

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

防火性能式設計法應用於音樂廳之防火
安全設計



The Application of Performance-Based Fire Safety Design
on A Concert Hall

研究生：沈信錡

指導教授：陳俊勳 教授

中華民國九十九年七月

防火性能式設計法應用於音樂廳之防火安全設計

The Application of Performance–Based Fire Safety Design
on A Concert Hall

研究生：沈信錡

Student：Shin-Chi Shan

指導教授：陳俊勳

Advisor：Chiun-Hsun Chen



A Thesis

Submitted to Department of Mechanical Engineering
College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master of Science

In Mechanical Engineering

June 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年七月

防火性能式設計法應用於音樂廳之防火安全設計

學生：沈信錡

指導教授：陳俊勳

國立交通大學機械工程學系碩士班

摘要

音樂廳具有大空間、跨樓層而且還具有相當的高度與面積、能容納大量人群的特徵。在台灣，現行的消防相關法規中，對於此類的建築物，因為本身建築的特性，使用傳統法規條文並無法確實的達到防火安全的目的，因此以性能式設計之方法來確保其消防設備的性能能夠確實的達到保障人員安全的目標。

本研究利用性能式設計法（performance-based design method）之驗證程序和步驟，以及數值模擬軟體 FDS（Fire Dynamics Simulator）與 SimulexX 分別進行煙控系統設計分析與避難性能評估。針對兩個案例進行探討，案例一戲劇院探討不同的火源位置與排煙風機啟動時間對煙流控制的影響。案例二榕樹廣場探討自動撒水設備對煙流控制的影響。首先以火災模擬軟體 FDS 模擬火災的煙層流動情形、CO 濃度分佈、溫度分佈以及能見度分佈來計算出所能提供人員疏散的時間。接著再利用動態避難模擬 Simulex 模擬計算人員避難逃生情形和避難所需時間，以評估人員避難安全。經由模擬結果可得知兩案例的消防系統設計，均能滿足人員生命安全的標準。

關鍵字：FDS; Simulex; 挑高建築; 劇院; 煙流

The Application of Performance–Based Fire Safety Design on A Concert Hall

Student : Shin-Chi Shen

Advisor : Chiun-Hsun Chen

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

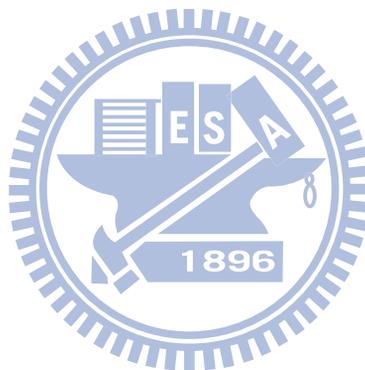
Concert hall has the characteristics of large space, floor opening connecting two or more stories, high altitude, large area and large volume of occupants. In Taiwan, the fire safety codes for this kind of building are very hard to comply with standard fire safety code because of the characteristics. It needs to apply the “performance-based design method” to ensure the performance of fireproof equipments to maintain the goal of occupant safety.

This research analyzes the performance designs of smoke control system and the evacuation respectively by utilizing the verification procedures and steps of performance-based design method and numerical simulation software, FDS (Fire Dynamics Simulator) and Simulex. This research contains two cases. Case 1 is lyric theater. It analyzes the fire location and the start time of exhaust fan effects. Case 2 analyzes Automatic sprinkler system that if smoke had been effect. At first, FDS is used to simulate the smoke movement, concentration of CO, distribution of temperature and the visibility. After that, a dynamic computer model, Simulex, is applied to calculate of the state of evacuative people and the available evacuation time, to evaluate the safety of evacuative people.

From the simulation results, they are found to be able to comply with the safety requirement for occupant evacuation.

Future work will change the size and location of the exhaust fan in reasonable bounds.

Keyword : FDS; Simulex; Atrium Building; Movie theater; Smoke layer



致謝

不知不覺之中，研究所這兩年就這樣過去了，在交大過了六個年頭，也即將離開這所我心愛的學校，在這段時光內，首先感謝指導教授 陳俊勳教授，老師悉心的教導使我得以一窺熱流領域的深奧，老師的指點我正確的方向，使我在這些年中獲益匪淺。在此對老師致上最深的感謝。

同時也感謝中台技術學院 除一量教授與台灣警察專科學校 邱晨瑋教授對我論文的指正跟建議，使我的論文更加的完善。

在這兩年研究生涯中，非常感謝文耀、彥成、家維、湯圓、維義、智欽、金輝、振稼、長新、致瑋等學長做的指導，同時一起奮鬥的同學義嘉和瑋琮，讓我在研究這條路上並不孤單，還有田徑隊的威翔、哲賓、玠璜、信揚、紹展、張淳、lisa、小小、該 B、小豪、楷翔、阿布、維澤、誠偉、190、小蘇、彥宇、景彥等等，今年好像只有我離開，

希望大家可以繼續努力，保持今年大運會總錦標第一名的榮光。實驗室的學弟妹世庸、黃鈞、抓抓、云婷跟聖容幫我處理瑣碎的雜物使我能更加心無旁騖的完成這份論文。還有一些朋友柳丁、孟玫、育國、小毛、白 g、凱薩、Q 熊，有你們的陪伴讓我這兩年更加精彩。

最後也是最重要的是感謝我的家人在我背後默默的支持與鼓勵，提供我一個無後顧之憂的求學環境，我要將這份榮耀獻給我最親愛的家人。

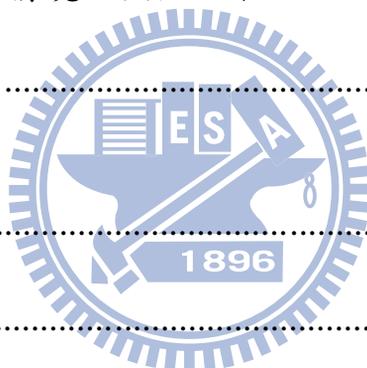
目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致謝.....	iv
目錄.....	v
表目錄.....	viii
圖目錄.....	x
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.3 研究內容.....	4
第二章 表演劇院空間型態之特性分析與避難安全標準設定.....	6
2.1 表演劇院之特性.....	6
2.2 火災燃燒過程.....	8
2.3 煙層流動特性.....	11
2.4 煙控之設計.....	14
2.5 避難安全界定標準.....	18
第三章 性能式防火設計方法.....	28
3.1 性能式設計法規介紹.....	30

3.2 性能式設計法之目的	32
3.3 建築技術規則性能式設計規定	33
3.4 性能式防火安全設計程序	37
第四章 火災模擬軟體及理論基礎介紹	51
4.1 FDS 軟體理論基礎與數值分析方法	51
4.1.1 流體力學之統御方程式	52
4.1.2 差分方程式	54
4.1.3 燃燒模式	55
4.1.4 熱輻射之統御方程式	56
4.1.5 邊界條件	57
4.2 逃生模擬軟體(Simulex)	60
第五章 結果與討論	68
5.1 前言	68
5.2 性能式設計程序	68
5.2.1 計畫範圍	68
5.2.2 確立目標	68
5.2.3 發展性能要求	69
5.2.4 發展火災情境、設計火災及試驗設	69
5.2.5 評估試驗設計	73



5.3 情境分析結果與討論	79
5.3.1 戲劇院情境一模擬結果	79
5.3.2 戲劇院情境二模擬結果	80
5.3.3 戲劇院情境三模擬結果	82
5.3.4 戲劇院情境四模擬結果	84
5.3.5 戲劇院情境五模擬結果	85
5.3.6 榕樹廣場情境一模擬結果	87
5.3.7 榕樹廣場情境二模擬結果	88
5.4 模擬結果討論	89
第六章 結論與建議	207
參考文獻	209



表目錄

表 2.1 火源成長模式係數	10
表 2.2 人體承受危害程度指標值分析表(SFPE 及紐西蘭設計).....	18
表 2.3 建議人員逃生安全環境要求	19
表 3.1 適用建築物防火避難安全性能驗證技術手冊之建築物	29
表 3.2 建築物防火避難安全性能驗證技術手冊可替代之法規	29
表 3.3 適用建築物防火避難安全性能驗證技術手冊之建築物	35
表 3.4 建築物防火避難安全性能驗證技術手冊可替代之法規	36
表 3.5 火災後果分級表	45
表 3.6 發生機率分級表	45
表 3.7 風險等級矩陣	46
表 4.1 Simulex 提供之人體尺寸	61
表 4.2 Simulex 提供不同人群模式之男女分布表	61
表 5.1 NFPA130 建議人員逃生安全環境要求	69
表 5.2 火災情境	70
表 5.3 各劇院排煙機的大小以及風速	72
表 5.4 模擬座席與人數	73
表 5.5 模擬面積與人數	74

表 5.6 模擬避難時間表	75
表 5.7 各劇院 FDS 模擬參數設定	76
表 5.8 榕樹廣場 FDS 模擬參數設定	77
表 5.9 戲劇院情境一模擬結果表	89
表 5.10 戲劇院情境二模擬結果表	90
表 5.11 戲劇院情境三模擬結果表	91
表 5.12 戲劇院情境四模擬結果表	92
表 5.13 戲劇院情境五模擬結果表	93
表 5.14 榕樹廣場情境一模擬結果表	94
表 5.15 榕樹廣場情境二模擬結果表	94



圖目錄

圖 2.1 火災發展過程圖	20
圖 2.2 火災成長曲線圖	21
圖 2.3 不同熱釋放率之火災成長曲線圖	22
圖 2.4 T-Square 火災成長曲線圖	22
圖 2.5 Kisok 實際量測之火災成長曲線圖 (NIST,1995)	23
圖 2.6 正煙囪效應 (Normal Stack Effect)	23
圖 2.7 逆煙囪效應 (Reverse Stack Effect)	23
圖 2.8 滑動式自然排煙口設計	24
圖 2.9 外推式自然排煙口設計	24
圖 2.10 機械排煙設計	25
圖 2.11 光電分離式探測器	25
圖 2.12 附室加壓	26
圖 2.13 梯間加壓(其壓力須高於附室壓力).....	26
圖 2.14 壓出排煙	27
圖 3.1 性能式法規階層架構圖	48
圖 3.2 避難安全驗證方式	48
圖 3.3 性能式設計基本流程圖	49

圖 3.4 評估試驗設計流程圖	50
圖 4.1 FDS 分析執行計畫流程圖	62
圖 4.2 FDS 與 Smokeview 之組織架構與工作流程圖	63
圖 4.3 Simulex 模擬避難流程	64
圖 4.4 電腦模擬人體尺寸示意圖	65
圖 4.5 人員間的接觸距離	65
圖 4.6 人員間距離與步行速度之關係	66
圖 4.7 避難人員超越之角度	66
圖 4.8 Simulex 模擬不同方向阻礙下之超越路線圖	67
圖 5.1(a) 戲劇院火源位置	95
圖 5.1(b) 音樂廳火源位置	95
圖 5.1(c) 中劇院火源位置	96
圖 5.1(d) 演奏廳火源位置	96
圖 5.1(e) 榕樹廣場火源位置	97
圖 5.2 戲劇院排氣口與補氣口位置	97
圖 5.3 音樂廳排氣口與補氣口位置	98
圖 5.4 中劇院排氣口與補氣口位置	98
圖 5.5 演奏廳排氣口與補氣口位置	99
圖 5.6 戲劇院 1F 人員分佈圖人員分佈圖	99

圖 5.7 戲劇院 2F 人員分佈圖人員分佈圖	100
圖 5.8 戲劇院 3F 人員分佈圖人員分佈圖	100
圖 5.9 戲劇院 4F 人員分佈圖人員分佈圖	101
圖 5.10 音樂廳 1F 人員分佈圖人員分佈圖	101
圖 5.11 音樂廳 2F 人員分佈圖人員分佈圖	102
圖 5.12 音樂廳 3F 人員分佈圖人員分佈圖	102
圖 5.13 中劇院 1F 人員分佈圖人員分佈圖	103
圖 5.14 中劇院 2F 人員分佈圖人員分佈圖	103
圖 5.15 中劇院 3F 人員分佈圖人員分佈圖	104
圖 5.16 演奏廳 1F 人員分佈圖人員分佈圖	104
圖 5.17 演奏廳 2F 人員分佈圖人員分佈圖	105
圖 5.18 榕樹廣場人員分佈圖人員分佈圖	105
圖 5.19(a) 戲劇院量測點分布圖	106
圖 5.19(b) 音樂廳量測點分布圖	106
圖 5.19(c) 中劇院量測點分布圖	107
圖 5.19(d) 演奏廳量測點分布圖	107
圖 5.19(e) 榕樹廣場量測點分布圖	107
圖 5.20 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境一).....	108
圖 5.21 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境一).....	108

圖 5.22	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境一)...	109
圖 5.23	戲劇院煙層高度圖(情境一).....	109
圖 5.24	戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境一).....	110
圖 5.25	戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面(情境一).....	111
圖 5.26	戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境一).....	112
圖 5.27	戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境一).....	113
圖 5.28	戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境一).....	114
圖 5.29	戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境一).....	115
圖 5.30	戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境一).....	116
圖 5.31	戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境一).....	117
圖 5.32	戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境一).....	118
圖 5.33	戲劇院煙粒子分佈圖(情境一).....	119
圖 5.34	戲劇院煙塵分佈圖(情境一).....	120
圖 5.35	戲劇院熱輻射分佈圖(情境一).....	121
圖 5.36	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境二).....	122
圖 5.37	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境二).....	122
圖 5.38	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境二)...	123
圖 5.39	戲劇院煙層高度圖(情境二).....	123
圖 5.40	戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境二).....	124

圖 5.41	戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面(情境二).....	125
圖 5.42	戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二).....	126
圖 5.43	戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境二).....	127
圖 5.44	戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境二).....	128
圖 5.45	戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二).....	129
圖 5.46	戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境二).....	130
圖 5.47	戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境二).....	131
圖 5.48	戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二).....	132
圖 5.49	戲劇院煙粒子分佈圖(情境二).....	133
圖 5.50	戲劇院煙塵分佈圖(情境二).....	134
圖 5.51	戲劇院熱輻射分佈圖(情境二).....	135
圖 5.52	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境三).....	136
圖 5.53	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境三).....	136
圖 5.54	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境三)...	137
圖 5.55	戲劇院煙層高度圖(情境三).....	137
圖 5.56	戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境三).....	138
圖 5.57	戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面(情境三).....	139
圖 5.58	戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境三).....	140
圖 5.59	戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境三).....	141

圖 5.60	戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境三)	142
圖 5.61	戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境三).....	143
圖 5.62	戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境三).....	144
圖 5.63	戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境三).....	145
圖 5.64	戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境三).....	146
圖 5.65	戲劇院煙粒子分佈圖(情境三).....	147
圖 5.66	戲劇院煙塵分佈圖(情境三).....	148
圖 5.67	戲劇院熱輻射分佈圖(情境三).....	149
圖 5.68	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境四).....	150
圖 5.69	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境四).....	150
圖 5.70	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境四)..	151
圖 5.71	戲劇院煙層高度圖(情境四).....	151
圖 5.72	戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境四).....	152
圖 5.73	戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面(情境四).....	153
圖 5.74	戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境四).....	154
圖 5.75	戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境四)	155
圖 5.76	戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境四)	156
圖 5.77	戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境四).....	157
圖 5.78	戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境四).....	158

圖 5.79	戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境四).....	159
圖 5.80	戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境四).....	160
圖 5.81	戲劇院煙粒子分佈圖(情境四).....	161
圖 5.82	戲劇院煙塵分佈圖(情境四).....	162
圖 5.83	戲劇院熱輻射分佈圖(情境四).....	163
圖 5.84	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境五).....	164
圖 5.85	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境五).....	164
圖 5.86	戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境五).....	165
圖 5.87	戲劇院煙層高度圖(情境五).....	165
圖 5.88	戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境五).....	166
圖 5.89	戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面(情境五).....	167
圖 5.90	戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境五).....	168
圖 5.91	戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境五).....	169
圖 5.92	戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境五).....	170
圖 5.93	戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境五).....	171
圖 5.94	戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境五).....	172
圖 5.95	戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境五).....	173
圖 5.96	戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境五).....	174
圖 5.97	戲劇院煙粒子分佈圖(情境五).....	175

圖 5.98	戲劇院煙塵分佈圖(情境五).....	176
圖 5.99	戲劇院熱輻射分佈圖(情境五).....	177
圖 5.100	榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境一).	178
圖 5.101	榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境一).	178
圖 5.102	榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境一)	179
圖 5.103	榕樹廣場煙層高度圖(情境一).....	179
圖 5.104	榕樹廣場溫度分佈圖 y-z 剖面(情境一).....	180
圖 5.105	榕樹廣場溫度分佈圖 x-z 剖面(情境一).....	181
圖 5.106	榕樹廣場各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境一) ...	182
圖 5.107	榕樹廣場 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境一).....	183
圖 5.108	榕樹廣場 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境一).....	184
圖 5.109	榕樹廣場各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境一).....	185
圖 5.110	榕樹廣場能見度分佈圖 y-z 剖面(情境一).....	186
圖 5.111	榕樹廣場能見度分佈圖 x-z 剖面(情境一).....	187
圖 5.112	榕樹廣場各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境一)	188
圖 5.113	榕樹廣場煙粒子分佈圖(情境一).....	189
圖 5.114	榕樹廣場煙塵分佈圖(情境一).....	190
圖 5.115	榕樹廣場熱輻射分佈圖(情境一).....	191
圖 5.116	榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境二).	192

圖 5.117	榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境二)	192
圖 5.118	榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境二)	193
圖 5.119	榕樹廣場煙層高度圖(情境二)	193
圖 5.120	榕樹廣場溫度分佈圖 y-z 剖面(情境二)	194
圖 5.121	榕樹廣場溫度分佈圖 x-z 剖面(情境二)	195
圖 5.122	榕樹廣場各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二)	196
圖 5.123	榕樹廣場 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境二)	197
圖 5.124	榕樹廣場 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境二)	198
圖 5.125	榕樹廣場各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二)	199
圖 5.126	榕樹廣場能見度分佈圖 y-z 剖面(情境二)	200
圖 5.127	榕樹廣場能見度分佈圖 x-z 剖面(情境二)	201
圖 5.128	榕樹廣場各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二)	202
圖 5.129	榕樹廣場煙粒子分佈圖(情境二)	203
圖 5.130	榕樹廣場煙塵分佈圖(情境二)	204
圖 5.131	榕樹廣場熱輻射分佈圖(情境二)	205

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

在科技生活越來越進步的現代，世界人口持續的成長以及生活水準的提升，我國於近十幾年來大量興建大型購物中心、巨蛋球場、綜合展覽演藝館、機場航廈建築物與現代化的劇場，除了外觀先進前衛之外，更早已開始講求內部的華麗與精緻，使這些大型建築物內部擁有空間明亮、舒適的感覺。

現代化的劇場內，內部的建築結構通常為挑高的設計，無法阻隔煙層的流動，而使得煙層迅速的由單一層的火災擴散至各樓層造成整棟性的危害，火災也會因空氣流動較為充足使得延燒的時間與區域較長較大。在加上各劇院內部空間密閉以及地板高低不均，會使煙流的流動狀態更加複雜，同時避難時也很容易受到座椅的影響，若發生意外時，往往會有較難以疏散的情形，例如 2008 年深圳俱樂部火災由於通道太過狹窄，造成共 43 人死亡，88 人受傷的重大事故，其中大部分死者為吸入濃煙窒息而亡，要避免此一情形則必須在開始設計建築物時便審慎的考慮並設計好人員的避難動線與容留人數等等...

基於火災安全的重視，世界各國對於建築物的消防與逃生避難，均制定其相關法律的要求，而目前台灣所制定的火災安全法規為內政部 1996 年所頒佈的「各類場所消防安全設備設置標準」【1】以及「建築技術規則」【2】作為一般建築物建造時之標準。依據典型案例的歸納整理，已明確量化的標準，建築設計者及審查者即使未了解規定的意涵，只要遵循此法規設置防火避難設備，就會有一定消防安全性，十分便於執行。但隨著建築物高層化、大型化，現代化新興建築物已超越典型經驗值，規格化法規管置基準是否適合繼續使用已受到質疑，例如於「各類場所消防安全設備設置標準」中，有關於煙控系統部分，僅於條文中規定防煙區劃面積的大小、防煙壁下垂之深度、排

煙口位置以及排煙量大小等等的設計，此為典型規格式 (Prescription) 法規。在「各類場所消防安全設備設置標準」法規中，第 188 條第七款「前款之排煙機應能隨任一排煙口之開啟而動作，其排煙量不得小於每分鐘一百二十立方公尺，且在一防煙區劃時，不得小於該防煙區劃面積每平方公尺每分鐘一立方公尺，在二區以上之防煙區劃時，應不得小於最大防煙區劃面積每平方公尺每分鐘二立方公尺。但地下建築物之地下通道，其總排煙量不得小於每分鐘六百立方公尺」，故以目前台灣現行法規中所規定的排煙量，被認定為與樓地板面積成直接正比例關係。而在避難設計方面上僅提出「距離」的觀念，也就是說建築物的空間內任一點到出口最遠步行距離需小於 30 公尺。但事實上，各類場所消防安全設備設置標準 188 條主要為適用於辦公室或住宅等建築居室部分之煙控系統設計。對於具備中庭或挑高與開闊空間部分之購物中心、航站大廈與地下車站等建築物而言，實不適合。

因此本研究利用性能式火災安全設計方法來評估建築物於發生火災時，消防設備能保護人員的安全，同時給予建築型態與使用最大的自由，在經濟效應的因素以及能依照個別建築物給予精確的消防安全設計，此乃本研究之動機所在。

1.2 文獻回顧

蔡尤溪[3]利用 FDS 與 FLUENT 進行大空間煙流的模擬，由格點分析的結果，FDS 對於遠離火場溫度的預測值，有相當高的精確度，因此可利用非均勻分佈格點，火場附近處加密格點，遠離火場可上適當加大格點尺寸，以減少運算時間；而 FLUENT 由於使用許多簡化假設，因此所得結果與實驗和 FDS 相差較大。且在格點加密的部份，的測試，發現局部加密的結果以正方體格點 (寬高比 aspect ratio 為 1:1) 時，收斂的結果、反應的火載量與溫度的現象最平穩，而 aspect ratio 最好不要大於 1:4，此外並建議了模擬時間最好勿超過 120 小時為

佳，以符合模擬之時效性。

楊冠雄【4】將大型開闊空間建築物煙控系統之設計分析分為大空間內部與周圍區域兩部份來討論。大型開闊空間內部之煙控系統，其主要功能有二：一為處理發生於大空間內部之火災產生的煙，二為處理於大空間之周圍區域流入其內的濃煙。主要目的為，控制層煙高度或減緩煙層下降速度，使之於大空間內，如走廊與樓梯，提供一條無煙之逃生避難路徑。

丁春能【5】說明對於挑高中庭及大型空間建築物，若使用防煙垂壁，或在其兩端造成壓力差以限制煙流動，是不可能也不實際的作法，最為有效可行之煙控方式，以大空間容量做為蓄煙，並蒐集國內煙控系統性能設計案例比較分析，探究國內消防設計排煙設備法規之問題。

Milke【6】利用 FDS 軟體在天花板設置排氣口以及改變補氣口的排列方式和速度(0.5m/s~3m/s)來模擬簡單的中庭模型，其模擬情境中補氣口排列方式分為無補氣口、對稱性排列以及非對稱性排列並採用不同的補氣速度(0.5m/s~3m/s)進行分析煙控系統模擬會影響的參數。結果顯示採用對稱性與速度不超過 1m/s 的模擬條件，會使得最大火源熱釋放率的規模較小與煙塵降的深度較淺。

Chow et al.【7】利用數值模擬軟體 FDS 和 CFAST，模擬兩層樓高的挑高中庭建築物，比對當補氣口的位置高於、等於或低於煙層界面處時煙層下降的速度和時間，並與實驗相互比較。比對結果得知，CFD 模擬軟體與實驗的結果相近。Chow 由結果發現，補氣位置低於煙層界面處時，雖煙層的溫度會升高，但可減緩煙層沉降的速度，因此可提供充足的逃生時間避難；反之，當補氣位置高於煙層界面處時，補充的氣體會與煙相互混合，導致流場的混亂，雖然可使煙層的溫度降低，但會加速煙層沉降的速度。Chow 並提出在機械排煙的設計上，除了補氣口的位置之外，例如補氣口的分佈位置、補氣速度以

及補氣口距離火源的距離等，都是必須考量重要關鍵。

盧建宏【8】利用 FDS 模擬了層化效應對蓄煙區的排煙是否會造成煙層無法到達蓄煙區頂部而使得排煙系統會有吸不到煙的影響，其模擬的案例發現，不同規模的火源下，層化效應的影響並不明顯，並提出若要避開層化效應影響，只要排煙機的位置不要置於蓄煙區頂端，留下一段高度便可以使排煙機發揮實際的功能而不會造成影響。

Qin et al.【9】利用 FDS 模擬了典型的體育館的火災情境，其改變排煙系統的位置與排煙方式模擬了 10 種不同的情境，指出若是排煙系統的位置在體育館的天花板上，自然排煙的方式對煙層便能夠有效的控制，使用機械排煙效果並不會比較好；而若是排煙系統的位置在體育館的四周，則必須使用機械排煙來控制煙層下降的速度，以提供人員疏散足夠的時間。

1.3 研究內容

煙控系統的設計目標，是為了延阻煙層的擴散或沉降時間，而增加人員避難安全的逃生時間，以提供火災初期人員避難所需之黃金時間為主，因此煙控時間與避難時間兩者其實是在互相競賽，在性能式設計法中必須同時評估煙控以及避難系統上之配合，以發展出最適合之共生系統。

本研究的內容將以性能式設計法之驗證程序和步驟進行模擬，將模擬範圍分為戲劇院以及榕樹廣場。首先探討個案例的初始條件，火源位置及熱釋放率、邊界條件、排煙系統、撒水系統等設定。接著再以美國 NIST (National Institute of Standards and Technology) 所發展的火災模擬軟體 FDS【10】【11】(Fire Dynamics Simulator)，對於火災發生時之流場、溫度場及煙層流向作三維模擬分析，來量測模擬結果所得之溫度場、一氧化碳濃度、能見度及熱輻射強度。在人員逃生則使用英國 Illuminating Engineering Society 所發展的軟體

Simulex【12】，其蒐集了大量的人員移動資料庫，如人員的身體擺動幅度、加速、減速、接近其他人員之移動速度等所發展出之人員逃生軟體。

在判斷驗證上面，因此在性能式設計法的評估中，將先以 FDS 模擬各劇院之案例發生火災時火場之各表演廳氣溫、CO 濃度、能見度、煙層動向等情形，計算出所能提供生命安全基準之時間。再利用 Simulex 模擬出人員避難之動線與所需之逃生時間來相互比較，驗證此排煙設備之排煙量規劃與排煙口之位置是否能確實保障人員之安全。



第二章 表演劇院型態之特性分析與避難 安全標準設定

2.1 表演劇院空間之特性

戲劇院因其空間具有相大的面積與高度，所以在火災產生時煙的流動情形會與戶外空間煙流動的情形類似，而在火災發生時會產生比一般建築物更大的問題，如一般建築物之水平防火區劃是由各樓層之樓地板來完成的，而在劇院裡，因其挑高空間貫穿每一層樓之水平防火區劃，當火災發生時，火及煙很輕易的往其他樓層擴散，而造成比一般建築物之危害。因此必須瞭解劇院所存在於火災時之避難危險性，才能清楚的得知火災發生情況，甚至加以預測分析，以減少預防火災的發生，進而減少生命財產的損失。劇院空間之火災危害特性如下：

一、劇院火災特性：

(1) 火災燃燒型態之改變：

由於劇院空間規模相當大，在火災發生時，其燃燒型態會由「換氣支配型的燃燒」轉變為「燃料支配型的燃燒」，導致火災燃燒區域急速擴大。

(2) 火災早期感知以及滅火困難

由於劇院內部之天花板一般而言都相當高，使得火災發生時無法早期感應，且自動撒水頭也將因為距離樓板之高度過大，而使其滅火效果大減，產生了危險。

(3) 刺激性氣體的產生

各劇院中由於座椅、手把、地毯等由許多聚合物組成，會產生較多刺激性氣體。



(4) 火災燃燒範圍變廣

因為劇院內座椅前後排距離相近，而左右座椅緊緊相鄰，所以火勢變大時可能產生延燒現象，使火災燃燒的範圍變廣。

(5) 設有大型儲藏空間及佈景工場

劇院內部設有大型儲藏空間及佈景工場，在火災時將會增加火災的火載量。

二、避難與消防特徵：

(1) 人員避難時產生推擠

劇院發生火災時，因為火及煙會迅速蔓延於整棟建築物中，使得整棟建築物的人們，會在同一時間內採取避難措施，而因避難人數眾多，但是劇院內之避難路徑走道稀少，並且寬度不寬，因此在避難時人員會互相推擠，因此受傷。

(2) 避難動線受到座椅阻擋

由於劇院前後排座椅間隔不大，因此人員在避難時行動容易受到阻擋，使得避難所需的時間更長。

(3) 收容人數眾多且為不特定人員使用之場所

劇院內部收容的人數眾多，但大部份的人員為觀眾，所以不了解內部的構造及逃生路線，在火災時受到煙的影響容易迷失方向，加上對路線不熟悉，容易造成傷亡。

2.2 火災燃燒過程

在設計火災模式時，需先由火災發展的過程探討，一般而言火災燃燒過程為規則性，隨著燃燒時間的增長，可分為五個發展階段描述燃燒過程：1. 引燃（Ignition）、2. 成長期（Growth）、3. 閃燃期（Flashover）、4. 完全發展期（Fully Developed）以及 5. 衰退期（Decay），發展過程如圖 2.1 所示。各階段所代表的特徵與意義如下：

(1) 引燃（Ignition）

當環境中具備可燃物、氧氣、熱能三要素時便可能起火燃燒。並於燃燒放熱過程中，導致周圍環境溫度大幅升高，稱之為引燃（Ignition），引燃可開始於點燃性燃燒及自發性燃燒。

(2) 火災成長期（Growth）

生命安全的初始危害風險是在於火災成長期產生之熱量與煙。隨著有火焰之燃燒發生後，火災逐漸發展並傳播至鄰近可燃物，此為火災成長期。火焰的成長速率受限於燃燒的型態以及種類、環境的交互作用和氧氣供應程度；在此時期由於火場溫度較低，且火焰的位置也多半還在火源附近的區域，因此火災成長期為逃生避難的黃金時期。

(3) 閃燃期（Flashover）

於燃燒不完全的可燃物粒子散佈在空氣中達成一定量，再加上燃燒產生的熱與壓力，在瞬間將空氣中的可燃物粒子全部引燃，造成猛烈燃燒，此即為閃燃（Flashover）現象。一般而言，若空間內的溫度達到 600°C 時，或地板表面積之熱輻射約達 20 kW/m^2 ，即有很高的機會發生閃燃。在閃燃之後因火場的高溫、高濃度一氧化碳、濃煙及氧氣缺乏，幾乎無人可在火場中生還。

(4) 完全發展期 (Fully Developed)

當火災發展至閃燃後，火災進入擴展階段，此時火場具有相當高的溫度與熱釋放率，此階段火災為通風控制（小空間）或燃料控制（大空間）。如在密閉之小空間中，火場燃燒的速率受到火場開口流進之空氣量所支配，而此時火場內的溫度將可高達 1200 °C 以上。

(5) 衰退期 (Decay)

當可燃物逐漸耗盡，其能量釋出銳減，導致火場內氣體平均溫度陡降，此時燃燒情形由通風控制狀態轉為燃料控制狀態，若無法維持最大燃燒速率時，則燃燒會逐漸衰退。一般以燃料消耗至 80% 的時間來定義。

在了解了火災燃燒的過程之後，在性能式防火設計中，所要做的第一個考量便是火源大小的設計，火源大小的設計是整個火災評估中的一個關鍵所在，因為煙層濃度，大小，沉降速度，以及未來煙控系統的考量接會受到火源設計的影響，便會影響到整個模擬的結果與人員安全的保障。NPFA 92B 中，認為大多數的燃燒火源在發展期間的熱釋放率非常低，且其熱釋放率會隨時間變化，因此將火災成長狀況理想化，以拋物線方程式表示 (Heskestad, 1984)，也就是將式 (2.1) 中的 n 取 2 並且加入不同火源成長時間的觀念成為如式 (2.2) 所示，意即當火源成長至一臨界點後，其熱釋放率會與時間的平方成正比，如圖 2.2 所示。

$$Q = \alpha(t - t_0)^n \quad (2.1)$$

Q ：火源的熱釋放率 (kW)

α : 火源的成長係數 (kW/s^2)

t : 開始燃燒後的時間 (s)

t_0 : 有效的著火時間 (s)

n : 1,2,3,4,.....

$$Q = \alpha t_g^2 \quad (2.2)$$

t_g : 有效的燃燒後的時間 (s)

此式稱為 T-Squared Fires，NFPA92B 使用成長時間的觀念，成長時間 t_g 定義為有效燃燒之成長至 1,055kW 之時間，而 T-Squared Fires 依火源成長速率又可區分成 Ultra-fast、Fast、Medium 及 Slow 四種成長曲線，各種型式的火源成長係數與成長時間如表 2.1 所示。因火源防護作用或燃燒空氣缺乏，其熱釋放率會成長至一臨界點後便會停止，而後其熱釋放率可視為常數，如圖 2.3 所示。各種火源成長型式及其各類替代物質如圖 2.4 所示。

表 2.1 火源成長模式係數

項目	成長係數		成長時間
	(kW/s^2)	(Btu/s^2)	t_g (s)
T-Squared Fires			
緩慢 (Slow)	0.002931	0.002778	600
普通 (Medium)	0.01172	0.01111	300
快速 (Fast)	0.04689	0.04444	150
極快速 (Ultra Fast)	0.1876	0.1778	75

2.3 煙層流動特性

建築物發生火災時，在火災區域形成一高溫煙氣流場，若氧氣供給不充份，物質燃燒不完全，必產生大量固體微粒，隨著氣流移動，使高溫高熱的煙流擴散至建築物中，而建築物中火災產生的煙和高溫氣體流動主要的驅使力（Driving Force）依其性質可分為兩大類：一為自然式（Passive），二為強制式（Active）。自然式驅使力包括：煙囪效應、浮力、熱膨脹、自然風。而強制式驅使力有空調系統與電梯活塞效應兩種。在自然式驅使力中，浮力與熱膨脹為煙的溫度所引起。煙囪效應及自然風則受當時氣象條件中的外氣溫度與風的大小、方向影響。而強制式驅使力中的空調系統和電梯活塞效應，則為建築物內的設施所致。上述六種驅使力會在隔離物、牆、樓地板之間產生壓力差，而影響煙的流動。

(1) 煙囪效應（Stack Effect）

當建築物室內空氣溫度高於室外時，由於室內外空氣密度的不同而產生浮力。建築物內上部的壓力大於室外壓力，下部的壓力小於室外壓力。當外牆上有開口時，通過建築物上部的開口，室內空氣沿樓梯間、電梯井、管道井等豎井流動而流向室外；通過下部的開口，室外空氣進入豎井流動而流向室內，這就是建築物的煙囪效應。它是由高層建築物內外空氣的密度差造成的，高層建築的外部溫度低於內部溫度而形成的壓力差將空氣從低處壓入，穿過建築物向上流動，然後從高處流出建築物，這種現象被稱為正煙囪效應（Normal Stack Effect）如圖 2.5 所示；反之，若建築物外部溫度高於內部溫度時，所形成的壓力差將空氣從高處壓入，則建築物豎井空間則有向下的氣流產生，稱這現象為逆煙囪效應（Reverse Stack Effect）如圖 2.6。

火災時，由於燃燒放出大量熱量，室內溫度快速升高，建築物的

煙囪效應更加顯著，使火災的蔓延更加迅速。一般煙火災煙氣在垂直方向的擴散流動速度較大，通常為 1~5m/s。在樓梯間或管道井中，由於煙囪效應產生的拉力，煙氣流動的速度可達 6~8m/s。

(2) 浮力 (Buoyancy)

因火焰上方的高溫氣體與周圍冷空氣之間的密度不同，煙的密度跟周圍冷空氣相比相對較低，產生煙的浮力。當煙從火場流出後，本身溫度會因熱增關係 (Heat Gain) 而降低，因此煙受浮力影響會因距離愈遠而愈小，也會隨火場的成長而有所改變。

(3) 熱膨脹 (Expansion)

火場的高溫除了會產生浮力驅動煙外，能量的釋放也會有熱膨脹的現象，而使煙流動。根據氣體膨脹定律，可推算出著火期間著火區域內的氣體體積將擴大 3 倍，其中 2/3 氣體將轉移到建築物的其他部分。而且膨脹過程發生相當迅速，並造成相當大的壓力，這些壓力如果不採取措施減弱，就會迫使煙從著火層往上和往下向建築物其他部分流動。

(4) 自然風效應 (Wind Effect)

外界的風對煙的流動有顯著的效應。建築物窗戶、門被打開時，各個不同方向的開口，受到風向的影響，造成了不同壓力差，使建築物內煙流動。室內風向、風力、風速對高層煙霧流動有顯著影響，且這種影響隨建築物的形狀與規模而變化。

氣密較好的建築物而言，風的影響較不顯著。但是火場常發生窗戶玻璃受到火災現場的高溫而膨脹破裂，建築物的氣密性則遭破壞。外界的風可輕易影響內部煙的流動。若再加上前述的煙囪效應，則外界氣象條件，即風與溫度，將會對建築物內部煙的流動造成顯著影響。

(5) 空調系統 (HVAC System)

建築物內通風、空調系統對建築物內壓力的影響，取決於供風和排風的平衡狀況。如果建築物內各處的供風和排風是相同的，那麼空調系統對建築物內的壓力不會產生影響，在建築物某區火災中，該區空調系統的供氣超過排氣，該區便出現增壓現象，空氣就從該區流流向建築物內其他區域部分。反之，該區空調系統的排氣超過供氣，則出現相反的現象。

火災發展時，空調系統將大量的煙送至它所供給的區域。且空調系統還可能將大量新鮮空氣到火場，助長燃燒。故在警報器偵測到火或煙時，便把空調系統電源關掉，使得空調系統不繼續送風或換氣。但為避免空氣經由風管竄到空調系統所供給的區域。可在各送風管回風管的開口，裝上防煙/防火閘門（Fire Smoke Damper），則煙不致沿著空調系統，跑得整棟建築物。

建築物內通風、空調系統可依照某種預定而有益的方式設計，以控制建築物內的煙霧流動。如在發生火災時，空調系統亦可運用來做為強制排煙系統，使空調系統在平時或緊急狀態都能發揮效用。

（6） 電梯活塞效應（Elevator Piston Effect）

當電梯在一豎井中移動時，會在豎井內產生瞬間壓力（Transient Pressure）。向下移動的電梯，將會迫使在電梯以下部分的空氣，因受擠壓而產生向豎井外的氣流。在電梯以上部分的空氣，會被吸入而產生向豎井內的氣流。換言之，電梯可視為一個活塞，壓出並吸入上下方的空氣，形成氣流，造成壓力差。

2.5 煙控之設計

現今在我國條例式的法規中，煙控系統部份於「各類場所消防安全設備設置標準」第 188，上有相關規定，其規定防煙區劃大小、防煙垂壁下降之深度、排煙量大小及排煙口之位置及大小等。但此法規並無充分考慮建築物特性，如地下車站、挑高中庭、體育館等。因此針對不同需求之建築物，發展各自適合的煙控系統，為性能式防火設計的重點之一。以下將詳細說明一些常用之煙控系統之性能式設計理念：

(1) 蓄煙設計

當建築物內發生火災時，煙柱因火災持續燃燒而不斷上升，上升到建築物頂部時，開始累積，慢慢形成煙層。若於頂部設置蓄煙區，則能減緩煙層下降的速度。蓄煙區大多利用建築物內天花板至人的高度為止的空間，作為對人體無害之蓄積煙的空間，大多用於挑高中庭等高天花板空間作為主要煙控之位置，如圖 2.7。

(2) 排煙系統設計

1. 自然排煙

自然排煙是指利用煙之浮力，經由開設於建築物之天花板或外部牆面之開口，直接將濃煙排向外部。自然排煙不僅要達到煙之排除，且希望能達到將煙稀釋效果。在典型挑高中庭設計中大多將自然排煙口設置於蓄煙區的頂部或側邊。當火災發生時，可先將煙蓄積在頂部蓄煙區，再經由自然排煙口將煙排出，達到所需煙控性能，如圖 2.8、2.9。此優點在於不需電源及機械設備、簡單經濟；但缺點是受外界風速風向影響大、無法將煙聚集、無法防止煙之洩漏、排氣量無法控制。

自然排煙口之設計大多分為三種，包括外推式、滑動式與破裂式。外推式常用於蓄煙區之側面，設計時需考量建築物外風向對排煙的影響。滑動式常用於蓄煙區之頂端，發生火災時利用電力或人力開啟。破裂式較類似滑動式，於發生火災時藉由人力或連動破壞，進行排煙。

2. 機械排煙

機械排煙是指將所產生之濃煙藉由排煙機排出至外部的方法。排煙機動作中，火災室的內壓變低，故不僅是煙的排除，同時能在開口處發揮遮煙效果，如圖 2.10。此優點在於可將煙聚集，防止煙之洩漏、可迅速排煙、受外界大氣因素影響小、排氣量可控制；但缺點是需使用電源裝備、機械設備費用高、裝設位置及性能需仔細評估。

(3) 補氣設計

利用蓄煙區或自然排煙作為煙控設計時，皆必須於建築物底部設置補氣設計，以造成推拉（Push-Pull）效應，才能有效達到之煙控設計。補氣量和補風位置及面積，為設計煙控系統時之重要考量。如補氣量不足，則煙將無法順利排出；反之，如補氣量太大，則火場會形成更大的紊流，加速煙的沈積速度。而補氣位置如果太高，將會使煙層成為紊流狀態，導致煙更難控制；如補氣於火災發生點，則會產生助燃的效果，使火勢更加難以控制。因此補氣設計為煙控系統設計之重要一環。

(4) 探測器設計

火警探測器大多裝置於建築物的頂部，發生火災時，煙與火藉由熱浮力效應上升至建築物頂端，而做動火警探測器。但挑高中庭建築物頂端之蓄煙區，受到日照產生輻射熱，導致蓄煙區內的溫度可能達到 50°C 以上。熱空氣層形成後，沈積在蓄

煙區裡。當火災發生時，煙的溫度因於上升的過程中受到周圍空氣的冷卻，使煙氣溫度比蓄煙區裡的熱空氣低，導致煙氣無法上升至挑高中庭頂部。因此若火警探測器裝置於建築物的頂部，將無法感測到火災發生，煙控系統也無法連動，增加人員逃生的危險性。

為避免上述情形發生，可採用較先進之火警探測器，例如光電式偵煙器（Beam Smoke Detector），裝置於挑高中庭兩側邊，以偵測煙層發展狀況，進而啟動煙控系統，配置情況如圖 2.11。

(5) 避免產生 Plugholing 現象和換氣率設計

1. 避免產生 Plugholing 現象

Plugholing 現象為當機械排煙風機運轉時，由於蓄煙區之煙量不足，使排煙風機不僅抽到煙氣，同時也抽到了大量空氣，導致排煙效率降低，煙氣在建築物內部蔓延擴散，影響逃生避難安全。因此必須制定正確之機械排煙運轉策略，使煙氣於蓄煙區沈積到某一厚度後，再啟動機械排煙，達到良好的煙控性能。

2. 換氣率設計

性能式設計中有關機械排煙量之設計依據為換氣率大小。換氣率的定義為某空間於某一段時間內，完全換氣次數。NFPA101—人命安全法規(Life Safety Code)內有相關規定，若設置機械排煙設備，排煙量不得小於其體積的 6 次/小時換氣量。

(6) 加壓防煙

藉由將清淨空氣以機械力進行給氣，設定消防活動上或避難上之重要空間與其他空間之間的壓差，以防止煙侵入之手法，加壓防煙設計分別有加壓給氣場所之附室加壓（特別安全梯附室）及樓梯間加壓（安全梯或特別安全梯），如圖 2.12、2.13。

(7) 壓出排煙

藉由進氣送風機對該居室加壓，將濃煙壓送出外部之手法亦可直接向該居室進氣，但恐有將濃煙推壓至其他清淨區劃之虞，因此，進氣室應選擇安全區劃。此方法亦可當作排煙以外之稀釋用途使用，如圖 2.114。



2.6 避難安全界定標準

火場中所產生的有毒氣體含有相當多的刺激性與痲痺性成份，因此當濃度過高或暴露其中的時間過長，則容易導致人員吸入過多有毒氣體而昏迷、休克，嚴重的話甚至會導致死亡。在防火安全工程的 SFPE Handbook 【13】中有詳細的規定，而紐西蘭設計指針【14】的危險指標即是參考 SFPE Handbook 制定，其規定如表 2.2 所示。

表 2.2 人體承受危害程度指標值分析表(SFPE 及紐西蘭設計)

危害類型	承受極限
熱對流	氣流層溫度 $\leq 65^{\circ}\text{C}$ (不能超過 30 分鐘以上的暴露時間)
煙吸光率	在煙層下能見度不能低於 2 公尺
毒性	$\text{CO} \leq 1500\text{ppm}$ $\text{CO}_2 \leq 5\%$ $\text{HCN} \leq 80\text{ppm}$ $\text{O}_2 \geq 12\%$ (以上氣體濃度範圍一般僅能承受 30 分鐘以下)
熱輻射	上層的幅射流 $\leq 2.5\text{Kw/m}^2$ (承受時間 20 秒以下)

其中毒性危害中以 CO 對人體危害性最高，因 CO 會阻礙血液吸收 O₂，造成死亡比例較高，而除了有毒氣體外，火場所產生高溫也會經由對流效應對人體產生危害，濃煙也會使逃生路線遭受阻礙。另外在 NFPA130 分別對 CO 濃度、溫度以及能見度建議值如下：

火場內 CO 含量，數秒內最大濃度 2000ppm，現場最初 6 分鐘平均濃度低於 1500ppm 以及 15 分鐘內平均濃度低於 800ppm，之後平均暴露濃度低於 50ppm。在濃煙狀況下 CO 之產生，應在 30 分鐘內平均濃度不超過 800ppm，之後應隨時間遞減。

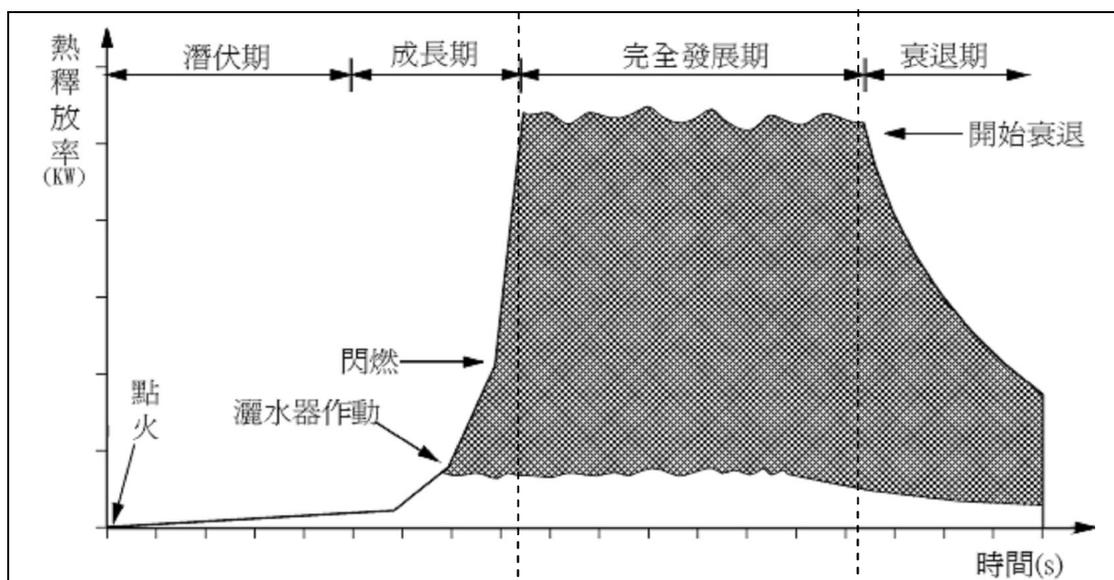
火場內維生之環境其溫度限制如下：最高 140°F（60°C）數秒，現場最初 6 分鐘允許暴露平均 120°F（49°C），之後可維生環境之溫度限制得隨時間遞減。

火場內能見度避難人員須有 10 米的可視距離才能安全離開煙區。

依據以上 SFPE Handbook 及 NFPA 130 中所建議，針對 CO、溫度、能見度以及熱輻射量制訂出在人員全部完成逃生避難之前建築物內之性質需維持一定的條件如表 2.3 所示。

表 2.3 建議人員逃生安全環境要求

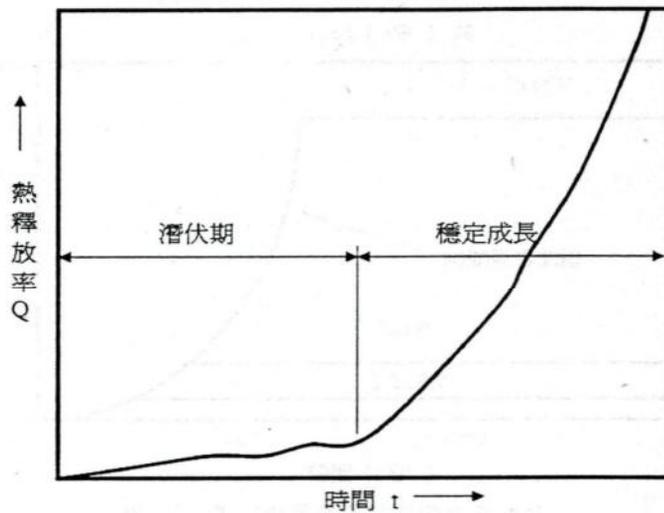
項目	建議人員逃生安全環境要求 (1.8m 高度逃生路徑空間內)
1	逃生環境氣體溫度 < 60°C
2	CO 濃度 < 1500ppm
3	能見度 > 10m
4	輻射熱 < 2.5 kW/m ²
5	煙層高度 > 1.8m



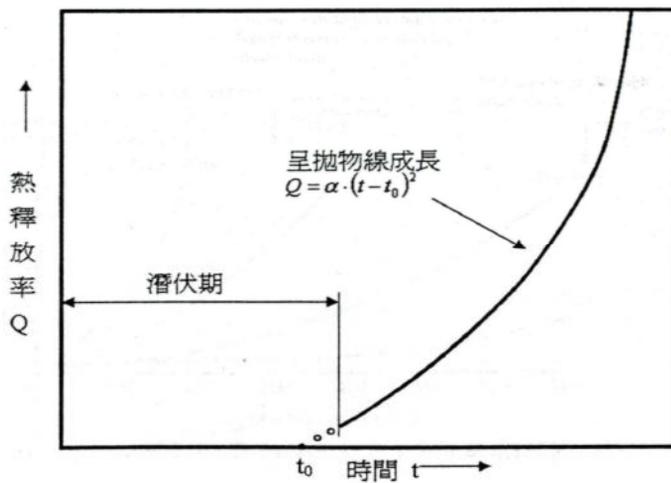
階段 Stage	成長 Growth	燃燒 Burning	衰退 Decay
火災行為 Fire behavior	燃料控制 Fuel controlled	通風控制 Ventilation controlled	燃料控制 Fuel controlled
人類行為 Human behavior	避難 Escape	死亡 Death	
偵測 Detection	煙偵測器 Smoke detectors 熱偵測器 Heat detectors	外部的濃煙及火焰 External smoke and flame	
強制控制 Active control	手動滅火、撒水器或消防設施 Extinguished by hand, sprinklers or Fire Service	消防設施控制 Control by Fire Service	

被動控制 Passive control	發焰性、火焰表面散播 Flammability, surface spread of flame	防火、抑制、衰竭 Fire resistance, containment, collapse
-------------------------	-----------------------------------------------------	----------------------------------------------------

圖 2.1 密閉空間火災歷程圖



(a) 典型火源成長曲線



(b) 理想二次火源成長曲線

圖 2.2 火災成長曲線圖

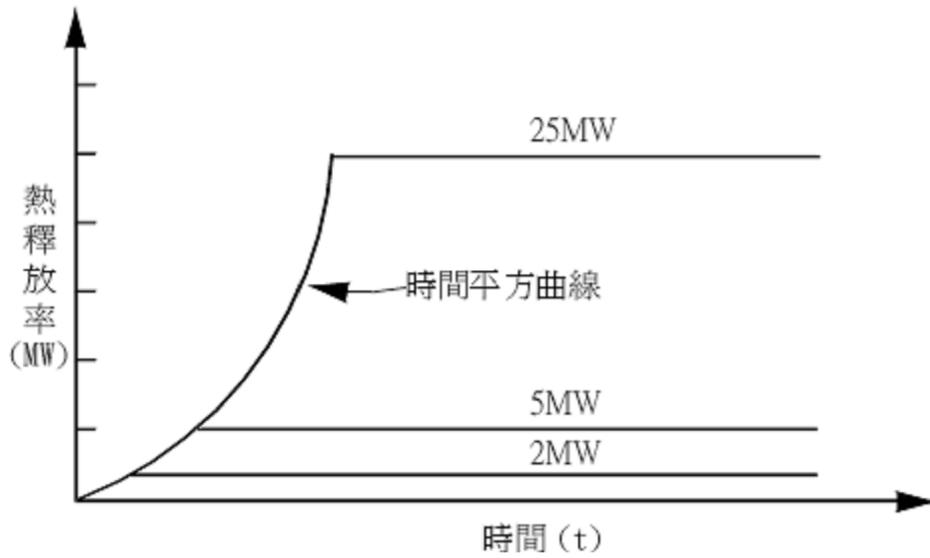


圖 2.3 不同熱釋放率之火災成長曲線圖

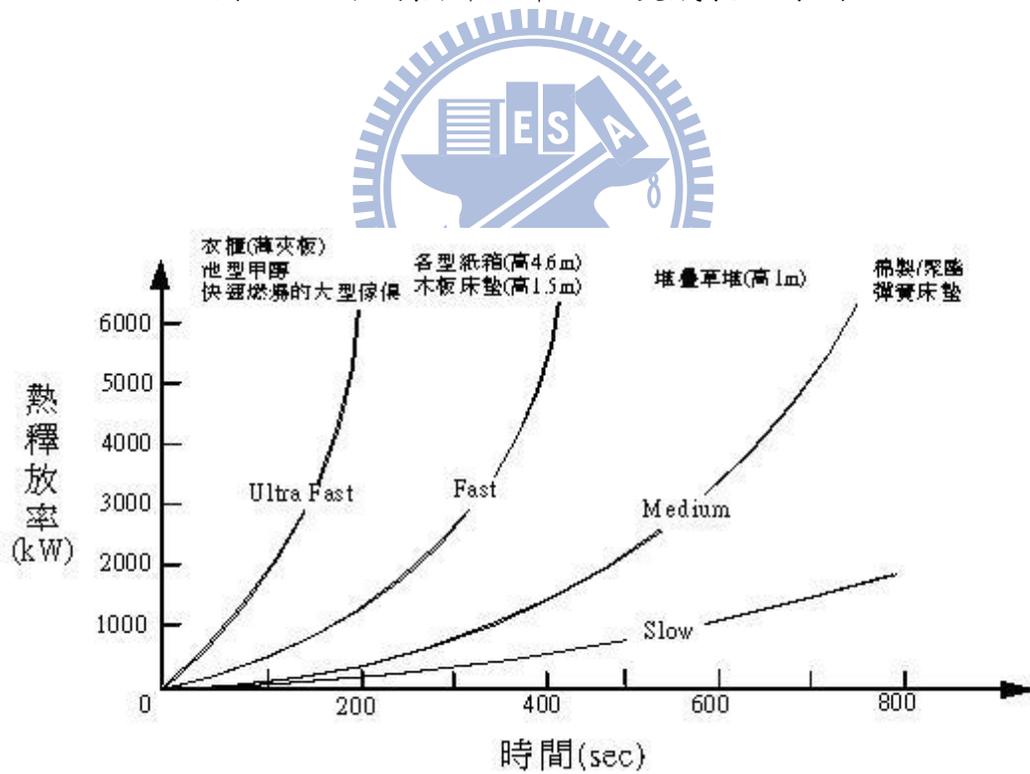


圖 2.4 T-Square 火災成長曲線圖

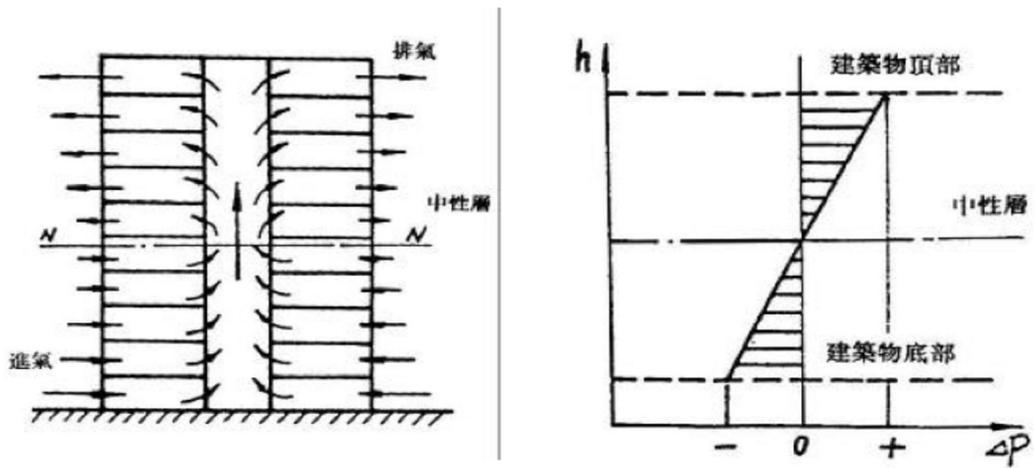


圖 2.5 正煙囪效應 (Normal Stack Effect)

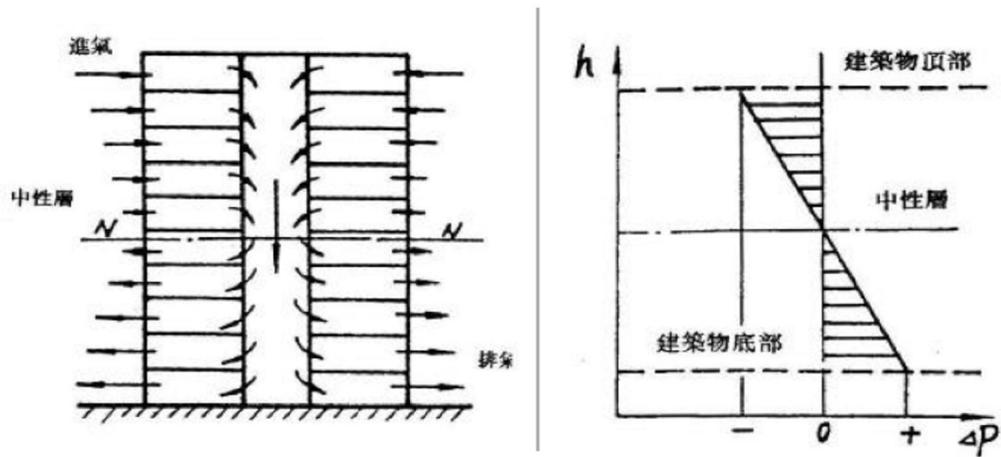
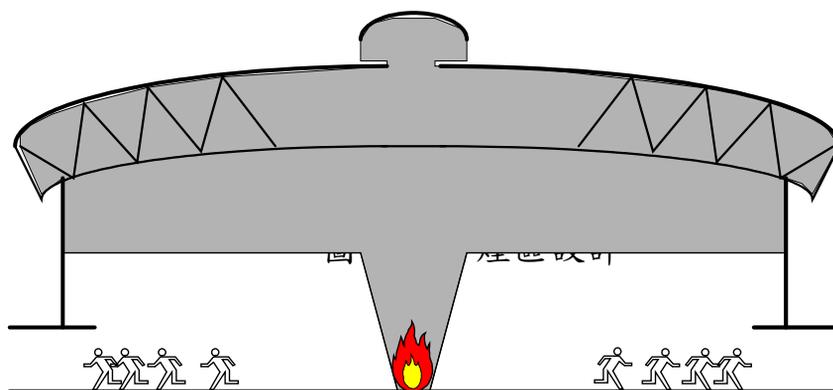


圖 2.6 逆煙囪效應 (Reverse Stack Effect)



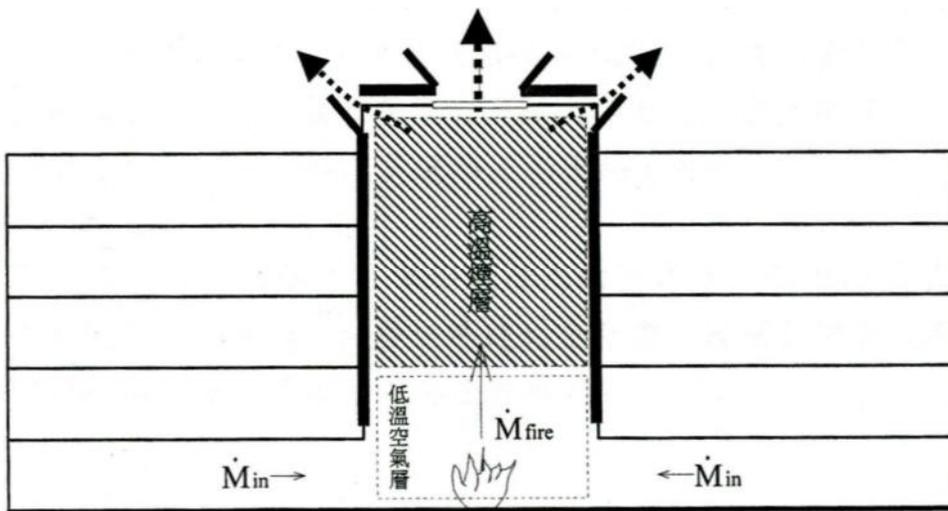


圖 2.8 滑動式自然排煙口設計

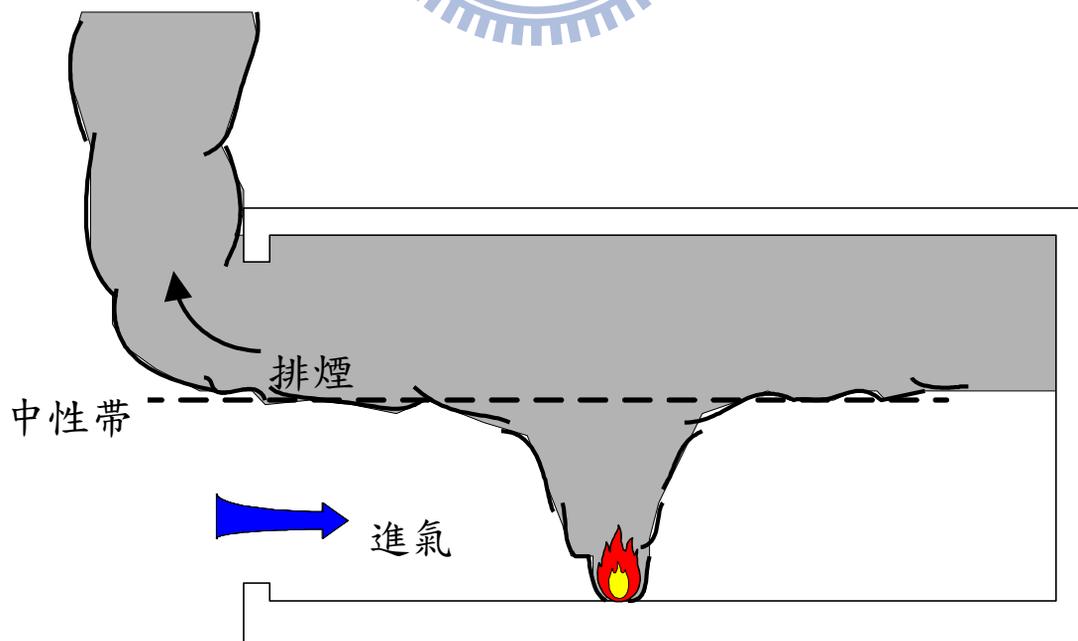
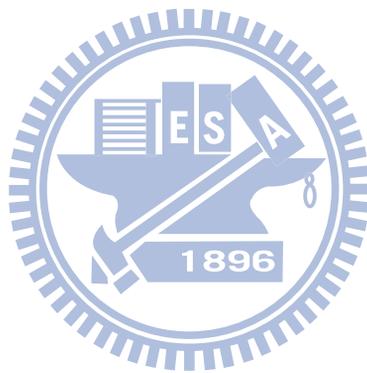


圖 2.9 外推式自然排煙口設計

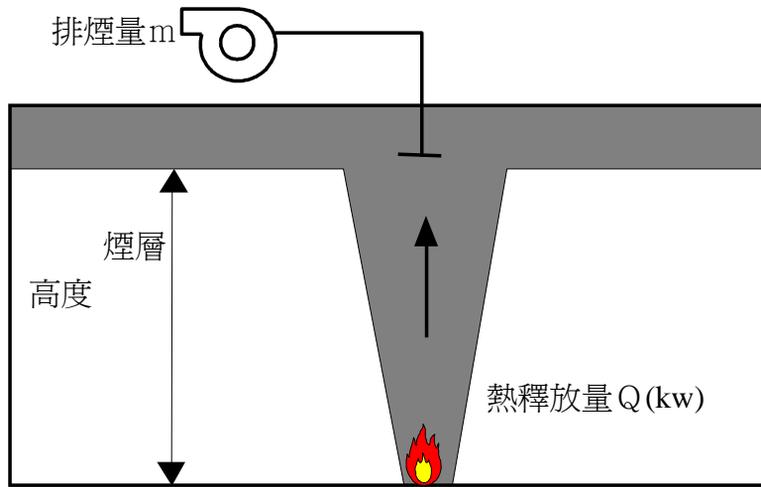


圖 2.10 機械排煙設計

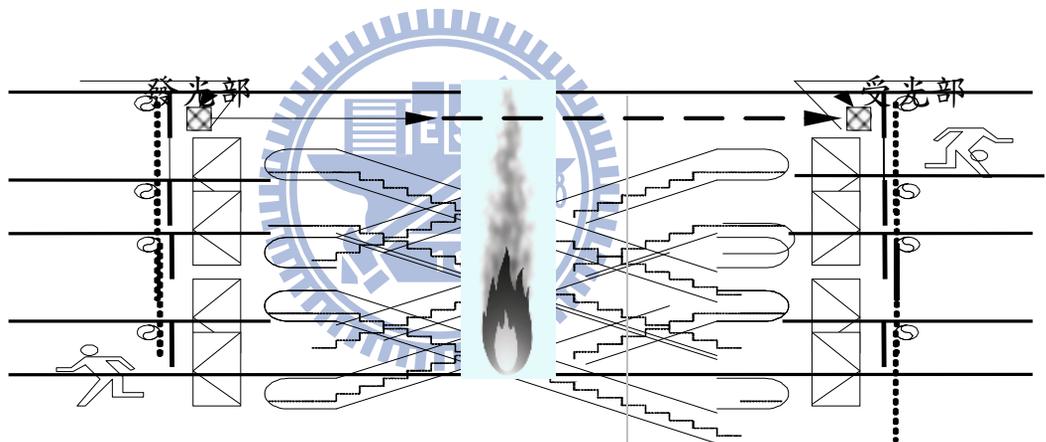


圖 2.11 光電分離式探測器

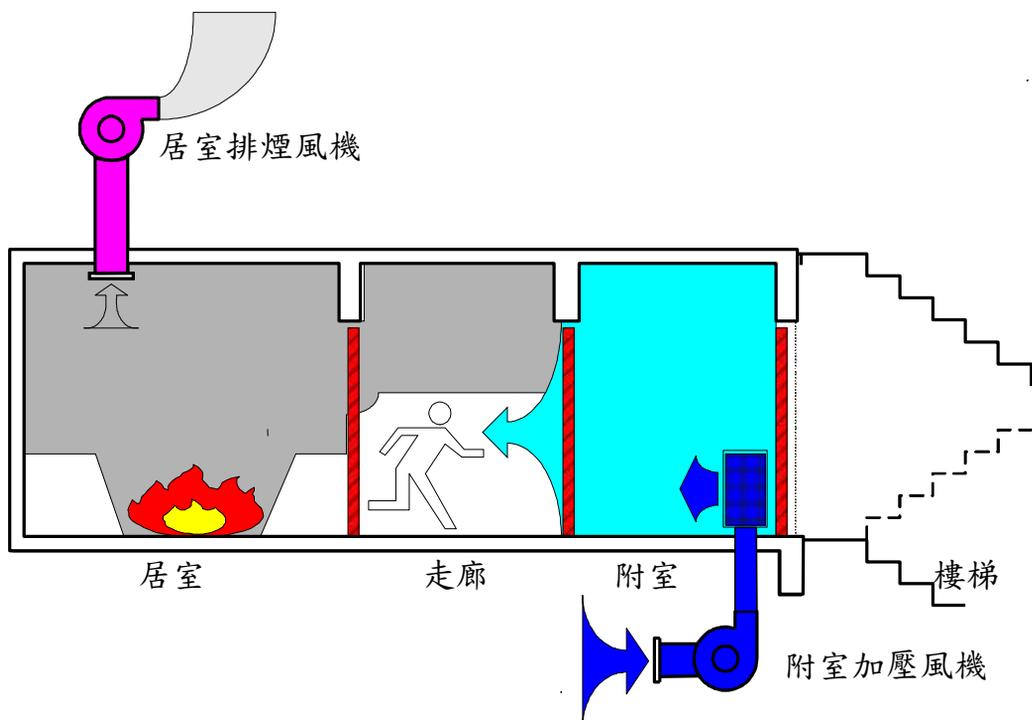


圖 2.12 附室加壓

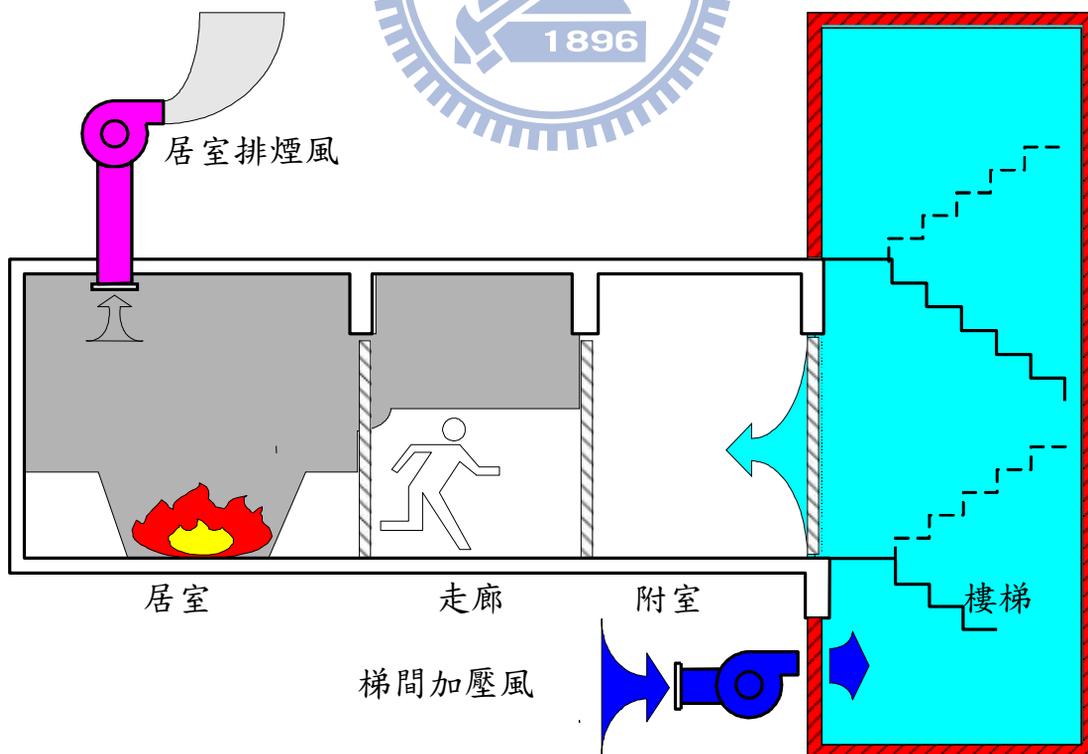


圖 2.13 梯間加壓(其壓力須高於附室壓力)

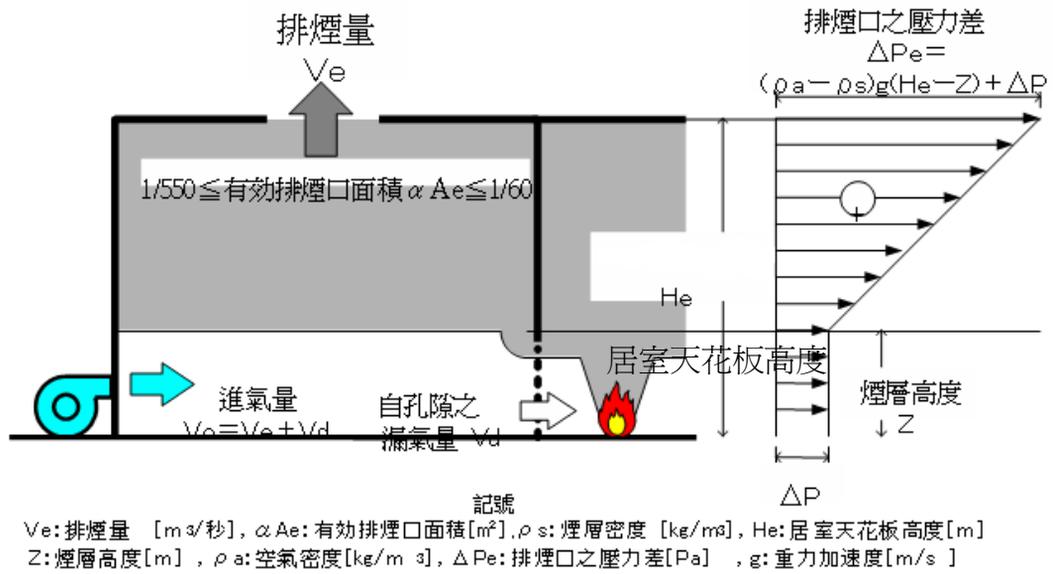
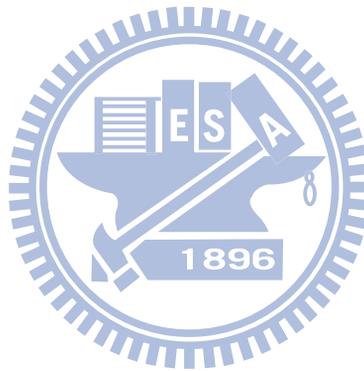


圖 2.14 壓出排煙



第三章 性能式防火設計方法

隨著科技的發展與進步，建築物的形態不斷在改變，其建材以及相關設施、構造特殊或其他特別需求，於建構時未能、也未必需要完全符合建築法規之要求，依建築法第 98 條之規定：「特種建築物得經行政院之許可，不適用本法全部或一部之規定」，所謂「特種建築物」乃應運而生。因此對於建築物防火安全的規範，已逐漸從規格式法規（Prescriptive-Based Codes）轉換至性能式法規（Performance-Based Codes）。主要的原因是因為新式建築和防火材料，對於許多特殊計畫條件建築物之防火避難設計，傳統的規格顯得缺乏彈性，且規格式法規對於建築物亦未能給與叫金確的安全性評估，常常在火災發生時，立法者一再修改提高設計安全基準，造成了成本增加與浪費，為解決規格性法規的適用性問題，目前歐美各國以及日本方面都逐漸採用所謂的性能式法規來加以規範，而性能式法規的最大不同點，就是不採取硬性規定來限制建築物的設計細節，而改採一連串具有彈性的社會目標、機能目的、性能要求等不同階層之規範來定義。

為了建築物能一邊達到防火安全性能，也讓設計者能夠施展其創意。我國近年來性能式設計之案例已有不少，例如：台中歌劇院、台北大巨蛋等。以台中歌劇院為例，劇院人數眾多，需廣大的空間因應大量人潮，而劇院因講究創意及美感，常採用挑高設計、屋頂形狀不規則等，因此難以符合建築技術規則及各類場所消防安全設備設置標準。例如本研究的衛武營藝術文化中心內的戲劇院及榕樹廣場就不符合的建築技術規則及各類場所消防安全設備設置標準，詳細內容如表 3.1、表 3.2 所示。

由上述可知，透過科學的方法，來彌補建築物不適用規格式法規之現象，已經為現今設計之趨勢，若能從技術上將規格式法規轉變成性能式法規，將能使建築物能有更多彈性。以下將針對性能式設計法做詳細介紹。

表 3.1 建築技術規則上的法規衝突

法規 條文	項目	條文內容	實設	法定	百分比
第 90 條 之 1	避難層開向屋外 之出入口寬度	觀眾席樓地板面積每 10m ² 需有 17cm 寬	22m	29m	76%
第 91 條	避難層以外樓層 之出入口寬度	觀眾席樓地板面積每 10m ² 需有 17cm 寬	15.60m	16.49m	95%
第 93 條	到達直通樓梯步 行距離	最大步行距離 ≤ 30m	30m	37.52m	80%
第 98 條	直通樓梯之總寬 度	觀眾席樓地板面積每 10m ² 需有 10cm 寬	3.63m	5.21m	70%

表 3.2 各類場所消防安全設備設置標準的法規衝突

法規條 文	項目	條文內容
第 188 條之 1	防煙垂壁	每層樓地板面積每五百平方公尺內，以 防煙壁區劃
第 188 條之 8	排煙量	有關在一防煙區劃內，每平方公尺之面 積須有每立方公尺之排煙量 法定:4256CMM 實設:600CMM
第 43 條	自動撒水設備	自動撒水設備得依實際情況需要從下列 五種隨一設置。 1.密閉濕式 2.密閉乾式 3.開放式 4.預動式 5.其他經中央消防主管機關認可

3.1 性能式設計法規介紹

性能法規詳列防火和消防安全之各項目標 (Goal)、各種手段之目的 (Objectives) 以及各種機能需求 (Functional Requirements)，同時列出各種可符合法規要求的設計方法 (Alternative Design Method)。

近年來，世界各先進國家：例如英、紐、澳、加、美等國所推行之性能法規共通特色可歸納如下：

1. 以達到特定安全水準之設計目標為依歸
2. 以成熟工程技術設計所需目標
3. 以定量方法評估各種不同設計，使性能設計目標達到最低損失
4. 允許各種代替設計方法

由各國性能式法規訂定的架構來看，多以階層式架構，分別描述不同層次的目標需求，可分為以下五層架構，如圖 3.1。第一層是以與基本社會事務目標為主，而這些目標則界定法規的範圍。第二層是針對其目標強調所應具備的機能性需求。第三層是對性能要件所需性能要求定量化、定性化。第四層為具體的建築設計方法。第五層是達到性能需求的特定方法，使設計達到法規的要求。以下將對各層級加以詳述說明【15】：

1. 社會目標 (Social Goal)

社會目標大多站在法規主管事項的立場，對一建築物所需之安全及舒適水準予以規範。這些規定一般而言極為定性化，但在法規中針對設計者之設計是否符合法令規定，有關人員可採用經認可的方法或定量模式予以評估。

2. 機能需求 (Functional Requirements)

機能需求敘述內容大多是指一棟建築物或其中各項設施系統功能如何符合建築物之社會目標。

3. 性能需求（Performance Requirements）

性能需求為性能法規中規定最詳盡之層級。敘述內容是指建築物內之建築材料、系統、元件和構造方法等需達到法規中對此建築物之社會目標和機能需求。

4. 設計方法和基準

設計方法為連接性能需求和可接受之解決方案，此連接關係將成為性能設計和設立量化判斷標準的接受基準。

5. 計算方法或評估方法

設計者可使用性能式設計方法，例如：工程計算數據、測試和實驗等方法，評估是否達到要求。性能法規設計中雖無明確的指出何種設計方法較好，但近幾年來，最常被使用來驗證其性能的方法為工程計算方式（Engineering Calculation Method）。



3.2 性能設計法之目的

傳統式法規適用的對象較常用來一般性的建築物，所以規定往往較為嚴苛，也限制了新建材和新建築技術的使用。性能式防火設計則是為了輔助設計者使用性能法規而發展，著重在整體考量火災以及建築物之間的關係，強化建築物安全等級，因此往往超越傳統規格性設計之最基本要求。可以提供的另一種更彈性解決方式，同時能夠增加經濟效應，降低建造成本。有關於性能法規之目的如下列幾點【16】
【17】：

(1) 技術要求的理由及目的合理化：

明確規定建築計畫中技術要求的理由及目的，讓缺乏建築專門技術者也能清楚地了解法規規定的目的。

(2) 增大設計自由度：

對於建築物所需具備的性能需求加以明確的敘述，使建築設計的自由度增加、建築成本降低及增加建築物創意。

(3) 促進技術革新：

建築技術規則對於材料或技術的演進並未做應變措施，因此許多建築技術被法規所限制。例如大規模的中庭天井、地下建築物、發泡性耐火塗料等等，都是在規格式法規制定時所無法預期的。因此以規格式法規達到審查認定的階段需要較長的時間，若以「性能」來對工學之材料、施工法加以評估，將能促進各種新技術、材料的開發。

(4) 法規的合理修正：

建築技術規則雖已修正多次，但仍會因時間的關係而不合時宜。若加強建築物對時效性上有問題之設計加以嚴格要求，或者為達到相同之目的而可以採取不同設計，以及為達不同目的之設計而

產生矛盾的狀況，都可加以改善。

3.3 建築技術規則性能式設計規定

建築技術規則裡面，對人員避難安全設施的要求，主要是訂定在建築設計施工編第四章「防火避難設施及消防設備」中。建築技術規則第四章的內容主要分為兩個部分，一為對避難設施的規定，二為消防救助設備的規範。內容包含對開口大小、材質，對走廊高度、寬度與內裝的規定，安全梯的構造與設置，排煙設備的構造及設置，緊急照明設備等。

根據建築技術規則[2]總則篇第三條規定，建築物之避難安全有三種驗證的模式，1.途徑 A—內部裝修或避難設施符合法規認定的要求（如耐燃材認證）等。2.途徑 B—一般的（政府、法規給予的）檢證方法來做建築物安全確認。3.途徑 C—性能檢證方法為高複雜度的檢證法（一般來說需為國際公認或相關論述認可的計算式），並且由指定機關作性能認證者。在此將此三種方法其整理如圖 3.2，詳細說明如下：

(1) 途徑 A(依現行法規基準):

一般而言，對於非特殊之用途之建築，如一般集合住宅、電影院、百貨商場、學校及辦公大樓等，若是依照建築技術規則的相關要求，來設計與興建時，這種依照法規來設計的方法即所謂的途徑 A。但若建築物為以下三種時，即使依照規格式法規設計，還需額外檢附防火避難綜合檢討報告書，以作為避難安全確認，這三種建築物如下：

1. 除住宅外，高度達二十五層或九十公尺以上之高層建築物。
2. 商場百貨之總樓地板面積達三萬平方公尺以上。
3. 與地下公共運輸系統相連接之地下街或地下商場。

(2) 途徑 B(一般檢證法):

依照內政部營建署所訂定的「建築物防火避難安全性能驗證技術

手冊」作為避難安全設計。若建築物為百貨公司、市場、量販店、餐廳、住宅與事務所時（如表 3.1），若這一類的建築物因特殊需求而需使用性能式設計來替代規格式法規時，在設計階段時，即可依據「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」所列之公式，進行相關的安全避難驗算，然後撰寫建築物防火避難性能設計計畫書，最後再交予內政部營建署防火性能聯合審查委員會審查，待審查通過後，地方政府即可發出建築執照。而「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」可有效替代之法規則整理如表 3.2 所示。

(3) 途徑 C(高複雜度檢證法):

但建築物防火避難安全性能驗證技術手冊並不適用範圍於醫院、養老院、幼稚園等無自力避難能力人員集中場所及危險物工廠、貯藏庫等高火載量及特殊構造之場所，因此對上述建築物範圍而言，其性能式設計只能採取路徑 C 的方式。而路徑 C 的送審方式，目前還尚未完全制訂完成，但原則上也是先利用 FDS、CFX、Star-CD 等計算流體力學軟體模擬火災，並預測煙的流動、火場溫度、CO 濃度、人員可視度與煙層沈降至安全高度所需時間等，之後再利用 SIMULEX、Exodus 等避難安全模擬軟體預估人員避難所需時間，並將避難所需時間與煙層沈降所需時間互相比較，以確保人員於火災發生時，能安全順利地避難逃生，此外亦需確保火場溫度、CO 濃度等模擬結果是符合生命安全基準。

表 3.3 適用建築物防火避難安全性能驗證技術手冊之建築物

類別		類別定義	空間名稱
A 類	公共集會類	供集會、觀賞、社交、等候運輸工具，且無法防火區劃之場所。	戲(劇)院、電影院、演藝廳、車站、航空站、候船室等空間。
B 類	商業類	供商業交易、陳列展售、娛樂、餐飲、消費之場所。	夜總會、酒家、美容院、KTV、MTV、公共浴室、百貨公司、商場、市場、量販店、餐廳、旅館、觀光飯店等空間。
D 類	休閒、文教類	供運動、休閒、參觀、閱覽、教學之場所	保齡球、溜冰場、會議廳、展示廳、博物館、美術館、圖書館、各級學校教室等空間。
E 類	宗教、殯葬類	供宗教信徒聚會殯葬之場所	寺、廟、教堂、宗祠等空間。
G 類	辦公、服務類	供商談、接洽、處理一般事務或一般門診、零售、日常服務之場所	金融機構、證券交易所、政府機關、一般辦公室、事務所、一般診所、衛生所、店舖等空間。
H 類	住宿類	供特定人住宿之場所	寄宿舍、招待所、住宅、集合住宅等空間。

表 3.4 建築物防火避難安全性能驗證技術手冊可替代之法規

法源依據		規定內容概要	
建築技術規則（設計施工篇）	建築物之防火	第 70 條	建築物主結構之防火時效
		第 79 條	防火構造建築物之防火區劃
		第 79-2 條	防火構造建築物之垂直區劃
		第 83 條	11 樓以上的防火區劃
		第 88 條	建築物之內部裝修材料
	防火避難設施及消防設備	第 90 條	直通樓梯開向屋外出入口
		第 90-1 條	避難層開向屋外出入口寬度
		第 91 條	避難層以外樓層出入口寬度
		第 92 條	走廊寬度
		第 93 條	到達直通樓梯之步行距離
		第 94 條	避難層步行距離
		第 98 條	直通樓梯總寬度
		第 100 條	排煙設備之設置
		第 101 條	排煙設備之構造

3.4 性能式防火安全設計程序

本節採用美國 SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design 所定義之性能式設計程序[18][19]作基本架構的介紹。性能式設計程序[20][21]可分為八個步驟，如圖 3.3，由圖中可得知分為兩半段：

前半段的程序:包含了性能法規類似的架構（目標、機能目的、性能要求）

後半段的程序:加上試驗設計的性能評估以及性能設計報告等，經由性能式設計程序，可完成所需的特殊需求。

性能式設計程序詳細介紹如下：

(1) 定義計畫範圍 (Define Project Scope)

在進行性能式設計時，應同時對建築物進行性能式防火設計的原則，此原則必須建立在實質的需要而不是假設，所以原則的敘述應以可量化來描述。計畫開始之初應著重於建立與建築物相關之場址或計畫所需之資料，大致可分為下列 10 項：(可以視計畫本身需要增減)

- (1) 使用者特性 (Occupant characteristics)
- (2) 建築物特性 (Building characteristics)
- (3) 所有物的位置 (Location of property)
- (4) 消防單位特性 (Fire service characteristics)
- (5) 公共設施 (Utilities)
- (6) 環保考量 (Environmental considerations)
- (7) 歷史 (古蹟) 的維護 (Historical preservation)
- (8) 建築物的管理及保全 (Building management and security)

(9) 建築物的經濟以及社會價值 (Economic and social value of the building)

(10) 可採行的法規 (Applicable regulations)

同時應確認計畫中之全部業主，例如：建築物擁有者、建築物管理者、設計團隊、建築團隊、主管機關等，因為計畫目標之決定將完全取決於業主要求，因此在計畫開始之初便必須確認所有參與計畫之業主。

(2) 確立目標 (Identify Goals)

此步驟需透過制定確認所需火災安全防護的目標，達成訂定的防火安全原則，並決定出這些目標之間的輕重緩急次序。一般的火災安全防護目標具有下列4種：

(1) 確保建築物內部群眾、員工以及消防人員的生命安全，使得

火災造成的人員傷亡數目降至最低。

(2) 保護財產安全，將火災造成的財物損失降至最低。

(3) 提供建築物持續的運作。

(4) 將火災以及防火設施對環境所造成的衝擊限制在某一範圍之內。

在決定優先順序之後，即可幫助設計者去決定可使用的防火手段，並且幫助設計者確立最重要之火災防護分析和設計觀點，避免產生火災安全設計重點與業主要求不符合之情形發生。

(3) 定義目標 (Define Objectives)

定義目標主要是為了進行細部的工程分析和設計，必須將前一步驟中所決定的業主目標轉換成可以使用火災防護用語來量化的項目，這些項目就是用來制定性能規範的設計目標。而量化的過程可以是決定性（deterministic）或是機率性（probabilistic）。

（4）發展性能要求（Develop Performance Criteria）

火災安全防護的性能要求可以是一個確切的數值，或是一個數值的範圍，其必須相當精確的量化出防火目標的內容，其包含的項目有：

a. 生命安全要求

- （1）熱效應：包含溫度的極限值以及暴露在高溫的時間。
- （2）氣體毒性：由於起火建築物內部的溫度上升，造成人員呼吸速度加快，同時也加速吸入了各種火災產生的毒性氣體，主要是 CO、HCl、HCN。
- （3）能見度：此項會嚴重影響人員是否能夠安全的經由逃生通道逃出火場，而影響能見度的因素就是在視線方向上的粒子數量，以及眼睛本身的生理因素。

b. 非生命安全要求

1. 物體的引燃：引燃所需要考慮的條件包括引燃源、引燃源和目標物之間的距離、引燃源以及目標物的外型、目標物的材料性質、目標物的表面積-重量比等。
2. 火焰延燒：影響因素包括燃燒表面的形狀、方向、燃料的表面積-重量比，通風條件以及氣流流向都會影響火焰延燒的方向以及速度。
3. 煙氣損害：損害程度將取決於目標物對於煙氣的敏感程

度。

4. 防火區劃損害以及結構完整度：此項目之主要功能為保持人員逃生避難以及消防人員進入救災這段時間內的建築物結構完整性，保護人員的生命安全。
 5. 物品暴露在火災中造成的損害：損害的機制可以分為熱或是煙所造成的損害。
- (5) 發展火災情境及設計火災 (Develop Fire Scenarios & Design Fires)

確認火災情境並將之發展成為設計火災的過程包含以下三步驟：

- (1) 利用工程方法找出可能發生的火災情境：使用失效模式與效應分析 (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)、失效分析 (Failure Analysis)、歷史資料、手冊、查核表、相關的統計資料等方法建立火災情境。同時火災情境中應該包含三種內容：建築物特性、人員特性以及火災特性。
- (2) 在可能的火災情境中定義出設計的火災情境：利用機率的方式，如火災頻率、事件發生的機率、火災防護系統的可用度 (Availability)、火災防護系統的可靠度 (Reliability) 以及風險評估等方法；或者可以採用決定性的方式，此種方式是依照物理或化學性質的分析及評估，或採用實驗數據的相關經驗公式來預測火災的情形並決定設計的火災情境。
- (3) 量化設計的火災情境：分別依照火災情境中的建築物、人員、火災三種特性進行量化的過程，此過程通常合併了危害分析

(Hazard Analysis) 以及風險分析 (Risk Analysis) 兩種方法。危害分析用以找出可能潛在的引燃源、燃料以及火災發展情形；風險分析則是研究危害發生的可能性以及可能造成的結果。建築物特性方面包括有：各房間的面積及形狀、天花板高度、裝修材料的性質、建築結構所使用的材料性質、所有的開口尺寸及位置、樓層數目等。火災特性主要為定義火災成長曲線的各階段，從引燃開始，歷經成長階段、閃燃階段、完全發展階段、到最後衰退以至於熄滅。人員特性方面則包含行為模式、反應時間、反應特質（敏感度、反應性、行動能力）、人員的避難行動時間等等。

(6) 發展試驗設計 (Develop Trial Designs)

試驗設計是由數個相互關聯的子系統 (Sub System, SS) 所組成，共計有六種，代稱分別為 SS1~SS6。

- (1) SS1 為火災的發生與成長 (Fire Initiation and Development)，其目標為減少引燃發生的機率以及降低火災成長（包含火災產生的煙氣及熱量）的速率。而可提供防護的概念有管制火源及可燃物質、良好的火災安全管理措施、物品的堆放情形、房間的尺寸等。
- (2) SS2 為煙層的擴散及控制 (Spread, Control, and Management of Smoke)，其目標為經由限制煙氣的產生量、控制煙氣的流動情形來降低因為煙氣所造成的危害。可藉由建築物內外所用材料的管制、蓄煙設備或結構、排煙設備以及加壓控制，

達到煙層的擴散及控制，並確保人員逃生以及救災時的安全。

(3) SS3 為火災偵測 (Fire Detection)，其中又可以分為兩部分，一為火災探測，目的在及早發現火災的發生，可以有充足的時間通知建築物內部人員並且可與排煙、自動滅火設備動，達到早期發現並抑制的功能；另一部分為火災警報，目的在於警告建築物內部人員進行逃生避難的動作，同時通知鄰近的消防單位火災發生的位置，以利消防人員進行搶救的工作。

(4) SS4 為火災抑制 (Fire Suppression)，目的在於及早進行控制或抑制火災的成長，降低火災所造成的損失。SS4 與 SS3 的相互關聯性很高，由自動偵測器或人為發現火災的發生後，利用自動或手動的消防設備進行初期的滅火。然而時間上的延遲 (Delay) 是無法避免的，經由偵測系統的作動、訊號的傳遞到自動消防設備的啟動，其中延滯的時間都有可能造成火災的迅速擴大，更遑論等鄰近的消防單位來進行滅火工作所需要的時間了。

(5) SS5 為人員行為及逃生避難 (Occupant Behavior and Egress)，目的在於使建築物內部人員在發生火災時能夠平安的逃生至安全的地方。相關的議題如：不論火災發生於建築物內部何處，人員都必須能夠經由出口逃生、逃生通道應該經由防護的手段保持在人員可以安全使用的狀態等，都是必須考慮的要點。

(6) SS6 為被動式火災防護 (Passive Fire Protection)，目的在於利用被動式防火結構來限制火災延燒的範圍，並需防止建築物結構因火災損害而過早崩塌，危及人員生命安全。可使用的防護方法包括防火區劃、防煙垂壁、管道中的防火擋板、窗戶開口防護措施、建築結構本體的耐火性能等。

由前述的介紹可以發現各個子系統之間是互相關聯的，雖然不同的子系統所要達到的目的都不同，但是仔細觀察其所使用的方法，不難發現各子系統之間很多相似之處，因此在發展試驗設計的時候這六個子系統必須同時一起考慮進去。

(7) 此步驟中又可以細分為四個不同的子步驟：

- (a) 評估試驗設計 (Evaluate Trial Designs)
- (b) 選擇符合性能要求的設計 (Selected Design Meets Performance Criteria)
- (c) 修改設計或目標 (Modify Design or Objectives)
- (d) 選擇最終設計 (Select Final Design)

其相互之間的程序關係可以由圖 3.4 表示。這四個子步驟屬於性能設計中的重點項目，藉由不同的評估方式來決定所發展的試驗設計是否能夠符合先前所訂定的性能要求。設計者必須提出數個不同的試驗設計，當某個試驗設計評估的結果為可以通過性能要求時，接著逐一進行其餘不同試驗設計的評估；若是不能通過性能要求時，此試驗設計將進行修正或直接放棄不予採用，轉而進行下一個試驗設計的性能評估。此種評估的程序當所有試驗設計皆完成評估之後就可以進行選擇符合性能要求的最終設計。

當不只一種試驗設計皆能符合所需的性能要求時，所花費的成本

就是選擇最終設計的重要因素，業主所願意付出的建造成本決定了試驗設計的最終選擇。若是沒有一種試驗設計可以符合業主的預算且通過性能要求時，就可能是因為業主提出的性能要求太嚴苛而無法以有限的預算達到，因此性能要求必須經由設計者與業主相互討論後加以修改，再藉由新的性能要求重新設計建築物的防火設備來完成最終的設計。

接著介紹評估試驗設計時可以使用的驗證方法，就如同先前量化火災防護目標時所使用的兩種方式：機率性分析或決定性分析。機率性分析可分為傳統風險分析（Classic Risk Analysis）以及總體風險分析（Risk Binning Analysis）。在傳統的風險分析中，每一個設計火災情境的發生機率以及每一個防火元件的可靠性都必須加以量化進行分析，分析的步驟如下：

1. 發展設計火災情境並決定其發生的機率。
2. 決定試驗設計的可靠度。
3. 對於採用試驗設計時，火災發生所造成的損失進行量化。
4. 對於試驗設計失敗時，火災發生所造成的損失進行量化。
5. 對每一個火災情境皆進行上述相同步驟。
6. 計算試驗設計的相關風險。
7. 對每一個試驗設計進行風險評估。

另一個替代的選擇是總體風險分析，此方法相對於傳統風險分析來說是較為簡單而易於使用的，只要將事件火災後果分級（表 3.3）並且與發生機率（表 3.4）合併就可以得到相對的風險等級矩陣，如表 3.5 所示。而人員死亡或受傷也可以量化成具體的價值，加總在表 3.3 中對財產的影響項目之內，然而由於目前各國對於人命的價值到

底如何估計尚無明確的定論，因此僅能藉由部分資料的參考數值來加以計算，例如 John and Hall 【22】 中就提到了人命價值的相關討論，其中先將觀念加以說明，同時舉出該數值的範例以作為參考。

表 3.3 火災後果分級表

事件後果等級	對於人員的影響	對於財產的影響
高(High)	造成立即的死亡或嚴重的傷害	損失金額 > 5 億新台幣*
中(Moderate)	造成嚴重的傷害、永久殘廢	1 億新台幣 < 損失金額 < 5 億新台幣*
低(Low)	造成輕微的傷害、無永久殘廢的情形	1 千萬新台幣 < 損失金額 < 1 億新台幣*
可忽略的(Negligible)	可忽略的傷害	損失金額 < 1 千萬新台幣*

*為舉例數值

表 3.4 發生機率分級表

等級	事件發生頻率等級
預期會發生(Anticipated)	發生頻率 > 10^{-2} /年*
不太可能發生(Unlikely)	10^{-4} /年 < 發生頻率 < 10^{-2} /年*
極度不可能發生(Extremely Unlikely)	10^{-6} /年 < 發生頻率 < 10^{-4} /年*
幾乎不發生(Beyond Extremely Unlikely)	發生頻率 < 10^{-6} /年*

*為舉例數值

表 3.5 風險等級矩陣

頻率等級 後果等級	幾乎不發生	極度不可能 發生	不太可能 發生	預期會發生
高	可忽略風險	中風險	高風險	高風險
中	可忽略風險	低風險	中風險	高風險
低	可忽略風險	低風險	低風險	中風險
可忽略的	可忽略風險	可忽略風險	可忽略風險	可忽略風險

然而在使用風險分析時必須非常小心謹慎，因為在量化的過程中需要有很多的統計資料做為參考，在這些參考的資料中又有許多不同的變數需要考慮，例如統計資料的單位是否引用正確的數據、統計資料對於計畫對象物的相關聯性程度等；也由於諸多的限制以及不確定性，建議由經驗豐富的使用者進行風險分析，將不確定性及誤差降至最低。

在決定性分析的方法方面，經常使用的就是火災模式（Fire Model）以及其他型式的解析分析方法，如使用手算的簡算公式等，而使用決定性分析時採用的流程如下：

1. 選擇欲分析的試驗設計
2. 評估各種火災情境下系統的性能表現
3. 決定是否符合各個性能要求
4. 重複上述步驟直到每個試驗設計均評估完畢

近年來由於電腦科技的不斷進步，同時火災模式也在積極的研究之下日趨完善，在模擬過程迅速、所需花費低廉，同時模擬的結果十分準確的情形下，各個先進國家都逐漸仰賴以電腦模擬軟體來計算火災的發展情形，同時模擬人員避難的過程、所需要的時間等等。因此電腦模式成為火災安全設計時用來評估其性能表現的重要工具。不過在使用電腦程式進行火災模擬的時候也要很注意各方面的不確定性（Uncertainty），例如程式本身理論以及使用模式的不確定性、輸入數據的誤差、計算上的限制以及設計火災情境與真實情形的不同之處等等，都會導致模擬結果不正確，誤導設計者使用錯誤的結果進行性能評估。因此使用者必須將這些不確定性徹底了解後才能進行試驗設計的性能評估。

8. 準備性能設計文件及報告（Prepare Design Documents）

完成性能評估以及選定最終設計之後，最後的階段就是撰寫性能設計報告書，提供業主了解整個建築物防火設計的成果、維護以及持續性。性能設計報告（Performance Design Report）必須詳細且清楚且，由於報告是提供給計畫中的所有業主參考，有些業主並不具備火災防護的相關專業知識，因此應該避免使用艱深的理論以及技術性的文字來描述。性能設計報告中應該具有下列內容：

- (1) 計畫範圍概要
- (2) 計畫目標
- (3) 所採用的性能要求標準
- (4) 火災情境以及設計火災
- (5) 最終的設計
- (6) 評估結果
- (7) 參考資料

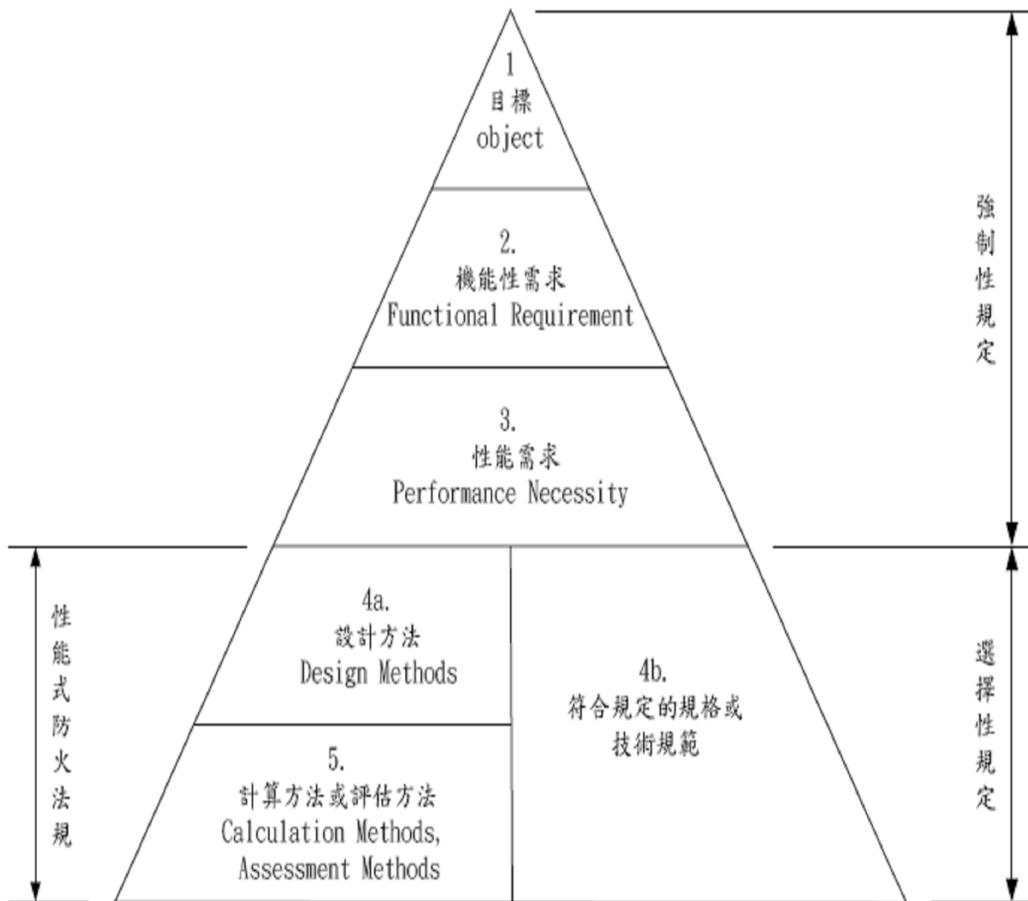


圖 3.1 性能式法規階層架構圖

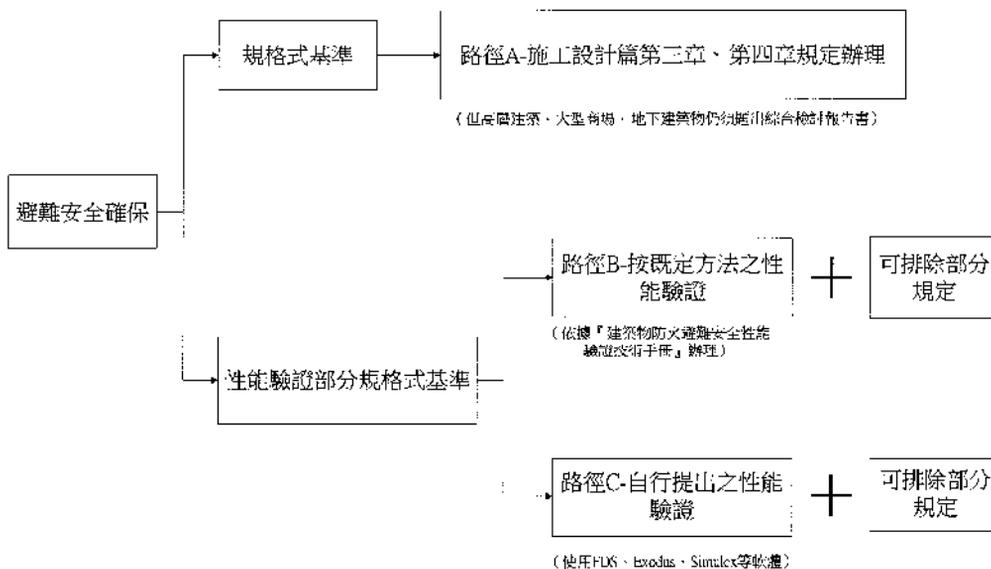


圖 3.2 避難安全驗證方式

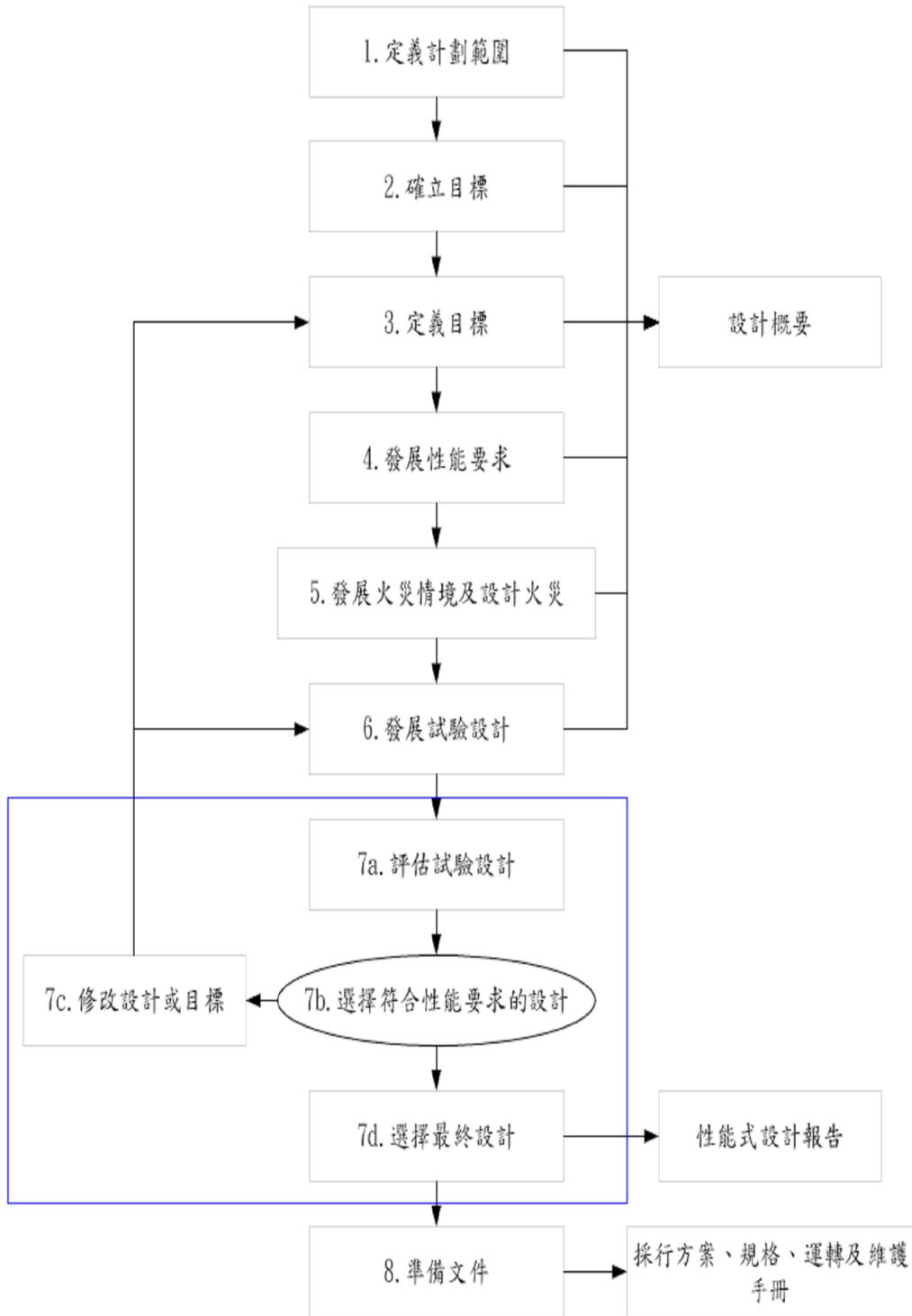


圖 3.3 性能式設計基本流程圖

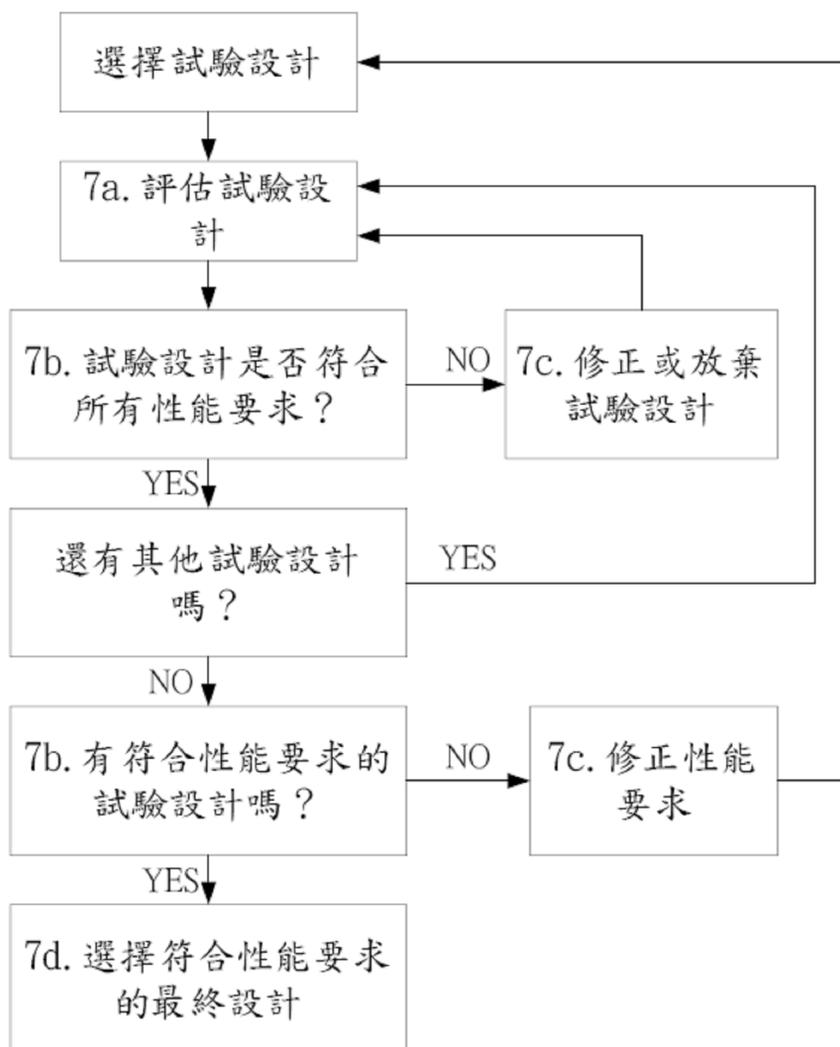


圖 3.4 評估試驗設計流程圖

第四章 模擬軟體之基礎理論與判定標準

4.1 火災模擬軟體(FDS)

FDS(Fire Dynamics Simulator)，是由美國國家標準與科技研究所(National Institute of Standards and Technology；NIST)發展之模擬火場計算軟體。於西元 2000 年 2 月公開發表第一版;現於西元 2008 年 7 月公開發表 5.2.2 版。

FDS 是 NIST 發展於低馬赫數的火災計算流體力學程式，可以計算三維空間火災行為，它的計算運作方式是先將整個空間分割成許多細小的格點，再以質量、動量、能量、燃燒與熱傳守恆等統御方程式下去求解。當計算完成後在利用後處理軟體 Smokeview【14】將流場可視化做靜態或動態的輸出。FDS 更可以將建築物內之煙控系統，針對特定之設計條件，計算其對空間火災行為之影響，因此 FDS 較一般計算流體力學軟體，更具實際應用上之價值，也因此其廣泛被應用在學術研究及工程設計上。

在使用 FDS 時必須先輸入至一文字檔(*.data)，裡面包含模擬之幾何形狀、材料特性、火源大小、排煙設備、補氣口、大氣溫度、模擬時間以及邊界條件等...，再由 FDS 軟體開始計算，由於 FDS 本身並沒有將流場可視化之功能，故需要再利用 Somkeview 軟體來讀取 FDS 所計算出之數據來做進一步的分析與探討。圖 4.1 為 FDS 流程圖，圖 4.2 為 FDS 與 Somkeview 之組織架構。

FDS 所使用之數值方法與其主要的統御方程式如以下所介紹。

4.1.1 流體力學之統御方程式

1. 質量守恆

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = 0 \quad (4.1)$$

其中 ρ : 流體密度 (kg/m^3)

u : 流體速度 (m/s)

t : 時間 (s)

2. 動量守恆

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u \right) + \nabla p = \rho g + f + \nabla \cdot \tau \quad (4.2)$$

其中 p : 壓力 (nt/m^2)

g : 重力加速度 (m/s^2)

f : 外力 (包含撒水頭之拖曳力) (nt/m^3)

τ : 黏滯剪應力張量 (nt/m^2)

3. 能量守恆

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h u - \frac{DP}{Dt} = Q - \nabla \cdot q'' + \nabla k \nabla T + \nabla \cdot \sum_{\ell} h_{\ell}(\rho D)_{\ell} \nabla Y_{\ell} \quad (4.3)$$

其中 $\frac{DP}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \cdot \nabla P$ (質量導數)

h : 焓 (kJ/kg)

Q : 熱釋放率 (kw)

q'' : 輻射熱通量 (kw/m^2)

k : 熱傳導係數 (kw/mk)

T : 溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

h_{ℓ} : ℓ 物種之焓值 (kJ/kg)

D : 擴散係數 (m^2/s)

Y_ℓ : ℓ 物種之質量分率

4. 物種守恆

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_\ell) + \nabla \cdot \rho Y_\ell \mathbf{u} = \nabla \cdot (\rho D)_\ell \nabla Y_\ell + \dot{W}_\ell''' \quad (4.4)$$

其中 \dot{W}_ℓ''' : ℓ 物種單位體積生成率

5. 狀態方程式

$$P = P_o - \rho_\infty gZ + \tilde{P} \quad (4.5)$$

對低馬赫數流而言

$$P_o = \rho TR \sum (Y_i / M_i) = \rho TR / M \quad (4.6)$$

其中 P_o : 外界壓力 (nt/m²)

$\rho_\infty gZ$: 靜壓 (nt/m²)

\tilde{P} : 擾動壓力 (nt/m²)

6. 擴散 LES(Large Eddy Simulation) 模型

$$\mu_{LES} = \rho (C_s \Delta)^2 \left(2(\text{def } \vec{u}) \cdot (\text{def } \vec{u}) - \frac{2}{3}(\nabla \cdot \vec{u})^2 \right)^{1/2} \quad (4.7)$$

其中 C_s : 經驗常數

Δ : 格點長度

$$\Phi \equiv \tau \cdot \nabla \vec{u} = \mu \left(2(\text{def } \vec{u}) \cdot (\text{def } \vec{u}) - \frac{2}{3}(\nabla \cdot \vec{u})^2 \right)$$

$$= \left\{ 2\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \right\} - \left\{ \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right\} \quad (4.8)$$

$$\text{定義 } (\rho D)_{l,LES} = \frac{\mu_{LES}}{Sc} \quad (4.9)$$

$$k_{LES} = \frac{\mu_{LES} c_p}{Pr} \quad (4.10)$$

其中 Pr : 普郎特常數 (Prandtl number)

Sc : 舒密特常數 (Schmidt number)

4.1.2 差分方程式

1. 時間之離散

對時間項的離散，FDS 採用 Second order predictor-corrector scheme。在每個 time-step 開始的時候， ρ^n 、 Y_i^n 、 \bar{u}^n 、 H^n 與 p_0^n 均為已知，需特別注意的是，上標 $(n+1)_e$ 代表的是第 $(n+1)$ 個 time-step 時程式預估出來的值。

- a. 熱物理性質 ρ 、 Y_i 和 p_0 是利用顯性的尤拉法（explicit Euler step）得到，例如密度可由下式預估

$$\rho^{(n+1)_e} = \rho^n - \delta t (\bar{u}^n \cdot \nabla \rho^n + \rho^n \nabla \cdot \bar{u}^n) \quad (4.11)$$

- b. 解壓力的 Poisson 方程式則可由

$$\nabla^2 H^n = \frac{(\nabla \cdot \bar{u})^{(n+1)_e} - (\nabla \cdot \bar{u})^n}{\delta t} - \nabla \cdot \bar{F}^n \quad (4.12)$$

\bar{F} 這一項包含了動量方程式裡得對流、發散及外力項。速度則由下個 time-step 預估

$$\bar{u}^{(n+1)_e} = \bar{u}^n - \delta t (\bar{F}^n + \nabla H^n) \quad (4.13)$$

而 time-step 必須符合

$$\delta t < \min \left(\frac{\delta x}{u}, \frac{\delta y}{v}, \frac{\delta z}{w} \right) \quad (4.14)$$

- c. 前述兩者算完之後，熱物理性質 ρ 、 Y_i 和 p_0 將在下一個 time-step 做校正。例如密度將寫成

$$\rho^{n+1} = \frac{1}{2} \left(\rho^n + \rho^{(n+1)_e} - \delta t (\bar{u}^{(n+1)_e} \cdot \nabla \rho^{(n+1)_e} + \rho^{(n+1)_e} \nabla \cdot \bar{u}^{(n+1)_e}) \right) \quad (4.15)$$

- d. 透過之前預估出來的結果來重新計算壓力

$$\nabla^2 H^{(n+1)_e} = - \frac{2(\nabla \cdot \bar{u})^{n+1} - (\nabla \cdot \bar{u})^{(n+1)_e} - (\nabla \cdot \bar{u})^n}{\delta t} - \nabla \cdot \bar{F}^{(n+1)_e} \quad (4.16)$$

更正過的速度如下

$$\bar{u}^{n+1} = \frac{1}{2} \left[\bar{u}^n + \bar{u}^{(n+1)_e} - \delta t (\bar{F}^{(n+1)_e} + \nabla H^{(n+1)_e}) \right] \quad (4.17)$$

2. 空間之離散

所有空間項的離散皆採用二階中央差分法 (Second order central difference)。整個計算的範圍是一個被長方體格點分割的長方體。每個格點裡面，用 i 、 j 和 k 分別代表格點的 x 、 y 及 z 方向。所有線性的量 (如密度) 都是在格點的中心給定，例如 ρ_{ijk}^n 代表的是第 n 個 time-step 格點 i 、 j 、 k 裡的密度。向量的值則是在格點的表面給定。

4.1.3 燃燒模式

FDS 中提供混合比燃燒模式 (Mixture Fraction Combustion Model; MFCM) 及有限速率反應模式，主要差別在於 MFCM 是以氧消耗率之原理來計算熱釋放率，有限速率反應模式則是使用有限速率化學反應方程式來描述燃燒之化學反應。

混合比燃燒模式 (Mixture Fraction Combustion Model)



其中 V_i : i 分子化學反應當量係數

對化學當量反應而言

$$\frac{\dot{m}_F}{V_F M_F} = \frac{\dot{m}_o}{V_o M_o} \quad (4.20)$$

M_i : i 分子之莫耳重量 (kg)

m_i : i 分子之質量消耗率 (kg/s)

$$\text{定義 } z = \frac{s Y_F - (Y_o - Y_o^\infty)}{s Y_F + Y_o^\infty}; \quad s = \frac{V_o M_o}{V_F M_F} \quad (4.21)$$

其中 Y_o^∞ : 氧氣於大氣中之質量分率

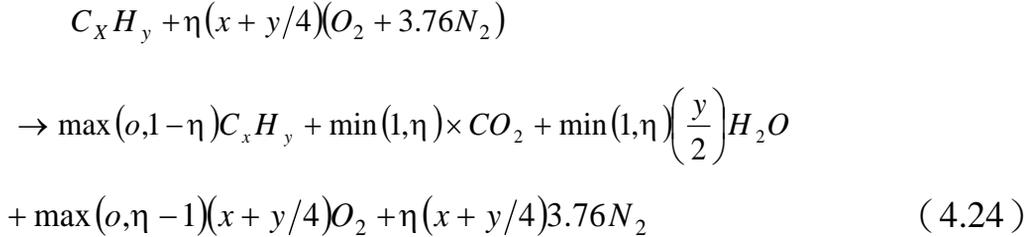
Y_F^l : 燃料之質量分率

在此模式中假設，當燃料與氧同時存在同一空間時，便隨即產生化學反應，因此火焰面 (Z_f) 可定義為：

$$Z(x,t) = Z_f ; Z_f = \frac{Y_o^\infty}{sY_F^I + Y_o^\infty} \quad (4.22)$$

$$\text{且 } Y_o(Z) = \begin{cases} Y_o^\infty(1-Z/Z_f) & Z < Z_f \\ 0 & Z > Z_f \end{cases} \quad (4.23)$$

由上述定義對一般碳氫化合物燃料之化學反應可以下式表示：



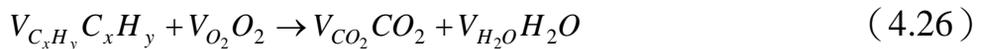
針燃燒反應之熱釋放率 \dot{q}''' 則由氧氣消耗率求得

$$\dot{q}''' = \Delta H_o \dot{m}_o''' \quad (4.24)$$

其中 ΔH_o 代表單位質量之氧消耗時之熱釋放率，且由氧氣之質量守恆可導出

$$-\dot{m}_o''' = \nabla \left(\rho D \frac{dY_o}{dZ} \nabla Z \right) - \frac{dY_o}{dZ} \nabla \cdot \rho D \nabla Z = \rho D \frac{d^2 Y_o}{dZ^2} |\nabla Z|^2 \quad (4.25)$$

以上為混合比燃燒模式在計算熱釋放率之原理，至於在有限速率反應模式中則是以下列方程式表示之。



其化學反應速率以單一步驟之反應式表之，藉此求得熱釋放率。

$$\frac{d[C_x H_y]}{dt} = -B [C_x H_y]^a [O_2]^b e^{-E/RT} \quad (4.27)$$

其中 B ：反應常數 (pre-exponential factor for arrhenius reaction)

E ：活化能 (kJ/mol)

4.1.4 熱輻射之統御方程式

FDS 之熱輻射傳統御方程式如下所示：

$$s \cdot \nabla_n(x,s) = k_n(x) [I_{bn}(x) - I(x,s)] \quad n=1..N \quad (4.28)$$

$$\text{其中 } I_{b,n} = F_n(\lambda_{\min}, \lambda_{\max}) \sigma T^4 / \pi \quad (4.29)$$

$$I \cdot (x, s) = \sum_{n=1}^N I_n(x, s) \quad (4.30)$$

I : 輻射熱強度 (kw/m²)

k : 吸收係數

λ : 波長 (m)

σ : 史蒂芬-波茲曼 (Stefan-Boltzman constant)

對於牆面之熱輻射，FDS 採用之邊界條件如下：

$$I_w(S) = \varepsilon I_{bw} + \frac{1-\varepsilon}{\pi} \int_{S' \cdot nw < 0} I_w(S') |S' \cdot nw| d\Omega \quad (4.31)$$

其中 I_w : 牆面之輻射熱強度 (kw/m²)

S : 單位向量

ε : 放射率

I_{bw} : 牆面黑體輻射強度 (kw/m²)

上述統御方程經有限體積法轉換後，再經由假設任一隔面之輻射強度相同，便可得知輻射熱通量。

$$q_r(x) = \int SI(x, s) d\Omega \quad (4.32)$$

因此能量守恆方程式中輻射熱之大小可以下式表之：

$$-\nabla \cdot q_r(x) = K(x)[U(x) - 4\pi U_b(X)]; U(x) = \int_{4\pi} I(x, s) d\Omega \quad (4.33)$$

4.1.5 邊界條件

FDS 中提供四種型態之邊界條件供使用者作選擇：1.絕熱、2.特定溫度（溫度可為時間之函數）、3.熱薄型燃料模式及 4.熱厚型燃料模式。

根據所計算出邊界吸收或放出的熱量，配合不同材料裂解之模

式，敘述各種相異邊界因受熱所產生的化學變化，再進一步計算其對模擬空間所造成的影響。

在 LES 計算模式中

$$\dot{q}_c'' = h\Delta T ; h = \max \left[C|\Delta T|^{1/3}, 0.037 \frac{K}{L} \left(\frac{|U|L}{V} \right)^{0.8} Pr^{1/3} \right] \quad (4.34)$$

ΔT ：邊界與氣態分子間之溫差(°C)

C ：自然對流係數(經驗常數，此模式中預設在水平面時 $C = 1.43$ ，

垂直面 $C = 0.95$) (kw/m²)

L ：特徵長度 (m)

V ：動黏滯係數 (m²/s)

1. 熱厚型固態燃料，其統御方程如下：

$$\rho_s C_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = k_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} ; -k_s \frac{\partial T_s}{\partial x}(a,t) = \dot{q}_c'' + \dot{q}_r'' \quad (4.35)$$

其中 ρ_s ：固態燃料密度 (kg/m³)

C_s ：固態燃料比熱 (kJ/kg·k)

\dot{q}_c'' ：對流熱通量 (kw/m²)

\dot{q}_r'' ：輻射熱通量 (kw/m²)

T_s ：固態燃料溫度 (°C)

2. 熱薄型固態燃料 (假設溫度在垂直固態燃料方向為均勻分佈)

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{\dot{q}_c'' + \dot{q}_r''}{\rho_s C_s \delta} \quad (4.36)$$

其中 δ ：固態燃料厚度(m)

3. 液態燃料

燃燒時液體燃料蒸發，此現象為一函數，且與溫度與蒸氣濃度有關。當液體表面蒸氣之分壓等於 Clausius-Clapeyron 壓力時，將達平衡狀態。

$$p_{cc} = p_0 \exp \left[-\frac{h_v M_f}{\mathfrak{R}} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_b} \right) \right] \quad (4.37)$$

其中 h_v : 蒸發熱

M_f : 分子重

T_s : 表面溫度

T_b : 燃料沸騰溫度

FDS 在求解以上之統御方程式、燃燒模式、熱輻射模式以及邊界條件上的計算上皆採用大渦流模擬法 (Large Eddy Simulation, LES) 計算方法, LES 法是將流體物理量區分為大尺度 (grid-scale) 及次網格尺度 (sub-grid scale, SGS) 兩部份。對於大尺度的物理量在 LES 中直接由 Navier-Stokes 方程式求解; 而在次格點尺度內的物理量, 將小於網格尺寸之漩渦或紊流以次網格紊流模式 (Sub-grid Turbulence Model) 表示, 並直接計算流場暫態變化。另依方面 FDS 亦提供了 DNS 之計算方法, 但由於 DNS 法需大量實驗資料作驗證而在計算上同時也需要相當龐大之硬體設備。因此為符合學術上與工程上之實用性與經濟效應, 本研究採用 FDS 技術手冊上建議使用之 LES 模式, DNS 法相關之模式內容亦未列舉於本論文中。

4.2 逃生模擬軟體(Simulex)

Simulex 為英國 Illuminating Engineering Society 所研發高層建築物避難的電腦動態模擬程式，其使用人員間的距離來決定步行的速度，此方式更符合人員在移動時的特性，與一般使用人員密度來決定步行速度的計算方式不同。另外由於 Simulex 本身為二維空間之模擬程式，因此在高樓層避難的模擬時，可使用連結(Link)的功能將不同樓層之平面利用樓梯串聯起來，並且在樓梯間由於人員上樓的步行速度比下樓緩慢，Simulex 也蒐集了大量的資料庫模擬人員在上下樓層時速度的不同，以切實的模擬出人員在高樓層必難時之行為與特性。模擬流程如圖 4.3 所示。

其中在模擬中必須要考慮以及假設的相關參數如下：

建築物內空間的配置：

建築物空間的配置可藉著匯入 AutoCad 案例圖檔 (*.dxf) 來達成，同時設定出口與連結的位置。

避難人員的設定：

人員尺寸、人員之間的距離、人員步行速度等等的設定。人員的尺寸 Simulex 係以三個圓圈來分別代表人員的軀幹及肩膀（手臂）部位，亦即利用一個較大的圓形來代表軀幹，而另兩個等大的圓圈來代表手臂部位。模擬尺寸示意圖如圖 4.4 所示。而程式本身提供了 4 種人體尺寸以為模擬之用，使用者可依照建築物用途的不同來選擇所使用的尺寸，模擬人員的尺寸如表 4.1 所示。人與人間的距離如圖 4.5 所示，其採用的數學模式為最基本的兩點間距離公式，而此公式除了判斷人員在避難過程中是否重疊之外，同時亦作為人員步行速度之依據，大約離前方人員 1.6 公尺以上時，人員需依最快的速度前進。但當距離前方人員 0.3 公尺以下，步行速度將會減低為零，形成滯留現象，距離與步行速度之關係如圖 4.6。Simulex 也可針對不同場合，

依據人群不同屬性，其男女分布百分比作基本設定如表 4.2 所示。此一設定將會影響模擬人群之體型、分布與個人行走最大速度。

至於 Simulex 同時也可模擬避難過程中步行速度較快的人超過前方步行速度較慢的人之情況，以使模擬結果符合實際的狀況。當電腦模擬避難進行當中，若身處前方的人員步行速度較慢或甚至停止不動時，後方的人員便進行判斷是否超越的可行性。首先，程式會模擬後方人員先以 θ_1 與 θ_2 判斷新的方向是否有障礙物或其他避難人員，如果沒有阻礙，後方人員就會向 θ_1 或 θ_2 方向行進直到超越前方的人員，超越過後再轉往出口方向進行，如圖 4.7 所示。圖 4.8 為 Simulex 模擬不同方向阻礙下之超越路線圖。



表 4.1 Simulex 提供之人體尺寸

種類	R(t) [m]	R(s) [m]	S [m]
男性	0.27	0.17	0.11
女性	0.24	0.14	0.09
平均	0.26	0.155	0.10

表 4.2 Simulex 提供不同人群模式之男女分布表

人群模式	平均%	男性%	女性%	兒童%
辦公室員工	30	40	30	0
乘客	30	30	30	10
購物者	30	20	30	20
學童	10	10	10	70
老人	50	20	30	0
所有男性	0	100	0	0
所有女性	0	0	100	0
所有兒童	0	0	0	100

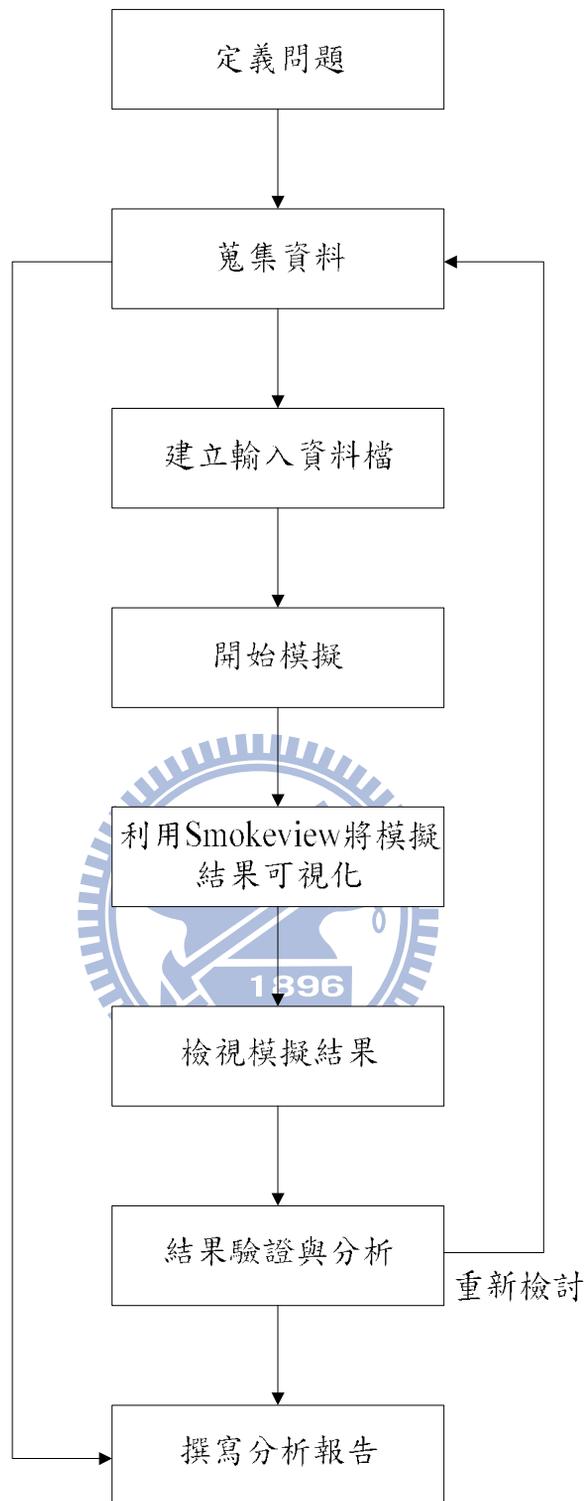


圖 4.1 FDS 分析執行計畫流程圖

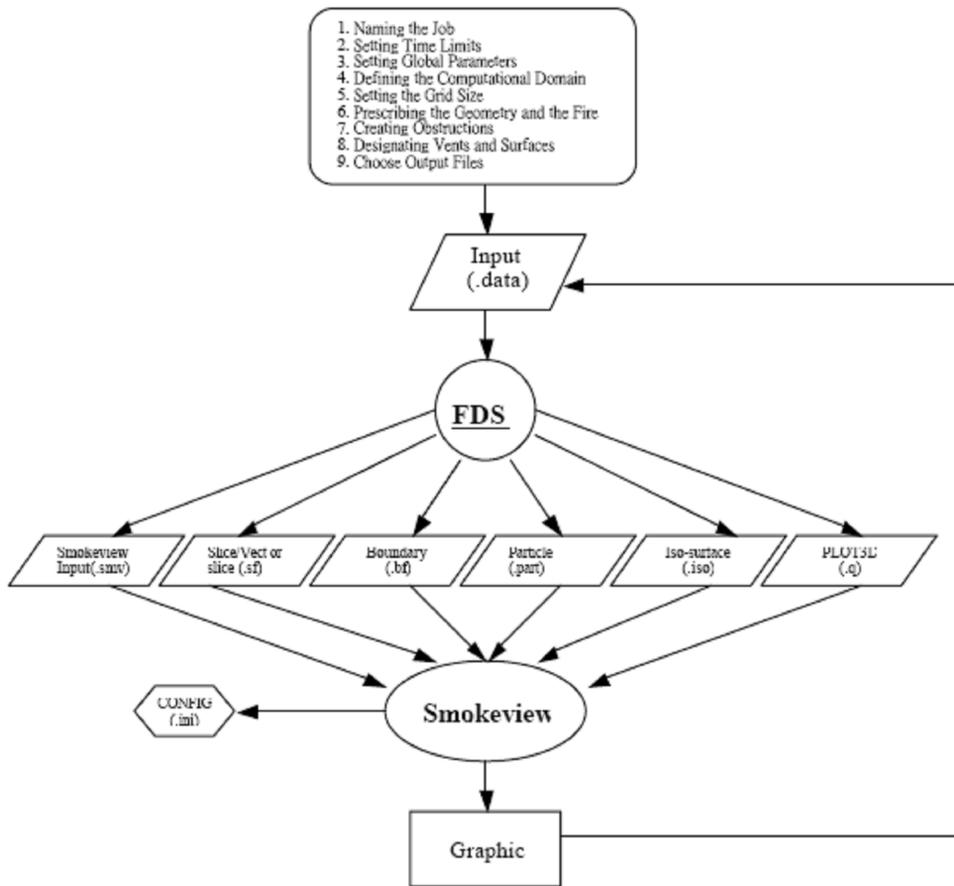


圖 4.2 FDS 與 Smokeview 之組織架構與工作流程圖

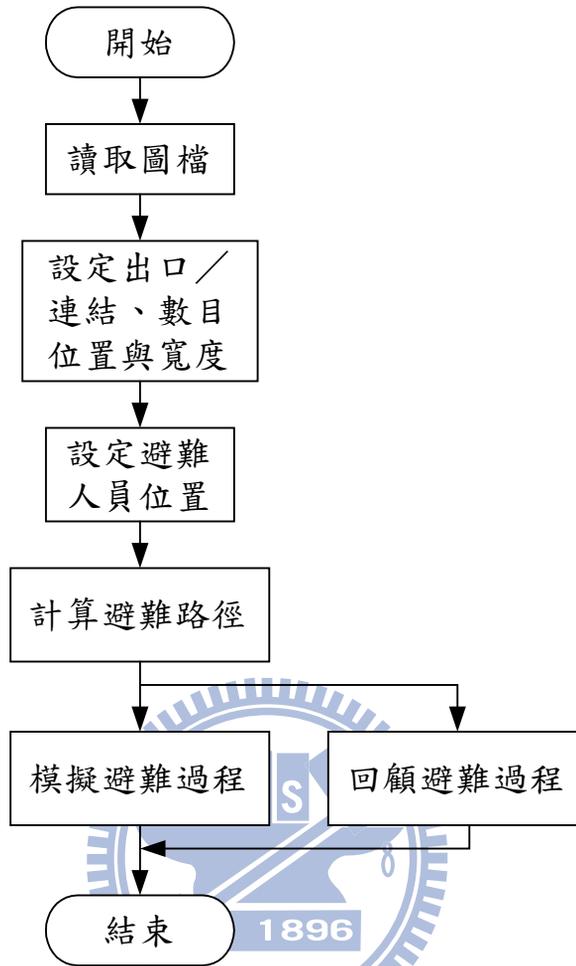


圖 4.3 Simulex 模擬避難流程

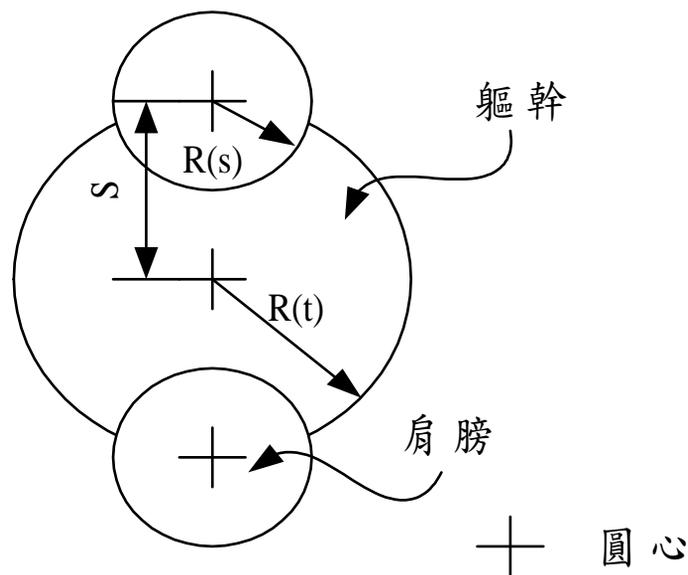


圖 4.4 電腦模擬人體尺寸示意圖

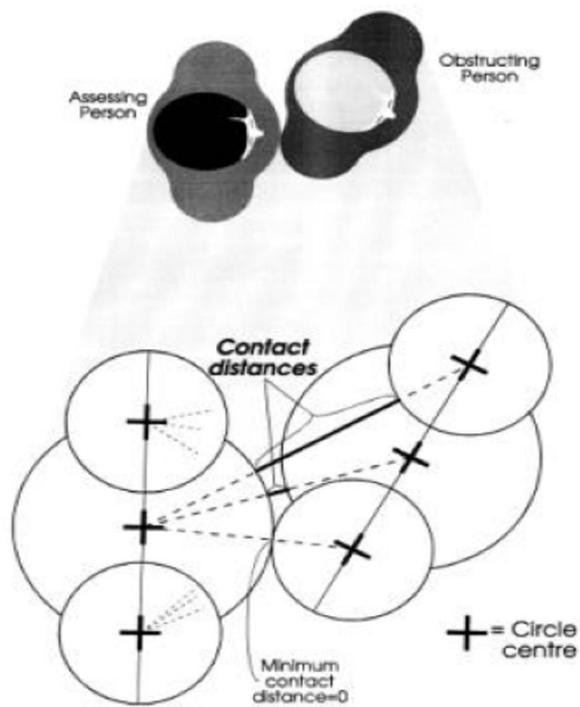


圖 4.5 人員間的接觸距離

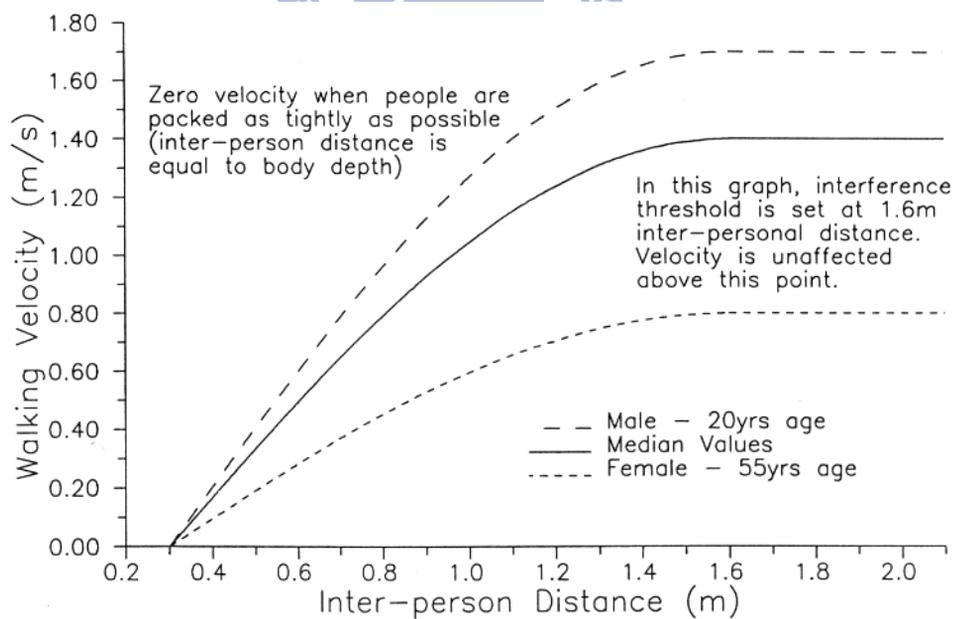


圖 4.6 人員間距離與步行速度之關係

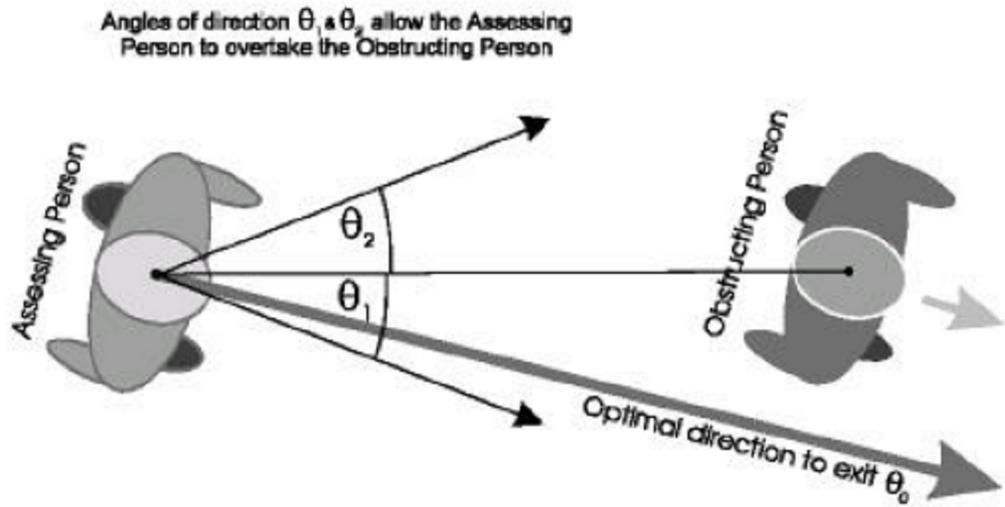


圖 4.7 避難人員超越之角度

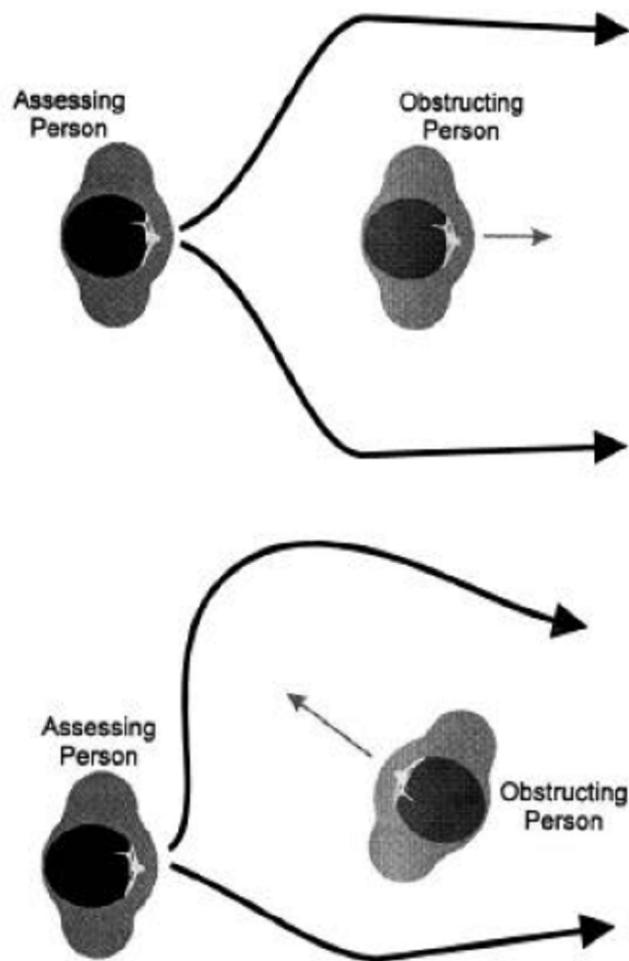


圖 4.8 Simulex 模擬不同方向阻礙下之超越路線圖

第五章 結果與討論

5.1 前言

本章節中將討論在實際的表演廳院之案例，此因其建築物的結構特殊，在「建築技術規則」及「各類場所消防安全設備設置標準」所規定之要求中無法符合其規定，故以「各類場所消防安全設備設置標準」之第二條的描述，使用性能式設計來替代規格式法規的要求。

此研究流程及方法利用第三章及第四章所提到之設計程序，再以 FDS 來模擬火災發生時，煙的流動情形、火場溫度、一氧化碳及能見度等，並與 Simulex 所預估之人員避難所需時間互相比較，以確保人員於火災發生時，能順利地安全逃生。

5.2 性能式設計程序

5.2.1 計畫範圍

本研究案例為基地位於「衛武營都會公園」內，以行政區域而言分別屬於高雄市苓雅區與高雄縣鳳山市。基地北臨三多路，南接凱旋路，東接國泰路與南京路，西面高速公路，道路系統完整便捷。

本案本案為地下一層；地上五層之建築物。內部規劃有四個表演空間，分別為本案為地下一層；地上四層之建築物。途主要為表演空間使用，其中共設置有 RECITAL HALL（演奏廳）、LYRIC THEATER（戲劇院）、PLAY HOUSE（中劇院）、CONCERT HALL（音樂廳）等四個表演空間。

5.2.2 確立目標

因為本案例之分析對象為公共場所，因此將防火安全目標之重要順序定為如下：

確保建築物內群眾以及消防人員的生命安全，並使受到火災傷害之人員數以及將建築物內受到火災損害之財產降至最低。

5.2.3 發展性能要求

此步驟所發展出性能要求就是決定設計成功與否的關鍵，針對前面定出之設計目標，更進一步量化來表現，因此本案例的性能要求為達到生命安全基準為主。

依據 NFPA 130 所建議的逃生環境標準，在人員全部完成逃生避難之前建築物內之性質需維持一定的條件如表 5.1

表 5.1 NFPA130 建議人員逃生安全環境要求

項目	NFPA130 建議人員逃生安全環境要求 (1.8m 高度逃生路徑空間內)
1	逃生環境氣體溫度 $< 60^{\circ}\text{C}$
2	CO 濃度 $< 1500\text{ppm}$
3	能見度距離 10m (門或牆可目視辨別)
4	輻射熱 $< 2.5\text{kW}/\text{m}^2$

5.2.4 發展火災情境、設計火災及試驗設計

此步驟是根據可能發生的火災建立設計火災情境與設計火災。在本案例中，對於起始火源的發生條件需做假設如下：

不考慮人為滅火行動

不考慮結構失效

不考慮多處同時起火情形

在發展試驗設計的部份，也就是為了達到先前訂定的性能要求之可能的解決方案，來評估此案例是否能達到預期的性能。因此本案例試驗分為十四種情境，

戲劇院:情境 1~5，主要探討火源位置與排煙風機啟動時間的影響，情境 1~3 火源位置在觀眾席下層，分別探討機械排煙風機的正常啟動、提早啟動與不啟動探討差異，情境 4~5 火源發生點分別位於戲劇院觀眾席中、上層，探討火源位置對火災的影響。

音樂廳: 情境 1~3，主要探討火源位置的影響，情境 1~3 火源發生點分別位於戲劇院觀眾席上、中、下層。

中劇院: 情境 1~2，主要探討火源位置的影響，情境 1~2 火源發生點分別位於戲劇院觀眾席上、下層。

演奏廳: 情境 1~2，主要探討火源位置的影響，情境 1~2 火源發生點分別位於戲劇院觀眾席上、下層。

榕樹廣場: 情境 1~2，主要探討自動撒水器的影響。

如同表 5.2 所示，火源位置如圖 5.1(a)(b)(c)(d)(e)所示。

表 5.2 火災情境

模擬範圍		火源大小	火源位置
戲劇院	情境 1	5MW	觀眾席下層
	情境 2		觀眾席下層
	情境 3		觀眾席下層
	情境 4		觀眾席中層
	情境 5		觀眾席上層
音樂廳	情境 1		觀眾席上層
	情境 2		觀眾席中層
	情境 3		觀眾席下層
中劇院	情境 1		觀眾席上層
	情境 2		觀眾席下層
演奏廳	情境 1	觀眾席上層	
	情境 2	觀眾席下層	
榕樹廣場	情境 1	2MW	走道
	情境 2		走道

(1) 火源設計、煙控設計、相關參數設定

1. 火源設計

火災發生原因主要分為意外災害與人為縱火。但由於地廳院內部目前多以耐燃材料作設計，因此火災發生之機會以人為座椅或地毯引起之火災機率較大。

在四個劇院部分依據 NFPA92B 所建議一般挑空區域之火載量為 5MW，燃燒面積為 2m × 2m。

在榕樹廣場部份根據加拿大 NRCC 於百貨公司中庭的實驗燃燒結果得知，在堆滿可燃物（休息區之座椅）且在氧氣供應充足的情形下，整個試驗時間至少維持 20 分鐘。由實驗結果可得知，最大熱釋放率均在 1.5MW 左右。因此為保守估計，本次模擬採用火源大小為 2MW 的熱釋放率火源，燃燒物質為 POLYURETHANE，燃燒面積為 2m × 2m。

2. 煙控設備動作流程：

發生火災時，當各區塊之偵煙探測器偵測到能見度低於 20 米時，則啟動該區塊的排煙機。

3. 排煙設計：

本研究案例排煙設計採用機械排煙的方式，各廳院頂部設置一個機械排煙機，大小及風速分別如表 5.3，以將煙層直接由上方抽出，而其餘各樓層之防火區塊則依照法規規定設置排煙設備。當火災發生時，排煙設備於其偵煙探測器探測到能見度低於 20 米時，加入 30 秒的延遲時間後啟動排煙機。

表 5.3 各劇院排煙機的大小以及風速

廳院	長度	寬度	排煙容量
戲劇院	0.75m	0.65 m	300CMM
	0.5 m	0.5 m	100CMM
	0.5 m	0.5 m	100CMM
	0.65 m	0.35 m	100CMM
音樂廳	0.75m	0.65 m	300CMM
中劇院	0.75m	0.65 m	300CMM
	0.5 m	0.5 m	100CMM
	0.5 m	0.5 m	100CMM
	0.5 m	0.5 m	100CMM
演奏廳	0.75m	0.65 m	300CMM

4. 補氣口設計：

本研究案例將週遭進出口作為自然補氣口(邊界與大氣相接)的來源，也就是考慮真實火災發生時現場實際開口補氣條件，也就是考慮真實火災發生時現場實際開口補氣條件，在榕樹廣場部份，由於榕樹廣場為半戶外空間，其四周為均視為補氣口，圖 5.2 至 5.5 所示。

5. 格點測試

本案例格點測試以戲劇院為例，由於在火源周圍之溫度變化量較大，因此針對火源周圍區域之格點作分析，以三種不同的格點大小來做測試，不同格點配置如表 5.6(a)所示。

表 5.6(a) 格點配置表

格點大小 (公尺) X×Y×Z	格點數	量測點 1	量測點 2	最大誤差值
		平均溫度 ()	平均溫度 ()	
0.2×0.2×0.2	105 萬	100.19	101.02	0%
0.25×0.25×0.25	54 萬	101.45	101.97	1.26%
0.5×0.5×0.5	6.7 萬	102.35	103.72	2.67%

5.2.5 評估試驗設計

此步驟將採用定性的方法來進行試驗設計的性能評估。對於逃生避難方面採用電腦模擬軟體 Simulex 進行逃生避難之模擬；而在火災模擬方面，則採用美國 NIST 所開發的 FDS(Fire Dynamic Simulator) 電腦模擬軟體，將建築物內部火災之現象呈現出來，再加上 Smokeview 將 FDS 模擬的結果數值進行可視化處理。

本性能評估之流程為：

步驟一:根據 Simulex 計算出全部人員逃生完畢所需要之時間。

步驟二:利用 FDS 進行火災情境煙控模擬並評估生命安全基準。

步驟三:將避難所需時間與 FDS 模擬計算所能提供之逃生時間互相比較，並評估是否達成性能要求，完成性能評估之程序。

(1) 逃生避難

本案例避難人員資料如下：

模擬範圍：戲劇院、音樂廳、中劇院、演奏廳、榕樹廣場。

人員位置分布：座席區按照座席數乘 1.1，舞台、榕樹廣場部分依據內政部建築研究所發行的「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」

之容留人數規定，避難人數：如表 5.4、5.5。

表 5.4 模擬座席與人數

廳院	樓層	座席數(個)	收容人員密度 (人/座席數)	容留人數(人)
戲劇院	1F	628	1.1	691
	2F	626	1.1	689
	3F	530	1.1	583
	4F	477	1.1	525
音樂廳	1F	458	1.1	642
	2F	925	1.1	1018
	3F	635	1.1	699
中劇院	1F	628	1.1	691
	2F	585	1.1	644
	3F	286	1.1	315
演奏廳	1F	274	1.1	301
	2F	199	1.1	219

表 5.5 模擬面積與人數

廳院	樓層	面積(m ²)	收容人員密度 (人/ m ²)	容留人數(人)
榕樹廣場	1F、2F	16700	0.3	5010

人員屬性：使用 Simulex 中，內建的通勤者(shoppers)設定。

建築物內空間的配置及避難動線：依其實際建築圖之 CAD 檔輸入軟體計算。

本案模擬四個廳院及榕樹廣場。逃生出口與人員配置如圖 5.6 至圖 5.18。

Simulex 模擬結果：

Simulex 軟體對於人群避難的基本假設為：人群會自動選擇離自己最近的避難出口逃生。這個假設雖然合理，但在真實避難狀況中，由於人群對現場不熟悉，容易有盲從行為產生，這點在電腦模式便難以呈現，因此 Simulex 軟體所計算之避難時間，一般情況下需乘以 1.5 倍安全係數，才比較貼近真實的狀況。另外由於人員開始避難的時間並非為火災剛發生時，因此應該要有偵煙式探測器與人員反應的前置時間，本案例所使用的偵煙式探測器反應時間為 30 秒；人員反應為 60 秒，故人員真正開始進行逃生避難的時間為起火後第 90 秒。綜合上述因素後所計算出之避難時間的詳細列表如表 5.6。

表 5.6 模擬避難時間表

廳院	樓層	探測器+人員 反應時間	Simulex 模擬避 難時間	模擬時間× 安全係數	總計
戲劇院	1F	90 秒	113 秒	170 秒	260 秒
	2F	90 秒	128 秒	192 秒	282 秒
	3F	90 秒	64 秒	96 秒	186 秒
	4F	90 秒	61 秒	122 秒	212 秒
音樂廳	1F	90 秒	332 秒	498 秒	588 秒
	2F	90 秒	156 秒	234 秒	324 秒
	3F	90 秒	86 秒	129 秒	219 秒
中劇院	1F	90 秒	265 秒	398 秒	488 秒
	2F	90 秒	131 秒	197 秒	287 秒
	3F	90 秒	30 秒	45 秒	135 秒
演奏廳	1F	90 秒	130 秒	195 秒	285 秒
	2F	90 秒	77 秒	116 秒	206 秒
榕樹廣場	1F、2F	90 秒	1050 秒	1575 秒	1665 秒

(1) 火災情境模擬

本案例之火災模式將各個火災情境下模擬出的重要結果及現象進行分析評估。進行評估時將分別針對避難完成時間內之高度 1.8 公尺 CO 濃度、溫度以及能見度是否分別超過 1500ppm、60 及 10 米以上，與逃生時間比較進行性能評估。

1. 參數設定說明

案例模擬場所為戲劇院、音樂廳、中劇院、演奏廳、榕樹廣場，整體電腦模擬時間為 700 秒，電腦模擬取樣時間為 0.1 秒，模擬時在火源之樓層選取格點體積為 0.25m x 0.25m x 0.25m，其餘格點體積為 0.5m x 0.5m x 0.5m。相關模擬參數見表 5.7 與表 5.8。

表 5.7 各劇院 FDS 模擬參數設定

設定條件	設定值	說明
起始溫度	25	考慮空調作用下之常態溫度。
火載量	2MW、5MW	依據 NFPA92B 所建議一般挑空區域之火載量為 5MW，燃燒面積為 2m×2m。
格點大小	0.25m x 0.25m x 0.25 m 0.5m x 0.5m x 0.5 m	火源所在樓層選取 0.25m 格點大小；其他樓層選取 0.5m 格點大小。
燃料	POLYURETHANE	&REAC ID='POLYURETHANE', FYI='NFPA Babrauskas', C=6.30, H=7.10, O=2.10, N=1.00, SOOT_YIELD=0.1000
自然補氣口	由週遭進出口作為 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	700 秒	模擬時間 700 秒。

表 5.8 榕樹廣場 FDS 模擬參數設定

設定條件	設定值	說明
起始溫度	25	考慮空調作用下之常態溫度
火載量	2MW	根據加拿大 NRCC 於百貨公司中庭的實驗燃燒結果得知 (見圖 6-2), 在堆滿可燃物 (休息區之座椅) 且在氧氣供應充足的情形下, 整個試驗時間至少維持 20 分鐘。由實驗結果可得知, 最大熱釋放率均在 1.5MW 左右 (見圖 6-3、圖 6-4)。因此為保守估計, 本次模擬採用火源大小為 2MW 的熱釋放率火源, 燃燒物質為 POLYURETHANE, 燃燒面積為 2m × 2m。
火源成長模式	Fast	根據 NFPA92B 之建議之對應 t-squared 火災成長曲線進行設計。設定為 207 秒後, 火災規模達到 2MW。
用水量	80 l/min	設定壓力為 1 公升, 計算出用水量為 80 l/min
自然補氣口	由週遭樓梯及進出口等作為補氣來源	考慮火災發生時現場實際開口換氣條件
燃料	POLYURETHANE	&REAC ID='POLYURETHANE', FYI='NFPA Babrauskas', C=6.30, H=7.10, O=2.10, N=1.00, SOOT_YIELD=0.1000
模擬時間	1800 秒	模擬時間 1800 秒。

2. 量測點位置

戲劇院、音樂廳、中劇院、演奏廳及榕樹廣場出地面 1.8 米高度，分別各有 18、10、10、6 和 5 個量測點，如圖 5.19(a)(b)(c)(d)所示。

5.3 情境分析結果與討論

本論文由於劇院過多，所以結果與討論部份選取最具代表性的戲劇院與榕樹廣場來做分析。

5.3.1 戲劇院情境一模擬結果

(1) 溫度分佈

就火災發生後，空間溫度之分佈情形，及其對戲劇院所產生之影響，我們以量測點溫度分佈(圖 5.20)及溫度分佈圖(圖 5.24 至圖 5.26)來作說明。

由量測點的數值可以發現量測點 1~ 6 的最高溫度均維持於 500 以下；而在量測點 7~12 的最高溫度大約為 200 ；而在量測點 13~ 18 的最高溫度，最高溫度大約為 150 。

由火災發生 700 秒後之結果分析顯示。在人員避難路徑上，其濃煙溫度方面小於 60 以下，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上二層上半部，於 203 秒的時候溫度大於 60 以上；而在地上三層上半部，於 193 秒的時候溫度大於 60 以上而在地上四層上半部，於 313 秒的時候溫度大於 60 以上，但是經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響。

(2) 一氧化碳濃度分佈

在相對應的一氧化碳濃度(圖 5.21)分佈方面，由(圖 5.27 至圖 5.29)為一氧化碳濃度分佈圖，針對一氧化碳之濃度分佈我們可發現在 0 到

700 秒間，一氧化碳濃度皆低於 1500ppm，根據逃生環境之要求準則，一氧化碳濃度上限為 1500ppm，因此就此項目之檢討，在火災發生後 700 秒內，並不會對逃生空間造成威脅。

(3) 能見度分佈

針對火災發生後 700 秒內空間中能見度(圖 5.22)之變化情形，(圖 5.30 至圖 5.32)。在人員避難路徑上，其濃煙能見度方面大於 10m 以上，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上二層上半部，於 198 秒的時候能見度小於 10m；而在地上三層上半部，於 203 秒的時候能見度小於 10m；而在地上四層上半部，於 240 秒的時候能見度小於 10m，但是經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響。

(4) 煙流路徑及熱輻射分析

針對火災發生後 700 秒內空間中煙流之變化情形(圖 5.23、圖 5.33 至圖 5.34)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示因火焰上方的高溫氣體與周圍冷空氣之間的密度不同，煙的密度較低，相對的產生煙的浮力導致煙流上升，觀眾席上的天花板後，往兩個方向同時擴散，一個方向為當煙流受到與壁面的表面摩擦，流速減慢。導致煙流被吸附在壁面上，沿著壁面流動，沿著地上三層爬升到地上四層。另一方向受到舞台排煙風機產生壓力差的影響而往前方擴散，之後隨著時間火勢越大，受到熱對流效應的影響，充滿整個天花板，其後逐漸累積下降

圖 5.35 顯示 700 秒內熱輻射分佈的狀態，可以發現在火源位置附近熱輻射值高於 2.5kW/m^2 ，其餘區域皆小於標準值。

5.3.2 戲劇院情境二模擬結果

(1) 溫度分佈

就火災發生後，空間溫度之分佈情形，及其對戲劇院所產生之影

響，我們以量測點溫度分佈(圖 5.36)及溫度分佈圖(圖 5.40 至圖 5.42)來作說明。

由量測點的數值可以發現量測點 1~ 6 的最高溫度均維持於 410 以下；而在量測點 7~ 12 的量測點 8、11 最高溫度大約為 160 ，其於量測點均維持於 40 以下；而在量測點 13~ 18 的最高溫度，最高溫度大約為 110 。

由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，與情境一相比較在相同的火源位置，排煙機提早開啟，蓄煙區的煙量不足，使得排煙機抽到大量空氣，產生 Plugholing 現象，導致排煙效率降低，溫度差異不大。

在人員避難路徑上，其濃煙溫度方面小於 60 以下，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上二層上半部，於 203 秒的時候溫度大於 60 以上；而在地上三層上半部，於 193 秒的時候溫度大於 60 以上而在地上四層上半部，於 313 秒的時候溫度大於 60 以上，但是經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響。

(2) 一氧化碳濃度分佈

在相對應的一氧化碳濃度(圖 5.37)分佈方面，由(圖 5.43 至圖 5.45)為一氧化碳濃度分佈圖，針對一氧化碳之濃度分佈我們可發現在 0 到 700 秒間，一氧化碳濃度皆低於 1500ppm，根據逃生環境之要求準則，一氧化碳濃度上限為 1500ppm，因此就此項目之檢討，在火災發生後 700 秒內，並不會對逃生空間造成威脅。

(3) 能見度分佈

針對火災發生後 700 秒內空間中能見度(圖 5.38)之變化情形，(圖 5.46 至圖 5.48)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，由於前述產生 Plugholing 現象，能見度方面比情境三還低。在人員避難路徑上，其濃煙能見度方面大於 10m 以上，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上二層上半部，於 198 秒的時候能見度小於 10m；而在地上三層上半部，於 203 秒的時候能見度小於 10m；

而在地上四層上半部，於 240 秒的時候能見度小於 10m，但是經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響。

(4) 煙流路徑及熱輻射分析

針對火災發生後 700 秒內空間中煙流之變化情形(圖 5.39、圖 5.49 至圖 5.50)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，跟情境一煙層相比，情境二的煙層差異不大。

圖 5.51 顯示 700 秒內熱輻射分佈的狀態，可以發現在火源位置附近熱輻射值高於 2.5kW/m^2 ，其餘區域皆小於標準值。

5.3.3 戲劇院情境三模擬結果

(1) 溫度分佈

就火災發生後，空間溫度之分佈情形，及其對戲劇院所產生之影響，我們以量測點溫度分佈(圖 5.52)及溫度分佈圖(圖 5.56 至圖 5.58)來作說明。

另外由量測點的數值可以發現量測點 1~ 6 中量測點 2、3、4、5 由於距離火源較近最高溫度大約為 120 ，量測點 1、6 最高溫度大約為 30 以下；而在量測點 7~ 12 中火源量測點 8、9、10、11 由於在煙層竄升擴散導致最高溫度大約為 90 ；而在量測點 13~ 18 的最高溫度由於煙層繼續上升使得到後期，最高溫度也達到 60 以上。

由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，與情境一、情境二相比，情境一無機械排煙在溫度上稍微高於情境二但遠大於情境三，相互比較可以得出在情境二的機械排煙效率被大幅的降低，在人員避難路徑上，其濃煙溫度方面小於 60 以下，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上二層上半部，於 203 秒的時候溫度大於 60 以上；而在地上三層上半部，於 193 秒的時候溫度大於 60 以上而在地上四層上半部，於 313 秒的時候溫度大於 60 以上，但是

經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響。

(2) 一氧化碳濃度分佈

在相對應的一氧化碳濃度(圖 5.53)分佈方面，由(圖 5.59 至圖 5.61)為一氧化碳濃度分佈圖，針對一氧化碳之濃度分佈我們可發現在 0 到 700 秒間，一氧化碳濃度皆低於 1500ppm，根據逃生環境之要求準則，一氧化碳濃度上限為 1500ppm，因此就此項目之檢討，在火災發生後 700 秒內，並不會對逃生空間造成威脅。

(3) 能見度分佈

針對火災發生後 700 秒內空間中能見度(圖 5.54)之變化情形，由(圖 5.62 至圖 5.64)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，能見度方面，由於煙流會先到達地上二層觀眾席之天花板並開始蔓延，故量測 2、3、4、5 能見度會先下降，煙層上升導致地上三層的量測點 8、9、10、11 能見度下降，最後煙層繼續上升導致地上四層量測點 14、15、16、17 也跟著能見度下降。與情境一、情境二相比情境一能見度比情境二稍微低一些但比情境三低很多，可以比較出情境二的機械排煙效率被大幅的降低。

在人員避難路徑上，其濃煙能見度方面大於 10m 以上，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上二層上半部，於 198 秒的時候能見度小於 10m；而在地上三層上半部，於 203 秒的時候能見度小於 10m；而在地上四層上半部，於 240 秒的時候能見度小於 10m，但是經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響。

(4) 煙流路徑及熱輻射分析

針對火災發生後 700 秒內空間中煙流之變化情形(圖 5.55、圖 5.65 至圖 5.66)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示。跟情境一相比，可以發現出排煙風機的確有發揮出功效；與情境二相比，可以發現出情境二因為產生 Plugholing 現象，導致排煙效率降低。

圖 5.67 顯示 700 秒內熱輻射分佈的狀態，可以發現在火源位置附近熱輻射值高於 2.5kW/m^2 ，其餘區域皆小於標準值。

5.3.4 戲劇院情境四模擬結果

(1) 溫度分佈

就火災發生後，空間溫度之分佈情形，及其對戲劇院所產生之影響，我們以量測點溫度分佈(圖 5.68)及溫度分佈圖(圖 5.72 至圖 5.74)來作說明。

由量測點的數值可以發現量測點 1~6 的最高溫度均維持於 40 以下；而在量測點 7~12 除了量測點 9.10 因為距離火源較近所以最高溫度大約為 150，其餘量測點的最高溫度大約為 60 以下；而在量測點 13~18 因為受到煙往上竄升擴散的影響，最高溫度約為 200。

由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，在人員避難路徑上，其濃煙溫度方面小於 60 以下，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上三層部份上半部因受到火源影響，於 222 秒的時候溫度大於 60 以上；在地上四層上半部，因受到煙流往上聲的影響於 220 秒的時候溫度大於 60 以上，但是經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離最高階，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響。

(2) 一氧化碳濃度分佈

在相對應的一氧化碳濃度(圖 5.69)分佈方面，由(圖 5.75 至圖 5.77)為一氧化碳濃度分佈圖，針對一氧化碳之濃度分佈我們可發現在 0 到 700 秒間，一氧化碳濃度皆低於 1500ppm ，根據逃生環境之要求準則，一氧化碳濃度上限為 1500ppm ，因此就此項目之檢討，在火災發生後 700 秒內，並不會對逃生空間造成威脅。

(3) 能見度分佈

針對火災發生後 700 秒內空間中能見度(圖 5.70)之變化情形，由(圖 5.78 至圖 5.80)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，由於煙

流會先往上竄升，所以地上四層量測點能見度會先下降，接著往兩側擴散地上三層之能見度跟著下降。在人員避難路徑上，其濃煙能見度方面大於 10m 以上，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上三層上半部因受到火源影響，於 246 秒的時候能見度小於 10m；在地上四層上半部，因受到煙流往上聲的影響於 253 秒的時候能見度小於 10m，但是經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離最高階，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響。

(4) 煙流路徑及熱輻射分析

針對火災發生後 700 秒內空間中煙流之變化情形(圖 5.71、圖 5.81 至圖 5.82)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，因火焰上方的高溫氣體與周圍冷空氣之間的密度不同，煙的密度較低，相對的產生煙的浮力導致煙流上升，觀眾席上的天花板後，往兩個方向同時擴散，一個方向為當煙流受到與壁面的表面摩擦，流速減慢。導致煙流被吸附在壁面上，沿著壁面流動。另一方向受到舞台排煙風機產生壓力差的影響而往前方擴散，之後隨著時間火勢越大，受到熱對流效應的影響，充滿整個天花板，其後逐漸累積下降。

圖 5.83 顯示 700 秒內熱輻射分佈的狀態，可以發現在火源位置附近熱輻射值高於 2.5kW/m^2 ，其餘區域皆小於標準值。

5.3.5 戲劇院情境五模擬結果

(1) 溫度分佈

就火災發生後，空間溫度之分佈情形，及其對戲劇院所產生之影響，我們以量測點溫度分佈(圖 5.84)及溫度分佈圖(圖 5.88 至圖 5.90)來作說明。

由量測點的數值可以發現量測點 1~ 6 的最高溫度均維持於 40 以下；而在量測點 7~ 12 的最高溫度大約為 40 以下；而在量測點 13~ 18 的最高溫度，除了量測點 15.16 因為距離火源較近的影響，最高溫度大約為 160 。

由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，在人員避難路徑上，其濃煙溫度方面小於 60 以下，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上四層上半部，於 293 秒的時候溫度大於 60 以上，但是經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離最高階，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響

(2) 一氧化碳濃度分佈

在相對應的一氧化碳濃度(圖 5.85)分佈方面，由(圖 5.91 至圖 5.93)為一氧化碳濃度分佈圖，針對一氧化碳之濃度分佈我們可發現在 0 到 700 秒間，一氧化碳濃度皆低於 1500ppm，根據逃生環境之要求準則，一氧化碳濃度上限為 1500ppm，因此就此項目之檢討，在火災發生後 700 秒內，並不會對逃生空間造成威脅。

(3) 能見度分佈

針對火災發生後 700 秒內空間中能見度(圖 5.86)之變化情形，(圖 5.94 至圖 5.96)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，能見度方面由於煙流會先到達天花板並開始蔓延，但是因為空間較大，故只有距離火源較近的量測點 15~16 有下降之趨勢。在人員避難路徑上，其濃煙能見度方面大於 10m 以上，故不會對於戲劇院人員之避難逃生安全有所影響。而在地上四層上半部，於 297 秒的時候能見度小於 10m 上，但是經由逃生避難模擬可以得知，此時人員已經逃離最高階，故不會對戲劇院人員之逃生避難安全有所影響。

(4) 煙流路徑及熱輻射分析

針對火災發生後 700 秒內空間中煙流之變化情形(圖 5.87、圖 5.97 至圖 5.98)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，因火焰上方的高溫氣體與周圍冷空氣之間的密度不同，煙的密度較低，加上方沒有阻隔，導致煙直接往天花板竄升，之後隨著時間火勢越大，受到熱對流效應的影響，充滿整個天花板，其後逐漸累積下降。

圖 5.99 顯示 700 秒內熱輻射分佈的狀態，可以發現在火源位置附近熱輻射值高於 2.5kW/m^2 ，其餘區域皆小於標準值。

5.3.6 榕樹廣場情境一模擬結果

(1) 溫度分佈

就火災發生後，空間溫度之分佈情形，及其對榕樹廣場所產生之影響，我們以量測點溫度分佈(圖 5.100)及溫度分佈圖(圖 5.104 至圖 5.106)來作說明。

由於空間較大且為半戶外空間，故各量測點的數值均維持於 30 以下。由火災發生 1800 秒後之結果分析顯示，在人員避難路徑上，其濃煙溫度方面小於 60 以下，故不會對於榕樹廣場人員之避難逃生安全有所影響。

(2) 一氧化碳濃度分佈。

在相對應的一氧化碳濃度(圖 5.101)分佈方面，由(圖 5.107 至圖 5.109)為一氧化碳濃度分佈圖，針對一氧化碳之濃度分佈我們可發現在 0 到 1800 秒間，一氧化碳濃度皆低於 1500ppm，根據逃生環境之要求準則，一氧化碳濃度上限為 1500ppm，因此就此項目之檢討，在火災發生後 1800 秒內，並不會對逃生空間造成威脅。

(3) 能見度分佈

針對火災發生後 1800 秒內空間中能見度(圖 5.102)之變化情形，(圖 5.110 至圖 5.112)。由火災發生 1800 秒後之結果分析顯示，能見度方面，由於空間較大且四周為半戶外空間，故量測點 1~5 皆沒有下降之趨勢。

在人員避難路徑上，其濃煙能見度方面大於 10m 以上，故不會對於榕樹廣場人員之避難逃生安全有所影響。

(4) 煙流路徑及熱輻射分析

針對火災發生後 1800 秒內空間中煙流之變化情形(圖 5.103、圖 5.113 至圖 5.114)。由火災發生 1800 秒後之結果分析顯示，因火焰上方的高溫氣體與周圍冷空氣之間的密度不同，煙的密度較低，加上方沒有阻隔，導致煙直接往天花板竄升，之後隨著時間火勢越大，受到

熱對流效應的影響，分散於整個天花板，但是由於空間較大，所以其後累積下降趨勢較緩。

圖 5.115 顯示 1800 秒內熱輻射分佈的狀態，可以發現在火源位置附近熱輻射值高於 $2.5\text{KW}/\text{m}^2$ ，其餘區域皆小於標準值。

5.3.7 榕樹廣場情境二模擬結果

(1) 溫度分佈

就火災發生後，空間溫度之分佈情形，及其對榕樹廣場所產生之影響，我們以量測點溫度分佈(圖 5.116)及溫度分佈圖(圖 5.120 至圖 5.122)來作說明。

由於空間較大且為半戶外空間，故各量測點的數值均維持於 30 以下但與情境一相比較，自動撒水設備會將煙層帶下來，導致在量測點 3 溫度有些微上升。

由火災發生 1800 秒後之結果分析顯示，在人員避難路徑上，其濃煙溫度方面小於 60 以下，故不會對於榕樹廣場人員之避難逃生安全有所影響。

(2) 一氧化碳濃度分佈

在相對應的一氧化碳濃度(圖 5.117 分佈方面，由(圖 5.123 至圖 5.125)為一氧化碳濃度分佈圖，針對一氧化碳之濃度分佈我們可發現在 0 到 1800 秒間，一氧化碳濃度皆低於 1500ppm，根據逃生環境之要求準則，一氧化碳濃度上限為 1500ppm，因此就此項目之檢討，在火災發生後 1800 秒內，並不會對逃生空間造成威脅。

(3) 能見度分佈

針對火災發生後 1800 秒內空間中能見度(圖 5.118)之變化情形，由(圖 5.126 至圖 5.128)。由火災發生 1800 秒後之結果分析顯示，跟情境一相比很明顯可以比較出能見度大幅度的下降，主要是因為水將濃煙往下帶，進而影響能見度。

(4) 煙流路徑及熱輻射分析

針對火災發生後 700 秒內空間中煙流之變化情形(圖 5.119、圖 5.129 至圖 5.130)。由火災發生 700 秒後之結果分析顯示，因火焰上方的高溫氣體與周圍冷空氣之間的密度不同，煙的密度較低，加上方沒有阻隔，導致煙直接往天花板竄升，之後隨著時間火勢越大，受到熱對流效應的影響，分散於充滿整個天花板，之後由於水把煙層往下帶導致煙層下降速度比情境一更快。

圖 5.131 顯示 700 秒內熱輻射分佈的狀態，可以發現在火源位置附近熱輻射值高於 $2.5\text{KW}/\text{m}^2$ ，其餘區域皆小於標準值。

5.4 模擬結果討論

綜合以上之模擬結果可做出以下之結論

經火災情境模擬後可發現，人員皆可在危險因子高於標準值時逃離此區域，因此皆達到維護生命安全的標準，七個情境結果列表於表 5.9 至表 5.15。

在七個情境中，根據 FDS 煙控模擬與 SIMULEX 逃生避難分析比較之後，人員皆可在危險因子超過標準時逃離現場，故不會造成人員的傷害。

性能安全要求及可等價替代之判定是以建築物內之人員自火災發生後，於避難過程中不會遭受火災所產生的高溫與煙的危害為前提。經由 FDS 煙控模擬軟體及 SIMULEX 避難模擬軟體驗證後，可以得知人員活動範圍內均能滿足生命安全標準，溫度 <60 (H=1.8m)、CO 濃度 $<1500\text{ppm}$ (H=1.8m)、能見度 $>10\text{m}$ (H=1.8m)、熱輻射 $<2.5\text{kW}/\text{m}^2$ ，生命安全標準時間大於逃生避難時間，因此證明其消防系統設計符合人命安全標準及性能安全標準。

表 5-13 戲劇院情境一模擬結果表

區域	樓層	NFPA130 建議人員逃生安全環境要求 (1.8m 高度逃生路徑空間內)	火災後提供安全逃生環境之時間	逃生疏散完畢所需時間	符合逃生規劃需求
戲劇院	1F	逃生環境氣體溫度 < 60	700 秒	230 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	700 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	2F	逃生環境氣體溫度 < 60	182 秒	252 秒	檢討後符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	186 秒		檢討後符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	3F	逃生環境氣體溫度 < 60	187 秒	156 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	190 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	4F	逃生環境氣體溫度 < 60	272 秒	182 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	206 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合

註：戲劇院情境三 2F 後半部 40 秒左右即疏散完畢。40 秒*1.5(安全係數)+90 秒(偵煙探測器+人員反應)=150 秒

表 5-12 戲劇院情境二模擬結果表

區域	樓層	NFPA130 建議人員逃生安全環境要求 (1.8m 高度逃生路徑空間內)	火災後提供安全逃生環境之時間	逃生疏散完畢所需時間	符合逃生規劃需求
戲劇院	1F	逃生環境氣體溫度 < 60	700 秒	230 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	700 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	2F	逃生環境氣體溫度 < 60	193 秒	252 秒	檢討後符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	194 秒		檢討後符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	3F	逃生環境氣體溫度 < 60	184 秒	156 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	198 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	4F	逃生環境氣體溫度 < 60	283 秒	182 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	224 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合

註：戲劇院情境三 2F 後半部 40 秒左右即疏散完畢。40 秒*1.5(安全係數)+90 秒(偵煙探測器+人員反應)=150 秒

表 5-11 戲劇院情境三模擬結果表

區域	樓層	NFPA130 建議人員逃生安全環境要求 (1.8m 高度逃生路徑空間內)	火災後提供安全逃生環境之時間	逃生疏散完畢所需時間	符合逃生規劃需求
戲劇院	1F	逃生環境氣體溫度 < 60	700 秒	230 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	700 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	2F	逃生環境氣體溫度 < 60	203 秒	252 秒	檢討後符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	198 秒		檢討後符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	3F	逃生環境氣體溫度 < 60	193 秒	156 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	203 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	4F	逃生環境氣體溫度 < 60	318 秒	182 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	240 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合

註：戲劇院情境三 2F 後半部 40 秒左右即疏散完畢。40 秒*1.5(安全係數)+90 秒(偵煙探測器+人員反應)=150 秒

表 5-10 戲劇院情境四模擬結果表

區域	樓層	NFPA130 建議人員逃生安全環境要求 (1.8m 高度逃生路徑空間內)	火災後提供安全逃生環境之時間	逃生疏散完畢所需時間	符合逃生規劃需求
戲劇院	1F	逃生環境氣體溫度 < 60	700 秒	230 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	700 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	2F	逃生環境氣體溫度 < 60	700 秒	252 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	700 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	3F	逃生環境氣體溫度 < 60	222 秒	156 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	246 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	4F	逃生環境氣體溫度 < 60	220 秒	182 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	253 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合

表 5-9 戲劇院情境五模擬結果表

區域	樓層	NFPA130 建議人員逃生安全環境要求 (1.8m 高度逃生路徑空間內)	火災後提供安全逃生環境之時間	逃生疏散完畢所需時間	符合逃生規劃需求
戲劇院	1F	逃生環境氣體溫度 < 60	700 秒	230 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	700 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	2F	逃生環境氣體溫度 < 60	700 秒	252 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	700 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	3F	逃生環境氣體溫度 < 60	700 秒	156 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	700 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	700 秒		符合
	4F	逃生環境氣體溫度 < 60	293 秒	182 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	700 秒		符合
		能見度 > 10m	297 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	700 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	650 秒		符合

表 8-14 榕樹廣場情境一模擬結果表

區域	樓層	NFPA130 建議人員逃生 安全環境要求 (1.8m 高度逃生路徑空間內)	火災後提供安 全逃生環境之 時間	逃生疏散完畢 所需時間	符合逃生規 劃需求
榕樹廣 場	1F、2F	逃生環境氣體溫度 < 60	1800 秒	1665 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	1800 秒		符合
		能見度 > 10m	1800 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	1800 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	1800 秒		符合



表 8-15 榕樹廣場情境二模擬結果表

區域	樓層	NFPA130 建議人員逃生 安全環境要求 (1.8m 高度逃生路徑空間內)	火災後提供安 全逃生環境之 時間	逃生疏散完畢 所需時間	符合逃生規 劃需求
榕樹廣 場	1F、2F	逃生環境氣體溫度 < 60	1800 秒	1665 秒	符合
		CO 濃度 < 1500ppm	1800 秒		符合
		能見度 > 10m	300 秒		符合
		熱輻射 < 2.5kW/m ²	1800 秒		符合
		煙層高度 > 1.8m	1800 秒		符合

註:榕樹廣場情境二煙層會受到水的影響，將煙往下帶，使能見度大受影響

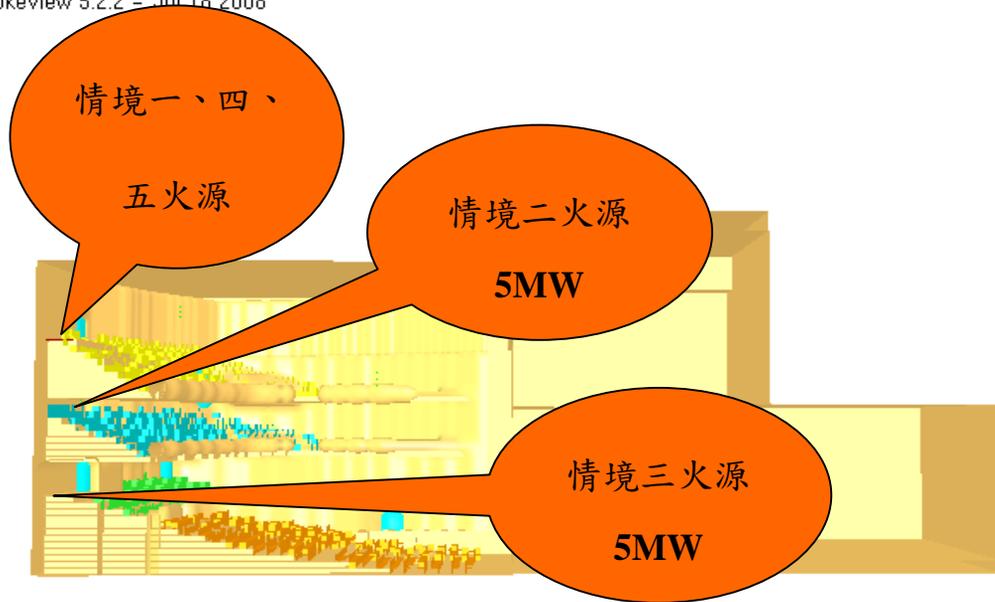


圖 5.1(a) 戲劇院火源位置

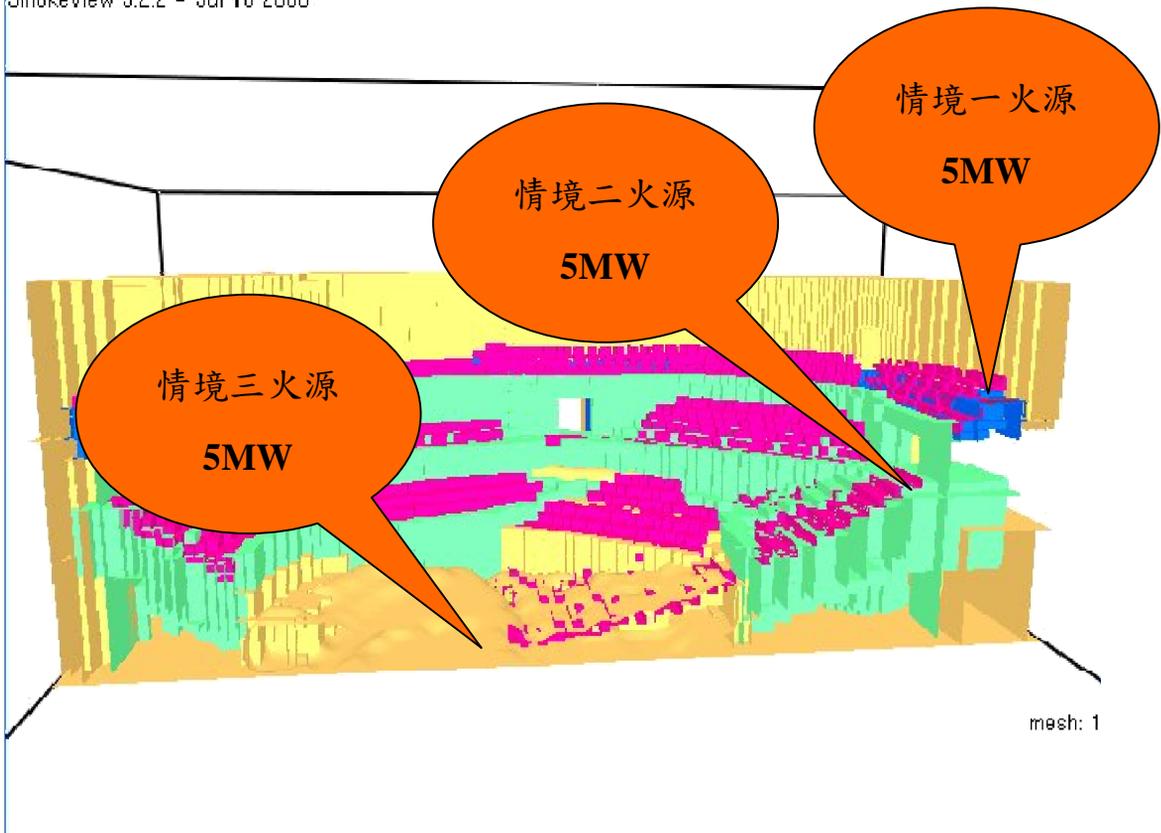


圖 5.1(b) 音樂廳火源位置

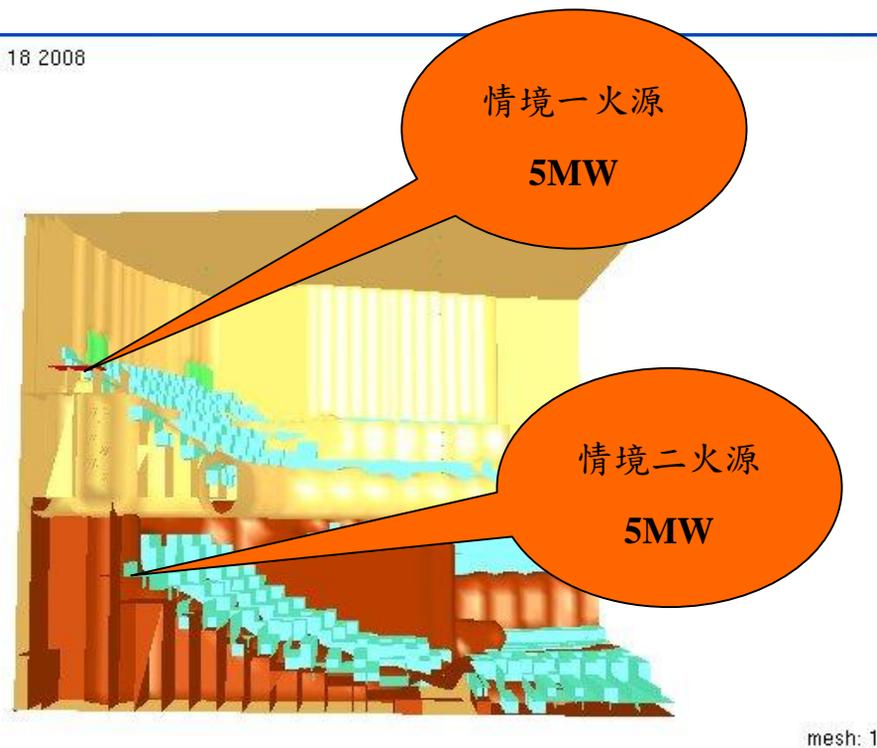


圖 5.1(c) 中劇院火源位置

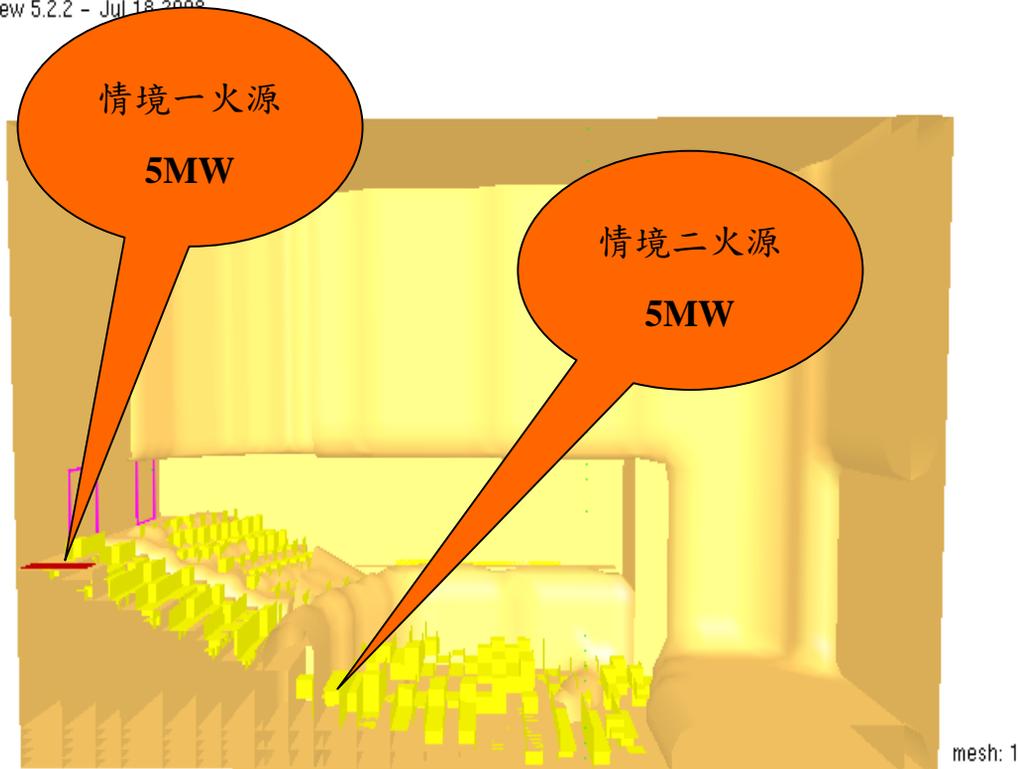
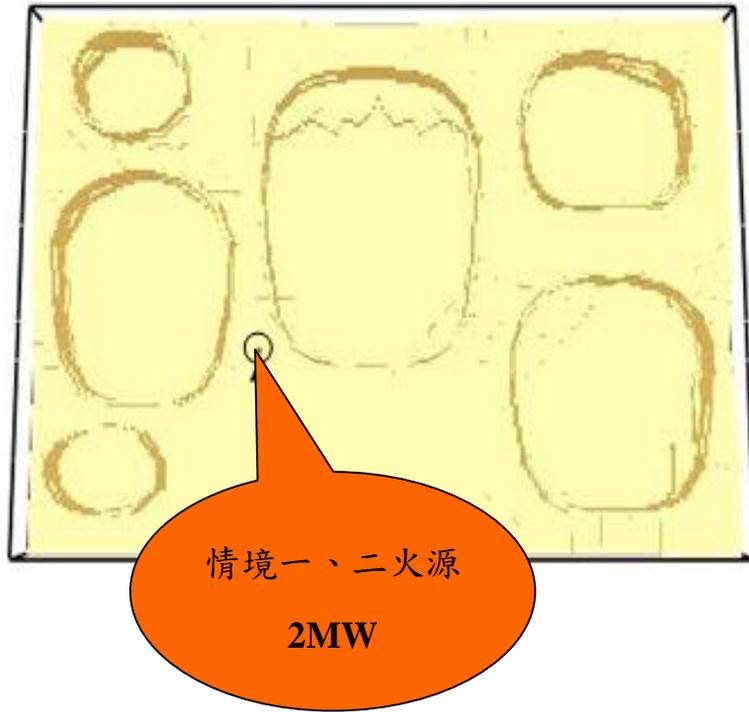


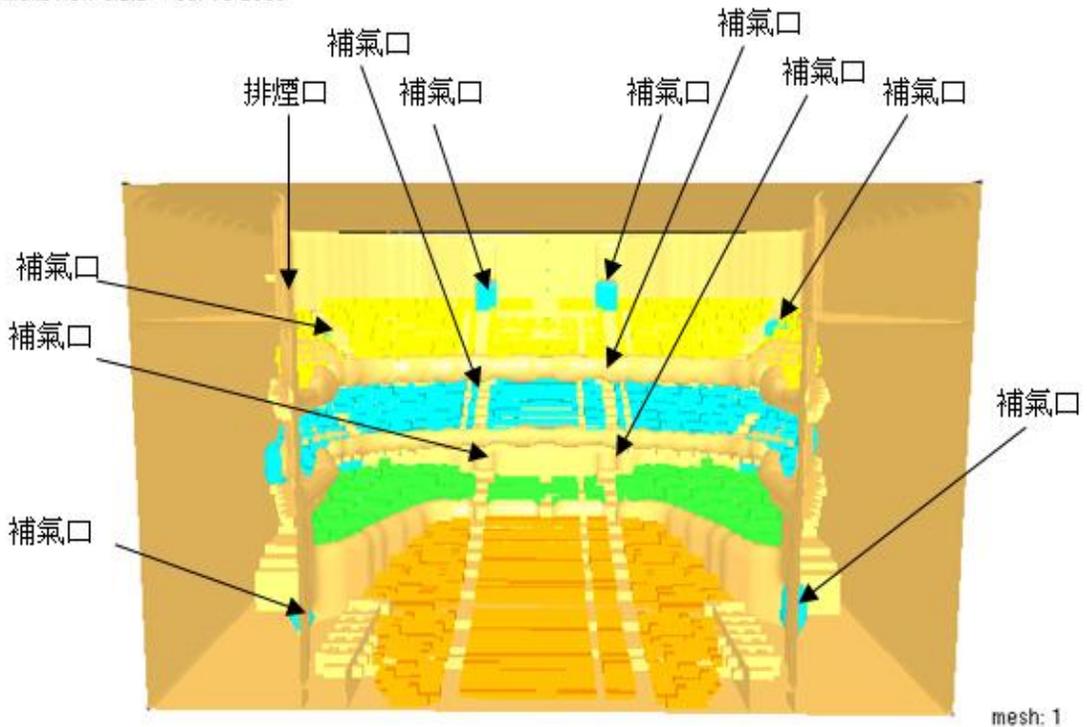
圖 5.1(d) 演奏廳火源位置



mesh: 1



圖 5.1(e) 榕樹廣場火源位置



mesh: 1

圖 5.2 戲劇院排氣口與補氣口位置

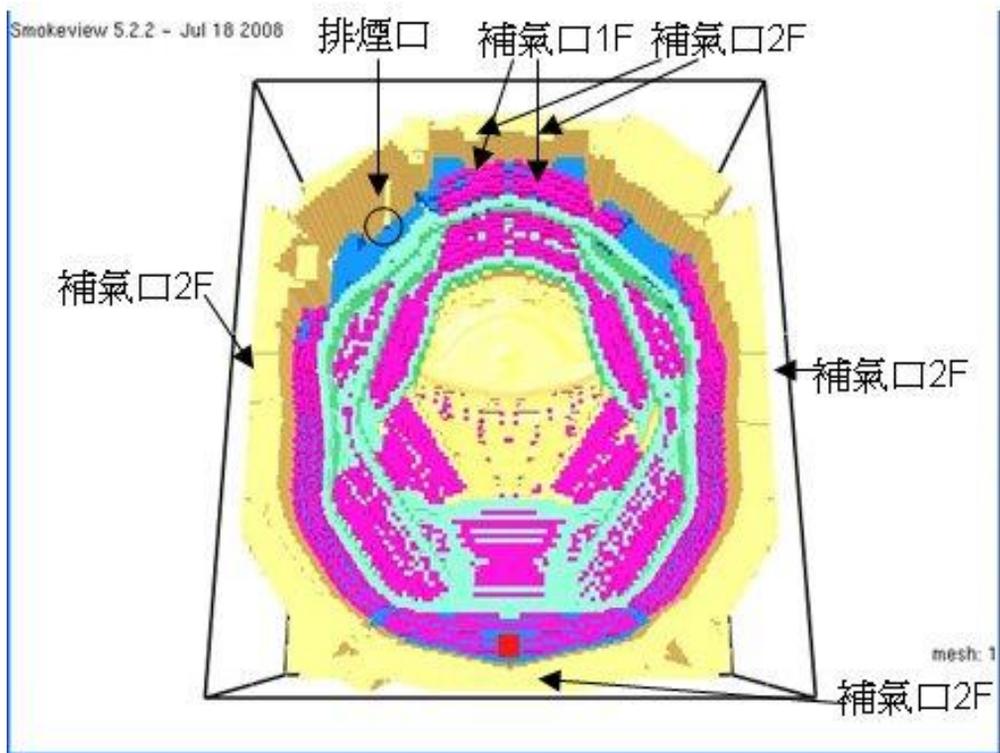


圖 5.3 音樂廳排氣口與補氣口位置

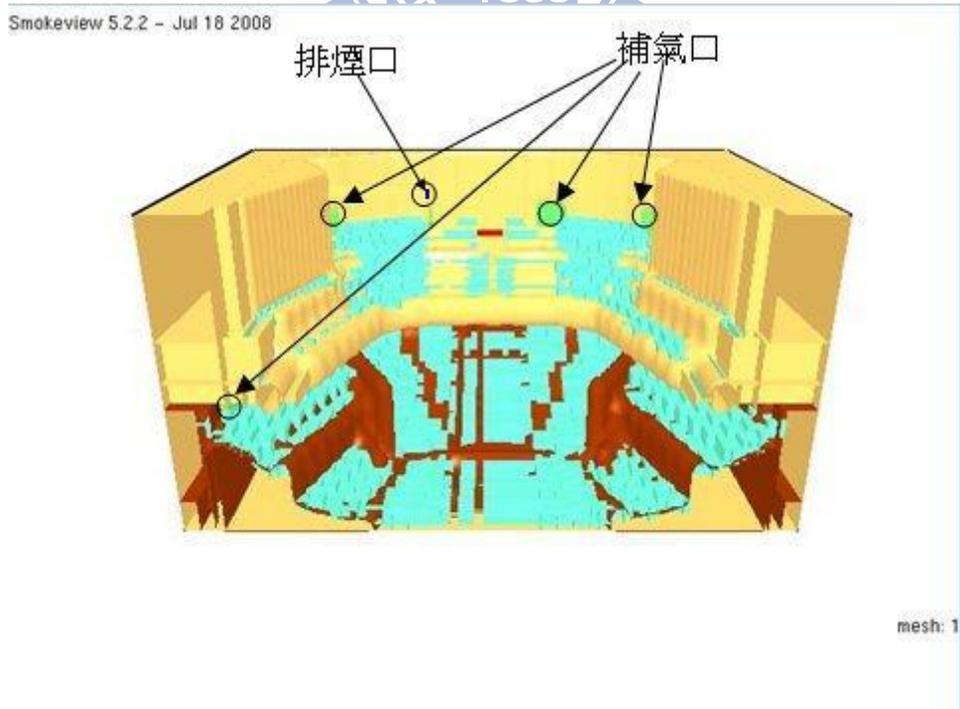


圖 5.4 中劇院排氣口與補氣口位置

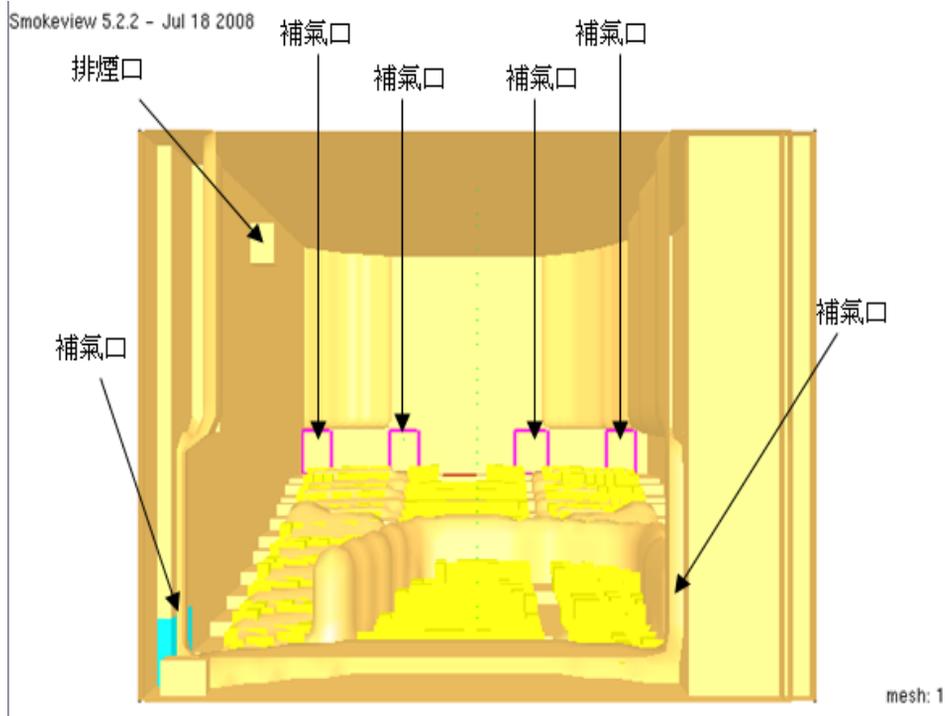


圖 5.5 演奏廳排氣口與補氣口位置

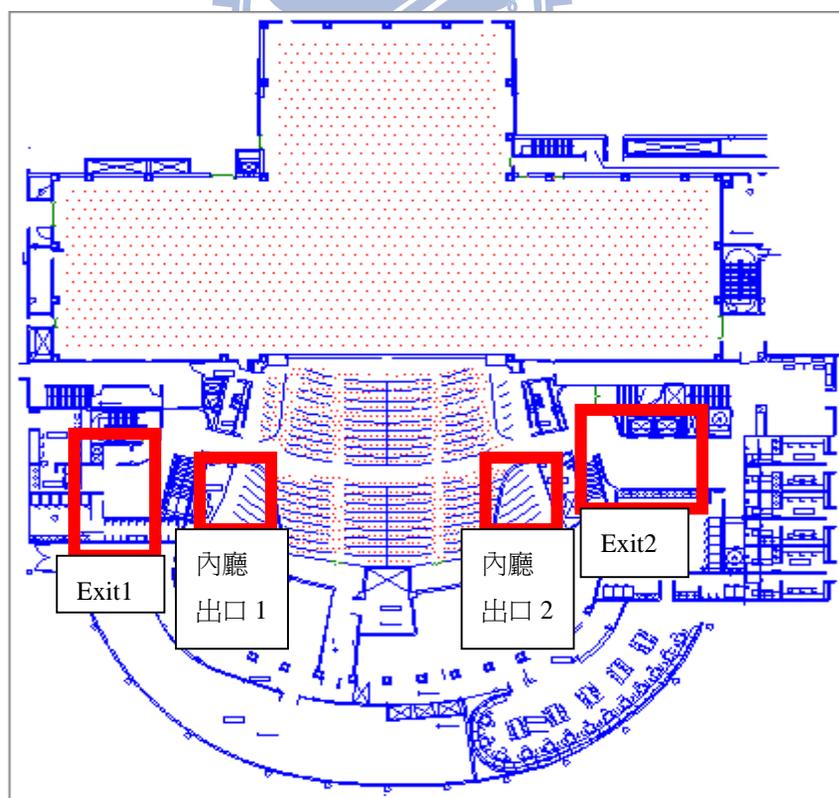


圖 5-6 戲劇院一樓人員分佈

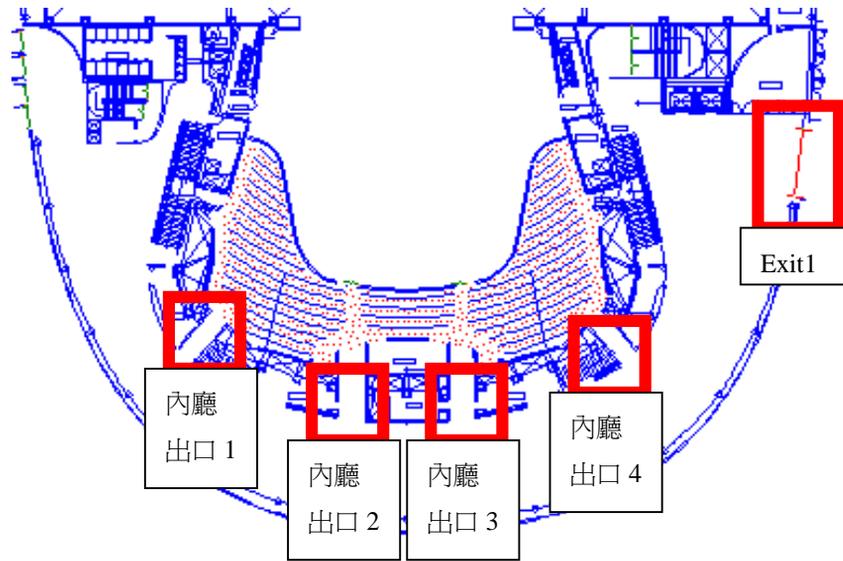


圖 5-7 戲劇院二樓人員分佈

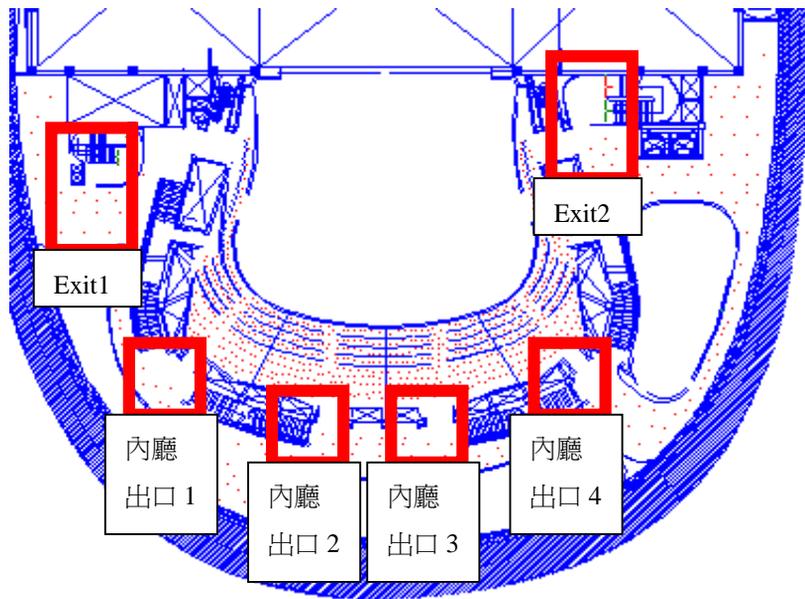


圖 5-8 戲劇院三樓人員分佈

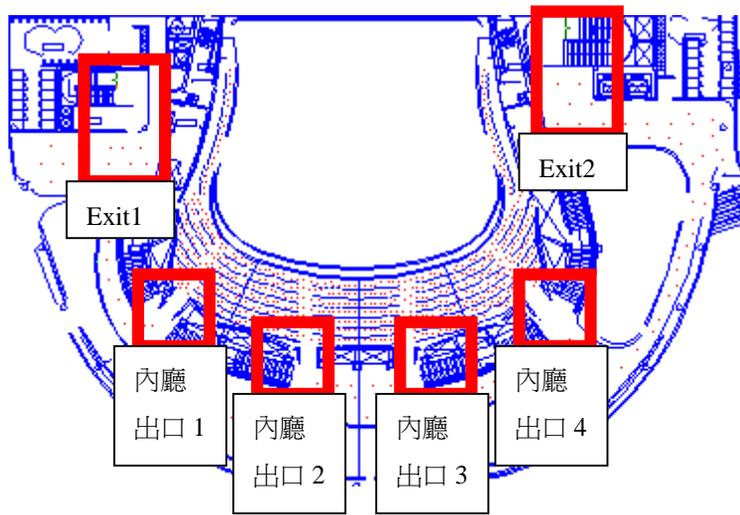


圖 5-9 戲劇院四樓人員分佈

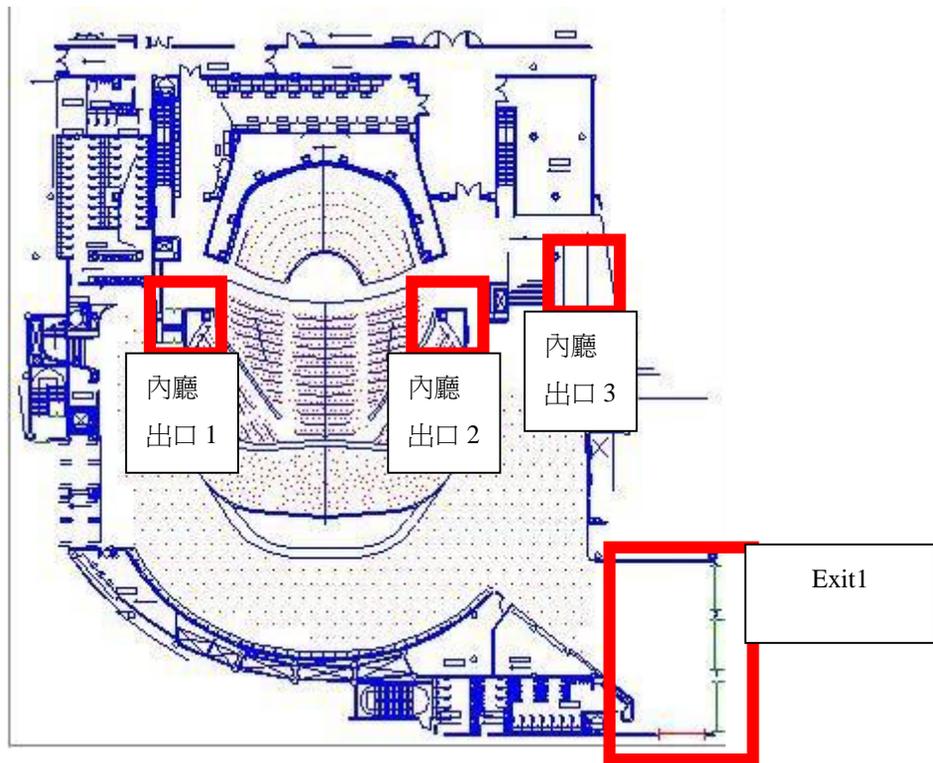


圖 5-10 音樂廳一樓人員分佈

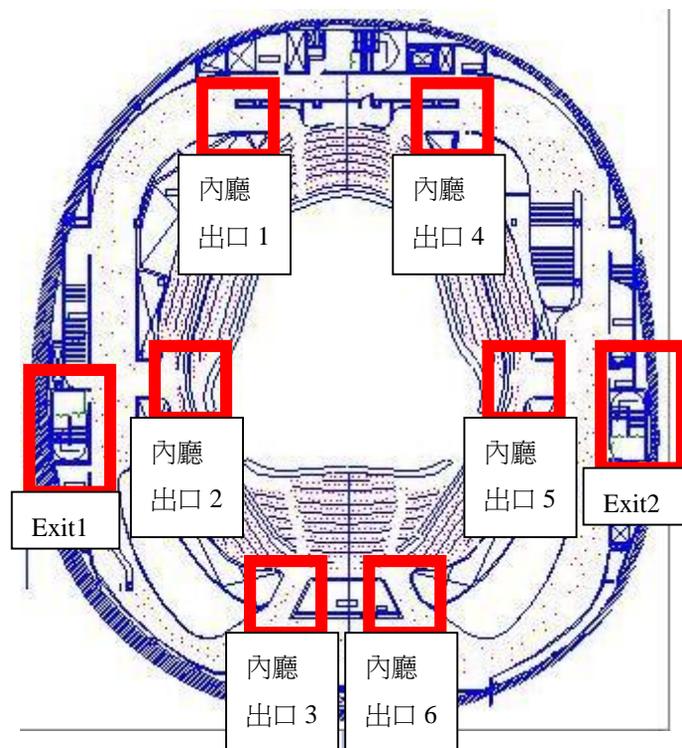


圖 5-11 音樂廳二樓人員分佈

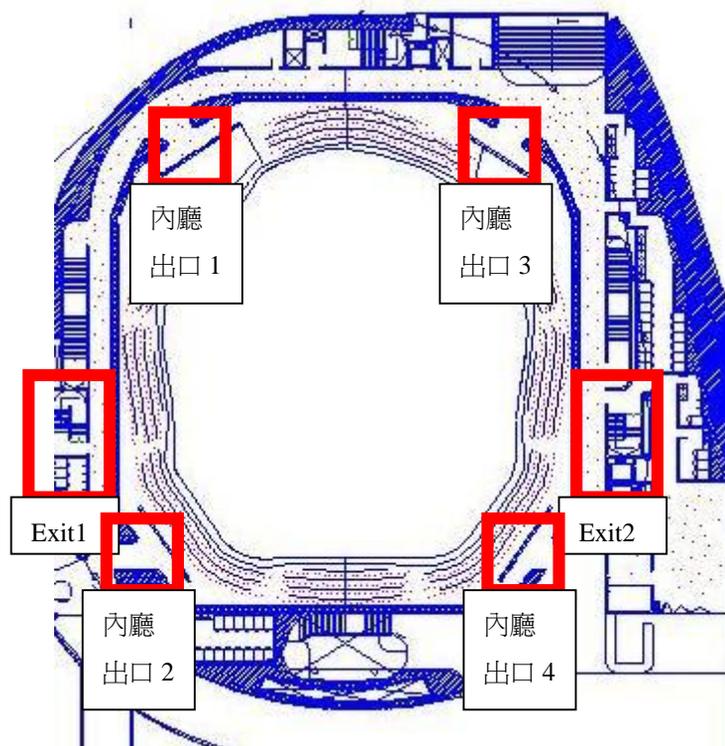


圖 5-12 音樂廳三樓人員分佈

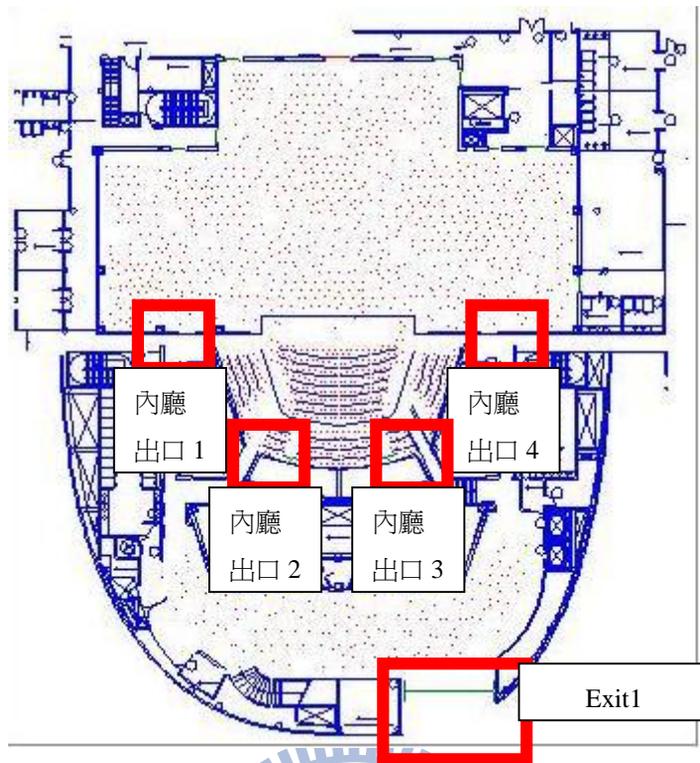


圖 5-13 中劇院一樓人員分佈

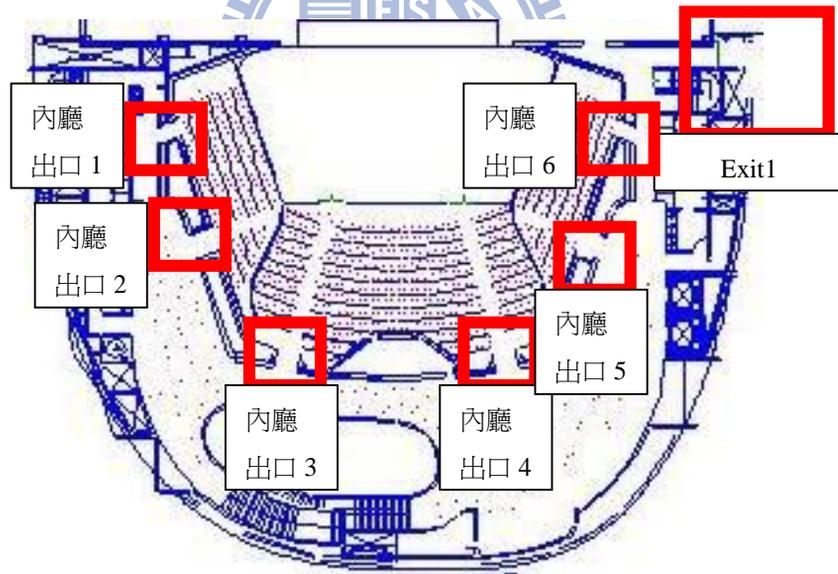


圖 5-14 中劇院二樓人員分佈

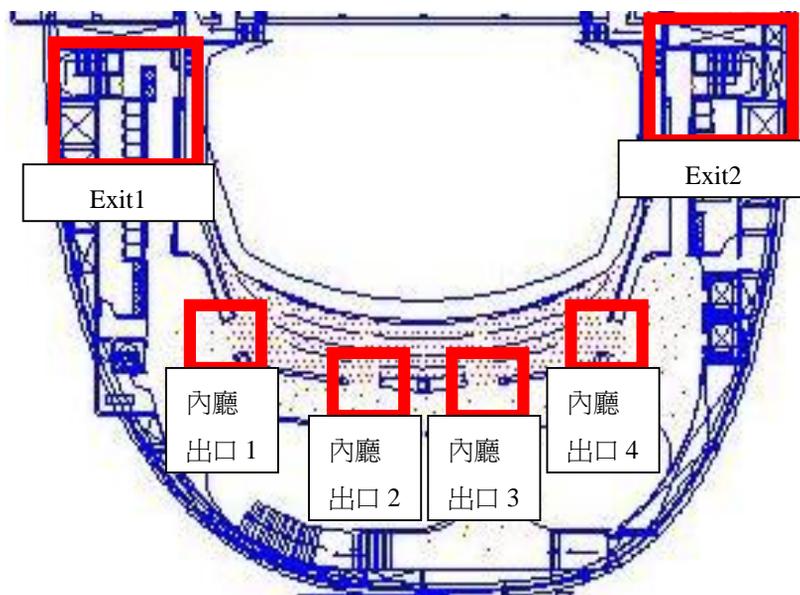


圖 5-15 中劇院三樓人員分佈

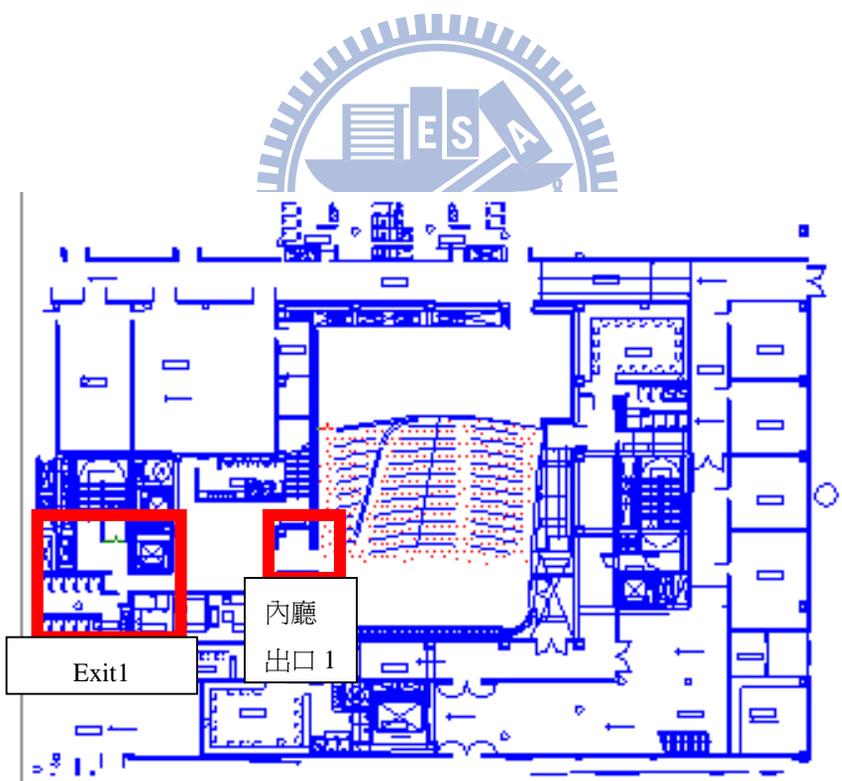


圖 5-16 演奏廳一樓人員分佈

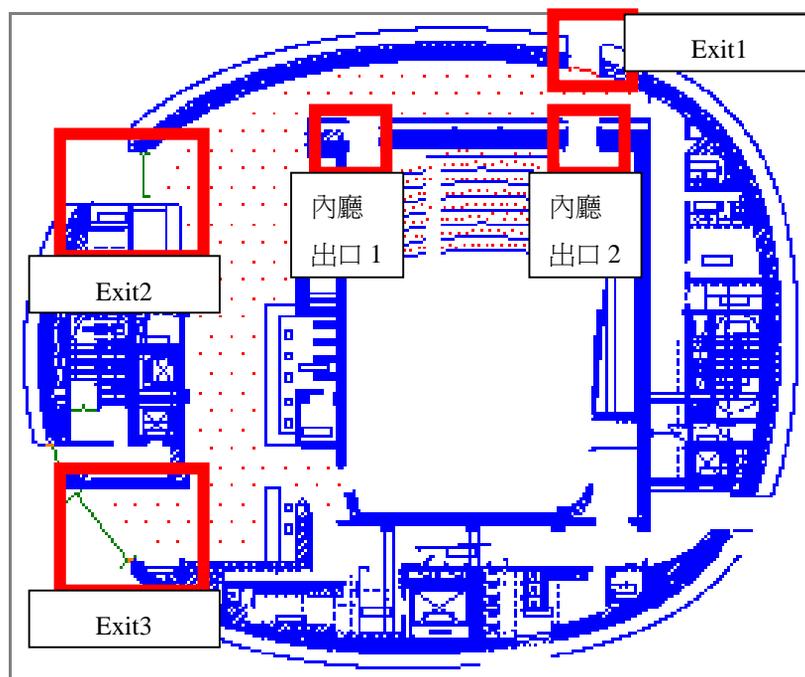


圖 5-17 演奏廳二樓人員分佈

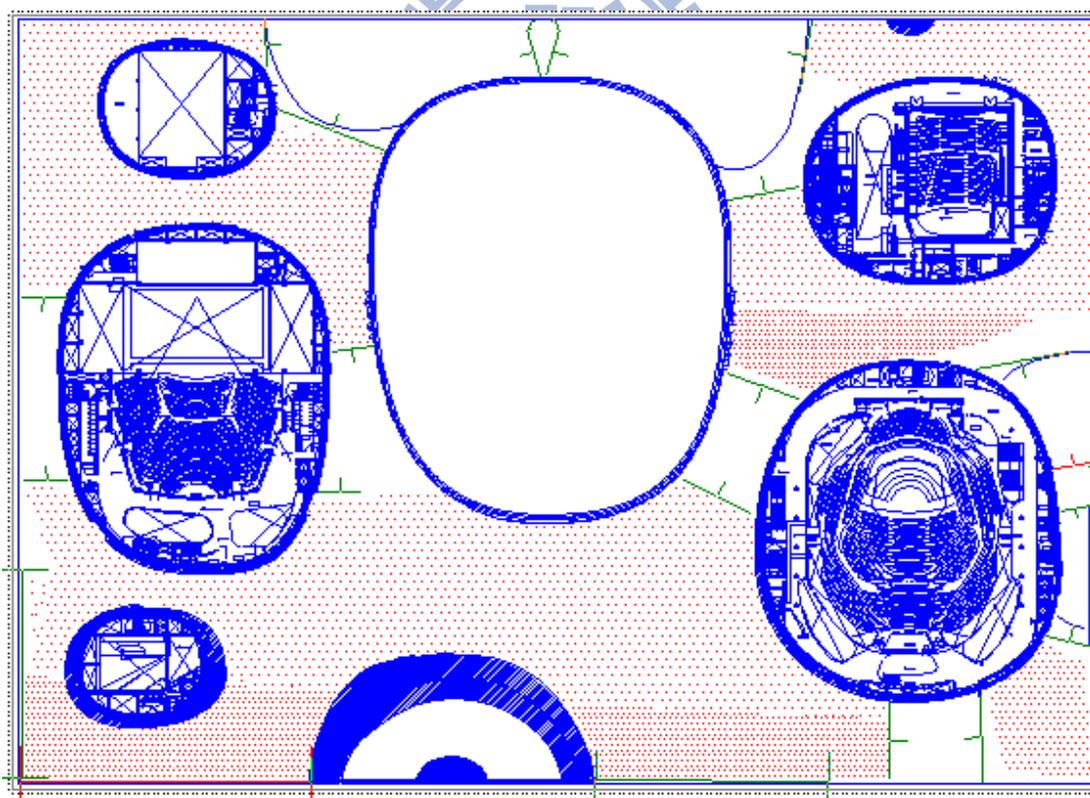


圖 5-18 榕樹廣場人員分佈

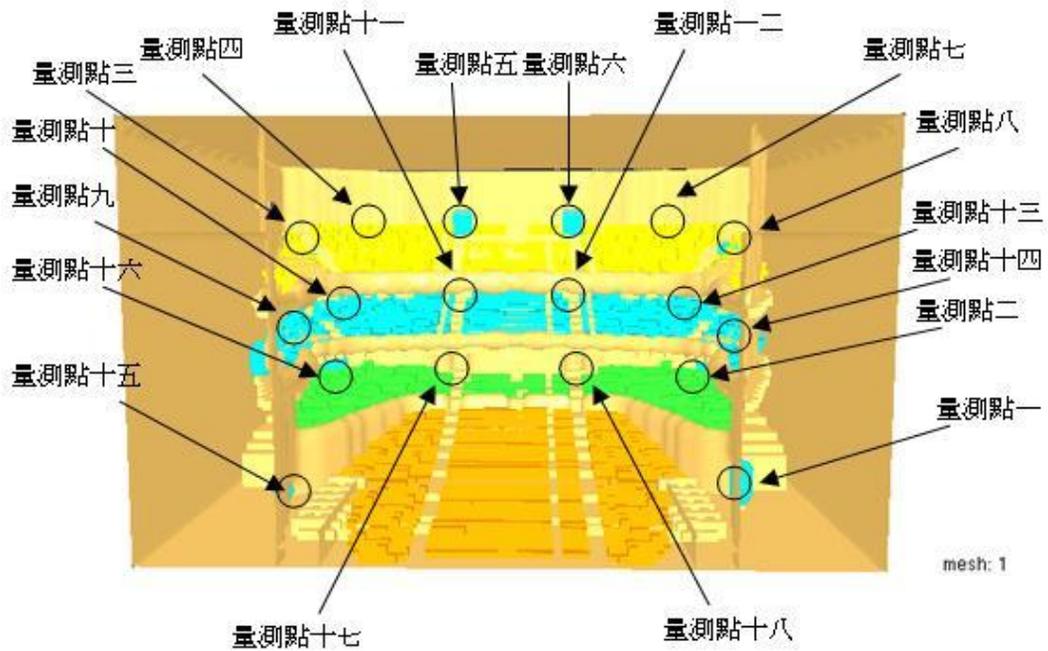


圖 5.19(a) 戲劇院量測點位置

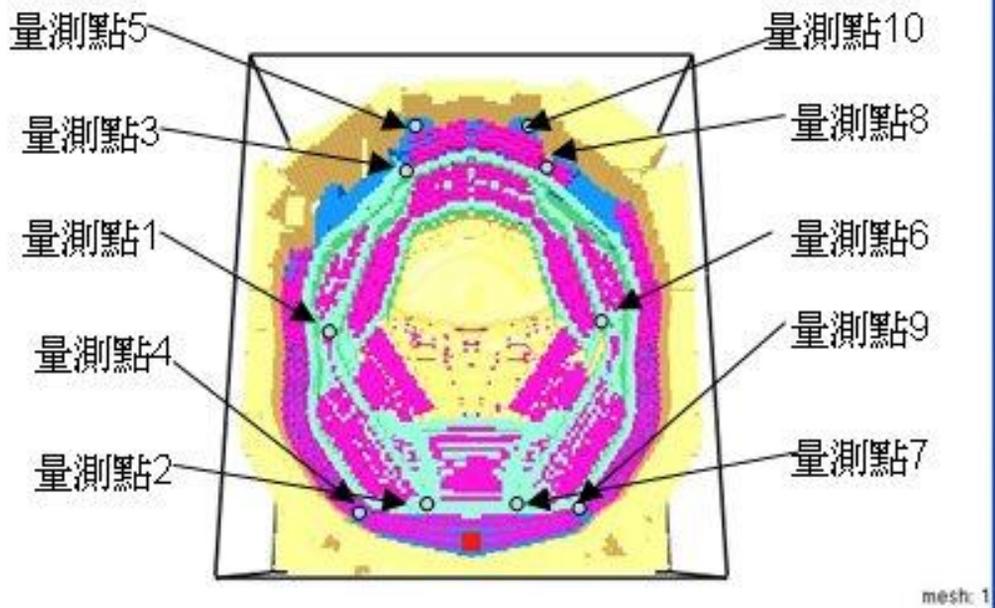


圖 5.19(b) 音樂廳量測點位置

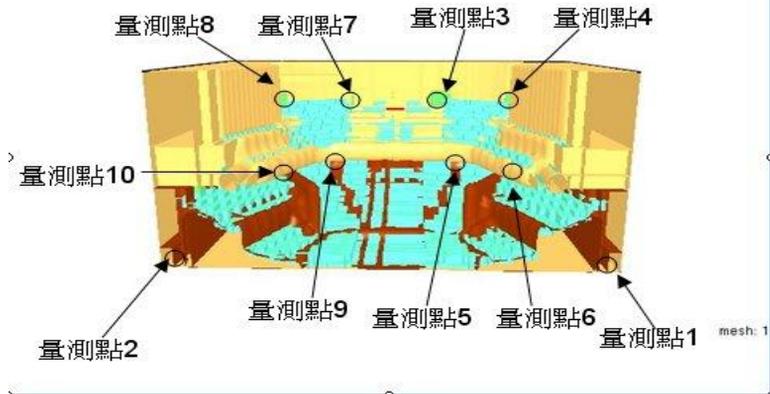


圖 5.19(c)中劇院量測點位置

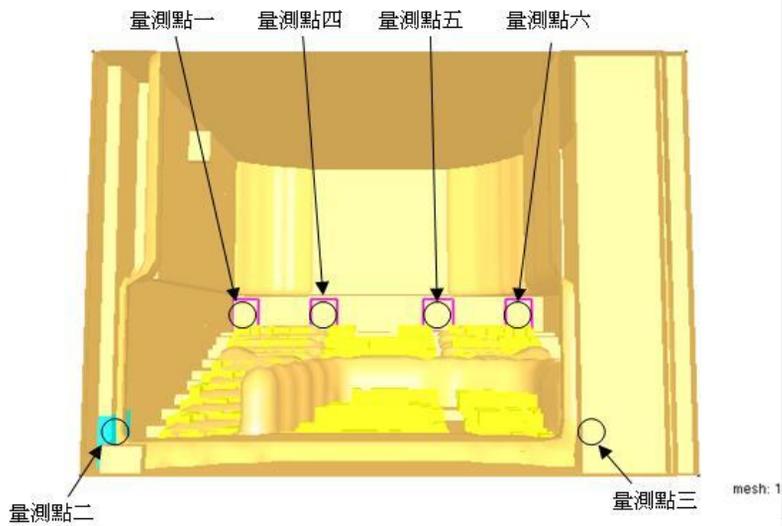
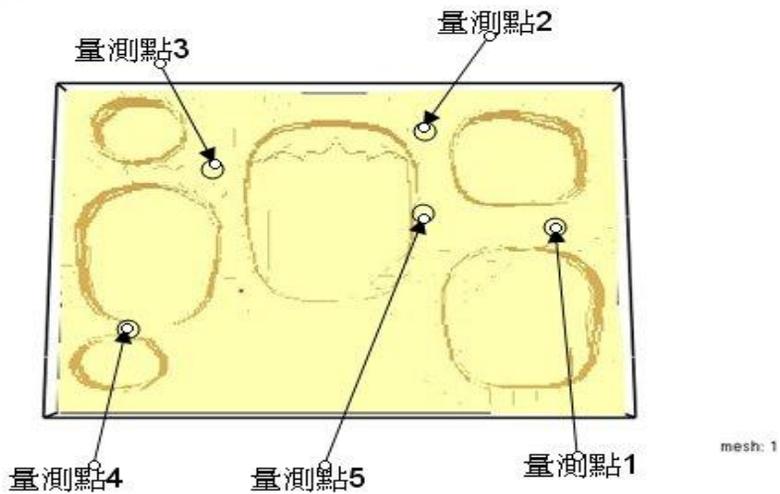


圖 5.19(d)演奏廳量測點位置



5.19(e)榕樹廣場量測點位置

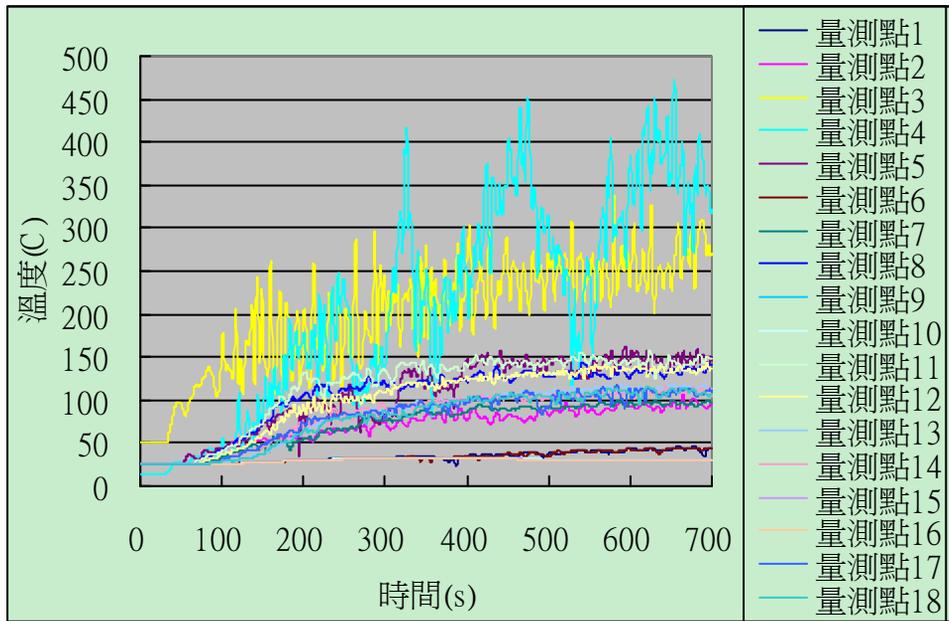


圖 5-20 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境一)

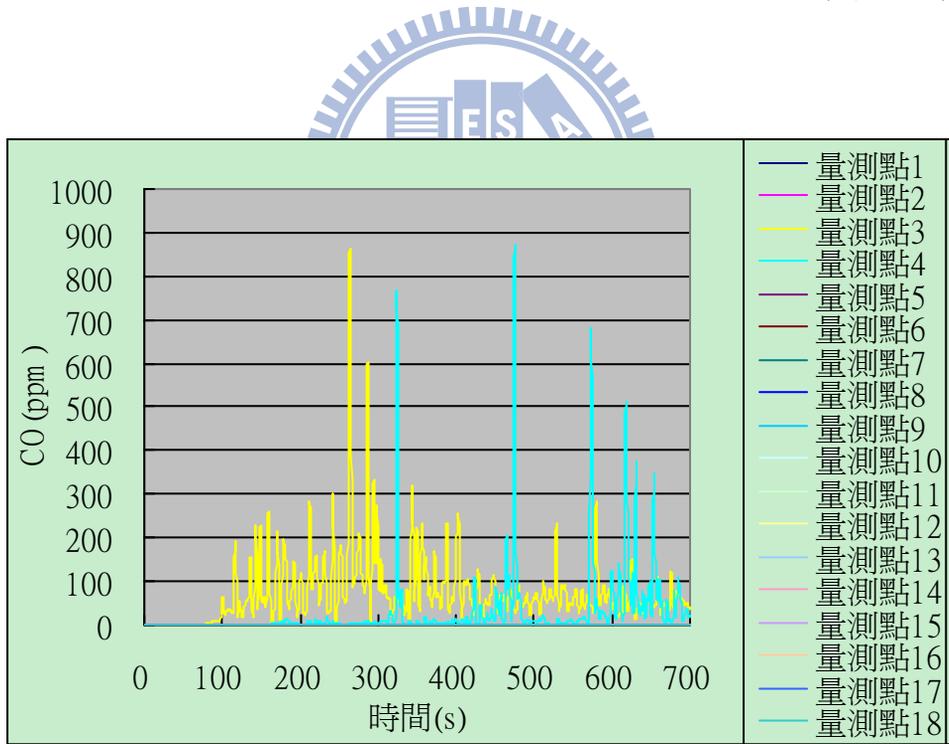


圖 5-21 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境一)

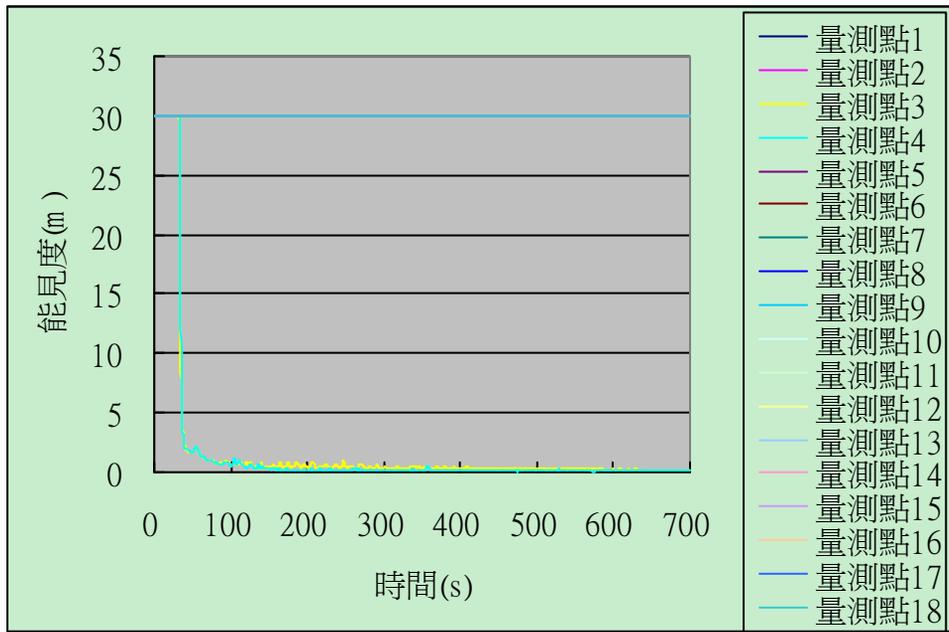


圖 5-22 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境一)

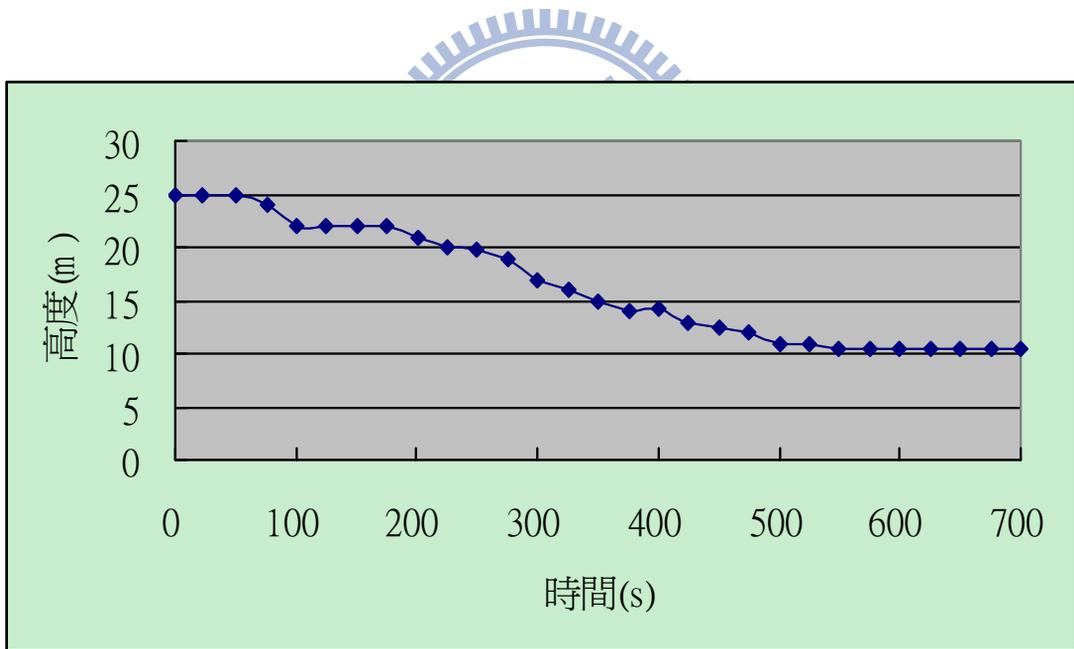


圖 5-23 戲劇院煙層高度圖(情境一)

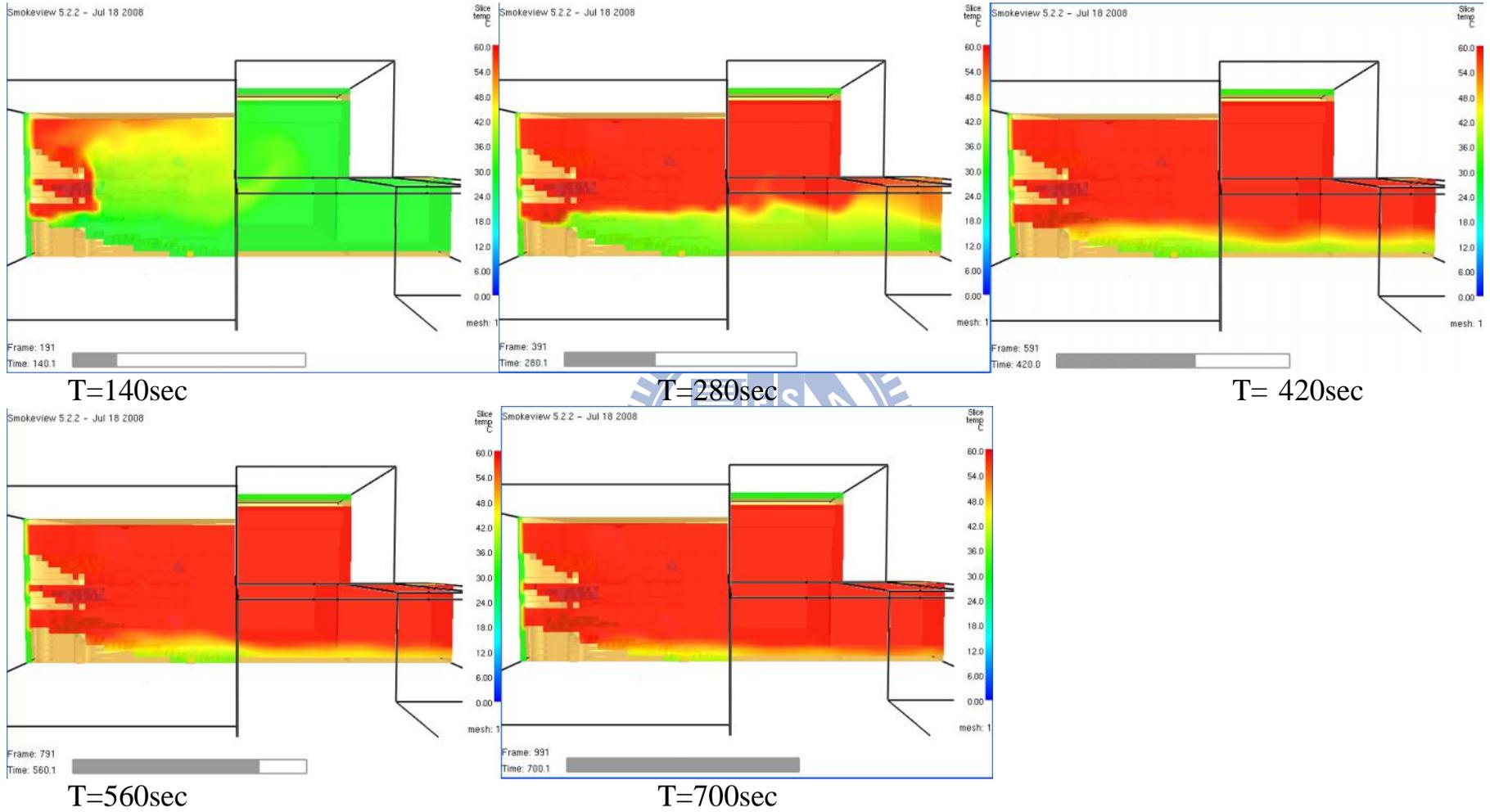
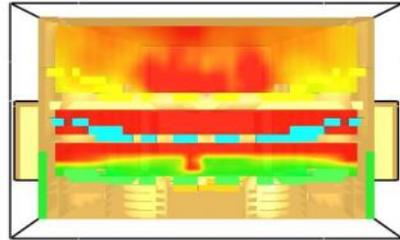


圖 5-24 戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境一)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



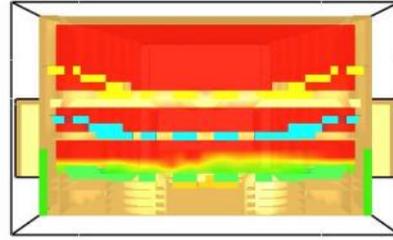
Frame: 191
Time: 140.1

T=140sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Slice temp
C
60.0
54.0
48.0
42.0
36.0
30.0
24.0
18.0
12.0
6.00
0.00



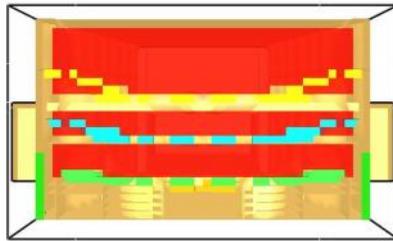
mesh: 1

Frame: 391
Time: 280.1

T=280sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Slice temp
C
60.0
54.0
48.0
42.0
36.0
30.0
24.0
18.0
12.0
6.00
0.00



mesh: 1

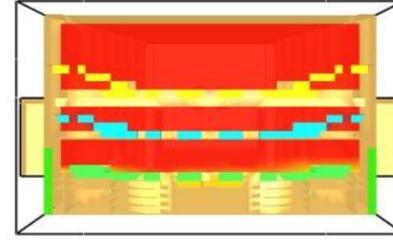
Frame: 791
Time: 560.1

T=560sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Slice temp
C
60.0
54.0
48.0
42.0
36.0
30.0
24.0
18.0
12.0
6.00
0.00



mesh: 1

Frame: 591
Time: 420.0

T=420sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Slice temp
C
60.0
54.0
48.0
42.0
36.0
30.0
24.0
18.0
12.0
6.00
0.00

Frame: 991
Time: 700.1

T=700sec

圖 5-25 戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面(情境一)

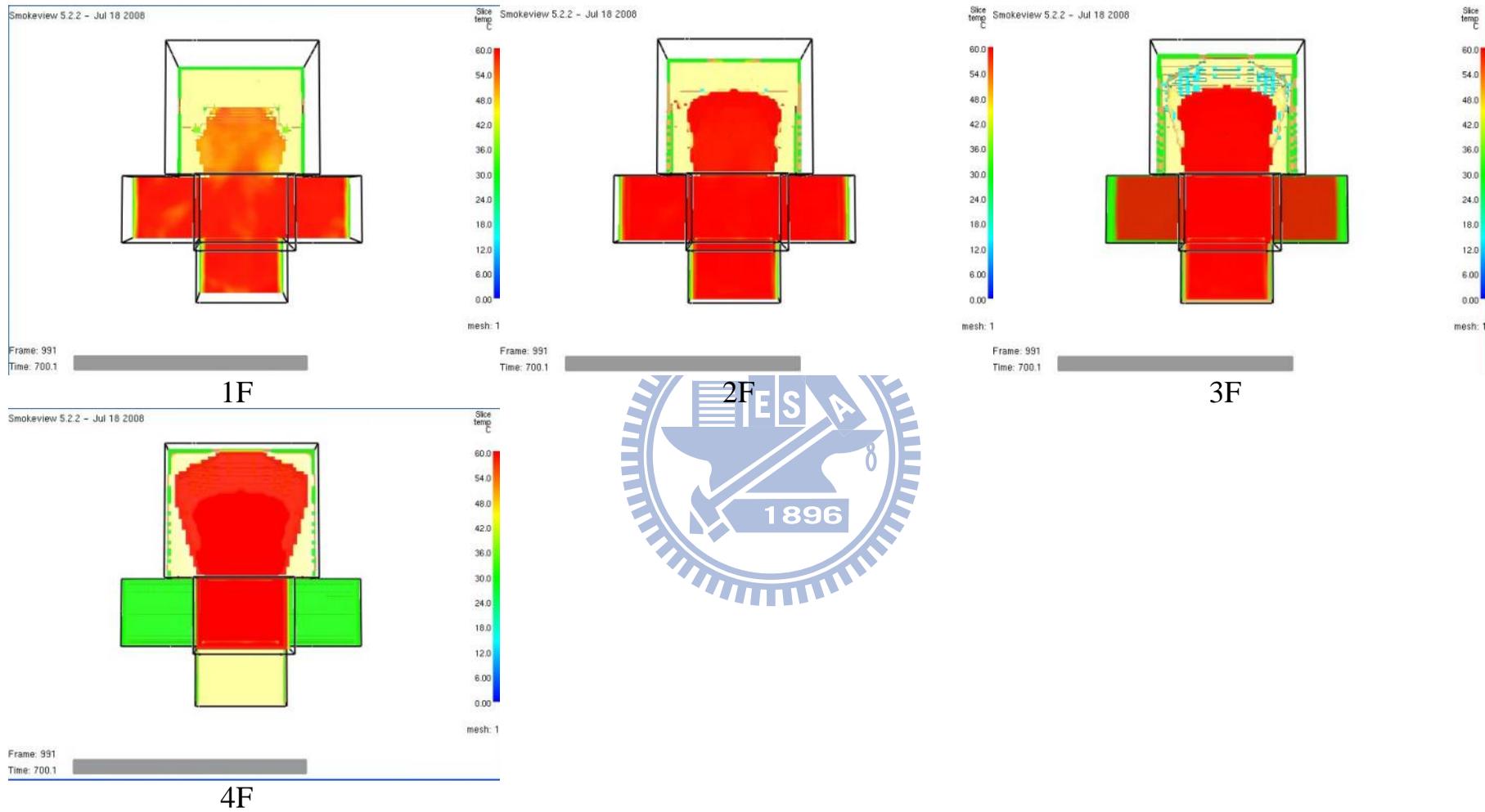


圖 5-26 戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境一)

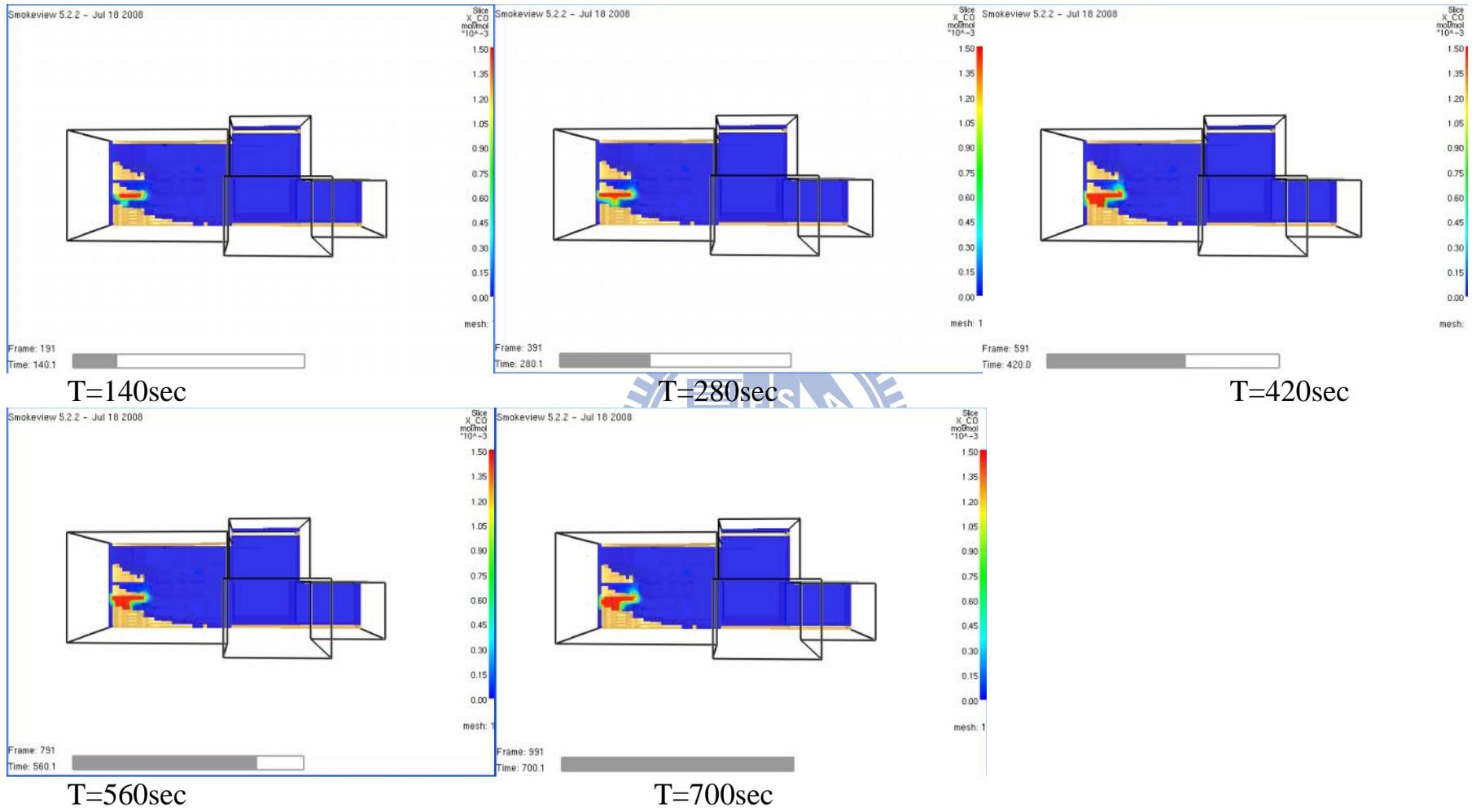


圖 5-27 戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境一)

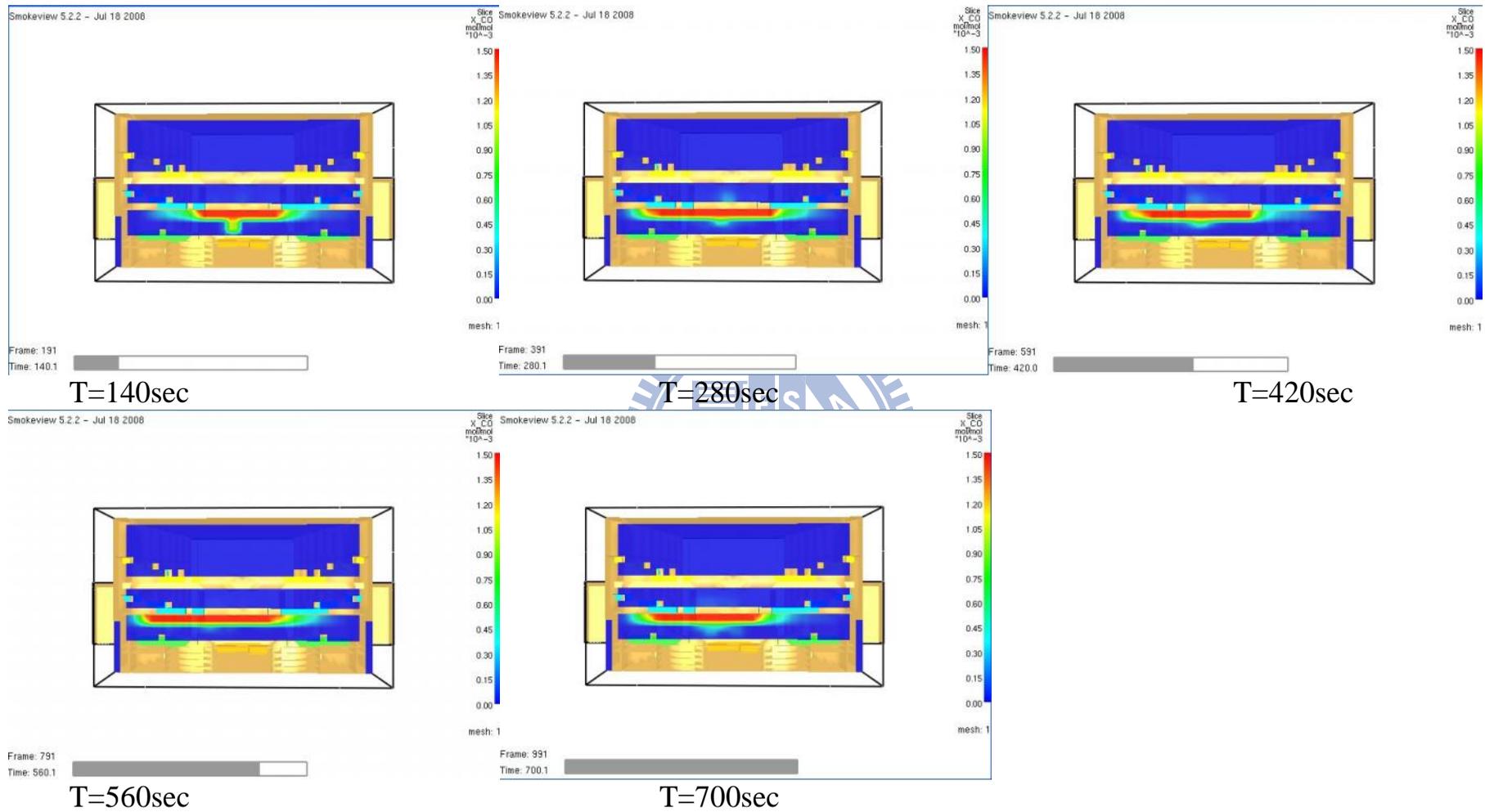
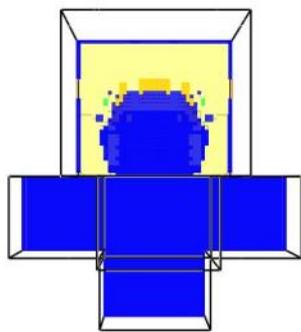


圖 5-28 戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境一)

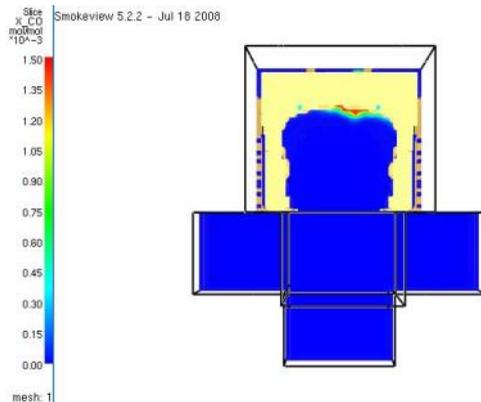
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 991
Time: 700.1

1F

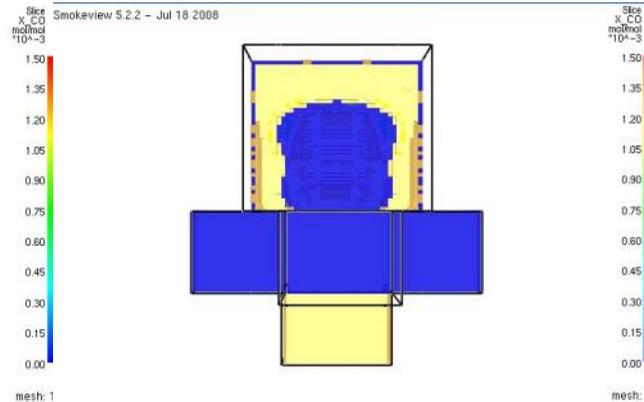
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 991
Time: 700.1

2F

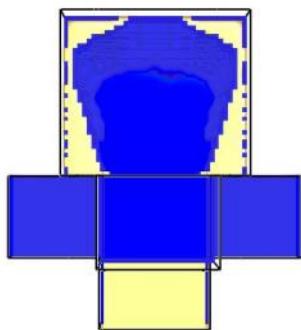
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 991
Time: 700.1

3F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 991
Time: 700.1

4F

Scale
x_CO
mol/mol
 10^{-3}
1.50
1.35
1.20
1.05
0.90
0.75
0.60
0.45
0.30
0.15
0.00
mesh: 1



圖 5-29 戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面 (情境一)

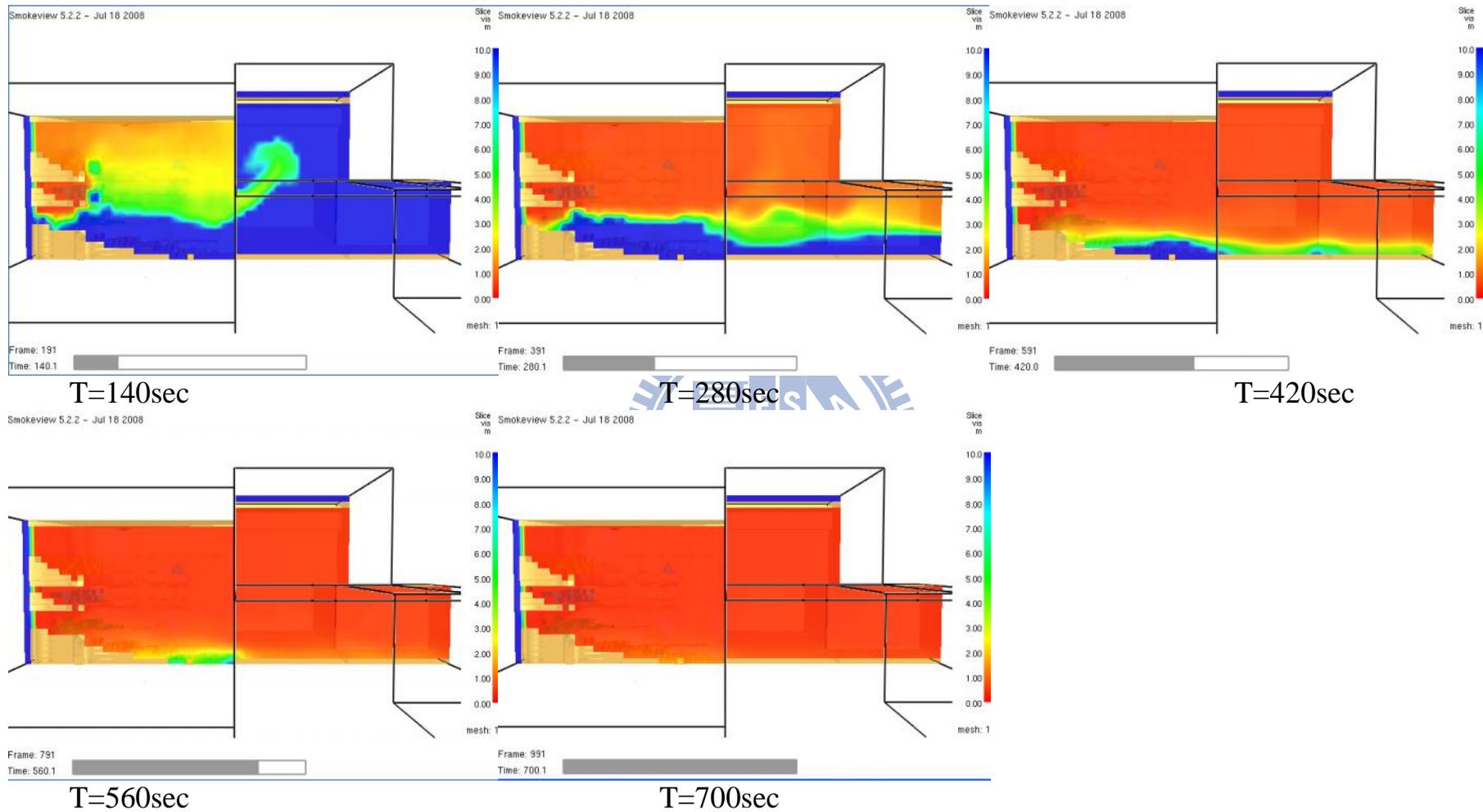


圖 5-30 戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境一)

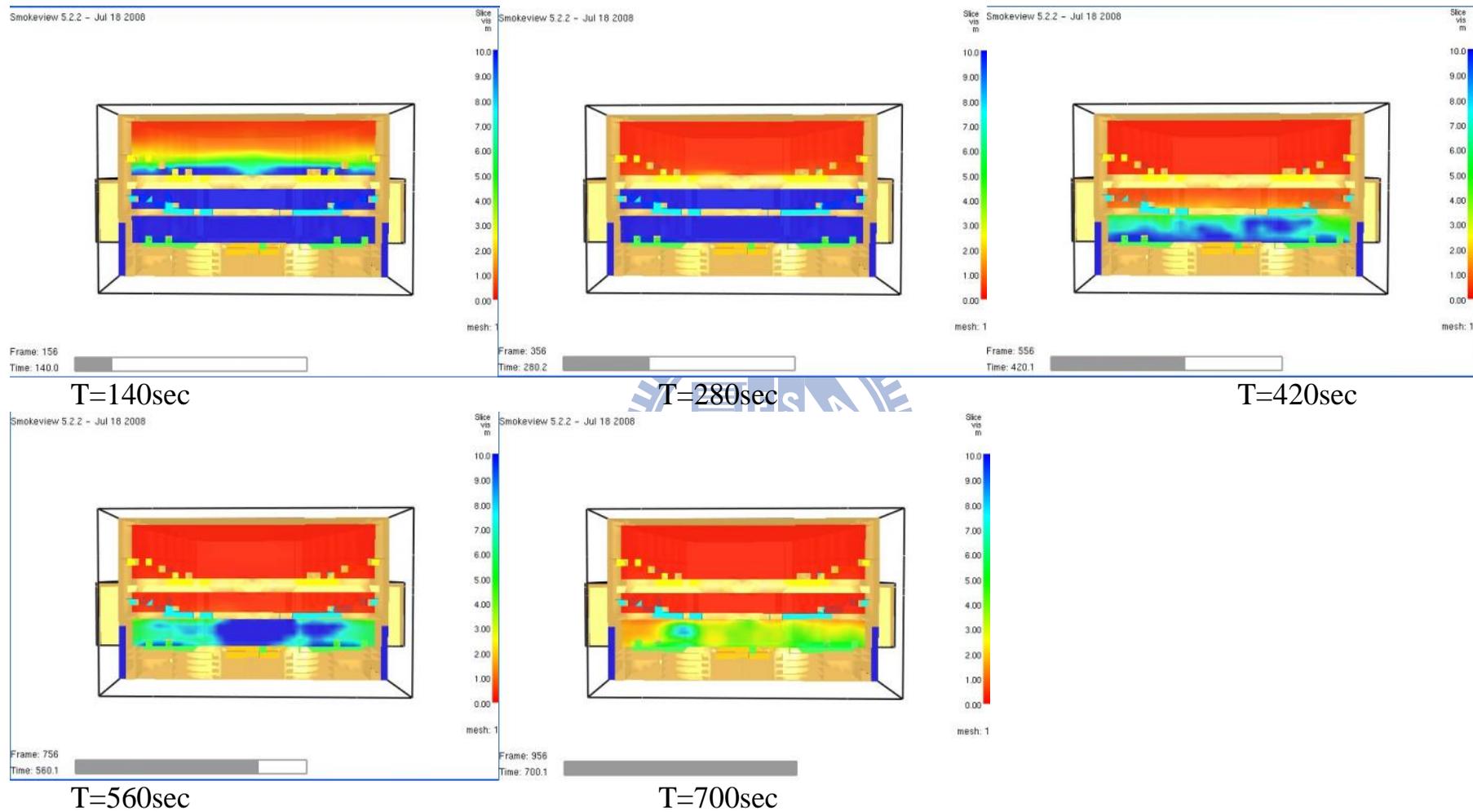
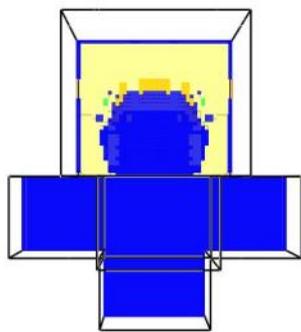


圖 5-31 戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境一)

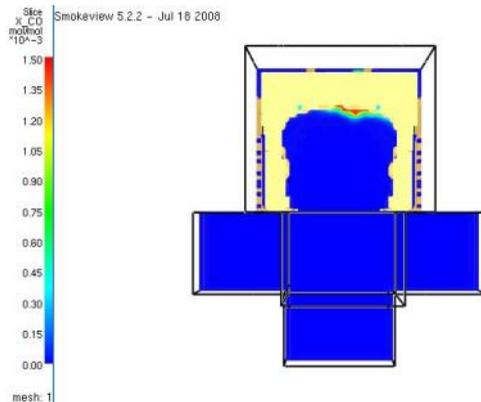
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 991
Time: 700.1

1F

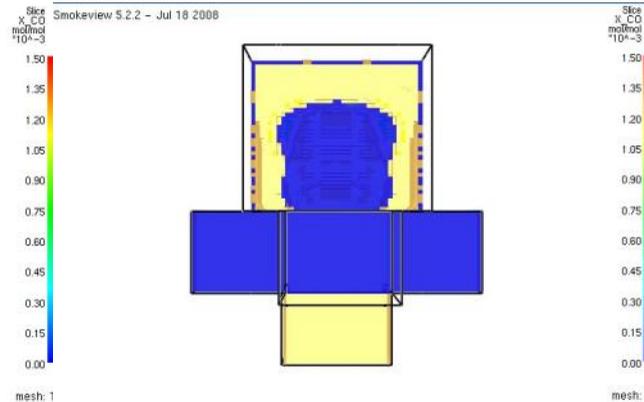
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 991
Time: 700.1

2F

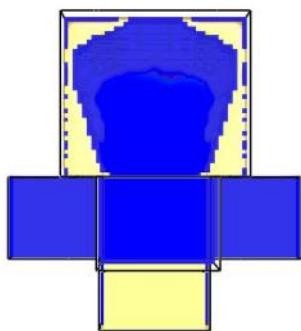
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 991
Time: 700.1

3F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



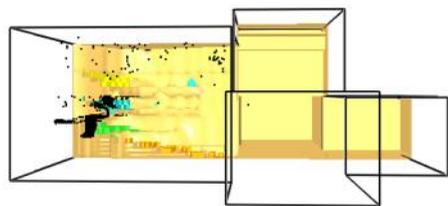
Frame: 991
Time: 700.1

4F



圖 5-32 戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境一)

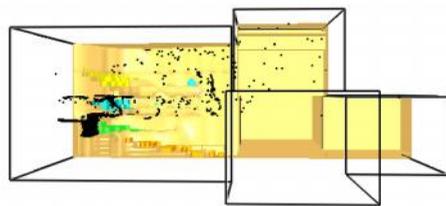
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 191
Time: 140.1

T=140sec

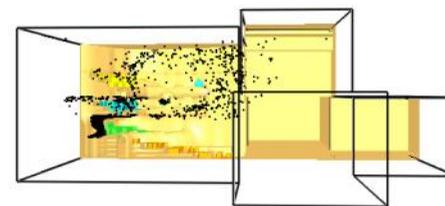
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 391
Time: 280.1

T=280sec

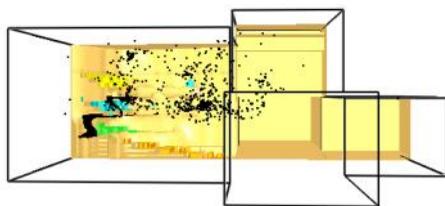
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 591
Time: 420.0

T=420sec

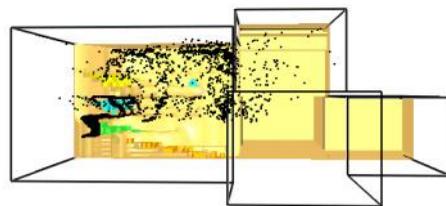
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 791
Time: 560.1

T=560sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 991
Time: 700.1

T=700sec

圖 5-33 戲劇院煙粒子分佈圖(情境一)

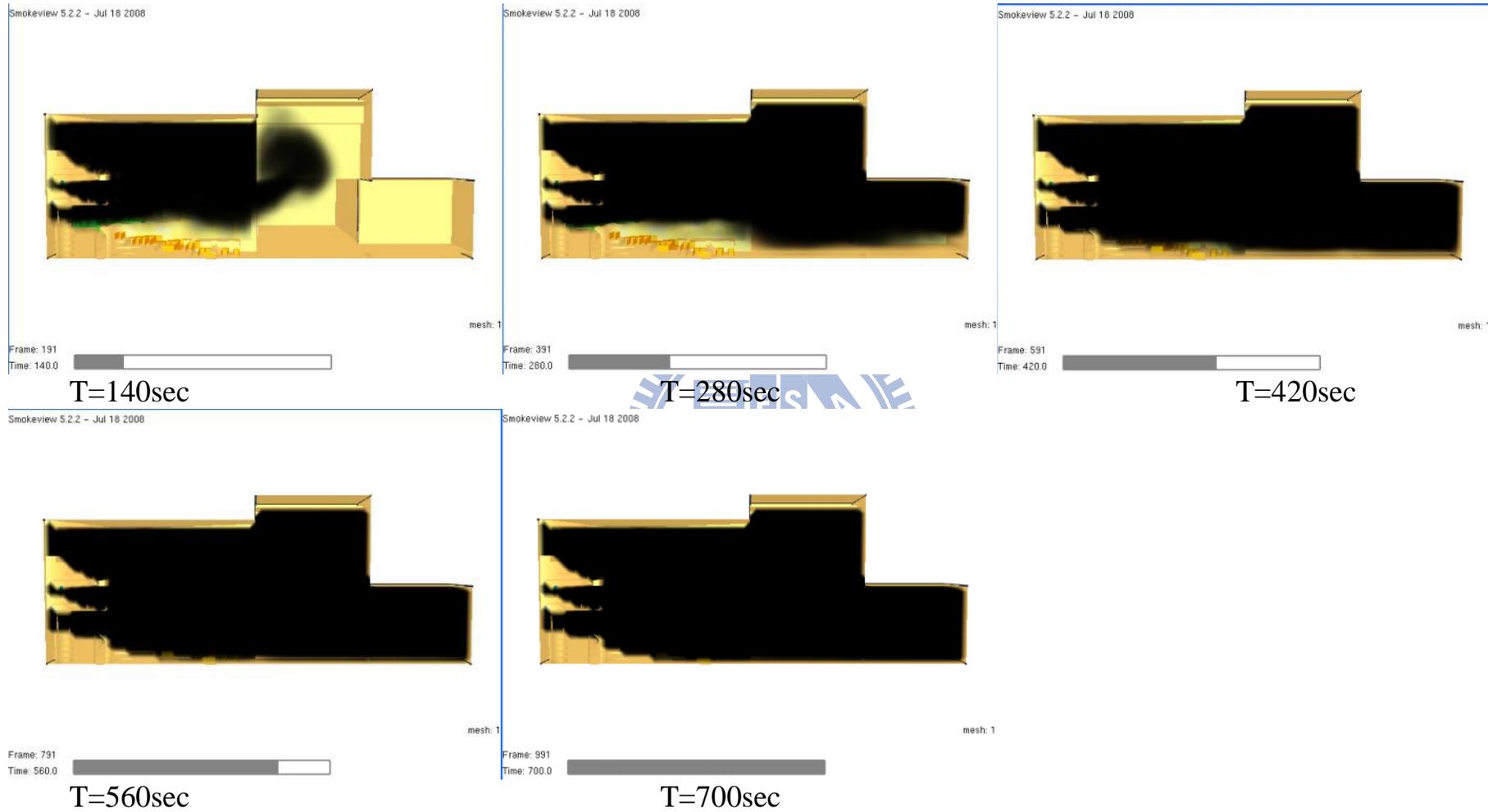
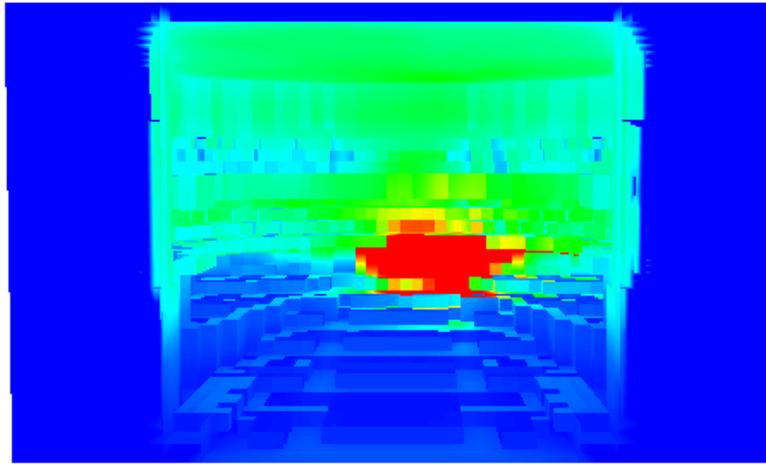


圖 5-34 戲劇院煙塵分佈圖(情境一)

Bndry
rad
kW/m²



mesh: 5



Frame: 500

Time: 700.1



圖 5-35 戲劇院熱輻射分佈圖(情境一)



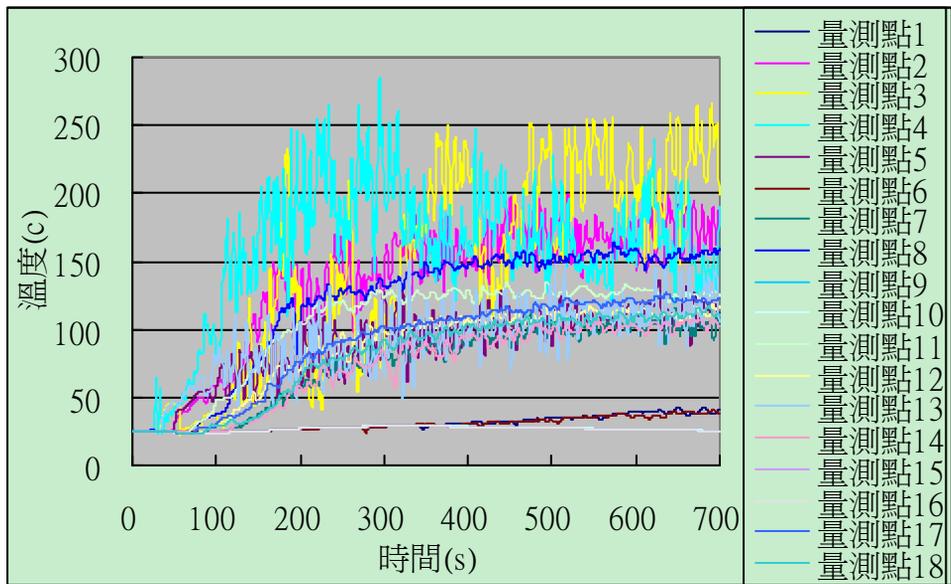


圖 5-36 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境二)

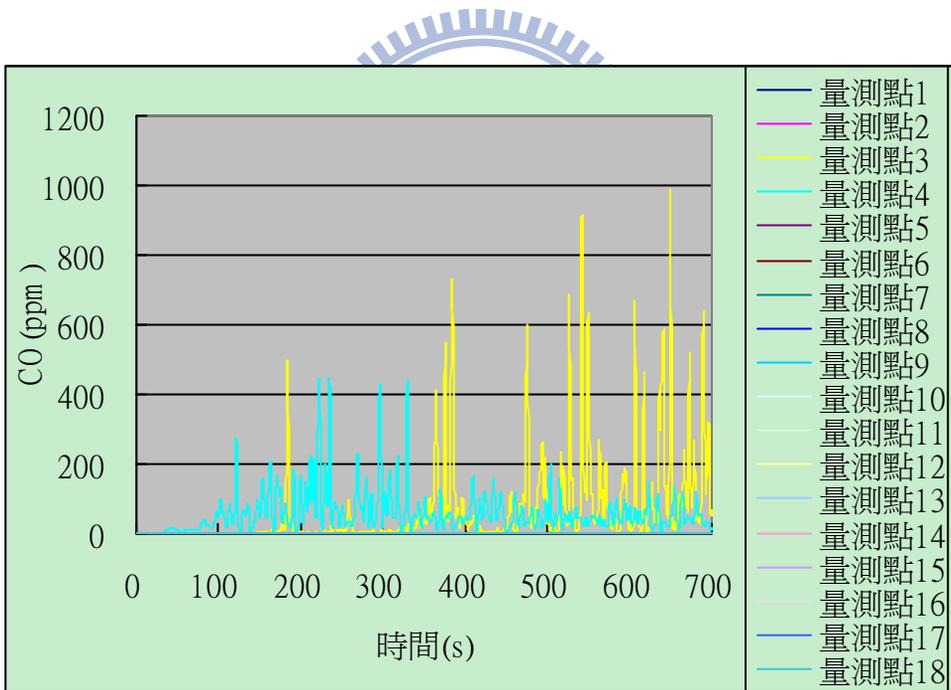


圖 5-37 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境二)

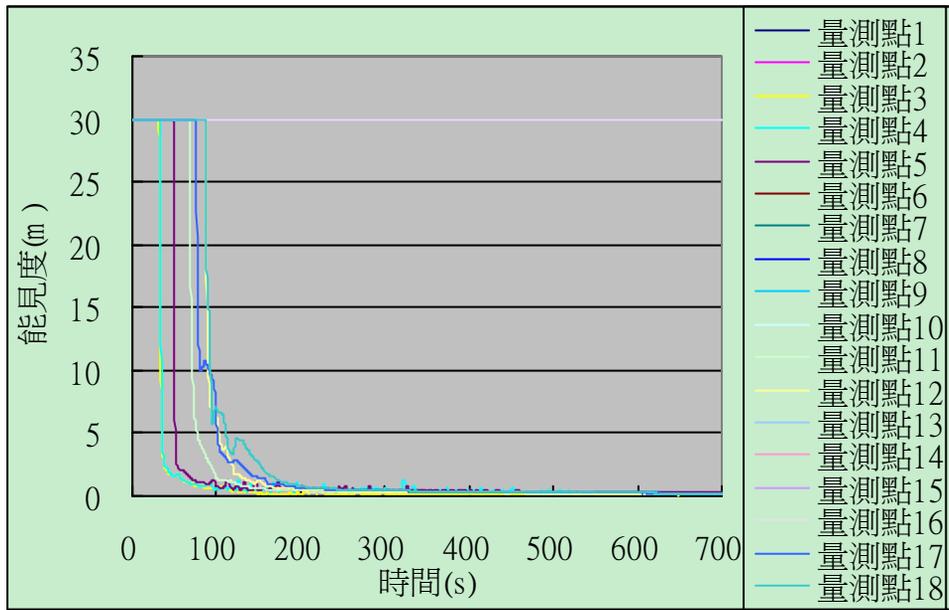


圖 5-38 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境二)

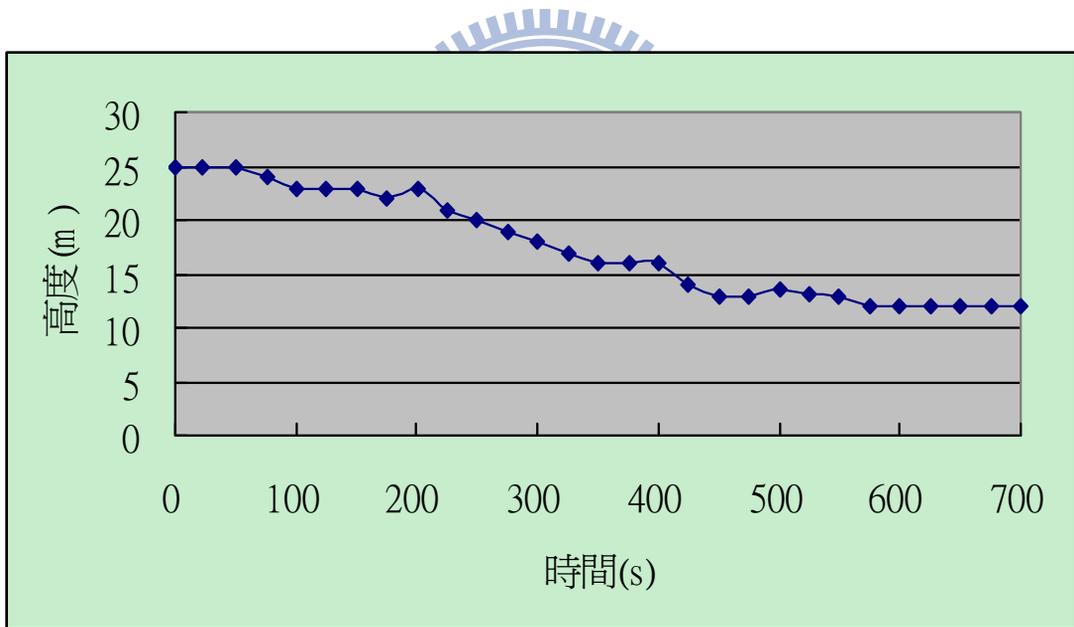


圖 5-39 戲劇院煙層高度圖(情境二)

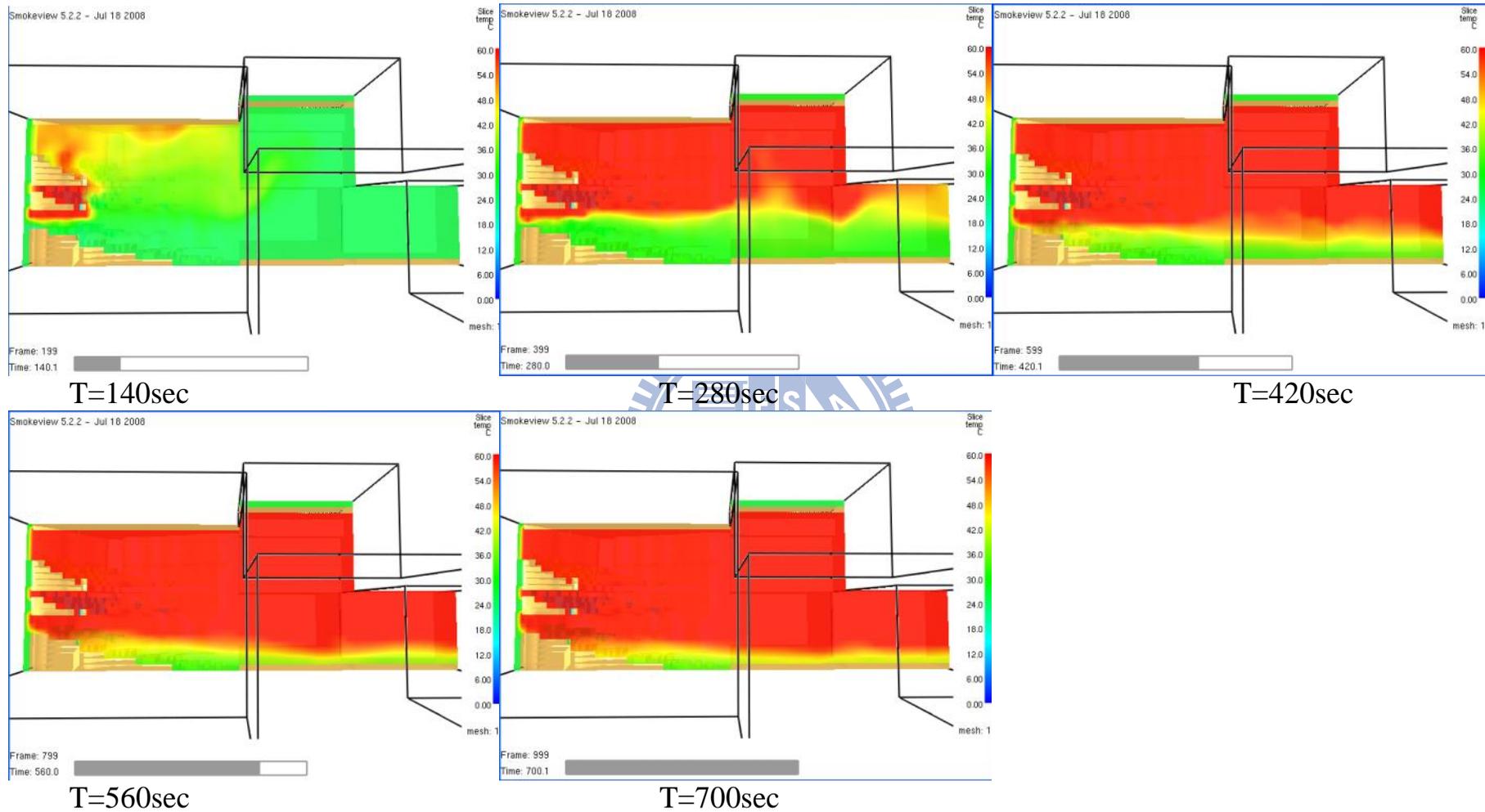
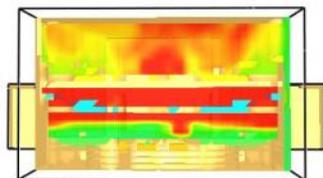


圖 5-40 戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境二)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

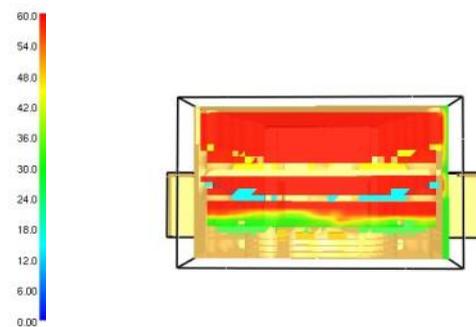


Frame: 199
Time: 140.1

T=140sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

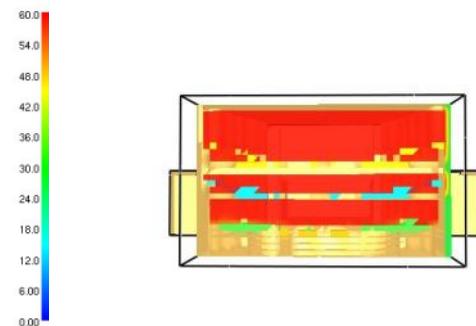
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 399
Time: 280.0

T=280sec

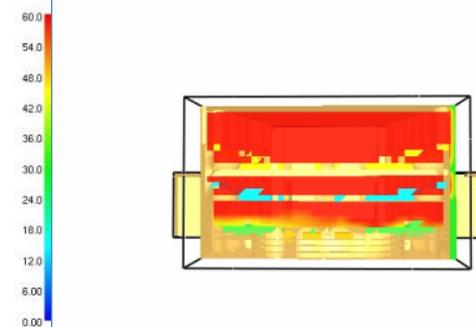
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 799
Time: 560.0

T=560sec

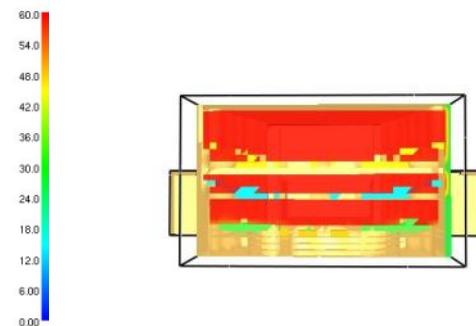
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 599
Time: 420.1

T=420sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 999
Time: 700.1

T=700sec

圖 5-41 戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面(情境二)

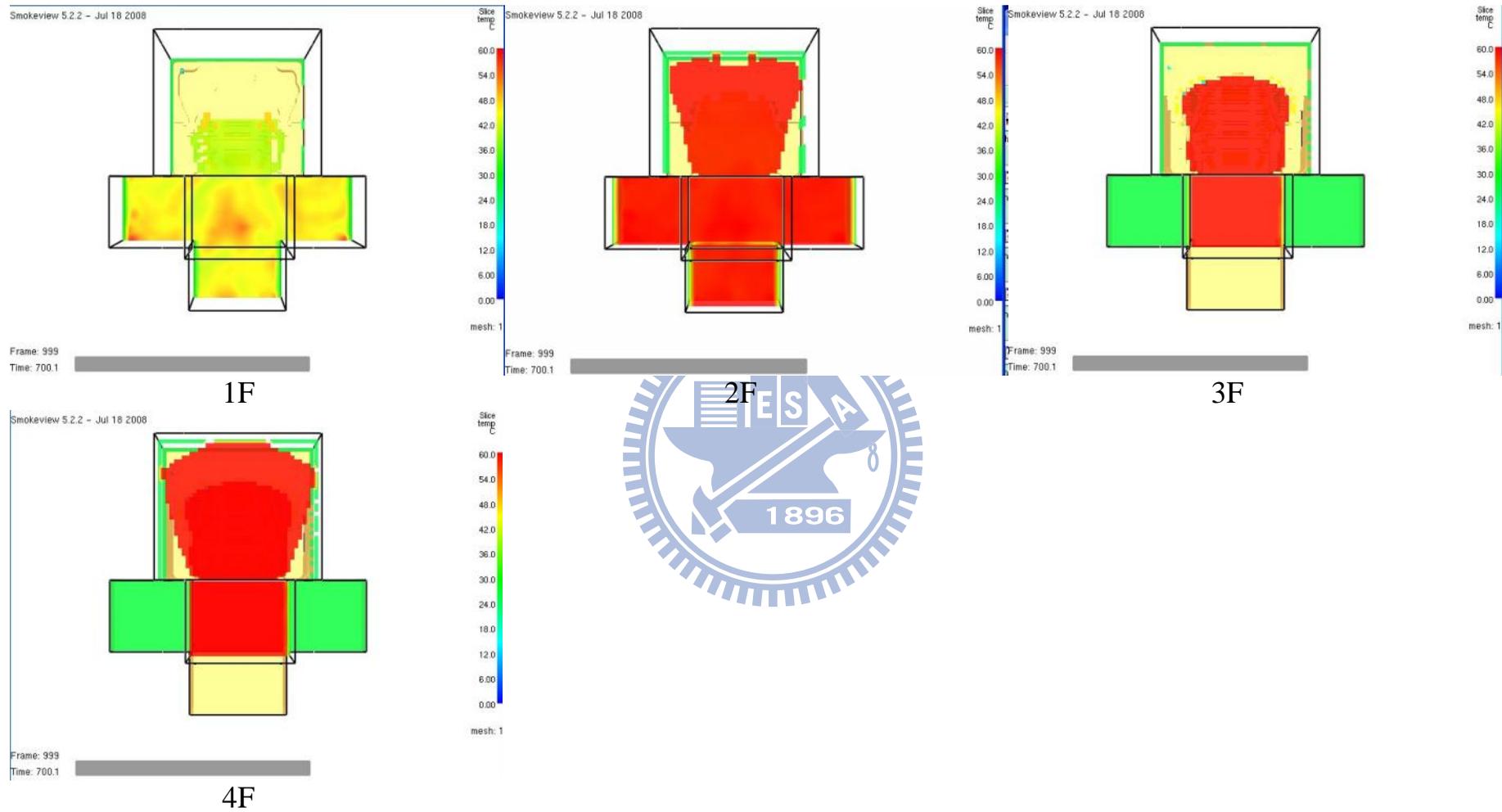


圖 5-42 戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二)

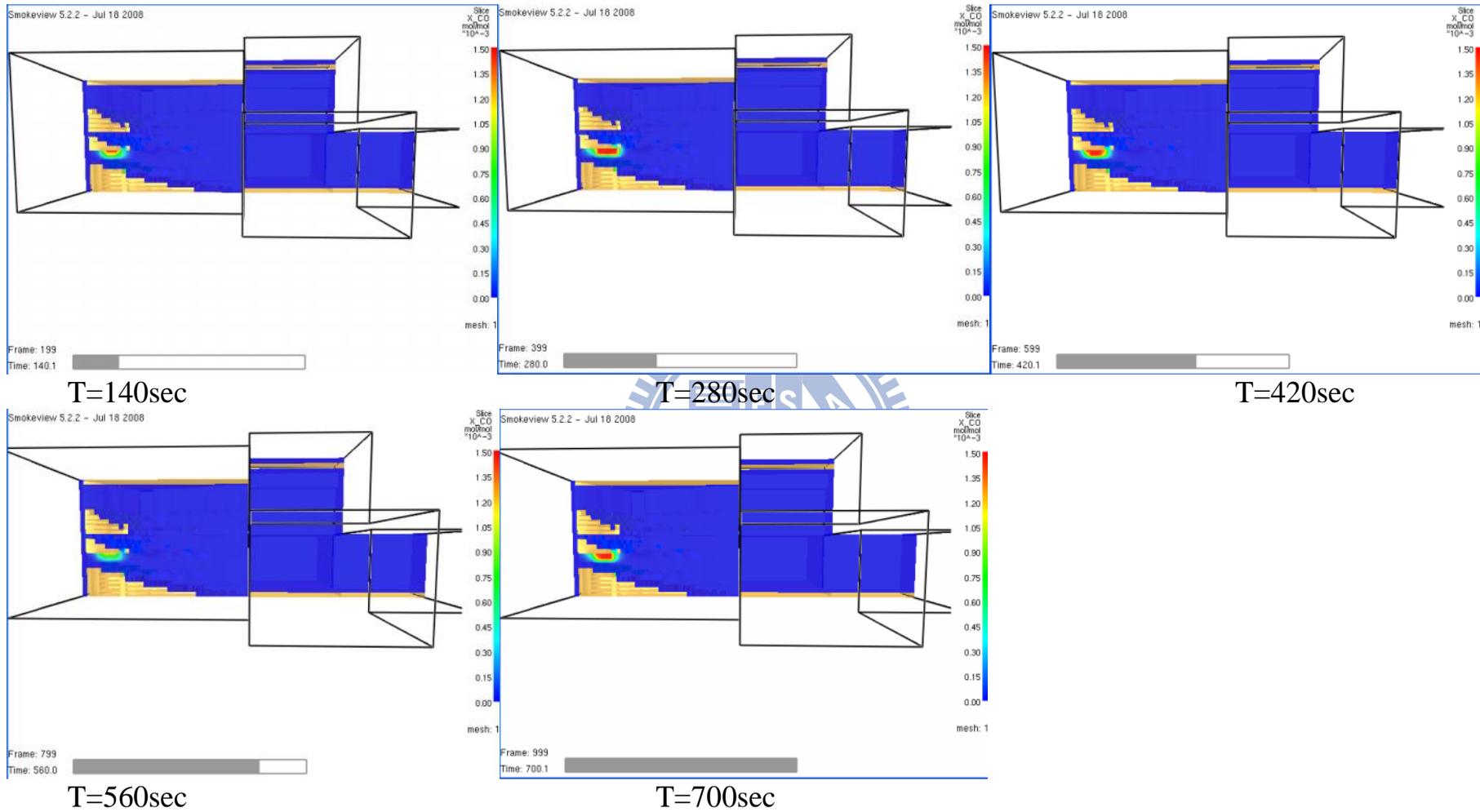
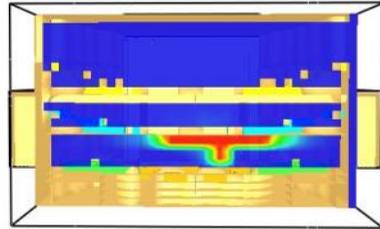


圖 5-43 戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境二)

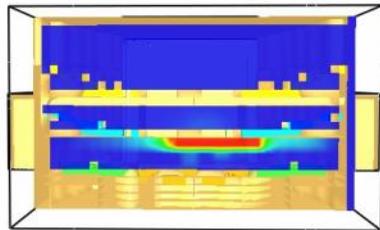
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 199
Time: 140.1

T=140sec

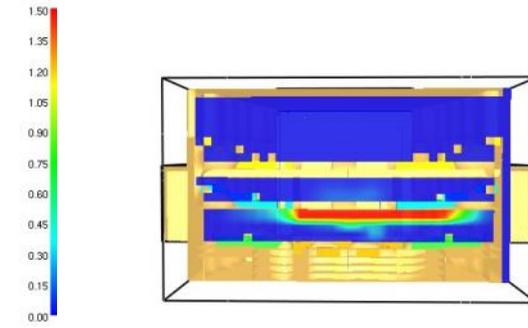
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 799
Time: 560.0

T=560sec

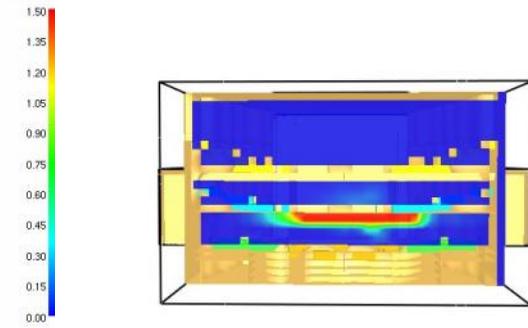
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 399
Time: 280.0

T=280sec

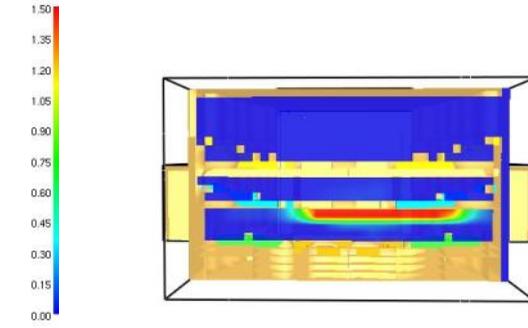
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 999
Time: 700.1

T=700sec

Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 599
Time: 420.1

T=420sec

Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 999
Time: 700.1

T=700sec

圖 5-44 戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境二)

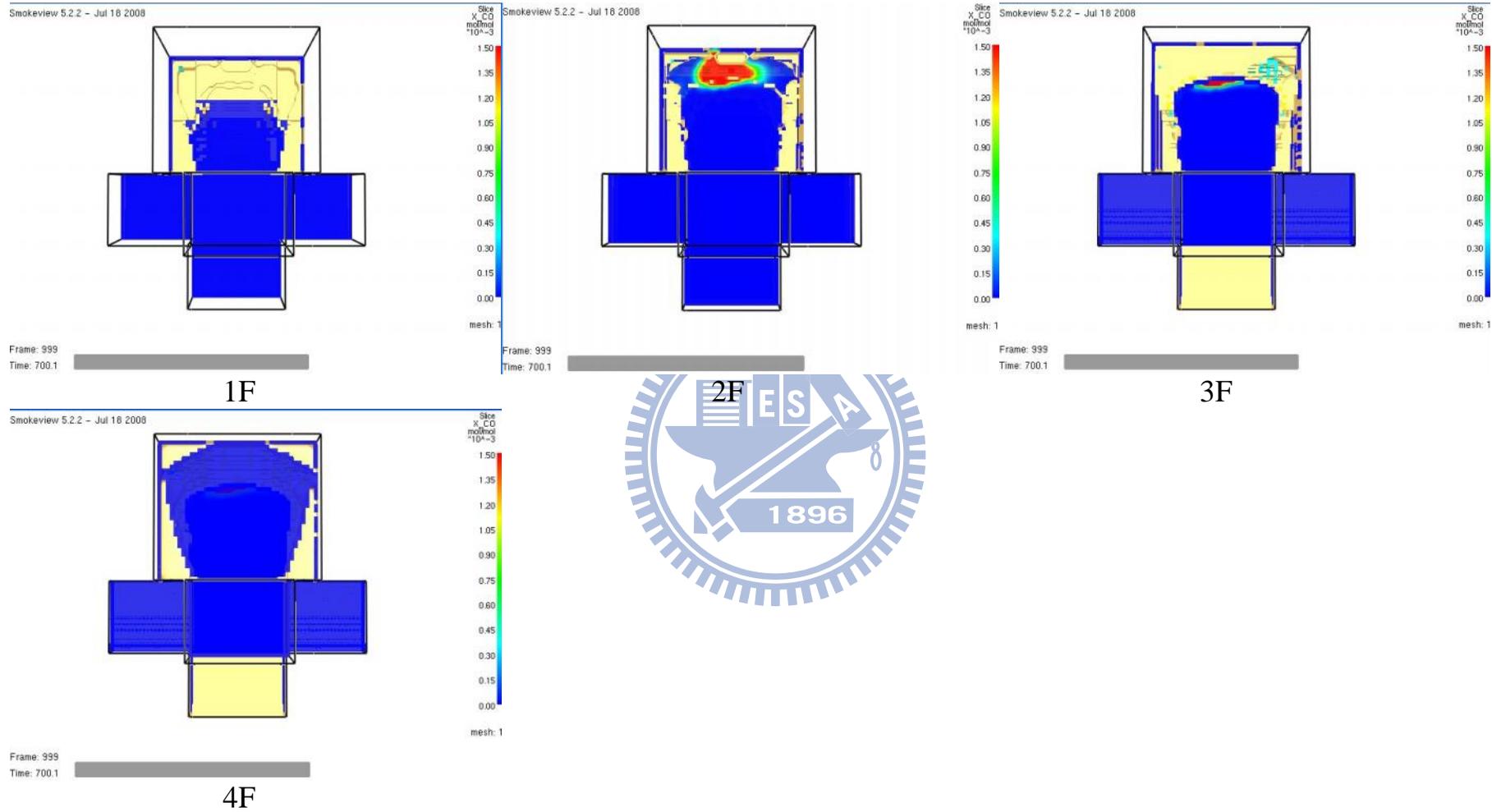


圖 5-45 戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面 (情境二)

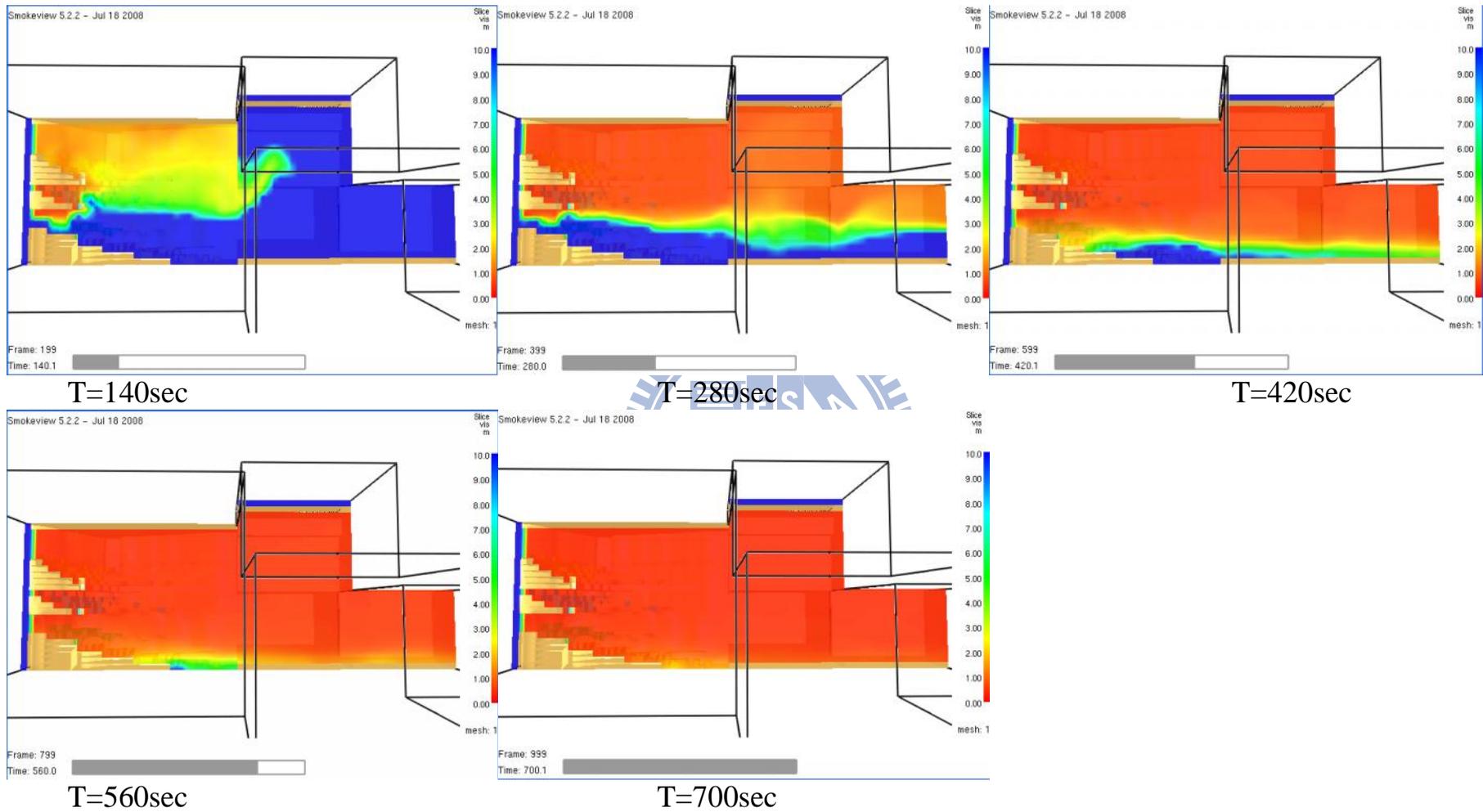
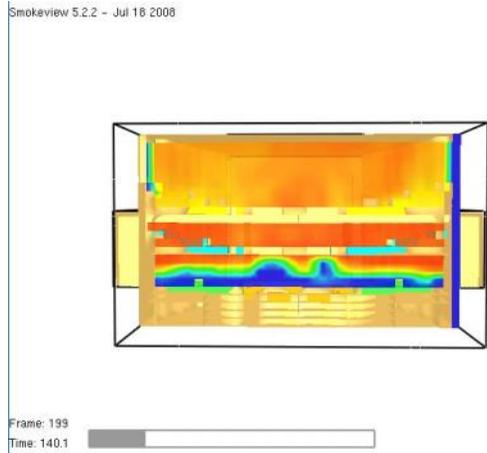


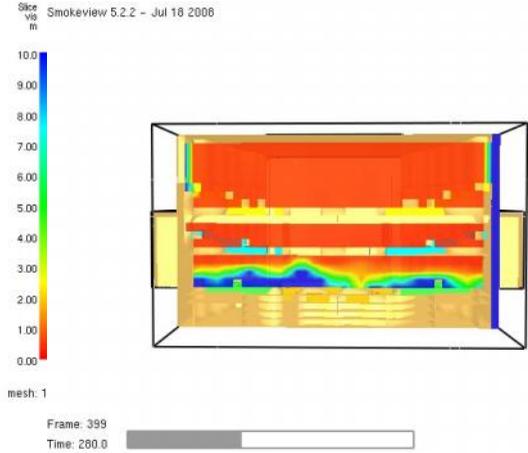
圖 5-46 戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境二)



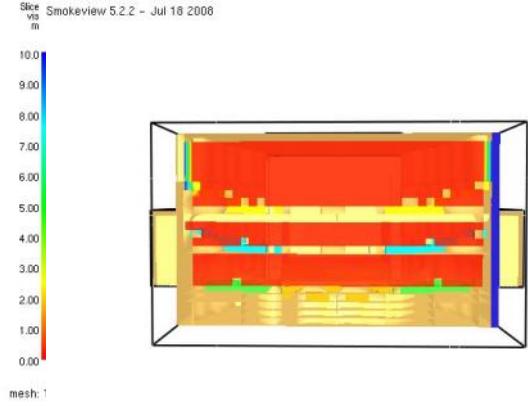
T=140sec



T=560sec



T=280sec



T=700sec



T=420sec



圖 5-47 戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境二)

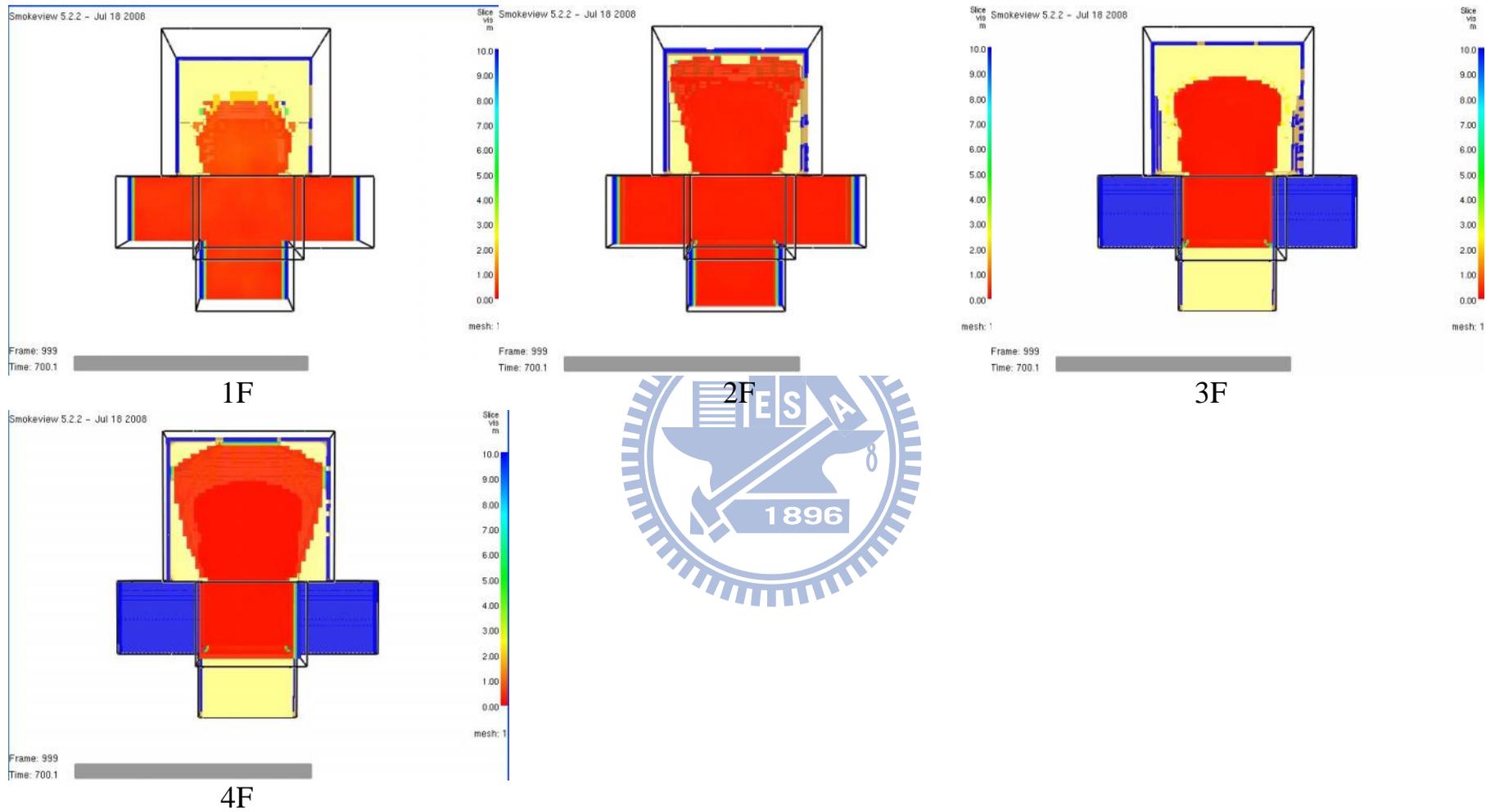
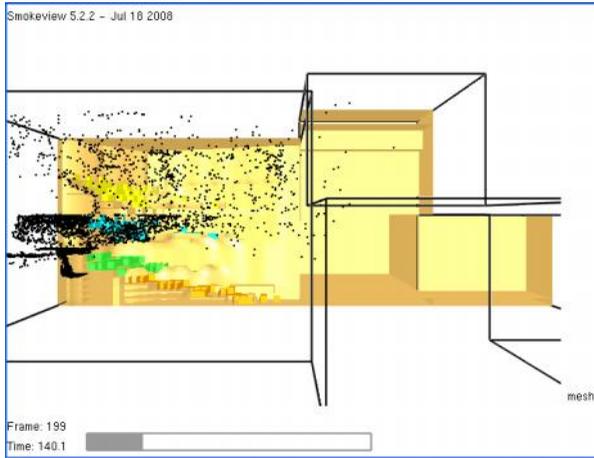
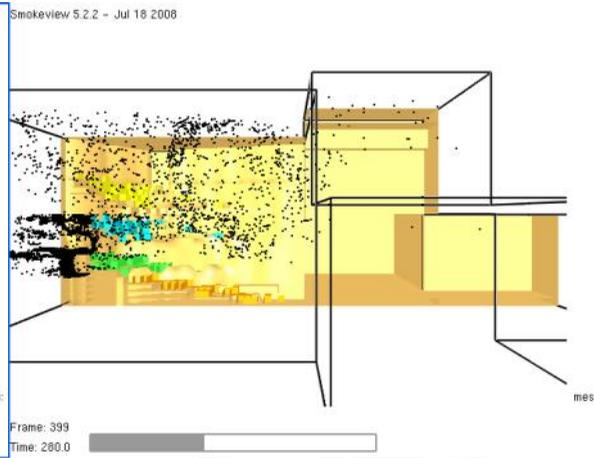


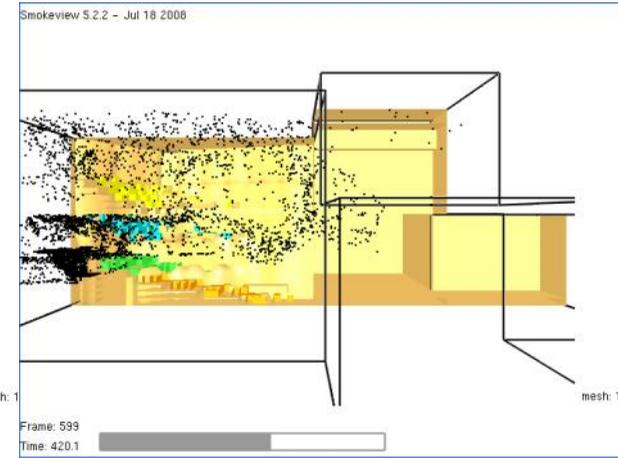
圖 5-48 戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二)



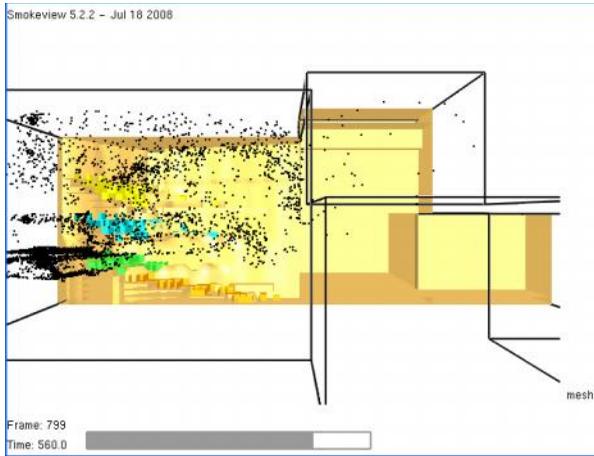
T=140sec



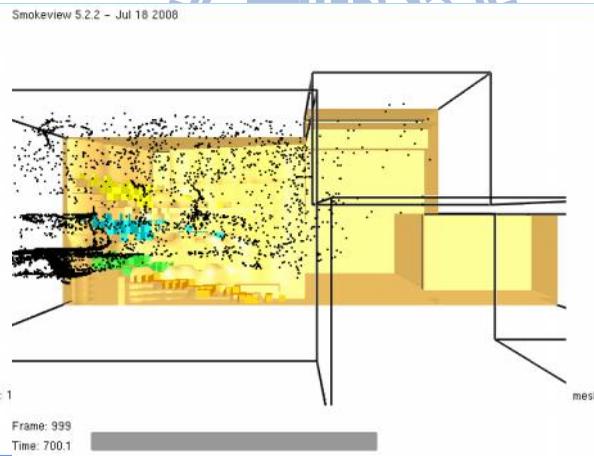
T=280sec



T=420sec



T=560sec



T=700sec

圖 5-49 戲劇院煙粒子分佈圖(情境二)



T=140sec



T=280sec



T=420sec

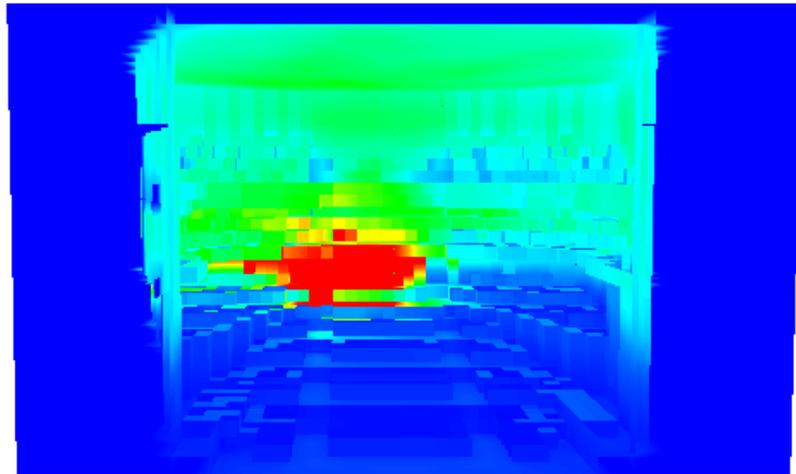


T=560sec



T=700sec

圖 5-50 戲劇院煙塵分佈圖(情境二)



mesh: 5

Frame: 500
Time: 700.1



圖 5-51 戲劇院熱輻射分佈圖(情境二)



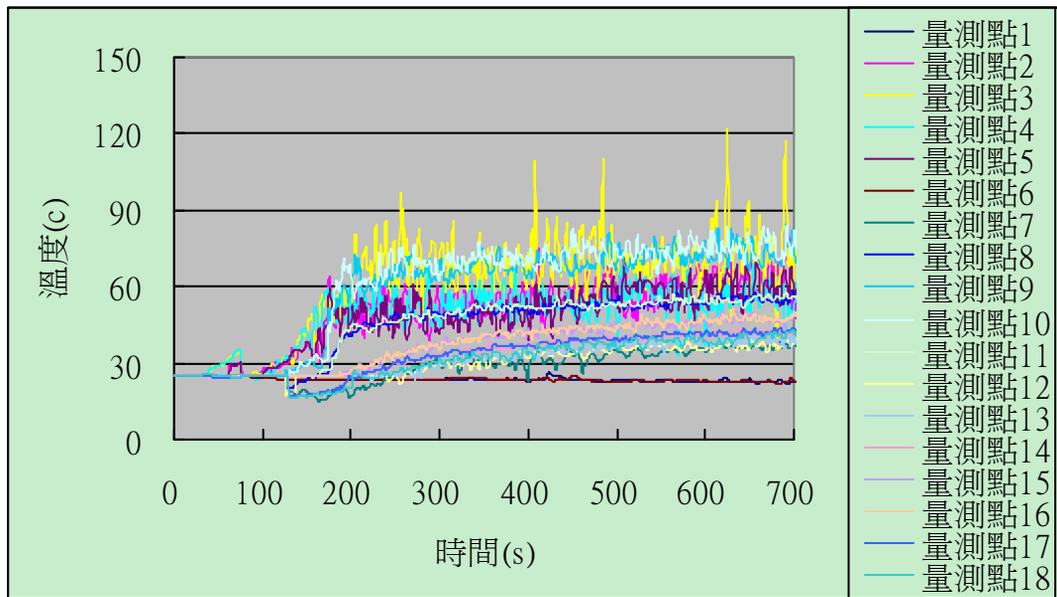


圖 5-52 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境三)

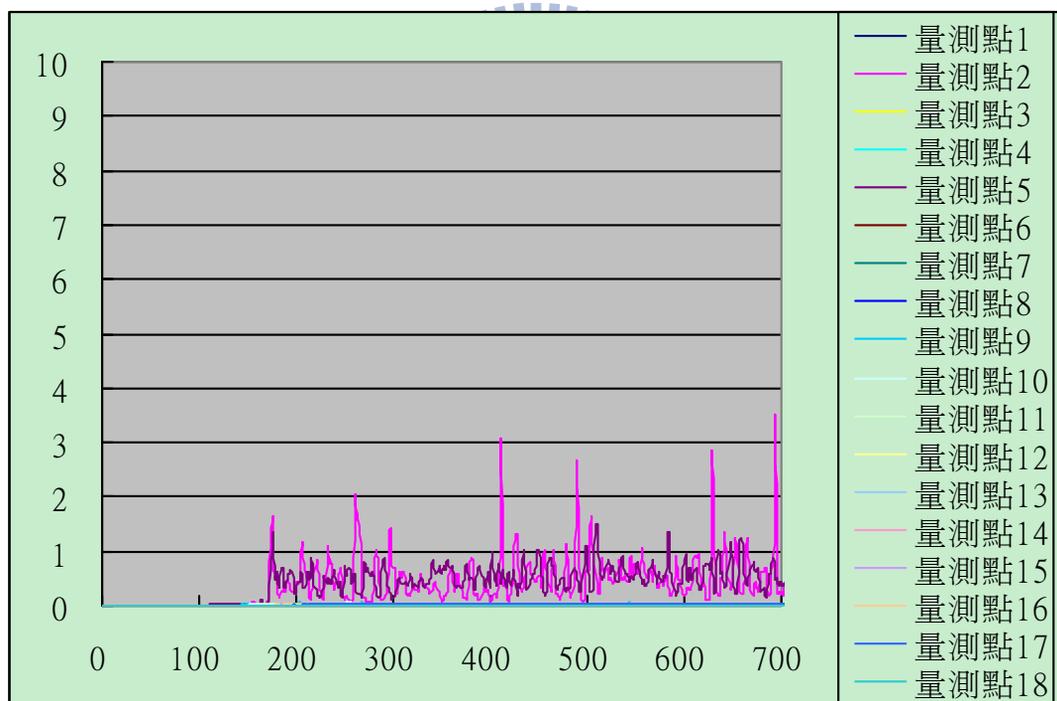


圖 5-53 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境三)

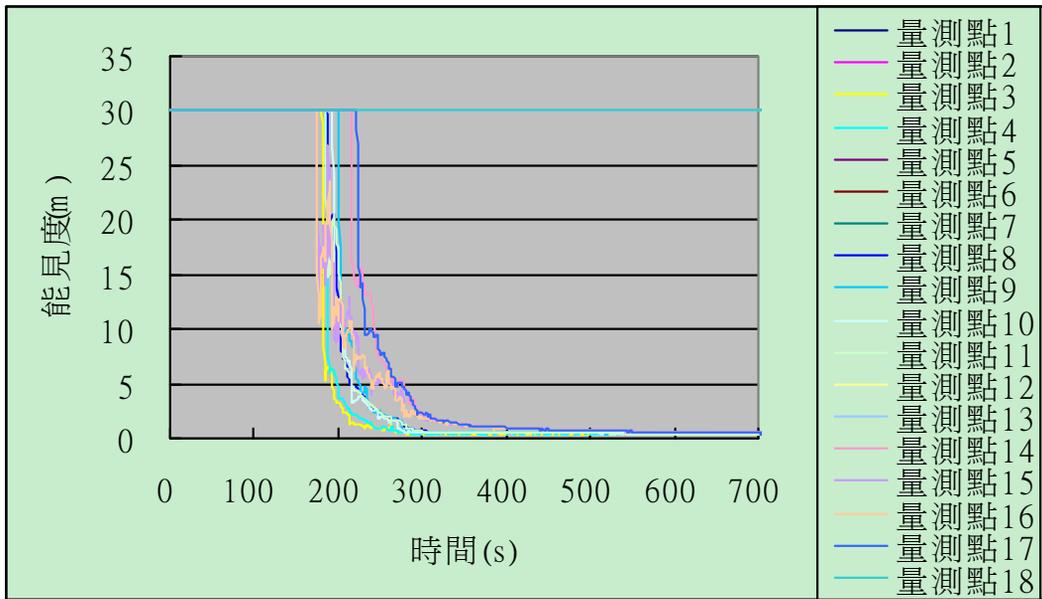


圖 5-54 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境三)

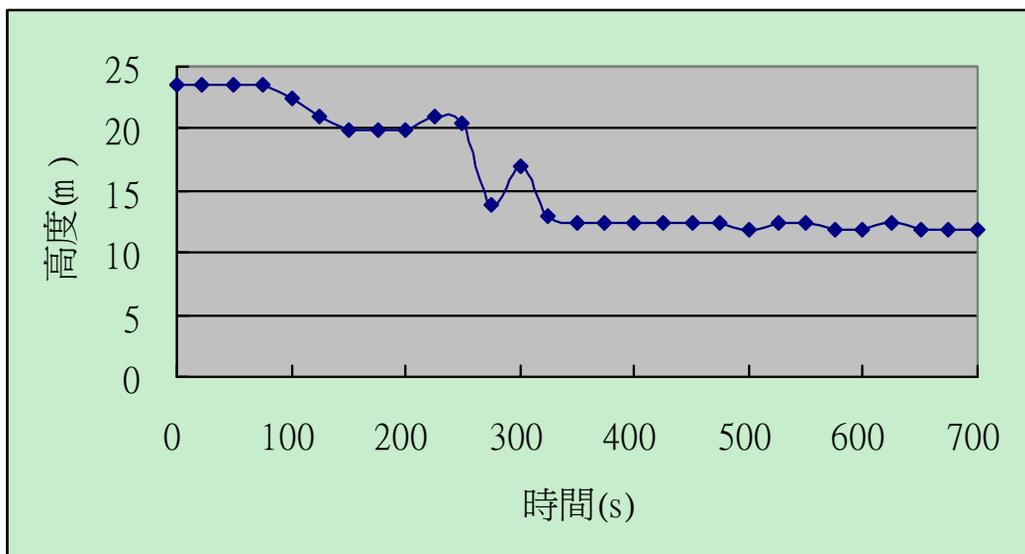


圖 5-55 戲劇院煙層高度圖(情境三)

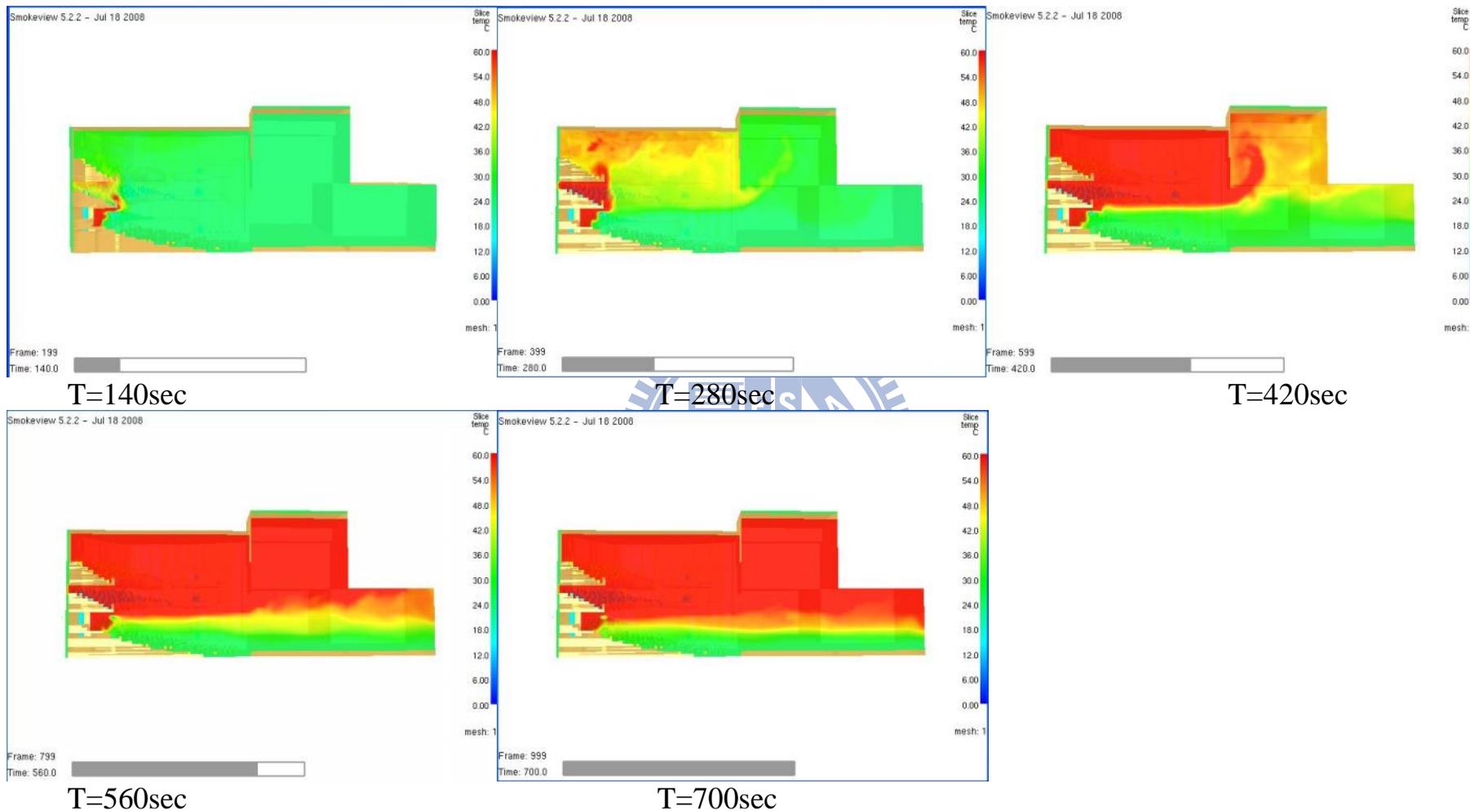
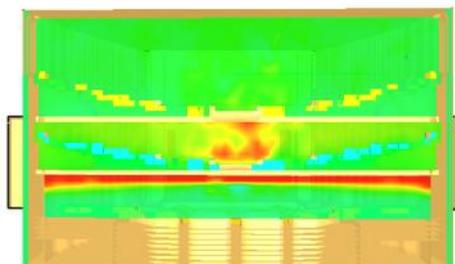


圖 5-56 戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境三)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

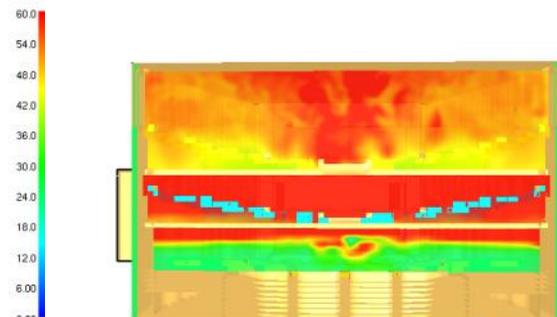


Frame: 199
Time: 140.0

T=140sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

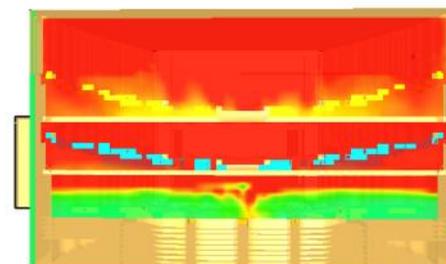


mesh: 1

Frame: 399
Time: 280.0

T=280sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

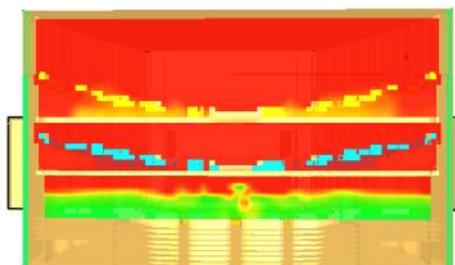


mesh: 1

Frame: 599
Time: 420.0

T=420sec

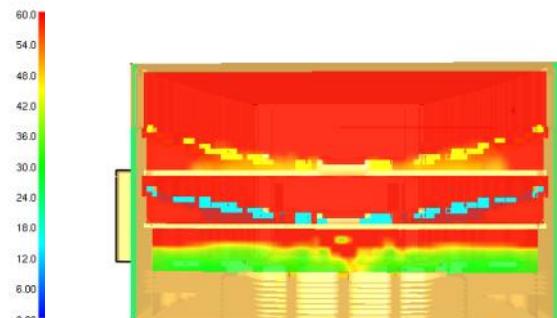
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 799
Time: 560.0

T=560sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

Frame: 999
Time: 700.0

T=700sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

圖 5-57 戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面(情境三)

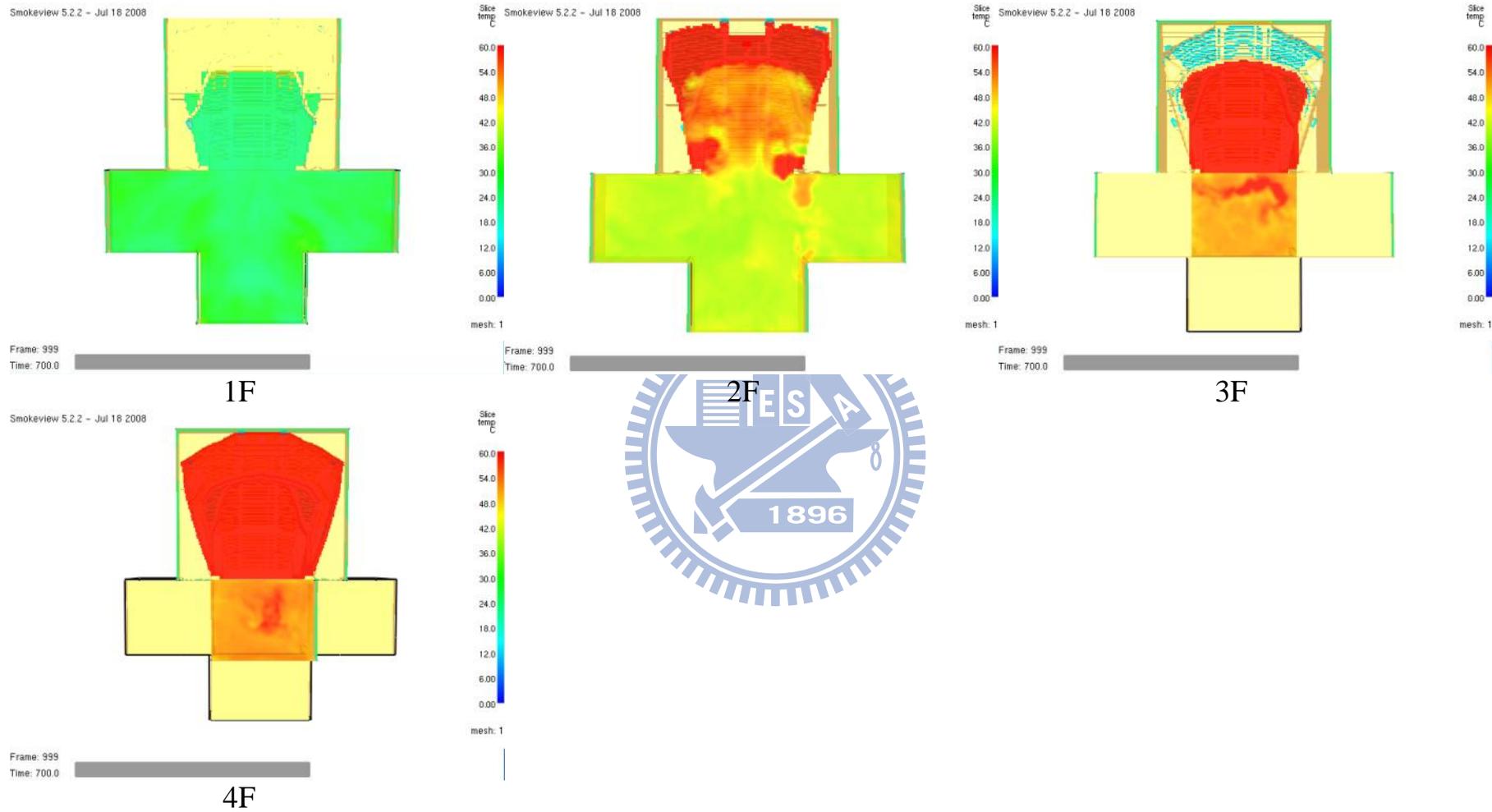


圖 5-58 戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境三)

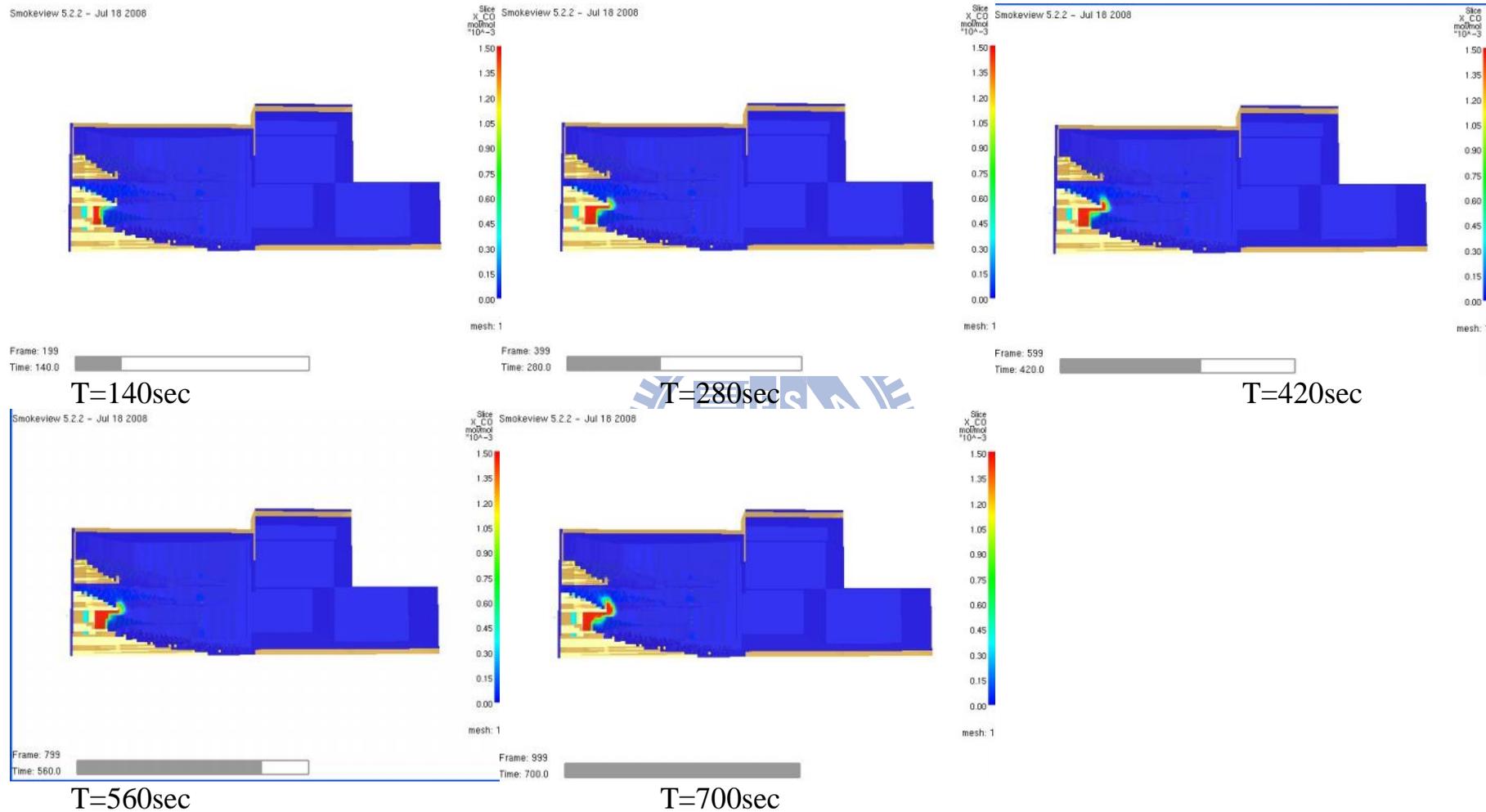
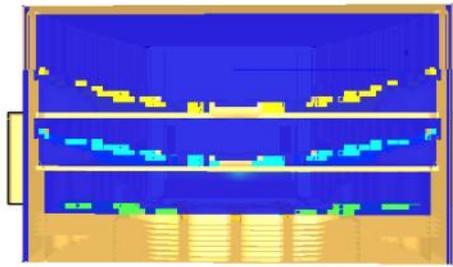


圖 5-59 戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境三)

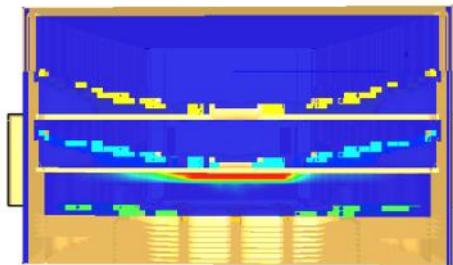
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 199
Time: 140.0

T=140sec

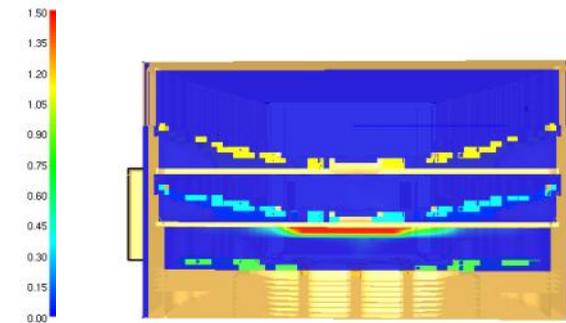
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 799
Time: 560.0

T=560sec

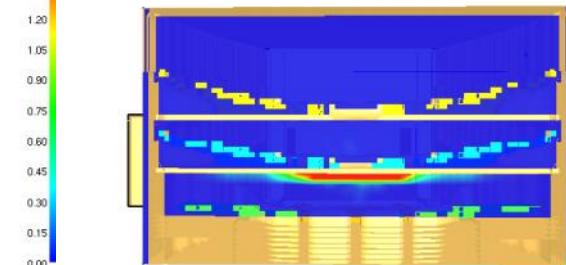
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 399
Time: 280.0

T=280sec

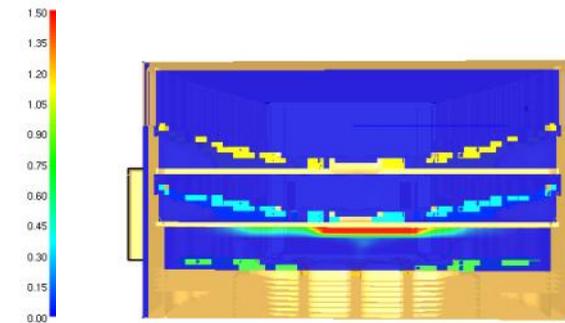
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 999
Time: 700.0

T=700sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 599
Time: 420.0

T=420sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 999
Time: 700.0

圖 5-60 戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境三)

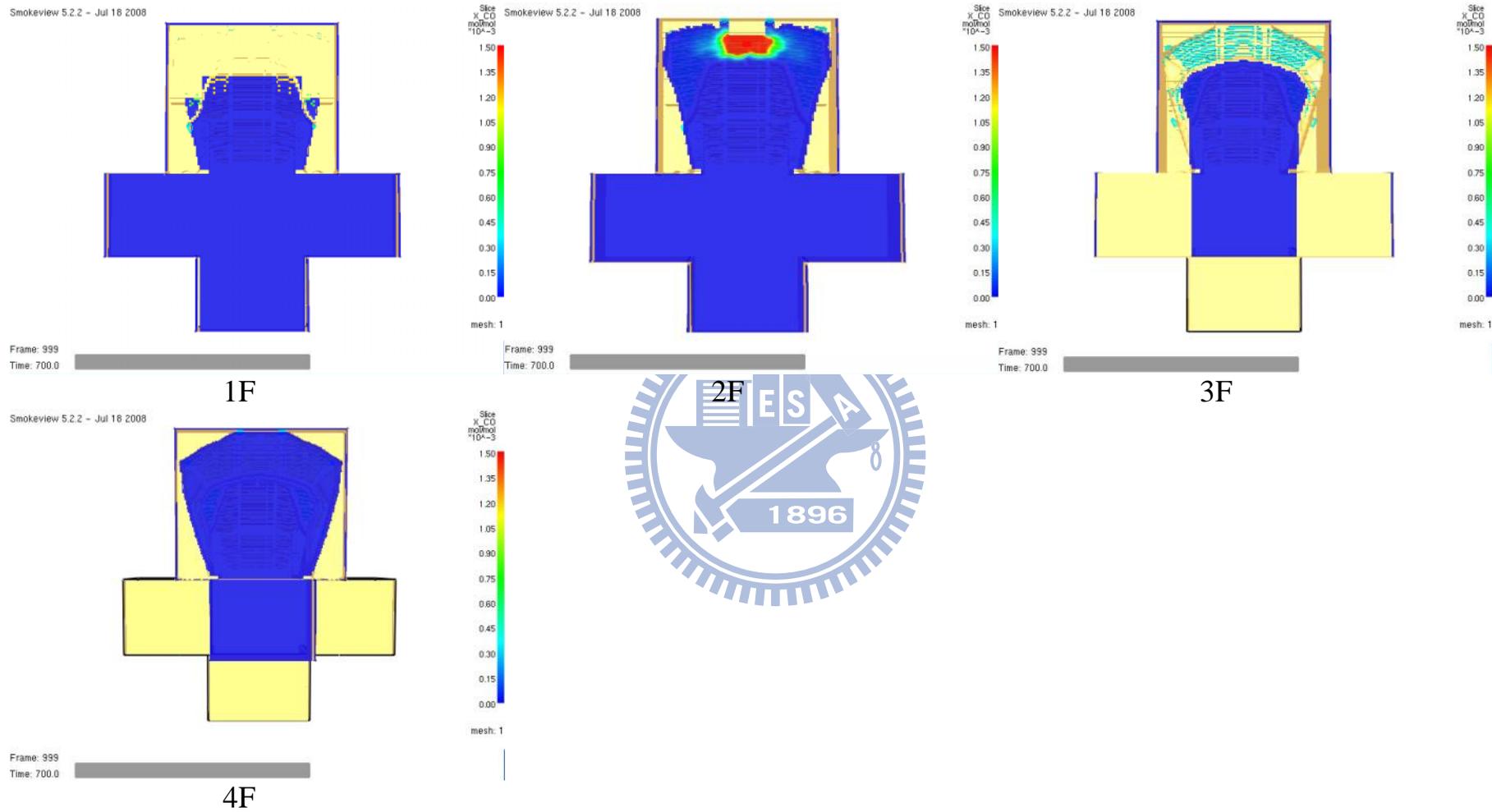


圖 5-61 戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境三)

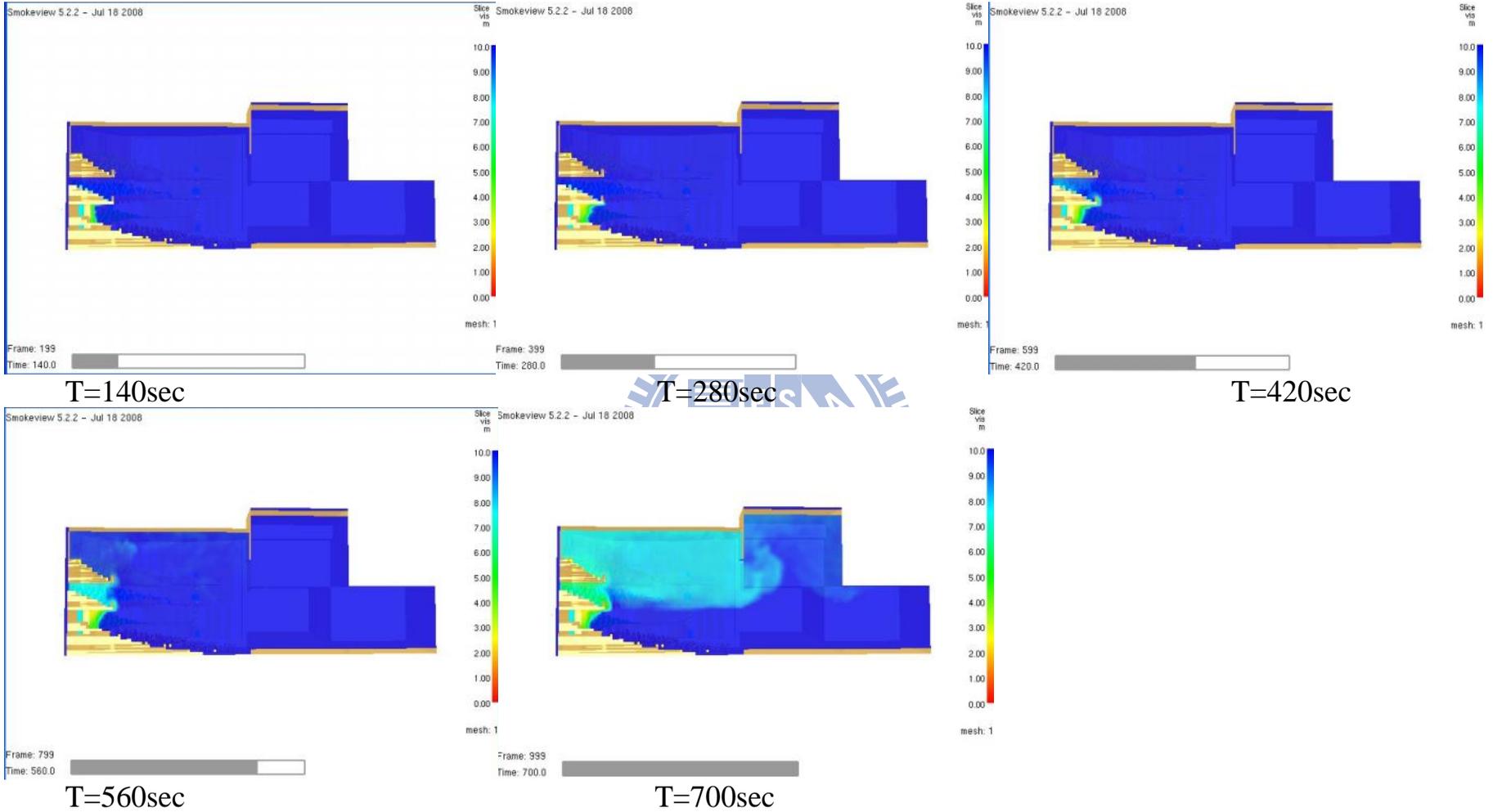
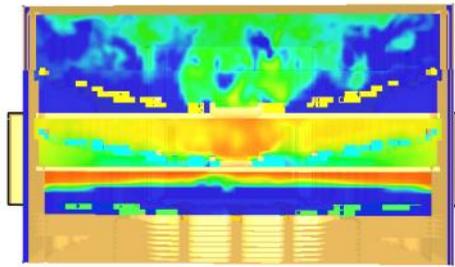


圖 5-62 戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境三)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

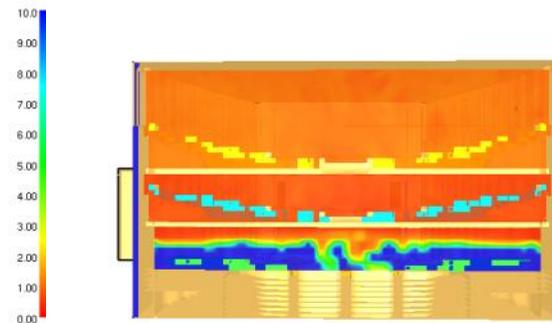


Frame: 199
Time: 140.0

T=140sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Slice via m
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

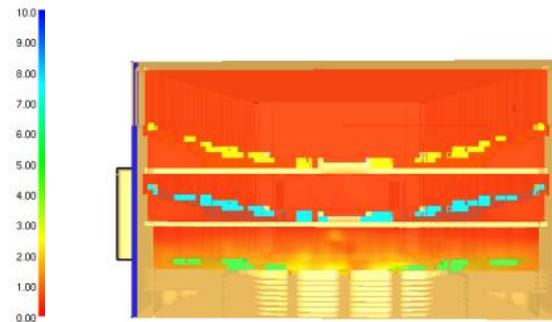


mesh: 1

Frame: 399
Time: 280.0

T=280sec

Slice via m
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

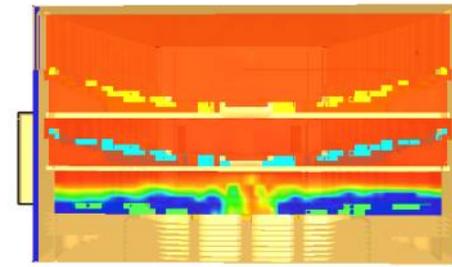


mesh: 1

Frame: 799
Time: 560.0

T=560sec

Slice via m
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

Frame: 599
Time: 420.0

T=420sec

Slice via m
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Frame: 999
Time: 700.0

T=700sec

mesh: 1

mesh: 1

圖 5-63 戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境三)

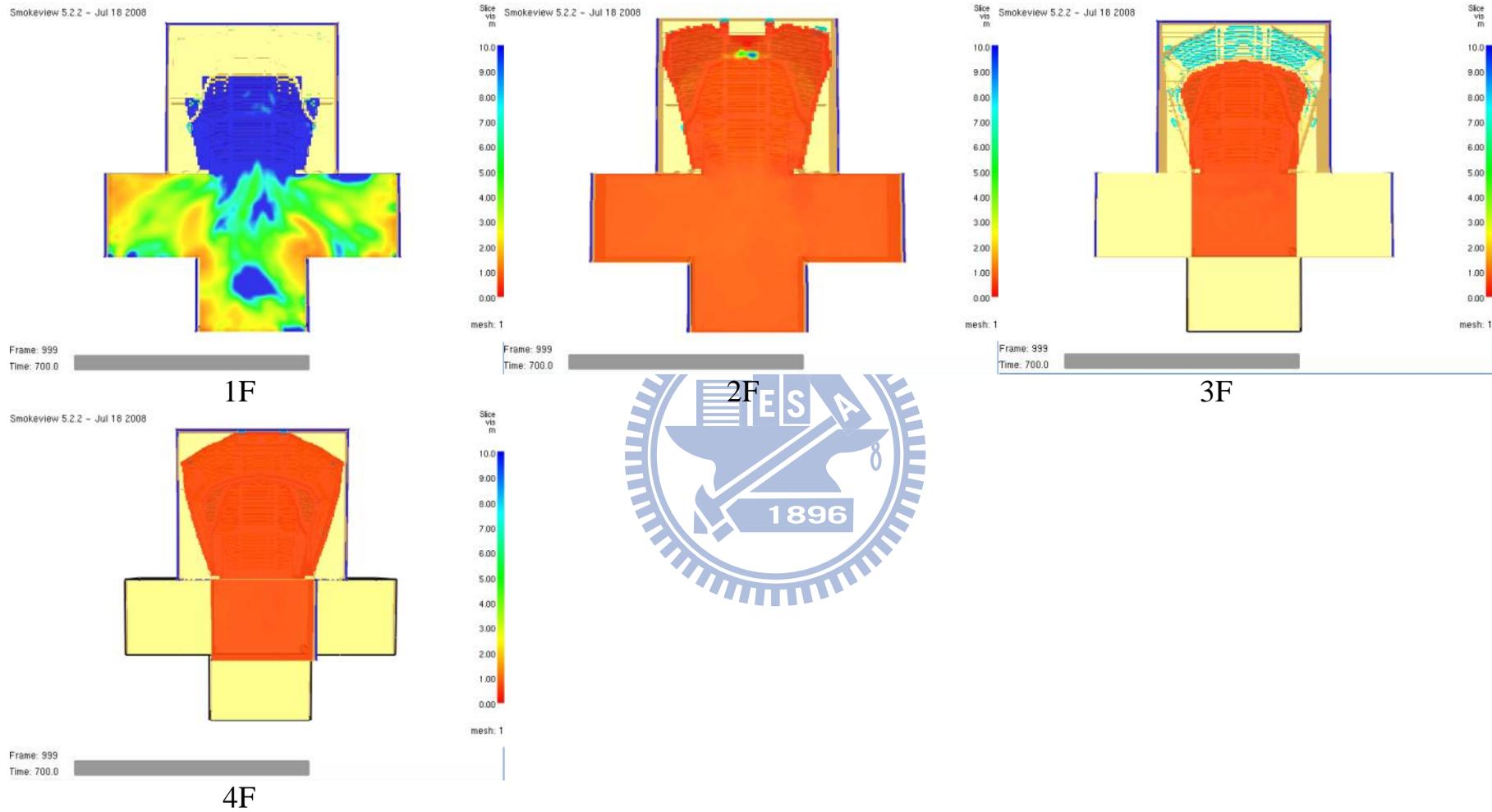
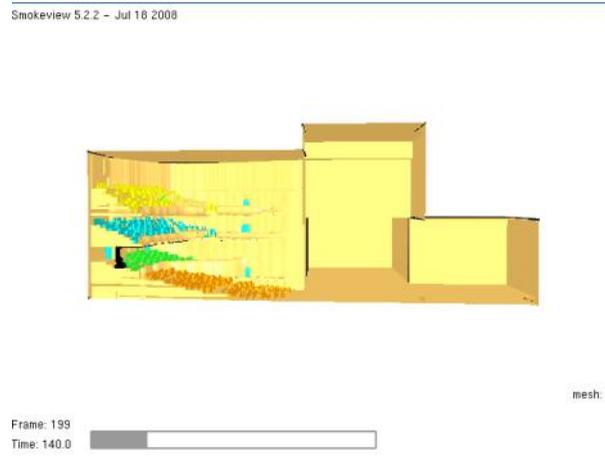


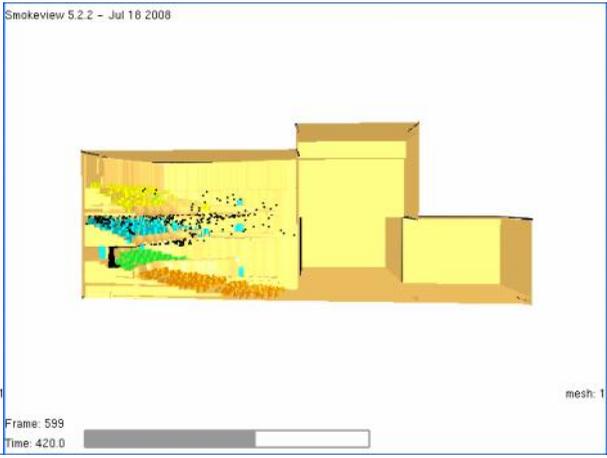
圖 5-64 戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境三)



T=140sec



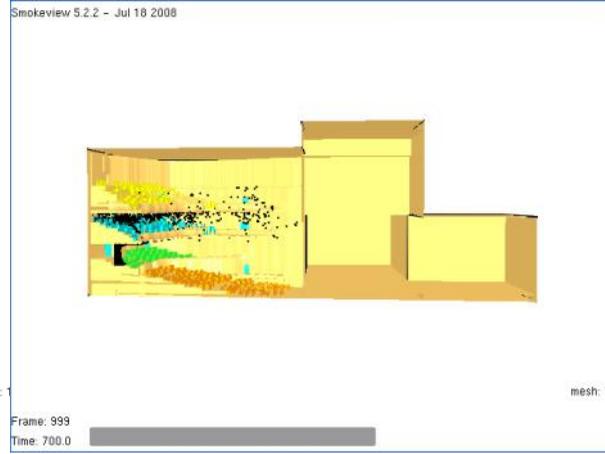
T=280sec



T=420sec



T=560sec

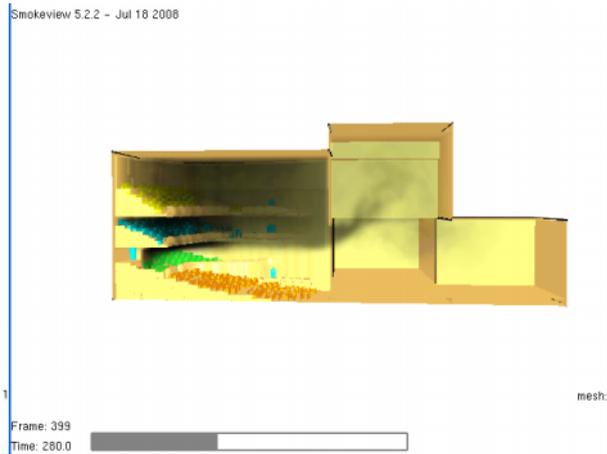


T=700sec

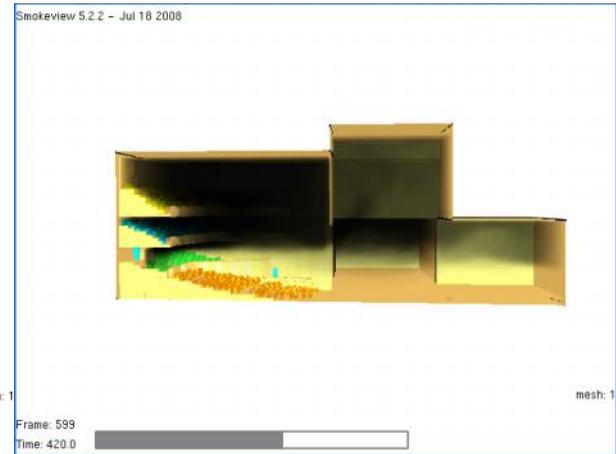
圖 5-65 戲劇院煙粒子分佈圖(情境三)



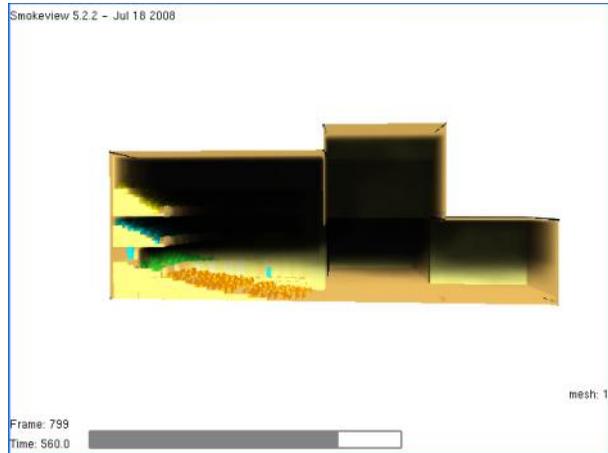
T=140sec



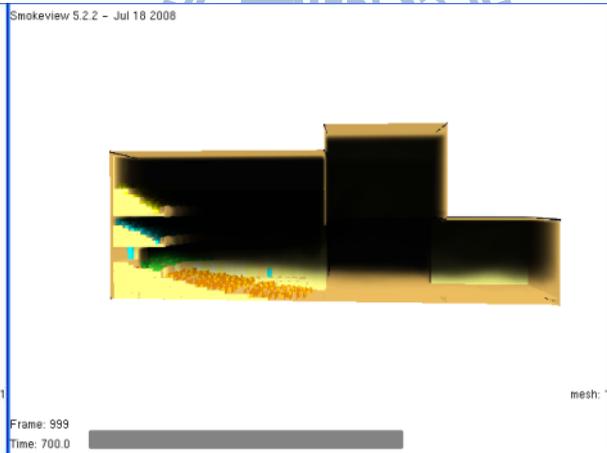
T=280sec



T=420sec



T=560sec



T=700sec

圖 5-66 戲劇院煙塵分佈圖(情境三)

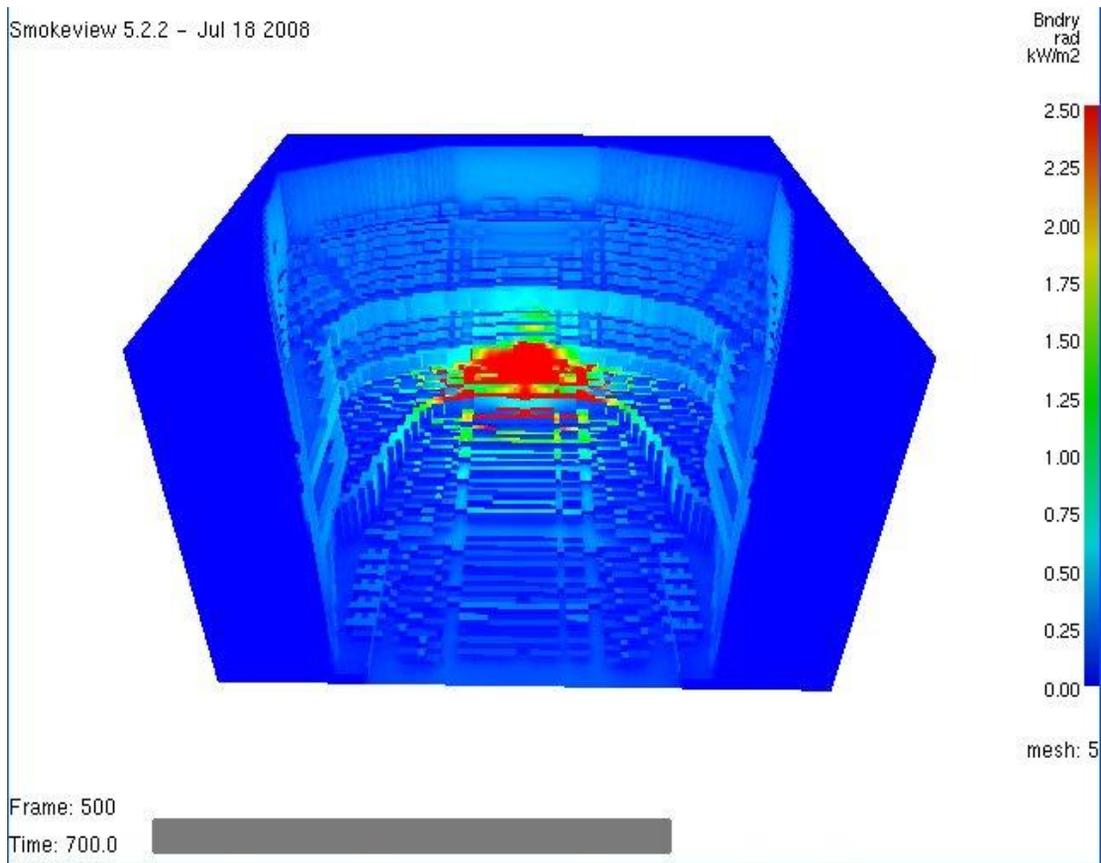


圖 5-67 戲劇院熱輻射分佈圖(情境三)



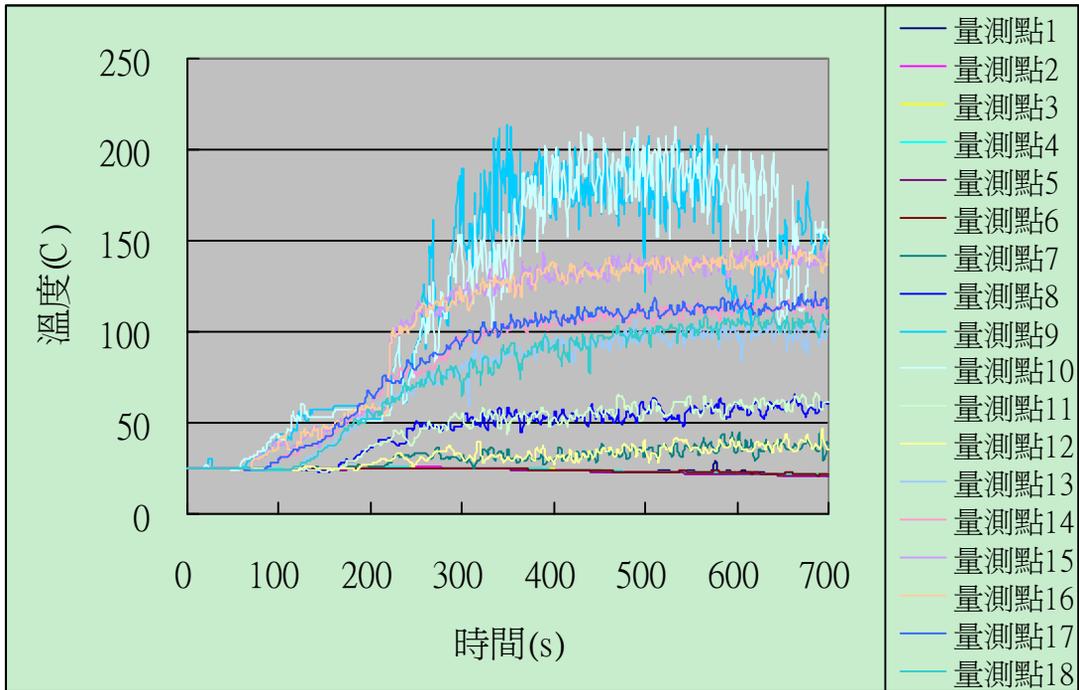


圖 5-68 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境四)

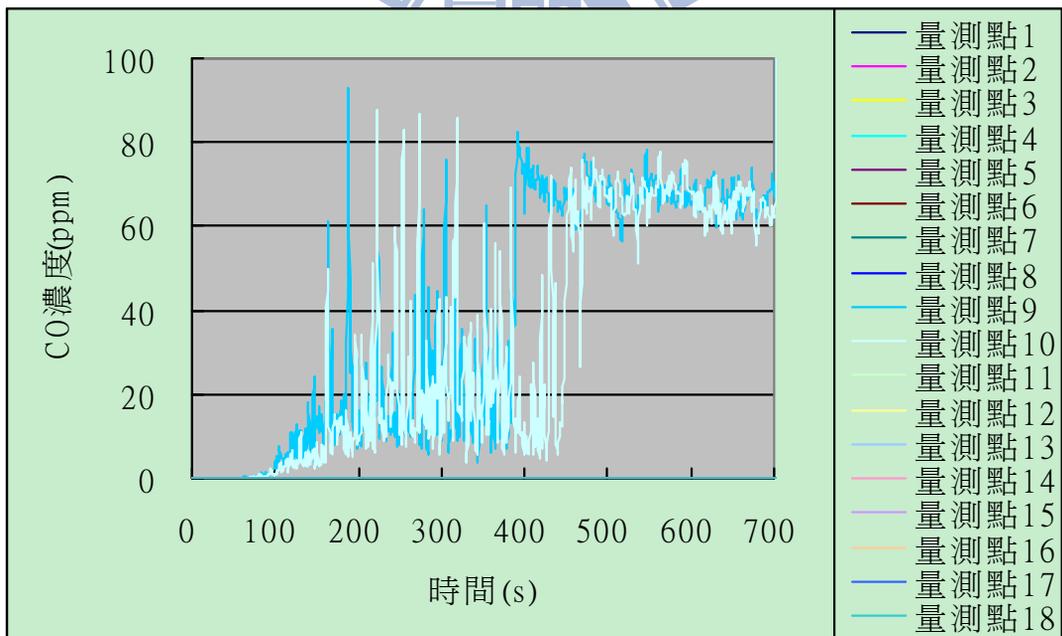


圖 5-69 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境四)

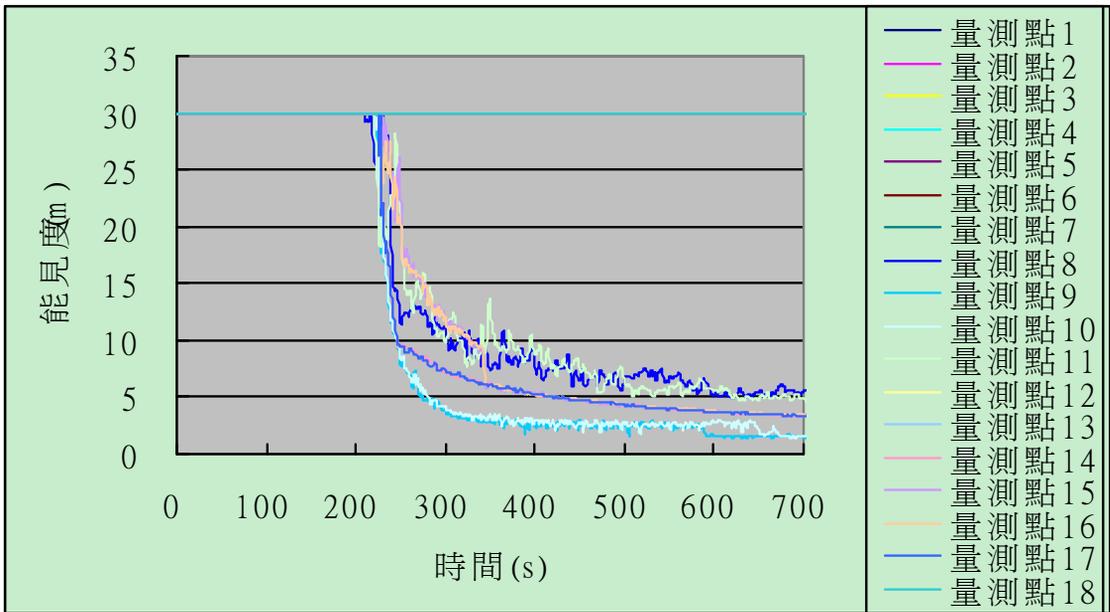


圖 5-70 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境四)

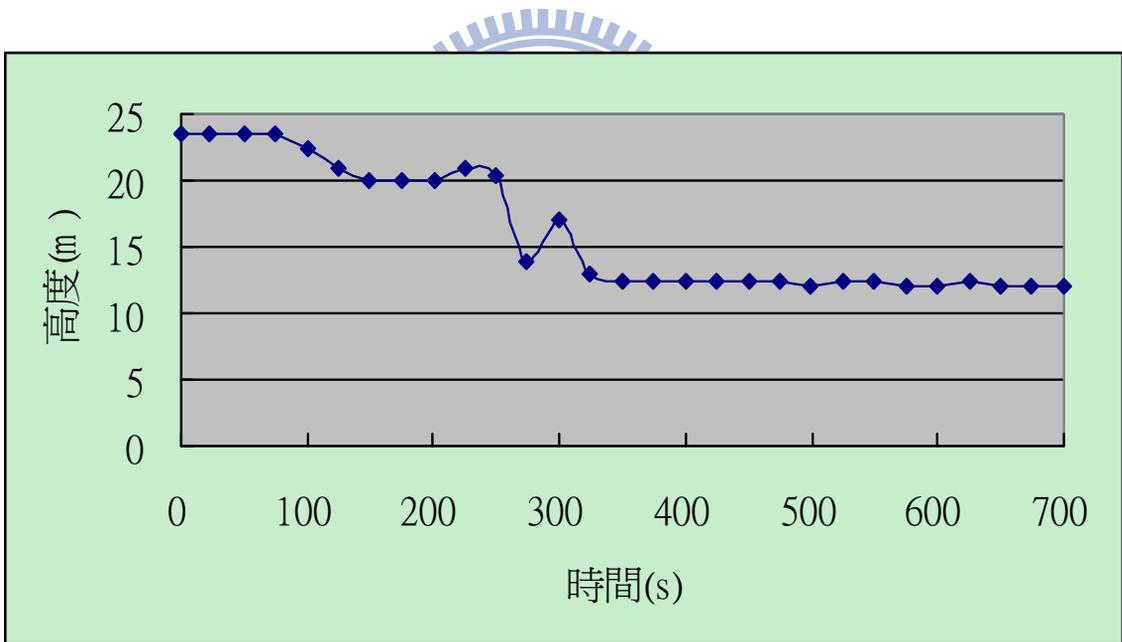


圖 5-71 戲劇院煙層高度圖(情境四)

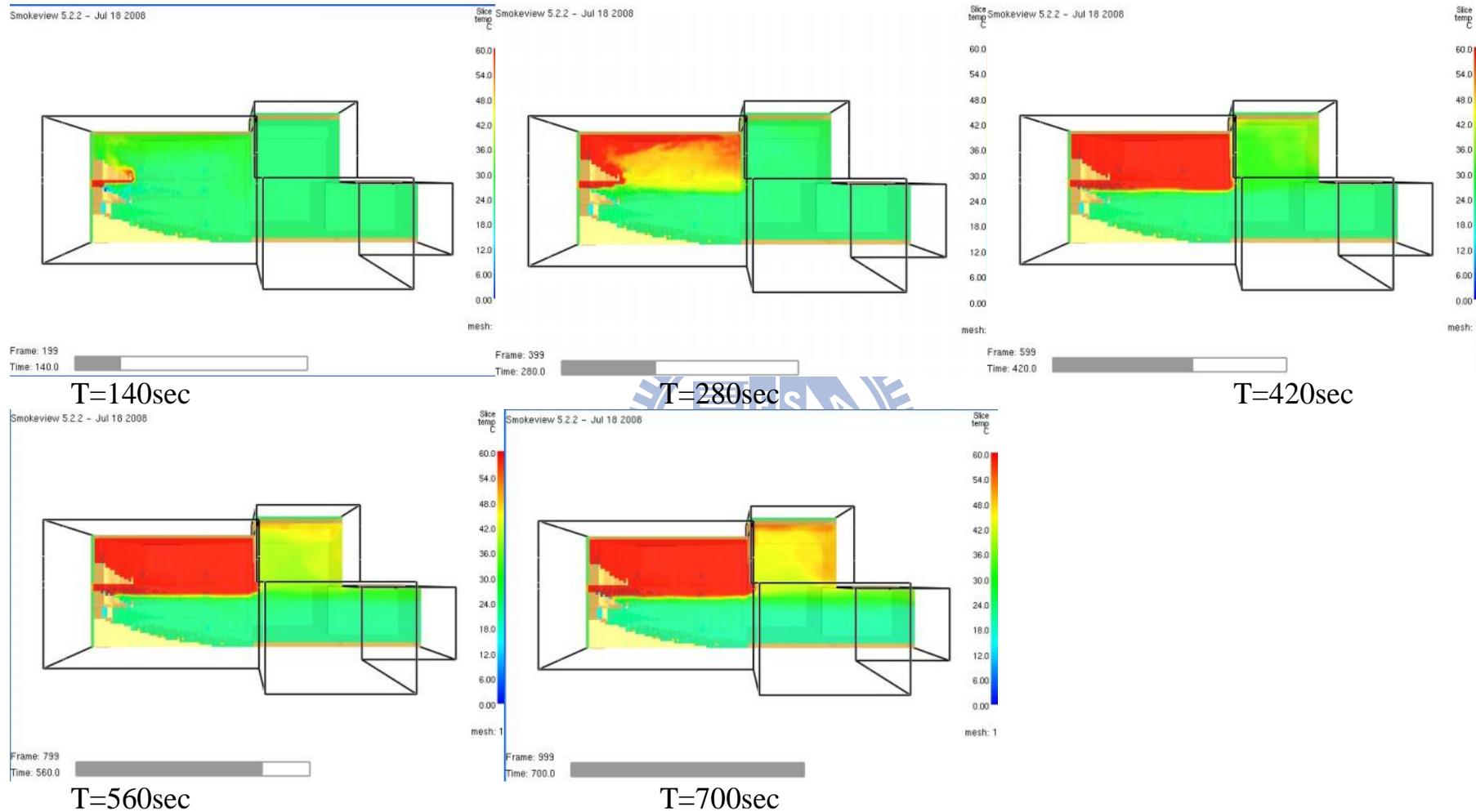
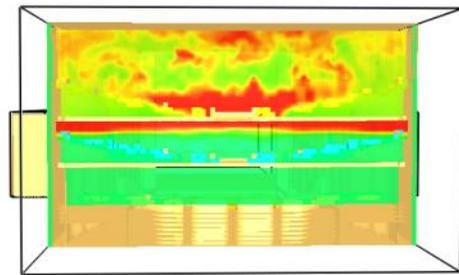


圖 5-72 戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境四)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 117
Time: 140.4

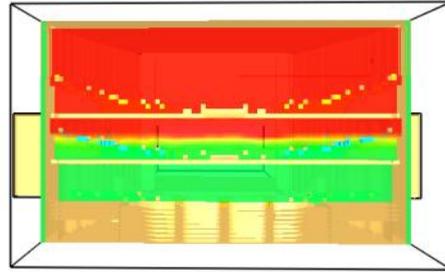
T=140sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1



Frame: 234
Time: 280.8

T=280sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

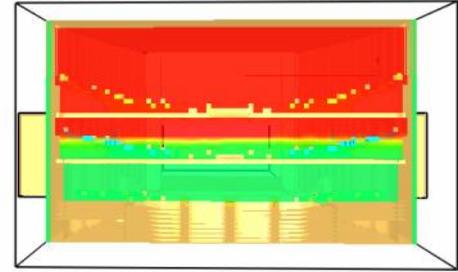


mesh: 1

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1



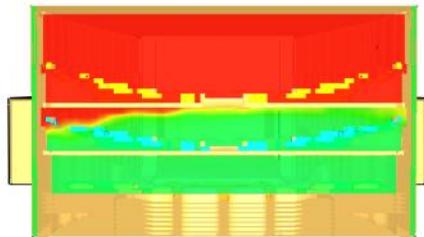
Frame: 350
Time: 420.0

T=420sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1



Frame: 799
Time: 560.0

T=560sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

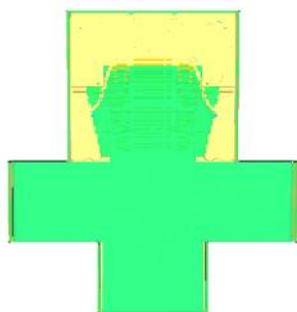
Frame: 999
Time: 700.0

T=700sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

圖 5-73 戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面 (情境四)

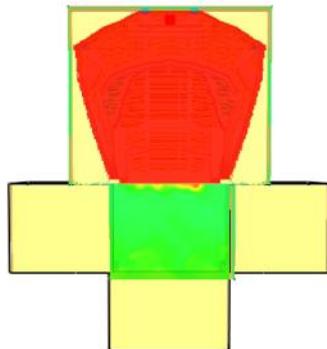
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 999
Time: 700.0

1F

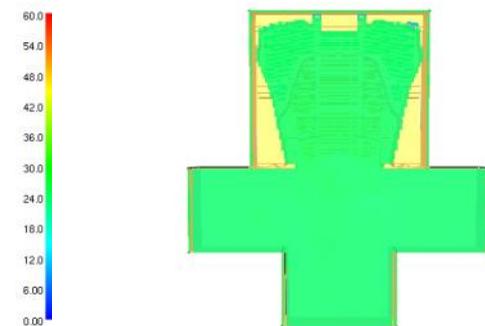
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 999
Time: 700.0

4F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

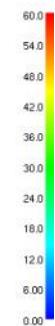


mesh: 1

Frame: 999
Time: 700.0

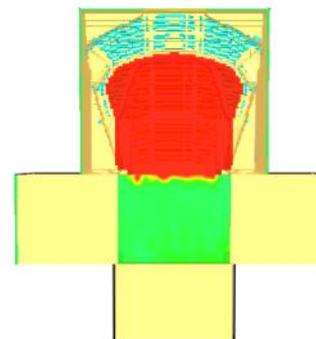
2F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

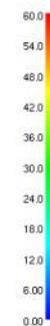


mesh: 1

Frame: 999
Time: 700.0

3F

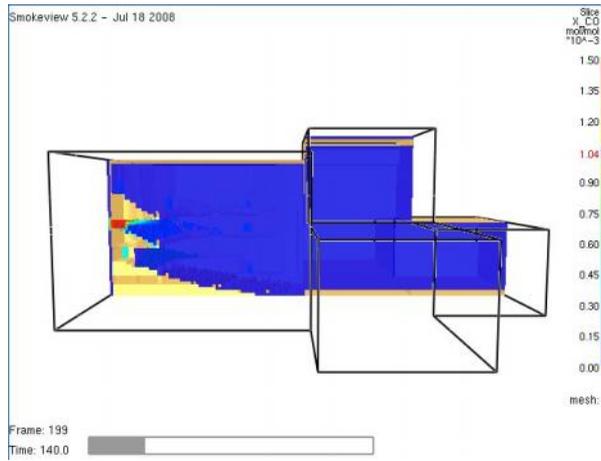
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



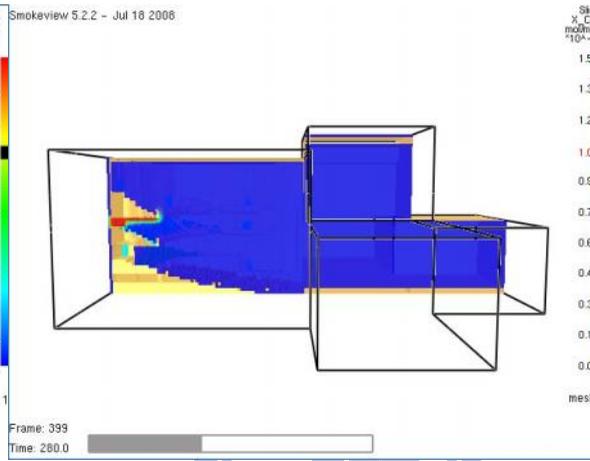
mesh: 1



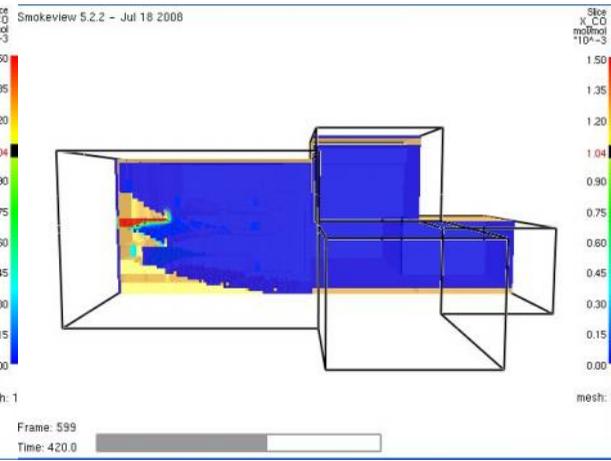
圖 5-74 戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境四)



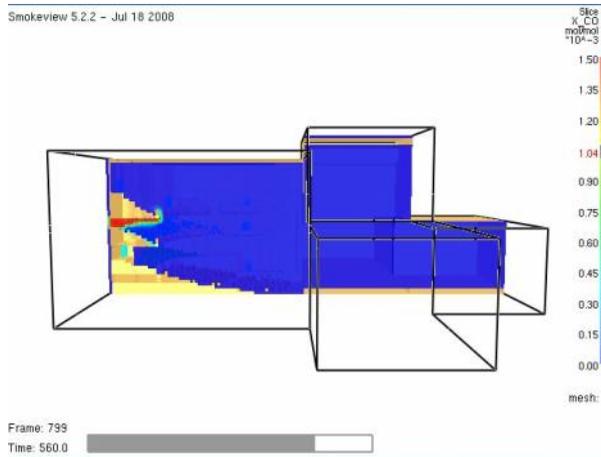
T=140sec



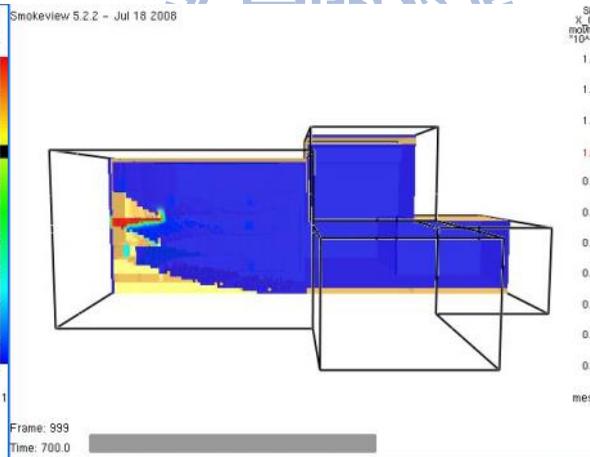
T=280sec



T=420sec



T=560sec



T=700sec

圖 5-75 戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境四)

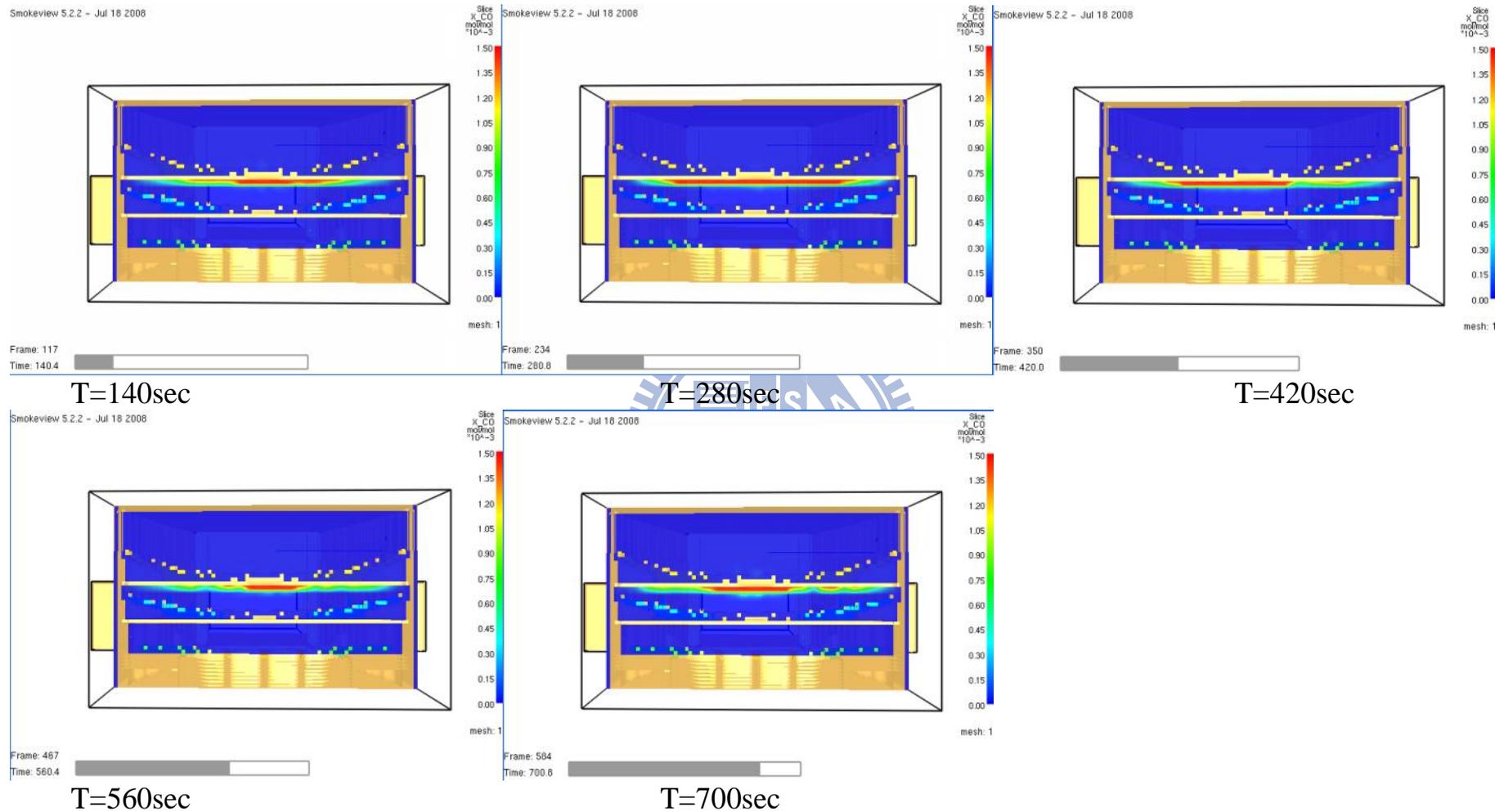
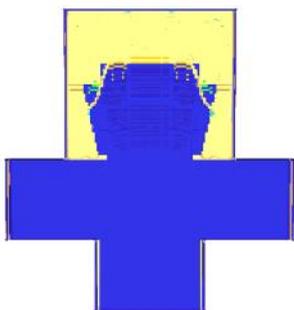


圖 5-76 戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境四)

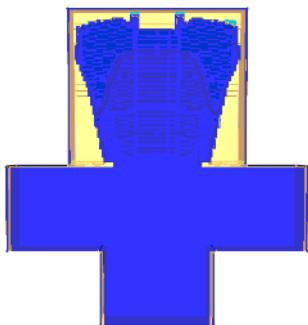
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 999
Time: 700.0

1F

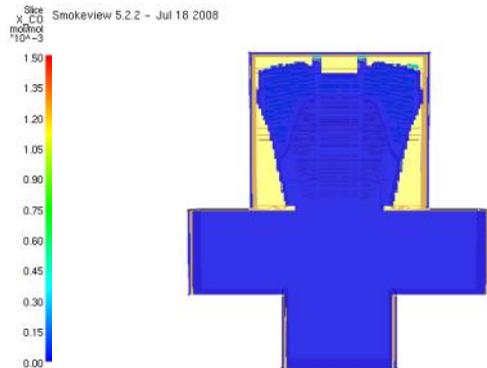
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 999
Time: 700.0

4F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

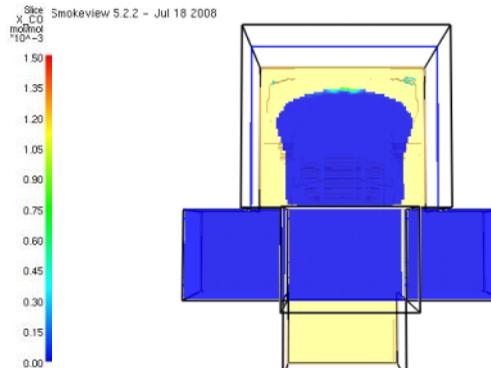


mesh: 1

Frame: 999
Time: 700.0

2F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

Frame: 999
Time: 700.0

3F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1



圖 5-77 戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面 (情境四)

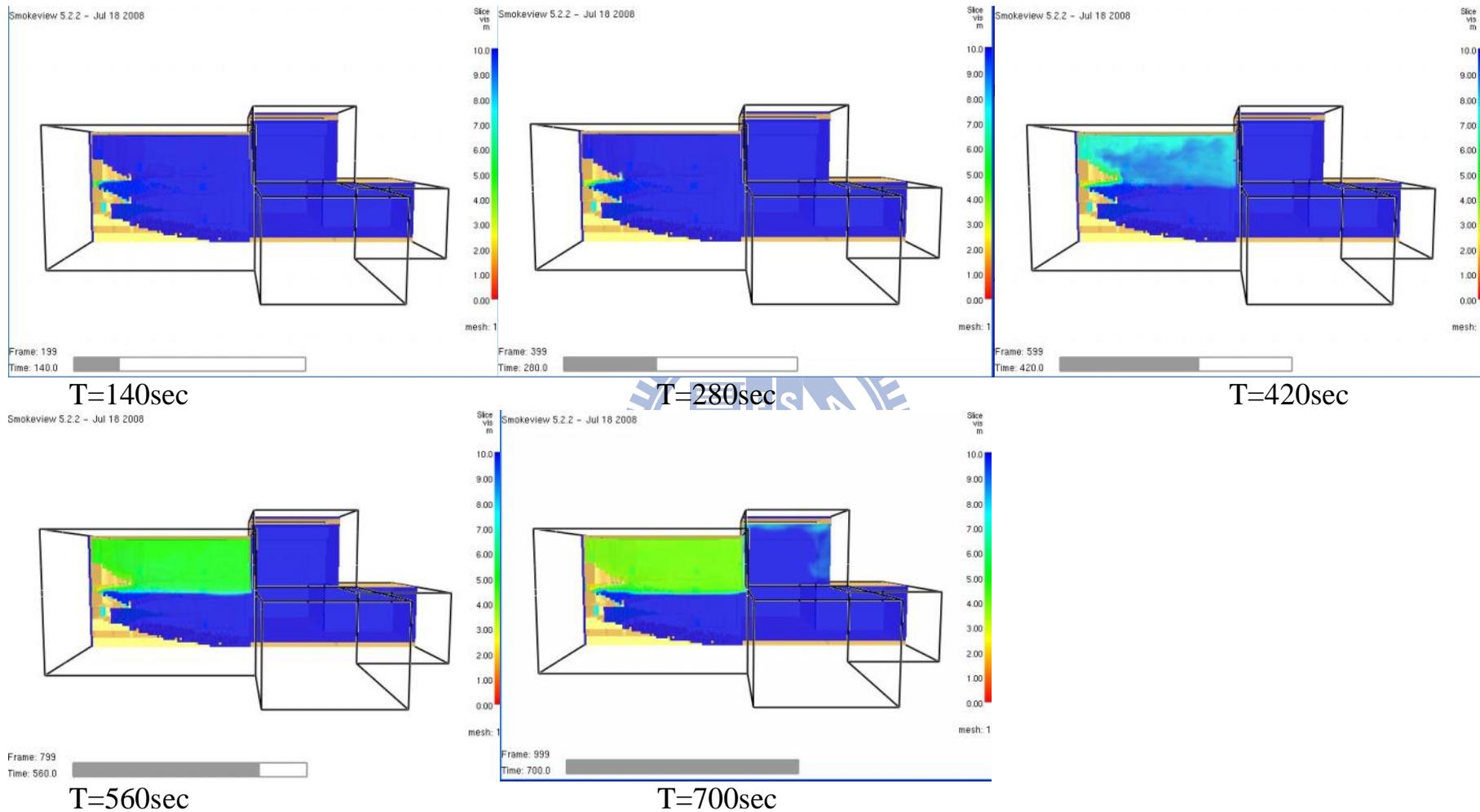


圖 5-78 戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境四)

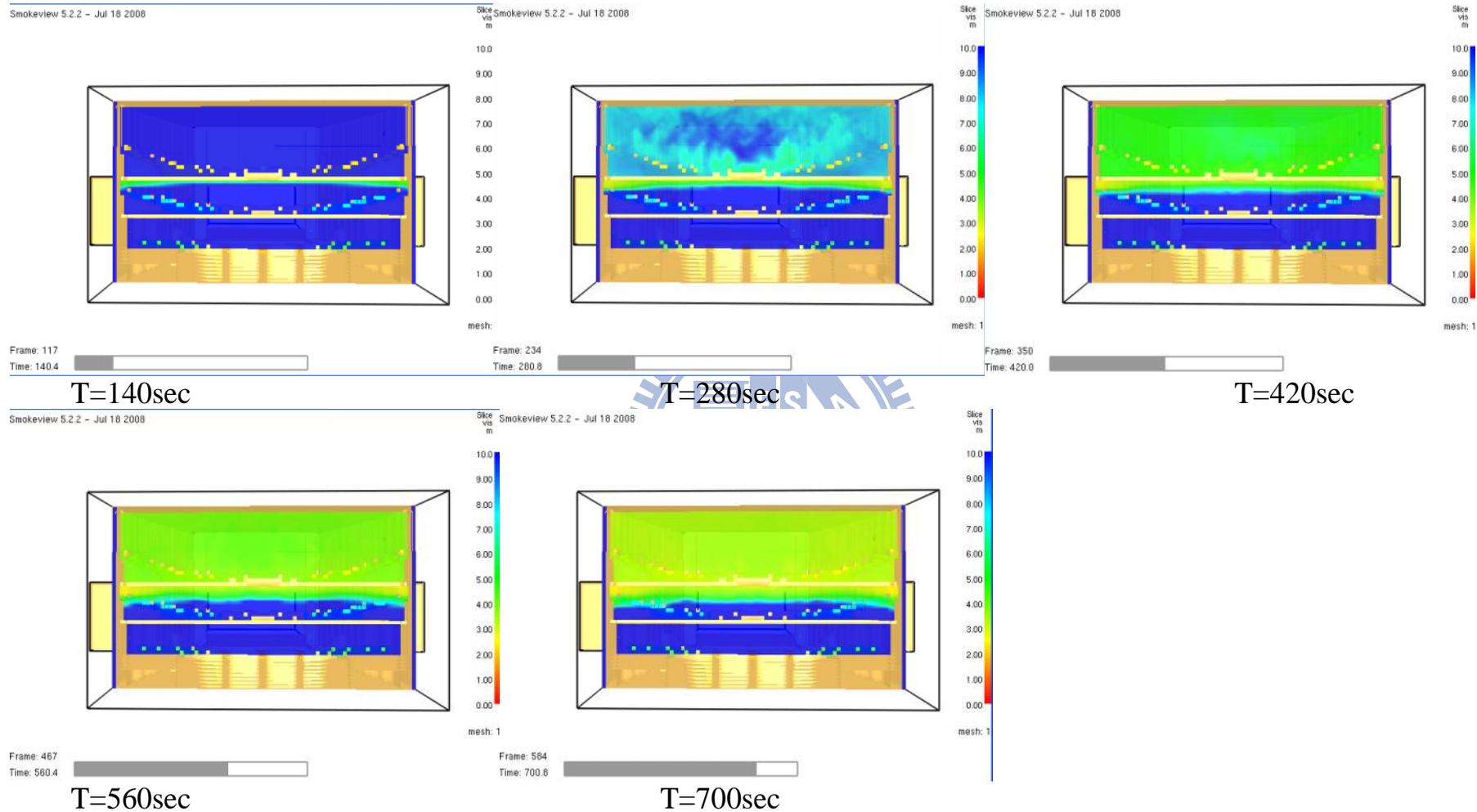
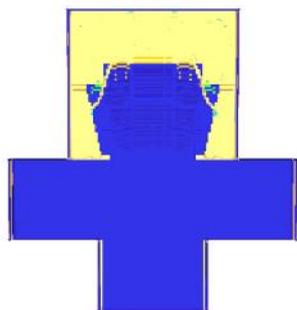


圖 5-79 戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境四)

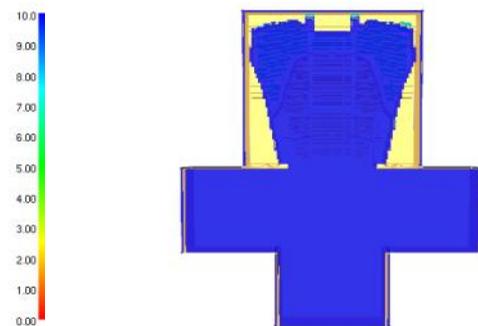
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 999
Time: 700.0

1F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

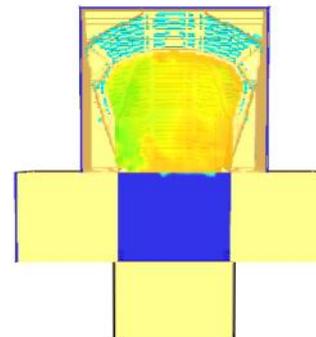


mesh: 1

Frame: 999
Time: 700.0

2F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

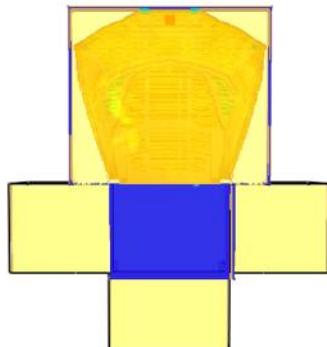


mesh: 1

Frame: 999
Time: 700.0

3F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 999
Time: 700.0

4F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



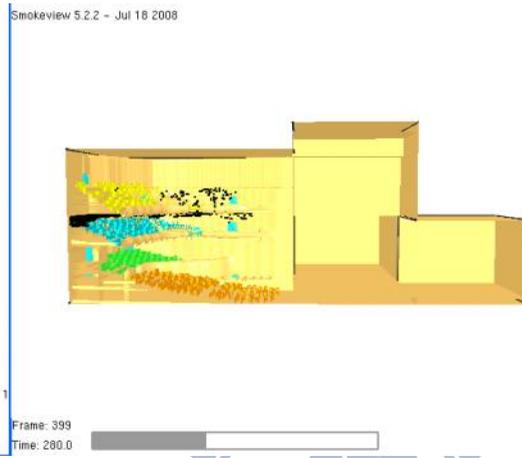
mesh: 1



圖 5-80 戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境四)



T=140sec



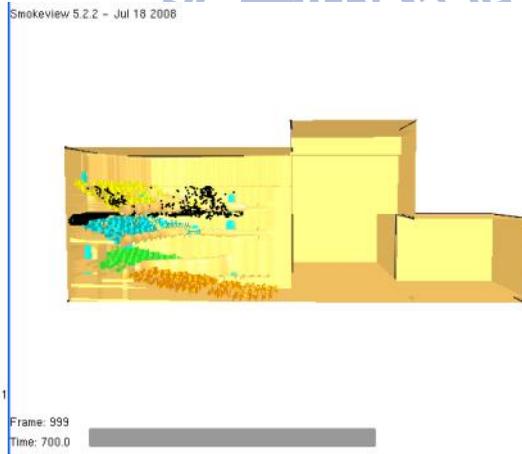
T=280sec



T=420sec



T=560sec



T=700sec

圖 5-81 戲院煙粒子分佈圖(情境四)

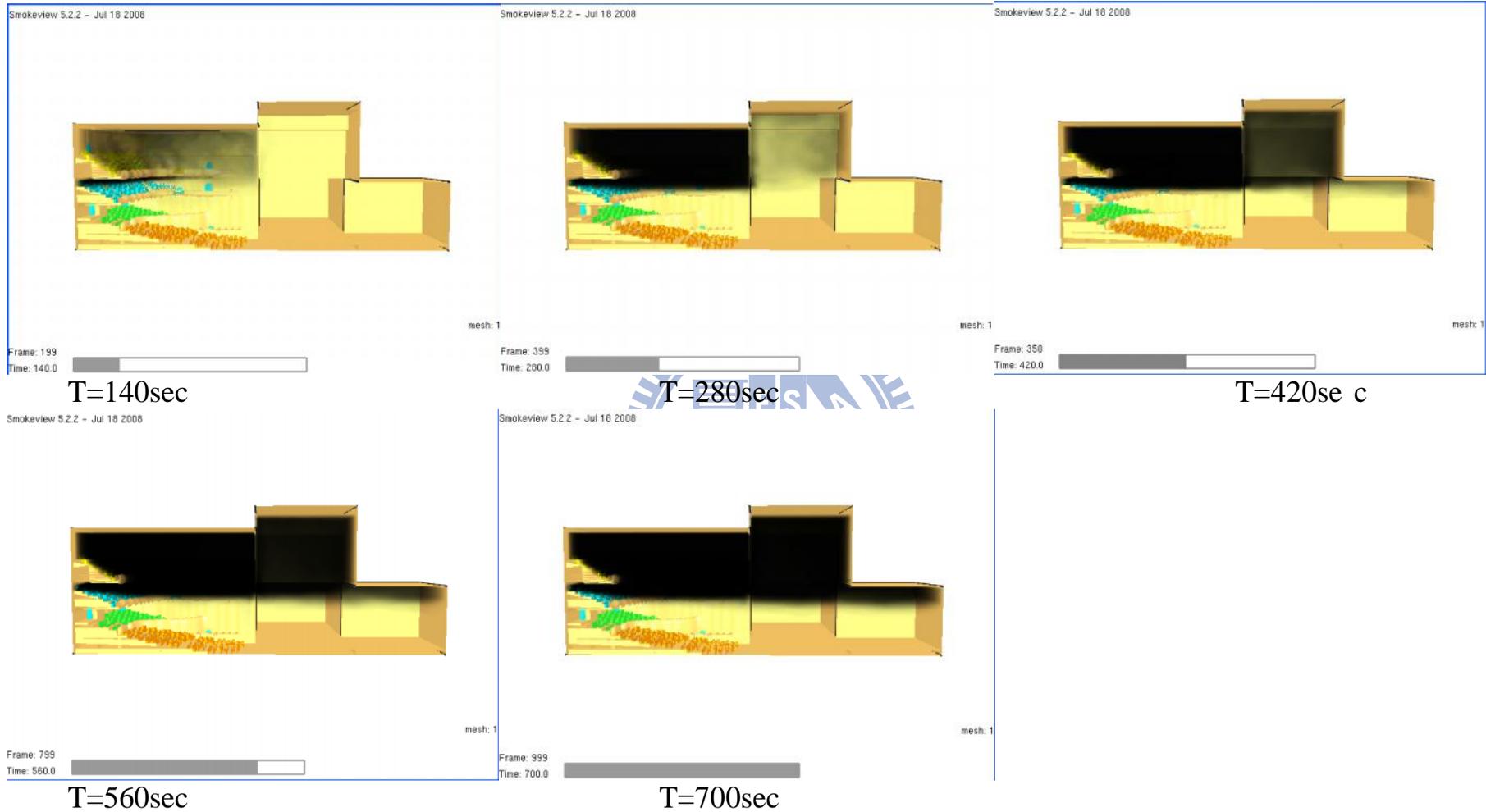


圖 5-82 戲劇院煙塵分佈圖(情境四)

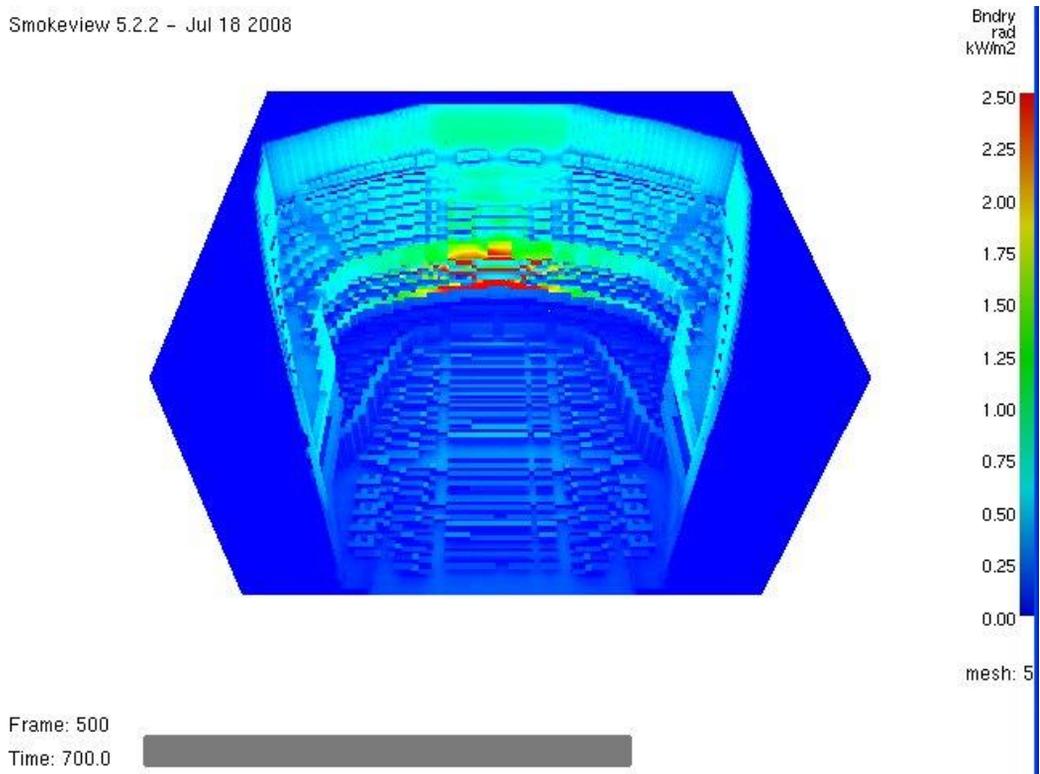


圖 5-83 戲劇院熱輻射分佈圖(情境四)

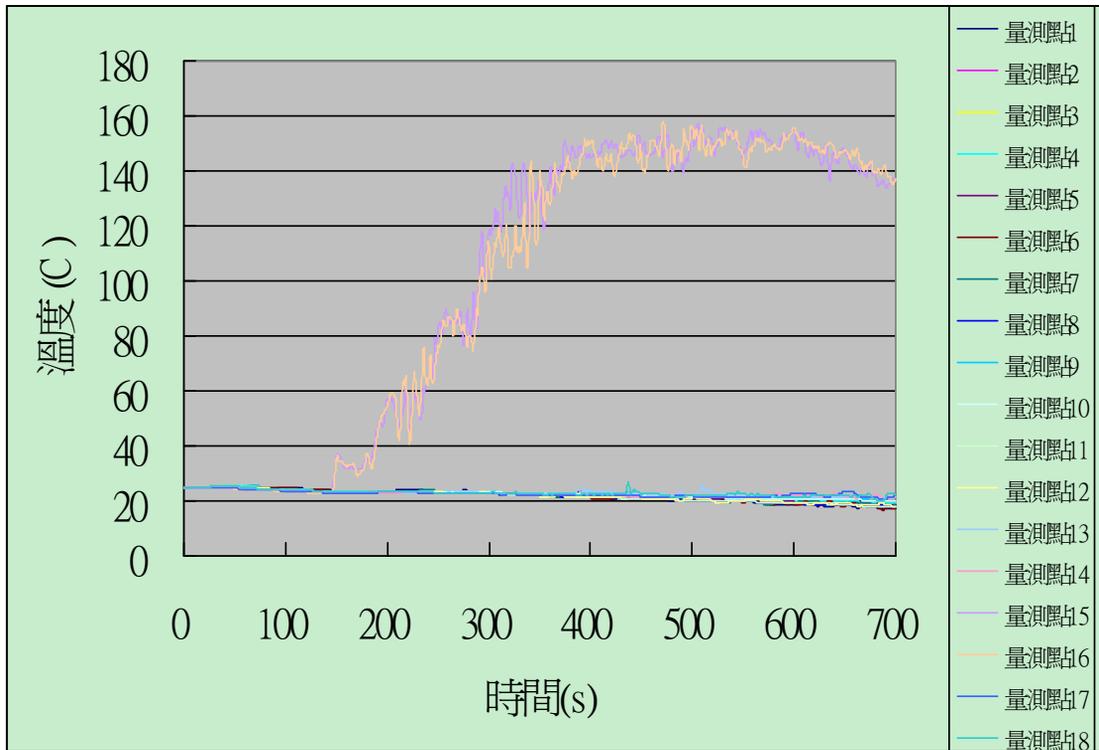


圖 5-84 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境五)

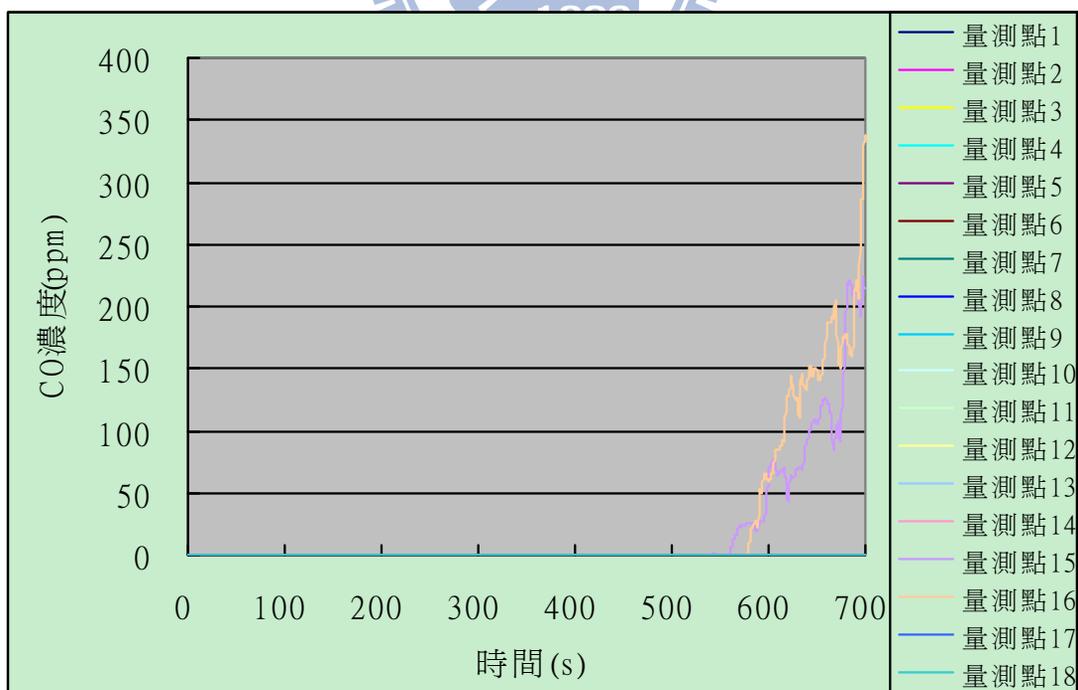


圖 5-85 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境五)

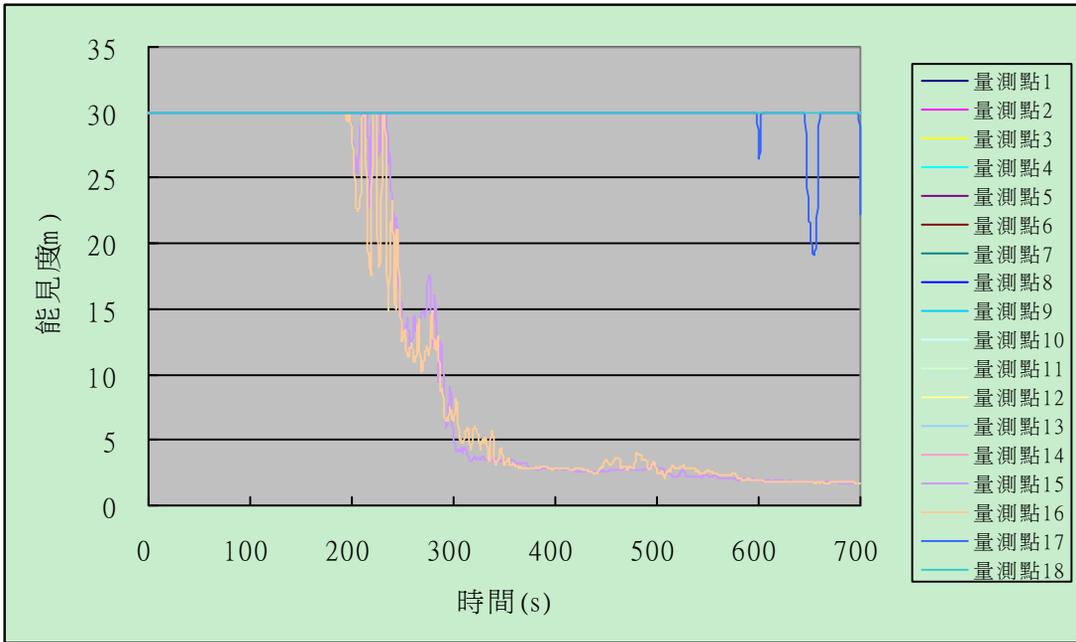


圖 5-86 戲劇院距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境五)

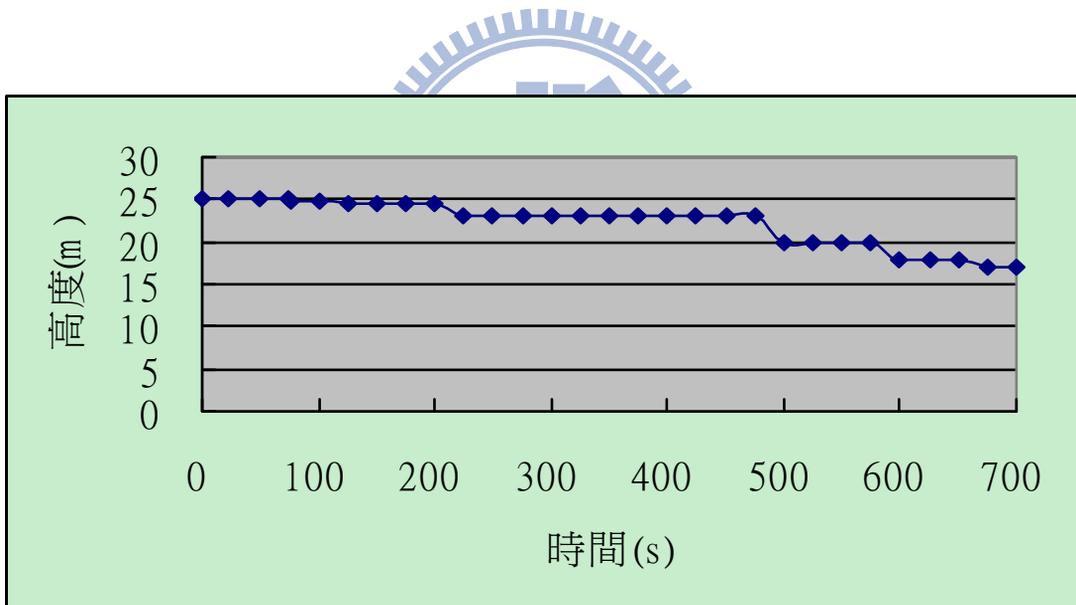


圖 5-87 戲劇院煙層高度圖(情境五)

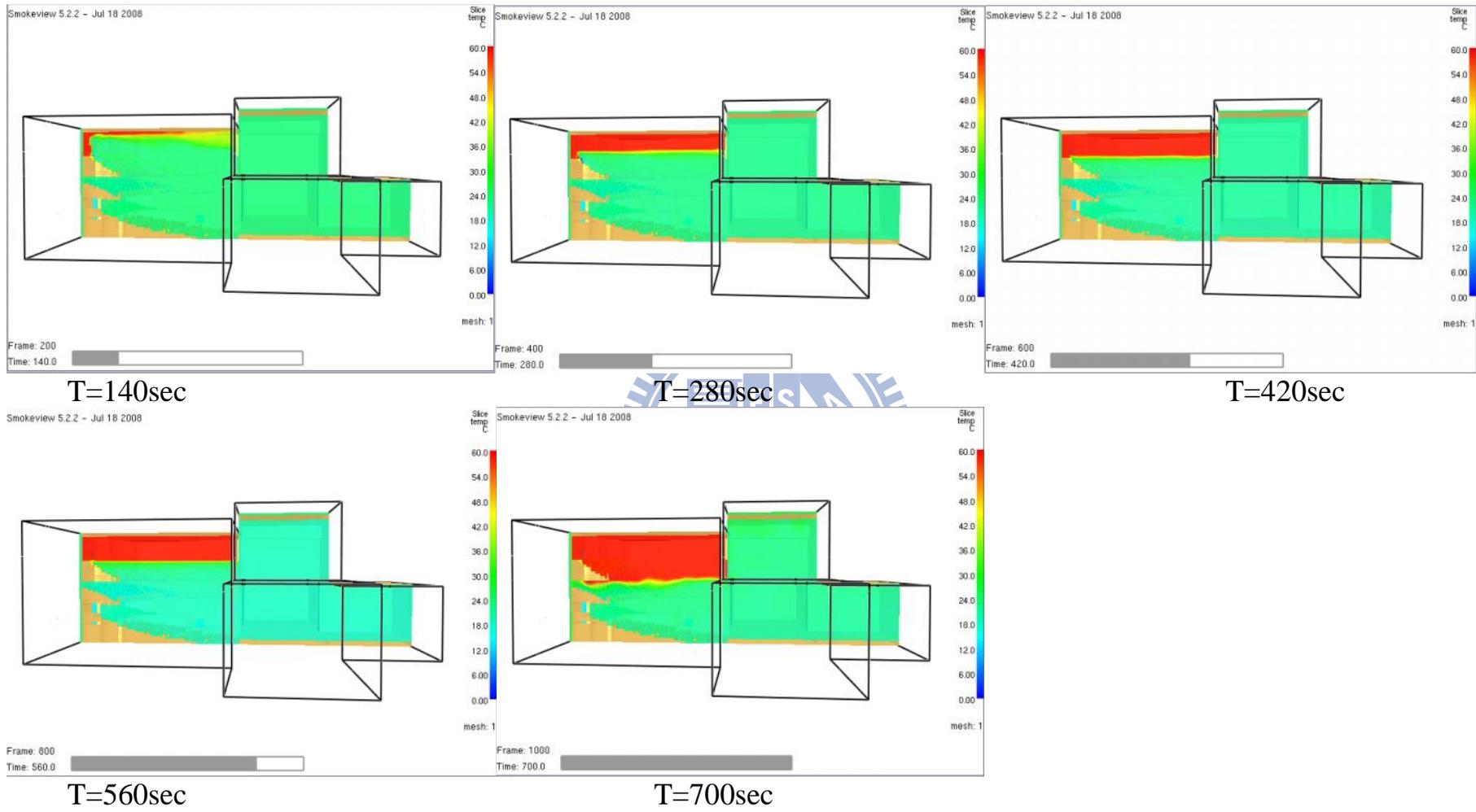
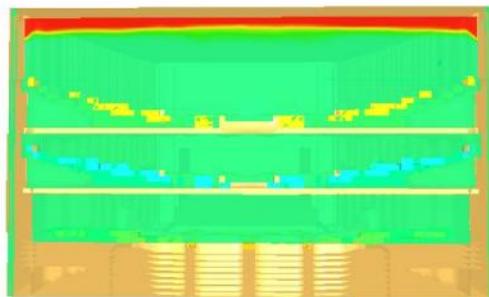


圖 5-88 戲劇院溫度分佈圖 y-z 剖面(情境五)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

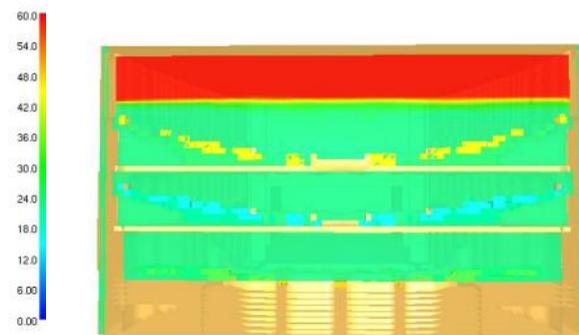


Frame: 200
Time: 140.0

T=140sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

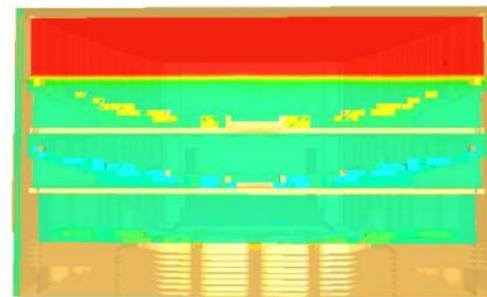


mesh: 1
Frame: 400
Time: 280.0

T=280sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

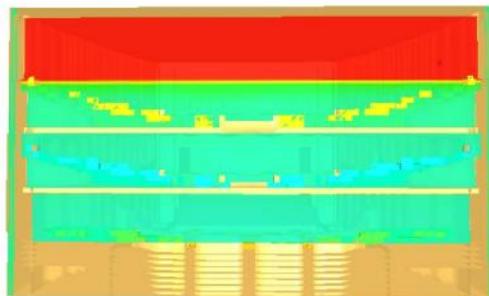
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 600
Time: 420.0

T=420sec

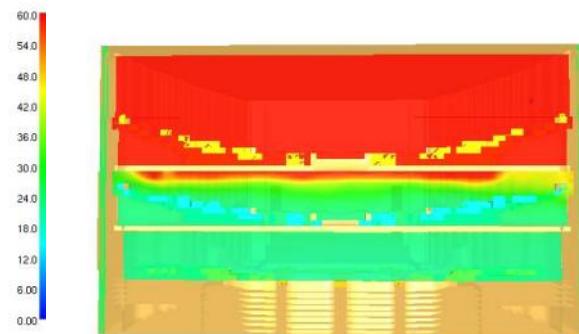
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 800
Time: 560.0

T=560sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 1000
Time: 700.0

T=700sec

圖 5-89 戲劇院溫度分佈圖 x-z 剖面(情境五)

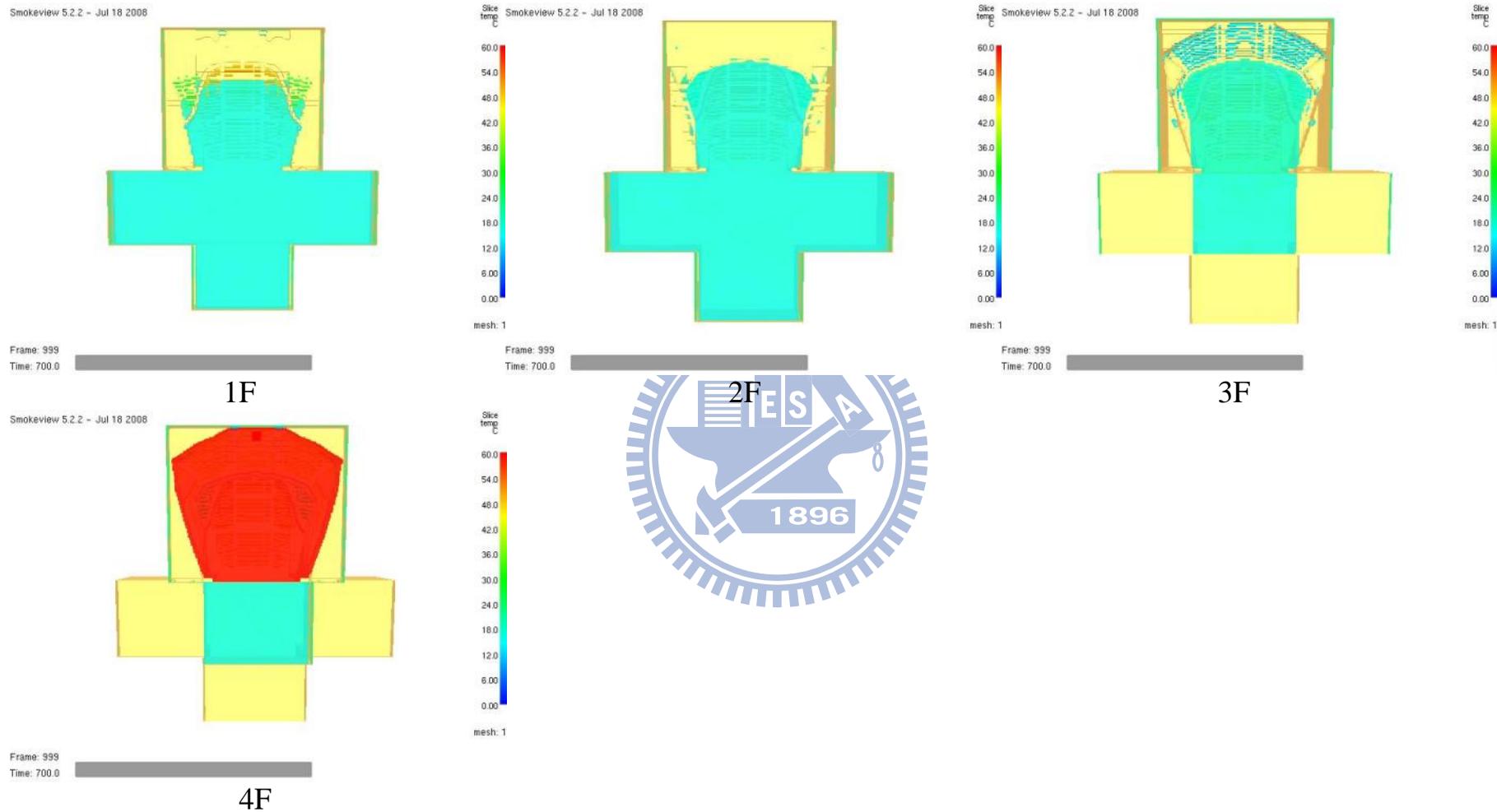


圖 5-90 戲劇院各層樓溫度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境五)

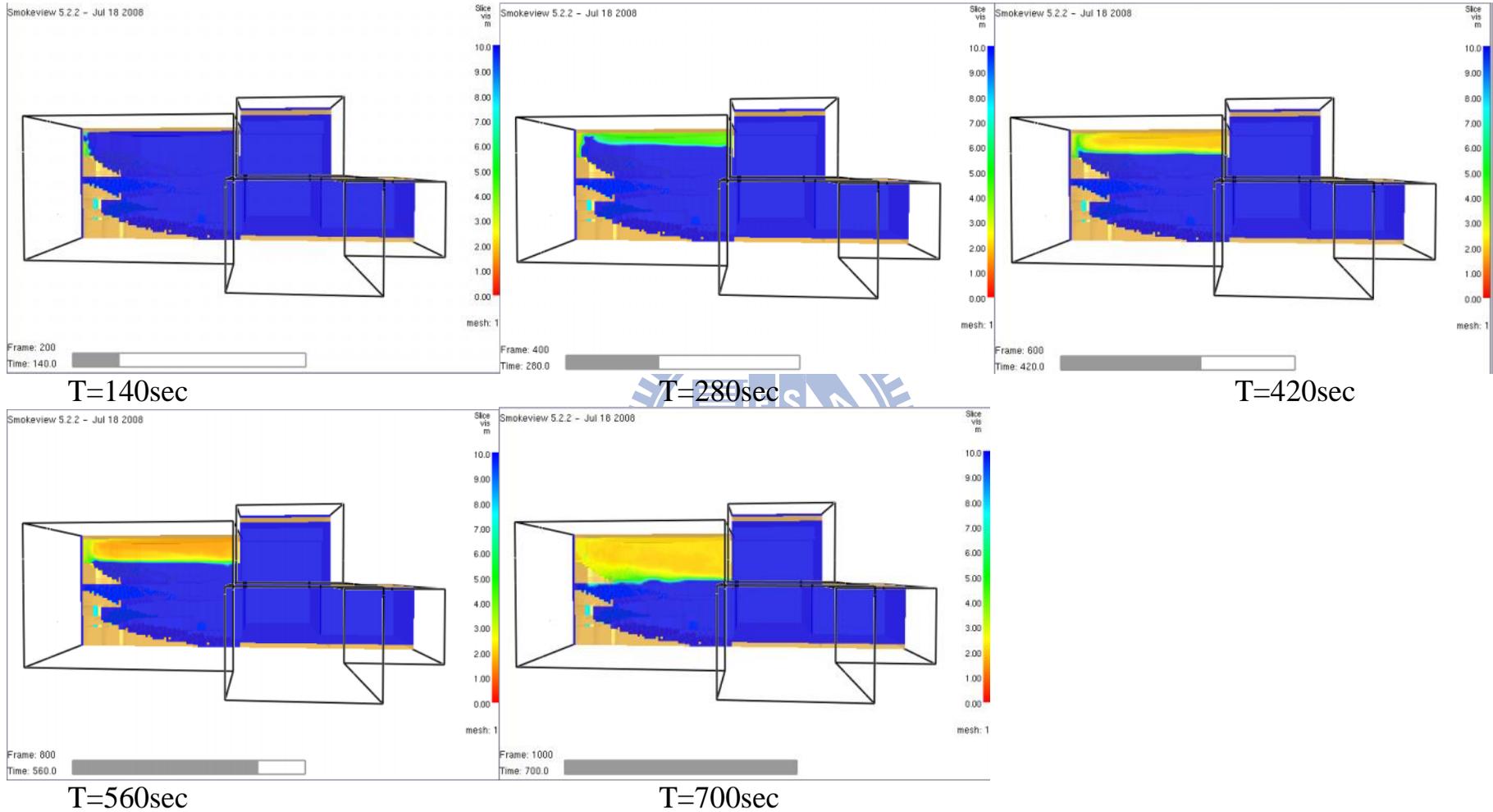
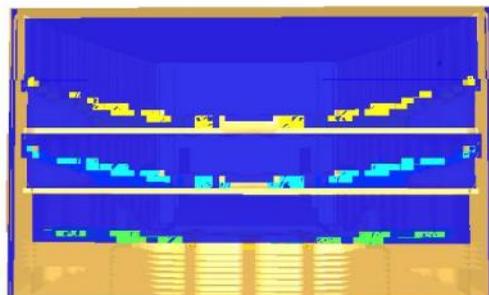


圖 5-91 戲劇院 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境五)

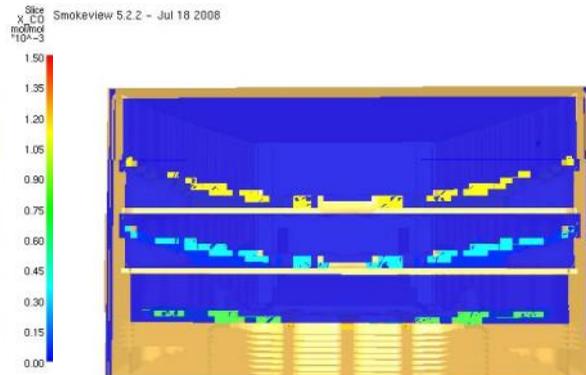
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 200
Time: 140.0

T=140sec

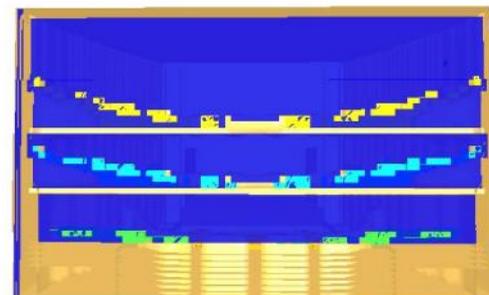
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 400
Time: 280.0

T=280sec

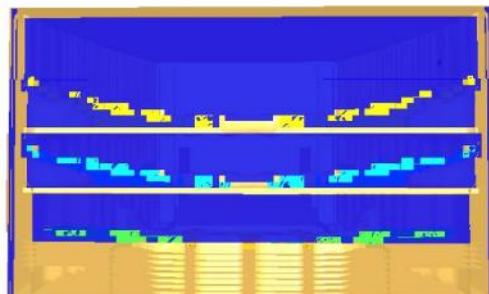
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 600
Time: 420.0

T=420sec

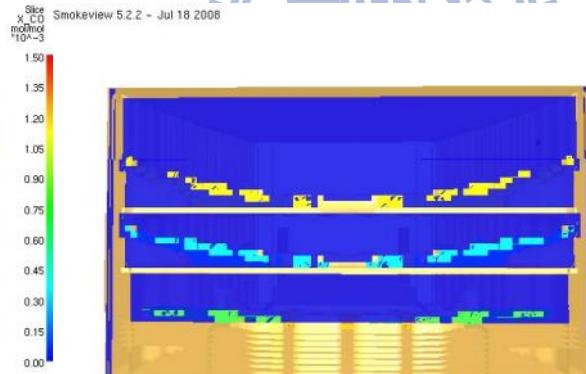
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 800
Time: 560.0

T=560sec

Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 1000
Time: 700.0

T=700sec

圖 5-92 戲劇院 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境五)

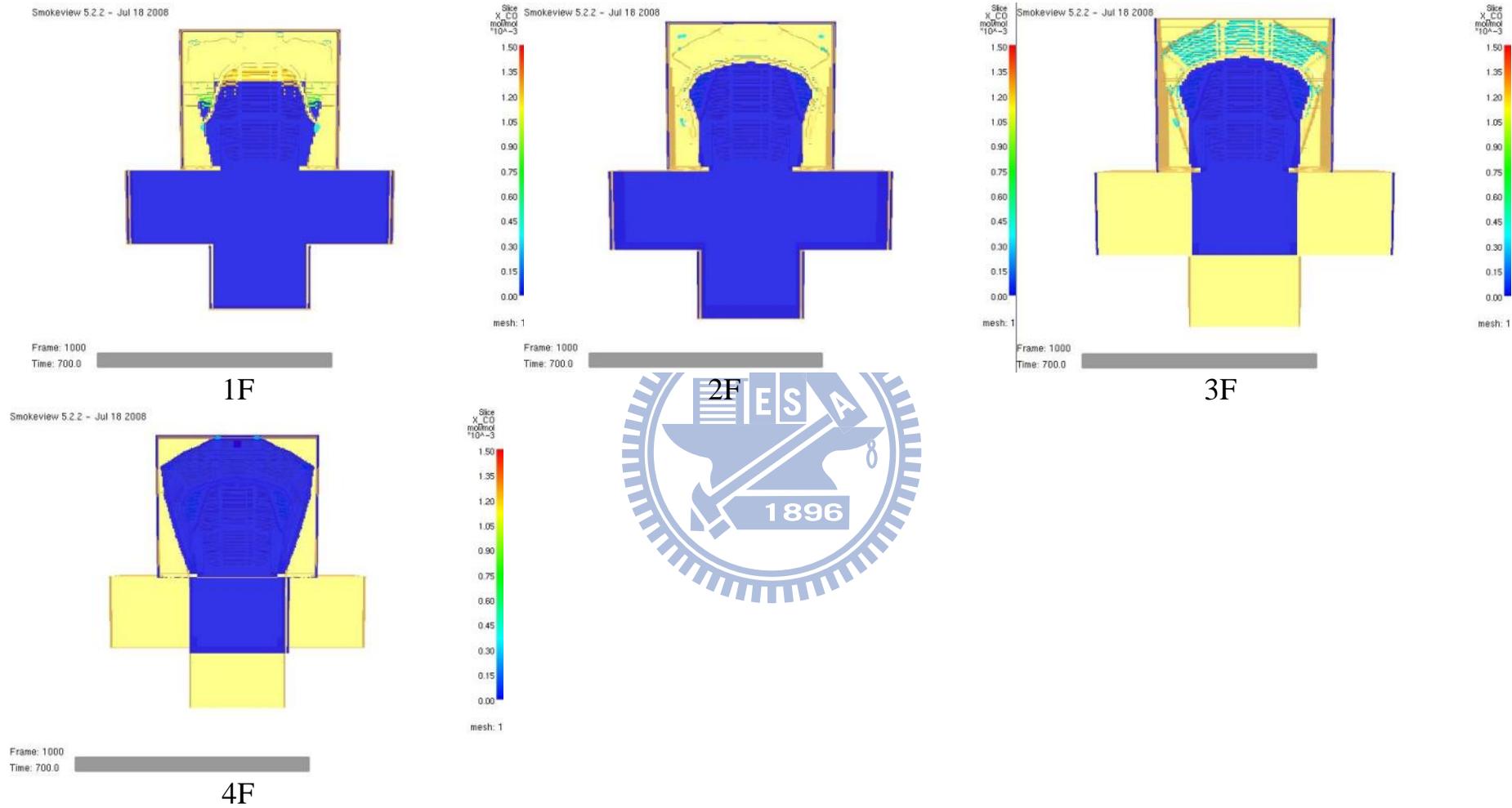


圖 5-93 戲劇院各層樓 CO 700 秒分佈圖 x-y 剖面 (情境五)

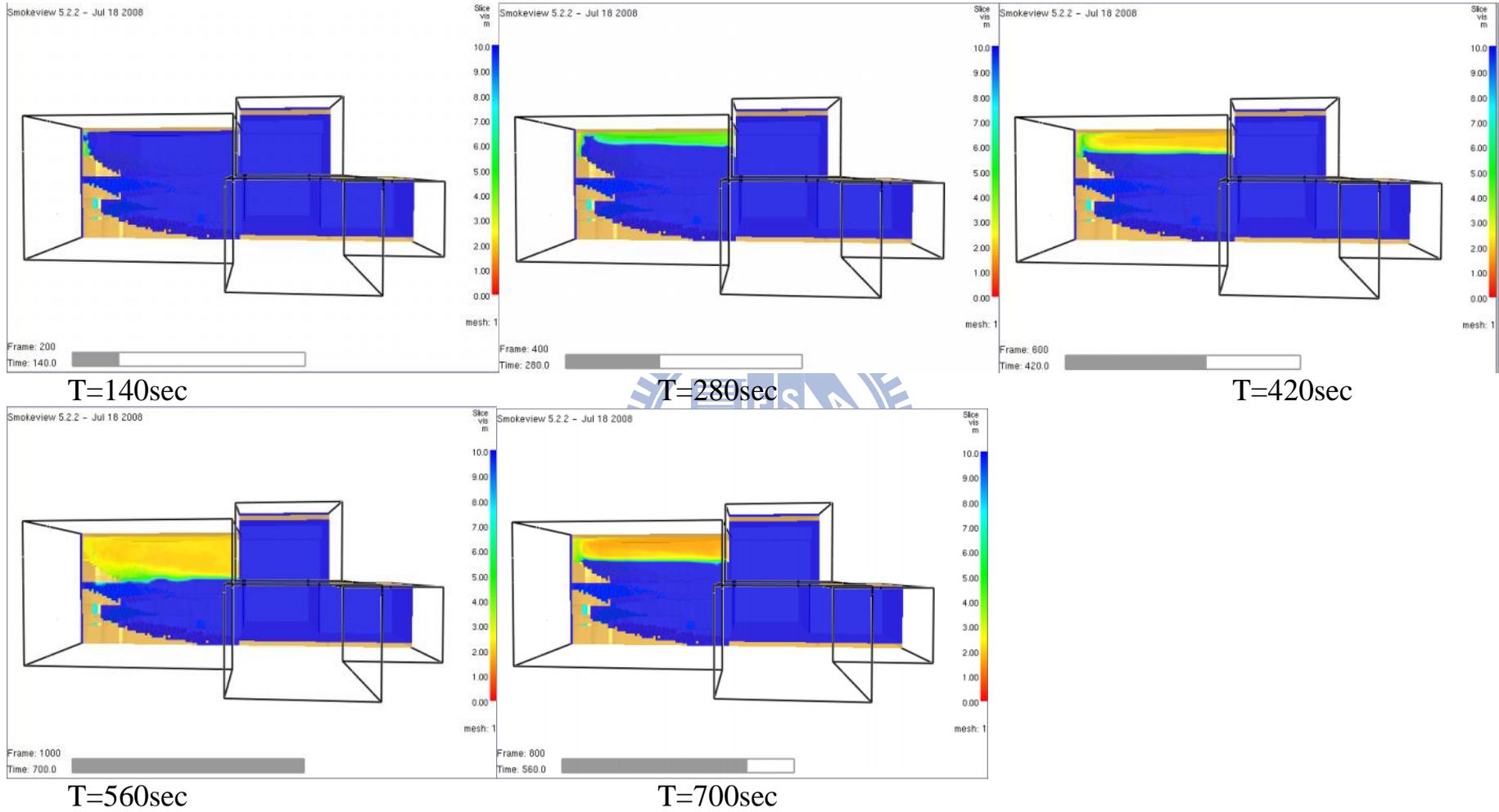
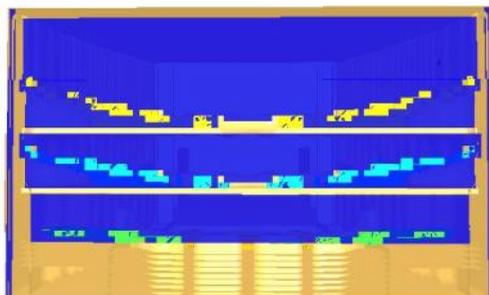


圖 5-94 戲劇院能見度分佈圖 y-z 剖面(情境五)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

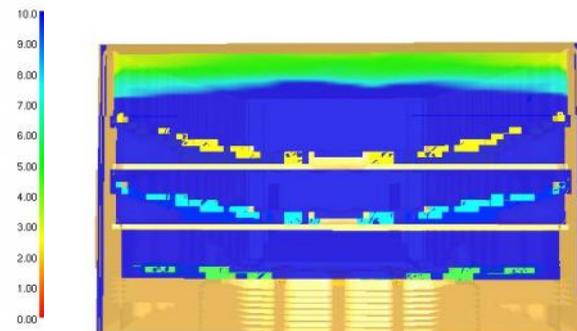


Frame: 200
Time: 140.0

T=140sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

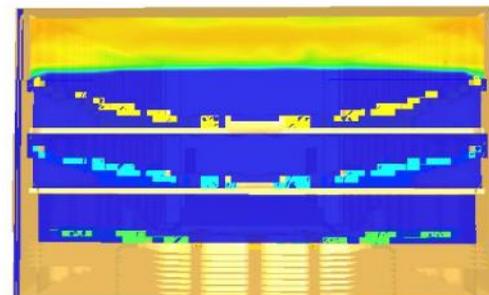


Frame: 400
Time: 280.0

T=280sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

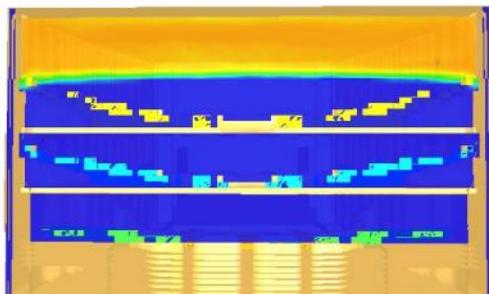
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 600
Time: 420.0

T=420sec

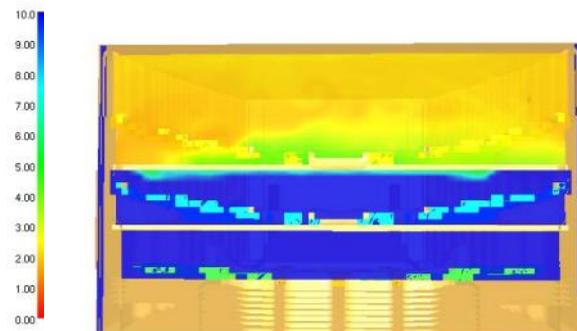
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 800
Time: 560.0

T=560sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 1000
Time: 700.0

T=700sec

圖 5-95 戲劇院能見度分佈圖 x-z 剖面(情境五)

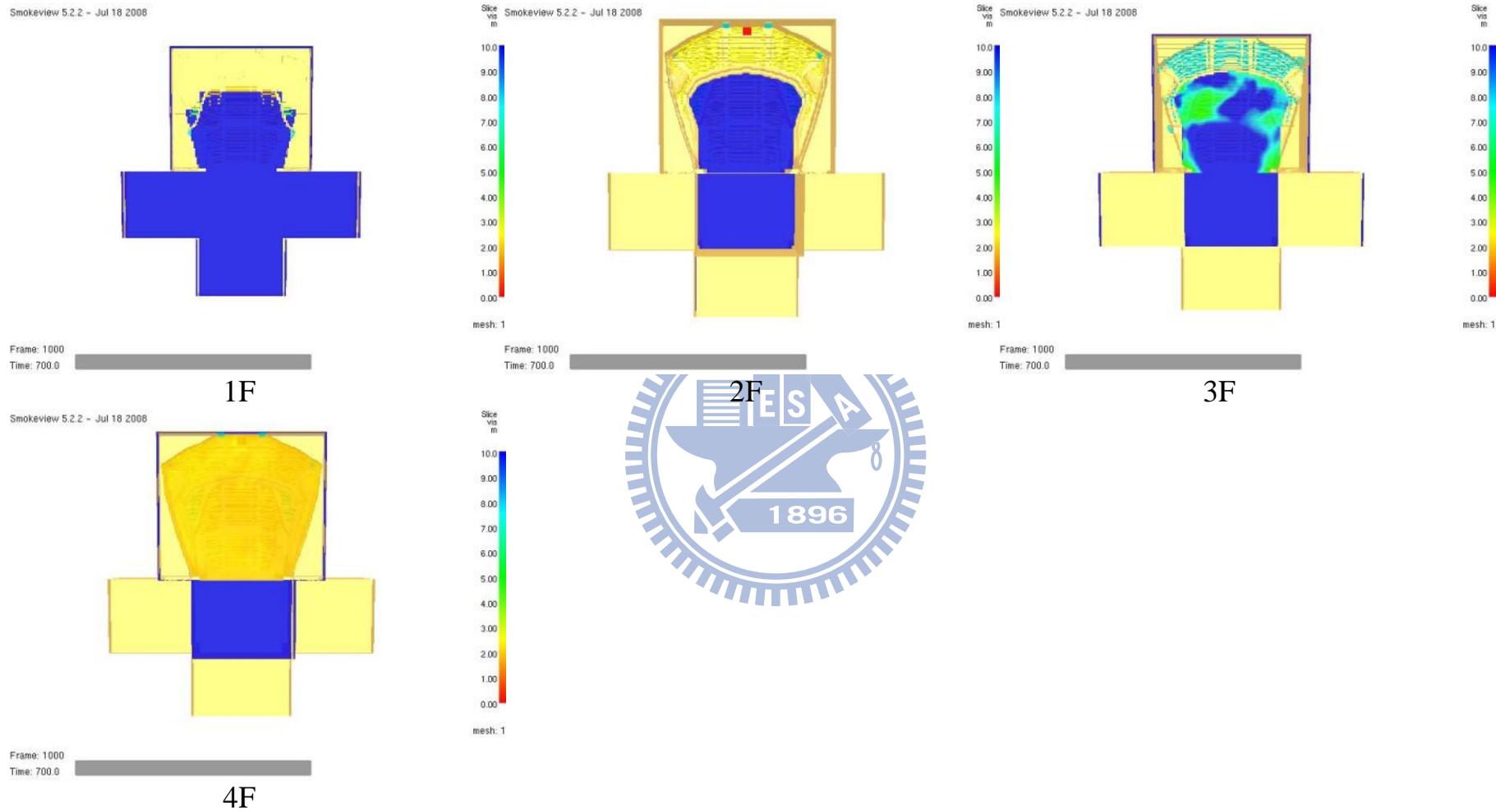


圖 5-96 戲劇院各層樓能見度 700 秒分佈圖 x-y 剖面(情境五)



T=140sec



T=280sec



T=420sec



T=560sec

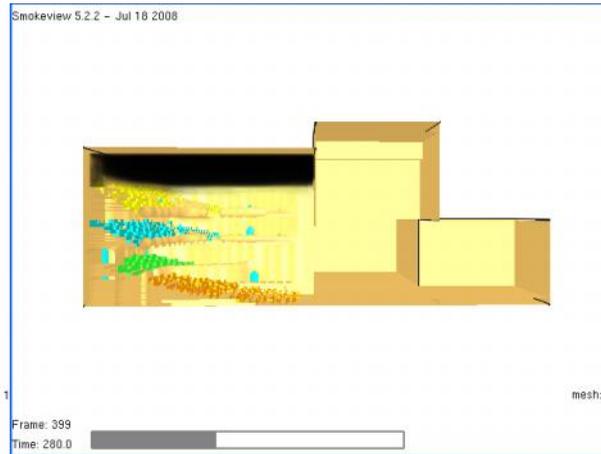


T=700sec

圖 5-97 戲院煙粒子分佈圖(情境五)



T=140sec



T=280sec



T=420sec



T=560sec



T=700sec

圖 5-98 戲劇院煙塵分佈圖(情境五)

Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008

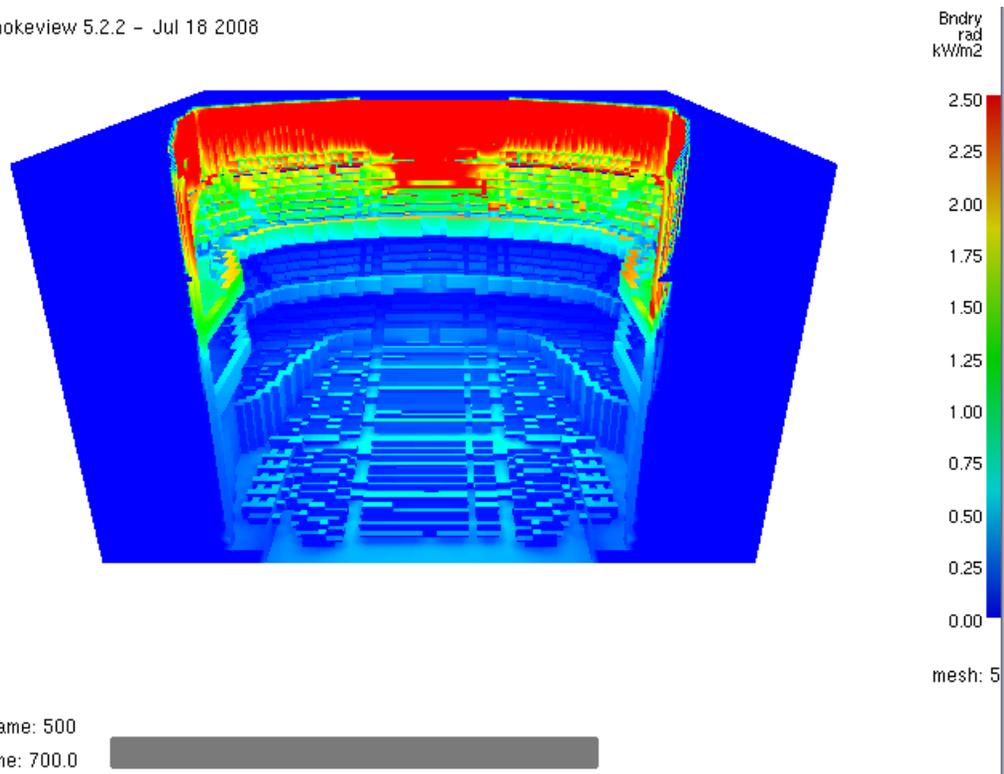


圖 5-99 戲劇院熱輻射分佈圖(情境五)

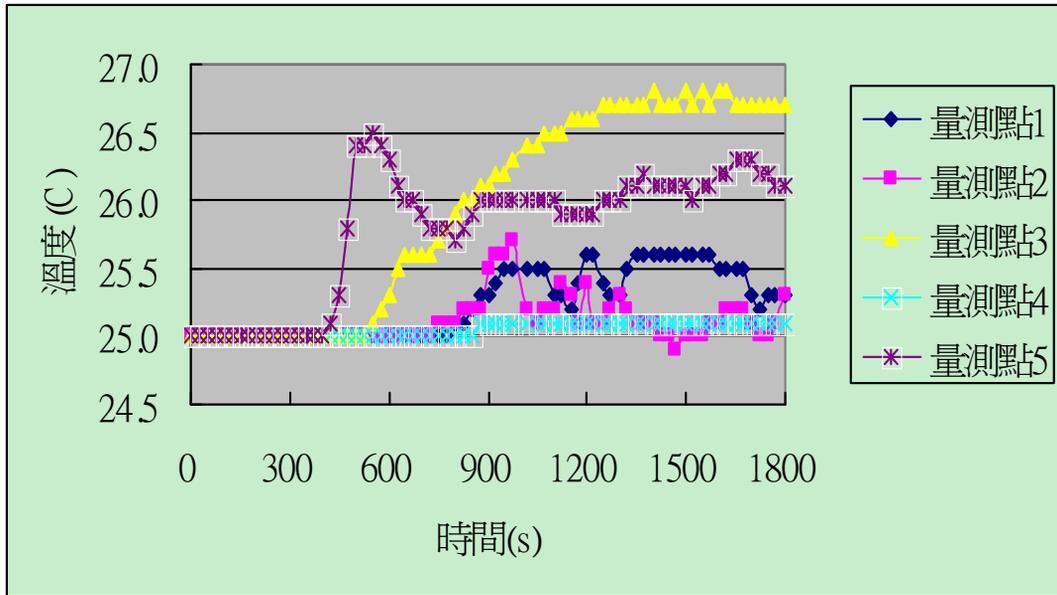


圖 5-100 榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境一)

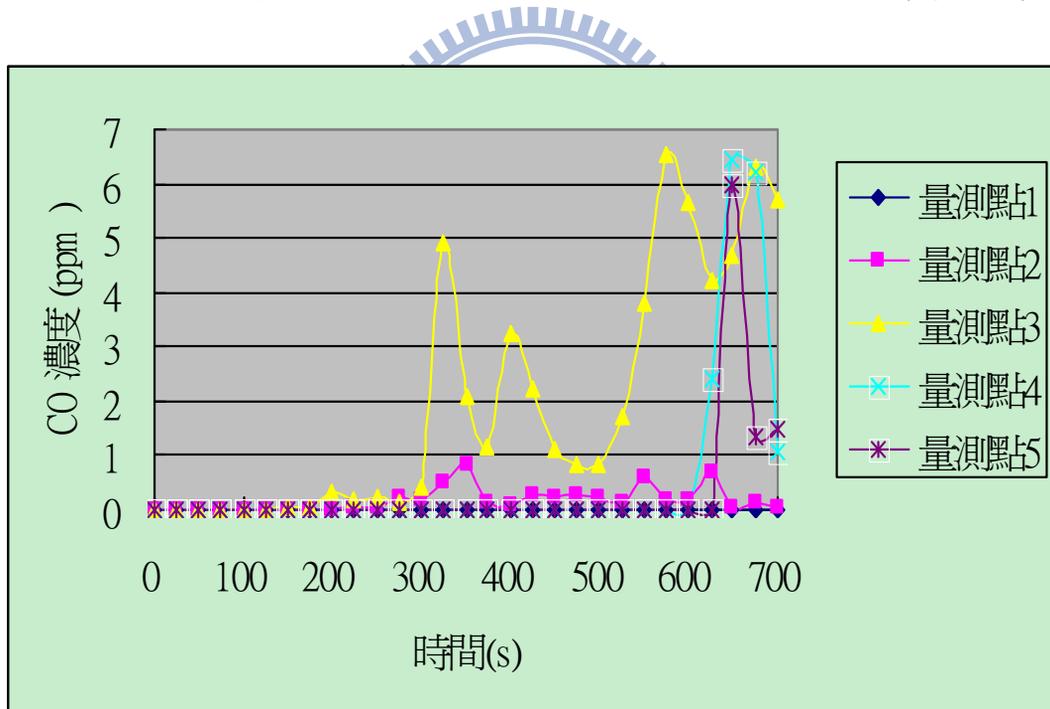


圖 5-101 榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境一)

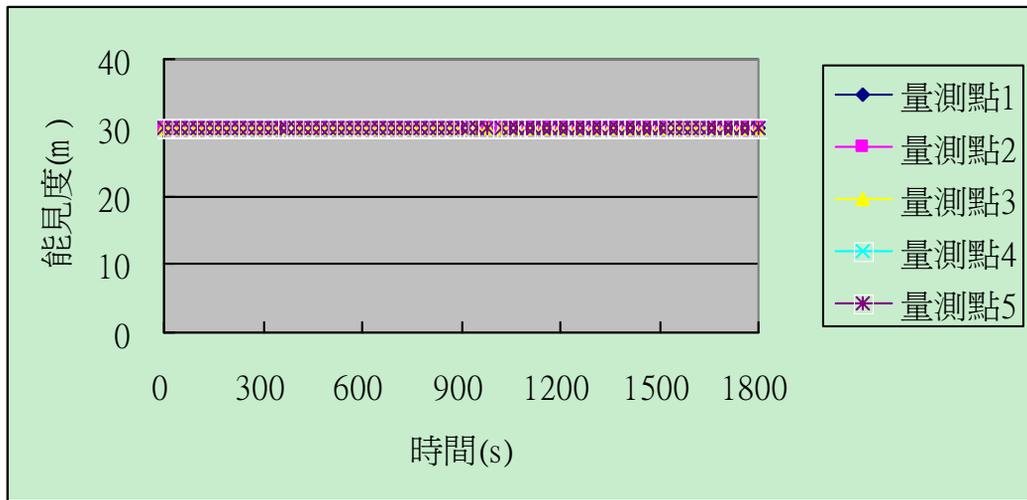


圖 5-102 榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境一)

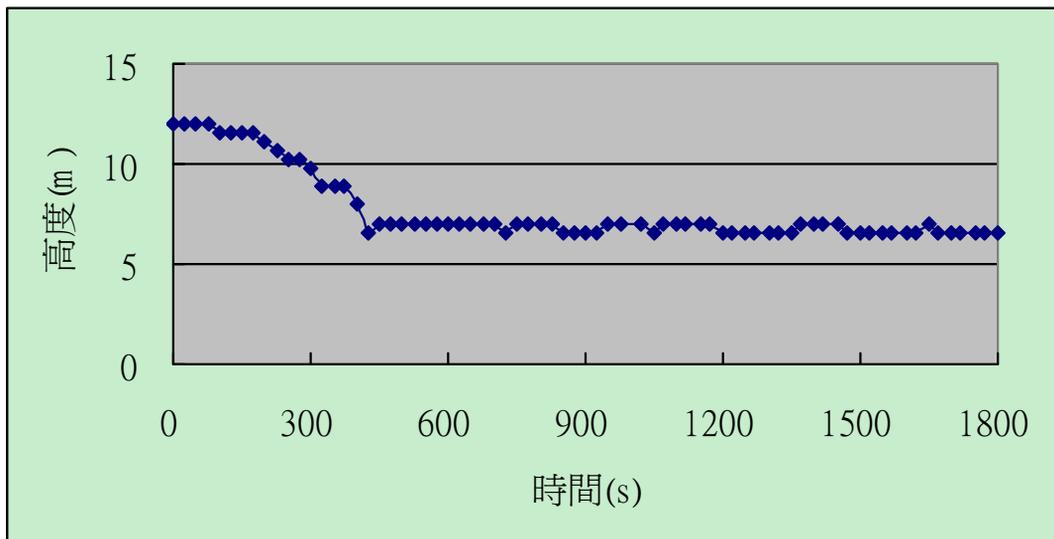


圖 5-103 榕樹廣場煙層高度圖(情境一)

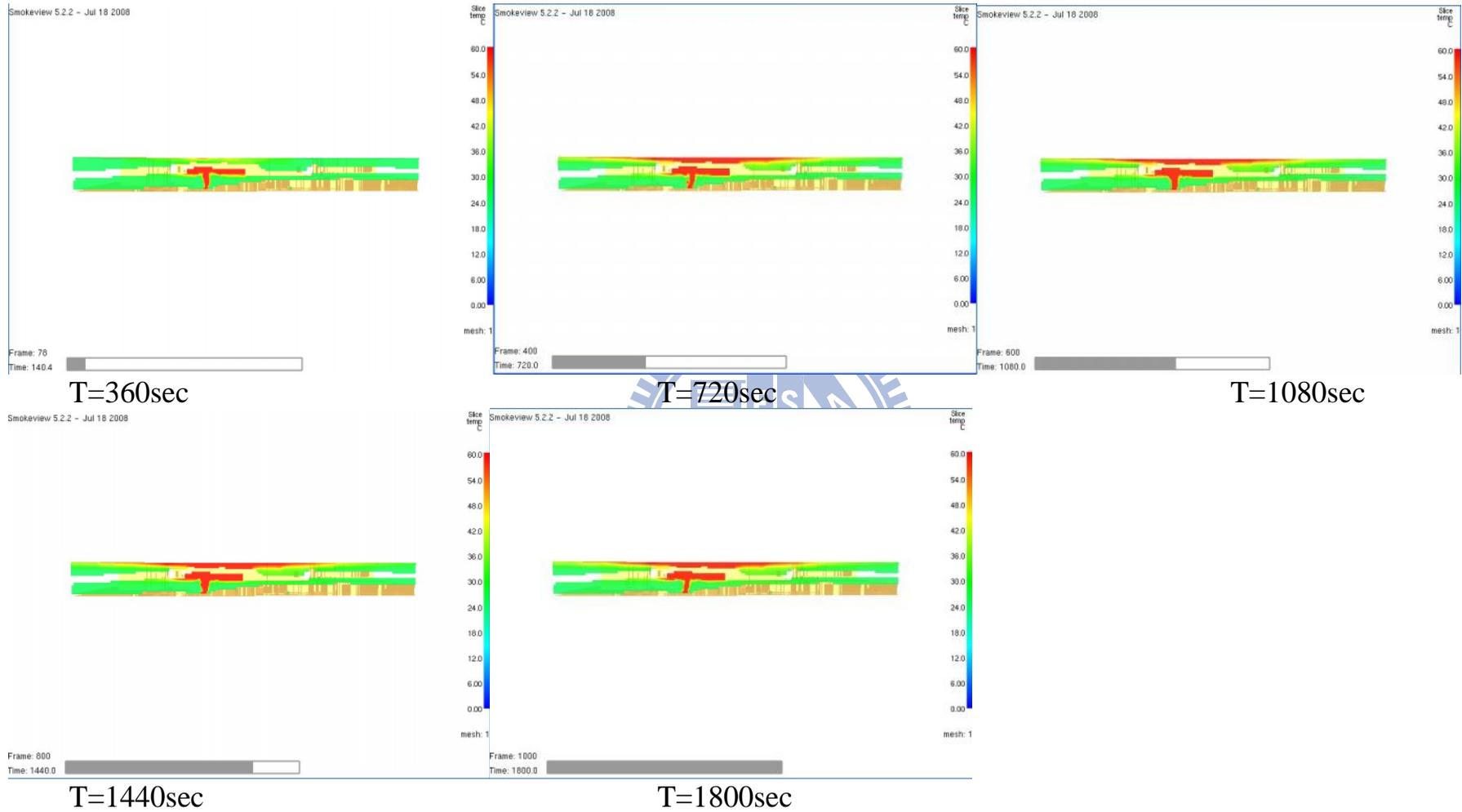


圖 5-104 榕樹廣場溫度分佈圖 y-z 剖面(情境一)

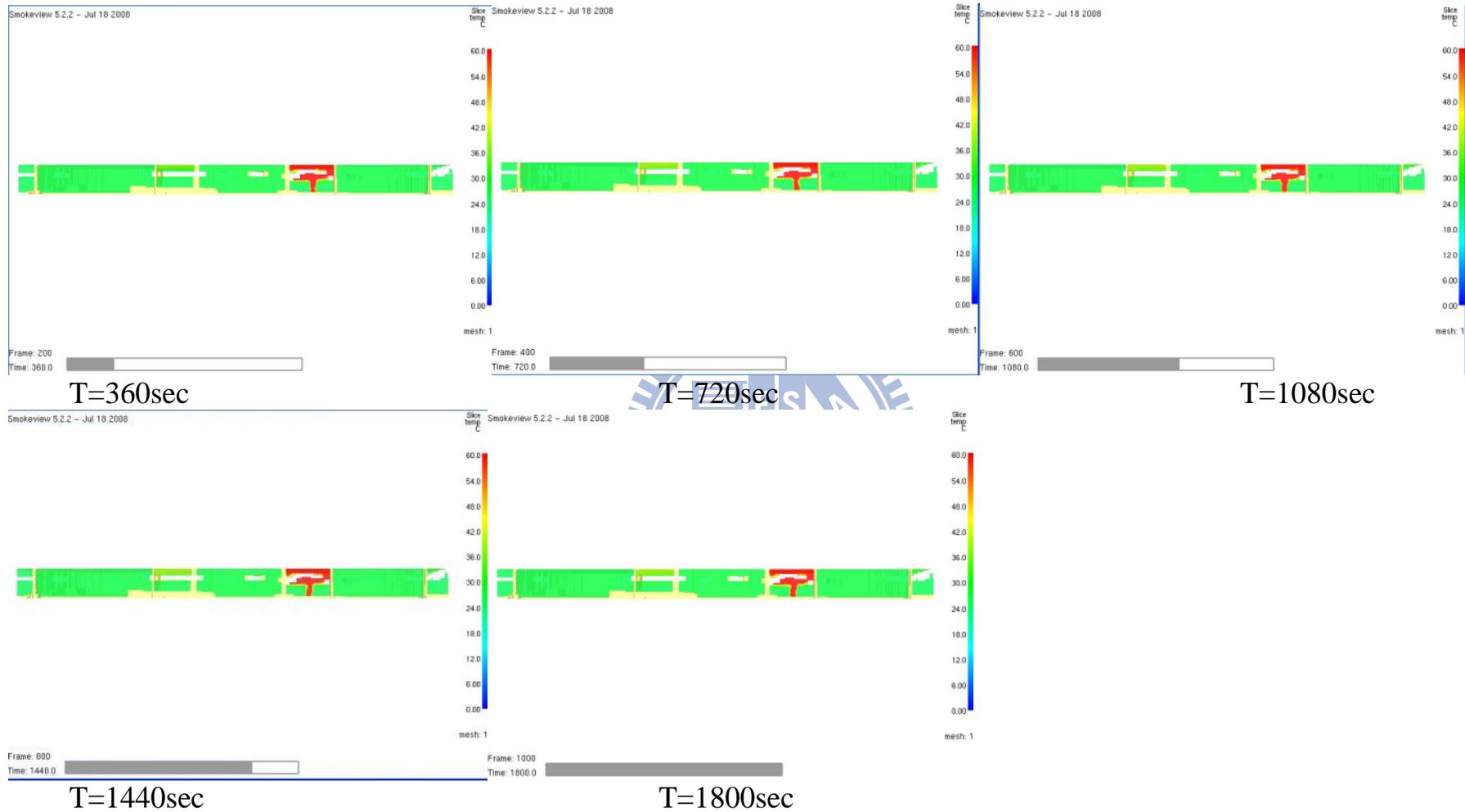


圖 5-105 榕樹廣場溫度分佈圖 x-z 剖面(情境一)

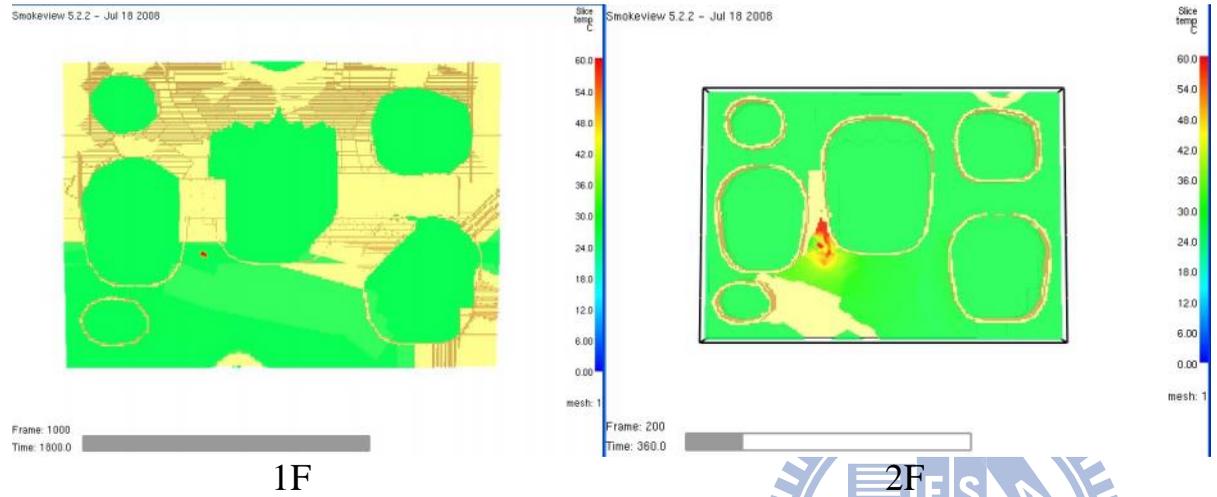


圖 5-106 榕樹廣場各層樓溫度 1800 秒分佈圖 x-y 剖面(情境一)

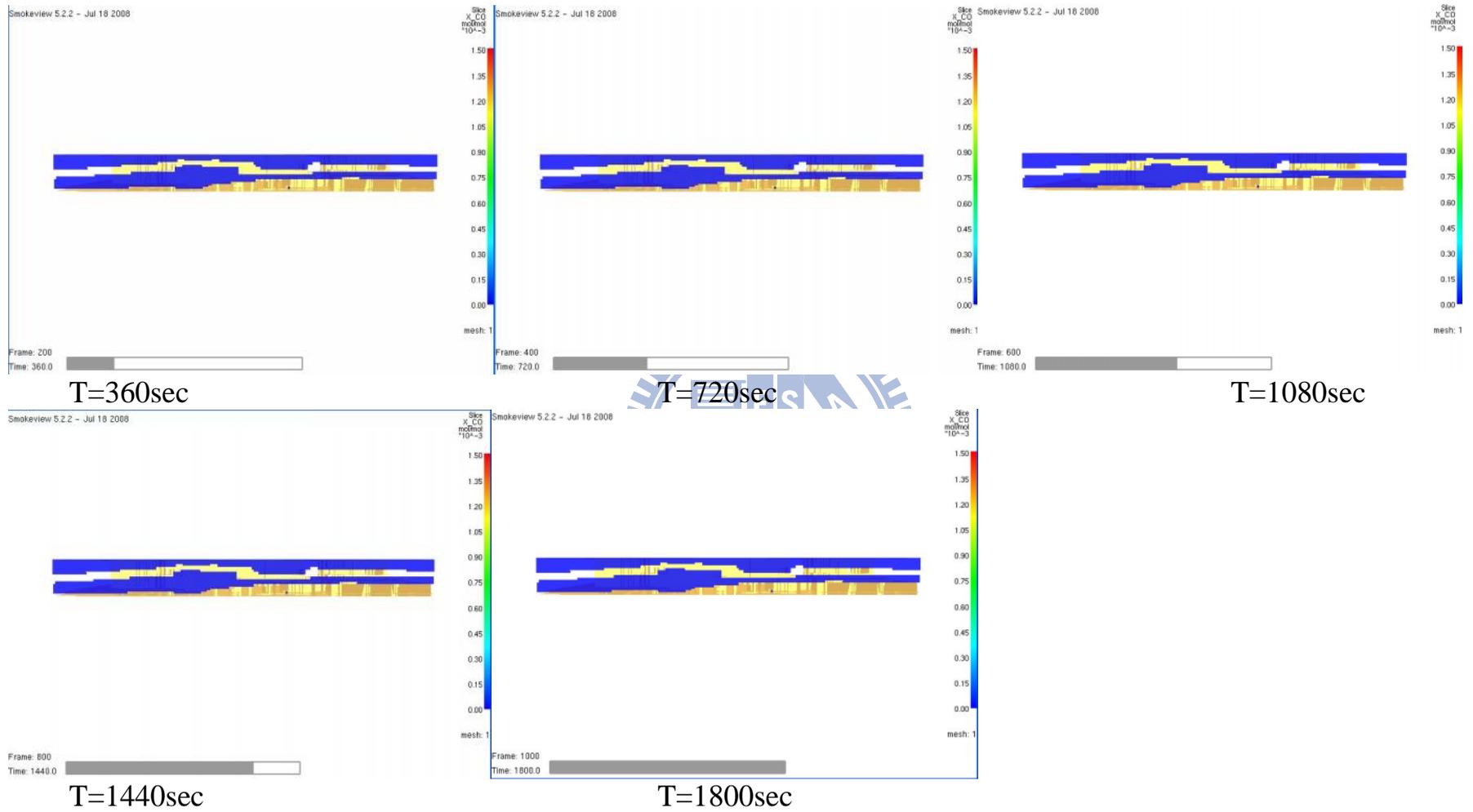


圖 5-107 榕樹廣場 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境一)

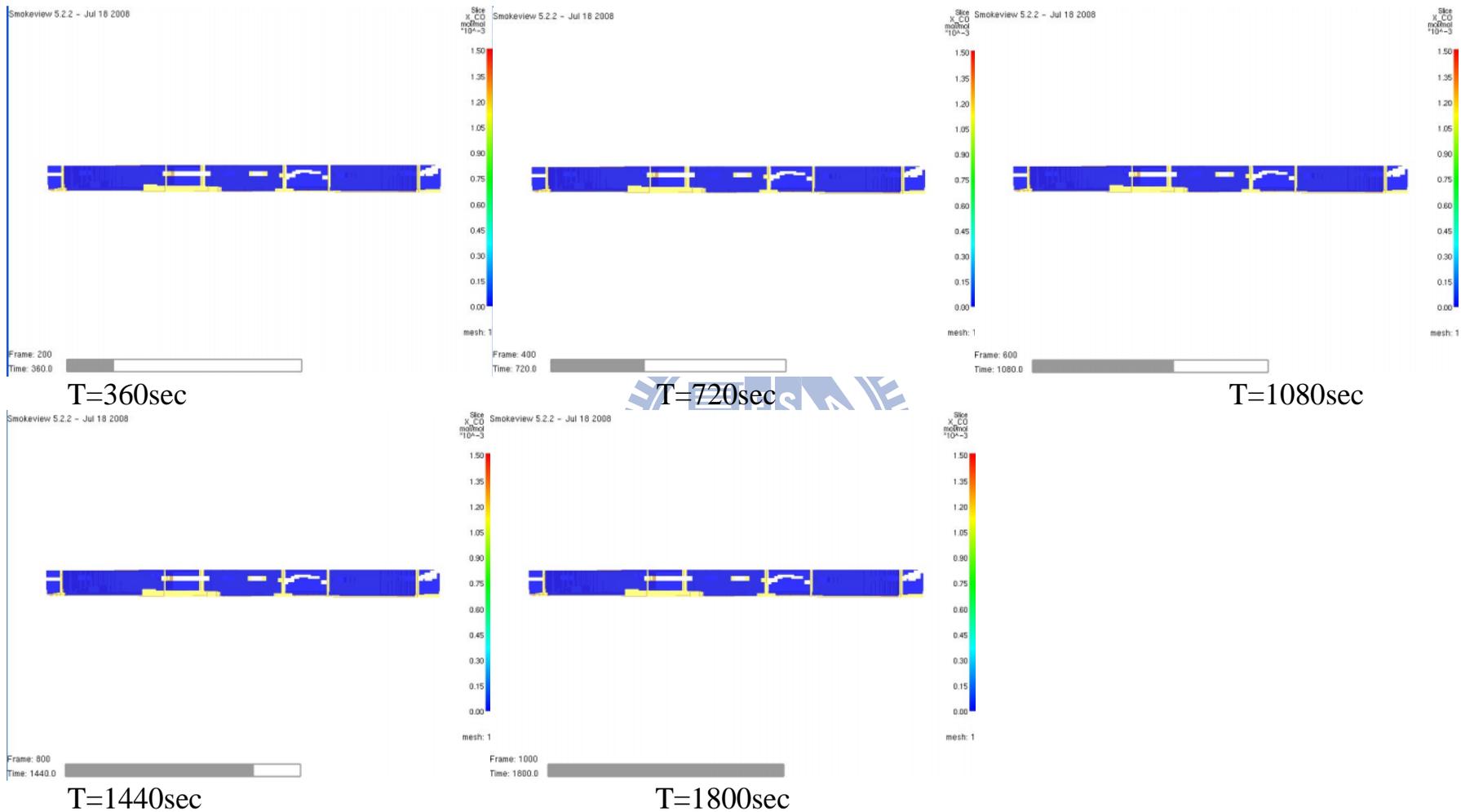


圖 5-108 榕樹廣場 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境一)

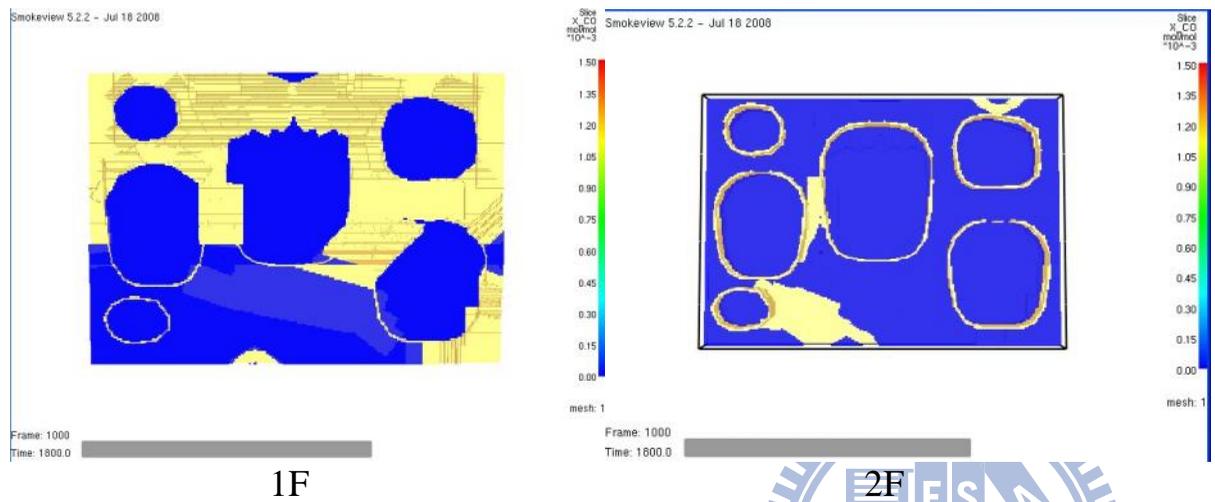


圖 5-109 榕樹廣場各層樓 CO 1800 秒分佈圖 x-y 剖面 (情境一)

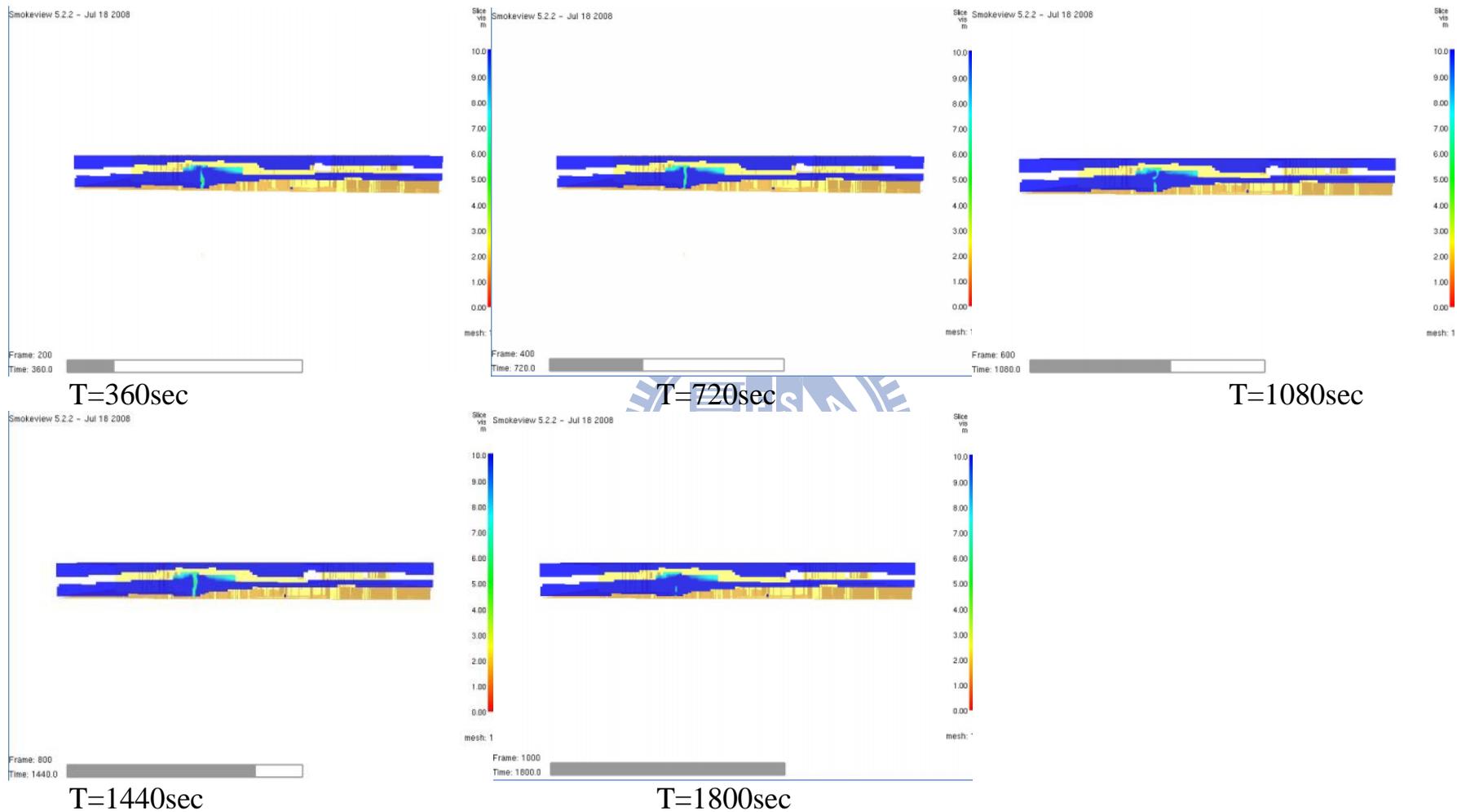


圖 5-110 榕樹廣場能見度分佈圖 y-z 剖面(情境一)

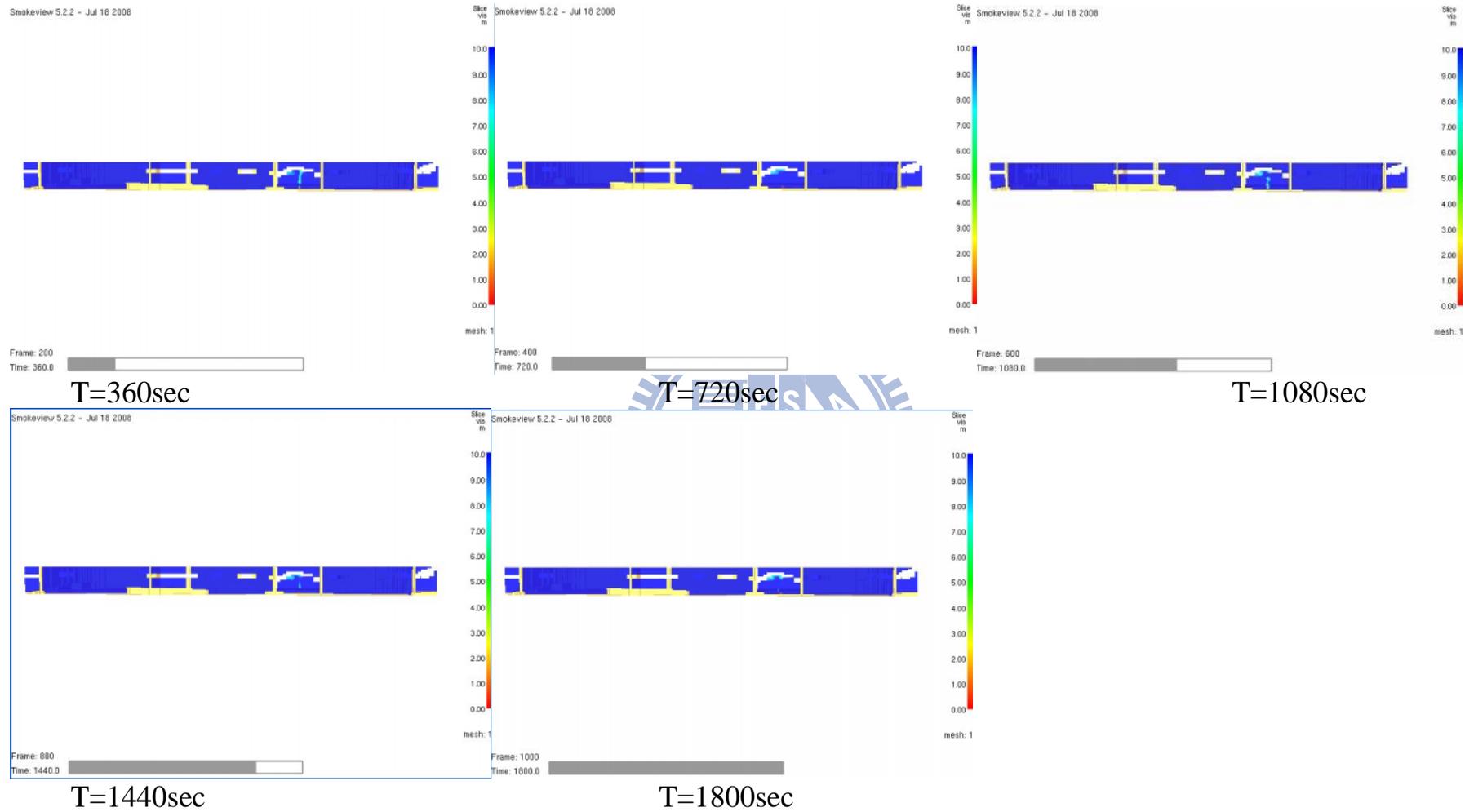
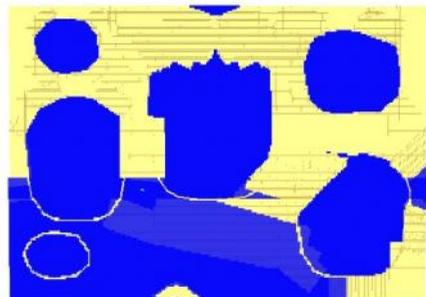


圖 5-111 榕樹廣場能見度分佈圖 x-z 剖面(情境一)

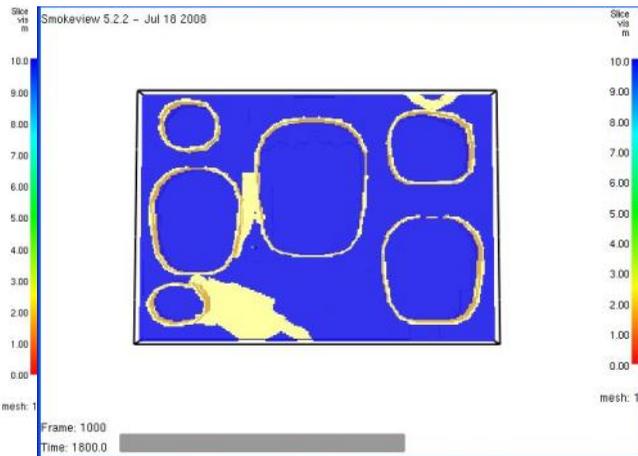
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 1000
Time: 1800.0

1F

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

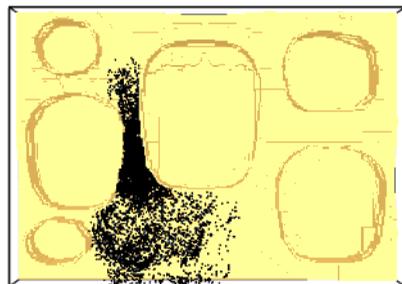


Frame: 1000
Time: 1800.0

2F

圖 5-112 榕樹廣場各層樓能見度 1800 秒分佈圖 x-y 剖面 (情境一)

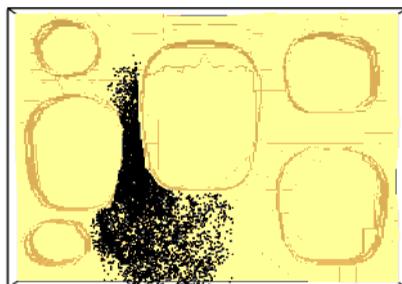
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 200
Time: 360.0

T=360sec

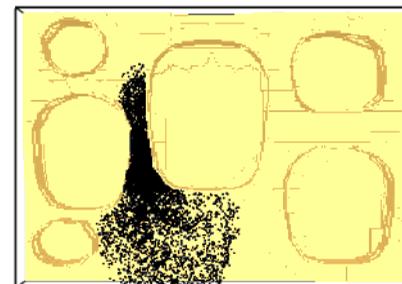
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 400
Time: 720.0

T=720sec

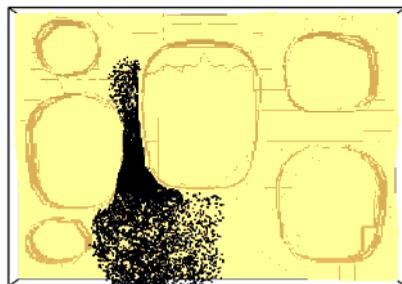
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 600
Time: 1080.0

T=1080sec

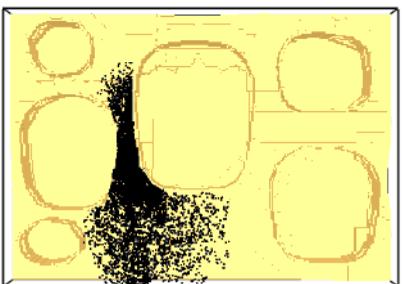
Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 800
Time: 1440.0

T=1440sec

Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008

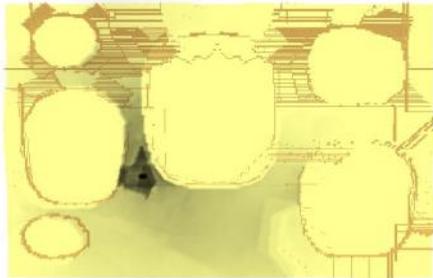


mesh: 1
Frame: 1000
Time: 1800.0

T=1800sec

圖 5-113 榕樹廣場煙粒子分佈圖(情境一)

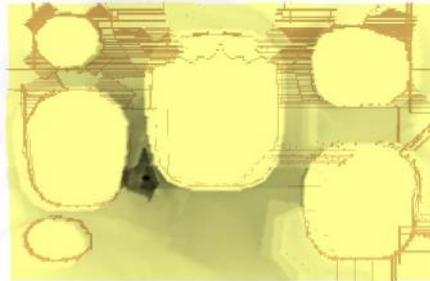
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 200
Time: 360.0

T=360sec

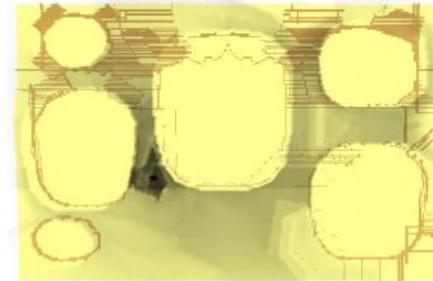
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 400
Time: 720.0

T=720sec

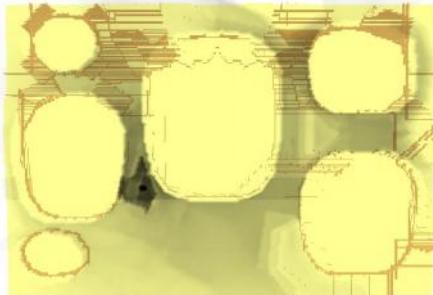
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 600
Time: 1080.0

T=1080sec

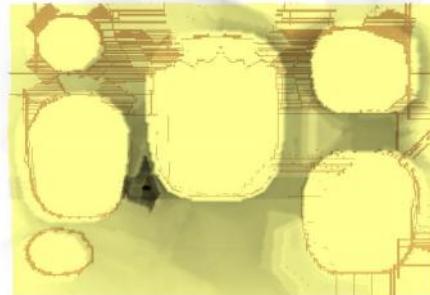
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 800
Time: 1440.0

T=1440sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1
Frame: 1000
Time: 1800.0

T=1800sec

圖 5-114 榕樹廣場煙塵分佈圖(情境一)

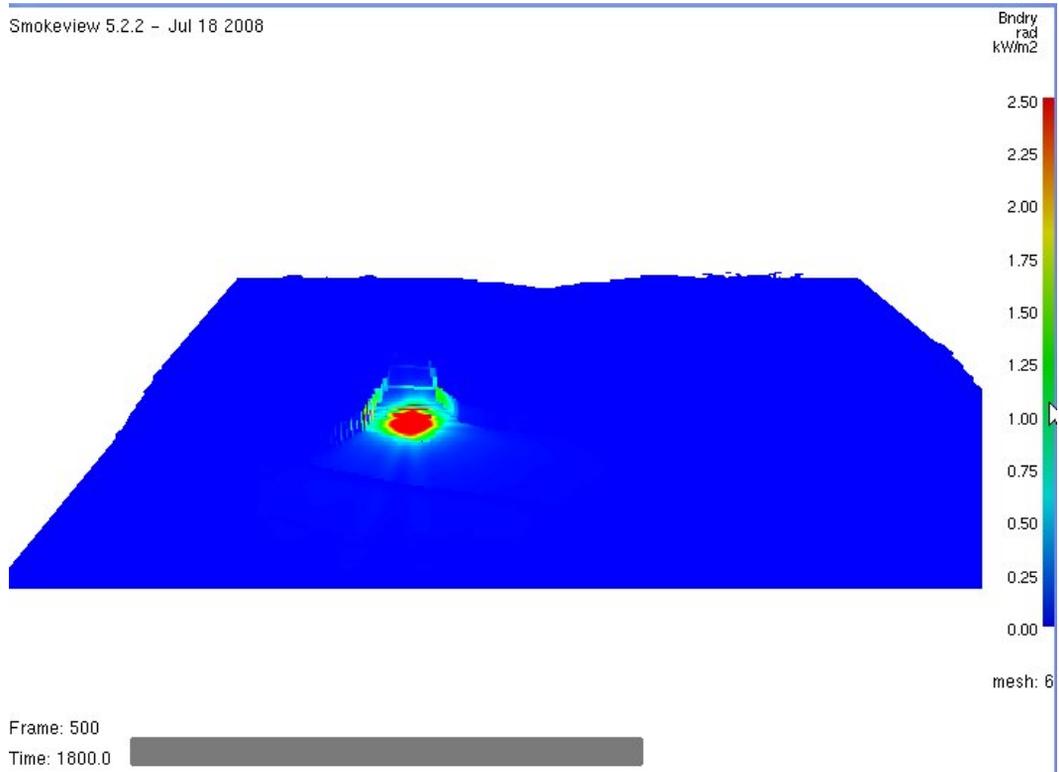


圖 5-115 榕樹廣場熱輻射分佈圖(情境一)



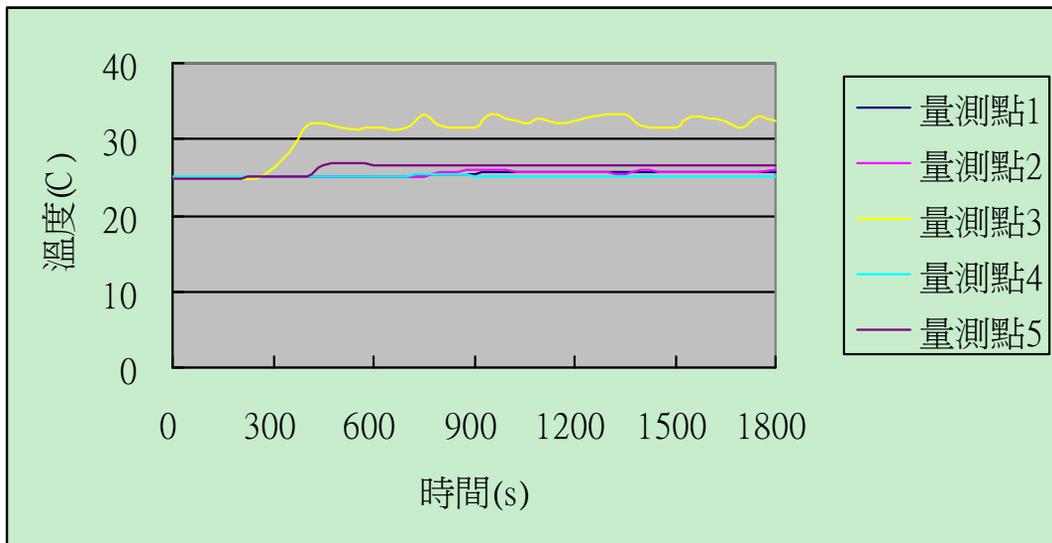


圖 5-116 榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點溫度分佈圖(情境二)

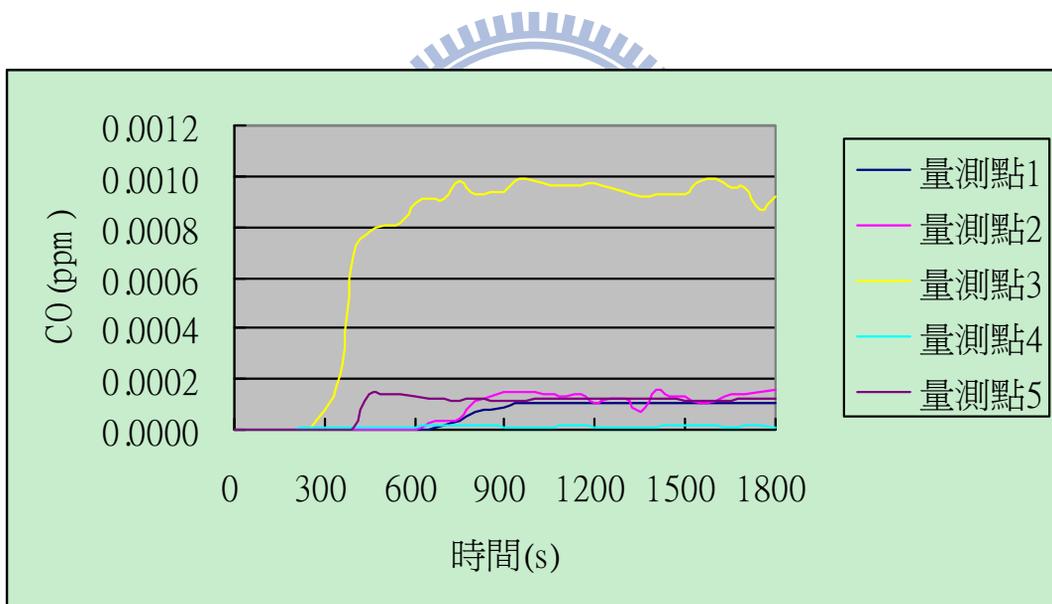


圖 5-117 榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點 CO 分佈圖(情境二)

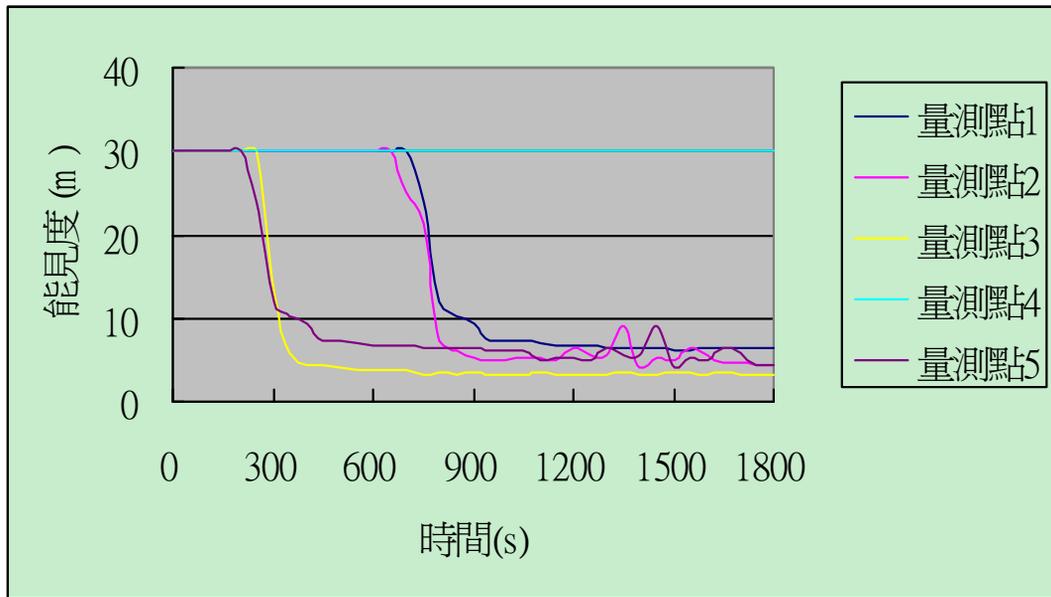


圖 5-118 榕樹廣場距離地板 1.8m 各量測點能見度分佈圖(情境二)

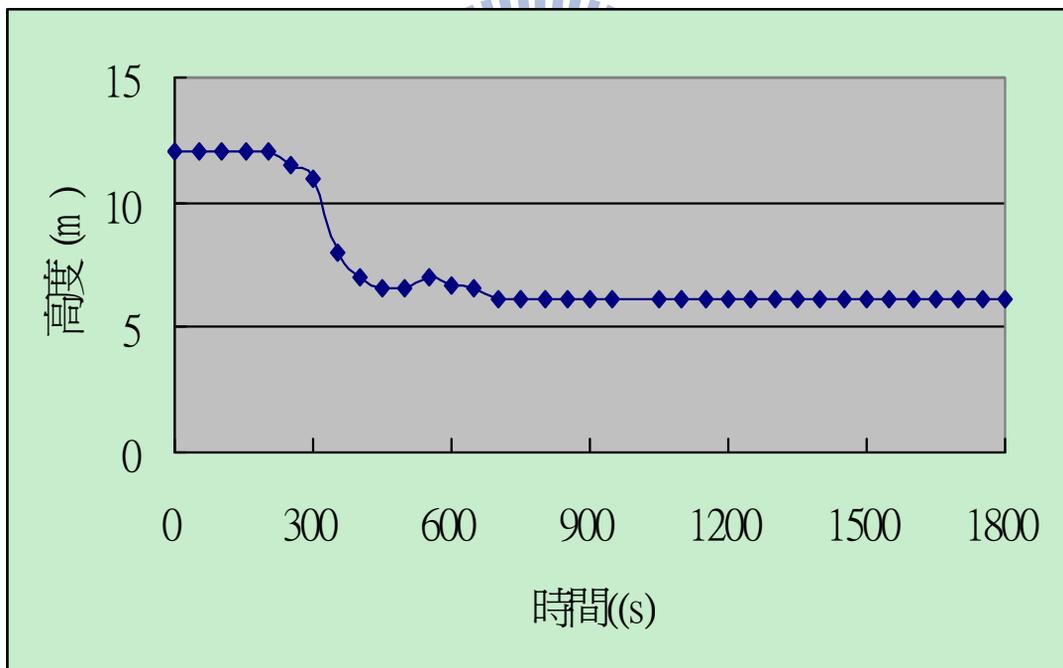


圖 5-119 榕樹廣場煙層高度圖(情境二)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

Frame: 200
Time: 360.0

T=360sec

Frame: 400
Time: 720.0

T=720sec

Frame: 600
Time: 1080.0

T=1080sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

Frame: 800
Time: 1440.0

T=1440sec

Frame: 1000
Time: 1800.0

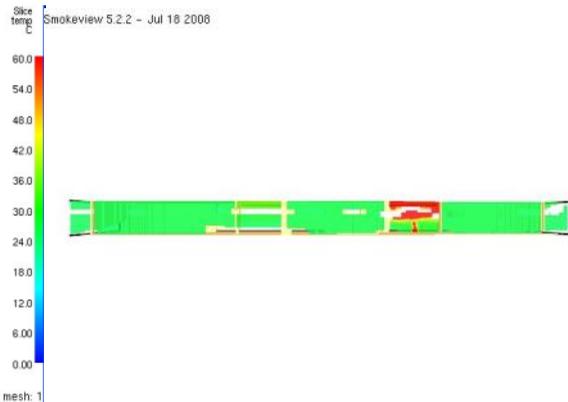
T=1800sec

圖 5-120 榕樹廣場溫度分佈圖 y-z 剖面(情境二)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 200
Time: 360.0

T=360sec

Frame: 400
Time: 720.0

T=720sec

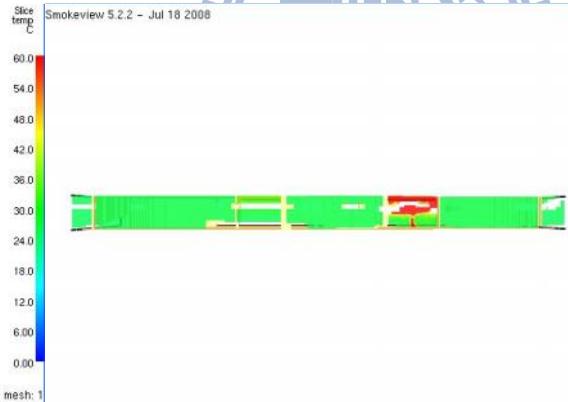
Frame: 600
Time: 1080.0

T=1080sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 800
Time: 1440.0

T=1440sec

Frame: 1000
Time: 1800.0

T=1800sec

圖 5-121 榕樹廣場溫度分佈圖 x-z 剖面(情境二)

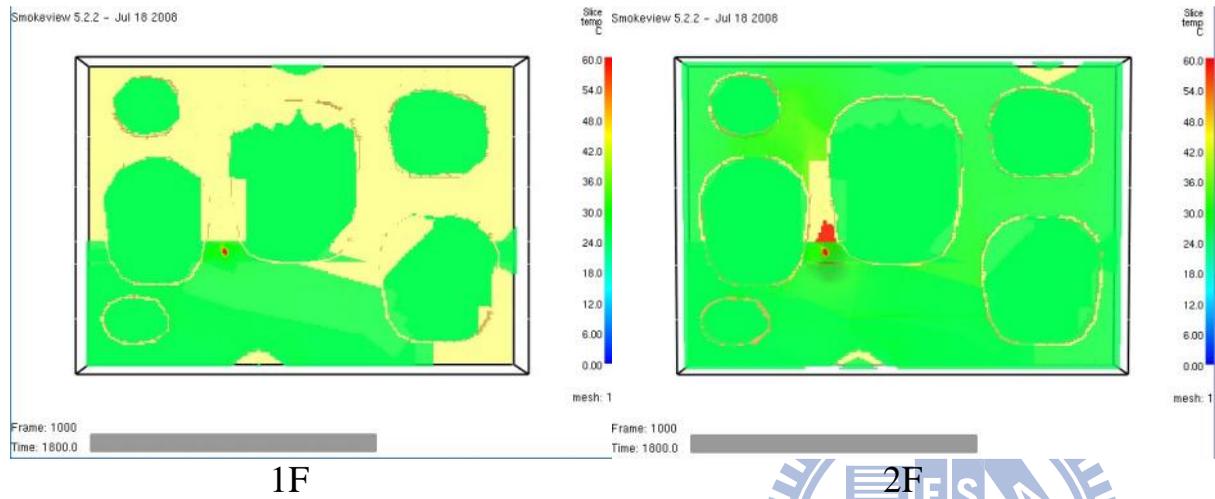


圖 5-122 榕樹廣場各層樓溫度 1800 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二)

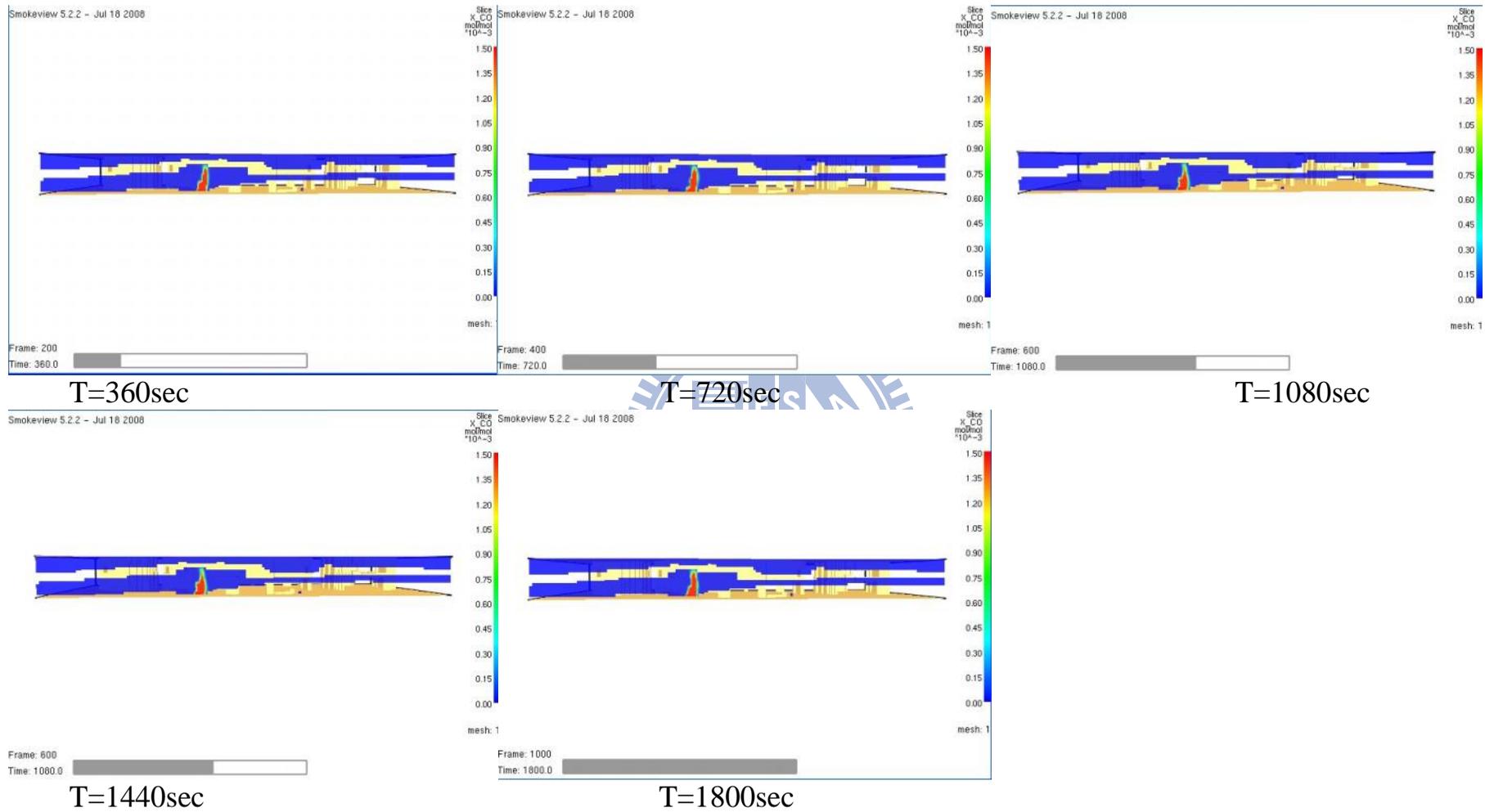


圖 5-123 榕樹廣場 CO 分佈圖 y-z 剖面(情境二)

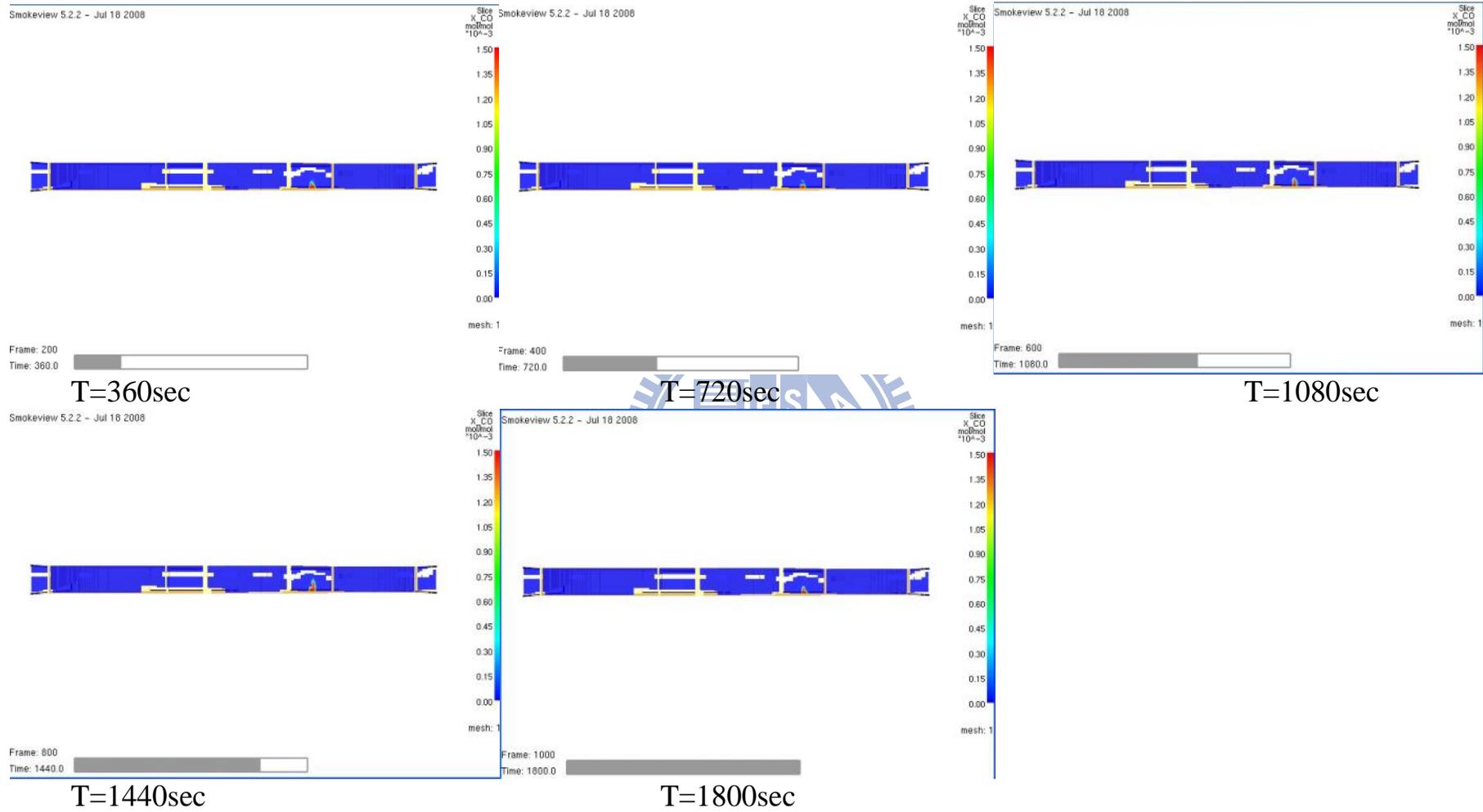


圖 5-124 榕樹廣場 CO 分佈圖 x-z 剖面(情境二)

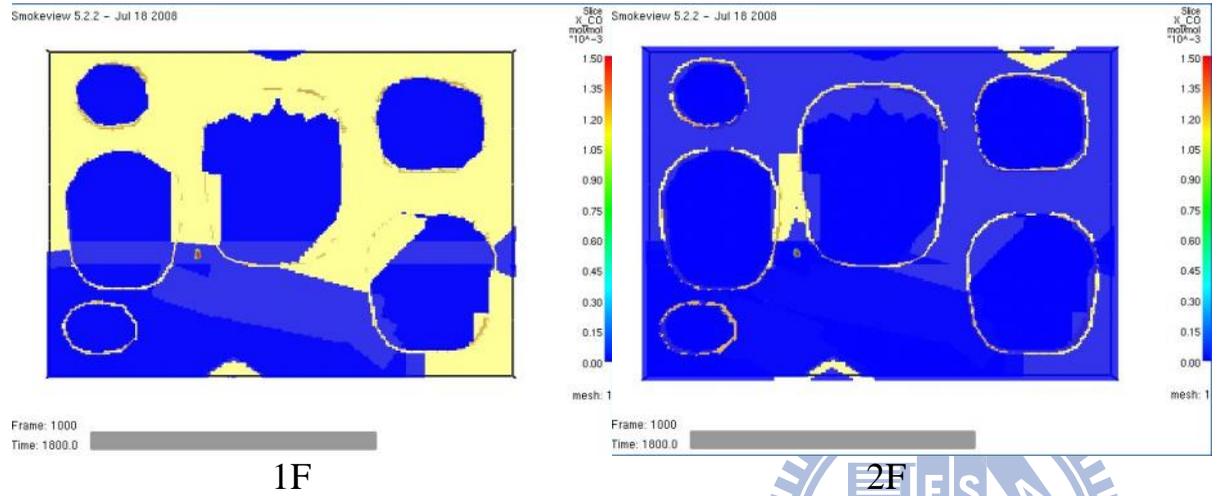


圖 5-125 榕樹廣場各層樓 CO 1800 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二)

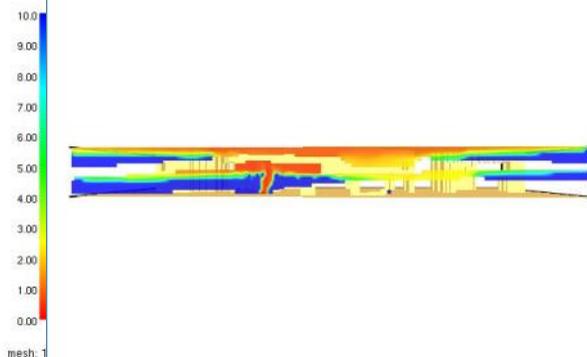
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 200
Time: 360.0

T=360sec

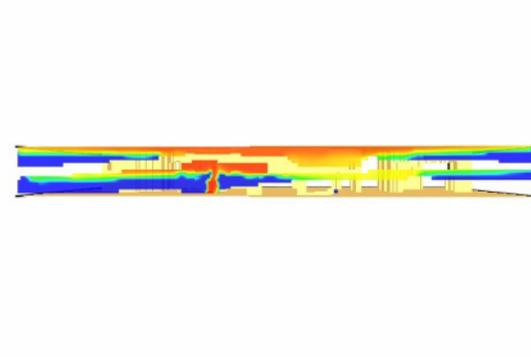
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 400
Time: 720.0

T=720sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 600
Time: 1080.0

T=1080sec

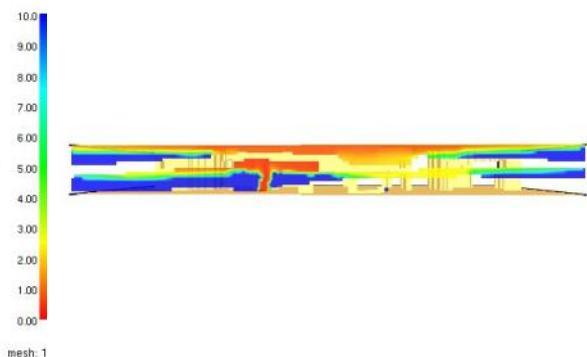
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 800
Time: 1440.0

T=1440sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 1000
Time: 1800.0

T=1800sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 1000
Time: 1800.0

圖 5-126 榕樹廣場能見度分佈圖 x-z 剖面(情境二)

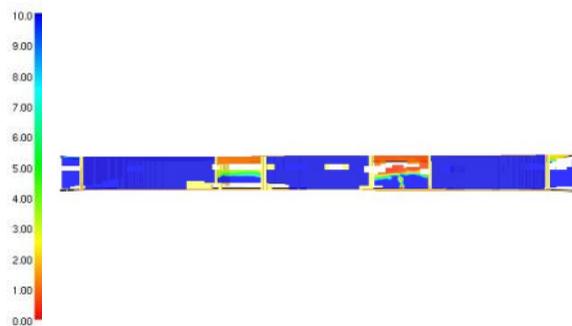
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 200
Time: 360.0

T=360sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008

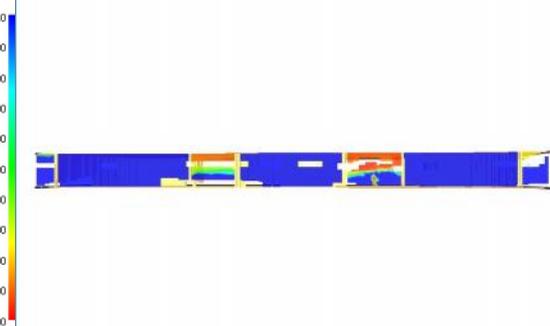


mesh: 1

Frame: 400
Time: 720.0

T=720sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

Frame: 600
Time: 1080.0

T=1080sec

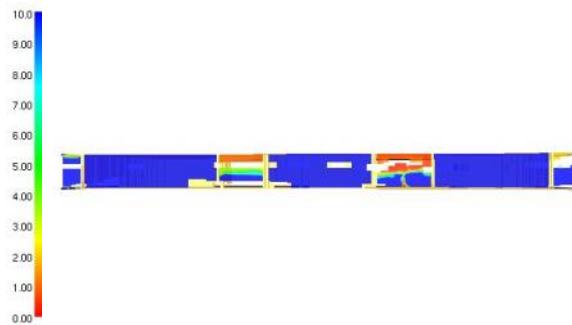
Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 800
Time: 1440.0

T=1440sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

Frame: 1000
Time: 1800.0

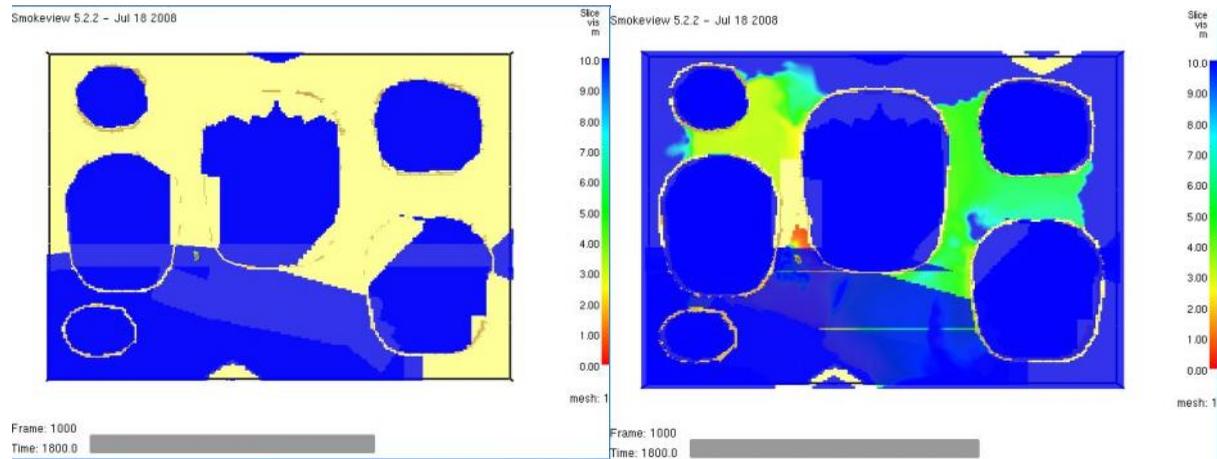
T=1800sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

圖 5-127 榕樹廣場能見度分佈圖 y-z 剖面(情境二)



1F

2F

圖 5-128 榕樹廣場各層樓能見度 1800 秒分佈圖 x-y 剖面(情境二)

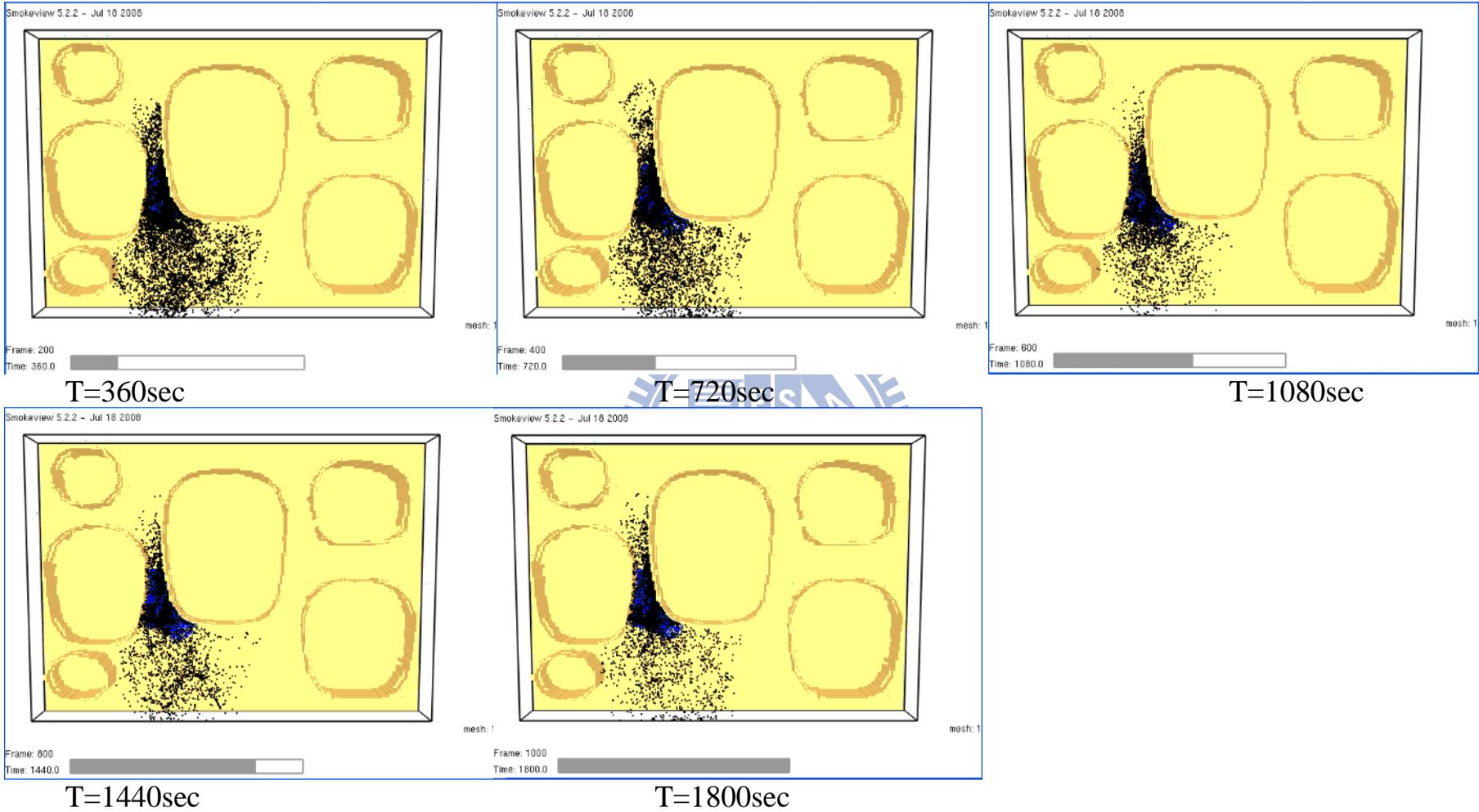
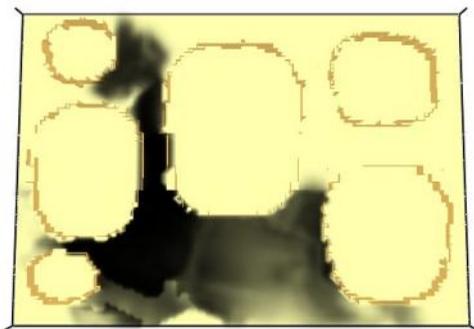


圖 5-129 榕樹廣場煙粒子分佈圖(情境二)

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 173
Time: 360.0

T=360sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 373
Time: 720.0

T=720sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



mesh: 1

Frame: 573
Time: 1080.0

T=1080sec

mesh: 1

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 773
Time: 1440.0

T=1440sec

Smokeview 5.2.2 - Jul 18 2008



Frame: 973
Time: 1800.0

T=1800sec

mesh: 1

圖 5-130 榕樹廣場煙塵分佈圖(情境二)

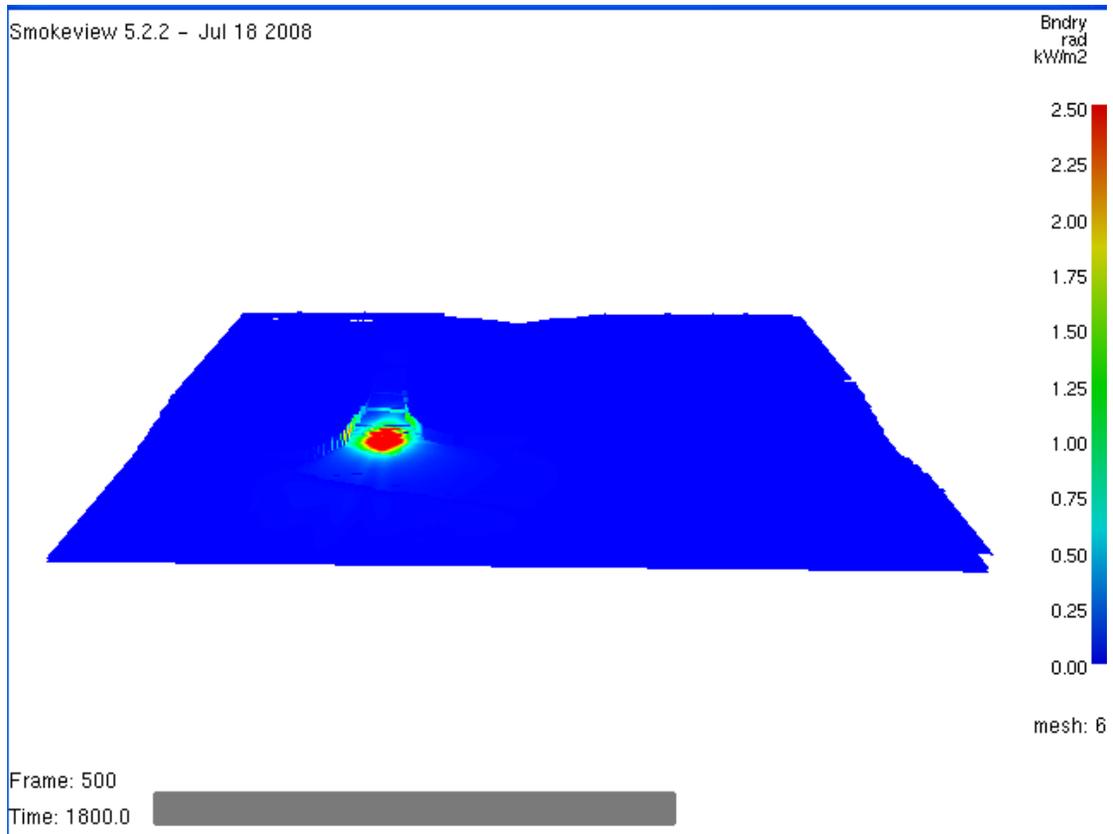


圖 5-131 榕樹廣場熱輻射分佈圖(情境二)

第六章 結論與建議

本報告以性能式設計法並配合火災模擬軟體 FDS 及逃生避難軟體 SIMULEX 來驗證煙控設備與避難時間。對於無法依照法規設置排煙設備之建築物，使用 CFD 軟體來模擬火場煙流情形並配合人員逃生避難的分析，為目前最適合的驗證方式。由模擬結果顯示本研究所分析的兩個案例，其排煙設備皆能確實達到所要求的標準，而以下為針對各案例所作之結論：

➤ 案例一

1. 根據 NFPA130 建議之安全逃生環境要求條件包括溫度、CO 濃度、能見度及輻射熱強度之計算結果皆大於人員逃生所需之時間，故皆達到人員避難所需之標準，人員皆可安全地逃離火場。
2. 逃生出口位置不平均，加上走道狹窄、人員密度高，人員避難時容易產生推擠而造成傷害。
3. 由模擬結果，根據 1.8 米切面高度的各種性質來看，人員的影響不只有在火源附近的範圍較危險，在煙層的路徑上也會對人員逃生的能見度有所影響，故在逃生時建議在避難指上標示上設計上應裝於較低且明顯處，或於地板處設置避難標示，以加強逃生指示的能見度。
4. 機械排煙如果提早開啟，則容易產生 Plugholing 現象，造成排煙風機效率大幅度降低。
5. 熱輻射的影響僅侷限在火源的周圍，當火災發生後，人員會直覺的往火源的反方向進行疏散，並且疏散方向皆有避難樓梯，因此不會發生人員為能順利避難因此通過火原周圍的情形，不會受到熱輻射的威脅。
6. 戲院中，因地板成階梯狀，在最高階區域的人員會最快受到煙流的危害，但經過各情境的分析，對於人員避難不會造成影響。此主要原因一方面因為發生火災時，火源需要有一定的時間才能達到 5MW，另一方面則是戲院上方空間能發揮蓄煙的效果，並且配合機械排煙設備的作動，因此能確實的保障

人員避難時的安全。

5. 煙層上升的路徑上容易造成危害，所以火源位於較低的區域所造成的危害遠大於火源位於較高的區域，因此未來在進行驗證評估時，應採取較危險的情境來評估，也就是將火源置於較低的區域，以求能確實保障人員的生命安全。
6. 在設置戲劇院之出入口時，應儘量不要將出入口置於較高的區域，因為當火災發生在較低的區域時，煙流會快速的影響到最高階的區域，而當火災發生在較高區域時，則因為高溫及熱輻射效應，會使人員在避難時受到影響。因此建議未來在設置出入口時，應儘量在將入口設置於較低的區域，以避免受到影響。

案例二

1. 根據 NFPA130 建議之安全逃生環境要求條件包括溫度、CO 濃度、能見度及輻射熱強度之計算結果皆大於人員逃生所需之時間，故皆達到人員避難所需之標準，人員皆可安全地逃離火場。
2. 在大尺寸的空間設置自動撒水設備容易發生水將煙層往下帶的情形，造成能見度大幅下降。
3. 從模擬結果可以看出，由於空間廣大，若榕樹廣場發生火災，很難影響到四周的地方，有充分的時間來疏散各廳院內的觀眾。

參考文獻

1. “各類場所消防安全設備設置標準”，內政部消防署，2004
2. “建築技術規則”，內政部營建署，2005
3. 蔡尤溪，“建築防煙計畫及實驗研究子計畫(II)大空間防煙性能模擬與現場實測基準之研究”，內政部建築研究所，2003
4. 楊冠雄，“挑高中庭及大型開闊空間建築煙控技術規範之研究”，內政部建築研究所，2000
5. 丁春能，“挑高或大型空間煙控系統性能設計與規格式法規分析之研究”，交通大學碩士論文計畫書，2006
6. James A. Milke and Steve Kerber, “Using FDS to Simulate Smoke Layer Interface Height in a Simple Atrium”, Fire Technology, Vol.43, pp. 45-75,2007
7. L. Yi, W. K. Chow, Y. Z. Li and R. Huo, “A Simple Two-layer Zone Model on Mechanical Exhaust in an Atrium”, Building and Environment, Vol. 40, No. 7, pp. 869-880, 2005
8. 盧建宏，“挑高中庭支性能式火災煙控設計”，交通大學機械系碩士論文，2007
9. T.X. Qin, Y.C.Guo, C.K. Chan, W.Y. Lin, “Numerical Investigation of Smoke Exhaust Mechanism in a Gymnasium Under Fire Scenarios”, Building and Environment, Vol. 41, No. 9, pp. 1203-1213, 2000
10. K. B. McGrattan, H. R. Baum, R. G. Rehm, G. P. Forney, J. E. Floyd and S. Hostikka, “Fire Dynamics Simulator (Version 5)-Technical Reference Guide”, NISTIR 6783, National Institute of Standards and Technology, 2008
11. K. B. McGrattan, G. P. Forney, J. E. Floyd and S. Hostikka, “Fire Dynamics Simulator (Version 5)- User’s Guide”, NISTIR 6783,

- National Institute of Standards and Technology, 2008
12. “Simulex User Manual Evacuation modeling software”, Integrated Environmental Solutions Ltd, 1998
 13. “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, SFPE and NFPA, 2nd Edition, 1995
 14. NFPA, “NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems“, 2000
 15. 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, 2000
 16. 丁育群、周智中、陳火炎, “建築物性能防火法規之規劃研究“, 內政部建築研究所, 1997
 17. 江哲銘、賴榮平, “建築通風性能式規範之研究”, 內政部建築研究所, 2000
 18. 楊靖威, “建築物性能式防火設計程序之研究—以地下街為例”, 交通大學機械系碩士論文, 2002
 19. “The SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design,” SFPE and NFPA, 1998
 20. 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”, 八十九年度建築研究計畫聯合研討會, 2000
 21. “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering,” SFPE and NFPA , 2nd Edition, 1995
 22. John R. Hall, Jr. , “The Total Cost of Fire in The Unite States”, Fire Analysis and Research Division, NFPA, 2000