

科技部補助

大專學生研究計畫研究成果報告

* *****
* 計 畫
* : 便利商店室內空氣品質評估暨改善策略之研擬
* 名 稱
* *****

執行計畫學生： 郭美燕
學生計畫編號： MOST 105-2815-C-040-003-E
研究期間： 105年07月01日至106年02月28日止，計8個月
指導教授： 張士昱

處理方式： 本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

執行單位： 中山醫學大學公共衛生學系（所）

中華民國 106年03月31日

摘要

在節省能源的前提下，許多室內環境採取封閉式的建築形式，並藉由溫度、風速與相對溼度等因素設計符合人體舒適度的環境。然而，人體舒適度好的室內環境並不同於室內空氣品質佳的室內環境，通風換氣效率設計不良則往往致使建築物能源消耗與室內空氣品質欠佳，進而引發一系列人體不適症狀，甚至影響人體健康。近年來全球便利商店與日俱增，除了各式商品的販售外，幾乎任何大小事項皆可在便利商店完成，隨著民眾日益頻繁的進出及佇足，此一室內空氣污染物對於民眾健康的危害影響亦逐漸增高。因此，如何評估便利商店的室內空氣品質、人體舒適度與能源耗損，進而研擬最佳改善策略，是一項重要的議題。

本研究針對便利商店的室內環境，以二氧化碳檢測結果評估室內空氣品質，量測溫度與風速等因子以評估人體舒適度，經由空調熱負荷估算公式調查室內場所能源使用情形，並探討二氧化碳濃度分佈、室內氣流分佈、人體舒適度與能源耗損之間相關性。之後，利用 CFD 技術建立室內氣流場的模式，分別模擬在符合人體舒適度與室內空氣品質的情況下，如何藉由改變室內通風換氣及空調熱負荷參數減少能源的耗損，建立兼顧人體舒適健康與節省能源的便利商店通風換氣規範。

研究結果顯示二氧化碳濃度與室內人員數有關，平日濃度高於假日，而中午人潮最多時達到最高，其濃度空間分佈趨勢與室內氣流分佈亦大致相同，室內低風速區域較容易出現二氧化碳濃度累積趨勢。而人體舒適度問卷調查結果顯示絕大多數人對溫度感覺為適中，模式分析結果則評估大多數檢測點為微暖狀態，判斷軟體模擬較為嚴謹而人們實際接受度較高，能源評估部分亦透過校正參數係數及持續驗證確認一評估公式。經過改善策略之研擬，建議以改變送風角度為 30 度並結合增加及改變回風口位置或使用機械換氣為考量，其中機械換氣最能改善室內氣流分佈狀況，但需根據室內空氣品質、人體舒適度及能源使用情形之需求做整體換氣量及室內溫度之調整。整體換氣量上升可使二氧化碳濃度降低，若維持室內二氧化碳於一定濃度下，隨著室內溫度的上升則能源負擔越低，建議場所整體換氣量至少應提升至 $35.17 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ ，而室內溫度控制於 27 至 28 度，不但可節省能源使用量亦能使室內二氧化碳平均濃度降至法規標準值，兼顧良好室內空氣品質及人體舒適度。

關鍵詞:二氧化碳、預測平均回答指標、預測不滿意百分比、計算流體力學、冷凍空調熱負荷

目錄

摘要.....	1
關鍵詞.....	1
目錄.....	2
圖目錄.....	4
表目錄.....	5
第一章 前言.....	6
1.1 研究緣起.....	6
1.2 研究目的.....	6
第二章 文獻探討.....	7
2.1 室內空氣品質.....	7
2.1.1 室內空氣品質的重要性.....	7
2.1.2 室內空氣污染源及可能傳輸途徑.....	8
2.2 人體舒適度.....	8
2.2.1 人體舒適度指數.....	8
2.2.2 國際人體舒適度指標與規範.....	8
2.3 能源評估.....	8
2.3.1 耗能多寡與室內空氣品質的關係.....	8
2.3.2 能耗評估方法.....	9
2.3.3 節能辦法.....	9
2.4 室內氣流場分佈模擬應用.....	9
2.4.1 探討室內氣流分佈的方法.....	9
2.4.2 各場所室內氣流分佈狀況及其影響因素.....	10
2.5 室內空氣品質改善.....	10
第三章 研究方法.....	12
3.1 研究架構.....	12
3.2 材料與方法.....	13
3.2.1 檢測場所及使用工具.....	13
3.2.2 實驗及評估方法.....	15
3.2.2.1 室內空氣品質量測.....	15
3.2.2.2 人體舒適度評估.....	15
3.2.2.3 空調熱負荷估算.....	16
第四章 結果與討論.....	18
4.1 室內人員數調查結果.....	18
4.2 室內溫度、風速及相對濕度.....	20
4.3 二氧化碳.....	22
4.3.1 時間趨勢分析.....	22

4.3.2 空間分佈分析.....	26
4.4 人體舒適度.....	30
4.4.1 問卷調查結果.....	30
4.4.2 模式分析結果.....	33
4.5 室內氣流分佈分析.....	35
4.6 能源評估公式校正確認.....	39
4.7 評估探討.....	44
4.7.1 室內氣流分佈與二氧化碳濃度空間分佈比較探討.....	44
4.7.2 人體舒適度模式值與實際調查值比較探討.....	44
4.7.3 綜合評估.....	45
4.8 改善策略.....	46
4.8.1 室內氣流分佈.....	46
4.8.2 能源使用及人體舒適度.....	50
4.9 最佳化通風規範.....	52
4.10 研究限制.....	55
第五章 結論與建議.....	56
5.1 結論.....	56
5.2 建議.....	57
參考文獻.....	58
附錄.....	61

圖目錄

圖 1. TE-702D 二氧化碳檢測儀.....	13
圖 2. TES-1341 熱線式風速計.....	13
圖 3. 人體舒適度調查問卷.....	13
圖 4. 人體舒適度評估軟體介面及所需參數.....	14
圖 5. 研究場所空間模型圖.....	14
圖 6. 各檢測點分佈圖(室內:A~G, 室外:H)	14
圖 7. 兩次檢測期間各時段人數變化圖.....	19
圖 8. 第一次檢測(12/1~12/3)各時段二氧化碳濃度時間趨勢圖.....	23
圖 9. 第二次檢測(12/6~12/7)各時段二氧化碳濃度時間趨勢圖.....	24
圖 10. 第二次檢測(12/8~12/10)各時段二氧化碳濃度時間趨勢圖.....	25
圖 11. 第一次檢測(12/1~12/3)二氧化碳濃度空間分佈圖.....	27
圖 12. 第二次檢測(12/6~12/7)二氧化碳濃度空間分佈圖.....	28
圖 13. 第二次檢測(12/8~12/10)二氧化碳濃度空間分佈圖.....	29
圖 14. 第一次檢測(12/1~12/3)室內氣流分佈圖.....	36
圖 15. 第二次檢測(12/6~12/7)室內氣流分佈圖.....	37
圖 16. 第二次檢測(12/8~12/10)室內氣流分佈圖.....	38
圖 17. 原 12 月 1 日室內氣流分佈圖.....	47
圖 18. 改變送風角度示意圖及其室內氣流分佈圖.....	47
圖 19. 增加及改變回風口位置示意圖及其室內氣流分佈圖.....	48
圖 20. 改變送風角度並增加及改變回風口位置室內氣流分佈圖.....	48
圖 21. 機械換氣(垂直供氣)示意圖及其室內氣流分佈圖.....	49
圖 22. 機械換氣(水平供氣)示意圖及其室內氣流分佈圖.....	49
圖 23. 整體換氣量、室內溫度、室內二氧化碳濃度及能源使用情形關係圖...	53
圖 24. 室內二氧化碳濃度與夏季一個月電費成長關係圖.....	54

表目錄

表 1. 第一次檢測環境物理因子數據.....	21
表 2. 第二次檢測環境物理因子數據.....	21
表 3. 場所使用狀況調查結果.....	31
表 4. 受訪者狀態調查結果.....	31
表 5. 受測者對物理環境因子感受程度及環境滿意度調查結果.....	32
表 6. 第一次檢測(12/1~12/3)整體舒適度 PMV 值及 PPD 值結果.....	34
表 7. 第二次檢測(12/6~12/10)整體舒適度 PMV 值及 PPD 值結果.....	34
表 8. 房屋建材面積與結構熱負荷 Q_1	40
表 9. 人數加權係數.....	40
表 10. 人數(加權後)與人員活動熱量 Q_2	40
表 11. 電器使用狀態與電器熱負荷 Q_3	41
表 12. 換氣量計算參數與換氣量熱負荷 Q_4	42
表 13. 空調總熱負荷及評估度數與實際度數相關性.....	43
表 14. 模擬夏季不同室內溫度下之場所用電度數.....	51
表 15. 模擬夏季不同室內溫度下之人體舒適度.....	51
表 16. 模擬不同換氣量及室內溫度下室內二氧化碳濃度及場所能源使用情形..	53
表 17. 室內二氧化碳濃度與夏季一個月電費成長表.....	54

第一章 前言

1.1 研究緣起

台灣在 2011 年立法通過室內空氣品質管理法，分別於 2014 年及 2017 年公告第一批及第二批此法列管場所，並分別於 2014 年 7 月及 2017 年 1 月正式實施，因此台灣室內空氣品質的檢測及改善方法越顯其重要性及需求性。伴隨室內空氣品質的明文立法，各場所室內空氣品質相較以往也有顯著改善，但隨著提升室內通風換氣效率，有時卻造成能源上不必要的浪費，因此如何在良好室內空氣品質及適當能源消耗上取得一平衡也勢必需被探討。

隨著便利商店的普及，大眾進出便利商店的情形越是稀鬆平常，此情景不僅在台灣發生，全世界皆如此。而進入便利商店，購物花個幾分鐘，也許暴露於高濃度室內空氣污染物的時間不算太長，但隨著休息區日益增多，我們佇足在便利商店的時間也隨之增加，亦或吃飯亦或閒聊，常常一待就是半小時到一小時，更不用說便利商店對我們的便利性使我們頻繁進出的次數了。如此一來，是否有人想過便利商店室內空氣品質對我們的重要性呢？基於便利商店與我們生活日益密切，卻未列於 2014 年及 2017 年室內空氣品質管理法公告的場所內，本研究針對便利商店的室內環境特徵與人為活動型態進行其室內空氣品質及人體舒適度的調查分析，並搭配能源使用情形做一整合性效能評估及進行改善方法的模擬，以期增進全民健康。

1.2 研究目的

- (1) 檢測便利商店中室內空氣品質、人體舒適度、室內氣流分佈及其能源使用情形。
- (2) 室內氣流分佈與二氧化碳濃度空間分佈差異性探討。
- (3) 人體舒適度模式值與實際調查值差異性探討。
- (4) 模擬便利商店不同通風方式及調整空調熱負荷公式參數，建立一可兼顧室內空氣品質與人體舒適度、並能節省能源耗損量的通風模式。

第二章 文獻探討

2.1 室內空氣品質

2.1.1 室內空氣品質的重要性

隨著社會科技多元化的發展與生活型態的改變，行政院環境保護署指出國人每人每天約有 80~90 % 的時間處於室內環境中(包括在住家、辦公室或其他建築物內)，室內空氣品質的良窳，直接影響工作品質及效率，因此室內空氣污染物對人體健康影響應當受到重視。為因應人們日趨複雜及不同需求的居住建築環境，其中如空調系統類別、各種裝潢材料與化學物品之使用以及各種室內活動型態等多項因素，更造成許多新的室內空氣污染源，致使室內空氣品質惡化。

另外，室外的污染物也有可能是影響室內空氣品質的因素，包括戶外汽機車、工廠排放的廢氣，或是因中央空調冷氣系統的外氣進氣口或濾網未定期清理而孳生的微生物等。台灣地處亞熱帶，屬於長年潮濕高溫的氣候型態，黴菌及細菌尤其容易孳生，因此必須更注意空調通風系統的定期維護。

根據美國冷凍空調學會(ASHRAE)對室內空氣品質的定義，可接受的室內空氣品質為室內場所 80 % 以上人員並無表現不適且已知污染物質並無達到可危害人體健康的濃度 (ASHRAE-62)。而台灣為改善室內空氣品質並維護人民擁有健康的權利，於民國 100 年 11 月 8 日通過「室內空氣品質管理法」並於民國 101 年 11 月 23 日公告實施。其主要內容包括管理、檢測室內場所、訂立室內空氣品質標準及罰則等事項，而第一批公告室內場所有十類，分別為大專院校、圖書館、醫療機構、社會福利機構、政府機關辦公場所、鐵路運輸業車站、民用航空運輸業航空站、大眾捷運系統運輸業車站、展覽室及商場；第二批公告室內場所有十六類，分別為大專校院、圖書館、醫療機構、社會福利機構、政府機關辦公場所、鐵路車站、航空站、大眾捷運系統車站、展覽室、商場(百貨公司、量販店業)、博物館及美術館、金融機構營業場所、表演廳、電影院、視聽歌唱業場所、運動健身場所(行政院 環境保護署)。

環保署目前規範主要室內空氣污染物質有甲醛、TVOCs、二氧化碳、一氧化碳、細菌、真菌、PM₁₀、PM_{2.5} 及臭氧九種。其危害中最常被討論的議題之一為病態建築症候群(Sick Building Syndrome)，其為一常見、輕微而不具特定病因的症候群，常伴隨皮膚過敏、呼吸道症狀及注意力不集中(神經毒症狀)等等發生(社團法人台灣病態建築診斷協會，2013)。經 WHO 在 2000 年的研究中顯示，全球有 2.7 % 的死亡人數是與室內空氣污染有關的，因此如何評估及改善室內空氣品質也越趨被重視及探討。而二氧化碳為一良好室內空氣品質指標，因其濃度可直接反應出室內人員多寡且其造成的不良氣味也可反應出室內人員活動程度(Berg- Munch et al., 1986; Cain et al., 1983)。一般室外二氧化碳濃度介於 350~450 ppm，而室內空氣品質的標準值為 1000 ppm，若超過 1000 ppm，室內場所人員便會產生不適感(龔聖祐等人，2010)。

2.1.2 室內空氣污染源及可能傳輸途徑

影響便利商店室內空氣品質的原因眾多，包括室內人員活動、熱食區、影印機、儲藏室、室外污染源進入空調設備等等均為可能污染源，久未清潔或整修翻新時亦會造成污染。而其中室外可能傳輸途徑為由冷凍空調風管進入或牆壁及地板滲入整間建築物內，此時場所換氣問題便顯重要，氣流混合擴散不佳、冷凍空調過濾問題或供氣量不足時均可能造成室內污染物濃度累積(美國環保署 I-BEAM)。

2.2 人體舒適度

2.2.1 人體舒適度指數

研究指出影響人體舒適度的氣象因素，首先為氣溫，其次為濕度，再其次為風向風速等，除此之外亦受個人因素影響，包括人體活動程度及衣著熱阻(Dear et al., 2002)。而每人能感受反映氣溫、濕度、風速等綜合作用的生物氣象指標各不相同，人體舒適度指數建立在氣象預報基礎上，較好反映多數人群的身體感受綜合氣象指標或參數，其中人體舒適度指數預報一般分為10個等級對外發佈。

2.2.2 國際人體舒適度指標與規範

目前國際上以整體人體舒適度(General thermal comfort)及局部人體舒適度(Local thermal comfort)為基礎來訂定評估人體舒適度的規範及標準(Olesen, 2004; 李彥頤, 2004)。其中整體人體舒適度以預測平均回答指標(Predicted Mean Vote, PMV)及預測不滿意百分比指標(Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD)為指標做評估(ASHRAE Standard 55, 2004; ISO 7730, 2005)(詳細說明於4.2.2 實驗及評估方法中的人體舒適度部分)。而國際上對於人體舒適度的規範如下：PMV值規範在 ± 0.5 之間；PPD值必須小於10%，但若室內場所為非穩定態熱環境，PPD值可小於20% (ASHRAE 1997 HVAC Fundamentals Handbook)。

(ISO 7730, 2005; CR1752, 1998; ASHRAE Standard 55, 2004)

2.3 能源評估

2.3.1 耗能多寡與室內空氣品質的關係

通風為一項改善室內空氣品質的方法。越好的通風環境，室內空氣品質將越好；但相對的，所耗用的能源也會越多，尤其是對夏天相對濕度較高的亞洲城市而言更是如此。一般典型辦公大樓所消耗的能源中就有30%、甚至更高的比例是使用於室內通風系統中，過多的能源耗損伴隨著全球經濟成長與發展，為地球帶來像是全球暖化、空氣污染與酸雨等等嚴重的環境問題，進而危害人體健康，但若為省能而過度降低能源使用量卻常常導致室內空氣品質欠佳，進而引發一系列人體不適症狀(Yoshino et al., 2006; Chao et al., 2004)。

在瑞典一針對獨棟別墅室內環境的研究中，以不同通風速率去觀察其室內空氣品質及能源使用情形。研究結果顯示當通風速率為實驗設定最大的 $0.7 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 時，其室內空氣品質會最良好但消耗能源卻最多並造成不必要浪費；而當通風速率分別降為 0.35 、 0.2 、 $0.1 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 時，室內二氧化碳濃度雖會從490 ppm隨之提

升至648、869甚至1231 ppm，超出可接受室內空氣品質範圍，但通風速率分別在0.2及0.1 L s⁻¹ m⁻²時，相較於0.35 L s⁻¹ m⁻²時可節省43 %及71 %的能耗量。因此如何在室內空氣品質與能源使用上達成一平衡也勢必是目前及未來建築物通風系統設計上一重大考量(Hesaraki et al., 2015)。

2.3.2 能耗評估方法

隨著經濟的繁榮，住商大樓林立使空調系統與人們生活更是息息相關，而空調熱負荷的計算更是空調系統及場所能耗的重要依據，運用空調熱負荷計算場所能耗或模擬不同建築參數以利設計者參考的研究亦不少。例如透過計算廠房空間所需之空調熱負荷與通風量可判斷吸收式空調所需之製冷能力，並透過流場模擬軟體，進行廠房之熱流場數值模擬分析，探討其溫度場與速度場之分佈狀況(蔡益城，2014)，以及加入台灣典型建築外牆及屋頂結構之PRF(週期反映係數)與RTSF(輻射時間係數)，並結合RTS(輻射時間序列法)空調負荷計算程式，計算基準建築模型與不同建築結構因子變化的冷房負荷，藉此比較出不同建築結構因子所產生的負荷等研究(劉鎔錚及蔡尤溪，2011)，均說明空調熱負荷公式對場所能耗評估的重要性及實用性。

2.3.3 節能辦法

一室內場所用電度數與其室內空調溫度限值有關，而溫度限值為考量人體舒適度範圍及室內被動通風設計而定(Hesaraki et al., 2015)。被動通風設計又包括大樓座向、窗戶設計及位置、隔熱建築材料(各式隔熱板材、屋頂塗料、隔熱窗戶…)等等，其皆與建築物省能成效有關(零碳天地體驗，2012)。

便利商店因24小時營業且含許多密集多樣化設備，總耗能量相當高。根據經濟部能源會2000年的台灣能源統計年報顯示，便利商店於商業部門總電力消耗的187億度電中就占約9%(經濟部能源委員會，便利商店節能技術手冊)。而經濟部能源局統計全台用電量指出民國100年於11類服務業的總耗電量中，空調用電量就佔了高達41%，因而大力提倡節電節源政策，並考量整體氣候因素與室內人體舒適度，規定11類公眾場所指定能源用戶室內空調溫度不得低於攝氏26度。若此溫度限值政策確實落實，節能成效預估可明顯反應在用電度數上，每年可節省2158萬度電，而室內溫度每調高1度，便可節省空調用電6%(經濟部能源局，節能減碳-生活篇，2013)。

而除了控制溫度外，也能透過控制室內通風速率來節能。當通風速率高時，空氣品質相對較佳，但耗能相對也較高。如何透過公式計算、在省能的情況下，兼顧良好室內空氣品質並符合人體舒適度規範值便成一重要課題。

2.4 室內氣流場分佈模擬應用

一良好室內氣流可達到良好室內空氣品質，也較能符合人體舒適度，並降低病態建築症候群發生機率，保障室內場所人員的健康及其工作效能(台灣環訓所10205期室內空氣品質維護管理專責人員訓練教材；Chung et al., 2001; Cheong et al., 2001; Derek, 2008; Lin et al., 2011; Rosbach et al., 2013)。

2.4.1 探討室內氣流分佈的方法

為得知一建築物通風狀態及大致上氣流分佈的狀況，可建立一通風模型 Contam(室內及所有管道溫度均設為18度)。起初，可先就模型的建築物參數進行探討，之後對各通風系統成效評估的參數做一概觀性論述，最後再綜合上述兩者，選擇一最佳需求控制型的通風策略、建立一通風模型進行氣流模擬(Laverge et al., 2011)。

另外，也可利用可計算流體力學的CFD商業模擬軟體SolidWorks或PHOENICS等進行分析探討。首先，建立一室內場所的模型，接著輸入實際測量到的物理參數，例如：溫度、風速、濕度、風量大小等等，最後就可經軟體中的分析計算程式算出空間氣流分佈的狀況及各項參數模擬的數據。其受較多研究學者使用，因其容易且方便、只需電腦操作而無需另外實際建構模型的優點較為研究學者所接受。而其應用場所也極為廣泛，大到居家住宅或學校，小至冷藏櫃或啤酒瓶皆可使用(Yang et al., 2014; Song et al., 2015; Wang et al., 2015; Bhuvanewari et al., 2014)。

2.4.2 各場所室內氣流分佈狀況及其影響因素

一般便利商店常見室內氣流分佈型態包括完全混合式及短路型氣流兩種，完全混合式為氣流進、出口的位置、型態及數量設置可使氣流在室內空間中均勻混合，達到無死域、均勻稀釋室內空氣污染物目的的一種通風設置型式；而短路型氣流會使進風口的氣流在未經室內循環的情況下直接由出風口流出，造成室內某些地區氣流短路、污染物易累積(李聯雄及黃福全，2012)。

除了上述兩種氣流分佈型態外，常見室內氣流分佈型態尚包括置換式通風及活塞式通風兩種，稀釋混和效果較好，亦較能避免產生氣流短路現象。其中活塞式通風為透過導流板設計產生平行氣流，對重要設備所在地而言，例如：高科技廠房、實驗室或電腦工作室等等，活塞式氣流往往是首選，因其氣流場型態會是四種中最佳的，但價格也最昂貴(李聯雄及黃福全，2012)。另外層式通風系統會於人體呼吸帶高度提供一穩定水平氣流，使室內空氣品質較佳，也較易符合人體舒適度的規範(李聯雄及黃福全，2012；Lin et al., 2011)。而影響室內氣流分佈因素眾多，包括有無開門窗、空調系統出風及回風口的數量、位置和型式等等、通風速率或風量大小、室內外溫差、內部擺設、熱源位置及強度等等均會影響室內氣流分佈的狀況。

2.5 室內空氣品質改善

若欲使室內污染物濃度降低，可搭配「污染來源控制」及「通風換氣移除」方式。有研究結果指出污染來源控制方面應積極利用低逸散建材取代高逸散建材，尤其建材表面塗料會直接逸散大量污染物，影響室內人員短期暴露及長期暴露危害風險，若其低逸散建材使用比例提高至 50 %以上將能有效控制室內污染物的產生。另外可搭配通風換氣移除方式，建築物通風系統裝設的目的便是為了移除室內空氣污染物，藉由引進新鮮空氣來稀釋室內空氣污染物來達到保護場所人員、降低危害風險的目的，因此若欲改善室內空氣品質，亦可靠建立或改善通風系統達成。藉由通風換氣每小時次數控制在 0.5-1.0 區間最能有效提升通風換氣

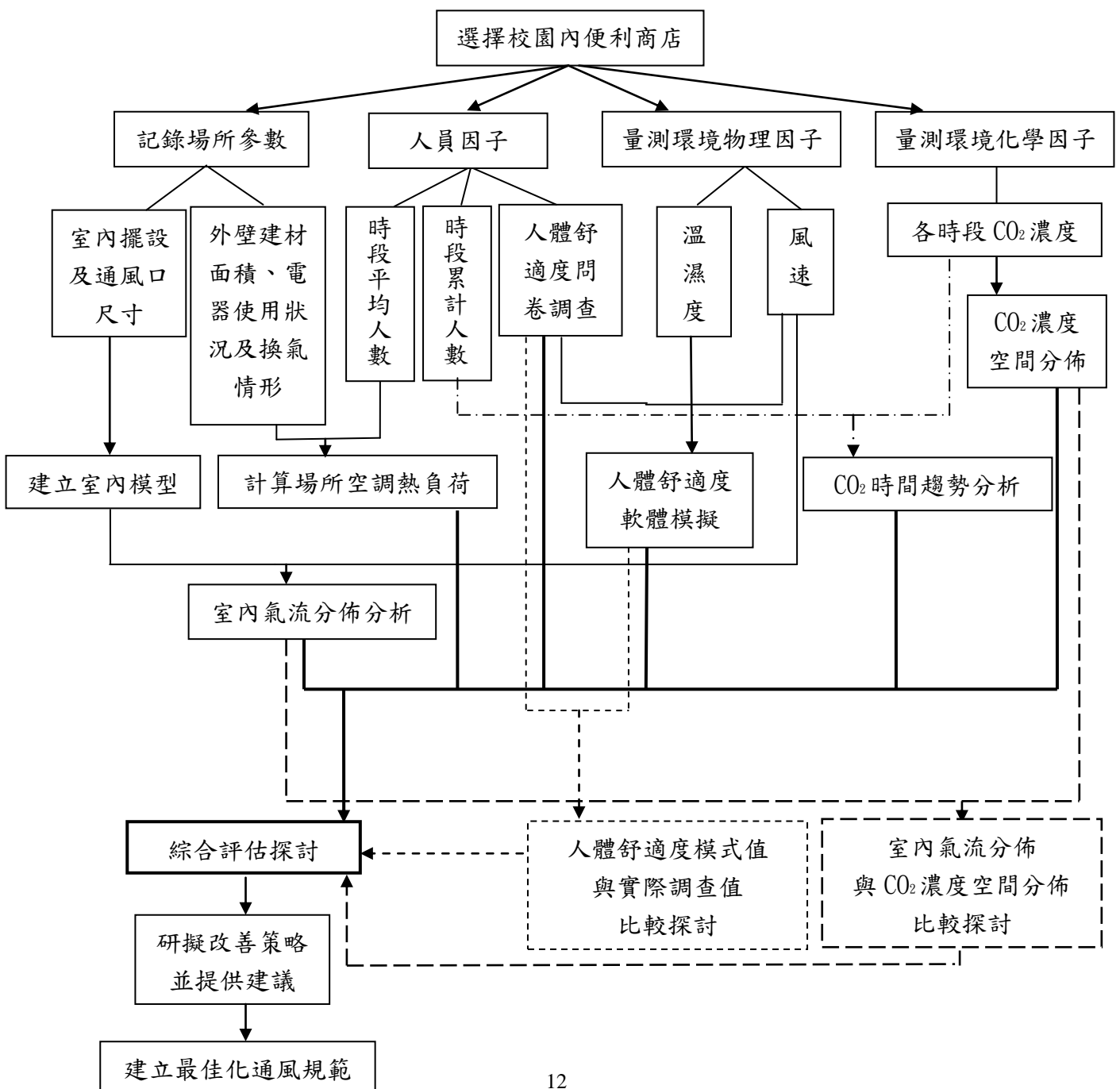
效率，尤其針對逸散性之一次及二次污染物質最能有效改善，兩種方式同時搭配可確保降低室內健康危害風險。除此之外，室內空氣品質改善亦可藉由開門窗、改變出風口送風角度、增加出風及回風口數目或改變出風及回風口位置等等來達成，其原理皆是透過改善室內氣流場分佈以改善室內空氣品質及人體舒適度(陳振誠，2012；鄭忠豪，2014)。

另外有學者針對芬蘭公寓建築進行改造前後通風換氣成效探討，在機械通風的建築物中，平均通風率(從排氣口)為 0.43 ACH，改造後為 0.48 ACH；平均 CO₂ 濃度在改造之前為 750 ppm，改造後為 715 ppm。居民對室內空氣品質的滿意百分比原本是 22 %之前，改造之後為 41 %，發現通氣率、二氧化碳濃度和居民對室內空氣品質的滿意度得到改善(Leivo et al., 2016)。但當通風速率越高、室內空氣品質越好時，建築物耗能將越大，因此改善室內空氣品質前，必先做好適當能源評估(Hesaraki et al., 2015)。而除風速外，室內溫度亦為影響人體舒適度及能源使用量因素，亦有研究指出考量人體舒適度計算中的風速及溫度兩個變數，其中以改變室內溫度影響較大(楊榮勛，2012)，因此本研究亦於改善部分模擬不同室內溫度下之室內空氣品質、人體舒適度及能源使用情形並做最佳化建議，如何透過空調熱負荷公式的計算找出兼顧能源使用量及室內空氣品質的平衡點將更顯重要。

第三章 研究方法

3.1 研究架構

本研究首先選擇校園內便利商店做為檢測地點，以室內二氧化碳濃度、通風速率、溫度、相對濕度、人員數等做為室內空氣品質、人體舒適度及能源使用量評估項目及指標並做一整合性探討；而後續運用模擬軟體 Solidworks 2013 及 Surfer 9 呈現結果，針對室內氣流分佈與二氧化碳濃度空間分佈的差異性做一比較探討，並模擬不同通風模式及不同空調熱負荷公式參數下之室內空氣品質、人體舒適度及能源使用情形，最終於整合探討後建立一良好便利商店通風換氣規範與其改善策略。



3.2 材料與方法

3.2.1 檢測場所及使用工具

挑選校園內便利商店做為檢測場所，記錄其室內場所基本資料，包括樓地板面積、外壁建材及其面積、室內擺設狀況及使用通風設備狀況等，並透過 CFD 流場模擬軟體建構一後續室內氣流場模型。

在檢測儀器部分，使用二氧化碳檢測儀(雙儀科技 TE-702D)及熱線式風速計(泰仕電子工業 TES-1341)。計算人體舒適度時，使用網路上人體舒適度評估軟體(澳洲雪梨大學 Richard de Dear 教授提供)，且透過設計問卷得知實際人體舒適度並與軟體預測值做差異性探討。此外，利用 Surfer 9 繪圖軟體研究各時段二氧化碳濃度的空間分佈圖及透過 Solidworks 2013 建立一室內模型結構並做室內氣流場的流場模擬。而能源評估部分，透過空調熱負荷公式做評估(冷凍空調實務，李居芳編著)，並使用 EXCEL2007 做整體計算及公式之校正確認。



圖 1. TE-702D 二氧化碳檢測儀



圖 2. TES-1341 熱線式風速計

人體舒適度問卷調查	
日期：	____年____月____日 時間：____：____ 地點：_____
1.	請問您一週內進便利商店的次數？ <input type="checkbox"/> 至少 1 次 <input type="checkbox"/> 2-5 次 <input type="checkbox"/> 6-10 次 <input type="checkbox"/> 11 次以上
2.	請問您當進便利商店內大約會待多久時間？ <input type="checkbox"/> 1 分鐘 <input type="checkbox"/> 3 分鐘 <input type="checkbox"/> 5 分鐘 <input type="checkbox"/> 10 分鐘 <input type="checkbox"/> 15 分鐘以上
3.	請依據目前您穿著的服飾的狀況勾選下列選項 (可複選) 男： <input type="checkbox"/> 短袖 T 袖 <input type="checkbox"/> 短袖襯衫 <input type="checkbox"/> 長袖 T 袖 <input type="checkbox"/> 長袖襯衫 <input type="checkbox"/> 短褲 <input type="checkbox"/> 長褲 <input type="checkbox"/> 外套 <input type="checkbox"/> 皮鞋 <input type="checkbox"/> 運動鞋 <input type="checkbox"/> 涼鞋 <input type="checkbox"/> 其他： 女： <input type="checkbox"/> 短袖 T 袖 <input type="checkbox"/> 短袖襯衫 <input type="checkbox"/> 長袖 T 袖 <input type="checkbox"/> 長袖襯衫 <input type="checkbox"/> 短褲 <input type="checkbox"/> 長褲 <input type="checkbox"/> 外套 <input type="checkbox"/> 短裙 <input type="checkbox"/> 長裙 <input type="checkbox"/> 皮鞋 <input type="checkbox"/> 運動鞋 <input type="checkbox"/> 涼鞋 <input type="checkbox"/> 其他：
4.	您目前的活動狀態為 <input type="checkbox"/> 坐著 <input type="checkbox"/> 站著 <input type="checkbox"/> 慢走 <input type="checkbox"/> 快走
5.	目前對室內溫度的感覺為 <input type="checkbox"/> 很冷 <input type="checkbox"/> 涼爽 <input type="checkbox"/> 微涼 <input type="checkbox"/> 剛好 <input type="checkbox"/> 微暖 <input type="checkbox"/> 微熱 <input type="checkbox"/> 很熱
6.	希望改變室內溫度的感覺為 <input type="checkbox"/> 變冷 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 變熱
7.	目前對室內氣流 (風) 的感覺為 <input type="checkbox"/> 很強 <input type="checkbox"/> 強 <input type="checkbox"/> 稍強 <input type="checkbox"/> 剛好 <input type="checkbox"/> 稍弱 <input type="checkbox"/> 弱 <input type="checkbox"/> 很弱
8.	希望改變氣流 (風) 的變化為 <input type="checkbox"/> 增加 <input type="checkbox"/> 不變 <input type="checkbox"/> 減少
9.	目前對室內溼度的感覺為 <input type="checkbox"/> 很乾 <input type="checkbox"/> 乾燥 <input type="checkbox"/> 微乾 <input type="checkbox"/> 剛好 <input type="checkbox"/> 微溼 <input type="checkbox"/> 溼潤 <input type="checkbox"/> 很溼
10.	目前對室內環境是否滿意？ <input type="checkbox"/> 滿意 <input type="checkbox"/> 不滿意
感謝您對本次問卷提供寶貴意見，本次問卷僅作為學術分析研究。	
中山醫學大學公共衛生學系	

圖 3. 人體舒適度調查問卷(鄭忠豪，2014)

Select Input Parameters

Environmental Parameters		Personal Parameters	
ambient temperature (°C)	26.1	subject weight (kg)	63
radiant temperature (°C)	26.1	subject surface area (m ²)	1.8
barometric pressure (hPa)	1013	clothing insulation (clo)	0.6
H ₂ O vapour pressure (hPa)	22.152976	metabolic rate (W m ⁻²)	68.68
relative humidity (%)	65.5	work rate - external (W m ⁻²)	0
room air velocity (m s ⁻¹)	0.019	exposure time (min)	3

Form of Output
Final Values

*PS: The result will be displayed in a new window.

Calculate Reset

圖 4. 人體舒適度評估軟體介面及所需參數

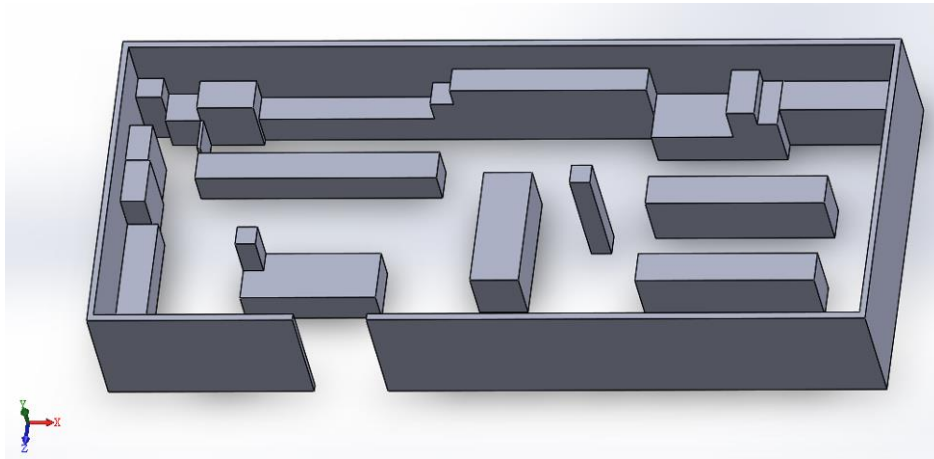


圖 5. 研究場所空間模型圖

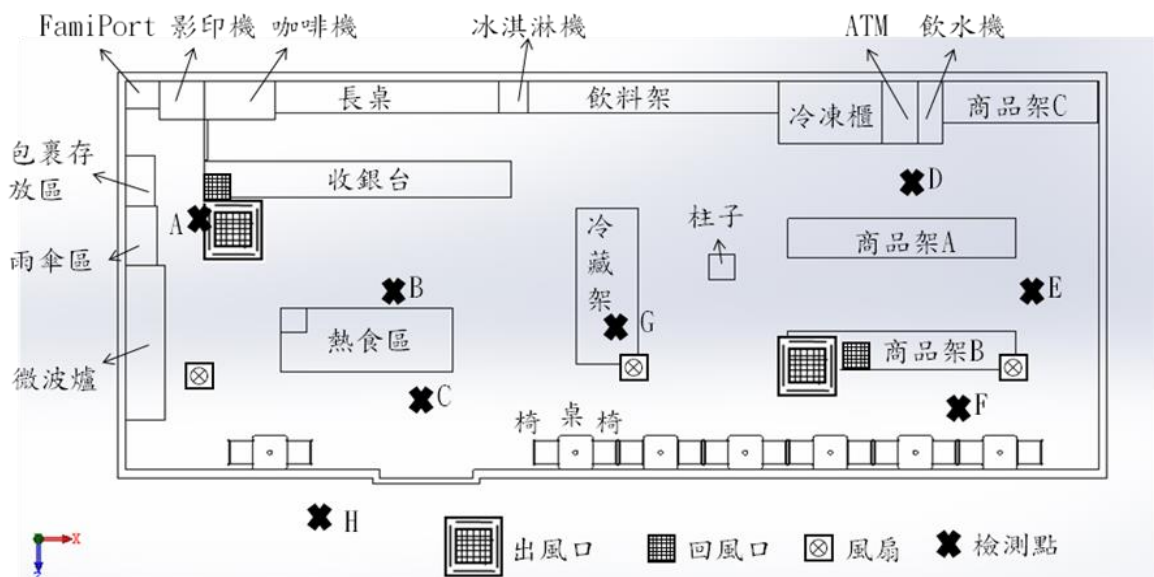


圖 6. 各檢測點分佈圖(室內:A~G, 室外:H)

3.2.2 實驗及評估方法

3.2.2.1. 室內空氣品質量測

依據「室內空氣品質檢驗測定管理辦法」選擇場所中的檢測點數目、檢測儀器(巡檢式檢測儀器為主)及其方法等。本研究便利商店室內面積 ≤ 2000 平方公尺，巡檢點數目應設置至少五點(行政院 環境保護署 環境檢驗所檢測方法，2016)，基於室內擺設及污染物濃度分布趨勢，本研究於室內設立七個檢測點，而為比較探討室內外二氧化碳濃度及溫度差異可能造成之影響，室外亦建立一檢測點。各檢測點分佈圖繪製於圖 6。

依據 ISO7730(2004)及 ASHRAE standard 55(2005)規範建議檢測高度應訂為人體呼吸帶 1.1 m 至 1.7 m 間，但由於本研究便利商店於 1.7 m 下常因商品架阻擋不易測量，因此選擇 1.7 m 做為檢測高度。由於場所屬於公共使用空間，隨時皆會有人使用的狀況，因此檢測時間較不固定偏向某一時段，但選擇 2016 年 12 月 1 日至 12 月 3 日及 2016 年 12 月 6 日至 12 月 10 日兩時段分別做檢測，而 2016 年 12 月 6 日至 12 月 10 日期間為冬季冷氣團氣溫較低時，因此選擇此時段做第二次檢測，以欲與第一次檢測結果做比較探討。檢測項目則探討到環境化學因子(二氧化碳濃度)、環境物理因子(室內溫度、相對濕度、風速)及人員因子(數量、舒適感受程度)。

3.2.2.2. 人體舒適度評估

(1) 預測平均回答指標(PMV 指標)

PMV 指標為 1972 年由丹麥學者 Fanger 所發表，為一可用來預測人體在環境冷熱感受程度的平均值。影響 PMV 值的因子可分為室內環境因子及人體因子，室內環境因子包括溫度(乾球溫度)、濕度、風速及平均輻射溫度(黑球溫度)；人體因子包括衣著熱阻($^{\circ}\text{C W}^{-1}$)及人體活動程度(ASHRAE Standard 55, 2004; ISO 7730, 2005)。

PMV 指標與人體感受程度之間的關係可分為七等級：依序為 +3(熱)、+2(微熱)、+1(微暖)、0(舒適)、-1(微涼)、-2(涼爽)及 -3(冷) (ASHRAE Standard 55, 2004; ISO 7730, 2005)。

計算公式如下：

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.028] \times \{ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5.733 - 6.99(M - W) - P_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - [1.7 \times 10^{-5} \times M \times (5.867 - P_a)] - [0.0014 \times M \times (34 - t_a)] - 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - [f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)] \} \quad (\text{ISO 7730, 2005})$$

各類變項解釋：

t_{cl} : 衣服表面溫度($^{\circ}\text{C}$)

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 \times (M - W) - I_{cl} \times \{ 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \}$$

h_c : 對流熱傳導係數 [$\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$]

$$h_c = 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} \quad \text{for} \quad 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1(V_{ar})^{0.5} \\ = 12.1(V_{ar})^{0.5} \quad \text{for} \quad 2.38 \times |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1(V_{ar})^{0.5}$$

f_{cl} : 衣著表面積係數

$$f_{cl} = 1.00 + 1.29I_{cl} \quad \text{for } I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1}$$
$$= 1.05 + 0.645I_{cl} \quad \text{for } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1}$$

M: 代謝率 (W m^{-2}); W: 外部工作強度 (W m^{-2}); t_a : 氣溫 ($^{\circ}\text{C}$)

t_r : 平均輻射溫度 ($^{\circ}\text{C}$); V_{ar} : 風速 (m s^{-1}); P_a : 水蒸氣分壓 (Pa)

I_{cl} : 衣著熱阻 (clo), $1_{clo} = 0.155 \text{ m}^2 \times ^{\circ}\text{C W}^{-1}$ (W: 瓦特)

(2) 預測不滿意百分比指標 (PPD 指標)

PPD 指標可表達在某 PMV 指標下有多少百分比的人感到不舒適，為一人體對環境冷熱的不滿意百分比，與 PMV 有一關係式如下：

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)] \quad (\text{ISO 7730, 2005})$$

3.2.2.3. 空調熱負荷估算

在計算一空間場所能源耗損情形時，首先必須估算空調熱負荷，在計算時必先知道室內溫濕度、室內發熱量、外氣溫濕度、引入外氣量、建築物外表結構。室內空調熱負荷包括四項：房屋結構熱負荷 (Q_1)、人員活動熱量 (Q_2)、電器負荷 (Q_3) 及換氣量 (Q_4) (kcal hr^{-1})。各項公式如下 (冷凍空調實務，李居芳編著)：

(1) 房屋結構熱負荷 Q_1 (包括構造體及玻璃面)：

$$\text{構造體: } Q = U \times A \times \Delta T, \quad \text{玻璃面: } Q = (U_{R1} \times A \times 0.85) + (U_{R2} \times 40)$$

U: 熱傳導係數; A: 外壁建材面積; ΔT : 室內外溫差; U_{R1} : 玻璃輻射量; U_{R2} : 玻璃對流熱量

(建材熱傳導係數參照附錄一)

(普通玻璃之輻射量 U_{R1} 參照附錄二)

(普通玻璃之對流熱量 U_{R2} 參照附錄三)

(2) 人員活動熱量 Q_2 (包括顯熱及潛熱)：

$$\text{顯熱} = 42 \times \text{室內人數}, \quad \text{潛熱} = 47 \times \text{室內人數} \quad (\text{假設輕步行狀態、室溫 } 26 \text{ 度下})$$

(不同活動狀態下之人員顯熱及潛熱值參照附錄四)

(3) 電器負荷 Q_3 ：

$$Q = \text{電器功率 (kW)} \times \text{數量} \times \alpha \quad (\alpha \text{ 為電器功率轉換發熱量之係數})$$

(便利商店各式電器使用功率參照附錄五)

(電器功率轉換發熱量係數參照附錄六)

(4) 換氣量熱負荷 Q_4 (包括顯熱及潛熱)：

$$\text{顯熱} = 0.24 / 0.906 \times \text{整體換氣量} \times \Delta T, \quad \text{潛熱} = 578 / 0.906 \times \text{整體換氣量} \times 0.014$$

有鑑於檢測場所門口之通風換氣無法達到檢測場所整體容積，因此本研究以實際有換氣容積的局部換氣量預估檢測場所整體換氣量。公式如下：

*整體換氣量($\text{m}^3 \text{hr}^{-1}$)= $\frac{\text{局部換氣量}}{\text{室內總容積/實際換氣容積}}$
↓
門開關次數×平均開門秒數×風速×門面積 ($\text{m}^3 \text{hr}^{-1}$)

★ 綜合以上四項熱負荷，室內總空調熱負荷(室內所需冷凍能力) = $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ (kcal hr^{-1})。

(各場所室內空調熱負荷量參照附錄七)

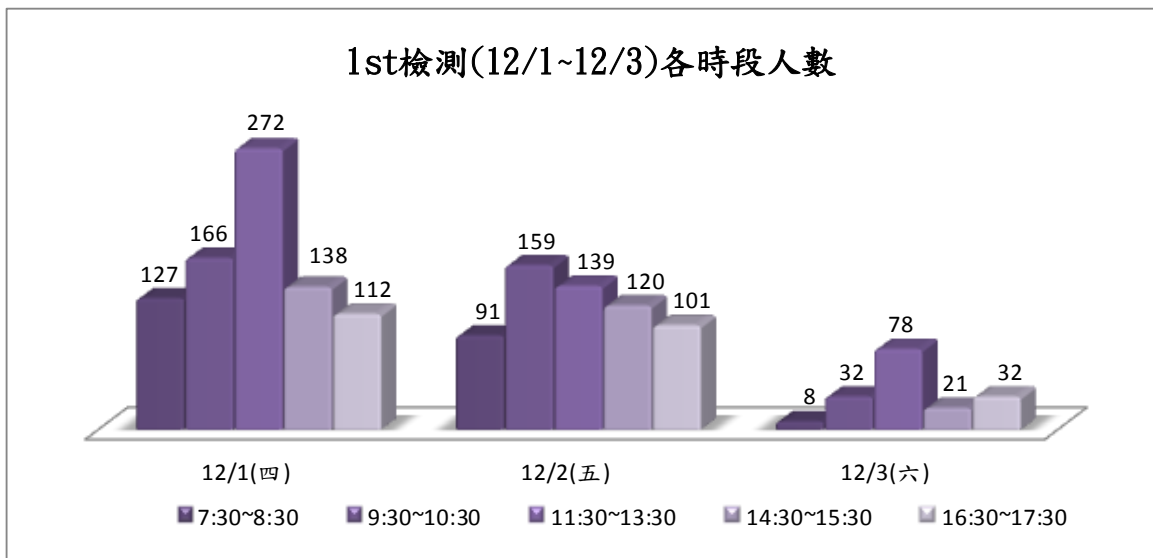
第四章 結果與討論

4.1 室內人員數調查結果

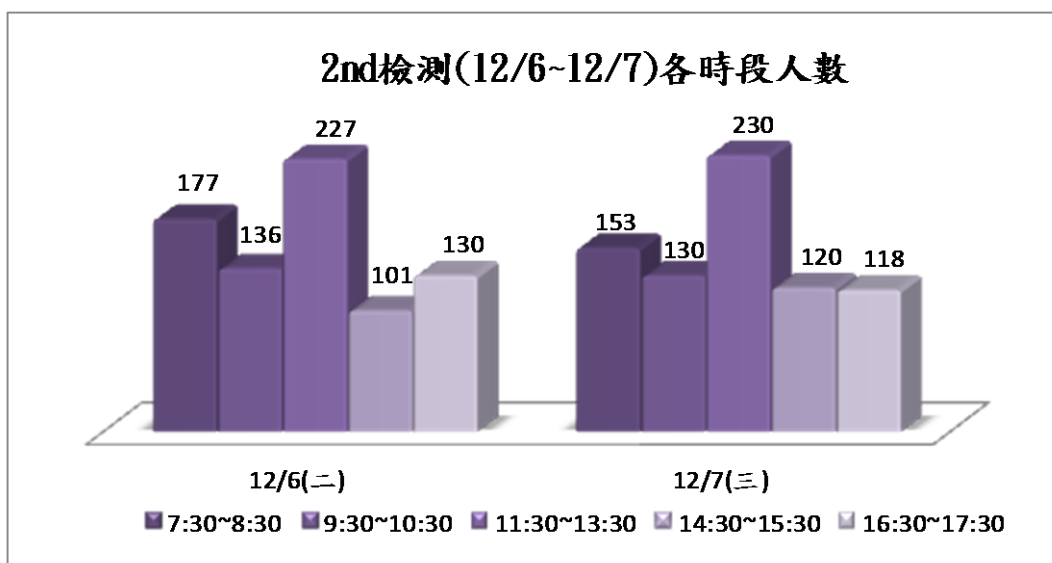
本研究檢測時段分別為 2016 年 12 月 1 日至 12 月 3 日及 2016 年 12 月 6 日至 12 月 10 日，合計 8 天，由每日早上 7:30 至下午 5:30 共分為五個時段做檢測。檢測期間通風設備狀況除 12 月 2 日早上 7:30 至下午 1:30 風扇為關閉狀態及 12 月 6 日早上 7:30 至 8:30 門為開啟狀態外，其餘時段門均保持關閉，而出風口、回風口及風扇均為開啟狀態。

兩次檢測中各時段累計進出便利商店人數統計如圖 7。由檢測結果可看出因便利商店位於校園內，使用人員多為學生及教職員工，因此平日上課時段人數多於假日時段，平日人數大致介於 100 至 200 人，假日普遍低於 100 人，而中午時段人數最多，平日最高可到達 330 人，而假日最高亦到達 78 人。平日中又以星期二、三及四人數高於星期五，推測可能因為課程主要集中在星期一至四，因此星期五人數較不明顯。

(a)



(b)



(c)

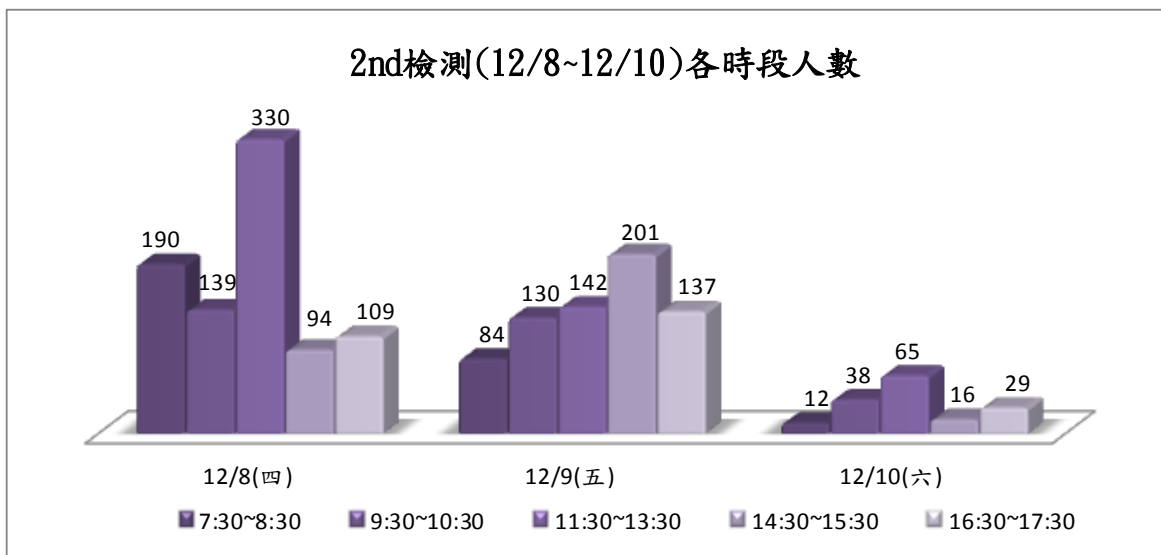


圖 7. 兩次檢測期間各時段人數變化圖

(a)第一次檢測期間-12/1(四)至 12/3(六)

(b)第二次檢測期間-12/6(二)至 12/7(三) (c)第二次檢測期間-12/8(四)至 12/10(六)

4.2 室內溫度、風速及相對濕度

本研究為評估人體舒適度，主要量測項目包括室內溫度、相對濕度及風速，兩次檢測結果分別呈現於表 1 及表 2。第一次檢測中，A 至 G 點溫度範圍為 22.9 °C 至 28.0 °C，室內平均溫度為 25.9 °C；相對濕度範圍為 54.6 %~75.8 %，室內平均相對濕度為 62.6 %；風速範圍為低於檢測值至 0.49 m s⁻¹，室內平均風速為 0.10 m s⁻¹。而室外 H 點溫度範圍為 24.1 °C~26.3 °C，室外平均溫度為 25.2 °C；相對濕度範圍為 64.2 %~75.8 %，室外平均相對濕度為 69.1 %；風速範圍為 0.04 m s⁻¹ 至 0.40 m s⁻¹，室外平均風速為 0.18 m s⁻¹。

第二次檢測中，A 至 G 點溫度範圍為 20.3 °C~27.4 °C，室內平均溫度為 25.5 °C；相對濕度範圍為 54.1 %~81.0 %，室內平均相對濕度為 63.4 %；風速範圍為低於檢測值至 0.88 m s⁻¹，室內平均風速為 0.09 m s⁻¹。而室外 H 點溫度範圍為 23.5 °C 至 26.5 °C，室外平均溫度為 25.1 °C；相對濕度範圍為 54.0 %~73.1 %，室外平均相對濕度為 63.4 %；風速範圍為低於檢測值至 0.71 m s⁻¹，室外平均風速為 0.13 m s⁻¹。

表 1. 第一次檢測環境物理因子數據

第一次檢測									
位置	溫度(°C)			相對濕度(%)			風速(m s ⁻¹)		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
A	25.6	26.7	22.9	64.4	70.3	59.1	0.24	0.49	0.05
B	26.1	27.4	23.5	65.5	70.2	60.6	0.02	0.05	*
C	26.4	28.0	24.6	65.0	69.6	61.1	0.09	0.20	0.01
D	26.2	27.7	25.0	59.0	63.9	54.6	0.06	0.13	0.01
E	26.2	27.6	25.0	61.8	66.0	57.1	0.02	0.06	*
F	26.0	27.4	25.0	60.2	67.0	55.2	0.15	0.43	*
G	25.1	26.2	23.7	62.5	69.0	57.8	0.15	0.18	*
H	25.2	26.3	24.1	69.1	75.8	64.2	0.18	0.40	0.04

*：低於偵測極限

表 2. 第二次檢測環境物理因子數據

第二次檢測									
位置	溫度(°C)			相對濕度(%)			風速(m s ⁻¹)		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
A	25.2	26.7	22.3	64.7	75.9	57.0	0.37	0.88	0.09
B	25.4	26.9	20.6	66.0	80.2	58.7	0.02	0.06	*
C	25.8	27.4	21.5	67.1	77.1	58.1	0.10	0.50	0.01
D	25.6	27.1	20.3	60.5	79.4	54.8	0.05	0.11	*
E	25.7	27.1	21.0	63.6	81.0	56.1	0.01	0.07	*
F	25.7	27.1	21.6	60.8	74.1	54.1	0.04	0.10	*
G	25.3	26.4	23.4	61.3	67.1	56.2	0.03	0.08	*
H	25.1	26.5	23.5	63.4	73.1	54.0	0.13	0.71	*

*：低於偵測極限

4.3 二氧化碳

4.3.1 時間趨勢分析

第一次檢測中各時段二氧化碳濃度時間趨勢圖呈現於圖 8，第二次檢測中各時段二氧化碳濃度時間趨勢圖呈現於圖 9 及圖 10。檢測結果顯示，平日於早上 7:30 開始二氧化碳濃度即已出現超標趨勢，多點濃度即超過 1000 ppm，推測此時段買早餐人數眾多而濃度較易累積，而 12 月 7 日因量測時間比起他天更接近人潮眾多時間，因此濃度更加顯著；而假日則於早上 9:30 開始 D、E 及 F 點濃度累積出現超標趨勢。整體而言，濃度由早上 7:30 開始上升，至中午人潮最多時達到最高，下午緩慢下降，但多點濃度依舊超標。結果顯示 D、E、F 點二氧化碳濃度累積情形最為嚴重，很少有低於標準之時，顯示室內空氣品質改善空間大。

透過圖 8 至圖 10 各時段二氧化碳濃度時間趨勢圖及圖 7 各時段人數變化圖可看出二氧化碳濃度與室內人數存在一正相關性，大致上人數變多，二氧化碳濃度亦隨之上升，中午時段二氧化碳濃度到達最高時也正是便利商店人潮最多之時。而 12 月 6 日至 12 月 8 日早上 7:30 至 10:30 人數下降但二氧化碳濃度卻累積而上升，及 12 月 3 日二氧化碳濃度與人數相關趨勢較不顯著，顯示二氧化碳濃度並非完全受人數影響，亦可能為室內通風設計不良導致二氧化碳排除困難，造成濃度亦隨時間累積上升。而雖 12 月 1 日與 12 月 8 日趨勢較不明顯，但透過 A 至 G 點及 H 點的二氧化碳濃度時間趨勢圖仍可看出室內與室外二氧化碳濃度亦存在一相關性。

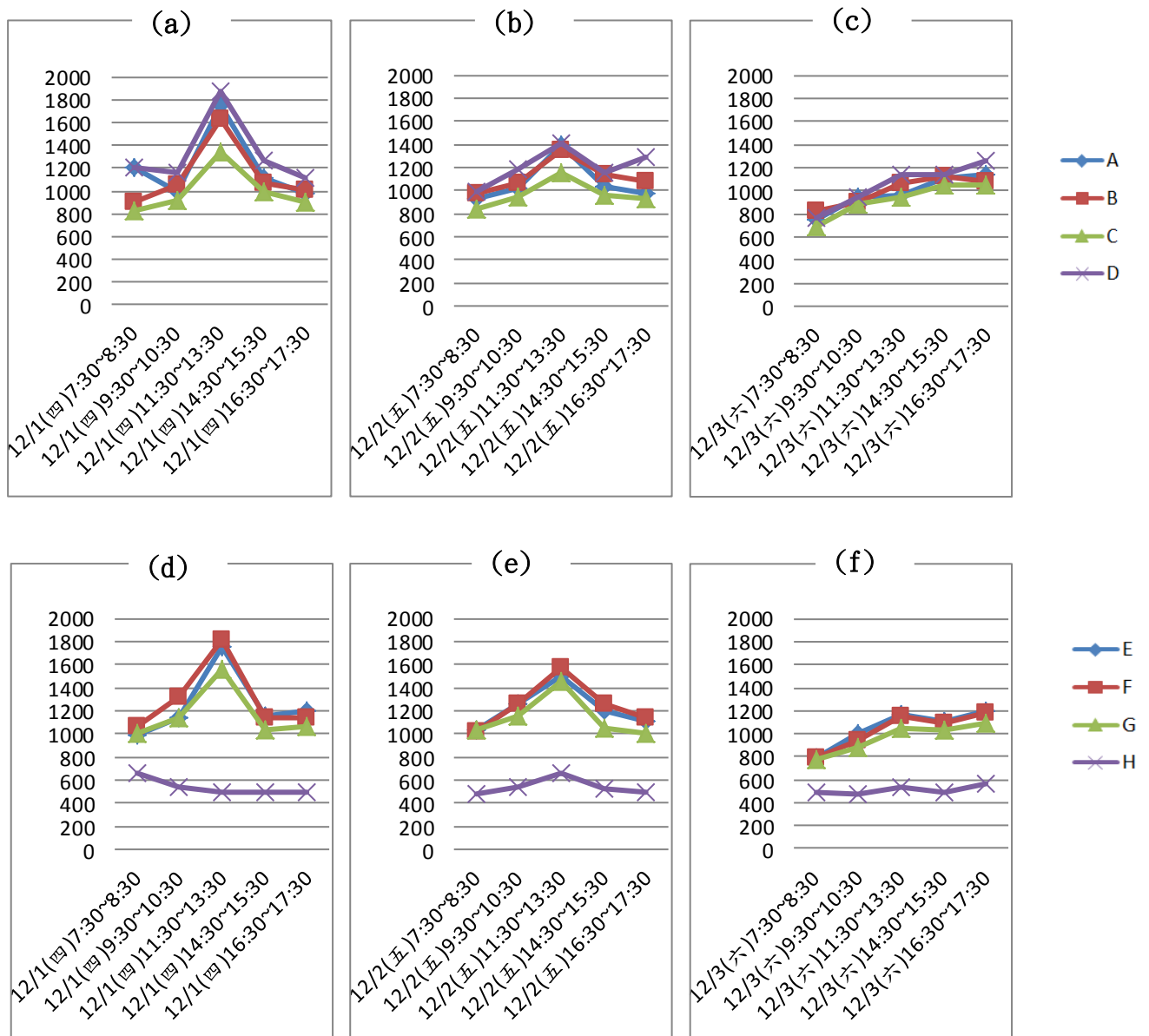


圖 8. 第一次檢測(12/1~12/3)各時段二氧化碳濃度時間趨勢圖(X 軸:時間; Y 軸:ppm)

(a)~(c)為檢測點 A、B、C、D

(d)~(F)為檢測點 E、F、G、H

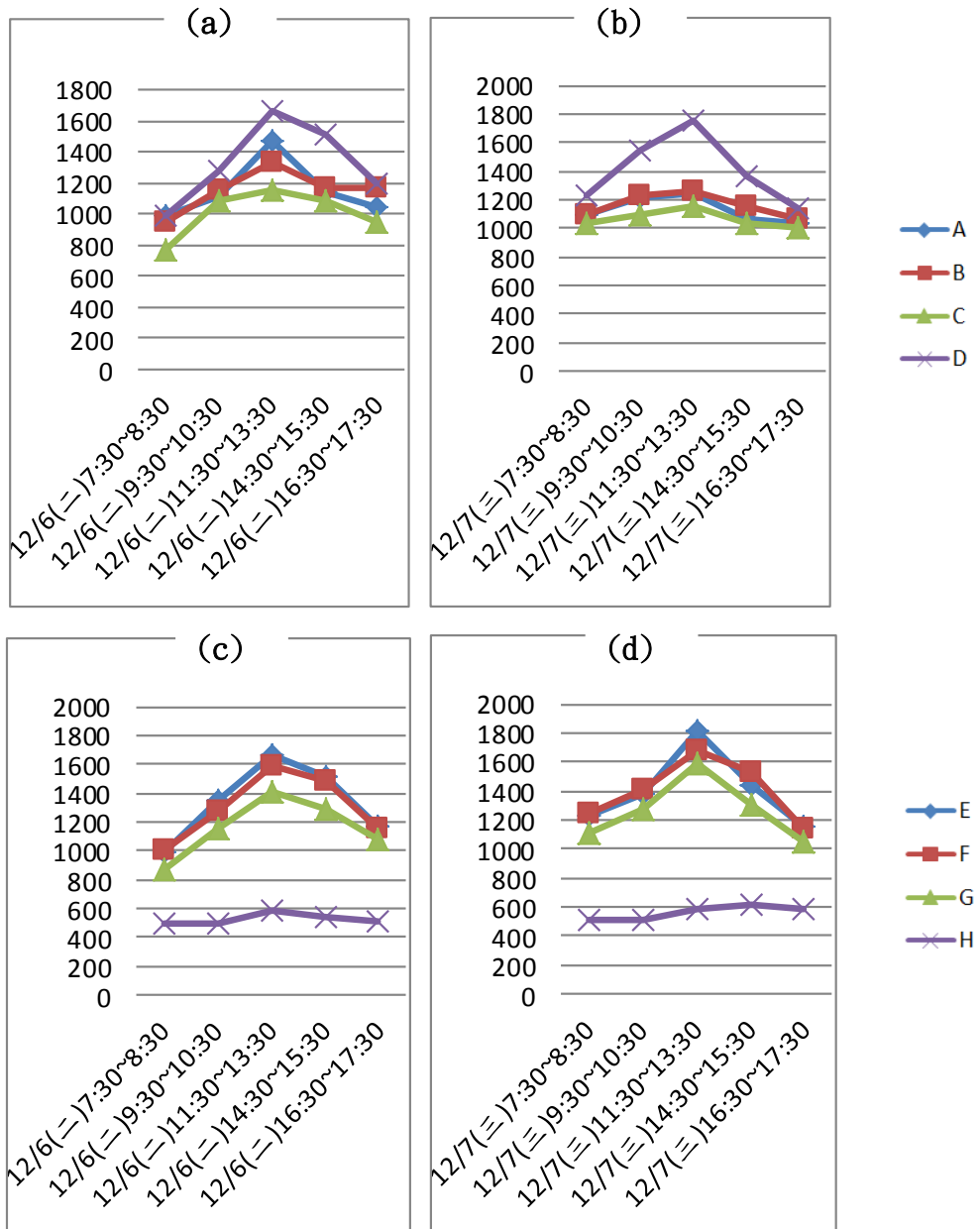


圖 9. 第二次檢測(12/6~12/7)各時段二氧化碳濃度時間趨勢圖(X 軸:時間; Y 軸:ppm)

(a)、(b)為檢測點 A、B、C、D

(c)、(d)為檢測點 E、F、G、H

圖

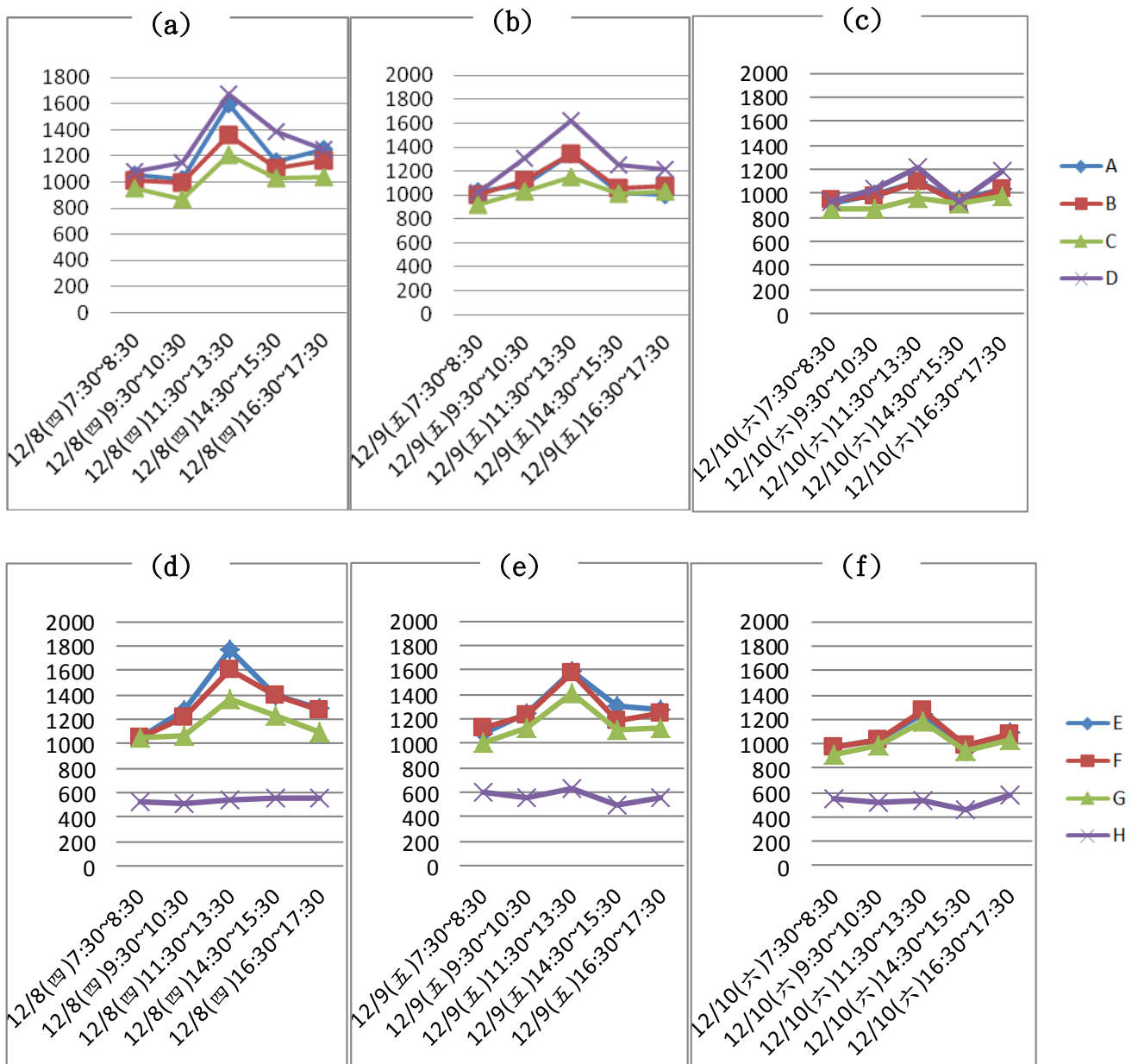


圖 10. 第二次檢測(12/8~12/10)各時段二氧化碳濃度時間趨勢圖(X 軸:時間; Y 軸:ppm)

(a)~(c)為檢測點 A、B、C、D

(d)~(f)為檢測點 E、F、G、H

4.3.2 空間分佈分析

依據檢測期間量測到之二氧化碳濃度值使用 surfer 9 所繪製的二氧化碳濃度空間分佈圖呈現於圖 11 至圖 13。圖 11 為第一次檢測(12/1~12/3)之二氧化碳濃度空間分佈圖，而第二次檢測(12/6~12/10)之二氧化碳濃度空間分佈圖則分別呈現於圖 12 及圖 13。圖中偏藍紫色區域為二氧化碳濃度較低區域，偏橘紅色為二氧化碳濃度較高區域，右方尺規濃度為 800 ppm 至 1700 ppm。

比較圖 6 檢測場所各檢測點分佈圖及圖 11 至圖 13 二氧化碳濃度空間分佈圖，可看出靠近門口區域因上課日店門時常開關造成室內外空氣混合稀釋，使此處二氧化碳濃度相對較低，而商品架周圍的檢測點 D、E 及 F 處為室內濃度相對較高區域，多時段濃度等高線數值大致由檢測空間左下方(靠近門口處)至右上方(商品架處)漸漸上升，而其中亦與通風口位置、風速大小、空間擺設及人員流動等有關，造成室內二氧化碳濃度空間分佈不平均，其二氧化碳濃度空間分佈與室內氣流流動之關係也將於後續做探討。

12月1日(四)

12月2日(五)

12月3日(六)

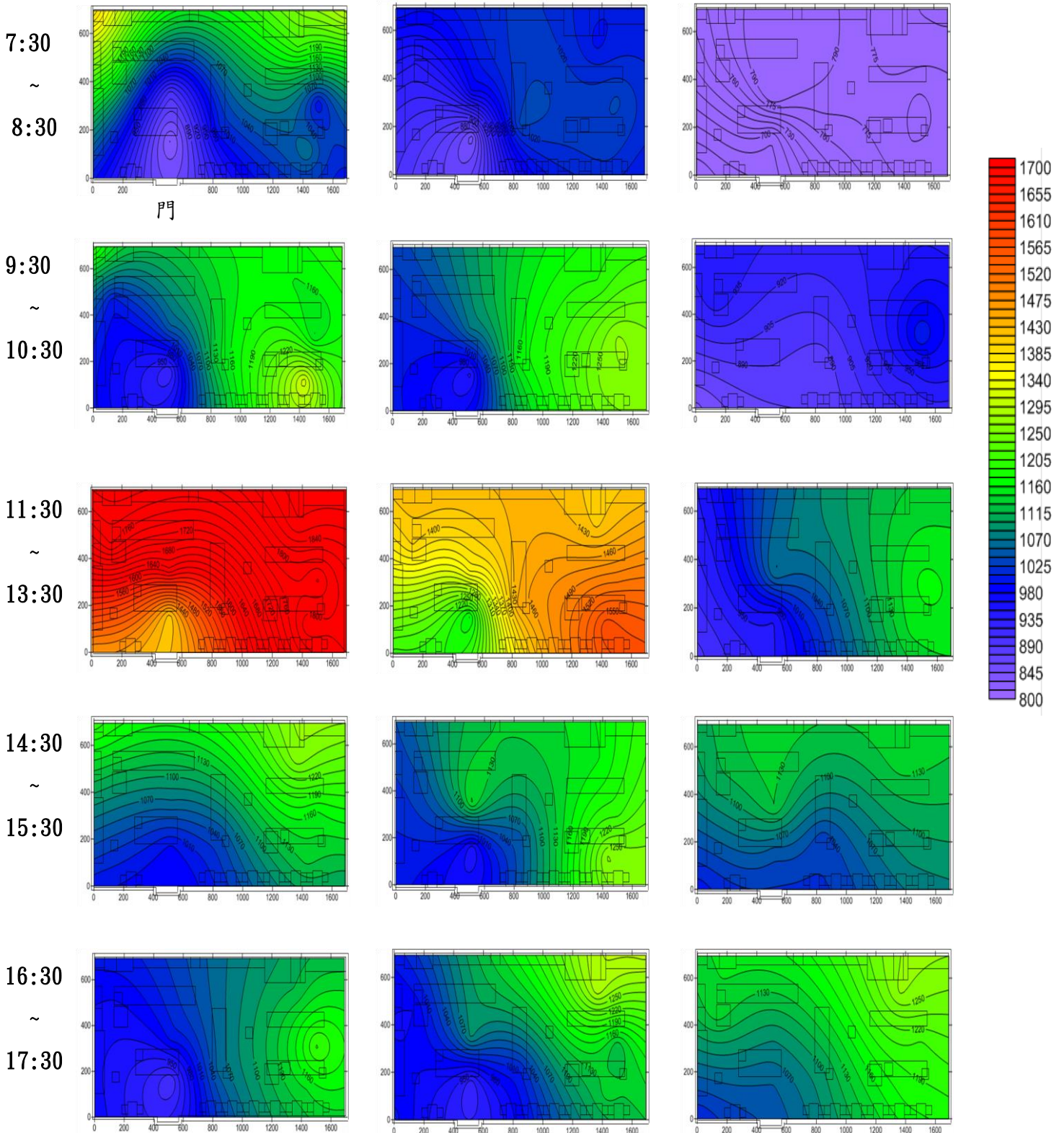


圖 11. 第一次檢測(12/1~12/3)二氧化碳濃度空間分佈圖(濃度單位:ppm)

12月6日(二)

12月7日(三)

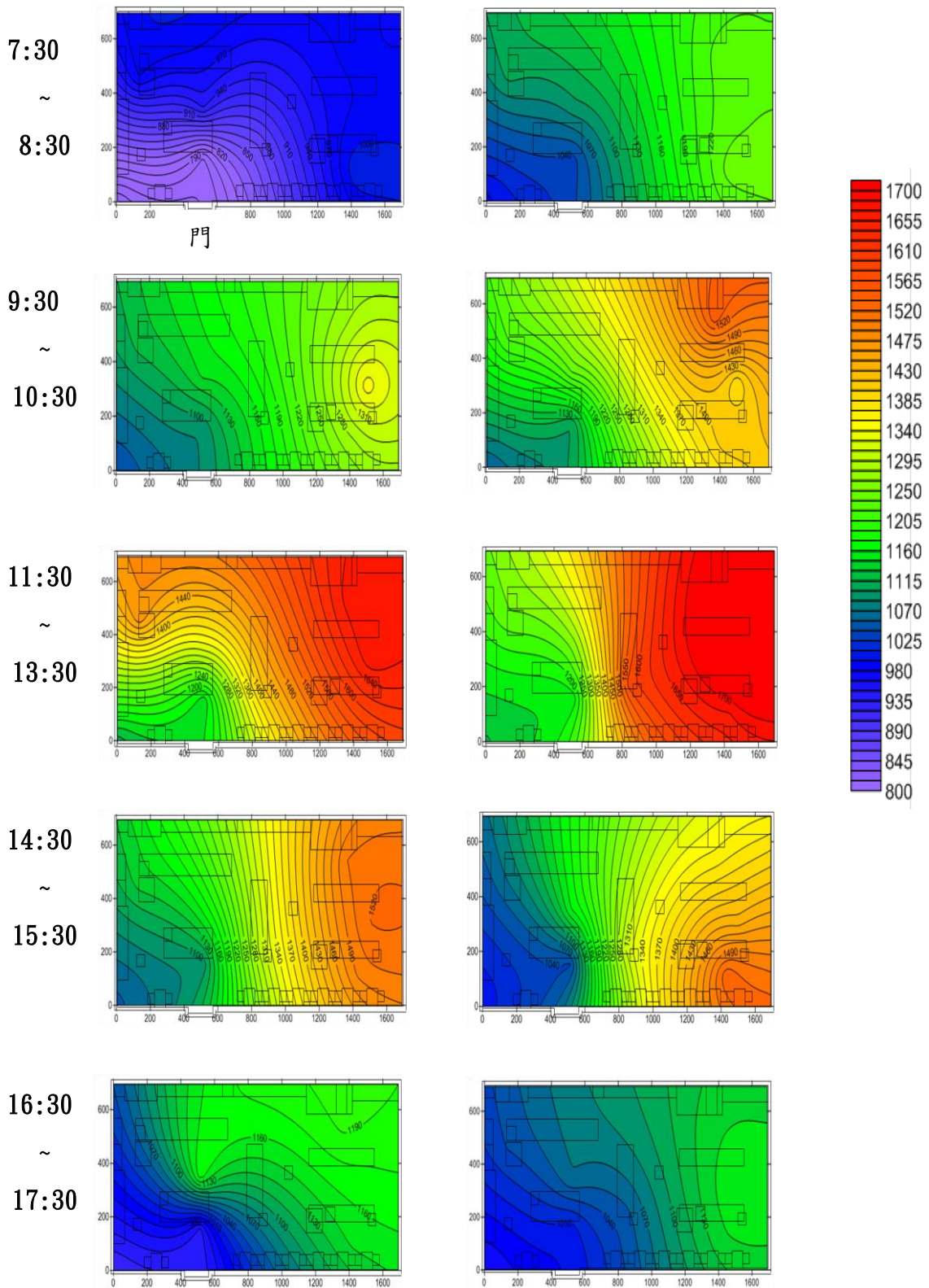


圖 12. 第二次檢測(12/6~12/7)二氧化碳濃度空間分佈圖(濃度單位:ppm)

12月8日(四)

12月9日(五)

12月10日(六)

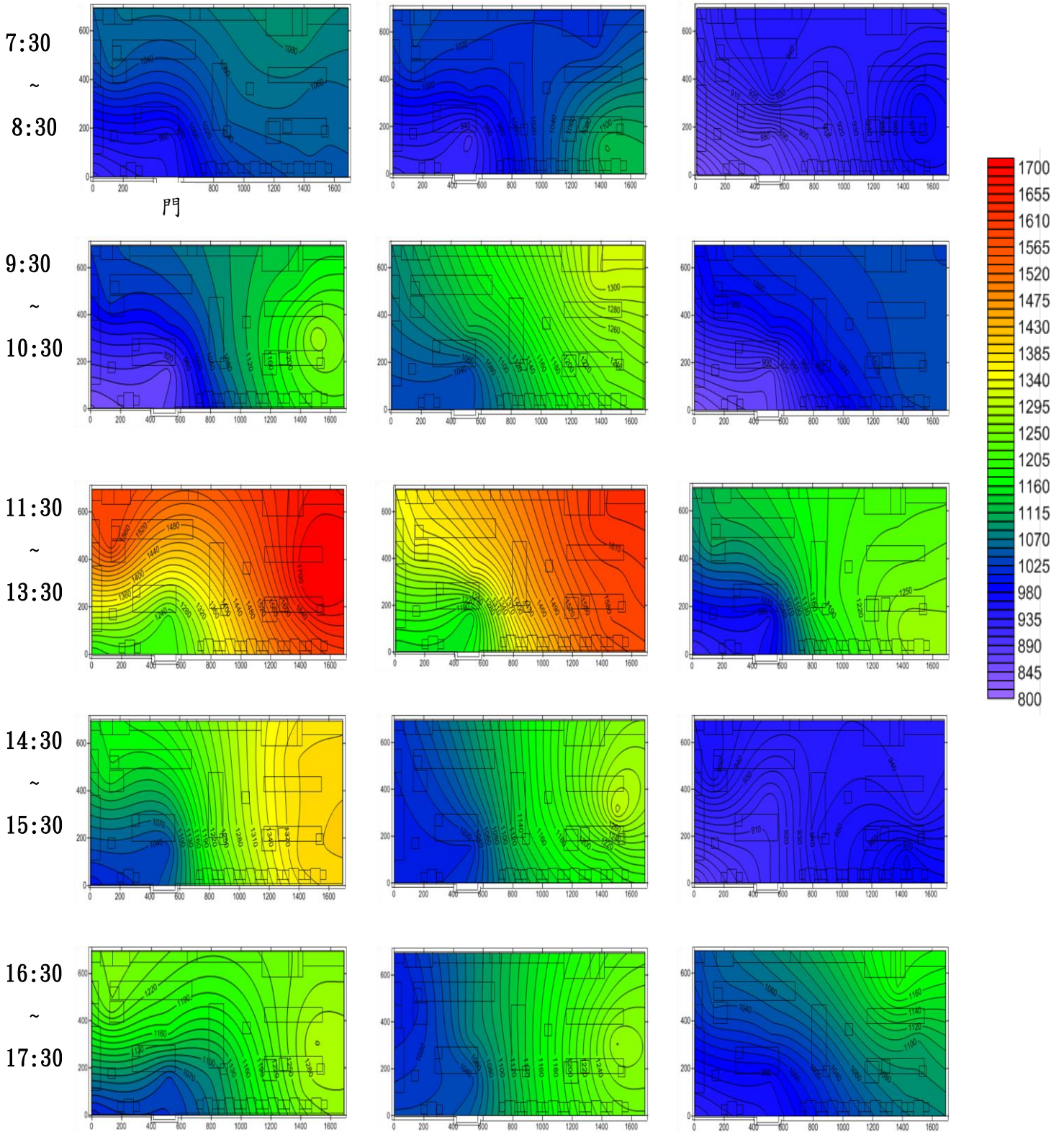


圖 13. 第二次檢測(12/8~12/10)二氧化碳濃度空間分佈圖(濃度單位:ppm)

4.4 人體舒適度

4.4.1 問卷調查結果

本研究問卷調查時間與物理因子及化學因子檢測時間相同，兩次檢測總共收到問卷 846 份，其中第一次檢測收回 382 份問卷，而第二次檢測收回 464 份。問卷調查內容大致分為四大部分：場所使用狀況、受訪者狀態調查(衣著及活動程度)、對物理環境因子感受程度(溫度、氣流、濕度)及環境滿意程度調查。而後續運用檢測到之物理環境因子(溫度、濕度及風速)、問卷收集到之受訪者調查狀態(衣著及活動程度)及場所使用狀況(使用時間)，代入人體舒適度評估軟體進行模擬。

場所使用狀況調查結果整理於表 3，人們對此間便利商店使用次數最多為一星期 2 至 5 次，佔總比 51 %；次多為一星期使用 6 至 10 次，佔總比 26 %。而使用時間最多為一次待上 5 min，佔總比 51 %；次多為一次使用 3 min，佔總比 26 %。受訪者狀態調查結果整理於表 4，衣著熱阻部分因男女穿衣程度有差而分男女衣著熱阻做探討；而男女活動程度大致相同，因此綜合作探討。由第一次及第二次檢測結果可看出女生穿衣程度較男生高，兩次檢測中男生衣著熱阻數值平均 0.6 及 0.63，女生平均 0.7 及 0.69；活動程度則以站著的人數為大宗，兩次檢測分別佔總比的 71 %及 65 %，其次為坐著，分別佔總比 24 %及 33 %。而受測者對物理環境因子感受程度及環境滿意度調查結果呈現於表 5，雖女生穿衣程度較男生高，但男女對溫度感覺皆以適中為最多，第一次及第二次檢測中男生覺得溫度適中比例分別為 45 %及 38 %，而女生分別為 41 %及 44 %，而男女對溫度感覺其次為微暖或微涼，對溫度改變部分男女也以不變居多；氣流感受部分，男女亦皆以剛好為最多，第一次及第二次檢測中男生覺得氣流剛好的比例分別為 68 %及 62 %，而女生分別為 67 %及 65 %，而男女對氣流感受其次為稍弱，對氣流改變部分男女也以不變居多；濕度感受部分，男女亦皆以剛好為最多，第一次及第二次檢測中男生覺得濕度剛好的比例分別為 61 %及 66 %，而女生分別為 74 %及 66 %，而男女對濕度感受其次為微乾；對整體環境滿意程度部分，男女亦皆以滿意較多，第一次及第二次檢測中男生覺得滿意的比例分別為 97 %及 92 %，而女生分別為 95 %及 91 %。以上調查結果亦顯示出無論男女，使用者對環境溫度、濕度及氣流接受度皆高。

表 3. 場所使用狀況調查結果(單位：人次；()佔總人數百分比)

場所使用狀況		第一次檢測	第二次檢測	總數
使用次數 (一星期)	至少 1 次	43	46	89(10%)
	2 至 5 次	191	238	429(51%)
	6 至 10 次	91	125	216(26%)
	11 次以上	57	55	112(13%)
使用時間 (一次)	1min	9	6	15(2%)
	3min	103	114	217(26%)
	5min	203	230	433(51%)
	10min	49	71	120(14%)
	15min 以上	18	43	61(7%)

表 4. 受訪者狀態調查結果

受訪者狀態		第一次檢測		第二次檢測	
		男	女	男	女
衣著熱阻	平均值	0.60	0.70	0.63	0.69
	最大值	1.01	0.96	1.16	1.23
	最小值	0.22	0.24	0.23	0.22
活動程度	坐著	92(24%)		151(33%)	
	站著	272(71%)		302(65%)	
	慢走	14(4%)		9(2%)	
	快走	4(1%)		2(0%)	

表 5. 受測者對物理環境因子感受程度及環境滿意度調查結果

(單位：人次；()佔總人數百分比)

受測者調查變項		第一次檢測(12/1~12/3)		第二次檢測(12/6~12/10)	
		男	女	男	女
溫度感覺	很熱(PMV=+3)	1(0.5%)	0(0%)	1(1%)	2(0.5%)
	微熱(PMV=+2)	1(0.5%)	7(3%)	12(7%)	12(4%)
	微暖(PMV=+1)	18(12%)	34(15%)	33(19%)	61(21%)
	適中(PMV=0)	67(45%)	95(41%)	65(38%)	129(44%)
	微涼(PMV=-1)	24(16%)	48(21%)	35(21%)	45(15%)
	涼爽(PMV=-2)	39(26%)	44(19%)	22(13%)	43(15%)
	很冷(PMV=-3)	0(0%)	3(1%)	2(1%)	2(0.5%)
改變溫度	變熱	4(3%)	8(4%)	8(5%)	8(3%)
	不變	127(84%)	197(85%)	124(73%)	235(80%)
	變冷	19(13%)	26(11%)	38(22%)	51(17%)
氣流感受	很強	1(1%)	0(0%)	1(1%)	1(0%)
	強	0(0%)	5(2%)	1(1%)	0(0%)
	稍強	15(10%)	20(9%)	13(8%)	19(6%)
	剛好	102(68%)	155(67%)	105(62%)	192(65%)
	稍弱	27(18%)	48(21%)	42(25%)	69(23%)
	弱	3(2%)	3(1%)	6(4%)	9(3%)
	很弱	2(1%)	0(0%)	2(1%)	4(1%)
改變氣流	增加	39(26%)	56(24%)	56(32%)	91(31%)
	不變	105(70%)	166(72%)	114(65%)	194(66%)
	降低	6(4%)	9(4%)	5(3%)	9(3%)
濕度感受	很乾	1(1%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
	乾燥	9(6%)	8(3%)	7(4%)	8(3%)
	微乾	41(27%)	45(20%)	35(21%)	72(25%)
	剛好	91(61%)	172(74%)	113(66%)	194(66%)
	微濕	6(4%)	4(2%)	13(8%)	19(6%)
	濕潤	2(1%)	2(1%)	2(1%)	1(0%)
	很濕	0(0%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)
環境滿意程度	滿意	145(97%)	220(95%)	156(92%)	268(91%)
	不滿意	5(3%)	11(5%)	14(8%)	26(9%)

4.4.2 模式分析結果

依據表 1 第一次檢測及表 2 第二次檢測之溫度、相對濕度及風速平均值與表 4 受訪者衣著熱阻及活動程度平均值代入人體舒適度評估軟體後，第一次檢測及第二次檢測整體舒適度 PMV 值及 PPD 值結果分別整理於表 6 及表 7。其中男女生衣著熱阻指數不同，PMV 值及 PPD 值亦不相同；而活動程度代入軟體之單位為 w m^{-2} ，須由同為能量代謝當量之 met 換算而來，1met 約為 58.2 w m^{-2} ，各種活動狀態下之能量代謝當量參照附錄八。

表 6 及表 7 顯示第一次檢測中絕大多數檢測點 PMV 值超過 ASHARAE Standard 55 及 ISO7730 之規範 (PMV 介於 ± 0.5)，評估結果大多為微暖狀態，但 PPD 值皆在可接受之 20 % 內；而第二次檢測中各檢測點 PMV 值於男生部分大多介於規範內，只有 E 點屬微暖狀態，而女生部分則多為超過 0.5，各檢測點評估結果大多為微暖狀態，無論男女 PPD 值亦皆在可接受之 20 % 內。

表 6. 第一次檢測(12/1~12/3)整體舒適度 PMV 值及 PPD 值結果

第一次檢測平均衣著熱阻(男/女)=0.6/0.7，平均活動程度=68.68 w m⁻²

位置 (170cm)	平均 RH (%)	平均溫度 (°C)	平均風速 (m s ⁻¹)	PMV (男/女)	PPD (男/女)	感受程度 (男/女)
A	64.4	25.6	0.240	0.11/0.29	5%/7%	適中/適中
B	65.5	26.1	0.019	0.59/0.72	12%/16%	微暖/微暖
C	65.0	26.4	0.086	0.65/0.77	14%/18%	微暖/微暖
D	59.0	26.2	0.056	0.58/0.71	12%/16%	微暖/微暖
E	61.8	26.2	0.020	0.59/0.73	12%/16%	微暖/微暖
F	60.2	26.0	0.147	0.37/0.52	8%/11%	適中/微暖
G	62.5	25.1	0.049	0.28/0.43	7%/9%	適中/適中

表 7. 第二次檢測(12/6~12/10)整體舒適度 PMV 值及 PPD 值結果

第二次檢測平均衣著熱阻(男/女)=0.63/0.69，平均活動程度=68.68 w m⁻²

位置 (170cm)	平均 RH (%)	平均溫度 (°C)	平均風速 (m s ⁻¹)	PMV (男/女)	PPD (男/女)	感受程度 (男/女)
A	64.7	25.2	0.372	-0.11/0.02	5%/5%	適中/適中
B	66.0	25.4	0.019	0.43/0.52	9%/11%	適中/微暖
C	67.1	25.8	0.102	0.49/0.58	10%/12%	適中/微暖
D	60.5	25.6	0.050	0.46/0.54	9%/11%	適中/微暖
E	63.6	25.7	0.009	0.5/0.59	10%/12%	微暖/微暖
F	60.8	25.7	0.040	0.49/0.57	10%/12%	適中/微暖
G	61.3	25.3	0.032	0.37/0.46	8%/10%	適中/適中

4.5 室內氣流分佈分析

透過流場模擬建立第一次及第二次檢測之室內氣流分佈圖分別呈現於圖 14 至圖 16。其中各時段各通風口風速變化不大，因此室內氣流分佈圖僅以日期而未以時段做區分探討，每天量測各通風口風速時間介於 15:00 至 15:30；但有無開門會影響室內氣流之分佈情形，因此 12 月 6 日分為 7:30~8:30 為開門狀態，而 9:30~17:30 為與其他日期相同之關門狀態分別做探討。

圖中顯示各通風口型式及室內氣流分佈情形有關。場所之三個風扇為嵌入型向下送風式風扇，因此位於風扇下之區域風速最高，向外擴散則風速降低；而出風口為嵌入型四方吹式出風口，且回風口剛好位於出風口旁，因此由圖中可看出從出風口出來的風直接回流入回風口，造成短路現象，風無法順利到達空間各角落，造成部分死域現象，此狀況亦有待進一步改善。而從圖中亦可看出靠近門的區域因店門時常的開關常有風從外吹入，風速會較高，而內部風速相對較低，比較 12 月 6 日 7:30~8:30 及 9:30~17:30 室內氣流分佈圖亦可看出店門常開狀態下靠近門口區域風速會較高。此外，各通風口型式、風速大小及其設置位置亦造成室內氣流呈現混合狀態，大致越靠近內部櫃檯或商品區風速會較低；而店內擺設亦會造成某些區域出現風速較低的死域現象。

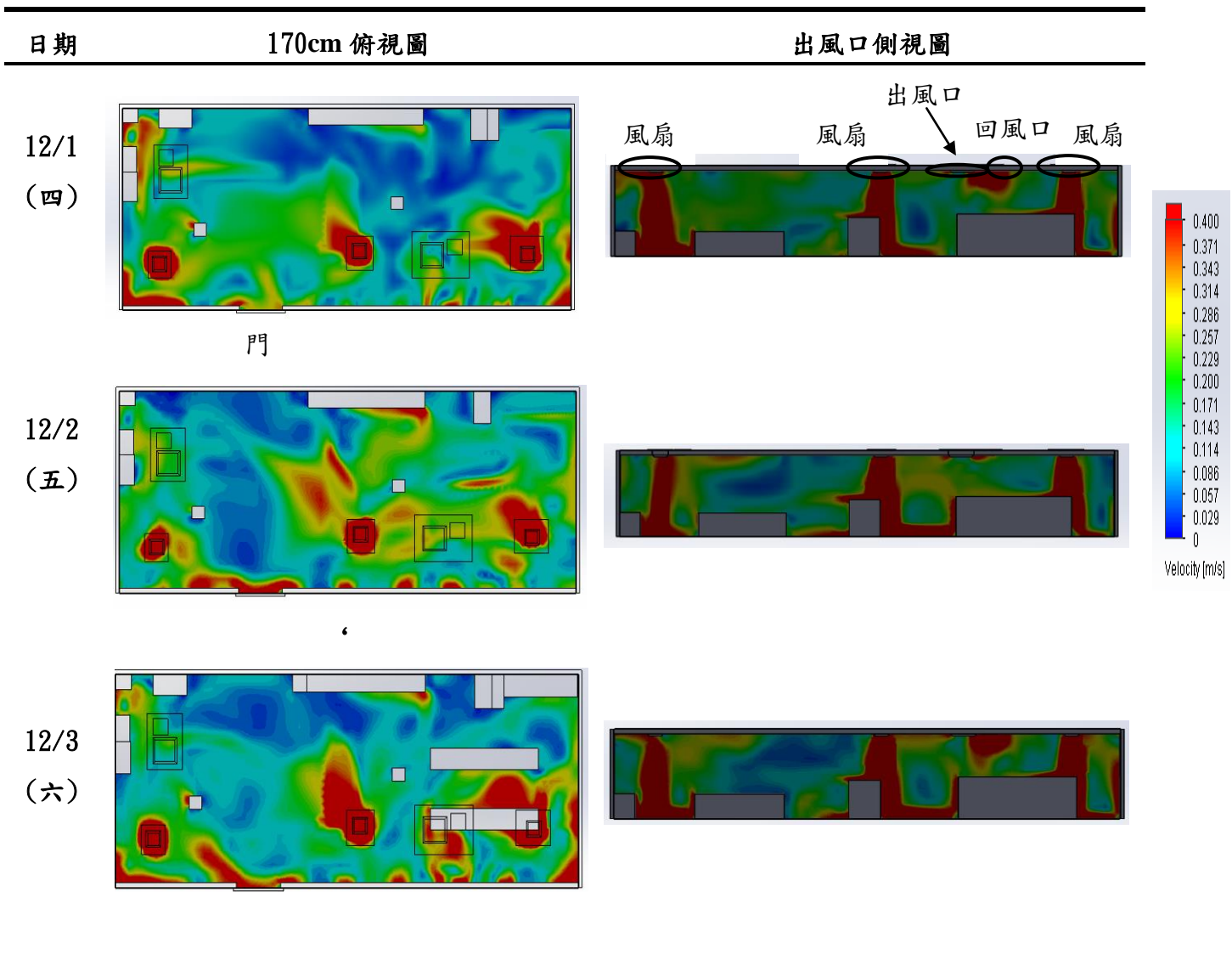


圖 14. 第一次檢測(12/1~12/3)室內氣流分佈圖

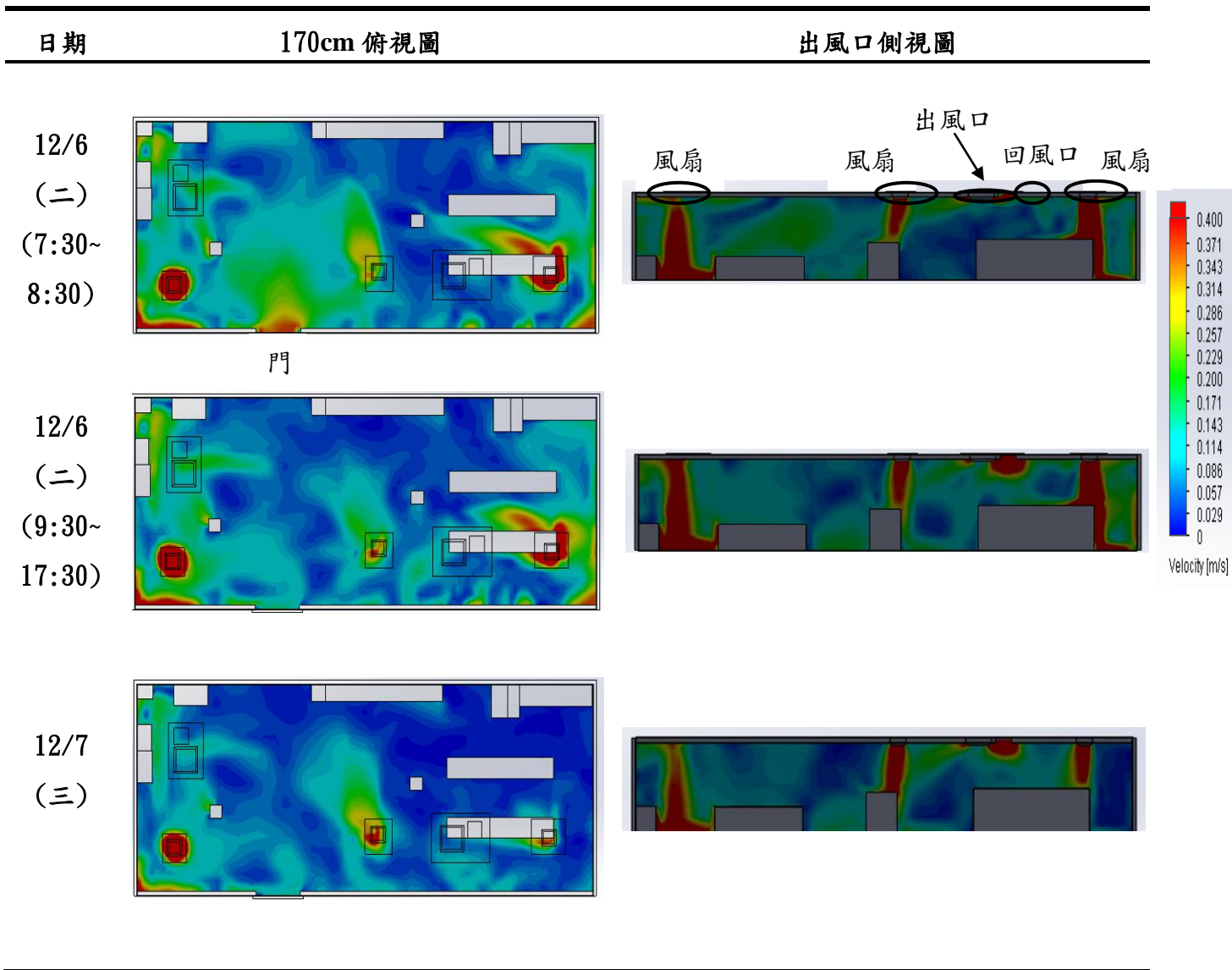


圖 15. 第二次檢測(12/6~12/7)室內氣流分佈圖

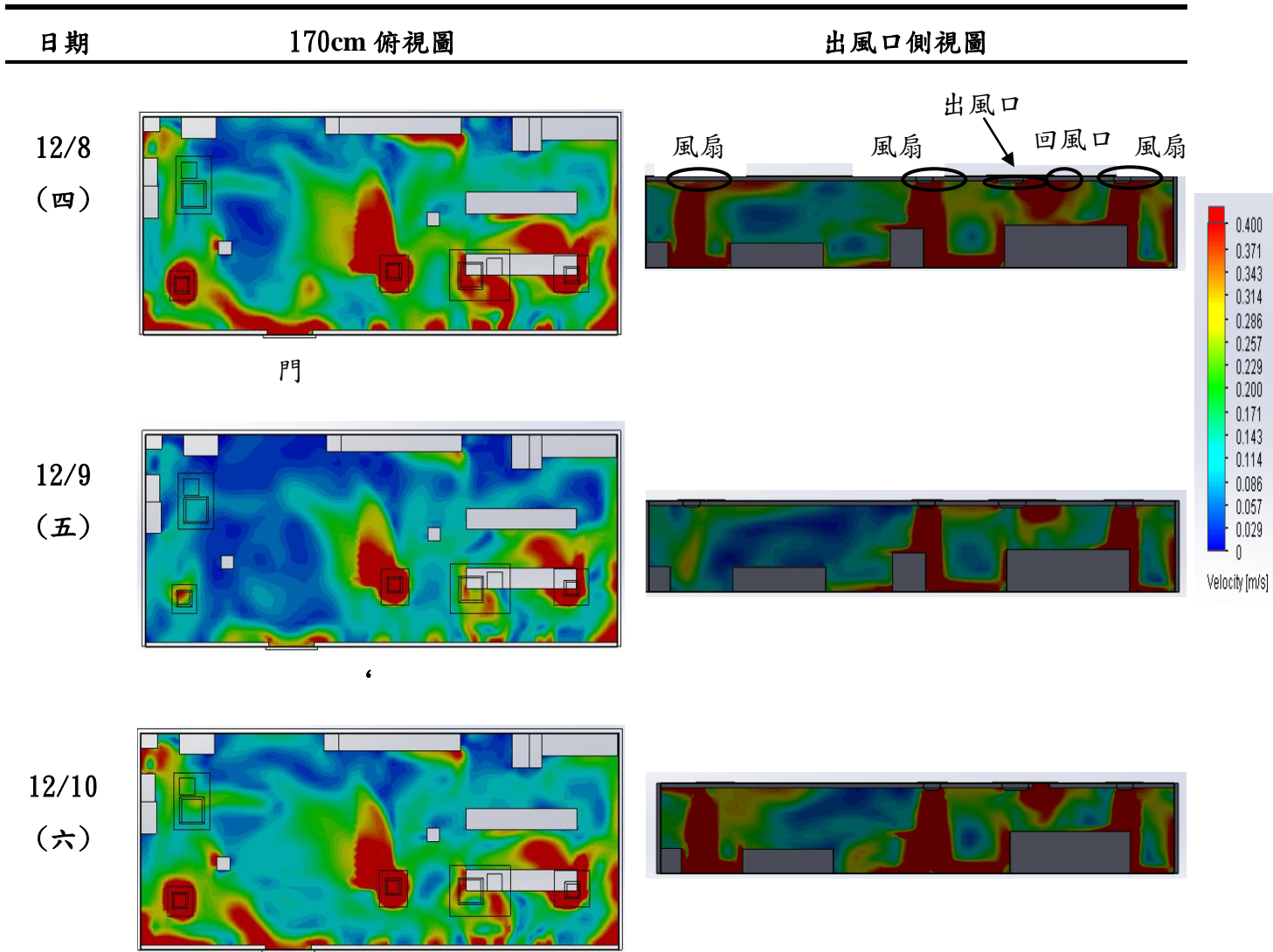


圖 16. 第二次檢測(12/8-12/10)室內氣流分佈圖

4.6 能源評估公式校正確認

因第一次檢測及第二次檢測期間未顧及計算空調熱負荷公式時須考量小時門開關次數及平均開門秒數以做換氣量之計算，因此另外選擇五天時間分別為 2016 年 12 月 30 日、2017 年 1 月 5 日及 1 月 7 日至 1 月 9 日做每時段平均人數、門開關次數、平均開門秒數與實際度數之觀測，觀測時段亦分為 7:30~8:30、9:30~10:30、11:30~13:30、14:30~15:30 及 16:30~17:30 五個時段，並於後續計算室內總空調熱負荷。其中每時段平均人數有異於先前第一次及第二次檢測每時段累計人數之觀測，為每小時共分為五次觀測便利商店當下人口數並做平均。而電器部分每日及每時段使用狀況不同，只有 12 月 30 日使用熱狗機而其餘天數均無使用；電烤箱於 12 月 30 日自 14:30 尚開啟一台，而 1 月 9 日 7:30 至 15:30 均開啟二台、16:30~17:30 關閉一台，其餘三天電烤箱自 7:30 即僅開啟一台至 17:30；而每日微波爐使用個數會隨便利商店人數多寡變化，1 月 7 日及 1 月 8 日因為假日時段，微波爐使用個數較少，但其餘電器使用個數均相同；而無論平日或假日時段，每日中午因人潮較多，微波爐使用個數亦較多，而其餘電器使用個數並無時段差異。

起初空調熱負荷公式計算結果發現未必準確評估最後用電度數，因此本研究分別針對人員活動熱量 Q_2 及電器熱負荷 Q_3 公式增加人數加權係數及電器使用程度做計算，進行空調熱負荷公式之校正並經由多次驗證增加其後續評估準確性。其中人數加權係數整理於表 9。而房屋建材面積與結構熱負荷 Q_1 、人數(加權後)與人員活動熱量 Q_2 、電器使用狀態與電器熱負荷 Q_3 及換氣量計算參數與換氣量熱負荷 Q_4 計算結果分別呈現於表 8、表 10 至表 12。其中因房屋建材於檢測期間皆無改變，建築物結構熱負荷每日每時段皆相同(忽略玻璃輻射量及對流熱量些微時段差異不計)。透過四項熱負荷值之計算加總，每日每時段皆有一總熱負荷值，換算其度數(一度電=1 kw=860 kcal hr⁻¹)後與實際觀測度數做比較，一方面校正人數加權係數與電器使用程度數值、一方面做多次觀測驗證，建立一能夠準確評估能源使用狀況之空調熱負荷公式，而空調總熱負荷及評估度數與實際度數相關性亦整理於表 13。其中中午檢測時段為兩小時，門開關次數為 11:30~12:30 及 12:30~13:30 兩小時開關次數之平均值，因此此時段空調總熱負荷值亦為 11:30~12:30 及 12:30~13:30 兩小時之平均值，而此時段評估度數則為空調總熱負荷值換算度數後乘以 2 之值。

表 8. 房屋建材面積與結構熱負荷 Q_1 (室內外溫差=1 度)

建材面積(m ²)	東	西	南	北	熱負荷 Q_1
合板	38.88	23.91	11.25	19.36	10.27
玻璃	/	36.7	/	/	2278.65
合計	/	/	/	/	2288.92

表 9. 人數加權係數

人數	加權係數
<16 人	1
16~20 人	1.2
21~25 人	1.5
26~30 人	1.8
>30 人	2

表 10. 人數(加權後)與人員活動熱量 Q_2

人數(加權後)	12/30(五)	1/5(四)	1/7(六)	1/8(日)	1/9(一)
7:30~8:30	21.6	34.5	24.3	12.13	31.5
9:30~10:30	34.5	48.6	23.14	10.63	47.45
11:30~13:30	36	50.98	31.73	20.86	50.67
14:30~15:30	37.5	46.8	10.57	14.42	47.3
16:30~17:30	15	21.6	12	12.57	19.54
熱負荷 Q_2	12/30(五)	1/5(四)	1/7(六)	1/8(日)	1/9(一)
7:30~8:30	1944	3105	2187	1092	2835
9:30~10:30	3105	4374	2082	957	4270
11:30~13:30	3240	4588	2855	1877	4560
14:30~15:30	3375	4212	951	1298	4257
16:30~17:30	1350	1944	1080	1131	1758

表 11. 電器使用狀態與電器熱負荷 Q₃

電器 使用狀態	個數				使用程度
	12/30(五)	1/5(四)	1/9(一)	1/7(六)、1/8(日)	檢測期間
7:30~8:30		2		2	0.55
微波爐		3		2	
9:30~10:30		6		3	
11:30~13:30		4		2	
14:30~15:30		5		3	
16:30~17:30					
7:30~8:30	0	1	2	1	0.55
電烤箱	0	1	2	1	
9:30~10:30	0	1	2	1	
11:30~13:30	1	1	2	1	
14:30~15:30	1	1	1	1	
16:30~17:30	1	1	1	1	
熱狗機	1	/	/	/	0.3
日光燈			42		1
冷氣機			2		0.5
冰箱			13		0.65
冰櫃			1		0.65
茶葉蛋鍋			2		0.4
保溫櫃			1		0.7
電視機			1		1
關東煮機			3		0.5
咖啡機			2		0.55
鬆餅機			(用量少可忽略不計)		
冰淇淋機			(用量少可忽略不計)		
熱負荷 Q₃	12/30(五)	1/5(四)	1/7(六)	1/8(日)	1/9(一)
7:30~8:30	11307	11616	11616	11616	12232
9:30~10:30	12033	12342	11616	11805	12958
11:30~13:30	14211	14520	12342	12342	15136
14:30~15:30	13375	13068	11616	11616	13684
16:30~17:30	14101	13794	12342	12342	13794

表 12. 換氣量計算參數與換氣量熱負荷 Q_4 (室內外溫差=1 度)

門通風面積=1.47 m×2.46 m，室內總容積(m ³)/實際換氣容積(m ³)=26.03						
換氣量計算參數	12/30(五)	1/5(四)	1/7(六)	1/8(日)	1/9(一)	
7:30 ~8:30	門開關次數(次 hr ⁻¹)	90	152	130	90	144
	平均開門秒數(s 次 ⁻¹)	10.7	13.2	12.57	11.58	13.5
	風速(m s ⁻¹)	0.127	0.128	0.128	0.128	0.127
	整體換氣量(m ³ hr ⁻¹)	16.99	35.68	29.06	18.53	34.3
9:30 ~10:30	門開關次數(次 hr ⁻¹)	118	133	115	89	132
	平均開門秒數(s 次 ⁻¹)	15.5	17.2	16.16	12.28	17.2
	風速(m s ⁻¹)	0.127	0.128	0.128	0.128	0.127
	整體換氣量(m ³ hr ⁻¹)	32.27	40.68	33.05	19.43	40.06
11:30 ~13:30	門開關次數(次 hr ⁻¹)	120	120	115	101	118
	平均開門秒數(s 次 ⁻¹)	18	18	16.59	14.54	17.2
	風速(m s ⁻¹)	0.127	0.128	0.128	0.128	0.127
	整體換氣量(m ³ hr ⁻¹)	37.95	38.25	33.93	26.11	35.75
14:30 ~15:30	門開關次數(次 hr ⁻¹)	120	119	95	114	123
	平均開門秒數(s 次 ⁻¹)	15.5	15.5	13.68	14.29	24.53
	風速(m s ⁻¹)	0.127	0.128	0.128	0.128	0.127
	整體換氣量(m ³ hr ⁻¹)	32.82	33.1	23.11	28.97	53.23
16:30 ~17:30	門開關次數(次 hr ⁻¹)	117	117	91	88	145
	平均開門秒數(s 次 ⁻¹)	13.38	13.38	13.36	12.74	13.93
	風速(m s ⁻¹)	0.127	0.128	0.128	0.128	0.127
	整體換氣量(m ³ hr ⁻¹)	27.62	27.62	21.62	19.94	35.64
	熱負荷 Q_4					
7:30~8:30	156.25	328.12	267.23	170.44	315.43	
9:30~10:30	296.77	374.10	303.91	178.73	368.39	
11:30~13:30	349.01	351.76	312.00	240.16	328.74	
14:30~15:30	301.80	304.17	212.53	266.41	489.56	
16:30~17:30	254.01	254.00	198.82	183.34	327.73	

*中午時段門開關次數為 11:30~12:30 及 12:30~13:30 兩小時開關次數之平均值

表 13. 空調總熱負荷及評估度數與實際度數相關性

計算結果	12/30(五)	1/5(四)	1/7(六)	1/8(日)	1/9(一)
7:30~8:30					
空調總熱負荷	17265.18	19071.67	17994.9	16683.6	19438.32
評估度數	20.08	22.18	20.92	19.40	22.60
實際度數	20	24	20	18	23
9:30~10:30					
空調總熱負荷	19495.45	21316.76	17920.01	16752.12	21874.02
評估度數	22.67	24.79	20.84	19.48	25.43
實際度數	21	25	19	18	25
11:30~13:30					
空調總熱負荷	22097.22	23923.21	19577.82	18422.76	24545.19
評估度數	51.39	55.64	45.53	42.84	57.08
實際度數	51	59	43	43	54
14:30~15:30					
空調總熱負荷	21274.18	21860.24	16575.46	17015.87	22791.66
評估度數	24.74	25.42	19.27	19.79	26.50
實際度數	24	25	21	21	25
16:30~17:30					
空調總熱負荷	19792.71	20108.85	17500.55	17539.95	19985.62
評估度數	23.01	23.38	20.35	20.40	23.24
實際度數	24	25	21	20	22
評估度數與實際度數 相關性(R²)	0.9944	0.9975	0.9833	0.9898	0.9954

*中午時段空調總熱負荷值為 11:30~12:30 及 12:30~13:30 兩小時之平均值，此時段評估度數為空調總熱負荷換算度數後×2

4.7 評估探討

4.7.1 室內氣流分佈與二氧化碳濃度空間分佈比較探討

比較圖至圖各時段二氧化碳濃度空間分佈圖及圖至圖各時段室內氣流分佈圖可看出室內各處二氧化碳濃度與風速之相關性。其中靠近門的區域因店門時常的開關常有風從外吹入，風速較高同時亦造成此處二氧化碳濃度較低；而透過室內氣流分佈圖亦可看出大致越靠近內部櫃檯或內部商品區風速會較低，二氧化碳濃度亦大致從靠近門處漸漸上升，至右上方商品區濃度最高，形成相似趨勢。此外，12月6日及12月7日室內氣流分佈圖顯示藍色低風速區域面積較他天大，而二氧化碳濃度空間分佈圖亦顯示出濃度較他天高，至下午 14:30~15:30 尚存在許多紅色高濃度區域，此現象亦說明二氧化碳濃度與風速之間存在相關性，當風速較低時，二氧化碳濃度相對較高。

4.7.2 人體舒適度模式值與實際調查值比較探討

比較表 19 問卷調查中受測者對物理環境因子感受程度及環境滿意度調查結果及表 21 與表 22 軟體模擬整體舒適度 PMV 與 PPD 值結果可看出人們對環境耐受度較高。問卷調查顯示人們對溫度感受度大部分為適中，而軟體模擬結果雖亦有評估適中，但大部分結果均顯示微暖狀態，可看出在此溫度、相對濕度及風速等物理條件下，軟體模擬結果較為嚴謹，但人們實際接受度仍然高。

4.7.3 綜合評估

本小節以 4.3 二氧化碳、4.4 人體舒適度、4.5 室內氣流分佈分析及 4.6 能源評估公式校正確認結果做一綜合性室內空氣品質評估及後續有需要進一步進行改善策略之原因探究。

二氧化碳部分，平日於早上 7:30 開始二氧化碳濃度即已出現超標趨勢，其中 D、E、F 點二氧化碳濃度累積情形最為嚴重，很少有低於標準之時；而假日則於早上 9:30 開始 D、E 及 F 點濃度累積出現超標趨勢。整體而言，濃度由早上 7:30 開始上升，至中午人潮最多時達到最高，下午緩慢下降，其與室內人數變化有相同趨勢。而各通風口型式、風速大小及其設置位置造成室內氣流呈現混合狀態，大致越靠近內部櫃檯或商品區風速會越低，店內擺設亦會造成某些區域出現風速較低的死域現象，而從出風口出來的風會直接回流入回風口，造成短路現象，此狀況亦有待進一步改善。比較 12 月 6 日 7:30~8:30 及 9:30~17:30 室內氣流分佈圖亦可看出店門常開狀態下靠近門口區域風速會較高，因此開門可做為改善策略之一，其有利帶動室內氣流流動。另外比較二氧化碳濃度空間分佈圖及室內氣流分佈圖亦可看出二氧化碳濃度及室內氣流分佈有相關性存在，風速越低時二氧化碳濃度將累積而越高。

人體舒適度方面，由第一次及第二次檢測結果可看出女生穿衣程度較男生高，軟體模擬結果亦顯示尤其女生於絕大多數檢測點 PMV 值超過 ASHRAE Standard 55 及 ISO7730 之規範，多數檢測點評估為微暖狀態，而 PPD 值則在可接受之 20 % 內；但問卷調查中男女對溫度感覺皆以適中為最多，氣流與濕度亦以剛好為最多。比較結果顯示軟體模擬結果較為嚴謹而人們實際接受度較高。

能源評估部分，空調熱負荷公式經過一方面校正人數加權係數與電器使用程度數值、一方面做多次觀測驗證，最後成功建立一能夠準確評估能源使用狀況之空調熱負荷公式，評估度數與實際度數相關性均高達 98 % 以上。後續可針對室內通風設備位置、風速及室內溫度部分做調整，透過準確的空調熱負荷評估公式配上人們對物理環境因子接受度高的特點，達到一能夠節省用電量亦可兼顧室內空氣品質及人體舒適度之改善策略。

4.8 改善策略

比較圖 11 至圖 13 室內二氧化碳濃度空間分佈圖及圖 14 至圖 16 室內氣流分佈圖可看出室內氣流與二氧化碳濃度分佈之相關性，因此本研究針對模擬各種室內氣流分佈來改善室內二氧化碳濃度分佈，其中改善模擬皆以 12 月 1 日之氣流場做表示，並與未改善前做比較探討。改善策略除了開門之外，亦模擬改變送風角度、增加及改變回風口位置並且結合以上兩種方法，而機械換氣可達到良好換氣率降低室內污染物濃度，因此本研究亦以垂直供氣與水平供氣兩方法進行改善效能探討。而場所能源使用部分模擬夏季情形，以調整室內溫度、改變室內外溫差為主，藉此減低空調使用率及空調熱負荷中溫差對建材與換氣量造成之影響，並模擬夏季不同室內溫度下之人體舒適度，最後總括探討不同室內溫度下場所能源使用與人體舒適度之情形並尋求一最佳平衡點。

4.8.1 室內氣流分佈

首先模擬改變送風角度，將出風口及風扇出風角度由原先 45 度轉為 30 度，結果如圖 18 所示，因角度向外擴展使氣流較能大範圍流通於室內，減少室內大部分死域空間；增加及改變回風口位置之策略則是將回風口增加至三個，且設至離出風口與風扇適當距離之位置，避免造成出風口出來的氣流直接流入回風口而未充分流通於室內之短路現象，模擬結果顯示如圖 19，死域改善部分雖未如改變送風角度效果明顯，但透過通風口側視圖可看出出風口氣流回流至回風口的短路現象大幅改善，氣流較能流通於室內其餘空間；之後結合以上兩種方法，模擬增加及改變回風口位置外，送風角度亦由 45 度轉為 30 度，結果如圖 20，結合以上兩種優點之下氣流更能充分流通於室內空間。

機械換氣分為垂直供氣與水平供氣兩種方法進行模擬，模擬時供氣及排氣速率均設為 1.5 m s^{-1} ，結果分別呈現於圖 21 及圖 22。垂直供氣時供氣扇設於空間兩旁天花板位置，而中間天花板位置設立排氣扇強制氣流排出，達到較佳室內換氣效果；水平供氣時供氣扇及排氣扇則分別設立於空間兩旁牆壁位置，藉由水平抽氣方式帶走室內污染物質。此兩種方式改善效果較佳，氣流流速較穩定且因室內擺設亦屬水平向，此兩種方式受室內擺設影響較小，室內死域面積大幅縮減，水平供氣方式於人體呼吸高度 170 cm 下之氣流相當穩定，唯氣流會繞過室內柱子兩側並於後方產生部分死域，但仍可藉由調整供氣及排氣速率改善。機械換氣方式雖達到較佳室內氣流分佈，但因附加風機設備耗費能源，且機械換氣會造成室內換氣量提升使空調熱負荷增加，因此應注意風機設備設定換氣量及室內溫度數值，不同換氣量及室內溫度下室內二氧化碳濃度及場所能源使用情形於本章「最佳化通風規範」進行探討。

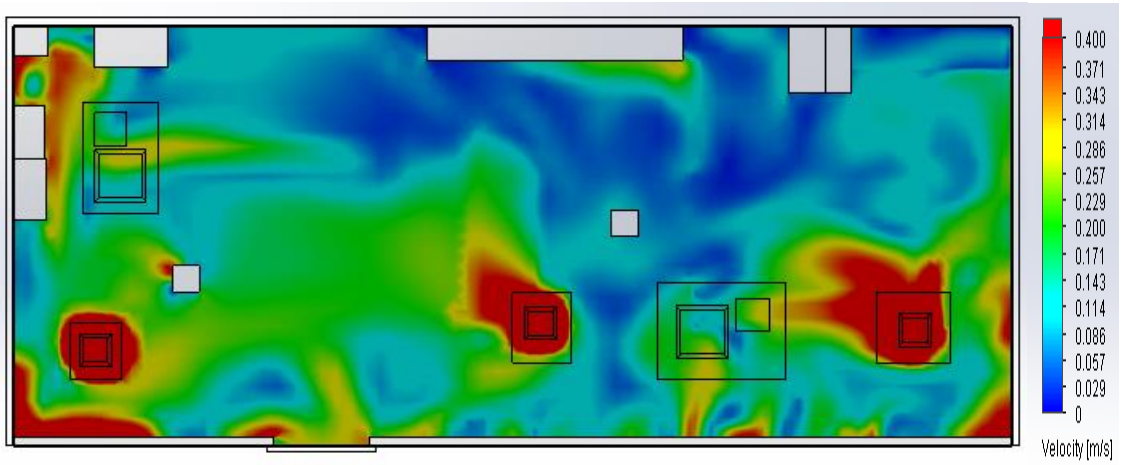


圖 17. 原 12 月 1 日室內氣流分佈圖(170cm 俯視圖)

(a)



(b)

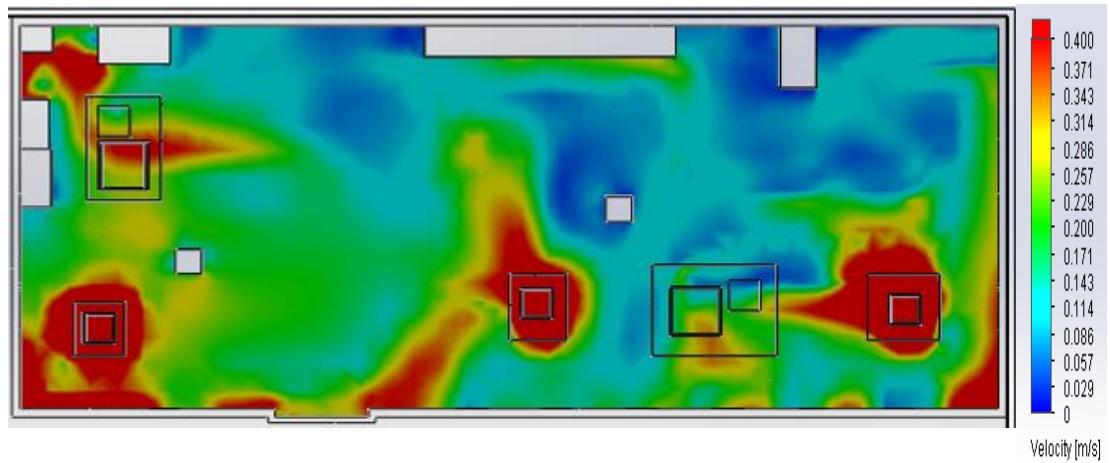


圖 18. 改變送風角度示意圖(a)及其室內氣流分佈圖(b:170cm 俯視圖)

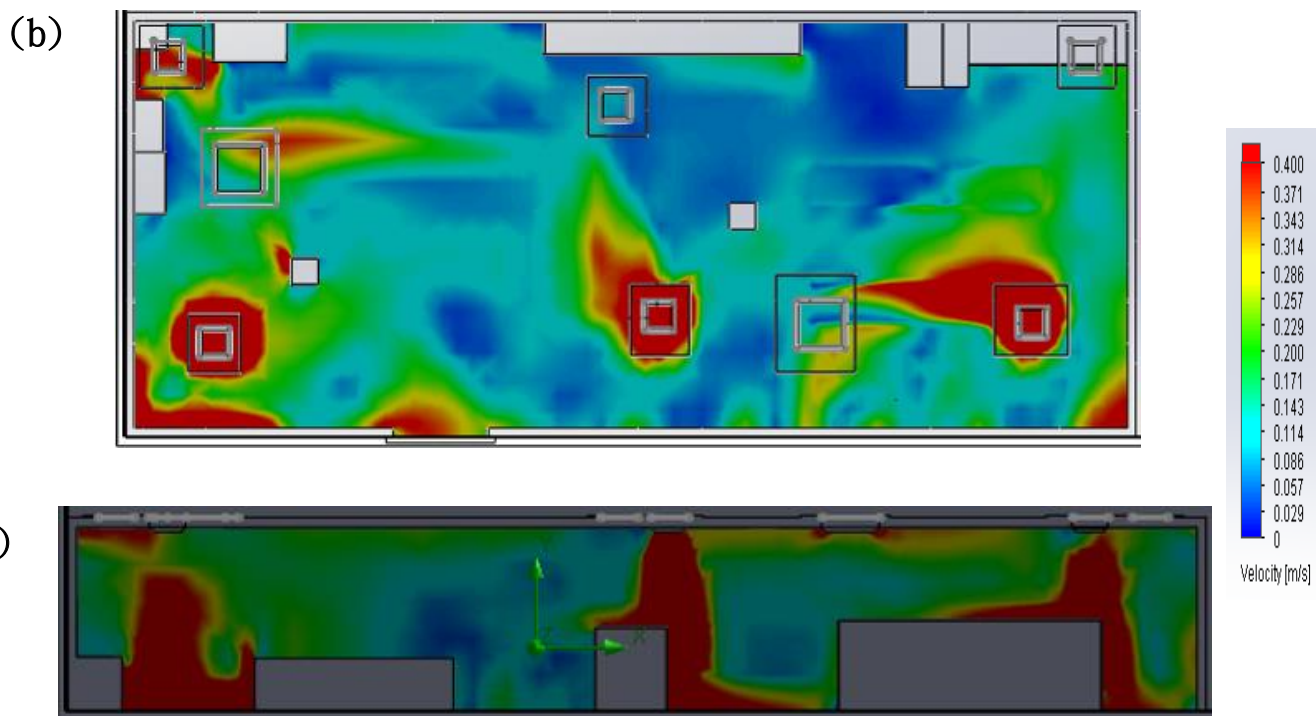
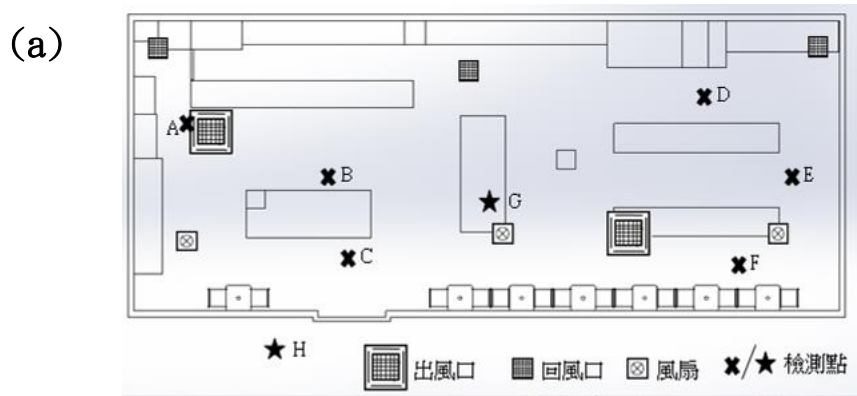


圖 19. 增加及改變回風口位置示意圖(a)及其室內氣流分佈圖
(b:170cm 俯視圖/c:通風口側視圖)

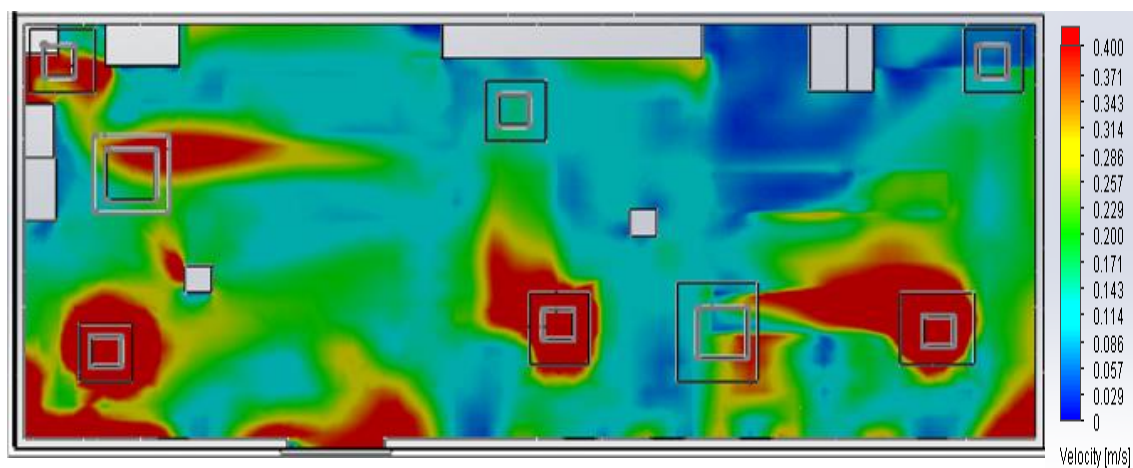


圖 20. 改變送風角度並增加及改變回風口位置室內氣流分佈圖(170cm 俯視圖)

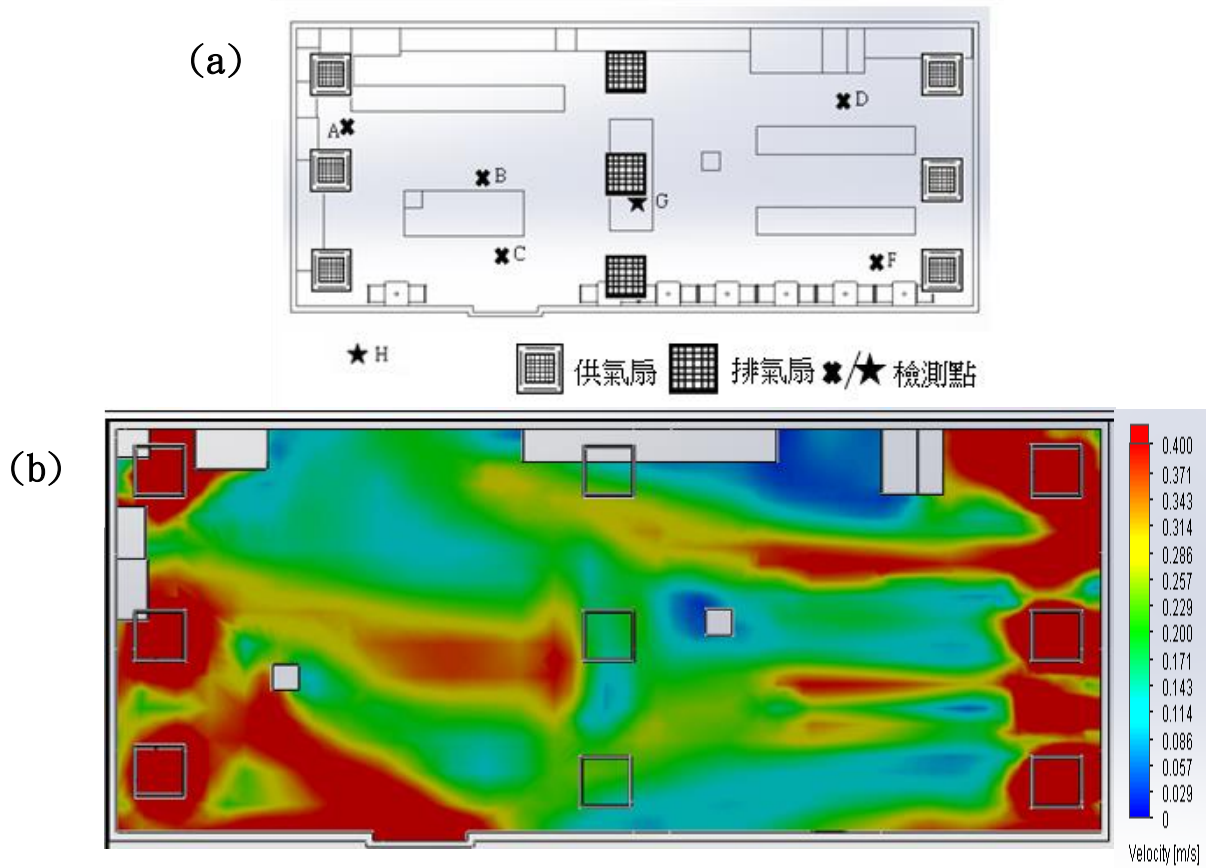


圖 21. 機械換氣(垂直供氣)示意圖(a)及其室內氣流分佈圖(b:170cm 俯視圖)

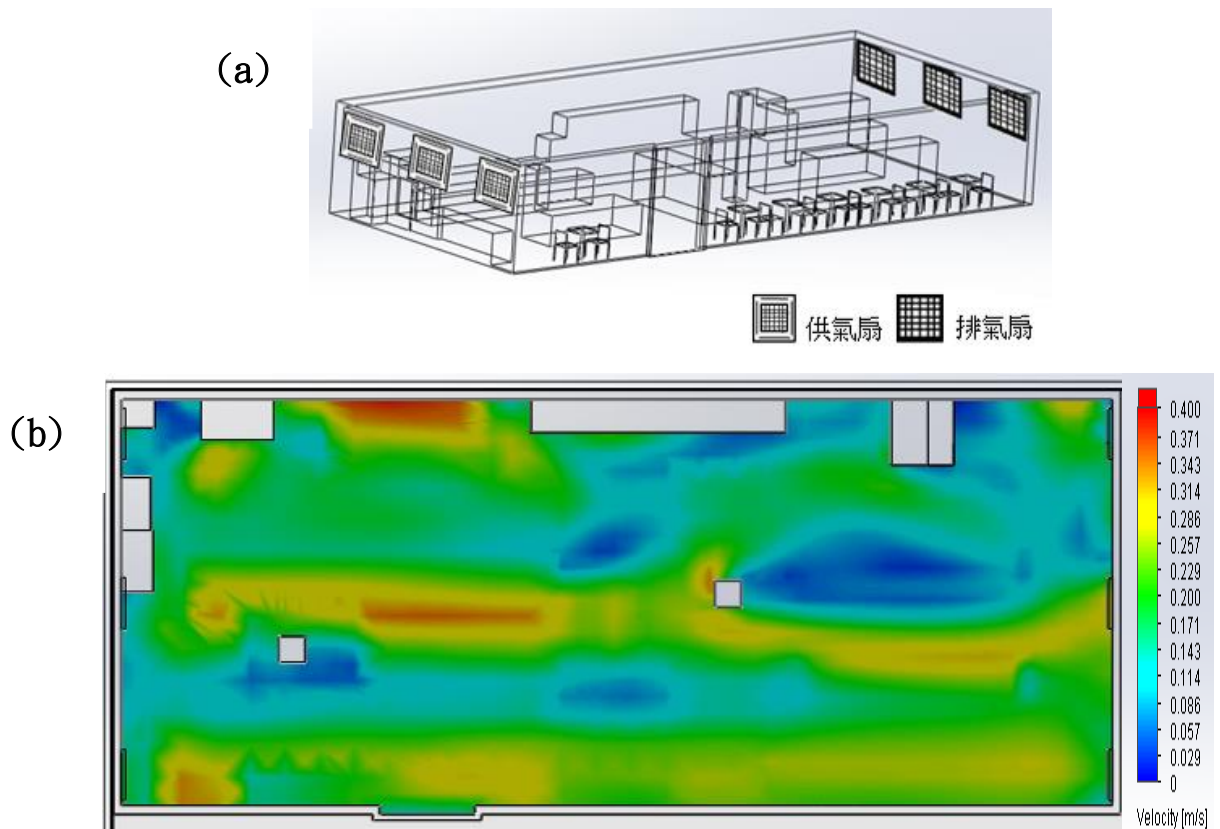


圖 22. 機械換氣(水平供氣)示意圖(a)及其室內氣流分佈圖(b:170cm 俯視圖)

4.8.2 能源使用及人體舒適度

因冬季室內外溫差不明顯，有時室內溫度甚至高於室外的情形下造成能源改善若從室內溫度控制部分著手較難進行，因此本研究對於能源使用及人體舒適度部分模擬夏季情形，以室內溫度及室內外溫差為變因觀察場所能源使用及人體舒適度情形。模擬場所用電度數時之參數條件取自空調熱負荷公式觀測時段觀測到之數值，而人體舒適度模擬參數包括室內外溫度、衣著熱阻均假設為夏季狀態，其餘參數條件則取自第一次環境因子檢測時段所量測到之數值。

模擬時將室外溫度設為 28 度，而室內溫度分別設為 25 度至 28 度，當室內溫度改變時，能源使用可由兩方面進行探討，分別為空調使用程度及室內外溫差對空調熱負荷中建材與換氣量造成之影響。當室內溫度每調高一度，約可節省空調用電 6%，此部分計算於空調熱負荷公式電器使用程度中冷氣機之使用功率，加上不同溫差造成不同建材及換氣量熱負荷，不同室內溫度下之能源使用情形整理於表 14，評估之各時段用電度數為空調熱負荷公式觀測天數之平均值。結果顯示當室內溫度越高(室內外溫差越低)則場所用電量越低，平均空調每調高 1 度，一小時用電度數將節省約 0.09 度，若假設夏季便利商店為一度電 6 元，整個夏季(五月至八月)用電度數預估可節省約 1555 元，若空調調高 3 度，預估整個夏季可節省約 4666 元。另外若於便利商店自動門上加裝空氣簾，一天約能節省 1.7% 空調用電(台灣綠色生產力基金會，小型商店節約能源方法與節能補助改善成功案例)。經過公式計算，雖一天約能節省 0.39 度電，預估整個夏季約可節省近 300 元，但其經濟效益不大且加裝後易阻礙室內污染物擴散造成濃度累積，因此並不建議實施。

人體舒適度部分亦透過軟體模擬探討夏季室外 28 度、室內 25 度至 28 度時的狀況，衣著熱阻假設為 0.5，結果顯示於表 15。室內 25 度時大部分檢測點為適中狀態，而溫度提升至 27、28 度後，每個點均顯示為微暖狀態，但基於先前人體舒適度模式分析結果判斷軟體模擬結果較為嚴謹，而人們實際接受度確實較高，因此假設雖室內溫度 27、28 度，但人們在夏季衣著熱阻、相似的活動程度及環境物理因子下仍可感到舒適滿意。能源使用及人體舒適度模擬結果顯示室內溫度在 25 度至 28 度下溫度提升可節省能源用量，而室外溫度、活動程度及環境物理因子等條件不超過模擬數值下，基本上人體舒適度亦可兼顧。

表 14. 模擬夏季不同室內溫度下之場所用電度數

室內溫度	各時段用電度數				
	7:30~8:30	9:30~10:30	11:30~13:30	14:30~15:30	16:30~17:30
25 度 (溫差 3 度)	21.08	22.69	50.59	23.19	22.12
26 度 (溫差 2 度)	20.99	22.59	50.41	23.09	22.03
27 度 (溫差 1 度)	20.91	22.51	50.23	23.01	21.95
28 度 (溫差 0 度)	20.81	22.42	50.06	22.92	21.85

表 15. 模擬夏季不同室內溫度下之人體舒適度

假設男女平均衣著熱阻=0.5，平均活動程度=68.68 w m⁻²

室內溫度	各檢測點人體舒適度						
	A	B	C	D	E	F	G
25 度 (溫差 3 度)	適中	微暖	微暖	適中	適中	適中	適中
26 度 (溫差 2 度)	適中	微暖	微暖	微暖	微暖	適中	微暖
27 度 (溫差 1 度)	微暖	微暖	微暖	微暖	微暖	微暖	微暖
28 度 (溫差 0 度)	微暖	微暖	微暖	微暖	微暖	微暖	微暖

4.9 最佳化通風規範

便利商店平均整體換氣量約 $31 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ 的情況下造成室內二氧化碳平均濃度超標，因此藉由調整換氣量改善室內空氣品質勢必需被探討，而不同室內溫度亦會影響室內二氧化碳濃度及能源使用情形，因此本小節針對不同換氣量及室內溫度下室內二氧化碳濃度及場所能源使用情形進行模擬評估並建立最佳化通風規範。

機械換氣中整體換氣量與場所空間大小、室內污染物產生量及進出量有關。此處假設室內供氣量及排氣量相同，為一穩壓狀態。公式如下：

$$V \times dC/dt = G + QC_{input} - QC$$

V :場所空間大小(m^3)

C :空間中污染物濃度(mg m^{-3})

G :室內污染物發散量(mg min^{-1})

Q :換氣量($\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$)

C_{input} :污染物進入室內濃度(mg m^{-3})

dC/dt :污染物濃度隨時間變化量

(勞工安全衛生研究所)

若換氣量固定情況下，室內污染物濃度公式可轉換如下：

$$C = C_{input} + G/Q$$

(勞工安全衛生研究所)

其中假設室外濃度(C_{input})為 400 ppm，每人每分鐘呼出二氧化碳 633 mg。藉由整體換氣量與污染物濃度評估公式及空調熱負荷公式可計算不同整體換氣量及室內溫度下室內二氧化碳濃度及能源使用情形，結果整理於表 16 及圖 23，其中小時用電度數為每天每時段之平均。由結果可看出整體換氣量上升可使二氧化碳濃度降低，空調熱負荷則會隨之增加，而若維持室內二氧化碳於一定濃度下，隨著室內溫度的上升則能源負擔越低。

便利商店整體換氣量及室內溫度可視不同需求做調整(假設夏季室溫 26 度，且未改善前換氣量僅 $31 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$)，得到之室內二氧化碳濃度與夏季一個月電費成長關係整理於表 17 及圖 24。若欲追求極為良好之室內空氣品質及人體舒適度，可將整體換氣量提升為 $211.05 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ ，室內溫度調整為 25 度，二氧化碳平均濃度將降至 500 ppm 且人體感到相當舒適，但夏季一個月電費相較未改善前將增加約 9893 元；若欲達省電且符合良好室內空氣品質成效，建議可將整體換氣量提升為 $46.9 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ ，室溫調整為 28 度，由表 15 可看出符合人體舒適範圍情形下可使二氧化碳平均濃度降至 850 ppm，且夏季一個月仍能省下約 259 元；而整體換氣量應至少提升至 $35.17 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ 尚能符合室內空氣品質法規標準，若將室溫設定為 28 度，評估每小時用電度數亦能節省 0.7%~0.8%，夏季(五至八月)亦能省下約 2700 至 3200 元電費。

表 16. 模擬不同換氣量及室內溫度下室內二氧化碳濃度及場所能源使用情形

小時換氣次數 (次 hr ⁻¹)	整體換氣量 (m ³ hr ⁻¹)	二氧化碳濃度 (ppm)	小時用電度數(度電)			
			室溫 25 度	室溫 26 度	室溫 27 度	室溫 28 度
0.09	31.00	1076	22.83	22.83	22.68	22.59
0.11	35.17	1000	22.93	22.86	22.73	22.64
0.12	38.37	950	22.96	22.87	22.77	22.67
0.13	42.21	900	23.02	22.91	22.81	22.72
0.14	46.90	850	23.07	22.97	22.87	22.77
0.16	52.80	800	23.15	23.04	22.94	22.84
0.18	60.30	750	23.24	23.13	23.03	22.92
0.22	70.35	700	23.36	23.25	23.14	23.04
0.27	88.42	650	23.59	23.47	23.36	23.25
0.32	105.53	600	23.80	23.68	23.56	23.44
0.43	140.70	550	24.24	24.10	23.97	23.84
0.65	211.05	500	25.12	24.96	24.80	24.65
1.29	422.00	450	27.74	27.51	27.28	27.06

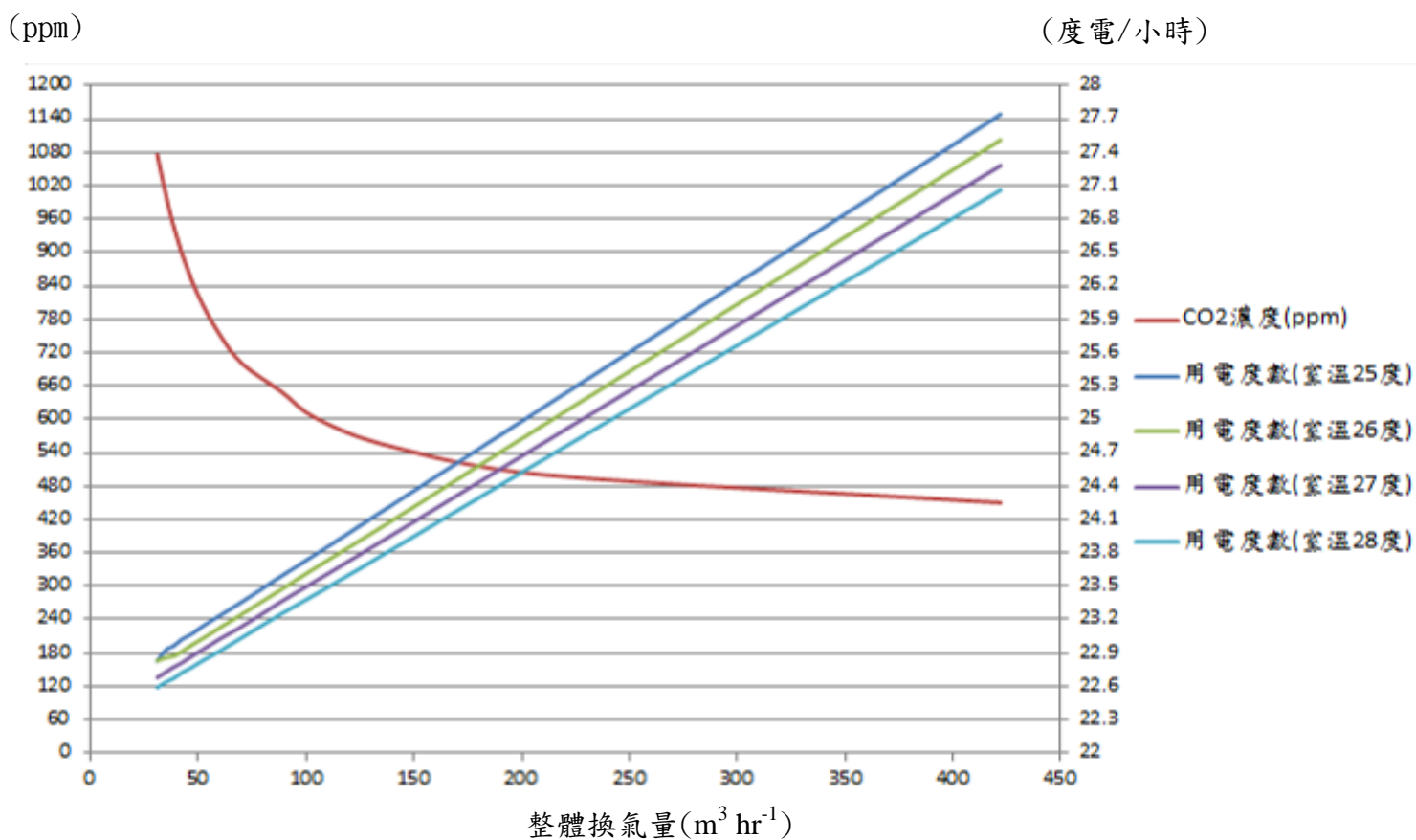


圖 23. 整體換氣量、室內溫度、室內二氧化碳濃度及能源使用情形關係圖

表 17. 室內二氧化碳濃度與夏季一個月電費成長表
 (相較於未改善前整體換氣量 $31 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$, 夏季室溫 26 度下)

二氧化碳濃度 (ppm)	夏季一個月電費成長額(元)			
	室溫 25 度	室溫 26 度	室溫 27 度	室溫 28 度
1000	432	130	-432	-821
950	562	173	-259	-691
900	821	346	-86	-475
850	1037	605	173	-259
800	1382	907	475	43
750	1771	1296	864	389
700	2290	1814	1339	907
650	3283	2765	2290	1814
600	4190	3672	3154	2635
550	6091	5486	4925	4363
500	9893	9202	8510	7862
450	21211	20218	19224	18274

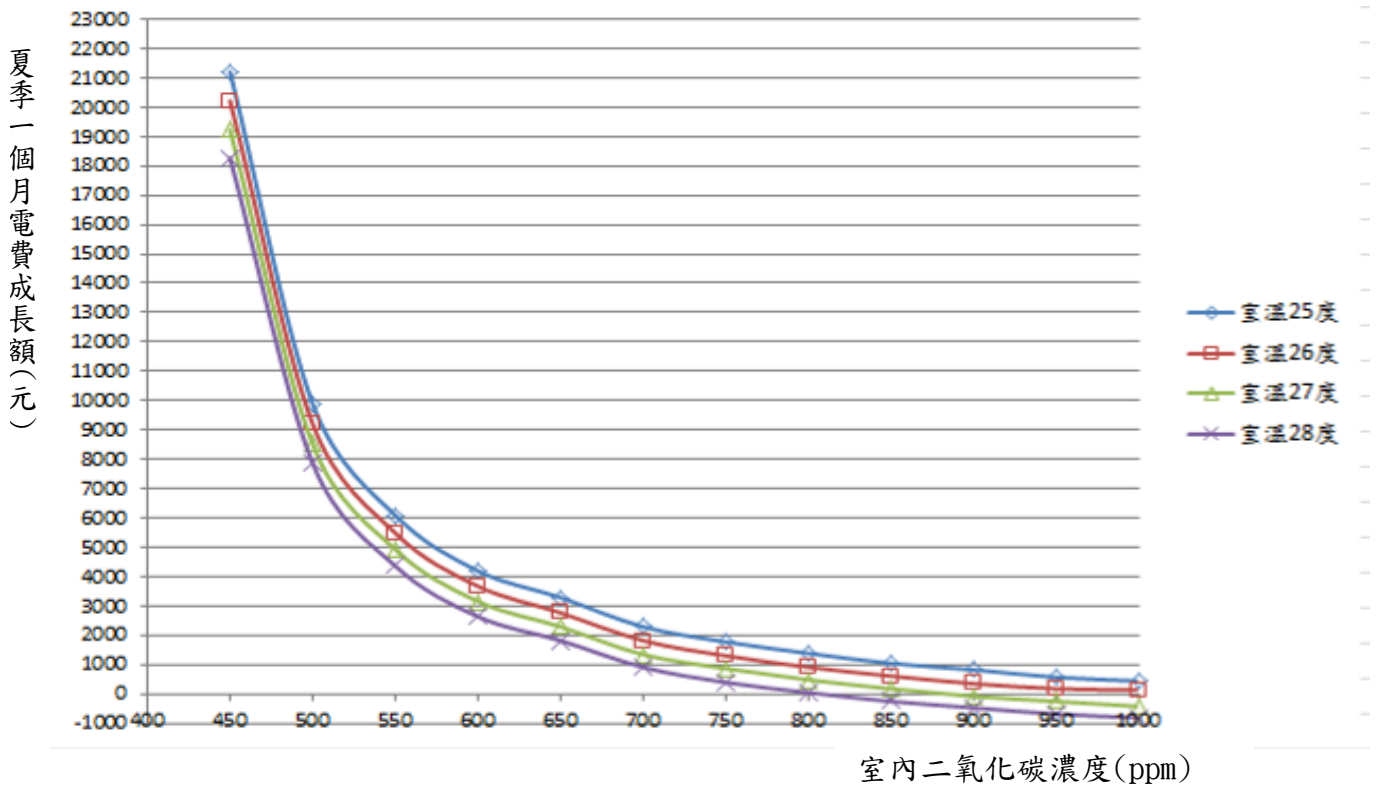


圖 24. 室內二氧化碳濃度與夏季一個月電費成長關係圖

4.10 研究限制

1. 本研究僅有 8 天環境因子檢測數據，無法完整呈現校園內便利商店不同季節之環境物理及化學因子狀況。
2. 空調熱負荷公式校正時間為冬季，而其他季節之參數條件可能不盡相同，公式運用於不同季節時需再進行驗證。
3. 模擬改善後暫無時間做驗證，包括室內氣流分佈、場所用電量、人體舒適度包括夏季衣著熱阻及活動程度等等。
4. 第一次環境因子檢測時段與空調熱負荷參數觀測時段不同，造成後續模擬比較夏季不同室內溫度下人體舒適度與場所用電度數時較缺乏適當性。
5. 不同季節之溫度差異可能造成室內相對濕度、風速及換氣量等參數數值變動，而模擬夏季不同室內溫度之場所用電度數與人體舒適度時因研究時間上之限制，僅能代入原先研究期間量測到之數值，因此較無法準確預估。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究自 2016 年 12 月 1 日至 12 月 3 日及 2016 年 12 月 6 日至 12 月 10 日進行兩次便利商店環境物理及化學因子之檢測，探討項目分為室內氣流分佈、二氧化碳濃度空間分佈及人體舒適度，而 2016 年 12 月 30 日、2017 年 1 月 5 日及 1 月 7 日至 1 月 9 日進行能源評估調查，後續亦探討二氧化碳濃度空間分佈與室內氣流分佈及人體舒適度模式分析與實際調查值之間差異性，並針對此間便利商店室內空氣品質進行整合性評估，最後研擬改善室內氣流分佈及室內二氧化碳濃度並可兼顧能源使用情形及人體舒適度之辦法。本研究結論條列式呈述如下：

- (1) 二氧化碳濃度量測結果顯示，平日於早上 7:30 開始二氧化碳濃度即已出現超標趨勢，而假日則於早上 9:30 開始 D、E 及 F 點濃度累積出現超標趨勢。整體而言，濃度由早上 7:30 開始上升，至中午人潮最多時達到最高，下午緩慢下降，其時間趨勢圖與各時段人數變化圖可看出一相關性。而二氧化碳濃度空間分佈圖中可看出平日二氧化碳濃度明顯高於假日，其中又以中午時段最為明顯，靠近門口區域二氧化碳濃度相對較低，商品架周圍檢測點濃度相對較高，此濃度分佈趨勢與室內氣流分佈大致相同，其分佈狀態與各通風口型式、風速大小及其設置位置皆有關，另外出風口與回風口因位置設置過近易造成短路現象有待改善。
- (2) 人體舒適度問卷調查顯示人們對溫度感覺以適中為最多，對氣流及濕度感覺亦皆以剛好為最多，但模式分析結果顯示雖兩次檢測中各檢測點 PPD 值皆在可接受之 20 % 內，但絕大多數檢測點 PMV 值超過 ASHARAE Standard 55 及 ISO7730 之規範。結果顯示人體舒適度軟體模擬較嚴謹，實際人們接受度較高。
- (3) 改善室內氣流方法中以機械換氣效果最為顯著，氣流流速穩定且較不受室內擺設影響，死域部分大幅減少，但比起其餘改善方式經濟成本較高；其餘方法如改變送風角度結合增加及改變回風口位置亦可達到改善成效，結合兩種優點下氣流亦較能充分流通於室內空間。而能源使用及人體舒適度模擬夏季狀況，顯示室內溫度在 25 度至 28 度下溫度提升可節省能源用量，而人們若在夏季衣著熱阻、與研究檢測期間相似的活動程度及環境物理因子下基本上人體舒適度應屬於人們可接受範圍。
- (4) 機械換氣應考量換氣量及室內溫度之設定，並可根據室內空氣品質、人體舒適度及能源使用情形之需求做調整。整體換氣量上升可使二氧化碳濃度降低，空調熱負荷則會隨之增加，而若維持室內二氧化碳於一定濃度下，隨著室內溫度的上升則能源負擔降低。建議場所整體換氣量至少應提升至 $35.17 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ ，而室內溫度控制於 27 至 28 度，不但可節省能源用量亦能使室內二氧化碳平均濃度降至法規標準值，兼顧良好室內空氣品質及人體舒適度。

5.2 建議

1. 未來可於不同季節做檢測並觀察二氧化碳濃度與室內外溫差等參數之間相關性並做更完整評估。
2. 未來可於不同季節做不同室內外溫差下之空調熱負荷公式驗證。
3. 未來可針對室內通風換氣設備進行實際改善並驗證模擬改善成效。
4. 未來模擬不同季節之場所用電度數及人體舒適度時應考量不同溫度對相對濕度、風速及換氣量等參數之影響並納入模擬探討。
5. 未來可針對不同室內通風速率做室內氣流分佈、人體舒適度及場所能源使用之評估探討並納入改善建議。

參考文獻

- ASHRAE Std 62.1 – 2007. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- ASHRAE (2004) ASHRAE Standard 55. Thermal Environment Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, Atlanta.
- ASHRAE 1997 HVAC Fundamentals Handbook.
- Berg-Munch B., Clausen G., Fanger P.O. (1986) Ventilation requirements for the control of body odor in spaces occupied by women. *Environment International*. 12(1-4). 195-199.
- Bhuvaneshwari E., Anandharamakrishnan C. (2014) Heat transfer analysis of pasteurization of bottled beer in a tunnel pasteurizer using computational fluid dynamics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 23. 156-163.
- CEN 1998 Report CR1752, Ventilation for buildings – Design Criteria for the indoor environment, European committee for standardization.
- Cain W.S., Gent J., Catalanotto F.A., Goodspeed R.B. (1983) Clinical evaluation of olfaction. *American Journal of Otolaryngology*. 4(4). 252-256.
- Chao C.Y.H., Hu J.S. (2004) Development of a dual-mode demand control ventilation strategy for indoor air quality control and energy saving. *Building & Environment*. 39. 385-397.
- Chung K.C., Hsu S.P. (2001) Effect of ventilation pattern on room air and contaminant distribution. *Building & Environment*. 36. 989-998.
- Cheong K.W., Chong K.Y. (2001) Development and application of an indoor air quality audit to an air-conditioned building in Singapore. *Building & Environment*. 36. 181-188.
- Dear R.J., Brager G.S. (2002) Thermal Comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE standard 55. *Energy and Buildings*. 34(6). 549-561.
- Derek J. Clements-Croome. (2008) Work performance, productivity and indoor air. *SJWEH Supplements*. 4. 69-78.
- Hesaraki A., Myhren J.A., Holmberg S. (2015) Influence of different ventilation levels on indoor air quality and energy savings: A case study of a single-family house. *Sustainable Cities and Society*. 19. 165-172.
- ISO 7730 (2005) Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices And Local Thermal Comfort Criteria, International Standards Organization, Geneva.
- Laverge J., Bossche N.V.D., Heijmans N., Janssens A. (2011) Energy saving potential and repercussions on indoor air quality of demand controlled residential ventilation strategies. *Building and Environment*. 46. 1497-1503.
- Lin Z., Yao T., Chow T.T., Fong K.F., Chan L.S. (2011) Performance evaluation and

- design guidelines for stratum ventilation. *Building and Environment*. 46. 2267-2279.
- Olesen B.W. (2004)International standards for the indoor environment. *Indoor Air 14 (Suppl 7)*. 18-26.
- Rosbach J.T., Vonk M., Duijm F., Ginkel J.T., Gehring U., Brunekreef B. (2013)A ventilation intervention study in classrooms to improve indoor air quality: the FRESH study. *Environment Health*. 12. 110.
- Song J., Meng X. (2015)The improvement of ventilation design in school buildings using CFD simulation. *Procedia Engineering*. 121. 1475-1481.
- Leivo V., Prasauskas T., Martuzevicius D., Kalamees T., Kuusk K., Haverinen-Shaughnessy U. (2016)Effects of energy retrofits on indoor air quality in three Northern European countries. *Energy Procedia*. 96. 253-259.
- Wang L., Zhang L., Lian G. (2015)A CFD simulation of 3D air flow and temperature variation in refrigeration cabinet. *Procedia Engineering*. 102. 1599-1611.
- Yoshino H., Yoshino Y. (2006) Indoor thermal environment and energy saving for urban residential buildings in China. *Energy and Buildings*. 38. 1308-1319.
- Yang L., Ye M., He B.J. (2014)CFD simulation research on residential indoor air quality. *Science and The Total Environment*. 472. 1137-1144.
- 美國環保署I-BEAM。
- 行政院 環境保護署，中華民國 100 年 11 月 23 日總統華總一義字第 10000259721 號令公佈。
- 社團法人台灣病態建築診斷協會，認識病態建築，2013。
- 李彥頤，2004，辦公室空間室內空氣品質管制策略之研究，國立成功大學 建築研究所 博士論文。
- 蔡益城，2014，廠房之空調熱負荷計算與模擬分析，國立高雄應用科技大學模具工程系碩士班。
- 劉鎔錚，蔡尤溪，2011，台灣典型建築結構空調熱負荷之RTS法週期反應係數及輻射時間係數研究，冷凍空調與能源科技雜誌，70期，第52頁~第60頁。
- 台灣環訓所，2013，10205期室內空氣品質維護管理專責人員訓練教材。
- 李聯雄，黃福全，2012，結合電子通訊技術評估勞工危害之管理研究，勞工安全衛生研究所 勞工安全衛生研究報告。
- 鄭忠豪，2014，便利商店室內空氣品質與人體舒適度影響因子及改善策略研究，中山醫學大學 公共衛生研究所 碩士論文。
- 龔聖祐，張嘉智，陳成裕，2010，談室內空氣品質，勞工安全衛生簡訊第103期。
- 陳振誠，2012，室內建材逸散污染物及通風換氣移除效率之研究，國立成功大學 建築學系 學位論文。
- 楊榮勳，2012，不同空調送風方式對於公共空間熱舒適度影響之模擬研究，國立中央大學 機械工程學系 碩士論文。
- 經濟部能源局，節能減碳-生活篇，哇~美妙的26°C，2013，第25頁。

經濟部能源委員會，便利商店節能技術手冊第五頁。
ZCB零碳建築期刊，零碳天地體驗，被動式設計，2012。
行政院 環境保護署 環境檢驗所檢測方法，2016。
李居芳，冷凍空調實務(含乙級學術科解析)，冷凍空調熱負荷估算，2008。
百貨商場類建築物節約能源設計技術規範，成功大學建築研究所整理。
台灣綠色生產力基金會，小型商店節約能源方法與節能補助改善成功案例。
勞工安全衛生研究所，整體換氣技術，陳友剛彙整。

附錄

附錄一. 建材熱傳導係數

分類	材料名稱	密度 ρ (kg m^{-3})	熱導係數 k [$\text{W m}^{-1} \text{k}^{-1}$]
金屬	鋼材、鍍鋅鋼板	7860	45
	鋁板、鋁合金板	2700	210
	銅板	8960	375
	不銹鋼板	7400	25
水泥	泡沫混凝土 (ALC)	600	0.17
	輕質混凝土	1600	0.8
	普通混凝土	2200	1.4
	預鑄混凝土 (PC)	2400	1.5
	水泥砂漿	2000	1.5
	輕型空心磚 (實心)	1380	0.51
窯業製品	磁磚、琺瑯披覆	2400	1.3
	紅磚	1650	0.8
	耐火磚	1950	1.1
	陶瓦	2000	1.0
	平板玻璃 (含染色玻璃、毛玻璃)	2540	1.0
土、石	大理石	2670	2.8
	花崗石、岩石	2810	3.5
	土壤 (黏土質)	1860	1.5
	土壤 (砂質)	1560	0.93
	土壤 (壤土質)	1450	1.05
	土壤 (火山灰質)	1070	0.47
	砂粒	1850	0.62
	泥壁	1300	0.8
瀝青、塑膠、紙	合成樹脂板、硬塑膠	1000-1500	0.19
	玻璃纖維強化膠 (FRP)	1600	0.26
	柏油	2230	0.73
	柏油磚	1800	0.33
	油毛氈	1020	0.11
	壁紙	550	0.15
	防潮紙類、厚紙板	700	0.21
纖維材	礦棉	300	0.046
	纖維	200	0.044
	玻璃棉	200	0.042

	玻璃棉保溫板	10-96	0.04
	岩棉保溫材	40-160	0.042
	噴岩棉	1200	0.051
	岩棉吸音板	200-400	0.064
木質纖維	軟質纖維板	200-400	0.097
	半硬質纖維板	400-800	0.13
	硬質纖維板	1050	0.22
	塑合板	400-700	0.17
	木絲水泥板(鑽泥板)	430-800	0.18
	木片水泥板	670-1080	0.19
木材	杉、檜木(輕量材)	330	0.13
	松、橡木(中量材)	480	0.17
	柳安、柚木、紅木、櫟木 (重量材)	557	0.2
	合板	550	0.18
	鋸木屑	200	0.093
	絲狀木屑	130	0.088
	炭化軟木板	240	0.051
石膏、水泥 二次製品	石膏	1950	0.8
	石膏板	710-1110	0.17
	纖維板、水泥瓦	1500	1.20
	纖維水泥矽酸鈣板	600-1200	0.15
	纖維水泥珍珠岩板	400-1000	0.12
	泡沫水泥板	1100	0.24
	半硬質碳酸鎂板	450	0.12
	硬質碳酸鎂板	850	0.21
	岩棉板	200-400	0.37
	木粒片水泥板	430-800	0.35
	矽酸鈣板	600-1200	0.31
	纖維水泥板	430-800	0.45
合成樹脂 板	成形聚苯乙烯(低密度保 利龍, PS板)	16-30	0.040
	發泡聚苯乙烯(高密度保 利龍, PS板)	28-40	0.037
	硬質聚烏保溫板(PU板)	25-50	0.028
	噴硬質聚烏板(氨基甲酸 乙酯)	25-50	0.029
	軟質聚烏板(PU)	20-40	0.050
	聚乙烯發泡板(PE)	30-70	0.038

	硬質塑鋼板	30-70	0.036
	聚氯乙稀發泡板(PVC)	30-70	0.039
	賽路路(硝酸纖維板)	30	0.044
其他	砂土	455	0.094
	煤渣	500	0.4
	輕石	550	0.1
	地毯、毛織佈	400	0.11
	鋁箔	220	0.67
	水(靜止)	998	0.60
	乾草		0.07

(摘錄自百貨商場類建築物節約能源設計技術規範-成功大學建築研究所整理)

附錄二. 普通玻璃之輻射量 U_{R1} ($\text{kcal h}^{-1} \text{m}^{-2}$)

時刻	水平	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W
11	621.4	37.4	37.4	37.4	116.0	185.7	127.4	37.4	37.4
12	635.5	37.4	37.4	37.4	37.4	87.9	138.0	87.9	37.4
13	621.4	37.4	37.7	37.4	37.4	37.4	127.4	185.7	116.0

(摘錄自冷凍空調實務，李居芳編著)

附錄三. 普通玻璃之對流熱量 U_{R2} ($\text{kcal h}^{-1} \text{m}^{-2}$)

時刻	水平	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W
11	44.2	34.5	34.5	34.5	37.8	38.8	37.84	34.5	34.5
12	46.7	36.7	36.7	36.7	36.7	39.4	40.50	39.4	36.7
13	47.6	37.9	37.9	37.9	37.9	37.9	41.3	42.2	41.2

(摘錄自冷凍空調實務，李居芳編著)

附錄四. 不同活動狀態下之人員顯熱及潛熱值(室溫 26 度下)

活動量	適用場所	顯熱	潛熱
靜坐	劇場	41	29
輕步行	百貨公司	42	47
步行作業	工廠	64	136
重勞動	工廠	123	177

(摘錄自冷凍空調實務，李居芳編著)

附錄五. 便利商店各式電器使用功率

電器	功率	電器	功率
熱狗機	730W	日光燈	20W
鬆餅機	700W	電視機	140W
茶葉蛋鍋	800W	冷氣機	900W
咖啡機	1250W	冰箱	130W
冰淇淋機	900W	印表機	12W
電烤箱	800W	冰櫃	2200W
開飲機	800W	微波爐	1200W
保溫櫃	850W	關東煮機	1500W

(電器用電量調查說明)

附錄六. 電器功率轉換發熱量係數

功率(kW)	α 係數
0~0.4	1kW=1400 kcal hr ⁻¹
0.75~3.7	1kW=1100 kcal hr ⁻¹
5.5~15	1kW=1000 kcal hr ⁻¹
15 以上	1kW=860 kcal hr ⁻¹

(冷凍空調實務，李居芳編著)

附錄七. 各場所室內空調熱負荷量

使用場所	每坪所需冷凍能力 (kcal hr ⁻¹)
住宅、公寓	400~500
商店、辦公室	500~600
教室、百貨公司	600~700
歌廳、戲院	700~800
飯店、餐廳	800~900
工廠	900~1000

(冷凍空調實務，李居芳編著)

附錄八. 各種活動狀態下之能量代謝當量

活動狀態	met	W m ⁻²
坐著	1	58.2
站著	1.2	69.8
慢走	2	116.4
快走	3	174.6