

台中市政府 105 年度市政府發展研究論文
實務工作研究

論文題目：樓梯間與通風塔對住宅室內風場之影響研究

學校：逢甲大學

系所：建築系

研究員姓名：張丞瑤

指導教授：林衍良

論文完成日期：105.5.13

摘要

由於全球暖化使得全球溫度升高加上都市建築密度逐年增高使都市熱島日益嚴重，導致都市溫度逐年增加、都市內平均風速下降，易造成都市內的多數建築物通風不良，使室內溫度升高、室內舒適度降低。根據研究指出人們每天平均大約有 80% 以上的時間在室內度過且優良的室內通風設計有助於增加室內通風量、改善室內的空氣品質，提升室內舒適度、提升人體健康。因此本研究利用熱島效應造成都市溫度升高的不利條件轉化形成浮力通風的機會，將熱島效性的缺點轉成浮力通風的優點，藉由整合樓梯間與通風塔使室內通風量增加，提升室內舒適度。本研究依據熱浮力通風的原理針對通風塔之位置、高度、上下端開口邊長比並整合樓梯間樣式，利用 CFD 數值模擬進行研究與分析找出最優化的組，經由階段性的模擬分析與比較本研究發現如下：

A. 通風塔位置

通風塔位置越接近進風口，通風量越大、室內空氣滯留時間短；離進風口越遠則越小、室內空氣滯留時間長。

B. 通風塔上下端開口邊長比

因縮流效應的影響，使用下縮上寬的通風塔形式較佳。同時要避免通風塔壁與樓梯間水平夾角小於 80.5 度，因為此時在通風塔端處會產生紊流情況

C. 樓梯樣式

當樓梯投影面積足夠大時，使用下縮上寬的通風塔形式較佳，此時通風塔下端具足夠的面積能使空氣粒子流暢的通過；當樓梯投影面積狹小如直行單跑樓梯時因空氣粒子可通過面積狹小故使用通風塔上下端開口一致大小的通風塔樣式以利空氣粒子通過較佳。

關鍵字：自然通風、熱浮力通風、通風塔、CFD

目 錄

摘 要	I
目 錄	II
第一章 緒論	1
1-1 研究動機	1
1-2 研究目的	2
1-3 研究方法與內容	2
1-4 研究範圍與對象	3
1-5 研究流程	4
第二章 文獻回顧	5
2-1 台中氣候特徵	5
2-2 自然通風理論	6
2-2-1 通風塔與熱浮力通風相關文獻	9
2-3 樓梯樣式	10
2-4 物理環境研究方法	13
2-5 計算機流體力學	14
2-5-1 紊流模型 (turbulence model)	14
2-5-2 風廓線圖 (Wind profile)	15
2-6 評估指標	17
2-6-1 風速	17
2-6-2 通風量 (Flow Rate)	17
2-6-3 空氣滯留時間 (Local Mean Age, LMA)	18

第三章 數值模擬.....	19
3-1 垂直核單元模擬.....	19
3-1-1 垂直通風塔與邊界條件設定.....	19
3-1-2 垂直核單元-變因設定.....	21
3-2 垂直核單元-通風塔位置對室內風場之影響 Type A'.....	22
3-3 垂直核單元-通風塔開口邊長比對室內風場之影響 Type C'.....	30
3-4 小結.....	39
第四章 數值模擬－樓梯間加通風塔.....	40
4-1 樓梯間加通風塔樣式模擬.....	40
4-1-1 樓梯間加通風塔樣式與邊界條件設定.....	40
4-1-2 樓梯間加通風塔樣式-變因設定.....	44
4-2 樓梯間加通風塔樣式對室內風場之影響.....	44
第五章 結論與建議.....	51
5-1 研究結論.....	51
5-2 研究建議.....	54
參考文獻.....	55

第一章 緒論

1-1 研究動機

由於全球暖化使得全球溫度升高加上都市建築密度逐年增高使都市熱島日益嚴重，倒置都市溫度逐年增加、都市內平均風速下降，易造成都市內的多數建築物通風不良，導致室內溫度升高、室內舒適度降低。故利用熱島效應造成溫度升高的不利條件轉化形成浮力通風的機會，把熱島效性的缺點轉成浮力通風的優點，使室內通風量增加，提升室內舒適度，更進一步提升居住者的健康。根據行政院主計處 2012 年的調查資料顯示，台灣約有 80% 以上的人口居住在台灣總面積的 12% 的土地上，為提供足夠數量的居住單元，造成都市大量開發高層建築，然而都市高層化與高度集中會使得我們所居住的環境品質下降。

且根據研究指出，人們每天平均大約有 80% 以上的時間在室內度過，有的人的室內活動時間甚至高達 93% 以上，同時，室內環境的舒適度將會影響到人體的健康、舒適、工作效率和工作精準度以及減少人體的疲勞以防止事故發生(黃漢泉 1994)。政府在 2012 年公布最新的空氣品質標準如下表(表 1)，高雄市政府在高雄厝規劃興建與及研究發展輔助計劃中提到換氣率從 1.8(1/s/人)提升至 12.8(1/s/人)能明顯降低室內二氧化碳的濃度(從 1050ppm 降至 780ppm)並使氣喘症(asthmatic symptoms)發生率從 11.1% 降至 3.4%，故優良的室內通風設計有助於增加室內通風量、改善室內的空氣品質，提升室內舒適度、提升人體健康對現今人們長時間待在室內而言是極其重要。隨著對於環境保護、與自然共生等永續發展的意識抬高，政府近年來不斷鼓勵綠建築的興建，新的建築物已有重視室內通風等問題，但台灣仍然有大多數老舊建築物有通風不良的問題。故依照浮力通風的原理利用原本的垂直動線(梯間、電梯間)整合通風塔改建老舊住宅使老舊住宅室內空間有更良好的通風效果，解決住宅之通風不良的現象，增加室內通風量減少平均空氣的滯留時間提升室內空氣品質進而提升人體健康。

1-2 研究目的

本研究針對台中之連棟透天住宅之室內通風的議題進行探討，以熱浮力通風為概念將通風塔與住宅的垂直動線結合，利用 CFD 模擬以達到最佳的通風效果。

本研究目的如下：

1. 分析通風塔之位置、高度、上下端開口邊長比對室內風場的影響
2. 分析樓梯樣式結合通風塔對室內風場的影響
3. 整合結論導入設計端

1-3 研究方法與內容

本研究方法：

A. 文獻收集

透過文獻收集整合出影響室內通風量，並收集與垂直通風相關之案例，作為整合垂直通風與垂直動線之基礎。

B. 數值模擬分析

本研究採用 CFD - FLOVENT 做為建築氣流場之電腦模擬軟體。計算流體力學是在古典流體力學、數值計算方法和計算機技術的基礎上建立起來，它以解析流體力學行為的方程組為基礎，藉由電腦的快速運算速度，大幅度縮短了研究的時間與費用。

本研究內容包含：

1. 自然通風理論

根據文獻紀錄，室內通風主要受風壓通風與熱壓通風影響，依據不同的外在環境條件與室內環境的狀況，產生以風壓通風為主熱壓通風為輔或以熱壓通風為主風壓通風所影響室內風場的情況也不同。

2. 熱浮通風案例整理

藉由整理蘭庭靜園、The Environmental Building、香港大學的生物科學大樓等熱浮力通風之案例，歸納分析其通風方式與影響因素，為本研究變因設定做準備。

3. 計算機流體力學

藉由文獻數據，設計兩組單元模擬探討通風塔之位置、高度、上下端開口邊長比對室內風場的影響與三組樓梯樣式與通風塔之組合模擬探討樓梯樣式與通風塔之組合對室內風場的影響，提供並分析各種室內狀態(通風量、溫度、風速、LMA)之數據。並整理出通風塔設置之注意事項與樓梯樣式之配合要點。

1-4 研究範圍與對象

本研究範圍如下圖 1-1 針對台灣都會區之住宅密集區之老舊連棟住宅並以台中為數值模擬地點，探討樓梯間整合通風塔在通風塔不同變因（開口大小、高度、位置）之下於夏季風場對住宅室內風場的影響，並探討同一樓梯樣式下通風塔型態對室內通風之影響，利用 CFD 之數值模擬，以求得室內通風效果的最佳化，並評估其室內通風量與 LMA。

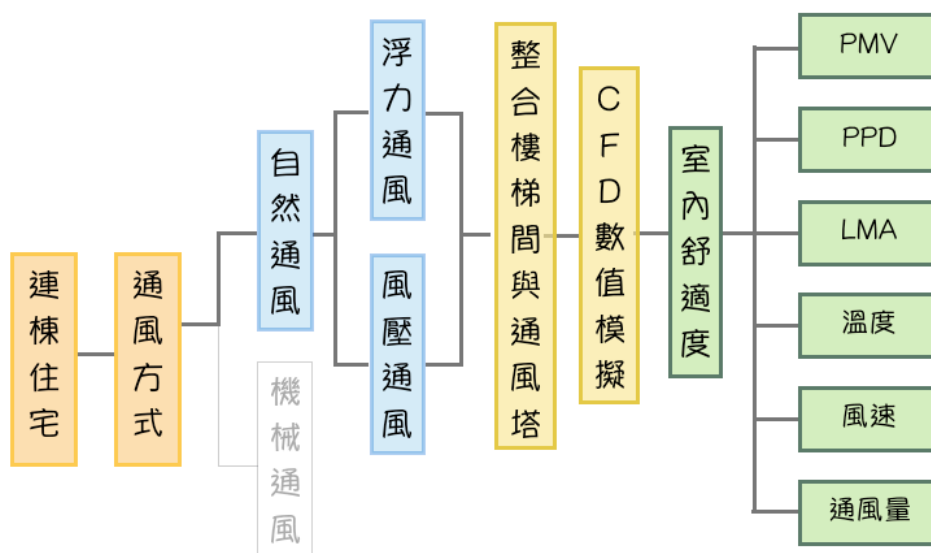


圖 1-1 研究範圍與對象

(資料來源：本研究繪製)

1-5 研究流程

本研究流程如下：

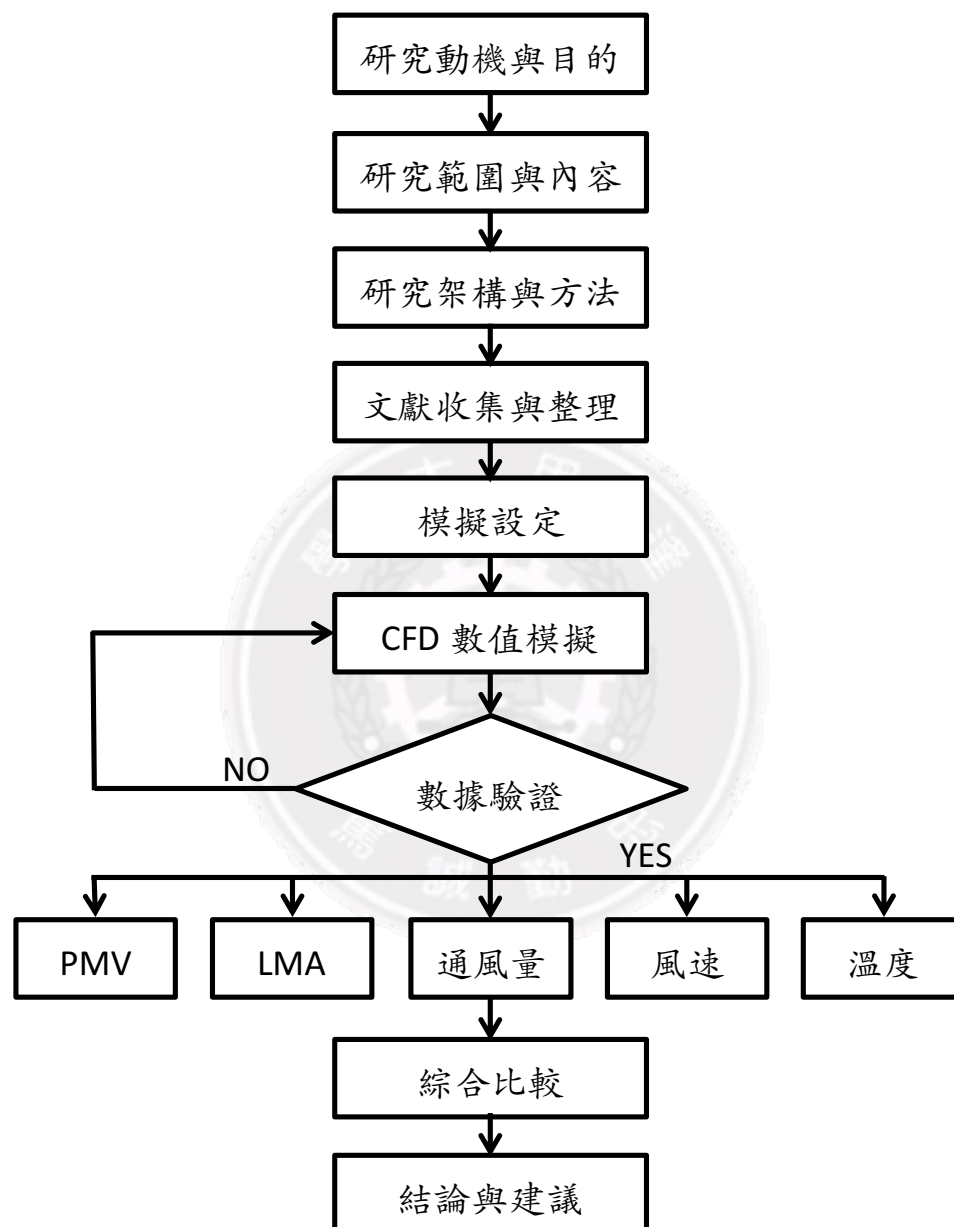


圖 1-2 本研究流程
(資料來源：本研究繪製)

第二章 文獻回顧

2-1 台中氣候特徵

台中位於東經 120 度 40 分；北緯 24 度 09 分，屬於副熱帶季風氣候區，在 5 月到 9 月為夏季時期，前期受西南季風帶來潮溼而溫暖的氣流影響，後則期受副熱帶高壓影響，是為熱帶海洋氣團所控制，因此台中夏季氣候溫高濕多雨，每日氣溫經常可達 27 到 35 度，且降水量平均約 267.4mm。冬季受大陸冷氣團、寒潮等影響，但台灣四面環海，遇到中國大陸北方寒流南下時，因受海洋暖流影響中和了寒冷的氣溫，加上水氣阻擋，使氣候較為溫暖，因此台中冬季氣候月平均溫度維持 10 度以上相比華南沿海地區，更顯得溫和暖和。



圖 2-2 台灣氣候分佈
(資料來源：本研究繪製)

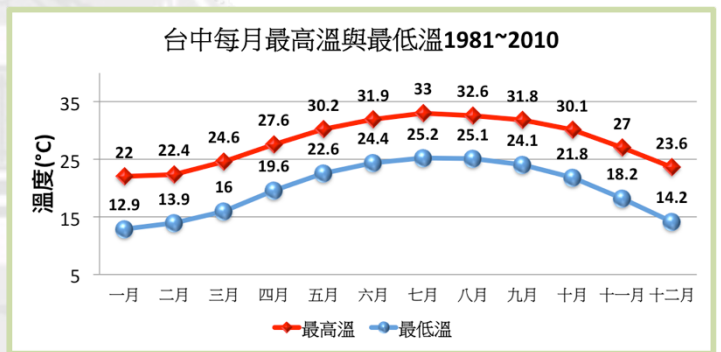


圖 2-3 台中月平均最高溫與最低溫氣
(資料來源：本研究繪製)

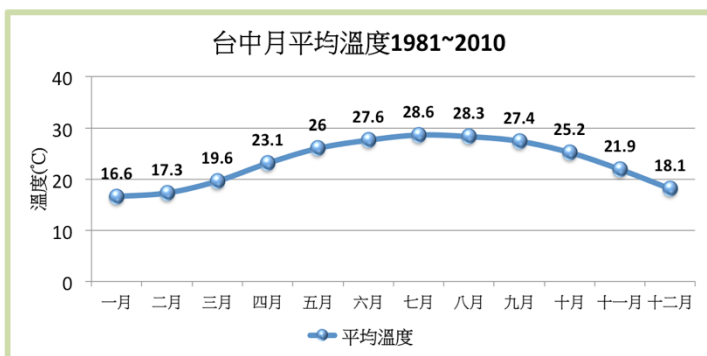


圖 2-1 台中月平均溫度
(資料來源：本研究繪製)

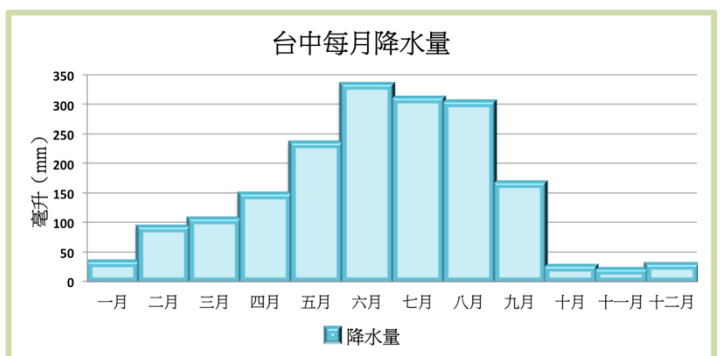


圖 2-4 台中月平均降水量
(資料來源：本研究繪製)

2-2 自然通風理論

自然通風 (natural ventilation) 是指依靠室外風力造成的風壓和室內外空氣溫度差造成的熱壓，促使空氣流動，使得建築室內外空氣交換的過程。自然通風可以保證建築室內獲得新鮮空氣，帶走多餘的熱量，提供舒適的室內環境。

1. 綜合來說利用建築自然通風的優點為下列幾點：

1. 與空調系統的通風方式相比較，利用自然通風可避免發生病態大樓症候群(Sick Building Syndrome, SBS)的機會。
2. 以自然通風策略與機械通風系統比較起來具有維修且使用容易的優點。
3. 利用自然通風可節省使用機械通風的機房空間。
4. 自然通風策略可在溫帶氣候適用於多種類型建築物。
5. 自然通風可於夏天時利用夜間較低的空氣溫度進行外氣冷房。
6. 適量與適當的開口可降低空氣滯留時間(LMA)提升室內空氣品質。

運用於建築上的自然通風可分成兩種類型，其一利用風壓做驅動力的稱風壓通風，其二利用熱壓做驅動力的稱熱壓通風。多數情況下風壓和熱壓是同時起作用的，這時主流空氣的流向依兩種驅動力的作用方向和強弱對比來確定。

風壓通風（圖 2-5）：室外自然風吹向建築物時，在建築物的迎風面形成正壓區，背風面形成負壓區，利用兩者之間的壓差進行室內通風，就是風壓通風。

熱壓通風（圖 2-6）：由於空氣溫度的差異導致空氣的密度產生差異而產生的空氣流動，在地球重力的作用下，高溫空氣向上運動，低溫空氣向下運動。當室內空氣溫度高於室外時，使室外空氣由建築物的下部進入室內，而從建築物的上部排到室外；而當室外溫度高於室內時，則氣流流向相反，又稱為浮力通風。

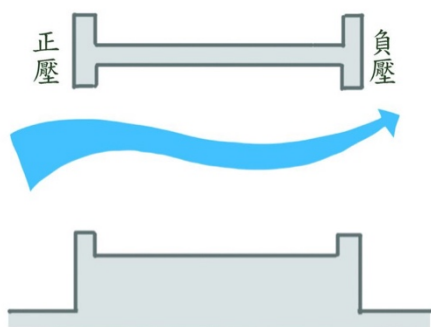


圖 2-6 風壓通風
(資料來源：住進有
光和風的自然好宅)

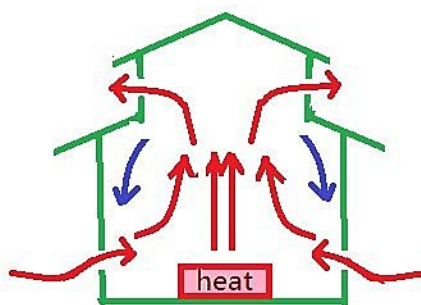


圖 2-6 熱壓通風
(資料來源: 科學小玩意)

II. 熱浮力通風案例收集

A. 蘭潭靜園

蘭潭靜園座落於台灣嘉義阿里山麓，處於北回歸線上，基地位於山坡地上，座東北朝西南。利用熱浮力通風的梯間與自動控制的通風塔氣窗來維護健康環境品質。由於受地形影響，白天清涼的「谷風」從南邊的山下經過八掌溪水域、蘭潭水庫吹往北邊的高地，晚上的「山風」則從北邊高地吹向南邊山下，形成良好的自然通風對流，同時蘭潭靜園利用東面樓梯間的垂直玻璃結構形成「熱浮力通風塔」，並在樓梯間的屋突處設置通風氣窗。通風氣窗可依據風向與風壓的狀況，以主動或被動模式的排氣系統透過電腦管理來調整不同方位的氣窗開關，已達便利舒適的居住環境。主動模式是指室內熱氣會從樓梯間進入通風塔再由塔頂氣窗於被風面將熱氣排出；被動模式通風塔頂氣窗餘迎風面打開，由於室外風壓力大於室內風壓力故藉由室外的風壓利抽出室內熱空氣，以調節室內數環境同時改善室內空氣品質。

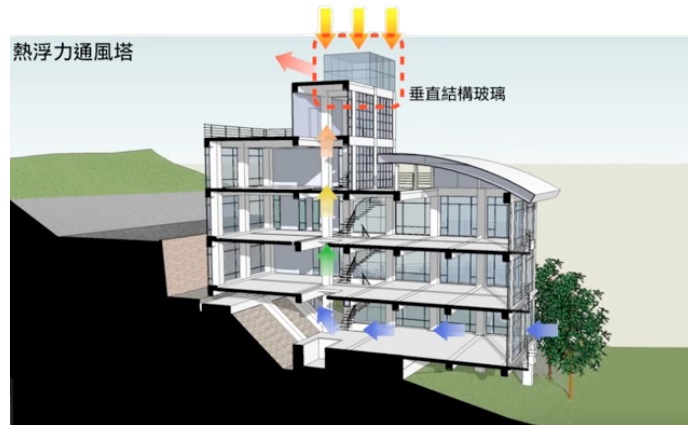


圖 2-7 蘭潭靜園-熱浮力通風塔
(資料來源：北回歸線上的綠建築)

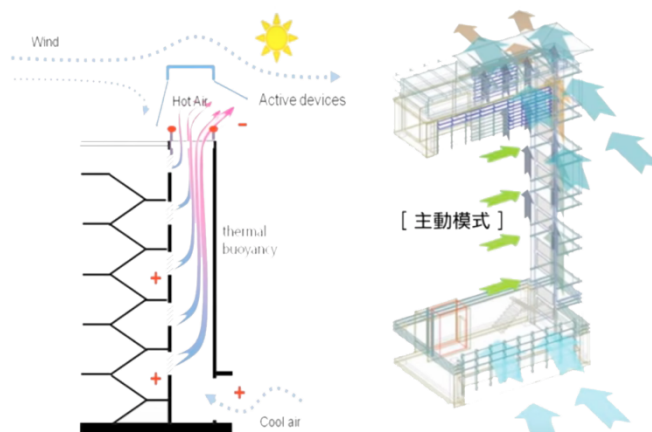


圖 2-8 蘭潭靜園-熱浮力通風塔主動模式
(資料來源：北回歸線上的綠建築)

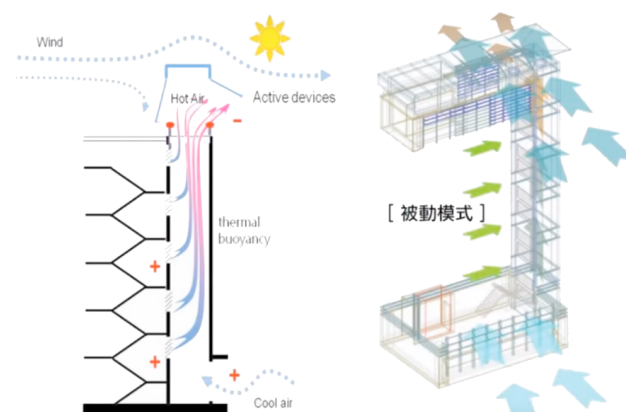


圖 2-9 蘭潭靜園-熱浮力通風塔被動模式
(資料來源：北回歸線上的綠建築)

2-2-1 通風塔與熱浮力通風相關文獻

本章節針對垂直通風進行相關文獻整理如表 2-1，由文獻整理得知自然通風是一種經濟、節能、不需專人管理、無噪音等優點並且保持室內空氣新鮮度，但自然通風常受室外氣候環境的影響，當室外氣溫度與室內溫度相近或室外風壓與室內風壓相近，導致溫度差或風壓差過小容易造成室內通風不佳之情形。根據中央氣象局之氣象資料統計與文獻內容得知台灣夏季風場常處於軟風狀態（風速 1.5M/S~3.4M/S）且台灣一般透天住宅為側邊開窗形式，在建築量體密度高的都市中並不利於自然通風故可藉由垂直通風的形式增加自然通風量。

表 2-1 通風塔與熱盧立通風文獻整理

文獻	研究者	研究內容	研究結果	研究工具
連棟住宅結合導風板與通風塔之通風效益探討	陳記融 2014	探討集合式及獨棟式兩種樣式，透過陽台開口部裝設導風板及樓梯間設置通風塔的應用	連棟住宅使用通風塔與導風板整合設計可有效改善室內環境。根據顯示導風板變化有助於自然通風優於既有建築	PHOENICS
誘導式垂直通風塔於台灣氣候條件下對室內流場特性之研究	周伯丞 張尉瑩 江哲銘 2007	探討熱浮力運用在建築垂直通風之效益，以「誘導式 (passive)」通風觀念來進行研究	通風塔與導熱板的搭配利用可保留熱空氣於室內，下部冷空氣與排風口排風效益增加 20%~15%	CFD 實測
中央通風井設計對大樓自然通風及熱舒適性影響之研究	吳仁豪 2014	透過模擬結果來探究氣候環境對中央通風井的效能影響。	適應型熱舒適規範呈現室內辦公空間的換氣率、熱舒適性影響。	Fluent
動態通風井對自然通風效能影響之研究-以低碳示範屋為例	余品龍 2011	實測動態通風井所造成的煙囪效應及浮力通風將室內熱空氣由通風井上方排至室外，進而加強室內的自然通風	當有風力通風較為明顯時，通風井升起高度之面積應為開口截面積之 2 倍，當重力通風較為明顯時，通風井升起高度之面積應為開口截面積相等。	Fluent
小型建築中庭空間浮力通風之解析	蘇民裕 2006	對影響中庭浮力自然通風換氣量及中性面位置遷移的各個因素進行研究和分析，並提出指導設計的一些基本原則和方法。	有外風場時且進風口設置於受風面負壓處，形成與浮力換氣路徑相反的風壓換氣，削減原本室內浮力換氣的效果。	PHOENICS

（本研究繪製）

2-3 樓梯樣式

因不同梯間樣式倒置住宅室內風場的通風路徑不同，故藉由梯間樣式的收集，歸類各種梯間樣式的特點與形式，並整理出台灣常見的樓梯樣式以利後續模擬分析的應用。

A. 直行單跑樓梯（圖 2-10-a）

特徵：樓梯無中間平臺

B. 直行多跑樓梯（圖 2-10-b）

特徵：增設中間平臺

● 直行樓梯特點：

- 1、直接、順暢，導向性強。
- 2、用於多層，增加交通面積,加長人流行走距離。

C. 平行雙跑樓梯（圖 2-10-c）

特徵：節約面積並縮短人流行走距離，最常用的樓梯形式之一。

D. 平行雙分雙合樓梯（圖 2-10-d）

通常在人流多，梯段寬度較大時採用。造型對稱嚴謹，常用作辦公類建築的主要樓梯。

E. 平行雙合樓梯（圖 2-10-e）

此種樓梯與平行雙分樓梯類似，區別僅在於樓層平臺起步 第一跑梯段前者在中面後者在兩邊。

F. 折行多跑樓梯（圖 2-10-f,g,h）

折角可變，可為 90 度也可大於或小於 90 度，可利用樓梯井作為電梯井位置，供少年兒童使用的建築不宜採用此種樓梯。

G. 交叉跑樓梯（圖 2-10-l,j）

特徵：有兩個各自獨立的空間通道可視為兩部獨立的疏散樓梯。在有雙向

疏散要求的高層居住建築中採用

H. 螺旋形樓梯（圖 2-10-k）

不作為主要人流交通和疏散樓梯，作為建築小品佈置在庭院或室內。

I. 弧形樓梯（圖 2-10-l）

扇形踏步的內側寬度較大($\geq 220\text{mm}$)，可以用來通行較多的人流。



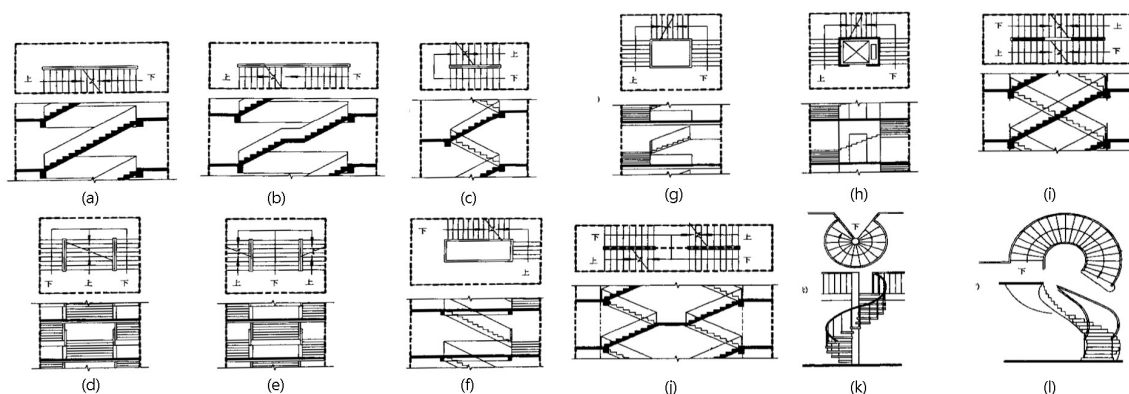


圖 2-10 樓梯樣式
(林佑色 正修科技大學講師)

台灣常見樓梯樣式：

根據正修科技大學林佑色講師之樓梯說明中提到台灣常見之樓梯樣式為 U 字型與其變化、L 字型與其變化、直線型與其變化，故將常見之樓梯樣式與其所需面積列於下圖（圖 2-11）

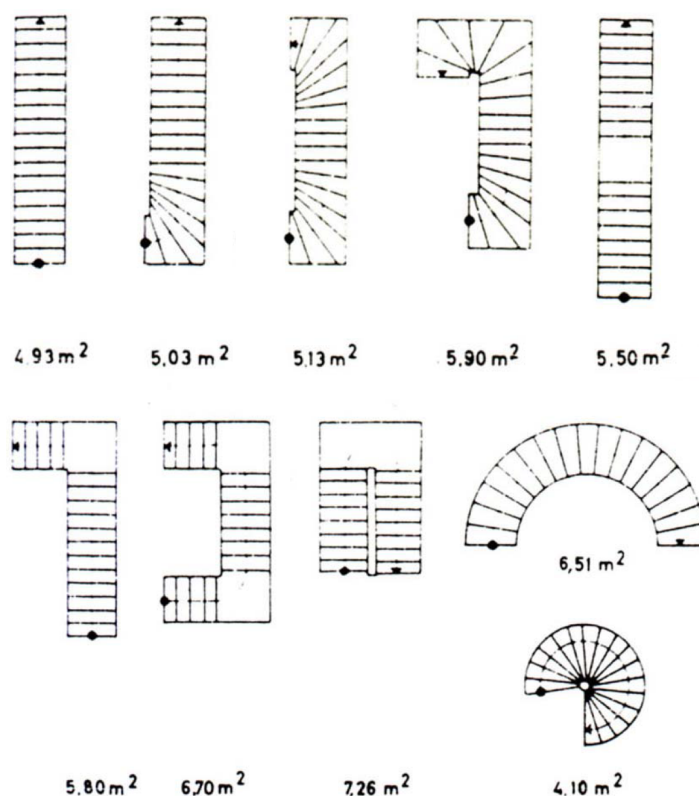


圖 2-11 常見樓梯樣式

2-4 物理環境研究方法

物理環境包括作用在大範圍的空間和時間處理，在人的空間尺度上，都市物理的重點上是大氣邊界層（ABL）的下部，ABL 在空間和時間上變化很大。它的高度範圍幾個從幾十秒的強穩定層到數公里的強不穩定層或對流，美國氣象學會（AMS）提供了以下定義（圖 2-12）：

- A. 大尺度或天氣尺度：大氣的規模運動與數百公里，其中等現象氣旋的典型範圍 和熱帶氣旋。
- B. 中尺度：有水平尺度的大氣現象的規模從幾公里至幾百公里，其中包括雷與、鋒面、 在熱帶和颶風以及地形生成的天氣系統如降水帶山波和海陸風。
- C. 微尺度：大氣的規模大於 2 或空間的 2 公里以下的大氣尺度。

其中微尺度氣象模型通常被稱為 CFD 模型

空間尺度	全球	中尺度	小尺度	建築	構件、材料	材料、人體
Spatial scale	Global	Mesoscale	Microscale	Building	Component	Material/Human
Distance	< 6500 km	< 200 km	< 2 km	< 100 m	< 10 m	< 1 m
Model cat.	NWP	NWP / MMM	CFD	CFD / BES	BC-HAM	MSM / HTM

圖 2-12 6 種都市物理環境空間模型尺度,模型單元最大水平距離和相關模型分類。 NWP=數值化氣象預測,MMM=中尺度氣象模型,CFD=計算流體力學,BES=建築能 源模擬,BC-HAM=建築構件-熱,氣流,濕度傳遞,MSM=材料科學模型,HTM=人 體熱物理環境模型

（資料來源：Urban physics and the grand societal challenges）

對於建築規模尺度和微氣候尺度下的物理環境學問題研究，可以通過三種方法中的一個來解決，其方法如下（表 2-2）：

1. 實地測量
2. 實驗室模擬（風洞測量）
3. 數值模擬（CFD）

表 2-2 物理環境研究方法

物理環境研究方法	優點	缺點
實地測量	捕捉到所研究的問題的真正複雜性	不完全可控
實驗室模擬（風洞測量）	1.能測量較大程度的控制的條件和測試條件 2.可於設計階段進行評價	點的測量 需縮尺模型
數值模擬（CFD）	1.條件可控 2.全面性的測量 3.虛擬模型 4.可於設計階段進行評價	準確性的建立

（資料來源：本研究整理）

2-5 計算機流體力學

計算機流體力學（Computational Fluid Dynamics，簡稱 CFD）是 21 世紀流體力學領域的重要技術之一，是在古典流體力學、數值計算方法和計算機技術的基礎上建立而成，並使用數值方法在計算機中對流體力學的控制方程式進行求解，從而可預測流場的流動，目前在各種工程領域 CFD 方法已經得到廣泛的應用如航空航天、燃料電池、生物醫藥、鋼鐵冶金、船舶、汽車、機械、化工、環境、石油、建築等。

2-5-1 紊流模型（turbulence model）

FloVENT 軟件圖提供層流模型和紊流模型（圖 2-13），根據 1882 年雷諾實驗（圖 2-14）可知層流時，流體流速較低，質點受粘性制約，不能隨意運動，粘性力起主導作用；但在紊流時，因流體流速較高，粘性的制約作用減弱，因而慣性力起主導作用，除外還存在一種介於層流和紊流之間的狀態稱為過渡狀態。簡單來說當流速很小時，流體分層流動，互不混合，稱為層流(或片流)；逐漸增加流速，流體的流線開始出現波浪狀的擺動，擺動的頻率及振幅隨流速的增加而增加，此種流況稱為過渡流；當流速增加到很大時，流線不再清楚可辨，流場中有許多小漩渦，稱為湍流，又稱為亂流、擾流或紊流。

本研究以紊流模型中選定較廣泛使用的標準 k- ϵ 模型，k- ϵ 模型是最簡單且最完整得紊流模型，可以計算比較複雜的紊流模型，對於各種流場具有較好的預測性，其所需計算的時間也較短且適用範圍廣、具經濟性、合

理的精準度。

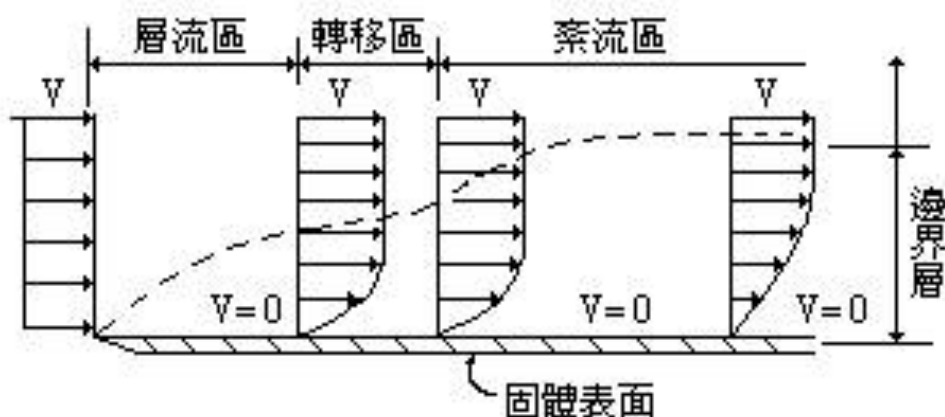


圖 2-13 層流與紊流

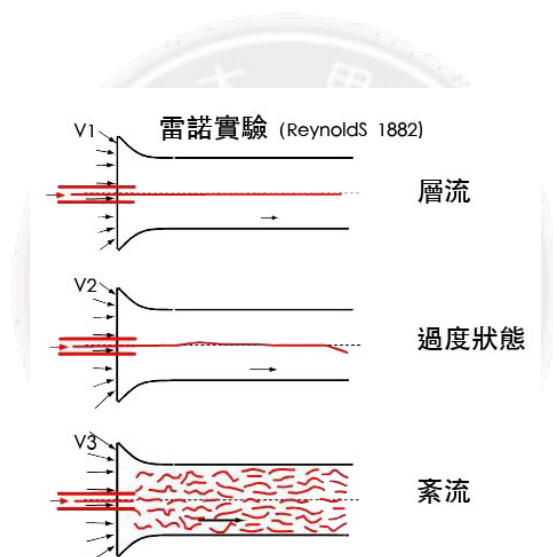


圖 2-14 雷諾實驗
(資料來源：工控論壇)

2-5-2 風廓線冪 (Wind profile)

風廓線即風速隨高度的變化曲線 (圖 2-15)，以研究大氣邊界層內的風速規律，一般情況下建議採用冪律，並按照大氣穩定度分類，給出其數學表達式。其風廓線冪公式如下

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^a$$

其中 u_2 為距離 z_2 處 10 分鐘的平均風速 (單位 m/s)， u_1 為距離 z_1 處 10 分鐘

的平均風速（單位 m/s），a 是指風速高度指數，是一個與大氣穩定度和地形條件有關的參數，經由查表獲得。

根據 Mentor Graphics 公司提供的 Flovent Boundary Layer Generate 工具網站，可藉由數學公式將經由中央氣象局所得到的氣象資料導入公式（如下），並生成風廓線模型（圖 2-16）以供 Flovent 模擬終始用，能使外在風場環境設定更真實，同時提高模擬的準確度與真實性。其公式如下：

$$\frac{U}{U_{\text{ref}}} = \frac{\log(Z/Z_0)}{\log(Z_{\text{ref}}/Z_0)}$$

其中 Z_0 為地表的粗糙程度：Suburban $Z_0 = 0.1\text{m}$ ， Z_{ref} 為參考點高度（單位 m），U 為風速（單位 m/s）， U_{ref} 為參考點風速（單位 m/s）

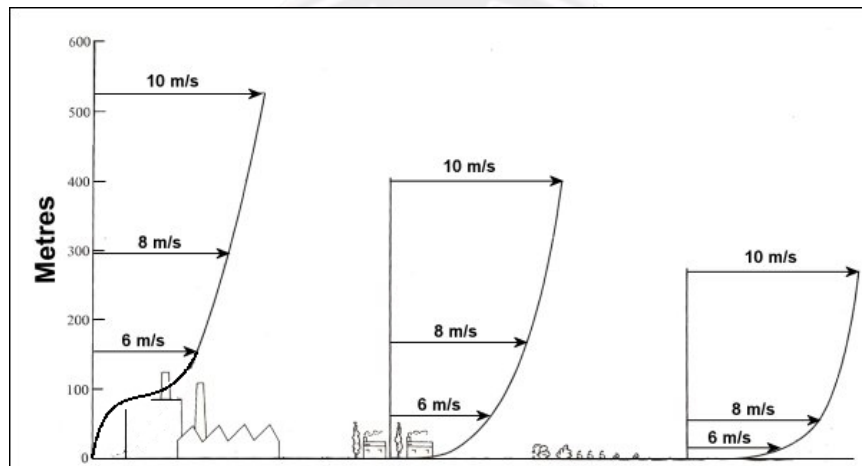


圖 2- 15 Wind profile
（資料來源：www.wind-power-program.com）

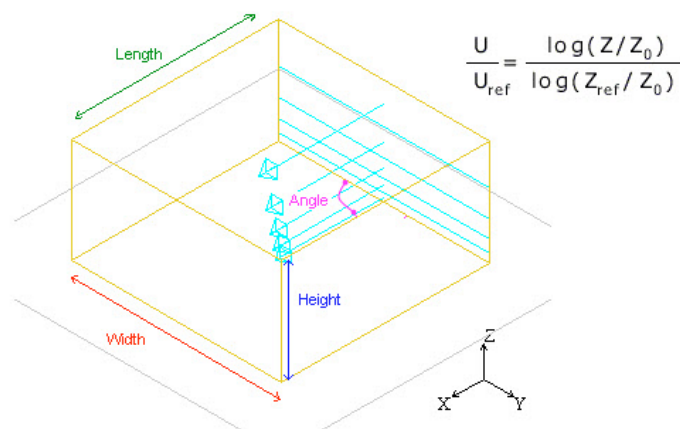


圖 2- 16 風廓線模型

2-6 評估指標

根據行政院環境保護署指出評估「室內換氣效能」時，其通風量的評估可分為空氣年齡指標(LMA)、通風量(Q)、換氣率(ACH)、風速等其各指標內容整理如下表 2-3。故本研究以空氣滯留時間、通風量為主，探討室內空氣的新鮮程度與通風效果並探討人體舒適度評估指標 (PMV) 以評估人體在室內之感受。

表 2-3 評估指標

評估指標	單位	評估方式
通風量	m ³ /hr/m ²	單位面積在每小時置換之氣流體積
空氣滯留時間 (Local Mean Age, LMA)	Sec	室內所有點的平均空氣齡之平均值
舒適度 (Predicted Mean Vote, PMV)	無因次	用來表示人體對於環境中的冷、熱感受

(資料來源：行政院環境保護署)

2-6-1 風速

風速、氣壓、氣溫、相對濕度四個氣象要素會影響人體舒適度，本研究探討夏季室內風場環境在自然通風狀態下，引入室外室風場進入室內生活活動區域並探討其風速對影響，根據翁麗敏,2002 年發表文獻內容指出，室內風速在 0.25~1.0 m/s 時，人體感覺佳如表 2-4。

表 2-4 風速對人體的影響

風速大小	對人體及作業的影響
0~0.25 m/s	不易察覺
0.25~0.5 m/s	愉快不影響工作
0.5~1.0 m/s	一般愉快
1.0~1.5 m/s	稍有風擊與令人討厭之吹襲
1.5~1.7 m/s	風擊明顯、薄紙吹揚、厚紙吹散

(資料來源：翁麗敏,2002)

2-6-2 通風量(Flow Rate)

建築物會因室內空間配置不同、窗戶開口數量和大小的不同、通風路徑不同、外在環境條件不同等因素影響室內通風量，本研究為計算通風塔之熱壓通風對室內通風量之影響故以溫度控制所需之通風量來計算其公式如下：

$$H = m \times C \times \Delta T = 1.2 \times Q \times \Delta T$$

其中 H =顯熱量(單位 kw); m =空氣質量(單位 kg); Q =通風量(單位 m^3) ;
 ΔT =室內空氣溫度-送風溫度

根據營建署建築技術規則訂定的通風量標準 (表 2-5)，建築物供各種用途使用的空間，通風量不得小於表之規定,其中群聚聚集的戲院、集會堂，以及會產生油煙的廚房等場所，通風量要求較高。

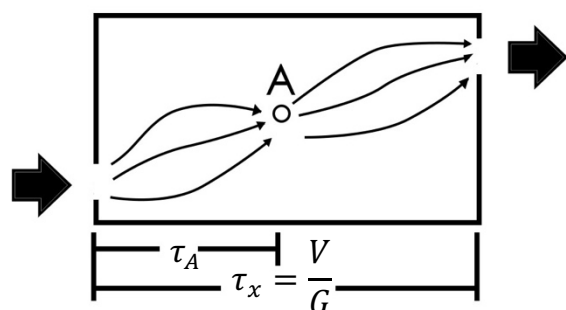
表 2-5 營建署建築技術規之通風量

房間用途	台灣	美國	日本	歐洲
臥室、起居室、私人辦公室等容納人數不多者	8	4	2	-
非營業用廚房	35	32	3.5	-
住宅內浴室或廁所	20	24	5.3	-
辦公室、會客室	10	2.3	2	6.12
會議室、等候室等容納人數較多者	15	6	10	21.6

(單位: $m^3 / hr / m^2$)

2-6-3 空氣滯留時間 (Local Mean Age ,LMA)

根據文獻整理空氣滯留時間 LMA (Local Mean Age) 是指平均空氣年齡其意義是用來表示空氣的新鮮狀況，空氣年齡 (圖 2-17) 是指舊空氣被新鮮空氣所代替的速度，最新鮮的空氣應該是在送風口的入口處，空氣剛進入室內時，空氣年齡為零。此處空氣停留時間最短 (趨近於零)，陳舊空氣被新鮮空氣取代的速度最快。因此 LMA 數值越小，代表空氣新鮮程度越高，空氣品質越好，故 LMA 為評價室內空氣品質的重要指標。



τ_A :空氣年齡時間

τ_x :空氣通過房間所需最短時間

V :房間體積

G :單位時間換氣量

圖 2-17 空氣年齡
 (資料來源：本研究繪製)

第三章 數值模擬

透過文獻可知影響室內通風換氣率的因素，包括室內熱源累積速率、室外風速與方向、窗戶開口的形態、大小、位置與面積比值等，其中最顯著的因素則為室外風速的大小，然而室外風速非人為可控，且在台中舊連動住宅中窗戶開口之形態、大小、位置與面積比值等常以一定的規格去做設計，因此除了上訴的通風因素與材料外，通風路徑的考量對於熱浮通風也是極其重要的。故本研究針對通風塔之位置、開口面積進行分析以探討通風塔對室內風場之影響，並透過 CFD 數值模擬分析一系列之空間單元與垂直核單元之模擬以比較其空氣年齡指標(LMA)、通風量(Q)的情況以提供後續案例模擬之條件數據同時加速案例模擬的速度提供可相互驗證之數據。

3-1 垂直核單元模擬

從圖 3-1 可知通風塔之位置、高度、開口邊長比對室內流場有確切的影響，又因台灣住宅大多為連棟式住宅且許多舊住宅樣式多將垂直核配置於建築物中央，故以垂直核模擬連棟住宅之垂直核加通風塔對室內流場、室內舒適度等影響並找出最優化的通風塔樣式。

3-1-1 垂直通風塔與邊界條件設定

垂直核單元尺寸：

垂直核單元尺寸大小為 $6\text{m} \times 13\text{m} \times 9\text{m}$ 的長方形單元，共三層樓，每層高 3m，但二、三樓空間不列入計算域，進風口面積為 $3.6\text{m} \times 2.2\text{m}$ ，樓梯間大小為 $3\text{m} \times 6\text{m} \times 9\text{m}$ 頂部設置通風塔其設定如圖 3-1

垂直核單元邊界條件設定：

由文獻（秦子傑，2006）可知在計算機流體力學程式中將實驗模型設定為對稱之邊界條件不會影響實驗數據的準確性，且能節省網格數與運算時間同時紊流模型選用 k-Epsilon 模型（k- ϵ 模型）也可以節省時間，故本研究選用 k- ϵ 模型，並設置對稱之邊界條件，風向從正 X 軸風向吹來其設定如圖 3-2

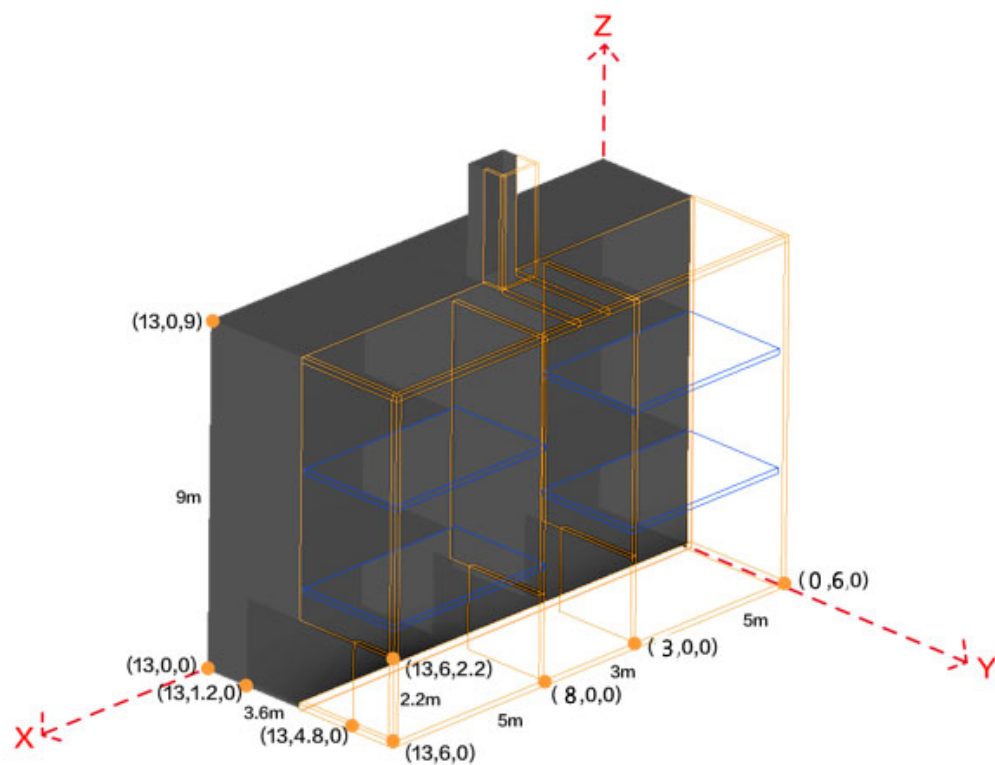


圖 3-1 垂直核單元尺寸
(本研究繪製)

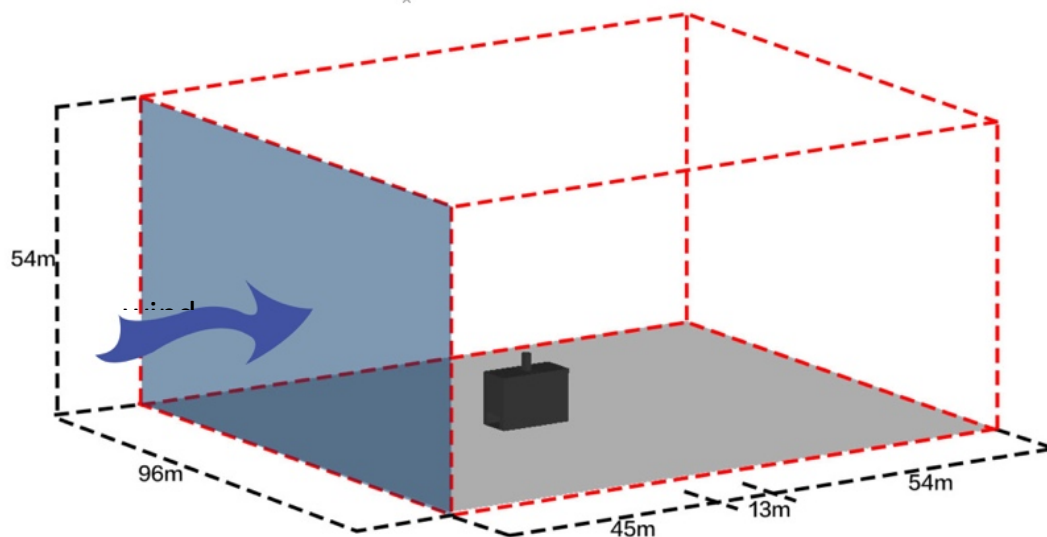


圖 3-2 垂直核單元邊界設定
(本研究繪製)

3-1-2 垂直核單元-變因設定

本本研究之模擬環境設定以中央氣象局台中站 2015 年 6 月 22 夏至之氣像資料作為模擬設定之依據，以當日最高氣溫 32.9 度 (Am10:00) 點為室外環境溫度，同時取當時風速 4.1m/s、風向 181.25 度，測點高度 17.05m 為室外環境風速的起始值，此時雲量為 0.6，並取 Am6:00~Am10:00 之平均溫度 29.6 度訂為風溫。(註：AM6:00 為當日開始測日照時數的起始時間) 並設代謝率為 $93W/m^2$ 衣著量為 $0.1km^2/W$ 。如表 3-1。

表 3-1 垂直核單元變因設定

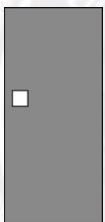
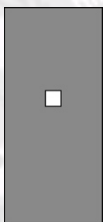
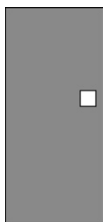
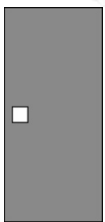
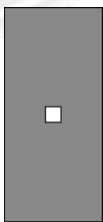
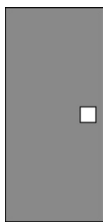
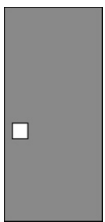
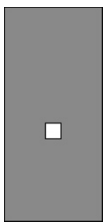
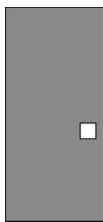
對象	變因		
通風塔	A' 位置	操作變因	通風塔位置
		控制變因	尺寸 1m×1m×3m
	C' 開口邊長比	操作變因	通風塔開口邊長比
		控制變因	固定通風塔位置與高度
外在環境	風速	控制變因	風速大小 4.1m/s，風向 181.25 度
	溫度	控制變因	溫度 32.9 度
	雲量	控制變因	0.6
其他	代謝率	控制變因	$93W/m^2$
	衣著量	控制變因	$0.1km^2/W$

3-2 垂直核單元-通風塔位置對室內風場之影響 Type A'

A. 模組設定：

本研究將垂直核單元風塔之位置模擬設為 Type A'，其通風塔位置座標訂為 $(X,Y,9)$ ，其中 $X=6\sim 8, Y=0.5, 2.5, 4.5$ ，而 $(X,Y,3)=(0,0,9)$ 之座標為基準點，在平面左上角，通風塔以座標 $(X,Y,9)$ 為移動點，生成 Type A'1~ Type A'9，共 9 組模組。舉 Type A'1 與 Type A'2 為說明: Type A'1 $(X,Y,Z)=(6,0.5,9)$ ，表示通風塔左下角移動點位置在 $Z=9$ 的平面上從座標 $(0,0,9)$ 往 X 軸移動 6m 的距離，往 Y 軸移動 0.5m 的距離：Type A'2 $(X,Y,9)=(6,2.5,9)$ ，表示通風塔左下角移動點位置在 $Z=9$ 的平面上從座標 $(0,0,9)$ 往 X 軸移動 6m 的距離，往 Y 軸移動 2.5m 的距離。其模組設定如下表 3-2

表 3- 2 Type A' 模組設定

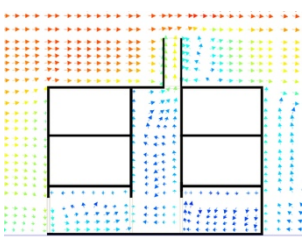
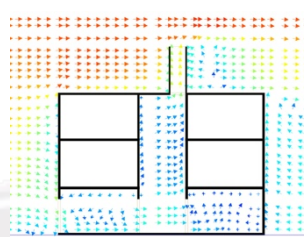
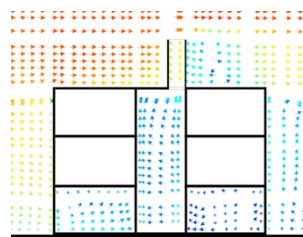
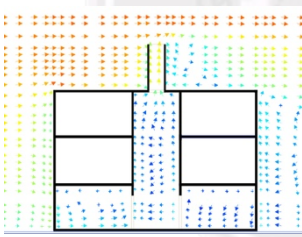
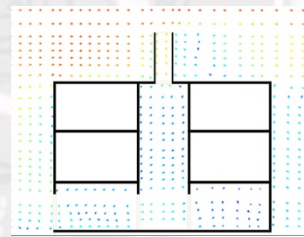
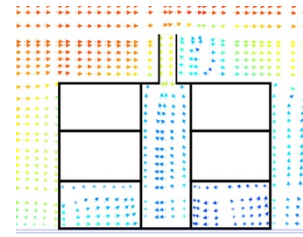
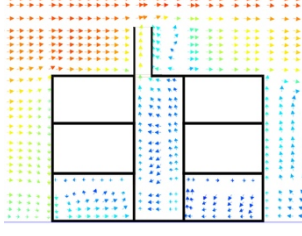
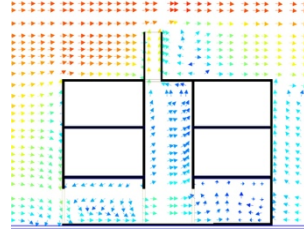
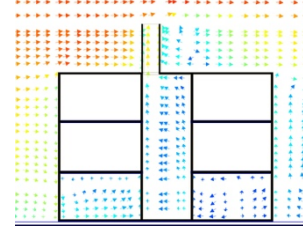
Type A'	垂直核單元通風塔之位置		
模組編號	Type A'1	Type A'2	Type A'3
圖例			
座標(X,Y,9)	(6,0.5,9)	(6,2.5,9)	(6,4.5,9)
模組編號	Type A'4	Type A'5	Type A'6
圖例			
座標(X,Y,9)	(7,0.5,9)	(7,2.5,9)	(7,4.5,9)
模組編號	Type A'7	Type A'8	Type A'9
圖例			
座標(X,Y,9)	(8,0.5,9)	(8,2.5,9)	(8,4.5,9)

B. 模擬結果：

I. Type A'室內流場模擬結果

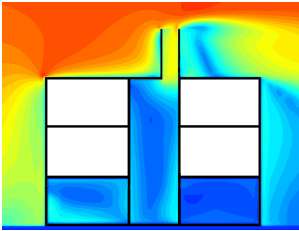
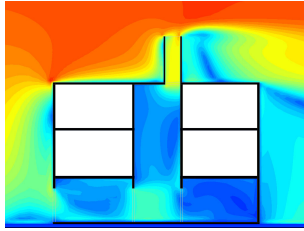
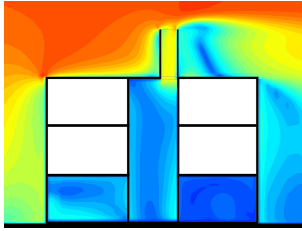
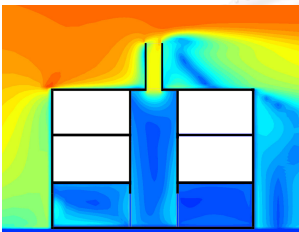
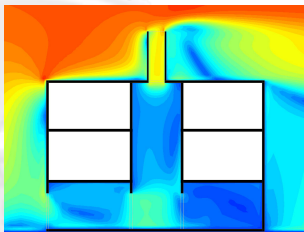
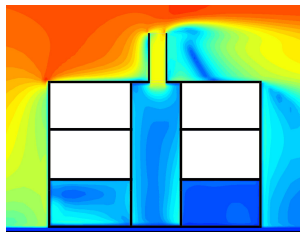
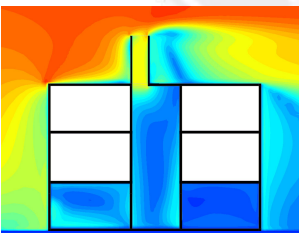
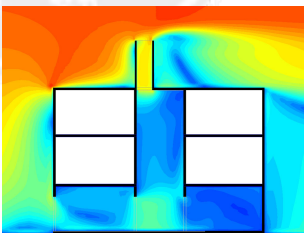
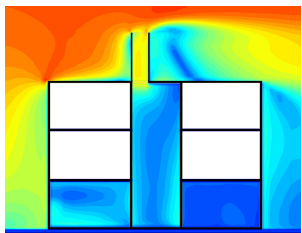
在相同室外風環境（風速 4.1m/s，方向 181.25 度）下，比較不同通風塔之位置對室內風環境的影響其結果如表 3-3，可以發現改變通風塔位置導致通風路徑影響室內氣流場的通風流暢度。

表 3- 3 Type A'模擬結果圖-通風量（Flow Rate）向量圖

模組編號	Type A'1	Type A'2	Type A'3			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y=k(k 為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5			
模組編號	Type A'4	Type A'5	Type A'6			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y=k(k 為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5			
模組編號	Type A'7	Type A'8	Type A'9			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y=k(k 為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5			
Speed(m/s)	5	4	3	2	1	0
風向 181.25 南風（圖片左側吹向右側），風速 4.1m/s，室外溫度 32.9°C						

（資料來源：本研究繪製）

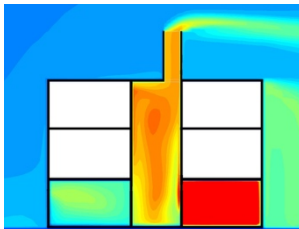
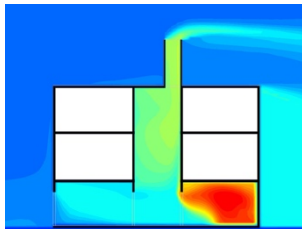
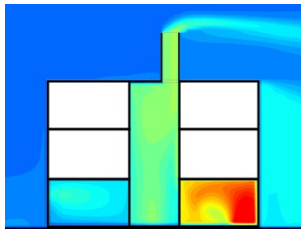
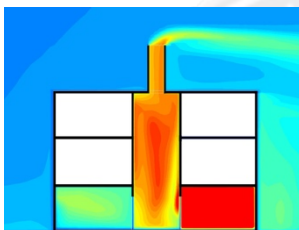
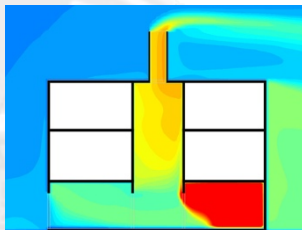
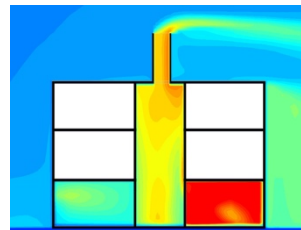
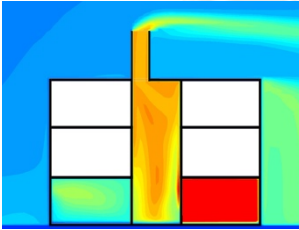
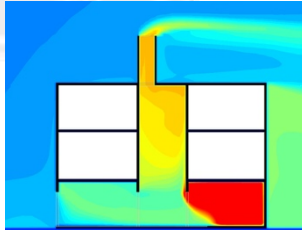
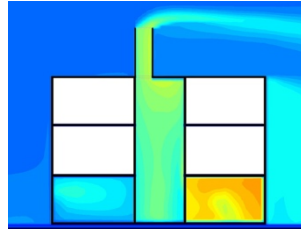
表 3- 4 Type A'模擬結果圖-風速圖

模組編號	Type A'1	Type A'2	Type A'3
風速圖			
剖面線 Y=k(k為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5
模組編號	Type A'4	Type A'5	Type A'6
風速圖			
剖面線 Y=k(k為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5
模組編號	Type A'7	Type A'8	Type A'9
風速圖			
剖面線 Y=k(k為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5
Speed(m/s)			
風向 181.25 南風（圖片左側吹向右侧），風速 4.1m/s，室外溫度 32.9℃			

(資料來源：本研究繪製)

根據 Type A'1~ Type A'9 的模擬計算結果通風塔位置的改變同時影響空氣滯留時間 LMA 如表 3-5。

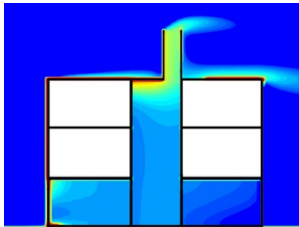
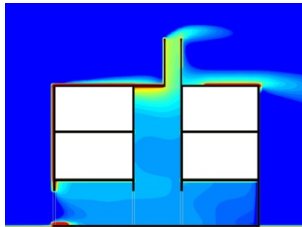
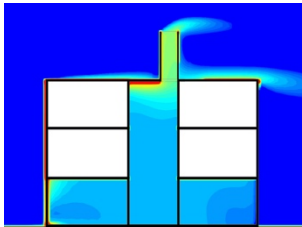
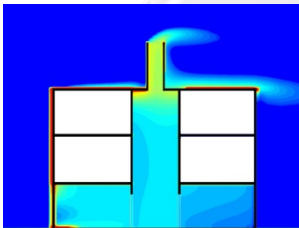
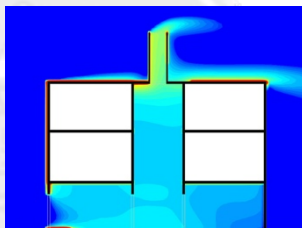
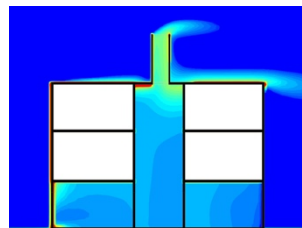
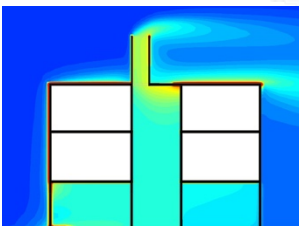
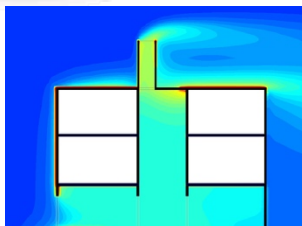
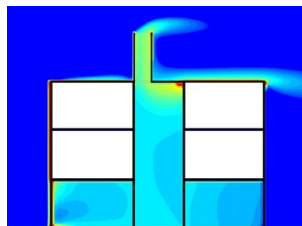
表 3-5 Type A'模擬結果圖-空氣滯留時間 LMA

模組編號	Type A'1	Type A'2	Type A'3			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y=k(k 為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5			
模組編號	Type A'4	Type A'5	Type A'6			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y=k(k 為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5			
模組編號	Type A'7	Type A'8	Type A'9			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y=k(k 為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5			
LMA(s)	300	240	180	120	60	0
風向 181.25 南風 (圖片左側吹向右側)，風速 4.1m/s，室外溫度 32.9℃						

(資料來源：本研究繪製)

根據 Type A'1~Type A'9 的模擬計算結果室內溫度也受通風塔位置的改變影響如表 3-6。

表 3- 6 Type A'模擬結果圖-室內溫度

模組編號	Type A'1	Type A'2	Type A'3			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y=k(k 為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5			
模組編號	Type A'4	Type A'5	Type A'6			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y=k(k 為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5			
模組編號	Type A'7	Type A'8	Type A'9			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y=k(k 為常數)	Y=1.5	Y=3	Y=4.5			
溫度(°C)	35	34	33	32	31	30
風向 181.25 南風 (圖片左側吹向右側)，風速 4.1m/s，室外溫度 32.9°C						

(資料來源：本研究繪製)

II. Type A'室內通風量模擬結果

將室內通風量模擬數值結果列於表 3-7，從表中在相同室外風環境（風速 4.1m/s，方向 181.25 度）下，比較不同通風塔之位置對室內風環境的通風量影響其結果如圖 3-3，可以發現改變通風塔位置導致通風路徑影響室內氣流場的通風流暢度，通風塔位置設置良好將使室內通風量增加，空氣滯留時間降低，當通風塔越接近進風口，通風量越大，空氣滯留時間短；離進風口越遠則越小，空氣滯留時間長，然而在 Type A'4 時，由於通風塔內溫度與樓梯間內溫度差較小導致氣流迴旋於樓梯間內，延長滯留時間如圖 3-19，同時增佳通風路徑影響風的流暢度，故 Type A'4 的通風量會比同排的 Type A'5 和 Type A'6 低，其空氣滯留時間比同排的 Type A'5 和 Type A'6 高。

表 3- 7 TypeA' 通風量統計表

TypeA'	TypeA'1	TypeA'2	TypeA'3	TypeA'4	TypeA'5
通風量 Q (m^3/s)	1.87	1.82	1.89	1.75	1.93
TypeA'	TypeA'6	TypeA'7	TypeA'8'	TypeA'9	
通風量 Q (m^3/s)	1.98	1.97	1.98	2.06	

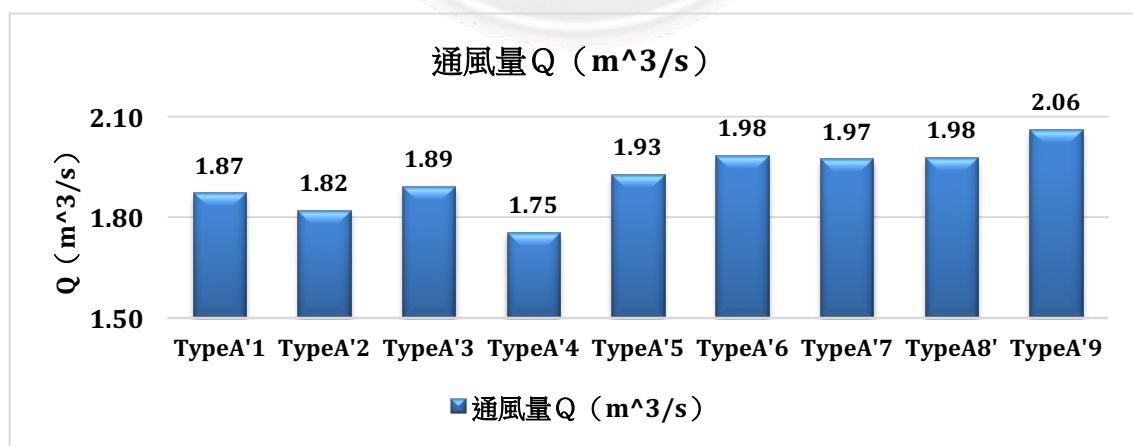


圖 3- 3 TypeA'通風量統計圖

III. TypeA'室內空氣滯留時間模擬結果

將室內空氣滯留時間模擬數值結果列於表 3-8，從表中可得知在相同室外風場下隨著通風塔位置改變，通風塔位置設置良好將使室內空氣滯留降低，當通風塔越接近進風口時，由於新鮮空氣從進風口進入後直接從出風口的排出形成短路型氣流產生較大的拉力，使污濁空氣較快排出，因此 Type A'7 ~Type A'9 之室內平均 LMA 比 Type A'1~Type A'6 之室內平均 LMA 之數值低。而 Type A'4 因太陽照射角度使建築物東邊蓄熱較多，室內溫度升高（表 3-9），但由於 Type A'4 通風塔位置位於西側使得熱氣不易排出，於垂直核東側頂端滯留迴旋（圖 3-5），反之 Type A'6 能使熱氣直接排出（圖 3-6）故 Type A'4 之 LMA 數值比同排 Type A'5 與 Type A'6 還高。

表 3- 8 Type A' LMA 統計表

Type A'	Type A'1	Type A'2	Type A'3	Type A'4	Type A'5
LMA (s)	150	155	154	162	146
Type A'	Type A'6	Type A'7	Type A'8	Type A'9	
LMA (s)	146	143	143	141	

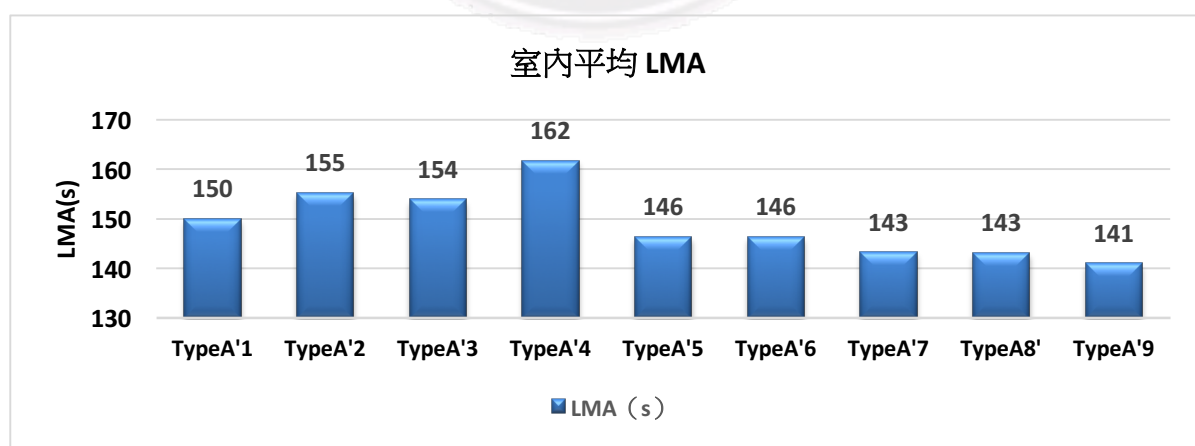
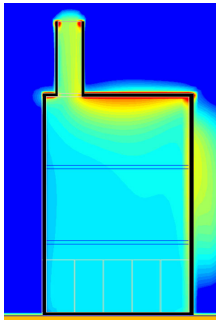
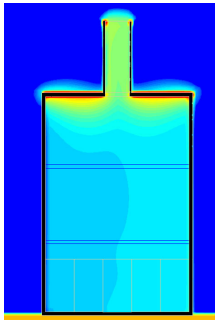
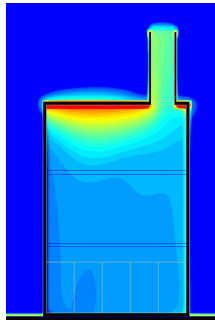


圖 3- 4 TypeA' LMA 統計圖

表 3-9 Type A'4, Type A'5, Type A'6 溫度比較

模組編號	Type A'4	Type A'5	Type A'6			
溫度圖						
剖面線 X = k(k 為常數)	X=6.5	Y=6.5	Y=6.5			
溫度(°C)	35	34	33	32	31	30
風向 181.25 南風 (圖片左側吹向右側)，風速 4.1m/s，室外溫度 32.9°C						

(本研究繪製)

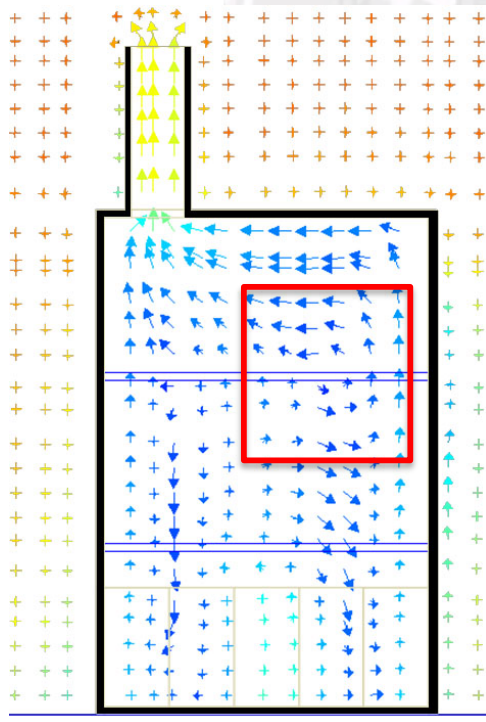


圖 3- 5 Type A'4 向量圖 X=6.5

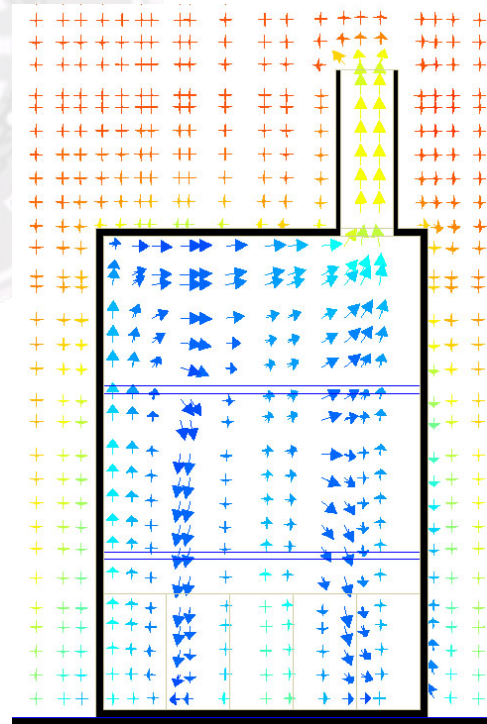


圖 3- 6 Type A'6 向量圖 X=6.5

3-3 垂直核單元-通風塔開口邊長比對室內風場之影響 Type C'

A. 模組設定：

本研究將垂直核單元通風塔之開口邊長比模擬設為 Type C'，設通風塔上端座標為 A ($\frac{13+a}{2}, \frac{6-a}{2}, 9$)，下端座標為 B ($\frac{13+b}{2}, \frac{6-b}{2}, 9$) 其中 a、b 均為通風塔上下端的 X 軸的邊長（如圖 3-7），a=1~3、b=1~3，標於通風塔剖面左側，又設 a'=2a、b'=2b 其中 a'、b' 均為通風塔上下端的 Y 軸的邊長，則通風塔上下端面分別為 a×a' 與 b×b'，以座標(6.5,3,Z=k), k 為常數，為中心軸，生成 Type C'1~Type C'9，共 9 組模組。其模組設定如表 3-10

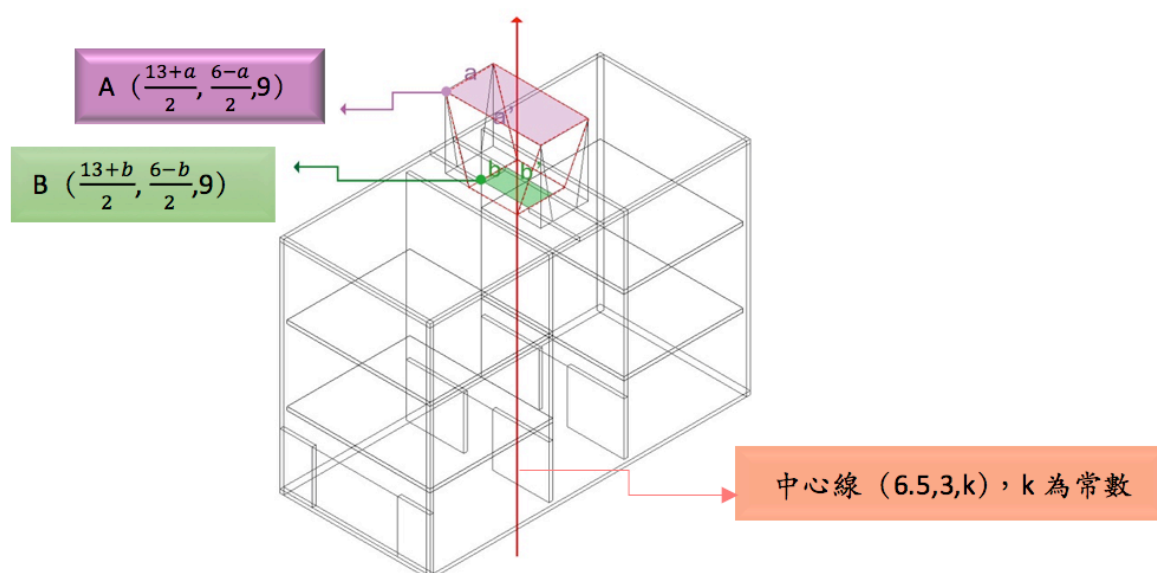
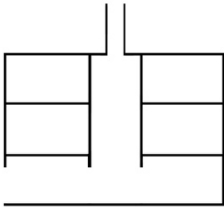
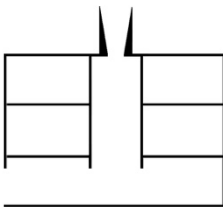
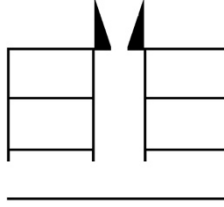
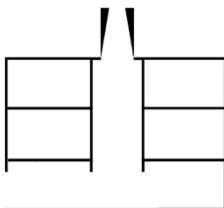
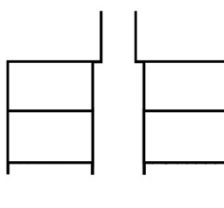
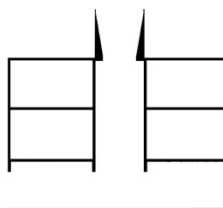
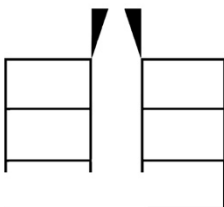
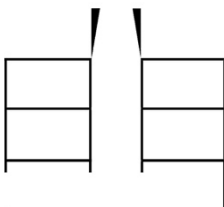
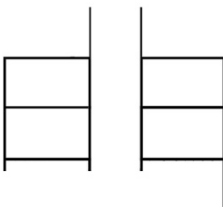


圖 3- 7 TypeC'模組設定說明圖
(本研究繪製)

表 3- 10 Type C' 模組設定

Type C'	空間單元通風塔之開口邊長比		
模組編號	Type C'1	Type C' 2	Type C' 3
圖例			
A 座標 B 座標	A(7,2.5,12) B(7,2.5,9)	A(7.5,2,12) B(7,2.5,9)	A(8,1.5,12) B(7,2.5,9)
a:b	1:1	2:1	3:1
模組編號	Type C'4	Type C'5	Type C'6
圖例			
A 座標 B 座標	A(7,2.5,12) B(7.5,2,9)	A(7.5,2,12) B(7.5,2,9)	A(8,1.5,12) B(7.5,2,9)
a:b	1:2	2:2	3:2
模組編號	Type C'7	Type C'8	Type C'9
圖例			
A 座標 B 座標	A(7,2.5,12) B(7.5,1.5,9)	A(7.5,2,12) B(7.5,1.5,9)	A(8,1.5,12) B(7.5,1.5,9)
a:b	1:3	2:3	3:3

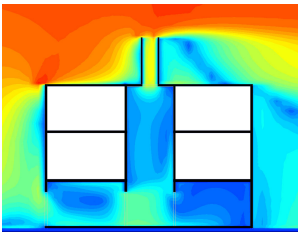
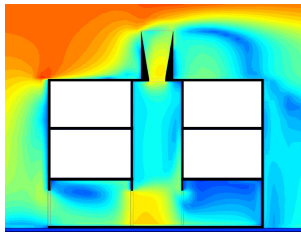
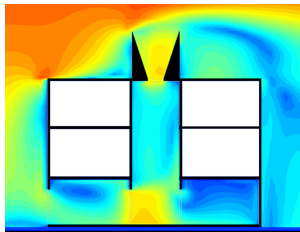
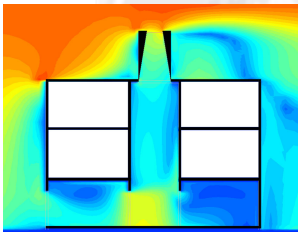
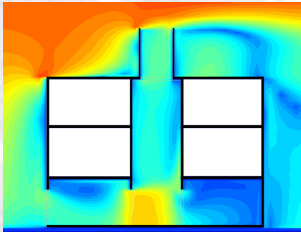
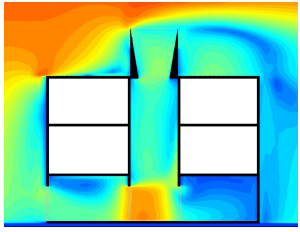
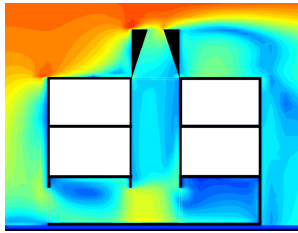
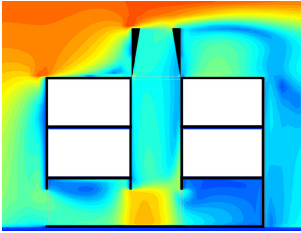
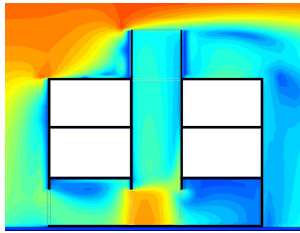
(本研究繪製)

B. 模擬結果：

I. Type C'室內流場模擬結果

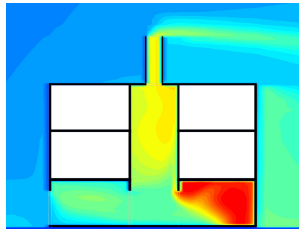
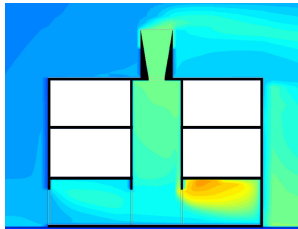
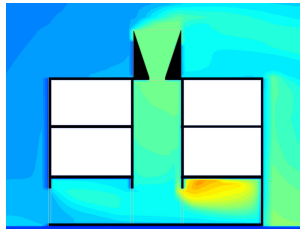
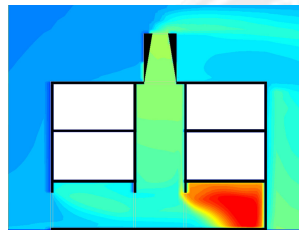
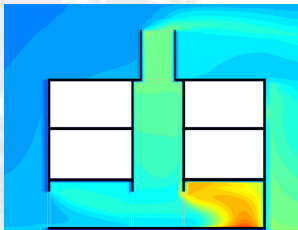
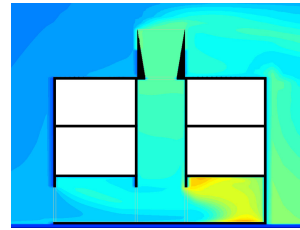
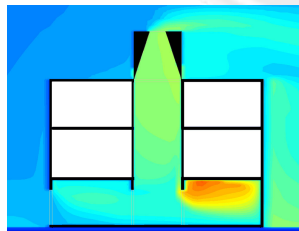
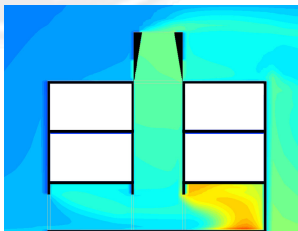
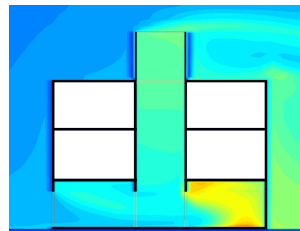
在相同室外風環境（風速 4.1m/s，方向 181.25 度）下，可以發現改變通風塔上下端邊長導致縮流效應影響室內氣流場。

表 3- 11 Type C'模擬結果圖-風速圖

模組編號	Type C'1	Type C'2	Type C'3
風速圖			
剖面線 Y = k(k 為常數)	Y=3	Y=3	Y=3
模組編號	Type C'4	Type C'5	Type C'6
風速圖			
剖面線 Y = k(k 為常數)	Y=3	Y=3	Y=3
模組編號	Type C'7	Type C'8	Type C'9
風速圖			
剖面線 Y = k(k 為常數)	Y=3	Y=3	Y=3
Speed(m/s)			
風向 181.25 南風（圖片左側吹向右側），風速 4.1m/s，室外溫度 32.9℃			

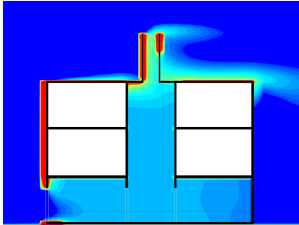
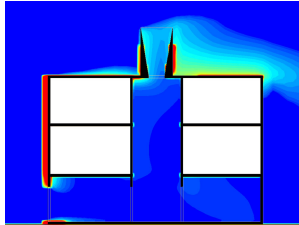
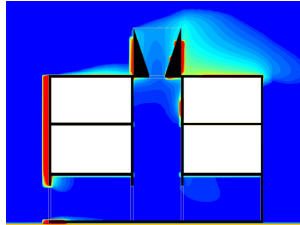
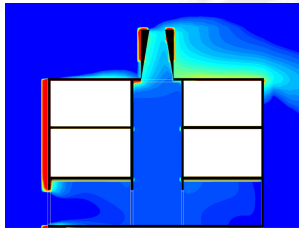
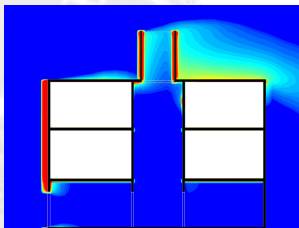
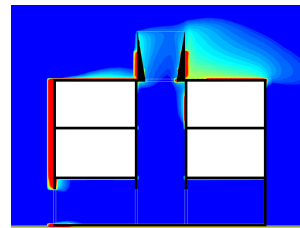
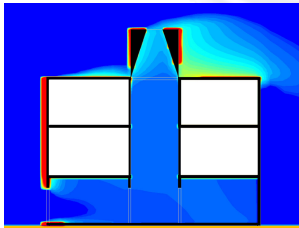
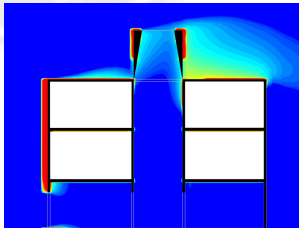
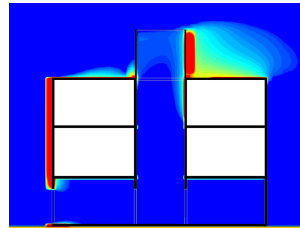
（資料來源：本研究繪製）

表 3- 12 Type C' 模擬結果圖-空氣滯留時間 LMA

模組編號	TypeC'1	Type C'2	Type C'3			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y = k(k 為常數)	Y=3	Y=3	Y=3			
模組編號	Type C'4	Type C'5	Type C'6			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y = k(k 為常數)	Y=3	Y=3	Y=3			
模組編號	Type C'7	Type C'8	Type C'9			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y = k(k 為常數)	Y=3	Y=3	Y=3			
LMA(s)	300	240	180	120	60	0
風向 181.25 南風 (圖片左側吹向右側)，風速 4.1m/s，室外溫度 32.9℃						

(資料來源：本研究繪製)

表 3- 13 Type C' 模擬結果圖-室內溫度

模組編號	Type C'1	Type C'2	Type C'3			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y = k(k 為常數)	Y=3	Y=3	Y=3			
模組編號	Type C'4	Type C'5	Type C'6			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y = k(k 為常數)	Y=3	Y=3	Y=3			
模組編號	Type C'7	Type C'8	Type C'9			
通風量 (Flow Rate) 向量圖						
剖面線 Y = k(k 為常數)	Y=3	Y=3	Y=3			
溫度(°C)	35	34	33	32	31	30
風向 181.25 南風 (圖片左側吹向右側)，風速 4.1m/s，室外溫度 32.9°C						

(資料來源：本研究繪製)

II. Type C'室內通風量模擬結果

將室內通風量模擬數值結果列於表 3-14，從表可知在相同室外風環境（風速 4.1m/s，方向 181.25 度）下，通風塔開口邊長比改變使室內通風量變化有顯著的影響，從圖 3-8 可知當通風塔下端邊長固定時，通風塔上端邊長越大，室內通風量越大，因當通風塔下端邊長固定時由於頂端開漸增，導致風在通過通風塔下端時產生縮流效應使風速加快（表 3-15），使得通風量的增加。當通風塔上端邊長固定時，下端開口較大時通風量較大，但有極限值如表 3-16，當下端開口大於極限值時，藉由三角函數計算此時通風塔壁與水平夾角約 80.5 度，可知當通風塔壁與水平夾角小於 80.5 度時，由於在通風塔端處產生紊流情況，使空氣滯留不易排出，造成通風量減小。

表 3- 14 TypeC' 通風量統計表

TypeC'	TypeC'1	TypeC'2	TypeC'3	TypeC'4	TypeC'5
通風量 Q	2.46	5.78	5.89	4.62	6.12
TypeC'	TypeC'6	TypeC'7	TypeC'8	TypeC'9	
通風量 Q	7.42	4.58	6.45	7.11	

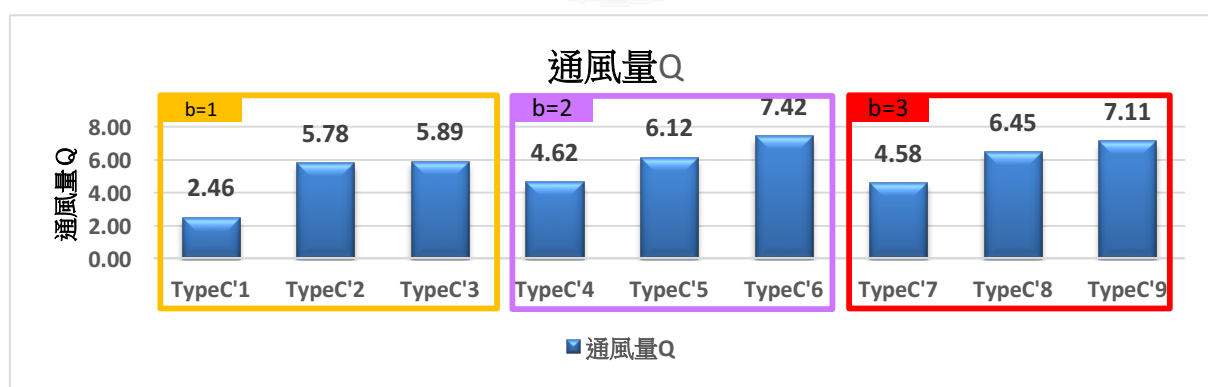
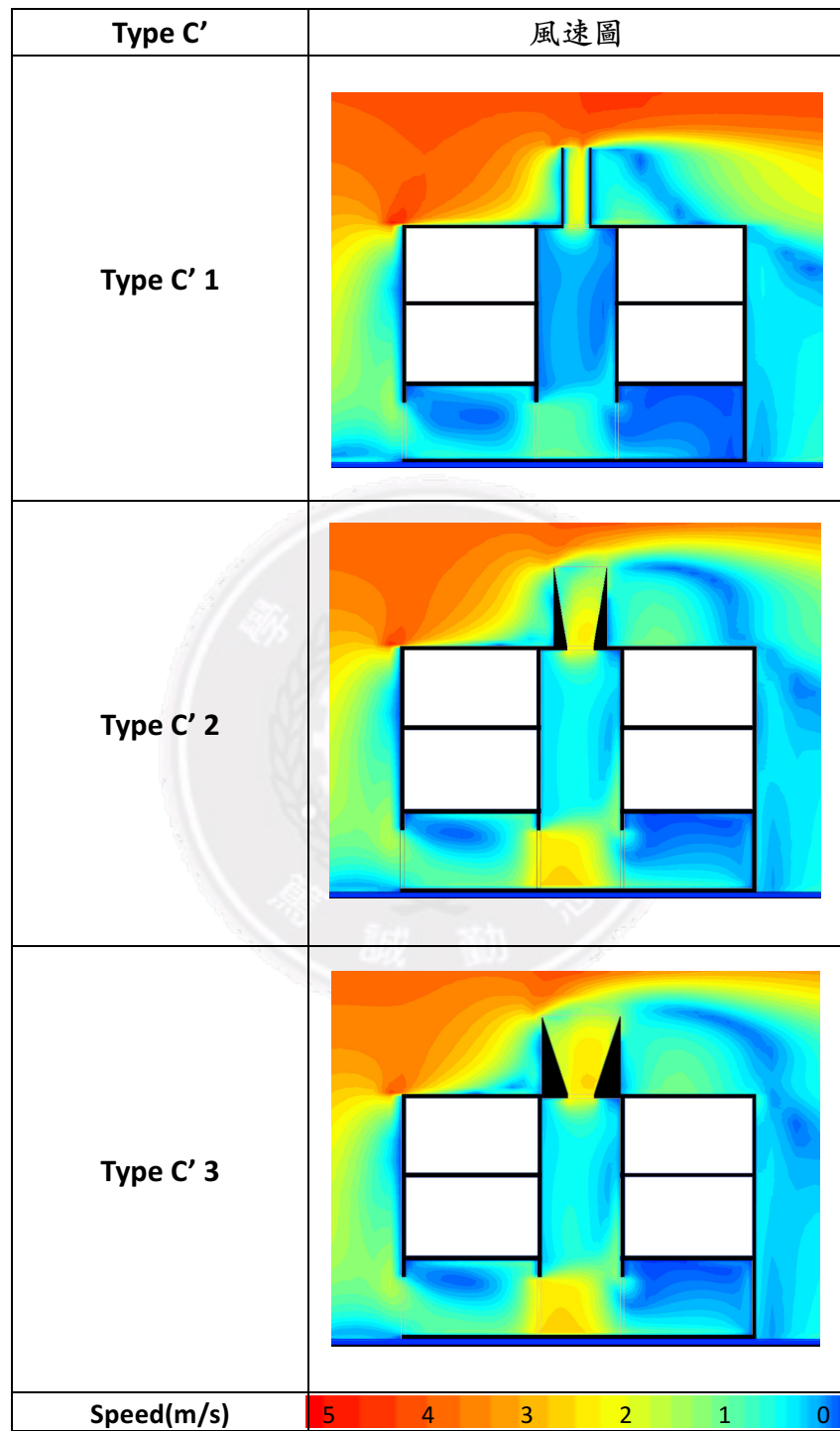


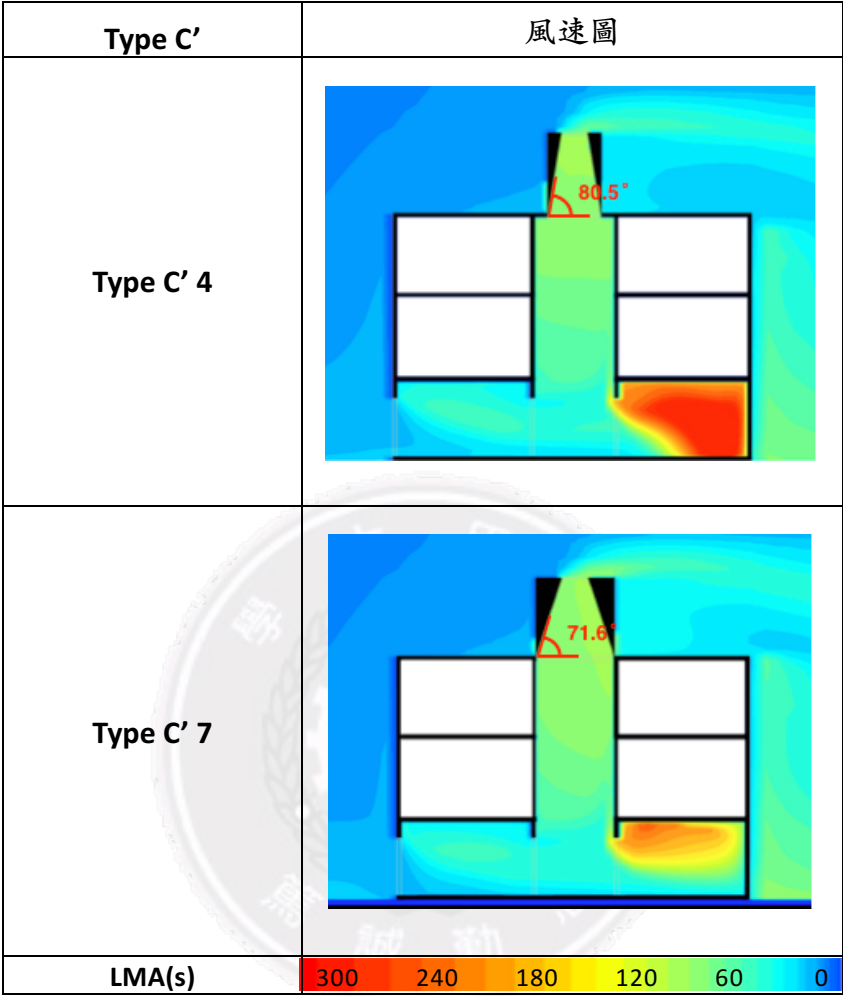
圖 3- 8 TypeC' 通風量統計圖

表 3- 15 Type C'1~ Type C'3 風速比較圖



(本研究繪製)

表 3-16 通風塔角度與 LMA 關係



(本研究繪製)

III. TypeC' 室內空氣滯留時間模擬結果

將室內空氣滯留時間模擬數值結果列於表 3-17，從表中可得知在相同室外風場下，通風塔開口邊長比的改變對室內空氣滯留時間有顯著的影響當室內通風量增大時，室內空氣滯留時間縮短。影響室內空氣滯留時間的因素與影響室內通風量的因素相符。

表 3- 17 Type C' LMA 統計表

TypeC'	TypeC'1	TypeC'2	TypeC'3	TypeC'4	TypeC'5
LMA(s)	120	60	58	70	57
TypeC'	TypeC'6	TypeC'7	TypeC'8	TypeC'9	
LMA(s)	50	72	55	52	

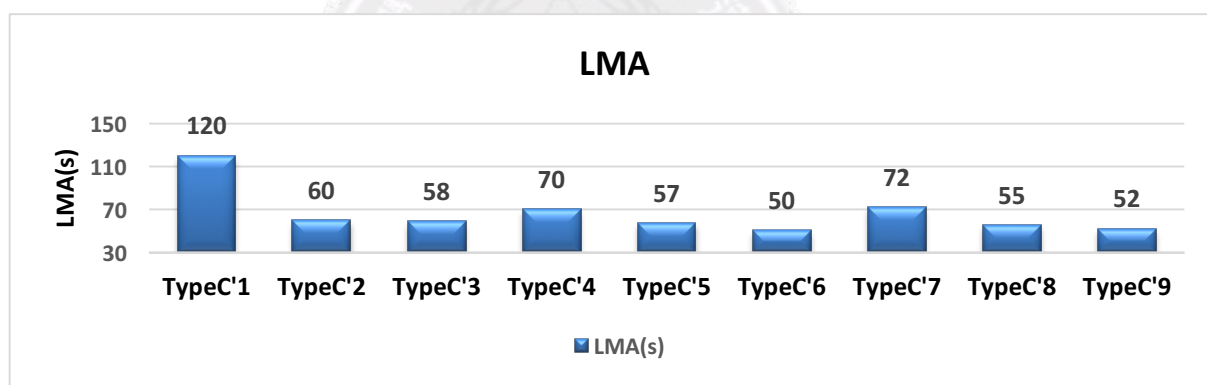


圖 3- 9 Type C' LMA 統計圖

3-4 小結

根據研究結果通風塔之位置、上下端開口邊長均會影響室內風環境，其中上下端開口邊長的變化對室內風環境的影響顯著，而位置對於其變影響是最小的從 Type A'1~Type A'9 的模擬實驗中可知，位置的改變雖然對通風量有影響但彼此之間差距不大，但位置的改變卻對 LMA 有名顯的影響，因位置的變化會對通風路徑產生顯著的影響故位置對於縮短 LMA 之時間有極大的功用。從通風塔上下端邊長的變化之研究結果來看，控制通風塔通風塔上下端邊長的變化能有效改變通風量與 LMA，是因為改變通風塔上下端邊長同時也改變了通風塔的樣式，而隨著樣式的改變，通風路徑也隨之變化，且因通風塔樣式的改變對於熱浮力原理、縮流效應也有不同的影響，故改變通風塔上下端邊長最能有效增加室內通風量與降低室內 LMA。



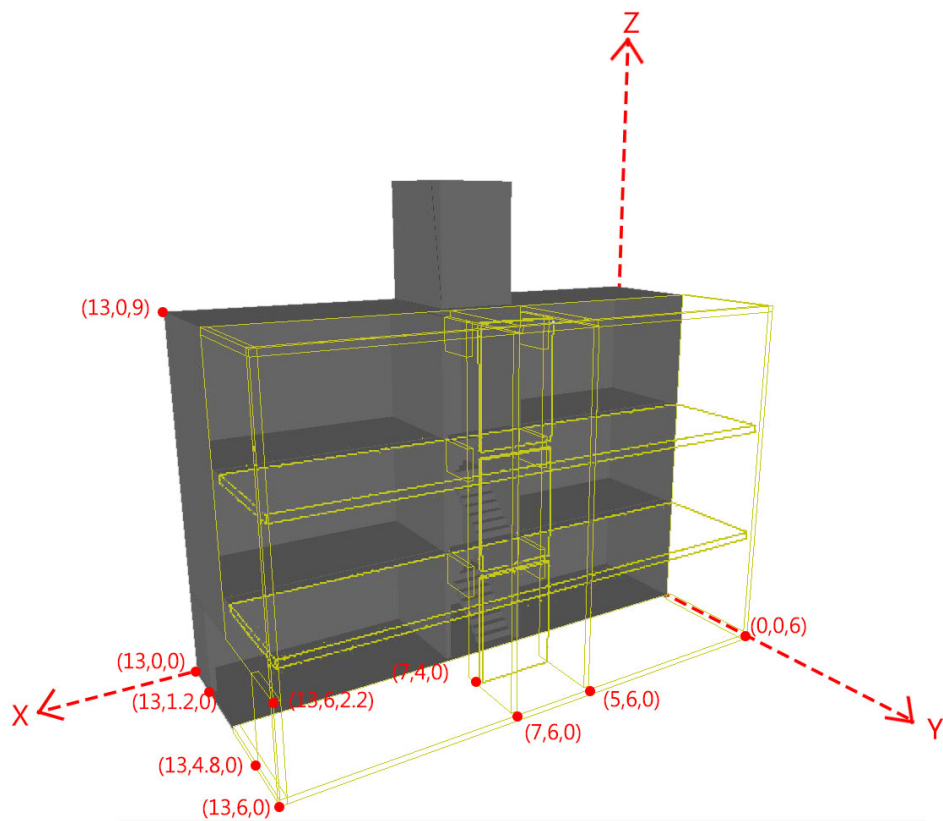


圖 4-3 Type D 模型尺寸

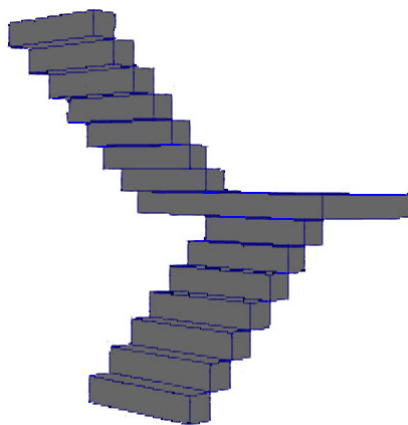


圖 4-2 Type D -平行雙跑樓梯

Type E: Type E 尺寸大小為 $6\text{m} \times 13\text{m} \times 9\text{m}$ 的長方形單元，共三層樓，每層高 3m （含樓地板），進風口面積為 $3.6\text{m} \times 2.2\text{m}$ ，樓梯間大小為 $2\text{m} \times 3\text{m} \times 9\text{m}$ 頂部設置通風塔如圖 4-4，樓梯樣式為折行多跑樓梯，其梯寬為 100cm 、梯深為 20cm 、梯高 18.7cm 如圖 4-5。

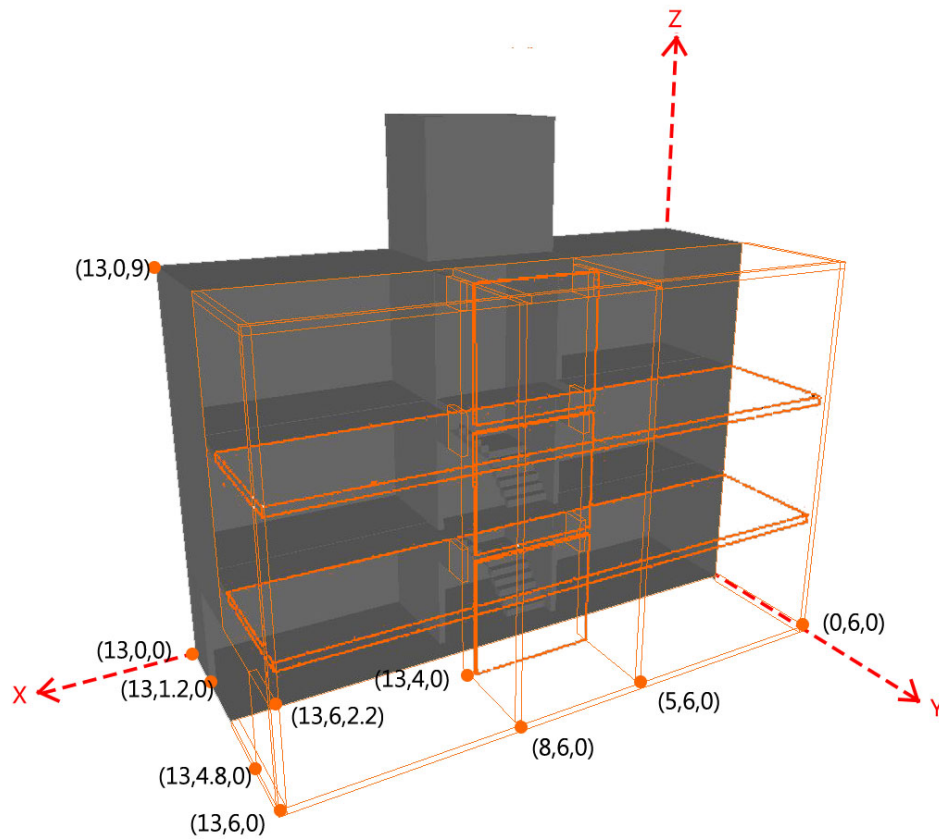


圖 4-4 Type E 模型尺寸

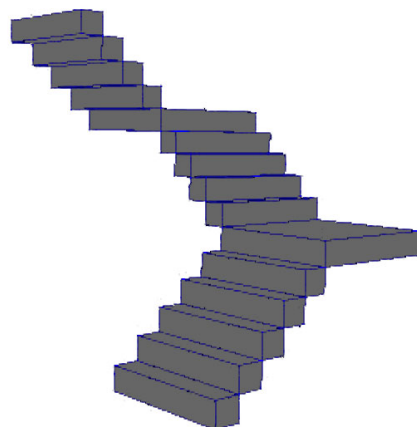


圖 4-5 Type E - 折行多跑樓梯

Type F: Type F 尺寸大小為 $6\text{m} \times 13\text{m} \times 9\text{m}$ 的長方形單元，共三層樓，每層高 3m （含樓地板），進風口面積為 $3.6\text{m} \times 2.2\text{m}$ ，樓梯間大小為 $1\text{m} \times 3\text{m} \times 9\text{m}$ 頂部設置通風塔如圖 4-6，樓梯樣式為直行單跑樓梯，其梯寬為 100cm 、梯深為 20cm 、梯高 18.7cm 如圖 4-7。

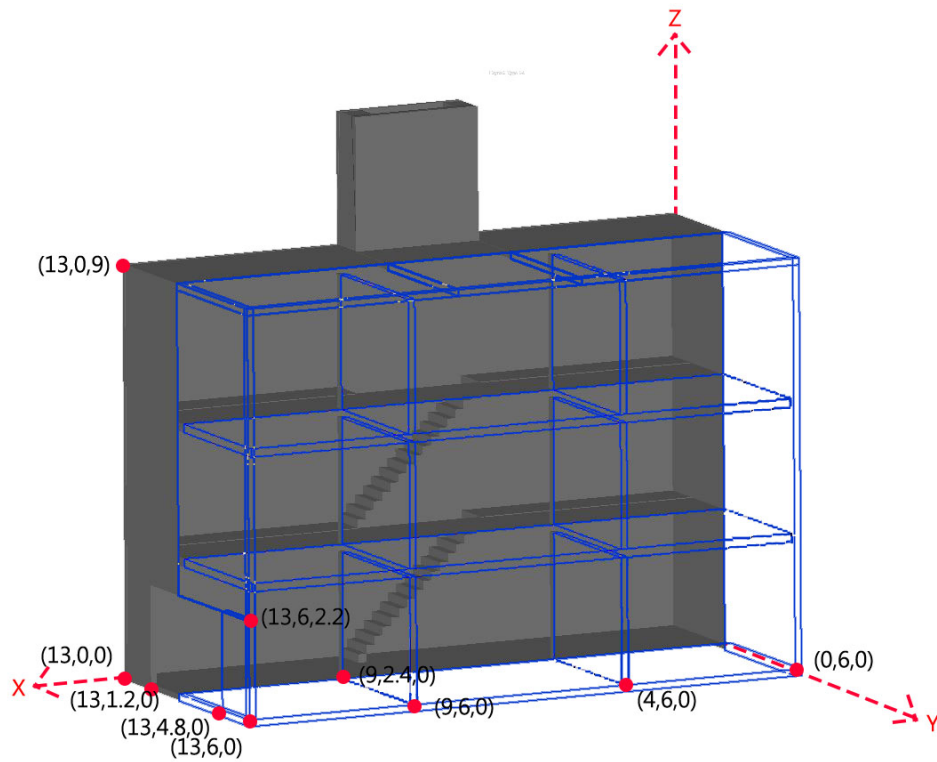


圖 4-6 Type F 模型尺寸

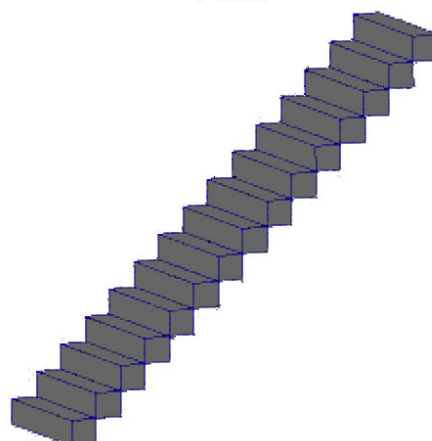


圖 4-7 Type F - 直行單跑樓梯

4-1-2 樓梯間加通風塔樣式-變因設定

本研究之模擬環境設定以中央氣象局台中站 2015 年 6 月 22 夏至之氣像資料作為模擬設定之依據，並以當日最高氣溫 32.9 度 (Am10:00) 點為室外環境溫度，同時取當時風速 4.1m/s、風向 181.25 度，測點高度 17.05m 為室外環境風速的起始值，此時雲量為 0.6，並取 Am6:00~Am10:00 之平均溫度 29.6 度訂為風溫。(註：AM6:00 為當日開始測日照時數的起始時間) 如表 4-1。

表 4-1 變因設定

對象	變因	
Type D	操作變因	樓梯樣式-平行雙跑樓梯
	控制變因	通風塔形式同 Type C' 6、Type C' 8、Type C' 9
Type E	操作變因	樓梯樣式-折行多跑樓梯
	控制變因	通風塔形式同 Type C' 6、Type C' 8、Type C' 9
Type F	操作變因	樓梯樣式-直行單跑樓梯
	控制變因	通風塔形式同 Type C' 6、Type C' 8、Type C' 9

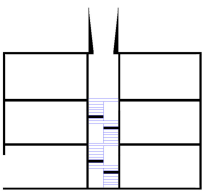
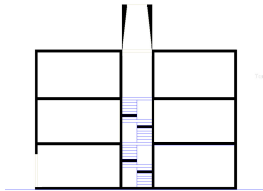
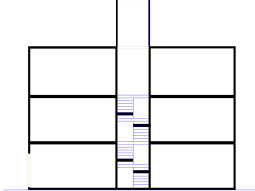
(本研究繪製)

4-2 樓梯間加通風塔樣式對室內風場之影響

A. 模組設定：

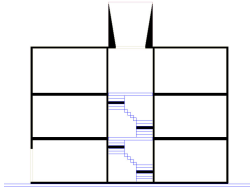
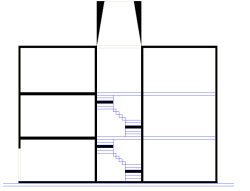
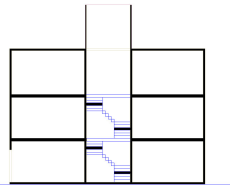
根據 2-3 常見樓梯樣式直行單跑樓梯、平行雙跑樓梯、折行多跑樓梯與 3-3 垂直核模擬中前三名的優良通風塔樣式 TypeC'6、TypeC'8、TypeC'9 交叉組合生成 Type D1 ~ Type D，Type E1 ~ Type E3，Type F1 ~ Type F3 共 9 組模型，其通風塔操作手法同 TypeC'6、TypeC'8、TypeC'9 其模組設定如表

表 4-2 Type D 模組設定

Type D	Type D1	Type D2	Type D3
樓梯樣式	平行雙跑樓梯		
通風塔樣式依據	TypeC'6	TypeC'8	TypeC'9
Type D 圖例			
剖面線 $Y = k(k \text{ 為常數})$	$Y = 1.4$		

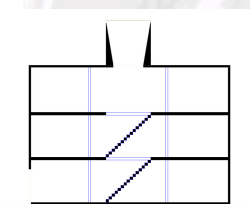
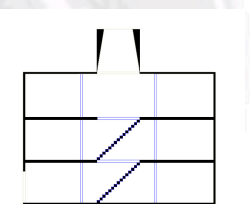
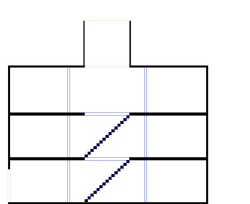
(本研究繪製)

表 4- 3 Type E 模組設定

Type E	Type E1	Type E2	Type E3
樓梯樣式	折行多跑樓梯		
通風塔樣式依據	TypeC'6	TypeC'8	TypeC'9
Type E 圖例			
剖面線 $Y = k(k \text{ 為常數})$	$Y = 1.6$		

(本研究繪製)

表 4- 4 Type F 模組設定

Type F	Type F1	Type F2	Type F3
樓梯樣式	直行單跑樓梯		
通風塔樣式依據	TypeC'6	TypeC'8	TypeC'9
Type F 圖例			
剖面線 $Y = k(k \text{ 為常數})$	$Y = 0.5$		

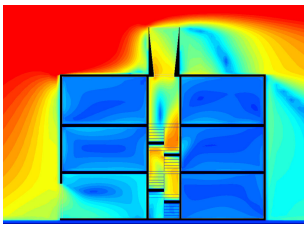
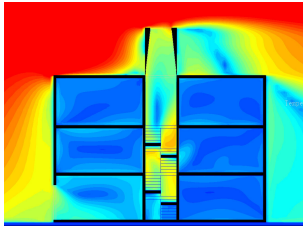
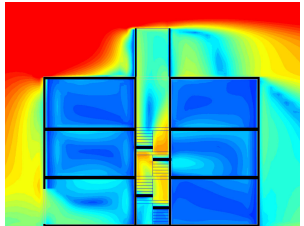
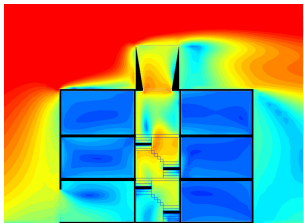
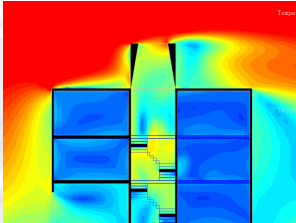
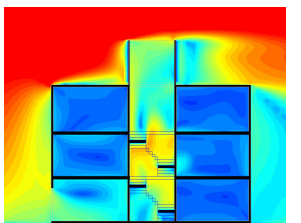
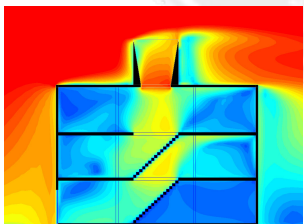
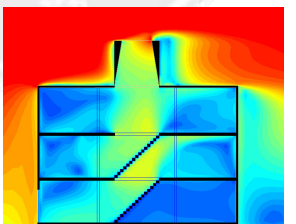
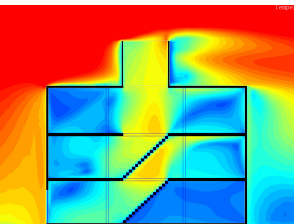
(本研究繪製)

B. 模擬結果

I. Type D、Type E、Type F 室內流場擬結果

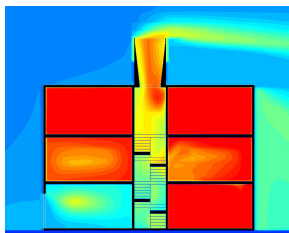
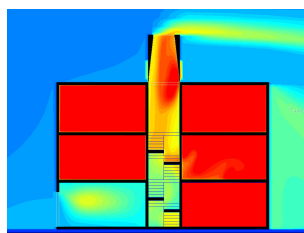
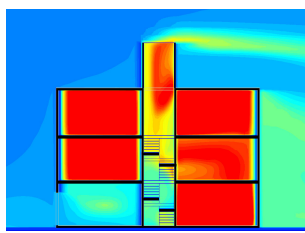
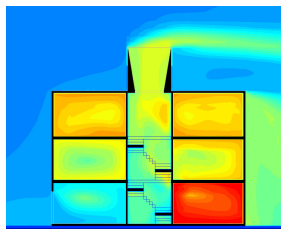
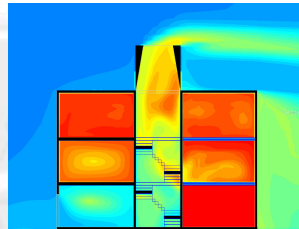
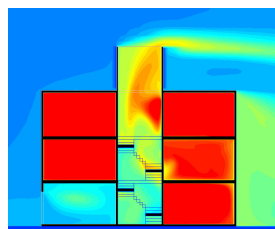
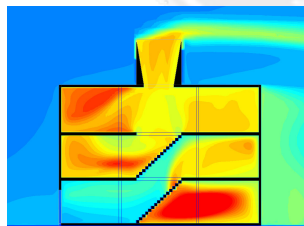
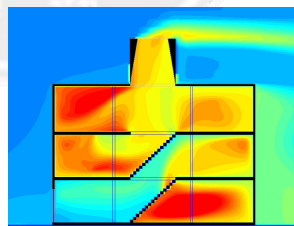
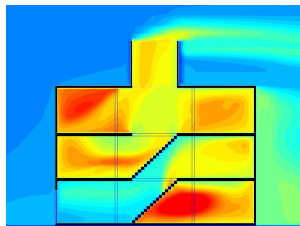
在相同室外風環境（風速 4.1m/s，方向 181.25 度）下，比較同一樓梯樣式下不同通風塔的形式對室內風環境的影響與同一通風塔形式下不同樓梯樣式對室內風環境的影響其結果如下各表

表 4- 5 Type D、Type E、Type F 模擬結果圖-風速圖

模組編號	Type D1	Type D2	Type D3
風速圖			
通風塔 樣式依據	Type C'6	Type C'8	Type C'9
樓梯樣式: 平行雙跑樓梯 剖面線:Y=1.4			
模組編號	Type E1	Type E2	Type E3
風速圖			
通風塔 樣式依據	Type C'6	Type C'8	Type C'9
樓梯樣式: 折行多跑樓梯 剖面線:Y=1.6			
模組編號	Type F1	Type F2	Type F3
風速圖			
通風塔 樣式依據	Type C'6	Type C'8	Type C'9
樓梯樣式: 直行單跑樓梯 剖面線:Y=0.5			
Speed(m/s)			
風向 181.25 南風 (圖片左側吹向右側), 風速 4.1m/s, 室外溫度 32.9℃			

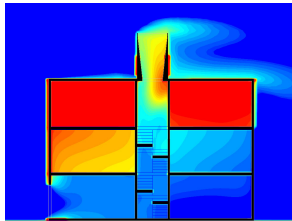
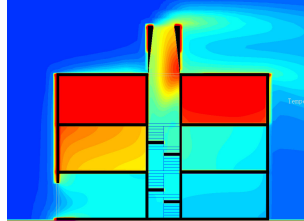
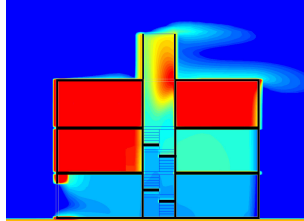
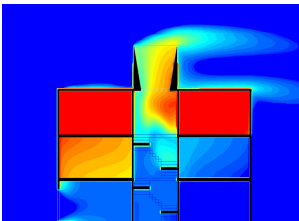
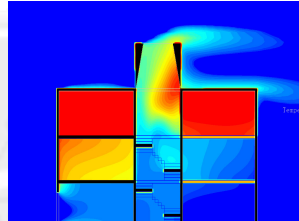
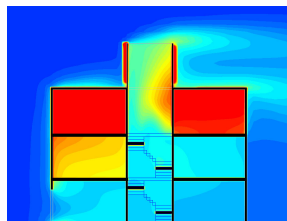
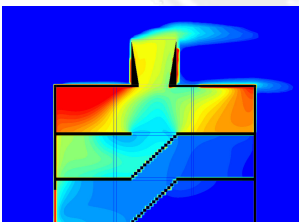
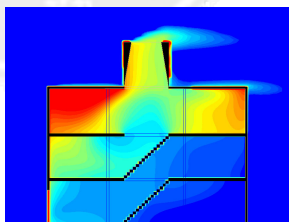
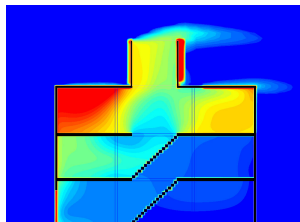
(資料來源：本研究繪製)

表 4- 6 Type D、Type E、Type F 模擬結果圖-LMA

模組編號	Type D1	Type D2	Type D3				
LMA							
通風塔 樣式依據	Type C'6	Type C'8	Type C'9				
樓梯樣式: 平行雙跑樓梯 剖面線:Y=1.4							
模組編號	Type E1	Type E2	Type E3				
LMA							
通風塔 樣式依據	Type C'6	Type C'8	Type C'9				
樓梯樣式: 折行多跑樓梯 剖面線:Y=1.6							
模組編號	Type F1	Type F2	Type F3				
LMA							
通風塔 樣式依據	Type C'6	Type C'8	Type C'9				
樓梯樣式: 直行單跑樓梯 剖面線:Y=0.5							
LMA(s)	360	300	240	180	120	60	0
風向 181.25 南風 (圖片左側吹向右側), 風速 4.1m/s, 室外溫度 32.9°C							

(資料來源：本研究繪製)

表 4- 7 Type D、Type E、Type F 模擬結果圖-溫度

模組編號	Type D1	Type D2	Type D3
溫度圖			
通風塔 樣式依據	Type C'6	Type C'8	Type C'9
樓梯樣式: 平行雙跑樓梯 剖面線:Y=1.4			
模組編號	Type E1	Type E2	Type E3
溫度圖			
通風塔 樣式依據	Type C'6	Type C'8	Type C'9
樓梯樣式: 折行多跑樓梯 剖面線:Y=1.6			
模組編號	Type F1	Type F2	Type F3
溫度圖			
通風塔 樣式依據	Type C'6	Type C'8	Type C'9
樓梯樣式: 直行單跑樓梯 剖面線:Y=0.5			
溫度(°C)			
風向 181.25 南風 (圖片左側吹向右侧), 風速 4.1m/s, 室外溫度 32.9°C			

(資料來源：本研究繪製)

II. Type D、Type E、Type F 室內通風量模擬結果

將室內通風量模擬數值結果列於表 4-10，從表種可知在相同室外風環境（風速 4.1m/s，方向 181.25 度）下，當樓梯樣式固定時，室內通風量 Type D1> Type D3> Type D2，Type E1> Type E3> Type E2，Type F3> Type F2> Type F1，其通風塔樣式對室內通風量的影響與 3-2 的模擬結果相同，其原因可從 3-2 得知，但對於 Type F 因通風塔樓梯樣式較為狹長故依據 TypeC'6 與 TypeC'8 通風塔形式建立而成的通風塔則因存有一端通風塔之通風面積過小使通風量小於 Type F3。當通風塔形式固定時，從圖 4-8 可知折行多跑樓梯（Type E）>平行雙跑樓梯（Type D）>直行單跑樓梯（Type F），因折行多跑樓梯的形式上有垂直貫通的空間可使較多的空氣粒子通過，使其使用折行多跑樓梯的住宅室內通風量大於使用平行雙跑樓梯或直行單跑樓梯的住宅室內通風量，但在 Type D3、Type E3、Type F3 這一組時則是折行多跑樓梯>直行單跑樓梯>平行雙跑樓梯，這是因為在適用 Type C'6 與 Type C'8 的通風塔形式時造成 Type F1 與 Type F2 之通風塔通風面積過小使得 Type F1 與 Type F2 室內空氣不易從通風塔排出。

表 4-8 Type D,Type E,Type F 通風量統計表

Type D	Type D1	Type D2	Type D3
通風量	3.66	2.94	2.97
Type E	Type E1	Type E2	Type E3
通風量	5.56	4.02	4.27
Type F	Type F1	Type F2	Type F3
通風量	2.92	2.01	3.26

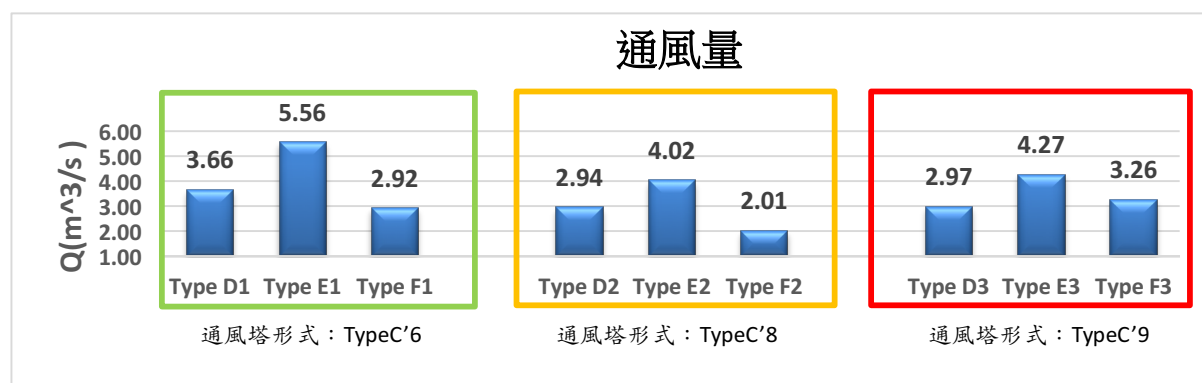


圖 4-8 Type D,Type E,Type F 通風量統計圖

III. Type D、Type E、Type F 室內空氣滯留時間 LMA 模擬結果

將室內空氣滯留時間模擬數值結果列於表 4-11，從表中可得知在相同室外風場下，當樓梯樣式固定時，室內空氣滯留時間 LMA 數值 Type D3> Type D2> Type D1, Type E3> Type E2> Type E1, Type F1> Type F2> Type F3，在 Type D 與 Type E 中因縮流效應使 Type D1、Type D2 與 Type E1、Type E2 之室內平均 LMA 數值小於 Type D3、Type E3，在 Type F 中雖然同樣具有縮流效應 Type F1 通風塔下端面積與 Type F2 通風塔上端面積都太小使得空氣粒子不易藉由通風塔排出故 Type F 平均室內空氣滯留時間數值 Type F1> Type F2> Type F3。當通風塔形式固定時，從圖 4-9 可知 LMA 數值直行單跑樓梯 (Type F) > 平行雙跑樓梯 (Type D) > 折行多跑樓梯 (Type E) 除 Type D3、Type E3、Type F3，因在使用直行單跑樓梯的建築樣式中直行單跑樓梯加上廊道所需的面積較大，故當空氣粒子藉由垂直樓梯空間從通風塔排出的過程中使廊道空間受擾動的空氣粒子較多，故在通風塔的通風面積作夠時使得室內平均 LMA 數值 Type D3> Type E3> Type F3。

表 4- 9 Type D,Type E,Type F - LMA 統計表

Type D	Type D1	Type D2	Type D3
LMA	299	363	382
Type E	Type E1	Type E2	Type E3
LMA	155	248	342
Type F	Type F1	Type F2	Type F3
LMA	342	318	290

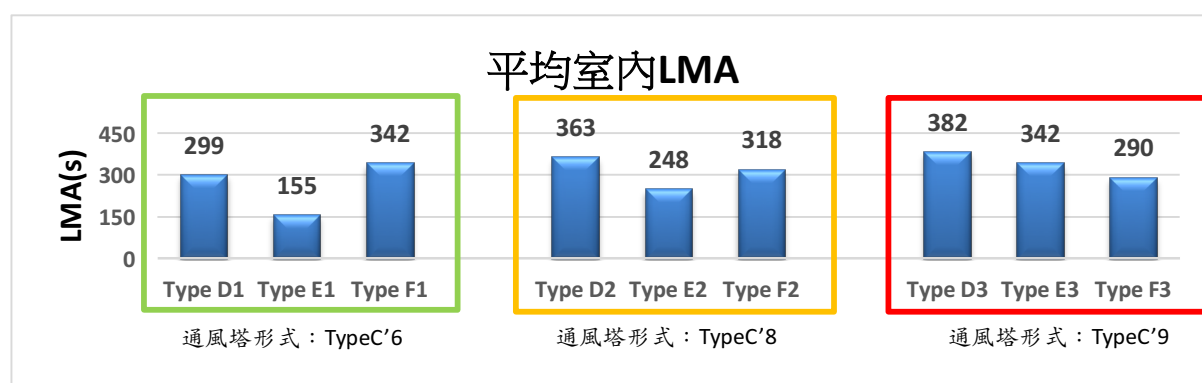


圖 4- 9 ype D,Type E,Type F - LMA 統計圖

第五章 結論與建議

5-1 研究結論

通風為建築設計中重要的一環，尤其是對於位在亞熱帶濕熱氣候台灣與建築量體密度高的都市中，經研究顯示善用自然通風對於居住環境品質會有實質上的助益，利用自然通風可避免發生都市中常見之病態大樓症候群(Sick Building Syndrome, SBS)的機會同時自然通風策略與機械通風系統比較起來具有維修且使用容易的優點，且在現在密集開發的都市中，建築物量體必須朝向大型化、高層化的方式來解決土地不足的問題，造成都市熱島日益嚴重，導致都市不透水化地表比例增加、都市平均溫度逐年上升、都市地區平均風速下降，加上高密度、高層化的建築量體使得多數都市內的低層建築物通風不良，又因台灣建築形式較多為不利於通風的連棟住宅樣式且台灣住宅因地小人稠故一般住宅平面面積大多不大更使得住宅室內通風困難故利用樓梯間結合通風塔以節省住宅面積的同時利用煙囪效應的特性使熱浮力通風產生，因本研究針對於通風塔的位置、高度、上下端的邊長比與梯間樣式進行模擬實驗故針對此模擬結果進行整理並歸納以下結論：

A. 通風塔位置

從 3-1-3 與 3-3-3 的模擬結果中可知當通風塔位置越接近進風口，通風量越大；離進風口越遠則越小，是因通風塔位置主要利用通風路徑來影響室內風場，從圖 3-18 知當通風塔靠進入風口時，因為短路型氣流使通風塔對室內空氣粒子產生較大的拉力造成室內空氣粒子間拉力增強使得通風量上升，室內空氣滯留時間縮短；反之通風塔位置離進風口越遠則因通風塔通風塔對室內空氣粒子的拉力不足使室內空氣粒子間拉力不足導致通風量下降，室內空氣滯留時間增加。同時從表 3-35 與圖 3-20、3-21 可知陽照光射使屋頂與建築物接近太陽照射方向之外牆受熱使室內溫度上升、熱浮力效應增強，且接近受日照之外牆一側的室內空氣溫度較高、熱浮力較顯著，當通風塔位置離太陽照射方向較近時因接近受陽光照射之外牆使熱空氣形成短路型使通風塔對室內空氣粒子產生較大的拉力造成室內空氣粒子間拉力增強、室內熱空氣排出同時使得通風量上升，使得室內通風量增加，室內空氣滯留時間短。

B. 通風塔上下端開口邊長比

在 Type C' 的模組中主要是利用縮流效應的影響增加室內空氣經由通風塔到室外的風速同時利用通風塔的蓄熱使樓梯間的垂直空間產生垂直的溫度差以強化室內對流並提高樓梯間熱空氣上升的速度，藉此來影響室內通風量與室內空氣滯留時間。從表 3-49 可知當通風塔上端邊長大於下端邊長時，在通風塔下端入風口處由於室內空氣流通的斷面積急速縮小使縮流效應產生加快室內空氣通過的流速，又因為通風塔上端邊長大（即通風塔上端開口面積大）使得通風塔上端開口面積與外界氣流場的接觸面積大，使得室內空氣粒子更容易被外界氣流場牽引（即室內空氣粒子受到外界氣流場的拉力較大）。當通風塔下端邊長大於上端邊長時，縮流效應在通風塔上端出風口處較為顯著，但由於此時室內熱空氣上升時因有可能撞擊到通風塔塔壁使室內熱空氣回彈導致紊流的產生使得室內熱空氣排出的順暢度下降，加上在此種通風塔的型態下通風塔上端開口面積與外界氣流場的接觸面積較小，使得室內空氣粒子不容易被外界氣流場牽引故雖然有縮流效應加速室內熱空氣的排出，但其效果不如通風塔為上端邊長大於下端邊長的形態，同時在使用此種型態的通風塔時要避免通風塔壁與樓梯間水平夾角小於 80.5 度，根據由研究顯示此時在通風塔端處會產生強烈的紊流情況使室內熱空氣回彈導致室內熱空氣排出受阻使得室內通風量下降，室內空氣滯留時間長。而至於通風塔上端邊長與下端邊長等長時，因無縮流效應的產生故其室內熱空氣排放效果不如其他兩者來的佳，且當其通風塔上端邊長與下端邊長與樓梯間的邊長等長時（即通風塔上端與下端之開口面積與樓梯間投影面積相等），因面積過大使得煙囪效應較弱導致熱空氣上升速度下降、室內通風量下降，室內空氣滯留時間長。

C. 樓梯樣式

由於樓梯樣式會影響通風路徑與通風面積，進而影響到室內通風故本研究針對此在相同樓層高度下模擬不同的樓梯樣式下結合不同的通風塔型態的交互作用對室內風場影響。從表 4-5～表 4-8 中可知當樓梯為折行多跑樓梯（Type E）時，因此時樓梯間仍然保有一個垂直的貫通空間連接通風塔，使得室內空氣能直接經由此垂直的貫通空間至通風塔而排出室內，又加上使用折行多跑樓梯時樓梯間的平面面積足夠大，不會影響到空氣粒子的流通有利於使用縮流效應故此時通風塔選擇上端邊長大於下端邊長的通風塔型態最佳。當樓梯為直行單跑樓梯（Type F）時，雖然因樓梯間的平面面積狹小而易在每個樓層交接觸產生縮流效應加快室內熱空氣上升的速度，但也因樓梯間的平面面積狹小，使得空氣粒子可通過面積較小、通過的空氣粒子數量較少，因此若在樓梯為直行單跑樓梯的形式下使用上端邊長大於下端邊長的通風塔型態或使用下端邊長大於上端邊長的通風塔型態時，雖然會有強烈的縮流效應產生，但也因此使得通風塔存有一端的開口面積過於狹小，使得空氣粒子不易從室內排出至室外。故在使用直行單跑樓梯時最適合的通風塔型態為上端邊長與下端邊長與樓梯間的邊長等長的通風塔，此時通風塔擁有較足夠的開口面積使空氣粒子排出，同時又因此時的通風塔型態而具有較強烈的縮流效應與煙囪效應使得室內熱空氣上升速度加快。當樓梯為平行雙跑樓梯（Type D）時，因此樓梯樣式不像折行多跑樓梯具有一個垂直的貫通空間可連接通風塔，又不像直行單跑樓梯一樣能利用狹小的樓梯間空間產生強力的縮流效應，故使用能與外界氣流場擁有較大的接觸面積，使得室內空氣粒子更容易被外界氣流場牽引同時能產生縮流效應的上端邊長大於下端邊長的通風塔型態為佳。

總結研究結果，若是樓梯面積平面較大，使用下縮上寬的通風塔形式較佳，因此時通風塔下端具足夠的面積能使空氣粒子流暢的通過，使縮流效應的優點能妥善應用如折行多跑樓梯、平行雙跑樓梯；但若是樓梯樣式平面面積狹小如直行單跑樓梯則因使用通風塔上下端開口一致大小的通風塔樣式以空氣粒子能通過的面積，使其空氣粒子的流暢度增加，通過通風塔的空氣粒子數量增加為佳。

5-2 研究建議

對於通風塔設計與室內通風效益方面，尚有許多手法及方式值得探討及深究，本研究主要針頂端開口的通風塔形式、常見的三種樓梯樣式與單一平面樣進行探討，提供設計者與使用者於設計規劃階段之參考，本研究針對通風塔形式、常見的三種樓梯樣式建議如下：

A. 通風塔形式：

根據本研究模擬結果，鑑於台灣地區的樓梯位置配置大都為於建築物中間或者建築物尾端，因此在通風塔位置配置上因盡量靠近位接近樓梯間的進風口處，利用短路效應使上升的室內熱空氣增加對其餘室內熱空氣的拉力進而使是剋通風量增加、室內空氣滯留時間縮短。反之若樓梯位置配置位於建築物前端（即室外風場可較快到達處），此時因室外風場之風力較強，故不需利用短路效應增加室內熱空氣粒子彼此間的拉力，故此時通風塔位置因設置在樓梯間遠離進風口處的位置，以增加通風路徑，擾動其餘室內空氣粒子減少空氣滯留時間、增加排出室內空氣粒子數量使室內通風量上升。同時基於縮流效應的應用和增加與外界風場接觸的面積，通風塔採用上端邊長大於下端邊長的通風塔型態為佳。

B. 樓梯樣式：

根據本研究模擬結果，樓梯間若能保留一個垂直的貫通空間連接通風塔，使得室內空熱空氣能直接經由此垂直的貫通空間至通風塔而排出室內熱空氣者為佳，同時為了擁有良好的通風路徑與有效的通風面積，樓梯間因避免形成過於狹長的空間樣式，因根據研究顯示過於狹長的樓梯樣式不利於空氣粒子的流通，易使得室內熱空氣不是排出。

參考文獻

書籍

1. 漂亮家居編輯部，住進有光和風的自然好宅，麥浩斯出版社，2014
2. 黃淑麗等著，北回歸線上的智慧綠建築：蘭潭靜園，新北市：內政部建築研究所，2013
3. 周鼎金，九十三年度舊有建築物節能改善工程補助計畫（外遮陽暨屋頂隔熱），內政部建築研究所，2004
4. 黃裕益，自然通風溫室之微氣候調節，1994

學位論文

1. 涂玉峰，室內空氣環境綜合評估指標之探討-以台灣南部工業區辦公大樓為例，國立成功大學，1999
2. 翁麗敏，梯間配置對開口模式及通風路徑之影響評估-以連棟透天住宅為例，淡江大學，2002
3. 孟懷東，自然通風對北排灣石板屋居室溫熱環境之影響，2005
4. 秦子傑，垂直通風管對室內通風效益研究，國立臺北科技大學，2006
5. 朱佳仁，建築物通風與風洞實驗，國立中央大學，2008
6. 謝志昌，混合通風系統對辦公空間通風效益影響研究:以水平導風板搭配排風扇為例，成功大學建築碩士論文，2008
7. 簡君翰，無動力太陽能通風塔能源效益解析-以綠色魔法學校國際會議廳為例，成功大學建築碩士論文，2009
8. 蔡立偉，外部風場對室內舒適度之影響-新竹竹北若山二建案為例，逢甲大學，2015
9. 陳紀融，連棟住宅結合導風板與通風塔之通風效益探討，成功大學建築碩士論文，2015

期刊論文

1. 張瑋如，兩層樓建築物橫流型自然通風模式的 CFD 研究:植栽 風擋設置距離與孔隙率的效應比較，建築學報，2006 第 56 期 133-149。
2. 周佑亮，〈整合型建築外殼之陽台型式結合太陽能風扇對改善室內舒適度影響研究-以淡水地區為例〉，2009
3. 朱佳仁、邱英浩、陳彥志、王宇文，建築物開口對風壓通風影響之研究，建築學報，2009 第 69 期,17-33
4. 陳正雄、陳上元，追求環境效率的智慧綠建築-蘭潭靜園，台灣建築學會，2012.07 第 67 期
5. Adrian Pitts Thermal Comfort in Transition Spaces，2013

