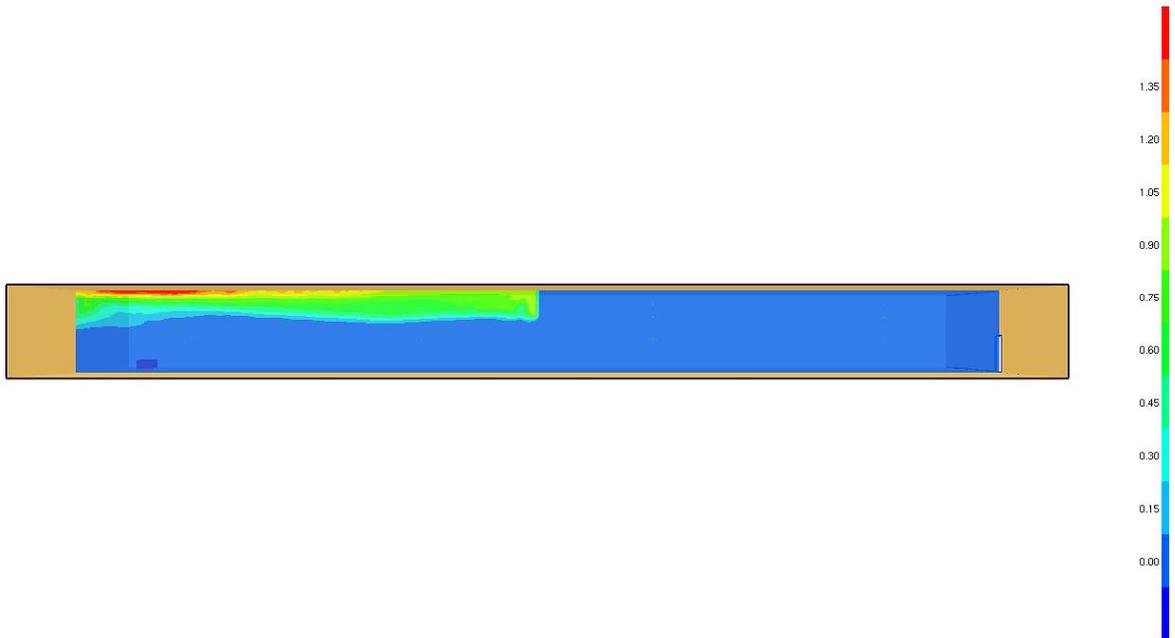


圖 63 情境 15 第 60 秒煙層情形(此情境煙層無跨越防煙壁)

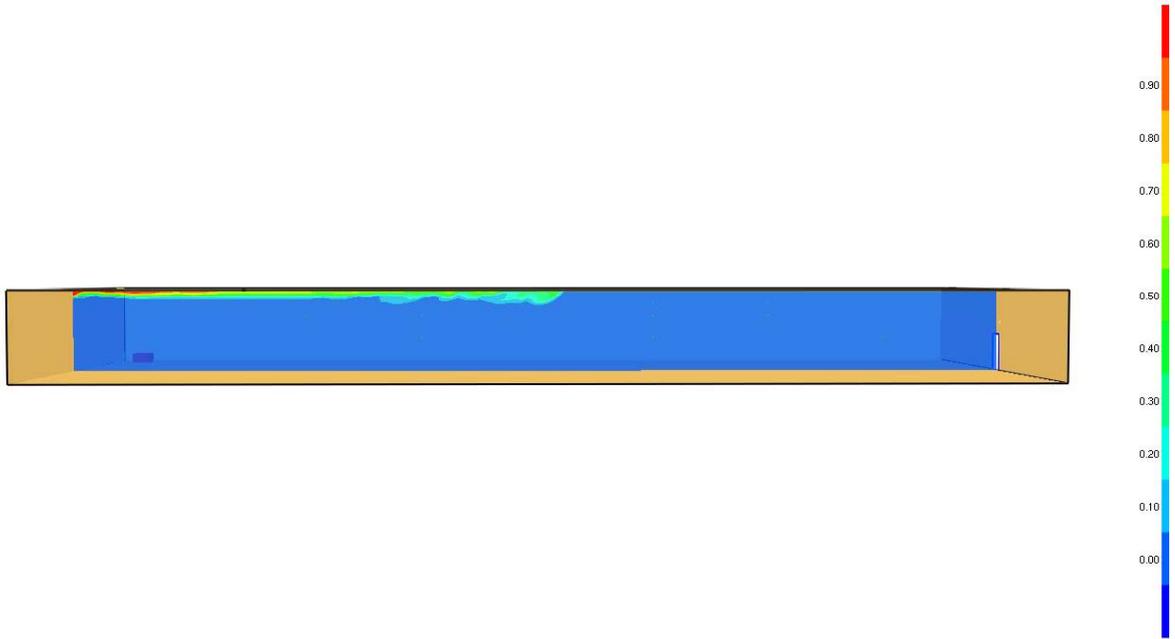


圖 64 情境 16 第 20 秒時煙層達空間正中央(防煙壁)位置

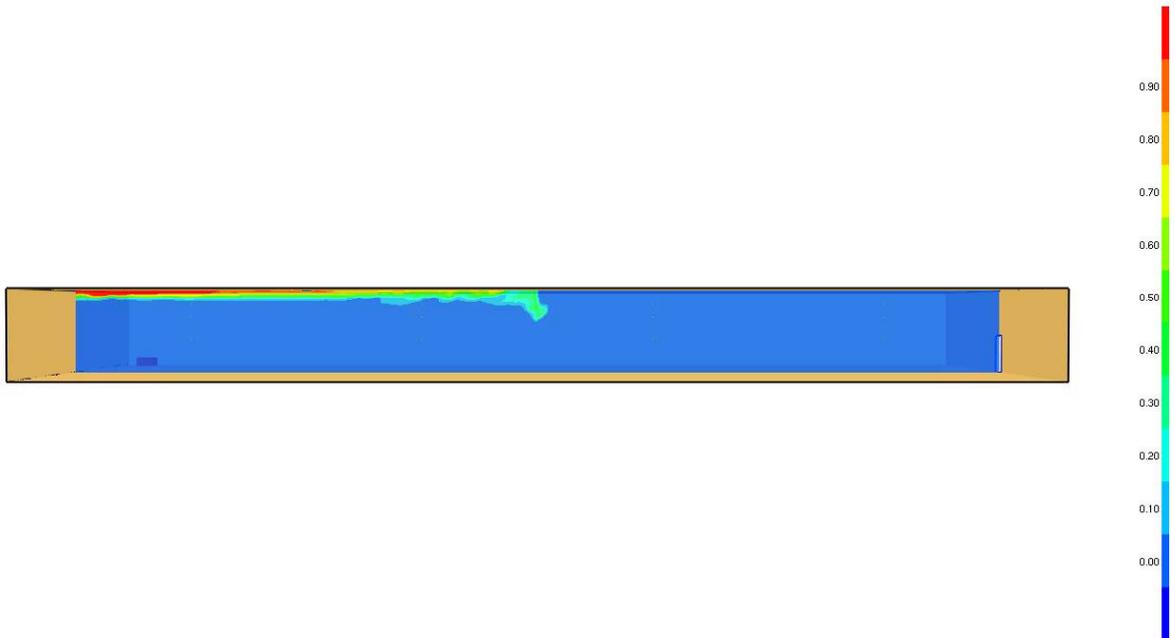


圖 65 情境 17 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

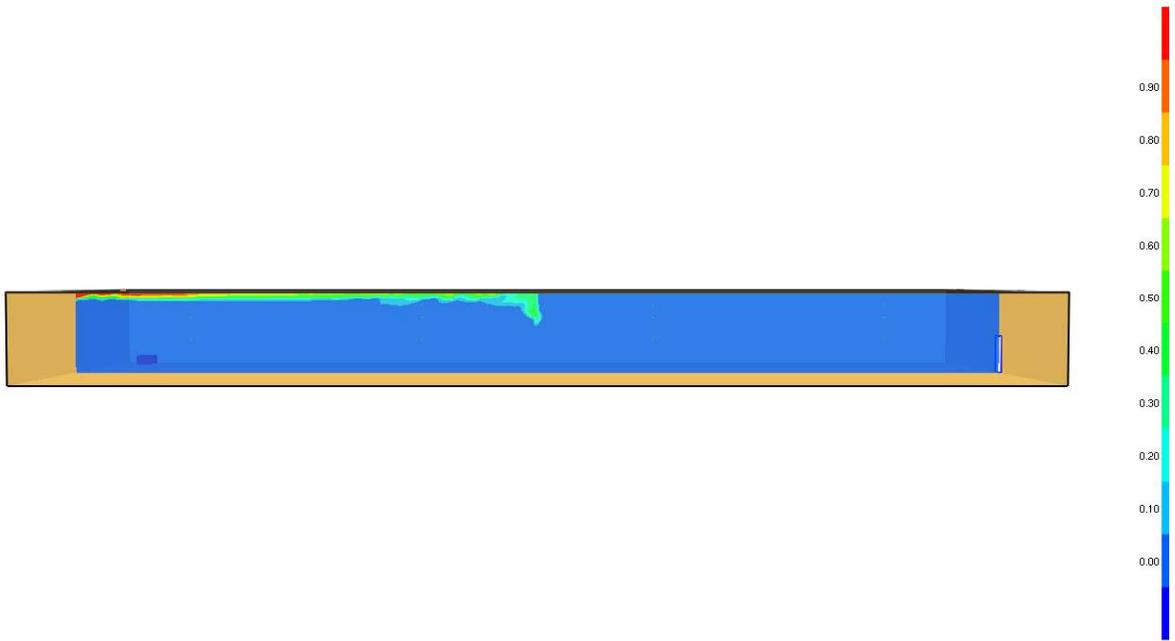


圖 66 情境 18 第 20 秒時煙層跨越防煙壁

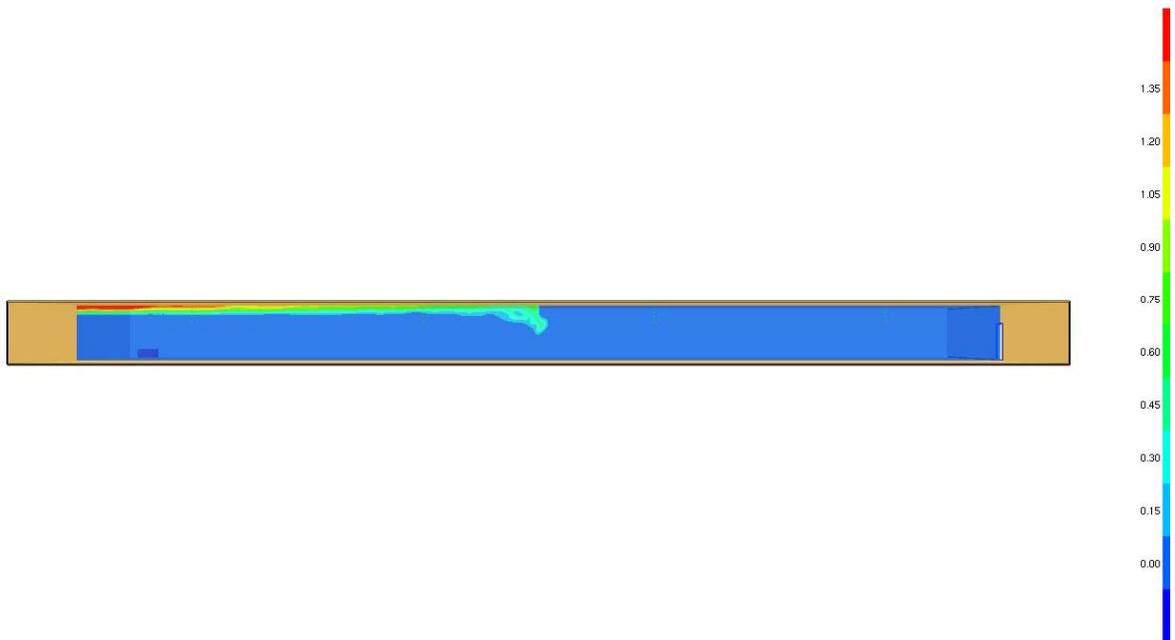


圖 67 情境 19 第 22 秒時煙層跨越防煙壁

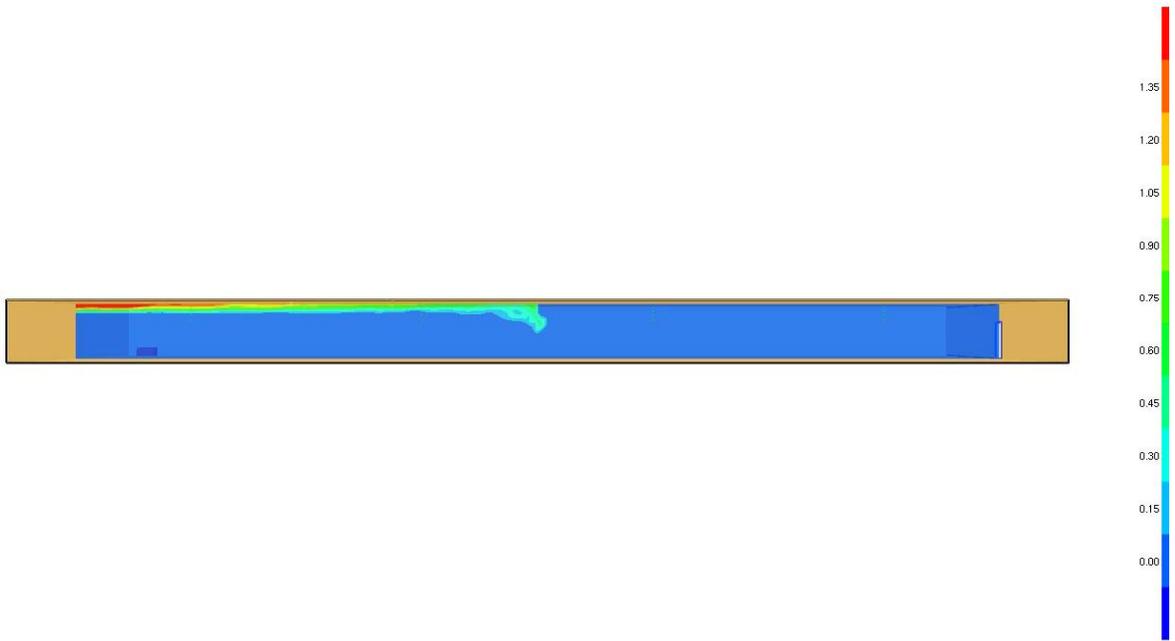


圖 68 情境 20 第 22 秒時煙層跨越防煙壁

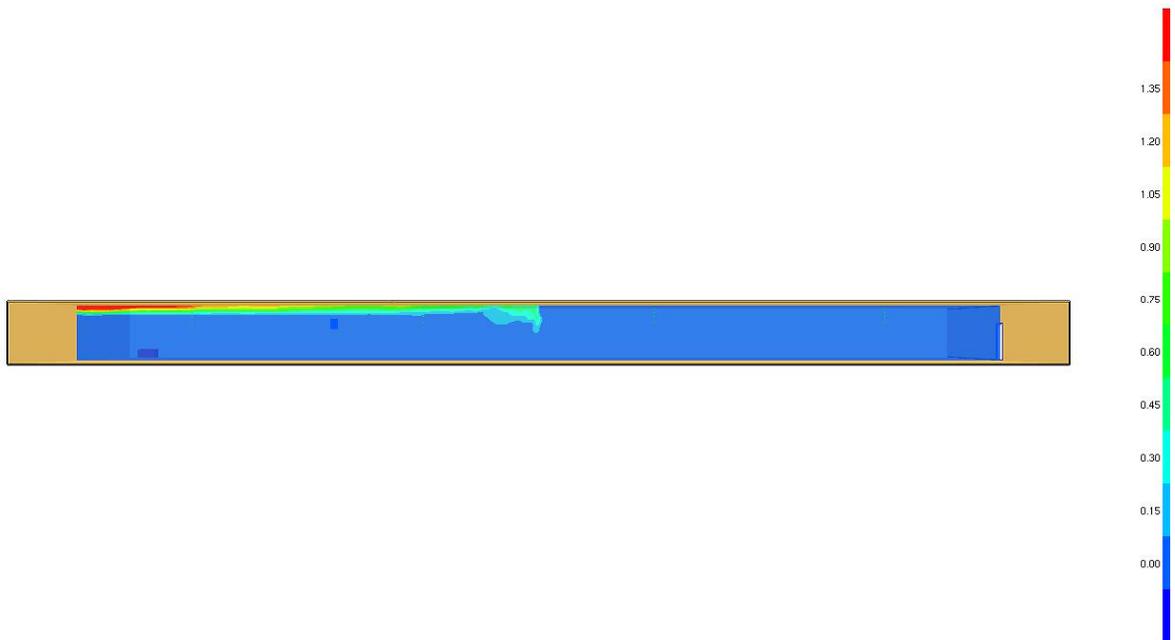


圖 69 情境 21 第 24 秒時煙層跨越防煙壁

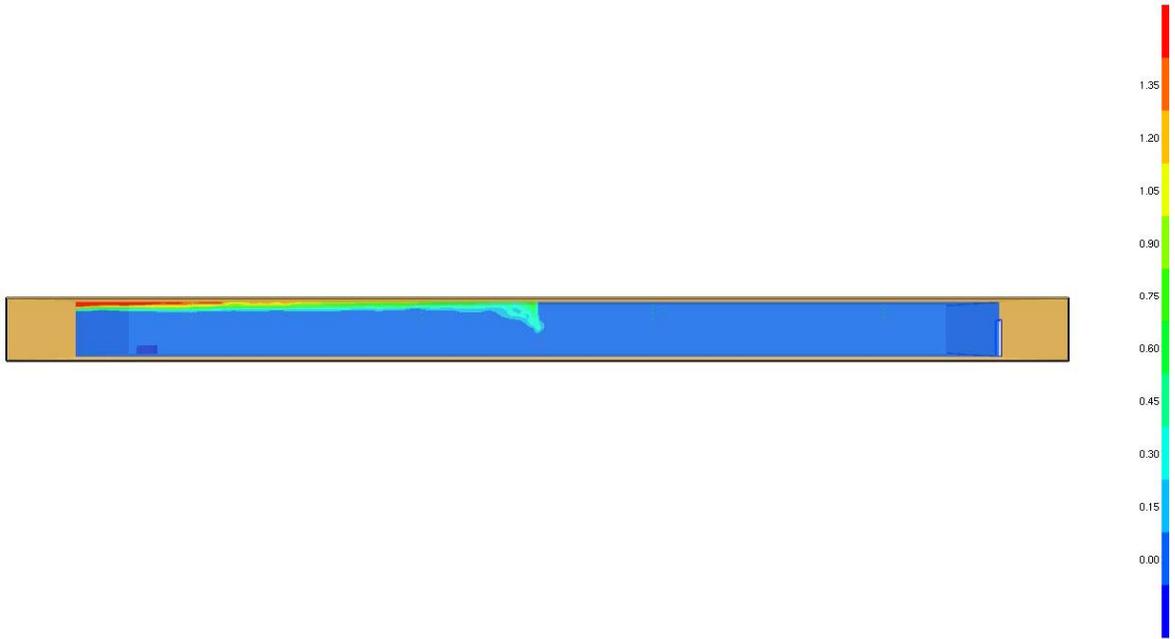


圖 70 情境 22 第 22 秒時煙層跨越防煙壁

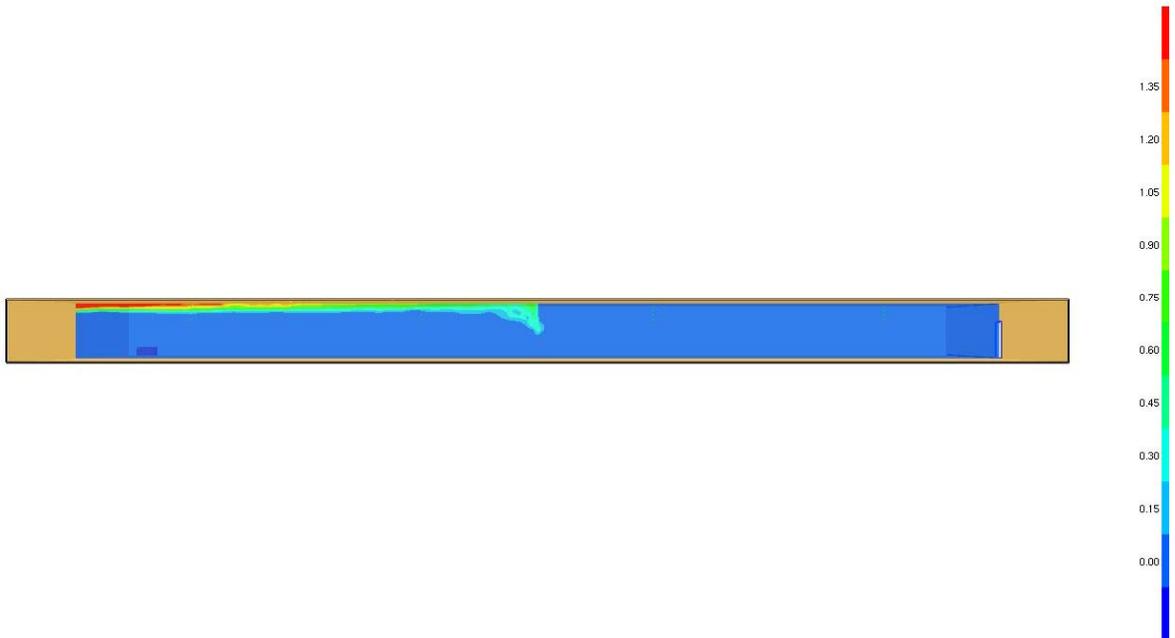


圖 71 情境 23 第 22 秒時煙層跨越防煙壁

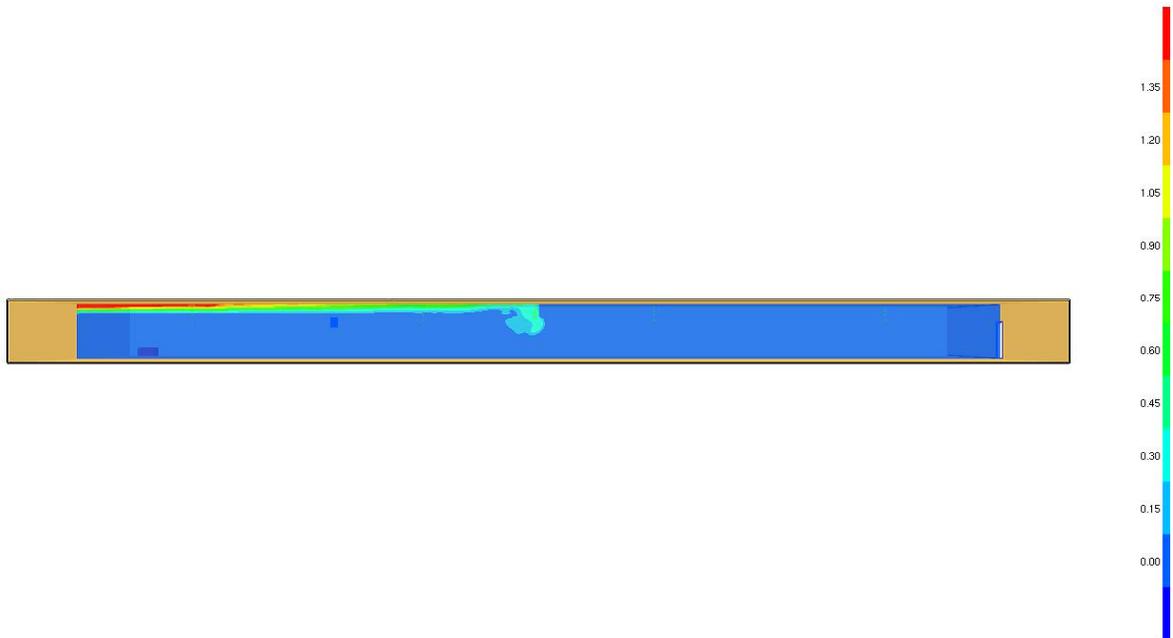


圖 72 情境 24 第 26 秒時煙層跨越防煙壁

4.2.2 各情境第 120 秒時煙層狀況圖

將各情境模擬結束時之煙層狀況輸出，以對當時煙層高度做一比較。惟本研究僅研究防煙壁及排煙口與煙層之關係，且非火源側僅為對照之用，其煙層是否過低觸地不予考慮。

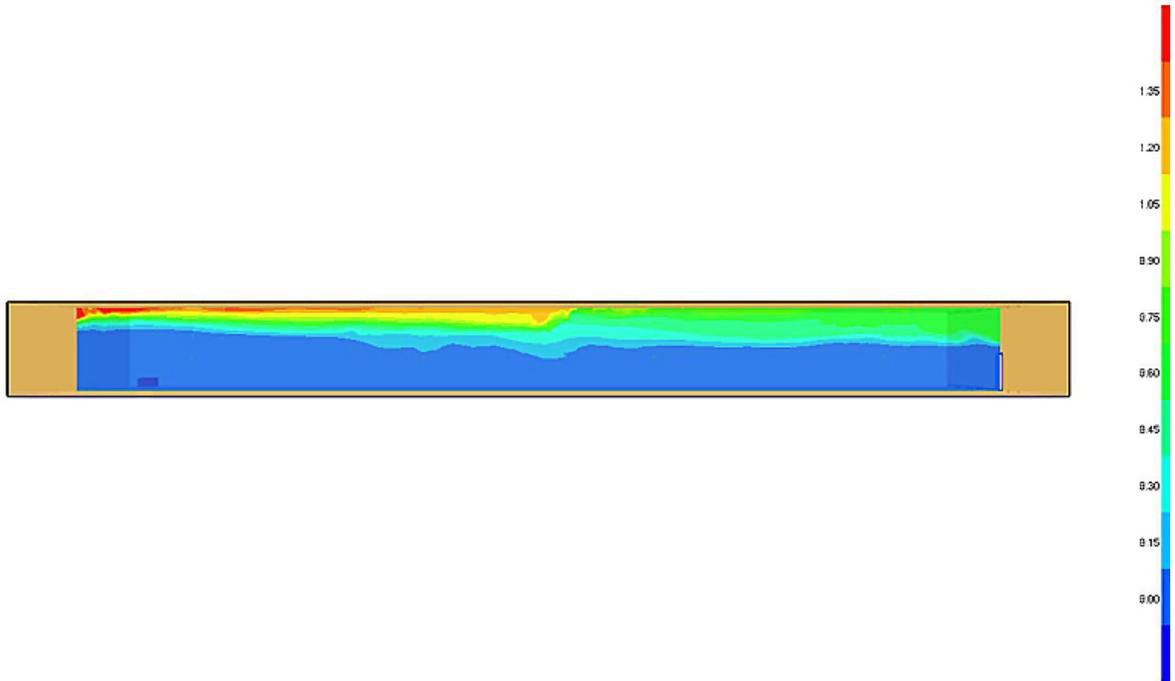


圖 73 情境 1 第 120 秒煙層狀況圖

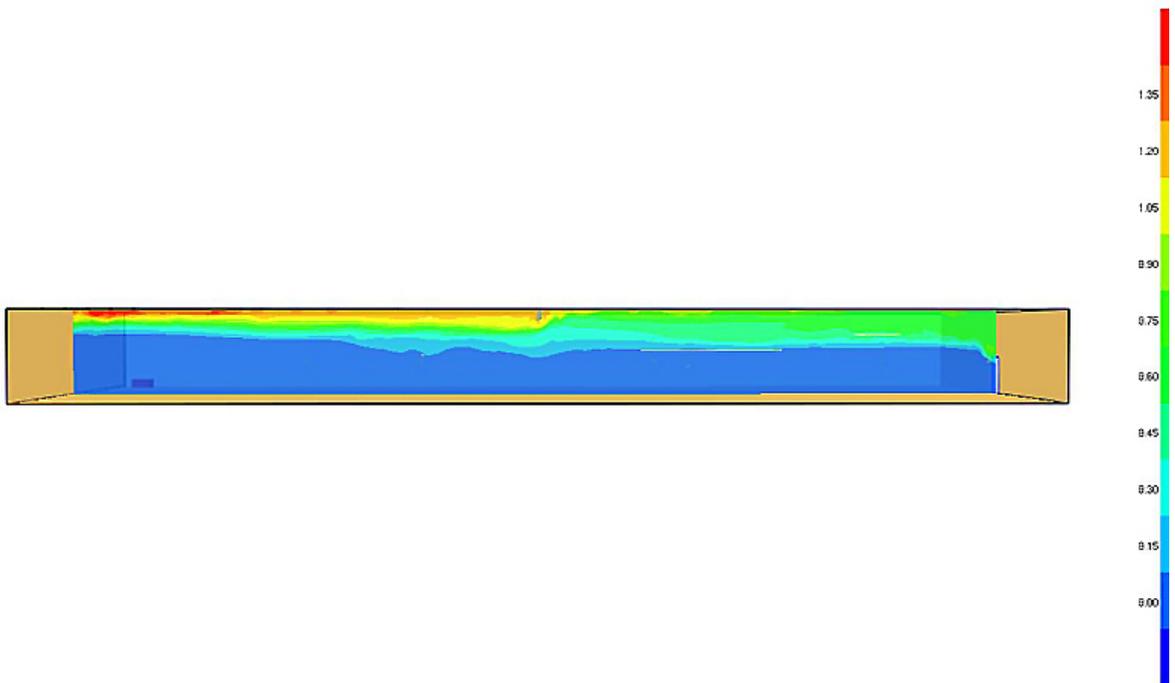


圖 74 情境 2 第 120 秒煙層狀況圖

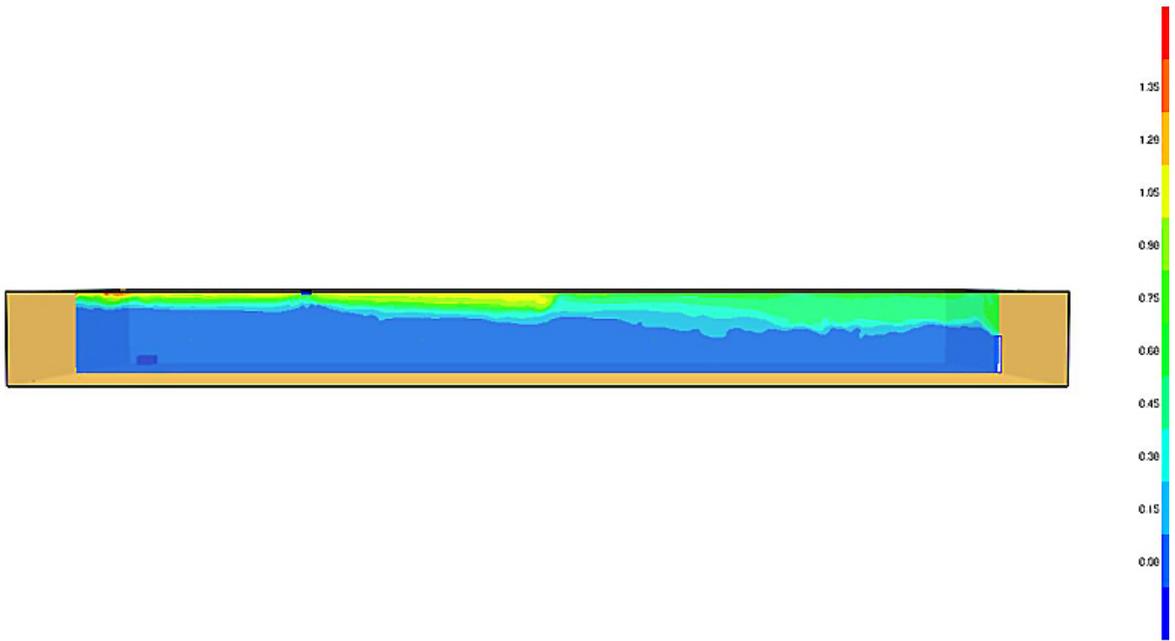


圖 75 情境 3 第 120 秒煙層狀況圖

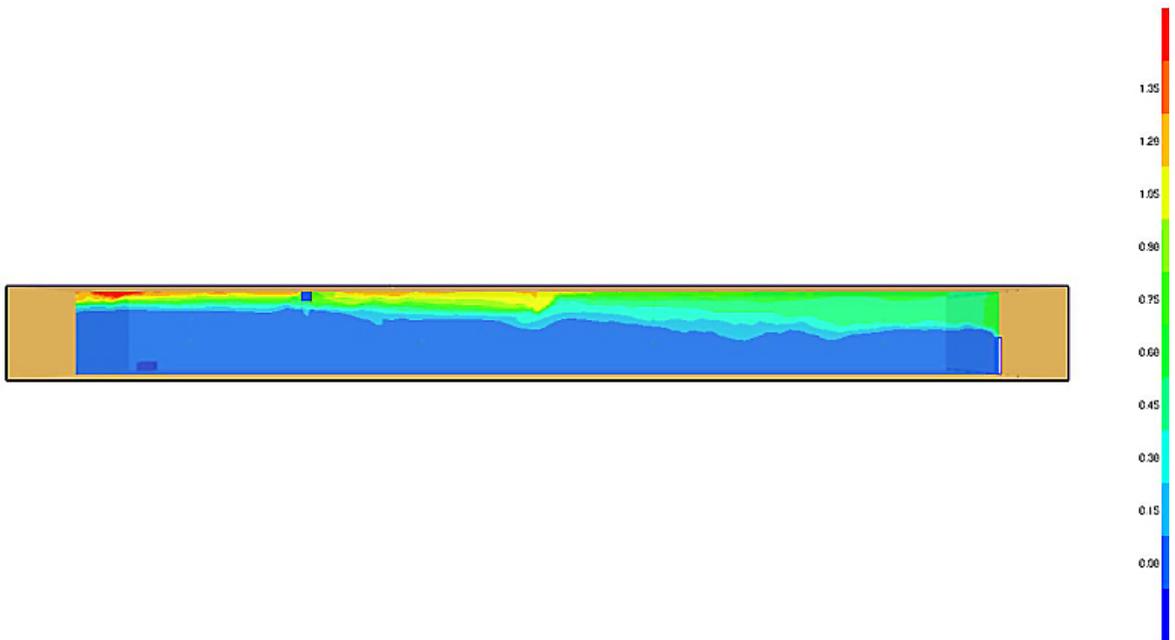


圖 76 情境 4 第 120 秒煙層狀況圖

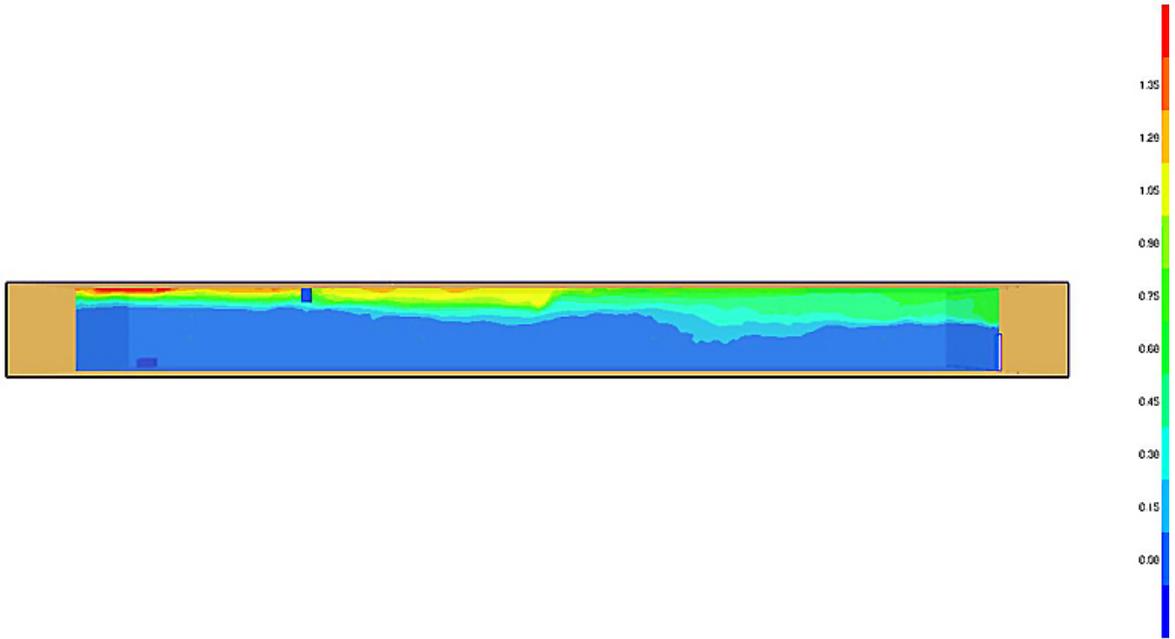


圖 77 情境 5 第 120 秒煙層狀況圖

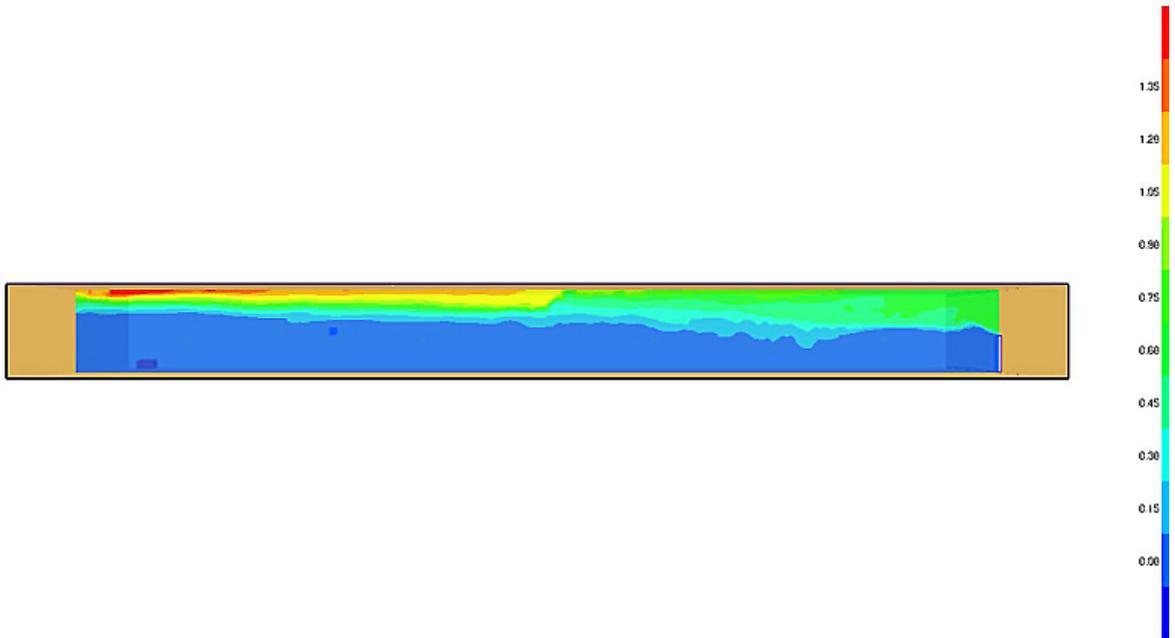


圖 78 情境 6 第 120 秒煙層狀況圖

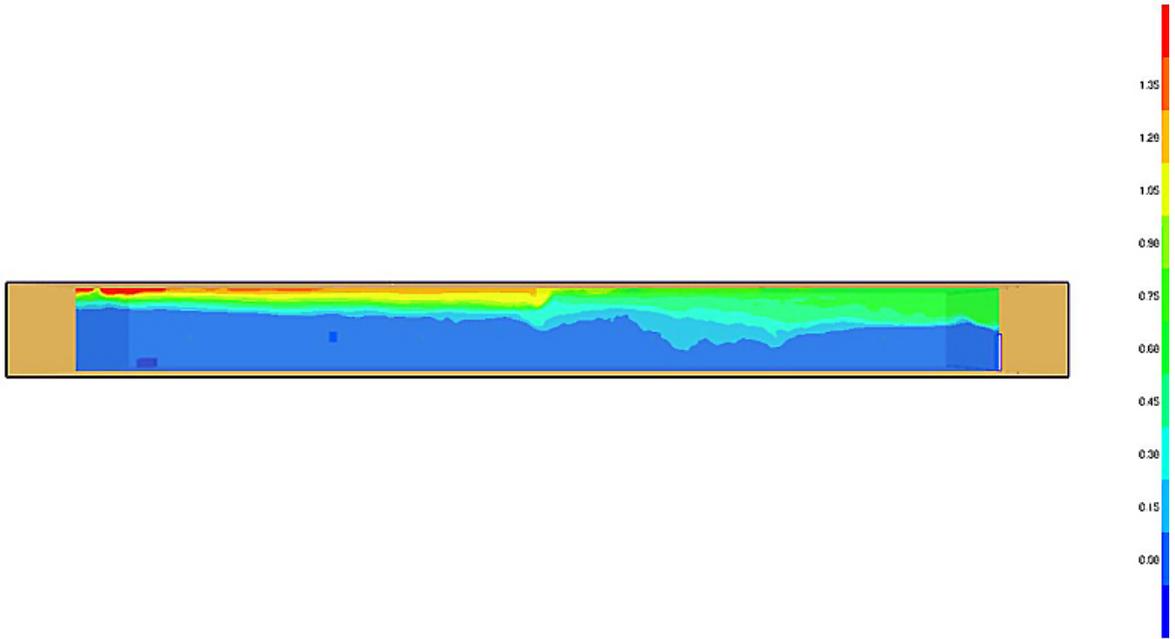


圖 79 情境 7 第 120 秒煙層狀況圖

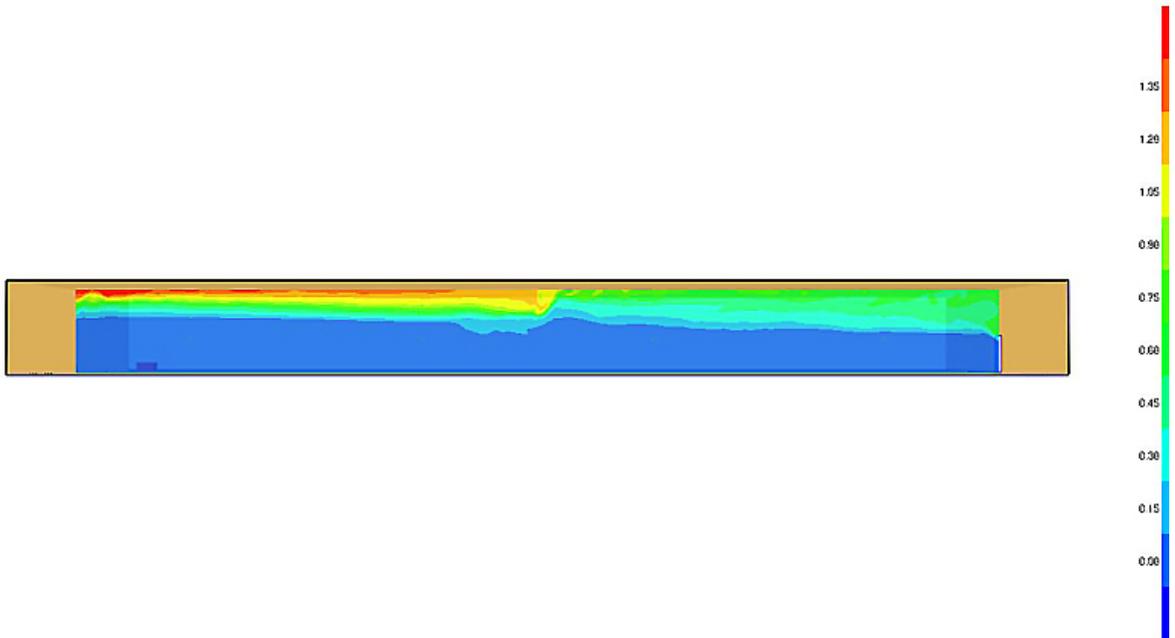


圖 80 情境 8 第 120 秒煙層狀況圖

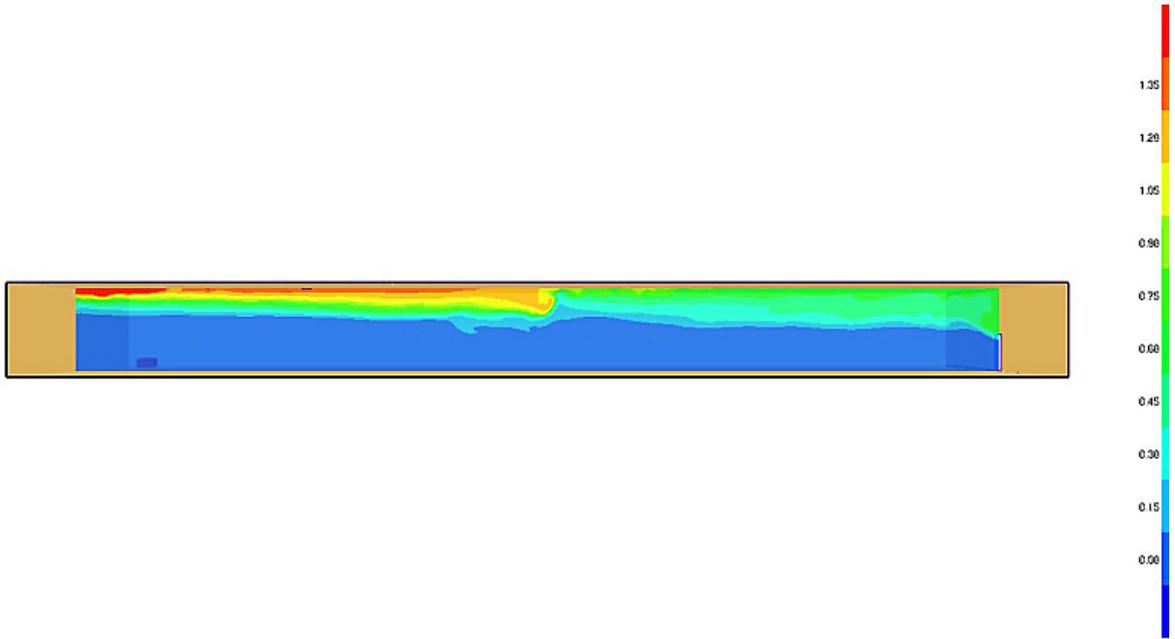


圖 81 情境 9 第 120 秒煙層狀況圖

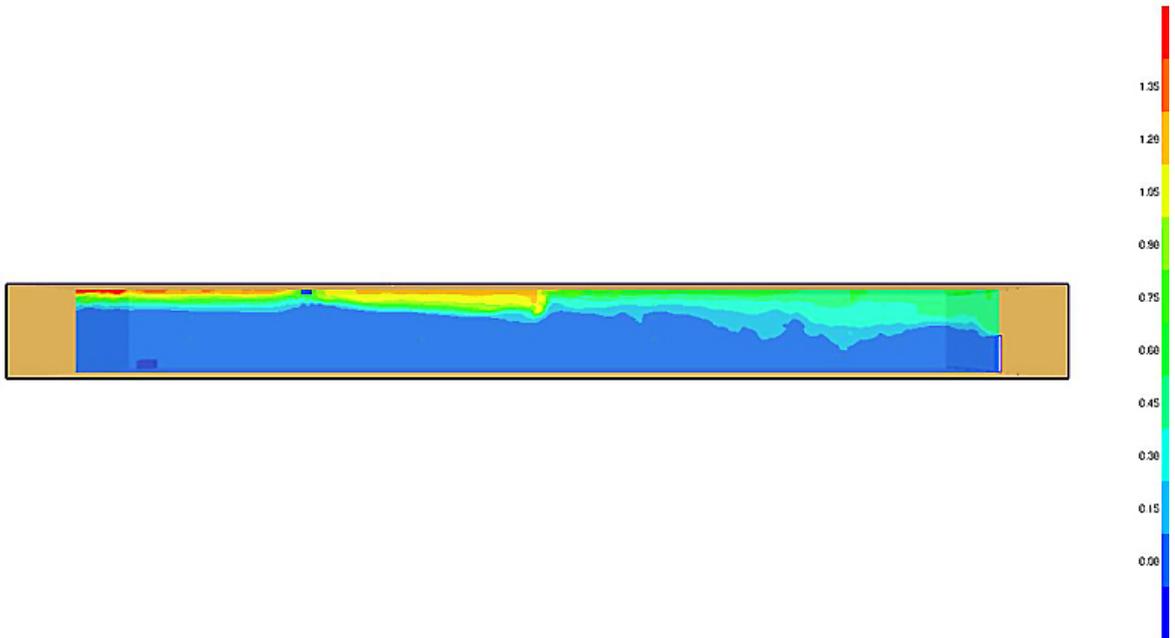


圖 82 情境 10 第 120 秒煙層狀況圖

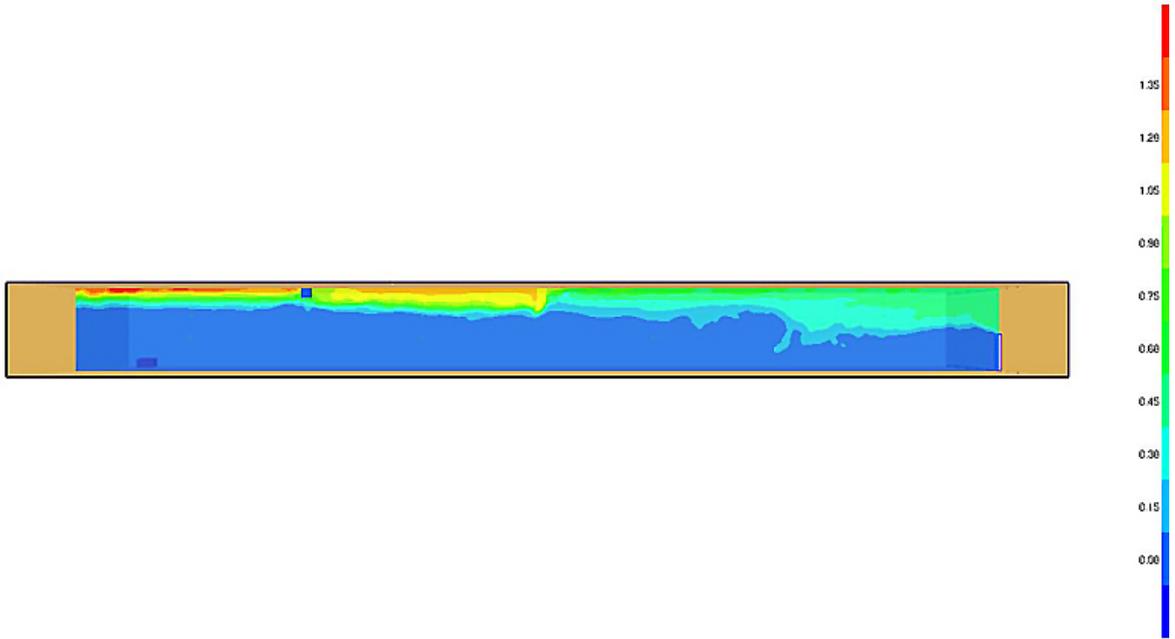


圖 83 情境 11 第 120 秒煙層狀況圖

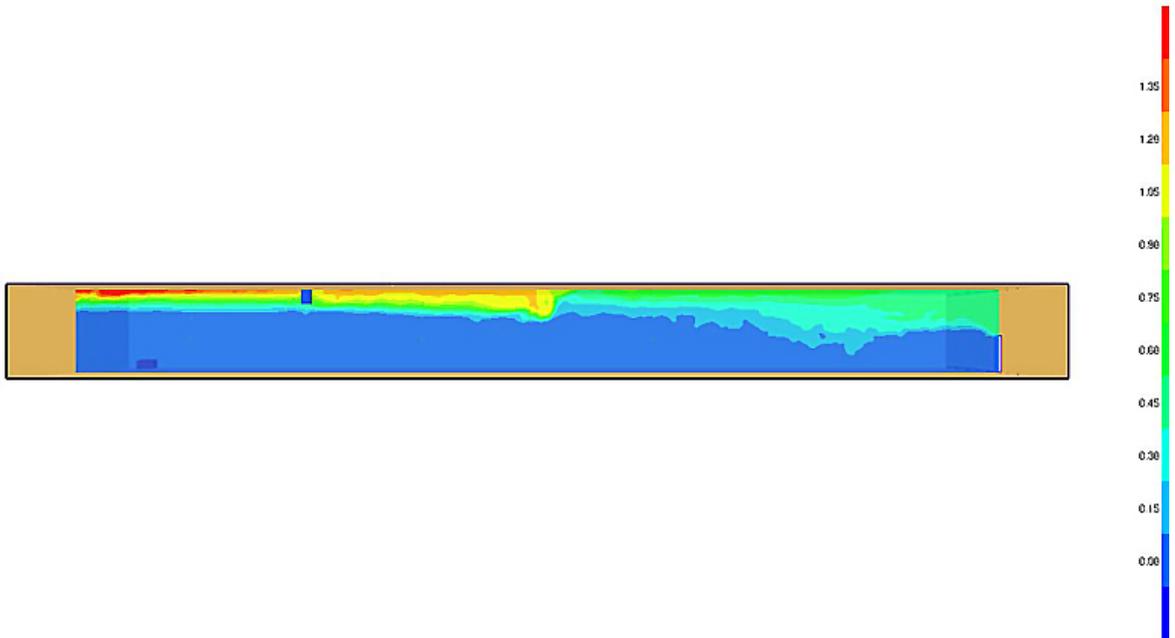


圖 84 情境 12 第 120 秒煙層狀況圖

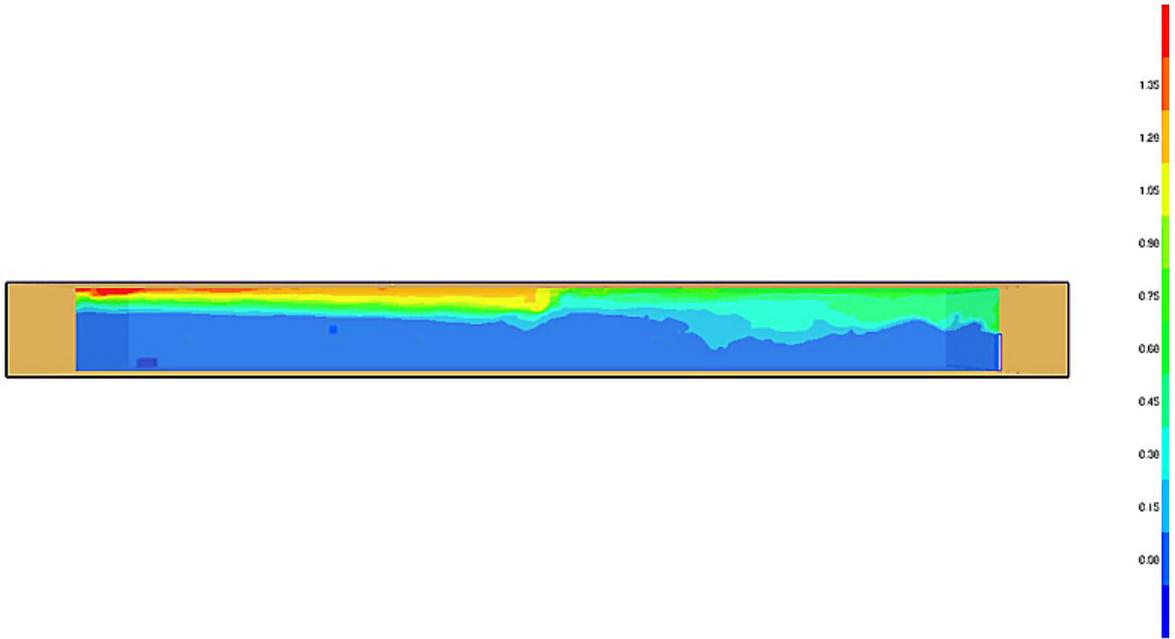


圖 85 情境 13 第 120 秒煙層狀況圖

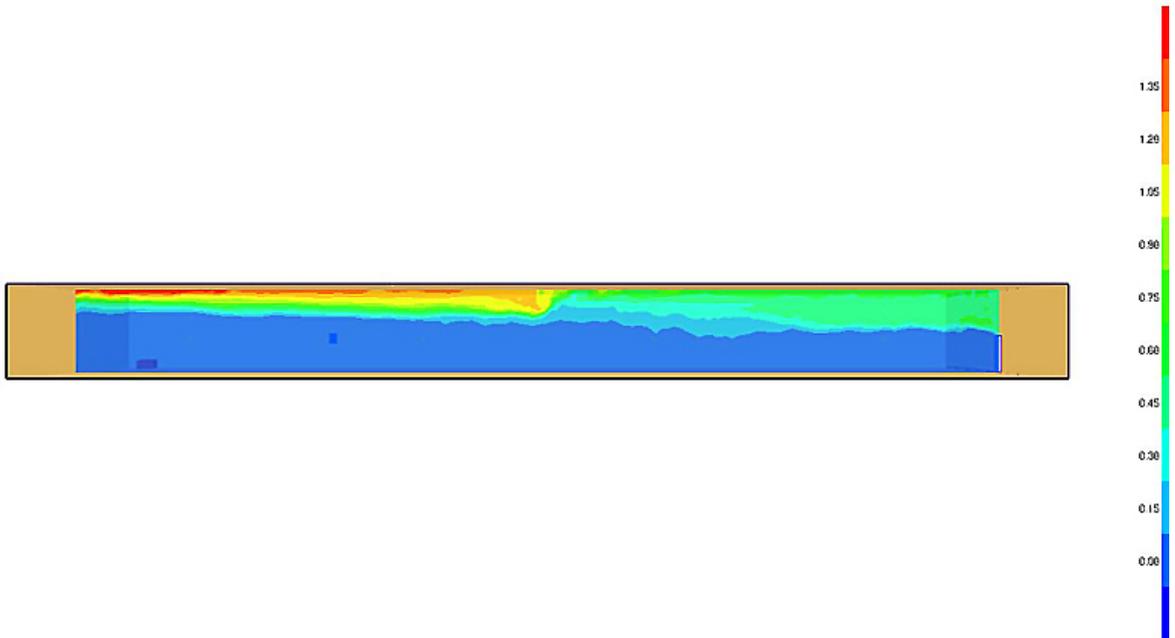


圖 86 情境 14 第 120 秒煙層狀況圖

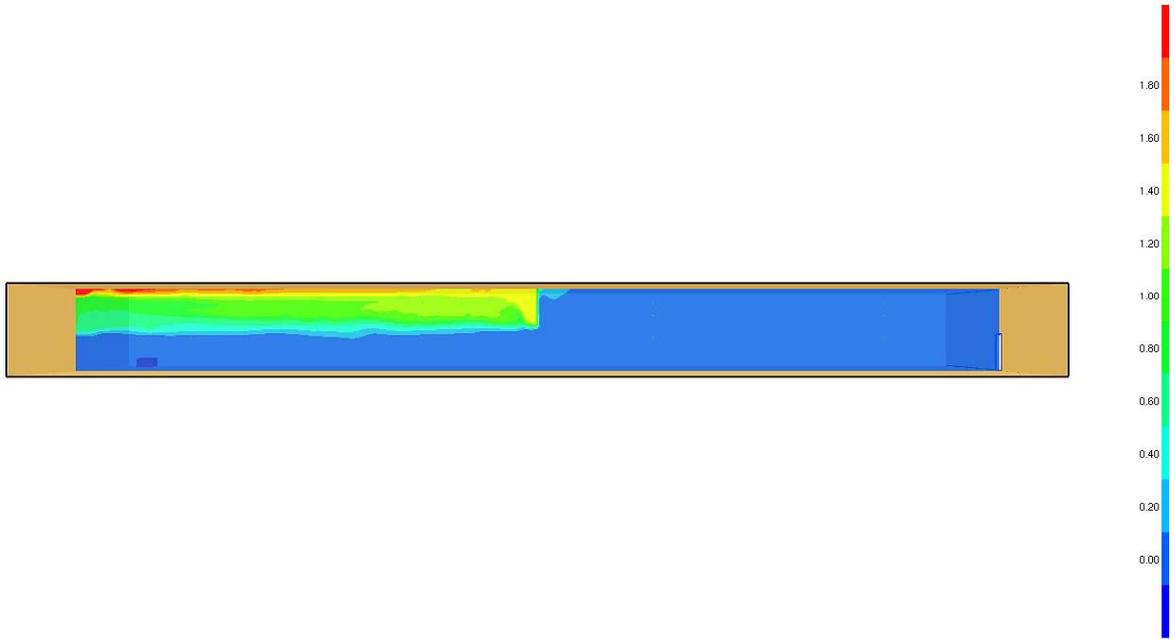


圖 87 情境 15 第 120 秒煙層狀況圖

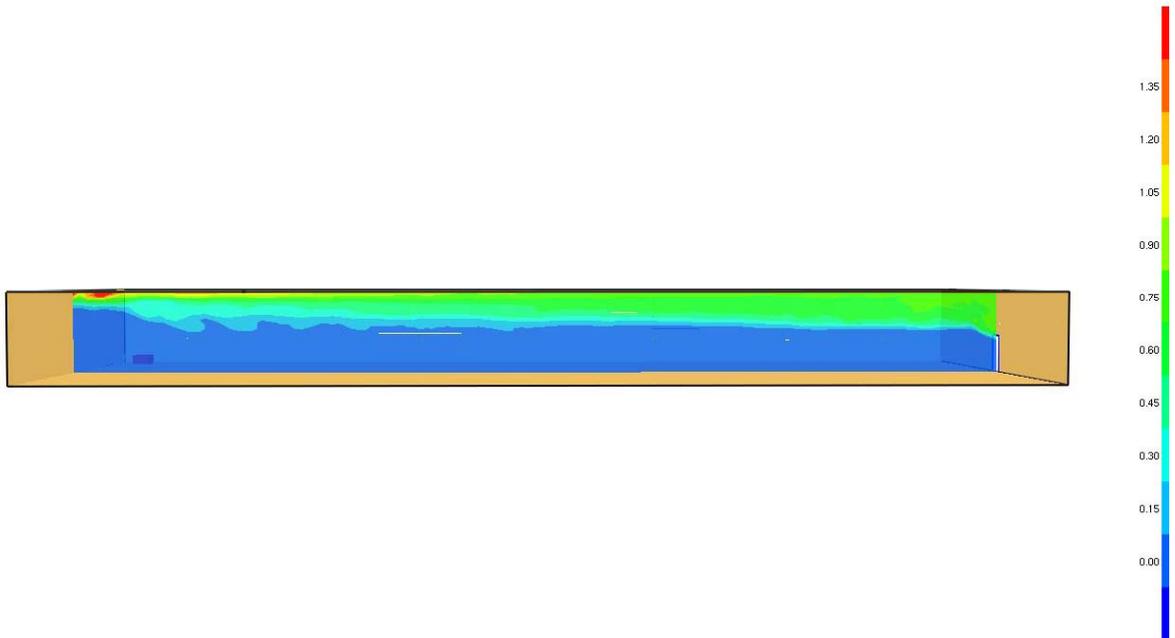


圖 88 情境 16 第 120 秒煙層狀況圖

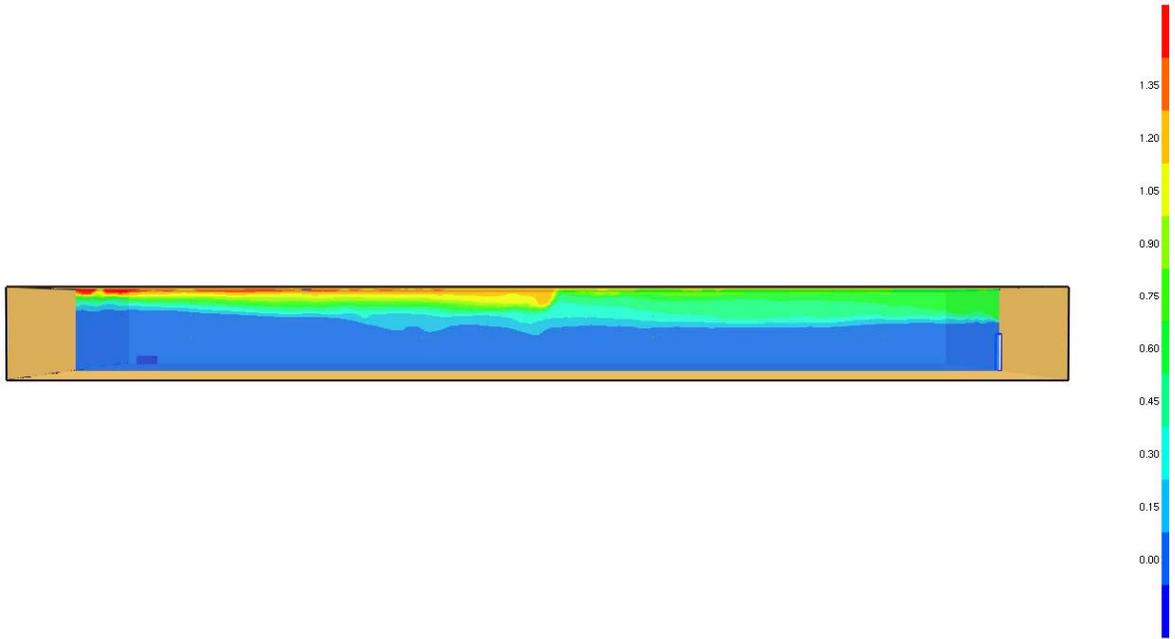


圖 89 情境 17 第 120 秒煙層狀況圖

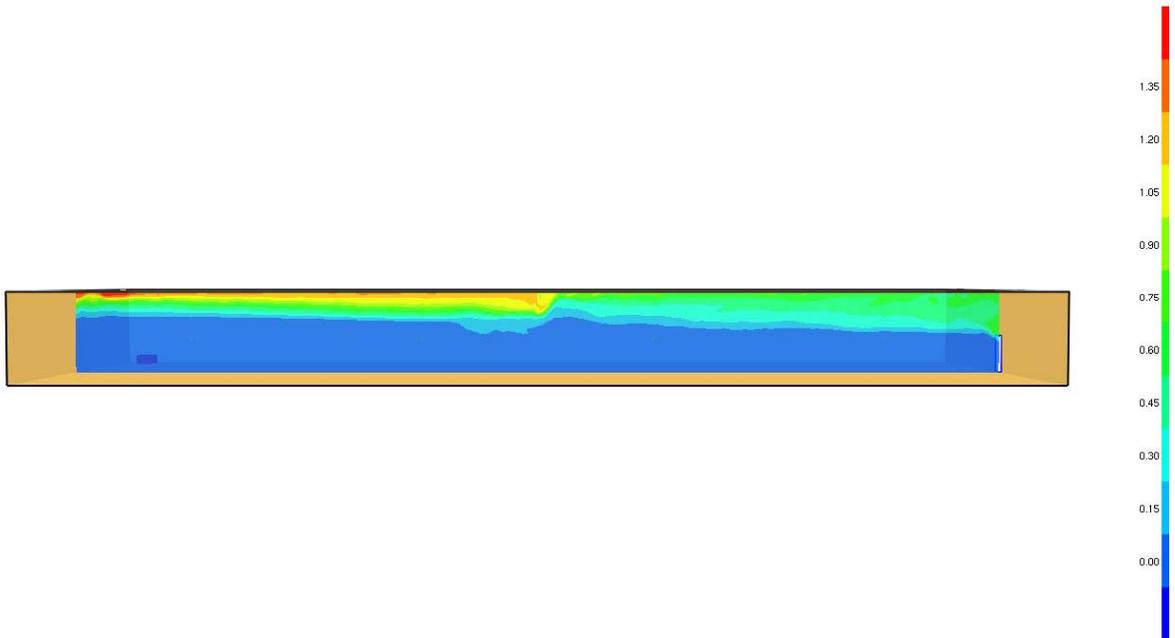


圖 90 情境 18 第 120 秒煙層狀況圖

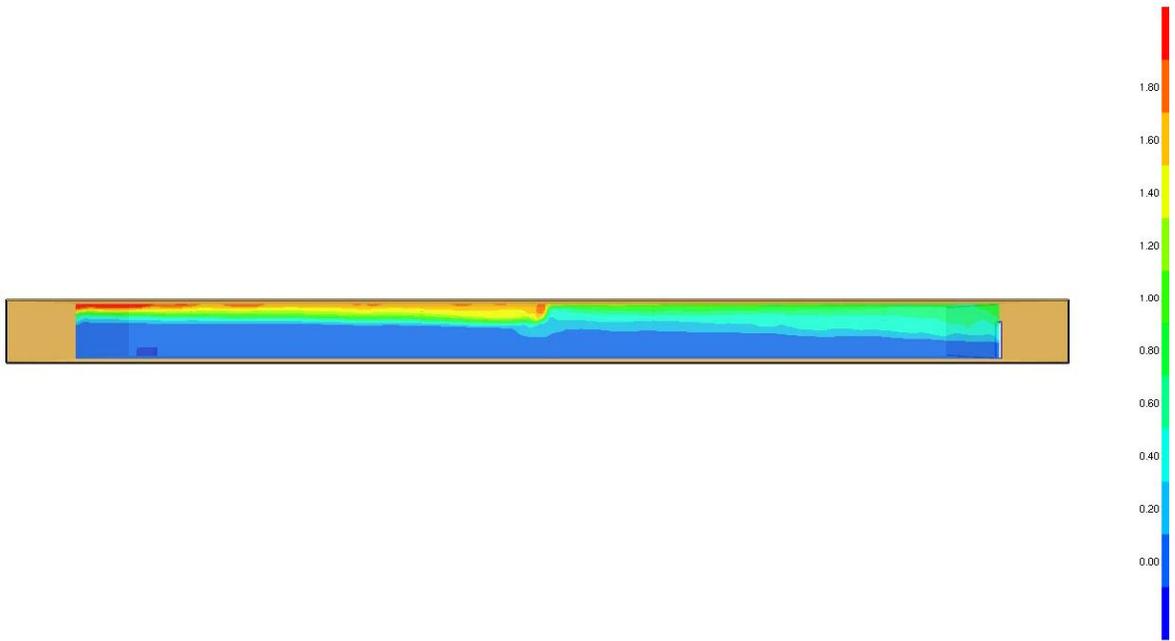


圖 91 情境 19 第 120 秒煙層狀況圖

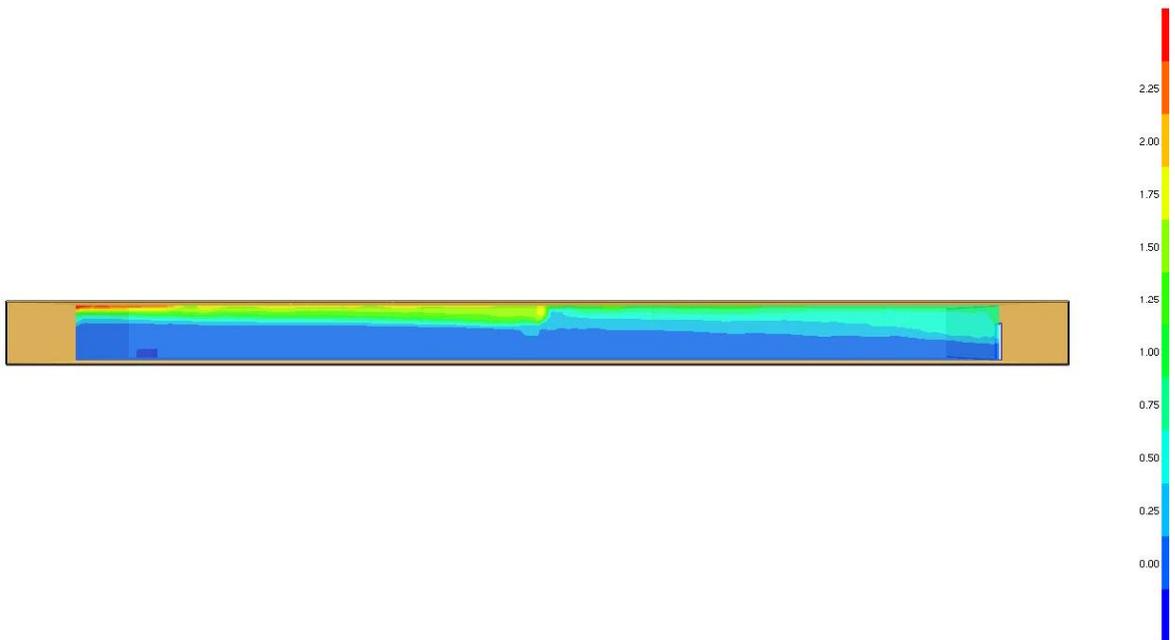


圖 92 情境 20 第 120 秒煙層狀況圖

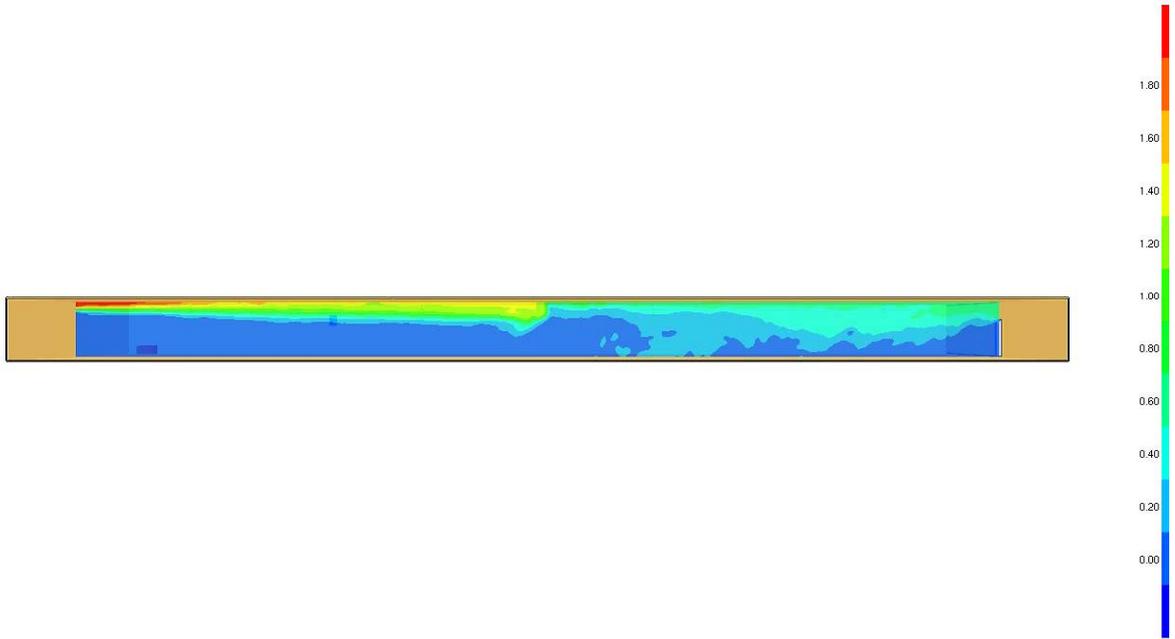


圖 93 情境 21 第 120 秒煙層狀況圖

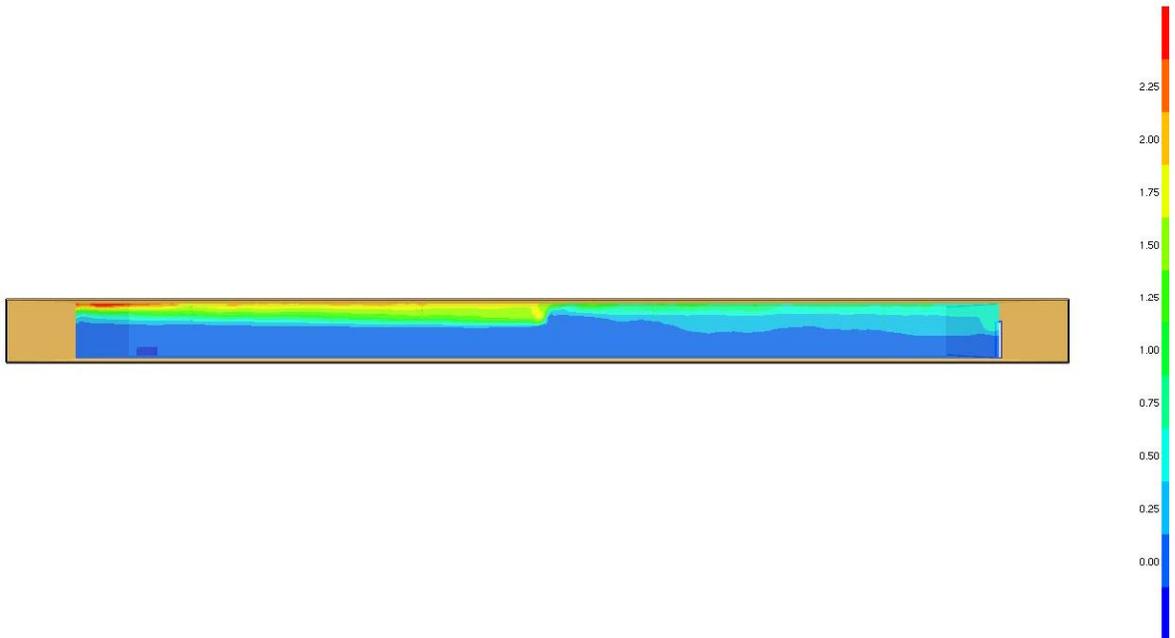


圖 94 情境 22 第 120 秒煙層狀況圖

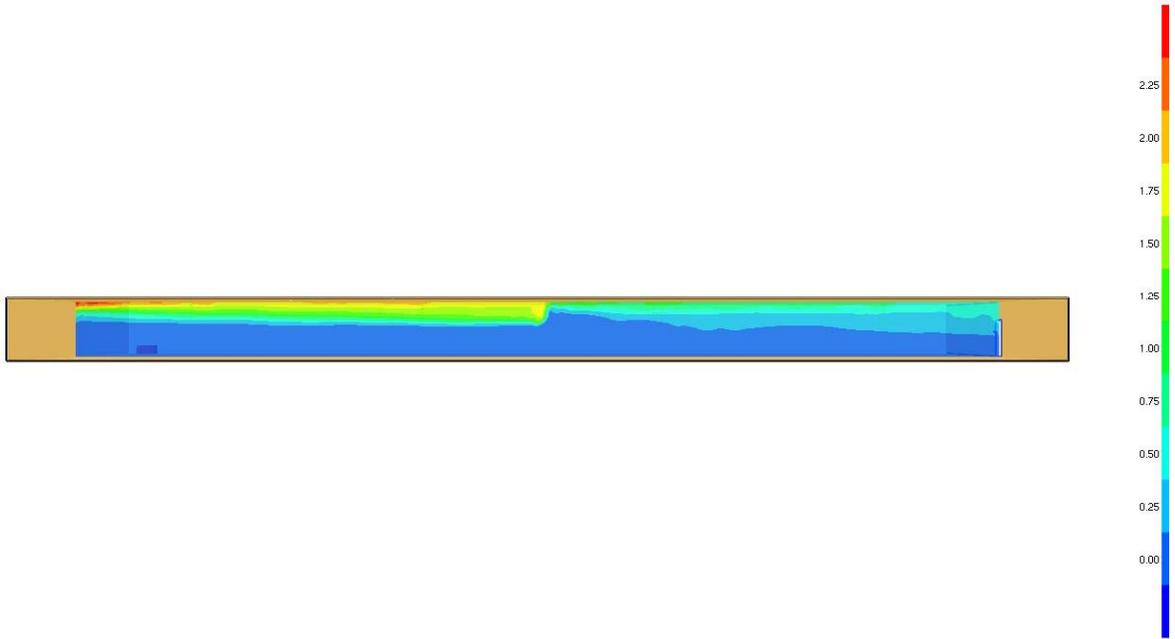


圖 95 情境 23 第 120 秒煙層狀況圖

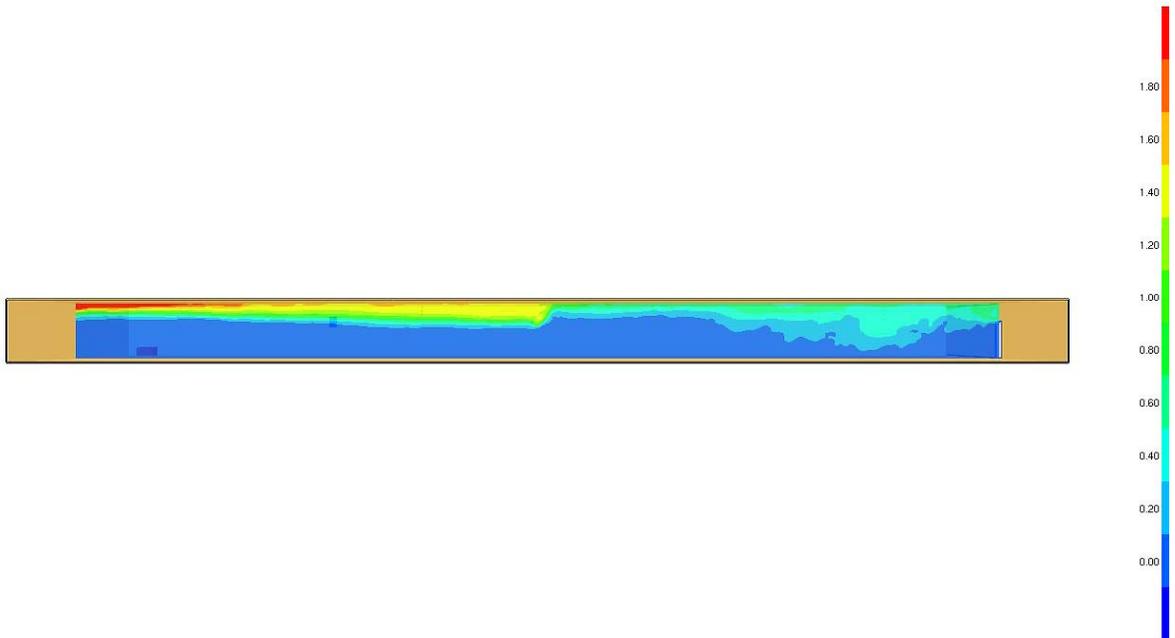


圖 96 情境 24 第 120 秒煙層狀況圖

4.3 小結

因煙層高度為一動態變化值，若欲以某時間點來比較其高度值，並無具代表性。故將各情境於120秒內之煙層高度予以平均，求出此時間區間內之煙層高度值，因本研究為探討防煙壁及排煙口對煙層高度之影響，故不考慮煙層高度過低對人員避難產生障礙之因素。又非火源測因為對照(無排煙口)及評估煙層水平擴散速度之用，其煙層高度僅做參考非為比較之用。將上二節數據計算後製表比較如下：

表 7 樓高 4.5m 之排煙口、防煙壁高度-平均煙層高度對照表

防煙壁高度 排煙口高度	0.5m		0.8m	
	火源側	非火源側	火源側	非火源側
無排煙口	煙層高度 3.71m	煙層高度 3.46m	煙層高度 3.47m	煙層高度 3.51m
4.5m(排煙口延遲 20 秒)	煙層高度 3.70m	煙層高度 3.43m	煙層高度 3.45m	煙層高度 3.53m
4.5m(排煙口全時啟動)	煙層高度 3.67m	煙層高度 3.42m	煙層高度 3.45m	煙層高度 3.51m
4.2m(排煙口延遲 20 秒)	煙層高度 3.70m	煙層高度 3.47m	煙層高度 3.69m	煙層高度 3.48m
4m(排煙口延遲 20 秒)	煙層高度 3.71m	煙層高度 3.46m	煙層高度 3.69m	煙層高度 3.55m
3.7m(排煙口延遲 20 秒)	煙層高度 3.72m	煙層高度 3.4m	煙層高度 3.67m	煙層高度 3.5m
2.25m(排煙口延遲 20 秒)	煙層高度 3.71m	煙層高度 3.43m	煙層高度 3.55m	煙層高度 3.46m
1.8m(排煙口延遲 20 秒)	煙層高度 3.72m	煙層高度 3.36m	煙層高度 3.62m	煙層高度 3.24m

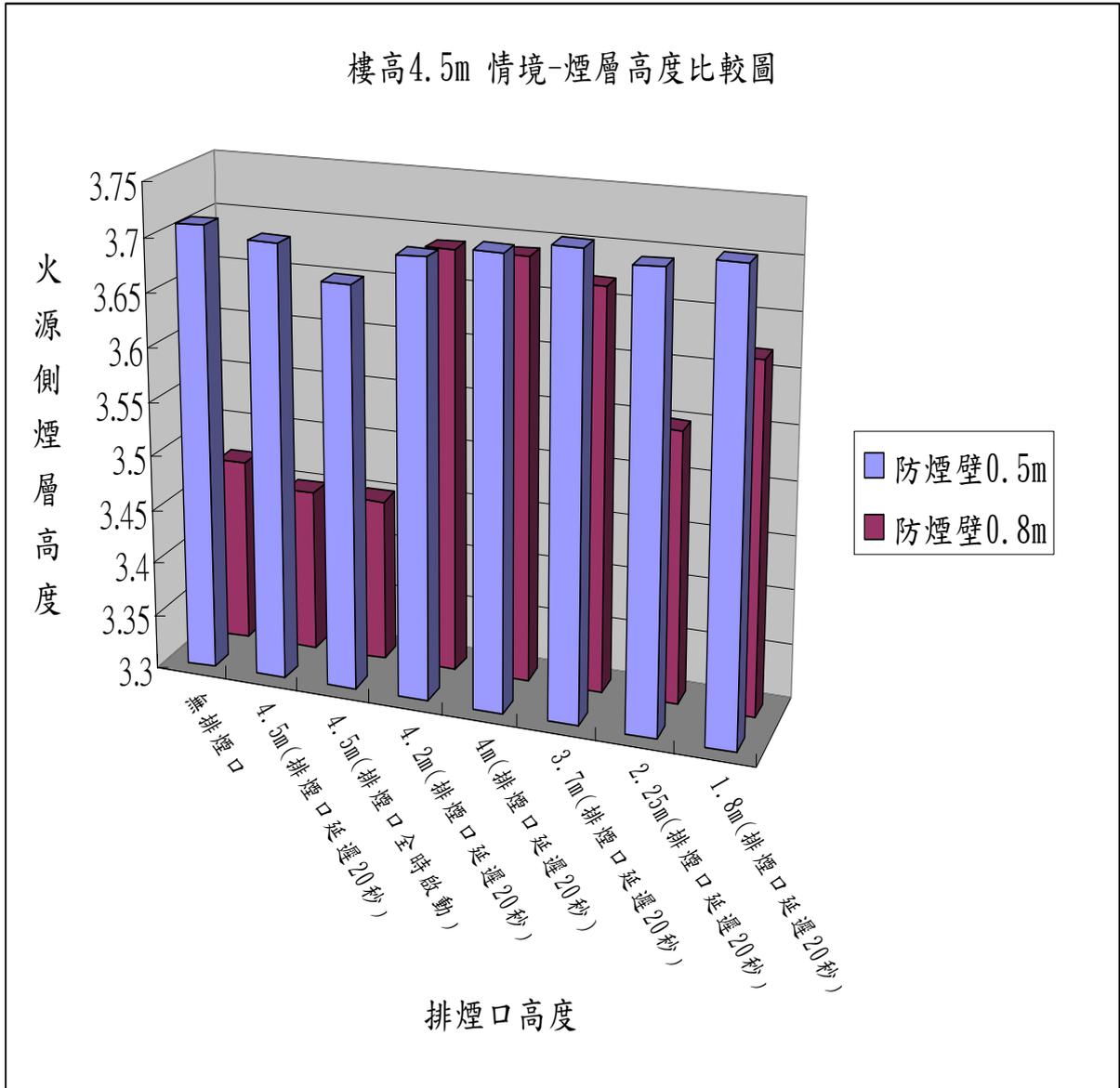


圖 97 樓高 4.5m 情境-煙層高度比較圖

由表 7 及圖 97 來看，排煙口之高度於樓層高 4.5m、防煙壁高 0.5m 時，其是否位於排煙口之上，及無論樓層高度為何，對於火源所在區劃之煙層蓄積高度影響並不明顯，甚至並無影響。但防煙壁較低時(0.8m)，排煙口位置似有效率較佳範圍(離天花板 0.3m~0.8m)，此時煙層高度較高。故若僅規範防煙壁未滿 0.8m 時，排煙口須位於其上方，此規定並不妥當，因若防煙壁為 0.5m 時，排煙口之位置對煙層之影響即不明顯，故有修正之空間。

表 8 樓高 3m 之排煙口、防煙壁高度-平均煙層高度對照表

防煙壁高度 排煙口高度	0.5m		0.8m	
	火源側	非火源側	火源側	非火源側
無排煙口	煙層高度 2.29m	煙層高度 2.43m	煙層高度 2.19m	煙層高度 2.46m
3m(排煙口延遲 20 秒)	煙層高度 2.3m	煙層高度 2.44m	煙層高度 2.19m	煙層高度 2.47m
1.8m(排煙口延遲 20 秒)	煙層高度 2.35m	煙層高度 2.33m	煙層高度 2.3m	煙層高度 2.34m

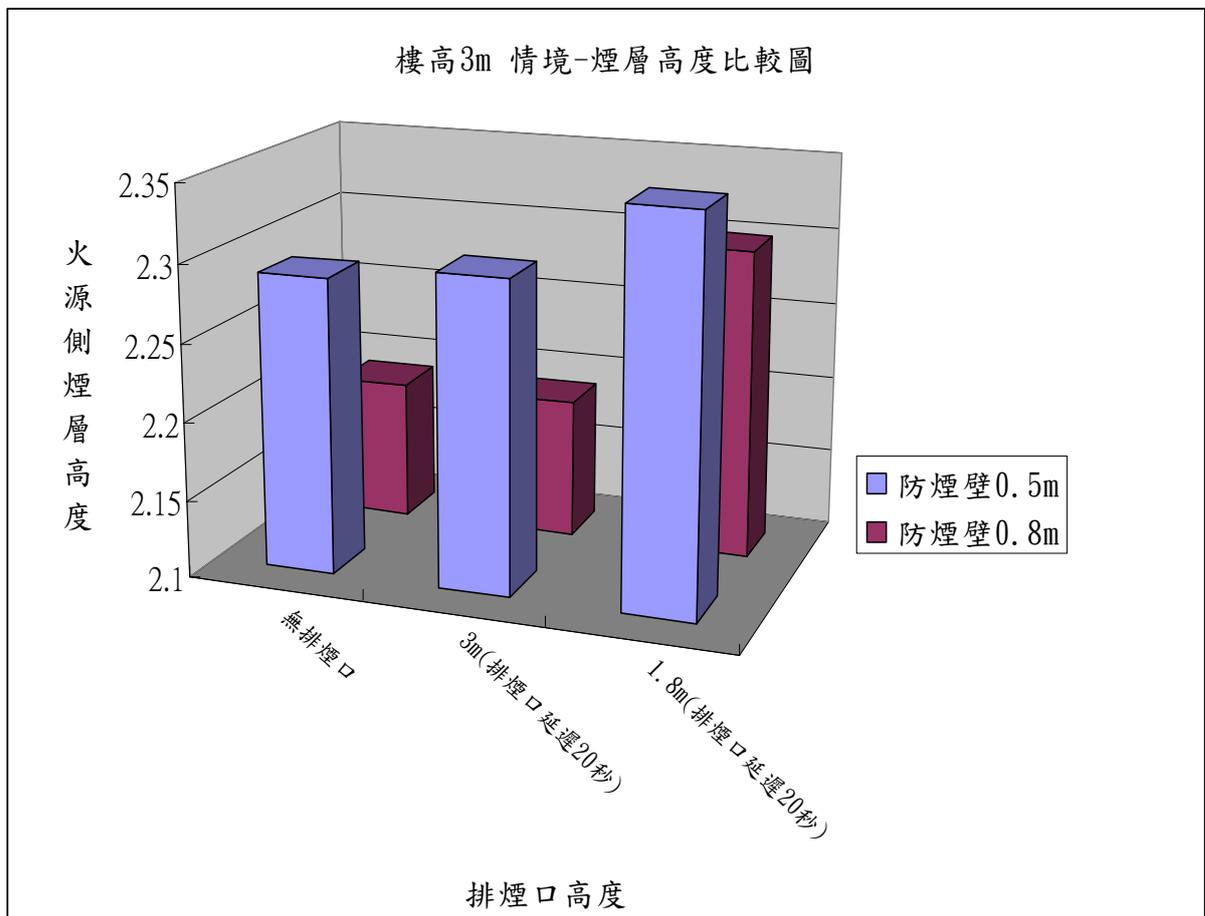


圖 98 樓高 3m 情境-煙層高度比較圖

由表8及圖98來看，於樓層高3m時，排煙口位置愈低其愈能有效控制煙

層高度，似與直觀預測排煙口愈高則煙層愈高不同，其原因有待探討。惟可確定無論樓層高度為何及排煙口如何設置，防煙壁愈低者其煙層蓄積高度愈低。故可推論蓄積煙層高度應與樓層高、區劃面積〔29〕及防煙壁高度有某種關係存在。排煙口無法有效影響蓄積煙層高度，應與其開口位置、方式、大小與風量有關，今並已有研究提出有效之排煙口面積佔樓地板面積臨界百分比之公式〔30〕以補強目前法規規定之不足處，而其他因素之相關性仍待更深入研究。

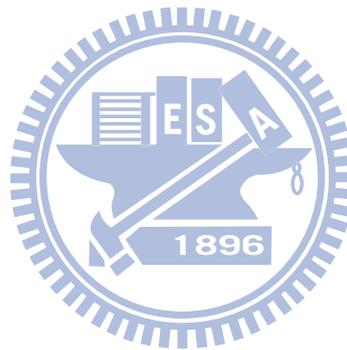


表 9 樓高 4.5m 之防煙壁高度-阻煙性能對照表

防煙壁高度	0m	0.5m	0.8m	2.25m
火源側 120 秒內平均煙層高度	3.68m	3.71m	3.59m	3.09m
非火源側 120 秒內平均煙層高度	3.28m	3.43m	3.47m	4.30m
120 秒時火源側煙層高度	2.25m	3.21m	3.33m	2.1m
120 秒時非火源側煙層高度	2.25m	2.23m	2.14m	3.9m
排煙全時啟動火源側煙層高度	NA	3.67m	3.45m	NA
排煙全時啟動非火源側煙層高度	NA	3.42m	3.51m	NA

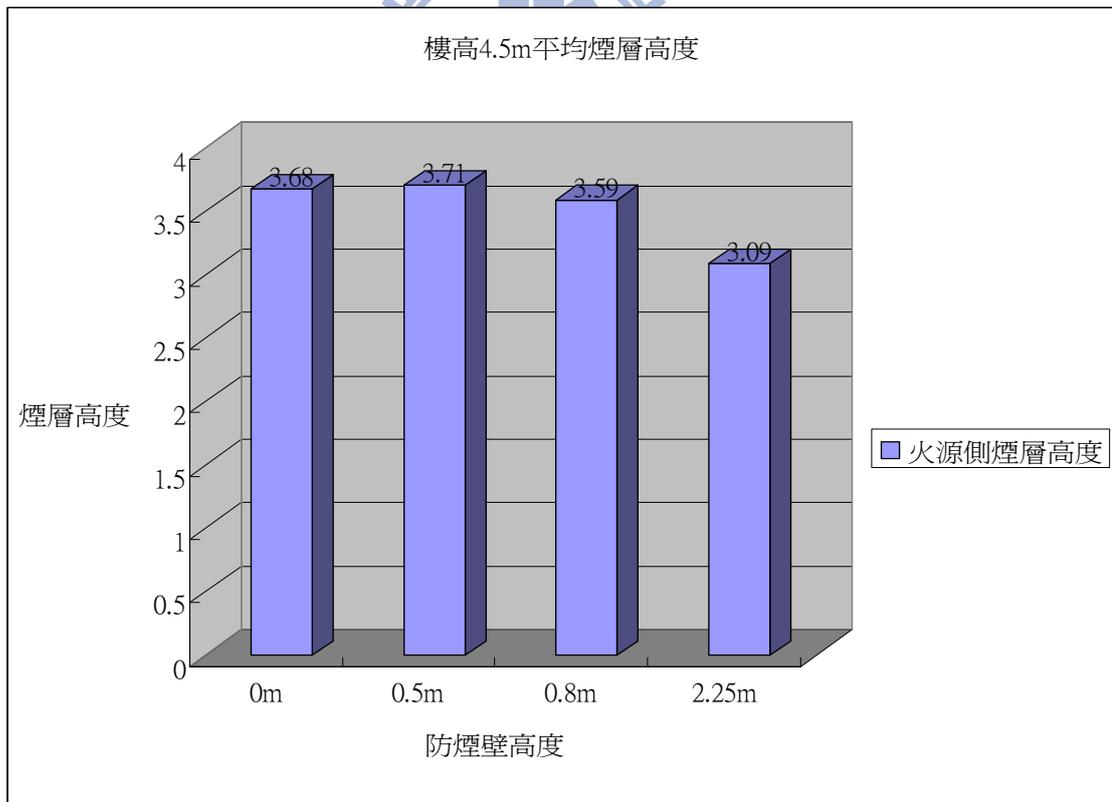


圖 99 樓高 4.5m 防煙壁-火源側煙層高度比較圖

表 10 樓高 3m 之防煙壁高度-阻煙性能對照表

防煙壁高度	0.5m	0.8m
火源側 120 秒內平均煙層高度	2.31m	2.23m
非火源側 120 秒內平均煙層高度	2.4m	2.42m
120 秒時火源側煙層高度	2.03m	1.97m
120 秒時非火源側煙層高度	1.8m	1.8m

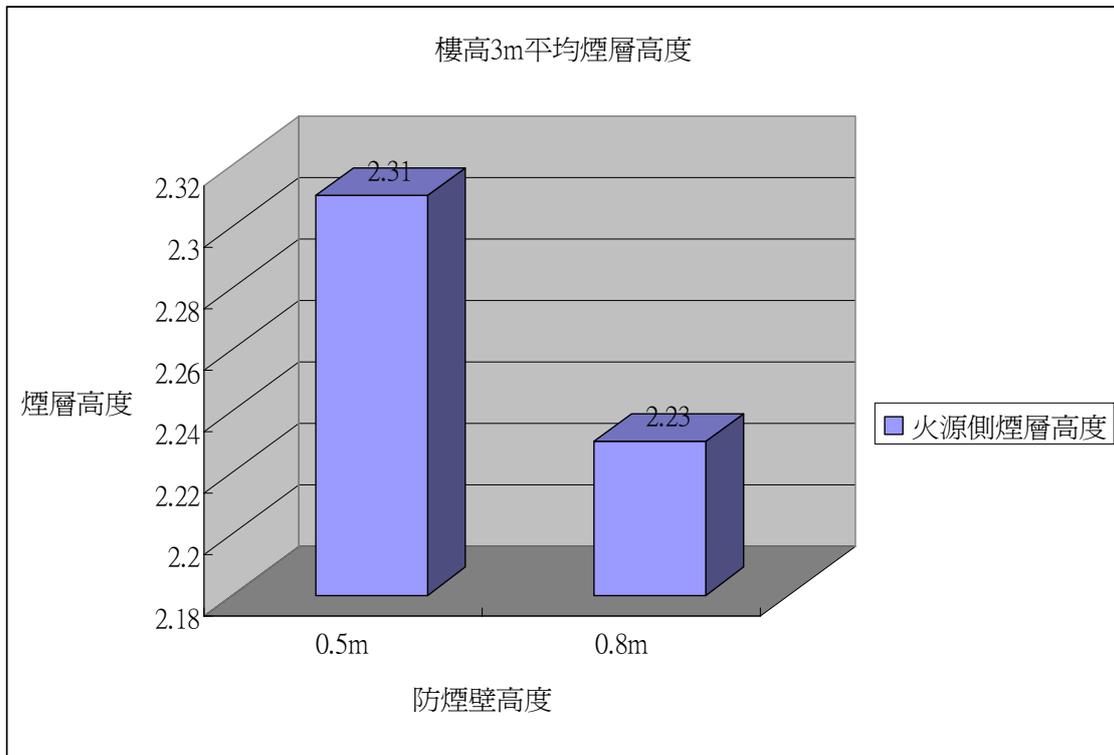


圖 100 樓高 3m 防煙壁-火源側煙層高度比較圖

為比較是否防煙壁高度為影響煙層高度之主要因素(樓層高相同)，故將同樓層高及同防煙壁高情境之煙層高度平均，以做為比較之依據。經計算後製成表9、表10及圖99、圖100，經比較後可知火源側蓄積之煙層高度明

顯受防煙壁高度影響，防煙壁高度愈低者則蓄積煙層高度愈低。樓高4.5m時，防煙壁高0.5m時其平均煙層蓄積高度為0.79m，防煙壁高0.8m時其平均煙層蓄積高度為0.91m。樓高3m時、防煙壁高0.5m時其平均煙層蓄積高度為0.69m，防煙壁高0.8m時其平均煙層蓄積高度為0.77m。且於樓高較高時(4.5m)，防煙壁0.5m之蓄積煙層高與未設相差無幾。故樓層愈高時，防煙壁若有足夠區劃蓄煙功能，則其高度須愈低。因樓層高度愈高其蓄積煙層有增厚現象，因煙層會受熱浮力及熱膨脹影響，而其高度愈高則此二因素影響愈小，故煙層過渡區愈低〔25〕。故亦可推知同樣火源大小及區劃面積下，樓層愈高則蓄積煙層有趨厚傾向，則防煙壁亦須下降，而其關係亦有待更深入探討。且亦發現排煙口蓄積20秒再啟動，並未影響蓄積煙層高度。



表 11 各情境煙層跨越防煙壁位置時間表

防煙壁高度 情境	0.5m	防煙壁高度 情境	0.8m
情境 1(樓高 4.5m)	20 秒	情境 8(樓高 4.5m)	24 秒
情境 2(樓高 4.5m)	20 秒	情境 9(樓高 4.5m)	24 秒
情境 3(樓高 4.5m)	20 秒	情境 10(樓高 4.5m)	22 秒
情境 4(樓高 4.5m)	20 秒	情境 11(樓高 4.5m)	20 秒
情境 5(樓高 4.5m)	20 秒	情境 12(樓高 4.5m)	22 秒
情境 6(樓高 4.5m)	20 秒	情境 13(樓高 4.5m)	20 秒
情境 7(樓高 4.5m)	20 秒	情境 14(樓高 4.5m)	22 秒
情境 17 (樓高 4.5m 排煙全時開啟)	20 秒	情境 18 (樓高 4.5m 排煙全時開啟)	20 秒
情境 19(樓高 3m)	22 秒	情境 22(樓高 3m)	22 秒
情境 20(樓高 3m)	22 秒	情境 23(樓高 3m)	22 秒
情境 21(樓高 3m)	24 秒	情境 24(樓高 3m)	26 秒
防煙壁高度 情境	0m	防煙壁高度 情境	2.25m
情境 16(樓高 4.5m)	20 秒	情境 15(樓高 4.5m)	無明顯跨越

為比較煙層跨越防煙壁之時間，故利用 FDS 之後處理 smokeview 程式，以目視法將其跨越防煙壁時間記錄下來，並製成表 11 以比較之。由表 11 可知樓高 4.5m 時煙層跨越 0.5m 防煙壁之平均時間為 20 秒，跨越 0.8m 防

煙壁之平均時間約 22 秒。樓高 3m 時煙層跨越時間各略增為 22.67 秒、23.33 秒。而未設防煙壁樓高 4.5m 時煙層跨越防煙壁位置時間為 20 秒。因煙層前緣擴散之速度約為 1m/s [31]，火源所在位置距防煙壁約為 24m，故理論上煙層擴散至防煙壁須 24 秒，FDS 模擬結果與其極為相近。且模擬結果中煙層自接觸防煙壁至跨越防煙壁，其時間並未超過 1 秒，其速度仍維持約 1m/s，由此可得知防煙壁並無法有效阻止煙自一區劃擴散至另一區劃。且由表 11 亦可得知排煙口是否延遲啟動並未明顯影響煙層蓄積高度及煙層擴散至下一區劃速度。故以高度 0.5m~0.8m 之防煙壁，並無法有效阻止煙自火源側向其他防煙區劃擴散。惟樓層高度較低者其阻止擴散之效果較明顯，防煙壁高 0.5m、樓高 3m 時煙層跨越時間較樓高 4.5m 者多約 13.35%，防煙壁 0.8m 者時間多約 6.05%，亦呼應前述之防煙壁效果與樓層高度亦呈一定關係推論。



第五章 結論與建議

空間中火災產生的煙和高溫氣體流動因素有二。一為煙層的流動性：因為煙層所包含的高溫氣體比周圍空氣的密度低所造成之壓差以致流動。二為空間內空氣之流動：雖然與火完全無關，但因空氣的流動，而會將煙送至建築物內各處。這兩個因素作用的相對大小，取決於空間中之狀況，通常愈靠近火源，煙層本身的流動性將處於支配地位；反之距離火源較遠的地方，則其流動受空氣影響就變得相對明顯〔32〕。又煙層之蓄積高度與該空間之面積與高度呈一定關係〔29〕，故火源大小固定情形下，上述因素與防煙壁高度將影響煙層蓄積高度。又煙層蓄積高度於防煙區劃為小區劃($\leq 200\text{m}^2$)時可利用二層煙流模式預測其煙層高度〔33〕，其亦可與 N-percent method N採20%換算預測煙層高度〔34〕，此即為煙層蓄積高度與區劃面積間具某種關係之實例。惟超過此區劃大小或高度不同情形下，如本研究所用空間則仍需研究是否另有煙層高度之關係式。而排煙口無法影響煙層蓄積高度之原因為排煙風量不足、排煙口面積影響或其它因素影響則不在本研究範圍內，故有待更深入探討。

經比較台灣、日本、中國三國法規規範及經FDS模擬所得結果，本研究針對目前我國有關防煙壁與排煙口之設置規範建議，其結論如下：

1. 以目前我國法規規定之防煙壁高度(至0.8m)，作為中等火源(2MW)以上阻止煙流動之構造，若以水平擴散來說，其性能並不明顯。因以一般煙層水平擴散流速約1m/s來說，防煙壁延長煙層流動至下一區劃時間僅多出1~2秒(隨樓層高亦有變化)。但若以蓄積煙層來說，防煙壁又具一定之

性能，故應先行定義何為”阻止煙流動之構造”，才不致造成誤解。且其須與樓層高度做一定之調整，以達蓄煙阻止其逸散之作用。又若要能有效阻止煙流動至下一區劃，則防煙壁高度須達樓高1/2以上，此情形下煙層幾無法跨越防煙壁，但實務上為不切實際之作法。

2. 雖防煙壁無明顯阻止煙流動之效果，但模擬結果證實其具建築物防火避難安全性能驗證技術手冊中對防煙壁定義之作用。其設置目的為使火源附近之煙層厚度增加，並提高該防煙區劃排煙口之排煙能力。且無論排煙口裝置與否或其裝置高度為何，其均可維持煙層平均高度於一定範圍內。故本研究仍建議須設置防煙壁，惟其高度應隨樓層高度做一調整，其關係須更深入探討。
3. 以目前法規規範之排煙口，其設置高度於中等火源(2MW)時，並非設置愈高則煙層蓄積高度愈高，並未呈一固定關係，而煙層蓄積之高度與防煙壁及樓層高度較有關。故應可免除限制防煙壁未滿0.8m時，其須設置於防煙壁高度之上。
4. 目前我國排煙設備規定中排煙口設置邏輯為先規定應設排煙設備場所(以空間面積計)，其中再設防煙區劃(由天花板下0.5m以上之不燃構造物形成)，而每一防煙區劃中再設排煙口。而此會造成應設排煙設備空間中，若其天花板下有過多超過0.5m以上之樑等構造物，其所圍成之區劃皆須設排煙口。依上述結論得知，蓄積煙層高度與樓層高度、防煙壁高度等相關，故排煙設備之設置邏輯應採日本方式，若已有防煙壁形成小於 100m^2 防煙區劃者免設排煙，無法免設之空間再行設置防煙壁及排煙口

並限制其裝置位置較為合理。且國內亦有相關研究，若舊有建築物無法增設排煙口與排煙機時，可採每 100m^2 防煙區劃方式以提供與排煙口同等之避難逃生性能，惟其建議防煙壁須達 0.8m 以上〔35〕。甚可採中國不明文規定排煙口裝置位置之方式，僅規定裝置於靠近上方天花板處即可。於相關研究尚未完全得到結果前，可以此方式解決目前格子樑或天花板非平面時所遭遇之困境。

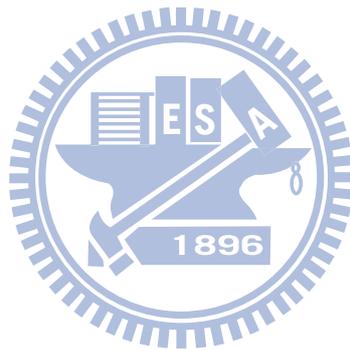
5. 若遇天花板高低差達 $1/2$ 樓層高以上之空間，由模擬結果可知煙層幾乎無法跨越高低差，建議排煙口設置於較高處即可。並取消目前以平均天花板做為排煙口設置基準高度之規定。若天花板高低差未達 $1/2$ 高者，則其落差可視為類似防煙壁，依前述建議方式設置排煙口或增設防煙壁即可。

本研究僅探討防煙壁之作用為何及排煙口設置高度是否影響煙層高度，並已得出初步之結果做成法規修改之建議。惟若欲使排煙設備相關規定更臻完善，並增進排煙設備之性能，仍有眾多須深入研究之項目，茲將未來研究重點整理如下：

1. 防煙壁高度與樓層高度關係。因本研究發現樓層高度愈高，若須有效蓄煙則防煙壁須更低，探討其換算方式可做為法規規範參考。
2. 煙層蓄積高度與樓層高度、區劃面積之關係。本研究發現煙層蓄積之高度於固定樓層高與防煙壁高時，無論有無排煙口及其位置為何，煙層高度似為一固定值。故可深入探討是否有一固定關係存在，若有則可作為排煙設備設置之參考基準，甚可免設排煙設備。

3. 排煙口與煙層蓄積高度關係之研究。由本研究所得結果，排煙口對煙層之影響實不明顯，且甚與直觀預測相反，故排煙口之開口大小、排煙量、設置高度與樓層高度、防煙壁高度彼此互相搭配對煙層高度之影響為何，實有必要再深入探討，以確保排煙口之有效設置。

於現行排煙設備法規性能化之前，應再針對目前規範再行檢視驗證並深入研究，以期減少實際設計裝置之困難，並能發揮其預期達到之性能。



參考文獻

1. 我的E政府網站-台灣公共場所重大火災紀錄，
<http://www7.www.gov.tw/todaytw/2005/TWtaiwan/ch12/2-12-17-0.html>。
2. 內政部消防署消防法令查詢系統，
<http://law.ndppc.nat.gov.tw/GNFA/Chi/FINT/LW003010.asp>。
3. 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，初版，內政部建築研究所發行，民國93年3月。
4. 郭建成，「建築物防火避難安全性能驗證之區域模式評估分析」，國立中山大學，碩士論文，民國96年6月。
5. Henk Kaarle Versteeg, Weeratunge Malalasekera, An introduction to computational fluid dynamics, Pearson Education Ltd, second edition, UK, 2007.
6. Peter R. Voke et al. Direct and large-eddy simulation III, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, UK, 1999.
7. Kevin McGrattan et al. Fire Dynamics Simulator Version 5 Technical Reference Guide, U. S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE, Washington, 2007.
8. “Standard Guide for Evaluating the Predictive Capabilities of Deterministic Fire Models” , ASTM E 1355-04, American Society for Testing and Materials, 2004.

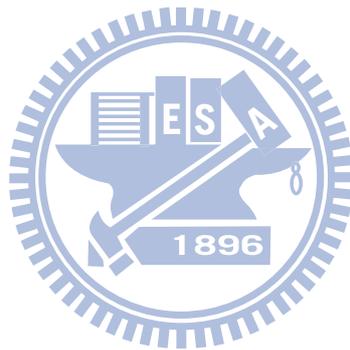
9. Nathaniel Mead Petterson, “Assessing the Feasibility of Reducing the Grid Resolution in FDS Field Modeling” , Fire Engineering Research Report, University of Canterbury, New Zealand, 2002.
10. Alex Webb, 「FDS MODELLING OF HOT SMOKE TESTING, CINEMA AND AIRPORT CONCOURSE」, Australia Fire Protection Engineering, Degree of Master of Science, November 29 2006.
11. Anthony Hamins et al. “Experiments and Modeling of Multiple Workstations Burning in a Compartment” , NIST NCSTAR 1-5E, September 2005.
12. Zou G.W., Chow W.K., “Evaluation of the field model, Fire Dynamics Simulator, for a specific experimental scenario” , Fire Protection Engineering, 2005, 396
13. Howard R. Baum et al. “Three Dimensional Simulations of Fire Plume Dynamics” , Fire Safety Science-proceedings of the fifth international symposium, p511-522, Melbourne, Australia, 3-7 March 1997.
14. Piotr Smardz, 「Validation of Fire Dynamics Simulator (FDS) for forced and natural convection flows」, master degree, University of Ulster, November 2006.
15. 李訓谷, 「大空間中庭建築性能式煙控系統設計分析」, 國立中山大學, 博士論文, 中華民國90年6月。

16. 黃雄義，「以 FDS 預測 ISO 9705 房間試驗火場情境之可行性研究」，國立高雄第一科技大學，碩士論文，中華民國 94 年 1 月。
17. 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」，國立中山大學，博士論文，中華民國 95 年 7 月。
18. 邱健倫，「密閉空間火場模擬及熱應力分析」，國立成功大學，碩士論文，中華民國 96 年 7 月。
19. Simo Hostikka, Matti Kokkala, Jukka Vaari, “Experimental Study of the Localized Room Fires” , VTT Research Notes 2104, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland, 2001.
20. Yaping He, Anthony Fernando, Mingchun Luo, “Determination of interface height from measured parameter profile in enclosure fire experiment” , Fire Safety Journal, vol. 31, 1998.
21. Marc Janssens, Hao C. Tran, “Data Reduction of Room Tests for Zone Model Validation” , Journal of Fire Science, vol. 10 , 1992.
22. Jason E. Floyd et al. “CFD Fire Simulation Using Mixture Fraction Combustion and Finite Volume Radiative Heat Transfer” , Fire Protection Engineering, Vol. 13, 2003.
23. John J. Fruin, Pedestrian Planning and Design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners Inc , New York, 1971.
24. 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」，國

立中山大學，碩士論文，中華民國92年6月。

25. Gunnar Heskestad et al. “Similarity Relations for the Initial Convective Flow Generated by Fire” , ASFM Report 72-WA/HT-17 FMRC, Norwood, 1972.
26. NFPA 92B Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas , an International codes and standards organization , Batterymarch park , 2000.
27. Leonard Y. Cooper , “Interaction of an isolated sprinkler and a two-layer compartment fire environment” NISTIR 4587, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1991.
28. Bernard J. McCaffrey, “Flame Height” , The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Section 2, Fire Dynamics, 1995.
29. Chow W.K. , Wong W.K. , “On the Simulation of Atrium Fire Environment in Hong Kong Using Zone Models” , Vol. 11, Journal of Fire Science, Hong Kong, 1993.
30. 周士凱，「排煙口開口特性對排煙效應影響之分析與探討之分析與探討」，長榮大學，碩士論文，中華民國97年6月。
31. 楊育荃，「建築物火災模式之特性分析及實際案例之應用」，國立雲林科技大學，碩士論文，中華民國91年7月。
32. 薛朝鴻，「性能式煙控與避難運用在排煙室之研究」，國立雲林科技大學，碩士論文，中華民國93年6月。

33. 蕭敬倫，「區域火災的煙層高度預測」，國立雲林科技大學，碩士論文，中華民國96年6月。
34. 王鵬智，「居室火災避難容許時間基準之驗證研究」，國立台灣科技大學，博士論文，中華民國96年1月。
35. 黃永順，「舊有建築物排煙設備改善與避難安全分析」，國立交通大學，碩士論文，中華民國93年6月。



附錄

各類場所消防安全設備設置標準

第28條

下列場所應設置排煙設備：

- 一、供第十二條第一款及第五款第三目所列場所使用，樓地板面積合計在五百平方公尺以上。
- 二、樓地板面積在一百平方公尺以上之居室，其天花板下方八十公分範圍內之有效通風面積未達該居室樓地板面積百分之二者。
- 三、樓地板面積在一千平方公尺以上之無開口樓層。
- 四、供第十二條第一款第一目所列場所及第二目之集會堂使用，舞臺部分之樓地板面積在五百平方公尺以上者。
- 五、依建築技術規則應設置之特別安全梯或緊急昇降機間。

前項場所之樓地板面積，在建築物以具有一小時以上防火時效之牆壁、平時保持關閉之防火門窗等防火設備及各該樓層防火構造之樓地板區劃，且防火設備具一小時以上之阻熱性者，增建、改建或變更用途部分得分別計算。

第188條

第二十八條第一項第一款至第四款排煙設備，依下列規定設置：

- 一、每層樓地板面積每五百平方公尺內，以防煙壁區劃。但戲院、電影院、歌廳、集會堂等場所觀眾席，及工廠等類似建築物，其天花板高度在五公尺以上，且天花板及室內牆面以耐燃一級材料裝修者，不在此

限。

- 二、地下建築物之地下通道每三百平方公尺應以防煙壁區劃。
- 三、依第一款、第二款區劃（以下稱為防煙區劃）之範圍內，任一位置至排煙口之水平距離在三十公尺以下，排煙口設於天花板或其下方八十公分範圍內，除直接面向戶外，應與排煙風管連接。但排煙口設在天花板下方，防煙壁下垂高度未達八十公分時，排煙口應設在該防煙壁之下垂高度內。
- 四、排煙設備之排煙口、風管及其他與煙接觸部分應使用不燃材料。
- 五、排煙風管貫穿防火區劃時，應在貫穿處設防火閘門，該閘門應符合排煙設備用閘門認可基準之規定；該風管與貫穿部位合成之構造應具所貫穿構造之防火時效；其跨樓層設置時，立管應置於防火區劃之管道間。但設置之風管具防火性能並經中央消防主管機關認可，該風管與貫穿部位合成之構造具所貫穿構造之防火時效者，不在此限。
- 六、排煙口設手動開關裝置及探測器連動自動開關裝置；以該等裝置或遠隔操作開關裝置開啟，平時保持關閉狀態，開口葉片之構造應不受開啟時所生氣流之影響而關閉。手動開關裝置用手操作部分應設於距離樓地板面八十公分以上一百五十公分以下之牆面，裝置於天花板時，應設操作垂鍊或垂桿在距離樓地板一百八十公分之位置，並標示簡易之操作方式。
- 七、排煙口之開口面積在防煙區劃面積之百分之二以上，且以自然方式直接排至戶外。排煙口無法以自然方式直接排至戶外時，應設排煙機。

八、排煙機應隨任一排煙口之開啟而動作。排煙機之排煙量在每分鐘一百二十立方公尺以上；且在一防煙區劃時，在該防煙區劃面積每平方公尺每分鐘一立方公尺以上；在二區以上之防煙區劃時，在最大防煙區劃面積每平方公尺每分鐘二立方公尺以上。但地下建築物之地下通道，其總排煙量應在每分鐘六百立方公尺以上。

九、連接緊急電源，其供電容量應供其有效動作三十分鐘以上。

十、排煙口直接面向戶外且常時開啟者，得不受第六款及前款之限制。

前項之防煙壁，指以不燃材料建造，自天花板下垂五十公分以上之垂壁或具有同等以上阻止煙流動構造者。但地下建築物之地下通道，防煙壁應自天花板下垂八十公分以上。

第190條

下列處所得免設排煙設備：

一、建築物在第十層以下之各樓層（地下層除外），其非居室部分，符合下列規定之一者：

- （一）天花板及室內牆面，以耐燃一級材料裝修，且除面向室外之開口外，以半小時以上防火時效之防火門窗等防火設備區劃者。
- （二）樓地板面積每一百平方公尺以下，以防煙壁區劃者。

二、建築物在第十層以下之各樓層（地下層除外），其居室部分，符合下列規定之一者：

- （一）樓地板面積每一百平方公尺以下，以具一小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備及各該樓層防火構造之樓地板形成區劃，且



天花板及室內牆面，以耐燃一級材料裝修者。

(二) 樓地板面積在一百平方公尺以下，天花板及室內牆面，且包括其底材，均以耐燃一級材料裝修者。

三、建築物在第十一層以上之各樓層、地下層或地下建築物（地下層或地下建築物之甲類場所除外），樓地板面積每一百平方公尺以下，以具一小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備及各該樓層防火構造之樓地板形成區劃間隔，且天花板及室內牆面，以耐燃一級材料裝修者。

四、樓梯間、昇降機昇降路、管道間、儲藏室、洗手間、廁所及其他類似部分。

五、設有二氧化碳或乾粉等自動滅火設備之場所。

六、機器製造工廠、儲放不燃性物品倉庫及其他類似用途建築物，且主要構造為不燃材料建造者。

七、集合住宅、學校教室、學校活動中心、體育館、室內溜冰場、室內游泳池。

八、其他經中央消防主管機關核定之場所。

前項第一款第一目之防火門窗等防火設備應具半小時以上之阻熱性，第二款第一目及第三款之防火門窗等防火設備應具一小時以上之阻熱性。

建築技術規則建築設計施工編

第100條

左列建築物應設置排煙設備。但樓梯間、昇降機間及其他類似部份，不在

此限：

- 一、供本編第六十九條第一類、第四類使用及第二類之養老院、兒童福利設施之建築物，其每層樓地板面積超過五〇〇平方公尺者。但每一〇〇平方公尺以內以分間牆或以防煙壁區劃分隔者，不在此限。
- 二、本編第一條第三十一款第三目所規定之無窗戶居室。

前項第一款之防煙壁，係指以不燃材料建造之垂壁，自天花板下垂五十公分以上。

第101條

排煙設備之構造，應依左列規定：

- 一、每層樓地板面積在五〇〇平方公尺以內，得以防煙壁區劃，區劃範圍內任一部份至排煙口之水平距離，不得超過四十五公尺，排煙口之開口面積，不得小於防煙區劃部份樓地板面積百分之二，並應開設在天花板或天花板下八十公分範圍內之外牆，或直接與排煙風道（管）相接。
- 二、排煙口在平時應保持關閉狀態，需要排煙時，以手搖式裝置，或利用煙感應器速動之自動開關裝置、或搖控式開關裝置予以開啟，其開口門扇之構造應注意不受開放排煙時所發生氣流之影響。
- 三、排煙口得裝置手搖式開關，開關位置應在距離樓地板面八十公分以上一·五公尺以下之牆面上。其裝設於天花板者，應垂吊於高出樓地板面一·八公尺之位置，並應標註淺易之操作方法說明。
- 四、排煙口如裝設排風機，應能隨排煙口之開啟而自動操作，其排風量不

得小於每分鐘一二〇立方公尺，並不得小於防煙區劃部份之樓地板面積每平方公尺一立方公尺。

- 五、排煙口、排煙風道（管）及其他與火煙之接觸部份，均應以不燃材料建造，排煙風道（管）之構造，應符合本編第五十二條第三、四款之規定，其貫穿防煙壁部份之空隙，應以水泥砂漿或以不燃材料填充。
- 六、需要電源之排煙設備，應有緊急電源及配線之設置，並依建築設備編規定辦理。
- 七、建築物高度超過三十公尺或地下層樓地板面積超過一、〇〇〇平方公尺之排煙設備，應將控制及監視工作集中於中央管理室。

第215條

地下使用單元樓地板面積在五〇〇平方公尺以上者，應設置排煙設備。但每一〇〇平方公尺以內以分間牆或防煙壁區劃分隔者不在此限。地下通道之排煙設備依左列規定：

- 一、地下通道應按其樓地板面積每三〇〇平方公尺以內，以自天花板面下垂八十公分以上之防煙壁，或其他類似防止煙流動之設施，予以區劃分隔。
- 二、前款用以區劃之壁體，或其他類似之設施，應為不燃材料，或為不燃材料被覆者。
- 三、依第一款之每一區劃，至少應配置一處排煙口。排煙口應開設在天花板或天花板下八十公分範圍內之牆壁，並直接與排煙風道連接。
- 四、排煙口之開口面積，在該防煙區劃樓地板面積之百分之二以上，且直

接與外氣連接者，免設排煙機。

五、排煙機得由二個以上防煙區劃共用之：每分鐘不得少於三〇〇立方公尺。

地下通道總排煙量每分鐘不得少於六〇〇立方公尺。



98
碩士論文

防煙壁與排煙口位置對煙層高度影響之研究



交通大學工學院產
業安全與防災學程

洪聖旻