

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

內政部建築研究所研究報告(一百年)

# 探測器與撒水頭作動與設置位置關係 之探討

內政部建築研究所期末報告

中華民國 100 年 10 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

計畫編號：10061b002-4

# 探測器與撒水頭作動與設置位置關係 之探討

計畫主持人：何明錦

協同主持人：林大惠

研究員：沈子勝

研究助理：胡幃傑、賴翊仁

內政部建築研究所期末報告

中華民國 100 年 10 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

# 探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

## 目次

目次 .....	I
表次 .....	III
圖次 .....	V
摘要 .....	IX
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究緣起與背景 .....	1
第二節 研究流程 .....	4
第三節 研究進度 .....	5
第二章 文獻回顧 .....	7
第一節 一般住宅撒水器測試 .....	7
第二節 吊扇準則(Ceiling Fan Criteria) .....	10
第三節 多用途水系統的設計 .....	10
第三章 研究方法 .....	13
第一節 一般的撒水頭與探測器 .....	13
第二節 FDS 火災模擬方法 .....	15
第三節 實驗設備與測試 .....	22
第四章 FDS 火災模擬結果與討論 .....	29
第一節 一般起居室 .....	29
第二節 FDS 數值模擬空調風管系統實驗 .....	38
第三節 小結 .....	52
第五章 空調風管系統實驗結果與討論 .....	53
第一節 火源於角落實驗 .....	53
第二節 火源於西方牆角實驗 .....	64
第三節 火源於南方牆角實驗 .....	74
第四節 火源於中央實驗 .....	84
第五節 小結 .....	94
第六章 風扇系統實驗結果與討論 .....	95
第一節 火源於角落實驗 .....	95
第二節 火源於西方牆角實驗 .....	104
第三節 火源於南方角落實驗 .....	112
第四節 火源於正中央實驗 .....	120
第五節 小結 .....	128

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

第七章 結論與建議.....	129
參考文獻.....	153

## 表次

表 1 研究進度表 .....	5
表 2 實驗規劃表 .....	28
表 3 FDS 材料選擇 .....	31
表 4 FDS 模擬撒水頭作動時間表 .....	34
表 5 Case W-P-NF-C 與 Case W-P-NF-NC .....	36
表 6 Case W-P-NF-NC 與 Case W-S-NF-NC .....	37
表 7 Case W-P-NF-NC 與 Case W-P-F-NC .....	39
表 8 FDS 材料選擇 .....	41
表 9 FDS 探測點達到作動溫度時間表 .....	43
表 10 冷氣實驗探測點達到作動溫度時間表 .....	57
表 11 風扇實驗探測點達到作動溫度時間表 .....	99



## 圖次

圖 1 研究流程 .....	4
圖 2 UL 1626 的房間試驗配置 .....	9
圖 3 差動式濃煙探測器 .....	14
圖 4 光電式濃煙探測器 .....	14
圖 5 向下型 .....	14
圖 6 向上型 .....	14
圖 7 側壁型 .....	14
圖 8 優美型 .....	14
圖 9 全尺寸實驗模型平面圖 .....	23
圖 10 全尺寸實驗模型實體圖 1 .....	23
圖 11 全尺寸實驗模型實體圖 2 .....	23
圖 12 撒水頭位置配置圖 .....	24
圖 13 探測器位置配置圖 .....	24
圖 14 熱電偶樹配置圖 .....	27
圖 15 實驗規劃平面圖 .....	27
圖 16 丙烷燃燒器 .....	28
圖 17 一般起居室 .....	30
圖 18 Case W-P-NF-C 在 Y=2.5m 等溫線圖 .....	35
圖 19 Case W-P-NF-NC 在 Y=2.5m 等溫線圖 .....	35
圖 20 Case W-P-F-NC 在 Y=2.5m 等溫線圖 .....	39
圖 21 實尺寸實驗場景 .....	40
圖 22 撒水頭配置圖 .....	43
圖 23 FDS 模擬火源在角落之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖 .....	45

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

圖 24 FDS 模擬火源在角落之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	45
圖 25 FDS 模擬火源在角落之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	46
圖 26 FDS 模擬火源在西方牆角之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖 .....	47
圖 27 FDS 模擬火源在西方牆角之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	48
圖 28 FDS 模擬火源在西方牆角之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	48
圖 29 FDS 模擬火源在南方牆角之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖 .....	50
圖 30 FDS 模擬火源在南方牆角之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	50
圖 31 FDS 模擬火源在南方牆角之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	51
圖 32 FDS 模擬火源在正中央之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖 .....	52
圖 33 FDS 模擬火源在正中央之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	53
圖 34 FDS 模擬火源在正中央之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	53
圖 35 火源在角落之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖 .....	58
圖 36 火源在角落之空屋環境 X=3m 等溫線圖 .....	59
圖 37 火源在角落之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	60
圖 38 火源在角落之冷氣平吹 X=3m 等溫線圖 .....	61
圖 39 火源在角落之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	62
圖 40 火源在角落之冷氣下吹 X=3m 等溫線圖 .....	63
圖 41 火源在角落之冷氣自動 H=2.3m 等溫線圖 .....	64
圖 42 火源在角落之冷氣自動 X=3m 等溫線圖 .....	65
圖 43 火源在西方牆角之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖 .....	68
圖 44 火源在西方牆角之空屋環境 X=3m 等溫線圖 .....	69
圖 45 火源在西方牆角之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	70
圖 46 火源在西方牆角之冷氣平吹 X=3m 等溫線圖 .....	71
圖 47 火源在西方牆角之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	72
圖 48 火源在西方牆角之冷氣下吹 X=3m 等溫線圖 .....	73

圖 49	火源在西方牆角之冷氣自動 H=2.3m 等溫線圖 .....	74
圖 50	火源在西方牆角之冷氣自動 X=3m 等溫線圖 .....	75
圖 51	火源在南方牆角之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖 .....	78
圖 52	火源在南方牆角之空屋環境 X=3m 等溫線圖 .....	79
圖 53	火源在南方牆角之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	80
圖 54	火源在南方牆角之冷氣平吹 X=3m 等溫線圖 .....	81
圖 55	火源在南方牆角之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	82
圖 56	火源在南方牆角之冷氣下吹 X=3m 等溫線圖 .....	83
圖 57	火源在南方牆角之冷氣自動 H=2.3m 等溫線圖 .....	84
圖 58	火源在南方牆角之冷氣自動 X=3m 等溫線圖 .....	85
圖 59	火源在正中央之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖 .....	88
圖 60	火源在正中央之空屋環境 X=3m 等溫線圖 .....	89
圖 61	火源在正中央之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	90
圖 62	火源在正中央之冷氣平吹 X=3m 等溫線圖 .....	91
圖 63	火源在正中央之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖 .....	92
圖 64	火源在正中央之冷氣下吹 X=3m 等溫線圖 .....	93
圖 65	火源在正中央之冷氣自動 H=2.3m 等溫線圖 .....	94
圖 66	火源在正中央之冷氣自動 X=3m 等溫線圖 .....	95
圖 67	火源在角落之風扇關 H=2.3m 等溫線圖 .....	100
圖 68	火源在角落之風扇關 X=3m 等溫線圖 .....	101
圖 69	火源在角落之風扇中風 H=2.3m 等溫線圖 .....	102
圖 70	火源在角落之風扇中風 X=3m 等溫線圖 .....	103
圖 71	火源在角落之風扇強風 H=2.3m 等溫線圖 .....	104
圖 72	火源在角落之風扇強風 X=3m 等溫線圖 .....	105
圖 73	火源在西方牆角之風扇關 H=2.3m 等溫線圖 .....	108

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

圖 74 火源在西方牆角之風扇關 X=3m 等溫線圖.....	109
圖 75 火源在西方牆角之風扇中風 H=2.3m 等溫線圖.....	110
圖 76 火源在西方牆角之風扇中風 X=3m 等溫線圖.....	111
圖 77 火源在西方牆角之風扇強風 H=2.3m 等溫線圖.....	112
圖 78 火源在西方牆角之風扇強風 X=3m 等溫線圖.....	113
圖 79 火源在南方牆角之風扇關 H=2.3m 等溫線圖.....	116
圖 80 火源在南方牆角之風扇關 X=3m 等溫線圖.....	117
圖 81 火源在南方牆角之風扇中風 H=2.3m 等溫線圖.....	118
圖 82 火源在南方牆角之風扇中風 X=3m 等溫線圖.....	119
圖 83 火源在南方牆角之風扇強風 H=2.3m 等溫線圖.....	120
圖 84 火源在南方牆角之風扇強風 X=3m 等溫線圖.....	121
圖 85 火源在正中央之風扇關 H=2.3m 等溫線圖.....	124
圖 86 火源在正中央之風扇關 X=3m 等溫線圖.....	125
圖 87 火源在正中央之風扇中風 H=2.3m 等溫線圖.....	126
圖 88 火源在正中央之風扇中風 X=3m 等溫線圖.....	127
圖 89 火源在正中央之風扇強風 H=2.3m 等溫線圖.....	128
圖 90 火源在正中央之風扇強風 X=3m 等溫線圖.....	129

## 摘要

**關鍵詞：**探測器、撒水頭。

### 一、 研究緣起

一般住宅、學校、公共場所及工廠中，多設有偵煙式探測器或灑水頭。當火災發生時，燃燒後的熱煙經由浮力作用上升至天花板，當熱煙接觸到偵煙式探測器及灑水頭，達到作動條件，偵煙或灑水設備便會開始作動。而火災發生初期，建築物內的空調系統在探測器及撒水頭未作動時仍是開啟的，此時空調出風口與回風口氣流會與火災產生的天花板噴流相互影響，而導致探測器及撒水頭作動時間延遲。

### 二、 研究方法及過程

本研究案將主題設定為偵測器與撒水器之作動時間與設置位置，首先將針對偵測器與撒水器作動原理之差異造成作動時間不同開始探討，接著探討偵測器與撒水器受實際空間障礙物擺設影響之探討，最後將探討空調氣流與偵測器、撒水器作動時間之影響

### 三、 研究方法及過程

本研究案將主題設定為偵測器與撒水器之作動時間與設置位置，首先將針對偵測器與撒水器作動原理之差異造成作動時間不同開始探討，接著探討偵測器與撒水器受實際空

### 四、 研究方法及過程

本研究案將主題設定為偵測器與撒水器之作動時間與設置位置，首先將針對偵測器與撒水器作動原理之差異造成作動時間不同開始探討，接

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

著探討偵測器與撒水器受實際空

## 五、 研究方法及過程

本研究案將主題設定為偵測器與撒水器之作動時間與設置位置，首先將針對偵測器與撒水器作動原理之差異造成作動時間不同開始探討，接著探討偵測器與撒水器受實際空。

## 六、

## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與背景

近年來土地上之取得有限，再加上現今都會區建築物日趨密集，造成建築物之高度日漸增加，而為了營造出舒適之居住環境，使得室內裝修材料廣泛使用，一但造成火災之發生，往往造成人員及財務上之損失。根據內政部消防署的火災統計資料[1]，台灣地區 99 年火災發生次數為 2186 次，死亡人數為 83 人，造成的財物損失更高達 16 億元。若欲防止該災害之產生，裝設探測器與灑水頭則為首要之務，其功能係於火災初期，有效控制火勢甚至達到滅火之效能，以防止產生閃燃之現象。

一般住宅、學校、公共場所及工廠中，多設有偵煙式探測器或灑水頭。當火災發生時，燃燒後的熱煙經由浮力作用上升至天花板，當熱煙接觸到偵煙式探測器及灑水頭，達到作動條件，偵煙或灑水設備便會開始作動。

而依探測器及灑水頭作動原理觀之，二者常因建築設計之空調風管系統及室內裝修等因素，造成其作動有延遲之虞，因此，如何避免這類情形發生，實為當下需立即探討之課題。再者，在火災發生初期，建築物內的空調系統在探測器及灑水頭未作動時仍是開啟的，此時空調出風口與回風口氣流會與火災產生的天花板噴流相互影響，而導致探測器及灑水頭作動時間延遲。因此，探討空調出風口與回風口氣流對探測器及灑水頭作動時間之影響亦是本研究計畫重要之研究議題之一。

由於現階段建築設計、技術和建築材料的日新月異，過去建築物防火設計所依據的傳統規格化法規(Prescriptive Code)顯得綁手綁腳，窒礙難

行。近年來，防火工程技術漸趨成熟、防火實驗資料大量建立、預測火災特性與災害危險度評估的電腦模擬程式逐漸被開發出來，因此在防火工程方面採用性能式法規(Performance-Based Code)設計已成為全世界的發展趨勢。相較於規格化法規雖易於執行但缺乏彈性，其條文目標不明確且規定複雜；而性能式法規則具有明確的意旨、彈性的設計方法以及更經濟的建造成本，實為我國必須邁入性能式法規的要因，同時採用性能式法規更是降低貿易障礙的重要措施。

新近大力推動的性能法規，希望以科學的方法來解決現有法規或標準僵化的短處，對於不斷創新、改進的材料或技術，避免產生不合理的限制或拘束，並使得有限的防火資源達到使用最佳化。固然，性能法規設計可以脫離傳統規格化法規或標準的一體化限制，但其展現的防火性能仍需適當的加以驗證。配合性能法規推動，內政部建築研究所過去已針對性能法規設計的實際需求和自主發展，結合相關專業研究人力，共同建立辦公室空間實驗模型；透過全尺寸火災實驗，驗證性能法規的防火性能，同時經由火災歷程，探討並界定性能法規的防火性能的主控參數。

本研究案將繼續進行全尺寸火災的滅火性能實驗，利用已建立的辦公室空間實驗模型，配合由前期研究獲知的火災歷程、不同的滅火手法與滅火性能的主控參數、個別火載量的滅火需求等研究成果，進一步驗證性能法規的火災控制性能，探討並界定在實際場所發生火災情況下所面臨的火災控制問題。本研究案將主題設定為偵測器與撒水器之作動時間與設置位置，首先將針對偵測器與撒水器作動原理之差異造成作動時間不同開始探討，接著探討偵測器與撒水器受實際空間障礙物擺設影響之探討，最後將探討空調氣流與偵測器、撒水器作動時間之影響。相信

經過本研究案實際滅火性能實驗，預期能建立完整的全尺寸火災滅火的火場資料庫，同時瞭解建築火災其空間的整體滅火性能。

本研究計畫之研究目的擬對一般住宅於火災發生時的探測器與撒水頭作動與設置位置之關係進行評估，藉由電腦模擬與實驗印證探測器與撒水頭在受天花板位置增設之阻礙物（例如吊扇）及空調風管系統影響下之延遲作動影響，並且探討空調系統開啟時，空調出、回風口氣流與天花板噴流交互作用對探測器與撒水頭作動之影響。

## 第二節 研究流程

本案研究流程如圖 1 所示，先針對建築物探測器與撒水頭，從過去研究成果與國內外文獻蒐集研究，歸納後並利用 FDS 模擬實驗場景，進而得知火場的詳細資料庫以方便未來與實驗互相比較驗證。依據分析結果，再利用防火中心之儀器設備進行實驗，最後，將模擬結果與實驗數據互相比較分析。

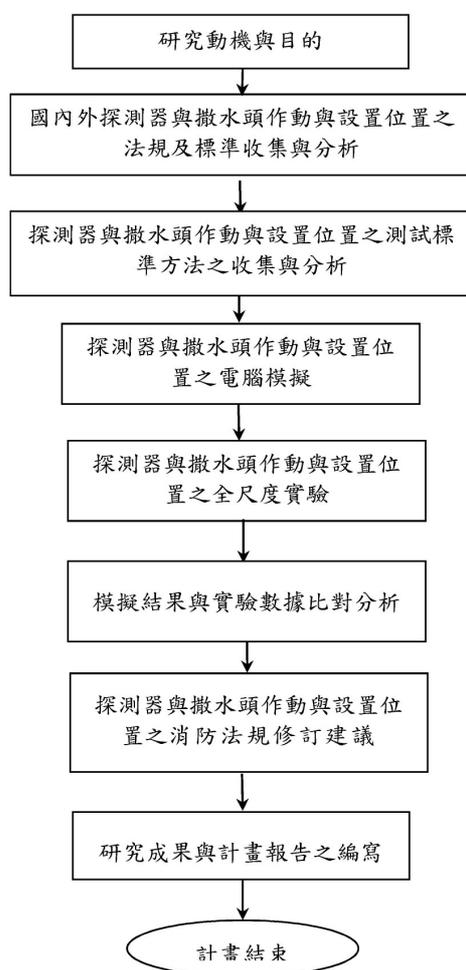


圖 1 研究流程

### 第三節 研究進度

本研究之研究進度如表 1 所示，目前已完成項目包含相關法規收集與彙整、探測器與撒水頭作動與設置位置之測試標準方法之收集與分析，探測器與撒水頭作動與設置位置之電腦模擬、全尺度實驗等工作。這些工作的成果以及詳細內容將分述於第二章~第六章。

表 1 研究進度表

工作項目	月次										備註	
	第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月		
相關法規收集與彙整	■	■										
探測器與撒水頭作動與設置位置之測試標準方法之收集與分析		■	■									
探測器與撒水頭作動與設置位置之電腦模擬			■	■	■	■	■					
期中審查					■							
探測器與撒水頭作動與設置位置之全尺度實驗					■	■	■	■	■			
模擬結果與實驗數據比對分析							■	■	■			
探測器與撒水頭作動與設置位置之消防法規修訂建議								■	■			
期末審查											■	
研究成果提出											■	
預定進度 (累積數)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%		



## 第二章 文獻回顧

### 第一節 一般住宅撒水器測試

由於在一般住宅發生火災通常僅依靠單一隻撒水器來達到有效抑制火災的效果，因此一般住宅的撒水器水量分佈要較大空間的撒水器水量分佈更均勻，且無法如大空間的撒水器分佈以兩個撒水器相互覆蓋的形式提供足夠的水量。再者，居室撒水器不僅需將水輸送到房間的四周以保護房間內的家具，更需要更大的水量噴灑在牆上以抑制火焰向上竄升。故此，一般居室撒水器需要不同於標準型撒水器的測試方法。Underwriters Laboratories 與 FM Global Research 分別有針對一般住宅撒水器發展 UL 1626 與 FM 2030 測試標準。UL 1626 與 FM 2030 均有設計火災實驗，用以模擬居室火災來評估撒水器的性能[2~6]。圖 2 為火災實驗之配置圖。UL 1626 的內容重點敘述如下：

#### **UL 1626 對撒水器火災控制的要求：**

UL 1626 要求在 2.4m 天花板高的房間火災試驗中，撒水器必須在控制火災成長 10 分鐘內滿足下列的要求：

1. 在天花板下 76.2mm，離撒水器水平距離 203mm 的最高氣體溫度必須低於 316°C。
2. 在地板高度 1.6m 以上，距離牆面一半房間長度之處的溫度在實驗全程不得高於 93°C，在實驗前兩分鐘不能超過 54°C。
3. 在火源正上方，天花板裝修材下方 6.3mm 的最高溫度不得高於 260°C。
4. 不得超過兩個撒水器在試驗房間中作動。

#### **UL 1626 對撒水分佈的要求：**

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

在一般居室撒水器的水量分佈上必須包含水平面與垂直面的水量分佈。在水平面的平均覆蓋水量必須高於  $0.8\text{L}/\text{min}/\text{m}^2$ ，在垂直面上必須至少在距天花板 711mm 高度以下均被撒水器噴濕。

### **NFPA 13D**

NFPA 13D 除了規定撒水器必須經過測試之外，有關撒水器的設計需求如下所述[7~9]：

#### **性能準則：**

裝設撒水器以防止起火點居室發生閃燃，並改善避難人員之避難路徑以利逃生。

#### **設計準則：**

NFPA 13D 規範的撒水器設計準則如下：

1. 僅能裝設經過測試的(listed) 撒水器。
2. 單一撒水器的最大噴水量為  $68\text{L}/\text{min}$ ，兩個撒水器同時作動下的撒水器最大噴水量為  $49\text{L}/\text{min}$ 。
3. 單一撒水器的最大覆蓋面積為  $13.4\text{m}^2$ 。
4. 撒水器最大裝設間距為  $3.7\text{m}$ 。
5. 撒水器最小裝設間距為  $2.4\text{m}$ 。
6. 撒水器距外牆或隔間牆的最大距離為  $1.8\text{m}$ 。

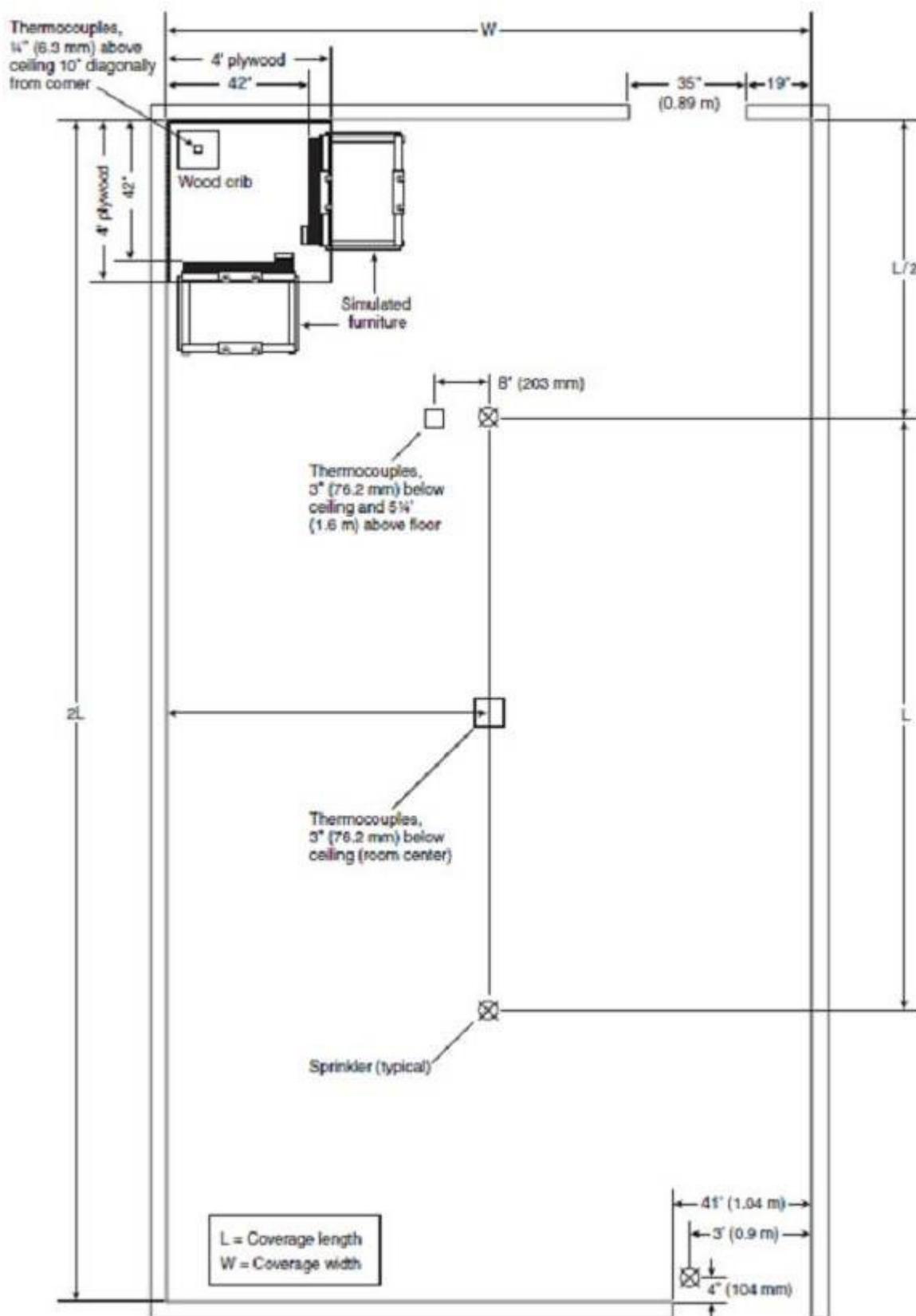


圖 2 UL 1626 的房間試驗配置

## 第二節 吊扇準則(Ceiling Fan Criteria)

在 2007 版本的 NFPA 13D 針對天花板吊扇對煙流形成障礙，影響撒水器的裝設而增設了吊扇準則。對於下垂式撒水器必須距離吊扇中心點至少 0.9m，邊牆型撒水器的最小裝設距離為 1.5m[10]。

## 第三節 多用途水系統的設計

國外有關一般住宅撒水器的研究文獻相當地多，大部分著重在多用途水系統的設計與一般住宅水霧撒水系統兩部分。

所謂多用途水系統設計是指將撒水系統與一般民生供水系統整合成一個複和型多用途水系統。將一般住宅的撒水系統整合在民生供水系統的優點在於設置成本降低以及撒水系統功能較穩定[11]。由於一般民生供水系統若出現故障馬上就會被住戶察覺，故此多用途水系統在火災發生時不會出現撒水系統無法供水之問題。目前 NFPA 13D 中即有列出多用途水系統在 49°C 的工作壓力必須大於 8.9bar 的規定。

再者，UL 提出交聯聚乙烯(cross-linked polyethylene)管線材料可應用在住宅撒水系統上[13]，交聯聚乙烯(cross-linked polyethylene)管線材料的性質類似現今使用在住宅水管，可以容易與一般住宅使用的供水管線連接成多用途的水系統。

### 一般住宅水霧撒水系統

有關一般住宅的水霧撒水系統設計在 NFPA 750 中已有規範。基本上水霧系統的供水壓力比 NFPA 13D 所規範的壓力大，而且水霧系統所覆蓋的有效滅火區域比一般撒水系統小，因此在相同的滅火區域條件下，必須裝設比較多的水霧撒水器，因而造成水霧撒水系統的設置成本較高[13]。

而在國內，有關一般住宅撒水器的研究多著重在撒水器種類與滅火效能之關係以及火源位置與滅火效能之探討上。根據研究資料 94 年度”消防安全設備品目檢測設備系統規劃研究”之實驗結果[14]，建立初步國內外消防安全設備檢測項目認可之基準與規範；且依據內政部消防署九十年三月三十日台（九十）內授消字第九〇八六三三三號函頒實施之「密閉式撒水頭認可基準」規定已採購的「八項密閉式撒水頭試驗裝置」進行實測及縣立標準作業流程。而根據 95 年度”性能式防火設計基準全尺寸驗證研究”之研究結果[15]，撒水頭不能瞬間到達環境溫度，須待熱傳來加溫，所以不能以環境溫度達到設定溫度來判定作動。

其中蘇鴻奇等人針對密閉式撒水頭於火場之作動時間進行實驗與探討[16~17]，於 6m×5m 之實尺寸房間進行密閉式撒水頭作動時間實驗與分析影響撒因素，並使用 FDS (Fire Dynamics Simulator) 進行比較分析。蘇鴻奇等人在研究中，火源位置設定為火源位於房間中央區域、火源緊靠於壁面以及火源位於房間角落等三類。實驗結果顯示撒水頭作動時間與流場特性有關，而流場特性又與壁面、火源與撒水頭距離以及通風口有關。實驗過程發現火源緊靠壁面時，火焰高度會較火源位於房間中央區域時高，且煙氣的上升速度增快，而致使撒水頭作動時間縮短。若火源位於房間角落，則其對於火場的影響會比壁面效應更大，且撒水頭作動時間最快。Lai et al.在全尺寸辦公室火災撒水頭作動實驗中發現，撒水頭作動時間受火源位置及撒水頭熱傳導之影響。當火源越靠近撒水頭，越接近角落或是牆壁，則撒水頭作動的時間越快。而因撒水頭不能瞬間到達環境溫度，須待熱傳來加溫，所以不能以環境溫度達到設定溫度來判定作動。在本實驗中，所使用之撒水頭標示溫度雖為 68°C，但經過一連串實驗後發現，當撒水頭周圍溫度到達 100°C 以上時，才能驅動撒水

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

頭，因此可以知道環境溫度要高於設定溫度至少約 30°C，撒水頭才會作動。

## 第三章 研究方法

本年度將延續所建立之火場實驗以及數值模擬的經驗與成果，以關鍵性案例為對象空間進行實驗與數值模擬。將利用美國 NIST 機構所發展的 FDS (Fire Dynamics Simulator) 第五版模擬軟體來進行火災模擬，並配合本所多年來累積的實尺寸居室火災實驗結果來作為參數上的設定。以模擬與實驗結果探討當火災發生時火場之探測器及撒水頭兩者作動時間之差異，並針對不同符合法規條件下之阻礙物（例如吊扇）及空調系統之送、排風口對於探測器及撒水頭兩者作動時間的影響。

### 第一節 一般的撒水頭與探測器

一般常見的偵煙探測器有差動式探測器與光電式探測器兩種，如圖 3、圖 4。差動式探測器其原理為周遭溫度在一分鐘內上升 13~15°C 及達到作動條件而開始作動；而光電式探測器，係採用光電感應原理，即利用煙進入探測器內之暗光室，煙粒子造成紅外線光束之反射，使受光元件接收到設定之光量時，探測器即發出警報信號。

撒水頭的作動原理，為熱煙接觸到灑水頭時，造成灑水頭裏頭的酒精沸騰，造成紅色玻璃球爆裂，進而出水達到滅火的效果。市面上常見的撒水頭有向下型、向上型、側壁型及優美型 4 種，如圖 3~圖 6，其原理皆相同，不同的地方在於應用上有所區隔。顧名思義，向下型與向上型分別表示出水的方向為向下或向上，而側壁型通常裝置於牆壁上，所以稱作側壁型。而優美型只是為了增加美觀，改變傳統的鋸齒狀迴水板，以圓形迴水板代替。本實驗將採用向下標準反應型，標示作動溫度為 68°C。



圖 3 差動式濃煙探測器



圖 4 光電式濃煙探測器



圖 5 向下型



圖 6 向上型



圖 7 側壁型



圖 8 優美型

## 第二節 FDS 火災模擬方法

過去研究團隊曾蒐集國內外文獻，彙整與建築物火災相關的經驗公式與全尺寸實驗（內政部建築研究所，2007），於此不再累述，而將重點放在數值模擬分析方面，特別是美國 NIST (National Institute of Standards and Technology) 新近發展的 FDS (Fire Dynamics Simulator) 數值模擬軟體的分析應用 [18]。

對於單一火焰而言，有相當多學者利用 FDS 進行模擬分析。Cheung 利用 FDS 模擬 0.3m×0.3m 方形甲烷燃燒器[20]，模擬結果經過 FFT (Fast Fourier Transform) 計算後，FDS 模擬隨高度對燃燒器直徑比不同呈現不同的振動頻率，而實際實驗則呈現固定的頻率。研究發現在連續火焰區、間歇火焰區及浮力火羽流區的高度模擬和實驗結果相似，但是火焰中心溫度較實際實驗高出約 200°C，且碳煙濃度較實驗結果低，可能導致熱幅射損失較低，而使火焰區溫度升高。Wen 利用 FDS 模擬在開放空間中一中尺度 30.5cm 甲醇圓池火焰[21]，熱釋放率約為 24.6kW，模擬範圍包括火焰中心速度及溫度分布、空氣引入量等，模擬結果和前人所做的經驗公式及實際實驗相當吻合。

房間內部的幾何空間及通風環境會直接影響火災成長的形式與大小，甚至影響到閃燃條件。Chow 與 Zou 利用 FDS 模擬在出入口附近的空氣流率[22]，模擬條件為在兩個相鄰的房間內，一房間側邊具有走道的環境。模擬及實驗結果顯示，實際實驗較 FDS 模擬在門口附近上層溫度低。而流出的空氣量則與通氣因子有關，FDS 結果和經驗公式及實驗結果均相當接近，流出空氣量約為  $0.47WH^{2/3}$ 。

Musser 與 McGrattan 利用 FDS 模擬四種房間內煙氣流動情況[23]，分別為強制對流、自然對流、混合對流及置換式通風。此種問題在熱物體

表面處的熱傳相當重要，而在熱表面附近的格點應設定為大於熱邊界層厚度。Lin 利用 FDS 及 CFAST 模擬台灣常見的有騎樓之摩托車店[24]，發現建築物內的熱釋放率受限於通風口大小而無法達到理論最大值，而起火點的改變也會對人員逃生有重大影響，起火點位於地下室較起火點位於騎樓處更不易逃生，可逃生時間約略差距 100 秒。

Kerber 與 Milke 利用 FDS 模擬研究外氣引入對於天井中煙層累積的影響[25]，將開口型態分為對稱式、非對稱式、開口位於各樓層及開口位於角落等四種不同型態討論，風速為 0 到 2m/s，火源利用木框架模擬。模擬結果顯示對稱式有較好的排煙效果，但入口風速若達到 2m/s 以上時，則會對煙氣產生擾動現象；而若將通風口設置位於煙層高度中，則會使煙層快速擴散至較低的樓層位置。Yi 則利用 FDS 及 CFAST 模擬 22.4m×12m×27m 的天井空間[26]，探討天井空間內的強制抽風對於煙氣層的影響。研究發現使用強制抽風時，其配置必須考量區劃空間內的可燃物總量，否則會導致房間內煙氣層受到外圍空氣進入的影響，使煙氣層下降更為迅速。

針對區劃空間而言，亦有相當多學者模擬房間火災。Kim 與 Ryou 利用 FDS 模擬甲醇及己烷火焰滅火機制[27]，模擬範圍為 4.0m×4.0m×2.3m 的方形房間內，利用水霧滅火。研究發現位於房間內低層的氧氣濃度在撒水後有減少的情況，是因為撒水增強了低層與高層間的混合，而在溫度方面模擬和實驗預測的相當準確，誤差約為 10°C 內，但是因為缺乏火焰熄滅的模型，所以在預測火焰熄滅方面較不準確。Zou 與 Chow 使用 ISO9705 房間進行實驗並採用 FDS 模擬驗證[28]，實驗採用汽油圓池火焰配置出不同的熱釋放率曲線，且改變通風條件來預估閃燃時間。實驗結果顯示 FDS 模擬結果不論在溫度或者熱輻射方面均和實驗結果相符合，

在天花板附近的溫度和實驗只有 10%的誤差，對於閃燃時間的判斷具有幫助。

FDS 亦可用來模擬其他類型的火災，諸如倉庫或隧道等。Hu 的研究使用 FDS 模擬一氧化碳在長型通道下擴散的情況[29]，模擬分為兩種不同熱釋放率的火源。模擬結果顯示一氧化碳濃度隨著垂直高度的增加而線性的增加，而與火源距離增加則呈指數性減少，而兩種模擬均較實驗結果略低，但仍具備相當好的預測性。

### (一) FDS 的理論基礎

以下將針對 FDS 的理論基礎作簡單的介紹，其中包含熱流模型、燃燒模型以及熱輻射模型等。更詳細的內容可參考 FDS 技術手冊。

#### (1) 熱流模型

常見的計算流體力學(Computational Fluid Dynamics)求解紊流的方式有直接數值模擬法(Direct Numerical Simulation, DNS)、大渦流模擬法(Large Eddy Simulation, LES)及平均化紊流模式法(Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS)，而 FDS 所提供的計算方式採用前兩種方法。整體流場模型是由數個基本守恆方程式所架構，包含質量守恆、動量守恆、能量守恆以及狀態方程式。

質量守恆方程式：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad , \quad (3-1)$$

動量守恆方程式：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \nabla \rho = \rho \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_{ij} \quad , \quad (3-2)$$

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

能量守恆方程式：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \nabla \cdot \mathbf{q} + \Phi \quad , \quad (3-3)$$

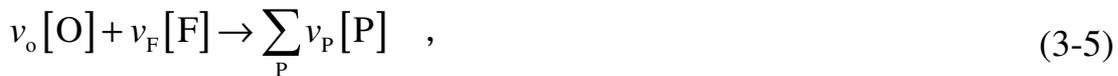
狀態方程式：

$$p = \frac{\rho RT}{M} \quad ; \quad (3-4)$$

其中， $\rho$  為密度， $\mathbf{u}$  為速度向量， $\mathbf{f}$  為包含重力項等力量項， $h$  為熱焓， $\tau_{ij}$  是壓力張量， $\dot{q}'''$  是化學反應中單位體積產生的熱釋放率， $\nabla \cdot \mathbf{q}$  代表傳導與輻射熱通量， $\Phi$  則為動能因為黏滯力轉換成熱能的逸散項。

## (2) 燃燒模型

在燃燒模型中主要是以無限快化學反應速率以及混合分率為基礎所建立。燃燒反應的一般通式為：



其中， $\nu$  為化學當量係數，下標 O 代表氧氣，F 代表燃料，P 則代表生成物。而混合分率 Z 的定義為：

$$Z = \frac{s Y_F - (Y_O - Y_O^\infty)}{s Y_F + Y_O^\infty} \quad , \quad s = \frac{\nu_o M_O}{\nu_F M_F} \quad , \quad (3-6)$$

其中， $Y$  為質量分率， $M$  為分子量；而混合分率也遵守質量守恆定律：

$$\rho \frac{DZ}{Dt} = \nabla \cdot \rho D \nabla Z \quad . \quad (3-7)$$

因為假設化學反應為無窮快，所以表示燃料與氧氣在反應時的速率很快，因此燃料與氧氣無法同時存在。火焰面的位置就是發生在燃料與氧

氣濃度皆為零的位置，

$$Z_f = Z_{st} = \frac{Y_O^\infty}{sY_F^\infty + Y_O^\infty} \quad (3-8)$$

當處理範圍較大的火焰時，這種火焰面的定義可能無法產生正確的火焰高度，和動力行為。因此定義一個有效的火燄位置  $Z_{f,eff}$  以幫助程式正確地捕捉到火焰的範圍，

$$\frac{Z_{f,eff}}{Z_f} = \min\left(1, C \frac{D^*}{\delta x}\right) \quad (3-9)$$

其中， $C$  為經驗常數， $\delta x$  為隔點大小， $D^*$  為火焰特徵長度，此處作為參考長度。當計算的解析度越高時， $Z_{f,eff}$  會越接近理想值  $Z_f$ 。使用這種方法的好處是，在格點的解析上不只考慮格點的大小並且將火焰的大小也考慮進去。

因為混合分率是無因次參數值，所以無法單獨地用來計算物種的分布，因此還需要氧氣的狀態關係式，理想的氧氣狀態關係式是以燃料與氧氣無法同時存在為基礎建立的，

$$Z < Z_f, \quad Y_O(Z) = Y_O^\infty (1 - Z/Z_{eff}) \quad (3-10)$$

$$Z > Z_f, \quad Y_O(Z) = 0 \quad (3-11)$$

單位體積的熱釋放率是氧氣消耗法關係式為基礎來建立，

$$\dot{q}''' = \Delta H_o \dot{m}_o''' \quad (3-12)$$

其中， $\Delta H_o$  為單位質量的氧氣燃燒熱， $\dot{m}_o'''$  為氧氣質量消耗率。 $\dot{m}_o'''$  是以氧氣燃燒率定義，

$$-\dot{m}_o''' = \nabla \cdot \left( \rho D \frac{dY_o}{dZ} \nabla Z \right) - \frac{dY_o}{dZ} \nabla \cdot \rho D \nabla Z \quad (3-13)$$

### (3) 熱輻射模型

氣體的輻射傳遞方程式(Radiative Transport Equation)為：

$$\mathbf{s} \cdot \nabla I_\lambda(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = \kappa(\mathbf{x}, \lambda) [I_b(\mathbf{x}) - I_\lambda(\mathbf{x}, \mathbf{s})] \quad (3-14)$$

其中， $\mathbf{s}$  為單位向量強度， $\nabla I_\lambda(\mathbf{x}, \mathbf{s})$  是波長等於 $\lambda$ 時的輻射強度， $\kappa(\mathbf{x}, \lambda)$  代表吸收係數， $I_b(\mathbf{x})$  則為黑體的輻射強度。而能量方程式中的輻射損失項為：

$$-\nabla \cdot \mathbf{q}_r(\mathbf{x}) = \kappa(\mathbf{x}) \cdot [U(\mathbf{x}) - 4\pi I_b(\mathbf{x})], \quad U(\mathbf{x}) = \int_{4\pi} I(\mathbf{x}, \mathbf{s}) d\Omega \quad (3-15)$$

格點所獲得的輻射能量是發射量與吸收量的差值。源項的定義為：

$$\kappa I_b = \begin{cases} \kappa \sigma T^4 / \pi & , \text{ 於火焰面外} \\ \max(X_r \dot{q}''' / 4\pi, \kappa \sigma T^4 / \pi) & , \text{ 於火焰面內} \end{cases} \quad (3-16)$$

其中， $\dot{q}'''$  代表單位體積的熱釋放率， $X_r$  代表熱輻射所佔能量的比例。而輻射熱通量 $\mathbf{q}_r$  為：

$$\mathbf{q}_r(\mathbf{x}) = \int_{4\pi} \mathbf{s} I(\mathbf{x}, \mathbf{s}) d\Omega \quad (3-17)$$

### (4) 熱邊界條件

固體表面熱損失考慮對流及輻射兩種模式，而計算對流熱傳模式則根據紊流模式不同而有所改變。在 DNS 模擬中，對流熱傳模式是藉由邊界附近的氣體溫度梯度來達成，

$$\dot{q}_c'' = -k \frac{\partial T}{\partial n} \quad , \quad (3-18)$$

其中， $\dot{q}_c''$  為對流的熱傳量， $k$  為氣體熱傳導係數。在 LES 模擬中，經由對流傳遞至固體表面則同時考慮自然對流及強制對流兩種模式，

$$\dot{q}_c'' = h\Delta T \quad ; \quad h = \max \left[ C|\Delta T|^{\frac{1}{3}} , \frac{k}{L} 0.037 \text{Re}^{\frac{4}{3}} \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \right] \quad , \quad (3-19)$$

其中， $\Delta T$  為固體與氣體的溫度差， $C$  為自然對流係數， $L$  為固體的特徵長度。

### 第三節 實驗設備與測試

本案全尺寸實驗地點在台南縣歸仁鄉內政部建築研究所防火實驗中心，以下就實驗設備、實驗規畫分項敘述。

#### (一) 實驗設備

本實驗之主要設備可分為(1)實驗場整體架構、(2)撒水頭及偵煙式探測器系統、(3)熱電偶樹。

##### (1) 實驗場整體架構

實驗場內部為 6m 長×6m 寬(牆心線)，採用了砌磚的方式來建構牆面，牆面厚度為 0.26m，天花板高度為 2.4m，實驗場南北各有一單開口門，門開口為 2.1m 高×0.9m 寬，可依照實驗自由開啟或關閉，如圖 9~圖 11 所示。

##### (2) 撒水系統及偵煙式探測器

為了模擬真實建築空間並符合法規規定，將模型房間假定為辦公室。依據各類場所消防安全設備設置標準[32]，一般反應型撒水頭室內任一點至撒水頭水平距離在 2.1m 以下，而實際設計時因有整齊配置等美觀因素之考量，需長寬均衡設置，故實際設置撒水頭為四顆，撒水頭標示作動溫度為 74°C，而撒水頭位置如圖 12 所示，各撒水頭與牆面距離均為 1.25m~1.4m，代號為 S<sub>1</sub>~S<sub>4</sub>。

實驗場亦配置四個偵煙式探測器。根據各類場所消防安全設備裝置標準，除火焰式、差動式及光電式偵煙探測器外，其他探測器需裝設距牆面 1.5m 處。本實驗將採用差動式與光電式偵煙探測器兩種，顧及實驗場架設方便性，各探測器位置與撒水頭位置一樣，代號為 D<sub>1</sub>~D<sub>4</sub>，如圖 13。

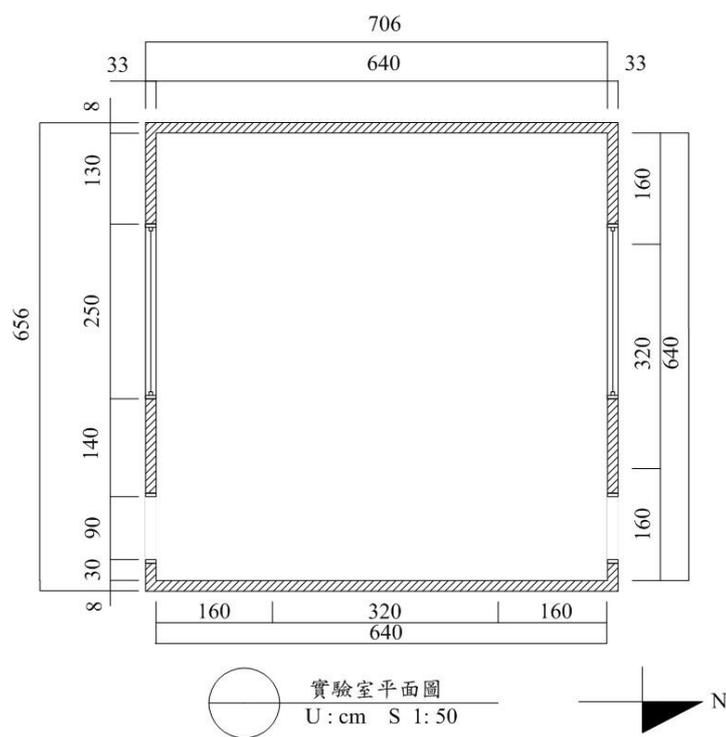


圖 9 全尺寸實驗模型平面圖



圖 10 全尺寸實驗模型實體圖 1



圖 11 全尺寸實驗模型實體圖 2

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

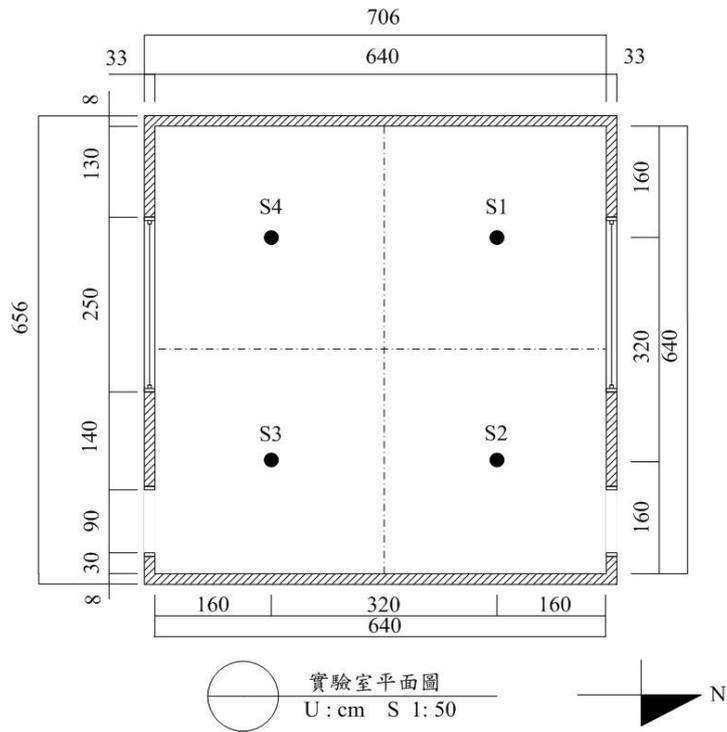


圖 12 撒水頭位置配置圖

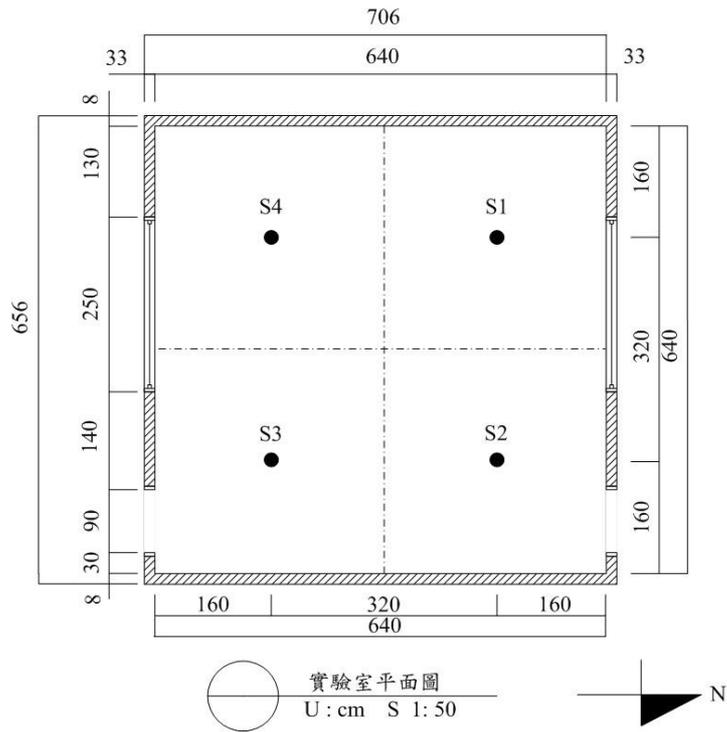


圖 13 探測器位置配置圖

### (3) 熱電偶樹

實驗使用了許多熱電偶來量測室內的溫度變化，以十個一組，垂直方向綁於細鐵鏈組成一組熱電偶樹。實驗模型中有 13 組熱電偶樹，8 組位於房間的牆壁和角落，其量測數據用來繪製平面等溫線圖；剩下 5 組則分別配置於撒水頭位置上與房間中心點。熱電偶配置如圖 14 所示，使用的熱電偶為 K-type。

## (二) 實驗規劃

實驗規劃如圖 15、

表 2 所示，圖中標號 M1、W2、W1、C1 等代表火源位置，每個火源位置各有吊扇強風、中風、吊扇關 3 種以及冷氣平吹、下吹、風向自動、冷氣關 4 種，總計共 28 組實驗。在實驗期間使用 30cm×30cm 丙烷燃燒器，如圖 16，以流量計控制丙烷的流量，使火災熱釋放率為 100kW，並先以熱電偶代替撒水頭與探測器量測火場之溫度變化，往後的數據皆以 S<sub>1</sub>~S<sub>4</sub> 表示探測點的溫度，74°C 為作動溫度。

### (1) 冷氣通風效應的影響

冷氣實驗為了研究通風效應對火場的影響，安裝冷氣出風口於實驗 W<sub>1</sub>，探討火場中冷氣出風對撒水頭及探測器作動時間的影響，其中實驗採用分離式側吹式冷氣出風口，並於點火前先開啟冷氣達 300 秒，確保房間內流場達到穩定，往後實驗數據皆從 300 秒之後開始討論。

### (2) 吊扇效應的影響

F<sub>1</sub> 實驗為了研究吊扇效應對火場的影響，於各種不同火源實驗模型中安裝吊扇，探討在不同位置下吊扇開啟時對於撒水頭及探測器作動時間的影響。

### (3) 牆壁與角落效應的影響

為了觀察火源位置對於撒水頭及探測器作動時間的影響，吾人設計四

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

種不同位置實驗火源。其中  $M_1$  代表火源安置於房間正中央， $W_1$  代表火源安置於西方牆角旁， $W_2$  代表火源安置於南方牆角，則  $C_1$  代表火源安置於角落。

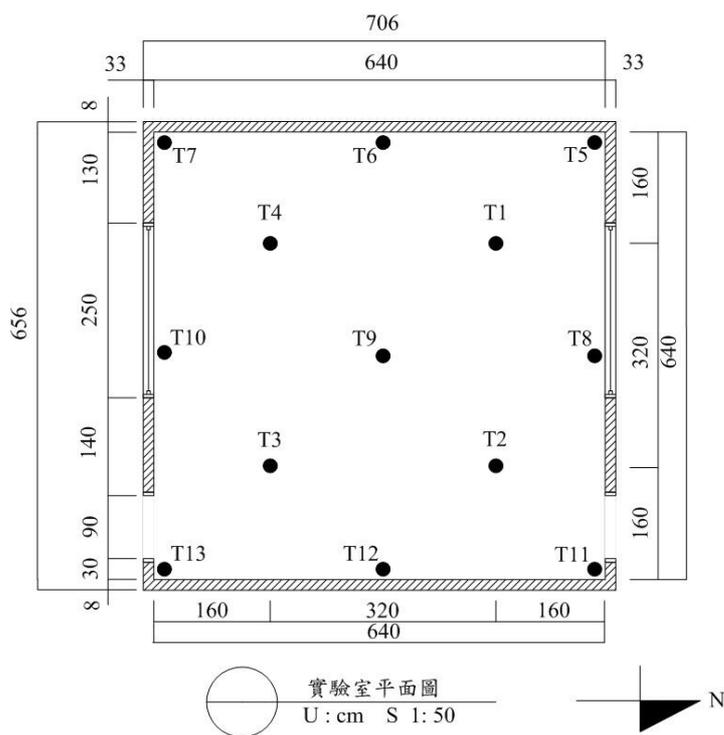


圖 14 熱電偶樹配置圖

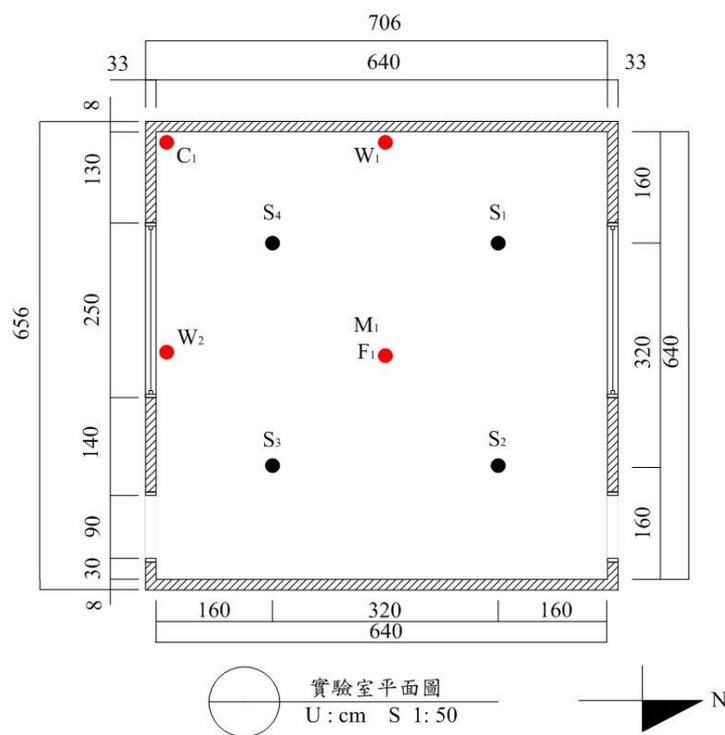


圖 15 實驗規劃平面圖

**表 2 實驗規劃表**

			火源位置			
			角落 (C1)	西方牆角 (W1)	南方牆角 (W2)	中間 (M1)
房間 裝置	冷氣	空屋 (NC)	case-C1-NC	case-W1-NC	case-W2-NC	case-M1-NC
		平吹 (CH)	case-C1-CH	case-W1-CH	case-W2-CH	case-M1-CH
		下吹 (CD)	case-C1-CD	case-W1-CD	case-W2-CD	case-M1-CD
		自動 (CA)	case-C1-CA	case-W1-CA	case-W2-CA	case-M1-CA
	吊扇	關 (NF)	case-C1-NF	case-W1-NF	case-W2-NF	case-M1-NF
		中風 (FM)	case-C1-FM	case-W1-FM	case-W2-FM	case-M1-FM
		強風 (FS)	case-C1-FS	case-W1-FS	case-W2-FS	case-M1-FS



**圖 16 丙烷燃燒器**

## 第四章 FDS 火災模擬結果與討論

本案以 NIST 所發展的 FDS 第五版，模擬一般起居室以及實尺寸房間實驗。在一般起居室中，房間大小、開口尺寸與火源皆參考文獻，而將撒水頭的位置改變與吊扇的有無，分析並討論。在實尺寸房間中，空間、尺寸，開口位置設定與實驗相同，改變冷氣出風口大小以及出風口角度，以模擬實驗。

### 第一節 一般起居室

#### (一) 模擬場景尺寸設定

模擬建築物空間係依據 Victoria B 與 Valentine 之參考文獻來設定 [33]，如圖 17 所示。房間為長 4m×寬 5m，室內淨高為 2.4m，在室內角落設有兩出風口，為寬 0.8m×高 2.1m，房間內設置沙發 3 張，茶几與桌子各一，並設置大型衣櫥於沙發正對面。數值計算場域長度(x 向)為 4m，寬度(y 向)為 5m，高(z 向)為 2.4m。房間沙發上有火源，依據設計情境面積為 0.1m×0.1m，為模擬火災時的火源。係根據 Ma 與 Quintiere 建議的計算公式所求出 [34]，理想的網格大小應為 2.5 公分，在此網格大小採用 5 公分，格點配置則是採用均勻格點的方式。

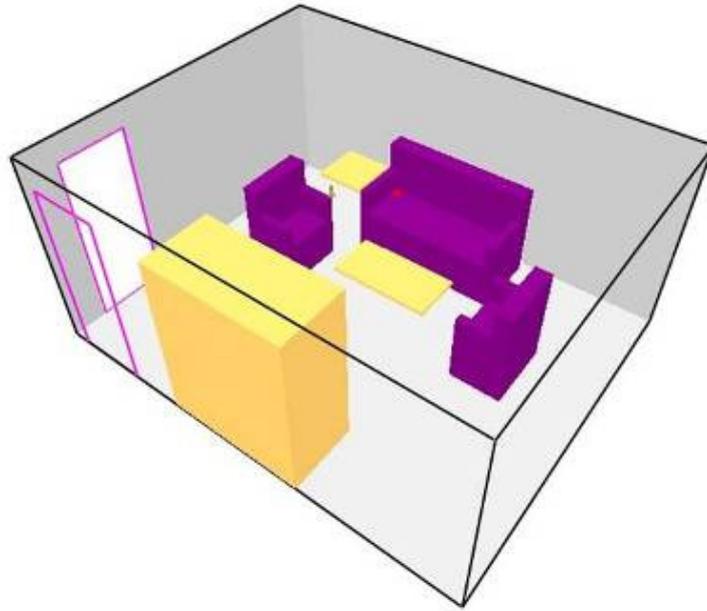


圖 17 一般起居室

## (二) 表面材料設定

關於本模擬空間的材料設定，可參考

表 3，壁面材質皆根據文獻中所給的參數搭配 FDS 第五版去模擬，詳細壁面材料皆採用 FDS 第 4 版的資料預設值，為不可燃的物質，其中木製家具與尼龍家具為了更符合實際場景，分別使用可燃以及不可燃的條件去分析。

表 3 FDS 材料選擇

物體	表面材料	材料特性	
天花板	'WALL'	'GYPSUM PLASTER'	
牆壁		density=1440 (kg/m <sup>3</sup> )	
地板		conductivity=0.48 (W/m/K) SPECIFIC_HEAT=0.84 (kJ/kg/K)	
木製家具	'OAK'	'PINE'	
		density=360 (kg/m <sup>3</sup> )	
		conductivity=0.05 (W/m/K)	
		SPECIFIC_HEAT=1.0 (kJ/kg/K)	
尼龍家具	'UPHOLSTERY' (FABRIC : FOAM=1 : 5)	'FABRIC'	'FOAM'
		density=100 (kg/m <sup>3</sup> )	density=40 (kg/m <sup>3</sup> )
		conductivity=0.1	conductivity=0.05
		(W/m/K)	(W/m/K)
		SPECIFIC_HEAT=1.0	SPECIFIC_HEAT=1.0
		(kJ/kg/K)	(kJ/kg/K)

### (三) 模擬情境之設定

根據文獻設定，希望由 FDS 數值模擬結果，歸納出阻礙物對於探測器與撒水頭作動之影響，並對照文獻裡的過去資料，以及對未來的實驗，給予有力的參考數據。因火場裡家具的延燒效果，會加速火場溫度的提高，以及影響火災濃煙的分布，固本案針對 4 種情境，並搭配家具可燃與不可燃，以利互相參考與比較。

#### 情境 1(Case W-P-NF) :

**常見的撒水頭安裝位置。**在建築空間配置規範下，吾人常安裝撒水頭於房間的正中央，一方面是因為節省經費，另一方面也是因裝置於中

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

央，有效面積最大，效果最好。

### **情境 2(Case W-P-F)：**

**加裝吊扇。**常見的辦公室皆會安裝吊扇於房間的上方，固本案將吊扇設定於室內的正中央，因 FDS 軟體的關係，本案設計吊扇並不會出風與旋轉，為吊扇形狀的障礙物。

### **情境 3(Case W-S-NF)：**

**撒水頭安裝於牆邊。**為了比較撒水頭的位置對作動時間的影響，將撒水頭設定於牆邊，探討改變撒水頭位置是否會改變撒水頭的作動時間。

### **情境 4(Case W-S-F)：**

**加裝吊扇且撒水頭安裝於牆邊。**常見的辦公室搭配不常見的撒水頭的安裝位置，在阻礙物與壁面效應、牆壁效應的交互影響下，觀察其撒水頭的作動時間，以利未來實驗設計參考。

## **(四) FDS 模擬結果**

吾人設計火源在時間一開始即點燃，其撒水頭作動溫度為 74°C，結果如表 4 所示。

表 4 FDS 模擬撤水頭作動時間表

Model Name	Ceiling Fan Present	Sprinkler Type	火災蔓延到大茶几的時間 (s)	作動時間 (s)
Case W-P-NF-C	N	Pendent	106	48.56
Case W-P-NF-NC	N	Pendent	0	172.33
Case W-S-NF-C	N	Sidewall	106	46.67
Case W-S-NF-NC	N	Sidewall	0	316.23
Case W-S-F-C	Y	Sidewall	106	48.78
Case W-S-F-NC	Y	Sidewall	0	262.17
Case W-P-F-C	Y	Pendent	106	45.67
Case W-P-F-NC	Y	Pendent	0	200.33

### 家具的延燒與否

如圖 18，在 FDS 模擬結果中，因設定沙發為可燃物質，火源在沙發上會起火產生更多的火焰與濃煙，造成環境溫度急速升高，由表 3 可以很明顯的看出，一旦家具會延燒，無論是哪一種情況，撤水頭的作動時間皆為 45 秒左右，顯示出家具的延燒嚴重的影響撤水頭的作動時間，導致

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

我們無法判斷不同情況對於撒水頭的影響。

表 4 為 Case W-P-NF-C 與 Case W-P-NF-NC 在 48 秒以及 172 秒的模擬場景與溫度分布圖，由表 5 中可發現，一旦 Case W-P-NF-C 發生家具延燒現象，燃燒所導致的濃煙會比較厚且房間溫度較高，撒水頭在 48 秒即達到作動溫度，甚至在 172 秒的時候，整個房間已暴露在火場中，不只濃煙充斥整個空間，整體溫度幾乎都超過  $100^{\circ}\text{C}$  以上；由圖 19 和表 5 中，Case W-P-NF-C 在 48 秒與 172 秒時，濃煙看起來都差不多，撒水頭也到了 172 秒才因濃煙堆積而達到作動溫度。

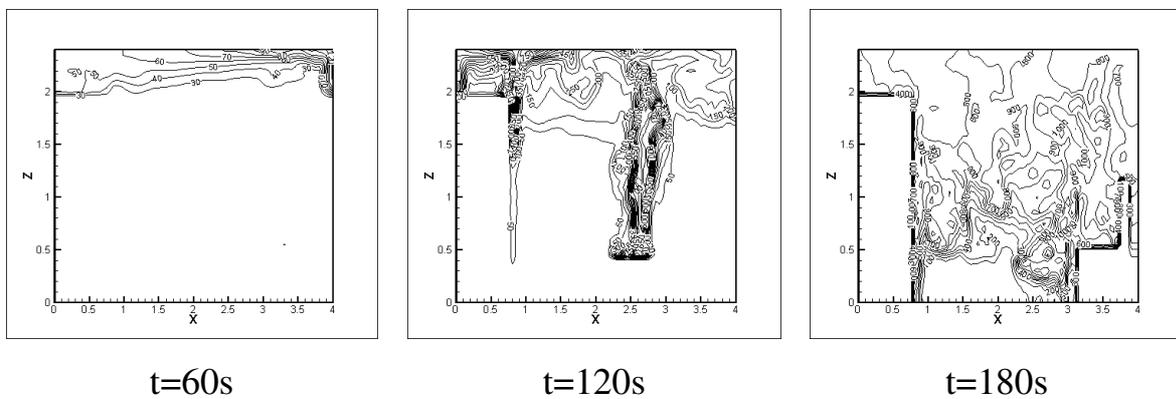


圖 18 Case W-P-NF-C 在  $Y=2.5\text{m}$  等溫線圖

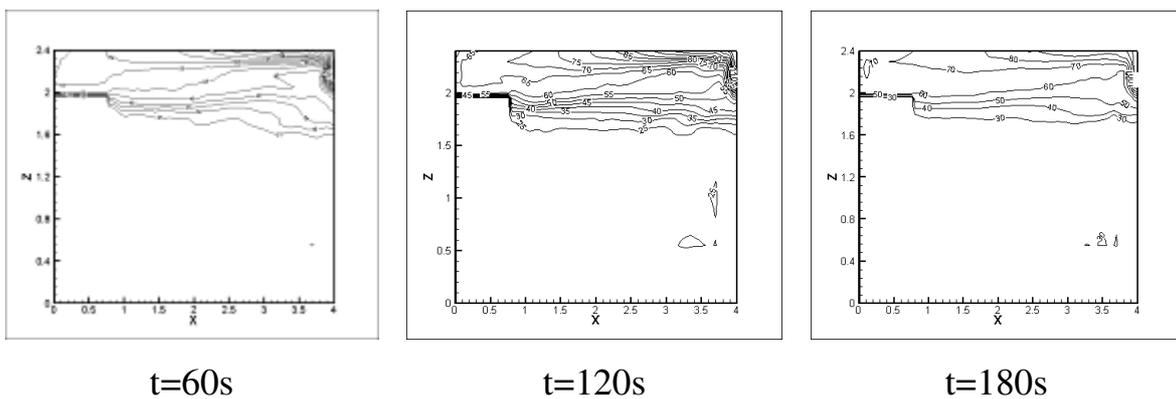


圖 19 Case W-P-NF-NC 在  $Y=2.5\text{m}$  等溫線圖



### 撒水頭的位置

表 6 為 Case W-P-NF-NC 與 Case W-S-NF-NC 在 172 秒的溫度分布圖，因我們只改變了撒水頭的位置，故火場的燃燒狀況與煙流情形完全一模一樣。在 172 秒時濃煙才慢慢蔓延到中間，以至於中間的撒水頭達到作動溫度，而牆邊的溫度還維持在 60°C 左右；反觀牆邊的撒水頭要到 316 秒時，才會達到作動溫度而作動。

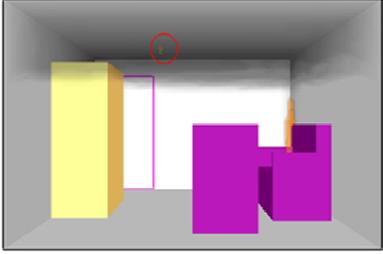
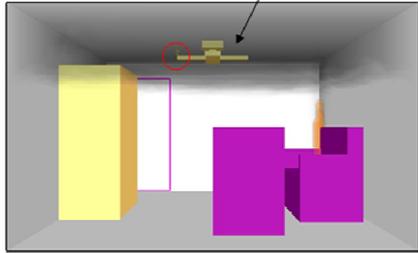
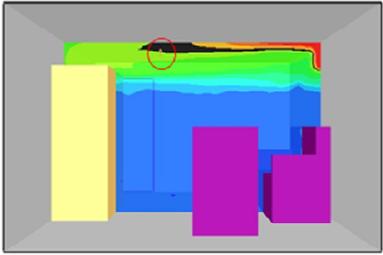
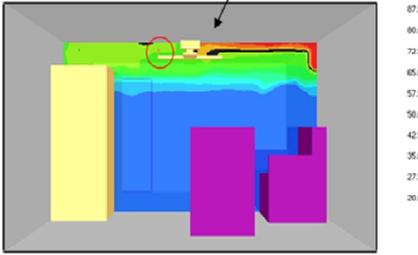
表 6 Case W-P-NF-NC 與 Case W-S-NF-NC

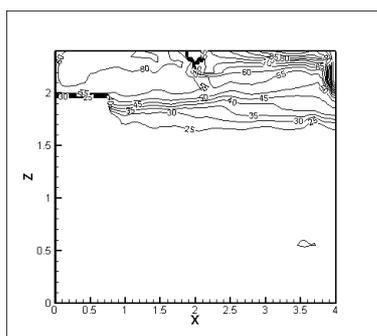
	Case W-P-NF-NC (撒水頭在中央)	Case W-S-NF-NC (撒水頭在牆邊)
t=172S		

### 阻礙物(吊扇的影響)

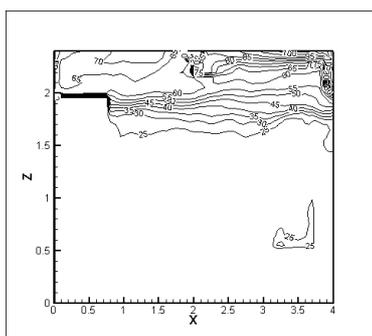
其中，表 7 為 Case W-P-NF-NC 與 Case W-P-F-NC 在 172 秒的 FDS 模擬圖與溫度分布圖。觀察兩種情形的模擬圖，會發現圖中煙層的差異並不明顯，但觀察兩種情形的溫度分布圖，很明顯的發現在葉片上方，會因為吊扇阻礙的影響，高溫的煙堆積在吊扇旁，無法順利的擴散到撒水頭附近，導致本來在 172 秒就可達到作動溫度的撒水頭，要等到 200 秒，濃煙擴散到撒水頭而達到作動溫度。

表 7 Case W-P-NF-NC 與 Case W-P-F-NC

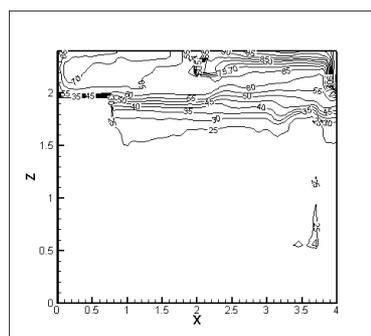
	Case W-P-NF-NC (無吊扇)	Case W-P-F-NC (有吊扇)
<p>t=172S</p>	 <p>Smokeview 5.4.8 - Dec 3 2009 Frame: 1550 Time: 172.2</p>	<p>風扇阻擋濃煙的蔓延</p>  <p>Smokeview 5.4.8 - Dec 3 2009 Frame: 1037 Time: 172.8</p>
	 <p>Smokeview 5.4.8 - , living22_0001_00000000_00.q, living22_0001_00000160_00.q Fps: 30 Time: 172.2</p>	<p>風扇阻擋濃煙的蔓延</p>  <p>Smokeview 5.4.8 - , living28_0001_00000180_00.q Fps: 30 Time: 172.8</p>



t=60s



t=120s



t=180s

圖 20 Case W-P-F-NC 在 Y=2.5m 等溫線圖

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

在本次的實驗模擬中，證明了探測器與撒水頭的作動時間，和探測器與撒水頭位置設置，以及家具延燒與否皆有一定的關係。另外在起居室中加裝阻礙物，會影響火場裡煙層的流動，進而影響探測器與撒水頭的作動時間，也給未來實驗帶來龐大的數據資料，以供參考。

## 第二節 FDS 數值模擬空調風管系統實驗

### (一) 模擬場景尺寸設定

所模擬之建築物空間係依據第三章之實驗實尺寸房間來設定，如圖 21 所示。房間為長 6m×寬 6m，室內淨高為 2.4m，在兩邊牆面有室內通風口。數值計算場域長度(x 向)為 6m，寬度(y 向)為 6m，高(z 向)為 2.4m，網格大小也如辦公室模擬情況一樣，設定為 5cm。

Smokeview 5.4.8 - Dec 3 2009

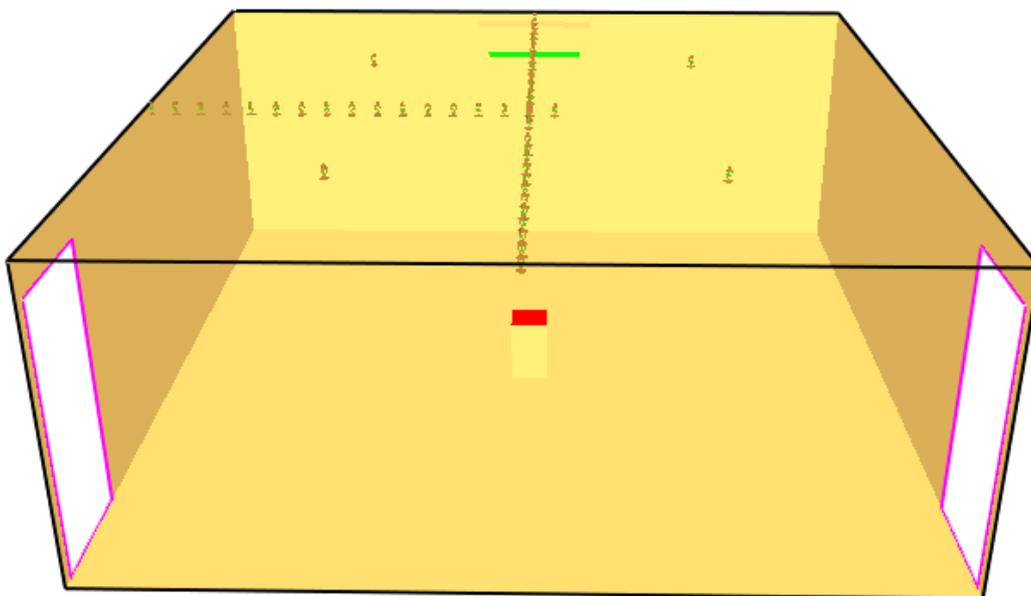


圖 21 實尺寸實驗場景

## (二) 表面材料設定

關於本模擬空間的材料設定，可參考表 8，本實驗為研究建築內部在加裝冷氣出風口條件下的流場結構，以及在不同火源位置的條件下火災煙流之流動趨勢，壁面材料依據實驗場景設定為磚塊牆，為不可燃的物質，其物理性質則參照實際物理性質所設定。

**表 8 FDS 材料選擇**

物體	表面材料	材料特性
天花板	'brick'	'Default'
牆壁	'brick'	'Default'
地板	'brick'	'Default'

## (三) 模擬情境之設定

吾人根據第 3 章的實驗規劃，以 FDS 模擬房間中加裝冷氣出風口，並如實驗規劃所示於房間中 4 點(S<sub>1</sub>~S<sub>4</sub>)安裝撒水頭與探測器，因為在 FDS 模擬時，我們可直接獲得此 4 點的溫度，並藉由溫度可得知撒水頭或探測器作動的準確時間，故在程式表示上皆用探測器代替即可，又因 FDS 程式無法模擬動態出風口的關係，本案只模擬空屋環境、冷氣平吹、冷氣下吹等 3 種不同的出風方向。吾人於房間正中央地板上，放置 30cm×30cm 高 50cm 熱釋放率為 100kW 的火源，火源位置也如實驗規劃放置於 4 種不同位置，互相驗證與探討。吾人並於牆壁上加裝 90cm×10cm 的冷氣出風口，吹出的冷空氣風速大小為 1.5m/s 溫度為 18°C，藉由改變冷氣的出風方向，分析冷氣對於撒水頭與探測器作動時間的差異，與未來實驗做比較。

#### (四) FDS 模擬結果

吾人在長 6m×寬 6m 的房間中，加入了冷氣的冷風，會使得房間內流場產生明顯的變化，並分別以空屋、冷氣平吹、冷氣下吹，利用 FDS 進行模擬，比較  $S_1 \sim S_4$ ，可得出表 9。其中  $S_1 \sim S_4$  在房間的位置如圖 22 所示。

FDS 模擬時間約 600 秒，前 300 秒模擬冷氣開啟使房間流場達到穩定，300 秒開始點火，時間達到 600 秒停止模擬，一旦模擬結束探測點還未達到作動溫度則判定該點無法作動。以下針對 4 種不同類型火源位置分別敘述。

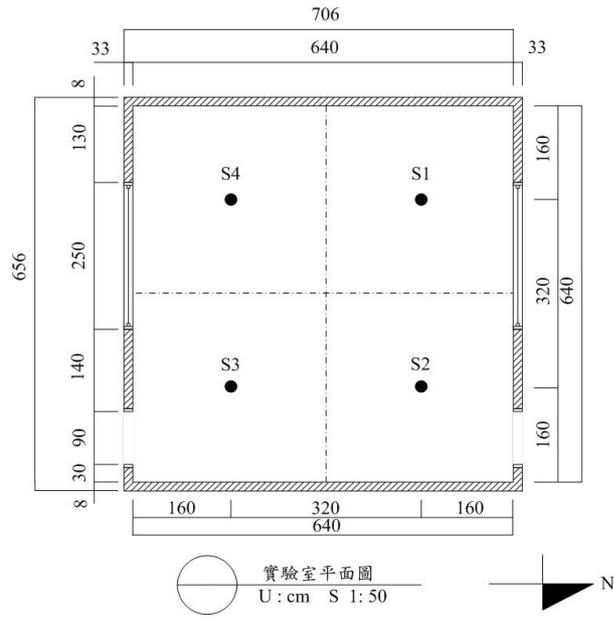


圖 22 撒水頭配置圖

表 9 FDS 探測點達到作動溫度時間表

		S <sub>1</sub> (s)	S <sub>2</sub> (s)	S <sub>3</sub> (s)	S <sub>4</sub> (s)
火源在角落	空屋	6.45	23.17	11.12	1.78
	平吹	8.78	21.61	8	1.78
	下吹	4.50	23.94	10.34	1.78
火源在西方牆角	空屋	4.11	27.45	30.56	4.11
	平吹	7.61	31.72	30.56	9.56
	下吹	7.61	36.01	30.56	6.45
火源在南方牆角	空屋	15.78	13.45	1.78	1.78
	平吹	26.28	15.39	2.56	2.56
	下吹	15.67	14.33	2.34	2.34
火源在中央	空屋	5.67	2.95	2.95	7.62
	平吹	8.39	3.73	3.34	8
	下吹	2.95	2.95	3.34	4.11

### (1) 火源在角落

FDS 模擬火源位於角落情況，詳細火災觀測如圖 23~圖 25，圖 23 為空屋環境的平面溫度圖，在空屋環境下  $S_4$  作動最早，距離火源最遠的  $S_2$  則需火源產生後約 23 秒才達到作動， $S_1$  距離西北方角落較近，角落聚煙效果較為嚴重，故  $S_1$  作動時間比  $S_3$  快上許多。

圖 24 為冷氣平吹的平面溫度圖，在冷氣平吹且火源於角落的環境裡， $S_4$  距離火源最近且不受冷氣干擾，作動時間依舊在點燃後 2 秒內，而最遠的  $S_2$  須達火源產生後 22 秒才達到作動。比較  $S_1$  的作動時間，在冷氣平吹的影響下，延遲了約 2 秒鐘，但是  $S_3$  的作動時間，則因冷氣將熱空氣往東方吹的緣故，提早了約 3 秒鐘。

圖 25 為冷氣下吹的平面溫度圖。觀察圖 25，距離火源最近的  $S_4$  與最遠的  $S_2$ ，數據維持不變為火源產生後 2 秒與 22 秒即達到作動， $S_1$  則因冷氣下吹之關係，加速了房間內西方的熱空氣上升， $S_1$  作動時間在點火後 4.5 秒，而  $S_3$  的作動時間也因此提早許多，甚至比空屋環境來的早。

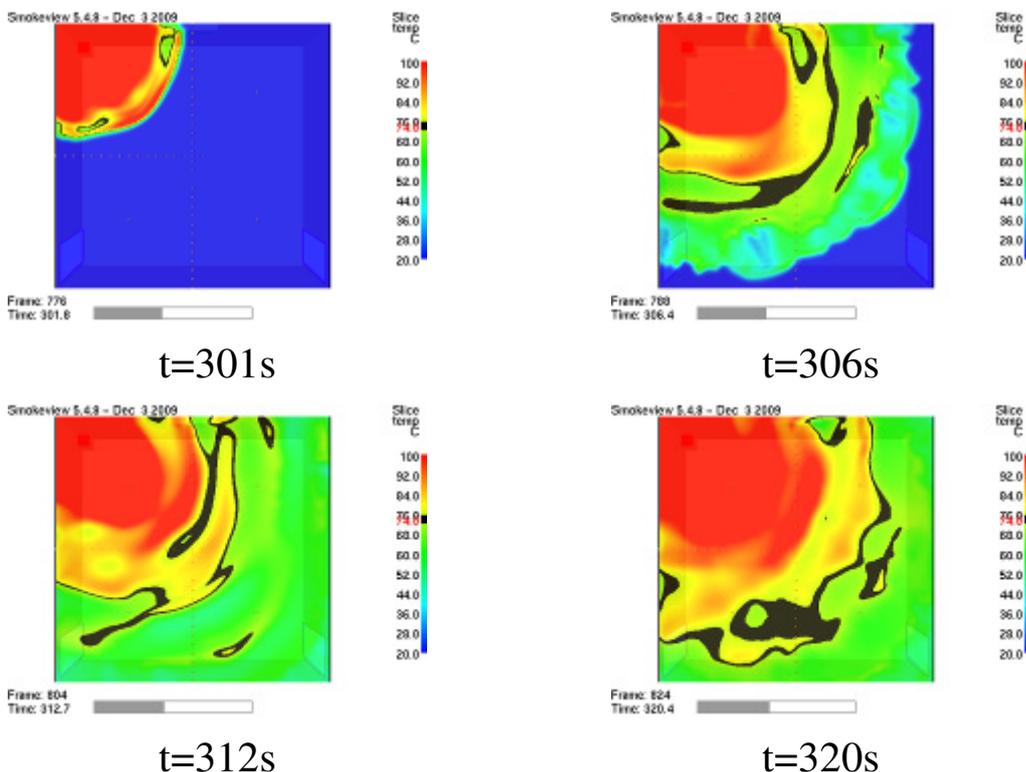


圖 23 FDS 模擬火源在角落之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖

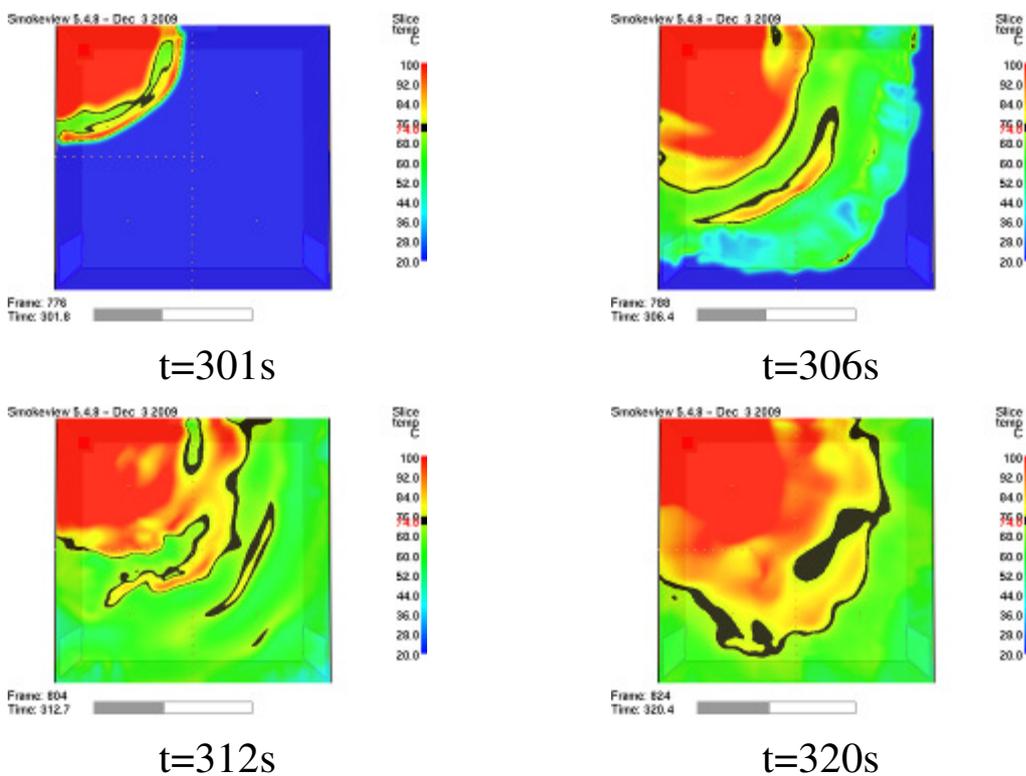


圖 24 FDS 模擬火源在角落之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖

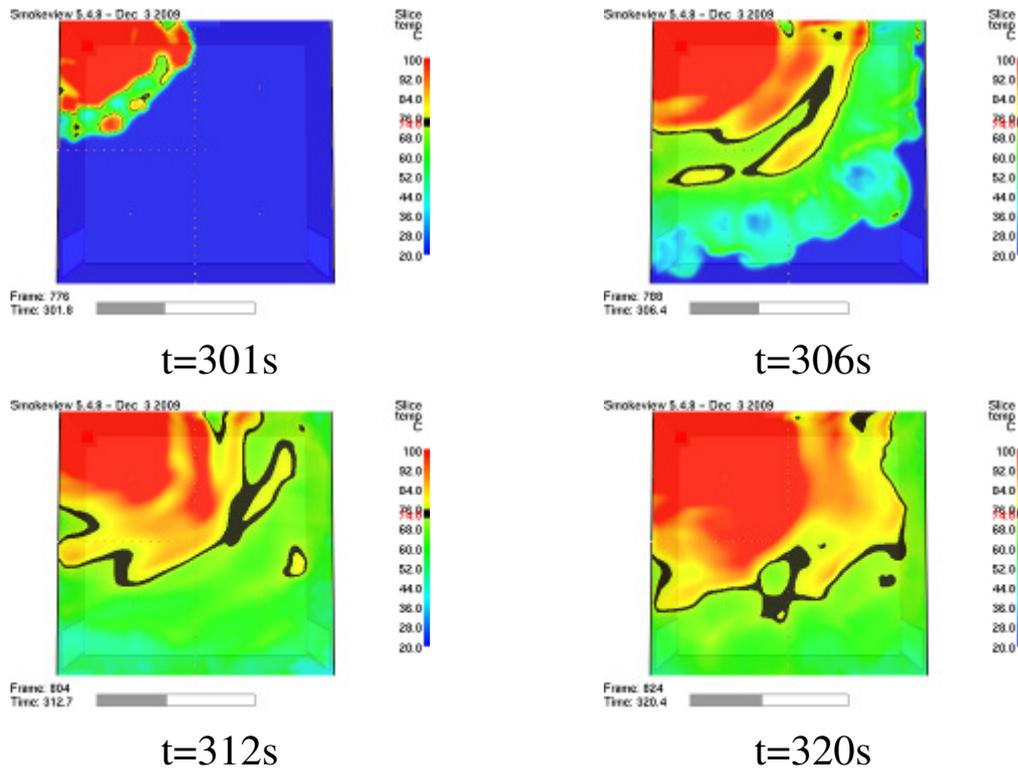


圖 25 FDS 模擬火源在角落之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖

## (2) 火源在西方牆角

FDS 模擬火源位於西方牆角情況，即為冷氣出風口正下方，詳細火災觀測如圖 26~圖 28，圖 26 為空屋環境下平面溫度圖，熱煙從冷氣下方垂直上升並往東方擴散，所以距離火源較近的  $S_1$  與  $S_4$  約為火焰點燃後 4 秒鐘即達到作動條件，但距離火源較遠的  $S_2$  與  $S_3$  則於 30 秒左右即達到作動溫度。

圖 27 為冷氣平吹之平面溫度圖，因冷氣開啟的緣故，熱空氣上升過程中會遭遇冷氣出風口的影響， $S_1$  與  $S_4$  的作動時間就有明顯的延遲現象，各約延遲 3~5 秒。雖然說冷氣平吹影響了  $S_1$  與  $S_4$  的作動時間，距離火源較遠的  $S_2$  與  $S_3$  則維持 30 秒左右而作動，原因為火源所產生的熱空氣量比冷氣出風口的出風量大，在靠近冷氣出風口處雖會有延遲現象，但冷氣出風卻無法將熱空氣往東方吹，結果為熱空氣自然擴散至東方，並沒

有因冷氣出風而產生加速的效果。從平面溫度圖也可發現空屋環境與冷氣平吹的圖形相當類似，故  $S_2$  與  $S_3$  作動時間幾乎不變。

圖 28 為冷氣下吹之平面溫度圖，結果與冷氣平吹環境相當類似， $S_1$  與  $S_4$  在點火後 7 秒左右達到作動，而距離較遠之  $S_2$  與  $S_3$  依舊為點火後 30 秒左右達到作動，因火源所產生的熱空氣量比冷氣出風口的出風量大，使得整體結果顯示，冷氣出風方向對於撒水頭與探測器的作動時間並無太大的影響。

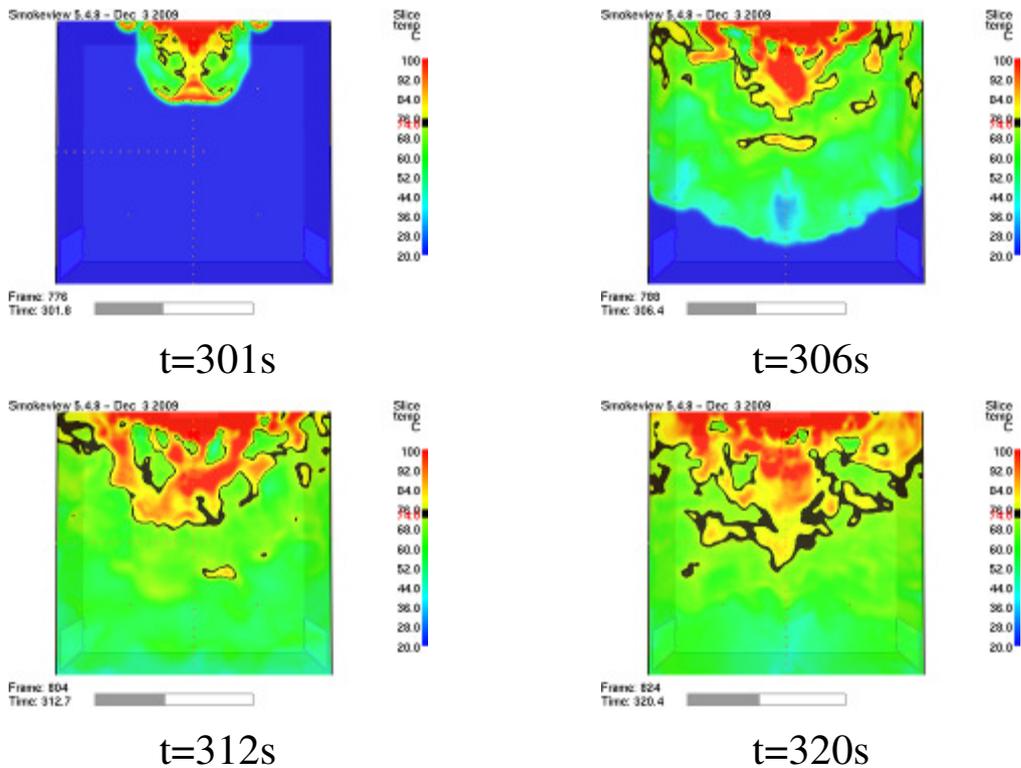


圖 26 FDS 模擬火源在西方牆角之空屋環境  $H=2.3m$  等溫線圖

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

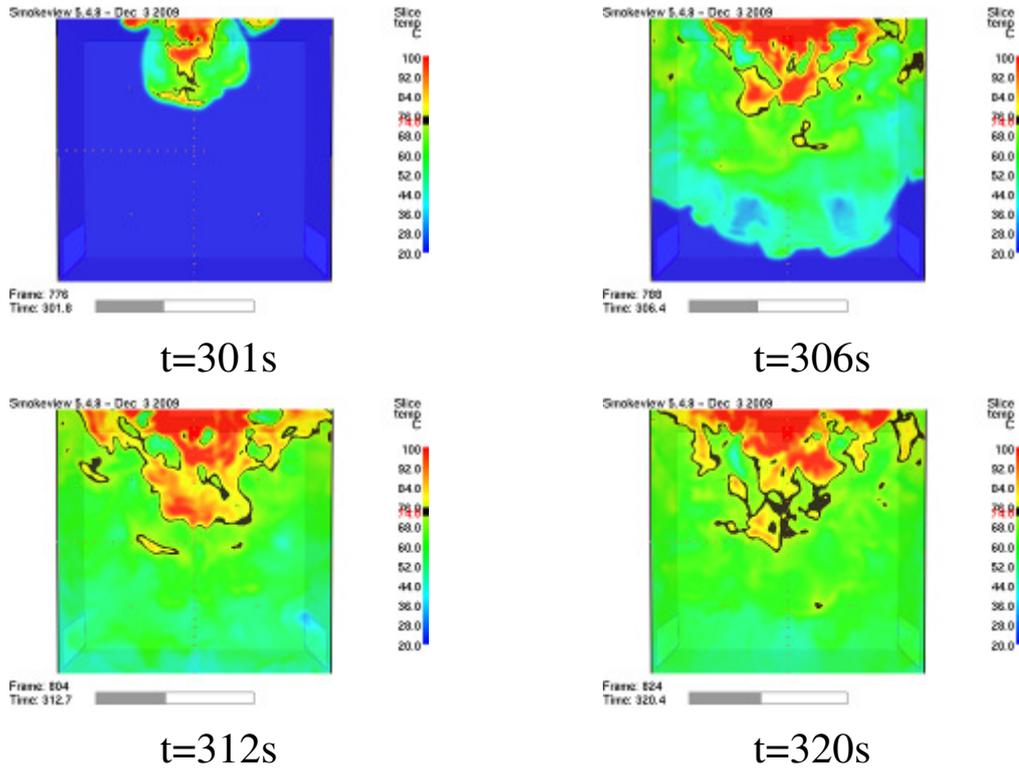


圖 27 FDS 模擬火源在西方牆角之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖

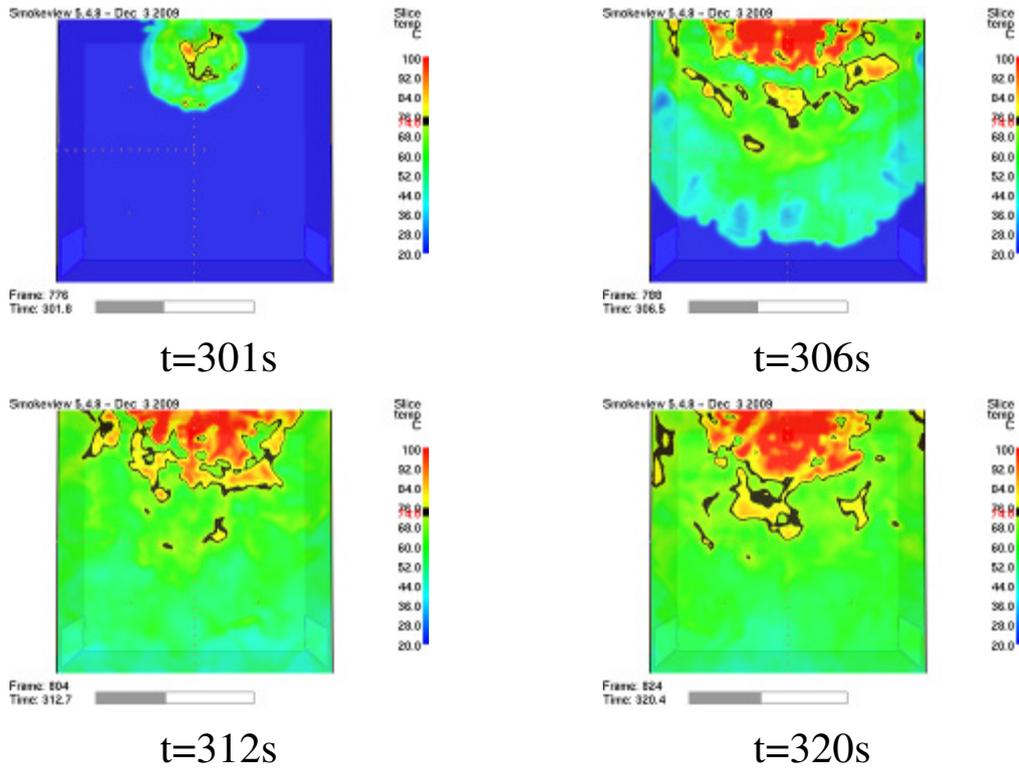


圖 28 FDS 模擬火源在西方牆角之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖

### (3) 火源在南方牆角

FDS 模擬火源位於南方牆角情況，詳細火災觀測如圖 29~圖 31，圖 29 為空屋環境之平面溫度圖，因火源位置改變，距離火源最近的  $S_3$  與  $S_4$  為最早作動之兩點，約為點火後 2 秒內達到作動，而距離較遠的  $S_1$  與  $S_2$  則須 15 秒左右，才達到作動條件。

圖 30 為冷氣平吹之平面溫度圖， $S_3$  與  $S_4$  略為延遲 1 秒鐘，而  $S_2$  的作動時間略為延遲 2 秒鐘，影響較為明顯的  $S_1$  延遲時間約 10 秒鐘。冷氣出風使得熱空氣往東方擴散，但冷氣出風口的出風量比火源所產生的熱空氣量小，影響熱空氣擴散的幅度有限，故只有  $S_1$  延遲效果較為嚴重，其餘 3 點延遲現象相當有限。

圖 31 為冷氣下吹之平面溫度圖，更改了冷氣出風口為向下吹，雖會加速了熱空氣的上升，但冷氣出風口的出風量比火源所產生的熱空氣量小，故整體而言影響幅度並不大，連冷氣平吹中影響較大之  $S_1$ ，作動時間回復為點燃後 15 秒。冷氣下吹之平面溫度圖也與空屋環境之平面溫度圖相當類似，與冷氣平吹時的些許影響比較起來，冷氣下吹對探測器與撒水頭的延遲幾乎沒有影響。

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

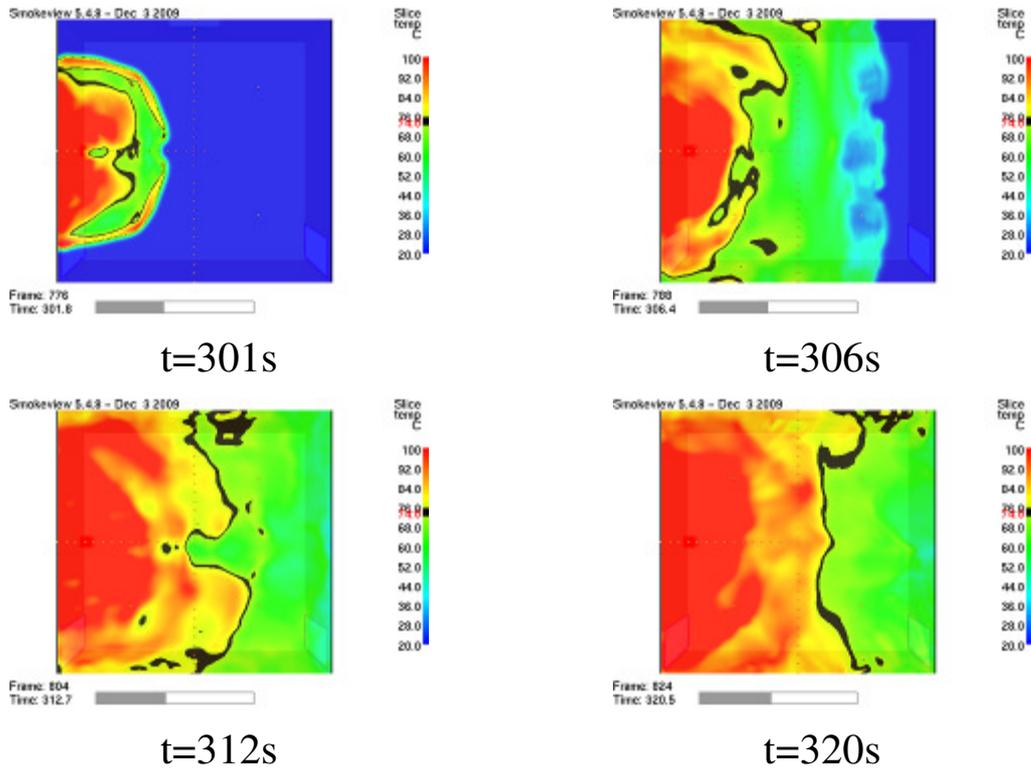


圖 29 FDS 模擬火源在南方牆角之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖

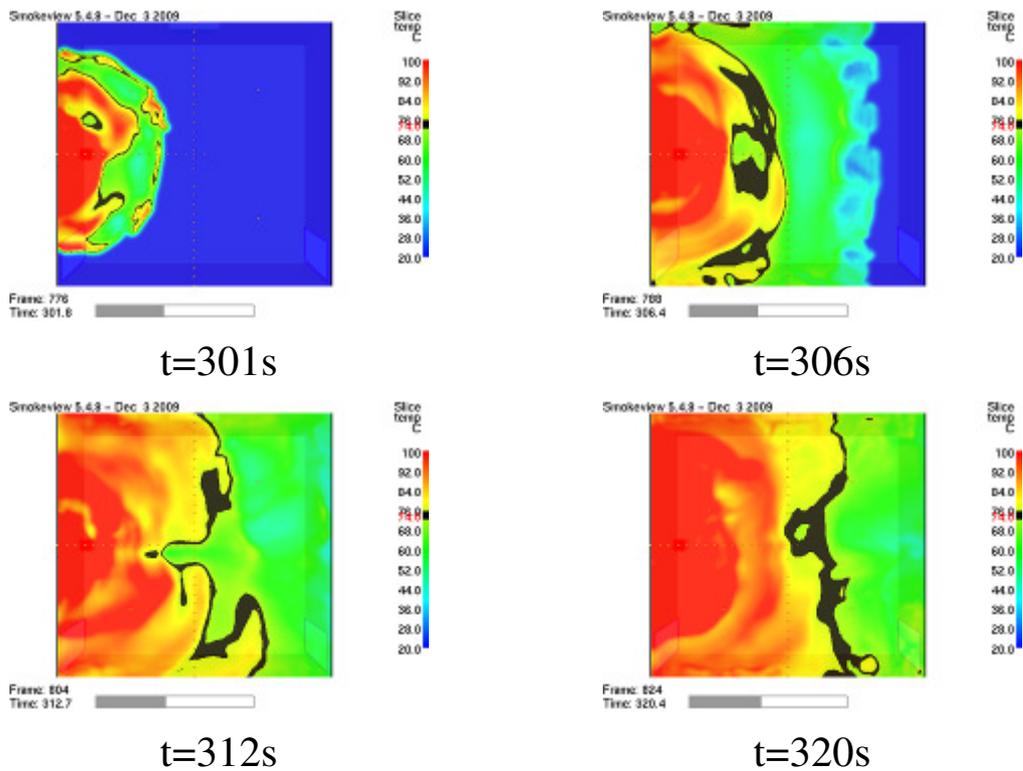


圖 30 FDS 模擬火源在南方牆角之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖

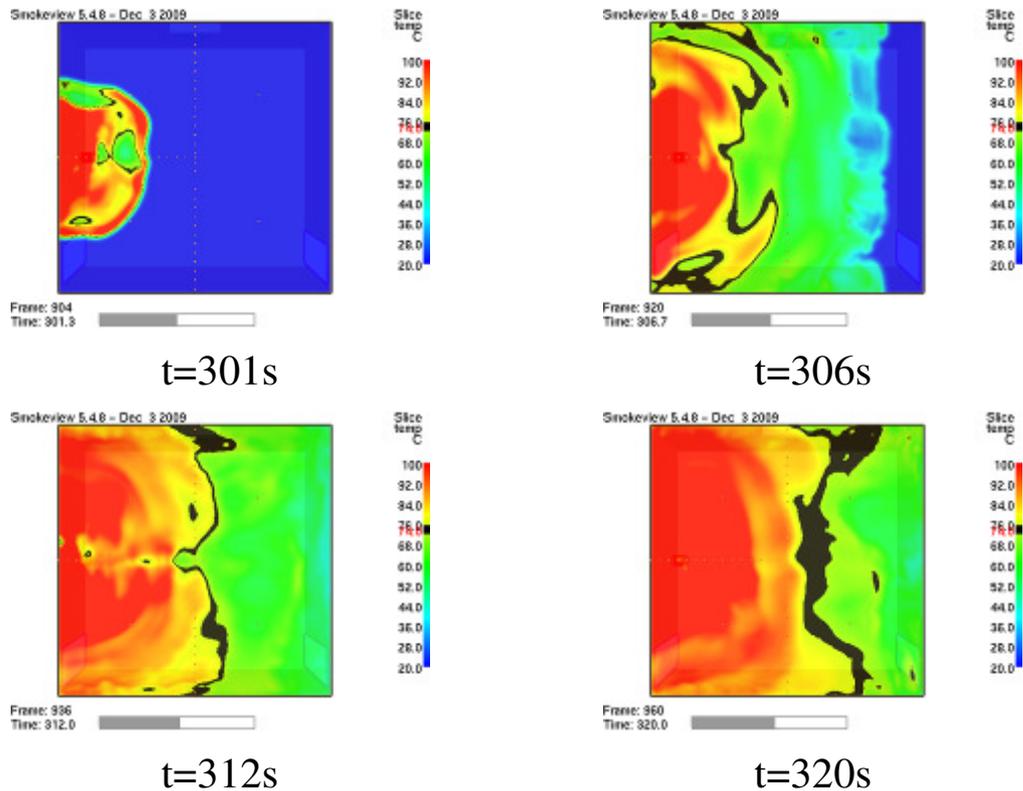


圖 31 FDS 模擬火源在南方牆角之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖

#### (4) 火源在中央

最後，FDS 模擬火源位於正中央情況，詳細火災觀測如圖 32~圖 34，圖 32 為空屋環境之平面溫度圖，熱空氣垂直上升並往房間四周擴散，故  $S_1 \sim S_4$  各點的作動時間皆為點燃後 3~5 秒左右。

圖 33 為冷氣平吹之平面溫度圖，開啟冷氣並調整為平吹環境，熱空氣上升至天花板時會較容易往東方擴散，故  $S_2$  與  $S_3$  的作動時間會比  $S_1$  與  $S_4$  的作動時間來的快，雖然  $S_2$  與  $S_3$  有因冷氣平吹延遲了約 1 秒，但  $S_1$  延遲時間更長達 3 秒。

圖 34 為冷氣下吹之平面溫度圖，根據前幾次的模擬結果，冷氣下吹會造成熱空氣略為加速上升，但冷氣出風口的出風量比火源所產生的熱空氣量小，卻並不一定會造成影響。由結果可知， $S_1 \sim S_4$  的作動時間皆為

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

點燃後 3 秒左右，跟空屋環境結果差異並不大，換句話說，冷氣下吹對火源在正中央環境並無太大的改變。

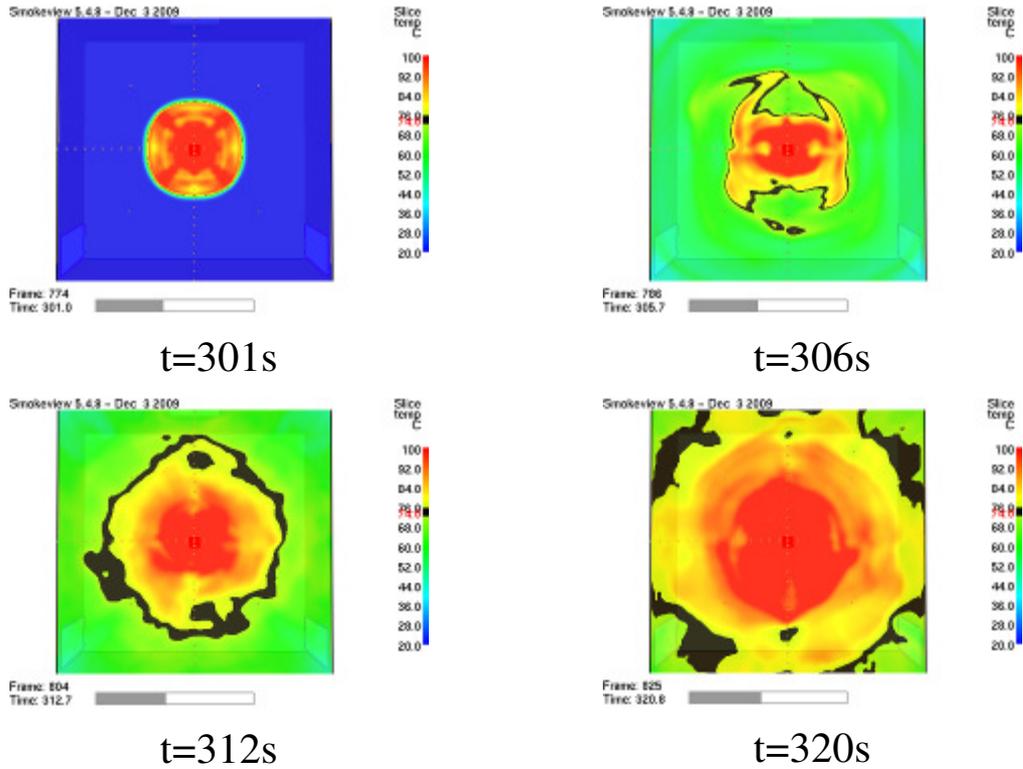


圖 32 FDS 模擬火源在正中央之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖

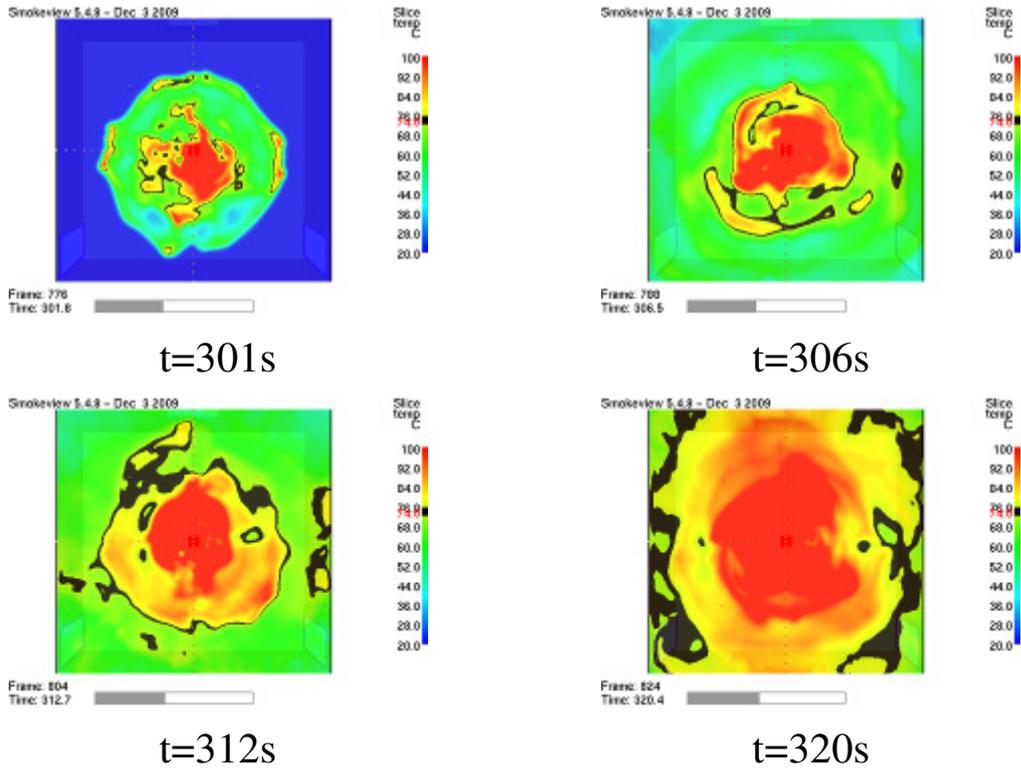


圖 33 FDS 模擬火源在正中央之冷氣平吹  $H=2.3\text{m}$  等溫線圖

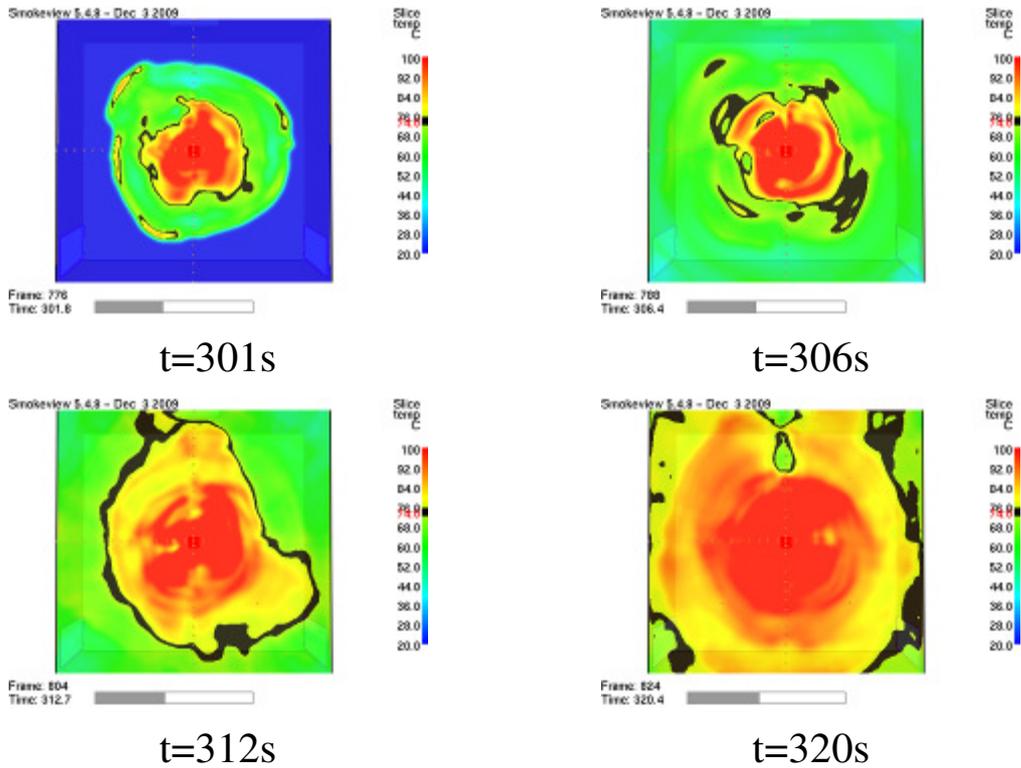


圖 34 FDS 模擬火源在正中央之冷氣下吹  $H=2.3\text{m}$  等溫線圖

### 第三節 小結

利用 NIST 所發展的 FDS 第五版，模擬一般起居室以及實尺寸房間實驗，吾人對於房間內探測器與撒水頭的作動時間有基本瞭解，整體結論如下：

1. 探測器與撒水頭的作動條件，主要與設置位置及火源的距離有關，距離火源越近即越早作動。而一旦房間中傢俱有延燒現象，會提早作動時間，而導致無法判斷在不同情況下對於撒水頭的影響。
2. 阻礙物(吊扇)的設置位置會阻擋火災中濃煙的自然流動，假如探測器與撒水頭的安裝位置於火源與吊扇的延伸線上，阻礙物(吊扇)的設置將會影響探測器與撒水頭的作動時間而造成延遲作動。
3. 由 FDS 模擬實尺寸實驗，因程式中無法完整地模擬所有因素，如空氣的比熱、探測器的熱傳，即使設計相同的熱釋放率，會使得冷氣出風口的出風量比火源所產生的熱空氣量小，故冷氣出風雖證明了冷氣出風會影響房間內熱流場的流動方向，但是影響的程度沒有非常明顯。
4. 以 FDS 模擬結果來看，改變冷氣出風口方向只有在火源正上方，直吹火源會略為造成影響，換句話說，由 FDS 模擬實尺寸實驗，出風口方向的改變不一定會造成計算結果的差異。

## 第五章 空調風管系統實驗結果與討論

在完成實驗規劃之後，接著進行 16 次實尺寸房間火災試驗，其中包含空屋實驗與冷氣 3 種不同出風角度。本研究案將火源放置於角落、冷氣出風口下(西方牆角)、南方牆角以及正中央 4 種，其總結果如表 10 所示。以下針對 4 種不同類型火源位置分別敘述。

### 第一節 火源於角落實驗

本類型實驗共歷時約 600 秒，前 300 秒冷氣開啟使房間流場達到穩定，300 秒開始點火並開始計時，時間達到 600 秒熄火，一旦實驗結束探測點還未達到作動溫度則判定該點無法作動，詳細火災觀測如圖 35~圖 42 所示。

#### (一) 空屋環境

在冷氣不開的環境裡，房間無冷流場進出，環境流場非常穩定，越靠近火源的探測點升溫越快，各探測點達到作動溫度的時間幾乎跟距離成正比，最近且最早作動的一點  $S_4$  幾乎在點燃後 55 秒即達到作動條件，而距離最遠的探測點  $S_2$  在實驗完成前仍未達到作動溫度。

#### (二) 冷氣平吹

環境中冷氣開啟後，除了冷氣的冷空氣降低了環境的溫度，更有氣流的進入帶來房間內空氣的流動。結果  $S_1$  延遲時間約為 10 秒，而原本就無法作動的  $S_2$  在各時間的溫度皆有下降的趨勢，在空屋環境中點燃後 220 秒才作動的  $S_3$  則延遲到點燃後 250 秒以達到作動條件，相對  $S_1$ ~ $S_3$  而言， $S_4$  的變化幅度就沒有那麼明顯。其中，比較圖 36 與圖 38，可發現因為冷氣的影響，位於冷氣出口旁，有明顯的冷空氣層堆積，高度約為 2m 那麼

高，雖然在撒水頭的高度冷氣影響甚微，但下方流場卻明顯地受冷氣干擾。

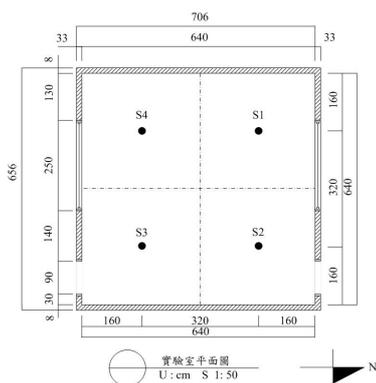
### (三) 冷氣下吹

吾人改變冷氣出風口的角度，觀察常見的下吹出風口對於探測點是否造成延遲效果。結果  $S_2$ 、 $S_4$  皆與之前數據相似，並無太大改變，值得注意的是  $S_1$ 、 $S_3$  因為下吹氣流所造成流場熱空氣加速上升，反而作動時間提前，從圖 39 中也觀察到整個水平面的升溫時間，比空屋、冷氣平吹的環境快許多，而比較剖面溫度圖時，會發現因為冷氣下吹的關係，高溫空氣被冷氣往下吹，而使得之前的冷空氣層被推擠到後方。

### (四) 冷氣風向自動

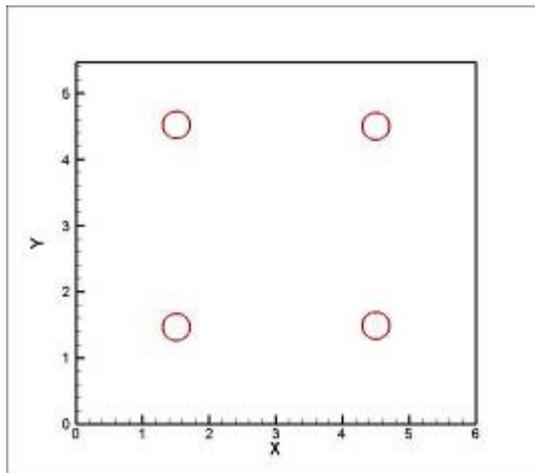
一般常見的冷氣機皆有自動風向的功能，本案藉由這次的機會，比較在風向自動的條件下與風向平吹、下吹的差異性。結果各點數據與風向下吹的結果相當類似，甚至造成  $S_1$ 、 $S_4$  提前 10 秒作動，理由與冷氣下吹一樣，風向自動條件下風向由平吹往下吹，造成火場中流場的流動更為明顯，反而造成作動的提前，特別的地方是，從剖面圖中，整體圖形反而跟冷氣平吹較相近，更值得我們做進一步的觀察。

表 10 冷氣實驗探測點達到作動溫度時間表

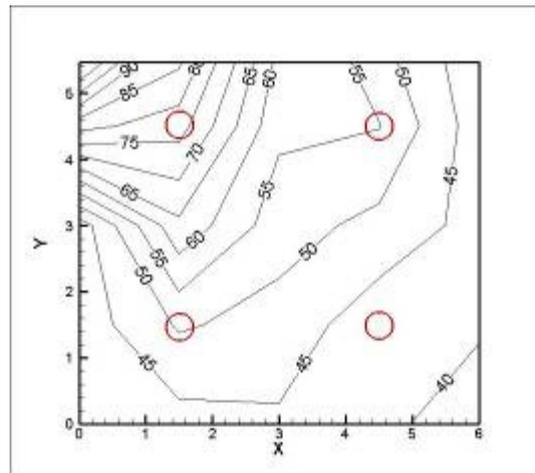


		S <sub>1</sub> (s)	S <sub>2</sub> (s)	S <sub>3</sub> (s)	S <sub>4</sub> (s)
火源在 角落	空屋	160	X	220	55
	平吹	170	X	250	60
	下吹	140	X	220	60
	自動	130	X	220	50
火源在 西方牆 角	空屋	90	200	230	70
	平吹	80	250	250	90
	下吹	80	250	250	80
	自動	80	270	260	80
火源在 南方牆 角	空屋	X	240	100	80
	平吹	X	X	140	110
	下吹	X	X	120	100
	自動	X	300	120	90
火源在 中央	空屋	110	110	80	130
	平吹	160	120	100	140
	下吹	120	110	100	140
	自動	120	130	90	120

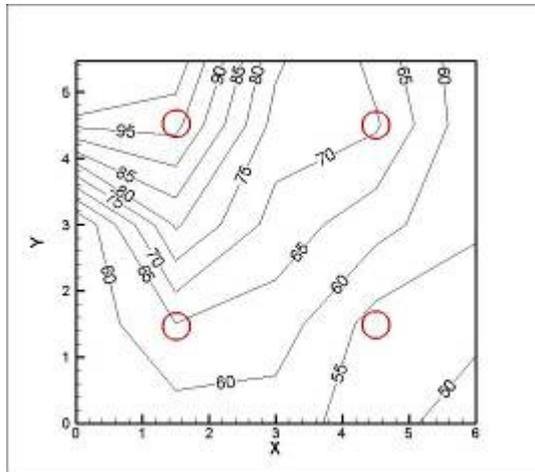
探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討



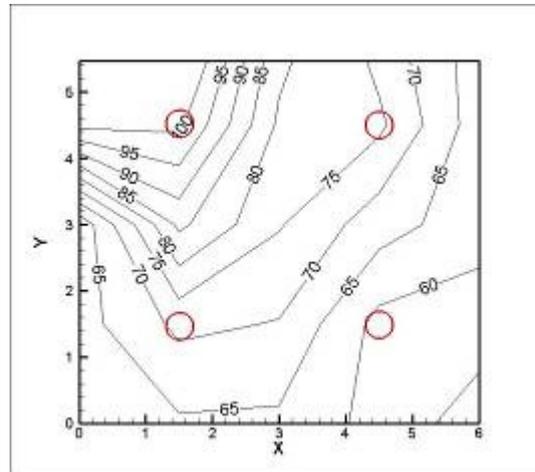
t=300s



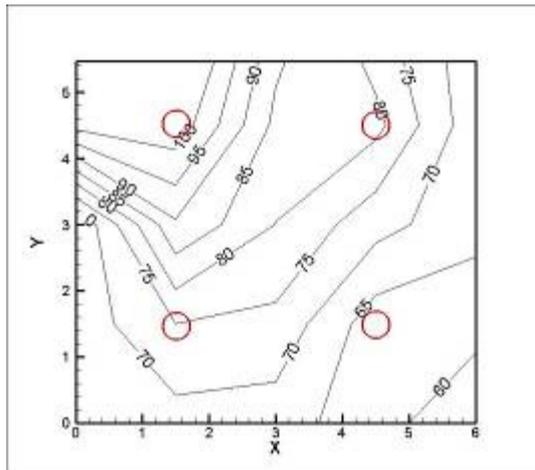
t=360s



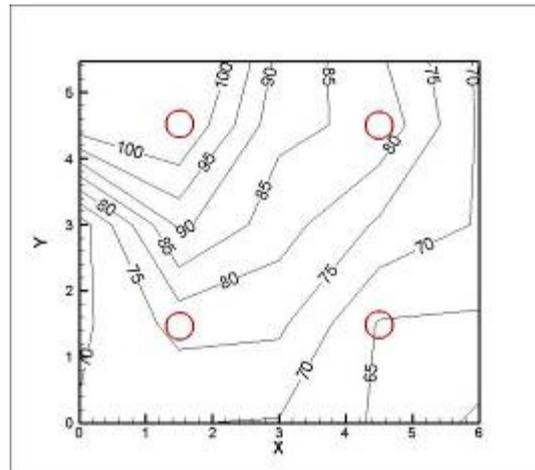
t=420s



t=480s



t=540s



t=600s

圖 35 火源在角落之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖

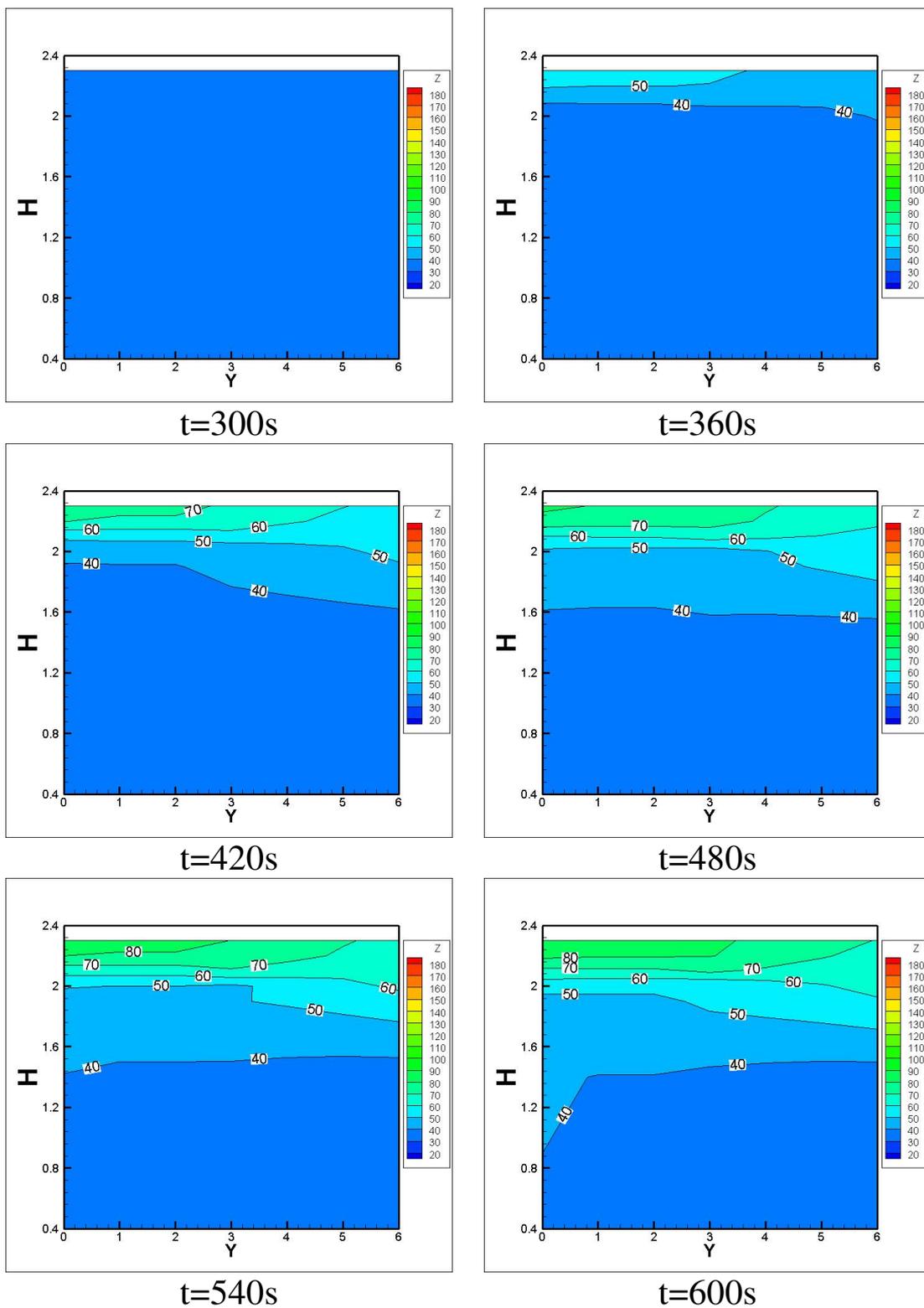


圖 36 火源在角落之空屋環境 X=3m 等溫線圖

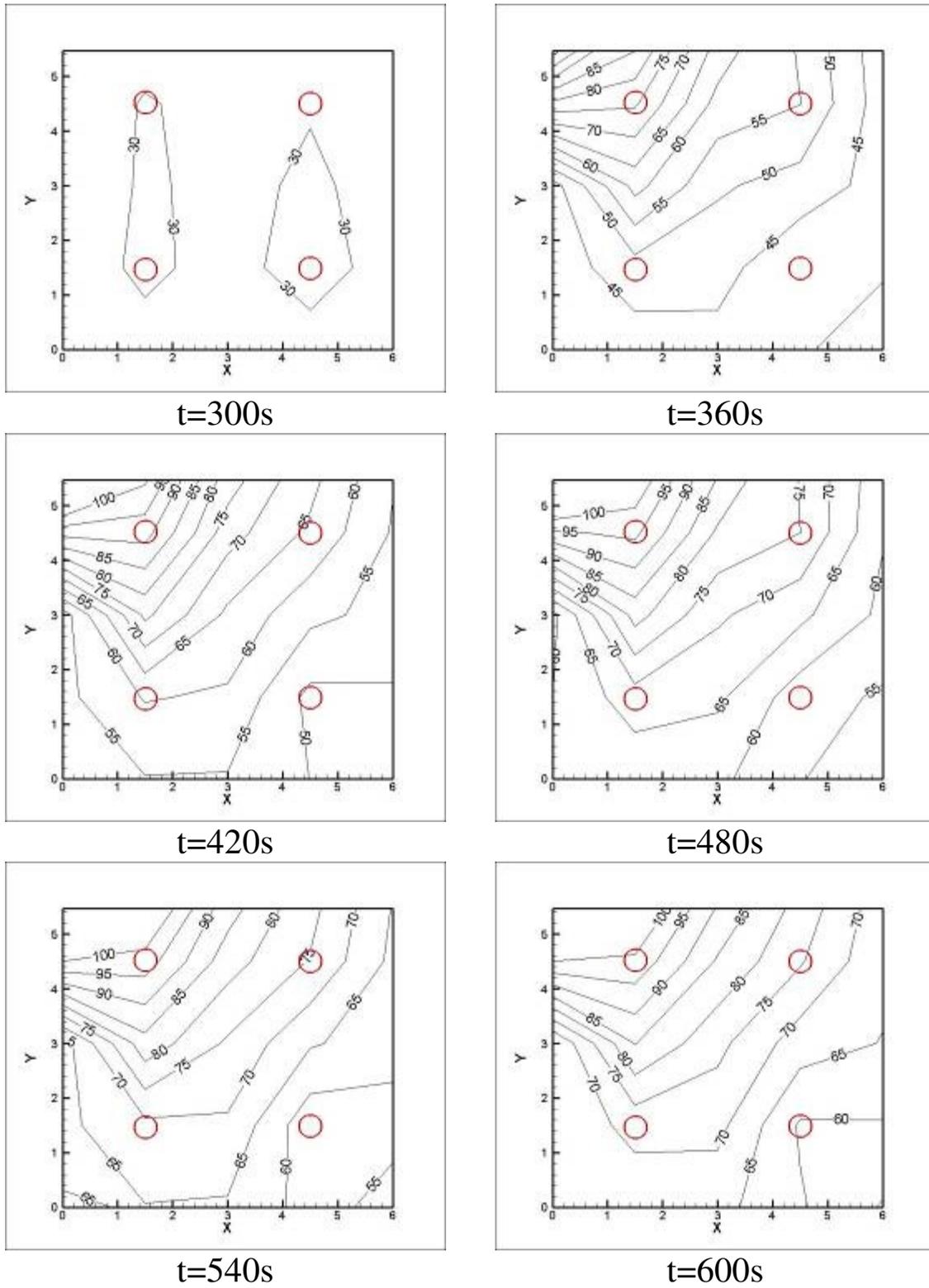


圖 37 火源在角落之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖

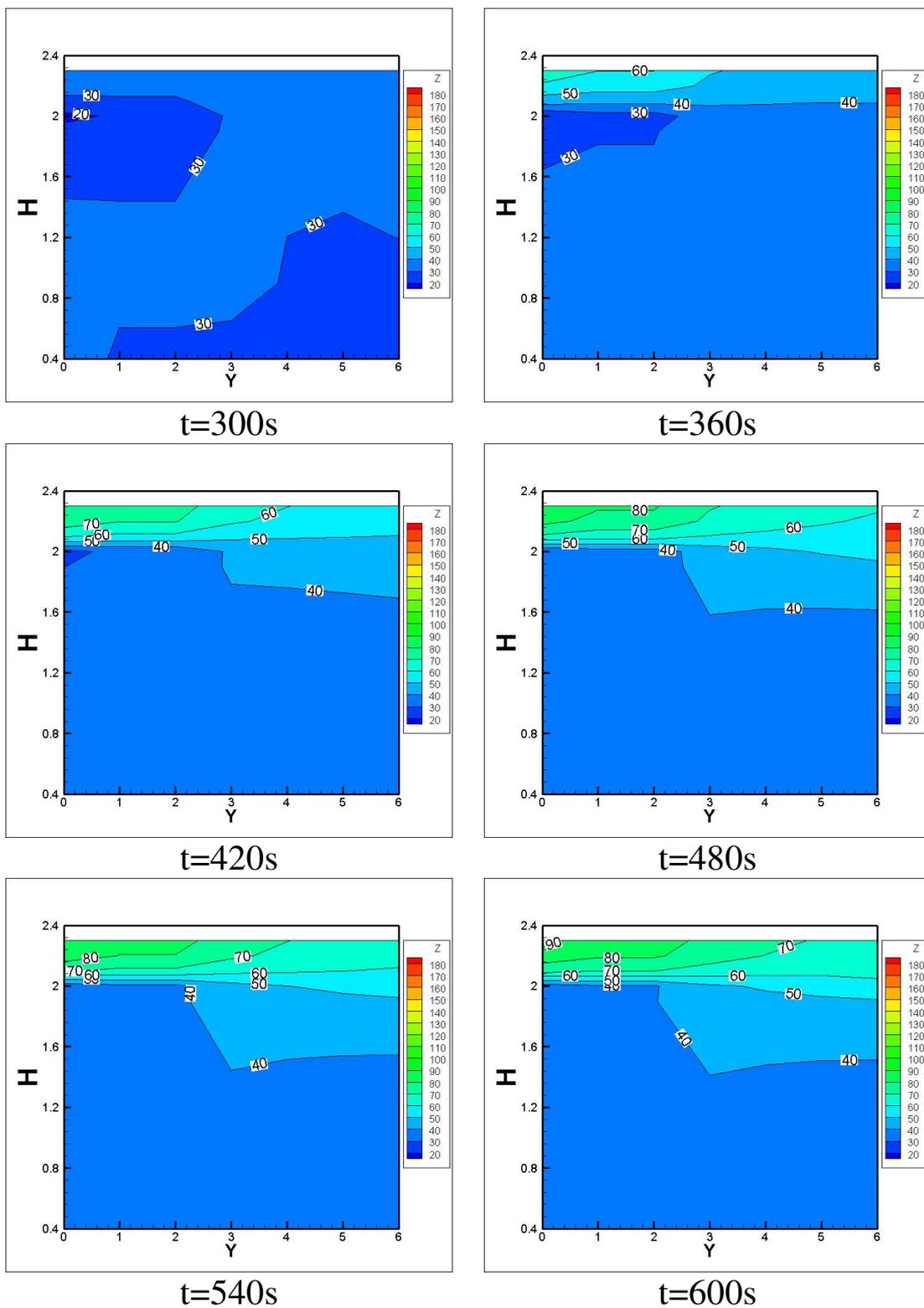


圖 38 火源在角落之冷氣平吹 X=3m 等溫線圖

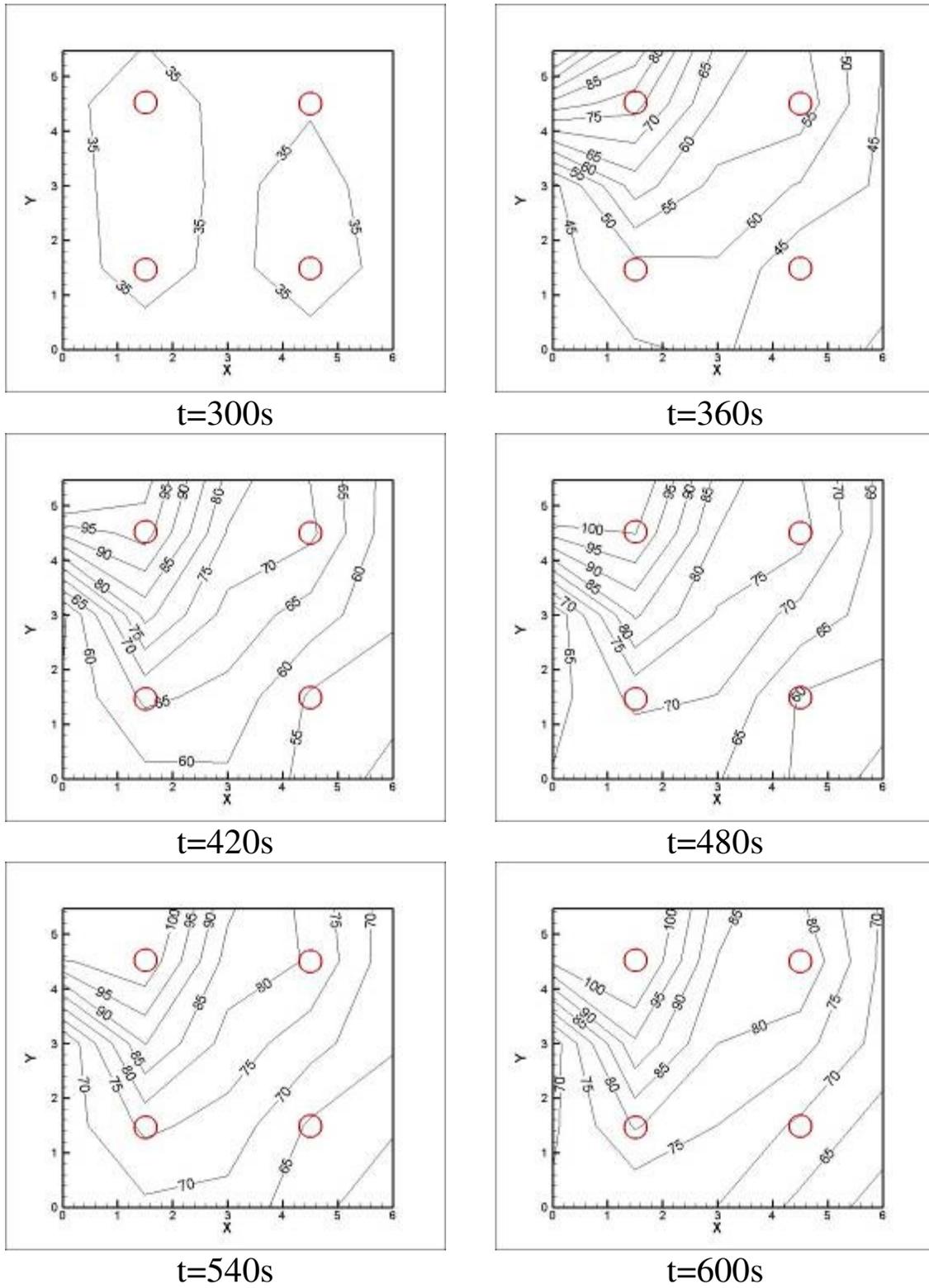


圖 39 火源在角落之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖

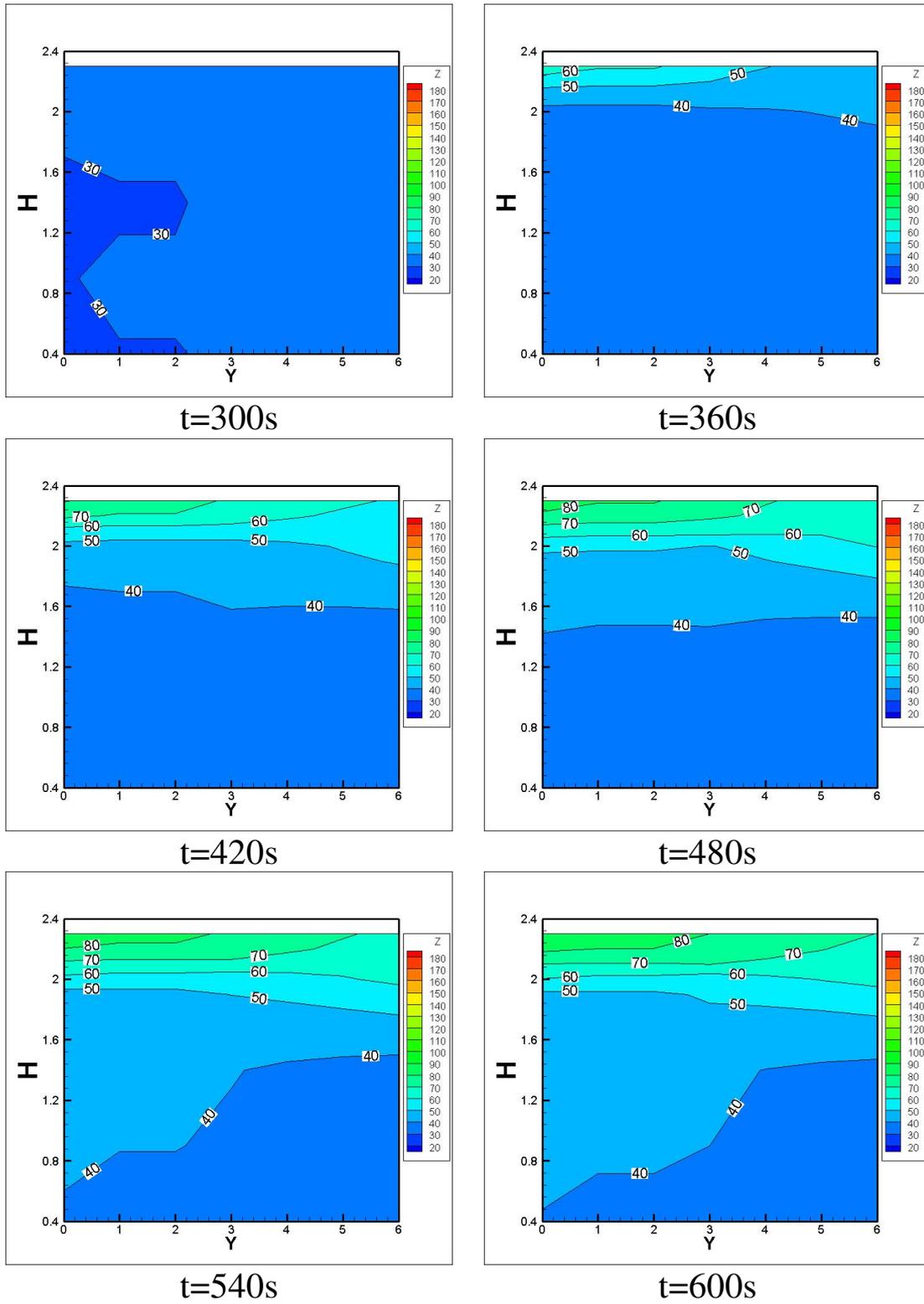


圖 40 火源在角落之冷氣下吹 X=3m 等溫線圖

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

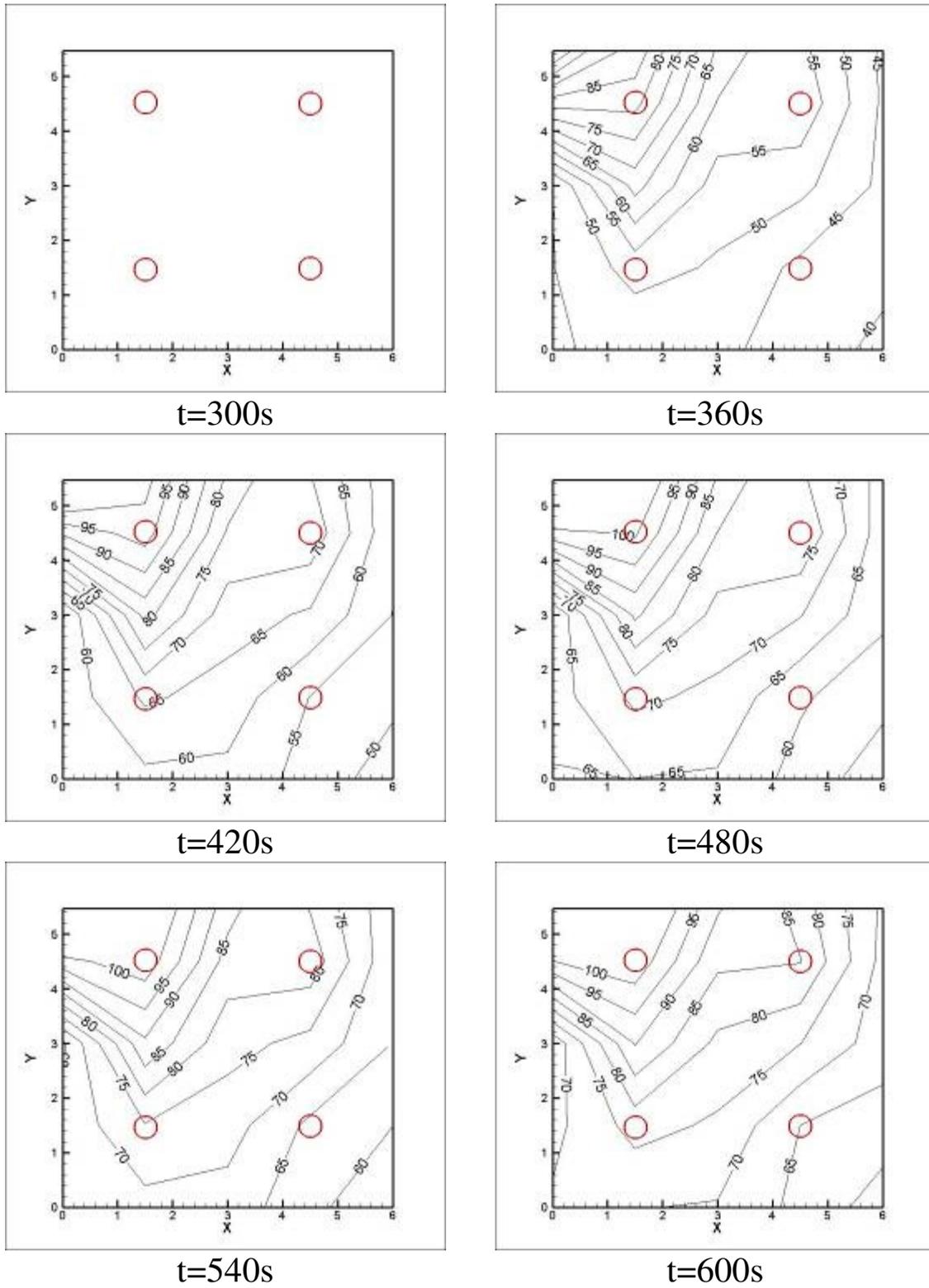


圖 41 火源在角落之冷氣自動 H=2.3m 等溫線圖

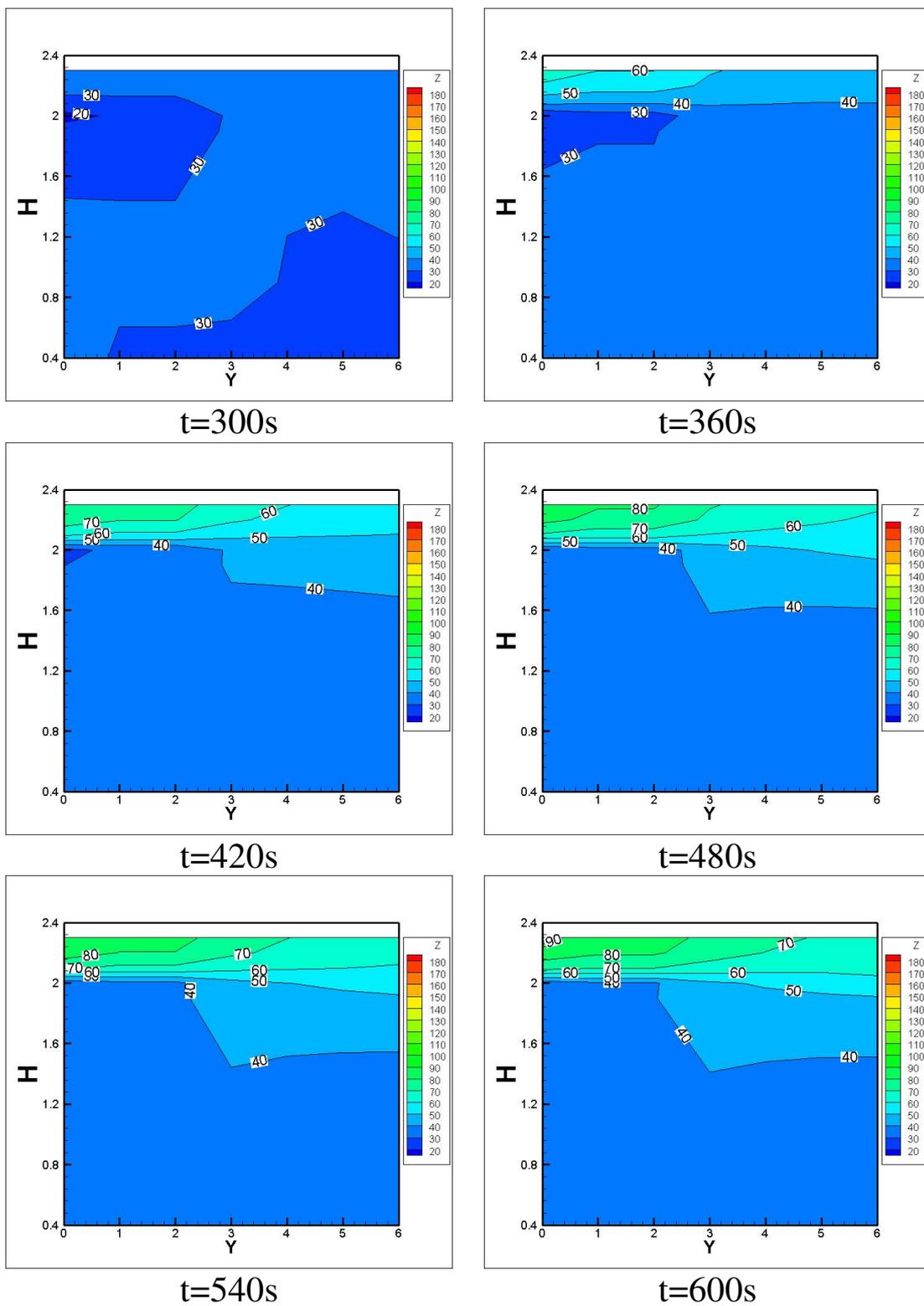


圖 42 火源在角落之冷氣自動 X=3m 等溫線圖

## 第二節火源於西方牆角實驗

本類型實驗與角落實驗一樣歷時約 600 秒，前 300 秒冷氣開啟使房間流場達到穩定，300 秒開始點火並開始計時，時間達到 600 秒熄火，一旦實驗結束探測點還未達到作動溫度則判定該點無法作動，詳細火災觀測如圖 43~圖 49 所示，因為火源在冷氣正下方，吾人擔心冷氣被燒壞，故冷氣平吹的實驗數據只取到 540 秒即停止實驗。

### (一) 空屋環境

經過火源在角落一系列的實驗之後，吾人改變了火源位置於西方牆角，所謂的冷氣正下方，根據前一系列的實驗，探測點的作動時間與距離成正比，結果如我們所預料， $S_1$  與  $S_4$  在點燃後 70 秒左右即達到作動條件，而距離較遠的  $S_2$  和  $S_3$  需要點火後 200~220 秒才作動。

### (二) 冷氣平吹

開啟冷氣調整出風口維持平吹狀態，觀察冷空氣的進入是否會延遲探測點的作動。結果距離冷氣出風口較近的  $S_1$  與  $S_4$ ，皆維持點燃後 80 秒左右達到作動條件，延遲約 10 秒鐘， $S_2$  與  $S_3$  就有比較明顯的延遲現象，兩點到了點燃後 250 秒才作動，延遲了約 30 秒之多。

### (三) 冷氣下吹

改變冷氣出風口方向為下吹式出風口，根據前一系列的實驗顯示，下吹式出風口除了改變房間內流場的流動外，更有可能造成熱空氣的加速上升反而提前達到作動條件。實驗結果跟冷氣平吹時數據相當接近， $S_1$  與  $S_4$  幾乎維持不變在點火後 80 秒左右作動， $S_2$  與  $S_3$  延遲到點火後 250 秒達到作動條件。

#### (四) 冷氣風向自動

調整冷氣風向為自動，讓葉片自動上下擺動，觀察火源在冷氣正下方時，風向自動是否會影響探測點的延遲作動，與風向平吹、風向下吹的數據是否雷同。實驗結果  $S_1$  與  $S_4$  距離出風口較近，作動時間與風向平吹、下吹幾乎一樣皆為點火後 80 秒， $S_2$  與  $S_3$  較有明顯的變化，時間達點燃後 260~270 秒才作動，比平吹出風口、下吹出風口延遲約 10 秒鐘，因為自動風向包含下吹與平吹風向，整體來說房間中流場變化會更劇烈，也讓我們無法較準確的預測作動時間。最後，比較其剖面溫度圖，4 種情形都長得相當類似，雖然冷氣出風造成作動時間的延遲，但在 100KW 的火源條件下，冷氣出風口的出風還是太小，這也印證了吾人於 FDS 模擬的模擬結果。

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

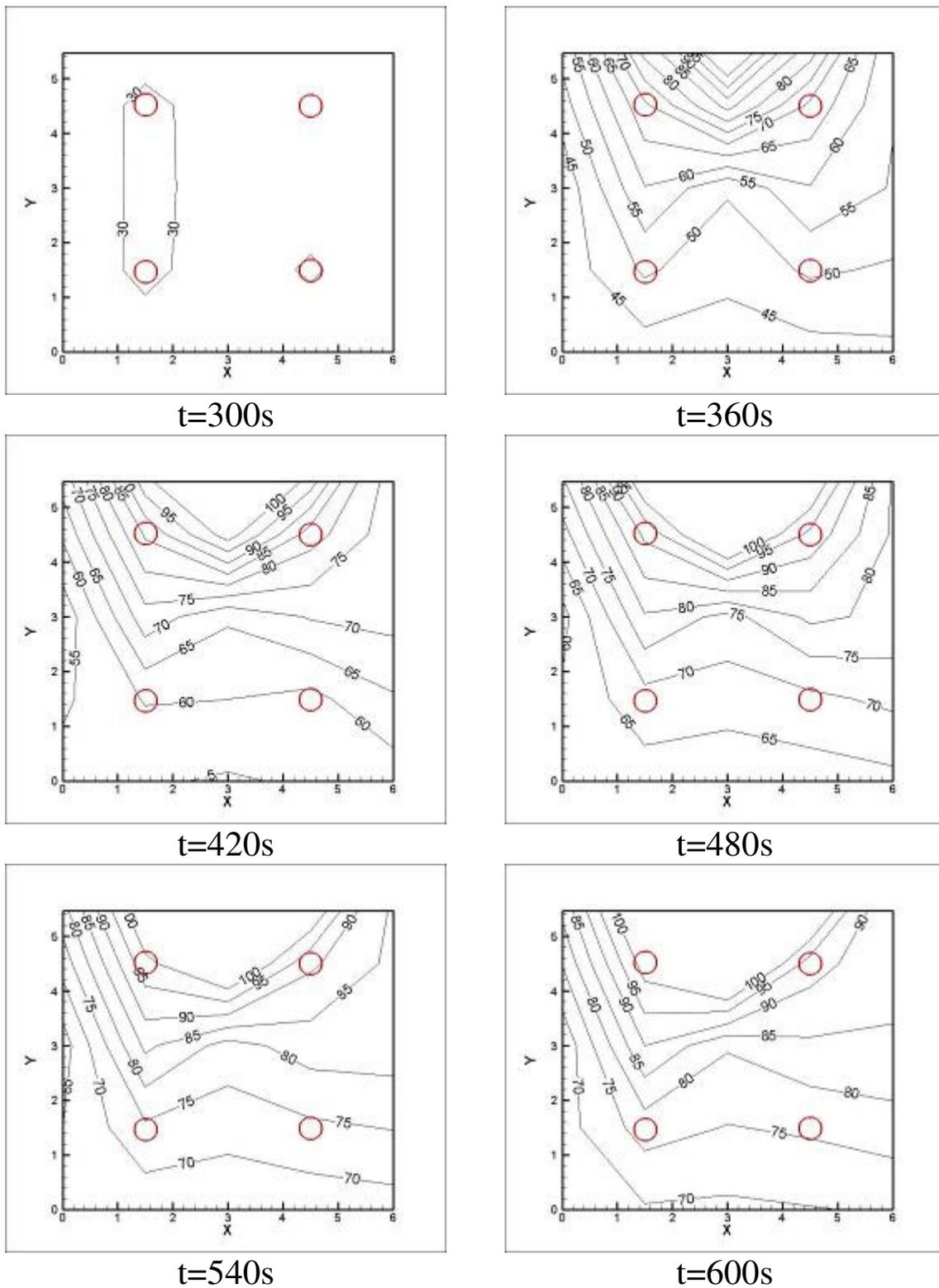


圖 43 火源在西方牆角之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖

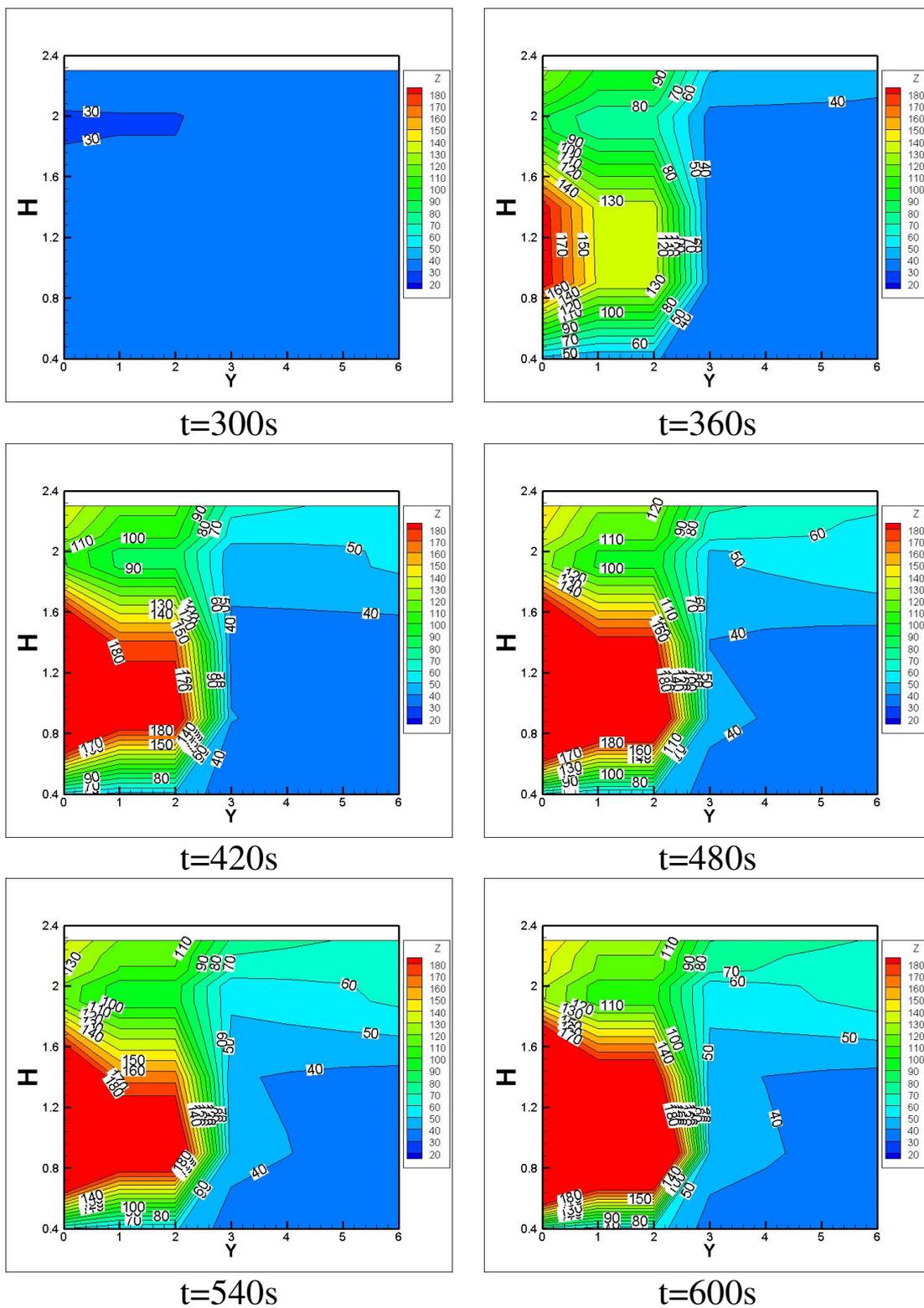
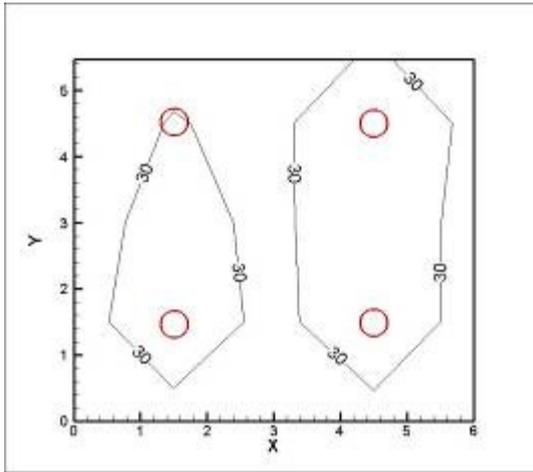
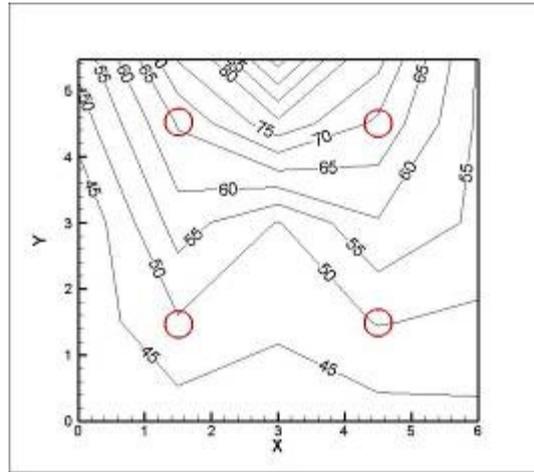


圖 44 火源在西方牆角之空屋環境 X=3m 等溫線圖

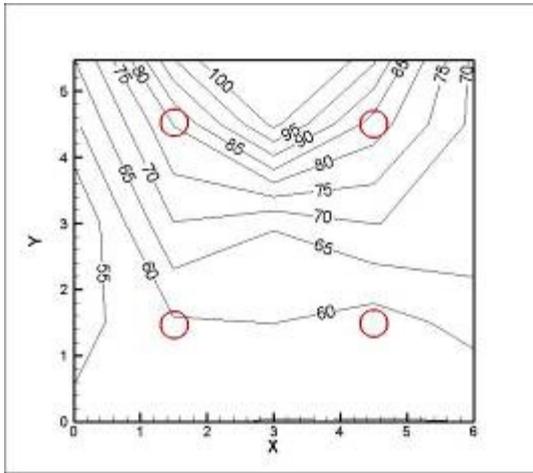
探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討



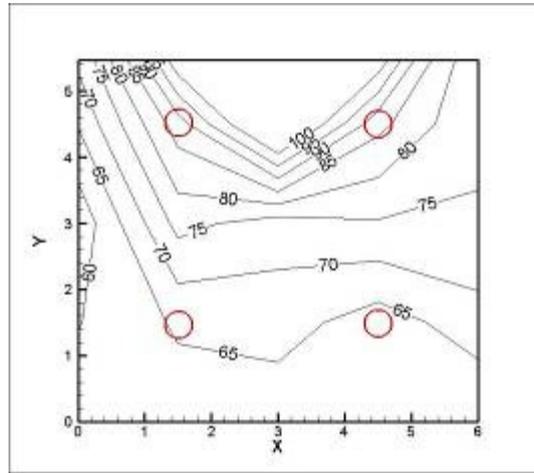
t=300s



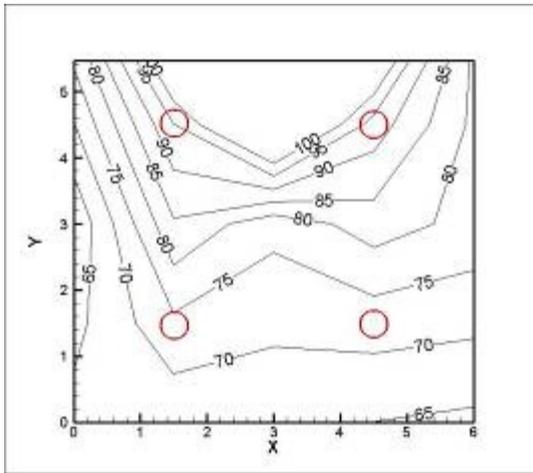
t=360s



t=420s



t=480s



t=540s

圖 45 火源在西方牆角之冷氣平吹 H=2.3m 等溫線圖

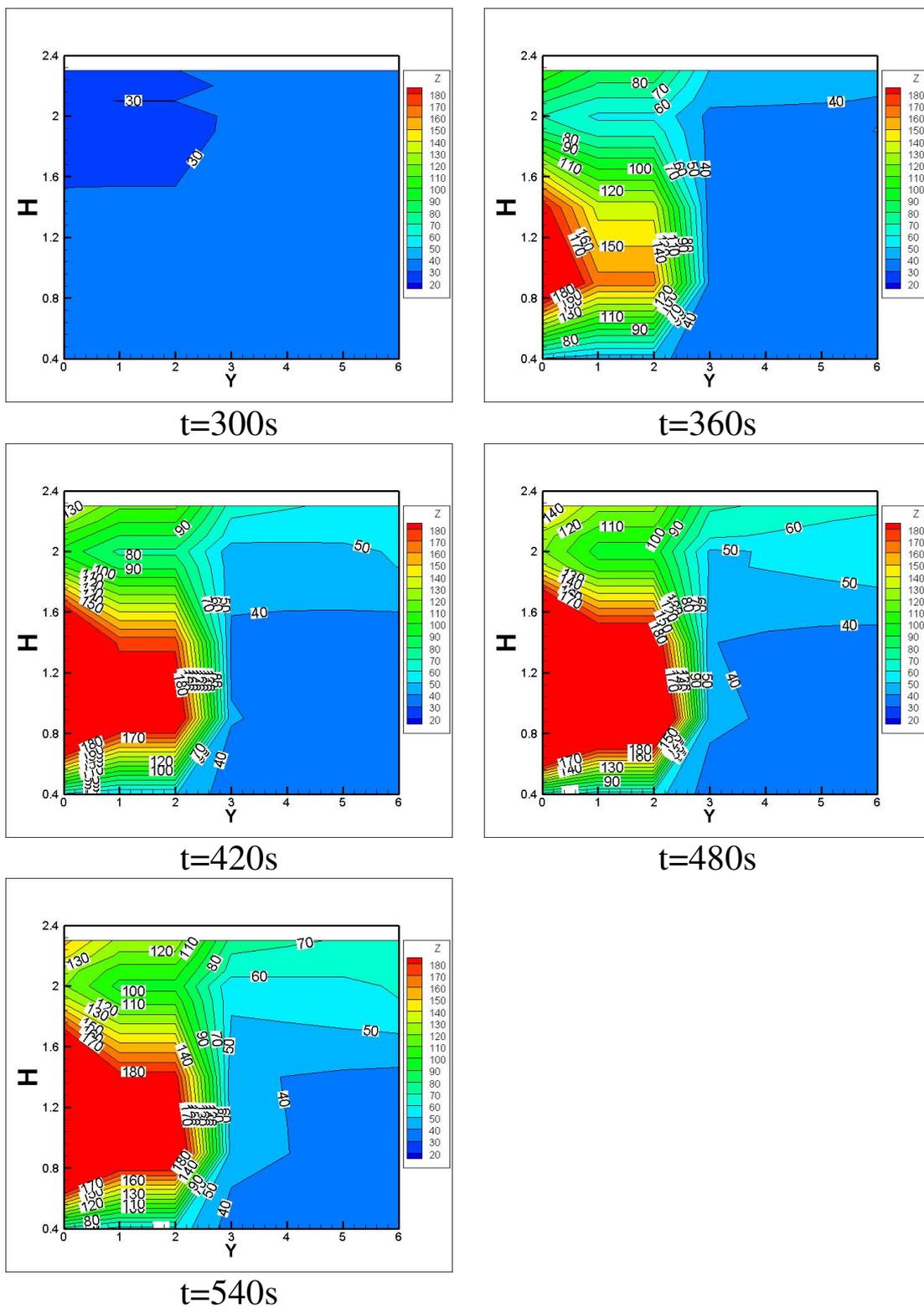


圖 46 火源在西方牆角之冷氣平吹 X=3m 等溫線圖

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

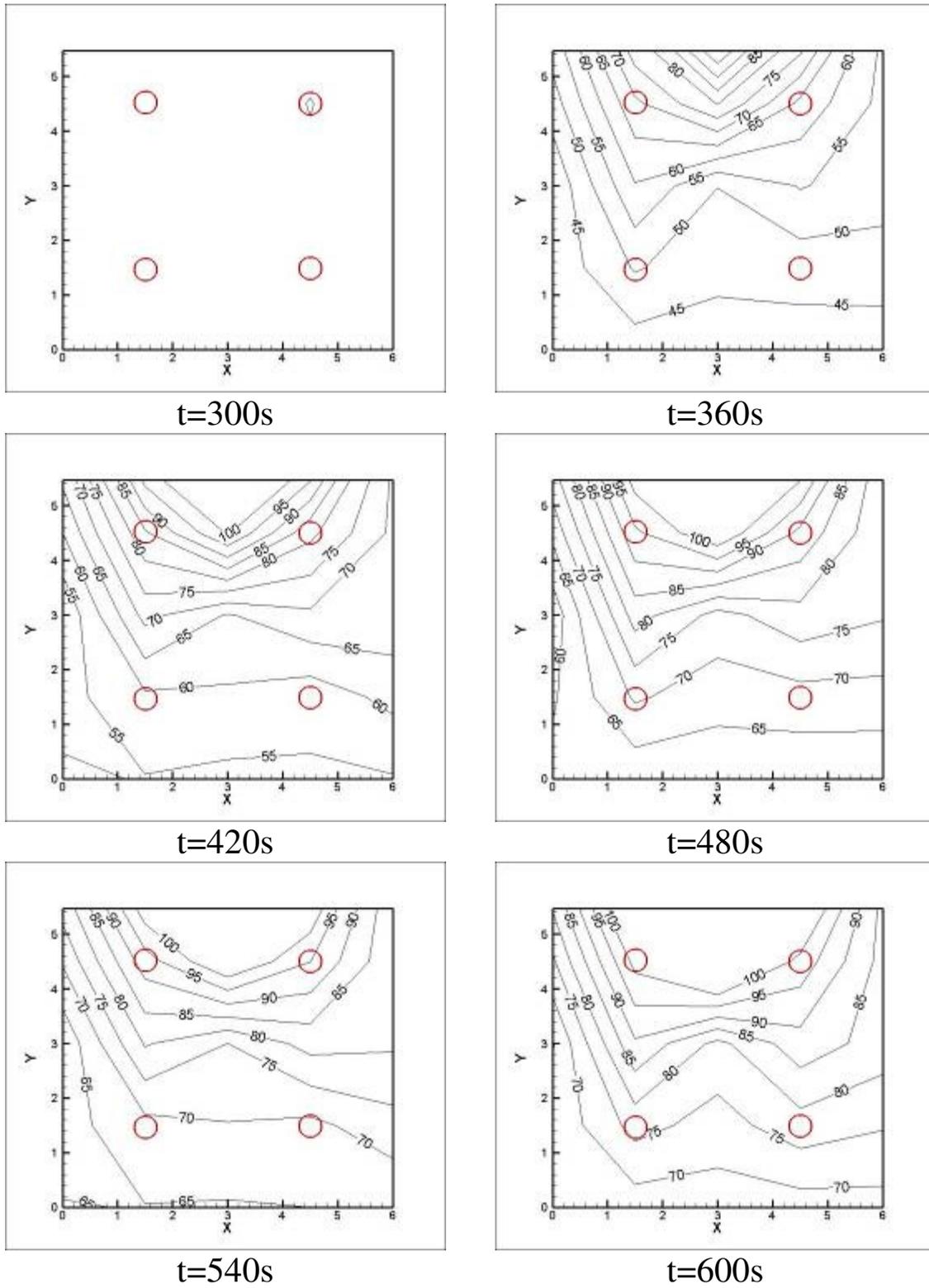


圖 47 火源在西方牆角之冷氣下吹 H=2.3m 等溫線圖

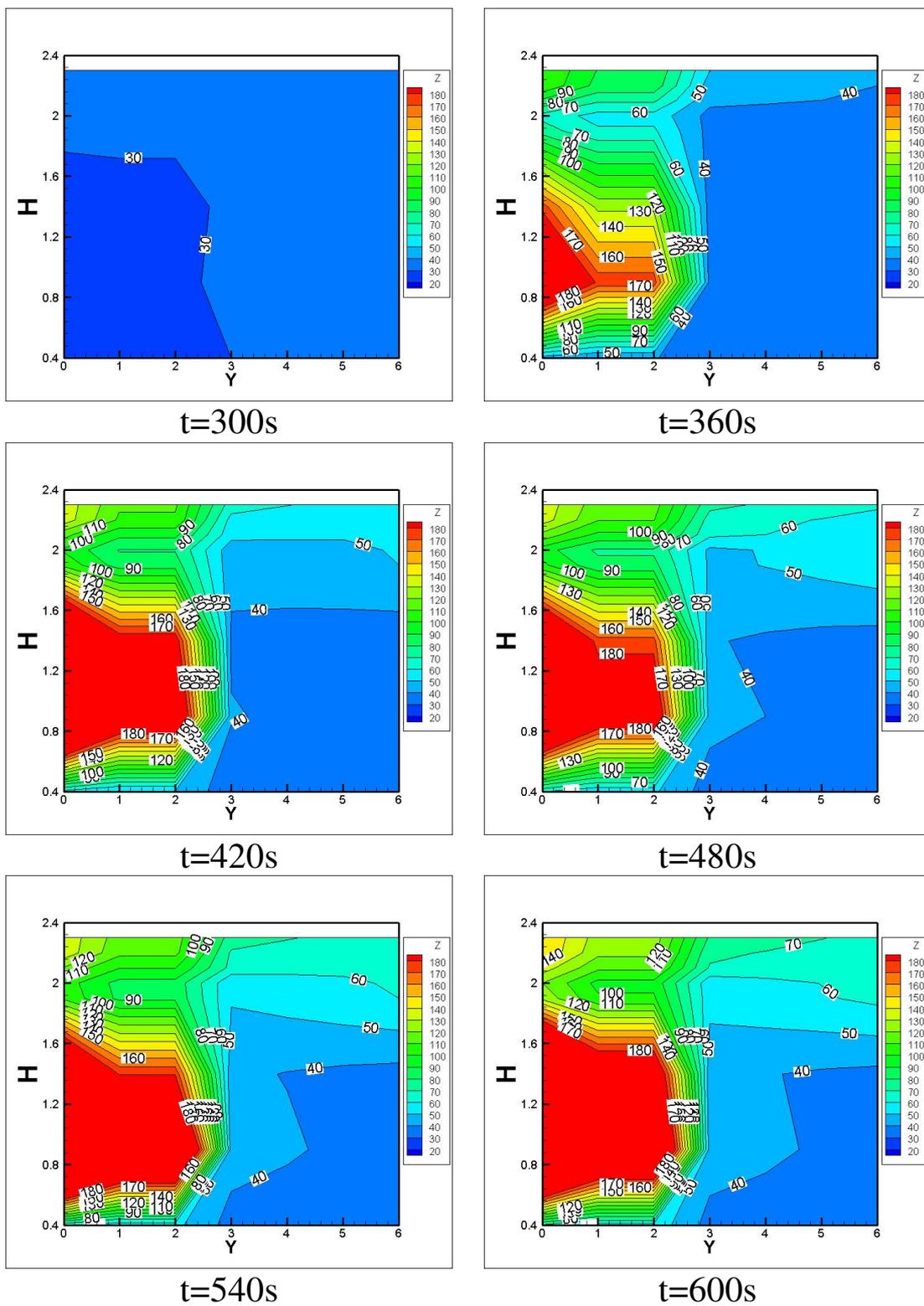


圖 48 火源在西方牆角之冷氣下吹 X=3m 等溫線圖

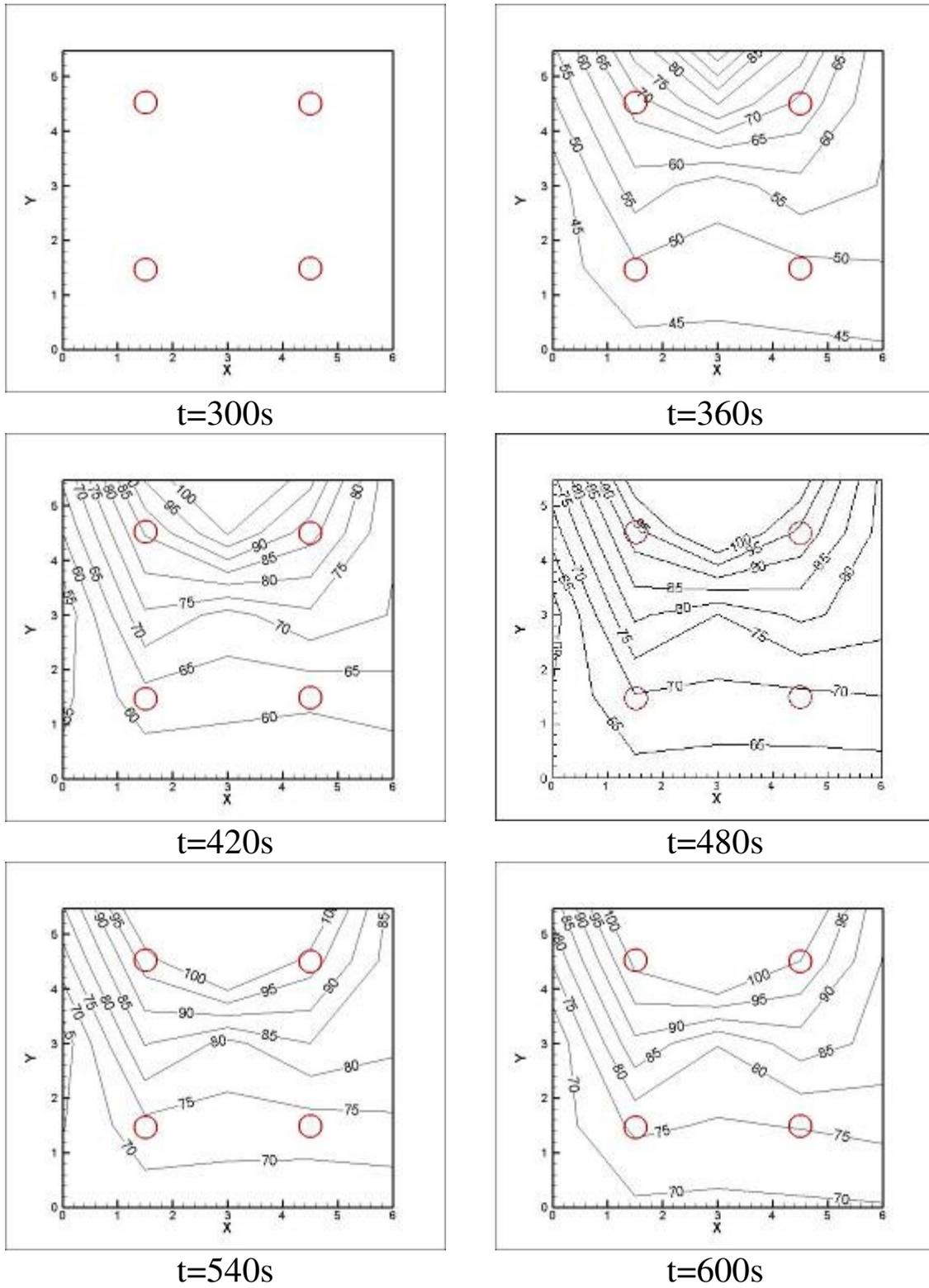


圖 49 火源在西方牆角之冷氣自動 H=2.3m 等溫線圖

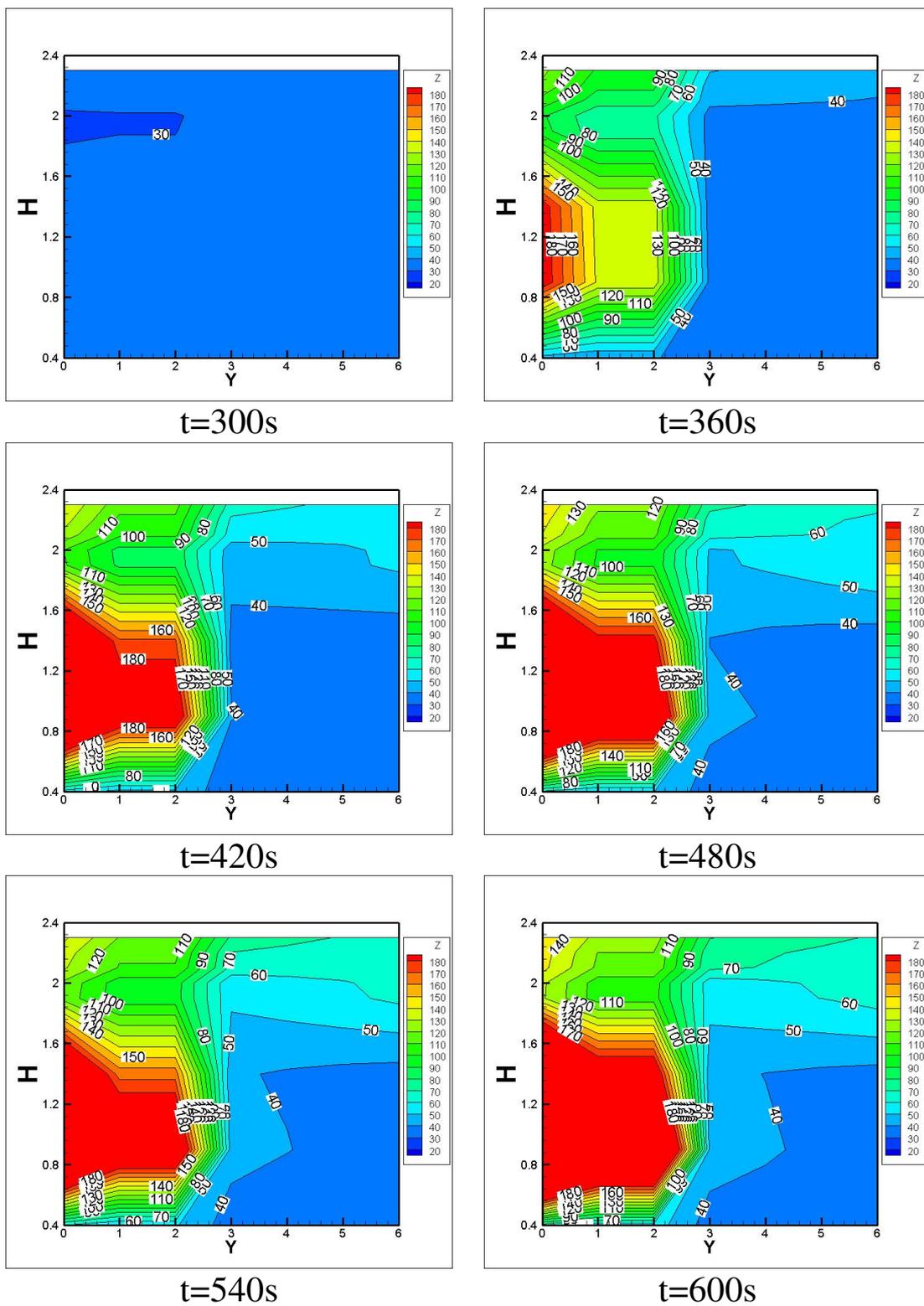


圖 50 火源在西方牆角之冷氣自動 X=3m 等溫線圖

### 第三節火源於南方牆角實驗

本類型實驗將火源移到南方牆角，因為遠離冷氣出風口的直吹以及遠離角落效應造成的熱堆積現象，實驗結果勢必跟之前的數據不同，藉由本組的火源位置，探討冷空氣流動與角落效應交互作用下，探測點的延遲情形。實驗與角落實驗一樣歷時約 600 秒，前 300 秒冷氣開啟使房間流場達到穩定，300 秒開始點火並開始計時，時間達到 600 秒熄火，一旦實驗結束探測點還未達到作動溫度則判定該點無法作動，詳細火災觀測如圖 51~圖 58。

#### (一) 空屋環境

跟前幾組實驗一樣，在冷氣不開的情況裡，觀察火源位置的改變對於探測時間的影響，結果靠近火源的  $S_3$  與  $S_4$  約點火後 80~100 秒作動，距離較遠的  $S_2$  到 540 秒才達到作動條件， $S_1$  甚至在 5 分鐘的火災現場裡還未達到  $74^{\circ}\text{C}$  而無法作動。由圖 51 發現，因為房間東方有兩處開口，使得熱空氣會往東方移動，使得  $S_2$  達到作動條件，而  $S_1$  遲遲無法作動，而圖 52 的結果也顯示，因為火源在南方，故剖面溫度圖的發展跟角落情況相當類似。

#### (二) 冷氣平吹

吾人開啟冷氣，探討此火源位置在冷空氣平吹下的影響，結果所有探測點皆因為冷空氣的進入，造成明顯的延遲現象。 $S_3$  與  $S_4$  延遲至點燃後 140 秒與 110 秒，最少都有 30 秒的作動延後現象；除了空屋就已經無法作動的  $S_1$ 、 $S_2$  也因為冷氣平吹的關係，在 600 秒的時間內依然達不到作動條件，觀察平面溫度圖時，更可發現個時程的平面溫度皆比空屋時低上許多。主要是因為熱空氣擴散至房間中央時會被冷空氣往東方吹散，

加速熱空氣往東方出口的機會，進而造成靠北方的兩個探測點無法作動。

### (三) 冷氣下吹

更改冷氣出風方向為下吹，由前幾次的實驗結果得知，下吹的環境中有可能會加速熱空氣的上升，也有可能依然造成探測點的延遲作動。本次實驗結果  $S_1$  與  $S_2$  結果與平吹時一樣，到實驗結束前依然達不到作動溫度，不同的地方是  $S_3$  與  $S_4$  的作動時間為點火後 120 秒與 100 秒，比空屋環境延遲了約 20 秒，但相較於冷氣平吹的環境，提前了 10 秒至 20 秒之久。根據這幾次的實驗下來，可得到一個小結論，冷風進入室內不一定會造成探測點延後，有時甚至會加速探測器的作動。

### (四) 冷氣風向自動

最後，吾人改變出風方向為自動，比較各組實驗間的差異性。結果在空屋環境就無法作動的  $S_1$ ，依舊達不到作動條件，但加入冷氣出風而無法作動的  $S_2$ ，在此環境下作動於點火後 300 秒整，而  $S_3$  與  $S_4$  靠近火源的兩探測點，結果與風向下吹一樣，分別於點火後 120 秒與 90 秒時達到作動溫度。整體來說，火源在南方牆角的環境下，風向自動的結果與風向下吹的結果較為相向。

而比較這 4 種情況的剖面溫度圖，會發現其結果與角落情況相當類似，因為冷空氣吹入房間內，且吾人探測時間只有 5 分鐘，又冷氣出風口位置又剛好低於探測器的高度，故一旦火源不在其  $X=3m$ ，其結果皆會非常雷同。

探測器與撒水頭作動與設置位置關係之探討

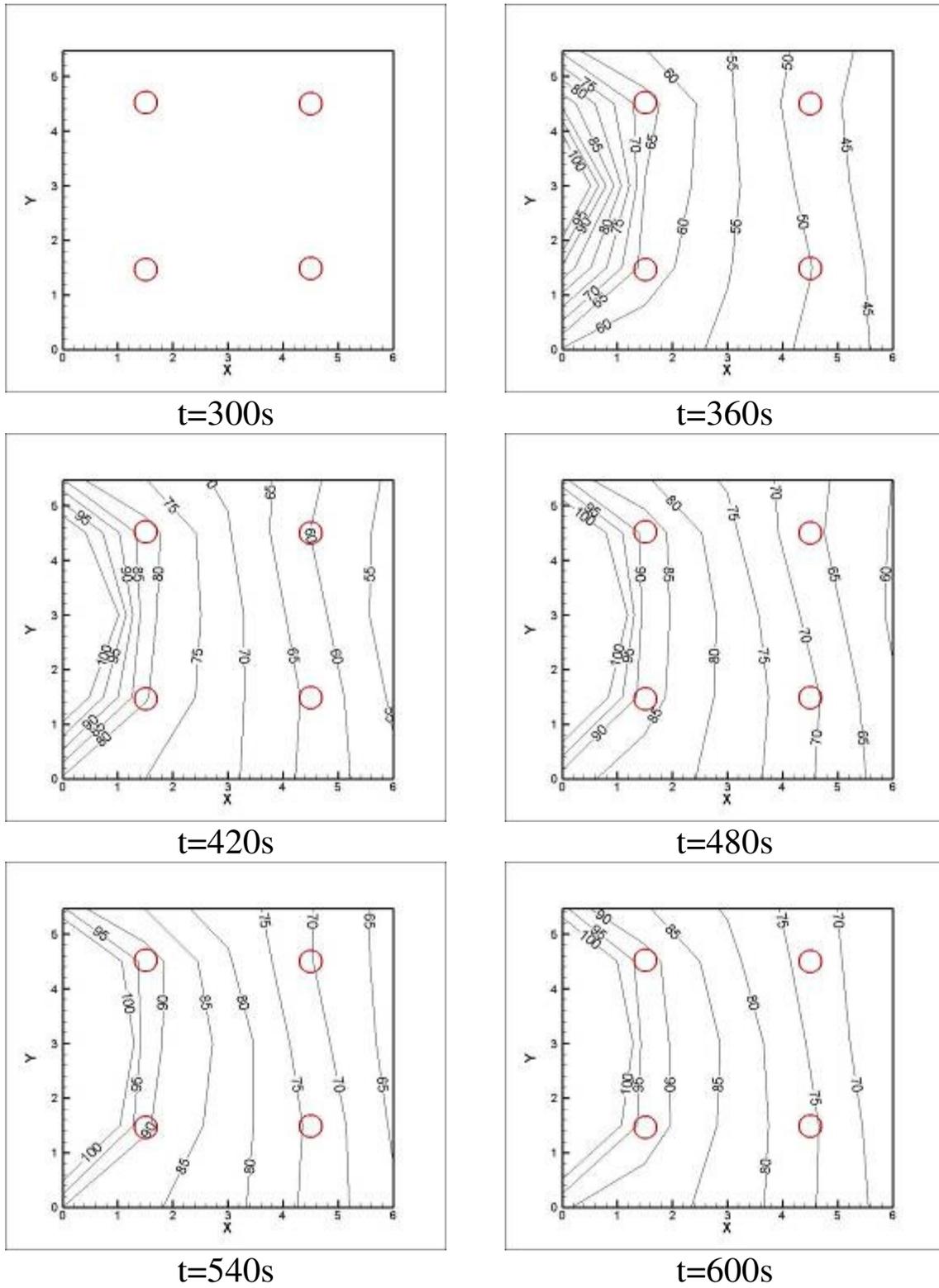
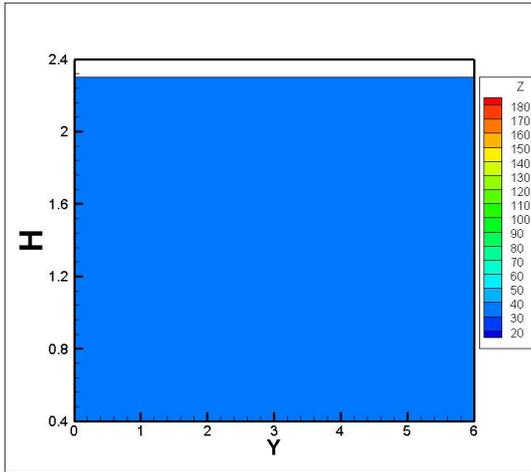
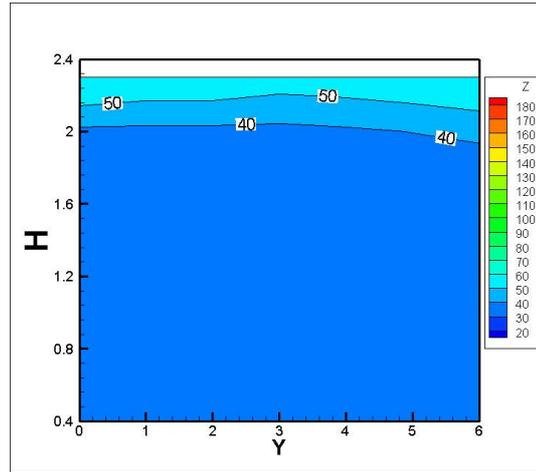


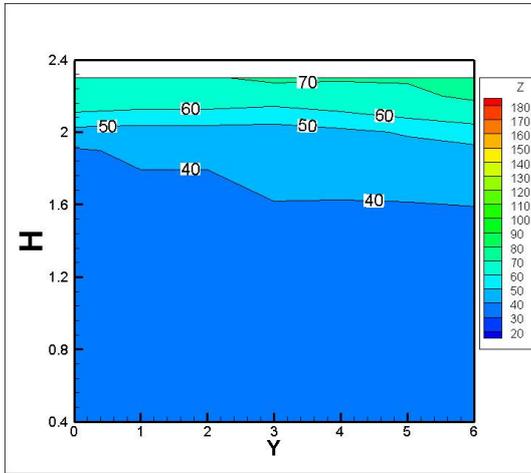
圖 51 火源在南方牆角之空屋環境 H=2.3m 等溫線圖



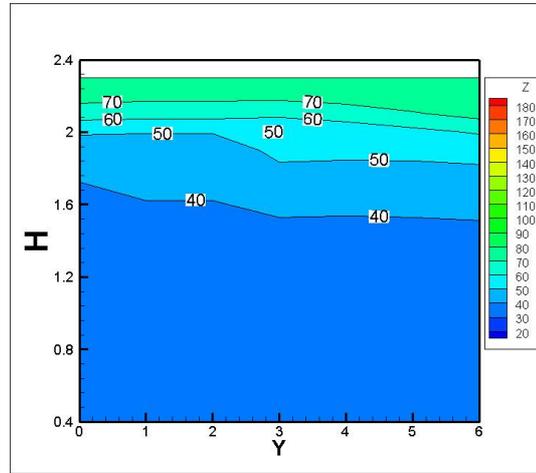
$t=300s$



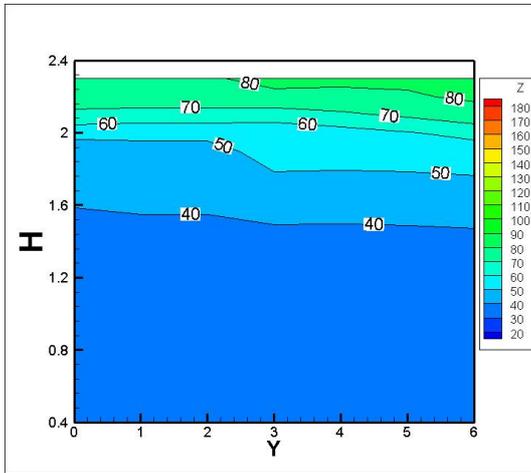
$t=360s$



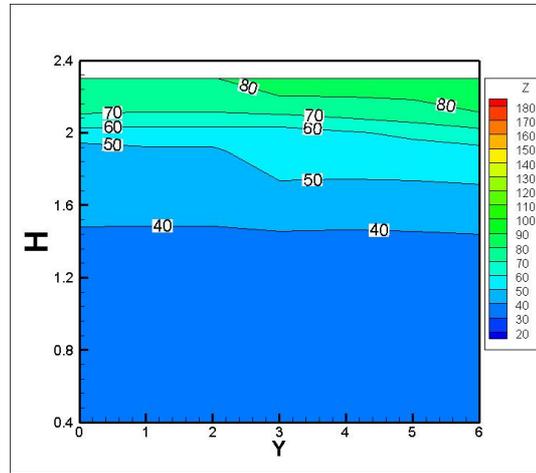
$t=420s$



$t=480s$



$t=540s$



ERROR: undefined  
OFFENDING COMMAND: '~

STACK: