

統一編號

002244870184

緊急昇降梯及特別安全梯梯間排煙設備之研究

## 內政部建築研究所專題研究計畫成果報告

研究案：建築物火災排煙設計應用

研究案編號：MOIS 871006

計畫名稱：建築物防火性能檢驗測試及應用研究計畫(5/5)

執行期間：86年7月1日至87年6月30日

緊急昇降梯及特別安全梯梯間排煙設備之研究

計畫主持人：鍾基強

主辦單位：內政部建築研究所

執行單位：中華民國建築學會

中華民國八十七年六月

內政部建築研究所

# 緊急升降梯及特別安全梯梯間 排煙設備之研究

## 摘要

緊急升降機及特別安全梯排煙設備，最主要能在發生火災時進行排煙功能，保障人員逃生或幫助消防人員進行救災，避免濃煙或有毒氣體之侵害。本研究針對高層建築垂直通道進行煙控系統研究，收集各國有關升降機及安全梯防排煙設備之法規，探討升降機及安全梯排煙設備之功能及需求。

本研究將排煙分為強制排煙與自然排煙兩部份，進行理論分析研究，建立不同條件下適當的排煙系統模式；防煙系統方面則利用緊急升降機及特別安全梯梯間送風加壓，阻止煙流進入逃生通道。

緊急升降機及特別安全梯排煙設備為建築物不可或缺的設備，在火場致人於死的往往是煙而不是火，有效的煙控系統，是利用排煙及防煙進行系統設計，減少濃煙擴散，加速排煙，達到避難及救災的要求。

關鍵字：煙控，排煙設備，緊急升降機，特別安全梯。

# **THE STUDY OF SMOKE MANAGEMENT EQUIPMENT FOR EMERGENCY ELEVATOR AND STAIRWELL**

## **ABSTRACT**

The smoke management equipment of emergency-elevator and stairwell primarily can exhaust smoke when a building is on fire, and ensure people survive from fire or help fireman rescue, avoiding the invasion of smoke or poisonous gas. The study investigated in the smoke control system in the vertical passage of high-rise building, collects the regulations of smoke management equipment about the emergency-elevator and stairwell and studies the functions and demands of emergency-elevator and stairwell.

The study divides the smoke-exhaust into two parts, mechanical smoke exhausted and natural smoke exhausted systems. The theoretical analysis creates the appropriate smoke exhausted system models under various conditions. Using pressuring in the stair and elevator lobby the smoke control system prevents smoke into the emergency passage.

The smoke management equipment of emergency-elevator and stairwell are essential equipment for building. Causing death is smoke, not fire in a fire. The effective smoke control system is conducted into a system design by using smoke exhausted systems. This system can reduce the smoke diffusion, accelerate the smoke exhaust, and achieve the requests of refuge and rescue.

Keywords: smoke control, smoke management equipment, emergency-elevator, stairwell.

# 目 錄

## 第一章 緒論

1-1 計畫緣起與研究目的

1-2 研究內容與流程

## 第二章 各國與緊急升降梯及特別安全梯梯間排煙設備相關法規

2-1 我國法規

2-2 日本法規

2-3 中國大陸法規

2-4 美國法規

2-5 紐西蘭法規

2-6 小結

## 第三章 垂直管道中煙流動物理模式分析

3-1 煙流物理模式解析

3-2 梯間排煙模式

3-3 煙囪效應理論分析

3-4 火場中煙囪效應對煙流之影響

3-5 浮力效應

3-6 小結

## 第四章 機械式煙流動態模式分析

4-1 基本煙流方程式

4-2 電腦模擬分析

4-3 實驗驗證

4-4 小結



## 第五章 梯間自然排煙模式分析

5-1 高層建築之風速與風壓

5-2 風壓作用對自然排煙之影響

5-3 實例計算

5-4 建議

## 第六章 緊急昇降梯梯間正壓化分析

6-1 緊急昇降梯梯道間正壓化系統

6-2 正壓化系統分析

6-3 昇降梯車廂的移動分析

6-4 梯間壓力差分析

6-5 實例模擬計算

6-6 結果與建議

## 第七章 安全梯梯間加壓防煙之可行性評估

7-1 安全梯間送風加壓系統探討

7-2 安全梯梯間煙控壓力分析

7-3 安全梯梯間防火門與煙控壓力比較分析

## 第八章 結論與建議

## 參考文獻

# 第一章 緒 論

## 1-1 計畫緣起與研究目的

在超高層建築競向高空發展之際，同時也成了現代社會向世人炫耀的象徵。台灣在近年來經濟的長足發展下，社會繁榮，超高層建築如雨後春筍般的紛紛建造，形成了各都市高樓大廈林立的局面。例如：台北樓高 51 層的新光大樓，樓高 43 層的遠東國際大飯店，台南火車站附近樓高 40 層的良美大樓，高雄樓高 50 層的長谷世貿及未來計劃於 2004 年落成於高雄市樓高 103 層的亞洲廣場。這些都指出了台灣正朝向都市「高空化」的發展階段。然而令人憂心的事，一旦發生了無法抗拒的火警時，則置身超高層建築物中的人員該何去何從，況且火場中的主要致命物—有毒氣體，在受熱後便往上竄，此舉更是造成了人員的逃生及消防人員救災行動的困擾。根據國外相關資料統計，火災中因吸入有毒氣體致死的比例佔 59%，因火場致死的佔 28% 其它佔 12%。台灣近年來室內裝潢所選用的不燃材料或難燃材料，雖然都是減少火災傷亡及財物損失的好選擇，但這些建材卻會在受熱後釋放出有毒氣體及濃煙，即使是經過耐燃處理，可防止微火源的發生，但是，經過火場高溫的熱侵襲後，其燃燒生成物卻更具毒性。有鑑於此，超高層建築在防止火源擴大的同時，也需配備有完善的防火煙控設施，如此才能在火警發生之後儘量將人員傷亡及財物損失減到最低。

無論對建築物內部之避難逃生人員或進入火場進行搶救活動之消

防人員而言，煙乃火場中之第一殺手，火場中之傷亡人員，多受濃煙、毒煙之侵害，因此，防煙、排煙對策遂成了建築防火避難設計上最重要之一環。在火災發生時煙之流動常無法完全掌控，在某些人為疏忽下(如防火安全門未關閉)，濃煙會因高溫膨脹效應快速向低壓區流竄，甚至會佈滿逃生安全梯或進入緊急昇降梯間使逃生者逃生困難或消防隊員救災工作無法進行。

建築物火災時，一般為便於雲梯車之延伸操作，消防隊多會聯繫電力公司人員將該建築物附近電源切斷；在斷電狀況下，消防人員之搶救活動及受困人員逃生行動，如利用一般昇降機進行則是相當危險之事，因此在火災發生時，一般用昇降機是禁止使用的，然而，在高層建築物發生火災時，雲梯車又因其物理，機械性之界限，雲梯車不能伸及搶救或因建築物高度不適合設置「避難器具」供受困人員自力逃生之情形下，此類供多數人出入之超高層建築物，其本身在設計階段便應提供適當之安全設備，如「緊急用昇降機」以克服救災之缺陷。而緊急用昇降機不僅可基於火災初期之滅火需要協助消防隊員將必要滅火設備搬運至高層以節省時間及消防隊員之體力，同時也可於第一時間進行搶救，另外對於建築物高層部份不易從外部進入搶救之內部空間，也可由緊急用昇降機進行救災及人員逃生之用。

由上述所知建築物內之逃生避難通道「特別安全梯」及與作為消防隊員滅火搶救活動據點之「緊急用昇降梯」為建築物火災發生時，相當

重要的避難系統及安全救人設備，因此於我國建築技術規則及消防法規內皆訂有此類設備皆應有排煙設備，其目的就是防止火災發生時濃煙進入該空間內以阻礙救災及逃生的路徑。所以特別安全梯及緊急昇降機間之排煙設備及排煙系統設計，規劃，運作為安全，防災計畫中不可或缺之部份。

特別安全梯及緊急昇降機間之排煙對策主要目的在防止濃煙進入梯間之前室，此排煙前室，不論是特別安全梯或緊急昇降機單獨使用或共用皆需有自然式或機械式之排煙設備以利濃煙之排放，因此在探討「特別安全梯」及「緊急昇降機」梯間之排煙設備時需將排煙設備功能及效率與排煙前室之排煙特性一併考慮，以收最佳之排煙效果，否則有好的排煙設備而排煙前室之進氣／排氣功能無法配合，或排煙前室設計無問題，而是排煙設備效率低落，如風量不足，開口面積不符合規定等，皆會導致排煙效果大打折扣，而使濃煙無法完全排除，隨處亂竄，經快速累積後終導致濃煙瀰漫於逃生及救災路徑中，造成無法挽回之重大傷亡。

## 1-2 研究內容與流程

在火災不幸發生時，消防人員救災速度往往是決定人員傷亡多寡之最主要因素。而在高層大樓災害時，消防人員及須在最短時間內達到救災樓層，此時緊急昇降梯之使用是必需的，否則以步行方式背負相當重量之滅火設備達到救災樓層時，可能已身心俱疲，而且緩不濟急，所以維持緊急昇降梯於火災發生時之正常運作是相當重要的，除了需俱備緊急備用升降發電機組外對升降梯道間之排煙控制設備及技術更是不可或缺的。

我們瞭解，當火災發生時，高壓高溫有毒之煙霧會隨著氣流壓力流動，由高壓區往低壓區流竄，根據我國建築技術規則第 102 條規定緊急升降梯及特別安全梯梯間須有通風排煙設備，但對於使用條件及技術無深入探討。例如，何種時機採用強制排風，或自然排風較恰當，多少樓層以上之排風是否須要調整，特別安全梯與緊急升降梯附室之正，負壓與排風系統之關係等並未說明，因此經由本計畫之實施，針對上述之各項問題進行探討研究，以發揮緊急升降梯消防人員救災與特別安全梯人員逃生通道之功能。

另外，本計畫希望藉由緊急昇降梯與特別安全梯梯間排煙設備及系統設計之理論研究出發探討相關消防法規是否有調整之必要性。但消防法規調整或修訂應有理論基礎為依據並謹慎評估後為之。因此本研究計畫收集，整理，分析，比較各國消防法規中有關緊急昇降梯與特別安全

梯間排煙設備之相關條例，以擷長補短，吸收別人的優點及經驗，避免錯誤的發生。同時由理論架構出發，以電腦程式對緊急昇降梯及特別安全梯梯間排煙模式進行模擬，以瞭解在各種不同物理條件及不同建築物之情況下緊急昇降梯及特別安全梯梯間之最適當排煙方法及設備，以做為法規調整修訂之理論依據，本研究計畫詳細的研究架構及流程如圖 1-1 所示。

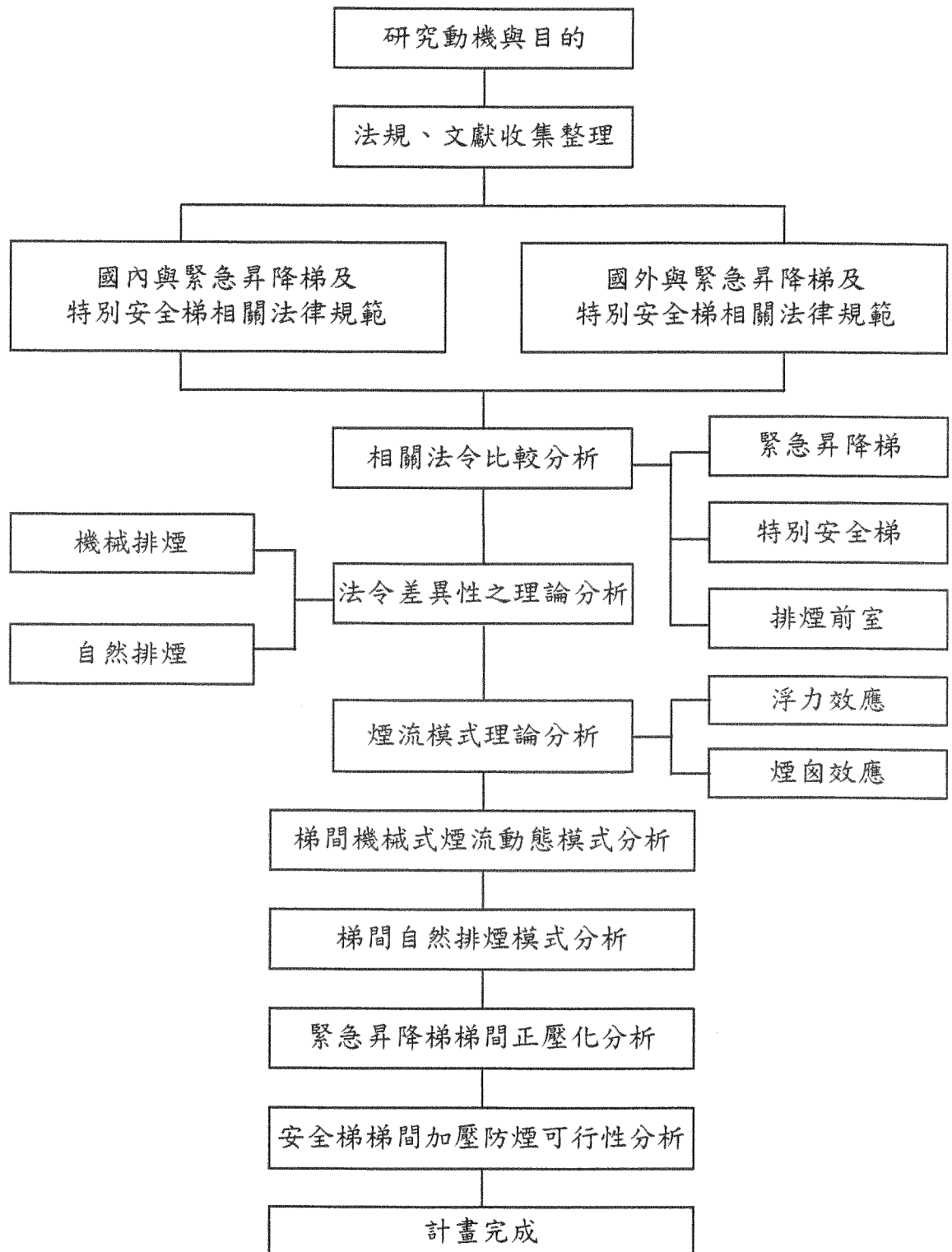


圖 1-1 研究計畫流程圖

## 第二章 各國與緊急昇降梯及特別安全梯梯間排煙設備相關法規

本計畫為了瞭解各先進國家有關緊急昇降梯及特別安全梯梯間排煙設備設置及排煙功能的規定，本計畫進行收集比較各國相關之法規內容加以比對其差異性，以作為建立我國本土化相關法規與設計規範之參考依據。

### 2-1 我國法規

我國目前對於排煙設備之相關法則，大致有兩個方面。

#### (一)建築法令方面：

依據建築法，建築技術規則而來。而與排煙設備有關的條文為建築技術規則施工編第 100 條～第 102 條。其主要說明應設置排煙設備之建築物，排煙設備之構造，緊急昇降機間及特別安全梯進風排煙設備。

#### (二)消防法令方面：

依據消防法，消防法施行細則，各類場所消防安全設備設置標準而來。而與排煙設備有關的條文為各類場所消防安全設備設置標準第 188 條～第 190 條。其主要說明應設及免設排煙設備之場所，排煙設備設置規定，特別安全梯及緊急升降機間之排煙設備。在上面兩法規方面，各類場所消防安全設備設置標準，主要是根據建築技術規則中有關消防設



備消防安全及規則所訂定更詳細的標準。

緊急用昇降機之設置標準依建築技術規則施工篇第 106 條設置，其構造說明見第 107 條之規定。特別安全梯之設置依建築技術規則施工篇第 96 條設置，其安全梯之構造見第 97 條說明。特別安全梯間或緊急昇降機間之排煙設備依建築技術規則施工編（第 102 條）及各類場所消防安全設備設置標準（第 190 條）規定選擇設置。說明如下：

(1)設置可開向戶外之窗戶：採自然排煙如表 2-1 所示。

表 2-1 設置可開向戶外窗戶之設備規範

	特別安全梯 之排煙室	緊急昇降機 之排煙室	兼用排煙室
窗之有效開口面積	2 m <sup>2</sup> 以上	2 m <sup>2</sup> 以上	3 m <sup>2</sup> 以上
窗之高度	天花板高度 1/2 以上範圍內。		
窗之材料	與煙接觸部份，均應以不燃材料建造。		
手動開關裝置	操作部份應設於距離樓地板面 80 公分以上，150 公分以下之牆面，並標示簡易之操作方式。		

(2)設置排煙、進風管道：採自然排煙、或機械排煙如表 2-2 所示。

表 2-2 設置排煙進風管道之設備規範

	特別安全梯 之排煙室	緊急昇降梯 之排煙室	兼用排煙室
進風口之開口面積	1 m <sup>2</sup> 以上	1 m <sup>2</sup> 以上	1.5 m <sup>2</sup> 以上
進風管道斷面積	2 m <sup>2</sup> 以上	2 m <sup>2</sup> 以上	3 m <sup>2</sup> 以上
排煙口之開口面積	4 m <sup>2</sup> 以上	4 m <sup>2</sup> 以上	6 m <sup>2</sup> 以上
排煙管道斷面積	6 m <sup>2</sup> 以上	6 m <sup>2</sup> 以上	9 m <sup>2</sup> 以上
排煙機之風量	4m <sup>3</sup> /sec 以上	4m <sup>3</sup> /sec 以上	6m <sup>3</sup> /sec 以上
進風口之設置	天花板高度 1/2 以下範圍內，應直通連接戶外之進風管道。		
排煙口之設置	天花板高度 1/2 以上範圍內，應直接連通排煙管道。		
排煙管道	應垂直裝置，其頂部應直接通向戶外。		
排煙設備之材料	與煙接觸部份，均應以不燃材料建造。		
手動開關裝置	操作部份應設於距離樓地板面 80 公分以上，150 公分以下之牆面，並標簡易之操作方式。		
進風口與排煙口	應設置手動開關裝置或偵煙式探測器連動開關裝置，平時保持關閉狀態，開口葉片及受開啟時所生氣流之影響而關閉。		

## 2-2 日本法規

日本「建築基準法施行令」建築法規中，有關排煙設備列於第五章避難施設第三節排煙設備及第 126 條之二及三，主要說明排煙區劃部份，排煙設備設置規定，及排煙設備構造等。緊急用昇降機及特別安全梯之排煙設備，依建築基準法施行令第 123 條，第 129 條之 13-3，昭和 44 年建設省告示第 1728 號，昭和 45 年建設省告示第 1833 號等規定，應設下列部份：

- (1) 緊急昇降機之候機間
- (2) 特別安全梯之附室

緊急用昇降機及特別安全梯之排煙設備如下說明：

1. 排煙設備可採用自然排煙或機械排煙方式。
2. 自然排煙方式，有直接開向屋外之窗戶方式及煙塔方式二種。

(1)自然排煙方式如表 2-3 所示。

表 2-3 自然排煙方式及規範

	特別安全梯 之排煙室	緊急昇降機 之排煙室	兼用排煙室
窗戶有效開口面積	2 m <sup>2</sup> 以上	2 m <sup>2</sup> 以上	3 m <sup>2</sup> 以上
窗戶安裝高度	天花板或牆壁之上半部(天花板高度 1/2 以上)。		
窗戶之開啟裝置	手動開啟裝置，距樓板面， $0.8\text{m} \leq h \leq 1.5\text{m}$ ，應以容易瞭解方式表示其使用方法。		
窗戶之材料	與煙接觸部份應使用不燃材料。		

(2)煙塔排煙方式如表 2-4 所示。

表 2-4 煙塔排煙方式及規範

	特別安全梯 之排煙室	緊急昇降梯 之排煙室	排煙室兼昇降間
給氣口之開口面積	1 m <sup>2</sup> 以上	1 m <sup>2</sup> 以上	1.5 m <sup>2</sup> 以上
給氣風管之斷面積	2 m <sup>2</sup> 以上	2 m <sup>2</sup> 以上	3 m <sup>2</sup> 以上
排煙口之開口面積	4 m <sup>2</sup> 以上	4 m <sup>2</sup> 以上	6 m <sup>2</sup> 以上
排煙風管之斷面積	6 m <sup>2</sup> 以上	6 m <sup>2</sup> 以上	9 m <sup>2</sup> 以上
材 質	排煙口、排煙風管、給氣口、給氣風管，及其他與煙接觸之排煙設備部份，應採不燃材料製。		
排煙口手動開放裝置之安裝位置	距樓地板面高 0.8 ~ 1.5m。標示清楚使用方法，自天花板垂下之手拉裝置，其高度應為 1.8m。		
排煙口之安裝高度	天花板或牆壁之上半部(以天花板高 1/2 以上部份做為該開口之下緣)。		
給氣口之安裝高度	天花板或牆壁之上半部(以天花板高 1/2 以下部份做為該開口之上緣)。		
給氣風管	應直接連通外氣。		
排煙風管	應垂直設置，其最上部應直接開放與外氣連通。		

(3)機械排煙方式如表 2-5 所示。

- (1) 排煙機應為單獨系統，不得與其他排煙設備兼用。
- (2) 排煙機之排煙量，如下表所示數值乘以 1.1 之餘裕值。

表 2-5 機械排煙方式及規範

	特別安全梯 之排煙室	緊急昇降梯 之排煙室	兼用排煙室
給氣口之開口面積	1 m <sup>2</sup> 以上	1 m <sup>2</sup> 以上	1.5 m <sup>2</sup> 以上
給氣風管之斷面積	2 m <sup>2</sup> 以上	2 m <sup>2</sup> 以上	3 m <sup>2</sup> 以上
排煙機風量	4m <sup>3</sup> /sec 以上	4m <sup>3</sup> /sec 以上	6m <sup>3</sup> /sec 以上
排煙口之開口面積	$a = \frac{Q}{V}$ Q=排煙量 V=吸入風速 10m/sec 以下		
排煙風管	風速應為 20m/sec 以下，應為專用風管。		
材 質	排煙口、排煙風管、給氣口、給氣風管，及其他與煙接觸之排煙設備部份，應採不燃材料製。		
排煙口手動 開放裝置之 安裝位置	距樓地板面高 0.8 ~ 1.5m。標示清楚使用方法，自天花板垂下之手拉裝置，其高度應為 1.8m。		
排煙口之安 裝高度	天花板或牆壁之上半部(以天花板高 1/2 以上部份做為該開口之下緣)。		
給氣口之安 裝高度	天花板或牆壁之上半部(以天花板高 1/2 以下部份做為該開口之上緣)。		

日本建築法規在緊急昇降機及特別安全梯之排煙設備上，提供了三種方式：自然排煙，煙塔及機械排煙等。主要的差別部份為設有附室，附室為走廊與樓梯間之附帶空間做為防排煙之緩衝地帶。

## 2-3 中國大陸法規

依據中國大陸「高樓民用建築設計防火規範」GB50222-95 對於特別安全梯(疏散樓梯)及緊急昇降機(消防電梯)之排煙設備有下列說明：

- (1) 特別安全梯間入口處應有前室，陽台或凸廊。
- (2) 緊急昇降機間應設前室。其面積如表 2-6 所示。

表 2-6 疏散樓梯間及消防電梯間前室面積

	疏散樓梯間 前室面積	消防電梯間 前室面積	防煙樓梯與消防 電梯合用前室
居住建築	4.5 m <sup>2</sup> 以上	4.5 m <sup>2</sup> 以上	6 m <sup>2</sup> 以上
公共建築	6 m <sup>2</sup> 以上	6 m <sup>2</sup> 以上	10 m <sup>2</sup> 以上

有關特別安全梯間及其前室，緊急昇降機間的排煙設備有下列兩種形式：自然排煙及機械防煙。

### 1. 自然排煙方式（如表 2-7）：

除建築高度超過 50m 的一類公共建築和建築高度超過 100m 的居住建築外，靠外牆的特別安全梯間及其前室，緊急昇降機之昇降間和合用前室，宜採用自然排煙。

表 2-7 自然排煙方式及規範

	防煙樓梯間前室	消防電梯前室	合用前室
可開啟外窗面積	2 m <sup>2</sup> 以上	2 m <sup>2</sup> 以上	3 m <sup>2</sup> 以上
排煙窗位置	宜設置在上方，並有方便開啟的裝置		

2. 機械防煙方式：

(1) 下列部份應設獨立的機械加壓送風防煙設施。

- a. 不具備自然排煙條件的防煙樓梯間，消防電梯間前室或合用前室。
- b. 採用自然排煙措施的防煙樓梯間，其不具備自然排煙條件的前室。
- c. 封閉避難層。

(2) 高樓建築防煙樓梯間及其前室，合用前室和消防電梯前室的機械加壓送風量應由計算確定，或按表 2-8，2-9，2-10 及 2-11 之規定當計算值與表不一致時，應按兩者中較大值確定。

a. 防煙樓梯間(前室不送風)的加壓送風量(如表 2-8)。

表 2-8 防煙樓梯(前室不送風)加壓送風量

系統負擔樓數	加壓送風量(m <sup>3</sup> /h)
<20 層	25000 ~ 30000
20 層 ~ 32 層	35000 ~ 40000



b. 防煙樓梯及其合用前室的分別加壓送風量（如表 2-9）。

表 2-9 防煙樓梯及其合用前室加壓送風量

系統負擔樓數	送風部位	加壓送風量(m <sup>3</sup> /h)
<20 層	防煙樓梯間	16000 ~ 20000
	合用前室	12000 ~ 16000
20 層 ~ 32 層	防煙樓梯門	20000 ~ 25000
	合用前室	18000 ~ 22000

c. 消防電梯前室的加壓送風量（如表 2-10）。

表 2-10 消防電梯前室的加壓送風量

系統負擔樓數	加壓送風量(m <sup>3</sup> /h)
<20 層	15000 ~ 20000
20 層 ~ 32 層	22000 ~ 27000

d. 防煙樓梯間採用自然排煙，前室或合用前室不具備自然排煙條件時的送風量（如表 2-11）。

表 2-11 前室或合用前室的加壓送風量

系統負擔樓數	加壓送風量(m <sup>3</sup> /h)
<20 層	22000 ~ 27000
20 層 ~ 32 層	28000 ~ 32000

以上各表按開啟  $2\text{m} \times 1.6\text{m}$  的雙扇門計算，當採用單扇門時，其用量可乘以 0.75 係數計算，當有 2 個或 2 個以上出入口時，其風量應乘以 1.5 ~ 1.75 係數計算。開啟門時，通過門之風速不宜小於  $0.75\text{m/s}$ 。層數超過 32 層的高層建築，其送風系統及送風量應分段設計。其中機械加壓送風的防煙樓梯間和合用前室，宜分別獨立設置送風系統，當必須共用一個系統時，應在通向合用前室的支風管上設置壓差自動調節裝置。機械加壓送風機的全壓，除計算最不利的管道損失外，尚應有餘壓，餘壓值應符合表 2-12 要求。

表 2-12 防煙樓梯間及前室之餘壓值規範

	防煙樓梯間	前室、合用前室、 消防電梯前室
餘壓值	50pa	25pa
加壓送風口	每二至三層設一個	每層設一個

## 2-4 美國法規

美國法規對於排煙前室並無似日本法規般之詳細規定，但對自然排煙及機械排煙各有其規定，其內容主要參考 National Building code、NFPA 92A 及 NFPA Life Safety code 三種規範。

### A. 有關自然排煙部份：

NFPA 92A 在高層建築規定，每一層樓須有可遙控式直接通戶外之開口或窗，其面積大小至少為  $1.85 \text{ m}^2$ ，開口與開口之間隔不得超過  $15.24\text{m}$ 。而 NFPA Life Safety code 則規定開口大小為  $1.5 \text{ m}^2$  以上，且在外牆上面臨至少寬  $6.1\text{m}$  以上之外界。

### B. 有關機械排煙部份：

法規中並無詳細規定排煙道或排煙口之面積，也無特別規定其排煙量，其法規將排煙量與排煙設備涵蓋面積同時考慮，以每小時或每分鐘換氣率來表示。舉例說明，如有一  $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$  之排煙前室，則其排煙量應為  $6\text{m}^3/\text{sec}$ ，此值與我國目前所規定之共同排煙前室之排煙機風量類似，但如果為  $1\text{m} \times 1\text{m} \times 3\text{m}$  之排煙前室，則要放大 3 倍排煙量，即為  $18\text{m}^3/\text{sec}$ 。從此可知，此排煙量差異甚大。因此在考慮排煙機排煙量時，似乎須考慮排煙前室之大小，如果以統一排煙量進行排煙較易發生排煙量不足或過大之情況。在 National Building code(BOCA)中規定採機械排煙部分之區域至少要有 6ACH 以上(每十分鐘一個換氣率)，而在 NFPA Life Safety code 中則針對排煙室規定其進氣量不得

小於 60ACH(每分鐘一個換氣率)，排氣量則需為進氣量的 1.5 倍。

C. 升降機梯道間煙控：

其法規規定高層建築內之升降機梯道間內 ( hoistway ) 維持正壓以防止濃煙進入後藉此梯道間快速擴散至其他樓層。

## 2-5 紐西蘭法規

紐西蘭法規與歐美系法規精神相當接近。本小節所探討之紐西蘭法規最主要參考紐西蘭建築法規(New Zealand Building Code)架構下之防火工程設計規範(Fire Engineering Design Guide)。此規範由紐西蘭結構工程學會(New Zealand Structural Engineering Society)與紐西蘭防火協會(New Zealand Fire Protection Association)共同參照紐西蘭建築法規所制訂的。

該防火設計規範對緊急升降梯與特別安全樓梯間排煙設備並無太多著墨之處，原因是在其規範中對於排煙室（前室）、緊急升降梯及特別安全樓梯間皆採用防煙（壓力煙控）之觀念，因此僅需對該區域給予明確的正壓值即可，防止煙由火場區漫延至安全梯及前室區，對於我國法規中規定之排煙口及煙道面積等尺寸，並無需要於壓力煙控系統中設定，其詳細正壓規定值及位置如圖 2-1 所示。

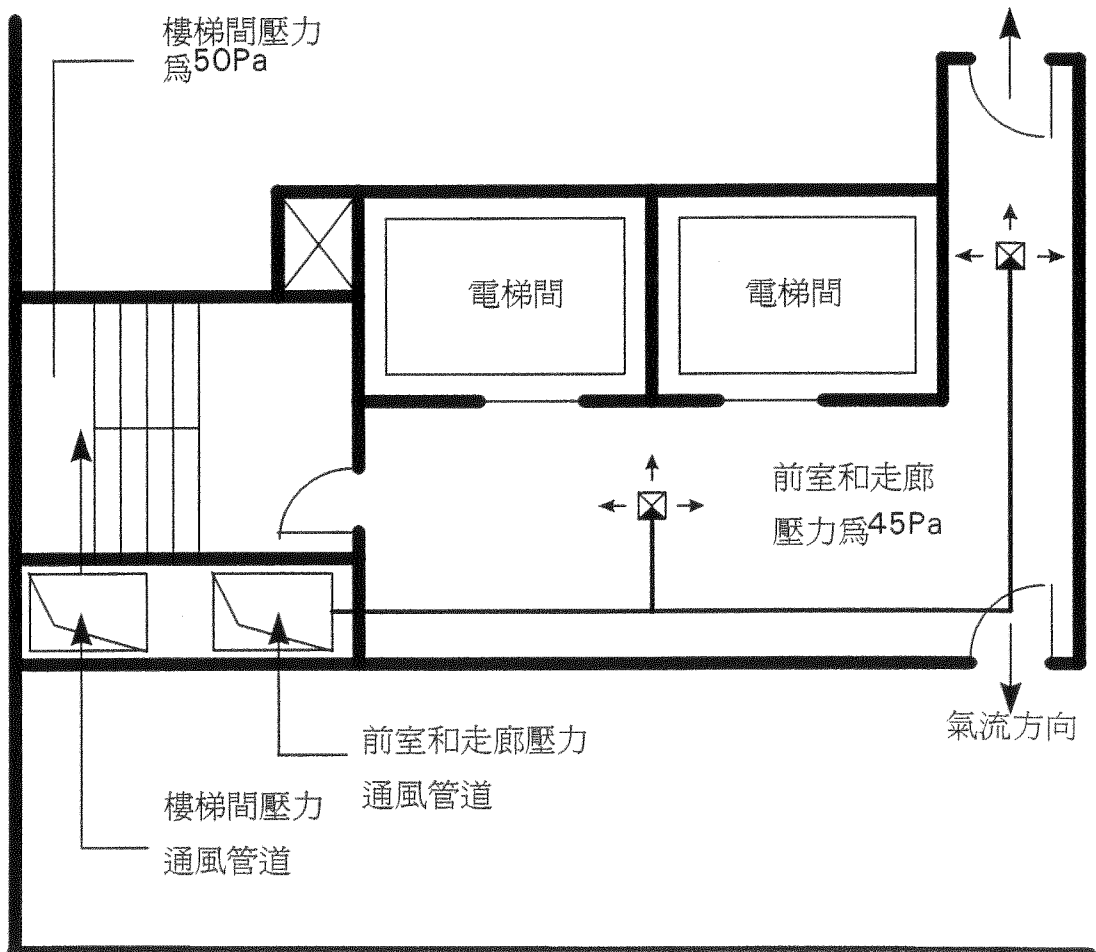


圖 2-1 紐西蘭法規中，樓梯間及前室走廊之加壓值

## 2-6 小結

由以上各國法規分析結果可知，我國有關緊急升降梯與特別安全樓梯間排煙設備各項法規因沿襲於日本，所以與日本採用排煙與防煙並行的策略相當，而美系法規則偏重於防煙煙控的觀念，儘量防止煙進入升降梯與樓梯梯間，甚至於前室加壓以保持逃生、救難路徑的暢通，同時於升降梯梯道內也要求維持正壓，以防止煙進入升降梯梯道內之可能性，以上各點皆是與我國規範較不相同處。

另外，他國法規中有一特色，即是在法規中並無太清楚的細節設計規範，大多是一些設計觀念的說明及定義。詳細的設計規範則由各專業的學術團體或研究機構針對各分門別類的設備及不同類型的建築撰寫設計手冊或規範以供業者參考使用，此點我國政府相關單位似乎因為法規內容無法訂定的太瑣碎，而且許多細節的設計內容也無法以條文式可說明清楚，所以針對特定的設備、材料或系統編寫較技術性的設計手冊，應是可行之方法，此點我國政府相關單位似乎可加以借鏡。

## 第三章 垂直管道中煙流動物理模式分析

### 3-1 煙流物理模式解析

當可燃物燃燒，在周圍形成一帶有高溫煙氣的火炷，若氧氣供給不充份，使物質燃燒不完全，必產生大量的固體微粒，使燃燒熱空氣比重比周圍冷空氣低，所以形成一明顯的上升氣流，隨著上升氣流之移動，使高溫氣流快速大量擴散到每一角落。建築物中火災產生的煙流動有兩個主要因素：

一. 煙本身的流動性，其可分為二項：

1. 煙的浮力：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。
2. 高溫氣體膨脹：由於燃燒所產生的高低使氣體膨脹，當常溫 300k 時體積為 1 倍，而在 600k 時體積即變成 2 倍，在 900k 時體積即變成 3 倍，在 1200k 時體積即變成 4 倍。

二. 建築物內空氣的流動。雖與火災產生之煙無關，但因建築物內空氣的流動，而會將煙送至更遠的地方，可分為三項：

1. 煙囪效應：因建築物內部空氣與室外空氣溫度不同產生壓力差所造成。在建築物內部垂直通路之空氣產生上升或下降的流動，即正煙囪效應(Normal stack effect)或反煙囪效應(reverse stack effect)，這因素取決於建築物之內部空氣比室外空氣溫



度高或低。

2. 風的影響：建築物對風的流動產生不同的變化，在建築物不同方位之開口，因風向關係，便有不同的壓力。當建築物所有門及窗都緊閉時，風的影響便極其輕微，但所有建築物都有或大或小的孔隙，如：門縫、窗縫等，這些孔隙將因風之影響使建築物內部的空氣產生流動。
3. 機械通風系統：由於現有建築物都是密閉空間居多，大都採用空調通系統，尤其中央空調系統通達各樓層，一但某一樓層發生火災，所產生之煙霧，便利用回風與送風風管，將煙傳送到很遠的地方。另一方面，空調系統也正被設計成為煙控的管道，利用防火、防煙檔板(damper)控制煙之流動，使空調系統發揮更大的功用。

綜上所述，建築物內造成煙流動之驅動力大概可分成五類：(1)煙囪效應，浮力，高溫膨脹，風、空調系統等。而此五項影響因素中，與緊急昇降梯及特別安全梯梯間煙流較相關的有煙囪效應與浮力效應。而高溫膨脹效應由於受排煙開口之影響，其壓力差並不顯著，另外風及空調系統在緊急昇降梯及特別安全梯梯間內並無特別之壓力差及設備。對於煙囪效應所考慮的梯間內與外氣之溫度差因台灣地區冬季氣溫並不似北方地區之寒冷，所以此溫度差應界於 $5^{\circ}\text{C}$ 至 $10^{\circ}\text{C}$ 之間。因此浮力為梯間煙流自然流動最主要的驅動力。

### 3-2 梯間排煙模式

火災發生時，一些建築及裝潢材料必伴隨燃燒，產生高溫及有毒氣體，所產生之濃煙因比重比較小使其向上流竄，而使整個建築物災情擴大，故為保障建築物避難人員及消防搶救人員之安全，不受煙之危害，防排煙之設計便十分重要。

一般火災產生之濃煙，其流動路線有二個方向：

1. 室內→走廊→樓梯→上部各層樓。

可利用「防煙門」予以阻擋，但常常是人的避難路線，故「防煙門」不能任意設置，以免形成避難障礙，可加裝「防煙垂壁」進行防煙。

2. 室內→通風管道→上部各室(線路管道)

可利用「防火閘門」，遮斷煙之擴散，防火閘門在使貫穿防火區劃之管道，一但遇熱或煙通過，能自動關閉，以免煙經過管道擴散至各角落。

煙的擴散速度在垂直上升為  $3 \sim 5\text{m/sec}$ ，而人在上下樓梯之速度為  $0.5\text{m/sec}$ ，在水平方面，煙為  $0.3 \sim 0.8\text{m/sec}$ ，人之移動速度為  $1.5 \sim 2.0\text{m/sec}$ ，在垂直方向煙移動速度相當快，為人移動速度  $6 \sim 10$  倍，因此垂直管道(樓梯、昇降機、管道間)為煙之最佳傳播路徑。

垂直空間場所，如樓梯間、電梯機間、管道間等排煙管道、空調管道在火災發生時，很容易成為煙向上傳播之路徑，影響了避難通路及搶救，在這些垂直管道之煙控，應有詳細的考量設計，以便在火災發生時，能夠發揮應有的排煙效果，使避難及搶救不受濃煙之影響。

在排煙方法方面，可分為自然排煙與機械排煙。

(1)自然排煙：利用煙之熱浮力向上升而作排煙。如圖 3-1。

優點：1、不需要使用電源及機械設備。

2、利用熱浮力排煙，簡單、經濟。

缺點：1、排煙效果受開口面積及外界風速、風向影響大。

2、無法將煙聚集，無法防止煙之洩漏。

3、若因空氣對流，反而擴大燃燒。

4、排氣量無法控制。

(2)機械排煙：利用排煙機或送風機進行煙控。如圖 3-2。

優點：1、可將煙聚集，防止煙之擴散。

2、可迅速排煙、穩定。

3、受外界大氣因素影響小。

4、排氣量可控制在一定值。

缺點：1、需使用電源裝置，萬一停電即無法發揮功用。

2、機器設備費用高。

3、因建築物結構之複雜性，裝置位置及設備性能需仔細考慮。

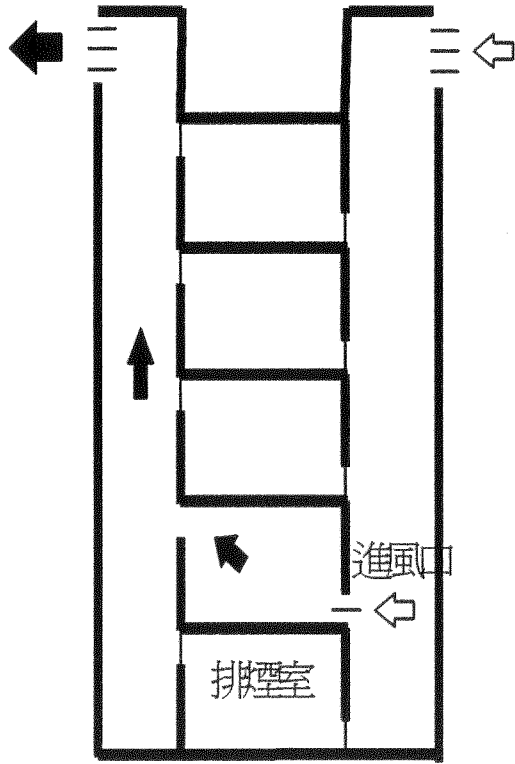
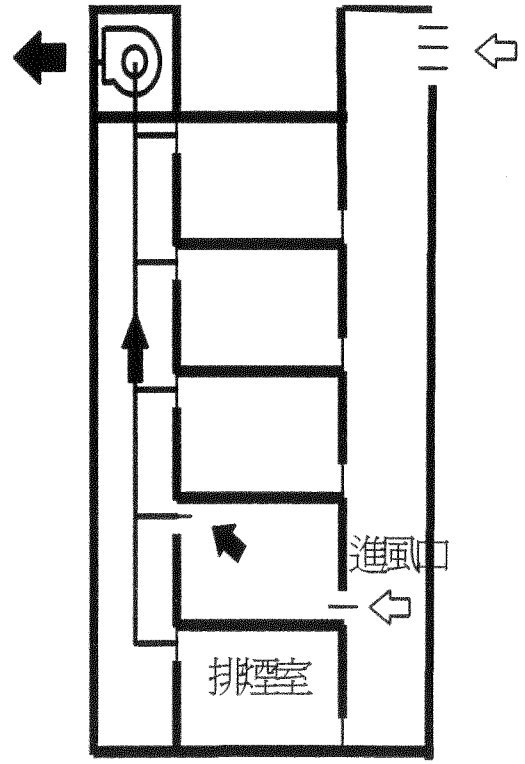


圖 3-1 自然排煙示意圖



3-2 機械排煙示意圖

### 3-3 煙囪效應理論分析

建築物內緊急昇降梯及特別安全樓梯間之排煙設備，主要都藉由排煙管道經由排風機將濃煙排出，一般的排煙道都是屬於垂直空間的管道，利用煙道內外氣體的溫度差產生密度的不同，藉此產生浮力而將煙排出。而現代的高樓大廈，垂直空間的樓梯及昇降機梯間之排煙道與一般之煙囪類似，一但建築物發生火災所產生的溫度差，就如同煙囪一樣，大量的熱空氣向上竄昇，稱為煙囪效應。

煙囪效應可隨外氣溫度變化而變化。當建築物內部溫度比外界溫度高，則稱為正煙囪效應（Normal stack effect），若外界溫度比建築物內部高，則稱為反煙囪效應（Reverse stack effect）。

#### （一）中性面理論

在煙囪效應中，中性面理論相當重要，因氣體溫度差之變化，所產生氣體密度的不同，形成氣體流動的壓力差。如果壓力差為正，代表該處向外排氣，而壓力差為負，表示向該處進氣。在某一高度的壓力差為零時，表示不排氣也不進氣，那個高度的水平面即稱為中性面。在普通的建築物中，中性面的高度取決於建築物上、下開口的情況，若假設上、下開口相同，則中性面為樓高的一半。以其中某一樓層說明中性面壓力大小變化情形，如圖3-3：

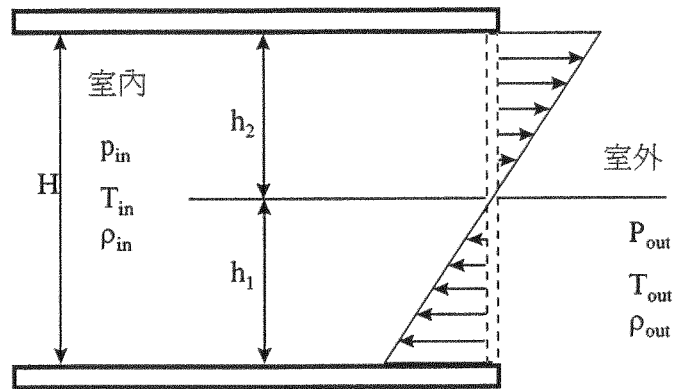


圖3-3中性面理論示意圖

在高度h時之室內壓力為

$$P_{inh} = P_{inl} - \rho_{in}gh \quad (3-1)$$

在高度h時之室外壓力為

$$P_{outh} = P_{outl} - \rho_{out}gh \quad (3-2)$$

上式中

$P_{inl}$  室內地板處之壓力

$P_{outl}$  相對室內地板處之室外壓力

$\rho_{in}$  室內氣體密度

$\rho_{out}$  室外氣體密度

$g$  重力加速度

$h$  某一高度值

在地板位置之壓力差為

$$\Delta P_1 = P_{inl} - P_{outl} \quad (3-3)$$

在高度h之壓力差為

$$\begin{aligned}\Delta P_h &= P_{inh} - P_{outh} \\ &= \Delta P_1 + (\rho_{out} - \rho_{in})gh\end{aligned}\quad (3-4)$$

若高度某一位置為中性面，其室內外之壓力差為零，由此方程式可求得中性面之高度L

$$\Delta P_L = \Delta P_1 + (\rho_{out} - \rho_{in})gL = 0 \quad (3-5)$$

$$L = \frac{\Delta P_1}{(\rho_{in} - \rho_{out})g} \quad (3-6)$$

當室內發生火災時，室內溫度必大於室外溫度， $T_{in} > T_{out}$ ，（即  $\rho_{in} < \rho_{out}$ ）

（1）在中性面以下時， $h < L$

$$\Delta P_h = \Delta P_1 + (\rho_{out} - \rho_{in})gh < 0 \quad (3-7)$$

故在中性面以下區域時，外氣向該處進氣。

（2）在中性面以上時， $h > L$

$$\Delta P_h = \Delta P_1 + (\rho_{out} - \rho_{in})gh > 0 \quad (3-8)$$

故在中性面以上區域時，將向外界排氣。

## (二) 正煙囪效應

在冬季時，建築物內部溫度高於外界溫度，排煙道內部因溫度較高，密度較低，產生正向的煙囪效應，在建築物內部形成向上流動的氣流，如圖3-4。

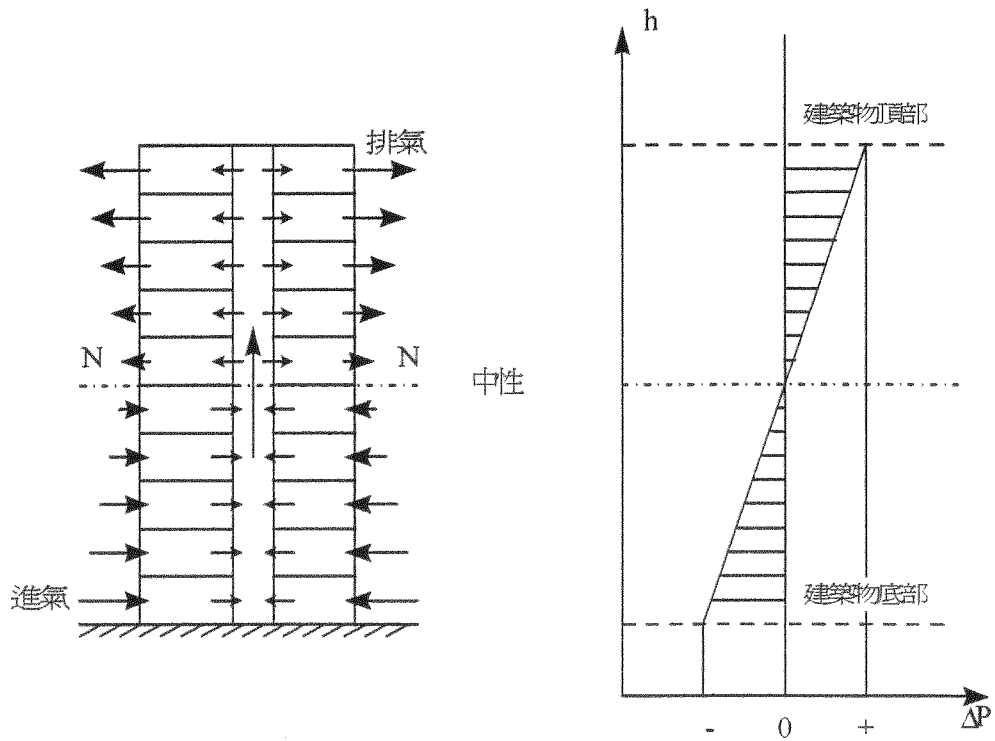


圖3-4 正煙囪效應



### (三) 反煙囪效應

在夏季時，建築物內部溫度低於外界溫度，排煙道內部因溫度較低，密度較高，產生反向的煙囪效應，在建築物內部形成向下流動的氣流，如圖3-5。

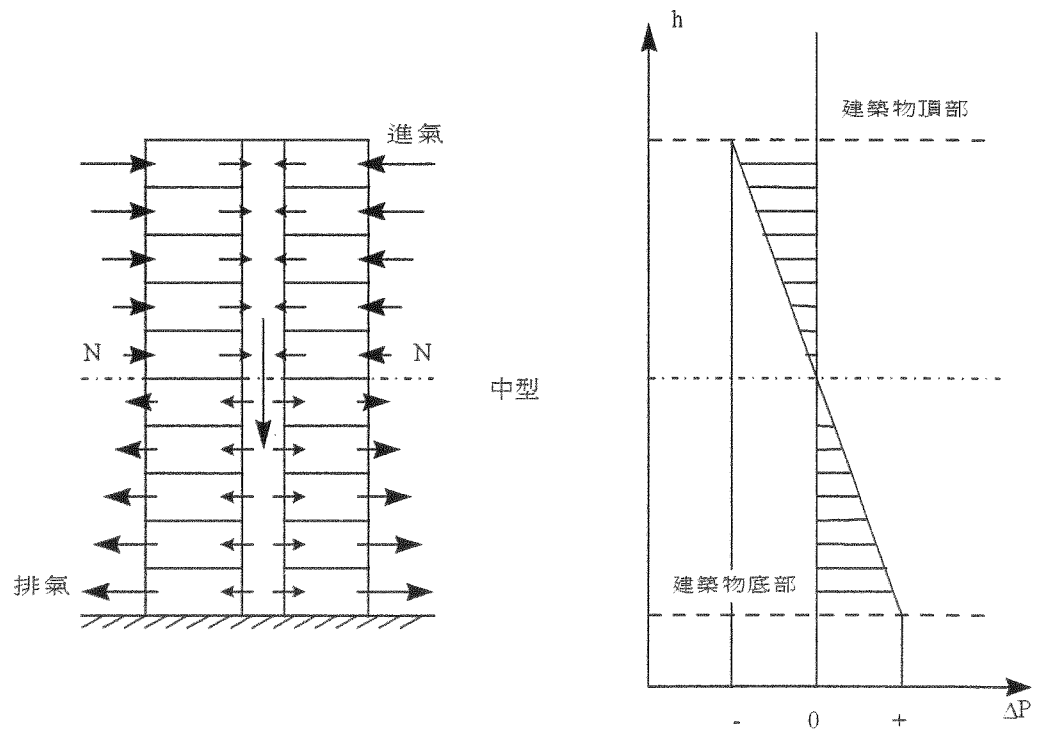


圖3-5 反煙囪效應

#### (四) 煙囪效應實例計算

煙囪效應在高樓建築物中，所產生之壓力差可表示如下：

$$\Delta P = (\rho_{out} - \rho_{in})gh \quad (3-9)$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{gP}{R} \left( \frac{1}{T_{out}} - \frac{1}{T_{in}} \right) h \\ &= 3460h \left( \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{out} T_{in}} \right) \end{aligned} \quad (3-10)$$

因建築物內外溫度不同，及距中性面之高度不同，所引起之壓力差也不同，當樓層愈高溫差愈大時，所產生之壓力差也愈大。

以 ASHRAE HANDBOOK 1997 “Fundamentals” 中，台北夏季平均溫度為32.4℃，冬季為17.2℃，假設有一樓高48m、16F之建築物，其室溫為25℃。

將數據代入上式中，可得夏季與冬季因煙囪效應而產生之壓力差，假設中性面為樓高的一半。

$$\begin{aligned} \text{夏季時 } \Delta P &= \frac{gP}{R} \left( \frac{1}{T_{out}} - \frac{1}{T_{in}} \right) h = 3460 \times \left( \frac{1}{273+32.4} - \frac{1}{273+25} \right) \times 24 \\ &= -6.75 \text{ Pa} \end{aligned}$$

表示距中性面高度24m處之壓差為負值，外界向該處進氣。

$$\begin{aligned} \text{冬季時 } \Delta P &= \frac{gP}{R} \left( \frac{1}{T_{out}} - \frac{1}{T_{in}} \right) h = 3460 \times \left( \frac{1}{273+17.2} - \frac{1}{273+25} \right) \times 24 \\ &= 7.49 \text{ Pa} \end{aligned}$$

表示距中性面高度24m處之壓差為正值，該處向外界排氣。

### 3-4 火場中煙囪效應對煙流之影響

不同季節時，煙囪效應所引起的壓力差，在建築物內部有不同的流動方式，因起火點位置不同，而有不同的煙流擴散情況。

#### (一) 冬季時發生火災

冬季時空氣流動是在建築物中性面下方流入，於中性面上方流出，在垂直通道方面，空氣從下向上流動。

最差情況是建築物底層發生火災，底層的煙氣隨著空氣流動，因正煙囪效應影響，煙氣進入垂直通道，沿著垂直通道上升，而擴散至中性面以上各層，在高層建築物中更是明顯，如圖3-6。

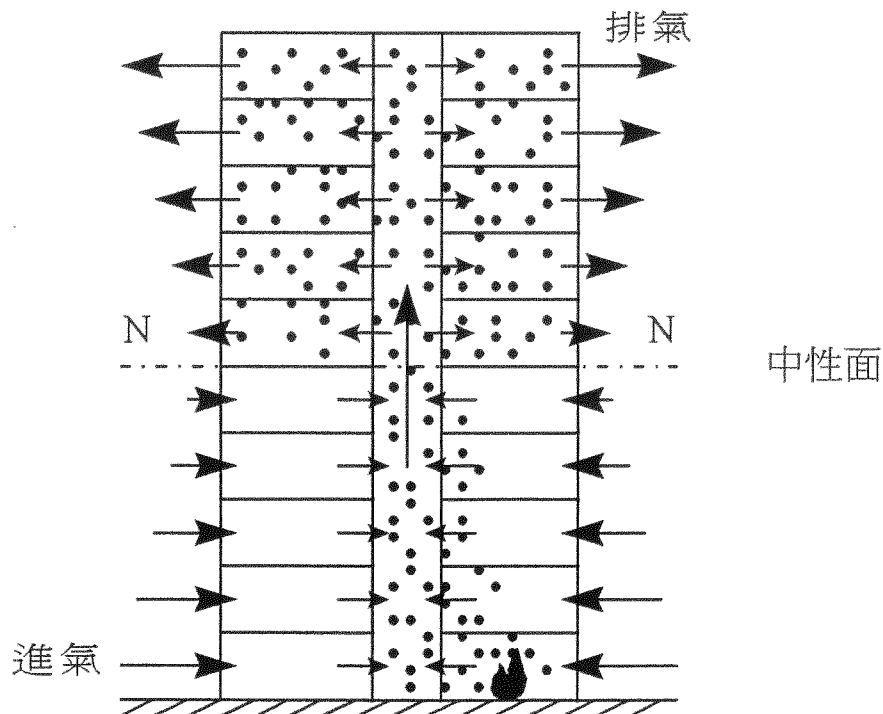


圖3-6 冬季發生火災最差情況

## (二) 夏季時發生火災

夏季時空氣流動在建築物中性面上方流入，而在中性面下方流出，在垂直通道方面，空氣是從上向下流動。

最差情況是建築物頂層發生火災，因反煙囪效應影響，頂層的煙氣會隨著空氣流動，至垂直通道，而向下流動，進入中性面以下各樓層，擴散到建築物下層各室，如圖3-7。

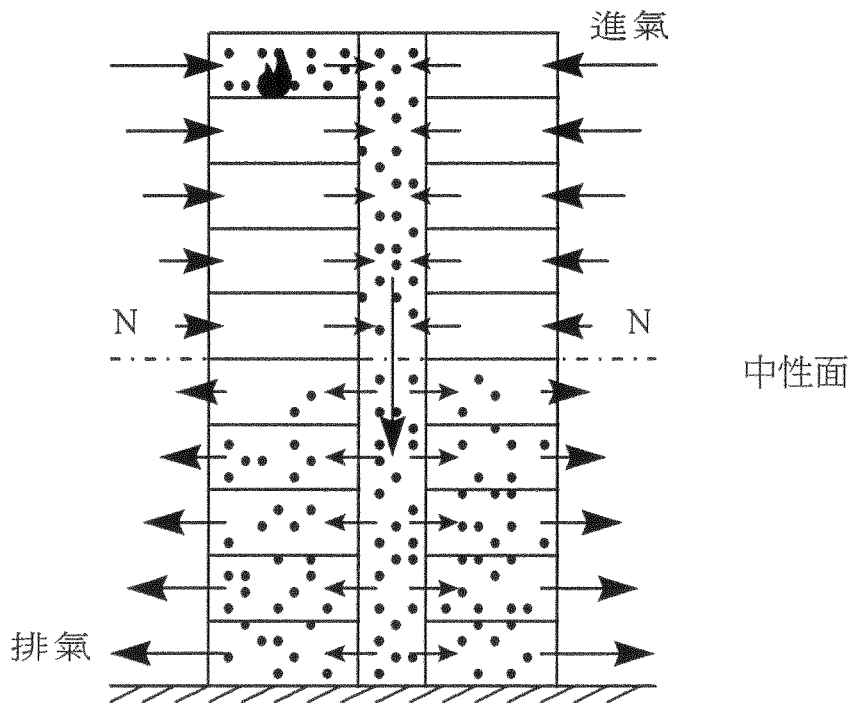


圖3-7 夏季發生火災最差情況

### 3-5 浮力效應

當發生火災時，高溫的煙流密度比外界空氣密度低，自然產生一明顯的上升氣流，而火場溫度愈高，此浮力效應更形嚴重，可由下式計算浮力效應形成之壓力差。

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{g\rho}{R} \left( \frac{1}{T_{\text{out}}} - \frac{1}{T_{\text{fire}}} \right) h \\ &= 3460h \left( \frac{T_{\text{fire}} - T_{\text{out}}}{T_{\text{out}} T_{\text{fire}}} \right)\end{aligned}\quad (3-11)$$

上式中

$T_{\text{fire}}$  火場溫度 ( $^{\circ}\text{K}$ )

$T_{\text{out}}$  外界溫度 ( $^{\circ}\text{K}$ )

因火場溫度隨著燃燒過程而不同，初時溫度不高，隨著燃燒的加劇，溫度也急速上升，當達引爆點時，煙氣的溫度達到最高值，但因其燃燒狀況的不同（建築物、易燃品種類及開口狀況等），火場溫度也大不相同。現以實際火場溫度進行計算，以進一步說明浮力效應的影響。

假設火場溫度為 $500^{\circ}\text{C}$ ，代入上式

在夏季發生火災，因浮力效應產生之壓力差為

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{g\rho}{R} \left( \frac{1}{T_{\text{out}}} - \frac{1}{T_{\text{fire}}} \right) h = 3460 \times \left( \frac{1}{273 + 32.4} - \frac{1}{273 + 500} \right) \times 48 \\ &= 328.96 \text{ Pa}\end{aligned}$$

在冬季發生火災，因浮力效應產生之壓力差為

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{gP}{R} \left( \frac{1}{T_{\text{out}}} - \frac{1}{T_{\text{fire}}} \right) h = 3460 \times \left( \frac{1}{273+17.2} - \frac{1}{273+500} \right) \times 48 \\ &= 357.44 \text{ Pa}\end{aligned}$$

經上面分析結果，當建築物發生火災時，浮力是造成壓力差的主要來源，比煙囪效應大許多，而火場溫度愈高，建築物樓層愈高，則壓力差更大，產生的危害也愈大。

比較夏季與冬季發生火災時所產生的壓力差，可明顯看出在冬季發生火災因正煙囪效應與浮力效應合成影響，使得壓力差變大，若起火點在建築物底層時，所受到的危害是最嚴重。而在夏季因煙囪效應減低了浮力效應的影響，情況會較緩和，如圖3-8。

由以上說明可知，台灣冬天、夏天室外溫度差並不如國外明顯；以火場溫度為500°C時計算，冬季最惡劣的火災狀況時，煙囪效應約為浮力效應之2.1%，所以排煙道中之主要原動力應為浮力效應。

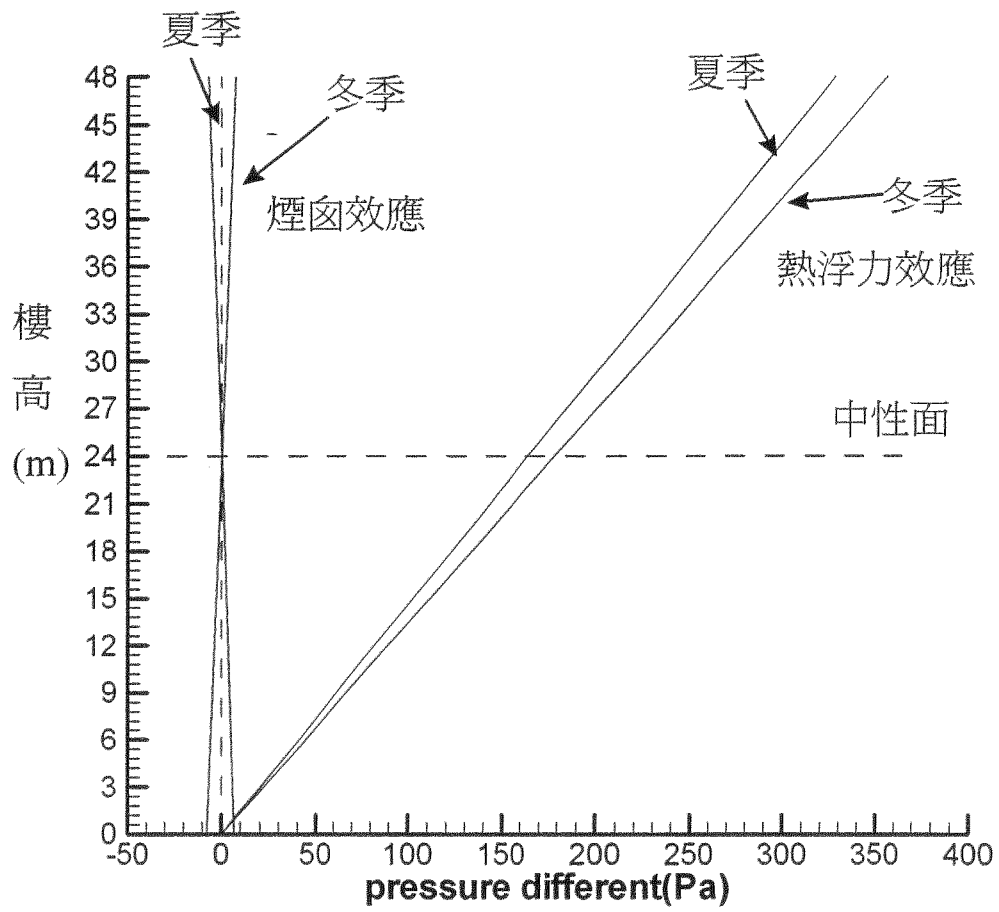


圖 3-8 煙囪效應與熱浮力效應比較圖

### 3-6 小結

由前述之章節說明可知，目前國內法規對緊急升降梯及特別安全梯梯間之排煙可採自然式排煙（藉由煙井或排煙道）或機械式排煙方式為之。但不論採自然式或機械式排煙，緊急升降梯及特別安全梯梯間之排煙範圍需包含與升降梯及安全梯共存的前室，因前室為通往升降梯與安全梯必經之路，本計畫針對緊急升降梯及特別安全樓梯間（包含前室）之排煙設備，探討其排煙性能及特性，建立高溫煙流之理論模式，希望藉由理論基礎出發，瞭解各項排煙設備相關參數之影響，做為政府相關單位及業界之參考。

圖3-9為台灣目前所採用典型高層住宅緊急昇降機，安全梯及排煙前室平面圖。本研究將針對法規中較不完備處進行理論探討，瞭解各項排煙設備相關參數之影響，做為政府相關單位及業界之參考。

進行的項目將包括：

1. 排煙前室的定量排煙是否合宜。
2. 自然排煙及機械排煙的使用時機及限制。
3. 緊急升降梯梯間是否應維持正壓。
4. 安全梯間是否應採用壓力煙控以防止濃煙竄入。

相信經由本研究的成果可對上述問題有更深入的探討，對於相關法規的修改或制定將有更完善的學理基礎。



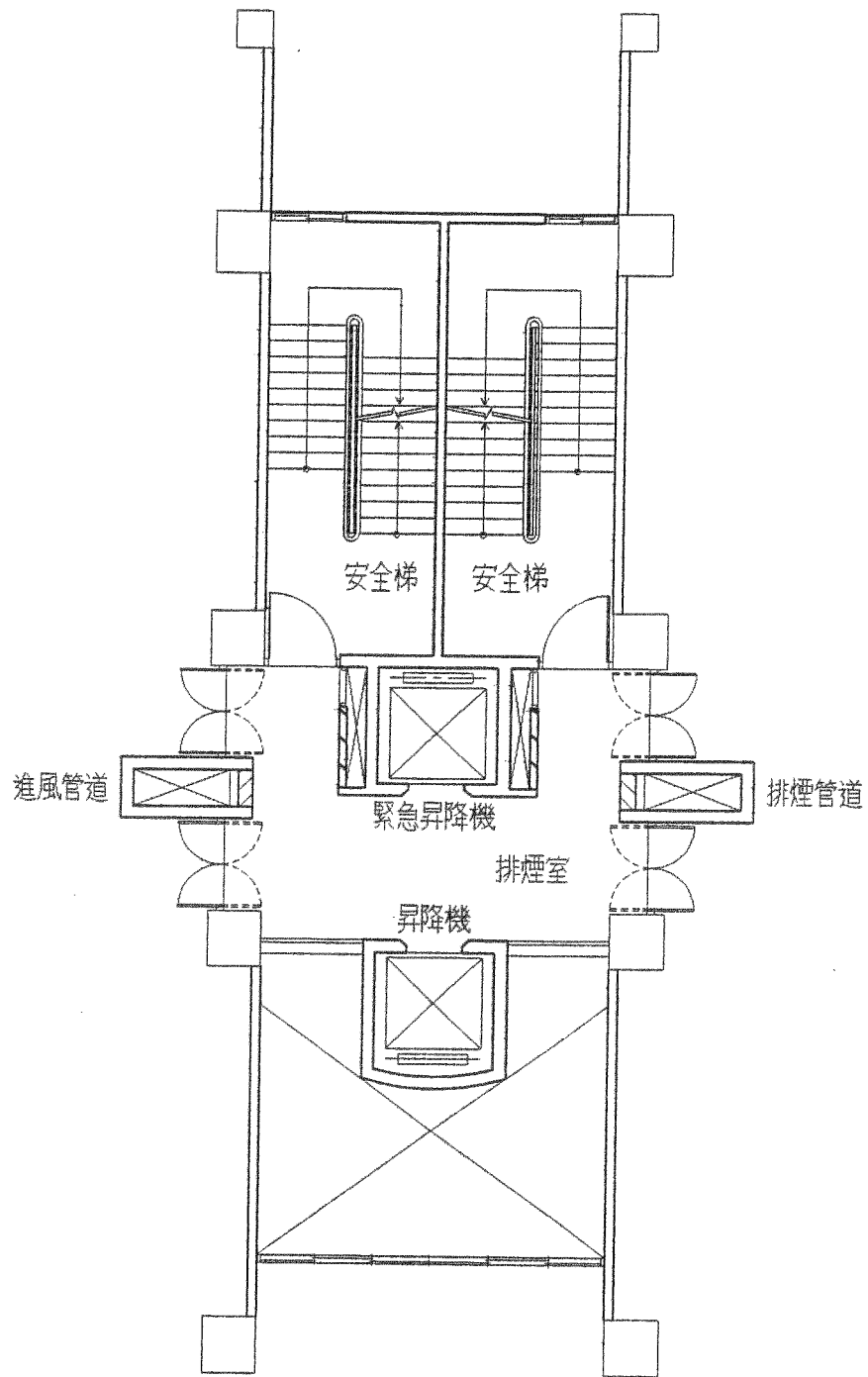


圖3-9 典型高層住宅排煙室相關平面圖

## 第四章 排煙室機械排煙動態模式分析

排煙室設置之目的，是避免煙流入樓梯間，影響人員避難，在樓梯間及昇降機間設置排煙室，利用進氣及排煙，將煙流出，增加人員逃生機會。

「各類場所消防安全設備設置標準」第 190 條規定，對於緊急昇降機間及特別安全梯之進風排煙設備，其排煙室之排煙方式優先順序如下：

- (1)開向戶外之窗戶
- (2)自然進風與自然排煙
- (3)自然進風與機械排煙

機械式排煙，法規要求排煙量至少為  $4\text{m}^3/\text{sec}$ (兼用  $6\text{m}^3/\text{sec}$ )，為一定量之規定，因高層建築物之排煙室大小並不完全相同，以一定風量要求排煙效果，實際上非常有限，故排煙量需配合排煙室之大小進行計算，才能達到有效及最佳之排煙效果。因此本研究以煙流動之理論出發，探討排煙室機械排煙其應有之換氣量。

## 4-1 基本煙流方程式

在煙流方程式中，我們將同時考慮煙流之速度場、溫度場及煙流濃度場以瞭解當排煙室充滿濃煙時，該換氣量是否足夠將濃煙排出以維護逃生及救災之安全。

煙流之統御方程式(governing equation)如下：

(1)連續方程式(continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (4-1)$$

(2)X 軸方向之動量方程式(X-axis momentum equation)

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left[ \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] \end{aligned} \quad (4-2)$$

(3)Y 軸方向之動量方程式(Y-axis momentum equation)

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left[ \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] \end{aligned} \quad (4-3)$$

(4)Z 軸方向之動量方程式(Z-axis momentum equation)

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left[ \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] \end{aligned} \quad (4-4)$$

其紊流模式是採用 Launder 和 Spalding 所提出的雙方程式模式 (two-equation model)，其中  $k$  為紊流動能 (turbulent kinetic energy)， $\varepsilon$  為紊流能量消散率 (turbulent energy dissipation rate)，定義如下：

$$k = \frac{1}{2} \overline{(u'u' + v'v' + w'w')} \quad (4-5)$$

$$\varepsilon = \nu \overline{\left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)} \quad (4-6)$$

傳輸方程式如下：

(5)  $k$  傳輸方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{u}k) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \bar{v}k) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \bar{w}k) = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] + \rho(P_r - \varepsilon) \end{aligned} \quad (4-7)$$

(6)  $\varepsilon$  傳輸方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{u}\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \bar{v}\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \bar{w}\varepsilon) = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] + \sigma \frac{\varepsilon}{k} (c_1 P_r - c_2 \varepsilon) \end{aligned} \quad (4-8)$$

(7)  $P_r$  紊流動能產生率 (turbulence kinetic energy production rate)

$$P_r = \frac{\mu_t}{\rho} \left[ 2 \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2 \right] - \frac{2}{3} \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right)^2 \quad (4-9)$$

上述方程式中

$\mu_l$ : 層流粘度 (laminar viscosity)

$\mu_t$ : 紊流粘度 (turbulence viscosity)

$\sigma_k$ : (prandtl number for turbulent kinetic energy)

$\sigma_\epsilon$ : (prandtl number for turbulence energy dissipation rate)

紊流粘度  $\mu_t$  與層流粘度  $\mu_l$  的和，稱為有效粘度  $\mu_{eff}$  (effective viscosity)

$$\mu_{eff} = \mu_t + \mu_l \quad (4-10)$$

對於  $\mu_t$  而言，採用  $k-\epsilon$  雙方程模式時，可定義如下：

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (4-11)$$

以上各紊流常數均由實驗資料歸納而得，其常數值如下

$$c_\mu = 0.09, c_1 = 1.43, c_2 = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

(8) 濃度傳輸方程式 (species transport equation)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(Cu)}{\partial x} + \frac{\partial(Cv)}{\partial y} + \frac{\partial(Cw)}{\partial z} + \frac{\partial(CV_p)}{\partial X_p} =$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu_x}{\sigma_p} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_y}{\sigma_p} \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\mu_z}{\sigma_p} \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S_p \quad (4-12)$$

上式中

$C$  : particle 濃度

$X_p$  : particle 位置

$V_p$  : particle 速度

$S_p$  : particle 生成或消散現象(source term)

將以上統御方程式轉換成多維曲線轉換方程式(curvilinear-transformed multi-component conservation):

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (\rho q) = \underbrace{-\frac{\partial}{\partial \xi_j} (\rho U_j q)}_{\text{II}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial \xi_j} \left( \mu_{eff} G_{ij} \frac{\partial q}{\partial \xi_j} \right)}_{\text{III}} + S_q \quad (4-13)$$

I                  II                  III                  IV

其個別意義為:

I : 非穩定項(unsteady term)

II : 對流項(convection term)

III : 擴散項(diffusion term)

IV : 為生成或消散現象(source term)

上式中之  $q$  可代表下列性質:

(1) 1 (continuity equation)

- (2) u, v, w ( momentum equation )
- (3) h ( energy equation )
- (4) k, ε ( turbulence model )
- (5) c ( concentration )

而 J 為座標轉換之 Jacobian 矩陣，  $U_i$  為體積加權速度 (volume-weighted contravariant velocities) 矩陣，  $G_{ij}$  擴散 (diffusion) 矩陣，分別定義如下：

$$J = \frac{d(\xi, \eta, \zeta)}{d(x, y, z)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial \xi}{\partial x} & \frac{\partial \xi}{\partial y} & \frac{\partial \xi}{\partial z} \\ \frac{\partial \eta}{\partial x} & \frac{\partial \eta}{\partial y} & \frac{\partial \eta}{\partial z} \\ \frac{\partial \zeta}{\partial x} & \frac{\partial \zeta}{\partial y} & \frac{\partial \zeta}{\partial z} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial x}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial z}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{vmatrix}$$

$$= \left[ \frac{\partial x}{\partial \xi} \left( \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial z}{\partial \zeta} - \frac{\partial y}{\partial \zeta} \frac{\partial z}{\partial \eta} \right) - \frac{\partial x}{\partial \eta} \left( \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial z}{\partial \zeta} - \frac{\partial y}{\partial \zeta} \frac{\partial z}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial x}{\partial \zeta} \left( \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial z}{\partial \eta} - \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial z}{\partial \xi} \right) \right]^{-1} \quad (4-14)$$

其中

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = +J \left( \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial z}{\partial \zeta} - \frac{\partial y}{\partial \zeta} \frac{\partial z}{\partial \eta} \right)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = -J \left( \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial z}{\partial \zeta} - \frac{\partial y}{\partial \zeta} \frac{\partial z}{\partial \xi} \right)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} = +J \left( \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial z}{\partial \eta} - \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial z}{\partial \xi} \right)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial y} = -J \left( \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial z}{\partial \zeta} - \frac{\partial x}{\partial \zeta} \frac{\partial z}{\partial \eta} \right)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} = +J \left( \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial z}{\partial \zeta} - \frac{\partial x}{\partial \zeta} \frac{\partial z}{\partial \xi} \right)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial y} = -J \left( \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial z}{\partial \eta} - \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial z}{\partial \xi} \right)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial z} = +J \left( \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \zeta} - \frac{\partial x}{\partial \zeta} \frac{\partial y}{\partial \eta} \right)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial z} = -J \left( \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \zeta} - \frac{\partial x}{\partial \zeta} \frac{\partial y}{\partial \xi} \right)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial z} = +J \left( \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} - \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi} \right)$$

$$U_i = \frac{u_j}{J} \frac{\partial \xi_j}{\partial x_i} \quad (4-15)$$

$$G_{ij} = \frac{1}{J} \frac{\partial \xi_i}{\partial x_k} \frac{\partial \xi_j}{\partial x_k} \quad (4-16)$$

式(4-13)中之 source 項  $S_q$  可表示成下式

$$S_q = \frac{1}{J} \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ -p_{xi} + \nabla \left[ \mu_{eff} (u_j)_{xi} \right] - \frac{2}{3} (\mu_{eff} \nabla u)_{xi} + (body\_force) + (drag\_force) \\ \frac{Dp}{Dt} + \Phi + Q_t \\ \rho (P_r - \varepsilon) \\ \rho \frac{\varepsilon}{k} \left[ \left( C_1 + C_3 \frac{P_r}{\varepsilon} \right) P_r - C_2 \varepsilon \right] \\ \omega_n, n = 1, \dots, N \end{array} \right\} \quad (4-17)$$



## 4-2 電腦模擬分析

根據以上方程式，針對一實際尺寸之排煙室(長度 4m，寬度 3m，高度 2.5m)進行煙流模擬。本研究較關心的是換氣率是否足夠將煙排出，因此在符合「各類場所消防安全設備設置標準」第 190 條之下，選取排煙室換氣率 40、60、80 及 100ACH(每小時換氣次數)進行濃度衰退模擬，以了解排煙室換氣率與煙濃度衰退之關係。

參數條件如下：

- (1)格點間距在 x，y，z 方向均為 0.1m，總格點數為 33046 點。
- (2)排煙室左側設進風口，大小為 40cm × 40cm，進風口底部離地 40cm，排煙室右側設排煙口，大小為 40cm × 40cm，排煙口頂部離天花板 40cm。
- (3)時間運算次數以 0.1 秒為運算基礎，30 秒記錄一次，運算至 300 秒。
- (4)進氣量與排氣量採用換氣率理論，本模擬採用換氣率 40、60、80 及 100ACH 進行濃度衰退模擬。

圖 4-1 為 60ACH 時排煙室排煙進口與排煙出口所造成氣流變化速度分佈圖，而圖 4-2 為 60ACH 時排煙室中間截面( $z=1.5\text{m}$ )的煙流相對濃度分佈圖，隨時間之增加，煙流濃度有明顯減少的情形，不過在進風口上側因有滯流產生，所以煙流濃度較高些，另外在接近出口處，煙流濃度也明顯偏高。

為了使煙流動之情形更明顯表示出來，本研究利用渦流動態 (vortex dynamic) 表示法，將煙粒子隨氣流移動的軌跡表示出來，如圖 4-3 所示。從圖 4-3 中可以很清楚知道煙流動之情況，為了評估排煙室換氣量大小與煙濃度之衰退關係，我們以定量分析的方式進行電腦模擬計算，其結果整理如圖 4-4 所示。由圖 4-4 中，可知 40、60、80 及 100ACH 時排煙室煙流濃度衰退情形，當排煙閘門開啟 3 分鐘後，40ACH 之換氣率大約可排除 80% 之濃煙，而 60、80 及 100ACH 可排除 85~90% 之濃煙。

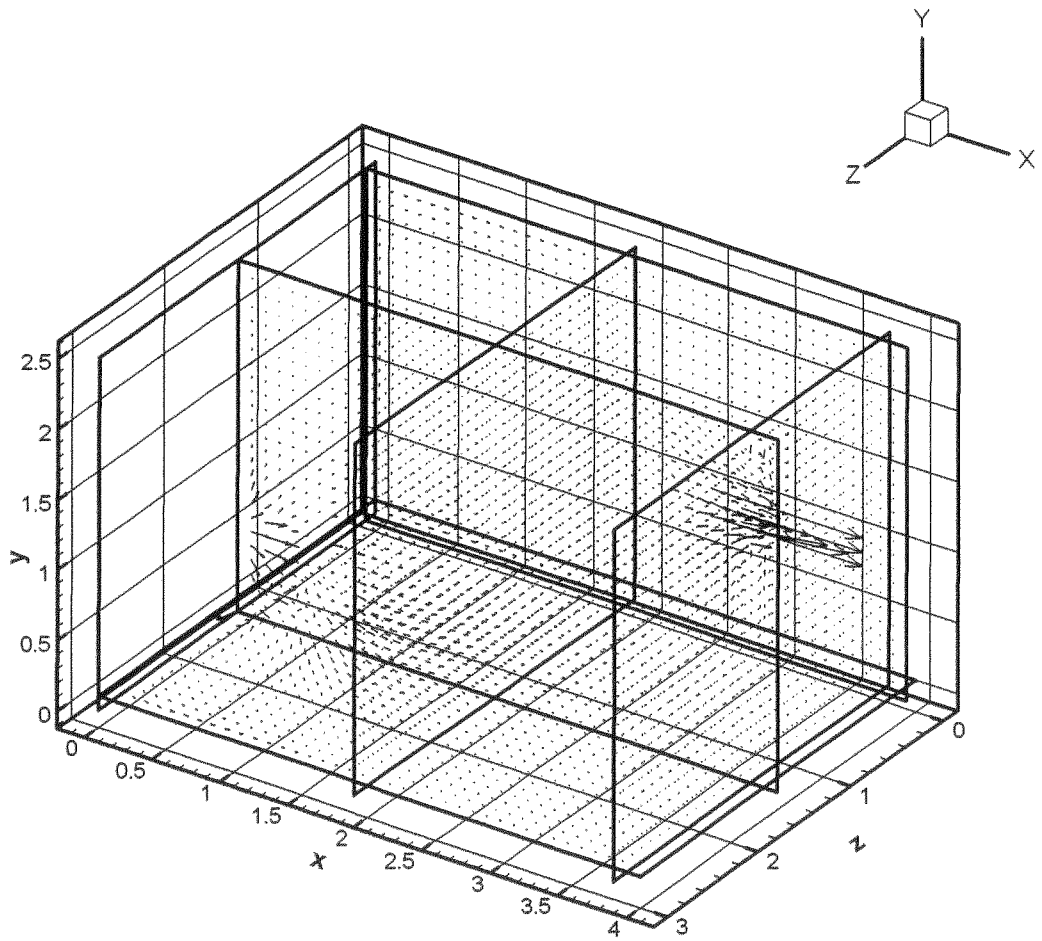
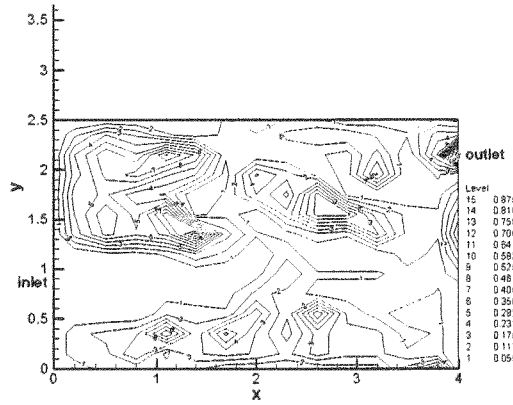
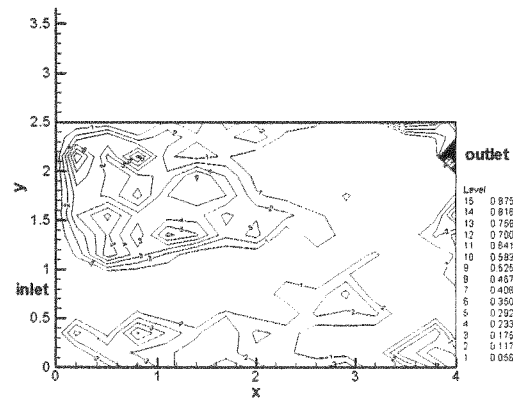


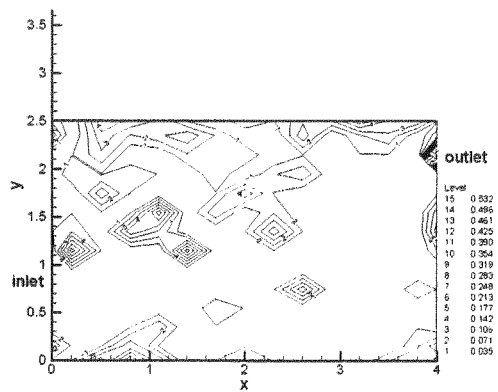
圖 4-1 排煙室機械排煙之氣流場速度分佈圖



30sec

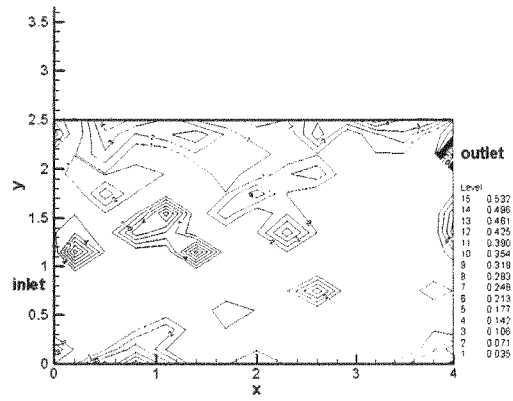


60sec

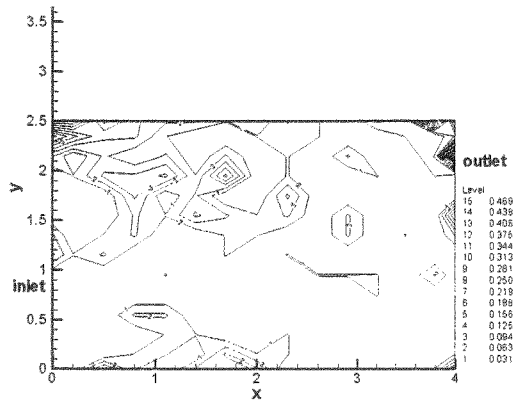


90sec

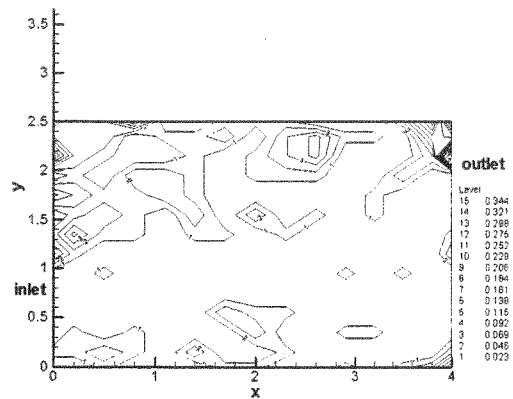
圖 4-2 排煙室中間截面( $z=1.5m$ )煙流相對濃度分佈圖



120sec



150sec



180sec

圖 4-2(續) 排煙室中間截面( $z=1.5m$ )煙流相對濃度分佈圖

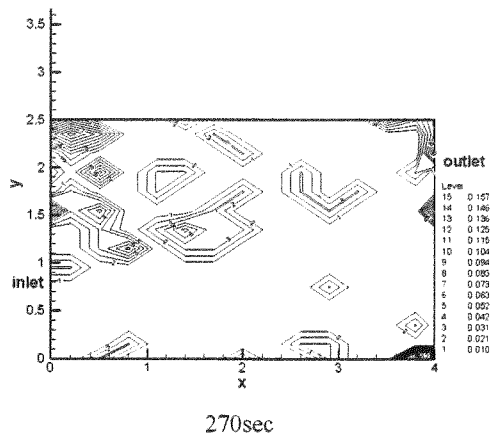
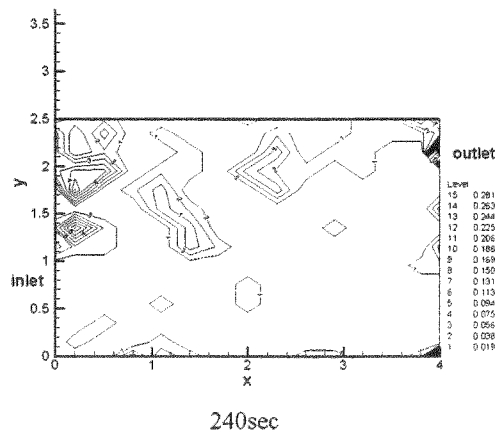
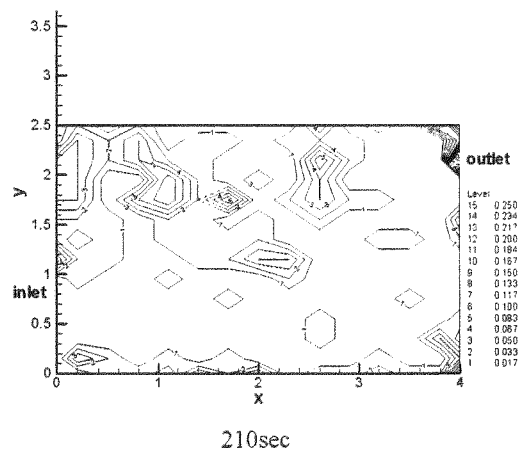
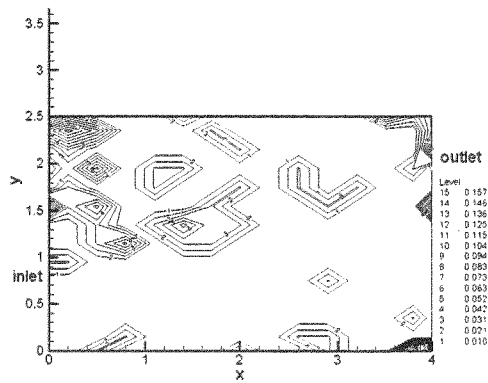
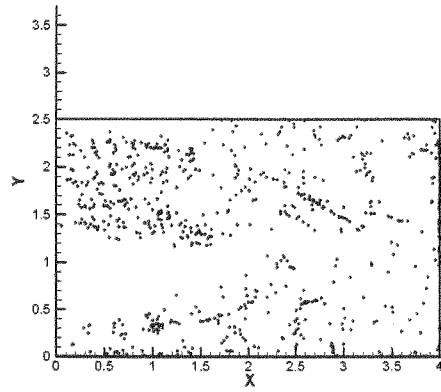


圖 4-2(續) 排煙室中間截面( $z=1.5m$ )煙流相對濃度分佈圖

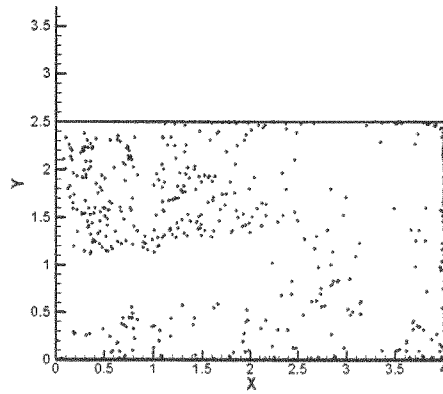


300sec

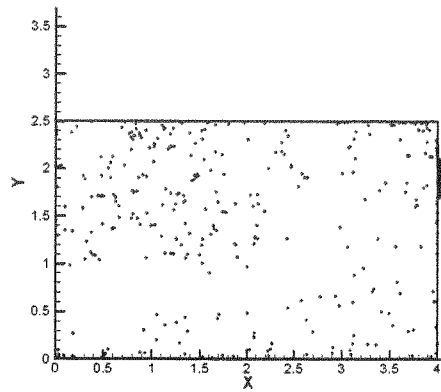
圖 4-2(續) 排煙室中間截面( $z=1.5\text{m}$ )煙流相對濃度分佈圖



30sec



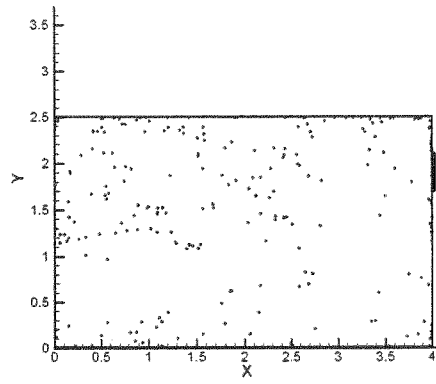
60sec



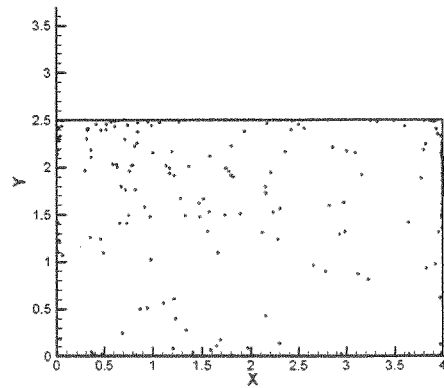
90sec

圖 4-3 煙粒子隨氣流移動之軌跡圖

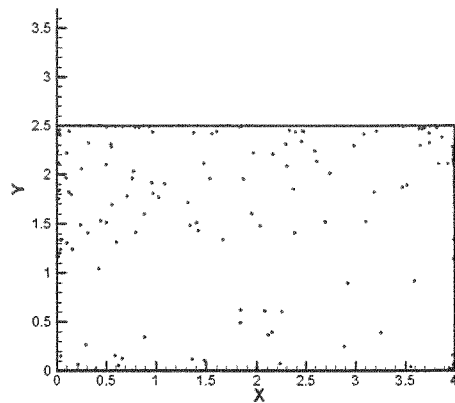




120sec

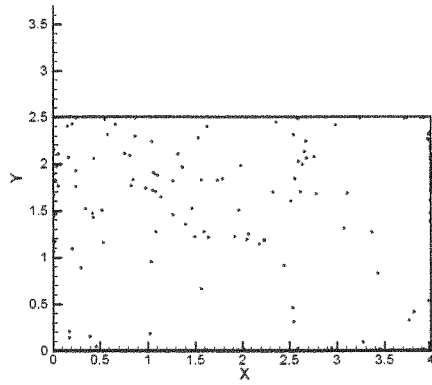


150sec

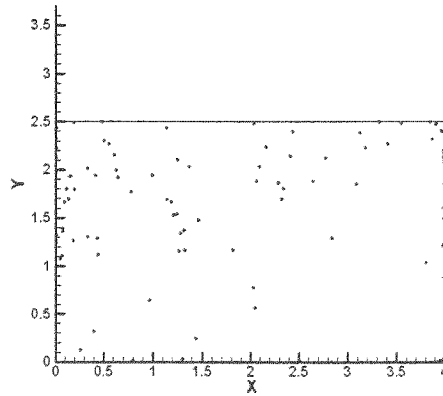


180sec

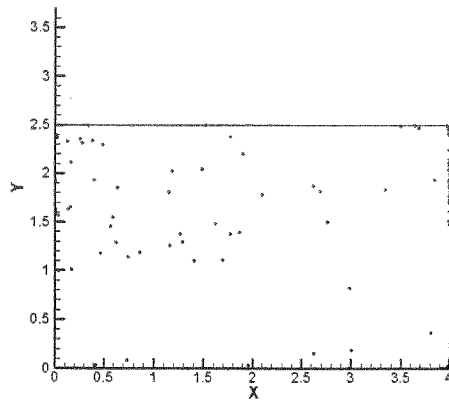
圖 4-3(續) 煙粒子隨氣流移動之軌跡圖



210sec

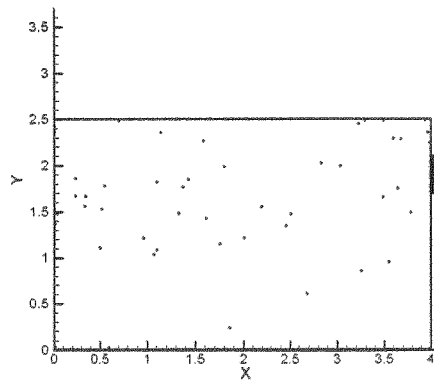


240sec



270sec

圖 4-3(續) 煙粒子隨氣流移動之軌跡圖



300sec

圖 4-3(續) 煙粒子隨氣流移動之軌跡圖

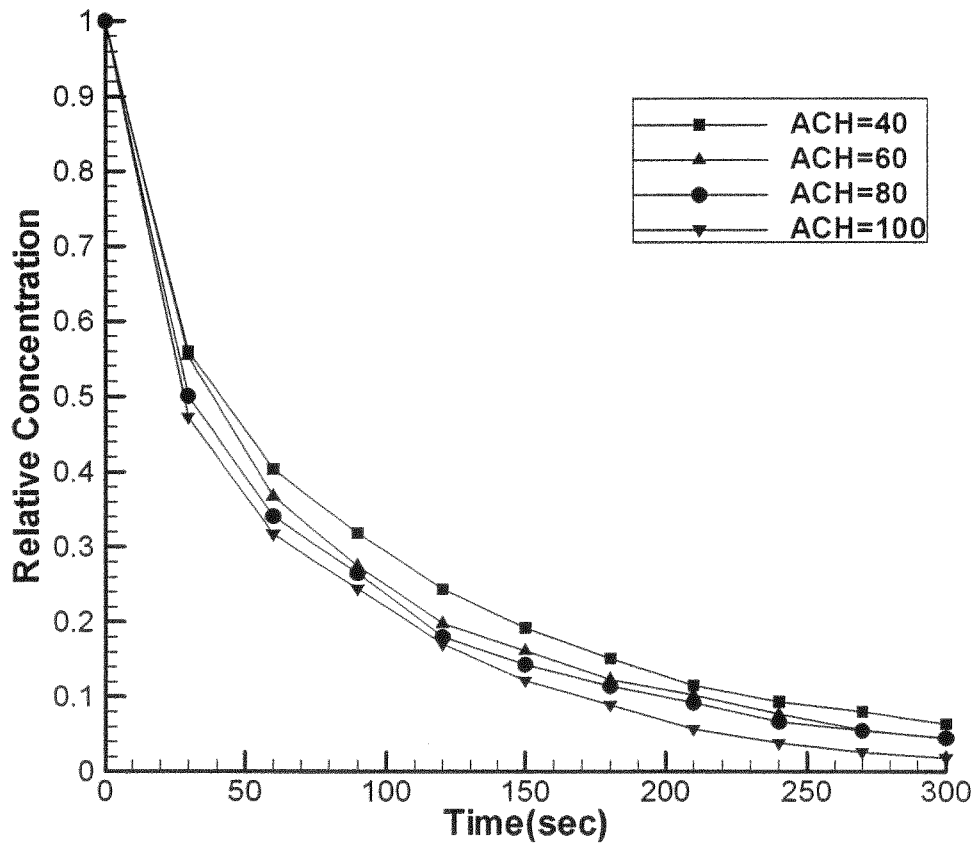


圖 4-4 換氣量大小與煙濃度之衰退關係圖

### 4-3 實驗驗證

本研究為進一步確保電腦模擬結果之正確性，同時亦進行全尺寸之排煙實驗，實驗系統設計如圖 4-5 所示，全尺寸實驗屋如圖 4-6 所示。本實驗以二氧化碳作為衰退氣體，進行定量分析，以瞭解在不同換氣率情況下，二氧化碳隨時間之變化量。

實驗條件如下：

- (1) 實驗採用變頻式風機進行機械排煙。
- (2) 實驗屋大小長度 4m，寬度 3m，高度 2.5m。
- (3) 排煙室左側設進風口，大小為 40cm × 40cm，進風口底部離地 40cm，排煙室右側設排煙口，大小為 40cm × 40cm，排煙口頂部離天花板 40cm。
- (4) 依「各類場所消防安全設備設置標準」規定，自然進風機械排煙模式，於排煙口設置風機。
- (5) 實驗採用換氣率 40、60、80 及 100ACH，進行二氧化碳濃度衰退之比較。
- (6) 實驗每隔 30 秒記錄其二氧化碳濃度值，記錄至 300 秒。
- (7) 使用三支二氧化碳感測器，平均置於實驗屋內，位置為 (1, 1.5, 1.6)，(2, 1.5, 1.6)，(3, 1.5, 1.6) 處，求取平均二氧化碳濃度。

最後將電腦模擬結果與實驗結果進行比較分析，以評估電腦模擬計算之可靠性，比較結果如圖 4-7 所示，其平均偏差約在 17.55% 左右此結果應能滿足工程設計之需求。

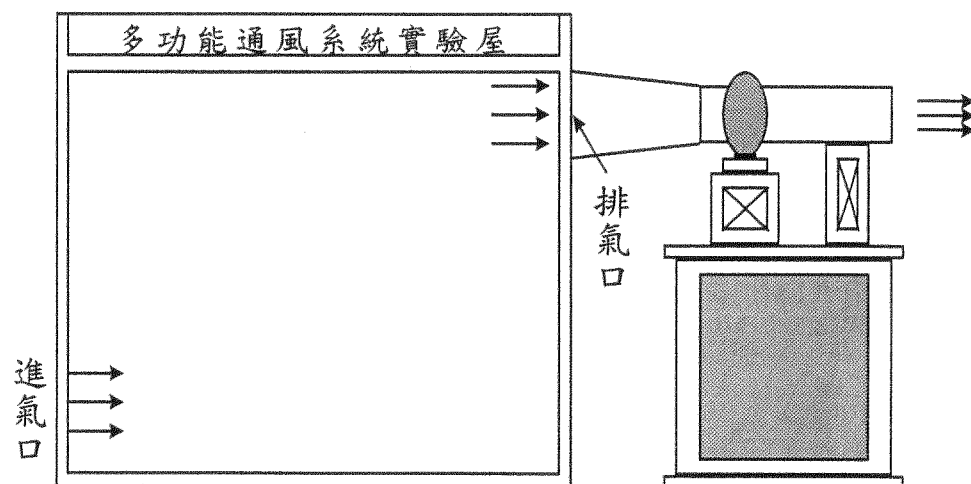


圖 4-5 實驗系統設計示意圖



圖 4-6 全尺寸實驗屋

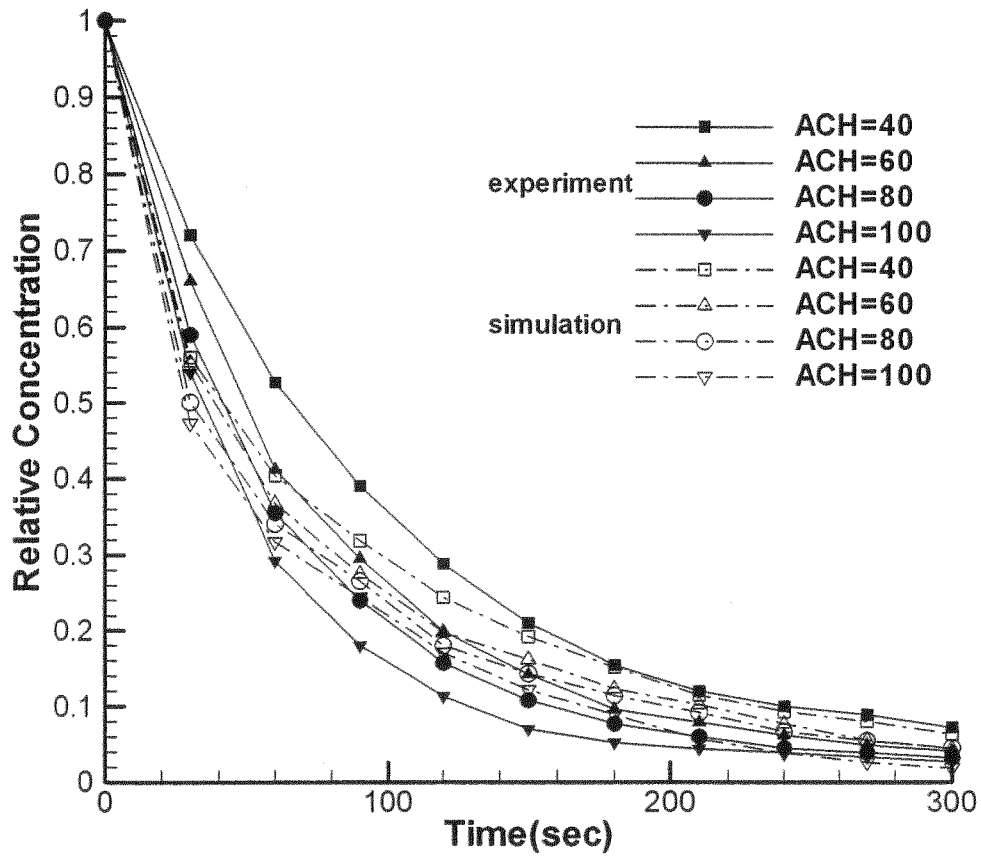


圖 4-7 電腦模擬與實驗比較分析

#### 4-4 小結

本研究針對緊急昇降梯與特別安全梯梯間之排煙室進行排煙設備之研究，以瞭解其排煙設備功能及目前法規是否符合實際使用狀況。以目前台灣高層建築的現況排煙室為通往緊急昇降梯與特別安全梯必經之地，因此排煙室的排煙及防煙功能是不容忽視的，從各國相關消防法規的整理比較得知，我國與日本類似採用規定排煙量之方式（ $4\text{m}^3/\text{sec}$  或  $6\text{m}^3/\text{sec}$ ），以設置在頂樓的排煙機進行排煙。對於每一樓層之排煙室排煙量並無深入探討，因此本研究針對此排煙室進行理論分析，以評估各樓層排煙室規定排煙量的可行性及排煙量大小。

經本研究調查及收集國內目前排煙室排煙量的實際運轉數字，發現雖然頂樓排煙機及煙道內排煙量可達到  $4\text{m}^3/\text{sec}$  的排煙量，但往下的各樓層排煙室排煙量則有不足之現象，甚至僅為規定值的  $1/3$ 。因此為了維持各樓層排煙室排煙功能之正常及儘量減少與目前法規之衝突性，建議增列各樓層排煙室最低排煙量的限制，而此最低排煙量的限制，不適合再用一定風量的方式規定，而針對各大小不同體積的排煙室以不同排煙量為之，此即為換氣率。

雖然換氣率愈大愈好，大的換氣率可以在較短的時間內將濃煙排出，但為考量實際工程問題，如施工、尺寸、噪音等條件，而且考量與原來法規規定  $4\text{m}^3/\text{sec}$  排風機的排煙量，對於排煙室換氣率的規定似乎應有一較合理的範圍才是。火災發生時一般以前 5 到 10 分鐘為最關鍵的逃生時間，因此本研究以氣體濃度擴散及衰退原理進行分析，建議排煙室換氣率應達 60ACH 以上，此值與美國 NFPA 之規定也相當吻合。



## 第五章 梯間自然排煙模式分析

相較於採用風機設備之機械排煙方式，自然排煙則較為簡單，直接由排煙道藉由高溫煙流所產生的較大浮力往上竄升而排出。然而目前國內對緊急升降梯與特別安全梯間採用自然排煙或機械排煙並無強制規定，只需符合國內消防法規定，即機械排煙有排煙量之規定（此項於第四章已有詳細分析說明）；自然排煙則無較明確的規定，因此本章節將從理論探討自然排煙的使用時機及條件限制，以作為日後法規增修的依據。

### 5-1 高層建築之風速與風壓

利用火場高溫煙流所產生之浮力經由門窗等對外開口處，向外排煙的方式稱之自然排煙。是屬於最簡單而不需任何機械設備的排煙方式。

高層建築物，因建築物高度較高，風速也較平地為高，所產生的風壓作用也大，而風的大小及方向與排煙口的位置也會影響自然排煙的效果。

隨著高度的增加，風速也相對的增加，如圖 5-1，其關係式如下：

$$\frac{V_h}{V_{10}} = \left( \frac{h}{h_{10}} \right)^n \quad (5-1)$$

$V_h$  : 某一高度之風速(m/s)

$V_{10}$  : 標準高度(10m)之風速(m/s)

$h$  : 某一高處之高度(m)

$h_{10}$  : 標準高度(10m)

$n$  : 地形指數(市區  $n=1/3$  ; 郊區  $n=1/4$  ; 開闊地區  $n=1/5$ )

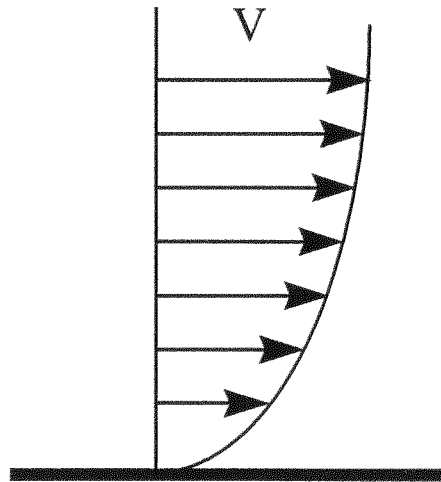


圖 5-1 地表面風之垂直速度分布圖

由於大氣風速受各種因素影響（天候、地形、地物等）而不相同，一般風速所測定的位置與建築物所在位置並不相同，所以需加以修正，而風速修正係數如表 5-1：

$$V_h = KV_{10} \left( \frac{h}{h_{10}} \right)^n \quad (5-2)$$

表 5-1 風速修正係數

建築物位置	測定位置	K
開闊地	開闊地	1.0
	市街地	1.2
市街地	開闊地	0.8
	市街地	1.0

風會因建築物的阻擋，而產生擾流的現象，建築物附近風向流場(如圖 5-2)，在迎風面產生正壓，背風面即產生負壓，此種因風力作用而產生之壓力，稱為風壓。

其風壓關係式如下：

$$P_w = c \frac{\gamma}{2g} V^2 = c \frac{\rho}{2} V^2 \quad (5-3)$$

$c$ ：風壓係數

$V$ ：風速

建築物因高度及形狀的不同及風與建築物接觸角度的不同，均有不同的風壓係數，如圖 5-3。

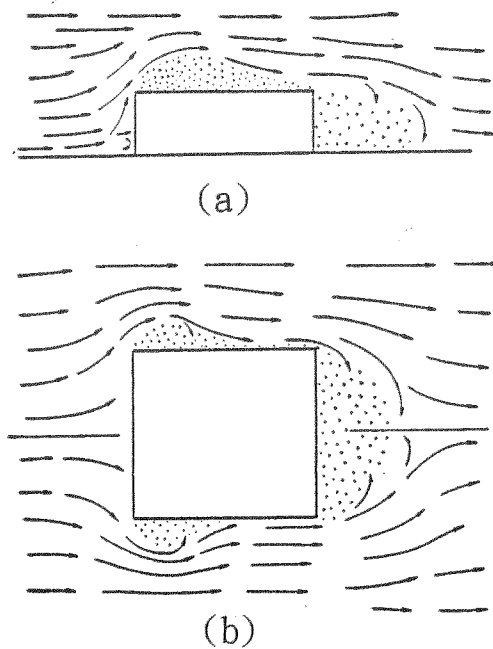
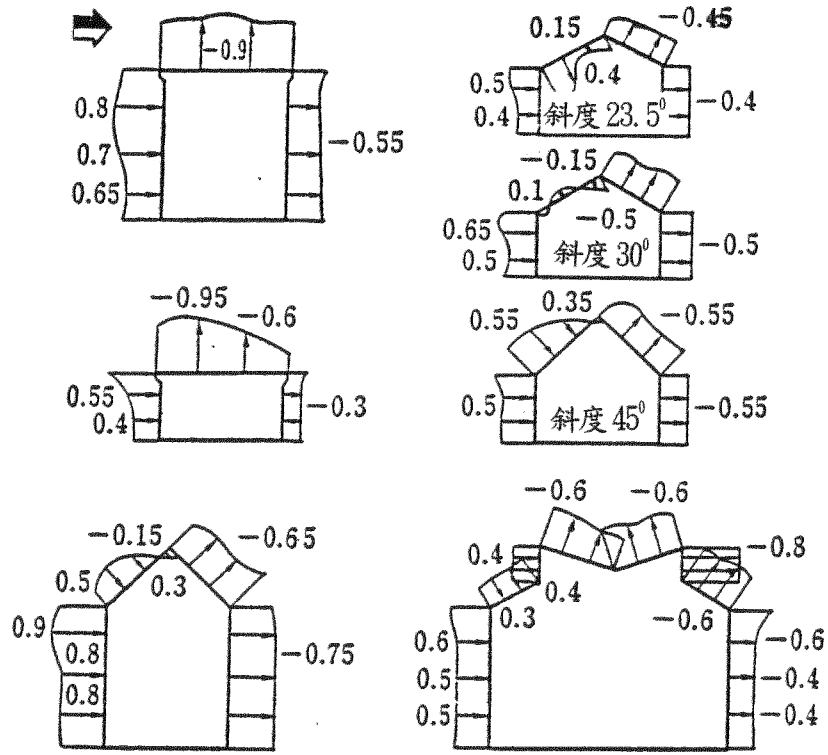
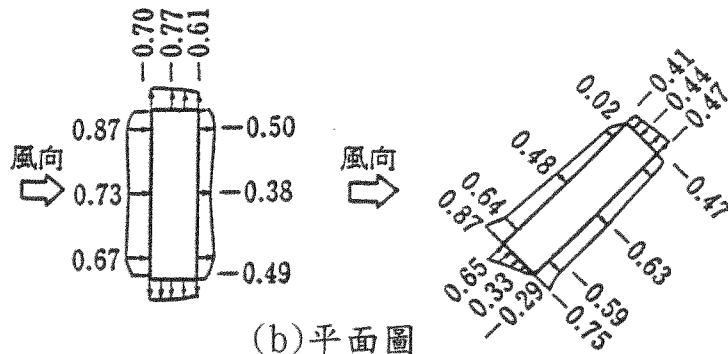


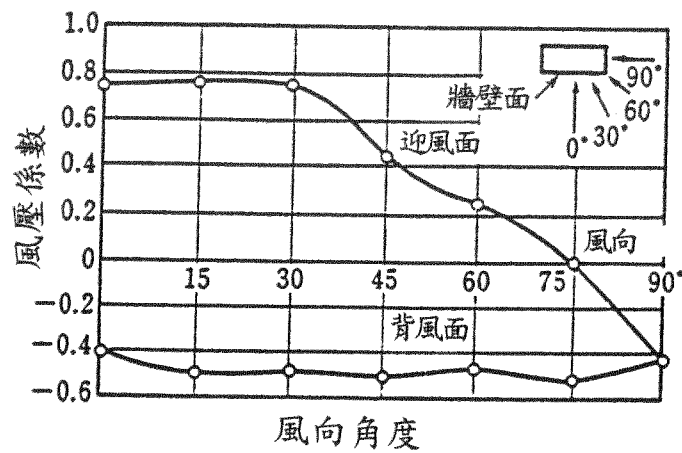
圖 5-2 建築物附近風向流場圖 (a) 剖面圖 (b) 平面圖



(a) 剖面圖



(b) 平面圖



(c) 不同風向之風壓係數

圖 5-3 建築物的風壓係數

## 5-2 風壓作用對自然排煙之影響

風向和風壓對自然排煙效果有極大影響，以某一樓層向外開窗為例，說明如下(如圖 5-4):

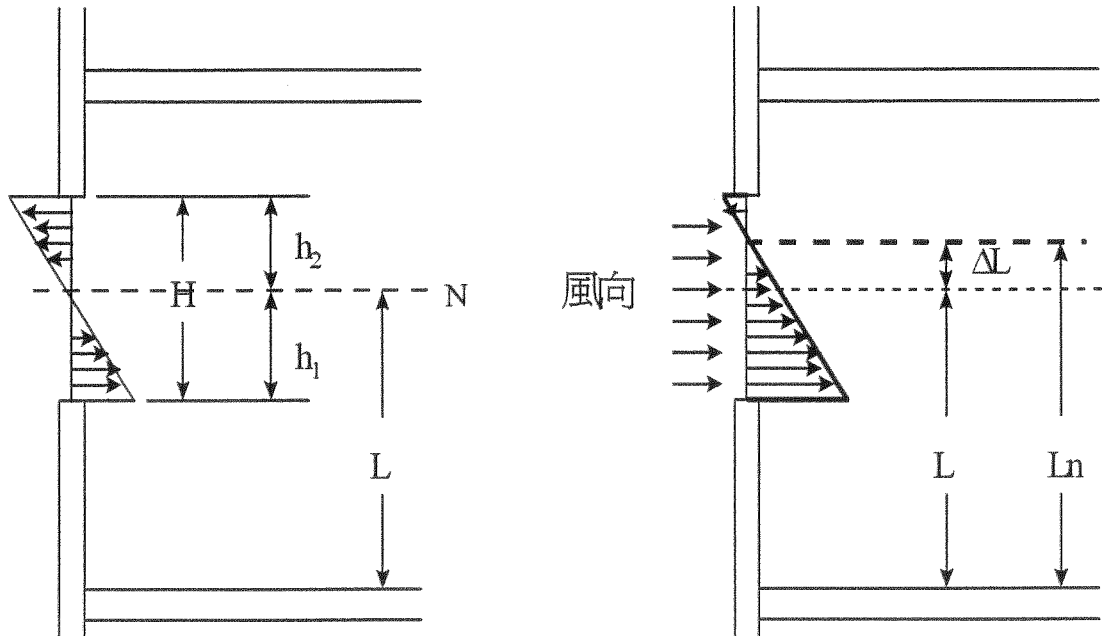


圖 5-4 風壓對自然排煙之影響

在離地高度  $h$  之室外內壓差為

$$\begin{aligned} \Delta P_h &= P_{outh} - P_{inh} \\ &= (P_{outl} - P_{inl}) - (\rho_{out} - \rho_{in})gh \end{aligned} \quad (5-4)$$

可求得中性面之高度  $L$

$$L = \frac{P_{outl} - P_{inl}}{(\rho_{out} - \rho_{in})g} \quad (5-5)$$

在開口處迎風面所產生之風壓為正壓，在高度 h 之壓力差需加上因風壓作用而產生之壓力差，即

$$\begin{aligned}\Delta P &= \nabla P_h - P_w \\ &= (P_{out1} - P_{in1}) - (\rho_{out} - \rho_{in})gh + c \frac{\rho_{out} V^2}{2}\end{aligned}\quad (5-6)$$

設新中性面之高度為  $L_n$ ，此處之壓力差為零。

$$\Delta P_{L_n} = (P_{out1} - P_{in1}) - (\rho_{out} - \rho_{in})gL_n + c \frac{\rho_{out} V^2}{2}\quad (5-7)$$

新中性面之高度為

$$L_n = \frac{(P_{out1} - P_{in1})}{(\rho_{out} - \rho_{in})g} + \frac{c\rho_{out} V^2}{2g(\rho_{out} - \rho_{in})}\quad (5-8)$$

故新中性面往上移之距離

$$\Delta L = L_n - L = \frac{c\rho_{out} V^2}{2g(\rho_{out} - \rho_{in})}\quad (5-9)$$

一般排煙口均為固定大小，若受風壓作用，中性面往上移則排煙效果將減少，甚至無法排煙，當  $\Delta L \geq h_2$  時，排煙將失效。

$$\frac{c\rho_{out} V^2}{2g(\rho_{out} - \rho_{in})} \geq h_2\quad (5-10)$$

$$\text{又 } H = h_1 + h_2\quad (5-11)$$

中性層高度與室內外氣溫及氣體密度之關係式為

$$\frac{h_2}{h_1} = \left( \frac{\rho_{out}}{\rho_{in}} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right)^{\frac{1}{3}}\quad (5-12)$$

代入上式

$$h_2 = \frac{H \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right)^{\frac{1}{3}}}{1 + \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad (5-13)$$

故由上式得

$$\frac{c\rho_{out} V^2}{2g(\rho_{out} - \rho_{in})} \geq \frac{H \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right)^{\frac{1}{3}}}{1 + \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad (5-14)$$

$$\frac{cV^2 \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right)}{2g \left[ \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right) - 1 \right]} \geq \frac{H \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right)^{\frac{1}{3}}}{1 + \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad (5-15)$$

由上式可求得臨界風速

$$V = \sqrt{\frac{2gh_2 \left[ \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right) - 1 \right]}{c \left( \frac{T_{in}}{T_{out}} \right)}} \quad (5-16)$$

當外界風速達到此臨界風速時，自然排煙即失效

利用臨界風速即可得知臨界高度

$$h = \left( \frac{V_h}{V_{10}} \right)^{\frac{1}{n}} \times h_{10} = \left( \frac{V}{V_{10}} \right)^{\frac{1}{n}} \times 10 \quad (5-17)$$

則 h 即為採用自然排煙時之臨界高度。

### 5-3 實例計算

一般外氣之風速、風向均非穩定，隨時節不同，因此本研究以氣象資料為主，如表 5-2。

表 5-2 台灣主要地區之風向及風速

地名	一月		四月		七月		十月	
	風向	風速	風向	風速	風向	風速	風向	風速
基隆	NE	3.9	NE	2.8	S	3.1	NE	4.0
台北	E	2.9	E	2.7	SSE	2.3	E	3.7
新竹	NE	2.9	NE	2.2	SW	2.6	NE	3.1
台中	N	2.0	N	1.5	S	1.5	N	1.7
花蓮	NE	2.8	SW	2.4	SW	2.2	NE	2.7
台南	N	3.1	N	2.4	SE	2.5	N	2.4
高雄	N	3.2	WNW	2.8	ENE/WNW	3.3	WNW	2.5
恆春	NE	4.5	NE	3.3	E/NW	2.9	NE	4.5

實例計算：

台北為例，風速介於 2.3m/s ~ 3.7m/s 之間，建築物座落方位與風向成 45° 及 0° 兩種，則風壓係數為 0.45 及 0.75，風速修正係數  $k=1$ ，室外溫度分為 25°C 及 30°C，窗之高度為 1.6m。一般防火建築物，起火空間之溫度很少超過 1000°C，因此每隔 100°C 探討自然排煙之臨界風速與臨界高度，數據如表 5-3 至表 5-6。



表 5-3 室外溫度 25°C 風向 45 度之臨界風速與臨界高度

火場溫度 (°C)	臨界風速 (m/s)	外界風速3.7m/s 之臨界高度(m)	外界風速2.3m/s 之臨界高度(m)
100	2.79	4.28	17.81
200	3.78	10.69	44.52
300	4.35	16.25	67.65
400	4.73	20.91	87.04
500	5.01	24.83	103.39
600	5.23	28.19	117.34
700	5.40	31.09	129.41
800	5.54	33.62	139.98
900	5.66	35.87	149.33
1000	5.77	37.87	157.68

表 5-4 室外溫度 30°C 風向 45 度之臨界風速與臨界高度

火場溫度 (°C)	臨界風速 (m/s)	外界風速3.7m/s 之臨界高度(m)	外界風速2.3m/s 之臨界高度(m)
100	2.60	3.47	14.46
200	3.67	9.74	40.55
300	4.26	15.27	63.58
400	4.66	19.94	83.02
500	4.95	23.89	99.47
600	5.17	27.27	113.53
700	5.35	30.20	125.72
800	5.50	32.76	136.39
900	5.62	35.03	145.84
1000	5.73	37.06	154.28

表 5-5 室外溫度 25°C 風向 0 度之臨界風速與臨界高度

火場溫度 (°C)	臨界風速 (m/s)	外界風速3.7m/s 之臨界高度(m)	外界風速2.3m/s 之臨界高度(m)
100	2.16	1.99	8.28
200	2.93	4.97	20.69
300	3.37	7.55	31.44
400	3.66	9.72	40.45
500	3.88	11.54	48.05
600	4.05	13.10	54.54
700	4.18	14.45	60.15
800	4.29	15.63	65.06
900	4.39	16.67	69.40
1000	4.47	17.60	73.28

表 5-6 室外溫度 30°C 風向 0 度之臨界風速與臨界高度

火場溫度 (°C)	臨界風速 (m/s)	外界風速3.7m/s 之臨界高度(m)	外界風速2.3m/s 之臨界高度(m)
100	2.01	1.61	6.72
200	2.84	4.53	18.84
300	3.30	7.10	29.55
400	3.61	9.27	38.59
500	3.83	11.10	46.23
600	4.00	12.67	52.77
700	4.14	14.03	58.43
800	4.26	15.23	63.39
900	4.35	16.28	67.78
1000	4.44	17.22	71.70

由以上分析，可看出影響自然排煙的主要因素有下列幾點：

(1)起火產生之熱壓作用：

當火場空氣被加溫時，產生浮力向上移動，即所謂的熱壓作用，火場溫度與室外溫度差距愈大時，產生之臨界風速也愈大，臨界高度也愈高。

(2)建築物形式及座落方位：

建築物的形式、高度均有不同的風壓係數，受風向影響，迎風面為正壓，背風面為負壓，而座落方位與風向的角度不同，風壓係數也不同。

風壓係數愈小，所受風的影響愈小，所以臨界風速愈大，臨界高度愈高。

(3)外界風速影響：

外界風速隨著季節、時間、氣候均有所不同，很難有極精確的數據，一般均採用氣象資料為主，而風速與高度成一定關係，當外界風速較小時，則臨界高度較高。

(4)窗開口大小：

排煙開口加大時，對外的排煙面積增加臨界風速也較大，臨界高度也較高。

#### 5-4 建議

從本節之理論分析與實例計算，我們大概可瞭解設有緊急昇降梯與安全逃生梯的高層建築在採用自然排煙設計時，似乎應有臨界高度的限制，否則建築物高度太高時，風壓會大於熱浮力效應，使自然排煙無法進行，而將濃煙阻擋在排煙道中，使煙道中的壓力逐漸增加，使得濃煙往非起火樓層擴散，而造成意外之損害。

此臨界高度的限制又與外界風速、風溫，火場溫度有密切關係，雖然其影響參數複雜，但鑑於保護百姓生命財產之安全，當以最惡劣的環境為考慮點，同時參考國外相關法規，建議在「各類消防場所消防設備設置基準」第 190 條法規中，除了原有的排煙口面積及排煙管道內部斷面積外，增列自然排煙法使用高度之限制。

由於台灣各地區的風速及地形均不一樣，所以此使用高度限制相當難限定，不過經過理論探討後，以台灣地區的風速分佈情況來看，使用自然排煙時，高度限制似乎不應超過 70m，才有較佳的效果。

## 第六章 緊急昇降梯梯間正壓化分析

建築技術規則施工篇第 106 條規定，緊急昇降機之設置標準，同時在消防法規中也規定，此昇降機必須位於有排煙設備的排煙室內。對於緊急昇降機梯間則無加壓防煙的規定，此種情形很有可能為濃煙壓力大於外界壓力時，濃煙會進入昇降機梯間而充滿在整個昇降機梯間內，當消防人員或民眾逃生時欲使用緊急昇降機會產生活塞效應，使濃煙藉由梯道間進入其他非起火樓層而造成人員傷亡。1980 年位於美國拉斯維加斯 26 層樓高的米高梅旅館即為極明顯的例子。煙從一樓之起火樓層藉由各種管道，包括電梯梯道進入非起火樓層造成許多住在高層的客人死亡，甚至在 85 位罹難者中有 6 位是死在電梯中。由此可知道火場煙流的壓力之大往往超乎我們想像，因此在緊急昇降梯梯間加壓使其維持在某一壓力之內以防止起火樓層的濃煙進入是相當重要且必需的。

緊急昇降梯顧名思義為在起火時緊急使用的昇降梯，備有緊急電源及採用防火材料等各種防火措施與設備之昇降梯，既然緊急昇降梯為大樓起火時供消防人員或民眾救災逃生之用，所以梯道間之壓力會因車廂之上下移動，而造成部份區域負壓之產生，此即為活塞效應，而此負壓現象有可能將濃煙引入，快速藉由車廂移動進入車廂內或其他樓層，所以在進行緊急昇降梯梯間加壓設計時，活塞效應不得不考慮。

## 6-1 緊急升降梯梯道間正壓化系統

「正壓化」在本研究中的主要意思是利用機械風機送風加壓產生壓力來限制煙的移動。理論上，一個升降梯的正壓化系統將保護其通道(elevator shaft)和前室(elevator lobbies)等區域，不致受到濃煙的侵襲。

一般而言，升降梯門的四周都有很大的隙縫，所以在升降梯梯間及其通道有很大的洩漏面積，造成兩者間的壓力在大部分情況下幾乎都是相等，因此假如在通道內加壓送入空氣而梯間將會間接產生與管道內相同的壓力。送入空氣的流量由壓力感測器(pressure sensor)來感測，火災樓層的升降梯梯間與鄰近火災區門的壓力差來控制，使兩者間維持一定的壓力差，防止煙由此門滲入升降梯梯道間。所以必須利用旁通(bypass)的方法來改變空氣送入通道的流量，或是利用其他系統來解決壓力損失的問題，以下將對正壓化系統作進一步的分析。

## 6-2 正壓化系統分析

圖 6-1 表示因升降梯通道加壓所產生氣流的流動方向情形，當升降梯車廂往下移動時，會因活塞效應的產生使得車廂下方的壓力增加，而車廂上方的壓力會降低，因為壓力的降低使得煙因此經由隙縫滲透到升降梯梯間或升降梯通道。為了簡化的緣故，分析升降梯梯道正壓化系統時，我們忽略了浮力、風速及風向、煙囪效應、熱膨脹和通風系統的影響。但在忽略煙囪效應時有個條件要求，即建築物內的空氣溫度和外面空氣溫度要相同，因為溫度相同所以密度也會一樣，因此產生的重力效

應和壓力可以忽略。本研究將探討單一車廂在升降梯通道內由上往下移動的情形，若車廂是由下往上移動，則其數學模式與由上往下移動是相同的，所以車廂由上往下移動所推導的方程式亦可使用於車廂由下往上的移動中。

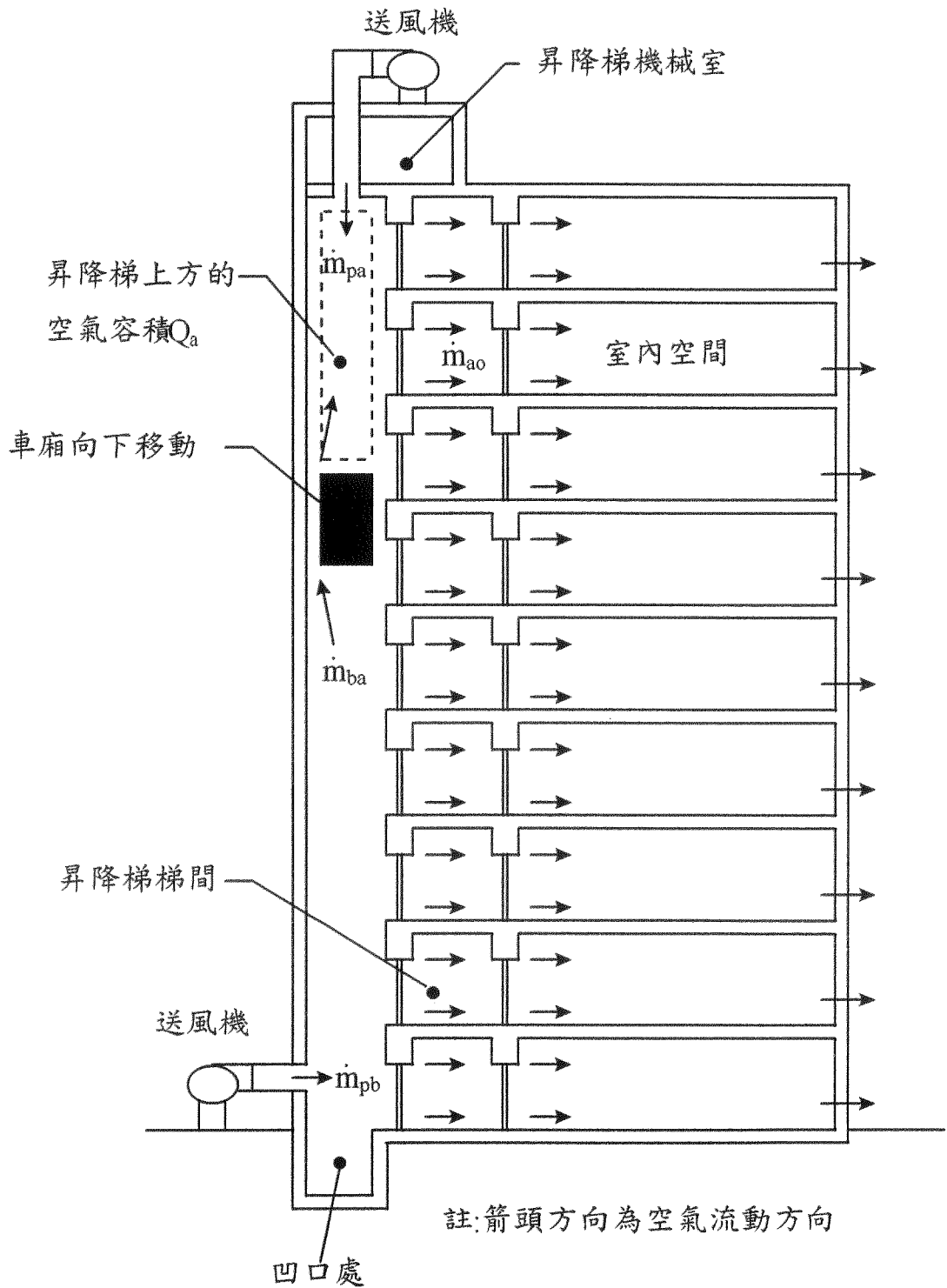


圖 6-1 升降梯通道加壓所產生氣流的流動方向情形



(一)質量守恆方程式：

由質量守恆定律可知車廂上方的空氣容積  $Q_a$  可寫成下式：

進入容積  $Q_a$  的淨流量 = 容積  $Q_a$  的質量改變率

$$\text{即 } \dot{m}_{pa} + \dot{m}_{ba} - \dot{m}_{ao} = \frac{d}{dt}(\rho Q_a) \quad (6-1)$$

上式中：

$Q_a$  車廂上方的空氣容積

$\rho$  通道內的空氣密度。

$\dot{m}_{pa}$  進入車廂上方加壓空氣的質量流率。

$\dot{m}_{ba}$  車廂下方到車廂上方的質量流率。

$\dot{m}_{ao}$  車廂上方到外面的質量流率。

假若車廂向下移動的速度為  $V$ ，而且昇降梯通道的截面積為  $A_s$ ，則  $Q_a$  對  $t$  的導數可變成：

$$\frac{dQ_a}{dt} = A_s V \quad (6-2)$$

因為通道內的空氣密度實際上為一定值，因此將(6-2)代入(6-1)可得：

$$\dot{m}_{pa} + \dot{m}_{ba} - \dot{m}_{ao} = \rho A_s V \quad (6-3)$$

由質量守恆定律，可得整個升降梯通道內的質量流率關係為

$$\dot{m}_{pa} + \dot{m}_{pb} - \dot{m}_{ao} - \dot{m}_{bo} = 0 \quad (6-4)$$

上式中：

$\dot{m}_{pb}$  進入車廂下方加壓空氣的質量流率。

$\dot{m}_{bo}$  車廂下方到外面的質量流率。

(二)質量流率方程式：

在升降梯通道內，只有垂直流動的氣流，而且在各樓層的升降梯通道截面積皆相等的情況下，從車廂上方的空氣容積向外面流出的流量

$\dot{m}_{ao}$  可由下式求得

$$\dot{m}_{ao} = N_a C A_e S_a \sqrt{2 \rho \Delta |P_a|} \quad (6-5)$$

上式中：

$N_a$  車廂上方的樓層數

$C$  流量係數

$A_e$  升降梯通道與外面的有效流動面積

$\Delta P_a$  車廂上方與外面的壓力差

$S_a$   $\Delta P_a$  的符號( $\Delta P_a$  正則  $S_a$  為正、 $\Delta P_a$  負則  $S_a$  為負)

在方程式(6.5)內含有絕對值的符號和  $S_a$ ，是考慮車廂向下移動而產生負壓的情形。

而車廂下方空氣容積向外面流出的流量  $m_{bo}$  可由下式表示

$$m_{bo} = N_b C A_e \sqrt{2 \rho \Delta P_b} \quad (6-6)$$

上式中：

$N_b$  車廂下方的樓層數

$\Delta P_b$  車廂下方與外面的壓力差

因為車廂向下移動將造成其下方為正壓，所以在(6.6)式根號內  $P_b$  不用加絕對值。

而由車廂下方到上方的空氣流率可由下式表示

$$m_{ba} = C_c A_f S_{ba} \sqrt{2 \rho |\Delta P_b - \Delta P_a|} \quad (6-7)$$

上式中：

$A_f$  車廂周圍與通道間的流動面積

$C_c$  車廂周圍流體的流量係數

$S_{ba}$  ( $P_b - P_a$ )的符號

在方程式(6-7)內有絕對值的符號和  $S_{ba}$  是考慮車廂上方加壓空氣  $m_{pa}$  很大時，雖然車廂由上往下移動，但空氣仍將由車廂上方流到車廂下方，而  $C_c$  值須由實驗得知。根據美國國家標準 12 層行政大樓實驗，在兩部車廂通道下只移動一部車廂時  $C_c$  值為 0.94，而當兩部車廂同時移動時  $C_c$  值為 0.83。至於在一部車廂管道下，車廂移動時  $C_c$  值為 0.83。

(三)  $P_a$  與  $P_b$  的方程式：

將方程式(6.5)(6.6)代入方程式(6.4)，整理並求出  $P_b$  可得

$$P_b = (C - b \sqrt{|\Delta P_a|})^2 \quad (6-8)$$

$$C = (m_{pa} + m_{pb}) / K_{bo}$$

$$b = S_a N_a / N_b$$

$$K_{bo} = N_a C A_c \sqrt{2\rho}$$

再將方程式(6.3)(6.5)(6.6)(6.7)和(6.8)合併可得

$$m_{pa} + K_{ba} S_{ba} \sqrt{\left[ c - b \sqrt{|\Delta P_a|} \right]^2 - P_a} - K_{ao} S_a \sqrt{|\Delta P_a|} - \rho A_s V = 0 \quad (6-9)$$

$$\text{其中： } K_{ba} = A_f C_c \sqrt{2\rho} \text{、 } K_{ao} = N_a C A_c \sqrt{2\rho}$$

### 6-3 昇降梯車廂的移動分析

此時我們要考慮昇降梯車廂移動時的三個階段：第一階段屬於等加速移動，第二階段中作變速移動，第三階段達到等速移動。

當昇降梯開始從靜止以等加速大小  $a$  加速至其速度大小為  $V_t$  時，其所花的時間為  $t_t$ ，可得相關方程式

$$t_t = \frac{V_t}{a} \quad (6-10)$$

這段時間所移動的距離為  $X_t$ ，其相關方程式

$$X_t = \frac{V_t^2}{2a} \quad (6-11)$$

在變速移動的過程中其等加速慢慢遞減到速度  $V_p$ 。此過程中可利用下列的近似式來求其相關的數值，而此近似式如下

$$t_p = \frac{V_p^2 - V_t^2}{2aV_t} \quad (6-12)$$

$$X_p = \frac{1}{3a} \left[ \frac{V_p^3}{V_t} - V_t^2 \right] + X_t \quad (6-13)$$

式中  $X_p$  為升降梯從開始移動到最後速度  $V_p$  前的移動距離。

#### 6-4 梯間壓力差分析

升降梯垂直通道至戶外共有三個串聯走道，如圖 6-1 所示，其各樓層的有效流動面積可利用下式求得

$$A_e = \left( \frac{1}{A_{ls}^2} + \frac{1}{A_{il}^2} + \frac{1}{A_{oi}^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (6-14)$$

上式中

$A_e$  升降梯通道至外面的有效流動面積

$A_{ls}$  升降梯通道與前室間的洩漏面積

$A_{il}$  前室與室內間的洩漏面積

$A_{oi}$  室內與戶外間的洩漏面積

因為在昇降梯通道內加壓送入空氣，所以瞭解壓力差之變化是非常重要的，昇降梯門四周都有很大的隙縫，所以在昇降梯通道與前室有很大的洩漏面積，因此壓力幾乎相等，故我們考慮室內與前室壓力差 $\Delta P_{ii}$ 之大小。

在走道為串聯的情形下，通過某一走道的壓力差等於系統本身的壓力差乘上有效流動面積與流過某一走道面積比值的平方，則 $\Delta P_{ii}$ 可表示成下式

$$\Delta P_{ii} = \Delta P_a \left( \frac{A_e}{A_{ij}} \right)^2 \quad (6-15)$$

當壓力差 $\Delta P_{ii}$ 是正值時，氣流從前室流向室內，可以防止煙霧滲入前室及昇降梯通道。

我們利用式(6-9)至式(6-13)中昇降梯車廂的移動速度及位移量所得關係式，再以電腦數值計算來解式(6-9)中的 $\Delta P_a$ 值，而用式(6-14)與式(6-15)可解得 $\Delta P_{ii}$ 之值。

## 6-5 實例模擬計算

在此針對單一車廂在 11 樓高的通道中開始移動產生的活塞效應來計算通過昇降梯前室與室內之壓力差，我們分別依 4 種不同的方式來求得其壓力差，(1)緊急昇降梯梯道間下方加壓(2)緊急昇降梯梯道間上方加壓(3)緊急昇降梯梯道間上, 下方同時加壓(4)緊急昇降梯梯道間內不加壓。而各情況下所代入的數據分別為：

$$\text{case1} : m_{pa} = 0 ; m_{pb} = 2.16 \text{ kg / s}$$

$$\text{case2} : m_{pa} = 2.16 \text{ kg / s} ; m_{pb} = 0$$

$$\text{case3} : m_{pa} = m_{pb} = 1.08 \text{ kg / s}$$

$$\text{case4} : m_{pa} = m_{pb} = 0$$

以上各情況下所代入的其它相關數據如表 6-1。將電腦模擬計算結果整理如圖 6-2。

在 case1 中只對車廂下方送風加壓，當車廂向下移動時，所產生的壓力差 $\Delta P_{II}$ 約在 2.2 秒時會達到負值，也就是說此時將造成煙流往昇降梯通道流入，因活塞效應而將煙霧排到各樓層內，無法達到有效的防煙方式。

在 case2 中對車廂上方送風加壓，故壓力差均大於 0，所以在這種設定下就不會有 case1 的缺失，但當車廂向上移動時，如同 case1 一樣會產生負壓之情況。

在 case3 中同時在車廂上下通道內施以加壓空氣，很明顯由圖看出壓力差 $\Delta P_{II}$ 在此設定條件下大於 0，為較佳之送風加壓方式。

在 case4 中為車廂上下通道內並不施以加壓空氣，此例為台灣目前昇降梯所使用的模式，經電腦計算結果發現，在發生火災時使用昇降梯則火災樓層的煙會因車廂移動，造成極大的負壓，而流入梯道間內，使濃煙可能藉由梯道流進其他非起火樓層或車廂內，造成救災及逃生的困

難，在此種未加壓的情況，不論車廂的移動速度為何，其梯道間內均會形成負壓。

圖 6-3 為升降機通道內不施以送風加壓，車廂在不同的移動速度所產生之壓力變化圖，可以很明顯的看出當移動速度  $V_p$  為 3.5m/s 時，其升降機下降的時間較短，而產生之負壓較  $V_p$  為 2.5m/s 更大，更易讓煙流進入升降機通道內，造成更嚴重之後果。

## 6-6 結果與建議

從國外較先進的消防技術趨勢，我們可知未來防煙的觀念會漸漸成為煙控系統設計的主流。起火時於救災及避難區間進行正壓化設計，以防止濃煙從火場竄入非起火區，已成為現代建築消防系統的重要一環。而緊急升降機更是救災避難的重要工具之一，所以其防煙的功能更是不可或缺的。本研究經由理論分析正壓化時緊急升降梯梯間產生活塞效應對煙流的影響，同時針對本研究所提出的正壓化值（25Pa）進行車廂上下移動之實例計算模擬，以確保車廂在上下快速行進時之活塞效應不會將濃煙由起火樓層引入梯道間內，而影響救災及逃生，甚至濃煙藉梯道竄入其他非起火樓層，造成不必要的傷亡。

本研究以升降梯梯道內維持 25Pa 之正壓及以正常的車廂移動速度（2.5m/s），進行活塞效應模式分析，不過如有特殊的使用案例，則此升降梯梯道內的正壓值則需經過重新的評估計算以確保活塞效應不會將煙流引進梯道間及車廂內。



表 6-1 昇降梯梯間煙流面積對活塞效應分析參數

單一車廂情形	m <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>
A <sub>ls</sub> :昇降梯梯間與其通道間的洩漏面積	0.167	1.8
A <sub>il</sub> :室內與昇降梯梯間的洩漏面積	0.0390	0.42
A <sub>oi</sub> :戶外與室內間的洩漏面積	0.0502	0.54
A <sub>s</sub> :整個通道的截面積	5.61	60.4
A <sub>f</sub> :車廂周圍的面積	1.80	19.4
兩部車廂情形	m <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>
A <sub>ls</sub> :昇降梯梯間與其通道間的洩漏面積	0.0836	0.90
A <sub>il</sub> :室內與昇降梯梯間的洩漏面積	0.0390	0.42
A <sub>oi</sub> :戶外與室內間的洩漏面積	0.0502	0.54
A <sub>s</sub> :整個通道的截面積	11.22	120.8
A <sub>f</sub> :車廂周圍的面積	7.41	79.8

註:單一車廂情形的 C<sub>c</sub> 值設為 0.83；兩部車廂情形的 C<sub>c</sub> 值設為 0.94，

流動係數 C 均為 0.65，昇降梯車廂的加速度為 1.22m/s<sup>2</sup>(4ft/s<sup>2</sup>)及其

V<sub>t</sub> 值大小為 V<sub>p</sub> 的 60%

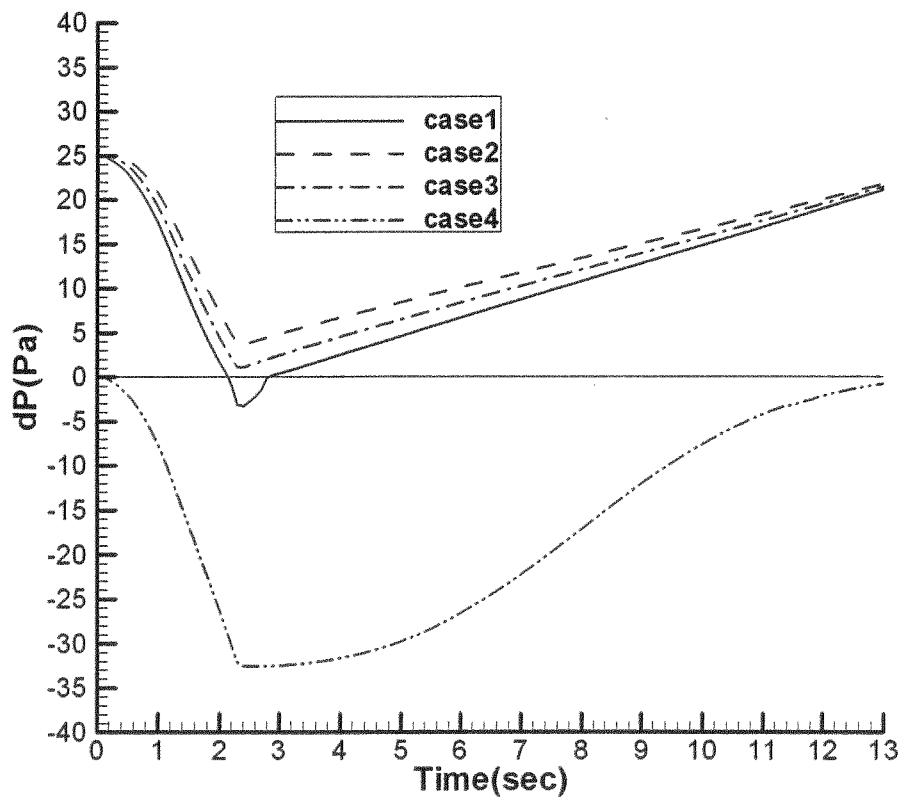


圖 6-2 昇降梯梯道間因活塞效應之壓力變化圖

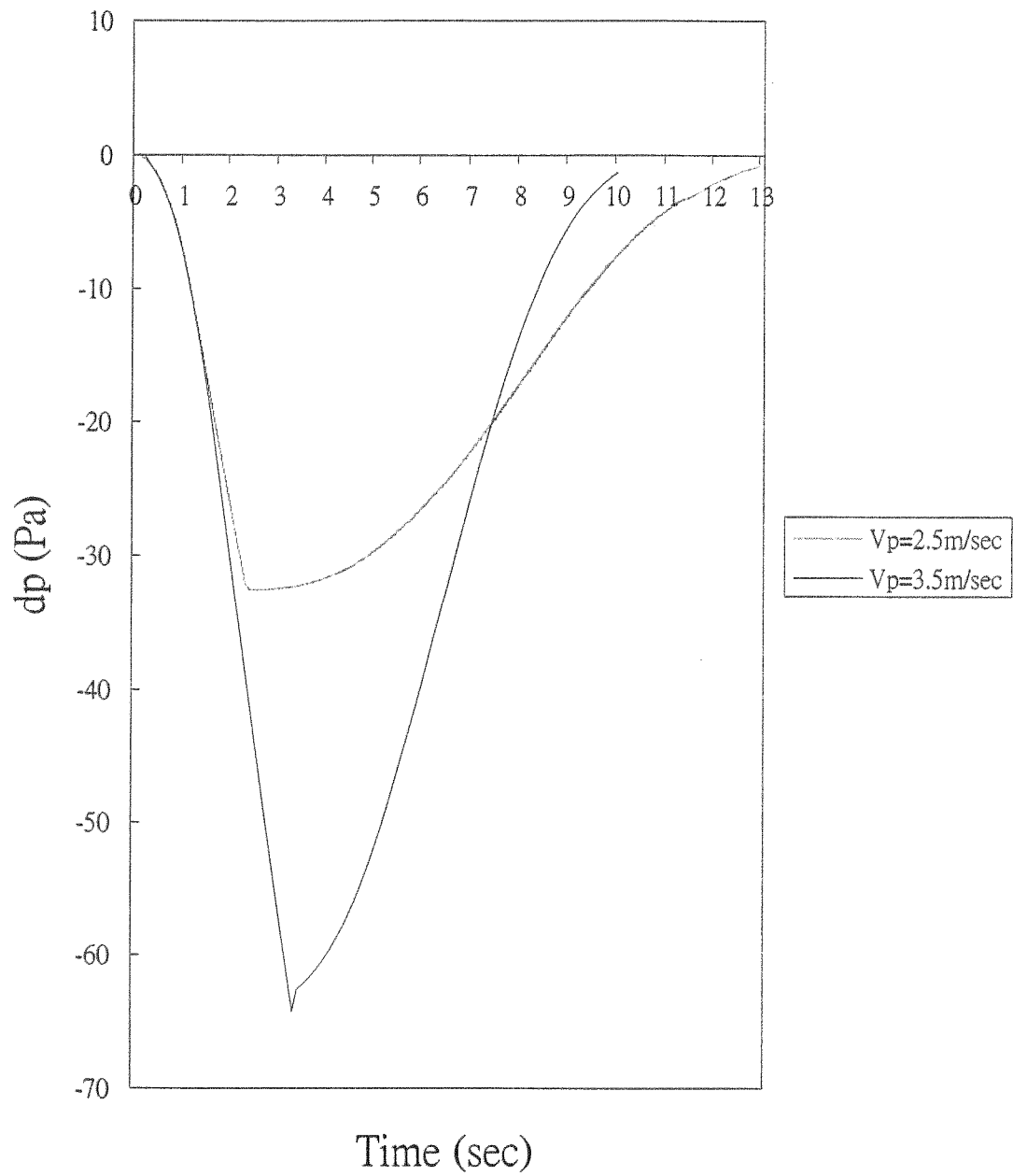


圖 6-3 昇降機間不同移動速度之壓力變化圖

## 第七章 安全梯梯間加壓防煙之可行性評估

### 7-1 安全梯間送風加壓系統探討

安全梯間送風加壓的主要目的是防止安全梯被有毒氣及濃煙彌漫，以利人員避難逃生及消防滅火搶救之功能。當高層建築物發生火災時，如何爭取有限時間，進行避難逃生、消防搶救、阻隔濃煙等，都有與時間競賽的考量。

由於無法預期火災發生之地點與樓層，對於火災產生之濃煙在水平與垂直方向之移動，有不同程度的影響。而人們處於受災之高樓時，其直覺反應是立即逃離現場，因此移往樓梯間，與安全梯間為必然舉動，雖然特別安全梯間有防火門可阻絕煙霧之擴散，但人們逃生時，一但開啟防火門，濃煙極可能沿著通道進入安全梯間，造成整個逃生避難通道充滿濃煙，影響人員逃生。

若在安全梯間利用送風機，在火災發生時，送入氣流，使樓梯間產生正壓，而使煙霧不易進入，一旦防火門開啟時，也有足夠之正壓力阻絕煙霧，減少煙流進入安全梯間。

對於安全梯間之送風加壓系統，必須考慮其送風量大小，若送風量太小，壓力不夠阻絕煙流，易讓煙流入梯間，而送風量過大，則防火門不易開啟，影響人員逃生避難。

本探討採用美國防火工程學會 (Society of Fire Protection Engineers) 所發展之煙控系統(Klote & Milke)進行建築物內壓力變化

情形之模擬，計算壓力差與送風量之關係，及防火門打開時之壓力變化情形。

由於季節的因素，冬季與夏季之煙囪效應並不相同，因此所模擬的情況也分為這兩種討論。

再者，送風機的位置及配置也影響煙控設計的一大因素，送風機可置於頂層，底層或任一層均可，也可採用每二~三層設一個送風口之方式。如下圖7-1所示。

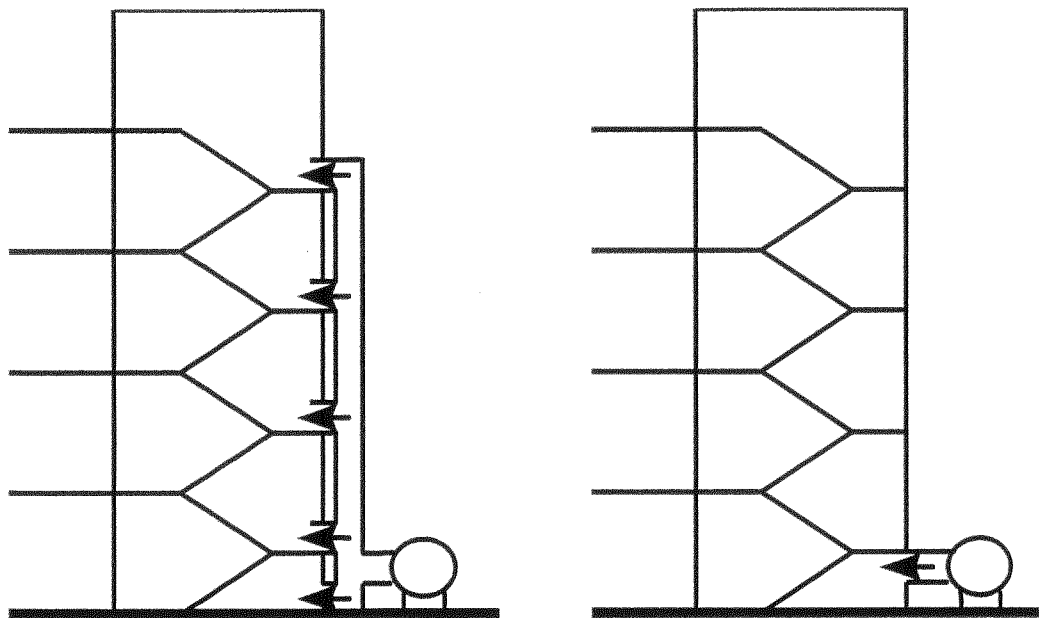


圖7-1 安全梯間送風加壓示意圖

實例模擬解析：模擬之數據資料如表7-1。

表7-1 模擬之建築物數據資料

夏天外氣溫度	32.4°C
冬天外氣溫度	17.2°C
建築物室溫	25°C
樓層數	16F
樓地板數	17
每樓高	3m
居室地板的流動面積	0.01m <sup>2</sup>
居室至外界的流動面積	0.05m <sup>2</sup>
樓梯間至前室的流動面積(開門)	2.0m <sup>2</sup>
樓梯間至前室的流動面積(關門)	0.05m <sup>2</sup>

假設不受外氣風速影響，模擬分為冬季及夏季二部分，其送風口位置分為四部分：

- (1)送風口在底層
- (2)送風口在頂層
- (3)每一層均有送風口
- (4)每隔三層置一送風口，在3、6、9、12、15F設送風口

模擬總送風量為4m<sup>3</sup>/sec時，防火門未開啟之情況，冬季各樓層之壓力差如表7-2、夏季各樓層之壓力差如表7-3所示。

表 7-2 冬季防火門未開啟各樓層之壓力差(Pa)

樓層	送風口在 底層	送風口在 頂層	每層均有一 送風口	每三層有一 送風口
1f	40.09	30.88	32.87	32.87
2f	37.85	30.88	33.12	33.12
3f	36.60	31.37	33.37	33.37
4f	35.86	31.62	33.86	33.86
5f	35.36	32.37	34.36	34.11
6f	34.86	32.87	34.61	34.61
7f	34.61	33.37	35.11	35.11
8f	34.61	34.11	35.61	35.61
9f	34.61	34.86	36.11	36.11
10f	34.61	35.86	36.35	36.35
11f	34.86	37.10	36.85	36.85
12f	35.11	38.35	37.35	37.35
13f	35.36	39.84	37.85	37.85
14f	35.61	41.33	38.10	38.10
15f	36.11	43.33	38.35	38.35
16f	36.11	46.07	38.60	38.60

表 7-3 夏季防火門未開啟各樓層之壓力差(Pa)

樓層	送風口在 底層	送風口在 頂層	每層均有一 送風口	每三層有一 送風口
1f	46.07	36.11	38.60	38.60
2f	43.33	36.11	38.35	38.35
3f	41.33	35.61	38.10	38.10
4f	39.84	35.36	37.85	37.60
5f	38.35	35.11	37.35	37.35
6f	37.10	34.86	36.85	36.85
7f	35.86	34.61	36.35	36.35
8f	34.86	34.61	36.11	35.86
9f	34.11	34.61	35.61	35.61
10f	33.37	34.61	35.11	35.11
11f	32.87	34.86	34.61	34.61
12f	32.12	35.36	34.36	34.36
13f	31.62	35.86	33.86	33.86
14f	31.37	36.60	33.37	33.37
15f	30.88	37.85	33.12	33.12
16f	30.88	40.09	32.87	32.87



由以上模擬可看出下列情況：

- (1) 冬季因正煙囪效應，隨著樓層增加其壓力差也增加，當送風口在 1 樓時，產生正壓，故在建築物底層之壓力差也較其他樓層為大。而送風口在 16 樓時，頂層因風壓關係也較其他樓層為大。
- (2) 夏季因反煙囪效應，隨著樓層增加，壓力差則減小，送風口在 1 樓時，建築物底層之壓力差較其他樓層為大，而送風口在 16 樓時，頂層附近之樓層壓力差也大於其他樓層。
- (3) 每層均有送風口，及每三層有一送風口，其總送風量相同下，可由夏季與冬季兩者看出，其差別並不大，故每隔二～三層設一出風口可減少較多之設備，為較佳之裝置方式。

若某一層防火門打開、或無法關閉時，無法形成足夠之壓力差，則煙流極易流入安全梯間，其模擬如下

表 7-4 為冬季 5 樓防火門打開時各樓層之壓力差

表 7-5 為夏季 5 樓防火門打開時各樓層之壓力差

表 7-6 為冬季 5 樓、10 樓防火門打開時各樓層之壓力差

表 7-7 為夏季 5 樓、10 樓防火門打開時各樓層之壓力差

當防火門打開時，會使安全梯間與區劃無壓力差存在，而形成濃煙的擴散，而防火門打開的上下樓層，也會因為防火門的打開而受到影響，壓力差有下降的情況。

表 7-4 冬季 5 樓防火門打開時各樓層之壓力差

樓層	送風口在 底層	送風口在 頂層	每層均有一 送風口	每三層有一 送風口
1f	37.35	27.89	30.13	29.88
2f	34.86	27.89	30.13	29.88
3f	32.37	27.89	29.88	29.88
4f	28.88	25.65	27.64	27.39
5f	0	0	0	0
6f	28.88	26.89	28.64	28.64
7f	31.37	30.38	31.87	31.87
8f	31.87	31.37	32.87	32.87
9f	32.12	32.37	33.62	33.62
10f	32.12	33.62	34.11	34.11
11f	32.37	34.86	34.36	34.36
12f	32.62	36.11	34.86	34.86
13f	33.12	37.6	35.36	35.36
14f	33.37	39.09	35.86	35.61
15f	33.62	41.33	36.11	36.11
16f	33.86	43.82	36.11	36.11

表 7-5 夏季 5 樓務火門打開時各樓層之壓力差

樓層	送風口在 底層	送風口在 頂層	每層均有一 送風口	每三層有一 送風口
1f	43.08	33.62	35.86	35.86
2f	40.09	33.12	35.61	35.61
3f	37.35	32.37	34.61	34.61
4f	32.37	29.13	31.13	31.13
5f	0	0	0	0
6f	30.38	28.14	30.13	30.13
7f	32.37	30.63	32.62	32.62
8f	32.12	31.37	32.87	32.87
9f	31.37	31.87	32.87	32.87
10f	30.88	32.12	32.62	32.62
11f	30.38	32.62	32.12	32.12
12f	29.88	32.87	31.87	31.87
13f	29.38	33.62	31.37	31.37
14f	28.88	34.36	30.88	30.88
15f	28.64	35.61	30.63	30.63
16f	28.39	37.6	30.38	30.38

表 7-6 冬季 5 樓、10 樓防火門打開時各樓層之壓力差

樓層	送風口在 底層	送風口在 頂層	每層均有一 送風口	每三層有一 送風口
1f	35.11	25.9	27.89	27.89
2f	32.87	25.9	27.89	27.89
3f	30.38	25.65	27.64	27.64
4f	27.14	23.9	25.65	25.65
5f	0	0	0	0
6f	26.89	24.9	26.39	26.39
7f	28.88	27.64	29.13	29.13
8f	28.14	28.14	29.13	29.13
9f	25.9	26.64	27.39	27.39
10f	0	0	0	0
11f	26.89	28.64	28.64	28.64
12f	29.63	32.62	31.87	31.87
13f	30.63	34.61	32.87	32.87
14f	31.13	36.85	33.37	33.37
15f	31.37	38.84	33.86	33.86
16f	31.62	41.58	33.86	33.86

表 7-7 夏季 5 樓、10 樓防火門打開時各樓層之壓力差

樓層	送風口在 底層	送風口在 頂層	每層均有一 送風口	每三層有一 送風口
1f	41.09	31.37	33.86	33.62
2f	38.1	31.13	33.37	33.37
3f	35.36	30.38	32.62	32.37
4f	30.88	27.14	29.13	29.13
5f	0	0	0	0
6f	28.39	26.15	28.14	28.14
7f	29.88	28.14	29.88	29.88
8f	28.88	28.64	29.88	29.88
9f	25.9	26.39	27.14	27.14
10f	0	0	0	0
11f	24.65	26.39	26.39	26.39
12f	26.64	29.13	28.39	28.39
13f	26.64	30.88	28.64	28.64
14f	26.39	32.12	28.64	28.64
15f	26.39	33.37	28.39	28.39
16f	26.15	35.61	28.14	28.14

## 7-2 安全梯梯間煙控壓力分析

在各國法規中，機械防煙之壓力值均有不同規定，現將其整理如下：

1. 中國大陸對於防煙樓梯間之壓力值為 50Pa。
2. 紐西蘭法規對於樓梯間之壓力值為 50Pa。
3. 澳洲防煙法規，也規定樓梯間與居室之壓力差不得小於 50Pa。
4. 美國 BOCA 建築法規，也規定樓梯間與居室之壓力差不得小於 37Pa，而當樓梯間所有的門關閉時，樓梯間與居室之壓力差不得大於 87Pa。
5. 美國紐約市的地方法規，樓梯間與居室之壓力差需介於 25Pa 及 100Pa 之間。
6. 英國的 BSI 法規要求設置前室，樓梯間與居室之壓力差不得小於 50Pa。

本研究採用最小壓力差值為 50Pa 時進行煙控模擬，採用每三層設一送風機方式，分為夏季與冬季兩部分，有四種情況：

- (1) 防火門關閉時
- (2) 5 樓防火門開啟
- (3) 5 樓與 10 樓防火門開啟
- (4) 最差情況，夏季 1~5 樓防火門開啟，冬季 12~16 樓防火門開啟時

以 50Pa 之壓力差為基準，經電腦反覆運算，推算其所需風量，其四種情況所需最小送風量如表 7-8：

表 7-8 壓力差為 50Pa 之最小風量

	模擬情況	冬季 ( CFM )	夏季 ( CFM )
1	防火門關閉時	10275	10270
2	5 樓防火門開啟	10725	10650
3	5 樓與 10 樓防火門開啟	11100	11050
4	最差情況	11700	11675

其壓力差數據如下表所示，冬季各樓層之壓力差結果如表 7-9，夏季各樓層之壓力差結果如表 7-10 所示。

煙控壓力模擬採用每三層設一送風機方式，由此可看出當防火門關閉時，所需送風量最小，而防火門開啟愈多，則必須有較大之送風量，才能維持其壓力差，而防火門開啟之上下樓層壓力差均有下降之趨勢。

冬季因最小壓力差在底層，採底層之壓力值為 50 Pa 時為基準，比較不同防火門開啟之情況，當防火門關閉時所需風量為 10275 CFM，最差情況所需風量為 11700 CFM；夏季最小壓力差在頂層，故以頂層之壓力值 50 Pa 為基準，防火門關閉所需風量為 10270 CFM，最差情況時需 11675 CFM。

夏季所需風量較冬季為少，是因為冬季外溫與室溫差（ $7.8^{\circ}\text{C}$ ）較夏季外溫與室溫差大（ $7.4^{\circ}\text{C}$ ），溫差大其壓力差值也較大，故冬季所需送風量較大，所需風量大小取決於外溫與室溫之溫差。



表 7-9 冬季各樓層之壓力差

樓層	no open	5F open	5, 10F open	12~16F open
1f	50	50	50	50
2f	50	50	50	50.05
3f	50.3	49.30	49.30	50.55
4f	50.55	45.07	45.07	50.80
5f	51.05	0	0	51.29
6f	51.54	46.31	46.07	51.54
7f	51.79	51.29	50.3	51.79
8f	52.29	52.79	50.3	52.04
9f	52.79	53.54	46.81	52.04
10f	53.29	54.03	0	51.54
11f	53.54	54.53	48.06	47.31
12f	54.03	55.03	53.29	0
13f	54.53	55.28	54.78	0
14f	54.78	55.78	55.53	0
15f	55.28	56.03	55.78	0
16f	55.28	56.03	56.03	0

表 7-10 夏季各樓層之壓力差

樓層	no open	5F open	5, 10F open	1~5F open
1f	55.28	54.78	55.03	0
2f	55.03	54.53	54.78	0
3f	54.78	53.29	53.54	0
4f	54.28	48.56	48.31	0
5f	54.03	0	0	0
6f	53.54	47.06	47.06	47.06
7f	53.04	51.29	50.55	51.29
8f	52.79	51.79	50.55	51.79
9f	52.29	51.79	46.31	51.79
10f	51.79	51.79	0	51.79
11f	51.54	51.29	45.32	51.29
12f	51.05	51.05	49.55	51.05
13f	50.55	50.55	50.05	50.80
14f	50.3	50.3	50.05	50.30
15f	50	50.05	50.05	50.05
16f	50	50	50	50

### 7-3 安全梯梯間防火門推力與煙控壓力比較分析

當安全梯間送風時，必然產生一壓力差，且維持一定的正壓，避免煙流入安全梯間，若壓力差過大時，雖能維持一無煙通道，也會因壓力過大，而使逃向安全梯間的人員推不開門，這也是必須考量的問題。示意圖如圖 7-2。

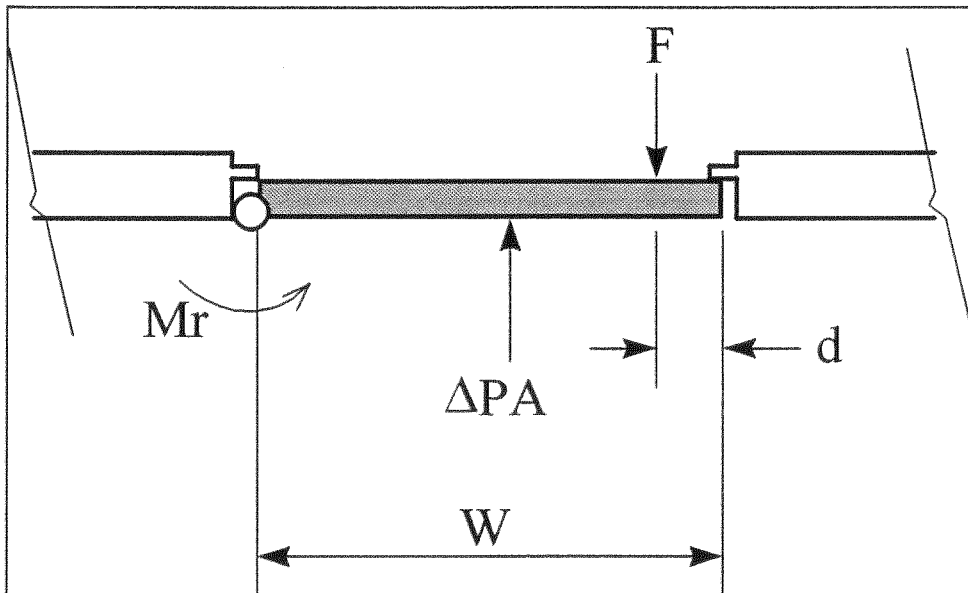


圖 7-2 推門力量分析示意圖

$$M_r + K_d \times A \times \Delta P \times \left(\frac{W}{2}\right) - F(W - d) = 0 \quad (7-1)$$

$$F_r = \frac{M_r}{W - d} \quad (7-2)$$

$$F = F_r + \frac{K_d \times W \times A \times \Delta P}{2(W - d)} \quad (7-3)$$

上式中

- A 門面積 (  $m^2$  )  
W 門寬 ( m )  
d 門邊至推力距離 ( m )  
F 推力 ( N )  
 $M_r$  門門及摩擦之力矩 ( N-m )  
 $K_d$  係數  
 $F_r$  克服門門及摩擦力之總力  
 $\Delta P$  壓力差 ( Pa )

開門力量的大小除了考量門之物理量大小 ( 門寬、重、門之摩擦力等 )、壓力差外，還必須考慮使用人員之情況，在 NFPA 1991 5.2.1.4.4 “Life Safety Code” 中指出，開門力量的大小平均不超過 133 N。

在建築物火災進行避難時，必須考量年少的兒童及年長的老年人的開門力量，Read and Shipp ( 1979 ) 曾探討開門力量的大小，分為年齡 5~6 歲及 60~75 歲二種，此開門力量分為推門及拉門兩類，為不經過練習時，第一次所測得之數據。如表 7-11 及表 7-12 所示。

表 7-11 5 ~ 6 歲開門力量之大小

	性別	平均 ( N )	最大 ( N )	最小 ( N )
推門時	男生	90	155	32
	女生	73	126	46
拉門時	男生	120	184	82
	女生	86	141	48

表 7-12 60 ~ 75 歲開門力量之大小

	性別	平均 ( N )	最大 ( N )	最小 ( N )
推門時	男生	237	540	92
	女生	162	309	83
拉門時	男生	306	786	102
	女生	201	407	100

以一般防火門資料計算，門寬 1.2m，門高 2.1m，推力距離距門邊為 0.1m，克服門閂及摩擦力大約 44N，若壓力差 50Pa 時，所需要門之推力為

$$F=44+\frac{1 \times 1.2 \times 1.2 \times 2.1 \times 50}{2(1.2-0.1)}=112.73\text{N}$$

符合 NFPA 不超過 133N 之推力大小。

從以上分析結果可得知，維持安全梯梯間正壓將可有效阻止濃煙從火源區竄入安全梯間而能保持人員逃生及救災路徑的安全。以本研究所模擬的安全梯梯間 50Pa 的正壓值可滿足在最惡劣的火場情況下防止濃煙竄入安全梯梯間，而且防火門不會因壓差過大導致無法推開。

## 第八章 結論與建議

緊急昇降梯與特別安全梯梯間排煙設備為火場救災避難體系中不可或缺的設備。在火場中致人於死的兇手往往是"煙"而不是"火"。緊急昇降梯與特別安全梯梯間排煙設備就是針對煙而特別規劃的，因此在進行設計評估時須特別考量較惡劣的火場條件以確保排煙功能的正常，達到保護救災避難的要求。

本研究經過一年的努力將緊急昇降梯與特別安全梯梯間排煙設備針對國內目前法規及使用現況進行有系統之研究，以補充緊急昇梯及特別安全梯梯間排煙設備技術及法規較不明確之處。本研究以國內目前使用中的建築物，將其緊急昇降梯及特別安全梯梯間排煙設備分成三大研究主題，排煙室，安全梯及昇降機，詳細探討其排煙設備之功能及目前法規的盲點所在同時參考國外各相關之消防法規，提出下列數點建議以作為日後政府相關單位之參考：

### (一)排煙室排煙設備：

以目前「各類場所消防安全設備設置標準」第 190 條所規定的緊急昇降梯與特別安全梯梯間排煙現況以排煙為主而非防煙。排煙方式可以自然排煙或機械排煙進行之。

#### A. 機械排煙

從本研究報告第四章的探討可知，目前法規中的  $4\text{m}^3/\text{sec}$  (兼用時為  $6\text{m}^3/\text{sec}$ ) 的排風量應可應付排煙需求，但在洩漏量過大或壓損過高的排煙管道中我們無法確保各樓層的排煙室的排煙量，所以針對此點建議

增列各樓層緊急昇降梯與特別安全梯梯間排煙室排煙量之最低排煙量。此最低排煙量應有 60ACH 以上。

根據本研究結果，茲建議於我國建築技術規則第 102 條中及各類場所消防安全設備設置標準第 190 條第二款增加

排煙機開啟時，各排煙室之最低排煙量，應能達到每小時換氣 60 次以上之標準(60ACH 換氣率)。

## B. 自然排煙

自然排煙法的使用與限制於"各數場所消防設備設置基準"第 190 條中討論的很少，經由本研究的第五章的分析比較結果，建議增列自然排煙使用的樓層高度限制，以確合自然排煙的功能能正常發揮，研究結果顯示以國內的大氣條件限制樓高在 70 米之高度較可行。

根據本研究結果，茲建議於我國建築技術規則第 102 條中及各類場所消防安全設備設置標準第 190 條第二款增加

使用自然排煙時，建築物之樓層高度應限制在 70 公尺以下。

### (二) 緊急昇降梯間排煙設備：

欲防止起火樓層的濃煙藉由梯間管道進入非起火樓層造成不必要的生命財產的損失，建議在緊急昇降梯梯間採用加壓設計，經過第六章之分析探討控制壓力建議在 25Pa 正壓，以防止濃煙進入昇降機梯道及車廂中。

根據本研究結果，茲建議於我國建築技術規則第 102 條中及各類場所消防安全設備設置標準第 190 條第二款增加

緊急昇降機之通道內，得採用送風加壓設計，所產生之壓差，應在 25Pa 以上。

(三)安全梯梯間排煙設備：

現階段「各類場所消防設備設置基準」對於特別安全梯梯間排煙設備並無特別規定，無論是自然排煙或機械排煙皆集中在排煙室內。經由本研究的理論分析及參考國外相關煙控法規及技術規則認為對於未來防止濃煙擴散較有效的方式是採用防煙方式(壓力煙控)。

至於防煙煙控之正壓壓力，經考慮逃生者能推開逃生門的力量及火場溫度，樓層高度等物理條件，建議特別安全梯梯間壓力煙控維持在 50Pa 為相當合理的參考值。在此種壓力下濃煙不會由起火樓層外竄至其他非起火樓層而造成逃生及救災困難。

根據本研究結果，茲建議於我國建築技術規則第 102 條中及各類場所消防安全設備設置標準第 190 條第二款增加

特別安全梯應為防煙樓梯，梯間通道內，得採用防煙設備，其壓力煙控應維持在 50Pa 。

以上各點建議針對「各類場所消防設備設置基準」之第 190 條特別安全梯及緊急昇降梯梯間排煙設備進行理論基礎探討，且對於國外較先進之防排煙技術也一併引進，同時釐清機械排煙與自然排煙的使用時機



及其條件限制。希望藉由本研究結果可提供政府相關單位增修訂防排煙消防法規之參考，同時可作為日後排煙設計手冊編纂之初步架構。另外值得一提的是雖然本研究針對緊急昇降機及特別安全梯及排煙室提出較新的設計觀念及參考數據，不過仍須與施工單位及執行單位進行評估以增加法規落實之可行性。

## 參考文獻

1. 建築技術規則建築設計施工篇
2. 各類場所消防安全設備設置標準
3. F. J. McLabe and R. M. Plettner "Fire and Smoke dampers in active HVAC systems" ASHRAE Journal, June 1993, pp20-26.
4. J. H. Klotz and J. A. Milke "Design of smoke management systems" ASHRAE publishing, 1992.
5. J. H. Klotz and J. W. Jr. Fothergill "Design of smoke control system for buildings" ASHRAE , 1983.
6. P. Stollard and L. Johnston "Design Against Fire" published by E. & F. N. Spon, 1994
7. M. Dillon, "The other risk in smoke control design", ASHRAE Journal July 1991, pp19-22.
8. Butcher, E. G., Parnell, A. C. "Smoke Control in Fire Safety Design" London, United Kingdom, E. & F. N. Spon, 1979.
9. NFPA. "Life Safety Code", Quincy, Massachusetts, National Fire Protection Association, 1988.
10. Quintiere, J. "Scaling applications in fire research" Fire Safety Journal. Essex, England, Elsevier Science Ltd, 1989.
11. Tamura, G. Shaw, C. "Studies on exterior wall air tightness and air infiltration of tall buildings" ASHRAE Transaction. Atlanta, Georgia, ASHRAE vol. 82, pt. 1. 1976.

12. Read, R. E. H. , and M. P. Shipp. haw, C. “An investigation of fire door closer forces” BRE Report. Borehamwood, Hertfordshire, UK: Fire Research Station, 1979.
13. George T. Tamura, P.E, “Smoke Movement and Control in High-rise Building” National Fire Protection Association, Quincy Massachusetts, 1994.
14. 新排煙設備技術指針編輯委員會, “新排煙設備技術指針”, 日本建築中心, 東京, 1987.
15. UNIC, “UNIC General Purpose CFD Design Tool”, Engineering Sciences, Inc., Alabama, U.S.A., 1995.
16. J.H.klote, “An Analysis of the Influence of Piston Effect on Elevator Smoke Control” NBSIR 88-3751, 1988.
17. R.W. Hockney, J.W. Eastwood, “Computer Simulation Using Particles”, Adam Hilger, Bristol, 1989.