

摘要

關鍵詞：機械排煙、性能式煙控系統、全尺度實驗

一、研究緣起

近年來，台灣地區陸續完工啟用許多大型公共建築物，為講求讓使用者有明亮、舒適的感覺，常於中設計具備中庭或挑高大空間建築。而於這類地方，又常是人群眾多聚集之地，故其火災緊急時之煙控性能要求非常重要。

目前我國現行消防法規中，有關煙控系統部分，見於「各類場所消防安全設備設置標準」第 188 條中有相關規定。於條文中規定防煙區劃面積大小、防煙壁下垂之深度、排煙口位置與排煙量大小等等設計，此為典型條例式 (Prescriptive Code) 法規之規定。

然而，對於具備大空間之挑高建築而言，條例式煙控系統設計並不能完全重現發生火災時之煙流動狀況，導致所選取之排煙量無法滿足實際需求。因此，有必要進行性能式之自然煙控系統設計，以便於發生火災時，提供一條無煙之逃生路徑，確實保障人身安全。

二、研究方法及過程

本計畫之主旨為藉由全尺度實驗來進行條例式設計與性能式設計之性能比對分析。以內政部建築研究所台南防火實驗室之 30 米高大空間試驗場進行 3 MW、4 MW、及 5 MW 等不同火災規模之油盤火災實驗。並藉由調整不同之排煙量，來判定其煙沈積之下降速度，進而評估其排煙性能。

有關本研究之煙層判定方法有二：一為透過燈泡束，以肉眼或攝影機觀察煙層高度，其二為藉由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收

集的火場溫度數據，進行煙層判定。

於第一種煙層判定方法，為透過燈泡束受到火場濃煙之遮蔽，藉由人工目視記錄與攝影機錄影，以判斷當時之煙層高度。在第二種煙層判定方面，本案採取 NFPA 92B 之 N 百分比法則（N-percentage Rule）來判斷煙層的高度。

三、重要發現

實驗結果顯示，依據條例式法規進行設計之排煙系統於火災規模 3 MW 以下，性能已達應用極限。於火災規模持續成長，例如達 4 MW 或 5 MW 以上時，依據條例式法規設計之煙控性能明顯劣於依據性能式設計者。進一步改變性能式設計之排煙量，由 6 ACH 及 8 ACH 結果顯示，煙控性能獲得更顯著之提昇。此點亦充分印證了 NFPA Life Safety Code 中，有關大空間煙控系統設計之相關規範。

我國現行消防法規中，對於排煙量之相關規定，適用於一般挑高 3 米至 5 米的居室型建築應用。對於具備數十米以上的挑高中庭大空間建築而言，由於所導引之旺盛氣流所形成之發煙量已遠來於依底部樓地板面積所估算之法定排煙量。

四、主要建議事項

經由本計畫之執行可提供我國大空間建築機械煙控設計之重要性能印證。同時，對於現行條例式設計之適用範圍及其套用於大空間建築時，所可能產生之誤差程度，提出實驗數據加以佐證，以供設計者於實際防火工程應用上之參考。

目 錄

第一章 緒 論

第一節 緣起與目的	1
第二節 研究方法與步驟	4
第三節 預期成果	11

第二章 火災煙控全尺度實驗之規劃

第一節 大空間建築之機械煙控系統設計理念分析	12
第二節 火災煙控全尺度實驗場地之簡介	16
第三節 量測儀器佈置與煙層判定原理	21
第四節 機械煙控系統火災全尺度實驗之進行步驟	25

第三章 條例式機械煙控系統火災全尺度實驗與分析

第一節 排煙風機轉速校正實驗之結果分析	28
第二節 排煙風量為 1 cmm/m ² 之全尺度實驗結果分析	31
第三節 排煙風量為 0.7 cmm/m ² 之全尺度實驗結果分析	37
第四節 條例式機械排煙實驗小結	43

第四章 性能式機械煙控系統火災全尺度實驗與分析

第一節 排煙風量為 6 ACH 之全尺度實驗結果分析	44
第二節 排煙風量為 8 ACH 之全尺度實驗結果分析	50
第三節 性能式機械排煙實驗小結	56

第五章 結論與建議

第一節 火災煙控全尺度實驗結論	57
第二節 建 議	61

參考文獻	63
------------	----

圖目錄

圖 1.2-1	大空間建築機械排煙之設計理念	4
圖 1.2-2	內政部建築研究所台南歸仁防火實驗室外觀	6
圖 1.2-3	熱電耦所組成的儀器樹示意圖	7
圖 1.2-4	實驗場地內部之標尺和標示燈	7
圖 1.2-5	本研究計畫之工作流程圖	10
圖 2.2-1	防火實驗室之綜合實驗室剖面圖 (1)	16
圖 2.2-2	防火實驗室之綜合實驗室剖面圖 (2)	16
圖 2.2-3	貓道上方之機械排煙系統	17
圖 2.2-4	監控室之排煙口之開啟控制盤	18
圖 2.2-5	監控室之排煙風機轉速控制盤	18
圖 2.2-6	貓道上之小型軸流式風機裝置方式	19
圖 2.2-7	貓道上之小型軸流式風機排煙情形	19
圖 2.2-8	綜合實驗室之西側補氣口關閉情形	20
圖 2.2-9	綜合實驗室之西側補氣口開啟情形	20
圖 2.3-1	本機械煙控系統火災全尺度實驗之熱電耦儀器樹	21
圖 2.3-2	本機械煙控系統火災全尺度實驗之數據存取記錄器	22
圖 2.3-3	本機械煙控系統火災全尺度實驗之燈泡束	22
圖 2.3-4	NFPA 92B 中之煙層示意圖	23
圖 2.3-5	NFPA 92B N 百分比法則中煙層底部與 N 值之關係	24
圖 2.4-1	火災煙控全尺度實驗程序流程圖	27
圖 3.1-1	於排煙口附近量測風速之情形	28
圖 3.2-1	假設火場發生 3 MW 之火災，即使用 15 個火盤之情形	31
圖 3.2-2	火災規模為 3 MW 且排煙量為 1 cmm/m ² 之煙沈積速度圖	32
圖 3.2-3	假設火場發生 4 MW 之火災，即使用 20 個火盤之情形	33
圖 3.2-4	火災規模為 4 MW 且排煙量為 1 cmm/m ² 之煙沈積速度圖	34

圖 3.2-5	假設火場發生 5 MW 之火災，即使用 25 個火盤之情形	35
圖 3.2-6	火災規模為 5 MW 且排煙量為 1 cmm/m ² 之煙沈積速度圖	36
圖 3.3-1	火災規模為 3 MW 且排煙量為 0.7 cmm/m ² 之煙沈積速度圖 ...	37
圖 3.3-2	火災規模為 4 MW 且排煙量為 0.7 cmm/m ² 之煙沈積速度圖 ...	39
圖 3.3-3	火災規模為 5 MW 且排煙量為 0.7 cmm/m ² 之煙沈積速度圖 ...	41
圖 4.1-1	假設火場發生 3 MW 之火災，即使用 15 個火盤之情形	44
圖 4.1-2	火災規模為 3 MW 且排煙風量為 6 ACH 之煙沈積速度圖	45
圖 4.1-3	假設火場發生 4 MW 之火災，即使用 20 個火盤之情形	46
圖 4.1-4	火災規模為 4 MW 且排煙風量為 6 ACH 之煙沈積速度圖	47
圖 4.1-5	假設火場發生 5 MW 之火災，即使用 25 個火盤之情形	48
圖 4.1-6	火災規模為 5 MW 且排煙風量為 6 ACH 之煙沈積速度圖	49
圖 4.2-1	火災規模為 3 MW 且排煙風量為 8 ACH 之煙沈積速度圖	50
圖 4.2-2	火災規模為 4 MW 且排煙風量為 8 ACH 之煙沈積速度圖	52
圖 4.2-3	火災規模為 5 MW 且排煙風量為 8 ACH 之煙沈積速度圖	54

表 目 錄

表 3.1-1 排煙風機轉速與排煙風量之關係	29
------------------------------	----

第一章 緒 論

第一節 緣起與目的

近年來，台灣地區陸續完工啟用許多大型公共建築物，為講求讓使用者有明亮、舒適的感覺，常於中設計具備中庭或挑高大空間建築。而於這類地方，又常是人群眾多聚集之地，故其火災緊急時之煙控性能要求非常重要。

目前我國現行消防法規中，有關煙控系統部分，僅見於「各類場所消防安全設備設置標準」第 188 條中有相關規定。於條文中規定防煙區劃面積大小、防煙壁下垂之深度、排煙口位置與排煙量大小等等設計，此為典型條例式 (Prescriptive Code) 法規之規定。

然而，現行消防法規尚未充分考慮大空間建築物特性。事實上，對於具備挑高中庭之大空間建築，相關之煙控性能式設計方法亦尚乏系統化之規範與驗證，如煙層底部高度計算、每小時換氣率、不同狀況相對應之排煙量設計等等。本研究經由系統化之全尺度實驗對大空間建築之煙控系統加以印證，以界定目前我國於這方面法規之適用範圍，並且提升我國有關大空間建築之煙控系統性能設計能力，此即為本計畫主旨與目標所在。

目前我國大空間建築之機械煙控系統，依「各類場所消防設備設置標準」188 條規定，其機械排煙量在一防煙區劃時，在該防煙區劃面積每平方公尺每分鐘一立方公尺以上，在二區以上之防煙區劃時，在最大防煙區劃面積每平方公尺每分鐘二立方公尺以上。

然而，對於具備大空間之挑高建築而言，條例式煙控系統設計並未充分考量因中庭大量挑高所導致之旺盛氣流，導致煙柱 (Smoke Plume) 與發煙量 (Smoke Production Rate) 大幅增加之現象。由於上述條例式規範，應用於一般建築物之居室時，其與性能式設計所採用之

發煙量差異尚不明顯，因此以之直接套用，尚不致於發生大的偏差。然而。當中庭高度高達數十米以上，其誤差程度大幅放大，所使用之設計理念亦開始南轅北轍。

條例式設計側重於經由防煙垂壁構築成為每區 500 平方米以內之不同數量之防煙區劃，再藉由機械式或自然式排煙之方式將煙排除，此為典型的區劃排煙 (Zoned Smoke Control) 方式，所依循之理念為傳統的「將煙排除」觀念 (Smoke Removal)。

反之，大空間之性能式煙控系統設計所講求的為「控制煙沈積速度」 (Controlled Smoke Descending Rate)，以容許人員充足的避難逃生時間與無煙的避難路徑為前提，充分利用建築物內部之造型形成有效的蓄煙空間 (Smoke Reservoir)，再輔以有效的機械式或自然式排煙，來控制此煙沈積速度。

換言之，性能式煙控系統設計與所設計之建築物具有較良好的特性整合；除此之外，於煙沈積速度過快而人員可能避難不及之情況下，除了單方向的增加排煙系統容量之外，尚可藉由修改建築物本體設計，例如追加蓄煙容量，或增加避難所須之樓梯寬度與數量，如此雙向調整，直到達成目標為止，此為與條例式煙控系統設計上最大不同特性所在。

本計畫之目的為進行大空間建築機械煙控系統之全尺度實驗與驗證。利用內政部建築研究所之台南歸仁防火實驗室，進行大空間建築機械煙控系統之火災煙控全尺度實驗。其實驗內容包括：依據條例式法規設計與性能式設計之大空間建築機械煙控系統性能實驗。其實驗項目則包括：於不同火災規模之煙沈積速度、煙層溫度等煙控性能，與進行系統化之分析。

預期可提供我國大空間建築依據不同設計規範下，選取不同排煙量，於相異之火災規範進行機械煙控系統之全尺度實驗與驗證，實驗

於內政部建築研究所之台南歸仁防火實驗室進行。實驗主要內容為依據條例式法規設計與性能式設計之大空間建築機械煙控系統性能實驗比對分析。其實驗項目則包括：於不同火災規模與不同排煙量下之煙沈積速度、煙層溫度等煙控性能，依據美國 NFPA 92B 之 N 比例法判定，以進行系統化之比對分析。

經由本計畫之執行可提供我國大空間建築機械煙控設計之重要性能印證。同時，對於現行條例式設計之適用範圍及其套用於大空間建築時，所可能產生之誤差程度，提出實驗數據加以佐證，以供設計者於實際防火工程應用上之參考。

第二節 研究方法與步驟

本計畫主要工作內容，首先蒐集國內外有關大空間建築之機械煙控系統設計手法，以提供火災煙控全尺度實驗設計之用。

大空間建築之機械煙控系統設計方式，為於大空間建築之屋頂、或挑高天井頂部形成蓄煙區，並設置機械排煙風機與排煙口。於火災發生時，機械排煙風機與排煙口自動或手動開啟，而將濃煙排出，提供人員一條無煙之避難路徑，如圖 1.2-1 所示。

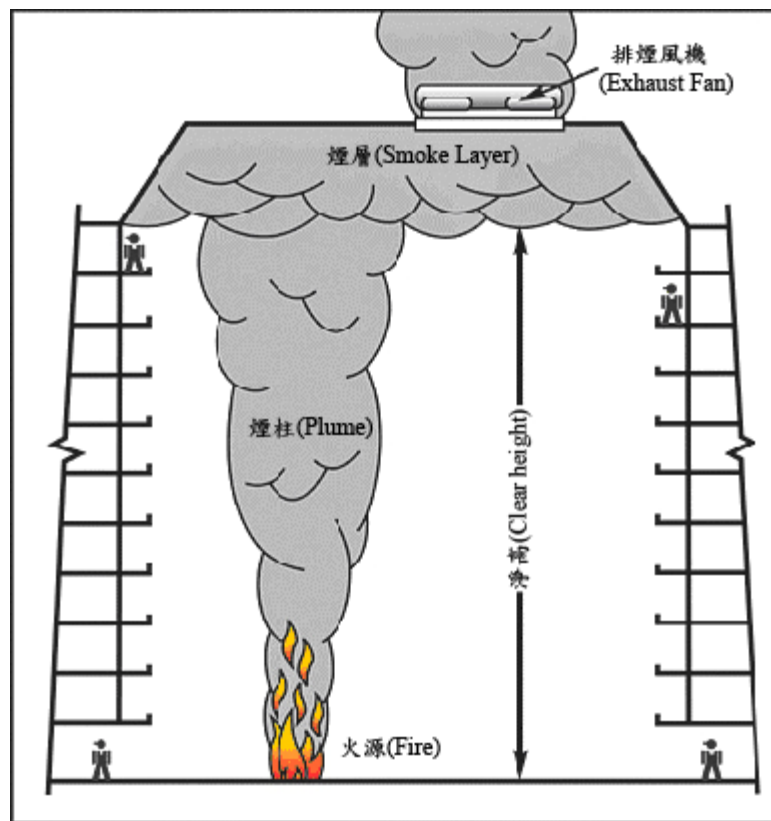


圖 1.2-1 大空間建築機械排煙之設計理念

而於國外先進國家中，以美國及英國之研究最為完整與系統化。其中美國之 NFPA 92B, “Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas.” 法規，分為六個章節，包括：1.通論、2.設計理念分析、3.計算程序分析、4.設備控制、5.運轉測試、與 6.相關資料及附錄。

訂定本規範主要目的為提供大空間內既有或全新之煙控系統有關設計、安裝、測試、運轉與維護等技術導引。以保障火災時，確實於大型空間及其連接處，提供一條無煙的逃生路徑。NFPA 92B 之理論分析、實際運用與實驗應證等三方面兼具，為目前國際間對大空間建築機械煙控系統最具權威性之設計規範之一。

其次，英國 BRE 之 “Design Approaches for smoke Control in atrium Buildings. “，亦對大空間煙控系統做深入研究。本準則共分八章，其針對具中庭建築物之煙控系統設計，從煙流特性、火載量設計、系統設計理念、乃至大空間機械煙控系統之應用，皆有詳細解說與設計程序。為一完整之大空間煙控系統設計準則。

以上為國外先進國家之研究成果，一方面凸顯此種中庭及大空間煙控系統設計規範之重要性外，亦成為本研究之主要參考依據。

因此進行大空間建築性能式之機械煙控系統設計，可充分考慮到其大空間建築之煙流動特性，提升其機械煙控系統性能。本項工作將依實際火災規模之發煙量計算，進行大空間建築性能式機械排煙風量之重新設計。並配合適當補氣口之設置，與火警偵測器連動等緊急運轉策略分析。

全尺度火災煙控實驗方面，則將利用內政部建築研究所之台南歸仁防火實驗室，進行全尺度火災煙控實驗，以重現真實火場中的溫度場與流場，其實驗室外觀示如圖 1.2-2。



圖 1.2-2 內政部建築研究所台南歸仁防火實驗室外觀

將進行實驗項目包括：

1. 大空間建築火場中之溫度分佈量測
2. 大空間建築火場中之煙沈積速度量測
3. 機械排煙連動之緊急運轉策略分析印證

於進行火災煙控全尺度實驗時，首先將觀察並記錄大空間建築內部之煙流動特性，以提供系統設計之參考。其次，則將利用懸掛於實驗場地內熱電耦（Thermocouple）其所組成的儀器樹（Instrument Tree），量測大空間建築火場中之溫度分佈，如圖 1.2-3 所示。

另外，於量測大空間煙層之下降速度方面，所利用之儀器設備與上述量測溫度分佈相類似。亦即，利用儀器樹上之煙層溫度分佈量測結果，加上人工目視記錄與攝影機，配合實驗現場刻畫之量尺與標示燈，於實驗過程中，藉由每個標示燈的明滅，用以判斷當時煙層界面之高度，其設備如圖 1.2-4 所示。



圖 1.2-3 熱電耦所組成的儀器樹示意圖



圖 1.2-4 實驗場地內部之標尺和標示燈

本火災全尺度實驗將分別完成依據條例式與性能式設計之機械煙控系統其性能驗證，並加以比對分析。以期提供日後進行大空間建築機械煙控設計之重要參考依據，並提升我國有關大空間建築機械煙控系統之設計能力。

有關本研究計劃其主要工作內容及進行步驟，如下所述：

1.大空間建築機械煙控系統設計方法分析與資料蒐集

大空間建築之機械煙控系統設計理念為利用大空間建築上方空間進行蓄煙，於火災發生時，減緩煙沈積速度，提供人員一條無煙之避難路徑。此外，亦可搭配適當之防煙區劃設計，以增加蓄煙空間，提供更佳之蓄煙煙控性能。

除前述之蓄煙煙控理念設計外，亦可於大空間建築之屋頂、或挑高天井頂部設置機械排煙風機與排煙口，於火災發生時，由機械排煙風機將濃煙排出，提供人員一條無煙之避難路徑。

本研究將收集相關大空間建築之機械煙控系統設計手法，以提供火災煙控全尺度實驗設計之用。

2.依據條例式法規設計之機械煙控火災全尺度實驗

目前我國之機械煙控系統，主要為依照現行條例式法規「各類場所消防設備設置標準」188條進行設計，其重點規定如下：

- a.每層樓地板面積每五百平方公尺內，以防煙壁區劃。
- b.區劃內任一位置至排煙口之水平距離不得超過三十公尺，排煙口應設於天花板或其下方八十公分範圍內。
- c.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。

本工作項目將於內政部建築研究所之台南歸仁防火實驗室，依據現行條例式法規「各類場所消防設備設置標準」188 條之規定設計，進行全尺度火災煙控實驗，以獲得於不同火災規模之煙沈積速度、煙層溫度等煙控性能，與系統化分析。

3.依性能式設計之機械煙控火災全尺度實驗

本項工作將依實際火災規模之發煙量計算，進行大空間建築性能式機械排煙風量之重新設計。並配合適當補氣口之設置，與火警偵測器連動等緊急運轉策略分析。於內政部建築研究所台南歸仁防火實驗室，驗證於不同火災規模之煙沈積速度、煙層溫度等煙控性能，與系統化分析。

4.條例式與性能式設計全尺度實驗結果之比對分析

完成上述兩項條例式與性能式之機械煙控火災全尺度實驗後，本項工作將進行結果之比對分析，以提供日後進行大空間建築機械煙控設計之重要參考依據。

5.結論與建議

完成上述全尺度火災煙控實驗之比對分析後，本研究計畫將提出大空間建築機械煙控系統依條例式或性能式設計之適用範圍。以期補足目前我國於這方面之不足，並提升有關大空間建築機械煙控系統之設計能力。

承上所述，本計劃主要工作內容及其詳細進行步驟，可示如下之工作流程圖：

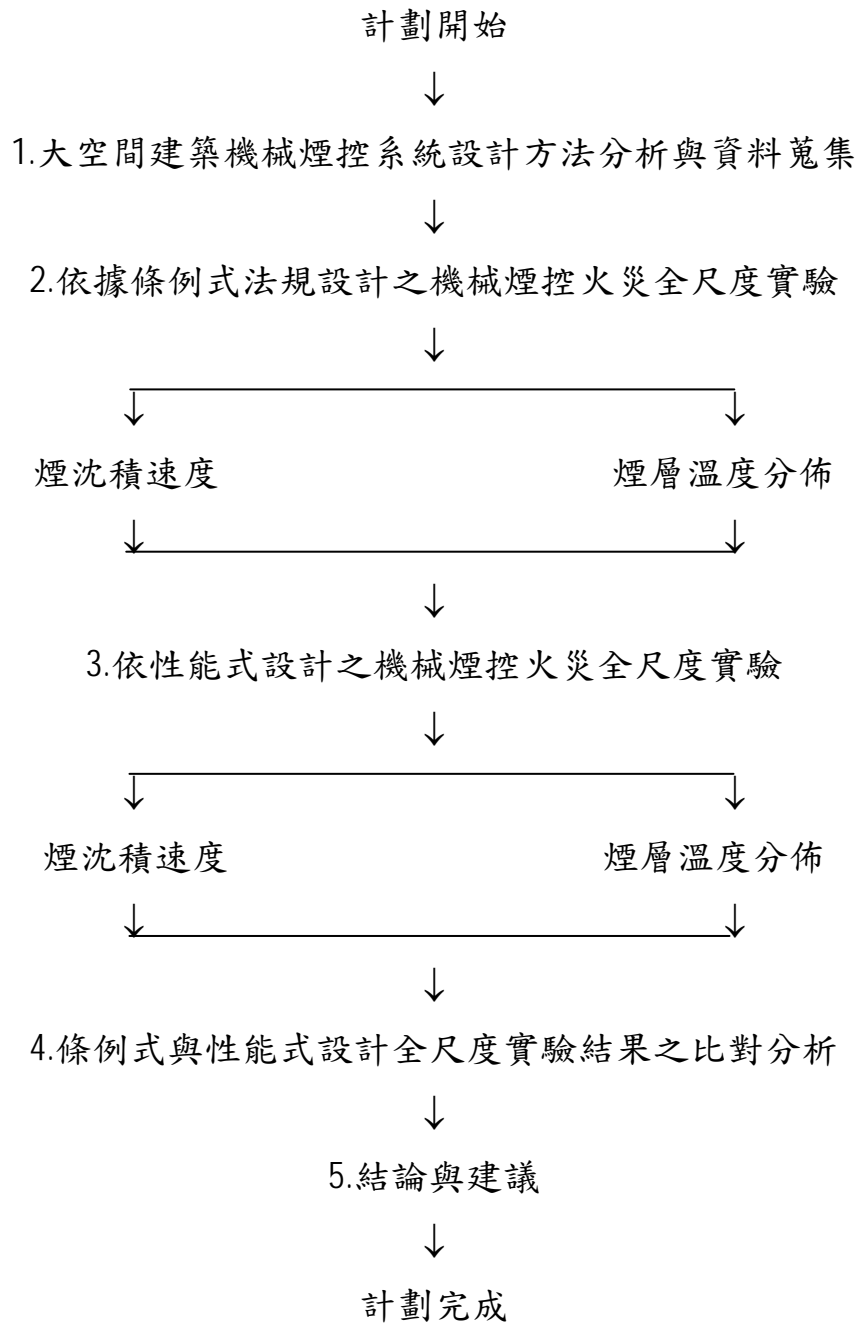


圖 1.2-5 本研究計畫之工作流程圖

第三節 預期成果

經由本年度計畫之執行，預期可完成如下之具體成果：

1. 完成大空間建築機械煙控系統設計方法分析與資料蒐集。
2. 完成依據現行條例式法規設計之機械煙控全尺度實驗，獲得於不同火災規模之煙沈積速度、煙層溫度分佈等煙控性能。
3. 完成依性能式設計之機械煙控系統全尺度實驗，獲得於不同火災規模之煙沈積速度、煙層溫度分佈等煙控性能。
4. 完成條例式與性能式之機械煙控性能全尺度實驗結果比對分析，以提供建立性能式法規之重要參考依據。

第二章 火災煙控全尺度實驗之規劃

第一節 大空間建築之機械煙控系統設計理念分析

有關目前國內大空間建築之機械煙控系統設計，大抵可分為「條例式設計」與「性能式設計」兩大類。「條例式設計」乃是完全依照現行法規之規定內容，進行煙控系統之設計，如「各類場所消防設備設置標準」188條之規定。

而「性能式設計」之煙控系統，則充分考慮大空間建築本身之特性，譬如將蓄煙煙控加入設計理念、或選擇更大風量之機械排煙風機等，以提供一條無煙之逃生避難路徑，而獲得機械煙控系統性能之最佳化設計。

(1) 條例式設計

目前我國之條例式法規規定之機械煙控系統，主要為依照民國 93 年 5 月公佈之「各類場所消防設備設置標準」188 條進行設計，其重點規定如下：

- a. 每層樓地板面積每五百平方公尺內，以防煙壁區劃。但戲院、電影院、歌廳、集會堂等場所觀眾席，及工廠等類似建築物，其天花板高度在五公尺以上，且天花板及室內牆面以耐燃一級材料裝修者，不在此限。
- b. 任一位置至排煙口之水平距離在三十公尺以下，排煙口設於天花板或其下方八十公分範圍內
- c. 排煙口設置偵煙式探測器連動開關裝置及手動開關裝置，與排煙風管連接者，火災時，除以手動開關裝置或偵煙式探測器連動開啟外，應保持關閉狀態。

- d. 前款之排煙機能隨任一排煙口之開啟而動作，其排煙量在每分鐘一百二十立方公尺以上，且在一防煙區劃時，在該防煙區劃面積每平方公尺每分鐘一立方公尺以上，在二區以上之防煙區劃時，在最大防煙區劃面積每平方公尺每分鐘二立方公尺以上。

然而，對於具備大空間之挑高建築而言，上述之條例式煙控系統設計並不能完全重現發生火災時之煙流動狀況。因此，有必要進行性能式之機械煙控系統設計，以便於發生火災時，提供一條無煙之逃生路徑，確實保障人身安全。

(2) 性能式設計

大空間建築機械排煙煙控系統之性能式設計理念，如下所述：

A. 蓄煙區設計理念

當大空間建築內部發生火災時，火焰上的煙柱上升，於上升期間煙柱捲入周圍的空氣，使得煙氣溫度隨著煙柱上升高度愈高而降低，而煙量則隨著煙柱上升高度愈高而愈多。煙柱一直上升，直到大空間挑空中庭頂部或天花板時，煙開始於大空間內部自然填充，並慢慢沈積形成煙層。此時，若於大空間挑空中庭頂部設置蓄煙區，則能減緩煙層下降速度，使於大空間建築內部，提供一條無煙之逃生避難路徑。

常見之蓄煙區設計除設置於大空間頂部外，亦可配合大空間周圍區域之防火/防煙區劃設計，以擴大蓄煙區之容量，提供更佳之煙控性能。

B. 補氣設計理念

於大空間建築發生火災時，無論利用頂部蓄煙或自然排煙，皆

必須於底部加以補氣 (Makeup Air)，以便造成推拉 (Push-Pull) 之有效氣流組織，才能達到最佳煙控策略。此時，外氣補氣量與補氣位置，便成為設計煙控系統時極重要之考量。

至於大空間中庭煙控系統之補氣方式，可採用機械進氣或自然進氣兩種，於 NAPA 92B 中，亦提供了重要參考依據。若補氣量不足，則排煙形同「抽真空」。而若補氣量太大，則火場由於形成大的紊流，而使煙沈積速度急劇加大，造成人員避難上極大的危險。

C.火警探測設計理念

一般火警探測器大多裝置於建築物內的最頂端，如果發生火災時火與濃煙藉由熱浮效應上升至建築物頂部，而感應火警探測器。但於大空間建築之火警探測設計，則有不同考量。

當大空間建築屋頂附近內部之空氣，受因日照輻射熱的影響，其溫度可能達到 120 °F 或 50 °C 以上。此熱空氣層形成後，將先沈積於挑空中庭屋頂之蓄煙空間。當火災發生時，則煙的溫度受到其上升路徑周圍空氣的冷卻，其煙氣溫度反而比熱空氣層還低，而無法藉其熱浮現象，上升至挑空中庭頂部。

大空間建築頂部熱空氣層形成後，煙層無法於事先設計之蓄煙空間進行蓄積，而使頂部樓層暴露於煙層底部，增加對人身安全的危害。此外，若火警探測器裝於屋頂，此時將無法感測到火災發生，而對自然或機械煙控系統進行連動。

欲解決上述問題，除可避免讓大空間建築屋頂熱空氣層形成，如挑空中庭屋頂內部之通風系統外，亦可採用較為先進之火警探測系統設計。亦即大空間建築之火警探測器為光電式偵煙器 (Beam Smoke Detector)，其裝置於兩邊側面，且裝置接近屋頂之不同高度，而形成火警偵測網格 (Grid)。

D. 避免產生 Plugholing 現象

所謂 Plugholing 現象類似水槽之水栓被拔開後，於水槽產生的漩渦一樣。為當機械排煙風機運轉時，由於大空間建築頂部蓄煙煙量不足，使得排煙風機不僅抽到煙氣，亦大量抽到空氣。此現象發生時，因抽不到煙氣，不但降低排煙效率，更使煙氣向大空間建築周圍走廊區域蔓延，危害到人身安全。

為防止 Plugholing 現象發生，解決之道為於大空間建築頂部設置適當容積大小的蓄煙空間，並制定最佳之機械風機啟動時序。亦即正確之機械排煙運轉策略，為當煙氣於大空間建築頂部之蓄煙空間蓄積到某個煙層厚度後，再啟動機械排煙風機，進行排煙。

E. 換氣率之設計

有關大空間建築機械排煙量設計，一般條例式設計為依照其樓地板面積之大小而進行設計。而於性能式設計中，所依據為換氣率之大小。所謂換氣率為某空間容量於某段時間內，完全換氣次數之意思。例如，常見的表示方式為每小時之換氣次數。

於 NFPA Life Safety Code 內規定，若設置機械排煙系統，其排煙量不得小於其體積的 6 次/hr 換氣量。

另外，於中國大陸之「高層民用建築設計防火規範」內規定，中庭體積小於 17,000 m³ 時，其排煙量按其體積的 6 次/hr 換氣計算；中庭體積大於 17,000 m³ 時，其排煙量按其體積的 4 次/hr 換氣計算；但最小排煙量不應小於 102,000 m³/hr。

第二節 火災煙控全尺度實驗場地之簡介

本大空間建築火災煙控全尺度實驗場地，為內政部建築研究所位於台南歸仁之防火實驗室。其室內大型之綜合實驗室，長約 48.5 公尺、寬約 22.5 公尺、最高處為離地約 30 公尺，詳細之設計圖，如下圖 2.2-1 與圖 2.2-2 所示。

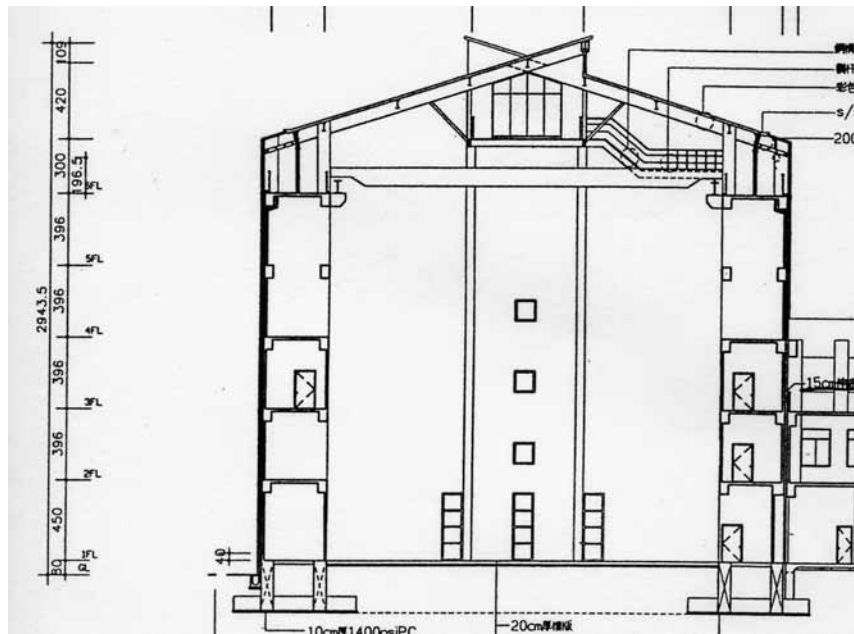


圖 2.2-1 防火實驗室之綜合實驗室剖面圖(1)

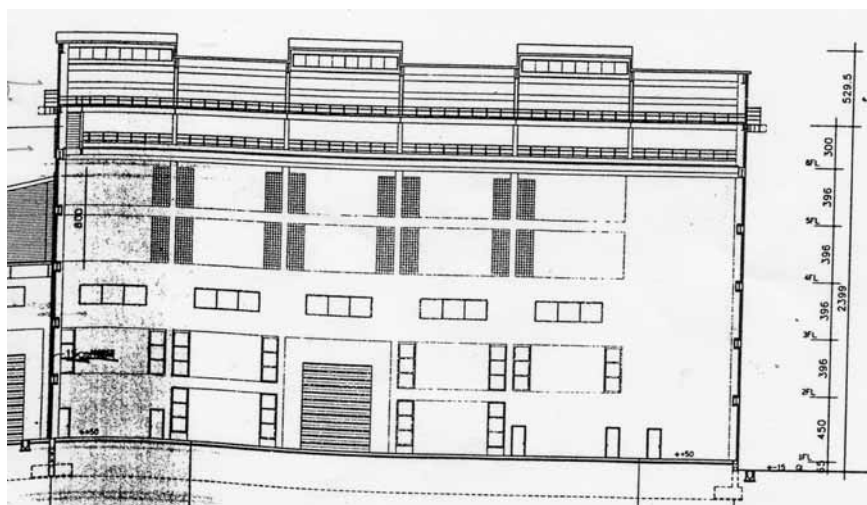


圖 2.2-2 防火實驗室之綜合實驗室剖面圖(2)

本綜合實驗室貓道（Cat Way）上方設有一套機械排煙風管與 12 個排煙口，可提供本案進行大空間建築機械煙控系統性能研究之用，如圖 2.2-3 所示



圖 2.2-3 貓道上方之機械排煙系統

此套機械排煙風管與 12 個排煙口之開啟與關閉，為設置於 1 樓內之監控室，於進行機械排煙火災全尺度實驗時，經由人工開啟。其操作盤，示如圖 2.2-4。可藉由其排煙風機轉速控制盤，調整風機轉速至所需風量，示如圖 2.2-5。



圖 2.2-4 監控室之排煙口之開啟控制盤



圖 2.2-5 監控室之排煙風機轉速控制盤

其次，於貓道上另有四台小型軸流式風機，每台風量為 15 CMS，安裝方式為穿牆固定式，如圖 2.2-6 所示。小型軸流式風機排煙情形，如圖 2.2-7 所示。



圖 2.2-6 貓道上之小型軸流式風機裝置方式



圖 2.2-7 貓道上之小型軸流式風機排煙情形

另外，於進行機械排煙火災全尺度實驗時，亦將補氣設計列入考量，即利用綜合實驗室西側之大門，作為補氣口，如圖 2-2.8 與圖 2-2.9 所示，以提供補氣對於機械煙控系統性能之影響研究。



圖 2-2.8 綜合實驗室之西側補氣口關閉情形



圖 2-2.9 綜合實驗室之西側補氣口開啟情形

第三節 量測儀器佈置與煙層判定原理

本研究之機械煙控系統火災全尺度實驗其量測儀器包括兩大部分，一為熱電耦儀器樹與數據存取記錄器、二為燈泡束。兩者所得之實驗結果，將作為煙層判斷之依據，以獲得不同火災情境下之大空間建築機械煙控系統之性能分析。

(1) 熱電耦儀器樹與數據存取記錄器

於綜合實驗室貓道下方，每 1 公尺設置 1 個 K 型熱電耦，以形成熱電耦儀器樹，可量測火場之煙層溫度，示如圖 2.3-1。



圖 2.3-1 本機械煙控系統火災全尺度實驗之熱電耦儀器樹

其熱電耦所量得之數據經由數據存取記錄器由個人電腦監控並儲存，自動記錄溫度之變化值，存取頻率為每 2 秒一次。



圖 2.3-2 本機械煙控系統火災全尺度實驗之數據存取記錄器

(2) 燈泡束

其次，於綜合實驗室貓道下方，每 1 公尺裝置 1 個白色燈泡，再每 5 公尺裝置 1 個紅色燈泡，而形成燈泡束，提供進行實驗時，以肉眼或攝影機觀察煙層高度，示如圖 2.3-3。

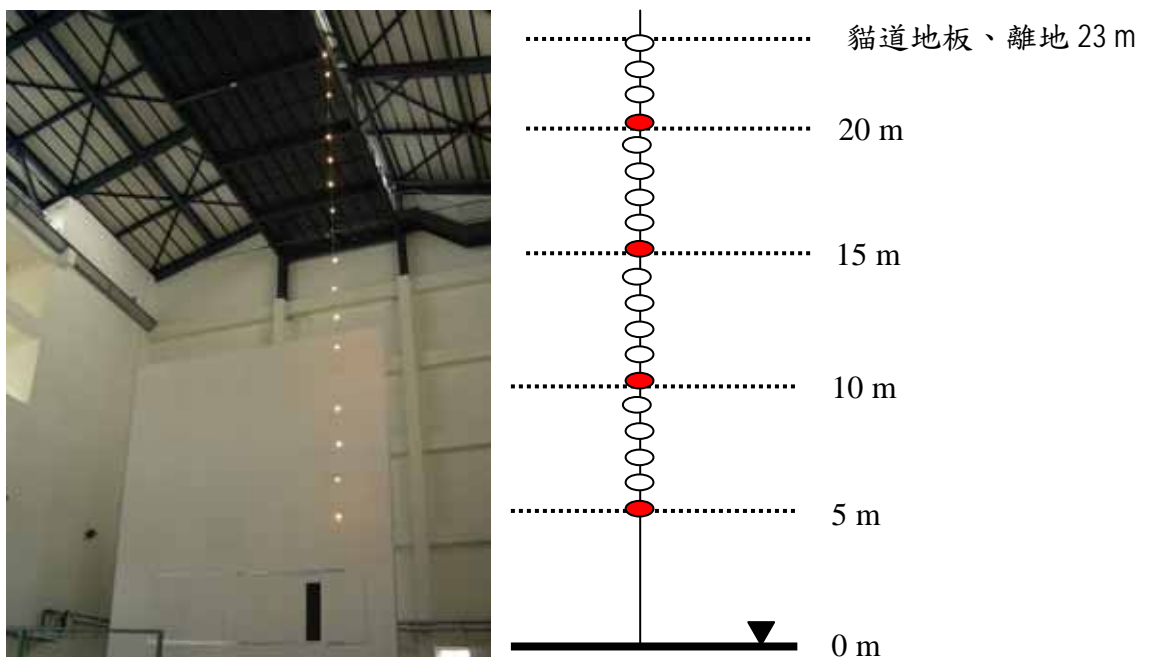


圖 2.3-3 本機械煙控系統火災全尺度實驗之燈泡束

(3) 煙層判定方法

有關本研究之煙層判定方法有二：一為透過燈泡束，以肉眼或攝影機觀察煙層高度，其二為藉由熱電耦儀器與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，進行煙層判定。

於第一種煙層判定方法，為透過燈泡束受到火場濃煙之遮蔽，藉由人工目視記錄與攝影機錄影，以判斷當時之煙層高度。

在第二種煙層判定方面，於實際煙層沈積時，會在高溫煙層與低溫空氣層之間存在一過渡區域（Transition Zone），而此過渡區域底部高度即被稱為初步煙層位置（First Indication of Smoke），如圖 2.3-4 所示。

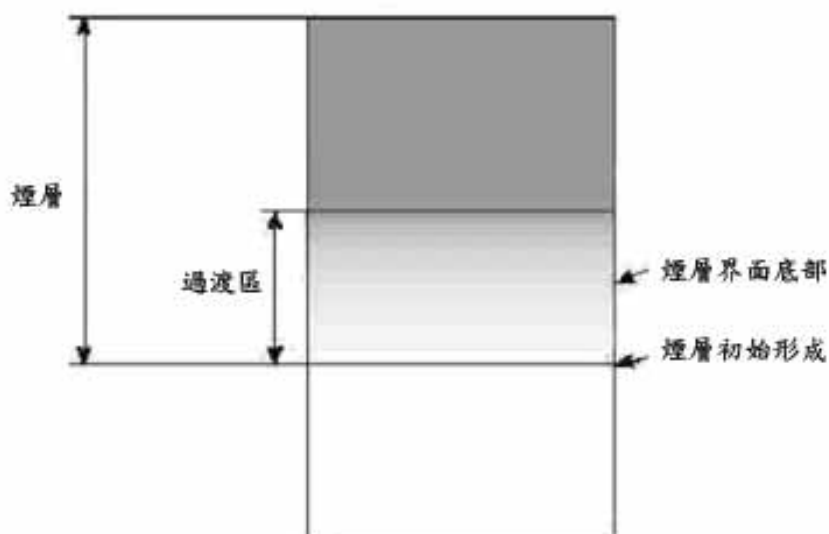


圖 2.3-4 NFPA 92B 中之煙層示意圖

本案採取 NFPA 92B 之 N 百分比法則（N-percentage Rule）來判斷煙層的高度，N 百分比法則公式如下所示：

$$T(z_i, t) - T_\infty(z_i) = N \Delta T_{ref(T)} / 100$$

其中， T = 煙控溫度

T_{∞} = 環境溫度

ΔT_{ref} = 煙柱與環境之溫度差

N = 百分比

z_i = 煙柱底部離地面之淨高

t = 時間

NFPA 92B 中指出，判斷煙層底部 (Smoke Layer Interface) 的 N 值為 80~90。本案為求較保守之估計，將煙層底部之 N 值訂為 60，作為煙層之判定標準，如下圖 2.3-5 所示。

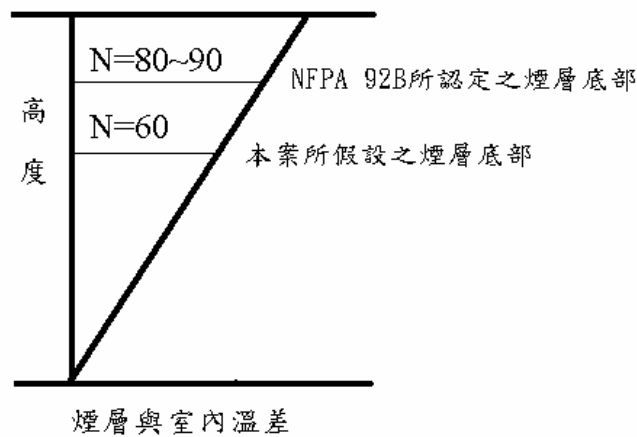


圖 2.3-5 NFPA 92B 之 N 百分比法則中煙層底部與 N 值關係

第四節 機械排煙火災全尺度實驗之進行步驟

有關進行正式機械煙控火災全尺度實驗之進行步驟如下所列：

1.將正確數量之火盤放置在預定位置上。

此步驟將依照所欲模擬之火災規模，放置正確數量之火盤。例如，若要模擬 4 MW 的火災規模，則需放置 20 個火盤。

2.火場四周放置滅火設備。

於火場四周放置滅火設備，一來預防火場突發狀況之發生，二來為熄滅「點火把」之火焰。

3.開啟燈泡束、以及觀察員與攝影機就位。

本正式實驗進行時，將開啟燈泡束，並分派人員於地面及不同樓層進行觀察火場煙沈積情形，利用攝影機記錄存檔。

4.確認機械排煙風機之狀況。

指派專人負責操作，並確認實驗當時貓道上方機械排煙口之「關閉」或「開啟」狀況，及調整風量大小。

5.火盤注入燃料。

依照先前預備實驗所得之結果，注入火盤適當數量之燃料。

6.數據存取記錄器開始記錄並計時。

啟動數據存取記錄器，開始記錄熱電耦儀器樹所獲得之溫度數據。並開始倒數，準備點火進行實驗。

7.點火，煙層上升，觀察煙流動特性與煙沈積現象。

倒數結束，以「點火把」點燃火盤。各觀察員與攝影機，觀察並記錄火場煙流動特性與煙沈積現象。

8. 點火後，通報機械排煙風機控制人員打開風機及補氣口開啟。

假設火災發生後 90 秒，通報機械排煙風機控制人員，進行機械排煙。此時，並開啟補氣口。

9.火盤自然熄滅。

讓火盤燃料自然燒盡，等待火盤溫度下降至室溫

10.實驗討論與數據整理。

工作人員收集並整理實驗數據，如有缺失，立即改善。準備在進行下一實驗項目。

以上之實驗程序，可做成如下之工作流程圖：

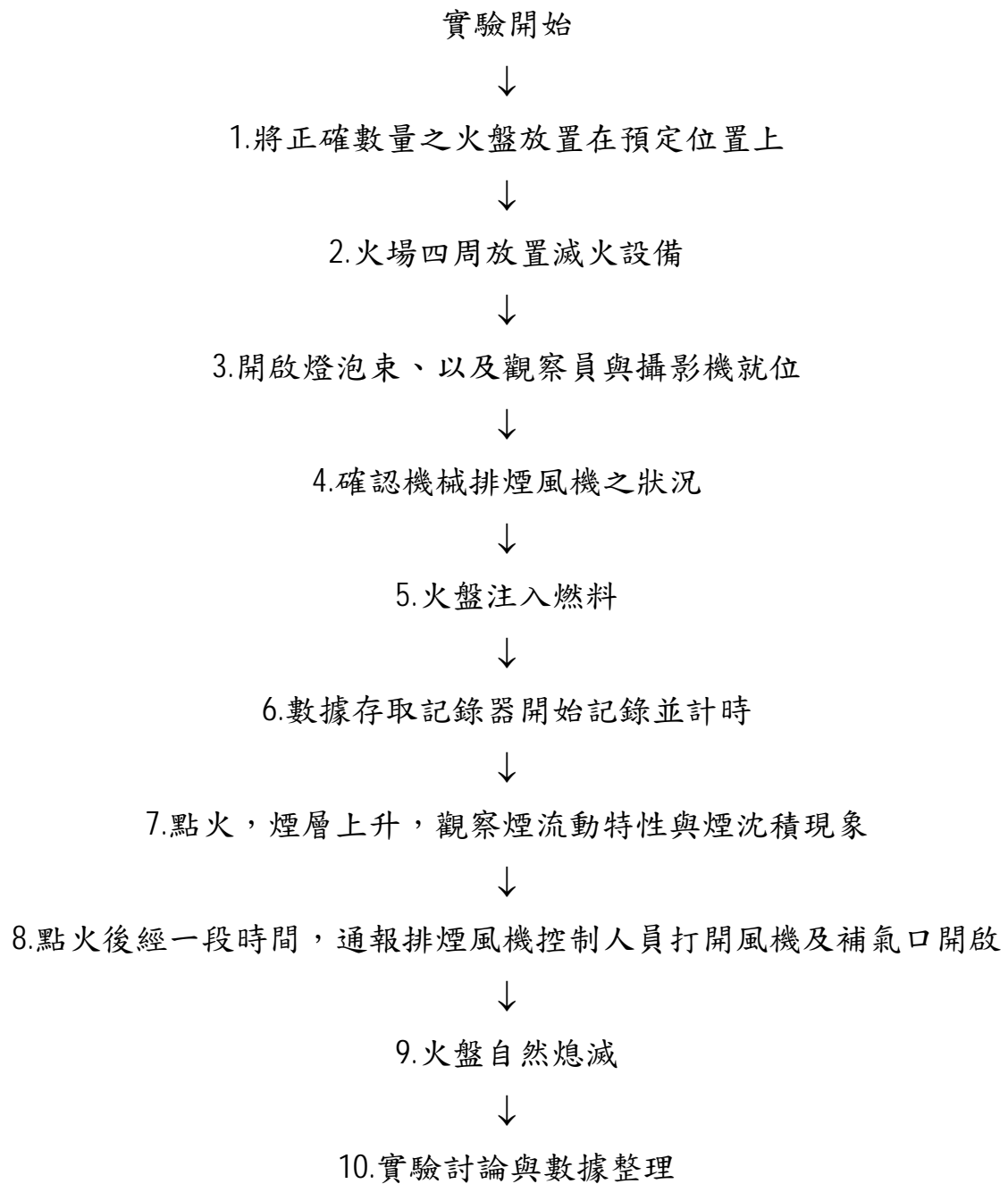


圖 2.4-1 火災煙控全尺度實驗程序流程圖

第三章 條例式機械煙控系統火災全尺度實驗與分析

第一節 排煙風機轉速校正實驗之結果分析

本研究於進行正式機械煙控系統火災全尺度實驗前，將進行排煙風機轉速校正實驗，以了解排煙風機轉速與排煙風量之關係。

本排煙風機轉速校正實驗之原理，為在某排煙風機轉速下，於排煙口量測其風速，再換算成風量，可得風機轉速與排煙風量之關係。圖 3.1-1 為於排煙口附近量測風速之情形。



圖 3.1-1 於排煙口附近量測風速之情形

經變化多種不同轉速下，可得由 5 Hz 至 55 Hz 間，每 5 Hz 情況下之轉速與排煙風量之關係，示如表 3.1-1。

表 3.1-1 排煙風機轉速與排煙風量之關係

風機轉速 (Hz)	相對應之排煙風量 (cmm)
10	450
15	570
20	750
25	950
30	1,190
35	1,340
40	1,600
45	1,850
50	2,100
55	2,300

得到排煙風機轉速與排煙風量之關係後，可應用於日後進行機械排煙風量之調整，而遂有條例式設計與性能式設計之實驗設計。

例如，本實驗場地之樓地板面積約為 1,091 m² (22.5 m × 48.5 m)。當進行條例式設計之機械排煙系統火災全尺度實驗時，其所需之法規規定排煙風量為 1,091 cmm。故當機械排煙風機之轉速開至 30 Hz 時，亦即約可提供 1,190 cmm 之排煙風量，相當於法規規定值。

因此，本案遂以風機轉速 30 Hz 作為性能式與條例式設計之排煙風量分野。30 Hz 以上為性能式設計之排煙風量，而 30 Hz 以下為條例式設計之排煙風量。

故本案條例式法規之全尺度實驗將包括兩種風量，一為每平方公尺 1 cmm，即機械排煙風機之轉速開至 30 Hz。另一為每平方公尺 0.7 cmm，即機械排煙風機之轉速開至 20 Hz。

而本案性能式之全尺度實驗設計，則選擇 6 ACH 與 8 ACH 兩種排煙量。於 6 ACH 之排煙量下，約需提供 2,500 cmm 之風量，而 8 ACH 則約需提供 3,333 cmm 之風量。

亦即進行全尺度實驗時，貓道上方之機械排煙系統與軸流式排煙風機，皆需一起開啟，才能達到所需排煙風量。

第二節 排煙風量為 1 cmm/m^2 之全尺度實驗結果分析

(1) 火災規模為 3 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 3 MW 之火災，即使用 15 個火盤，如圖 3.2-1 所示。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，使其運轉頻率為 30 Hz，提供排煙風量為 1 cmm/m^2 ，以符合國內現行條例式法規之規定。



圖 3.2-1 假設火場發生 3 MW 之火災，即使用 15 個火盤情形

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 3.2-2 所示。

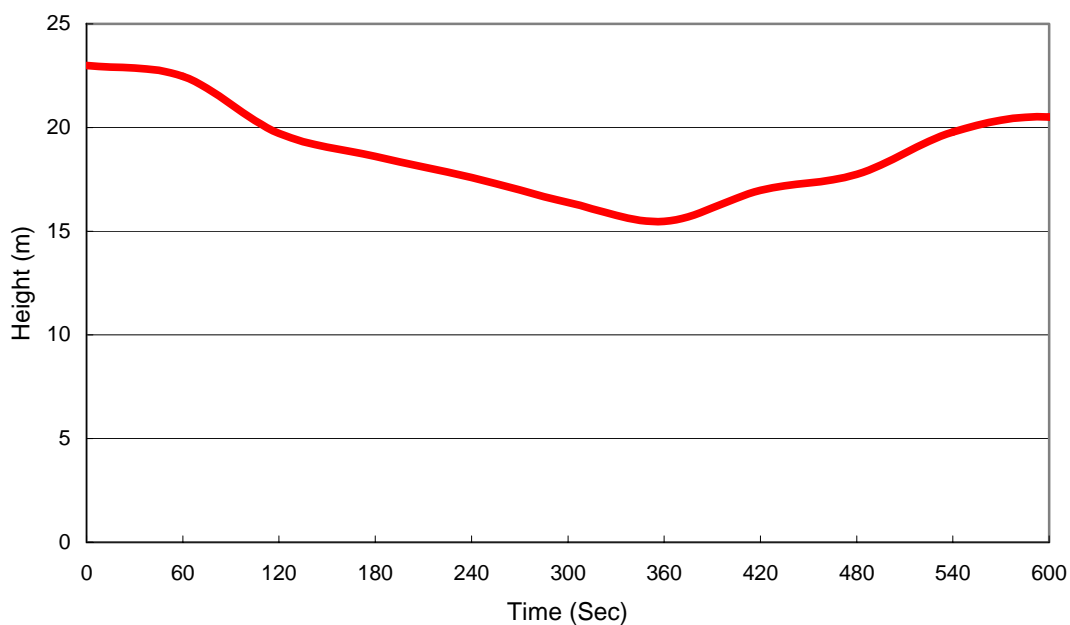


圖 3.2-2 火災規模為 3 MW 且排煙量為 1 cmm/m² 之煙沈積速度圖

③ 實驗結果分析：

經由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 15.5 公尺。

(2) 火災規模為 4 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 4 MW 之火災，即使用 20 個火盤，如圖 3.2-3 所示。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，使其運轉頻率為 30 Hz，提供排煙風量為 1 cmm/m^2 ，以符合國內現行條例式法規之規定。



圖 3.2-3 假設火場發生 4 MW 之火災，即使用 20 個火盤情形

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 3.2-4 所示。

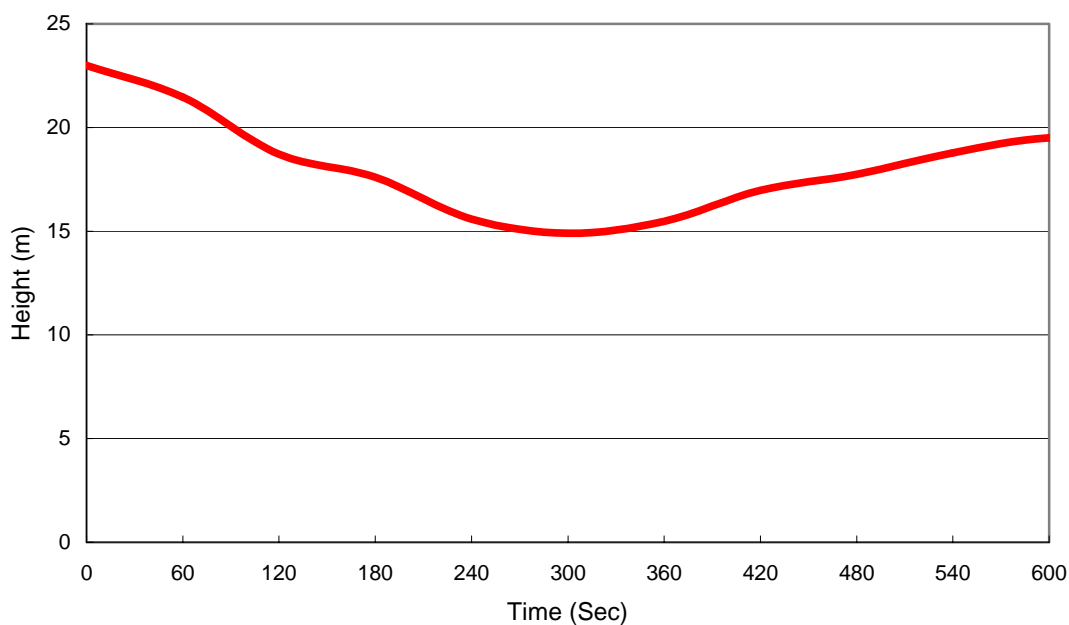


圖 3.2-4 火災規模為 4 MW 且排煙量為 1 cmm/m² 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 15 公尺。

與先前之 3 MW 實驗項目比較，由於火載量變大，排煙時間較前者有顯著之增加，且煙層離地最低點也比較低。

(3) 火災規模為 5 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 5MW 之火災，即使用 25 個火盤，如圖 3.2-5 所示。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，使其運轉頻率為 30 Hz，提供排煙風量為 1 cmm/m^2 ，以符合國內現行條列式法規之規定。



圖 3.2-5 假設火場發生 5MW 之火災，即使用 25 個火盤情形

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 3.2-6 所示。

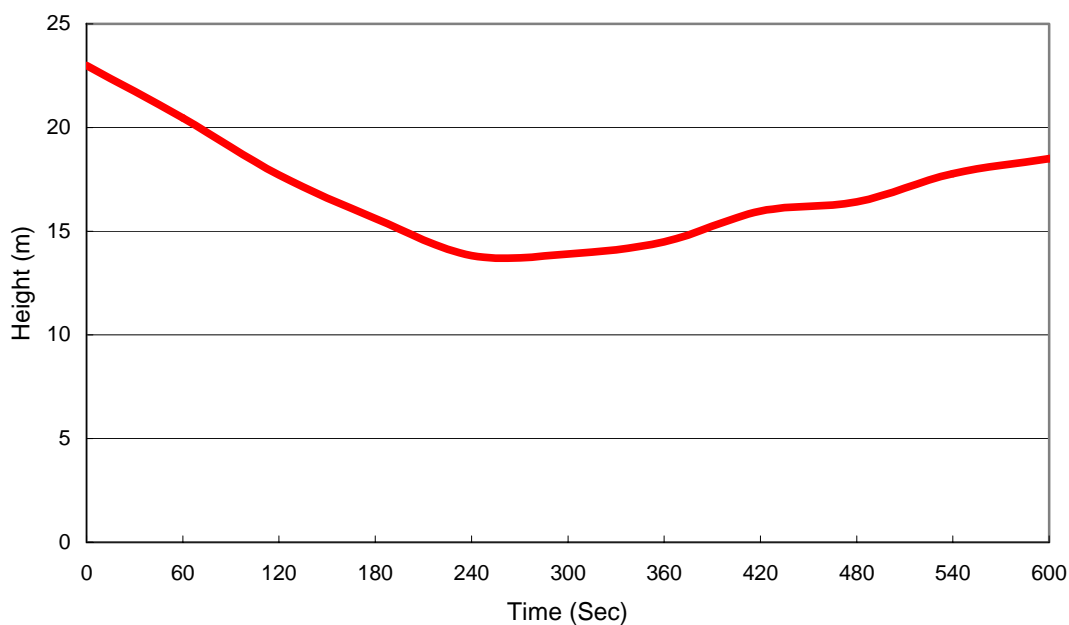


圖 3.2-6 火災規模為 5 MW 且排煙量為 1 cmm/m² 之煙沈積速度圖

③ 實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 14 公尺。

與先前之 3 MW 與 4 MW 實驗項目比較，由於火載量變大，排煙時間較前者有顯著之增加，且煙層離地最低點也比較低。

第三節 排煙風量為 0.7 cmm/m^2 之全尺度實驗結果分析

(1) 火災規模為 3 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 3 MW 之火災，即使用 15 個火盤。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，並使其運轉頻率為 20 Hz，亦即排煙風量約為 0.7 cmm/m^2 ，小於現行法規之規定值。

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 3.3-1 所示。

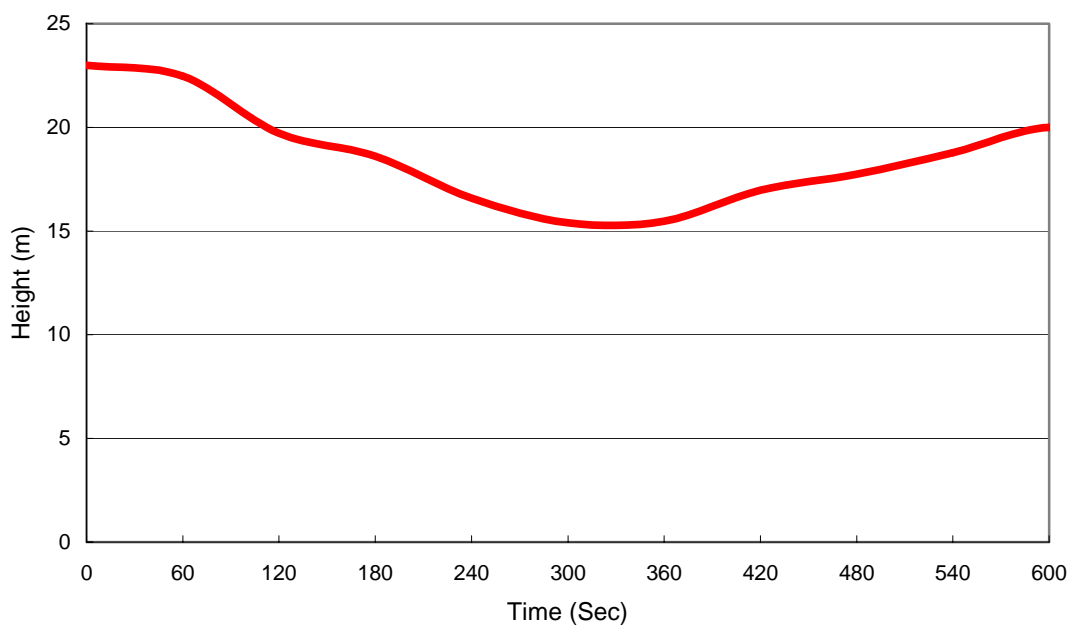


圖 3.3-1 火災規模為 3 MW 且排煙量為 0.7 cmm/m^2 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 15 公尺以下。

由於本項實驗之排煙風量小於現行條例式法規之規定值，因此其煙控性能與先前合乎法定值之實驗案例比較，降低許多。

(2) 火災規模為 4 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 4MW 之火災，即使用 20 個火盤。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，並使其運轉頻率為 20 Hz，亦即排煙風量約為 0.7 cmm/m^2 ，小於現行法規之規定值。

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 3.3-2 所示。

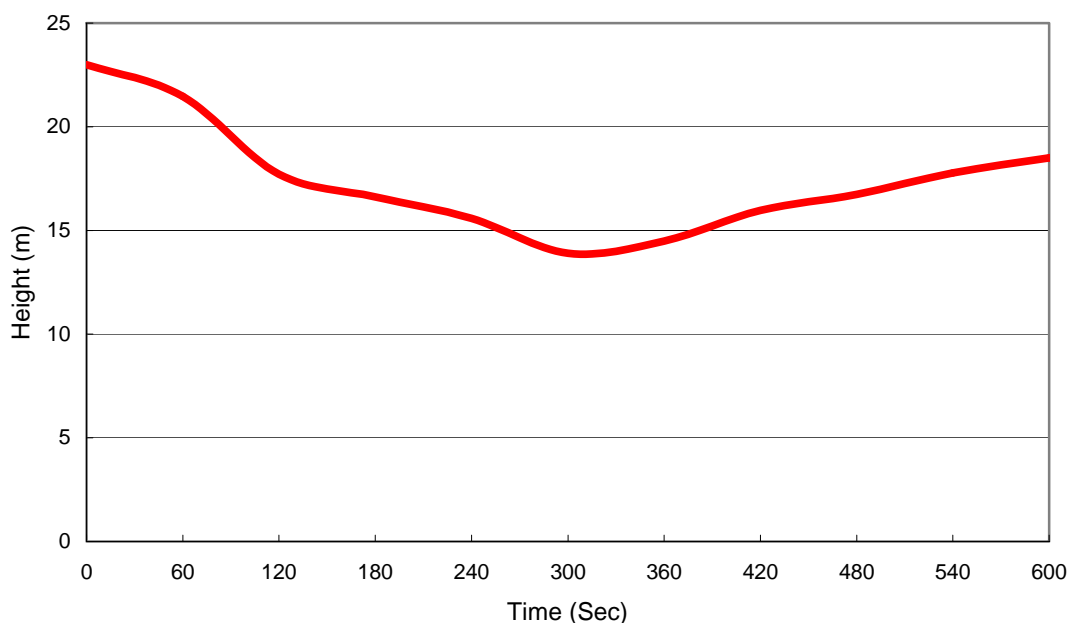


圖 3.3-2 火災規模為 4 MW 且排煙量為 0.7 cmm/m^2 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 13 公尺。

由於本項實驗之排煙風量小於現行條例式法規之規定值，因此其煙控性能與先前合乎法定值之實驗案例比較，降低許多。

(3) 火災規模為 5 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 4MW 之火災，即使用 20 個火盤。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，並使其運轉頻率為 20 Hz，亦即排煙風量約為 0.7 cmm/m^2 ，小於現行法規之規定值。

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 3.2-3 所示。

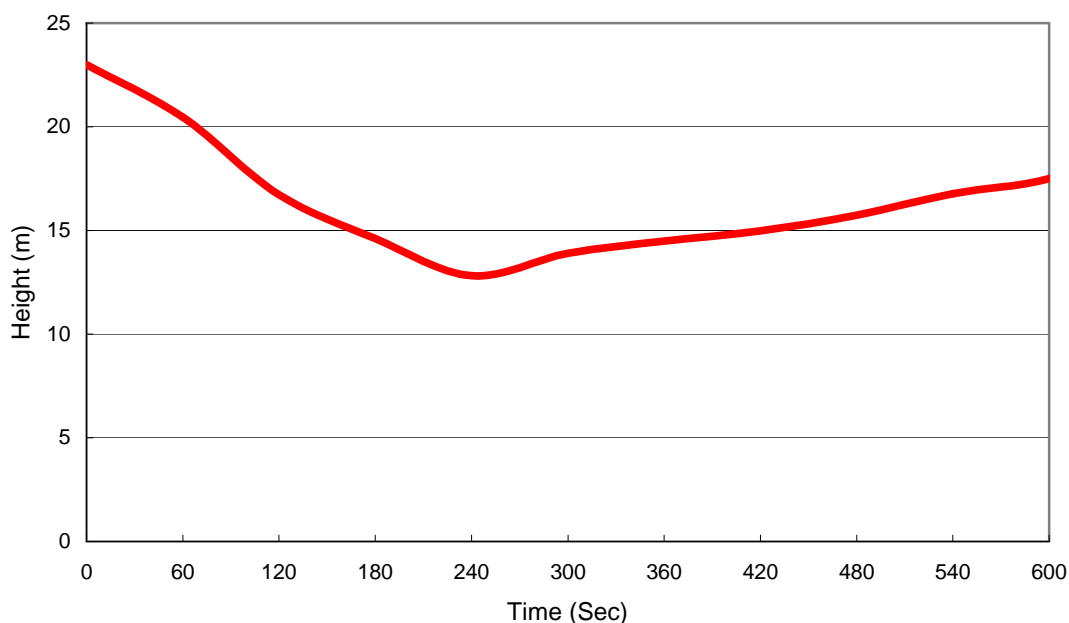


圖 3.3-3 火災規模為 5 MW 且排煙量為 0.7 cmm/m^2 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 12 公尺以下。

由於本項實驗之排煙風量小於現行條例式法規之規定值，因此其煙控性能與先前合乎法定值之實驗案例比較，降低許多。

第四節 條例式機械排煙實驗小結

目前我國之條例式法規規定之機械煙控系統，主要為依照民國 93 年 5 月公佈之「各類場所消防設備設置標準」188 條進行設計。例如其排煙風量之選取，為每一防煙區劃每平方公尺每分鐘一立方公尺，亦即 1 cmm/m^2 。

本案首先進行排煙風機轉速校正實驗，以了解排煙風機轉速與排煙風量之關係。得到排煙風機轉速與排煙風量之關係後，可應用於日後進行機械排煙風量之調整。遂以風機轉速 30 Hz 作為性能式與條例式設計之排煙風量分野。30 Hz 以上為性能式設計之排煙風量，而 30 Hz 以下為條例式設計之排煙風量。

故本案條例式法規之全尺度實驗將包括兩種風量，一為每平方公尺 1 cmm ，即機械排煙風機之轉速開至 30 Hz。另一為每平方公尺 0.7 cmm ，即機械排煙風機之轉速開至 20 Hz。

由全尺度實驗所得之煙沈積速度圖與觀察火場錄影帶得知，現行條例式法規之機械排煙風量 1 cmm/m^2 ，仍可提供一定之煙控性能，使得本全尺度實驗場地之 6 樓走道區，於開啟排煙風機與補氣口後，逐漸恢復能見度。

而於低於現行條例式法規之機械排煙風量 0.7 cmm/m^2 全尺度實驗方面，由其所得之煙沈積速度圖與觀察火場錄影帶得知，其煙控性能與先前合乎法定值之實驗案例比較，降低許多。

第四章 性能式機械煙控系統火災全尺度實驗與分析

第一節 排煙風量為 6 ACH 之全尺度實驗結果分析

(1) 火災規模為 3 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 3 MW 之火災，即使用 15 個火盤，如圖 4.1-1 所示。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，使其排煙風量達到 6 ACH，大於現行條例式法規之規定值。



圖 4.1-1 假設火場發生 3 MW 之火災，即使用 15 個火盤情形

②煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 4.1-2 所示。

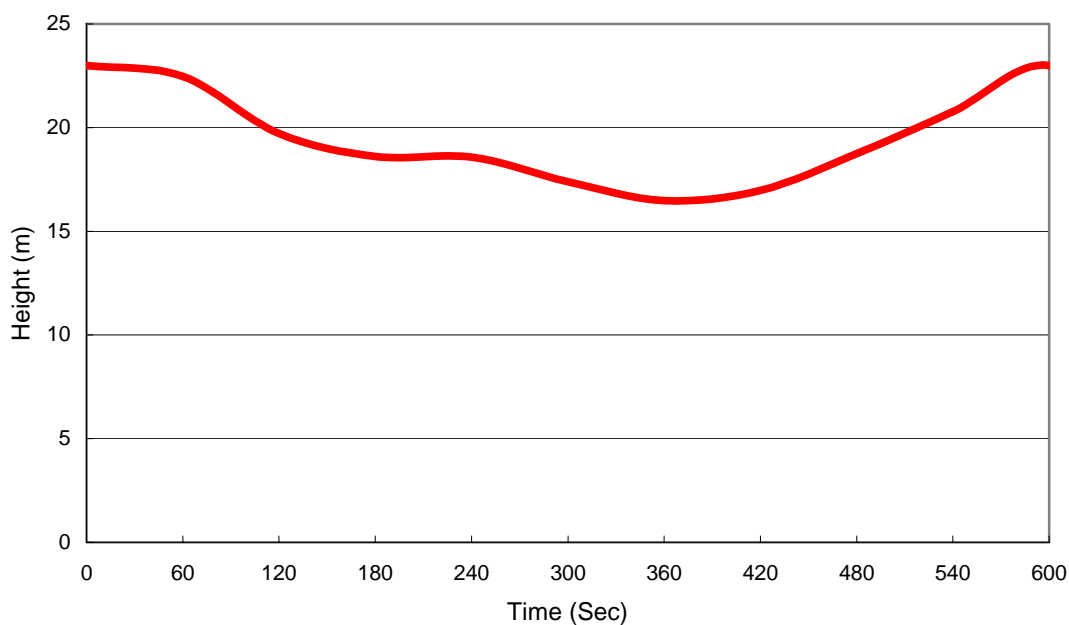


圖 4.1-2 火災規模為 3 MW 且排煙風量為 6 ACH 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 16.5 公尺。

(2) 火災規模為 4 MW

①火災情境描述：

假設火場發生 4 MW 之火災，即使用 20 個火盤，如圖 4.1-3 所示。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，使其排煙風量達到 6 ACH，大於現行條例式法規之規定值。



圖 4.1-3 假設火場發生 4 MW 之火災，即使用 20 個火盤情形

②煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 4.1-4 所示。

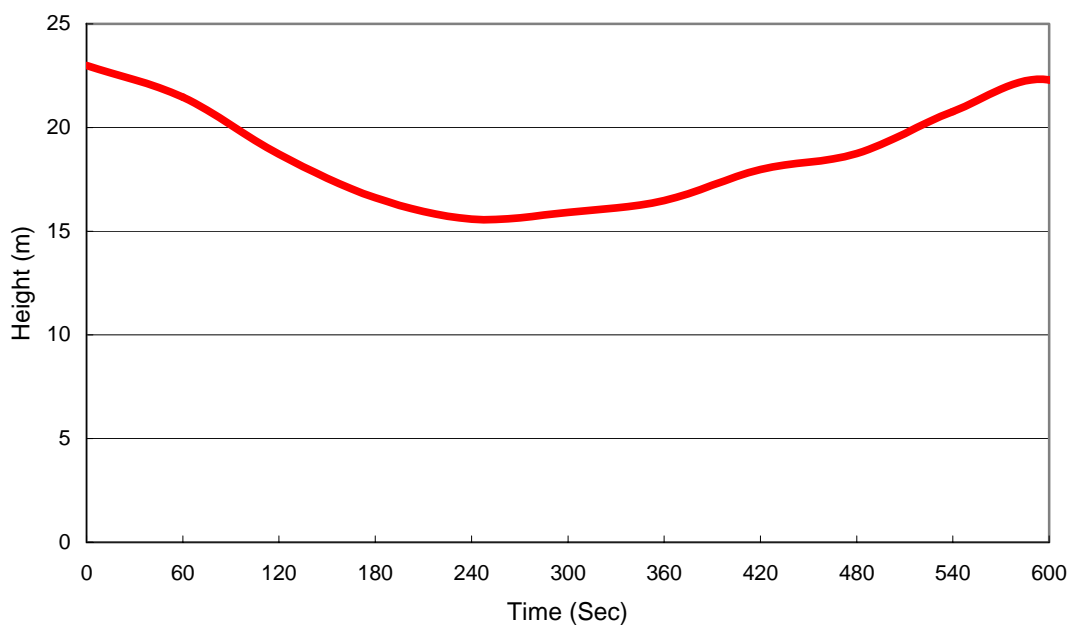


圖 4.1-4 火災規模為 4 MW 且排煙風量為 6 ACH 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 16 公尺。

與先前之 3 MW 實驗項目比較，由於火載量變大，排煙時間較前者有顯著之增加，且煙層離地最低點也比較低。

(3) 火災規模為 5 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 5MW 之火災，即使用 25 個火盤，如圖 4.1-5 所示。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，使其排煙風量達到 6 ACH，大於現行條例式法規之規定值。



圖 4.1-5 假設火場發生 5MW 之火災，即使用 25 個火盤情形

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 4.1-6 所示。

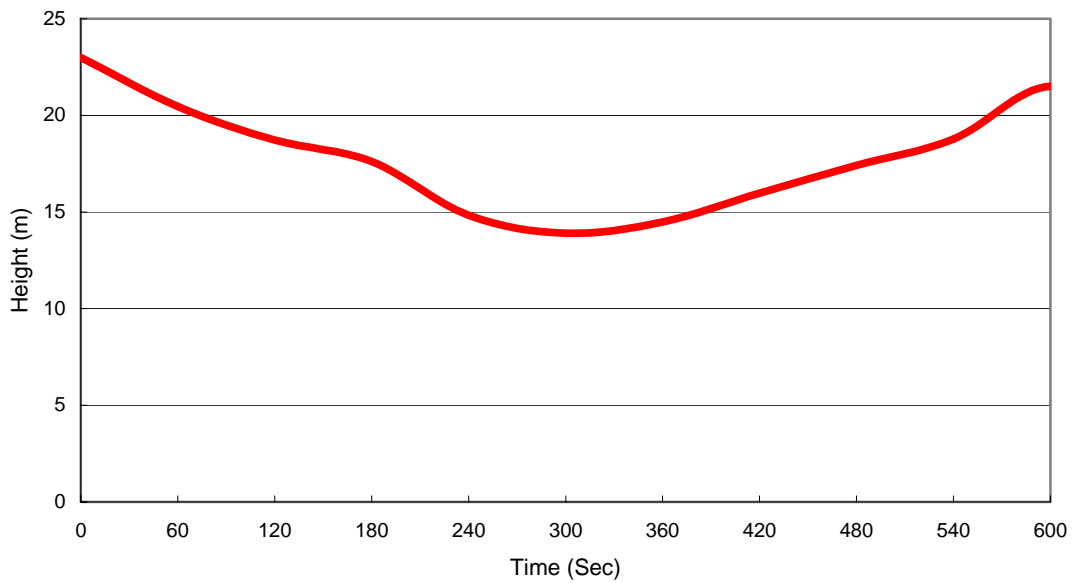


圖 4.1-6 火災規模為 5 MW 且排煙風量為 6 ACH 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 14 公尺。

與先前之 3 MW 與 4 MW 實驗項目比較，由於火載量變大，排煙時間較前者有顯著之增加，且煙層離地最低點也比較低。

第二節 排煙風量為 8 ACH 之全尺度實驗結果分析

(1) 火災規模為 3 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 3 MW 之火災，即使用 15 個火盤。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，使其排煙風量達到 8 ACH，大於現行條例式法規之規定值。

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 3.2-1 所示。

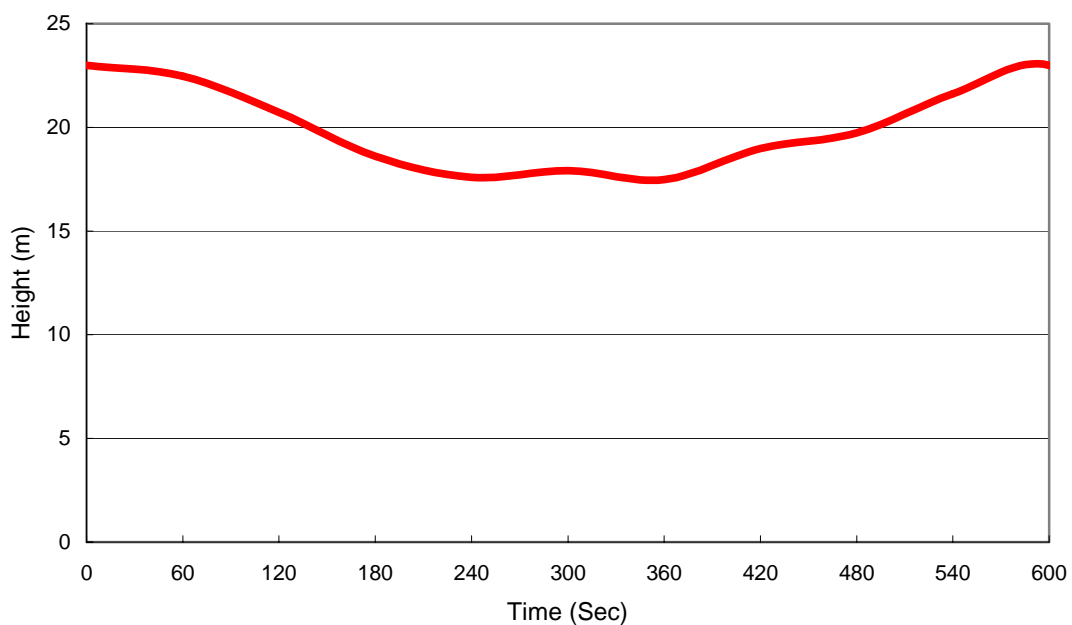


圖 4.2-1 火災規模為 3 MW 且排煙風量為 8 ACH 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 17.5 公尺。

由於本項實驗之排煙風量比前項實驗之 6 ACH 為多，故其煙控性能亦比較優異。

(2) 火災規模為 4 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 4MW 之火災，即使用 20 個火盤。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，使其排煙風量達到 8 ACH，大於現行條例式法規之規定值。

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 3.2-2 所示。

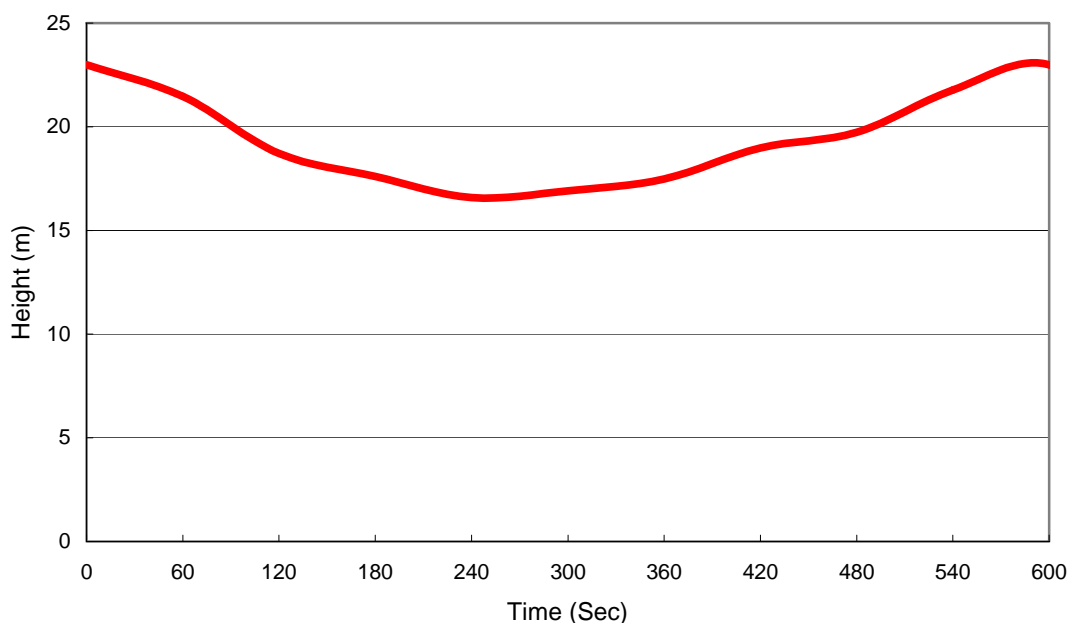


圖 4.2-2 火災規模為 4 MW 且排煙風量為 8 ACH 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 16.5 公尺。

由於本項實驗之排煙風量比前項實驗之 6 ACH 為多，故其煙控性能亦比較優異。

(3) 火災規模為 5 MW

① 火災情境描述：

假設火場發生 4MW 之火災，即使用 20 個火盤。點火後 90 秒，通報人員將排煙風機打開，使其排煙風量達到 8 ACH，大於現行條例式法規之規定值。

② 煙沈積速度：

經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定，其結果如下圖 3.2-3 所示。

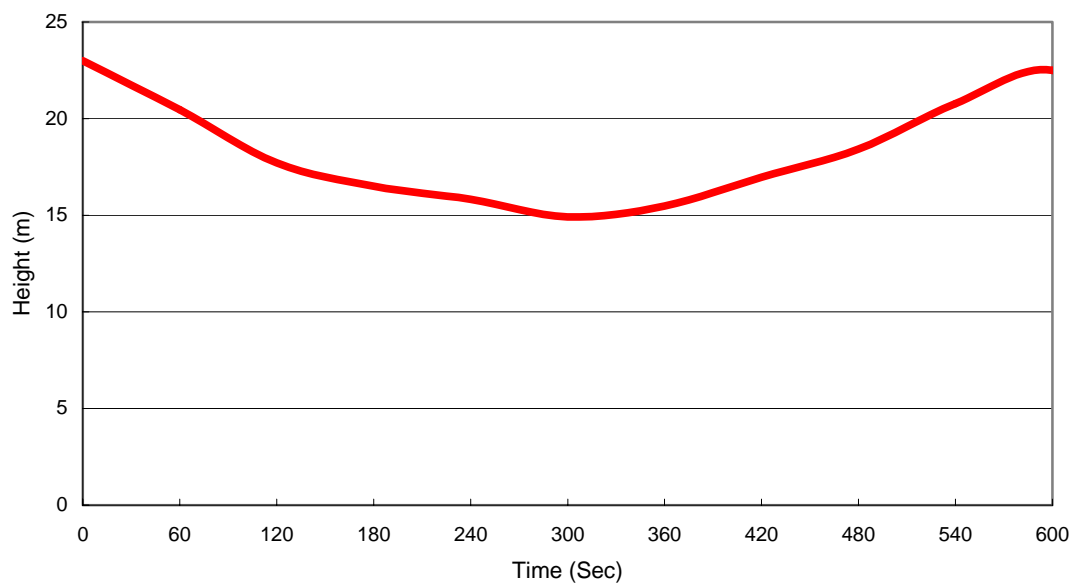


圖 4.2-3 火災規模為 5 MW 且排煙風量為 8 ACH 之煙沈積速度圖

③實驗結果分析：

由上述之煙沈積速度圖與觀察火場之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟補氣口以及排煙風機後，煙層高度往上升，煙層最低點約離地面 15 公尺。

由於本項實驗之排煙風量比前項實驗之 6 ACH 為多，故其煙控性能亦比較優異。

第三節 性能式機械排煙實驗小結

大空間建築內部蓄煙區之設計，其作用除了能減緩煙層下降速度以外，更可提供機械排煙口有利的煙控性能，而於火災發生時，最先發揮作用之煙控策略，提供人員早期避難之需。

於大空間建築發生火災時，無論利用頂部蓄煙或機械排煙，皆必須於底部加以補氣（Makeup Air），以便造成推拉（Push-Pull）之有效氣流組織，才能達到最佳煙控策略。此時，外氣補氣量與補氣位置，便成為設計煙控系統時極重要之考量。

而本案性能式之全尺度實驗設計，則選擇 6 ACH 與 8 ACH 兩種排煙量。於 6 ACH 之排煙量下，約需提供 2,500 cmm 之風量，而 8 ACH 則約需提供 3,333 cmm 之風量。

亦即進行全尺度實驗時，貓道上方之機械排煙系統與軸流式排煙風機，皆需一起開啟，才能達到所需排煙風量。

由全尺度實驗所得之煙沈積速度圖與觀察火場錄影帶得知，當排煙風量為 6 ACH 時，可提供較條例式全尺度實驗結果，更好之煙控性能。亦即使得本全尺度實驗場地之 6 樓走道區，於開啟排煙風機與補氣口後，較條例式更快恢復供人員安全避難之能見度。

而當排煙風量為 8 ACH 時，可提供最佳之煙控性能。亦即使得本全尺度實驗場地之 6 樓走道區，於開啟排煙風機與補氣口後，最快恢復供人員安全避難之能見度。

第五章 結論與建議

第一節 火災煙控全尺度實驗結論

一、條例式機械煙控系統火災全尺度實驗

A. 排煙風機轉速校正實驗之結果分析

本研究於進行正式機械煙控系統火災全尺度實驗前，將進行排煙風機轉速校正實驗，以了解排煙風機轉速與排煙風量之關係。本排煙風機轉速校正實驗之原理，為在某排煙風機轉速下，於排煙口量測其風速，再換算成風量，可得風機轉速與排煙風量之關係。

本實驗場地之樓地板面積約為 1091 m^2 ($22.5 \text{ m} \times 48.5 \text{ m}$) 當進行條例式設計之機械排煙系統火災全尺度實驗時，其所需之法規規定排煙風量為 1091 cmm 。故當機械排煙風機之轉速開至 30 Hz 時，亦即約可提供 1190 cmm 之排煙風量，相當於法規規定值。

因此，本案遂以風機轉速 30 Hz 作為性能式與條例式設計之排煙風量分野。 30 Hz 以上為性能式設計之排煙風量，而 30 Hz 以下為條例式設計之排煙風量。

B. 排煙風量為 $1 \text{ cmm}/\text{m}^2$ 之全尺度實驗結果分析

本項實驗為符合條例式法規規定設計之實驗項目。經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定之煙沈積速度圖，與火場觀察之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟排煙風機與補氣口，煙層高度逐漸往上升。

本實驗項目火源大小為 3 MW 、 4 MW 、與 5 MW 時，由全尺度實驗結果可得，依照條例式法規規定之機械排煙系統，仍可達到某一程度

之性能，保障人身安全。

C. 排煙風量為 0.7 cmm/m^2 之全尺度實驗結果分析

本項實驗為不符合條例式法規規定設計之實驗項目，其排煙風量低於法規值。經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定之煙沈積速度圖，與火場觀察之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟排煙風機與補氣口，煙層高度逐漸往上升。

本實驗項目火源大小為 3 MW、4 MW、與 5 MW 時，由全尺度實驗結果可得，由於本項實驗之排煙風量小於現行條例式法規之規定值，因此其煙控性能與先前合乎法定值之實驗結果比較，降低許多。

二、性能式機械煙控系統火災全尺度實驗與分析

A. 排煙風量為 6 ACH 之全尺度實驗結果分析

本實驗項目為性能式設計之實驗項目，排煙風量為 6 ACH。經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定之煙沈積速度圖，與火場觀察之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟排煙風機與補氣口，煙層高度逐漸往上升。

本實驗項目火源大小為 3 MW、4 MW、與 5 MW 時，由全尺度實驗所得之煙沈積速度圖與觀察火場錄影帶得知，當排煙風量為 6 ACH 時，可提供較條例式全尺度實驗結果，更好之煙控性能。亦即使得本全尺度實驗場地之 6 樓走道區，於開啟排煙風機與補氣口後，較條例式更快恢復供人員安全避難之能見度。

B. 排煙風量為 8 ACH 之全尺度實驗結果分析

本實驗項目為性能式設計之實驗項目，排煙風量為 8 ACH。經由熱電耦儀器樹與數據存取記錄器所收集的火場溫度數據，利用 N 百分比法進行煙層之判定之煙沈積速度圖，與火場觀察之錄影帶得知，本項實驗於點火後 90 秒開啟排煙風機與補氣口，煙層高度逐漸往上升。

本實驗項目火源大小為 3 MW、4 MW、與 5 MW 時，而當排煙風量為 8 ACH 時，可提供最佳之煙控性能。亦即使得本全尺度實驗場地之 6 樓走道區，於開啟排煙風機與補氣口後，最快時間內恢復供人員安全避難之能見度。

三、條例式與性能式設計全尺度實驗結果之比對分析

本研究計畫已完成上述兩項條例式與性能式之機械煙控系統火災全尺度實驗後，本項工作將進行結果之比對分析。

由條例式與性能式之機械煙控火災全尺度實驗結果分析顯示，條例式法規為火災煙控系統設計最基本之要求（Minimum Requirement）。亦即，建築物之火災煙控系統，基本上，按照條例式法規來進行設計的話，萬一發生火災時，應可發揮一定之煙控性能。尤其是對居室型之建築物而言，非常適合採用條例式設計。

但對於具備大空間之建築物而言，若採用條例式設計，因並未考量大空間建築之蓄煙能力、導引之空氣量、補氣口設計等等，對於機械煙控系統性能有所影響。因此，大空間建築之機械煙控系統若採用性能式設計，不僅能確保人身安全，更能增進煙控系統性能，實是最佳之設計方式。

於本案條例式自然煙控系統全尺度實驗中，機械排煙風量有 1 cmm/m²、0.7 cmm/m² 等二種。由實驗結果顯示，於相同火災強度下，火災發生初期至自然排煙口開啟之間，其煙沈積速度大致相同。但經開啟排煙風機與補氣口後，其濃煙排出之性能有顯著差異，亦即所能維持之淨高有所不同。

於本案性能式自然煙控系統全尺度實驗中，機械排煙風量有 6 ACH、8 ACH 等二種。由實驗結果顯示，於相同火災強度下，火災發生初期至排煙風機與補氣口開啟之間，其煙沈積速度大致相同。但經開啟排煙風機與補氣口後，呈現比條例式設計更明顯之機械排煙性能。

第二節 建 議

根據本案機械煙控系統全尺度實驗結果分析，提出下列有關性能式設計之建議，以提供日後進行大空間建築機械煙控系統設計之重要參考依據。

1. 於進行大空間建築機械式煙控系統設計時，為順應濃煙往上竄升之特性，其機械排煙口位置，愈接近大空間頂部位置時，其機械煙控性能愈能發揮其作用。

另外，機械排煙口亦需配合大空間建築頂部蓄煙空間而設置，亦即機械排煙口需在蓄煙空間之內，才能有效將煙排出。

2. 本案全尺度實驗場地之機械排煙口位置，雖位於建築最頂處，但由於頂部貓道之設置，濃煙無法直接往機械排煙口排出，對於機械煙控性能稍有影響。
3. 有關補氣口之設計，於我國目前條例式法規中並未說明。但在進行性能式之機械煙控系統設計時，補氣口之位置與大小，為影響煙控性能之重要因素之一。機械排煙口之啟動排煙，並配合補氣口之開啟，能形成 Push-Pull 之良好氣流組織，而導引濃煙往自然排煙口排出。因此，除有足夠面積之自然排煙口設計外，亦要搭配補氣口之設計，才能提升整個自然煙控系統之性能，確實保障人身安全。
4. 經由本案實驗結果得知，機械排煙口與補氣口開啟時機之快慢與否，往往是影響機械煙控性能之重要因素之一。

是故，若能於大空間建築內部裝置可較早偵知火災之探測器，如光電式分離型煙探測器、VESDA 等等。則可儘早偵知火災發生，而連動機械排煙口與補氣口之開啟。

5. 除了上述裝置可較早偵知火災之探測器外，亦可於大空間建築之底層裝置有效之自動滅火設備，如大型放水槍、大 K 值之撒水頭等等。則可於火災發生初期，將火災撲滅，或壓制火勢至較小之火災強度，降低其發煙量，此亦可對機械排煙性能有所助益。

6. 由於機械排煙系統運用到大量之機械設備，如排煙風機、機械排煙口之閘門（Damper）、控制系統、與緊急電源等等，較自然排煙系統複雜且龐大。是故，需要定期之保養與維修，才可於緊急火災時，正常運作發揮效果。

參考文獻

中文部分

1. 楊冠雄，2003，「大空間建築自然煙控設計之全尺度實驗與驗證」，內政部建築研究所專題研究計劃報告。
2. 楊冠雄，2000，「挑空中庭及大型開闊空間建築物煙控技術規範之研究」，內政部建築研究所專題研究計劃報告。
3. 楊冠雄，1999，「建築物空調系統與煙控併用系統性能評估與設計準則」，內政部建築研究所專題研究計劃報告。
4. 楊冠雄，1998，「高層建築火災之壓力煙控系統分析」，內政部建築研究所專題研究計劃報告。
5. 楊冠雄，1997，「建築物火災時煙控系統運轉策略分析」，內政部建築研究所專題研究計劃報告。
6. 楊冠雄，1996，「建築物自然式煙控制系統之研究」，內政部建築研究所專題研究計劃報告。
7. 楊冠雄，1995，「建築物火災時煙流動特性之研究」，內政部建築研究所籌備處專題研究計劃報告。
8. 楊冠雄，1996，「建築物防火之煙控設計分析」，復文書局。

外文部分

1. J.H. Klote & J.A. Milke, 2002, "*Design of smoke management systems*", ASHRAE Inc., Atlanta.
2. NFPA 92B, 2000, "*Guide for Smoke Management Systems in Mall, Atria, and Large Areas*".
3. Building Research Establishment, 1994, "*Design Approaches for smoke Control in atrium Buildings*".