

臺中市政府 103 年度規劃研究設計報告獎助計畫

報告節錄重點

開口位置對於辦公空間室內自然通風效果
之影響-以臺中園道大樓為例

The effect of Façade Openings on Indoor Natural
Ventilation in Office/ A Typical Office Building as
An Example

研究人員：方柏淳

指導教授：林衍良

學 校：逢甲大學

系 所：建築系

中華民國 102 年 6 月

摘要

本研究有鑒於今日環保意識以及能源問題高漲，對於辦公空間初步調查分析之後，發覺其確實有空調設備過度使用及具有採用自然通風之可能性，因此確立本研究方向。本研究透過 CFD 電腦模擬之方式，以臺中園道大樓辦公空間為模擬單元，模擬其現況開口位置以及不同開口位置之立面，藉由探討開口位置對於室內熱舒適環境及通風換氣環境之影響，提出辦公空間使用自然通風之可能性與不同開口組合之各項優缺點，作為後續建築設計參考範本及依據。

關鍵字：開口位置、辦公空間、自然通風、臺中市

目錄

摘要.....	1
目錄.....	2
一、前言.....	3
二、研究目的.....	8
三、文獻回顧.....	8
四、研究架構與內容.....	14
五、研究結果與分析.....	21
六、結論與建議.....	23
七、參考文獻.....	27

一、前言

1. 病態大樓症候群之現象

自一九七三年的第一次能源危機以來，歐美國家為了節約能源紛紛加強建築物的氣密性，但卻因外氣不足與現代室內汙染物質過多而引發了嚴重的「病態大樓症候群」，症狀主要包括喉嚨不適、眼睛鼻子過敏、頭痛、疲倦等，此症狀主要發生在員工上班時，下班候症狀會減輕或消失，該症狀容易發生於新建築物或改建過後使用的舊建築，尤其容易發生於氣密性良好的空調建築物中，因此該類建築有時被稱為「病態大樓」(sick building)，而該症候群也就被稱為「病態大樓症候群」(sick building syndrome, SBS)。

依據成大建築研究所健康研究室之調查顯示，在台灣有 40% 受訪者反映在空調辦公室內經常有「病態大樓症候群」症狀，有 30% 辦公室之部分室內空氣品質實測質超出國際標基準。在問卷調查中亦發現，有八成二的受訪者每天都有不適症狀，對辦公室內空氣品質整體評價不滿者也占了三成八，由此可見建築室內空氣品質的問題在台灣有惡化之趨勢。

2. 辦公空間室內通風換氣不佳的情形

依據 NIOSH (The US National Institute of Occupational Safety & Health 美國職業衛生安全協會) 以及 HWC (Health & Welfare Canada 加拿大健康與福利會) 分別針對 484 件及 1362 件室內品質問題的調查，如表 1 顯示。影響建築室內空氣環境的因子分為兩大類，一為空氣汙染，約佔 24-36%；二為不當的空調系統，佔 52%。

表 1 室內空氣品質不佳之原因(周伯丞，2003)

不佳原因		NIOSH		HWC	
		案例數 (484)	百分比 (%)	案例數 (1362)	百分比 (%)
不適當之空調系統		252	52	710	52
空氣 汙 染	室內汙染物	77	16	165	12
	室外汙染物	48	10	125	9
	建材生產	20	4	27	2
	生物性汙染物	26	5	6	0.4

不明原因	61	12	329	24
------	----	----	-----	----

3. 空調設備的過度使用

依辦公大樓能源查核統計分析(辦公大樓能源節約手冊, 2009), 主要耗能設備全年用電比例來看, 空調占 44.5%、照明 24.6%、其它設備占 30.9%。台灣各類中央空調建築物的用電強度 EUI 統計如表 2 所示, 辦公建築夏季時空調用電高達 41%, 冬季則約 19%。根據內政部研究統計指出, 台灣每年平均新建樓地板規模約 34,433,658 平方公尺, 其中辦公大樓約占 7%(圖 2), 為四大空調建築新建樓地板之首(內政部建研所, 2007), 由此可知辦公空間之空調使用, 為能源損耗之一大凶手。

表 2 台灣各類中央空調建築物實用電比例統計(林憲德, 2005)

	季節	空調	照明	動力
辦公建築 (樣本 8)	夏季	0.41	0.35	0.25
	春秋季	0.27	0.48	0.25
	冬季	0.19	0.58	0.24
百貨建築 (樣本 8)	夏季	0.36	0.44	0.20
	春秋季	0.30	0.48	0.22
	冬季	0.29	0.50	0.21
旅館建築 (樣本 19)	夏季	0.50	0.26	0.24
	春秋季	0.39	0.34	0.27
	冬季	0.30	0.37	0.33
醫院建築 (樣本 16)	夏季	0.58	0.27	0.15
	春秋季	0.53	0.31	0.16
	冬季	0.43	0.38	0.20

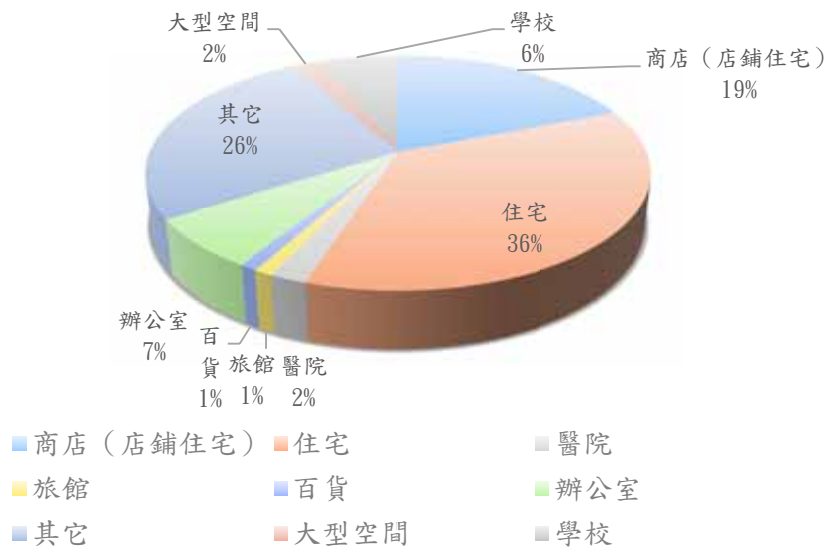


圖 2 各類建築樓地板面積比(內政部建研所，2007)

4. 臺中地區某些季節時段適合自然通風

台灣位於亞熱帶地區，根據表 3(林憲德，2003)研究發現台灣所屬氣候條件，適合自然通風的採用；再者依據表 4(周柏丞，2000)指出，台灣大多數地區在春、秋兩季可採取自然通風，臺中地區三至五及九到十一月共有六個月適合自然通風使用，與高雄地區並列都市地區適合採用自然通風之首，由此可知臺中地區適合自然通風之使用。

表 3 世界各氣候區通風利用率%(林憲德，2003)

氣候區	都市	風力通風利用率	浮力通風利用率	合計通風利用率
溫帶氣候	Boston(美國)	1.86	5.21	7.07
	Portland(美國)	1.77	9.76	11.53
	San Francisco(美國)	0.79	12.27	12.93
	札幌(日本)	5.53	15.26	20.79
	Los Angeles(美國)	3.15	33.37	36.52

	San Diego(美國)	7.81	31.14	38.95
	London(英國)	2.75	28.32	31.07
	Rome(羅馬)	11.79	23.23	35.02
	北京(中國)	14.71	14.36	28.53
次 熱 濕 氣 候	東京(日本)	12.92	15.98	28.90
	Tampa(美國)	15.99	11.05	27.04
	那霸(日本)	13.30	7.23	20.53
	上海(中國)	10.73	15.15	25.88
	南京(中國)	12.96	14.80	27.76
典 型 熱 濕 氣 候	香港(中國)	21.92	13.07	34.99
	台北(台灣)	25.26	15.98	51.24
	臺中(台灣)	40.84	23.22	64.06
	高雄(台灣)	35.90	11.99	47.89
	Manila(菲律賓)	45.08	0.63	45.71
	Singapore(新加坡)	26.18	0.0	26.18
	Kuala Lumpur Phoenix(馬來西亞)	40.11	0.0	40.11
	Jakarta(印尼)	34.86	0.03	34.90
乾 熱 氣 候	Phoeni(美國)	5.39	15.46	20.84
	Salt Lake(美國)	1.49	6.02	7.48

表 4 台灣各地適合自然通風之月份(周伯丞, 2000)

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	合計
基隆				●	●				●	●	●		5 個月
台北				●	●				●	●	●		5 個月
淡水					●				●	●	●		4 個月
新竹				●	●				●	●	●		5 個月
臺中			●	●	●				●	●	●		6 個月
嘉義			●	●	●					●	●		5 個月
澎湖										●	●		2 個月
台南				●	●					●	●	●	5 個月
高雄			●	●	●					●	●	●	6 個月
恆春	●	●	●	●						●	●	●	7 個月
台東	●	●	●	●	●					●	●	●	8 個月
花蓮			●	●	●					●	●	●	6 個月
蘇澳										●	●		2 個月

綜觀以上「建康」、「節能」因素，本研究動機為探討開口位置對於辦公空間室內自然通風之影響，藉由不同模式的配置組合，瞭解開口位置對室內風場的影響，尋求適合辦公空間使用自然通風之開窗模式。

二、研究目的

1. 探討辦公空間自然通風的可行性

本研究以臺中市園道大樓為案例，藉由 CFD 軟體模擬，探討某些氣象條件，辦公空間採用自然通風之可行性。

2. 檢驗自然通風之適用氣象條件

透過文獻回顧的整理，釐清辦公空間自然通風適用之條件，並藉由客觀的氣象條件設定，模擬不同氣象環境之自然通風情形，再將模擬所求得氣象範圍與文獻資料比對驗證，探討適合辦公空間自然通風之自然條件。

3. 評估不同開口位置對於辦公空間室內溫度分佈、氣流環境之影響

綜合各項變因，藉由 CFD 數值模擬結果，針對「舒適」、「健康」議題，以不同室內通風環境評估指標進行評估分析，探討不同變因對辦公空間自然通風效果之影響，並提供建築設計者做為設計參考資料。

三、文獻回顧

本章綜合整理建築通風原理、評估指標以及研究方法，並整理出適合本研究使用之研究方法以及評估指標，作為後續研究之依據。

(一) 建築通風方式

建築物的通風方式可分為自然通風(Natural Ventilation)、機械通風(Mechanical Ventilation)與混合式通風(Hybrid Ventilation)三種方式如下表 6。自然通風是依靠建築物內外的氣壓所造成的空氣流動，機械通風又稱為強制通風，利用通風機械促使室內外的空氣交換和流動，混合式通風則是運用機械設備搭配自然通風。自然通風有節約能源的功效，因此在建築物設計的最初階段，應需考量自然通風。

表 6 通風方式分類(謝志昌，2008)

分類	原理	方法
自然通風 (Natural Ventilation)	利用自然之物理現象	1. 風力換氣 2. 重力換氣 3. 利用氣體擴散性方法
機械通風 (Mechanical Ventilation)	利用機械性能強制促成	1. 送氣式 2. 排氣式 3. 合併式
混合式通風 (Hybrid Ventilation)	自然通風手法搭配機械通風手法	1. 自然通風模式和機械通風模式交替運用 2. 機械輔助自然通風 3. 自然驅動力輔助機械通風

(二)評估指標介紹

自然通風的主要功能在於藉由移除或稀釋室內汙染物以提供可接受的空氣品質，以及提供熱交換機制(CIBSE, 1997)，因此室內通風換氣評估指標及舒適度指標為兩項常用指標，關於室內通風換氣環境評估指標及室內熱舒適評估指標之相關文獻，探討之評估指標種類眾多相關研究如下。

1. 室內溫熱舒適之評估指標

影響室內環境人體之舒適感的主要因素包括溫度、濕度、氣流與輻射熱，為有效評估人體對環境之舒適感與空間物理量之關係，許多研究針對以上四要素提出溫感表示法，以定量的方式探討其相關性如表 7。

表 7 室內溫熱環境評估指標(楊力東，2005)

環境指標	相關之室內氣候要素	單位	開發者
有效溫度 ET	氣流、溫度、濕度	°C	Yaglou & Houghton , 1947
修正有效溫度 CET	氣流、球溫度、濕度	°C	Bedford , 1947
新有效溫度 ET*	氣流、溫度、濕度	°C	Gagge , 1971
作用溫度 OT	氣流、溫度、周壁溫度	°C	John B. Pierce , 1940
等溫指數 EW	氣流、溫度、濕度、周壁溫度	°F	Bedford , 1937
不快指數 DI	溫度、濕度	-	美國氣象局
PMV-PPD 評價法	氣流、溫度、濕度、周壁溫度、代謝量、著衣量	-	P. O. Fanger , 1982

本研究參考國際標準畫組織 ISO7730 及 ASHRAE Standard55 規範中所使用之預測平均回答值 PMV(Predicted Mean Vote)，做為室內熱環境舒適度之評估指標。

PMV-PPD 指標

PMV 值是丹麥範格爾(P. O. Fanger)教授提出人體對冷熱反應的評估指標，它代表同一環境中大多數人對冷熱感覺的平均，PMV 值分成七個等級分別為冷 (-3)、涼 (-2)、稍涼 (-1)、中性 (0)、稍暖 (1)、暖 (2)、熱 (3) 表 7，此綜合熱環境物理的舒適心理指標是運用統計方法而得的定量函數關係，經 ISO7730 修正得以下公式：

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303\exp(-0.036M)+0.028)\times\{(M-W) \\
 & -3.05[5.73-0.007(M-W)-P_a]-0.42[(M-W)-58.15] \\
 & -0.0173M(5.87-P_a)+0.0014M(34-t_a) \\
 & -3.96^{\circ}\times f_{cl}\times[(t_{cl}+273)^4-(MRT+273)^4]-f_{cl}\times h_{cx}(t_{cl}-t_a)\}
 \end{aligned}$$

表 8 PMV 的七個等級 (ISO 7730)

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
冷 Cold	涼 Cool	稍涼 Slightly Cool	中性 Neutral	稍暖 Warm	暖 Slightly Warm	熱 HOT

ISO 7730 對 PMV 的推薦值為 PMV 值在 $-0.5 \sim +0.5$ 之間，而 ISO 2007 建議在新建造建築與更新建築室內環境 PMV 之要求之值為 -0.5 與 $+0.5$ 之間、PPD $<10\%$ ，在既有建築為 -0.7 與 $+0.7$ 、PPD $<15\%$ 。ISO 9920 (1995b) 定義坐著辦公的人體舒適度指標為 $-0.5 < PMV < +0.5$ ，是活動人員可接受的舒適範圍。

表 9 ISO 7730 建議的環境熱舒適參數(ISO, 1994)

代謝率	46~232W/m ² (0.8~4Met)
著衣量	0~0.310W/m ² °C (0~2clo)
氣溫	10~30°C
平均輻射溫度	10~40°C
平均風速	0~1m/s
大氣壓力	0Pa~2700Pa
相對濕度(RH%)	30~70%

PMV 指標代表了同一環境下絕大多數人的熱感覺，但人與人之間存在生理差別，PMV 指標並不一定能夠代表所有人的感覺，因此 Fanger 又提出了預測不滿意百分比 PPD(Percentage of Dissatisfied) 指標來表示人群對熱環境不滿意的百分數，並用概率分析方法，定出 PMV 與 PPD 之間的定量關係如下

$$PPD=100-95\exp[-(0.03353PMV^4+0.2179PMV^2)]$$

2. 室內通風換氣評估指標

依據(賴榮平, 1980)室內通風評估項目主要可分為通風路徑、通風量、通風率三種；通風路徑能瞭解空間中整體通風的效果，但因各建築物之空

間型態不同，需個別實驗或模擬。通風路徑受到形狀、大小、傢俱等因素之影響，在定性方面可加以預測，但在定量方面較難預測；通風量是以開口面積乘以進風口風速；通風率是室內任意點之風速與外部風速比，同一空間內各點之通風率的平均為室內平均通風率，此為室內特定場所之通風效果良好表示方法，但因房間內各點之風速不一，通風評價無法一概而論。室內通風換的評估指標大致可分為幾個項目，如表 10 所示

表 10 室內通風換氣評估指標(涂玉峰，1999)

評估項目	物理單位	意義
通氣量	m^3/s 、 $m^3/hr/m^2$	每秒置換之氣流體積、 每單位樓地板面積在每小時所置換之氣流體積
換氣率(換氣次數) Air Change Rate(ACH)	次/hr	每小時外氣量置換相當於該空間容積量的次數
局部平均空氣齡 Local Average Age-of Air	S	空氣由入口處飄移置空間中的另一點 p 所需的平均時間
室內平均空氣齡 Room Average Age-of Air	S	室內所有點的局部平均空氣齡之平均值
空氣交換效率 Air exchange Efficiency		局部平均空氣齡與室內平均空氣齡的比值

(三)研究方法回顧

回顧以往通風研究相關研究，主要可分為下列幾種研究方法：

一、現場實測 (Yolcom et al, 1971)，最早被使用的研究方式，但此一方法難以對實際建築的溫熱與氣流場邊界條件做控制，因此其所得結果僅能代表測定時期的狀況，且僅能採取有現採樣點量測值，對於資料整合、分析及推論上容易造成問題，故不普遍被採用。

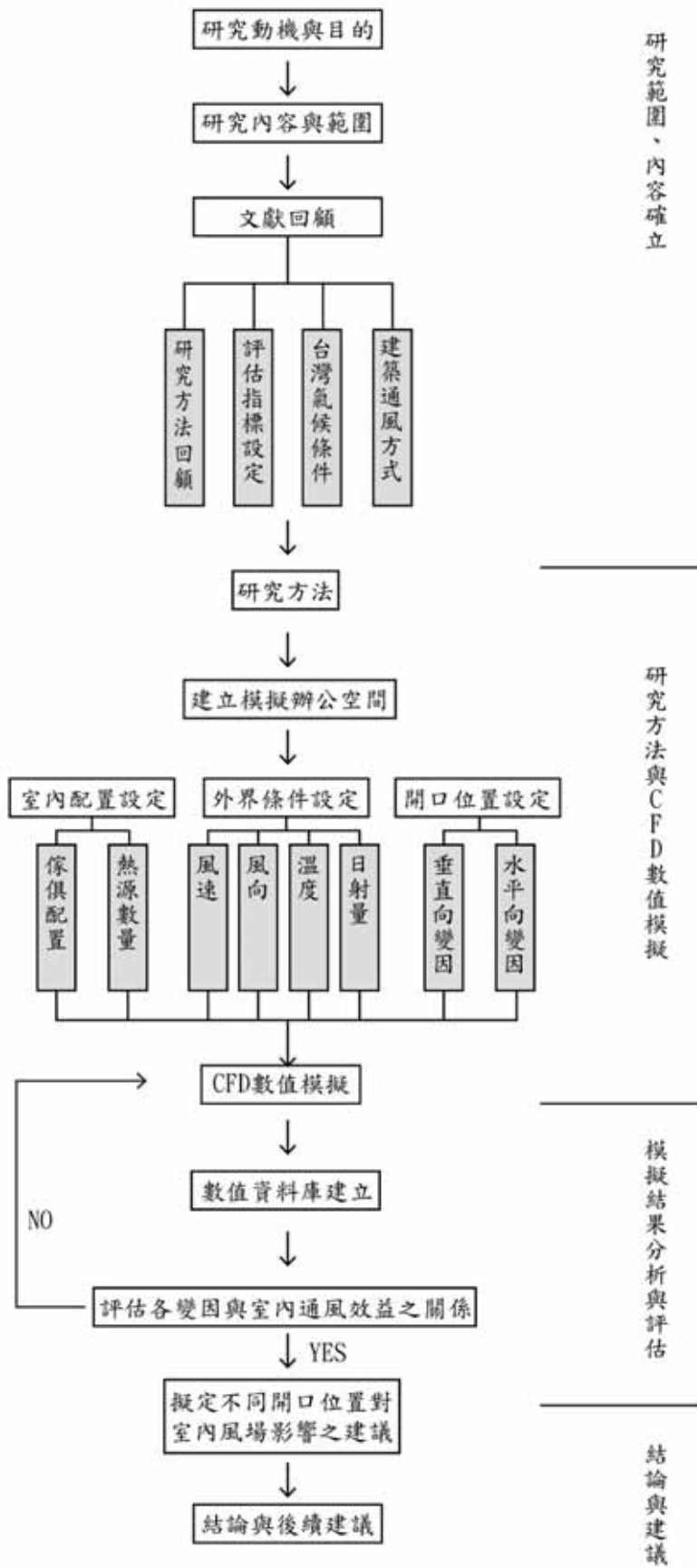
二、風洞或水洞縮尺模型實驗 (Weil et al, 1981; Petersen, 1987; Dagi, 1975)，在氣流場及風壓項可測得與足尺模型比立關係正確的數值，然而，因應縮尺所需的高速風洞實驗室通常省略重力通風之熱浮力效應以及濃度分佈 (Linden, 1998)。其數據僅可供作出部設計參考，及既有建築物性能評估的「經濟」方式，而風洞實驗室的造價卻相當昂貴

三、1:1 環境實驗室 (Chen et al, 1998)，藉由隔離實驗空間不受外部環境的影響，可量測取得有效的氣壓、空氣流速、溫濕度及濃度分布數據，特別是可取得熱浮力效應的自然通風效果 (Chiang and Chou et al., 1998)。此外，透過示蹤氣體量測技術，建築通風效能可由空氣齡及換氣率加以描述 (Sandberg et al., Etheridge et al., 1985; Yoshino et al., 1996)。

四、流體力學於建築流場預測方式經紊流近似運算，可進行建築室內外之流場細部狀態解析，藉由電腦 CFD 運算，可做為建築室內健康環境之分析工具，它是近年來普遍被使用的一種研究方式，如美國中央表準局新制定之標準實驗室即使用 CFD 數值解析進行實驗室空調狀態與危險汙染擴散預測，加拿大國家實驗室亦運用 CFD 進行室內建材 VOC 之逸散預測等，CFD 數值解析以廣泛被運用於判定建築內部及周遭流場的替選方式，在學數研究及工程應用上皆具極高的評價即接受度。

綜觀以上各種研究方法之優缺點，本研究選用 CFD 數值解析作為研究探討之方法，在有限的時間、人力的資源下，可獲的全面性的資料，且能根據 CFD 數值模擬所得之可視化結果及數據，分析評估各變因對室內通風效益影響之效果。

四、研究架構與內容



(一)研究內容

流程	進行步驟	目的
第一階段	題目設定	1. 確立研究範圍與目的
第二階段	文獻收集	1. 整理各種通風方式 2. 選擇合適之研究方法 3. 瞭解氣候背景條件 4. 整理相關評估指標
第三階段	研究方法與數值模擬	1. 說明研究方法 2. 設定各項變因 3. 模擬結果呈現
第四階段	CFD 模擬結果分析與評估	1. 利用評估指標分析評估各項數據結果
第五階段	結論與建議	1. 提出適合辦公空間自然通風之開口位置 2. 統整研究成果，建立設計參考資料 3. 提供未來研究方向參考

(二)研究案例與變因設定

本研究以臺中市西區園道大樓為研究對象，園道大樓為一棟 13 層樓高之 R.C. 構造建築物圖，建築面積 248.47 m²，座向為座西朝東，面前道路為 10 米中興街，北臨 6 米中興八巷；臨近建築物北側有一棟 7 樓高商辦大樓，西側與南側為一或二層樓高平房。

園道大樓標準層為雙拼式垂直核位於中間靠西側，分成南北兩個單元如圖 19，依臺中市最多風向為北風，並考量周邊建築對外界風場的影響，故本研究選擇模擬十一層北向單元，該面積為 248.47 m²。

本研究探討開口位置對於室內自然通風效果之影響，藉由調整迎風面開口位置探討其變化，以園道大樓現況為原型，分別調整開口之水平向與垂直向位置如圖 21、圖 22 所示。

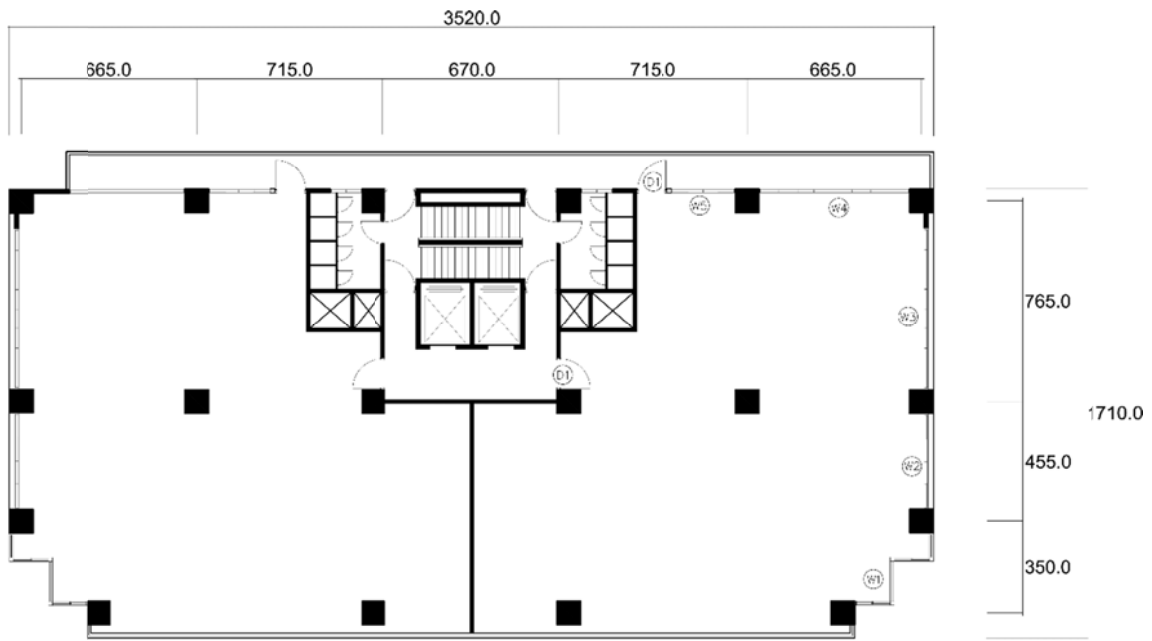


圖 19 園道大樓標準層平面

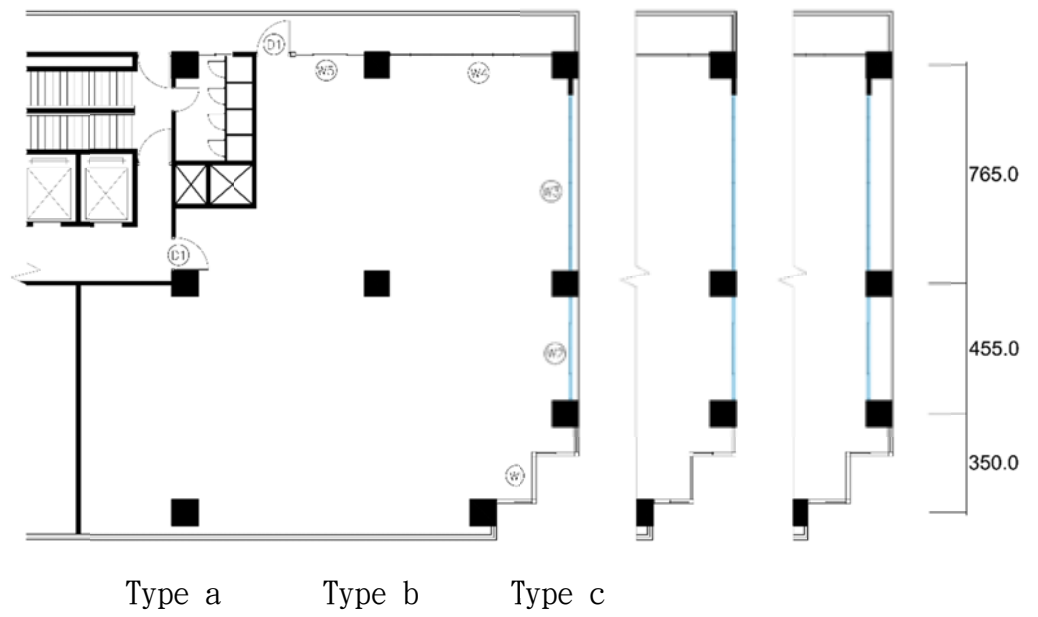


圖 21 水平開口位置

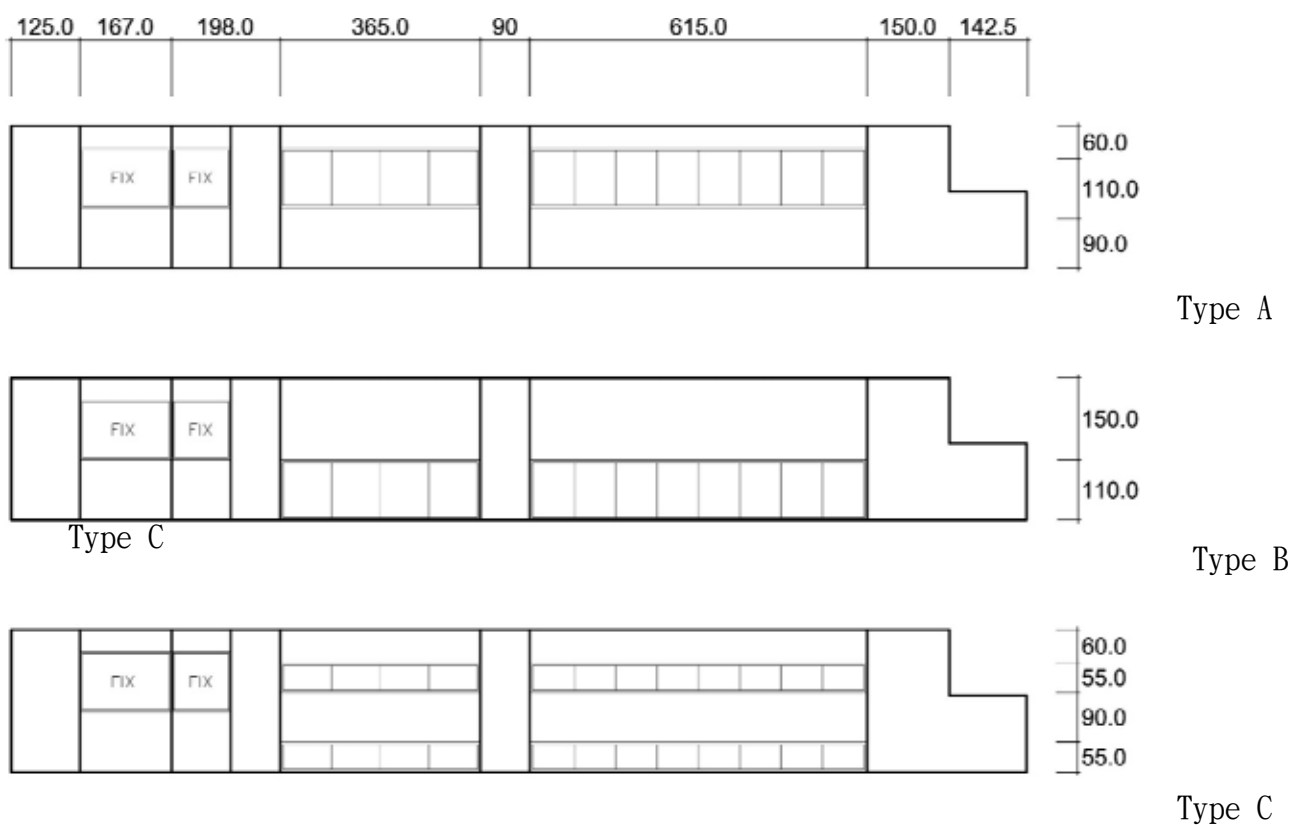


圖 22 垂直開口位置

整理以上水平開口位置及垂直開口位置變因，總計有 9 組不同開口模式，如下表 15。

表 15 研究模擬開口組合說明

位置		水平開口位置		
垂直開口位置	類型	a:原型	b:貼齊柱外緣	c:貼齊柱內緣
	A:原型	A-a	A-b	A-c
	B:貼齊樓地板	B-a	B-b	B-c
	C:上下開窗	C-a	C-b	C-c

外界環境條件設定

1. 外界氣溫設定

依據中央氣象局台灣地區氣候資料，可得知臺中地區最高溫月份為七月(28.9°C)，最低溫為一月(16.2°C)，年平均溫度為 23.6°C。依據(林憲德，2010) 溫度低於 27°C 可完全使用自然通風，27°C~31°C 時可利用風扇搭配自然通風，高於 31 °C 必須依靠空調降溫，故本研究將溫度設定於 26°C，探討其自然通風的可能性。

2. 外界風速設定

依據中央氣象局台灣地區氣候資料，可得知臺中地區年平均風速為 1.5m/s，全年最多風向為北風，故將外界風速與風向設定為北風 1.5m/s 與其倍數 3m/s。

室內熱源與傢俱設定

1. 室內人數

故本研究依據「政府機關辦公室節約能源技術手冊」，辦公空間每人使用面積為 7 m²至 19 m²，本研究以人員密度較高之 7 m²計算，將樓地板面積 248.47/7 得 35.5，故將室內人數設定為 36 人，同時設有 36 台桌上型電腦、電腦螢幕、辦公桌椅及櫃子。

2. 室內熱源

根據美國能源局網站資料，個人電腦使用時每台耗電量為 120W，電腦螢幕使用時為 150W；人體工作時發熱量依據 FloVENT 軟體設定值為每人 85W，故本研究熱源設定每台電腦為 150W、每台螢幕為 120W、每人發熱量為 85W，室內總熱源數如下表 16 所示

表 16 室內熱源設定表

項目	耗電量／發熱量	數量	小計	總計
人	85W	36	3060W	12780W
桌上型電腦	120W	36	4320W	

螢幕	150W	36	5400W	
----	------	----	-------	--

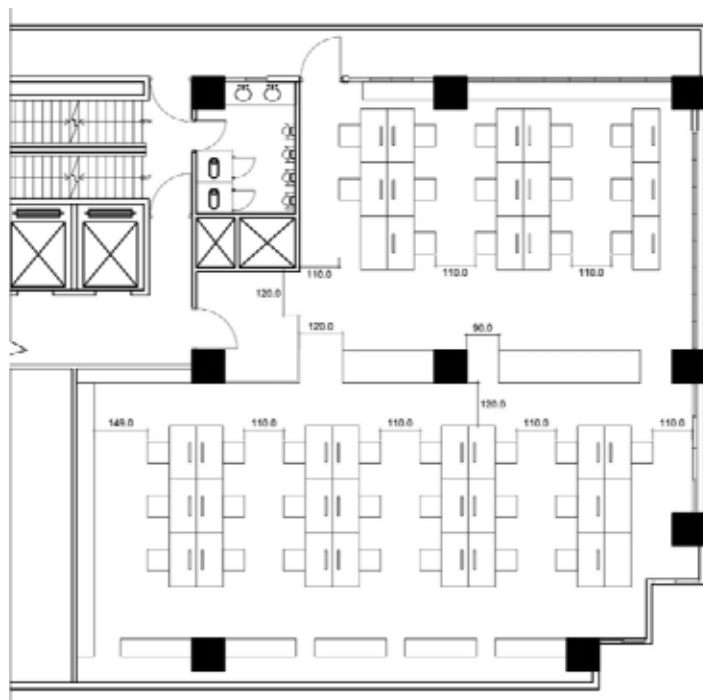


圖 27 室內配置圖

模擬組別與區域位置說明

1. 模擬案例

模擬案例分別由前節 3-2-1 所述垂直開口位置、水平開口位置與外界風速三項因素組成，共 19 項案例如下表 19 所示。

表 19 模擬案例編號說明

案例	垂直開口位置	水平開口位置	風速
A-a-0	A	a	0
A-a-1.5	A	a	1.5
A-b-1.5	A	b	1.5
A-c-1.5	A	c	1.5
B-a-1.5	B	a	1.5
B-b-1.5	B	a	1.5
B-c-1.5	B	c	1.5
C-a-1.5	C	a	1.5

C-b-1.5	C	b	1.5
C-c-1.5	C	c	1.5
A-a-3	A	a	3
A-b-3	A	b	3
A-c-3	A	c	3
B-a-3	B	a	3
B-b-3	B	b	3
B-c-3	B	c	3
C-a-3	C	a	3
C-b-3	C	b	3
C-c-3	C	c	3

二、區域位置說明

本研究單元空間以北向為迎風面，會產生單側開口區與相鄰側開口區如圖 28 所示，後續將分別對這兩塊區域進行分析比較。

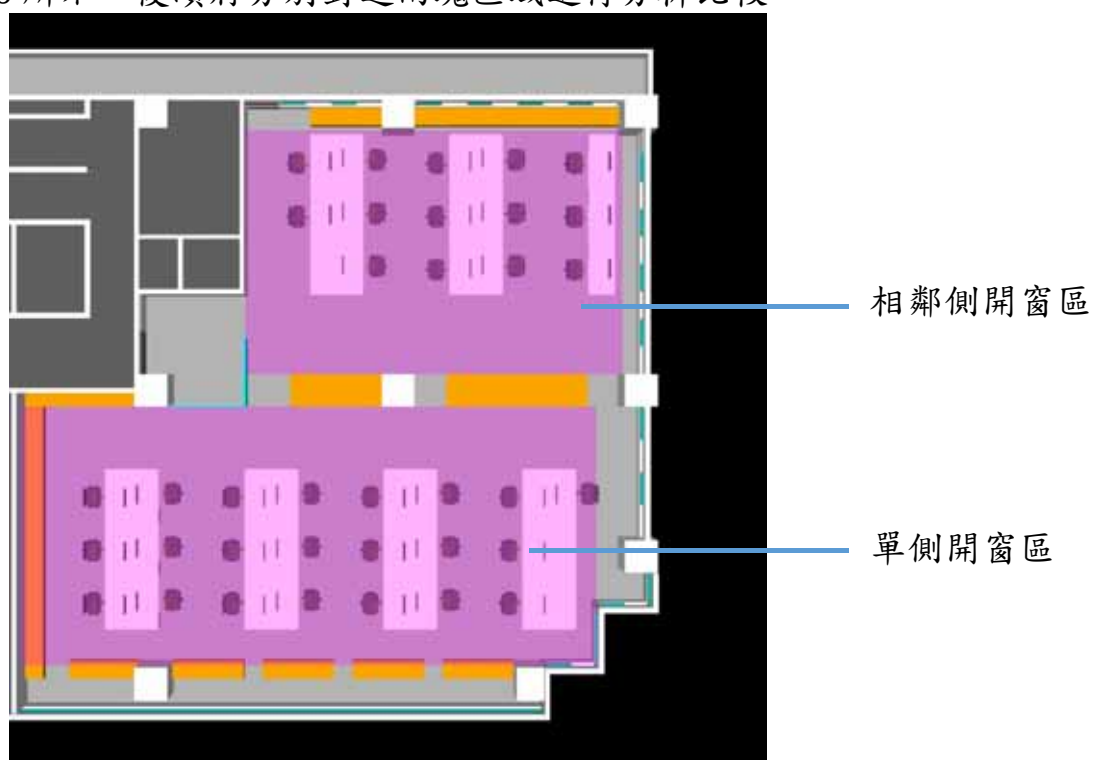


圖 28 分區位置圖

五、研究結果與分析

(一) 模擬數據結果

本小節節錄本研究探討案例之解析結果，將 CFD 數值解析結果轉換為本研究擬定之評估方式，利用氣流場分布狀態、平均溫度、換氣率、PMV-PPD 指標等進行分析。表 19 為各組模擬代號及模擬數據結果。

表 20 各組模擬之 CFD 數值解析結果

模擬代號	通風量(m ³ /s)		溫度(°C)		PMV		PPD(%)	
	活動區域平均通風量		活動區域平均風速		活動區域平均 PMV		活動區域平均 PPD	
	相鄰側開窗區	單側開窗區	相鄰側開窗區	單側開窗區	相鄰側開窗區	單側開窗區	相鄰側開窗區	單側開窗區
A-a-0	0.72	1.99	31	30	1.7	1.7	61.7	58.7
A-a-1.5	3.49	1.24	27.8	28	0.91	1.09	23.5	31.8
A-b-1.5	3.37	1.05	28.1	28.1	0.94	1.13	24.5	33.7
A-c-1.5	3.06	1.61	28.1	28.1	0.95	1.15	24.9	34.1
B-a-1.5	3.64	2.88	27.9	28.1	0.97	1.12	25.9	33.3
B-a-1.5	3.65	2.53	27.8	27.9	0.93	1.1	31.8	39.1
B-b-1.5	2.62	2.23	27.7	27.8	1.1	1.25	26.4	34
C-a-1.5	2.87	1.71	27.8	27.8	0.95	1.05	25.1	30
C-b-1.5	2.65	1.53	27.6	27.8	0.95	1.06	25.1	30.1
C-c-1.5	2.67	2.14	28.1	28.1	0.99	1.15	26.5	33.9
A-a-3	6.84	2.49	27.4	27.4	0.69	0.82	16.5	21.4
A-b-3	6.44	2.57	27.5	27.5	0.7	0.84	16.7	22.6
A-c-3	6.27	2.32	27.6	27.5	0.73	0.85	17.9	22.7
B-a-3	6.84	3.49	27.4	27.7	0.74	0.88	18.7	24.4
B-b-3	7.4	2.52	27.7	27.5	0.79	0.86	20.8	23.6
B-c-3	5.21	1.61	28	28.1	0.9	1.05	24	31
C-a-3	5.57	2.15	27.4	27.3	0.78	0.8	19.1	20.8
C-b-3	4.42	1.98	27.3	27.4	0.8	0.82	19.7	21.5
C-c-3	4.87	1.72	27.4	27.5	0.77	0.88	19.1	23.5

小結

一、熱舒適環境

外界風速為 1.5m/s 情況下，相鄰側開窗區溫度變化範圍在 27.6°C~28.1°C 之間；單側開窗區則範圍為 27.8°C~28.1°C。PMV 數值在相鄰側開窗區變化範圍在 0.91~1.1；單側開窗區則範圍為 1.05~1.25。

外界風速為 3m/s 情況下，相鄰側開窗區溫度變化範圍在 27.3°C~28.0°C 之間；單側開窗區則範圍為 27.3°C~28.1°C。PMV 數值在相鄰側開窗區變化範圍在 0.69~0.9；單側開窗區則範圍為 0.8~1.05。

二、室內風場環境

外界風速為 1.5m/s 情況下，相鄰側開窗區通風量變化範圍在 2.62m³/s~3.65m³/s 之間；單側開窗區則範圍為 1.05m³/s~2.88m³/s。LMA 數值在相鄰側開窗區變化範圍在 51.73 秒~93.44 秒；單側開窗區則範圍為 62.96 秒~81.89 秒。

外界風速為 3m/s 情況下，相鄰側開窗區通風量變化範圍在 4.42m³/s~7.4m³/s 之間；單側開窗區則範圍為 1.61m³/s~3.49m³/s。LMA 數值在相鄰側開窗區變化範圍在 26.97 秒~54.59 秒；單側開窗區則範圍為 35.25 秒~56.54 秒。

六、結論與建議

本研究以探討臺中辦公空間自然通風之可能性為初衷，提出適合辦公空間使用自然通風之開口方式。利用 CFD 數值模擬解析方式，模擬辦公空間之溫度場及氣流場，觀察室內溫度分佈、室內氣流等變化。利用模擬所得之數據資料，以熱舒適度評估指標及通風換氣評估指標評估，探討各種變因對室內通風效益之影響效果。

針對本研究探討內容可得以下結論：

(一)水平開口位置對自然通風效果的影響

1. 熱舒適環境

由 A-a-1.5、B-a-1.5、C-a-1.5 及 A-a-3、B-a-3、C-a-3 兩組 PMV 指標分析可發現垂直開口位置 A 在相鄰側開窗區 PMV 數值最低 A-a-1.5(0.91)、A-a-3 (0.69)，開口方式 C 在單側開窗區 PMV 數值最低 C-a-1.5 (1.05)、C-a-3(0.8)；但以 ISO 7730 對 PMV 的推薦值為 PMV 值在 $-0.5\sim+0.5$ 之間為標準，可發現三種開口形式皆無法達到舒適度範圍。對照圖 70~73 可發現造成此一現象有以下幾項原因，(一)東側為玻璃帷幕無開窗，由於太陽輻射造成此區數值偏高(二)本案平面深度較長，造成離開口位置較遠之區域 PMV 指標數值較高。

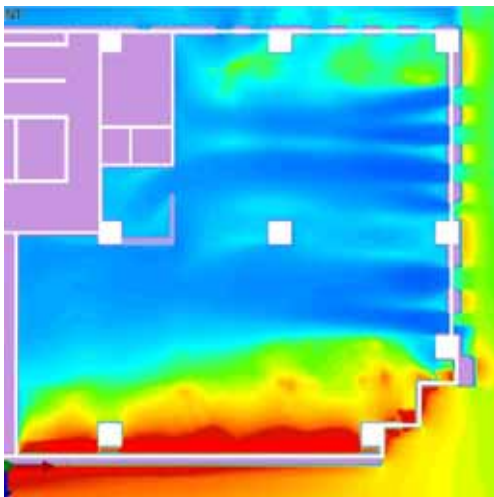


圖 70 A-a-1.5 PMV

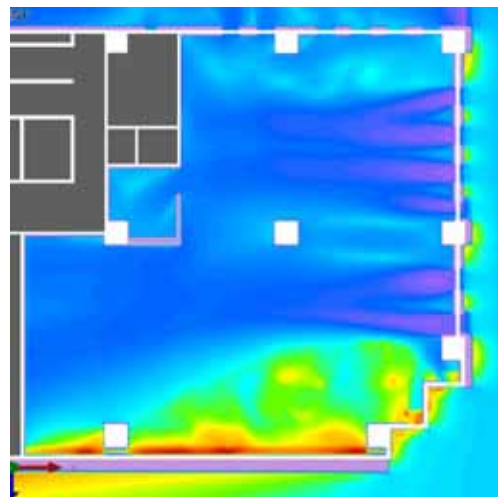


圖 71 A-a-3 PMV

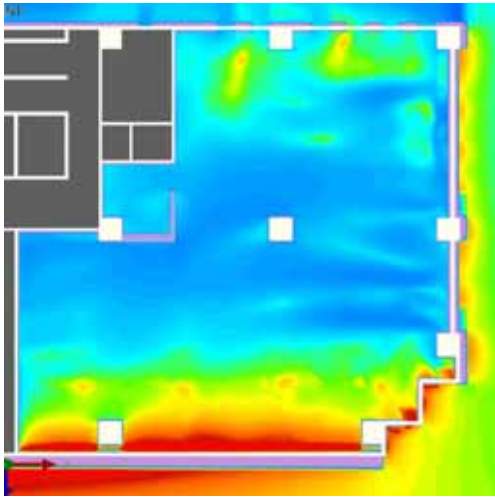


圖 72 C-a-1.5 PMV

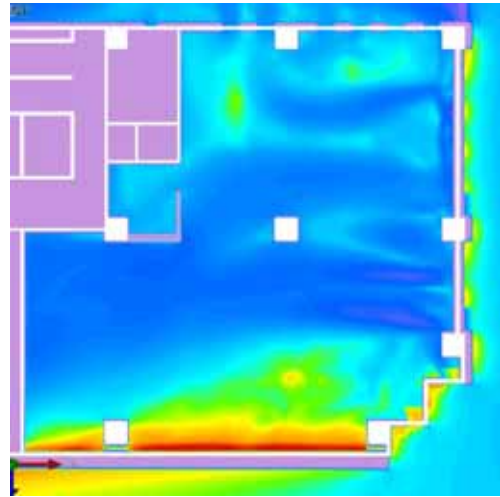


圖 73 C-a-3 PMV

2. 室內風場環境

外界風速為 1.5m/s 時，由 A-a-1.5、B-a-1.5、C-a-1.5 之 LMA 指標分析可發現，開口方式 C 在相鄰側開窗區及單側開窗區空氣齡最短，C-a-1.5 各為 51.73 秒與 62.96 秒，對照圖 74、圖 75 可發現 C-a-1.5 僅有在距離開口位置較遠處產生一些小渦旋，故其 LMA 值最低。以通風量檢驗 A、B、C 三種垂直開口位置，B 之通風量在外界風速為 1.5m/s 與 3m/s 均最佳。

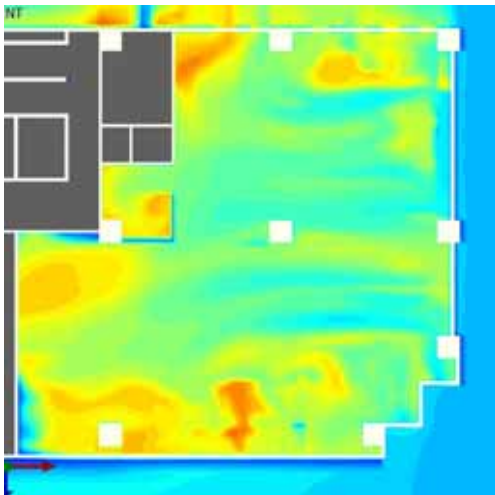


圖 74 C-a-1.5 LMA

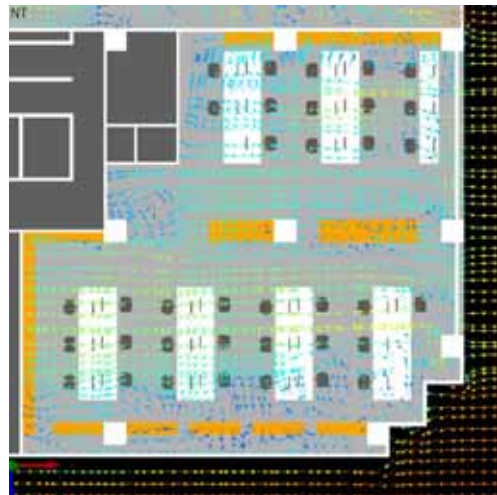


圖 75 C-a-1.5 風速向量

(二)垂直開口位置對自然通風效果的影響

1. 熱舒適環境

垂直開口位置 A，水平位置變化之組合 A-a-1.5、A-b-1.5、A-c-1.5 之 PMV 數值，相鄰側開窗區與單側開窗區均以原型 A-a-1.5 數值最佳，分別為 0.91、1.09。

垂直開口位置 B，水平位置變化之組合 B-a-1.5、B-b-1.5、B-c-1.5 之 PMV 數值，相鄰側開窗區與單側開窗區均以 B-b-1.5 數值最佳，分別為 0.93、1.1。

垂直開口位置 C，水平位置變化之組合 C-a-1.5、C-b-1.5、C-c-1.5 之 PMV 數值，相鄰側開窗 C-a-1.5、C-b-1.5 數值相同為 0.95，單側開窗區 C-a-1.5、C-b-1.5 分別為 1.05、1.06，C-c-1.5 數值均為最高。

2. 室內風場環境

垂直開口位置 A，水平位置變化之組合 A-a-1.5、A-b-1.5、A-c-1.5 之 LMA 數值，A-a-1.5 數值最佳。通風量 A-a-1.5 相鄰側開窗區最佳 ($3.49\text{m}^3/\text{s}$)，單側開窗區 A-c-1.5 最佳 ($1.61\text{m}^3/\text{s}$)

垂直開口位置 B，水平位置變化之組合 B-a-1.5、B-b-1.5、B-c-1.5 之 LMA 數值，B-b-1.5 數值最佳。通風量 B-a-1.5 相鄰側與單側開窗區均最佳為 ($3.64\text{m}^3/\text{s}$)、($2.88\text{m}^3/\text{s}$)。

垂直開口位置 C，水平位置變化之組合 C-a-1.5、C-b-1.5、C-c-1.5 之 LMA 數值，C-a-1.5 數值最佳。通風量 C-a-1.5 相鄰側開窗區最佳 ($2.87\text{m}^3/\text{s}$)，單側開窗區 C-c-1.5 最佳 ($2.14\text{m}^3/\text{s}$)。

(三)綜合結論

以 PMV 為主要評估依據，可得知案例 A-a，水平位置自柱外緣退縮 20cm 與垂直位置貼齊樑下之開窗組合方式最佳；案例 B-c，水平位置貼齊住外緣與垂直位置貼齊樓板熱舒適環境最差。

以 LMA 為主要評估依據，可得案例 B-b，水平位置貼齊柱外緣與垂直位置貼齊樓板之開窗組合方式最佳，較無空氣滯留之情形；案例 B-c，水平位置貼齊住外緣與垂直位置貼齊樓板，空氣滯留之情形最明顯。

以通風量為主要評估依據，可得案例 B-a，水平位置貼自柱外緣退縮

20cm 與垂直位置貼齊樓板之開窗組合方式最佳，換氣量最大。

建議

(一)園道大廈東側帷幕牆應設法開窗，可改善下列問題

1. 太陽輻射熱所造成的 PMV 值飆高
2. 減少空氣流動產生渦旋之情形
3. 增加室內通風量

(二)無隔間牆及大型傢俱阻礙之辦公空間內，單側開窗區室間深度在 17 公尺以內都具有採用自然通風的潛力。

後續研究建議

(一)探討混合通風之可能性

根據本研究結果可發現自然通風有其侷限性，後續研究可以納入機械通風研究，改善自然通風無法改善之區域，探討混合通風對辦公室整體通風效益之影響。

(二)探討其他機能空間置入之通風情形

本研究因案例資料的取得有所限制，僅能自行假設室內配置情形，並以基本配置方式模擬，後續研究若能模擬涵蓋不同空間機能之完整辦公室，則可以探討適合不同機能的開口位置。

七、參考文獻

(一)中文文獻

- 中央氣象局全球資訊網，<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
- 吳印浴，「混合通風系統對室內通風效益影響之研究--以雙層屋頂搭配排風扇之教室單元為例」，2007
- 李彥頤，「辦公空間室內品質管制策略之研究」，2004
- 村上周三 著 朱清宇等 譯，CFD 與建築環境設計，中國建築工業出版社，2007
- 亞熱帶的綠建築挑戰，內政部建築研究所，1978
- 周伯丞，「建築軀殼開口部自然通風效果之研究」，2000
- 林憲德，人居熱環境，詹氏書局，2009
- 林憲德，亞洲建築的綠色觀點，詹氏書局，2011
- 林憲德，建築節約能源設計技術規範與實例，營建雜誌社，2005
- 林憲德，綠色魔法學校，新自然主義股份有限公司，2010
- 林憲德，熱濕氣候的綠色建築，詹氏書局，2003
- 邱建智，不同空調通風條件對於室內空間流場之 CFD 模擬，2010
- 涂玉峰，「室內空氣環境綜合評估指標之探討」，1999
- 乾正雄，照明と視環境，理工圖書，1978
- 陳念祖，高架地板置換式自然通風之數值模擬，2001
- 陳海曙，全球熱濕氣候自然通風率建築，詹氏書局，2009
- 陳瑞鈴、朱佳仁，集合式住宅對建築物自然通風的影響，2012
- 綠領建築師教你設計好房子，綠領建築師培訓工作坊，野人文化股份有限公司，2013
- 鄭正雄，辦公環境史初探，2012
- 賴榮平，「台灣地區建築通風問題之檢討」，建築師雜誌，1980
- 謝志昌，「混合通風系統對辦公空間通風效益影響之研究-以水平導風板搭配 排風扇為例」，2008

(二)外文文獻

- 日本空調冷凍學會，<http://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/66.html>
- CIBSE Technical Publications Committee, "Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings", CIBSE Applications Manual AM10:1997