自然通風與室內熱環境之實證研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 104 年 12 月

（本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見）

自然通風與室內熱環境之實證研究

內政部建築研究所委託研究報告　104年度

PG10401-0539

自然通風與室內熱環境之實證研究

受 委 託 者：國立聯合大學
研究主持人：黃瑞隆
協同主持人：黃國倉
研 究 助 理：翁堉騰、莊鎧韓、劉承翰

內政部建築研究所委託研究報告
中華民國 104 年 12 月

（本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見）

目次

表次 III
圖次 V
摘要 IX
Abstract XII
第一章　緒論 1
　第一節　研究緣起與背景 1
　第二節　本研究計畫之重要性 3
　第三節　蒐集之資料文獻分析 4
第二章　研究方法 9
　第一節　自然通風利用潛力評估與研究步驟 9
　第二節　自然通風利用空間之長期實測 10
　第三節　熱適應理論與原理 11
　第四節　自然通風利用對空調節能抵減效果 12
　第五節　自然通風潛力計算方式 14
　第六節　空調使用時間判斷依據 15
　第七節　溫濕度測量儀器與標準安裝作業 17
第三章　教室空間實測樣本說明 19
　第一節　學校案例一基本資料說明(台北建國中學) 21
　第二節　學校案例二基本資料說明(台北中山女中) 24
　第三節　學校案例三基本資料說明(新北光仁中學) 27
　第四節　學校案例四基本資料說明(新北板橋高中) 30
　第五節　學校案例五基本資料說明(高雄前峰國中) 33
第四章　教室類實測結果分析 37
　第一節　複合式通風教室 37
　第二節　自然通風教室 41
第五章　住宅空間實測樣本說明 43

第一節　實測住宅各案建築平面.....45
第六章　住宅空間實測結果分析.....55
第一節　R01 宅建築平面介紹.....55
第二節　自然通風潛力評估方法(以 R01 宅為例).....56
第三節　自然通風潛力對空調使用時間之影響.....57
第四節　住宅類實測結果分析.....61
第七章　結論與建議.....67
第一節　結論.....67
第二節　建議.....68
附錄一　期初審查意見及期中報告回應一覽表.....71
附錄二　期中審查意見及期末報告回應一覽表.....73
附錄三　期末審查意見及成果報告回應一覽表.....75
附錄四　第一次專家學者座談會會議紀錄.....77
參考書目.....79

表次

表 2-1 熱舒適情境與開啟空調時間逐時判斷依據 16
表 2-2 HOBO Pro v2 溫溼度計儀器規格 18
表 3-1 四所施測學校之基本資料 20
表 3-2 各學校案例施測日期 20
表 3-3 各校施行之空調使用管理方案 20
表 3-4 台北市立建國高級中學 108 教室基本資料 22
表 3-5 台北市立中山女中三勤教室基本資料 25
表 3-6 新北市私立光仁中學高一義班教室基本資料 28
表 3-7 新北市立板橋高級中學 217 班教室基本資料 31
表 3-8 高雄市立前峰國中 206 班教室基本資料 34
表 4-1 四所複合式空調教室之空調折減效果分析 40
表 4-2 前峰國中教室基本資料與九月份過熱程度評估 42
表 5-1 住宅 17 個實測案例基本資料 44
表 6-1 各住宅案例施測日期 55
表 6-2 R01 宅一樓平面基本資料 56
表 6-3 住宅案例實測結果 61

圖次

圖 1-1 自然通風面積包括臨窗通風與對流通風之面積 3
圖 1-2 自然通風面積之計算 4
圖 1-3 一棟位於義大利住宅雙拼住宅的自然通風空調節能模擬.....5
圖 1-4 一棟位於丹麥之自然通風住宅在各夏季月之節能量.....5
圖 1-5 美國加州不同氣候區下應用自然通風之熱舒適與節能潛力.....6
圖 1-6 臺灣學生的熱舒適範圍皆較 ASHRAE 所定義的熱舒適範圍來得寬 7
圖 2-1 研究流程.....10
圖 2-2 自然通風與空調節能之關係 14
圖 2-3 鄰窗通風面積認定原則 15
圖 2-4 對流通風面積認定原則 15
圖 2-5 ASHRAE Standard55 熱適應模型所建議之舒適範圍 16
圖 3-1 四所施測學校於台北之地理分佈 19
圖 3-2 台北市立建國高級中學空照圖 21
圖 3-3 台北市立建國高級中學校園配置圖 21
圖 3-4 建國中學 108 班教室平面圖與測點位置.....22
圖 3-5 建國中學 108 班教室內測點安裝位置.....23
圖 3-6 建國中學 108 班教室外測點安裝位置.....23
圖 3-7 台北市立中山女中校園空照圖 24
圖 3-8 台北市立中山女中校園配置圖 24
圖 3-9 中山女中實測教室平面與測點位置.....25
圖 3-10 中山女中實測教室內測點位置實拍 26
圖 3-11 中山女中實測教室外測點位置實拍 26
圖 3-12 新北市私立光仁中學校園空照圖 27
圖 3-13 新北市私立光仁中學校園教室配置圖 27

圖 3-14 光仁高中實測教室平面與測點位置 28
圖 3-15 光仁高中實測教室內測點位置 29
圖 3-16 光仁高中實測教室外測點位置 29
圖 3-17 新北市立板橋高級中學校園空照圖 30
圖 3-18 新北市立板橋高級中學校教室配置圖 30
圖 3-19 板橋高中實測教室平面與測點位置 31
圖 3-20 板橋高中實測教室內測點位置 32
圖 3-21 板橋高中實測教室外測點位置 32
圖 3-22 高雄市立前峰國中校園空照圖 33
圖 3-23 高雄岡山前峰國中教室配置圖 34
圖 3-24 前峰國中 206 班教室平面 35
圖 3-25 前峰國中教室實測位置 35
圖 3-26 前峰國中戶外測點位置 36
圖 4-1 建國中學 108 班教室內外溫度比較及空調時間判斷.....37
圖 4-2 中山女中高三勤班教室內外溫度比較及空調時間判斷.....37
圖 4-3 光仁中學高一義班教室內外溫度比較及空調時間判斷.....38
圖 4-4 板橋高中 207 班教室內外溫度比較及空調時間判斷.....38
圖 4-5 各校教室空調使用時數比較 39
圖 4-6 前峰國中九月份教室室溫與戶外溫度歷線圖 42
圖 5-1 台中住宅實測樣本地理分佈 44
圖 5-2 R01 一樓建築平面圖.....45
圖 5-3 R01 二樓建築平面圖.....46
圖 5-4 R02 建築平面圖.....46
圖 5-5 R03 建築平面圖.....47
圖 5-6 R04 建築平面圖(a)二樓(b)三樓.....47
圖 5-7 R05 建築平面圖.....48
圖 5-8 R06 建築平面圖.....48

圖 5-9 R07 建築平面圖.....49
圖 5-10 R08 建築平面圖(左)1F(右)2F.....49
圖 5-11 R09 建築平面圖(a)二樓(b)四樓.....50
圖 5-12 R10 建築平面圖.....50
圖 5-13 R11 建築平面圖(左)1F(右)2F.....51
圖 5-14 R12 建築平面圖.....51
圖 5-15 R13 建築平面圖.....51
圖 5-16 R14 建築平面圖(a)一樓(b)三樓.....52
圖 5-17 R15 建築平面圖.....52
圖 5-18 R16 建築平面圖(a)一樓(b)二樓.....53
圖 5-19 R17 建築平面圖.....53
圖 6-1 R01 宅二樓建築平面圖.....57
圖 6-2 R01 宅二樓建築平面圖.....57
圖 6-3 R01 宅客廳溫度趨勢圖.....58
圖 6-4 R01 宅臥室溫度趨勢圖.....58
圖 6-5 R01 客廳空間實測期間之空調啟停狀態.....59
圖 6-6 R01 臥室空間實測期間之空調啟停狀態.....59
圖 6-7 R01 宅空調使用時數.....60
圖 6-8 R01 宅理論上與實際上 CDH_{26} 分析.....61
圖 6-9 各住宅客廳案例理論與實際空調使用時數比較.....64
圖 6-10 各住宅臥室案例理論與實際空調使用時數比較.....64
圖 6-11 各案住宅之理論與實際空調耗能量.....65
圖 6-12 理論與法規 VAC 之比較(住宿類).....65
圖 6-13 實際空調抵減量(VAC)與可自然通風面積率(VP)之關係.....66

摘要

關鍵詞：自然通風住宅、自然通風學校、空調節能效益

一、研究緣起

自然通風之應用是被動式建築設計重要之節能技術之一，透過自然通風之過程以移除室內之熱負荷量以達到節能之效果。世界上許多地區之研究亦證實了自然通風應用下之建築具有一定的空調節能效果。然而，自然通風之應用與當地外界氣候密切相關，有必要針對我國亞熱帶熱濕氣候條件下進行其節能效益之探討。我國的綠建築規範自 2015 年版起亦導入了自然通風之節能評估，以自然通風潛力(VP)作為推算空調節能之效益為基礎。本研究希冀透過現場實際案例之實測，以驗證現行對自然通風評估之效益。

二、研究方法及過程

本計畫透過實測以探討自然通風於住宅與複合式通風教室之空調節能抵減效果。在選定之樣本室內與戶外分別進行長期之溫濕度量測，以獲知室內之溫熱環境變化與判斷空調啟停時間。在空調節能之效益上則以冷房度時法計算以描述空調啟用時間之空調耗能量，最後透過與理論上應開之空調時間比對換算空調折減率。此外，針對各實測案例進行空間測繪以換算於相異開窗與空間配置下之自然通風潛力(VP)，藉以分析其與實際空調折減效果之關係。本研究一共完成位於台中之住宅 17 例與採用複合式通風之台北學校類教室四案，外加一例位於高雄岡山無空調自然通風教室一例之室內外溫濕度儀器之實測安裝，並獲得涵蓋炎熱季節 5~9 月之實測數據。

三、重要發現

本研究所獲致結論如下：

(一)學校類

1. 本研究實測台北地區四所以複合式通風運轉之高中，四所高中之可自然通風面積率(VP)皆為 1.0，經排除各校空調使用管理而修正後的空調折減效果(VAC)，分析結果建中、中山、光仁與板中之 VAC 分別為 0.51、0.45、0.45 與 0.48，平均為 0.47 與現行規範 VAC 計算值 0.45 相去不遠。
2. 另本研究針對位於高雄岡山全自然通風之前峰國中，進行室內溫熱環境之實測，並以 ASHRAE 熱適應模型進行室內熱舒適評估，發現在為期一個足月(九月份)之實測期間並剔除室內無人時之資料，室內發生過熱之頻率達 88%，室內平均溫度 31.33˚C，而此月間其長期熱不舒適嚴重程度則達 162.52 K.hr，

顯示於高雄地區全採自然通風之教室尚不足以滿足熱適應模型所定義之室內舒適標準。

(二)住宿類

1. 本案實測 17 戶住宿類空間，在剔除 4 戶無效樣本後，發現由實測資料推算之空調抵減效果 VAC 則分佈於 0.53-0.94 之間，平均值為 0.730，標準差為 0.134。而如以現行綠建築規範對住宿類空間之 VAC 評估，所有樣本之規範 VAC 落在 0.82~1.0 之間，平均值為 0.960，標準差為 0.06。顯示現行規範對住宿類空間之評估是較為嚴苛的。然而進一步探討 VP 與實際 VAC 之關係後，發現二者間於絕對之相關性，意即住宿類空間之空調耗能抵減效果與 VP 之關係不明顯，尚有隱藏因子左右著空調之實際耗能量。

四、主要建議事項

建議一

建議綠建築評估手冊內關於自然通風空調耗能折減率計算之修正：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心

由本研究所得結果顯示學校類之自然通風潛力(VP)對空調之實際折減具有一定之效果，且與目前規範值相當。現今綠建築規範內區分住宿類與其他類二者分開評估，然而中央空調類型之建築物如旅館、百貨、醫院等應用開窗採自然通風之可能性很低，建議將原規範內之「其他類」改為「大型空間與學校類建築」，較為符合實際情況。此外，由實測結果發現住宅的空調折減效果實際上是較法規規範值低的，意即現行規範之評估方式對於住宿類建築是較為嚴苛的，建議可予以放寬。

建議二

針對學校教室平面之規劃設計鼓勵遵循綠建築評估規範內高 VP 之方式設計：中長期建議

主辦機關：教育部

協辦機關：內政部建築研究所、財團法人台灣建築中心

本研究透過實證研究，發現具良好自然通風潛力(VP)的學校教室平面，可有45%優異的空調折減效果，對校舍之建築節能影響甚鉅。因此，建議教育行政單位應宣導或鼓勵不論是採用複合式通風或全自然通風之教室平面盡量兩側以設

置可開啟之對向開窗方式設計，遵循綠建築評估手冊內高 VP 之設計方式，以達節能減碳之目的。

Abstract

Keywords: Natural ventilated house, natural ventilated classroom, cooling energy saving ratio

Introduction

Natural ventilation is one of the passive building design means for building energy conservation, from which natural ventilation process indoor thermal load could be removed and the cooling energy saving could therefore be achieved. Many previous studies have confirmed that certain degree of cooling energy saving can be realized by natural ventilation. However, the efficiency of natural ventilation on cooling energy saving is closely related to local climate, and there is a need to study its effect while applied to hot-and-humid climate. The regulation of Taiwanese green building evaluation system adopted a ratio of natural ventilation floor area (VP) to evaluate the amount of cooling energy saving since 2015. The objective of this research is to validate this assessing method by in-situ experiment data.

Methodology

To temporally identify the usage pattern of air-conditioning during hot season, two temperature sensors were deployed for each selected case, one was installed at indoor space and another was set up at outdoor space for measuring temperature variations with a logging interval of five minutes. The cooling energy can be afterwards coarsely estimated by cooling degree hour (CDH) method. To identify the theoretical cooling operation time, an adaptive thermal comfort model proposed by ASHRAE Standard 55 was adopted. Whenever the outdoor ambient temperature exceeds the upper temperature limit estimated by the adaptive thermal comfort model, the hour was deemed as in need of cooling theoretically and that hour was accumulated for theoretical operation hours. Moreover, the actual cooling operation hour can be identified by observing the measured indoor temperature, whenever a cooling was in operation, the indoor air temperature would be kept in constant within a fluctuation of circa 1°C. The theoretical and actual amount of cooling energy of a given case can be estimated by calculating the CDH for the corresponding hours identified as theoretical or actual cooling in-operation accordingly. The actual cooling energy saving ratio can therefore be identified by dividing the value of actual CHD with that of theoretical CDH. The VP of each case was obtained by in-situ surveying the space geometry. The relationship between VP and the actual cooling energy saving benefit can be established.

Results

The results are as follows:

For school classrooms:

1. The VP for all the four mixed mode operating classrooms located in Taipei are all 1.0. The cooling energy reduction benefits for the four cases were 0.51, 0.45, 0.45, and 0.48 respectively, with an average value of 0.47, which is considered similar to the value evaluated by the existing green building regulation.
2. A total natural ventilated school classroom located in Kaohsiung was also investigated, although the in-situ temperature monitoring only lasted for one month (September). Adaptive comfort model was used to evaluate the indoor overheating problem. The results show that the overheating occurrence frequency was 88% with an average indoor temperature of 31.33°C. The monthly long-term thermal discomfort was assessed by ISO7730 and revealed an overheating severity of 162.52 k.hr. It indicates that the natural ventilated classroom can't be survived while assessed with adaptive comfort model under the context of Kaohsiung's climate.

For residential spaces:

The results show that the actual cooling energy saving benefit were ranging from 0.53~0.94 with an average of 0.730 and standard deviation of 0.134. However, if they were assessed by the criteria of the existing green building evaluation system, the values would range between 0.82~1.0 with an average of 0.960 and the standard deviation of 0.06. It reveals that the existing criteria in green building evaluation system is much more stringent. However, by correlating the VP to the value of actual cooling energy saving ratio, no significant relationship was observed, suggesting that there are other variables influencing the air-conditioning energy use for residential buildings, further research is anticipated.

This project comes to twofeasible immediate strategies:

1. To formulate adequate evaluation criteria for the cooling energy saving potential of residential buildings, there is an immediate need to further study the influential factors that dominate the cooling energy use for residential buildings.
2. The results of the study reveal that classrooms, either operated in mix-mode or natural ventilation, with window openings on the opposite sides would facilitate the cross ventilation and save cooling energy. Therefore, it is recommended that the design and planning of the classrooms should be encouraged to facilitate the natural ventilation in order to save cooling energy.

第一章　緒論

第一節 研究緣起與背景

建築自然通風利用是過去沒有空調的年代主要作為室內降溫之建築被動式設計技術之一，早期建築物之設計為了確保有效自然通風，在建築開口部之設計、面向方位、室內淨深等皆以有效之自然通風路徑為設計主要之考量原則。現代建築則因為空調設備系統普及，而忘卻有利於自然通風之建築外殼與平面設計，傾向全年中央空調之建築平面規劃型態，導致建築耗能量的增加。

濕熱氣候區之自然通風設計概念係以風力驅動之風力通風為主，而以溫差帶動之浮力通風為輔。我國綠建築評估系統於 2014 年，為鼓勵現代建築採用具良好通風條件之設計，開始將自然通風利用對空調節能之優惠計算納入評估該方法係以所有居室面積中可有效利用自然通風樓地板面積的比例來換算空調耗能之折減效果。過去對於自然通風利用在空調節能效益上的研究，多以電腦模擬方式行之，尚未有長期之實證研究，同時對於自然通風的效益，亦局限於空調節能分析，未能同時加入室內熱舒適議題之探討，整體性略有不足。因此，本研究以風力通風為研究範圍，探討臺灣常見的複合式空調住宅與純自然通風教室之空調耗能抵減效果與室內熱舒適之情況，透過長期現場實測之方式，以在實際應用自然通風利用之行為下，驗證我國綠建築內針對空調節能之自然通風優惠計算之效果。

本研究挑選位於台中之住宅 17 例與採用複合式通風之台北學校類教室四案，外加一例位於高雄岡山無空調自然通風教室一例，進行為期一年之長期室內溫濕度量測。研究探討之議題區分為 1.室內熱舒適環境之評估、與 2.對空調節能之效益。室內熱舒適之評估以國際上通用之熱適應模型搭配所測得之實測室內溫度資料評估室內過熱發生之頻率及其過熱之嚴重程度；而對空調節能之效益則以冷房度時法，推估空調之抵減效果。本研究之預期成果及效益如下：

(一).透過實測確立 VP 和住宅空間應用自然通風策略之間的關係。

(二).透過實測確立 VP 和學校教室應用自然通風策略之間的關係。

(三).驗證現行綠建築自然通風應用空調節能潛力之效益。

應用自然通風是被動式建築設計重要之節能技術之一。自然通風係透過手動或自動方式開啟窗戶，來引進足夠的、涼爽的外氣，以移除室內之熱負荷量，達到節省空調能耗和提供讓居住者滿意的熱舒適狀態之效果。世界上許多地區之研究亦證實了自然通風應用下之建築具有一定的空調節能效果。然而，自然通風之應用與當地外界氣候密切相關，有必要針對位居濕熱氣候區的台灣進行其節能效益與對熱舒適促進之探討。我國的綠建築規範自 2014 年版起亦導入了自然通風之節能評估，以自然通風潛力(VP)作為推算空調節能之效益為基礎。本研究希冀透過現場實際案例之實測，以驗證現行對自然通風評估之效益。

在實測對象之選擇上，住宿類與學校教室類型之空間，由於其具使用者自主管理空調與開窗通風之使用特性，是最具自然通風應用之空間型態。因此，本研究以住宅空間與學校教室為探討之對象，挑選不同之開窗方式、有效開口率、通風路徑等相異組合下之案例，以長期實測室內熱環境條件之方式，瞭解這兩類空間應用自然通風之實際可行情形，進而探討其所可能帶來之空調節能潛力，以驗證自然通風潛力 VP 在綠建築空調效率 EAC 評估之抵減效果。

(一) 研究計畫內容如下：

1. 回顧與蒐集國內外文獻上針對自然通風應用對節能效益之文獻探討。
2. 針對住宿空間與學校教室空間，進行自然通風利用下之長期熱環境實測。
3. 透過實測資料印證住宿空間與學校教室的 VP 對 EAC 之抵減效果。

(二)而本研究目的如下：

1. 透過實測以驗證自然通風利用對複合式空調住宅之空調抵減效果。
2. 透過實測以確立自然通風利用對全自然通風教室之室內熱舒適情況。
3. 驗證現行綠建築自然通風應用空調節能潛力之效益。

第二節 本研究計畫之重要性

我國之綠建築評估於 2014 年版開始，導入自然通風對空調節能之優惠計算，採用自然通風潛力(VP)作為空調耗能折減之換算基礎(林憲德等 2014)。所謂自然通風潛力即為「可自然通風居室之面積」與「總居室面積」之比值，其中可自然通風居室面積乃由(1)單側開窗引起之「臨窗通風面積」與(2)因雙面開口引起之「對流通風面積」所構成，其計算如下式(1)與判斷之準則圖 1-1 與圖 1-2 所示，VP 越接近 1 者通風效果理論上會較佳。此外，跨居室間由於不同的通風開口所形成之通風路徑，亦可被認定為可通風居室面積，如圖 2 所示，客廳陽台之落地窗與廚房之開門之間可形成有效之通風路徑，亦可計算為可通風面積。最後，在空調節能之優惠計算上，區分為住宅類與其他類型建築物依下式(2)與(3)計算空調耗能折減率。

$$VP = \sum (VAi + CAi)/(Ai) \quad (1\text{-}1)$$

住宿類：$Vac = 1.0 - (VP - 0.7) \times 0.75, Vac \le 1.0$ (1-2)

其他類：$Vac = \left[1.0 - (VP - 0.4) \times 0.75\right] \times \gamma, Vac \le 1.0$ (1-3)

本研究以實測之方式，實地瞭解應用自然通風利用之建築其室內熱舒適以及空調節能之效益，期可印證自然通風之效益。有助於國內推廣有利於自然通風利用之被動式建築外殼設計，以達建築節能之目的，同時可驗證現行綠建築對自然通風優惠之計算。

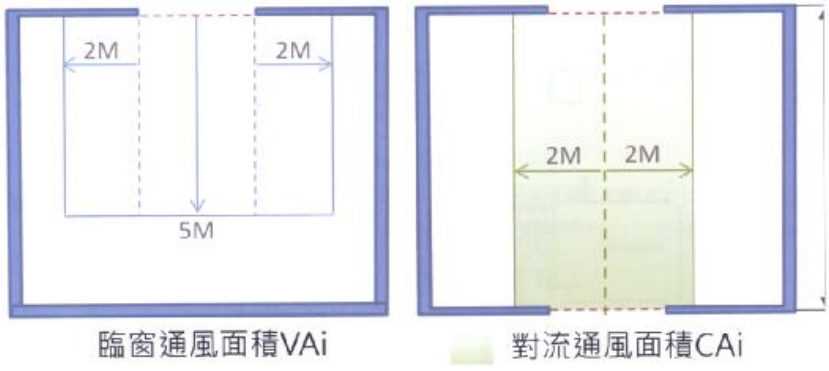


圖 1-1 自然通風面積包括臨窗通風與對流通風之面積

（資料來源：林憲德等 2014）

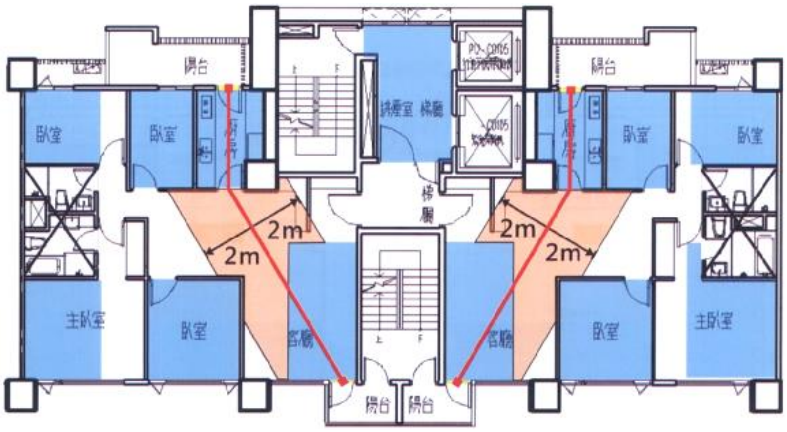


圖 1-2 自然通風面積之計算

（資料來源：林憲德等 2014）

第三節 蒐集之資料文獻分析

國際能源署(IEA)於 2000 年的總結報告中指出，歐洲國家的辦公大樓利用複合式通風可以降低建築能耗達 50%以上(International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Program 2000)。在這份報告揭露之後，各國紛紛開始研究複合通風建築的節能效益。複合通風建築的節能成效的評估可以通過程式模擬或物理監測。當與傳統的空調建築物相比，一些基於簡化模型的初步模擬結果，說明了複合通風模式降低能耗的潛力(Daly 2002, Emmerich 2006)。美國可再生能源國家實驗室(National Renewable Energy Laboratory)在高性能建築研究計畫(High Performance Buildings Research program)執行了複合通風建築物節能效果的物理量測，該計畫主要聚焦於對高性能商業建築(包括自然通風和複合通風的建築)的能源消耗進行廣泛調查。淨節能效果從22%至77%不等(Torcellini, Deru et al. 2004)。這些節省的來源包括採暖、供冷和風機的節能，並可以簡單地歸因於採用複合通風的結果(Charvat, Jicha et al. 2005)。

在自然通風對空調節能與熱舒適之研究方面，一篇探討位於墨西哥乾燥與熱濕氣候區之住宅節能研究，在分析了 27 棟住宅後指出，熱濕氣候條件下應用夜間自然通風與低熱質量之壁體構造，可降低全年空調負荷量達 54.4%(Oropeza-Perez and Ø stergaard 2014)。另一以電腦模擬之方式探討位於義大利雙拼之透天住宅之建築外殼設計當應用自然通風時如何影響空調節能與室內舒適性之文章，顯示在最佳之方位下，最大可有

52%的相對空調節能量(Cardinale, Micucci et al. 2003)，如圖 1-3。此外，根據(Oropeza-Perez and Ø stergaard 2014)在丹麥對一自然通風利用住宅之研究，在溫帶氣候下自然通風可取代90%需要冷房空調的時間，如下圖 1-4 所示。

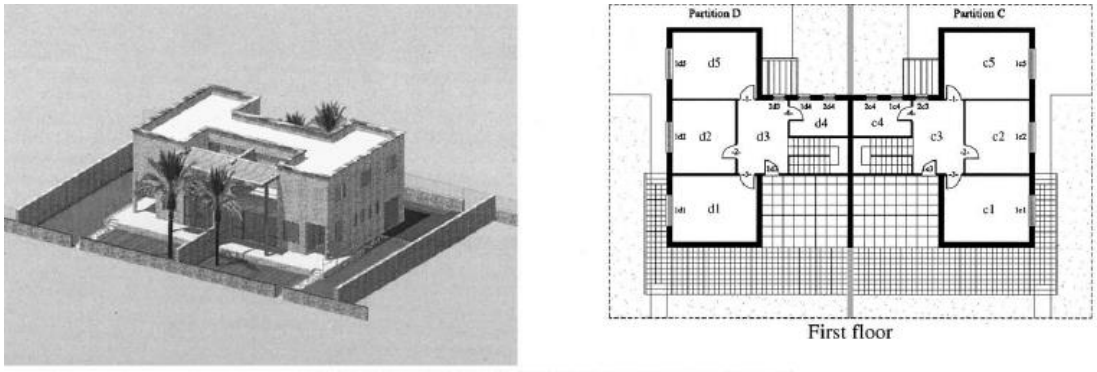
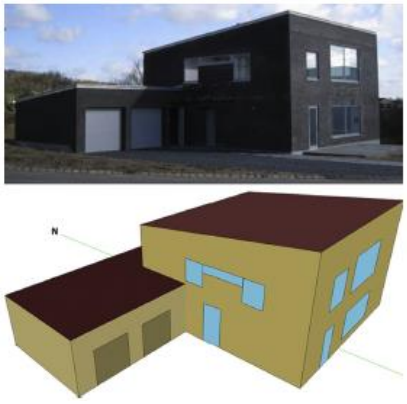


圖 1-3 一棟位於義大利住宅雙拼住宅的自然通風空調節能模擬

(資料來源：Cardinale, Micucci et al. 2003)



Month	Consumption (kW h) measured	Consumption (kW h) simulated	Consumption NV (kW h) simulated	Energy saving (kW h)
June	11.9	12.2	0.6	11.6
July	20.9	23.9	3.6	20.3
August	11.6	10.2	0.1	10.1
Total	44.3	46.2	4.2	42.0

圖 1-4 一棟位於丹麥之自然通風住宅在各夏季月之節能量

(資料來源：Oropeza-Perez and Østergaard 2014)

而 Yao 等人，則以 ASHRAE 熱適應模型評估了中國五大氣候區設計階段之辦公建築，考量室內發熱量、建築開口部設計與氣候因素以室內熱舒適為基礎之各地自然通風潛力(Yao, Li et al. 2009)。Schulze 與 Eicker 則應用 EnergyPlus 模擬解析在德國、義大利與土耳之開窗風力通風，其室內熱舒適性與空調節能之效益(Schulze and Eicker 2013)。Borgeson 和 Brager 亦利用 EnergyPlus 以及不同的熱舒適標準，在美國加州六種相異的氣候下量化評估一座複合通風大樓的室內環境過熱程度，並探討建築物外殼性能和過熱度之間的關係(Borgeson and Brager 2011)，發現純粹的自然通風建築室內過熱情況嚴重，但採用複合式通風除可免除室內過熱之問題外其空調節能潛力又比 VAV 中央空調系統來得節能，如圖 1-5 所示。

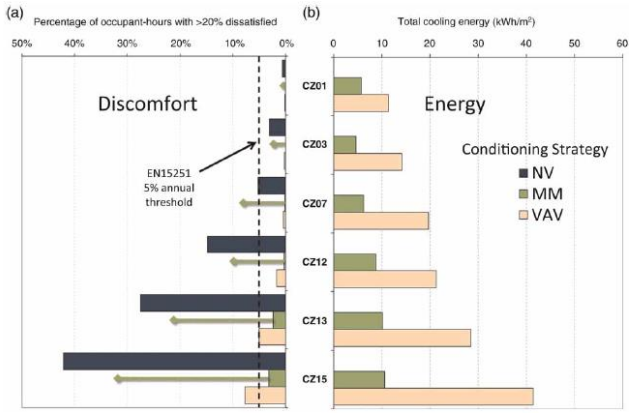


圖 1-5 美國加州不同氣候區下應用自然通風之熱舒適與節能潛力

（資料來源：Borgeson and Brager 2011）

一份在印度的研究顯示，在 80%可接受之範圍內教室內的學生可以透過開風扇、開窗及衣著量來提高溫度容忍度 4 度 C，對舒適溫度的範圍有更高的容忍度，此意味著自然通風教室在空調的啟用上可於較高之室溫下才使用空調，以進而達到空調節能(Mishra and Ramgopal 2015)。另一在馬來西亞吉隆坡住宅之研究，顯示單純的對向開窗自然通風可節能約 8.37%的空調負荷量，然而相較於全空調的環境，應用最佳化後的自然通風策略可進而達到空調節能 27.92%(Homod and Sahari 2013)。

在國內之文獻方面，李君根據自然通風潛力 VP(Ventilation Potential)評估法，就開窗位置與平面設計之條件所形成室內可自然通風面積與總居室面積的比例，評估七種空間案例的通風效益，並與 CFD 數值模擬之結果比對，二者相關性達 0.93，顯示以 VP 值評估空間的通風效益用有其參考性(李怡萱 2014)。而有關於臺灣應用自然通風對室內熱舒適之影響方面，則有(黃瑞隆, 郭乃榕 et al. 2006, 林盛隆, 楊靜宜 et al. 2010, 邱英浩, 戴育澤 et al. 2010, 周昌賢 2014)等人針對不同之建築類型個案進行過探討。此外，Hwang et al.透過 15 間國中小的問卷調查發現，臺灣學生的熱舒適範圍皆較 ASHRAE 所定義的熱舒適範圍來得寬(Hwang, Lin et al. 2006)，如圖 1-6 所示，意即學生能忍受之溫度變動較廣，意味著應用複合式通風之教室在臺灣可能有較佳的空調節能效益。

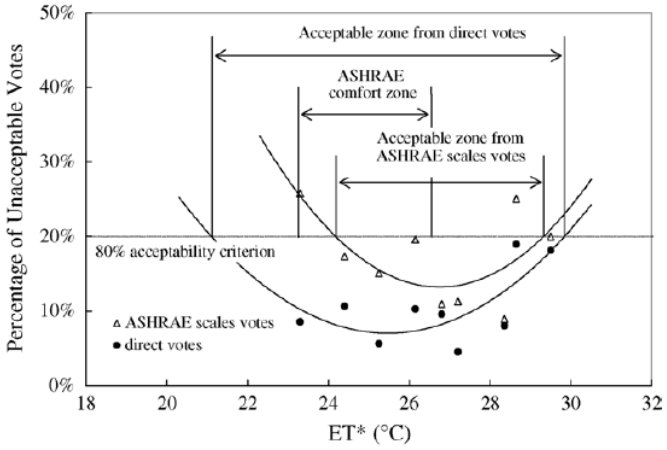


圖 1-6 臺灣學生的熱舒適範圍皆較 ASHRAE 所定義的熱舒適範圍來得寬

（資料來源：Hwang, Lin et al. 2006）

另外，亦有碩論嘗試以自然通風應用之案例，以電腦模擬之方式對現行建築外殼節能評估指標(ENVLOAD)進行優惠修正之研究(賴柏亨 2008)。過去內政部建築研究所亦有針對複合式通風應用於臺灣各地之潛力分析，指出與空調溫度固定維持在 28℃的情況相比，複合通風的所減少的冷房度時，至少超過 60%，最高可達 90%(黃瑞隆 and 黃國倉 2013)。然而，目前國內尚缺少大量長期之實測案例研究可供比對與驗證現行綠建築對自然通風潛力對空調節能之抵減效果。

第二章　研究方法

第一節 自然通風利用潛力評估與研究步驟

所謂自然通風利用係以非機械之方式進行室內換氣與通風之技術手法，透過建築之被動式設計以產生壓力差或溫度差進而引導室內氣流之流動。本計畫之研究流程如圖 2-1，首先針對自然通風利用之國內外文獻進行回顧，確立自然通風在各異之氣候條件下，其對於室內溫熱環境與空調節能之關係。自然通風利用包括以開窗對流為主之風力通風(wind-driven ventilation)與以熱浮力對流為主之浮力通風應用(buoyancy ventilation)。浮力通風之應用較常見於乾燥之溫帶國家，透過增加進風口與出風口之高程差或溫度差以增加熱對流之原理以促進室內之通風，是應用室內淨高與通風塔之利用，常見於大空間之工廠廠房、演講廳等，在住宅與學校類教室較難以應用。風力通風則主要透過建築開口部之壓力差而產生對流，其效果與風向、風速、開窗方式、是否有對象開窗以及室內通風路徑是否有障礙物有關。臺灣較為常見之自然通風策略為屬開窗對流之風力通風應用，因此本研究之研究範圍定義，將以風力通風應用之案例為主。

本案之研究流程如圖 2-1 所示。研究初期首先進行樣本之現場勘查，學校類則同時進行空調系統管理策略、教室方位、配置、室內發散熱等資訊之調查。於擇定施測樣本後，進行現場測繪以獲知空間尺寸俾利換算各案之自然通風潛力(VP)。溫濕度記錄儀器於夏季前完成現場安裝，並進行長期之室內、戶外溫濕度量測。在計算空調折減效果上，本研究透過室內實測溫度資料以及與戶外之溫度記錄比對，判斷空調之啟停時間，藉以得知實際之空調時間。此外，在理論空調使用時間之判斷上，在良好自然通風室內應與戶外溫度相當之前提下，則擬以熱適應模型透過戶外溫度判斷理論上應室內過熱而需啟用空調之時間，以分析實際之空調節能效果。最後，提出結論與建議。

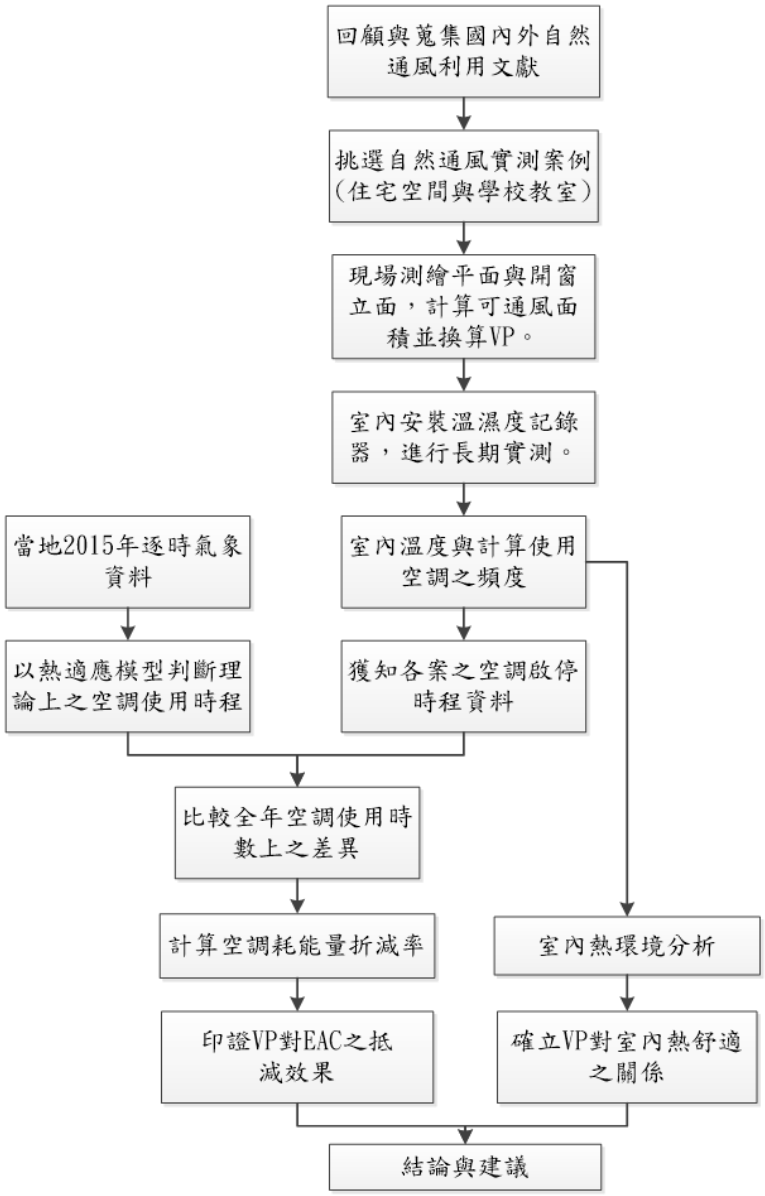


圖 2-1 研究流程

（資料來源：本研究整理）

第二節 自然通風利用空間之長期實測

由於自然通風之目的除了基本之換氣需求以確保室內之空氣品質外，另一目的則是為了透過通風對流以移除室內熱，以達室內熱舒適而減少空調使用時間。本研究著重於探討自然通風在室內熱舒適環境之確保以及其可帶來之空調節能潛力之分析。在此觀點下，由於自然通風之最終效益將反應於室內溫熱環境之表現，因此探討自然通風下之室內溫度變化是大家所關心的議題。研究方法上將以實測驗證之方式進行。為

了實證探討自然通風利用之策略對室內溫熱環境以及建築節能之影響，擬規劃透過現場實測之方式進行，首先挑選自然通風條件相異之案例進行長時間之室內溫度記錄。於每一實測案例現場安裝溫濕度記錄器，藉以判斷空調啟停時間與室內溫熱狀態之依據。

在實測建築類型之挑選上，以較適於應用自然通風利用之住宅類與學校教室類型建築為探討對象。為事先排除氣候區差異之影響，本研究將同類型之建築樣本挑選以位於同一氣候區或地理位置為原則，住宅樣本全挑選以位於台中地區為主；而教室之樣本則全位於台北地區。同時盡量挑選具相異之空間通風特徵以驗證自然通風利用潛力(VP, ventilation potential)對通風效益之關係。住宅樣本以戶為單元，針對客廳、臥室等居室空間進行實測，以增加具相異之通風特徵空間；學校教室之篩選則以複合式空調之混合通風教室為主，由於我國高中教室普遍才有空調設備，因此選擇施測之對象以高中教室為原則。為後續換算所選建築空間之 VP 值，擬於施測前前往現場勘查並測繪建築平面、記錄開窗位置、開窗方式、尺寸等建築資訊，並於實測空間安裝溫濕度記錄器，溫濕度儀器說明詳見本章第七節。實測之季節擬於四月中開始進行至計畫期末，至少涵蓋整個夏季，以檢討各案例自然通風利用在熱季之效益，礙於記錄器之電池容量，擬每月回收一次數據。

第三節 熱適應理論與原理

為確立 VP 對室內熱舒適度之效益方面，擬針對透過實測得之室內溫度資料進行過熱時數頻度與過熱嚴重程度之分析，室內環境過熱之判斷擬參考國際上通用之熱適應模型舒適範圍,以評估使用者進駐時間內之室內溫熱情形。在室內熱舒適之評斷上，當室內溫度超過熱適應模型所規範之熱舒適範圍時謂之發生過熱，此可藉由實測之室內溫度變化統計而得其發生頻率。然而，超過 1℃ 之過熱與超過 3℃ 之過熱情況對人體所帶來之熱應力(heat stress)卻是不同的，過熱發生頻率僅能得知發生過熱之機率，不足以進一步探討過熱之嚴重程度，因此，本研究擬再分析各空間之長期過熱嚴重程

度之累計值，始能描述使用者所承受之熱應力情況。過熱嚴重度之分析方法擬參採 ISO 7730 內對於長期室內熱嚴重程度之計算方法。

熱舒適研究始於上世紀初，於 70 年代形成了以人體熱平衡方程和人工氣候室實驗為基礎的經典熱舒適評價模型。隨後，許多現場的研究發現此模型無法準確預測實際建築中的人體熱反應，因此提出了熱適應觀點和假說，以期合理解釋現場研究與氣候室研究結果之間的區別，準確預測實際建築環境中的人體的熱反應。近年來人體熱適應研究受到越來越多的關注，在世界各地廣泛開展了大規模的現場研究調查，研究者相繼提出若干熱適應研究理論模型，以期揭示人體熱適應的內在機制，而熱舒適是居住者對熱環境表示滿意的一種心理狀態。熱適應舒適模型(adaptive thermal comfort model)以人對環境的滿意程度做為評估熱環境的標準。傳統之室內熱舒適評估以 Fanger 所提之 PMV-PPD 為主，但是近期有許多學者提出 PMV-PPD 模型並不全然適用於自然通風型建築之熱舒適評估，尤其對於室內使用者對開窗與室內空調溫度有充分控制之情況下，PMV-PPD 模型更趨低估室內之舒適溫度。van Hoof 等人在回顧許多亞洲國家之熱舒適研究後發現，此一現象更為明顯(Van Hoof 2008)。在自然通風下之人們熱舒適感覺更與戶外長期之平均溫度相關，因此，本研究以 de Dear 與 Brager(de Dear and Brager 1998)等人所提出之熱適應模型作為評估自然通風下之熱舒適性。本研究初步先以國際上較廣為使用之美國冷凍空調協會(ASHRAE)於 Standard 55 所建議之熱適應模型進行評估室內過熱與否之依據(ASHRAE 2010)。

第四節 自然通風利用對空調節能抵減效果

自然通風利用對空調節能之效果可由下圖 2-2 所示，當自然通風量可帶走室內熱以滿足室內之熱舒適時，無須啟動空調而達到節能之目的，如圖中深黃色區域。反之，當戶外溫度過高單純透過自然通風而無法滿足室內之熱舒適時，則不得不啟用空調，因此空調之節能量將與通風之有效性相關。通風之有效性除與當地之長年風速風向有關外，尚與建築開口部之配置、室內通風路徑之確保等因素相關，以現行綠建築對於自然通風對空調節能之優惠計算而言，即為自然通風利用潛力(VP)。

自然通風應用在空調耗能之折減效果之推估上，礙於樣本多屬私有空間難以透過電表進行實際用電量之實測，再加上住宅之室內使用時間不固定存在使用時程上之不確定性，實務上無法確知實際之節電效果。因此本研究擬搭配現場溫濕度之實測數據判斷冷氣啟停時間，以理論推估空調耗能之方式進行。由於空調負荷與外氣溫度呈正比關係，因此在概估當地之空調耗能時，常以當地氣候對超過某一基準溫度之差值進行累算，以反應當地之炎熱情況，此謂之冷房度時。所謂冷房度時(CDH, cooling degree hours)即是建築物使用時段內之逐時外氣溫高於某一冷房基準溫度（本研究教室類訂為 23℃, i.e. CDH_{23}；住宅類為 26℃, i.e. CDH_{26}）之全年溫差累算值，此數值可代表當地全年之空調耗能程度。國際上亦曾有文獻採用冷房度時以推估空調耗能之案例(Letherman and Al-Azawi 1986, Oktay, Coskun et al. 2011)。因此，在討論每一實測案例應用自然通風在空調耗能之抵減效益上，本研究採用冷房度時法予以比較空調節能量。就自然通風利用之實測案例而言，吾人可由實測得之逐時室內溫度變化與當地氣象測站之逐時溫度資料，判斷空調是否啟動，藉以計算空調使用期間之冷房度時累算值 $CDH_{23,x,p}$，其公式如(4)。而當地理論上之空調啟用期間之 $CDH_{23,p}$ 則可由當地之戶外逐時氣象資料計算而得，公式如(5)。因此，空調之節能效益(Vac)可經由(6)計算而得。在外界氣溫之選用上，選擇當地與樣本施測期間同期之中央氣象局一級測站逐時外氣溫度藉以計算冷房度時，以確保分析時氣候之一致性。

$$CDH_{x,p,n} = \sum_{i=1}^{n} (T_{i,p} - x) \qquad (2\text{-}1)$$

$$CDH_{x,p,m} = \sum_{i=1}^{m} (T_{i,p} - x) \qquad (2\text{-}2)$$

$$Vac_p = 1 - (CDH_{23,p,m} - CDH_{23,p,n}) / CDH_{23,p,m} \qquad (2\text{-}3)$$

其中 p=案例地點；n=空調實際啟用之小時數(hr)；m=理論上空調啟用之小時數(hr)；$T_{i,p}$=p 地點當地第 i 小時之外氣溫度(℃)；x=CDH 起算溫度(學校為 23˚C，住宅為 26˚C)

在獲知自然通風下之空調節能效益(Vac)後，即可將各案之自然通風利用率(VP)與 Vac 以現行綠建築日常節能指標之自然通風優惠計算修正式進行驗證。

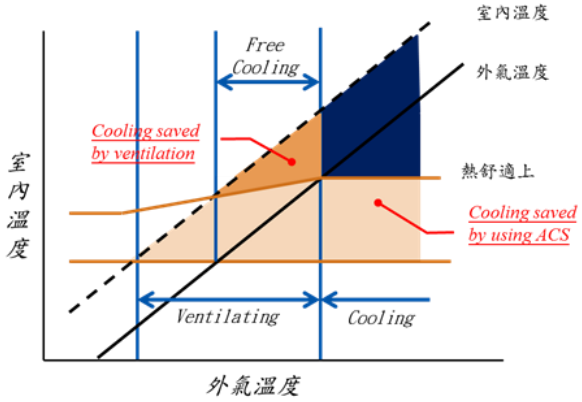


圖 2-2 自然通風與空調節能之關係

（資料來源：本研究繪製）

第五節 自然通風潛力計算方式

自然通風潛力 VP(Ventilation Potential)定義為「可自然通風居室之面積」與「總居室面積」之比值，其中可自然通風居室面積由(1)單側開窗引起之「臨窗通風面積」與(2)因雙面開口引起之「對流通風面積」所構成，其計算如下式(1)。對於「臨窗通風面積」之判斷，係指自開口邊界向旁推 2 公尺、向室內深 5 公尺之矩形面積，如圖 2-3；而「對流通風面積」則是將開口中心彼此連線，形成對流通風路徑，再將此路徑向外各延伸 2 公尺的範圍，如圖 2-4。此外，跨居室間由於不同的通風開口所形成之通風路徑，亦可被認定為可通風居室面積，不過通風路徑有角度與長度上的限制，詳見參考書目(林憲德等 2014)。最後，在空調節能之優惠計算上，區分為住宅類與其他類型建築物依下式(2)與(3)計算空調耗能折減率。此外，規範上亦訂有 Vac 最小值之限制，住宿類之最大空調節能效益為 0.225 而其他類則為 0.45。

$$VP = \sum (VAi + CAi)/(Ai) \tag{2-4}$$

住宿類：$Vac = Min[1.0 - (VP - 0.7) \times 0.75, 0.225]$ and $Vac \le 1.0$ (2-5)

其他類：$Vac = Min\{[1.0 - (VP - 0.4) \times 0.75] \times \gamma, 0.45\} and\ Vac \le 1.0$ (2-6)

其中

VP：自然通風潛力。

VAi：第 i 樓之臨窗通風面積。

CAi：第 i 樓之對流通風面積。

Ai：第 i 樓之居室樓地板面積。

Vac：空調耗能折減率。

γ：複合式通風控制係數(中央空調為 1.0，其他類空調則為 0.5)。

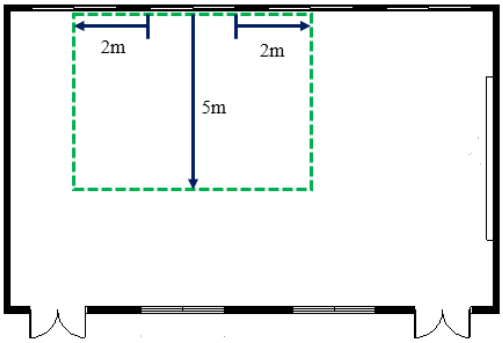


圖 2-3 鄰窗通風面積認定原則

（資料來源：本研究繪製）

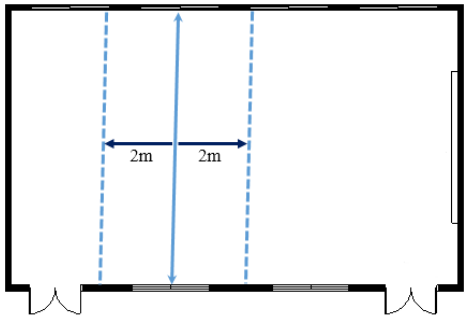


圖 2-4 對流通風面積認定原則

（資料來源：本研究繪製）

第六節 空調使用時間判斷依據

本研究欲對現有之空調之節能效益(Vac)公式進行驗證，所以本研究所採取的方法為，調查實測案例之實際空調使用時間，並透過 ASHARED Standard55 之熱適應模型(式 7)，計算各月月均溫以推估理論上人體所感受到的熱舒適溫度範圍。該熱適應模型係假設當周遭環境溫度改變時，人們亦會隨之透過調整著衣量、開窗通風或啟用風扇等措施以調節熱感受，此模型適合應用於評估自然通風或複合式通風使用之建築。

透過 ASHRAE 55 熱適應模型所定義之熱舒適範圍，如圖 2-5 所示，再加上室內所實測得之室內溫度，即可預估理論上應使用空調的時間。由於自然通風應用時所可及之室內溫度最大效益即為與戶外溫度相同，當室溫大於戶外溫度時即代表單純藉由自然通風無法完全去除室內熱取得因而室內溫度上升之情況。因此，若室外溫度高於

熱舒適範圍的溫度上限時，即判斷為理論應使用空調之時間，詳細之所有可能情境與判斷方式見表 2-1。

$$T_n = 0.31 \times T_0 + 17.8 \pm 3.5 \quad (2\text{-}7)$$

其中

T_n：相應月均溫人體所感到熱舒適之氣溫

T_o：月均溫

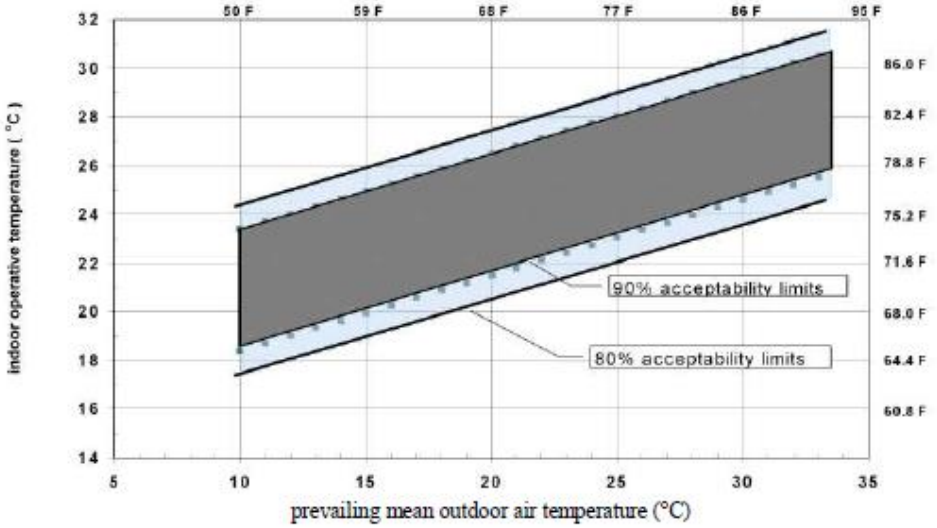


圖 2-5 ASHRAE Standard55 熱適應模型所建議之舒適範圍

（資料來源：ASHRAE 2010）

表 2-1 熱舒適情境與開啟空調時間逐時判斷依據

情境	由實測溫度判斷過熱或空調使用之可能組合			判斷處置情形	
	以實測戶外溫度判斷[1]	以實測室內溫度判斷[1]	室內實際空調使用情形判斷[2]	理論上使用空調時間 (A)[3]	實際上使用空調時間 (B)[3]
1	O	O	O	此情形不可能發生	
2	O	O	X	N	N
3	O	X	O	Y	Y
4	O	X	X	Y	N
5	X	O	O	此情形不可能發生	
6	X	O	X	N	N
7	X	X	O	Y	Y
8	X	X	X	N	N

註 1：其中 O 表示由測得氣溫搭配熱適應模型判斷後過熱；X 表示未過熱

註 2：其中 O 表示由室溫之變化判定有開空調之情形；X 表示未開空調

註 3：其中 Y 表示記入空調時數；N 表示不計入空調時數

（資料來源:本研究整理）

表 2-1 中，情境 1 與情境 5 因室內溫度過熱與使用空調相抵觸，為現實中不可能發生的情境，故並未列入判斷空調與否之依據；而情境 2 在室內外均過熱的情形下，未使用空調，係可能室內為無人的情況，理論及實際上均判定為無空調使用；情境 3 為一般經常發生之情形，因熱適應模型無法滿足真實之需求因此實際開了空調。情境 4 為室外過熱，實際未使用空調、室內亦沒有過熱情形發生，因此由戶外溫度研判理論上是應使用空調，因此記入理論上應開空調之時數。情境 6 在室內過熱的情形下未使用空調，此情況如同情境 2 係為無人狀態，因此若室內有人，則會因室外溫度適宜而使用自然通風調節室內溫度，故計為理論與實際均未使用空調。情境 7 與 8 室內外均無過熱情形，但是在情境 7 的情況下，有可能室內曾經過熱，因此理論與實際上皆會開空調,情境 8 則為最理想自然通風調節情形,室內外溫度接近且符合熱舒適情形，故理論與實際上均未開空調。

第七節 溫濕度測量儀器與標準安裝作業

在現場進行自然通風利用實測方面，本研究所使用之溫溼度紀錄器為無須外接電源之自計式 On-set HOBO Pro v2 溫濕度計,以記錄實測空間內之溫度與相對濕度變化,以利判斷空調啟停時間與記錄室內溫熱狀態之依據。HOBO Pro v2 溫溼度計之記憶體容量可記錄 42,000 筆資料，取樣頻率為 1 秒至 18 小時，由使用者自訂，本研究設定之取樣頻率為每 5 分鐘記錄一筆觀測數據。而 HOBO Pro v2 溫溼度計對溫度與濕度的敏感度分別為:溫度的可測量範圍界於攝氏零下 40 度至攝氏 70 度,精確度為正負 0.18 度；相對溼度的可測量範圍在 0%至 100%，精確度則為正負 2.5%，儀器詳細規格如表 2-2 所示。

儀器安裝時之注意事項包括尋找合適的安裝位置來置放儀器以避開環境熱源，以測得實際之室溫，因此通常建議溫濕度記錄器置放位於居室正中央，且需要避開陽光直射與避開熱源,如:燈具、電路管線、空調出風口等,也需避免感應器直接接觸牆面，並確保周遭環境空氣對流良好。安裝前，可先對儀器設定延後啟動，並確實記錄欲安裝之儀器編號，避免安裝時混亂，而為了日後方便收取數據，選擇固定接近傳輸端的

線路，而非傳輸端本身，保持傳輸端的可活動性，將傳輸端與感應器分別以膠帶固定，線路過長時則以束線帶整理，最後再次注意感應器未接觸其他表面、遠離光源及熱源，始安裝完成。

表 2-2 HOBO Pro v2 溫溼度計儀器規格

	相對濕度(%)	溫度(℃)
測量範圍	0%至 100%	-40℃至 70℃
精確度	±2.5% RH (10%≦RH≦90%)	±0.18℃ (於 25℃)
解析度(12 位元)	0.03%RH	0.02℃ (於 25℃)
反應時間	4 分鐘 (於風速 1 m/s 達 90%)	40 秒 (於風速 1 m/s 達 90%)
記憶體容量(筆數)	42,000 筆資料	
取樣頻率	1 秒至 18 小時(使用者自訂)	

（資料來源:本研究整理）

第三章　教室空間實測樣本說明

本研究利用位於台北地區內四所複合式通風應用之高中教室進行室內溫濕度環境之實測。每所高中經事先現場實地勘查後，各所學校分別擇定一間教室進行長期實測。為計算自然通風潛力 VP，藉以瞭解教室類空間應用自然通風之實際可行情形，進而探討其所可能帶來之空調節能潛力，以驗證自然通風潛力 VP 對室內空調效率評估之抵減效果，研究上針對每一參與實測之教室空間進行空間測繪。此外，為了分析教室室內發熱量在自然通風利用潛力上之影響，亦分別調查了每一間實測教室室內之照明數量、照明種類、學生人數、室內發熱設備等設備量資訊以為參考。

進行實測的學校分別是台北市立建國高級中學、台北市立中山女子高級中學、新北市私立光仁中學以及新北市立板橋高級中學，整理如

表 3-1，而四所學校之地理位置如圖 3-1 所示，圖中依序由右至左分別為建國中學、中山女中、光仁中學以及板橋高中。各案例之開始溫濕度施測時間落在 104 年四月下旬至五月初。每一案於教室內與戶外通風良好之走廊處分別安裝一只溫濕度記錄器，以獲得室溫與戶外條件。此外，本研究於九月時另擇一獲鑽石級綠建築標章位於高雄岡山之前峰國中進行實測，該案教室皆為全自然通風無安裝空調設備，以探討全自然通風教室之室內熱舒適情況。

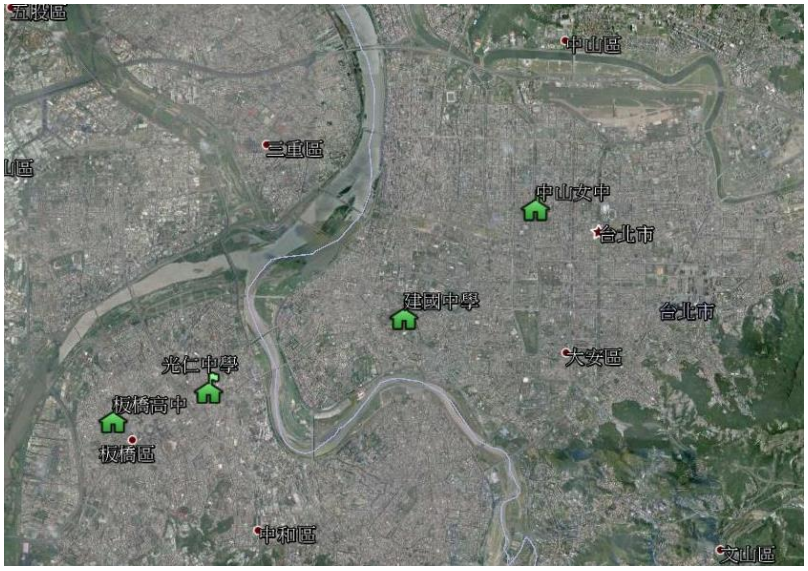


圖 3-1 四所施測學校於台北之地理分佈

（資料來源：Google 地圖）

表 3-1 四所施測學校之基本資料

案名	教室座向	教室所在樓層	室內面積 (m2)	VP	設備量統計
建國中學	東面	2 樓	64.560	1.0	38 盞 T5 燈管，蒸飯箱 1 台，桌上型電腦 1 部，投影機 1 部。
中山女中	南面	2 樓	85.200	1.0	28 盞 T5 燈管，蒸飯箱 1 台，投影機 1 部。
光仁中學	西面	3 樓	74.194	1.0	35 盞 T5 燈管，投影機 1 部。
板橋高中	東南面	4 樓	80.873	1.0	34 盞 T8 燈管，桌上型電腦 1 部，投影機 1 台。

（資料來源：本研究整理）

表 3-2 各學校案例施測日期

類型	學校名稱	起始日	最後分析日期
複合式通風	台北建國中學	4 月 23 日	10 月 1 日
	台北中山女中	4 月 8 日	10 月 1 日
	新北光仁中學	4 月 18 日	10 月 4 日
	新北板橋高中	4 月 24 日	10 月 1 日
全自然通風	高雄前鋒國中	9 月 1 日	10 月 2 日

（資料來源：本研究整理）

四所高中對於校內空調使用管制之管理整理如表 3-3 各校施行之空調使用管理方案所示。以下分述各教室實測情形與說明。

表 3-3 各校施行之空調使用管理方案

案例學校	**空調管理方案**
建國中學	學生班級以儲值卡之方式使用者付費管理，同時校方規定 28˚C 以上與 9 點以後始可開冷氣，但無對冷氣輸電與否之管制措施。
中山女中	學生班級以儲值卡之方式依使用者付費管理。
光仁中學	學生事先於學費繳交一筆固定之冷氣使用費，學校統一於 28˚C 以上時才允許送電開啟冷氣使用。
板橋高中	學生以儲值卡方式使用者付費管理，班級以投票表決冷氣是否要開，學校僅原則上告知 28˚C 以上再開，無對冷氣輸電與否之管制措施。

（資料來源：本研究整理）

第一節 學校案例一基本資料說明(台北建國中學)

台北市立建國高級中學位於南海路上，本次選擇實測之教室為位於學校西側 2 樓之 108 教室，教室之主要側向開窗面向方位為東西向，學校航照圖與實測教室如圖 3-2 中之框選範圍。校教室配置如圖 3-3 所示。



圖 3-2 台北市立建國高級中學空照圖

（資料來源：Google 地圖）

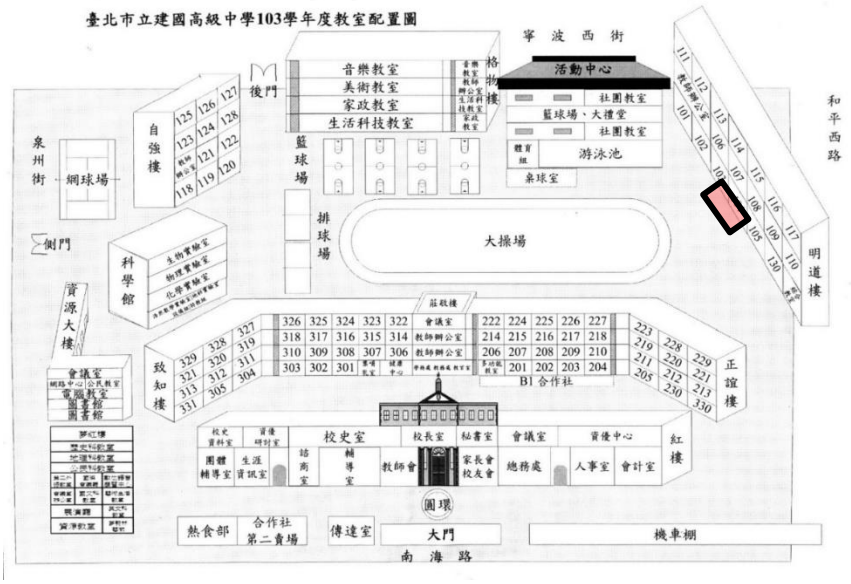


圖 3-3 台北市立建國高級中學校園配置圖

（資料來源：建國中學提供）

本案實測知教室為 108 教室位於明道樓 2 樓，為圖 3-2 與圖 3-3 中黑線所框出之位置，室內淨長、淨寬與淨高分別是 9.061m、7.125m 與 3.427m，室內面積與室內容積為 64.560 m^2 與 221.246 m^3，班級人數 45 人。教室開口大致為東西向，開口面積各是 7.775 m^2、8.063 m^2，班級人數為 45 人，燈具有 38 盞 T5 燈管，其他設備分別有蒸飯箱 1 台、桌上型電腦 1 部、投影機 1 部。經計算後 VP 為 1.0。測量儀器安裝於教室中央的燈座支架上，戶外測點則位於窗台上緣，詳細教室資料與平面圖如

表 3-4 與圖 3-4 所示。現場實際安裝之位置照片如圖 3-5 與圖 3-6 所示。

表 3-4 台北市立建國高級中學 108 教室基本資料

淨高 (m)	長度 (m)	寬度 (m^2)	面積 (m^2)	容積 (m^3)	開口面積(m2)		班級人數（人）	VP
					東面	西面		
3.427	9.061	7.125	64.560	221.246	7.775	8.063	45	1.0

（資料來源：本研究整理）

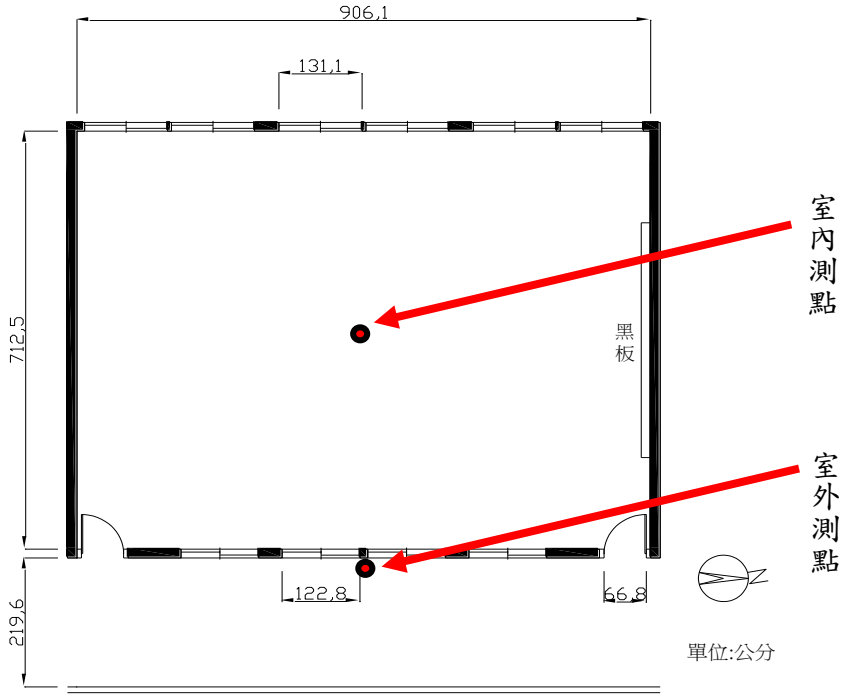


圖 3-4 建國中學 108 班教室平面圖與測點位置

（資料來源：本研究整理）

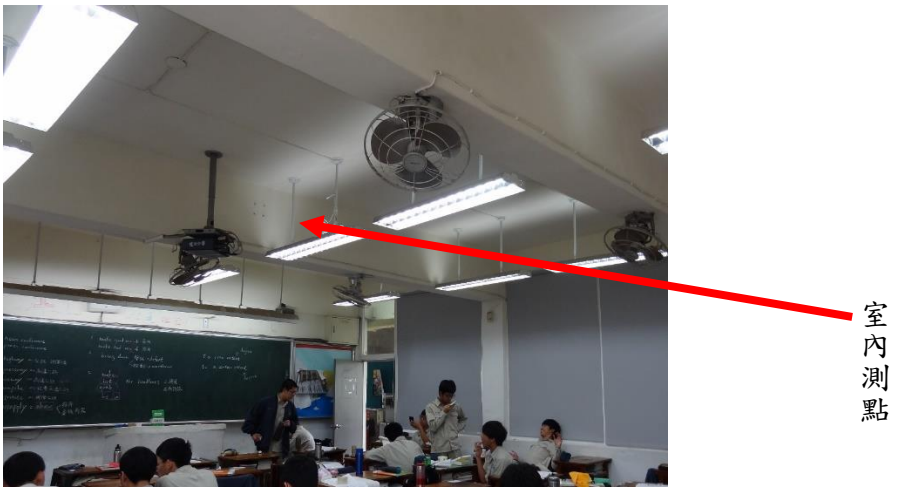


圖 3-5 建國中學 108 班教室內測點安裝位置

（資料來源：本研究拍攝）



圖 3-6 建國中學 108 班教室外測點安裝位置

（資料來源：本研究拍攝）

第二節 學校案例二基本資料說明(台北中山女中)

台北市立中山女中位於長安東路與建國北路交叉口，實測教室為逸仙樓三勤教室，校園配置圖與空拍圖如下圖 3-7 與圖 3-8 所示。

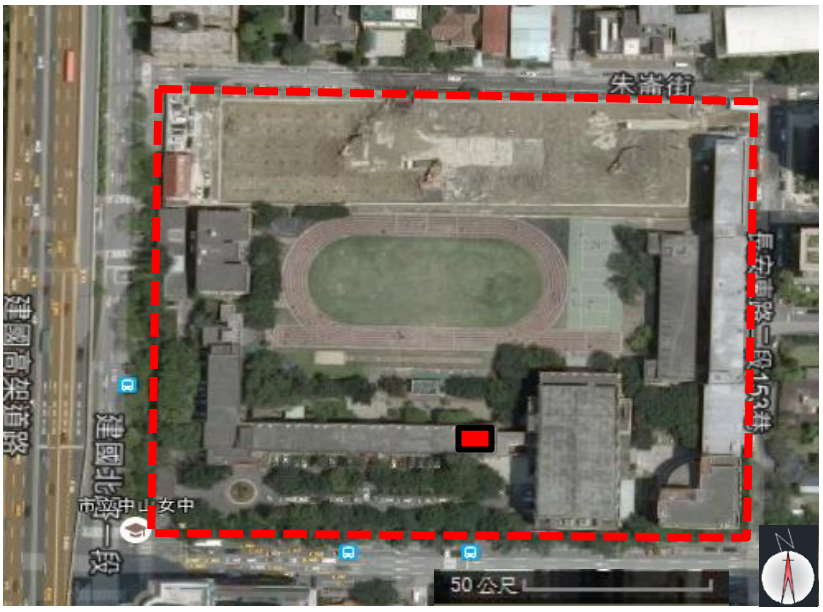


圖 3-7 台北市立中山女中校園空照圖

（資料來源：Google 地圖）



圖 3-8 台北市立中山女中校園配置圖

（資料來源：中山女中校方提供）

中山女中三勤教室於逸仙樓 2 樓，為圖 3-7 與圖 3-8 中黑線所框出之位置，室內淨長、淨寬與淨高分別是 11.794m、7.224m 與 3.821m，室內面積與室內容積為 85.200m^2 與 325.549 m^3，班級人數 36 人。開口位於北面與南面，開口面積分別是 11.954 m^2、8.331 m^2，班級人數 36 人，燈具為 28 盞 T5 燈管，其他設備分別有蒸飯箱 1 台、投影機 1 部。經計算後，VP 為 1.0。儀器測點位置於教室中央的燈座支架上，戶外測點則因日照問題，安裝於一樓樓梯間通風處，詳細教室資料與教室平面圖如

表 3-5 與圖 3-9 所示。現場實際安裝之位置照片如圖 3-10 與圖 3-11 所示。

表 3-5 台北市立中山女中三勤教室基本資料

淨高 (m)	長度 (m)	寬度 (m^2)	面積 (m^2)	容積 (m^3)	開口面積(m^2)		班級人數（人）	VP
					北面	南面		
3.821	11.794	7.224	85.200	325.549	11.954	8.331	36	1.0

（資料來源：本研究整理）

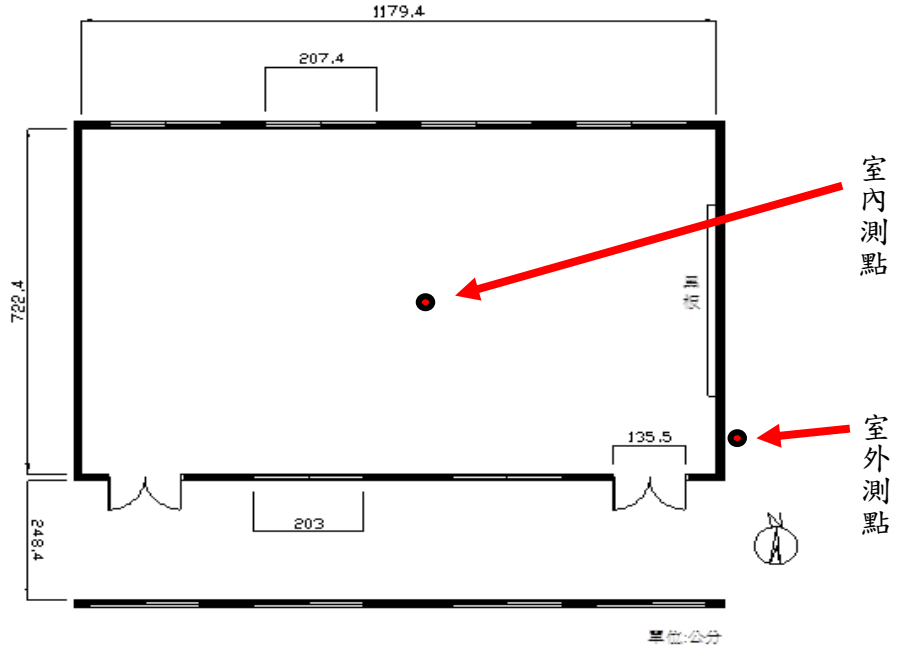


圖 3-9 中山女中實測教室平面與測點位置

（資料來源：本研究測繪）



圖 3-10 中山女中實測教室內測點位置實拍

（資料來源：本研究拍攝）



圖 3-11 中山女中實測教室外測點位置實拍

（資料來源：本研究拍攝）

第三節 學校案例三基本資料說明(新北光仁中學)

新北市私立光仁中學位於板橋區，實測教室為高一義班，校園配置圖與空拍圖如下圖 3-12 與圖 3-13 所示。



圖 3-12 新北市私立光仁中學校園空照圖

（資料來源：Google 地圖）



圖 3-13 新北市私立光仁中學校園教室配置圖

（資料來源：光仁中學校方提供）

光仁中學一義教室位於至善樓 3 樓，為圖 3-12 與圖 3-13 中框選之位置，室內淨長、淨寬與淨高分別是 8.771m、8.459m 與 3.157m，室內面積與室內容積為 74.194m^2 與 234.230 m^3，班級人數 48 人。開口方位於北面與南面，開口面積分別是 11.954 m^2、8.331 m^2，班級人數為 48 人，燈具有 35 盞 T5 燈管，其他設備分別有桌上型電腦 1 部、投影機 1 部，另外，VP 為 1.0。測量儀器安裝於教室中央的燈座支架上，戶外測點同中山女中，為躲避走廊日照選擇安裝於劉梯間通風處，詳細教室資料與平面圖如表 3-6 與圖 3-14 所示。現場實際安裝之位置照片如圖 3-15 與圖 3-16 所示。

表 3-6 新北市私立光仁中學高一義班教室基本資料

淨高 (m)	長度 (m)	寬度 (m^2)	面積 (m^2)	容積 (m^3)	開口面積(m^2)		班級人數（人）	VP
					北面	南面		
3.157	8.771	8.459	74.194	234.230	11.954	8.331	48	1.0

（資料來源：本研究整理）

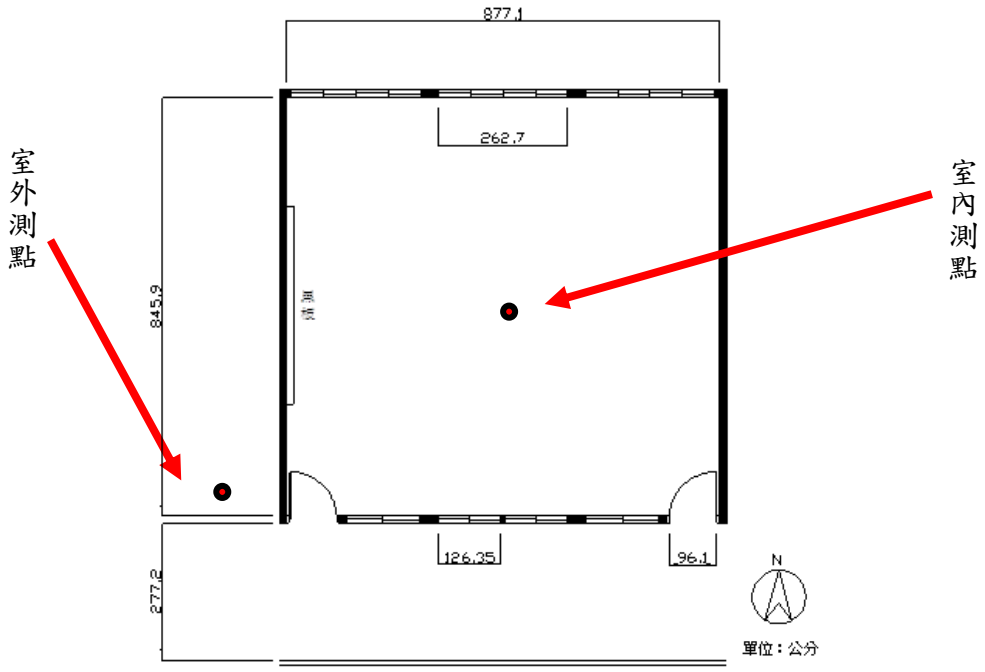


圖 3-14 光仁高中實測教室平面與測點位置

（資料來源：本研究測繪）

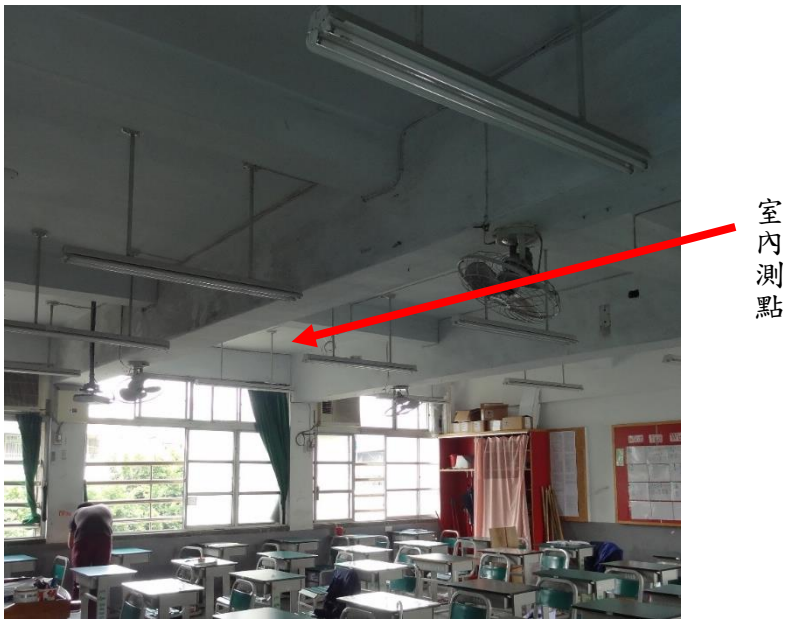


圖 3-15 光仁高中實測教室內測點位置

（資料來源：本研究拍攝）



圖 3-16 光仁高中實測教室外測點位置

（資料來源：本研究拍攝）

第四節 學校案例四基本資料說明(新北板橋高中)

新北市立板橋高中於板橋區文化路一段，實測教室位於智樓 217 班，校園空拍圖與校園配置圖如下圖 3-17 與圖 3-18 所示。



圖 3-17 新北市立板橋高級中學校園空照圖

（資料來源：Google 地圖）

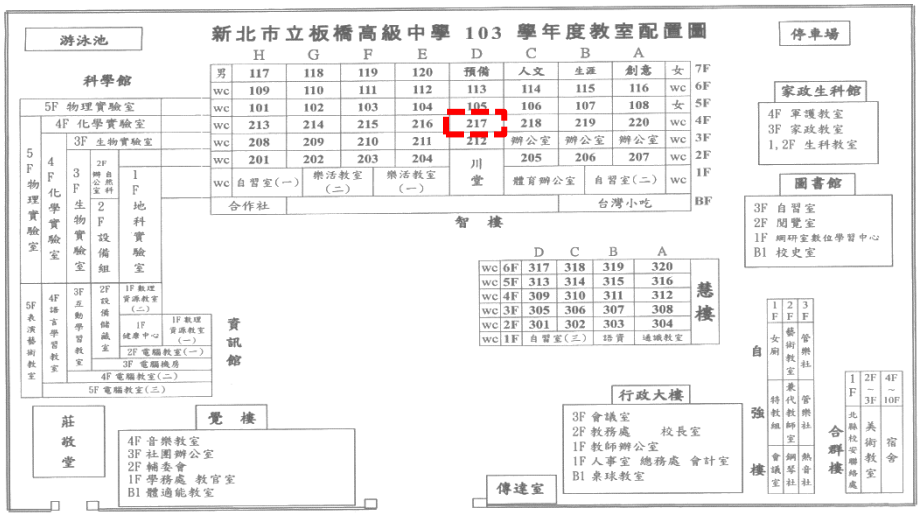


圖 3-18 新北市立板橋高級中學校教室配置圖

（資料來源：板橋高中校方提供）

板橋高中 217 教室位於智樓 4 樓，為上圖黑線所標註之區域，室內淨長、淨寬與淨高分別淨高分別是 8.744m、9.249m 與 3.531m，室內面積與室內容積為 80.873m^2 與 285.563 m^3，班級班級人數 44 人。開口方位於東南面與西北面，開口面積分別是 13.225 m^2、11.329 m^2，經計算經計算後，VP 為 1.0 而 Vac 則是 0.275。測點位置於教室中央的燈座支架上，戶外測點則與建點則與建國中學相同，安裝於窗台上緣，詳細教室資料與平面圖如

表 3-7 與圖 3-19 所示。現場實際安裝之位置照片如圖 3-20 與圖 3-21 所示。

表 3-7 新北市立板橋高級中學 217 班教室基本資料

淨高 (m)	長度 (m)	寬度 (m^2)	面積 (m^2)	容積 (m^3)	開口面積(m^2)		班級人數（人）	VP
					西北面	東南面		
3.531	8.744	9.249	80.873	285.563	13.225	11.329	44	1.0

（資料來源：本研究整理）

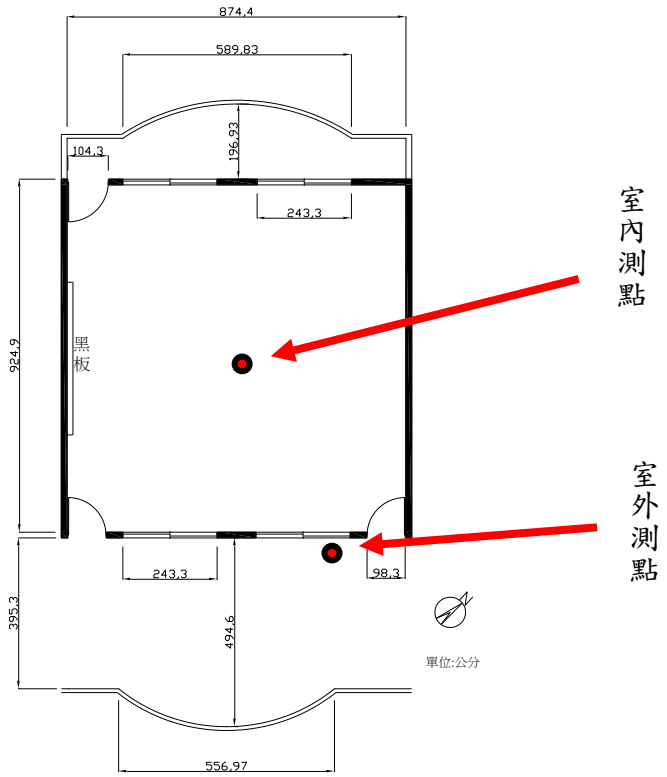


圖 3-19 板橋高中實測教室平面與測點位置

（資料來源：本研究測繪）



圖 3-20 板橋高中實測教室內測點位置

（資料來源：本研究拍攝）



圖 3-21 板橋高中實測教室外測點位置

（資料來源：本研究拍攝）

第五節 學校案例五基本資料說明(高雄前峰國中)

高雄市立前峰國中位於高雄市岡山區樹人路1號,本案例曾獲鑽石級綠建築標章，教室配置大多呈現南北向配置，建築師設計之理念為善用綠化優良之中庭提供教室內遮蔭與降溫之效果。本案實測教室選擇位於教室群 D 棟普通教室 206 班恰位於兩中庭之中間，校園空拍圖與校園配置圖如下圖 3-17 與圖 3-18 所示。有別於於前述四所高中有裝設空調，本案例是一所無空調全採自然通風模式之國中案例。本案之實測，考量暑假七、八月期間教室無人使用，因此實測於九月二日開學日始，截至期末報告撰寫時(十月初)共有完整一個月的數據以茲分析。



圖 3-22 高雄市立前峰國中校園空照圖

（資料來源：Google 地圖）

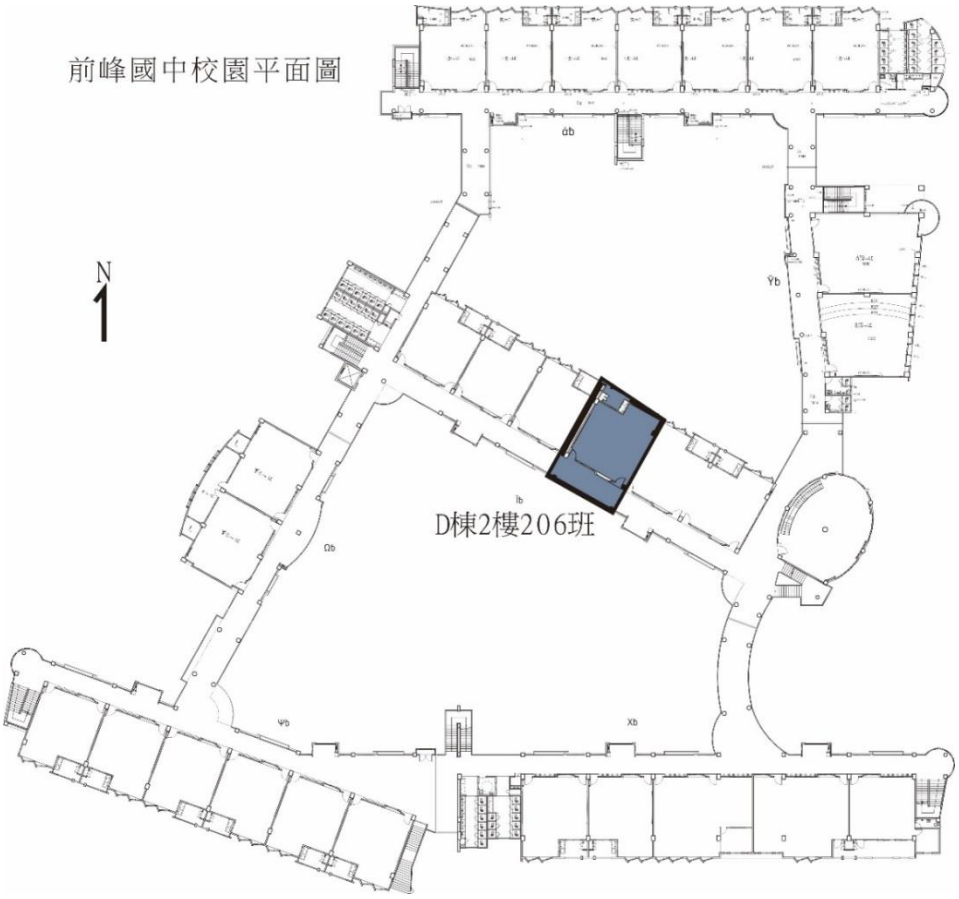


圖 3-23 高雄岡山前峰國中教室配置圖

（資料來源：前峰國中校方提供）

前峰國中 206 教室位於 D 棟普通教室 2 樓，為上圖黑線所標註之區域，室內淨長、淨寬與淨寬與淨高分別是 8.5m、8.75m 與 3.8m，室內面積與室內容積為 74.237m^2 與 282.625 m^3，班 m^3，班級人數約 40 人。開口方位於西南面與東北面，開口面積分別是 14.36 m^2、10.44 m^2，經 m^2，經計算後，VP 為 1.0 而 Vac 則是 0.275。測點位置於教室正中央的燈座支架上，戶外測點戶外測點則安裝於窗台上緣，詳細教室資料與平面圖如

表 3-7 與圖 3-19 所示。現場實際安裝之位置照片如圖 3-20 與圖 3-21 所示。

表 3-8 高雄市立前峰國中 206 班教室基本資料

淨高 (m)	長度 (m)	寬度 (m^2)	面積 (m^2)	容積 (m^3)	開口面積(m^2)		班級人數（人）	VP
					西南面	東北面		
3.8	8.5	8.75	74.237	282.625	14.36	10.44	40	1.0

（資料來源：本研究整理）

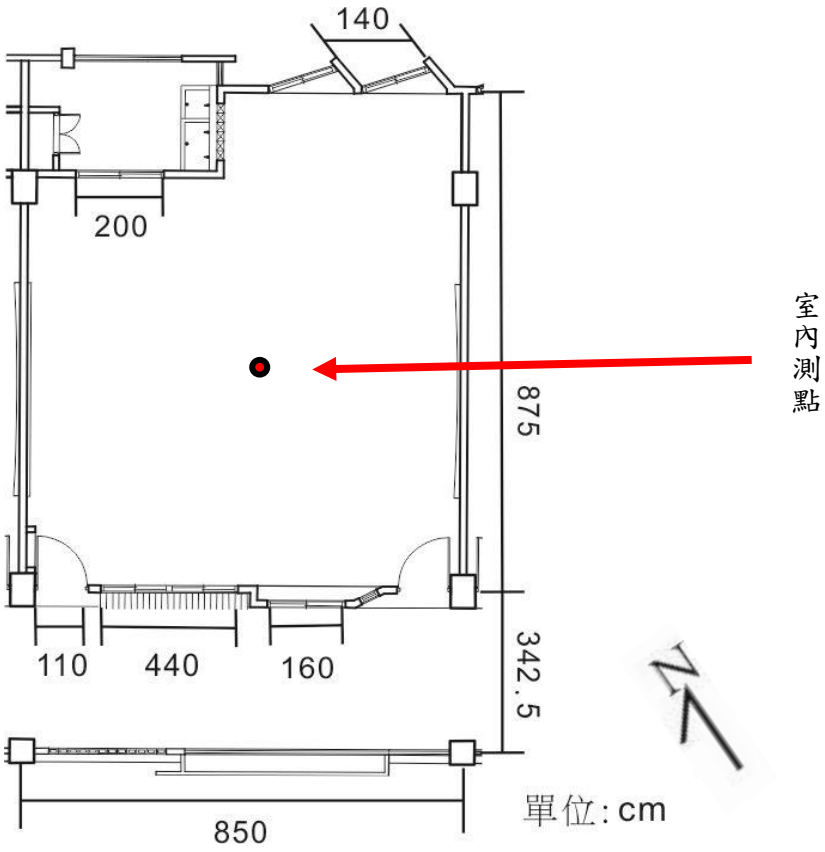


圖 3-24 前峰國中 206 班教室平面

（資料來源：本研究測繪）



圖 3-25 前峰國中教室實測位置

（資料來源：本研究拍攝）

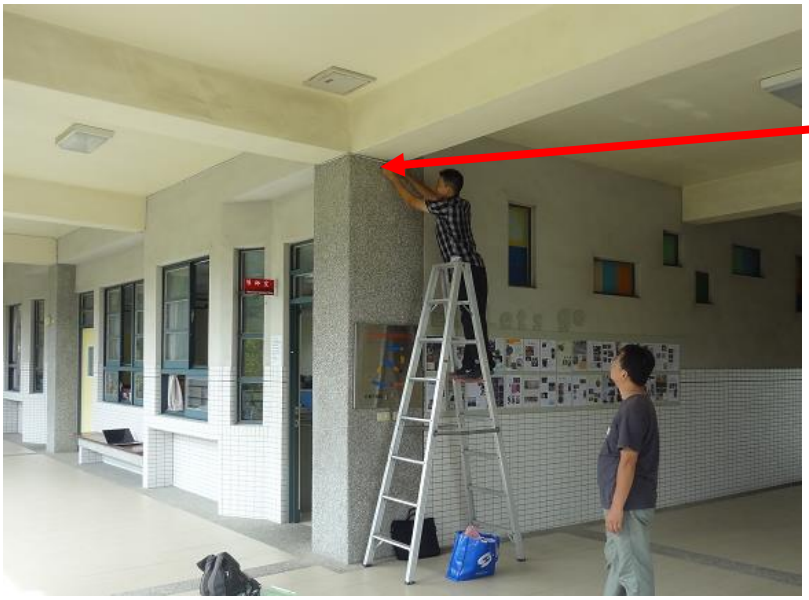


圖 3-26 前峰國中戶外測點位置

（資料來源：本研究拍攝）

第四章　教室類實測結果分析

第一節 複合式通風教室

教室實測案例均於 4 月底開始施測，截至期末報告撰寫為止約有 5 個足月之數據可供分析大致涵蓋我國炎熱季節。以下圖 4-1 至圖 4-4 為此期間之實測結果與判斷空調使用時間之呈現。基本上由於所擇教室均為兩側對向開窗，在標準教室淨深下，其自然通風潛力 VP 值均為良好之 1.0。所有案例在在 5 月份起始開始有空調之使用，將各學校案例之室內外溫度趨勢與空調使用時間判斷如圖 4-1 至圖 4-4 所示。

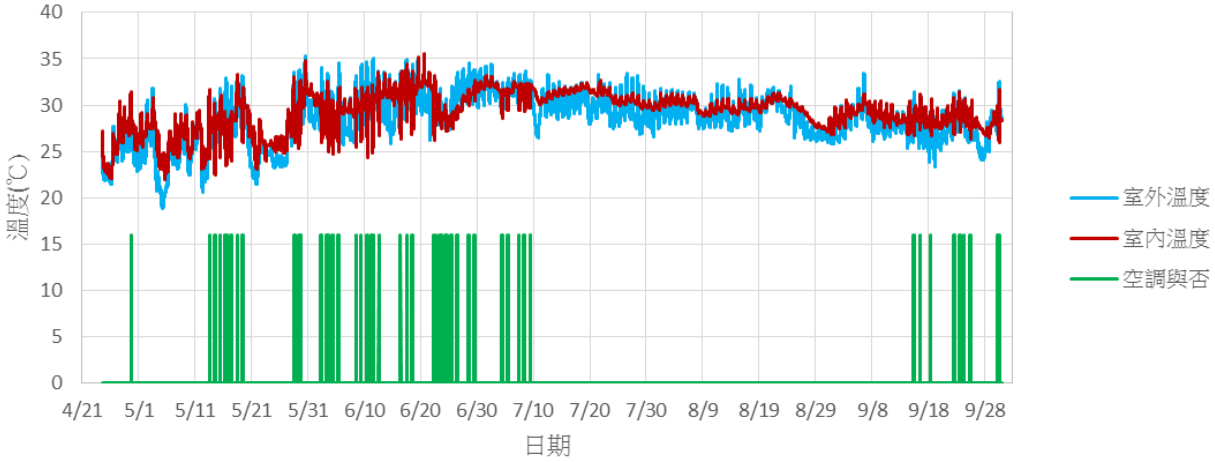


圖 4-1 建國中學 108 班教室內外溫度比較及空調時間判斷

（資料來源：本研究整理）

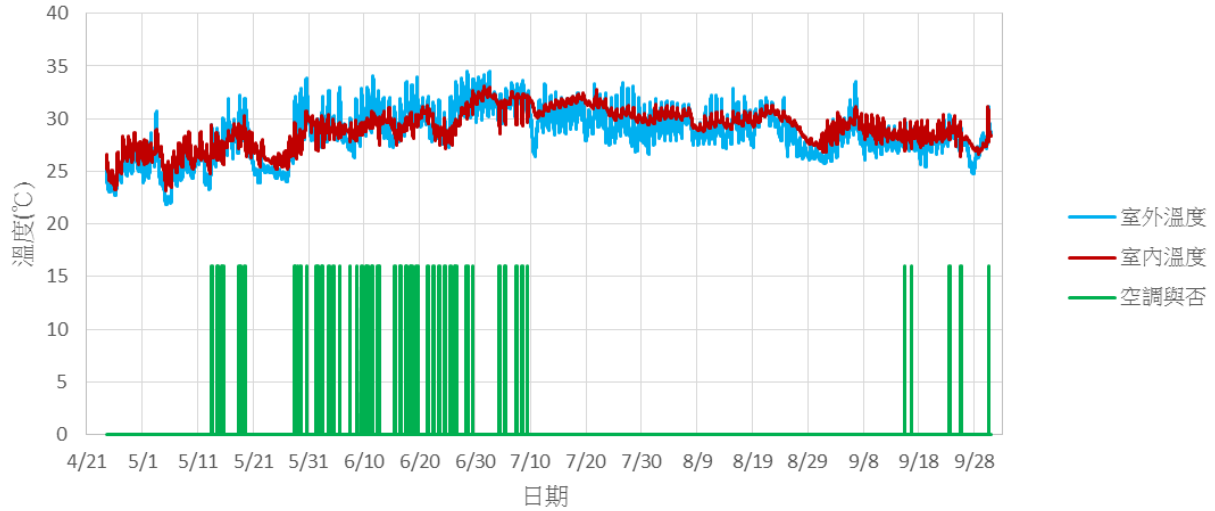


圖 4-2 中山女中高三勤班教室內外溫度比較及空調時間判斷

（資料來源：本研究整理）

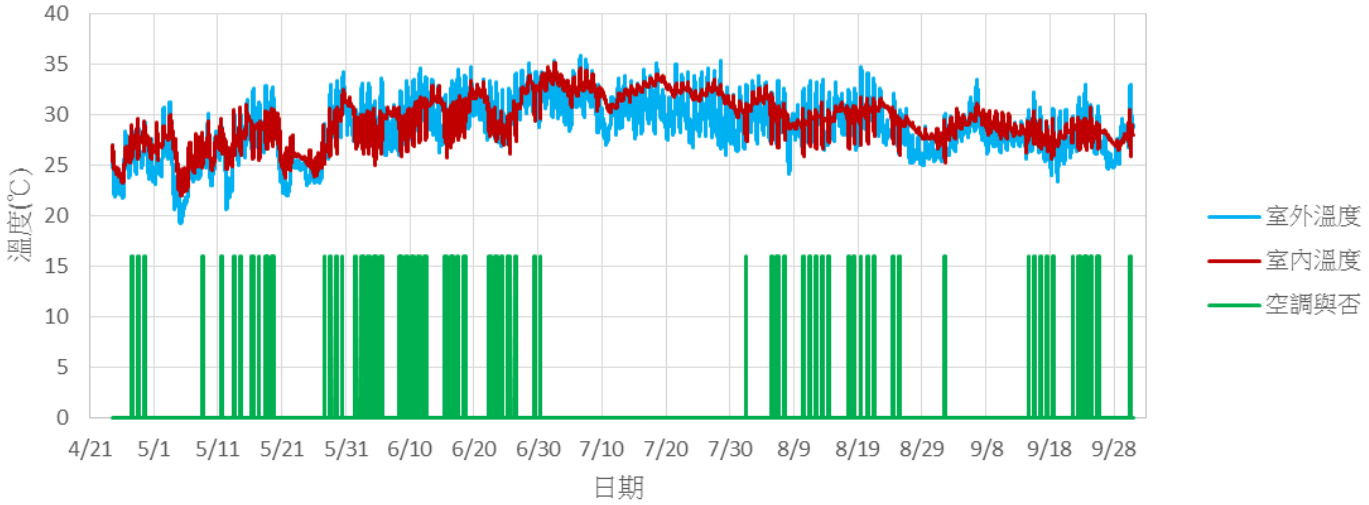


圖 4-3 光仁中學高一義班教室內外溫度比較及空調時間判斷

（資料來源：本研究整理）

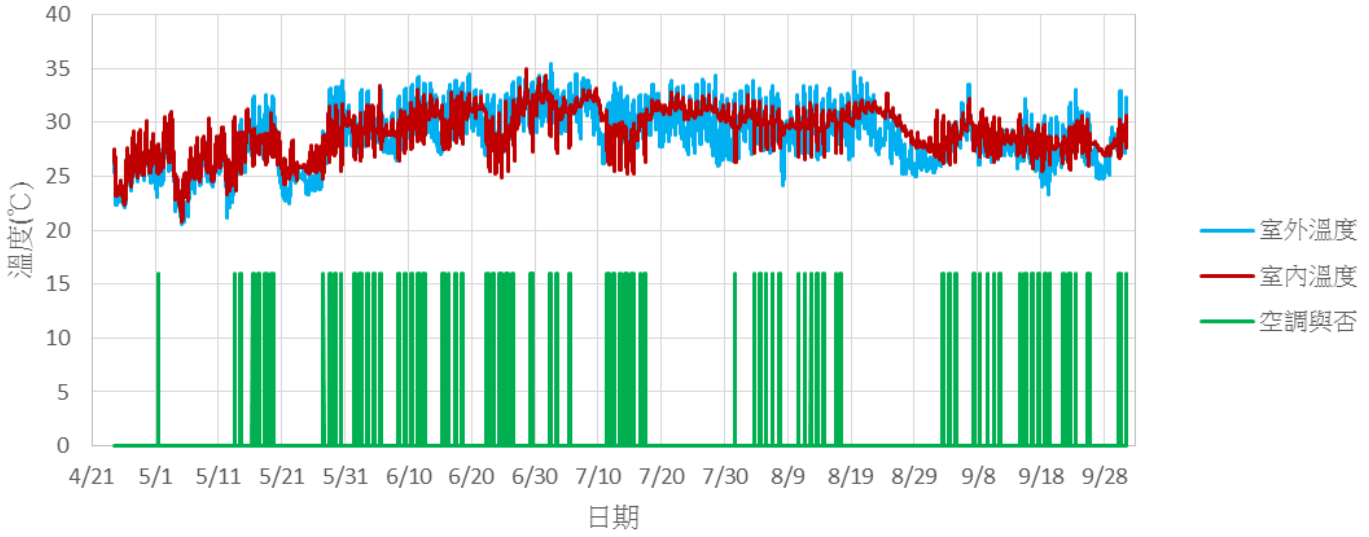


圖 4-4 板橋高中 207 班教室內外溫度比較及空調時間判斷

（資料來源：本研究整理）

建國中學之理論空調時數與實際空調時數分別為 405 小時、215 小時，中山為 201 小時及 137 小時及 137 小時，光仁中學為 383 小時、243 小時，而板橋高中則為 438 小時與 245hr。四校之四校之理論與實際空調使用時數整理如圖 4-5 所示。建國中學、中山女中、光仁中學與板橋中學等四所高中實際空調使用小時數佔理論應開空調小時數之比率分別為 53%、68%、64%與 56%。由實測室溫判斷出空調啟停之時程後，為進一步估算空調耗能量，本研究將進行理論與實際之空調使用期間內的冷房度時(CDH_{23})累算，以代表空調潛在之耗能量，其結果理論與實際之空調耗能 CDH_{23} 則分別為建中 3720K.hr 與 1680K.hr；中山 1633K.hr 與 727 K.hr；光仁 3316K.hr 與 1480 K.hr；板中 3970K.hr 與 1922 K.hr。其中光仁高中與板橋高中由於炎熱之暑假七、八月期間尚有為數不少之暑期輔導課程，此期間因天氣較為炎熱大多開空調使用，因此實際之空調啟

用率較其他二所學校為高。然而於以冷房度時(CDH_{23})估計空調耗能量時，四間之理論與實際CDH_{23}分別如

表 4-1 所示，空調抵減效果(VAC_{23})介於 0.44~0.48 之間，平均為 0.46。如依現行規範之內容學校是依其他類之評估公式評估，此外，因四所學校之教室其可自然通風面積(VP)皆為 1.0 換算規範之 VAC 為 0.275，皆小於規範規定之下限 0.45，因此於規範評估之認定上四所 VAC 皆為 0.45 定值，與實測結果相去不遠。因此，現行綠建築規範對於學校教室因自然通風而可獲得之空調節能效益評估無須進行修正。

然而，值得注意的是，由於實測所選擇之案例其 VP 皆為 1.0，因此現階段尚無法斷定當學校類之 VP 小於 1.0 時原規範內之評估公式是否合理，不過我國高中以下學校類教室由於大部分之開窗形式多為兩側對向開窗居多，因此其 VP 普遍算起來亦多為 1.0，而大專院校之教室有可能採用中央走廊之教室配置，才會有 VP 小於 1.0 之情況。

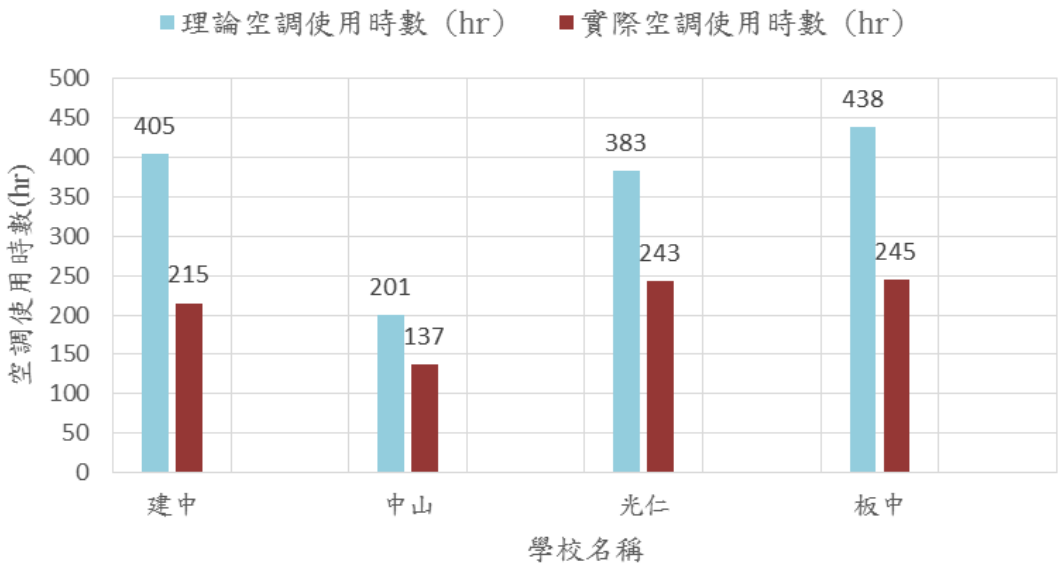


圖 4-5 各校教室空調使用時數比較

（資料來源：本研究整理）

表 4-1 四所複合式空調教室之空調折減效果分析

學校名稱	建中		中山		光仁		板中	
淨高 (m)	3.43		3.82		3.16		3.53	
長度 (m)	9.06		11.79		8.77		8.74	
寬度 (m)	7.13		7.22		8.46		9.25	
面積 (m^2)	64.56		85.20		74.19		80.87	
容積 (m^3)	221.25		325.55		234.23		285.56	
開口方位	東面	西面	北面	南面	北面	南面	西北面	東南面
開口面積 (m^2)	7.78	8.06	11.95	8.33	15.36	12.82	13.23	11.33
班級人數	45		36		48		44	
VP	1		1		1		1	
理論空調 (hr)	405		201		383		438	
實際空調 (hr)	215		137		243		245	
空調實際啟用率(%)	53%		68%		64%		56%	
理論 CDH_{23}	3720		1633		3316		3970	
實測 CDH_{23}	1680		727		1480		1922	
VAC	0.45		0.44		0.45		0.48	
經排除校方空調管理後之修正 VAC	0.51		0.45		0.45		0.48	

（資料來源：本研究整理）

然而，藉由上述之分析發現實測所得之空調折減效果優於法規之折減優惠，但由於多數學校皆採行總體空調使用管理之機制，即室外溫度大於 28°C 且九點過後才允許使用空調之管理措施，因而有可能導致實際之空調抵減效果 VAC 有高估之情況，因此本研究另考量如解除總體空調使用管理之限制時，反算理論上與實際上應開空調的小時數後，作為修正此管理措施導致高估了實際之空調折減效果。意即透過重新檢視戶外溫度小於 28°C 且室內溫度卻大於熱適應模型之舒適溫度上限時，理論上與實際上皆會啟用空調，計入空調使用時間之判斷以反算其對應之 CDH，而得修正後的空調折減效果(VAC)，較能反應無空調管理時之狀態。分析結果建中、中山、光仁與板中之 VAC 分別為 0.51、0.45、0.45 與 0.48，平均為 0.47 亦與現行規範 VAC 計算值=0.45 相去不遠。除建中一案的 VAC 稍較原本的值高之外，其餘三案在假設無空調節能管理

之下其 VAC 與原實測值差異不大。驗證現行規範內容應可大致不差的預測學校類應用自然通風之空調折減效益。

第二節 自然通風教室

本節探討高雄岡山前峰國中一無空調純自然通風教室之實測結果分析。該教室之實測於 104 年 9 月 1 日開學日起截至期末報告撰寫日 104 年 10 月 1 日止，恰為一個月之實測時間。由於本教室無空調，因此其分析重點在於評估教室室內是否過熱，以及其上課期間教室內過熱發生之頻率及其嚴重程度。在教室過熱之分析方法上，本研究採用 ASHRAE Standard 55 之 80%熱舒適之熱適應模型(詳如第二章第六節)，進行評估當教室於上課期間時室內過熱發生與否之判斷，藉以計算此九月間教室內發生過熱之頻率。此外，為評估教室內過熱之嚴重程度(*I*)，本研究參採 ISO7730 有關於室內長期熱不舒適之評估法，以度時之概念進行過熱嚴重程度之累算，其公式如下。

$$wf_{(dh)} = 1 + \frac{|t_o - t_{o,limit}|}{|t_{o,n} - t_{o,limit}|} for |t_o| > |t_{o,limit}| \quad (4\text{-}1)$$

$$I = \sum wf_{(i)} \cdot t for t_o > t_{o,limit} \quad (4\text{-}2)$$

其中：$wf_{(dh)}$=熱不舒適嚴重度之權重；I=熱不舒適嚴重度(K.hrs)；t_o：室內操作溫度(˚C)；$t_{o,limit}$：熱適應模型之熱舒適操作溫度上限(˚C)

圖 4-6 為整個九月期間室內外溫度之實測資料，雖然九月份高雄岡山地區之外氣月平均溫度為 29.28˚C 以及日間上課期間(08:00-17:00)之九月外氣平均溫度為 30.24˚C，然而此上課期間內之室內月平均溫度達 31.33˚C 較戶外溫度為高。而依熱適應模型判斷後室內溫度 80%熱舒適溫度上限應為 30.38˚C，室溫超過此溫度者及判定為過熱狀態。其室內人員在室期間內過熱發生之小時數為 125 小時，相當於過熱發生頻率為 88%，而過熱嚴重程度為 162.52 K.hr。顯示純自然通風教室在南部高雄地區有過熱之可能。

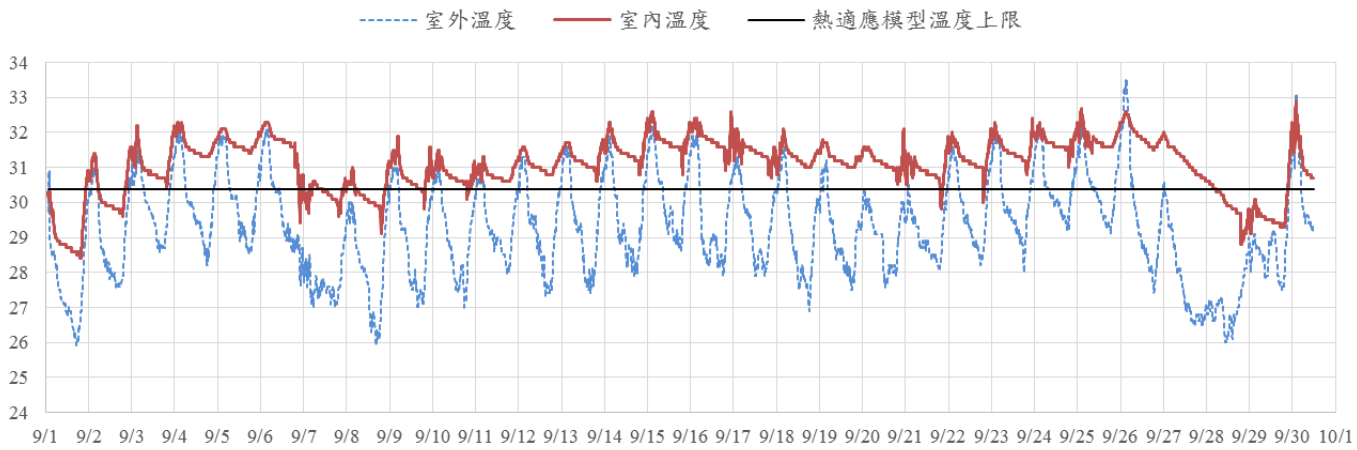


圖 4-6 前峰國中九月份教室室溫與戶外溫度歷線圖

（資料來源：本研究整理）

表 4-2 前峰國中教室基本資料與九月份過熱程度評估

淨高 (m)	長度 (m)	寬度 (m)	面積 (m^2)	容積 (m^3)	開口方位	開口面積 (m^2)	班級人數（人）	VP
3.8	8.5	8.75	74.237	282.625	西南面	14.361	40	1
					東北面	10.442		

實測總小時數 (hr)	過熱時數 (hr)	過熱發生頻率	過熱嚴重度 (K·hr)
142.50	125.00	88%	162.52

（資料來源：本研究整理）

第五章　住宅空間實測樣本說明

住宅之實測部分選擇位於台中地區共 17 戶家庭之室內居室空間,包含客廳及主要臥室空間安裝自計式溫濕度計以進行長時間之實測，每一實測地點固定逐月下載所記錄之數據。在戶外條件方面，受限於溫濕度儀器數量無法於每一戶皆進行戶外溫濕度之量測，因此本研究選擇台中市區內一戶較具代表性的住家頂樓放置溫濕度記錄器長期記錄其溫濕度，以作為本研究所有住宅空間實測之戶外溫溼度條件。由於住宅空間之使用情況不若學校教室較為固定易於掌握，住宅居室使用由於涉及私人使用狀態，使用時間較具不確定性，因此在實測空間之選擇上將以客廳以及主臥室等常時使用較為頻繁之住宅主要空間進行測點之安裝。

然而，縱使如此，仍無法完全掌握實際人員在室時間，以判斷實際上空調的啟停狀態係因無人在室或因自然通風下人員可忍受而無開啟空調之情況。因此，本研究利用 ASHARE Standard55 內所定義之熱舒適模型作為理論基礎推算 4 月至 5 月中理論上應開起空調之溫度判斷,藉以計算理論上之冷房度時(CDH_{23})以推估理論上之空調耗能。同時，透過居室內實測得之溫度判斷實際空調使用時間，以計算實際之冷房度時。將上述理論冷房度時與實際冷房度時兩相比較後便可得知，自然通風利用潛力對空調使用時間的影響。此判斷依據，詳述於第二章之第六節中。

各住宅之實測陸續於三月末至四月初完成儀器之安裝,截至期中報告撰寫時為止,共有完整一個月的溫濕度記錄資料。然而,本年之 4 月至 5 月時,全台氣候仍較涼爽，故多數提供實測之住戶均未開始使用空調，因此，本章僅選出 17 戶實測案例中，空調使用時間最多的 R01 宅作初步之分析，其餘各案僅呈現基本之施測環境介紹。分述如下各節。

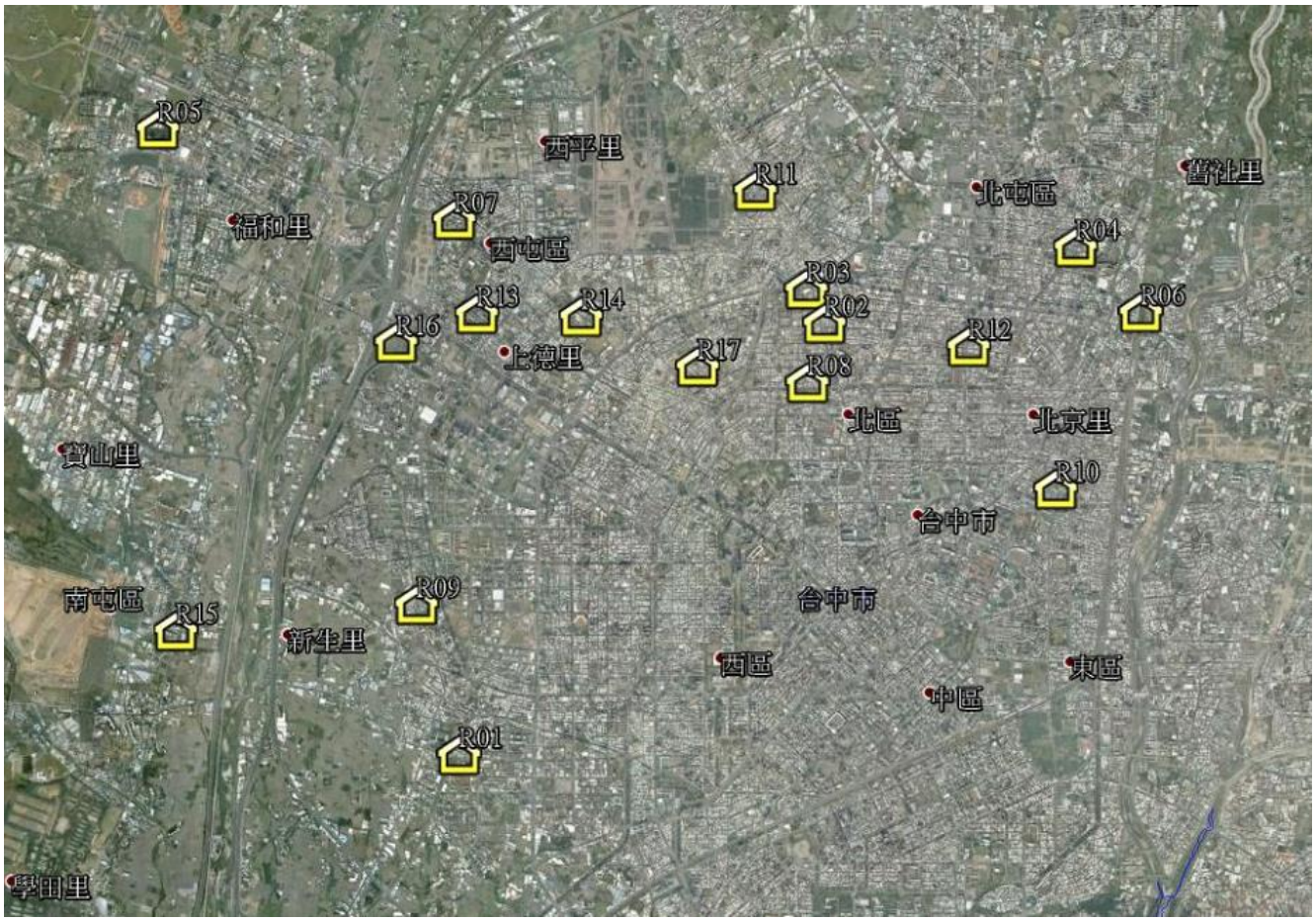


圖 5-1 台中住宅實測樣本地理分佈

（資料來源：Google 地圖）

表 5-1 住宅 17 個實測案例基本資料

案名	室內測點	居室面積 (m^2)	可通風面積 (m^2)	各空間 VP	整戶 VP
R01	1 樓客廳	43.23	38.93	0.90	0.77
	2 樓臥室	43.23	27.66	0.64	
R02	客廳、臥室	66.80	38.02	0.57	0.57
R03	客廳、臥室	83.33	78.54	0.94	0.94
R04	2 樓客廳	56.65	50.44	0.89	0.73
	3 樓臥室	51.19	28.82	0.56	
R05	客廳、臥室	139.3	99.14	0.71	0.71
R06	客廳、臥室	82.88	66.07	0.79	0.80
R07	客廳、臥室	76.32	66.40	0.87	0.87
R08	1 樓客廳	41.29	35.87	0.86	0.86
	2 樓臥室	40.35	34.13	0.84	

案名	室內測點	居室面積 (m^2)	可通風面積 (m^2)	各空間 VP	整戶 VP
R09	2 樓客廳	42.28	42.28	1.0	0.87
	4 樓臥室	42.28	31.41	0.74	
R10	客廳、臥室	99.24	48.03	0.48	0.48
R11	1 樓客廳	34.15	22.48	0.65	0.44
	2 樓臥室	38.45	9.75	0.25	
R12	客廳、臥室	105.27	48.02	0.45	0.46
R13	客廳、臥室	68.5	55.55	0.81	0.81
R14	1 樓客廳	41.41	30.83	0.74	0.57
	3 樓臥室	61.35	31.90	0.52	
R15	客廳、臥室	55.03	36.20	0.65	0.66
R16	1 樓客廳	84.04	51.27	0.61	0.43
	2 樓臥室	84.04	21.42	0.25	
R17	客廳、臥室	70.83	49.62	0.70	0.70

（資料來源：本研究整理）

第一節 實測住宅各案建築平面

本節介紹本研究所選定之住宅實測案例一共 17 案之平面配置與測點安裝之空間位置。本研究以實際現場測繪以取得各案之平面尺寸藉以繪製平面圖資，以供後續計算自然通風潛力(VP)。然而，由於各案皆屬私有空間，為簡化測繪工作與盡可能在不影響私人起居之情況下，與計算通風面積較無相關之尺寸或空間配置，則僅大略匯出相對之空間配置關係，至於其詳細之尺寸則以概估方式建構其合理之尺寸，此為本節所呈現平面圖之限制，合先敘明。

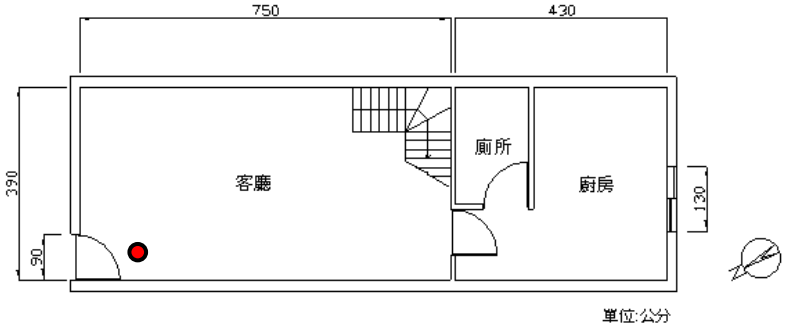


圖 5-2 R01 一樓建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

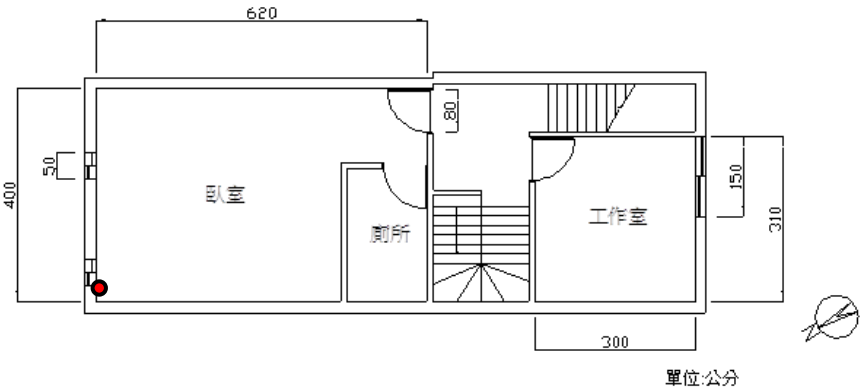


圖 5-3 R01 二樓建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

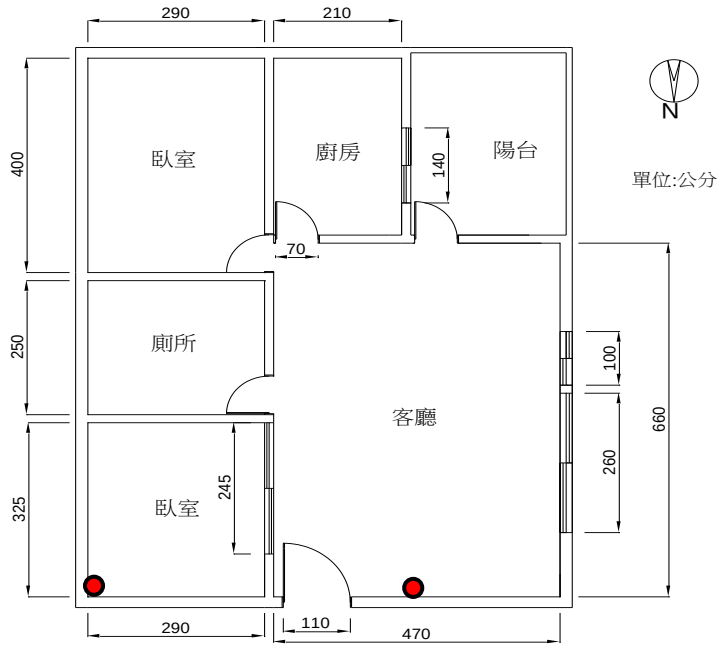


圖 5-4 R02 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

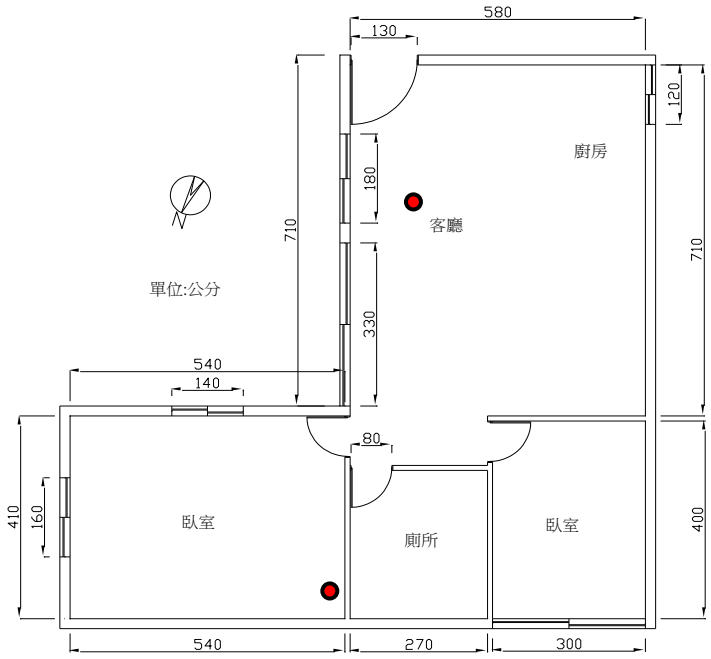


圖 5-5 R03 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

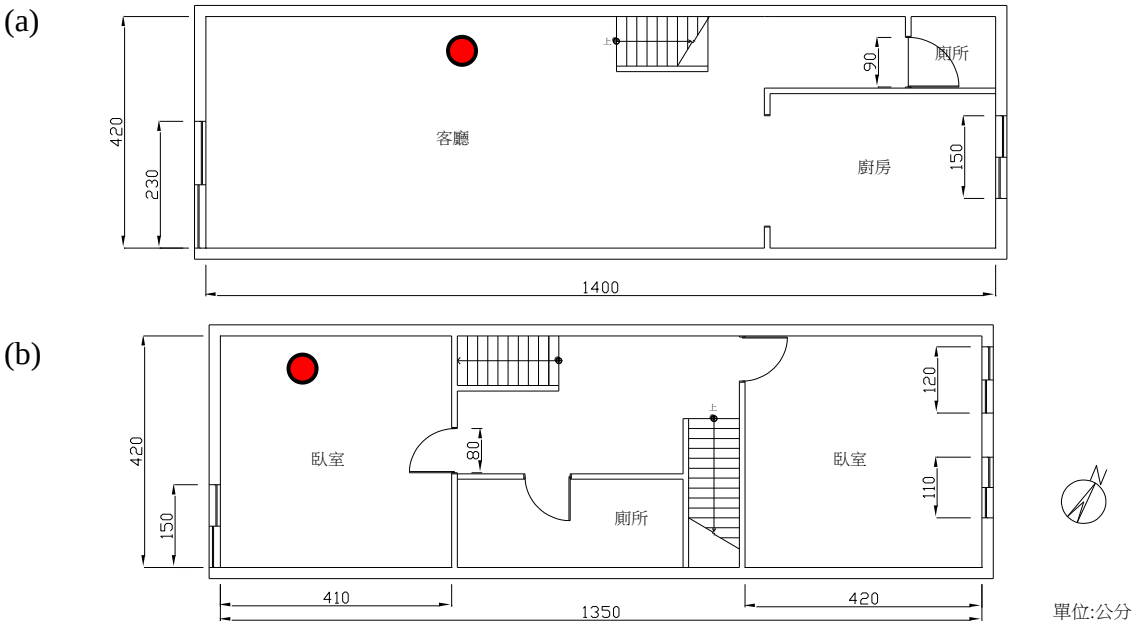


圖 5-6 R04 建築平面圖(a)二樓(b)三樓

（資料來源：本研究繪製）

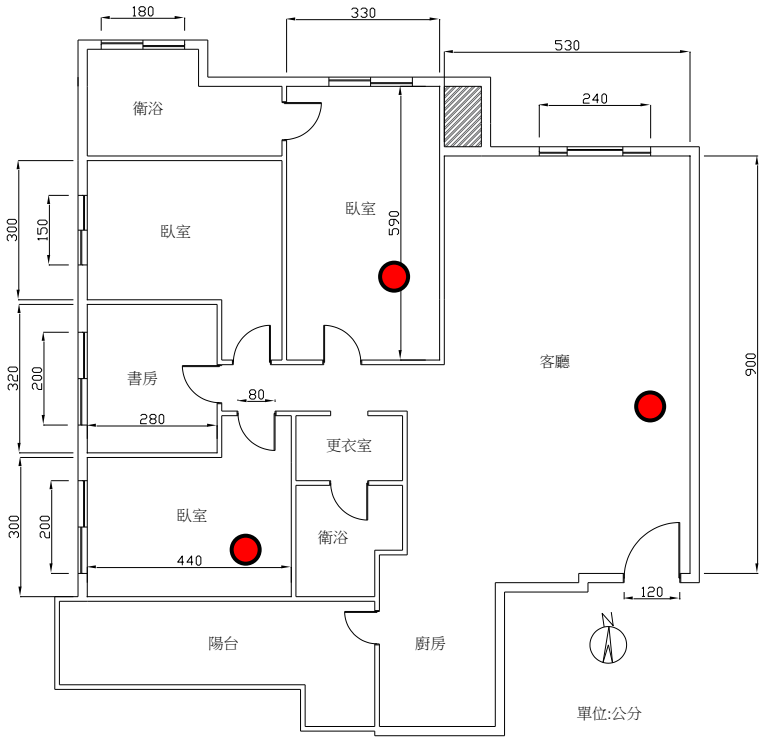


圖 5-7 R05 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

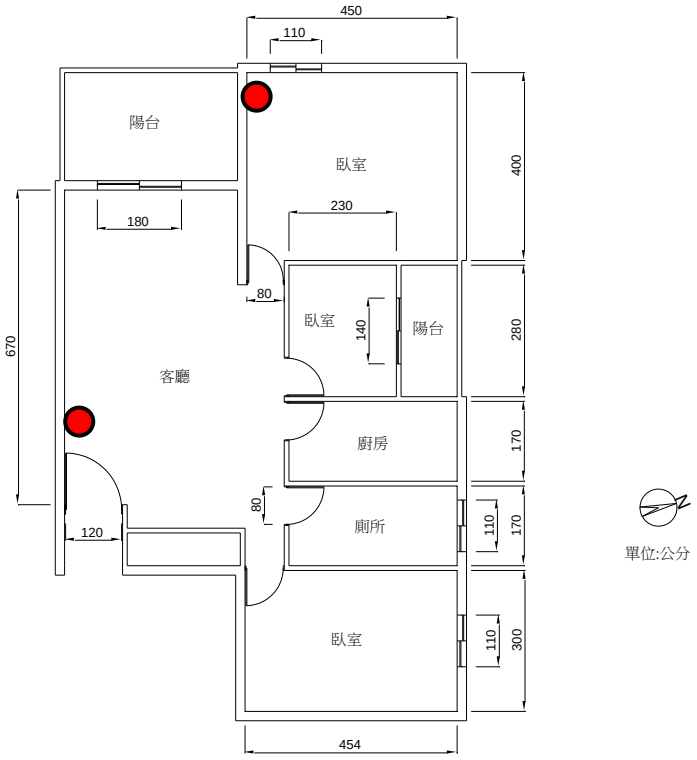


圖 5-8 R06 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

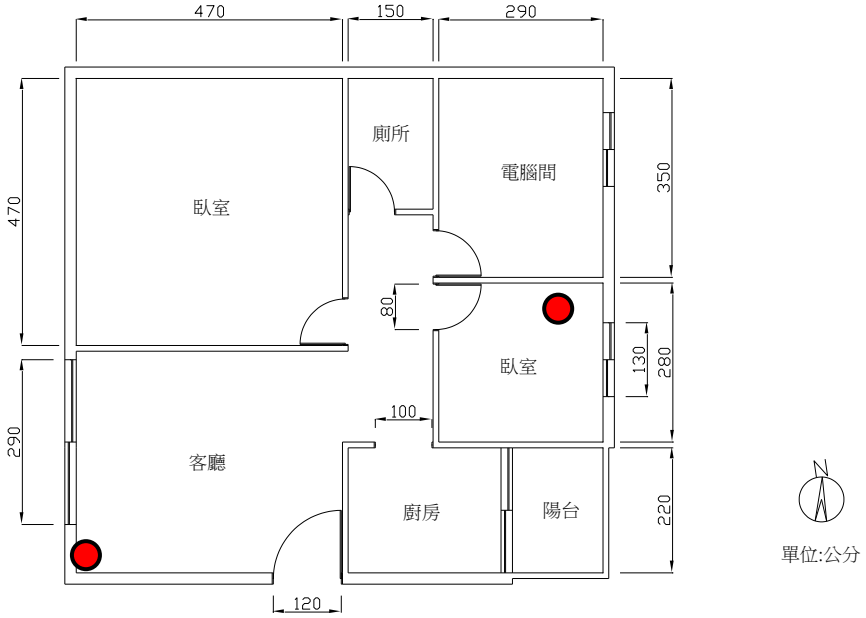


圖 5-9 R07 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

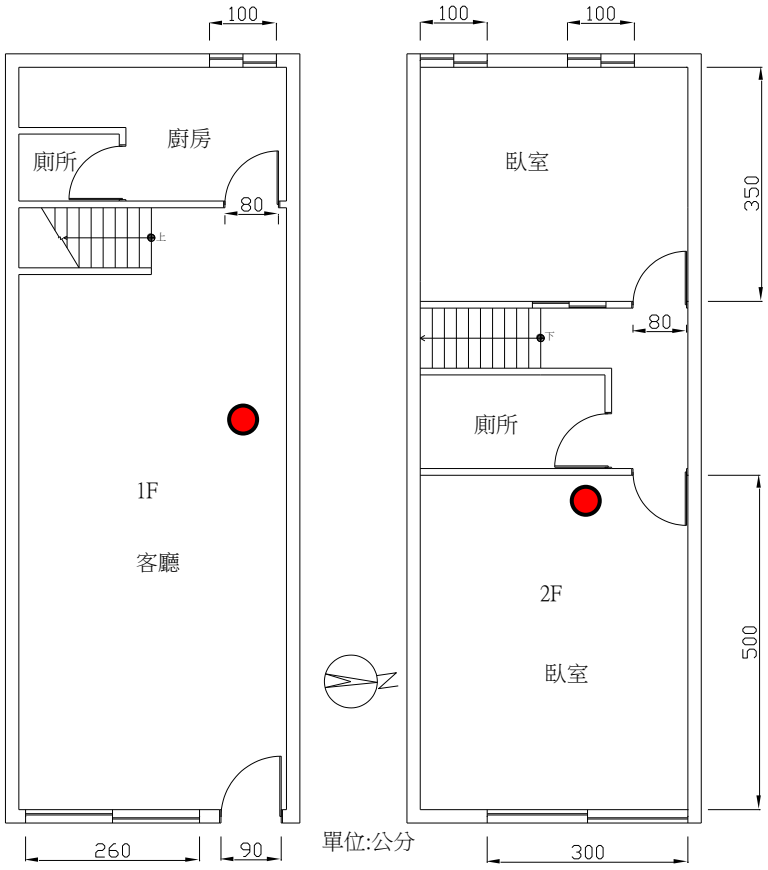


圖 5-10 R08 建築平面圖(左)1F(右)2F

（資料來源：本研究繪製）

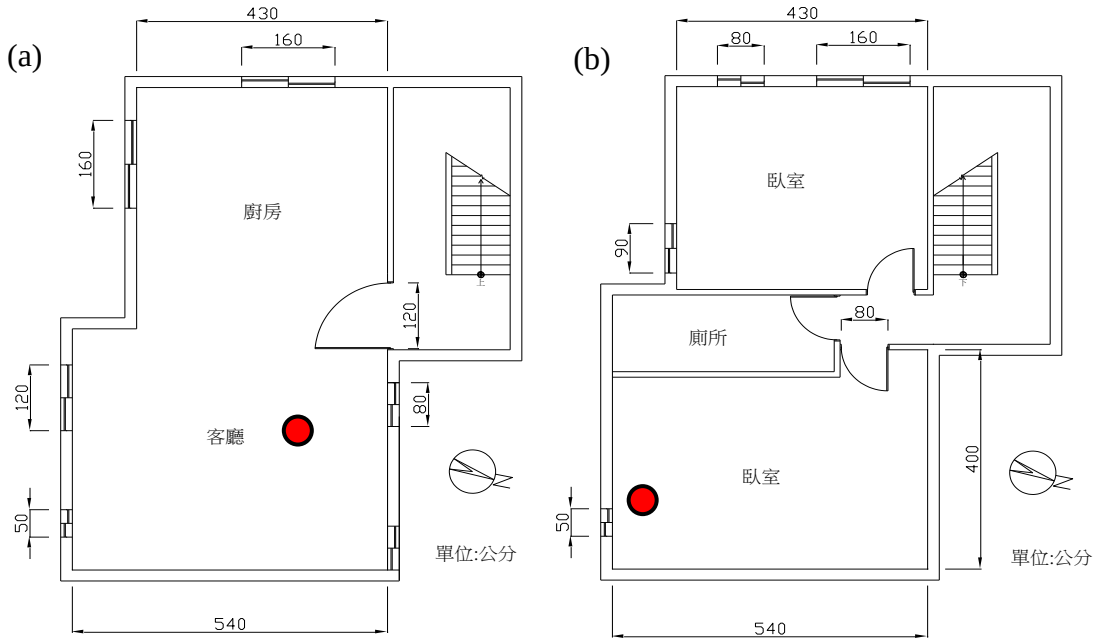


圖 5-11 R09 建築平面圖(a)二樓(b)四樓

（資料來源：本研究繪製）

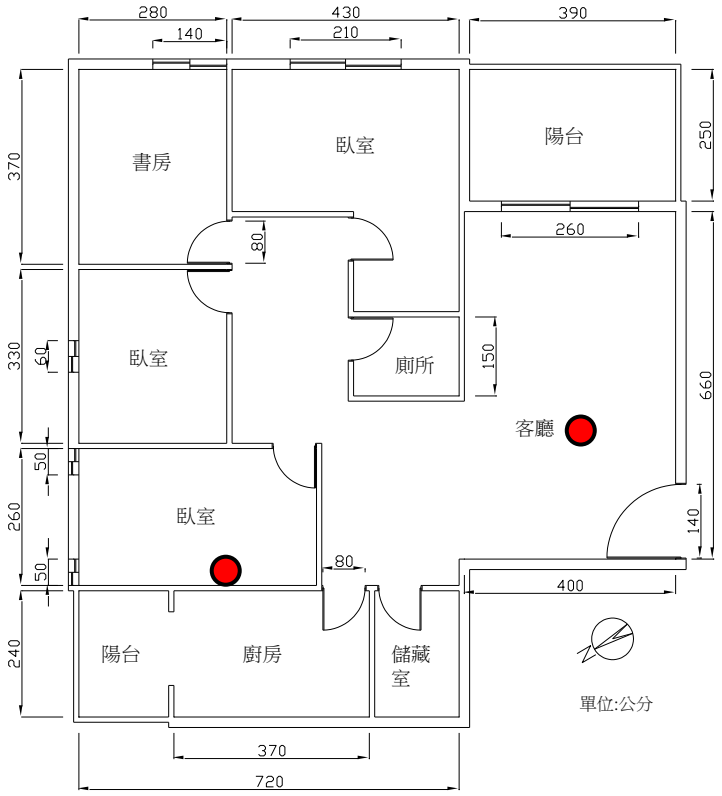


圖 5-12 R10 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

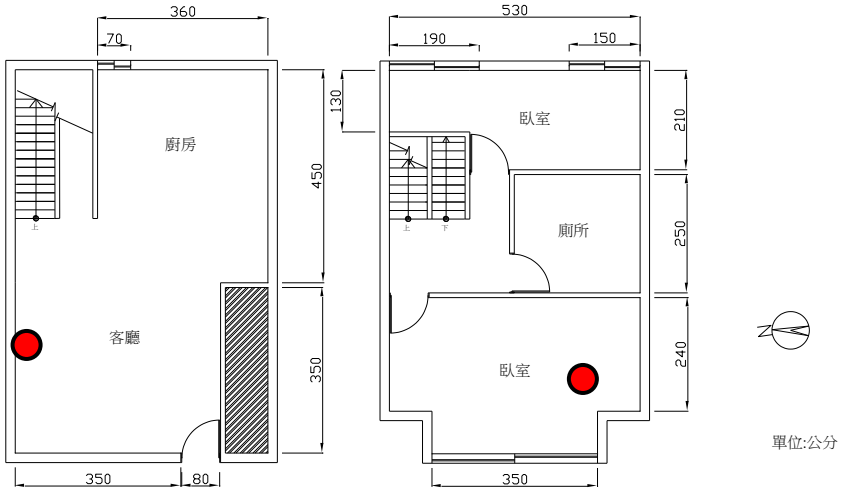


圖 5-13 R11 建築平面圖(左)1F(右)2F

（資料來源：本研究繪製）

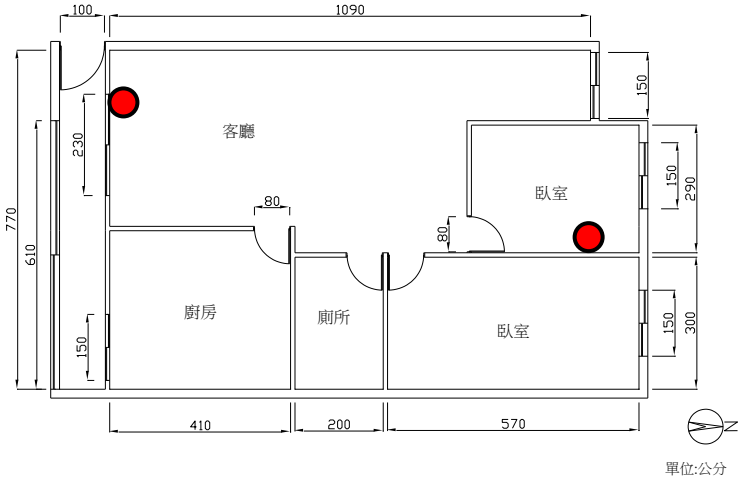


圖 5-14 R12 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

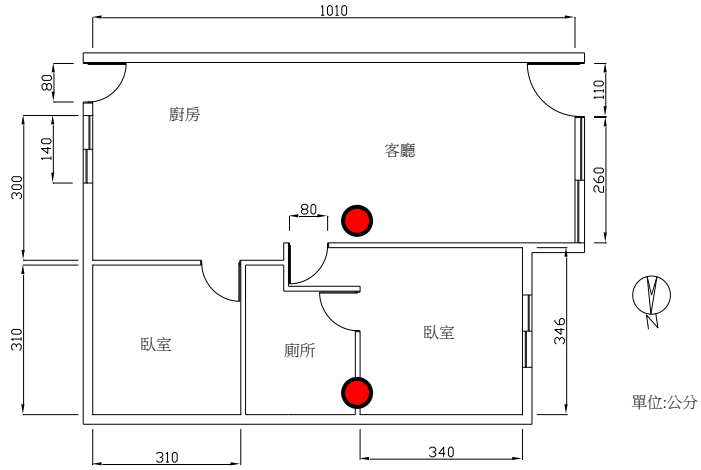


圖 5-15 R13 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

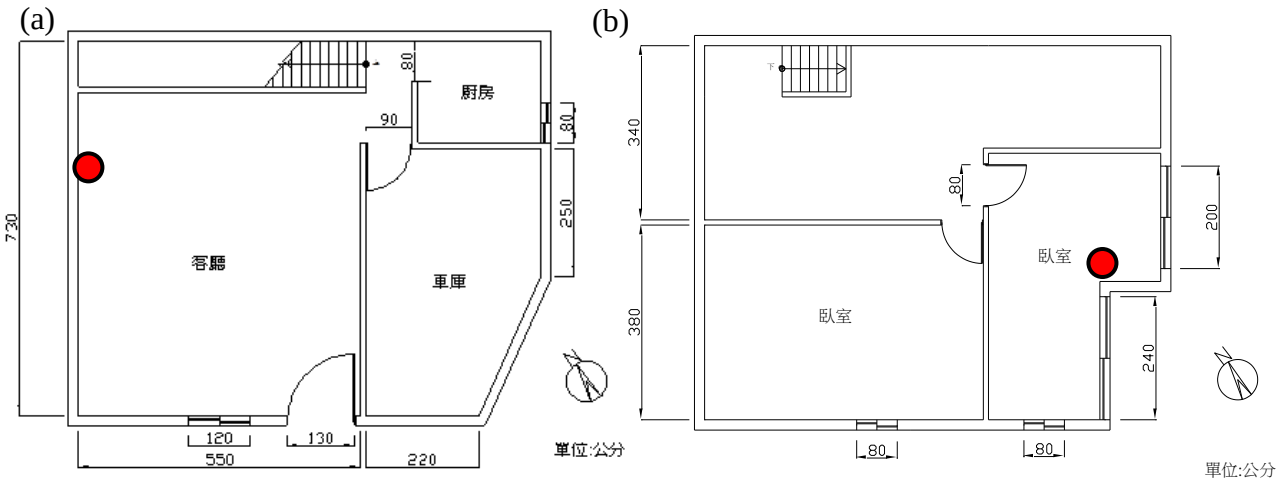


圖 5-16 R14 建築平面圖(a)一樓(b)三樓

（資料來源：本研究繪製）

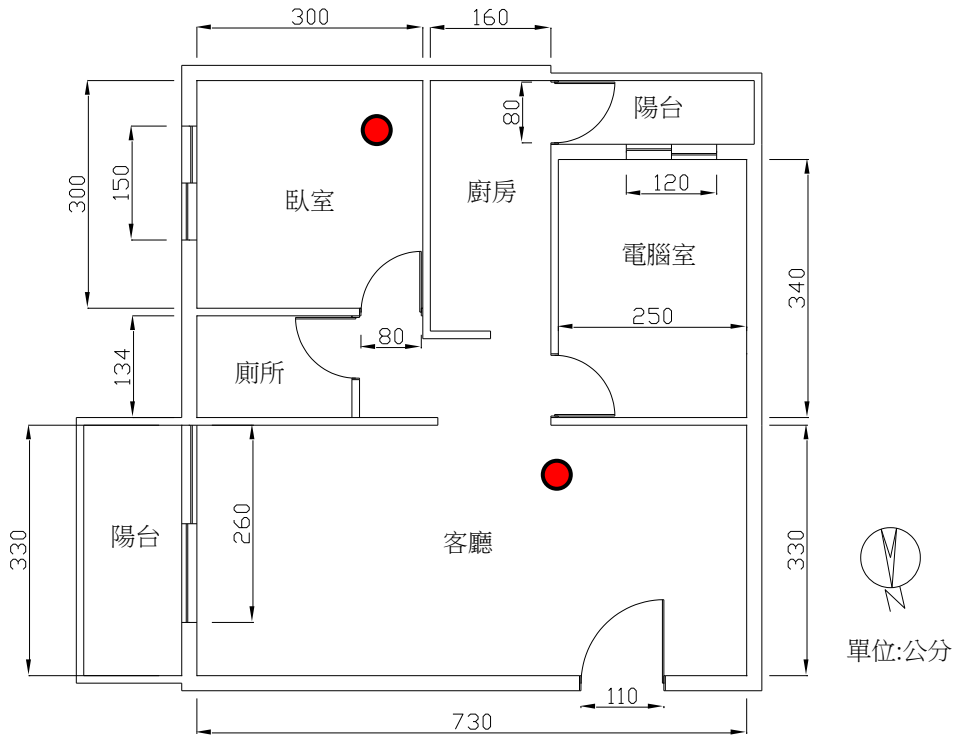


圖 5-17 R15 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

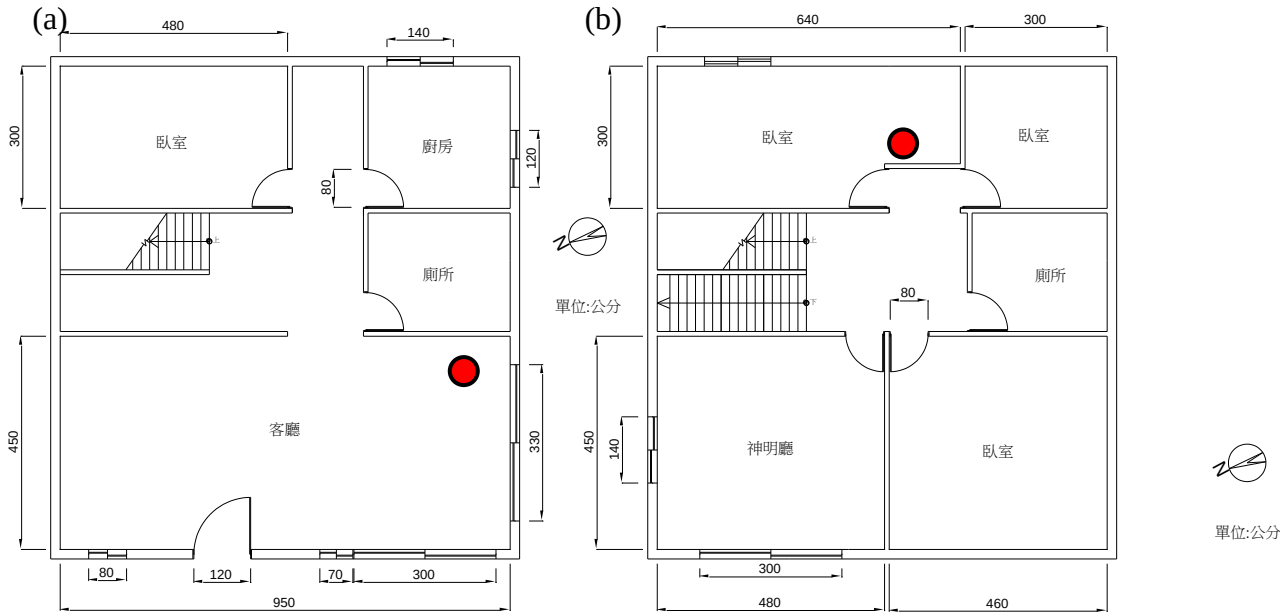


圖 5-18 R16 建築平面圖(a)一樓(b)二樓

（資料來源：本研究繪製）

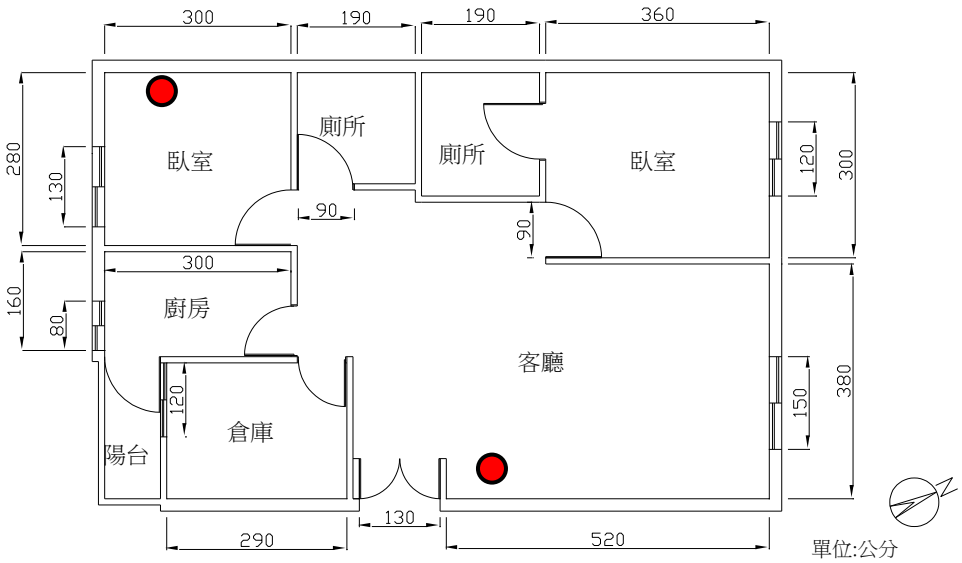


圖 5-19 R17 建築平面圖

（資料來源：本研究繪製）

第六章　住宅空間實測結果分析

本章為住宅自然通風實測之結果分析，所挑選之 17 例住宅樣本，每一樣本包含至少一間客廳與一間臥室之監測點，因此共有 34 個住宅空間樣本。下表 6-1 為各樣本空間之實測期間一覽表。以下本章第 1 節至第 3 節以樣本 R01 為例說明自然通風潛力(VP)對空調折減(VAC)之分析流程，爾後各樣本皆依循此分析流程與方法分別計算之，不再贅述。本章第 4 節為所有實測樣本之綜合分析結果。

表 6-1 各住宅案例施測日期

住宅案例編號	起始日	最後分析日
R01	4 月 2 日	9 月 20 日
R02	3 月 27 日	9 月 20 日
R03	3 月 27 日	9 月 13 日
R04	3 月 30 日	9 月 19 日
R05	4 月 2 日	9 月 13 日
R06	4 月 2 日	9 月 22 日
R07	4 月 2 日	9 月 19 日
R08	3 月 27 日	9 月 22 日
R09	4 月 2 日	8 月 30 日
R10	4 月 3 日	9 月 26 日
R11	3 月 31 日	9 月 21 日
R12	4 月 2 日	9 月 19 日
R13	4 月 2 日	9 月 19 日
R14	3 月 25 日	9 月 10 日
R15	3 月 30 日	9 月 19 日
R16	3 月 31 日	9 月 20 日
R17	3 月 30 日	9 月 19 日

（資料來源：本研究整理）

第一節 R01 宅建築平面介紹

養樣本 R01 住宅為 3 層樓獨棟透天住宅，建築外型狹長，淨深約 11.8 公尺，寬 4 公尺，因僅考慮居室空間，故僅測繪一樓與二樓之建築平面，如圖 6-1 與圖 6-2。一樓包含客廳、廚房以及廁所，測點設置在客廳，而客廳長 7.5 公尺、寬 3.9 公尺，開口大

致面向北方，且北面為整扇鐵捲門，平時會打開使用。二樓有一間臥室、一間廁所與一間工作室，且廁所位於臥室內部。而測點安裝於臥室，臥室長 6.2 公尺、寬 4 公尺，開口亦於北面，建築平面基本資料可參照表 6-2。另外關於自然通風潛力計算，詳見第二章第五節。

表 6 -2 R01 宅一樓平面基本資料

樓層	測點居室面積(m^2)	該樓總居室面積 Ai(m^2)	該樓可通風面積 CAi(m^2)	VP
1	26.69 (客廳)	43.23	38.93	0.90
2	20.52 (臥室)	43.23	27.66	0.64

（資料來源：本研究整理）

第二節 自然通風潛力評估方法(以 R01 宅為例)

計算該樓層之自然通風潛力時，需先繪製出建築平面圖，並計算出該樓層可通風面積與該樓層居室面積，並參照第二章第五節式(2-1)：

$$VP = \sum (VAi + CAi)/(Ai)$$

VP：自然通風潛力。

VAi：第 i 樓之臨窗通風面積。

CAi：第 i 樓之對流通風面積。

Ai：第 i 樓之居室樓地板面積。

本研究使用繪圖軟體 AutoCAD 繪製建築平面，而計算面積時，使用軟體內建的量測功能，可精確計算出居室面積(由紅線框出)與臨窗通風面積(由藍線框出並以藍色塗滿)以及對流通風面積(以橘色線表是通風路徑並以橘色塗滿)，如圖所示。在此案例中，一樓之居室面積為 43.23 平方公尺，而可通風面積為 38.93 平方公尺，可計算出一樓的 VP 值為 0.90。而二樓居室面積則為 43.23 平方公尺，而可通風面積為 27.7 平方公尺，可計算出二樓的 VP 值為 0.64。此處需要對二樓的可通風面積進行額外說明，由於考量到住戶使用習慣，臥室與工作室之門均不

常開啟，故無法形成對流通風路徑，往後案例亦會參照此規則進行通風面積的判斷。

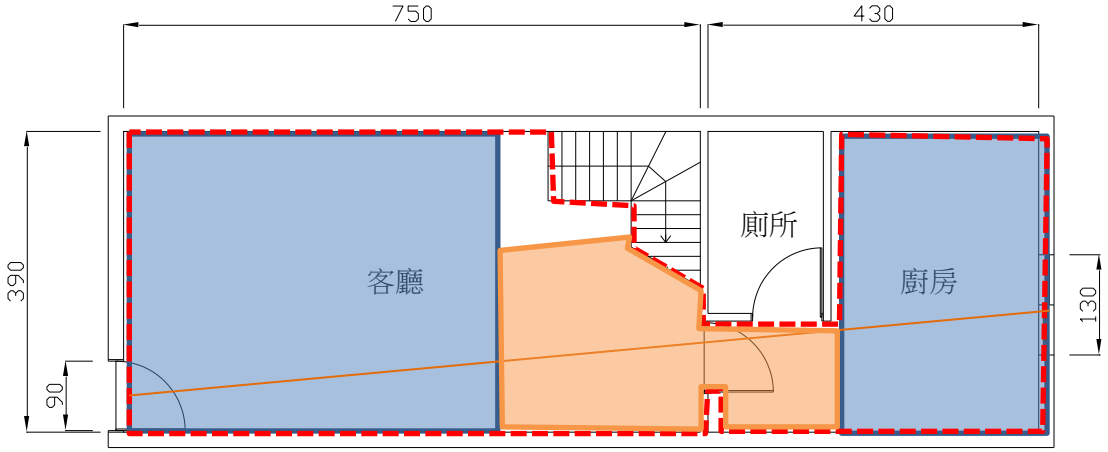


圖 6-1 R01 宅二樓建築平面圖

（資料來源：本研究整理）

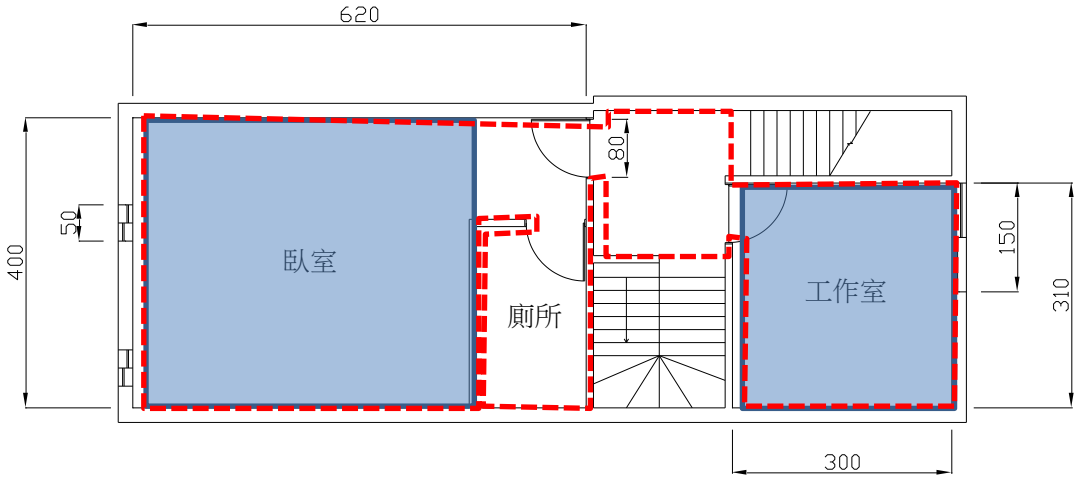


圖 6-2 R01 宅二樓建築平面圖

（資料來源：本研究整理）

第三節 自然通風潛力對空調使用時間之影響

本節將以實測數據，並說明如何判斷空調使用時間。並結合案例中的自然通風潛力，與實際空調使用時數，藉以了解自然通風如何調解冷房空調。

首先必須先說明實際使用空調時間的判斷依據，因此，將分別整理出室外溫度與居室室內溫度的趨勢變化圖，如圖 6-3，觀察室內溫度的變化幅度，尋找溫度劇烈下

降的尖點以及小幅度來回變動的溫度區間，為開始使用空調的溫度變化特徵，以此判斷實際使用空調時數。

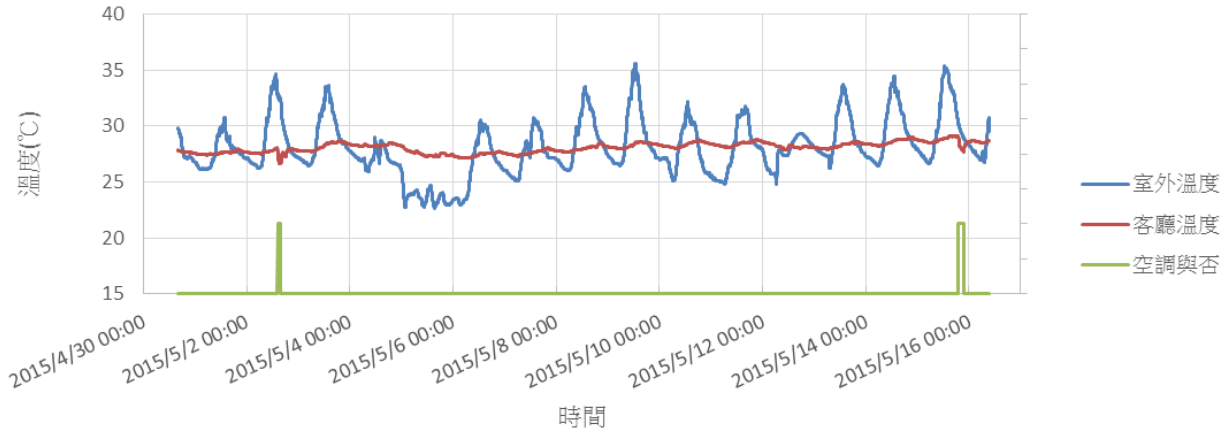


圖 6-3 R01 宅客廳溫度趨勢圖

（資料來源：本研究整理）

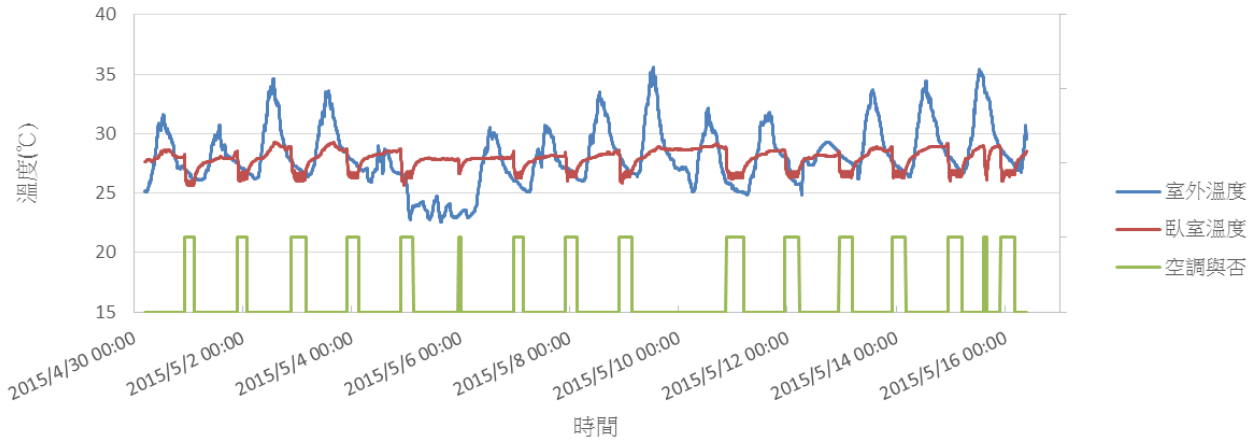


圖 6-4 R01 宅臥室溫度趨勢圖

（資料來源：本研究整理）

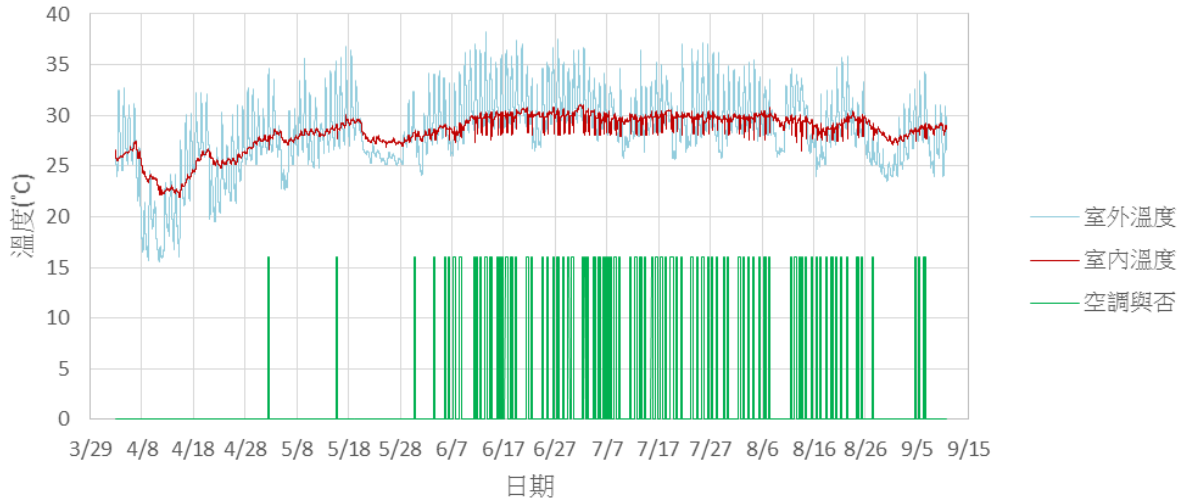


圖 6-5 R01 客廳空間實測期間之空調啟停狀態

（資料來源：本研究整理）

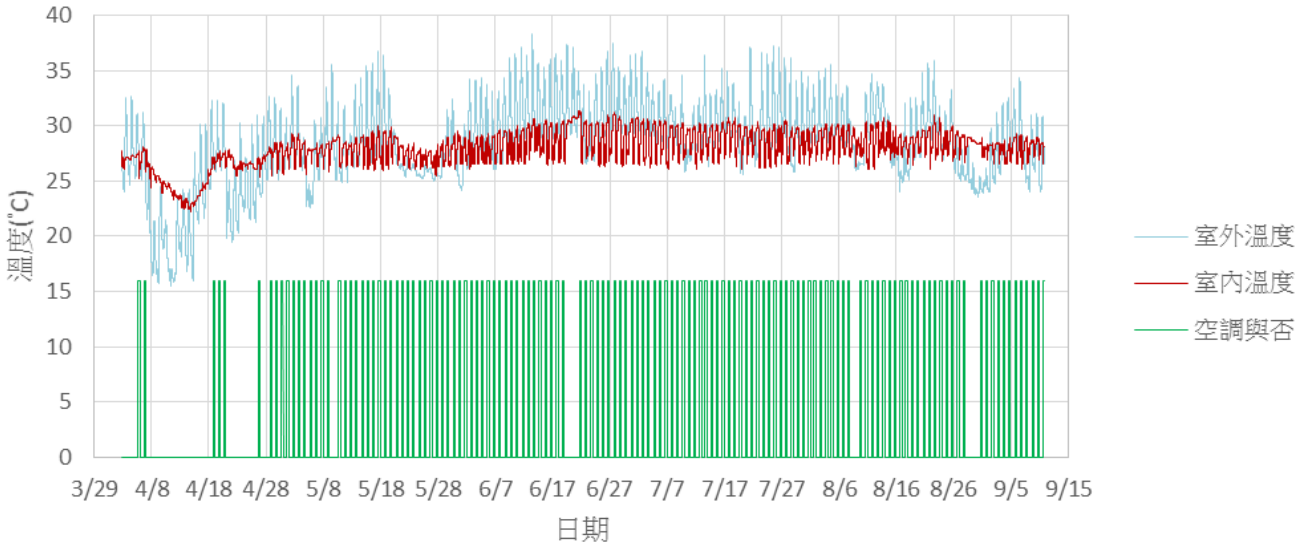


圖 6-6 R01 臥室空間實測期間之空調啟停狀態

（資料來源：本研究整理）

利用 ASHARED Standard55 之熱舒適模型(式 7)，計算出對應的月均溫中，理論上應開空調之溫度，由於自然通風最大調節室內溫度的結果為使室內外溫度相同，因此，若室外溫度高於人體所感到熱舒適的溫度時，判斷為理論空調使用，累加出理論空調使用時數。將實際空調使用時數與理論空調使用時數兩相比較，如圖，可以了解在該自然通風條件下可節省之空調使用量。然而，為了確保所分析時需有人員在室，而排除因室內無人而不開空調的情形以免高估空調抵減效果，因此本研究以客廳每晚 18~24 時以及臥室每晚 24~隔日 07 時為分析期間。此外在臥室空調之使用上，由於大

多是於夜間睡眠時啟用，理論上開了空調後的夜間由於睡眠因而無熱適應模型所假設的會隨戶外溫度變化而有調整空調之行為，因此臥室之空調啟停判斷僅以 24 時當下之戶外溫度判斷理論上空調是否應啟用，並作為整晚空調理論上應啟用之小時數。

圖 6-7 顯示 R01 住宅客廳與臥室經上述邏輯判斷合理空調時間與實測得之實際空調啟用時間比較，實際空調啟用時間於客廳與臥室分別比理論應開啟之空調時間少了約 35%與 4%。今再以 CDH_{26} 計算此期間之空調預估耗能量如圖 6-8 所示，客廳與臥室之空調耗能抵減效果 VAC 分別為 50%與 69%。然而由於現行綠建築評估係以整戶作為評估單元，因此實際之空調抵減效果(VAC)應以客廳與臥室之理論 CDH_{26} 累計值與實際空調之 CDH_{26} 累計值相加後換算而得，客廳與臥室理論上應開空調時之 CDH26 分別為 2481K.hr 與 1718K.hr，而以實際空調時間計算 CDH26 則客廳與臥室分別為 1228K.hr 與 1177K.hr，換算總體之 VAC_{all} 後則為 57%，意即本案(R01)因自然通風因而可為空調耗能折減效果之優惠係數為 0.57。而 R01 案例之自然通風面積 VP 為 0.77，代入規範之公式可得原規範內之空調折減係數 VAC 則為 0.948，很明顯法規是較為嚴苛許多的。公式如(6-1)所示。

$$VAC_{all} = \frac{CDH_{26,L,n} + CDH_{26,B,n}}{CDH_{26,L,m} + CDH_{26,B,m}} \tag{6-1}$$

其中 VAC_{all}：住宅最終空調折減係數；CDH 下標 L 代表客廳下標 B 代表臥室；而下標 n 代表實際空調時數；下標 m 代表理論空調時數。

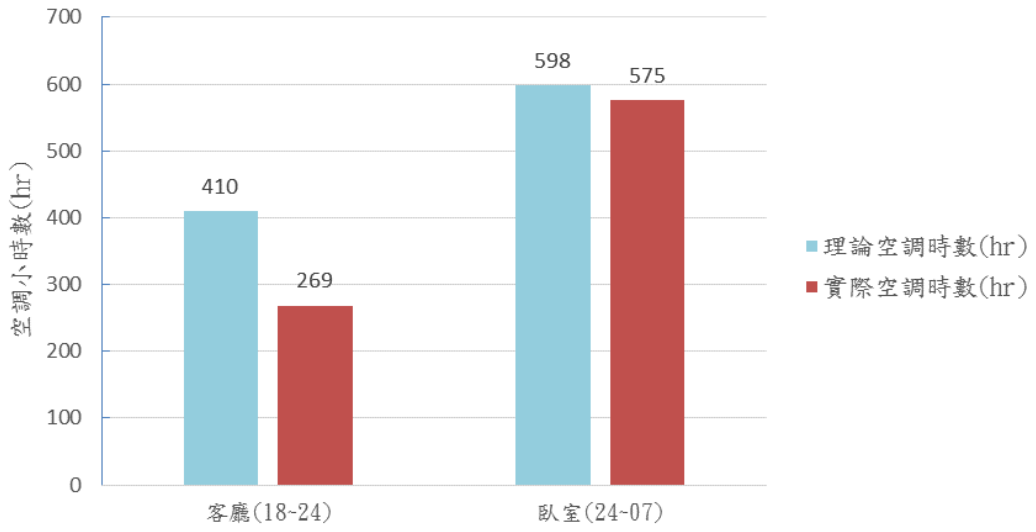


圖 6-7 R01 宅空調使用時數

（資料來源：本研究整理）

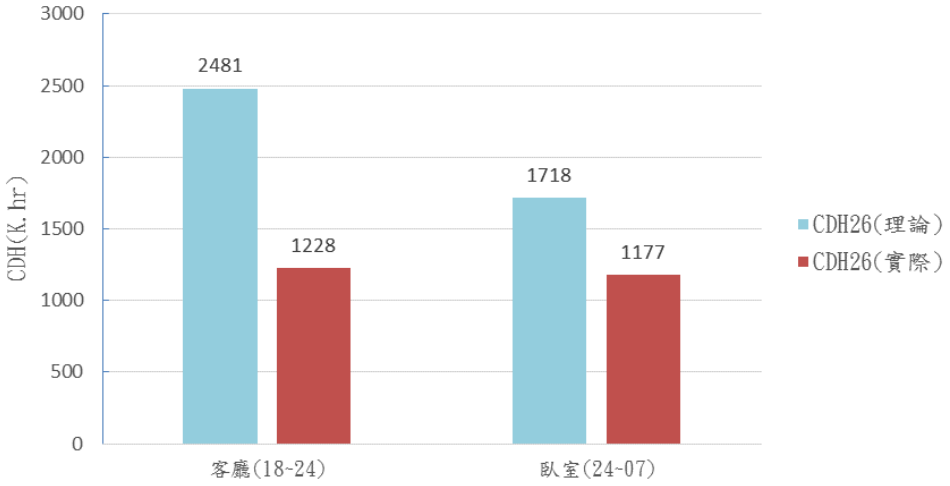


圖 6-8 R01 宅理論上與實際上 CDH_{26} 分析

（資料來源：本研究整理）

第四節 住宅類實測結果分析

台中十七例之住宅樣本自四月始至九月初為止，至少涵蓋足五個月炎熱季節之實測資料。測資料。圖 6-9 與圖 6-10 分別為各案例客廳與臥室理論應啟用空調與實際啟用空調之小時數比較，發現所有案例皆呈現實際空調使用小時數小於理論空調小時數之趨勢。然而，部分案例如客廳 R02、R06、R07、R08、R12、R17 以及臥室部分 R02、R07、R08、R12、R14 的三樓臥室等，因冷氣使用時間過少且室內過熱情形次數偏高，研判此乃因為該空間無人使用使然，因此判定為無效樣本而不計入實際 VAC 之分析，以求分析結果之正確性。所有案例之實測結果整理如下

表 6-3 所示。

表 6-3 住宅案例實測結果

案名	室內測點	面向方位	整戶 VP	使用頻率判斷	理論空調啟用小時數 (hrs)	實際空調啟用小時數 (hrs)	理論 CDH_{26}	實際 CDH_{26}	整戶 VAC	法規 VAC
R01	1 樓客廳	北	0.77	正常	410	269	2481	1228	0.57	0.95
	2 樓臥室	北		正常	598	575	1718	1177		
R02	客廳	西	0.57	極少	14	2	67	7	0.36	1.00
	臥室	東		極少	9	4	38	30		
R03	客廳	東	0.94	正常	693	576	3112	1735	0.63	0.82

案名	室內測點	面向方位	整戶 VP	使用頻率判斷	理論空調啟用小時數 (hrs)	實際空調啟用小時數 (hrs)	理論 CDH_{26}	實際 CDH_{26}	整戶 VAC	法規 VAC
	臥室	東、南		正常	459	436	1473	1175		
R04	2 樓客廳	西	0.73	正常	213	209	1041	812	0.82	0.97
	3 樓臥室	西		正常	408	393	1509	1267		
R05	客廳	北	0.71	正常	458	197	2870	1349	0.74	0.99
	主臥室	北		正常	446	420	1921	1796		
	臥室	西		正常	509	486	1887	1775		
R06	客廳	西	0.80	極少	16	2	78	9	0.93	0.93
	臥室	西、北		正常	499	489	1723	1672		
R07	客廳	西	0.87	少	105	22	544	105	0.20	0.87
	臥室	東		少	33	13	126	30		
R08	1 樓客廳	東	0.86	無	158	0	877	0	0.00	0.88
	2 樓臥室	東		無	23	0	111	0		
R09	2 樓客廳	南、北	0.87	正常	162	100	823	499	0.80	0.87
	4 樓臥室	南、北		正常	411	388	1339	1228		
R10	客廳	東	0.48	正常	364	277	1776	1299	0.82	1.00
	臥室	北		正常	443	420	1442	1329		
R11	1 樓客廳	西	0.44	極少	179	6	978	7	0.53	1.00
	2 樓臥室	西		正常	347	323	1352	1239		
R12	客廳	南	0.46	極少	146	22	364	44	0.12	1.00
	臥室	北		極少	0	0	0	0		
R13	客廳	西	0.81	正常	237	195	1052	828	0.88	0.92
	臥室	西		正常	369	359	1250	1198		
R14	1 樓客廳	南	0.57	正常	385	279	1829	1264	0.74	1.00
	2 樓臥室	東、南		正常	227	205	780	675		
	3 樓臥室	東、南		無	3	0	12	0		
R15	客廳	東	0.66	正常	112	82	604	444	0.86	1.00
	臥室	東、南		正常	268	253	1025	953		
R16	1 樓客廳	西、南	0.43	正常	400	139	2502	743	0.55	1.00
	2 樓臥室	東		超量	490	473	1581	1498		
R17	客廳	北	0.70	極少	178	11	1001	36	0.94	1.00
	臥室	南		正常	679	655	1825	1712		

（資料來源：本研究整理）

由理論與實際之空調啟用時間配合當地之戶外逐時氣溫資料，分別計算理論與實際之 CDH_{26} 以分別代表理論與實際之空調耗能量，如圖 6-11 所示，並藉以推求實際之空調抵減效果 VAC_{all}。由圖 6-13 之各案 VP 與 VAC 之散佈圖呈現無規則之散佈，其相關係數為 0.344 呈低度正相關，實測知結果意味著 VP 愈大者空調折減效果越差，與規範所假設 VP 越大空調節能亦應越高之情況相反。此外，由圖中觀之，各案間之差異甚大，研判係因各戶住宅空間之使用習性，包括使用的時刻、使用時間的長短、用戶對空間熱舒適的感受不同與空調使用習慣等因素不同所致。左右住宅空調實際耗能之主要因子無法單純由可自然通風面積比(VP)可決定。

今再將實際之 VAC 與由綠建築規範所計算而得之 VAC 繪製散佈圖以探討其相關性，如圖 6-12，發現其單回歸判定係數 R^2 值遠小於 0.1 顯示二者間無任何關聯。由於部分住宅案例之可自然通風面積 VP 小於 0.7，依規範之公式推算其 VAC=1.0 意即無任何空調抵減效果，因此所有樣本之規範 VAC 落在 0.82~1.0 之間，平均值為 0.960，標準差為 0.06。反觀由實測資料推算之空調抵減效果 VAC 則分佈於 0.53-0.94 之間，平均值為 0.730，標準差為 0.134，現行規範對住宿類空間之評估是較為嚴苛的。此外，由圖 6-13 所示在剔除無效樣本後將空調耗能抵減效果(VAC)對可自然通風面積(VP)作圖，其 R^2=0.1184 亦顯示無相關性，進一步以 VP 對 VAC 進行變異數檢定其 *p* 值為 0.25>0.05，統計檢定結果顯示 VP 非影響住宅 VAC 之變因，意即自然通風影響空調節能量之影響因子可能不止 VP 單一因子。縱上，由研究結果顯示住宿類建築之空調耗能與可自然通風面積比例(VP)無明顯之關連。

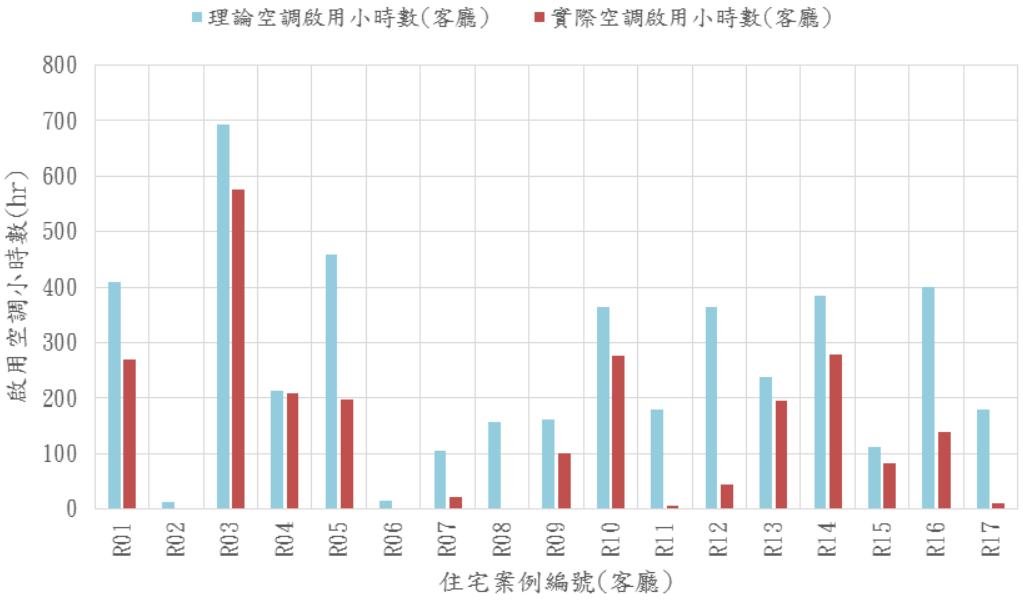


圖 6-9 各住宅客廳案例理論與實際空調使用時數比較

（資料來源：本研究整理）

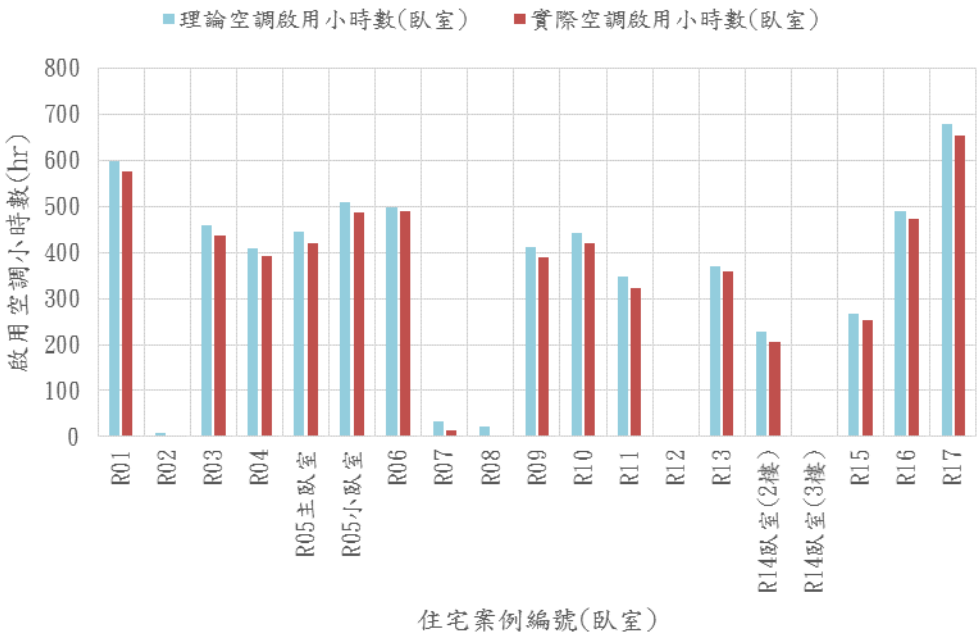


圖 6-10 各住宅臥室案例理論與實際空調使用時數比較

（資料來源：本研究整理）

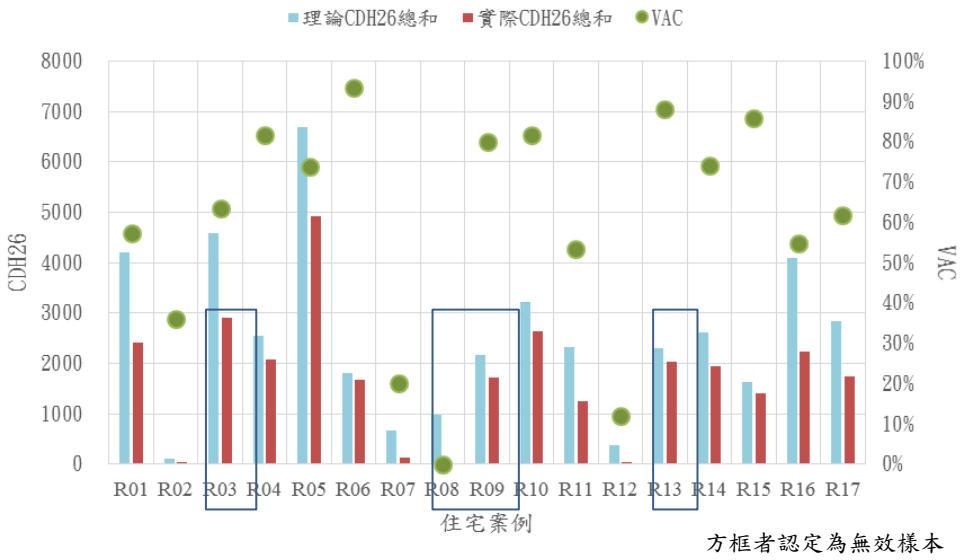


圖 6-11 各案住宅之理論與實際空調耗能量

（資料來源：本研究整理）

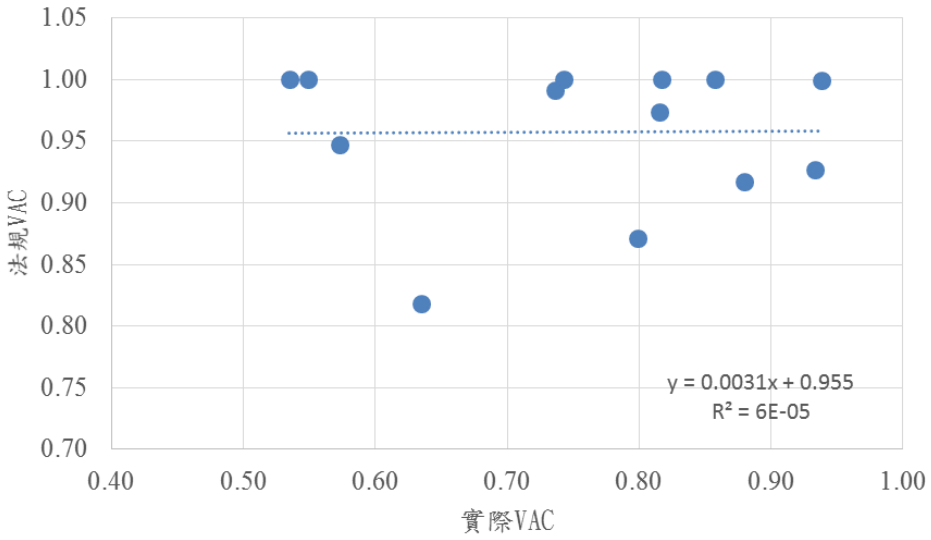


圖 6-12 理論與法規 VAC 之比較(住宿類)

（資料來源：本研究整理）

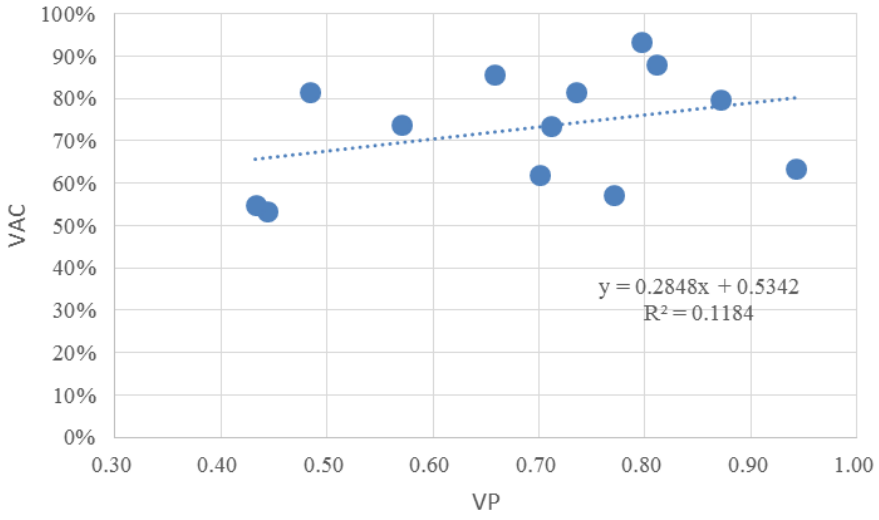


圖 6-13 實際空調抵減量(VAC)與可自然通風面積率(VP)之關係

（資料來源：本研究整理）

第七章　結論與建議

第一節 結論

本研究欲探討自然通風應用下之空調節能潛力，以及為了印證現行 2015 年版綠建築評估手冊內有關於自然通風潛力對空調耗能抵減效果之評估，選定位於台北地區之學校類四例、位於高雄岡山自然通風學校教室一例以及位於台中地區之住宅類共十七例案例進行長期之室內溫濕度實測，以作為判斷室內空調啟停與熱舒適之依據，再依冷房度時法(CDH)分別計算理論與實際之空調耗能量藉以換算自然通風之空調折減率(VAC)。各案例除高雄岡山案於九月初開始監測外，其餘皆於三月下旬至四月下旬陸續完成儀器安裝進行溫濕度記錄。截至期末報告撰寫(十月初)為止，除高雄自然通風教室僅有一個月數據外，其餘有效實測數據記錄至九月底，大致涵蓋炎熱季節期間共 5 個月。所獲致結論整理如下：

(一)學校類

1. 本研究實測台北地區四所以複合式通風運轉之高中，四所高中之自然通風潛力(VP)皆為 1.0，經排除各校空調使用管理而修正後的空調折減效果(VAC)，分析結果建中、中山、光仁與板中之 VAC 分別為 0.51、0.45、0.45 與 0.48，平均為 0.47 與現行規範 VAC 計算值 0.45 相去不遠。
2. 另本研究針對位於高雄岡山全自然通風之前峰國中，進行室內溫熱環境之實測，並以 ASHRAE 熱適應模型進行室內熱舒適評估，發現在為期一個足月(九月份)之實測期間並剔除室內無人時之資料，室內發生過熱之頻率達 88%，室內平均溫度 31.33˚C，而此月間其長期熱不舒適嚴重程度則達 162.52 K.hr，顯示於高雄地區全採自然通風之教室尚不足以滿足熱適應模型所定義之室內舒適標準。

(二)住宿類

1. 本案實測 17 戶住宿類空間，在剔除 4 戶無效樣本後，發現由實測資料推算之空調抵減效果 VAC 則分佈於 0.53-0.94 之間，平均值為 0.730，標準差為 0.134。

而如以現行綠建築規範對住宿類空間之 VAC 評估，所有樣本之規範 VAC 落在 0.82~1.0 之間，平均值為 0.960，標準差為 0.06。顯示現行規範對住宿類空間之評估是較為嚴苛的。然而進一步探討 VP 與實際 VAC 之關係後，發現二者間於絕對之相關性，意即住宿類空間之空調耗能抵減效果與 VP 之關係不明顯，尚有隱藏因子左右著空調之實際耗能量。

第二節 建議

建議一

建議綠建築評估手冊內關於自然通風空調耗能折減率計算之修正：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人臺灣建築中心

由本研究所得結果顯示學校類之自然通風潛力(VP)對空調之實際折減具有一定之效果，且與目前規範值相當。現今綠建築規範內區分住宿類與其他類二者分開評估，然而中央空調類型之建築物如旅館、百貨、醫院等應用開窗採自然通風之可能性很低，建議將原規範內之「其他類」改為「大型空間與學校類建築」，較為符合實際情況。此外，由實測結果發現住宅的空調折減效果實際上是較法規規範值低的，意即現行規範之評估方式對於住宿類建築是較為嚴苛的，建議可予以放寬。

建議二

針對學校教室平面之規劃設計鼓勵遵循綠建築評估規範內高 VP 之方式設計：中長期建議

主辦機關：教育部

協辦機關：內政部建築研究所、財團法人台灣建築中心

本研究透過實證研究，發現具良好自然通風潛力(VP)的學校教室平面，可有45%優異的空調折減效果，對校舍之建築節能影響甚鉅。因此，建議教育行政單位應宣導或鼓勵不論是採用複合式通風或全自然通風之教室平面盡量兩側以設

置可開啟之對向開窗方式設計，遵循綠建築評估手冊內高 VP 之設計方式，以達節能減碳之目的。

附錄一　期初審查意見及期中報告回應一覽表

委員	審查委員意見	廠商回應
黃委員秋榮	1. 服務建議書 p.14、17，請釐清研究助理係待聘或已確認。 2. 請說明本研究有無創意或自由回饋項目。	1. 謝謝委員意見，會於契約書中修正。 2. 如果外在條件允許，並不會侷限於 6 個樣本，以最大之樣本數為考量。
黃委員秀莊	1. 為達自然通風效果,須開口面積達 1/4 以上，但開口大會影響建築物外殼節能，兩者間應如何取得平衡，請說明並納入研究。 2. 建築物深度與自然通風效果之關，請說明並納入研究。	1. 關於自然通風與外殼節能的平衡，本團隊已有相關的研究成果，僅限於本次簡報時間有限，所以並未報告。 2. 謝謝委員意見，將會於期中報告說明。
詹委員添全	1. 影響自然通風之研究變項請納入：1.盆地型與非盆地型都會區、2.低、中、高層住宅、3.東西向與南北向建築、4.都會區高密度與非都會區低密度建築等差異比較。 2. 經費編列之設備租金是否足夠，請斟酌。 3. 參考文獻可再補充，如國外同緯度都會區之相關案例，及國內建研所歷年度相關研究報告等。	1. 由於測量儀器為定點式，如需要納入各種不同變項，所需的儀器數量會十分龐大，本團隊會再與建築研究所協調是以(1)類似的建築平面、外部環境，各樣本分布於北、中、南；或是(2)在相同城市中，選定不同 VP 值、不同樓層或不同外在環境。來做為樣本選定的依據。 2. 謝謝委員意見。 3. 謝謝委員意見，會再陸續整理相關國內外之文獻、案例。
古委員碧鴻	1. 風力通風之通風路徑，會因相關變因影響 VP 值，如建築物有無鄰接路街巷弄之前後側院深度、樓層別等，建請納入量測與比較分析。 2. 以臺北盆地為例，住宅開窗以自然通風，雖有利於夏季節能與熱舒適，但恐不利於冬季與除濕，兩者間如何求取平衡，請說明並納入研究。	1. 謝謝委員意見，實驗變相會進一步確認,並在期中報告詳細描述。 2. 謝謝委員意見，會在報告中加以說明。
羅委員時麒	1. 請補充說明本研究預定實測之樣本數及住宅型態。 2. 空調節能效益以空調使用折減率潛力為指標，建請考量我國濕熱氣候條件及空調使用時間(每年約 3 個月)。	1. 謝謝委員意見，會在期中報告詳細描述。 2. 會依實際空調使用時間來計算空調使用折減率潛力。
陳委員伯勳	1. 服務建議書 p.13，請說明量測 6 樣本中，住宅與教室如何分配，另樓層高	1. 教室空間比較單純，配置不會有太多變化；而住宅空間比較多

委員	審查委員意見	廠商回應
	度與建築物平面，其量測樣本可否對照比較。 2. 服務建議書 p.21，請釐清研究進度與實際執行月份之差異。	元，原則上樣本的選擇會以教室 2 住宅 4 的配比；樣本選擇會以能夠對照較為優先考量。 2. 謝謝委員意見，研究進度會待簽約時間確定後，以實際執行月份下去做修正。

附錄二　期中審查意見及期末報告回應一覽表

委員	審查委員意見	廠商回應
蔡教授尤溪	1. 自然通風潛力須考量實際可實現之通風量及可維持之室內溫度，如 26℃、28℃是否為舒適性的溫度宜再考量。 2. 適應度與舒適度不同，舒適度如美國 ASHRAE55 已考量冬夏季衣著、新陳代謝以及一般適應範圍等。 3. 空調停機之因素眾多，實測案例將空調停機視為通風冷卻宜再探討。	1. 感謝委員意見，本團隊會斟酌參考 2. 感謝委員提點，本研究僅以熱適應模型判斷理論上空調是否應該啟用，是作為比較基準之用途，非作為判斷室內達舒適與否。 3. 感謝委員提醒，本研究已將空間無人在室時所導致之空調停機時間排除。
林教授憲德	1. 本案對空調節能潛力如能有量化成果，可提供作為 Vac 修正之參考。 2. 由於學校案例受到 28℃或 9 點啟動等管制，與自然舒適度控制之空調節能有所差異，應考慮適度修正。	1. 感謝委員意見。本研究擬嘗試提出 Vac 修正法。 2. 倘於空調因受到管制而無法使用，但因室內已達過熱標準時，本研究即將此判斷為理論上應開空調之小時數，實際上也會開空調來計算，以排除此差異。
周教授鼎金	1. 報告書之部分圖表因係黑白列印，難以判讀，請檢討修正。 2. 進行實測時，可否改以電力計來實測判斷是否開啟空調，請補充說明。 3. 建議能呈現完整 1 天之實測資料，以利相關分析。	1. 感謝委員意見，會斟酌修改。 2. 電力計成本較高，且安裝不易，同時許多案例之空調系供多空間使用無法作為區分單一空間之空調啟停。 3. 遵照辦理。
張建築師矩墉	1. 本實證研究具有意義。 2. 部分學校案例之環境描述有誤（如方位），請予修正。 3. 除室內外溫度外，室內人員密度、設備密度都是發熱源。另所提學校案例中，實際與理論時數比之差異，會否與各校本身環境條件或管理方式之差異有關，建議分析探討後，於期末報告時補充說明。 4. 建議加強補充與釐清相關環境條件之設定，如學校案例規定之 28℃以何者為準、教室內可否使用電扇及使用情形、住	1. 感謝委員肯定。 2. 遵照辦理。 3. 期中所呈現者係階段性結果，尚不足以詮釋一整年之狀況，待期末分析時，視實測結果再予以解釋。 4. 學校空調啟停統一管制之基準大多由當日戶外溫度由總務處同一進行空調管理。四間教室皆有風扇之裝設。 5. 感謝委員建議，

委員	審查委員意見	廠商回應
	宅案例之平面開窗、住宅單元於公寓大廈或連棟住宅之位置等，以利判讀。	
吳建築師德賢	1. 所提案例應加強補充與釐清相關環境條件之設定，如基地位置、座向、總體平面、有無鄰房等，以利判讀。 2. 住宅類型極多，請補充說明如何選取具代表性之案例，以利爾後應用。	1. 由於住宅空間屬私人空間，本計畫在盡量不干擾使用者之情況下，盡可能交代樣本之基本資訊。 2. 本計畫選擇之住宅案例包括透天、連動住宅與公寓大廈類型之平面。實測空間之座向亦涵蓋各方位。
黃建築師克修（書面意見）	1. 依綠建築設計規範，冷房度時係代表當地冷熱程度（基準溫度為23℃），故公式（2-1）、(2-2)，建議以冷房空調運轉時間之基準26℃取代較貼切。 2. 表2-1熱舒適情境與開啟空調時間判斷，建議增加運轉時間數值之欄位。 3. 熱舒適與相對濕度有關，建議考量濕球溫度之參考參數。 4. 實測案例之溫度感測器安裝位置偏高，建議考量溫度梯度之修正。 5. 報告書建議統一相關用語，如「4度」建議統一為「4℃」等。	1. 住宅類由於在室人員與設備量較少其室內發散熱較低，可改以26℃計算。而教室類由於人體發散熱較多，還是以23計算。 2. 遵照辦理。 3. 感謝委員提醒，然而熱適應模型之應用國際上均是以戶外月均溫作為熱舒適上限之判斷依據。 4. 室內溫度之量測僅作為判斷空調是否啟用用途，未進一步作為計算之用，而無須溫度梯度修正 5. 感謝委員提醒，修正為4℃。
廖組長慧燕	1. 校園案例建議納入前峰國中(全自然通風型態)進行實測	1. 感謝委員意見。已將前峰國中納入實測樣本。
鄭主任秘書元良	1. 引用國外文獻應補充說明其環境條件與我國之差異性，以避免誤解。 2. 熱舒適性牽涉範圍較廣，是否納入探討宜再考量。 3. 建議同步檢討通風路徑對室內熱環境之影響，並補充釐清相關量測點之設定原則。	1. 遵照辦理。 2. 本團隊將考量熱舒適評估之適用性。然而，應用複合式通風之熱舒適問題國際上常以熱適應模型作為評估，因此本研究暫以此法作為評估之依據。 3. 感謝委員建議，本研究計算有效通風路徑時即已納入考量通風路徑之因素。

附錄三　期末審查意見及成果報告回應一覽表

委員	審查委員意見	廠商回應
蔡教授尤溪	1. 住宅與學校使用行為不同，空調使用與自然通風不一定有必然之關連。 2. 自然通風須有形成之動力，應加以注意。	1. 感謝委員建議。 2. 感謝委員建議。
張建築師矩墉	1. 中山、光仁、板中等學校案例，地理或開口方位有誤，請確實釐清修正。 2. 岡山前峰國中過熱情形嚴重，建議訪問使用者感受及採用之因應措施。 3. 照片顯示教室內皆有裝設風扇，建議將風速因子納入考量。 4. 住宅案例涉及使用者眾多變數影響，除時刻長短、舒適度感受、習慣外，電扇輔助、飲食習慣等亦可能影響，確實不易評估，如能以同一組人就不同型態案例進行實證，或許能有較一致的基準。	1. 感謝委員建議，已修正。 2. 前峰國中室內採用風扇輔助提升室內熱舒適。 3. 風速因子對熱舒適之反應，在熱適應模型中已綜合考量在內。 4. 為釐清所使用之研究方法之理論已補充其原理於第二章第三節內。
詹教授添全	1. 自然通風對住宅案例之實測結果，具重大發現與貢獻，但其中使用頻率判斷極少，建議適度調整表格相關欄位。 2. 學校案例選取原則建議納入年代分野，以作為後續研究計畫內容。 3. 目前法令對於非住宅使用之建築物要求較多，如供公眾使用空間之自然通風尤其重要，未來應優先納入調查。 4. 學校案例較少，住宅案例樣本數亦未達 30 棟以上，較難達到統計分析之基本要求。	1. 遵照辦理。 2. 感謝委員建議。 3. 感謝委員建議。 4. 礙於研究經費與儀器數量之限制，本研究在有限資源下，已盡可能擴大樣本數量。
黃技師克修	1. 報告書對 VP 有可自然通風面積及自然通風潛力兩種定義，建議適度區別或統一。 2. VAC 空調折減係數之定義宜再強化，文獻分析所提通風可降低全年空調量 54.4%，或取代 90%冷房度時等，應再適度說明釐清。	1. 感謝委員提醒，已統一為可自然通風潛力。 2. 感謝委員建議，已強化 VAC 之定義。
中華民國電機技師公會(張技師景陽)	1. 前峰國中教室採吊扇通風，吊扇下吹及上吸將會有不同的結果，上吸會造成浮力通風，使室內溫度下降。 2. 請說明教室內風扇數量及空調使用時數。	1. 感謝委員建議，已補充本研究採用熱適應模型分析之原理於第二章第三節內，已將此作用綜合考量在內。 2. 同上，熱適應模型已將風

		扇開啟與空調使用等之調節行為考量其中。
中華民國室內設計裝修商業同業公會全國聯合會(涂明哲)	1. 使用者對溫度的接受性及情境分析宜客觀評估 2. 溫度量測應留意空間內垂直方向之差異，並應考量溫度、濕度、氣流量(含電扇因素)等。 3. 本研究以 26℃為基準有待商榷，因住宅使用者一般會先用電扇，30℃才會開冷氣，且影響住宅與學校舒適度之潛在因子存在很大差異，如學校活動較受社會行為規範，住宅內穿著則較輕鬆自在等。	1. 感謝委員建議。 2. 事實上，熱適應模型已將風扇開啟、人體因素與空調使用等之調節行為考量其中。 3. 本研究補充本研究採用熱適應模型分析之原理以說明之，詳見第二章第三節。
陳簡任研究員伯勳	1. 引用圖表請確實交代資料來源。 2. 請補充說明本研究經實測後，自然通風應用對空調節能潛力之效益結果。	1. 已補充交代資料來源。。 2. 以學校為例，最大節能潛力可達 45%，與現行規範相同。然而住宿類建築，由於人為使用差異，本研究發現單以 VP 作為空調節能效益不足以反應真正的住宅空調折減效果，另外存在諸多人為使用因子，有待後續研究。
鄭主任秘書元良	1. 引用國外文獻應補充說明其環境條件與我國之差異性，以避免誤解。如 ASHRAE 55 牽涉範圍廣泛，如溫度、濕度、風速、輻射、穿著、動作等，本研究擷取其中空調部分進行探討，宜先行說明釐清。 2. 建請考量提出 VAC 之修正可行性。	1. 本研究補充本研究採用熱適應模型分析之原理以說明之，詳見第二章第三節。 2. 感謝委員建議，會斟酌考量。

附錄四　第一次專家學者座談會會議紀錄

一、時間：104 年 06 月 30 日(二)下午 1 時 30 分
二、地點：逢甲大學績學堂 B101A 研討室
三、主席：黃瑞隆教授
四、出/列席者：林子平、趙又嬋、李孟杰、鄭明仁、郭柏巖、蔡耀賢、黃瑞隆、黃國倉、施文玫
五、主席致詞：(略)
六、計畫簡報：(略)
七、委員意見：

林子平教授

1. 研究主題良好，方法嚴謹，具有應用之價值
2. 有關 VP 的成效及調整理論，可於期末階段呈現

趙又嬋教授

1. 自然通風應用潛力建議應考量外氣的溫溼度，因為外氣高溫、高濕反而會造成室內空調負荷。因此建議應考量使用時機，例如以台灣而言，家庭似乎應用 VP 比較有實際潛力
2. 室外風速會與高度有關(邊界層效應)，模擬與實測能否考量與紀錄?

李孟杰教授

1. 目前已思考室內外溫差，建議思考戶外的溫度臨界值，若戶外溫度太高是否仍要使用自然通風?
2. 台灣使用者忍受溫度較高，建議可以增加修正係數-如冷房度時的 23℃修正提高
3. 可再將通風路徑與風速納入考慮

鄭明仁教授

1. 計畫內容完整可行
2. 建議分析空調理論值及實際值之差異性
3. 自然通風實際應用性，應考量折減效果，探討實用性或理論值

郭柏巖助理教授

1. 統計實際空調使用時數與理論時數建議清楚說明「已排除假日日期」
2. ASHRAE 的熱舒適應模型為美歐地區容忍範圍，尊致時數差異較大，是否推亞熱地區的範圍?（如不在本研究範圍，僅供參考也可）

蔡耀賢副教授

1. 本研究目的為確認已 VP 換算空調節能抵減效果，方法確實可行
2. 以室內環境指標角度思考時，VP 同時有空氣品質的效果判斷，建議未來可實證 VP 與通風量的關係。

參考書目

1. "http://www.eere.energy.gov/buildings/highperformance/." Retrieved Jan. 10, 2015.
2. ASHRAE (2010). ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, USA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **55**.
3. Borgeson, S. and G. Brager (2011). "Comfort standards and variations in exceedance for mixed-mode buildings." Building Research and Information**39**(2): 118-133.
4. Cardinale, N., M. Micucci and F. Ruggiero (2003). "Analysis of energy saving using natural ventilation in a traditional Italian building." Energy and Buildings**35**(2): 153-159.
5. Charvat, P., M. Jicha, A. Niachou and M. Santamouris (2005). Simulation of the performance of a hybrid ventilation system in different climates. Building Simulation conference, Ecole Polytechnique de Montréal, IBPSA Canada.
6. Daly, A. (2002). "Operable windows and HVAC systems." Heating/piping/air conditioning engineering**74**(12): 22-30.
7. Emmerich, S. J. (2006). "Simulated performance of natural and hybrid ventilation systems in an office building." Hvac&R Research**12**(4): 975-1004.
8. Homod, R. Z. and K. S. M. Sahari (2013). "Energy savings by smart utilization of mechanical and natural ventilation for hybrid residential building model in passive climate." Energy and Buildings**60**(0): 310-329.
9. Hwang, R.-L., T.-P. Lin and N.-J. Kuo (2006). "Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan." Energy and Buildings**38**(1): 53-62.
10. International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Program (2000). Annex 35: Hybrid Ventilation. Sydney.
11. Mishra, A. K. and M. Ramgopal (2015). "A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India." Building and Environment**92**(0): 396-406.
12. Oropeza-Perez, I. and P. A. Ø stergaard (2014). "Energy saving potential of utilizing natural ventilation under warm conditions – A case study of Mexico." Applied Energy**130**(0): 20-32.

13. Oropeza-Perez, I. and P. A. Østergaard (2014). "Potential of natural ventilation in temperate countries – A case study of Denmark." Applied Energy**114**(0): 520-530.
14. Schulze, T. and U. Eicker (2013). "Controlled natural ventilation for energy efficient buildings." Energy and Buildings**56**(0): 221-232.
15. Torcellini, P. A., M. Deru, B. Griffith, N. Long, S. Pless, R. Judkoff and D. B. Crawley (2004). Lessons learned from field evaluation of six high-performance buildings. Proceedings.
16. Yao, R., B. Li, K. Steemers and A. Short (2009). "Assessing the natural ventilation cooling potential of office buildings in different climate zones in China." Renewable Energy**34**(12): 2697-2705.
17. 李怡萱 (2014). 建築室內自然通風評估之研究, 成功大學.
18. 周昌賢 (2014). 利用自然通風設計改善室內熱環境之研究-以國立宜蘭大學行政大樓為例, 宜蘭大學.
19. 林盛隆, 楊靜宜 and 蕭任雄 (2010). "自然通風教室熱舒適度研究－以南投縣爽文國小為例." 設計與環境學報(11): 1-15.
20. 林憲德等 (2014). 綠建築評估手冊-基本型(2015 年版), 內政部建築研究所.
21. 邱英浩, 戴育澤 and 吳孟芳 (2010). "利用自然通風技術改善室內熱環境及通風效能之研究－以慈濟台中分會為例." 建築與規劃學報 **11**(2): 111-135.
22. 黃瑞隆, 郭乃榕, 蔡茹涵, 陳家蓁, 林家伃, 夏婉珩 and 朱妤珺 (2006). "自然通風教室熱舒適要求調查." 冷凍與空調(42): 47-56.
23. 黃瑞隆 and 黃國倉 (2013). 複合式通風應用於台灣潛力分析之研究. 新台北, 內政部建築研究所.
24. 賴柏亨 (2008). 辦公大樓自然通風對 ENVLOAD 指標優惠評估之研究, 成功大學.

自然通風與室內熱環境之實證研究
出版機關：內政部建築研究所
電話：（02）89127890
地址：新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓
網址：http://www.abri.gov.tw
編者：黃瑞隆、黃國倉、翁堉騰、莊鎧韓、劉承翰
出版年月：104 年 12 月
版次：第 1 版
ISBN：978-986-04-6878-6