

# 創新室內空氣品質監控技術及大數據應用分析之研究

內政部建築研究所協同研究資料蒐集分析報告

中華民國 107 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)

# 創新室內空氣品質監控技術及大數據應用分析之研究

計畫主持人:鄭元良 主任秘書  
協同主持人:周伯丞 博士  
研究員:李佳言 博士  
研究助理:詹元慶、郭仲剛

內政部建築研究所協同研究資料蒐集分析報告

中華民國 107 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)

創新室內空氣品質監控技術及大數據應用分析之研究

內政部建築研究所協同研究資料蒐集分析報告

107  
年度

## 目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 工作計畫流程.....	3
第三節 工作項目與時程管理.....	5
第四節 研究團隊.....	6
第五節 國內外室內空氣環境監控技術發展及應用.....	7
第二章 研究方法.....	19
第一節 CO2 智慧通風策略.....	19
第二節 甲醛去除策略.....	20
第三節 大數據應用.....	22
第三章 研究成果.....	29
第一節 住宅建築 IAQ 樣態實測結果與分析.....	29
第二節 非建材因素之室內空氣環境品質改善策略.....	44
第三節 混合式智慧通風系統對室內空氣品質之改善.....	51
第四節 室內空氣品質大數據分析模型.....	57
第四章 結論與建議.....	59
第一節 結論.....	59
第二節 建議.....	61

附錄一 期初審查意見回覆 .....	63
附錄二 期中審查意見回覆 .....	67
附錄三 期末審查意見回覆 .....	71
參考書目 .....	77

## 表次

表 1-1 預期研究進度表	5
表 1-2 履行契約能力說明表	6
表 1-3 甲醛濃度對人體的影響	17
表 3-1 實驗設備說明表	45
表 3-2 實驗初始條件及六組研究模組設定	46
表 3-3 實驗初始條件及六組研究模組健康係數(HF)計算表	57



## 圖次

圖 1-1 工作計畫流程圖	4
圖 1-2 RIVEC 對於整體居家的模擬控制策略	9
圖 1-3 公寓住家房間配置圖	11
圖 1-4 混合式通風系統設計及其安裝	12
圖 1-5 類神經網路控制流程	13
圖 1-6 混合式通風系統類神經網路控制架構圖	11
圖 1-7 通風評估效果	15
圖 2-1 除醛電漿機之設計	20
圖 2-2 模擬與量測之 ACH 與室內外之 PM2.5 濃度比較圖	23
圖 2-3 應用類神經網路的室內空氣品質控制邏輯圖	24
圖 2-4 PLC 監控系統應用於大數據架構圖	25
圖 2-5 PLC 監控系統應用圖	27
圖 3-1 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓客廳(a)室內(b)戶外溫度量測曲線圖	29
圖 3-2 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓客廳(a)室內(b)戶外相對溼度量測曲線圖	30
圖 3-3 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓客廳(a)室內(b)戶外 CO2 濃度量測曲線圖	32
圖 3-4 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓客廳室內甲醛濃度量測曲線圖	33
圖 3-5 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓戶外 PM2.5 濃度量測曲線圖	33
圖 3-6 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝臥室(a)室內(b)戶外溫度量測曲線圖	35
圖 3-7 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝臥室(a)室內(b)戶外相對溼度量測曲線圖	36
圖 3-8 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝臥室(a)室內(b)戶外 CO2 濃度量測曲線圖	37
圖 3-9 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝臥室室內甲醛濃度量測曲線圖	38
圖 3-10 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝戶外 PM2.5 濃度量測曲線圖	38
圖 3-11 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房(a)室內(b)戶外溫度量測曲線圖	39
圖 3-12 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房(a)室內(b)戶外相對溼度量測曲線圖	40
圖 3-13 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房(a)室內(b)戶外 CO2 濃度量測曲線圖	41
圖 3-14 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房室內甲醛濃度量測曲線圖	42
圖 3-15 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房戶外 PM2.5 濃度量測曲線圖	42

圖 3-16 足尺研究室儀器設備配置圖	44
圖 3-17 架設 PMD01 氣體偵測器、電漿機、排氣扇與可程式控制器之系統配置圖	47
圖 3-18 Type 1(CO <sub>2</sub> A 組)與 Type 2(CO <sub>2</sub> B 組) 監控流程圖	49
圖 3-19 Type 3(HCHO A 組)與 Type 4(HCHO B 組) 監控流程圖	49
圖 3-20 Type 5(CO <sub>2</sub> +HCHO A 組)監控流程圖	50
圖 3-21 Type 6(CO <sub>2</sub> +HCHO B 組)監控流程圖	50
圖 3-22 Type 0(對照組)、Type 1(CO <sub>2</sub> A 組)與 Type 2 (CO <sub>2</sub> B 組)之 CO <sub>2</sub> 濃度變化圖	52
圖 3-23 Type 3(HCHO A 組) CO <sub>2</sub> 與 HCHO 濃度變化圖	52
圖 3-24 Type 4(HCHO B 組) CO <sub>2</sub> 與 HCHO 濃度變化圖	53
圖 3-25 Type 5(CO <sub>2</sub> +HCHO A 組) CO <sub>2</sub> 與 HCHO 濃度變化圖	55
圖 3-26 Type 6(CO <sub>2</sub> +HCHO B 組) CO <sub>2</sub> 與 HCHO 濃度變化圖	55

# 摘要

關鍵詞：大數據分析、室內空氣品質、智慧通風

## 一、研究緣起

全球暖化壓力下，台灣地屬環太平洋熱濕氣候帶，近年來雖因綠建材應用日益普及，控制了來自建材的污染源，致一般場所室內空氣品質有所提升，惟仍有部分建築類型因使用之必需，造成室內空氣中甲醛與 TVOC 等污染物濃度偏高，單純以引入新鮮空氣稀釋室內污染物濃度之空調手法勢必增加龐大電費負擔。為維護國人健康生活條件，本計畫結合智慧感知控制技術，並針對現有空氣清淨控制技術進行檢討，調查非建材污染源造成室內空氣品質不佳之場所，建構具有節能效益之智慧建築室內健康環境系統。

## 二、研究方法及過程

本計畫將針對密閉空間換氣變化及耗電效能，及其對室內空氣影響之變化，藉由文獻探討與統整，並利用儀器設備進行實測比對，針對在地氣候所需，進一步深入研究其模式比較分析及變化。執行內容如下：

1. 蒐集國內外大數據技術應用於室內空氣環境資料分析之文獻及案例，並進行分析比較與探討。預計蒐集之文獻及案例分類如下：
  - (1) 蒐集病態建築起因與作症狀等相關文獻。
  - (2) 蒐集通風模式種類之研究文獻。
  - (3) 蒐整污染物質之危害，起因與人體病症。
  - (4) 蒐集建築室內環境相關混和通風所探討之相關因子。
2. 蒐集國內外室內空氣環境監控技術發展現況及應用案例，並探討監控數據之應用模式，預計蒐集之技術與應用案例重點如下：
  - (1) 探討設備運作理論與所需評估之項目。
  - (2) 釐清室內污染物來源之實驗模擬污染物重要因素。

- (3) 設定通風方式設置與配置模式，並設計相關所需氣候及環境變因。
3. 完成住宅建築類型中至少北中南三例，非建材所致空氣污染源之 IAQ 樣態進行大數據分析，並提出 IAQ 改善策略建議。
  - (1) 北中南住宅建築現狀案例空氣品質（CO<sub>2</sub> 及甲醛）實測。
  - (2) 建立大數據資料庫。
  - (3) 歸納分析北中南住宅建築空氣品質現況，並提出適用於台灣北中南各地的應用混合式通風方式之創新空氣品質監控技術。
  - (4) 設計足尺實驗室與相關空氣品質監測與除污設備，進行實驗。
4. 完成室內環境健康監控技術調查，研發具有省能效益之混合型空氣清淨技術。
  - (1) 將實驗結果根據北中南不同區域特性，搭配大數據分別進行模組設定與資料整合及運算。
  - (2) 依據不同污染物清污模式與耗電進行分析比對。
  - (3) 提出適用於台灣各地兼具“健康”“節能”創新室內空氣品質監控技術。

### 三、重要發現

本研究以建築居住空間單元為主體，首先針對住宅建築類型台灣北中南區住宅各以一例，將其非建材所致空氣污染源之 IAQ 樣態進行大數據分析；然後利用足尺研究室模擬多人密閉的住宅空間，以電漿技術配合通風扇去除氣態污染物及揮發性物質，並利用氣體偵測器遠端控制軟體與通風扇連動，探討不同混合式通風模擬下，室內污染物甲醛及二氧化碳濃度調控與變化，以綜合歸納評估結果，供設計及使用者參考可達到健康與舒適目的。研究具體結論如下：

1. 建築居住空間之溫溼度與其空間基本設計及空調/除溼設備的開啟息息相關，若能在建築設計之初考量自然通風設計理念，搭配除濕設備，當可營造一個舒適且節能的居住空間。
2. CO<sub>2</sub> 濃度值在臥室以外之空間在一般住宅空間尚屬良好，但夜晚於密閉臥室中每有超標之狀況發生，因此臥室的通風設計為住宅空調設計應被更加重視的一環。

3. 鄰近工業區之夜間無人使用之客廳或書房會偵測到夜晚甲醛濃度因為不明原因有升高的情況，初步判斷是受戶外飄入之污染物造成，未來應深入同步探討戶外有機物污染源對於夜間住宅室內空氣品質之影響。
4. 與 Type 1(CO<sub>2</sub> A 組-弱通風模式))相比，Type 2 (CO<sub>2</sub> B 組-強通風模式)將 CO<sub>2</sub> 濃度控制在較嚴苛的條件下，並於實驗時間中頻繁啟動 6 次排風機制引入外氣，確實有效控制室內 CO<sub>2</sub> 濃度，避免空氣品質超出法定標準(1000ppm)。
5. Type 3(HCHO A 組-弱電漿模式)與 Type 4(HCHO B 組-強電漿模式)研究模組為模擬室內無人員之情況，故二氧化碳濃度趨勢變化不大，均維持於 450~560ppm 間，可以得知電漿除醛過程中產生的 CO<sub>2</sub> 並不會影響室內整體 CO<sub>2</sub> 濃度，實驗亦證實啟動電漿機(Plasma)可以有效清淨室內甲醛濃度。Type 4(HCHO B 組-強電漿模式)將室內甲醛清除濃度設定較為嚴格(0.06ppm 時關閉電漿機)，較可控制室內甲醛濃度於四小時實驗中不易超標。
6. 相較於 Type 5(CO<sub>2</sub>+HCHO A 組-弱電漿通風模式) (HCHO 監測濃度低於 0.07ppm 關閉電漿機)，Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組-強電漿通風模式)條件設定較為嚴格(HCHO 監測濃度低於 0.06ppm 關閉電漿機)，於四小時實驗中 Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組-強電漿通風模式)更可有效控制室內總體空氣品質。
7. 本計畫使用積分概念，提出可應用於未來室內空氣品質大數據分析用之健康係數 (Health Factor)模型，可有利於後人深入探討之用。
8. 本計畫運用電腦連動設備(PLC 控制電腦)可以自動控制相關設備，並記錄室內空氣品質的變化。本研究有效尋找出室內空氣品質最佳化的模組為 Type 6(強電漿通風模式)：HCHO 監測系統每 25 分鐘監測一次，當 HCHO 監測濃度高於 0.08ppm 啟動電漿機，HCHO 監測濃度低於 0.06ppm 關閉電漿機，並即時監測 CO<sub>2</sub> 濃度，當 CO<sub>2</sub> 濃度高於 1000ppm 啟動通風扇、低於 800ppm 則關閉通風扇，本研究將此研究模組提供予醫療機構作為控制室內空氣品質監控的建議標準。

#### 四、主要建議事項

根據研究發現，本研究針對行政檢查業務協同民間辦理處理的法制化，提出下列

具體建議。以下分別從立即可行建議及中長期建議加以列舉。

#### 建議一

(擴大量測範圍):立即可行建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:內政部營建署

擴大量測與分析台灣各區不同住宅類型與使用行為形成的室內空氣品質(新增TVOC與PM2.5)狀況，其量測其應拉長為至少7-30天並同時於量測空間窗外安置相同偵測器進行比對，以多項、長期、多例的實測資料與環保署數據共同納入大數據分析最終建立資料庫，可供各地建築設計者使用，以期建立智慧化的調控功能。

#### 建議二

(對通風系統空調耗能方面進行評估):立即可行之建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:經濟部能源局

未來計畫可納入強制通風系統造成空調能耗方面的評估，以求在”節能”與”健康”二者之中取得平衡點。

#### 建議三

(制訂定對新舊建築物裝置監測設備與未來維修之注意要項或設置原則):中長期建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:內政部營建署

未來計畫可納入盤查國內外室內空氣品質監測技術與儀器，並了解其營運管理策略與成本效益分析，尤其在零組件與耗材壽命之考量及組裝技術與監測位置與頻度之選定。並提出就智慧技術發展，考量訂定對新舊建築物裝置監測設備與未來維修之注意要項或設置原則。

#### 建議四

(因應少子化與老年社會趨勢，連結相關課題):中長期建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

因應少子化與老年社會的趨勢，上述實測計畫可優先考慮連結少子化、高齡的相關課題。

## ABSTRACT

Keywords: Big Data, Indoor Air Quality, Smart Ventilation

Under the pressure of global warming, Taiwan is located at the hot and wet climate region of the Pacific Rim. Recently, though green architecture materials have been widely utilized and the pollution source has been controlled from the architecture materials, the residence is not regulated by the announced 1st ten and 2nd sixteen public spaces of the indoor air laws. In spite the eight indicators of the smart building evaluation include energy-saving management, health & comfort and smart innovation and the management of indoor air quality is thereby enhanced, there happens high formaldehyde concentrations in some buildings for special use. The fee of electrical power must be increased as the introduction of fresh outdoor air to help improve the indoor air quality. We develop the novel monitor system of indoor air quality incorporating smart sensors and controllers for the pursuit of sustainability and the national health living conditions. In the study, the current control technologies of air cleaning were also reviewed and the poor indoor air quality caused by the pollution source not including building materials was investigated. Finally, a big data system is constructed to analyze the documents of indoor health environment with energy-saving effects.

The plan will focus on the changes in air-conditioning changes and power consumption in confined spaces, and the changes in the impact on indoor air. Through literature review and integration, and using instruments and equipment for actual measurement comparison, further in-depth needs for local climate needs. Study its model comparison analysis and changes. The implementation content is as follows:

1. Collect literatures and cases of domestic and foreign big data technology applied to indoor air environment data analysis, and analyze and compare them. The literature and cases that are expected to be collected are classified as follows:
  - (1) Collect relevant literature on causes and symptoms of sick state buildings.

- (2) Collect research literature on the types of ventilation modes.
  - (3) Search for the hazards, causes and human diseases of pollutants.
  - (4) Collect relevant factors discussed in the mixed ventilation of the indoor environment of the building.
2. Collect current situation and application cases of indoor and outdoor air environment monitoring technology at home and abroad, and explore the application mode of monitoring data. It is expected that the collected technologies and application cases will focus on the following:
- (1) Explore the theory of equipment operation and the items to be evaluated.
  - (2) Clarify the important factors of experimental simulated pollutants in the source of indoor pollutants.
  - (3) Set the ventilation mode setting and configuration mode, and design the relevant climate and environmental causes.
3. Completion of at least three cases of residential buildings, including IAQ patterns of air pollution sources caused by non-building materials, and proposed IAQ improvement strategy.
- (1) The air quality (CO<sub>2</sub> and formaldehyde) of the current situation of residential buildings in North Central South is measured.
  - (2) Establish a big data database.
  - (3) Inductively analyze the current status of air quality in residential buildings in North Central South, and propose innovative air quality monitoring technology for hybrid ventilation methods applicable in all parts of North, Central and South Taiwan.
  - (4) Design a full-scale laboratory and related air quality monitoring and decontamination equipment to conduct experiments.
4. Complete indoor environmental health monitoring technology survey and develop hybrid air purification technology with energy saving benefits.

- (1) According to the characteristics of different regions in North, Central and South, the experimental results are combined with big data for module setting and data integration and calculation.
- (2) Analyze the comparison according to different pollutant cleaning modes and power consumption.
- (3) Propose an innovative indoor air quality monitoring technology that is applicable to both “healthy” and “energy-saving” in Taiwan.

This study takes the residential living space unit as the main body. Firstly, for the residential building type, the North Central and Southern District of Taiwan, each case is taken as an example. The IAQ pattern of the air pollution source caused by non-building materials is analyzed by big data. Then, the full-scale research room is used to simulate the multi-person. Closed residential space, using plasma technology with a fan to remove gaseous pollutants and volatile substances, and using the gas detector remote control software to communicate with the ventilation fan to explore the indoor pollutants formaldehyde and carbon dioxide under different mixed ventilation simulations. Concentration control and changes to comprehensively summarize the results of the assessment for design and user reference for health and comfort. The specific findings of the study are as follows:

1. The temperature and humidity of the building living space is closely related to the basic design of the space and the opening of the air conditioning/dehumidification equipment. If the natural ventilation design concept can be considered at the beginning of the building design, the dehumidification equipment can be combined to create a comfortable and energy-saving living space.
2. The CO<sub>2</sub> concentration value is good in the general residential space in the space outside the bedroom, but the nighttime in the closed bedroom often exceeds the standard condition, so the ventilation design of the bedroom should be a more important part of the residential air conditioning design.
3. The living room or study room that is not used in the night near the industrial area will

detect the increase of formaldehyde concentration at night due to unknown reasons. The initial judgment is caused by the pollutants floating in the outdoor. In the future, the outdoor organic pollution source should be discussed in depth. The effect of indoor air quality at night.

4. Compared with Type 1 (CO<sub>2</sub> Group A - weak ventilation mode), Type 2 (CO<sub>2</sub> Group B - Strong Ventilation Mode) controls the CO<sub>2</sub> concentration under more severe conditions and starts 6 times frequently during the experimental time. The introduction of external air by the exhaust mechanism ensures effective control of indoor CO<sub>2</sub> concentration and avoids air quality exceeding the legal standard (1000 ppm).
5. Type 3 (HCHO Group A - Weak Plasma Mode) and Type 4 (HCHO Group B - Strong Plasma Mode) The research module is for the simulation room without personnel, so the trend of carbon dioxide concentration is not much changed, and it is maintained at 450~560ppm. In the meantime, it can be known that the CO<sub>2</sub> generated during the plasma removal of the aldehyde does not affect the overall CO<sub>2</sub> concentration in the room. The experiment also confirmed that the start of the plasma can effectively clean the indoor formaldehyde concentration. Type 4 (HCHO Group B - Strong Plasma Mode) set the indoor formaldehyde removal concentration to a stricter (closed plasma machine at 0.06ppm), and the formaldehyde concentration in the control room is not easy to exceed the standard in the four-hour experiment.
6. Compared with Type 5 (CO<sub>2</sub>+HCHO Group A - weak plasma ventilation mode) (HCHO monitoring concentration is lower than 0.07ppm to turn off the plasma machine), Type 6 (CO<sub>2</sub>+HCHO B group - strong plasma ventilation mode) conditions are set Strict (HCHO monitoring concentration below 0.06ppm to turn off the plasma machine), Type 6 (CO<sub>2</sub>+HCHO B-strong plasma ventilation mode) can effectively control the overall indoor air quality in the four-hour experiment.
7. This project uses the concept of integration to propose a Health Factor model that can be applied to future indoor air quality big data analysis, which can be useful for future

generations to explore.

8. This project uses computer linkage equipment (PLC control computer) to automatically control related equipment and record changes in indoor air quality. This study effectively finds out that the indoor air quality optimization module is Type 6 (strong plasma ventilation mode): HCHO monitoring system is monitored every 25 minutes, when the HCHO monitoring concentration is higher than 0.08ppm, the plasma machine is started, and the HCHO monitoring concentration is low. The plasma machine was turned off at 0.06ppm, and the CO<sub>2</sub> concentration was monitored immediately. When the CO<sub>2</sub> concentration was higher than 1000ppm, the ventilation fan was started, and the ventilation fan was turned off when the temperature was lower than 800ppm. This research module was provided to the medical institution as the control of indoor air quality control. Recommended standard.

# 第一章 緒 論

## 第一節 研究緣起與背景

由於工商業發達及社會結構的改變，現代人處於室內環境的時間與日俱增，曾有統計報告指出，一般人平均一生中有 58-78% 的時間待在室內，而在一天當中更常有 90% 的時間是在室內環境度過，故室內空氣的品質與個人健康息息相關。依 ASHRAE（美國冷凍空調協會）研究指出，當人員長時間處於氣密或通風換氣不良環境下，容易導致病態大樓症候群發生，進而影響工作與學習，甚至危害人體健康。雖然隨著綠建材的推廣與國民意識的加強，室內建材造成室內空氣品質不佳狀況近年來已有逐步改善。但隨著住宅建築中室內人員生活習慣的不同，造成非建材所致空氣污染源也會有所不同，因此創新室內空氣品質監控技術的提出，將是下一階段追求居家生活環境品質提升的一大重點。

據中華民國主計處統計 105 年平均就業人口為 11,267 人，而在中華民國統計資訊網《薪資與生產力統計年報》中也顯示，台灣 105 年受雇員工每月工時平均為 169.5 小時，說明了一般國人在室內工作時間遠高於在戶外時間，而凸顯其工作效率與環境重要性，為因應調節台灣濕熱環境以達舒適效果，普遍室內皆以機械式通風維持適當溫濕度，空調運轉可改變溫溼度，卻無法改善人體排至空間後二氧化碳濃度與智慧化調控原室內空間中的空氣污染物。

室內污染成因有多項要素，為達成省能效益，市面建築多以高氣密、高隔熱為主，雖然應用了許多綠建材，但是卻未將後續事人員的生活型態與因應對策加入考量，隨著許多高科技產品使用帶來的多項影響，及都市人口密集、安全問題等多種因素驅使下，依賴空調設備情形日益居多，進而衍生出許多的非建材室內空氣污染，污染物中尤其以二氧化碳及甲醛對於人體身心健康與工作效率影響最大。

近年來，部分住家、公司及公共空間逐漸正視此問題，但多面臨後續能源費用限制與本身是否合乎經濟效益問題，因而停擺或終止。如何在有限時間下評估耗能與其他各項包含氣候、室內氣體排放之關係，是未來是否能開發出具智慧化精神的創新室

內空氣品質監控技術，並將此系統普及於建築領域使用重要因素之一。

隨著綠建材應用日益普及，控制了來自建材的污染源，於對應室內空氣品法之第一批的十類公告場所以及第二批的十六類公告場所中，尚無居住住宅類之場所，雖然在智慧建築評估的八項指標之中已納入節能管理、健康舒適以及智慧創新等相關指標，對於室內空氣品質管理已有所提升，惟仍有部分建築使用類型因使用之必需，造成室內空氣中甲醛 TVOC 等類污染物濃度偏高，單純以引入新鮮空氣稀釋室內污染濃度之空調手法勢必增加龐大電費負擔。有鑒於此，為追求地球永續之普世價值並同時維護國人健康生活條件，本計畫結合智慧感知控制技術，針對現有空氣清淨控制技術進行檢討，調查非建材污染源造成室內空氣品質不佳之場所與現況，開放具有省能效益之室內健康環境資料供大數據應用。

## 第二節 工作計畫流程

本計畫將針對密閉空間換氣變化及耗電效能，及其對室內空氣影響之變化，藉由文獻探討與統整，並利用儀器設備進行實測比對，針對在地氣候所需，進一步深入研究其模式比較分析及變化。執行內容如下：

1. 蒐集國內外大數據技術應用於室內空氣環境資料分析之文獻及案例，並進行分析比較與探討。預計蒐集之文獻及案例分類如下：
  - (1) 蒐集病態建築起因與作症狀等相關文獻。
  - (2) 蒐集通風模式種類之研究文獻。
  - (3) 蒐整污染物質之危害，起因與人體病症。
  - (4) 蒐集建築室內環境相關混和通風所探討之相關因子。
2. 蒐集國內外室內空氣環境監控技術發展現況及應用案例，並探討監控數據之應用模式，預計蒐集之技術與應用案例重點如下：
  - (1) 探討設備運作理論與所需評估之項目。
  - (2) 釐清室內污染物來源之實驗模擬污染物重要因素。
  - (3) 設定通風方式設置與配置模式，並設計相關所需氣候及環境變因。
3. 完成住宅建築類型中至少北中南三例，非建材所致空氣污染源之 IAQ 樣態進行大數據分析，並提出 IAQ 改善策略建議。
  - (1) 北中南住宅建築現狀案例空氣品質（CO<sub>2</sub> 及甲醛）實測。
  - (2) 建立大數據資料庫。
  - (3) 歸納分析北中南住宅建築空氣品質現況，並提出適用於台灣北中南各地的應用混合式通風方式之創新空氣品質監控技術。
  - (4) 設計足尺實驗室與相關空氣品質監測與除污設備，進行實驗。
4. 完成室內環境健康監控技術調查，研發具有省能效益之混合型空氣清淨技術。
  - (1) 將實驗結果根據北中南不同區域特性，搭配大數據分別進行模組設定與資料整合及運算。
  - (2) 依據不同污染物清污模式與耗電進行分析比對。
  - (3) 提出適用於台灣各地兼具“健康”“節能”創新室內空氣品質監控技術。

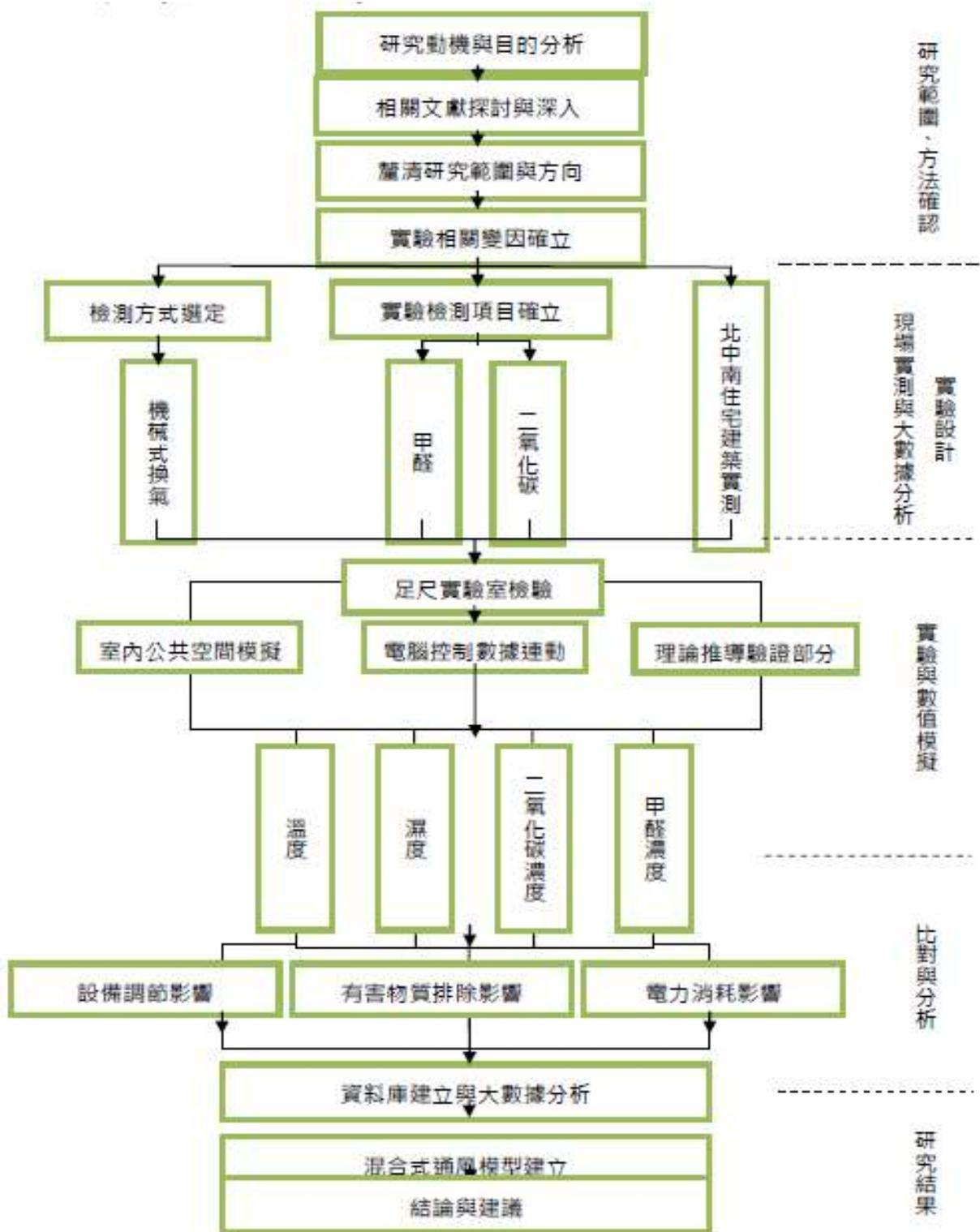


圖 1-1 工作計畫流程圖

(資料來源:本研究整理)

## 第三節 工作項目與時程管理

表 1-1 預期研究進度表

工作項目	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備註	
完成國內外大數據技術應用於室內空氣環境資料分析之文獻及案例	■											
完成國內外室內空氣環境監控技術發展現況及應用案例蒐集，並探討監控數據之應用模式	■											
完成住宅建築類型中至少北中南三例，非建材所致空氣污染源之 IAQ 樣態進行大數據分析，並提出 IAQ 改善策略建議				■								
完成室內環境健康監控技術調查，研發具有省能效益之混合型空氣清淨技術							■					
預定進度 (累積數)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%		

說明：

1. 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。
2. 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每一小格粗組線為一分，統計求得本案之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。
3. 科技計畫請註明查核點，作為每一季所預定完成工作項目之查核依據。

(資料來源:本研究整理)

#### 第四節 研究團隊

表 1-2 履行契約能力說明表

參與本案職稱	專或兼	姓名	學歷	專長領域	在本案擔任之工作
計畫主持人(本所派兼)	兼	鄭元良	博士	建築環境控制、綠建築	規劃及督導研究內容、管控進度。
研究員 (業務承辦人員) (本所派兼)	兼	林招焯	博士	建築環境控制、建築音響	協助規劃及參與研究內容、管控進度等事宜。
研究員 (業務承辦人員) (本所派兼)	兼	呂文弘	博士	建築環境控制、綠建築	協助規劃及參與研究內容。
研究員 (業務承辦人員) (本所派兼)	兼	林霧霆	碩士	建築環境控制、綠建材	協助規劃及參與研究內容。
協同主持人	兼	周伯丞	建築學博士	建築環境控制、綠建築	統籌協同研究事務並擔任本案協同主持人，撰寫資料蒐集分析報告。
研究員	兼	李佳言	博士	建築環境智慧控制、物聯網、大數據分析	協助本案進行及協助撰寫資料蒐集分析報告。 (協助本案之資料蒐集及辦理相關分派工作)
研究助理	兼	郭仲剛	碩士(肄業)	環境感測、機電整合、大數據分析	協助本案資料蒐集及辦理相關分派工作。
研究助理	兼	詹元慶	碩士(肄業)	室內空氣檢測、數值解析	協助本案資料蒐集及辦理相關分派工作。

(資料來源:本研究整理)

## 第五節 國內外室內空氣環境監控技術發展及應用

室內空氣品質是建築評估中一個值得關注的領域，而其改善的手段住要是通風技術。由於人們有 60% - 90% 的生活時間是在室內環境（家庭、辦公室、學校等），因此室內空氣品質是影響個人健康與公共衛生的主要因素[1]。Logue 等人 [2] 估計，在人均殘疾壽命（ $\mu$ DALY）的統計中，受室內空氣品質因子影響極大（不包括二手煙等來源），其影響程度介於交通事故意外（4,000  $\mu$ DALY/p/year）和心臟病死因（11,000  $\mu$ DALY/p/year）之間。世界衛生組織統計在 2012 年因室內空氣品質不良的致死人數在歐洲及美洲分別是 99,000 及 81,000 人[3]。

因此，建築通風系統與技術的改良與進步是極為重要的改善策略。近幾年來，諸多"智慧通風"策略的提出與驗證已對於室內空氣品質的改善有了明顯的幫助[4]。在考量以通風技術進行室內空氣品質改善時，首先應認知通風不應被視為萬能藥，要達到良好的室內空氣品質，必須從源頭控制和氣體還原為出發點開始思考 [5]，從歐美居家中的露天壁爐到密封的現代壁爐燃燒裝置的歷史演進是源頭降低需求的一個很好的例證 [6]。推動低排放的建築材料和傢俱的發展的公共政策也是年來很好的一個例子，尤其低 VOC 排放的健康綠建材的推廣，足證減少污染源是降低室內污染物的一大關鍵。

“智慧通風”的關鍵技術概念是採用控制手法，除了可以在指標污染物超標時進行通風，也能在顧及通風能耗和空調成本達到平衡點，達到同時兼顧“健康”與“節能”兩大建築指標。

### （一）需求控制通風（DCV, Demand-controlled Ventilation）

DCV 概念是智慧通風策略中的一個具體作法。DCV 系統一般採用現場空氣品質做為控制便因，如過量 CO<sub>2</sub> 或濕度來控制通風系統。這些策略在過去 30 年的技術文獻報告中已提出甚多。DCV 的定義有許多種方式，Mansson 等人[7]指出 DCV 表示因應室內污染物負荷，以連續且自動調變的通風率降低室內污染物。Limb [8] 定義 DCV 即為其通風氣流速率是由選定的污染物濃度來決定，此室內污染物的濃度是分別由位於不同房間或區域內的空氣品質感測器進行測量。當污染物濃度水準高於預設濃度時，

配合感測器將啟動通風系統。當住戶離開房間時， 污染物濃度降低，通風量也隨之減少。

目前在文獻和市場上有幾種類型的 DCV，皆取決於建築物的需求模式、感測器網路形式和控制演算法的不同類型。例如在比利時[9]，DCV 系統根據被不同的空氣品質因子區分為如 CO<sub>2</sub>、相對濕度、空間人數、空間類型、區域/中央控制模式、感應器位置（分佈式與集中式）、氣流方向（排氣、進氣、平衡）。以下根據不同的氣流方向分別進行介紹[10]：

1. 平衡式 DCV 系統—平衡式 DCV 系統控制模式可以集中或分區且分散在每個房間內，無論是使用一個進氣風扇在每個乾燥室或由緩衝控制氣流分布在每個空間，最重要的一點是通風系統必須能夠持續平衡的進排氣。
2. 唯一排氣 DCV 系統—唯一 DCV 系統控制有集中與分散兩式。在居家環境中，進氣口的分佈可以設計在區域中央或採多排氣的分區通風。在非氣密的房子裡，此策略效果會因滲透氣抵減空氣進氣口的氣流。此系統可以透過測量 CO<sub>2</sub> 等不良氣體在居室空間中進行集中調節，對應地調整中央空調設備，對空間中的進氣口進行調整。

## (二)住宅整合式通風-能量控制器 (RIVEC, Residential Integrated Ventilation-energy Controller )

隨著住宅整合式通風-能量控制器 (RIVEC) 的發展，風扇的耗能逐漸被重視與評估，為了減少控制風扇的消耗能量 [11]，此智慧通風系統使用等效的通風原理 [12]，考量多種因素：包括室外條件、峰值負荷，人員數以及其他空調系統的操作進行通風氣流的調節。RIVEC 的其中一個範例即是一個整合式居家通風系統[13](圖 1-2)，從其控制模式可知 RIVEC 可隨著其他風扇的操作方式控制強制風扇運轉與停止。相對於連續通風系統，RIVEC 能在連續計算污染物劑量與暴露量進行通風的控制。此系統能夠：

1. 當環境衝擊較小時使用計時器或溫度感應器連結通風，考量到高溫差與低溫差造成的氣流，因而大幅減少了空調負荷的峰值需求[14]，也增加了感測器網路

網格計算的可靠性並有效地降低耗能成本。

2. 進行對於如廚房和廁所排氣扇等其他空氣引導裝置的操作。
3. 減少無人員時間的通風。
4. 當通風量減少時可多次換氣。
5. 考量自然滲透對於整體通風策略的影響。
6. 解決高度尖峰負荷需求的現象。
7. 改變通風時間可減少高濃度的戶外污染物。

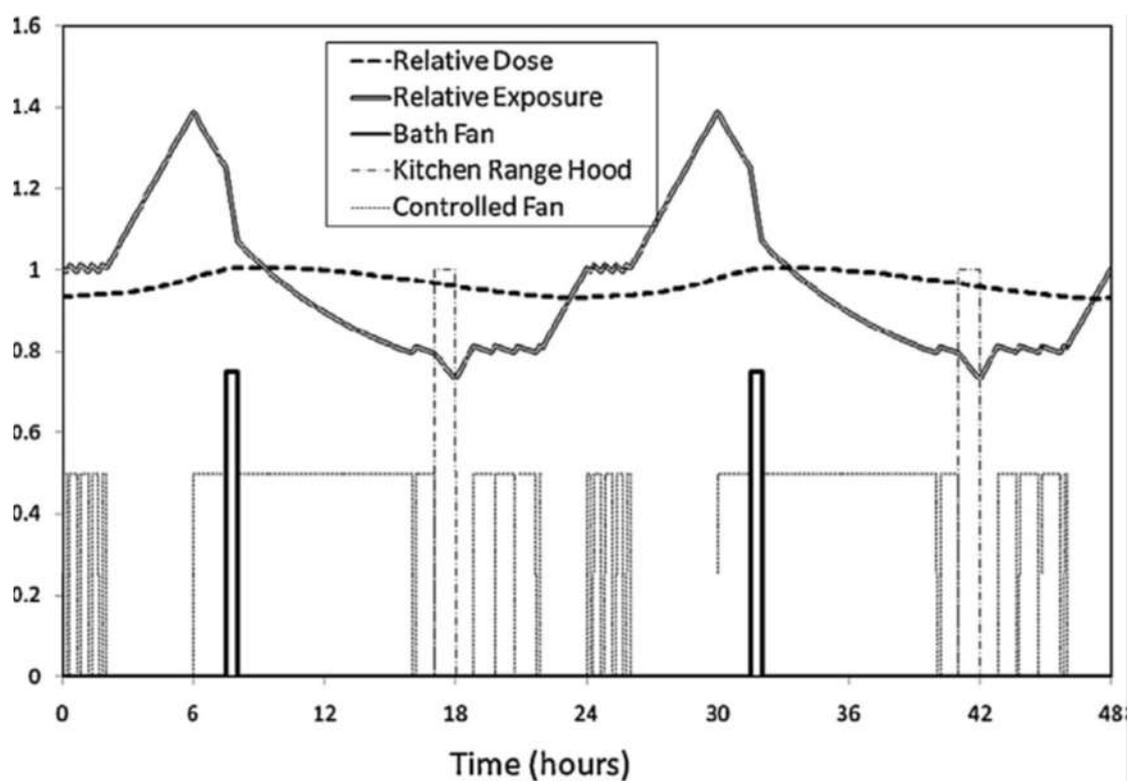


圖 1-2 RIVEC 對於整體居家的模擬控制策略[13]

(資料來源: M.H. Sherman, I.S. Walker, Meeting residential ventilation standards through dynamic control of ventilation systems, Energy Build 43, 1904–1912, 2011.)

### (三)混合式通風(Hybrid Ventilation)

「混合式通風」是最常用來描述既非完全自然通風；也非完全機械通風的通風系統設計。設計者務實地採用了綜合考量的最佳化設計方式，並非簡單且單一的控制策略，但卻是為了滿足空間的通風需要，同時儘量減少成本、維修和能源消耗的最佳解決方案。例如：為了形成可以呼吸的建築，使用高效率離心風機在小空間中可實現混合通風理念。此設計使用了開窗來輔助並擴大自然通風的影響，因而形成了一種適用於單邊開窗房間的低耗能通風策略。

雖然現代建築中幾乎沒有純粹採去自然通風方式的空調，從簡陋的廚房或浴廁抽風機，到大型空調箱，所有建築物都有配備了某種形式的機械通風設備；相對地，設計良好的建築物通常都會帶有某種形式的自然通風，使用開度可調之窗戶以低供氣高排氣方式，或將自然和機械通風工作區域直接劃分開來，都是在設計階段可以進行的「混合通風」模式。

在居住者舒適度方面的考量，混合式通風策略可用在自然通風佔大部分時間的建築中，在尖峰制冷負荷時段再輔以機械通風，可以協助導出大量內部熱增益和並減少因為外部溫度造成的能耗波動，比純自然通風策略提高居住者舒適度甚多。可以在平日的正常條件下，將能源消耗降到最低，同時確保在整體空間都具足夠的通風能力。

Kim 等人[15]提出了一種適用於公寓住家(圖 1-3)包含自然進氣與機械排風的混合式通風系統，使用 CFD 對於三種不同的氣流速度分別進行了分析：30、60 和 120  $m^3/h$ 。為了增加居住者的舒適度，此研究針對了氣流速度、溫度和  $CO_2$  濃度分佈方面進行了探討。從其研究成果可知，通風氣流量不只會影響居住者的舒適度以外，也是節能的重要考量因子之一。在居住空間中，0.7 的最低換氣率(ACH)是一個不錯的選擇，60  $m^3/h$  的通風量可以讓居住者熱舒適度達到最佳。但若整個公寓的通風量為 180  $m^3/h$  或起居室-廚房區域的流速為 120  $m^3/h$  會造成極大的能耗損失。

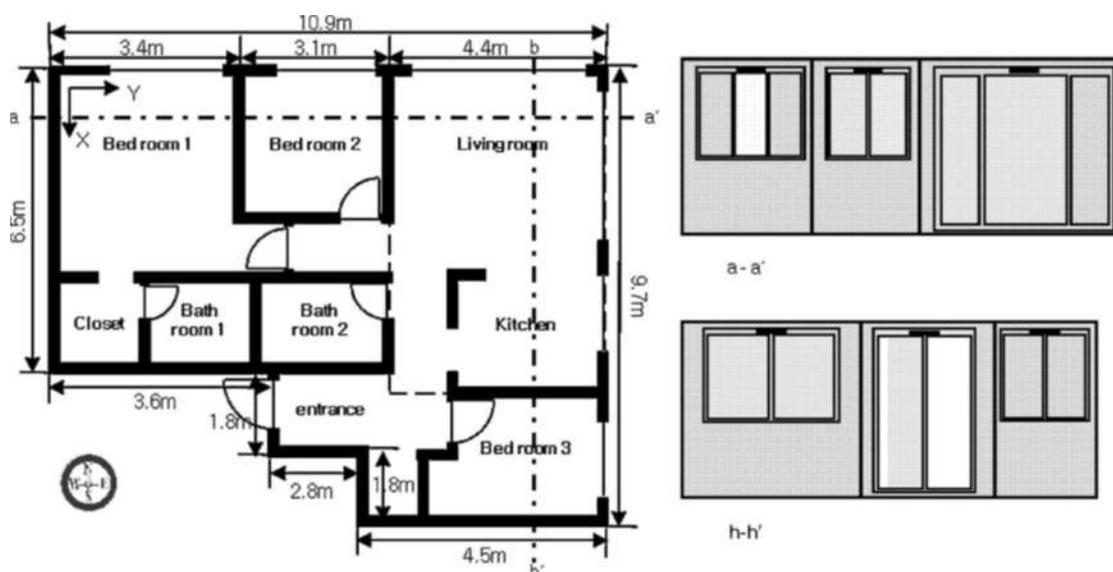


圖 1-3 公寓住家房間配置圖[15]

(資料來源: Moo-Hyun Kim, Ji-Hyeon Hwang, “Performance prediction of a hybrid ventilation system in an apartment house,” *Energy & Buildings*, 41, 579-586, 2009.)

Lim 等人[16]針對複合式住宅提出了一種混合式通風裝置的設計(圖 1-4)，可將此裝置嵌入窗戶上，同時針對不同的控制手法進行了節能率的評估：分別依據戶外溫度的變化(在戶外溫度介於 16.5oC-25.5oC 直接以自然通風風勢引入外氣)、熱焓值的變化(考量外氣溫度與熱交換量進行控制)與室內 CO2 濃度的變化(CO2 濃度超過 1000ppm 時才開啟強制通風)來進行機械通風的運轉。從其模擬評估結果可以看出上述三種控制手法分別的節能率達到 19.2%、35.3%與 41.3%。由此可知，考量不良氣體濃度因子進行的通風控制策略設計將是同時達到節能要求的一大手法。

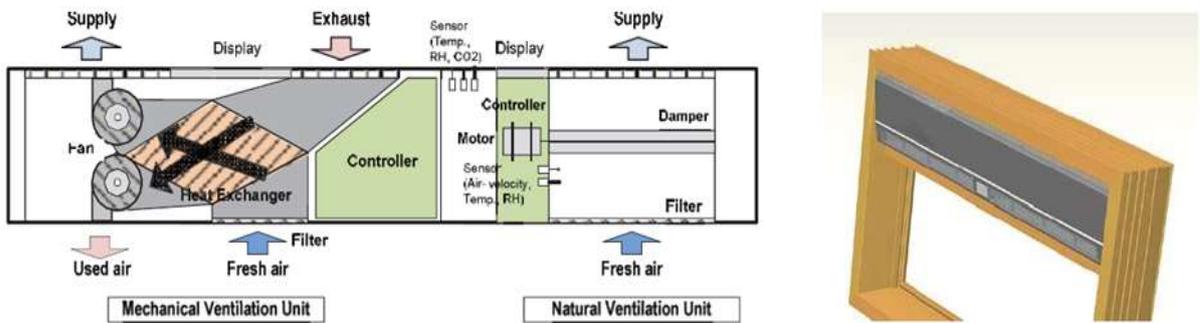


圖 1-4 混合式通風系統設計及其安裝[16]

(資料來源:Young-hoon Lim, Hi-won Yun, Doosam Song, “Indoor Environment Control and Energy Saving Performance of a Hybrid Ventilation System for a Multi-residential Building,” 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015.)

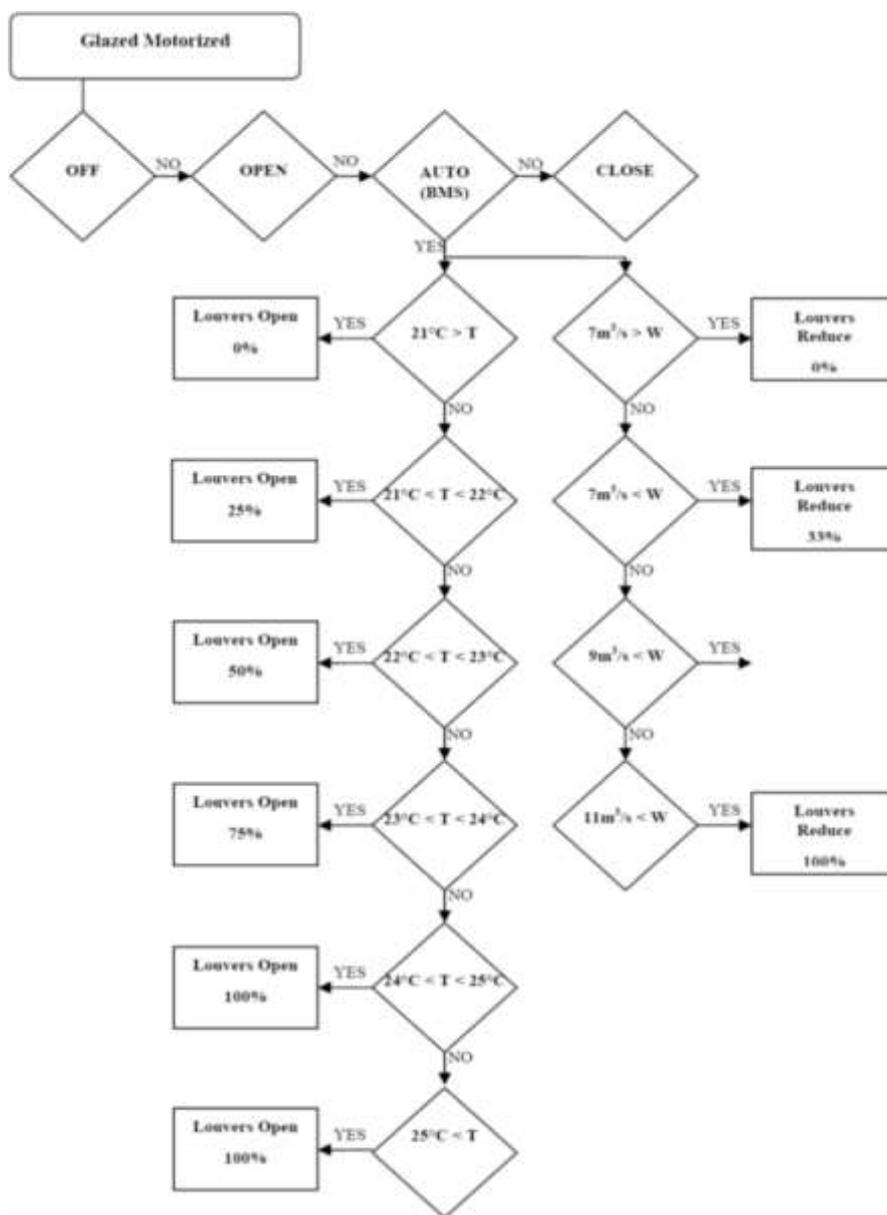


圖 1-5 類神經網路控制流程[18]

(資料來源:G. Brager, S. Borgeson, Y. Lee, Summary report: control strategies for mixed-mode buildings, <https://escholarship.org/uc/item/8kp8352h>, 2007.)

2018年，Chen 等人[17]提出了應用類神經網路模型[18](圖 1-5)進行控制的一種混合式通風系統，為了要提高系統的可靠度，許多可能影響模擬結果但普遍存在於現世生活的相關變因(室內溫度、戶外溫度、相對溼度、季節因素、使用性質與氣流速度等因子)都進行了量化，以方便納入系統演算(圖 1-6)。相信隨著控制理論與方式的日新月異未來，未來將會有更有效率且可應用於混合式通風的控制手法問世。

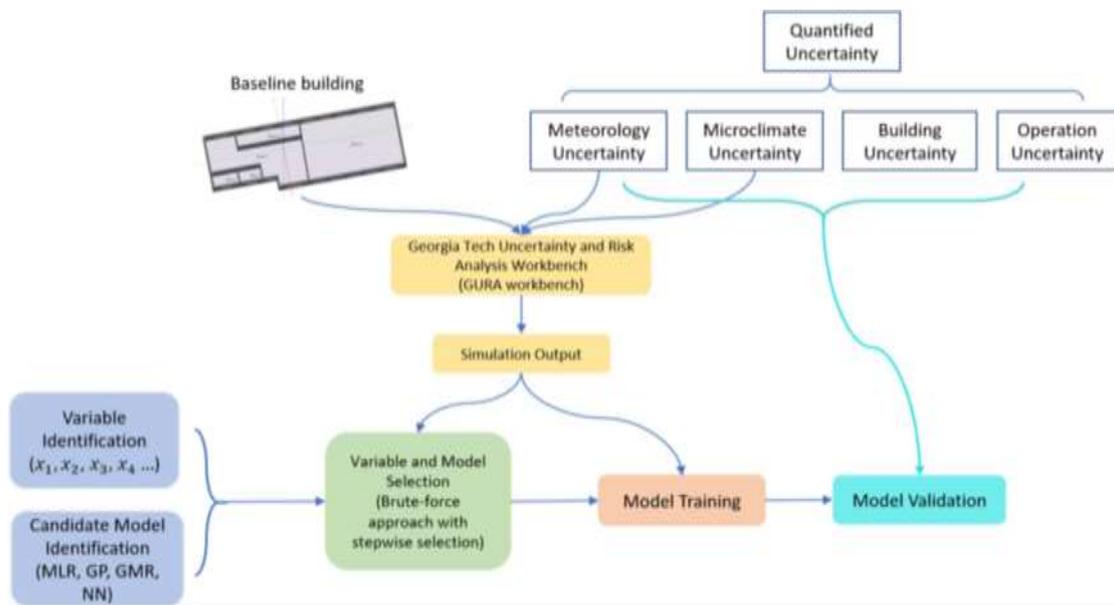


圖 1-6 混合式通風系統類神經網路控制架構圖[17]

(資料來源: Jianli Chena, Godfried Augenbroe, Xinyi Song, “Lighted-weighted model predictive control for hybrid ventilation operation based on clusters of neural network models,” Automation in Construction, 89, 250-265, 2018.)

#### (四) 污染因素與改善

##### 1. 室內污染與通風效益

室內污染與通風效益是影響污染物濃度高低因素的主因，以污染物質量平衡模型(Mass Balance Model)與通風理論可瞭解影響污染物濃度因子之間相互關聯，本研究計畫將以「健康性」為切入點，「污染物濃度」與「換氣效能」為主要評估指標(如 1-7 圖所示)。

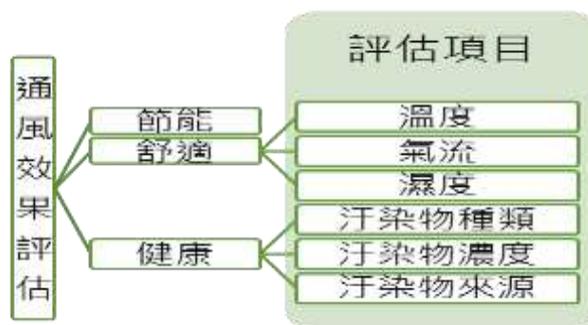


圖 1-7 通風評估效果

(資料來源: 江哲銘、陳念祖、蘇慧貞、鄭懋雄、李彥頤、邵文政、周伯丞,「辦公空間通風效果與汙染物濃度之研究」中華民國建築學會第十三屆建築研究成果發表會論文集, 2001)

在因應科技進步的腳步下, 日趨複雜的建築環境, 空調形式及裝潢材料使用皆容易產生汙染物逸散, 雖然室內化學物質可經由時間從建材逸散置空氣, 並逐漸衰減, 但其仍會造成健康不適, 為降低化學物質, 可在使用各材料前, 挑選低逸散或低化合物含量標示及認證產品; 規劃適當的換氣方式進行適當開窗, 在不影響室內環境及冷暖房條件下, 增加換氣量可有效降低化學物質室內汙染濃度。

在因應科技進步的腳步下, 日趨複雜的建築環境, 空調形式及裝潢材料使用皆容易產生汙染物逸散, 雖然室內化學物質可經由時間從建材逸散置空氣, 並逐漸衰減, 但其仍會造成健康不適, 為降低化學物質, 可在使用各材料前, 挑選低逸散或低化合物含量標示及認證產品; 規劃適當的換氣方式進行適當開窗, 在不影響室內環境及冷暖房條件下, 增加換氣量可有效降低化學物質室內汙染濃度。

## 2. 室內汙染物質分析

前人研究中發現[江等人, 2001], 甲醛(Formaldehyde, HCHO), 及揮發性有機汙染物(Volatile Organic Compounds, VOCs), 對建築室內品質影響較大, 甲醛(HCHO)與總揮發性有機汙染物(TVOC)兩者在室內裝修領域有著密切關連。

當有人員活動於室內的上班時段, 汙染濃度會隨時間累積不斷上升, 於假日較少人員情況下關閉空調, 空調便無法稀釋汙染物濃度。室內裝修與通風換氣效果皆會影

響室內空氣品質，如何降低污染物質成為日後在設計上所需的重點之一，藉由變更通風換氣量及換氣路徑，將可改善室內環境，進而維持室內人員健康與效能。

### 3. 病態建築分析與省思

美國國家職業安全衛生機構 NIOSH 指出，53% 呼吸道疾病問題來自於室內空氣通風不當，現代人一天生活在室內空間超過八成以上時間，密閉環境換氣不良以及因裝修造成的品質惡化已成為一大隱憂，進而對人體產生直接性的影響與傷害，位於美國柏克萊勞倫斯實驗室 (Lawrence Berkeley Laboratory) 創辦人 Arthur Roenfeld 博士研究顯示，室內品質的改善，將可有效提升工作效率與人員健康，是現在與未來極為重要的課題。

氣通風不當，現代人一天生活在室內空間超過八成以上時間，密閉環境換氣不良以及因裝修造成的品質惡化已成為一大隱憂，進而對人體產生直接性的影響與傷害，位於美國柏克萊勞倫斯實驗室 (Lawrence Berkeley Laboratory) 創辦人 Arthur Roenfeld 博士研究顯示，室內品質的改善，將可有效提升工作效率與人員健康，是現在與未來極為重要的課題。

#### (1) 何謂病態建築？

「病態建築」(Sick Building) 是 1983 年由世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 提出，最初研究人員以「病態建築症候群」(Sick Building Syndrome) 作為因其建築空間而發生不適而產生之病狀，而依此所顯現出病症可分為黏膜及皮膚刺激、神經毒性症狀、非特定異性病徵以及嗅覺與味覺不適，因而造成眼、口、皮膚出現乾、癢、痛；頭部不適與記憶力無法集中以致昏睡；支氣管不適情形。

根據估計約有 30% 經裝修後建築有病態建築問題存在，而內部人員約有 10-30% 有以上症狀，在室內無充分換氣、室內外化學污染物質與生物性污染均有可能為引發原因。

#### (2) 改善現況可行性

此病症大多在離開該空間後即可逐漸緩解，而建築設計、室內污染源、心理及工作因素等原因均有可能造成狀態產生。

### 4. 室內裝修建材有機物—甲醛逸散

## (1) 建築

常用建材中，大多經過化學加工處理，雖因日漸受到重視，但裝修時若未使用低游離甲醛合板，將導致部分有機化合物（VOC）在裝修後的數年仍會逸散於空氣中，加上建築密閉性及空調設備使用率提高，當人員進入室內，便會直接與間接進入人體，導致不適甚至慢性疾病、致癌風險產生，本次研究以甲醛作為介紹與探討。

甲醛（Formaldehyde, HCHO）為普遍存在於室內的無形無色氣體，出現於木料板材之合成樹脂接著劑與塗料，更是發泡絕熱材之一，對人體五官及皮膚均有刺激及過敏起疹現象。

## (2) 其他污染源

甲醛在許多工業製品上被大量使用，在常用民生用品：盥洗用之清潔液、化妝品、殺蟲與防腐及除臭劑、紙張等用途 [Cooper, 1952; Hines, et al., 1993]，也很常用於紡織用品與皮料加工。

在美國毒性物質致癌分類及國際癌樓研究署（International Agency for Research on Cancer, IARC）更將甲醛歸類於可能致癌之人類致癌物(如表 1-3 所示)。

表 1-3 甲醛濃度對人體的影響

濃度 (ppm)	影響
0.1-0.3	最低觸發性刺激
0.8	空氣中出現臭味情形
1-2	人體微量刺激感
2-3	眼鼻喉出現局部刺激
4-5	刺激眼膜，以致流淚
10-12	具撕裂性燒灼感與咳嗽，無法長時間停留在此空間
50-100	在短時間即可造成嚴重傷害
美國環保署整合毒理資料庫(Integrated Risk Information System, IRIS)	

(資料來源:美國環保署整合毒理資料庫(Integrated Risk Information System, IRIS))



## 第二章 研究方法

### 第一節 CO<sub>2</sub> 智慧通風策略

從歷史上看，濕度和 CO<sub>2</sub> 最常被用來作為室內空氣品質的指標因子，因此 DCV 系統的控制變因中，相對溼度是被優先考慮的因子之一 [5]。而 CO<sub>2</sub> 雖然在許多法規與研究中的危險濃度是暴露在 10,000 ppm 30 分鐘，才會對於健康成人造成呼吸性酸中毒與過量的身體負荷 [19]。國內室內空氣品質管理法對於 CO<sub>2</sub> 的標準值是訂在 1,000 ppm。Jreijiry 等人 [20] 開發出結合自然通風與強制通風的 DCV 系統，以一年四季的氣候變遷針對實驗空間中的兩套分別以 CO<sub>2</sub> 濃度與人員數進行通風控制的 DCV 系統進行模擬分析與比較。從其研究中可以看出室內人員數對於 CO<sub>2</sub> 濃度與空調能耗皆有極大的影響與衝擊。

Nelson 和 Drivsholm [21] 提出了一個可以應用在 ACU 單元上的簡單 DCV 控制模式，可藉著調整風扇速度在高低兩個不同轉速之間達到控制的效果。高風速設定為 100% 的氣流量 (216 m<sup>3</sup>/h); 而低風速設定為高風速的 40%。從其研究中可以觀察到，在高風速運轉時排風扇氣流與外氣中的 CO<sub>2</sub> 濃度差約有 200 ppm 的差異。

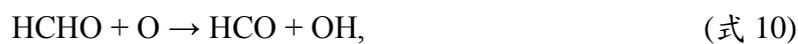
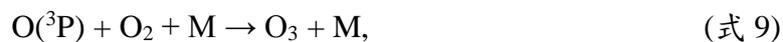
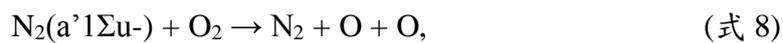
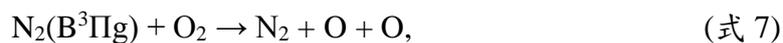
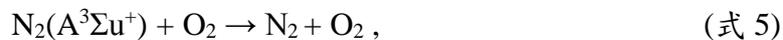
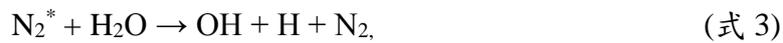
Laverge 等人 [3] 在比利時住宅中提出了四種 DCV 控制策: 1) 以排氣 70% 相對濕度為通風"開閉"的控制點、2) 以偵測人員進入超過 20 分鐘為控制點、3) 如果是內 CO<sub>2</sub> 濃度低於 1,000 ppm 時，引入外氣減少室內濃度 10% 及 4) 結合上述三種控制變因的綜合控制法。從其研究成果可以看出結合不同控制變因進行控制時的節能率可以從單一變因的 25% 提升到三種變因綜合考量時的 60%。因此在控制策略的擬定時，環境因子的偵測評估與綜合考量是能否達到節能的重要因素。

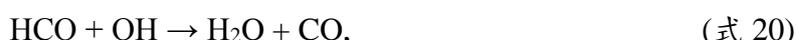
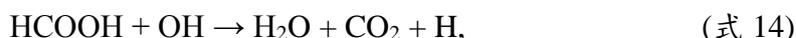
## 第二節 甲醛去除策略

傳統在非建材逸散之甲醛去除方式主要藉由通風換氣方法，但是在考量建物特性與節能要求時，藉由大氣電漿來去除甲醛已在近幾年逐漸被應用在室內環境當中。

在 Liang 等人[22]與 Shimizu 等人[23]的研究中發現在含有水蒸氣的氮氣中使用電漿可以利用反應動力學機制將空氣中有害物質進行分解，這種分解過程是從電子衝擊水蒸氣造成分解出 OH 與 H 基團開始導入，詳細分解過程的化學反應機制如下所述：

電漿中解離出的電子撞擊水分子形成質子與氫氧自由基(式 1)，氫氧自由基亦會由被激發的氧原子  $O(^1D)$  及分解的水分子彼此間產生的化學反應形成(式 2)，除此之外，被激發之  $N_2$  原子亦可能與分解的水蒸氣產生化學反應(式 3)，室內空氣中的甲醛分解將會衍生成出臭氧( $O_3$ )成為另一種活性物質，而臭氧的形成主要是經由如下之空氣中氧氣自由基反應產生出來(式 4~式 9)，其中  $N_2(A^3\Sigma u^+)$ 、 $N_2(B^3\Pi g)$ 、 $N_2(a'^1\Sigma u^-)$  皆為由電子激化(Electronic Excitation)產生之氮原子，M 則為某一不穩定分子。上述這些電漿產生的反應物分子將會與甲醛進行反應，引導出一連串的化學反應(式 10~式 25)，而上述反應中產生的 CO 可經由更進一步氧化反應形成  $CO_2$ 。





因此本計畫採用上述電漿(圖 2-1)分解甲醛的原理，設計出使用電漿機分解甲醛的方法，並搭配 CO<sub>2</sub> 的機械通風系統，結合成為一種新式的空氣清淨系統，並應用在居室空間的實驗上，以觀察其清淨空氣的效果。

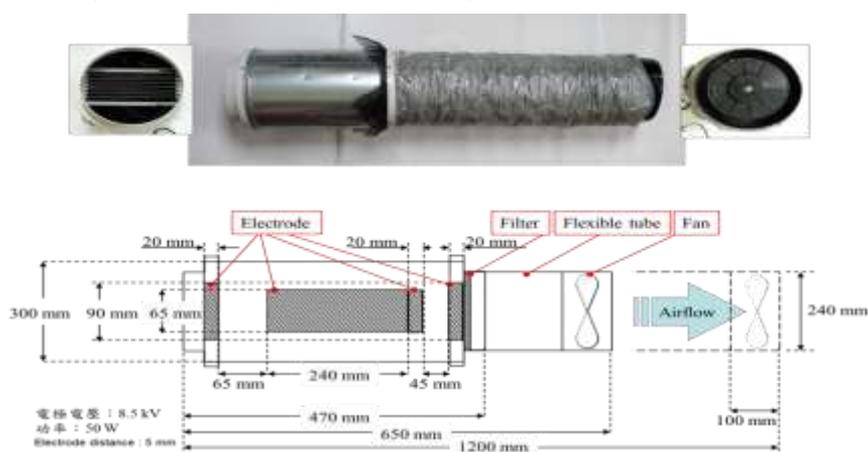


圖 2-1 除醛電漿機之設計[24]

(資料來源: Lo, T. H., Tsay, Y. S., Chiang, C. L., & Lee, C. Y., “Experimental evaluation of indoor formaldehyde decomposition performance of atmospheric plasma reactor utilizing sensor network,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(6), 761439, 2015.)

### 第三節 大數據應用

大數據(Big Data)是一套系統化、標準化及科學化的複雜概念，包含商業與管理的專業，須具備電腦儲存的位元組概念，以及網路應用、系統管理等專業知識，並可以下列公式代表「大數據」=事務處理(transaction)+互動(interaction)+觀測(observation) [25]，清楚闡釋「大數據」意涵。一般認知的「大數據」具備了5V與1C六大特性：

- (1) 巨量性(Volume)：大數據特色在於「龐大」，無論政府機構或民間企業使用的即時性感測器資料多元且巨大，極容易達到兆位元組(TeraBytes)甚至拍位元組(PetaBytes)等級。當前全世界每年產生的數據量已達2 Zettabyte(ZB)<Gigabyte (GB單位的一兆倍)>。人們每天約製造2.5 MB資料，過去兩年建立的資料估占現今世界總量的90%。由於資料龐大複雜，難以使用傳統方式整理，因此必須透過新的硬體與演算系統加以管理分析方能解讀。
- (2) 即時性(Velocity)：大數據通常具有時效性，一旦串流到運算伺服器就須立即使用，即時發揮其價值。由於資料產生的速度不斷躍升，越來越多的資料會透過網路或感測器及時紀錄、傳遞與儲存，必須應用高效率及自動化運算系統(如串流運算)才能進行分析。為了創造更高利潤，相關業者無不致力於縮短蒐集與分析處理時間。
- (3) 多樣性(Variety)：大數據資料範圍不僅包括結構化資料「結構化」、還包含了非結構化資料，如文字、音訊、視訊、點擊串流與日誌檔等。而數據可以依其組合性質分為「結構化」、「半結構化」、「準結構化」和「非結構化」等四類型。
- (4) 變異性(Variability)：由「誰」來主導分析資料是一大關鍵「結構化」、不同目的與背景的人在相同時間對於相同資料進行的分析，常會出現南轅北轍的分析結果，嚴重影響分析的正確性。
- (5) 不確定性(Veracity)：由於資料在蒐集、儲存與分析過程中常會因為人為錯誤或欺騙，或因演算系統的失準等原因，造成了大數據分析「不準確」的特性，因而出現不一致(inconsistencies)、不完整(incompleteness)、不明確(ambiguity)

與延宕、造假(deception)、型態相近(model approximations)等瑕疵。

- (6) 複雜度(Complexity)：資料管理是一個複雜的過程，特別是大量數據來自不同來源時，相關數據資料必須經過截取(grasp)、連結(connected)、分類(correlated)、傳輸，最後再被歸類儲存。造成了處理龐大資訊過程的「複雜度」。

「大數據」在建築上常用來構成建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)，可使用電腦應用程式直接計算或分析建築或建築工程資訊模型。除了建築模型以外，還包括建築物件的所有資訊，如建築的平面、立面、剖面、詳圖、三維立體圖、材料明細表、光線模擬…等，還涵蓋了幾何學、空間關係、地理資訊系統、各種建築元件性質與數量。可展示包含興建與營運過程的整個建築週期；並可將建築與機電、結構等系統同時或個別呈現出來，可以做為設計、建造、建築物業主與經營者溝通的橋樑，並提供處理工程專業所需的即時資訊。

近年來，Cheng 等人[26]擴展上述大數據的應用從建築生命週期到了室內空氣品質的評估，對於位於中國天津的公寓室內與戶外的PM2.5濃度進行了大數據分析，從其研究結果可以看出雖然兩者之間的關係隨著建築外型與氣候條件有所不同，但還是具有極大的關聯性(圖 2-2)。此研究成功地呈現「大數據」除了建築工程以外還能應用在室內空氣品質預測的可行性。

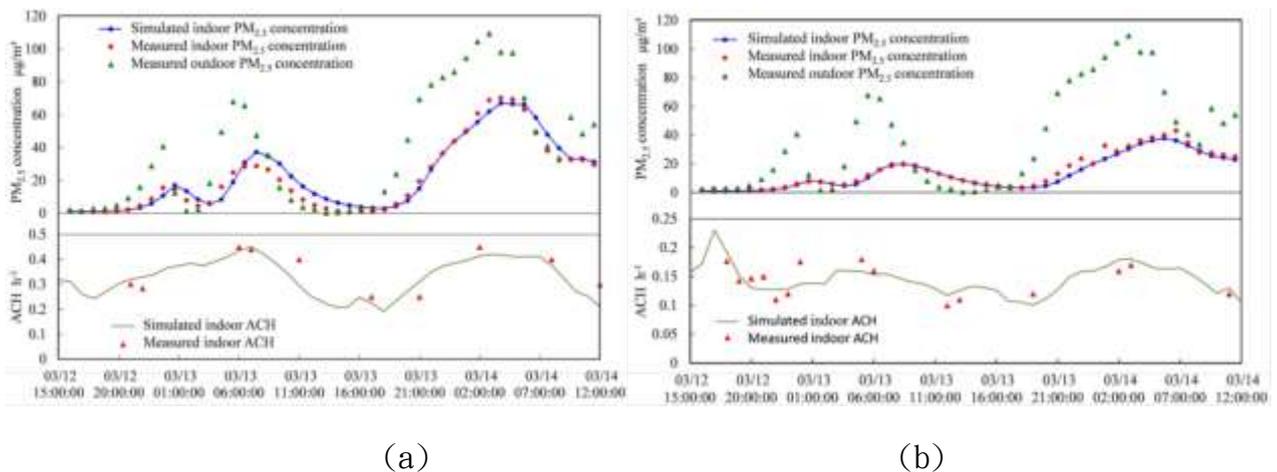


圖 2-2 模擬與量測之 ACH 與室內外之 PM2.5 濃度比較圖(a)主臥、(b)次臥[26]

(資料來源: Xionglei Cheng, Hao Zhang, Wuxuan Pan, Sumei Liu, Mingrui Zhang, ZhengweiLong, Tengfei Zhang, and Qingyan Chen, “Field study of infiltration rate and its influence on indoor air quality in an apartment,” 10th International Symposium on Heating,

Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017, Jinan, China, 19-22 October 2017.)

Cociorva 等人[27]在透過大數據分析後，提出了一種廣泛使用電子鼻氣體偵測器偵測室內空氣品質進行對於 HVAC 系統的模糊控制(圖 2-3)。此控制模式同時提升了能源的使用效率並改善了空氣品質，並因為控制模式的提升，預期未來可與人工智慧(AI)結合，落實到「智慧建築」的概念之上。

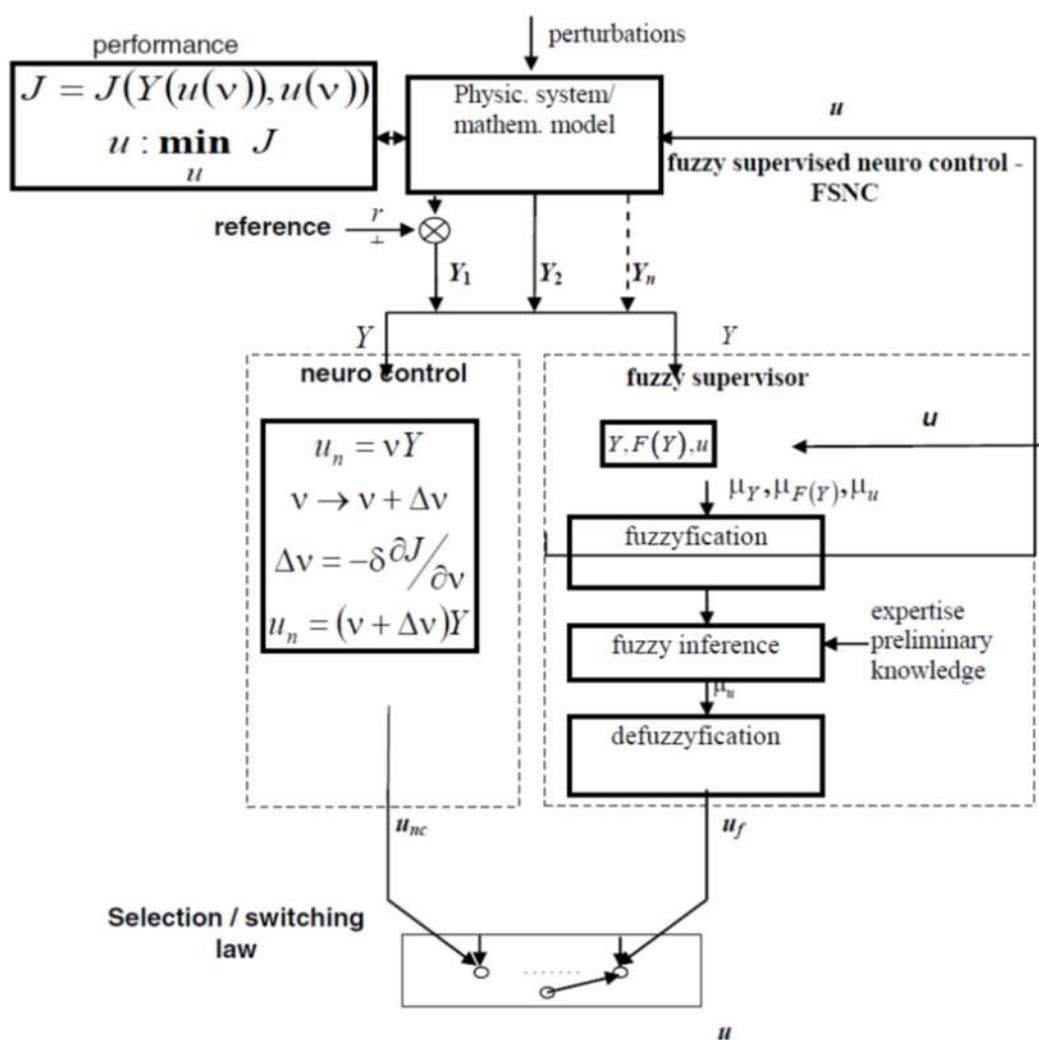


圖 2-3 應用類神經網路的室內空氣品質控制邏輯圖[27]

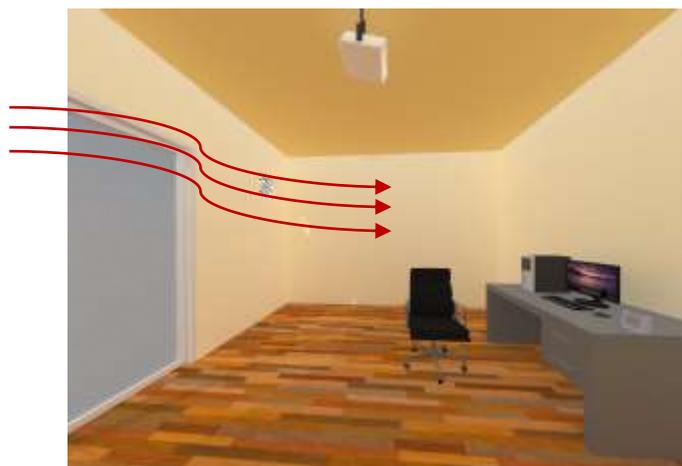
(資料來源: Sorin Cociorva, Andreea Iftene, "Indoor air quality evaluation in intelligent building," Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO 2016, Bucharest, Romania, 26-28 October 2016.)

綜合上述大數據的應用，本計畫將應用外氣(環保署空氣品質監測數據)及內氣(北中南三案例)來建立大數據資料庫，並以電腦連動設備(PLC 控制電腦)建立監控模組，對室內空氣品質進行監控，藉此維持室內空氣品質。如圖 2-4、2-5 所示。

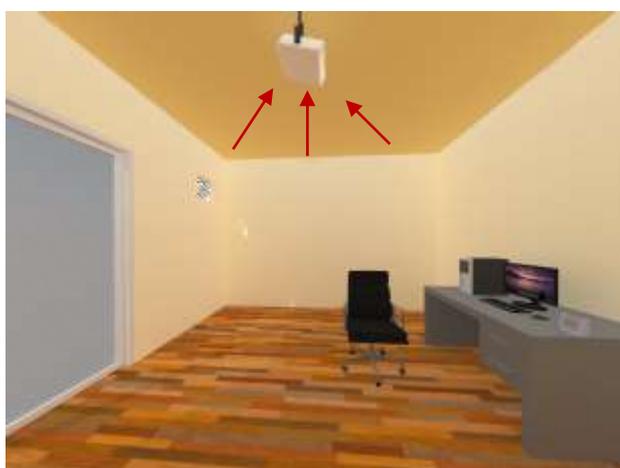


圖 2-4 PLC 監控系統室內配置圖

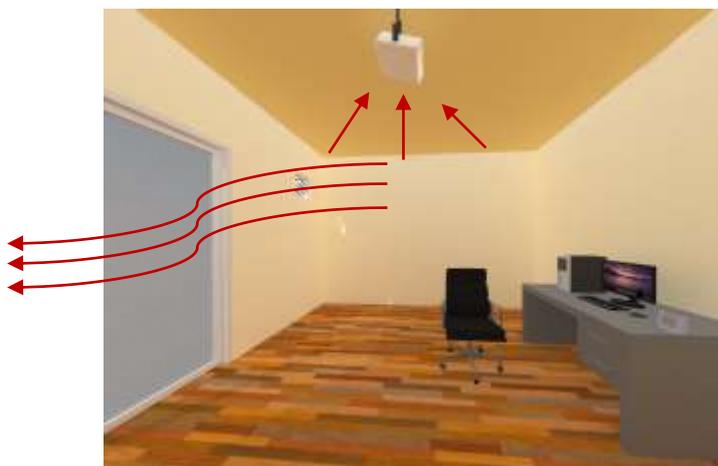
(資料來源:本研究整理)



當室內二氧化碳濃度過高，通風扇開啟，引進外氣。



當室內甲醛濃度過高，開啟電漿機，降低甲醛濃度。



當感應器監測到外物污染時，同時啟動風扇排氣及電漿機，來維持室內空氣品質。

圖 2-5 PLC 監控系統應用圖

(資料來源:本研究整理)



## 第三章 研究成果

### 第一節 住宅建築 IAQ 樣態實測結果與分析

本計畫已完成住宅建築類型台灣北中南區各一例(對應環保署測站分別為士林站/西屯站/仁武站)，非建材所致空氣污染源之 IAQ 樣態進行大數據分析：

#### (一) 北部大樓客廳量測案例

本計畫為調查分析住宅建築類型中之非建材所致空氣污染源之 IAQ 樣態並建立資料庫，在北區住宅中選定位於台北北投區大樓客廳進行連續 48 小時之溫度/濕度/CO<sub>2</sub>/甲醛實測(圖 3-1~圖 3-4)，並同時比對同時間之環保署數據，進行大數據分析。另因環保署數據無戶外甲醛數據，本計畫另整理廣被關心的 PM<sub>2.5</sub> 數據進行討論(圖 3-5)。

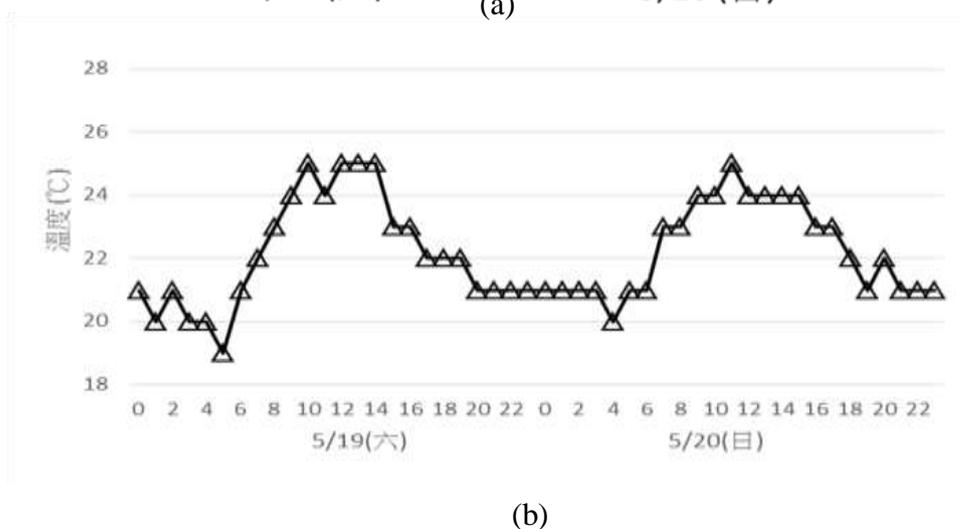
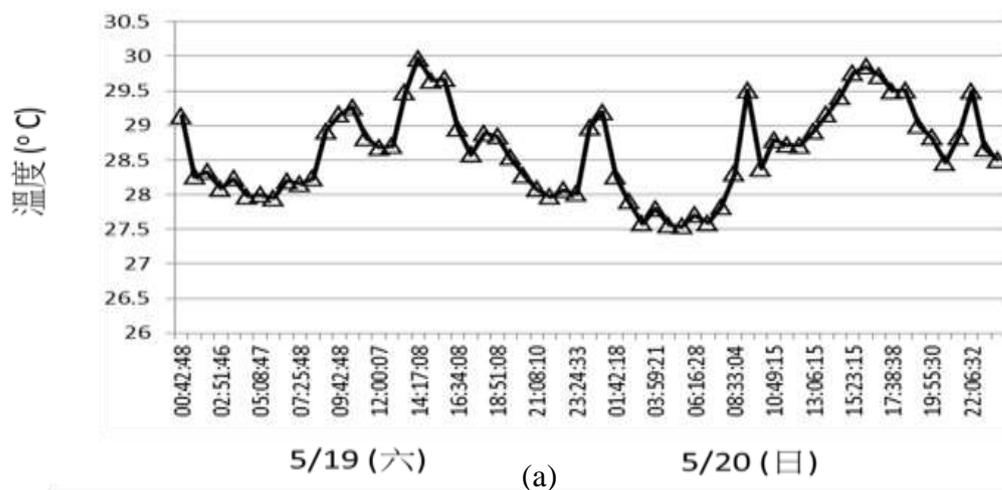
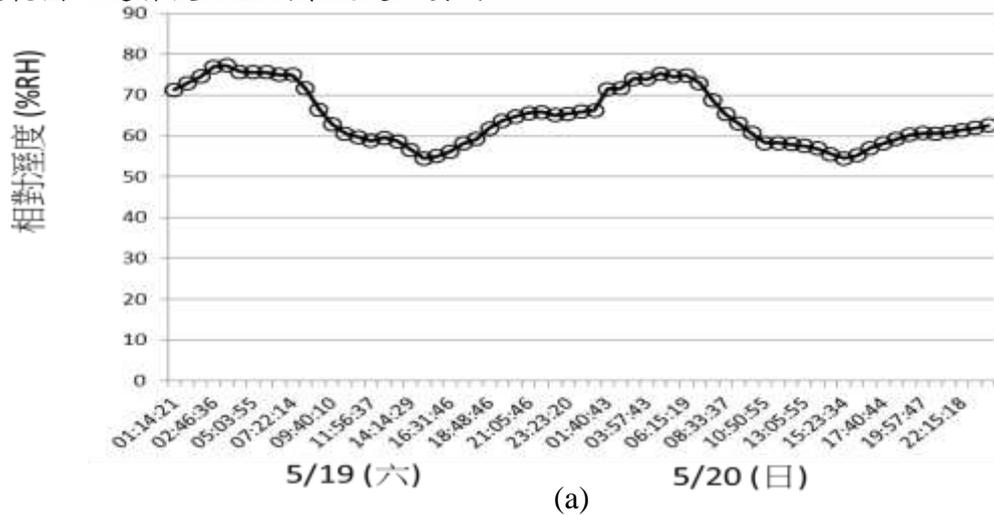
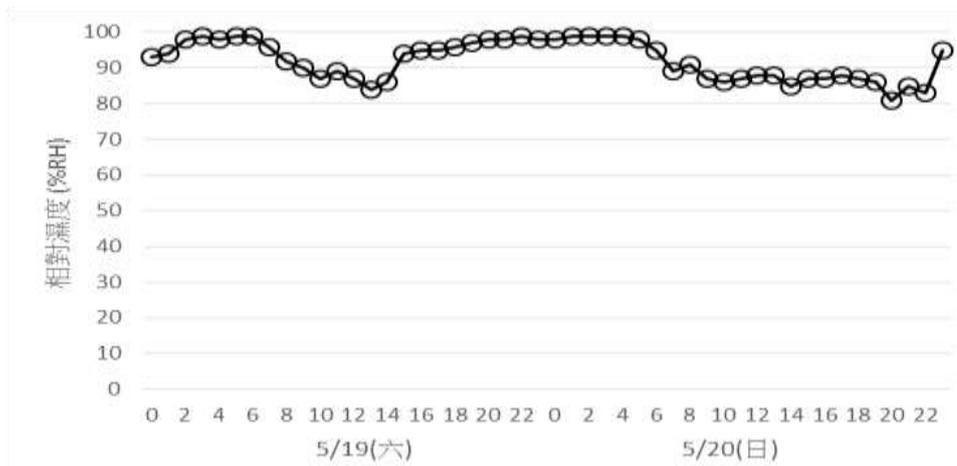


圖 3-1 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓客廳(a)室內(b)戶外溫度量測曲線圖  
(資料來源:本研究整理)

從圖 3-1(a)與(b)的比較分析可以看出，因為時序已進入夏季，位於北部市郊大樓室內溫度在無開啟空調環境下大多處於 28°C 以上之較不舒適區間；雖然從兩張圖上可以看出室內溫度的上升下降受戶外溫度影響甚大，只是因為大樓的自然通風設計較為不佳，在室內外造成了約 3-5°C 的溫差現象，導致該大樓客廳若要達到較舒適的溫度範圍，適當使用空調系統是必要的。



(a)



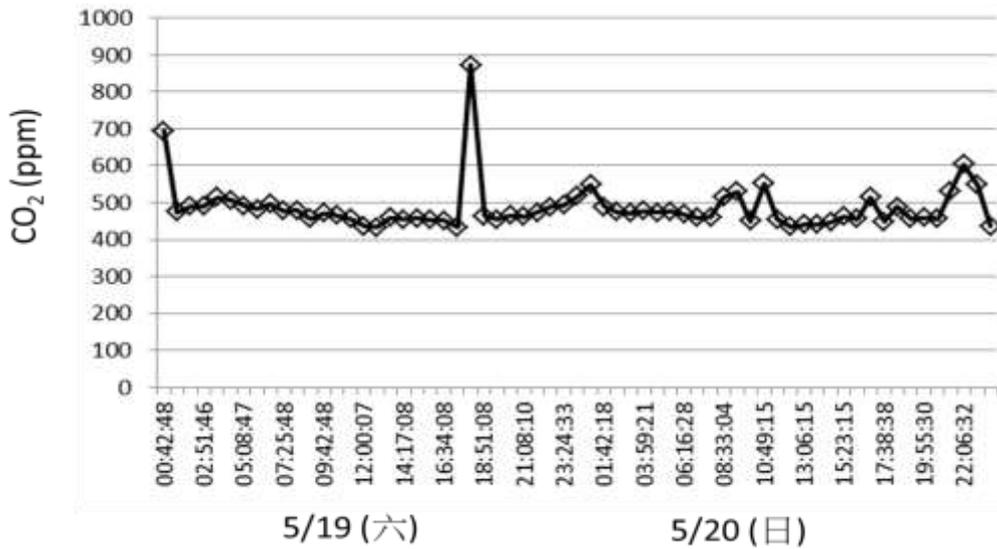
(b)

圖 3-2 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓客廳(a)室內(b)戶外相對溼度量測曲線圖

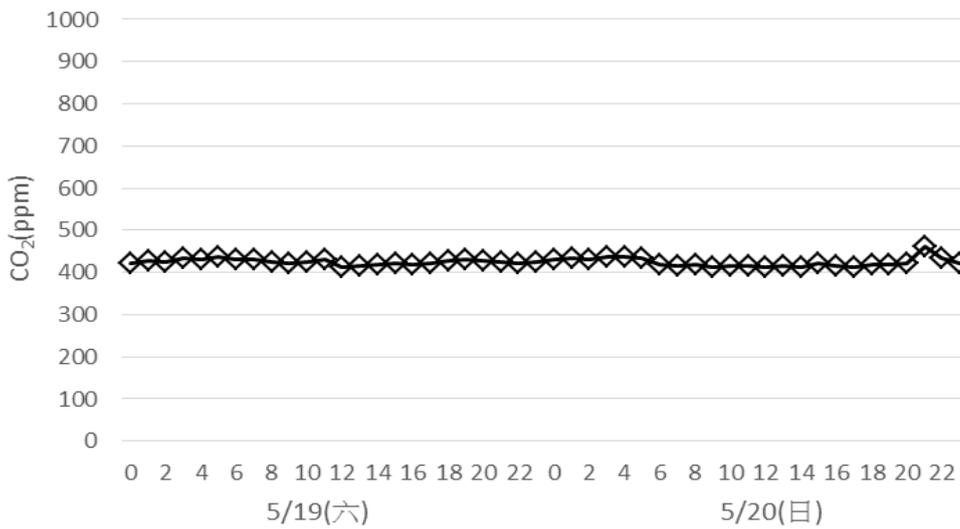
(資料來源:本研究整理)

從圖 3-2 (a)與(b)的比較分析可以看出，戶外相對溼度因為受陰雨綿綿天氣的影響，大部分時間維持在 80%RH 以上，甚至接近 100%RH；但是從室內相對濕度量測結果看來，此大樓客廳因為除濕機開啟的影響，相對濕度值大多維持在 70%RH 以下；從兩張圖上可以看出室內溼度的升降亦受戶外溼度影響極大，但若加上室內的除濕設備，

可以將室內溼度設法控制在 50-70%RH 的舒適範圍內。



(a)



(b)

圖 3-3 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓客廳(a)室內(b)戶外 CO<sub>2</sub> 濃度量測曲線圖

(資料來源:本研究整理)

從圖 3-3 (a)與(b)的比較分析可以看出，室內受戶外 CO<sub>2</sub> 濃度值影響的程度極低，反而會受客廳駐留人數的影響較大；從圖 3-3(a)5/19 17:00~19:00 間的 CO<sub>2</sub> 濃度值升高到接近 900 ppm 的不良等級，雖然隔天(5/20)同一時段的 CO<sub>2</sub> 濃度只有略為升高，可以看出客廳在傍晚家人聚集時常會出現 CO<sub>2</sub> 上升的情況，若是沒有適當的自然(或機械)通風手段，若聚會人數略多時，CO<sub>2</sub> 濃度極易高過建議值(1000 ppm)，甚至會減低室內人員的注意力與專注度。

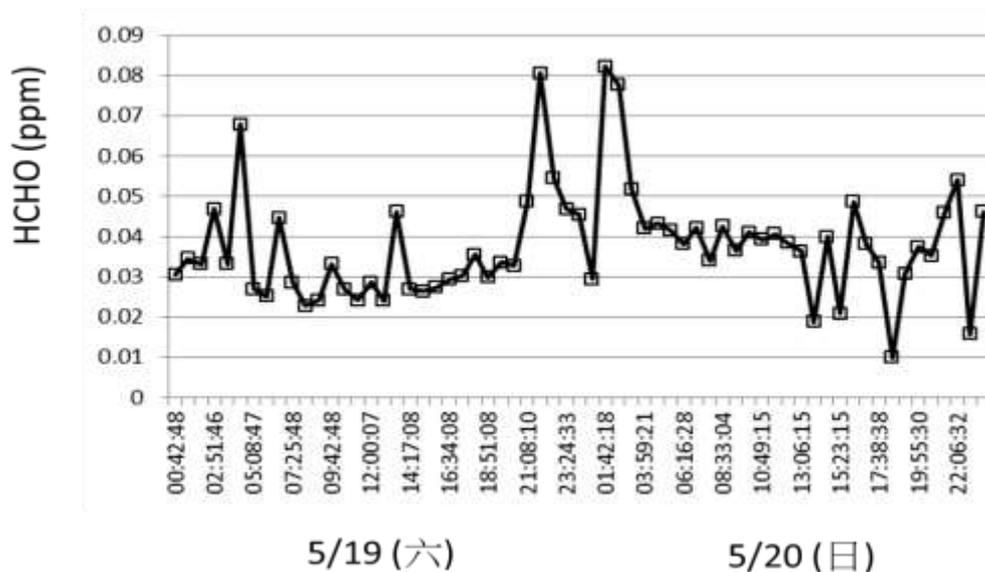


圖 3-4 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓客廳室內甲醛濃度量測曲線圖

(資料來源:本研究整理)

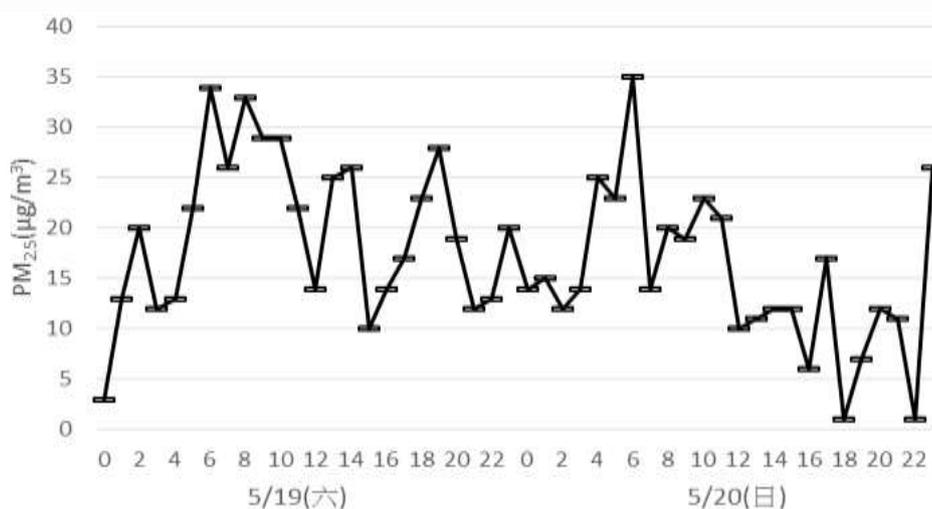


圖 3-5 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓戶外 PM2.5 濃度量測曲線圖

(資料來源:本研究整理)

圖 3-4 為 2018/5/19~2018/5/20 北部大樓客廳室內甲醛濃度量測曲線圖，從圖中甲醛濃度的變化情形可以清楚看出變動的情況十分劇烈，很明顯可以排除建材的逸散因素，在日夜間的人員清醒生活時段的甲醛濃度雖可能因為不同的居家生活用品或衣物逸散出的甲醛而有所變動，但卻在環保署建議健康範圍內(0.08 ppm 以下)。反而是夜間或凌晨客廳無人時段有接近 0.08 ppm 的情形發生，經研判係受戶外空氣影響，附近工廠偷排廢氣或燃燒垃圾時釋放出的有害物質中的甲醛被本計畫實驗設備捕捉，進而得出此與室內因素關聯性較低的量測結果。圖 3-5 為環保署在此兩天的戶外 PM2.5 濃度量測曲線，雖然全部的量測值都低於 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  的環保署建議值，但是在與甲醛

相同飆高的時段也同時可以發現 PM2.5 濃度同時上升，足證上述半夜不可預期戶外污染源出現的事實。

## (二)中部透天厝臥室量測案例

中部住宅中選定位於台中南屯之透天厝臥室進行連續 48 小時之溫度/濕度/CO<sub>2</sub>/甲醛實測(圖 3-6~圖 3-9)，並同時比對同一時間之環保署數據，進行大數據分析。另因環保署數據無戶外甲醛數據，本計畫另整理廣被關心的 PM<sub>2.5</sub> 數據進行討論(圖 3-10)。

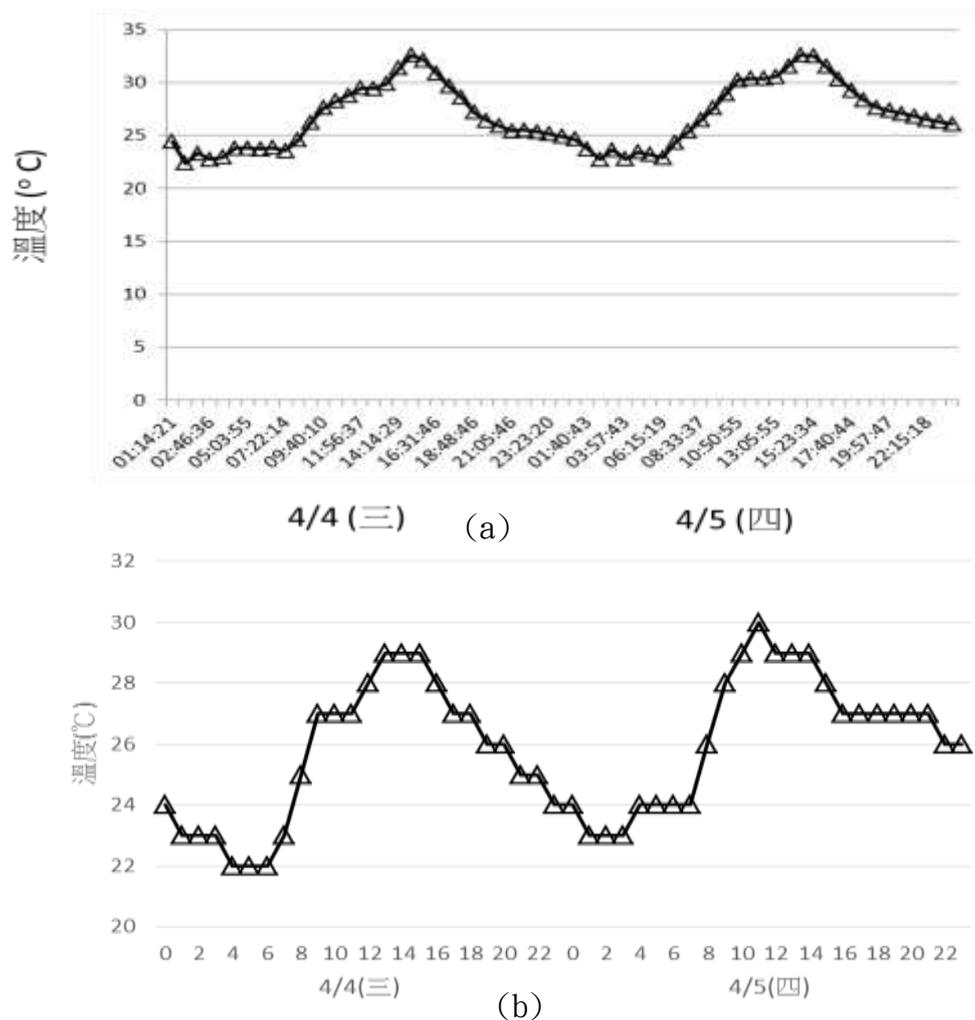


圖 3-6 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝臥室(a)室內(b)戶外溫度量測曲線圖

(資料來源:本研究整理)

從圖 3-6(a)與(b)的比較分析可以看出，因為時序為晚春，位於中部市區透天厝室內溫度在無開啟空調環境下大多處於 22~32°C 之溫度區間，雖然在下午無人停留臥室期間會因外氣溫度的升高，造成室內臥室會有高於 30°C 的高溫出現。但是在晚上 22:00-早上 8:00 的臥室溫度會因戶外溫度的下降，因而處於極為舒適的 25°C 室溫範圍附近，實際上此時節沒有開啟空調系統控制溫度的必要性。

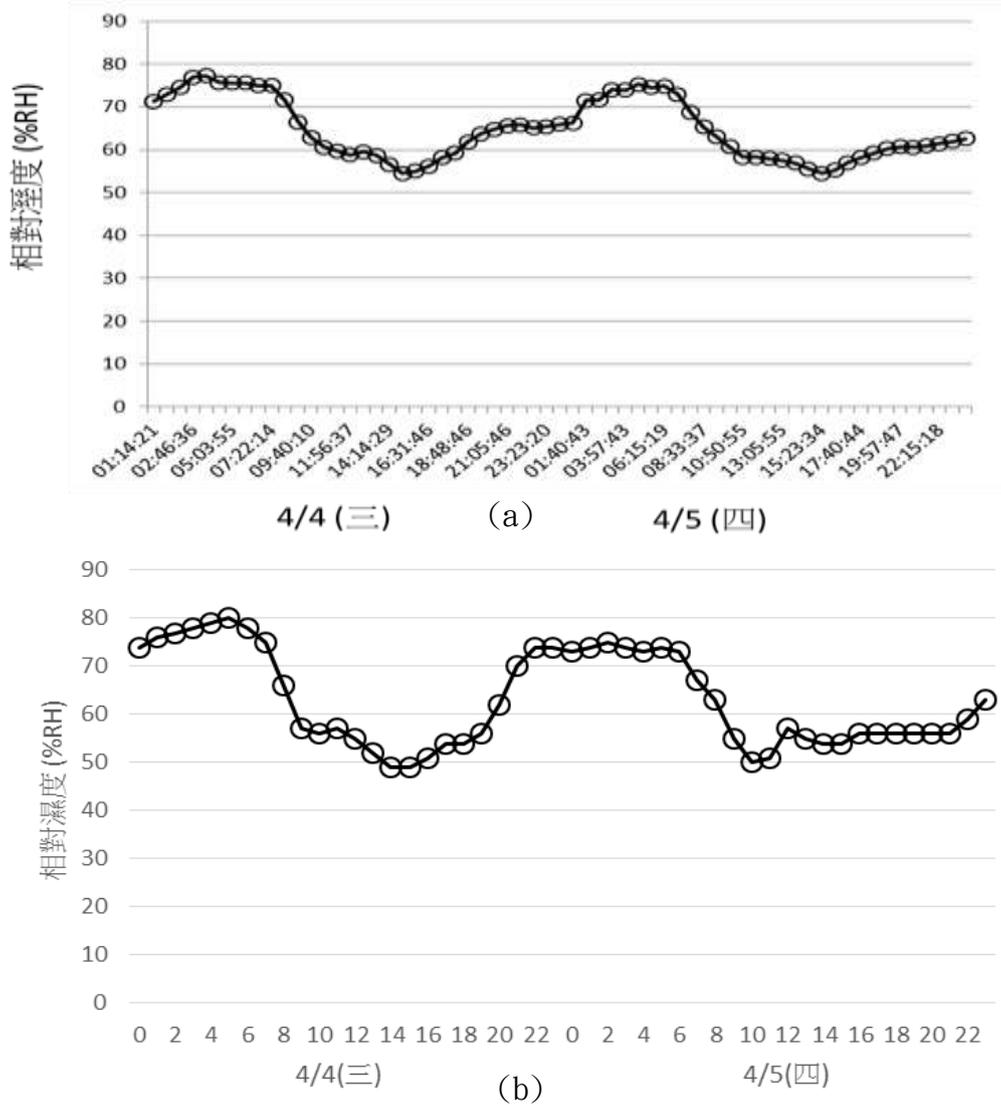


圖 3-7 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝臥室(a)室內(b)戶外相對溼度量測曲線圖  
(資料來源:本研究整理)

從圖 3-7 (a)與(b)的比較分析可以看出，戶外相對溼度在凌晨時段會受霧氣影響會有高於 70%RH 以上的情形；但是從室內相對濕度量測結果之對應關係看來，其與戶外濕度的關聯性極大，也同樣在夜間凌晨時段會有高於 70%RH 以上的情形，但是其他時段的相對濕度值多維持在 50-70%RH 的舒適範圍內。可知該建築臥室的通風設計明顯可以強化室內外溫濕度的一致性。

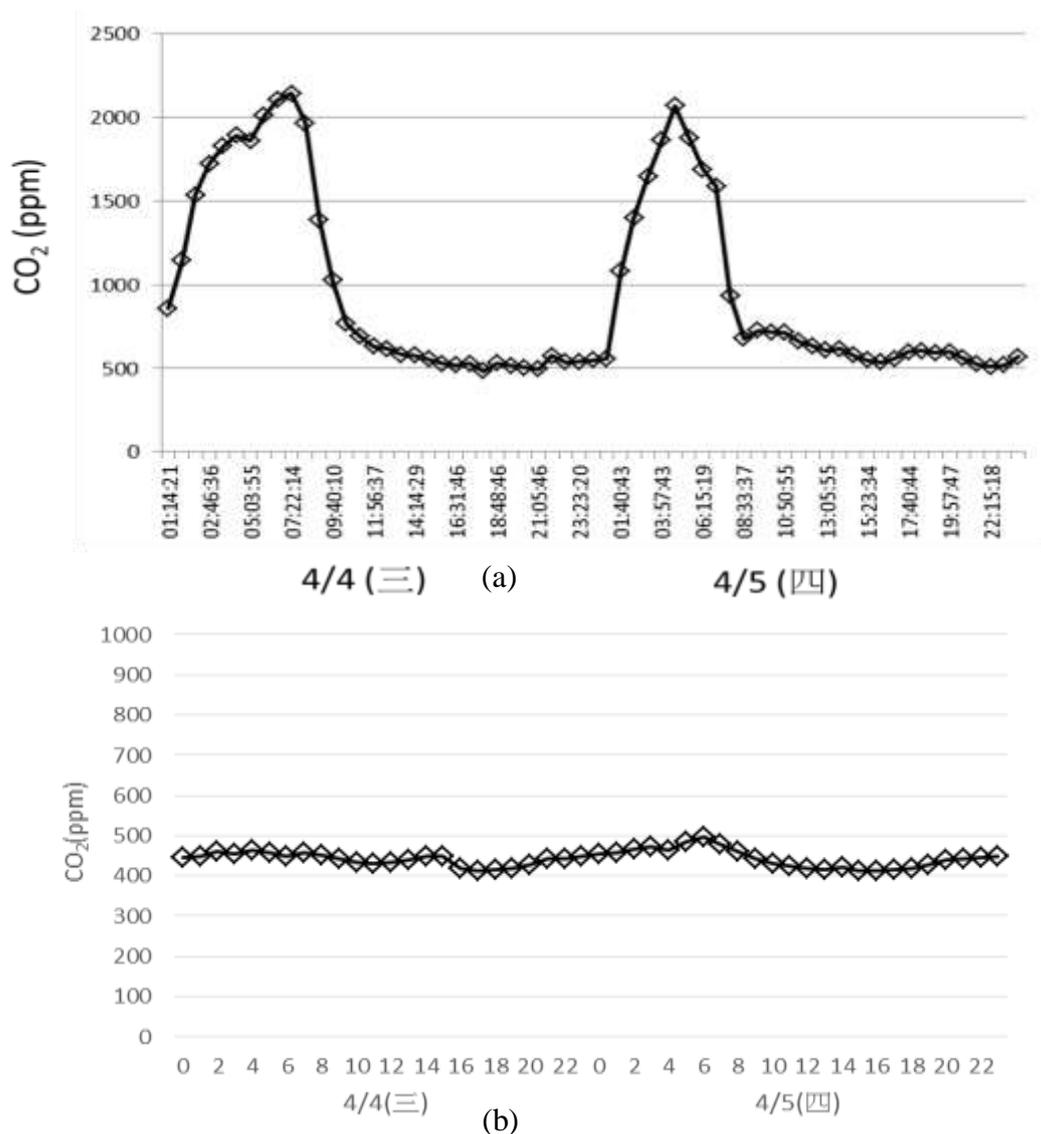


圖 3-8 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝臥室(a)室內(b)戶外 CO<sub>2</sub> 濃度量測曲線圖  
(資料來源:本研究整理)

從圖 3-8(b)的環保署數據可知此段時間的戶外 CO<sub>2</sub> 濃度變動極小，但是圖 3-8(a)中室內 CO<sub>2</sub> 濃度值卻因為晚上進入臥室就寢人員呼出氣體的影響，在 1:00-8:00 的睡覺期間上升到超過 1000 ppm 的不良濃度值，可知睡眠中門窗緊閉且沒有適當的通風設備輔助，常會造成臥室內出現 CO<sub>2</sub> 上升的情況，或許許多現代人睡眠品質不良的因素與此有關，值得後續另案探討。

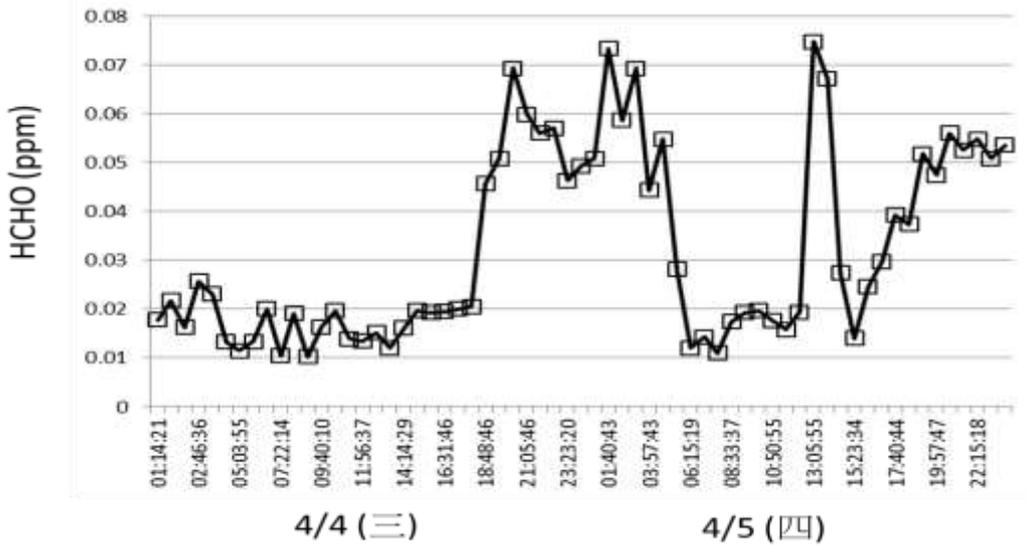


圖 3-9 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝臥室室內甲醛濃度量測曲線圖  
(資料來源:本研究整理)

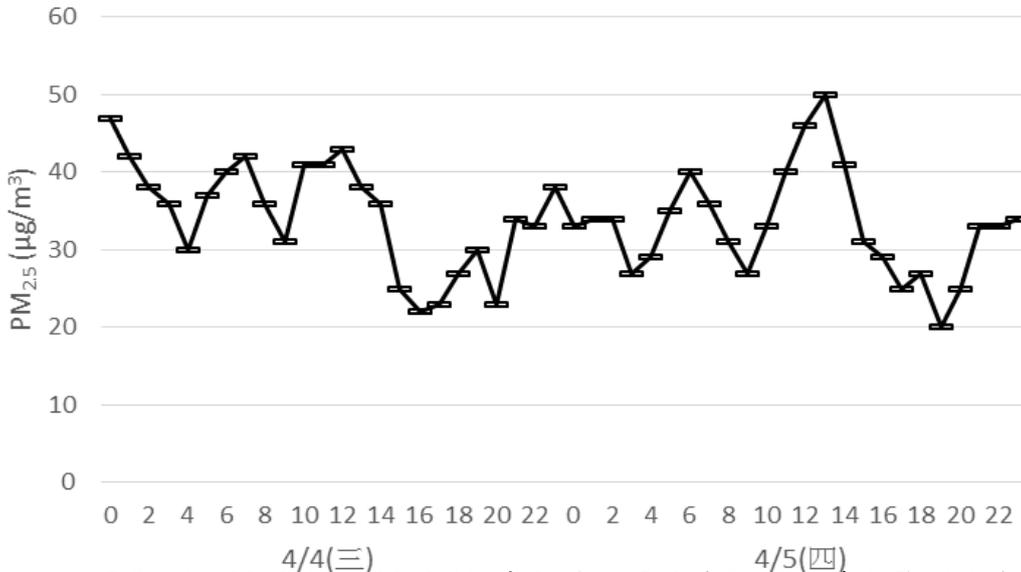


圖 3-10 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝戶外 PM2.5 濃度量測曲線圖  
(資料來源:本研究整理)

圖 3-9 為 2018/4/4~2018/4/5 中部透天厝臥室室內甲醛濃度量測曲線圖，從圖中甲醛濃度的變化情形可以清楚看出其變動的情況與 CO<sub>2</sub> 濃度變化類似，都出現在夜間人員進房後，雖然並未超過 0.08 ppm 的建議值，但可以推測應該是人員抽菸等類似行為引起。圖 3-1-10 為環保署在此兩天同一區域的戶外 PM<sub>2.5</sub> 濃度量測曲線，從中可以看出 PM<sub>2.5</sub> 量測值都在環保署建議值 35 µg/m<sup>3</sup> + 15µg/m<sup>3</sup> 的區間變動，推測應該是台中火力發電廠此一固定汙染源的影響。

## (三)南部公寓書房量測案例

南部住宅中選定位於高雄烏松之公寓書房進行連續 48 小時之溫度/濕度/CO<sub>2</sub>/甲醛實測(圖 3-11~圖 3-14)，並同時比對同時間之環保署數據，進行大數據分析。另因環保署數據無戶外甲醛數據，本計畫另整理廣被關心的 PM<sub>2.5</sub> 數據進行討論(圖 3-15)。

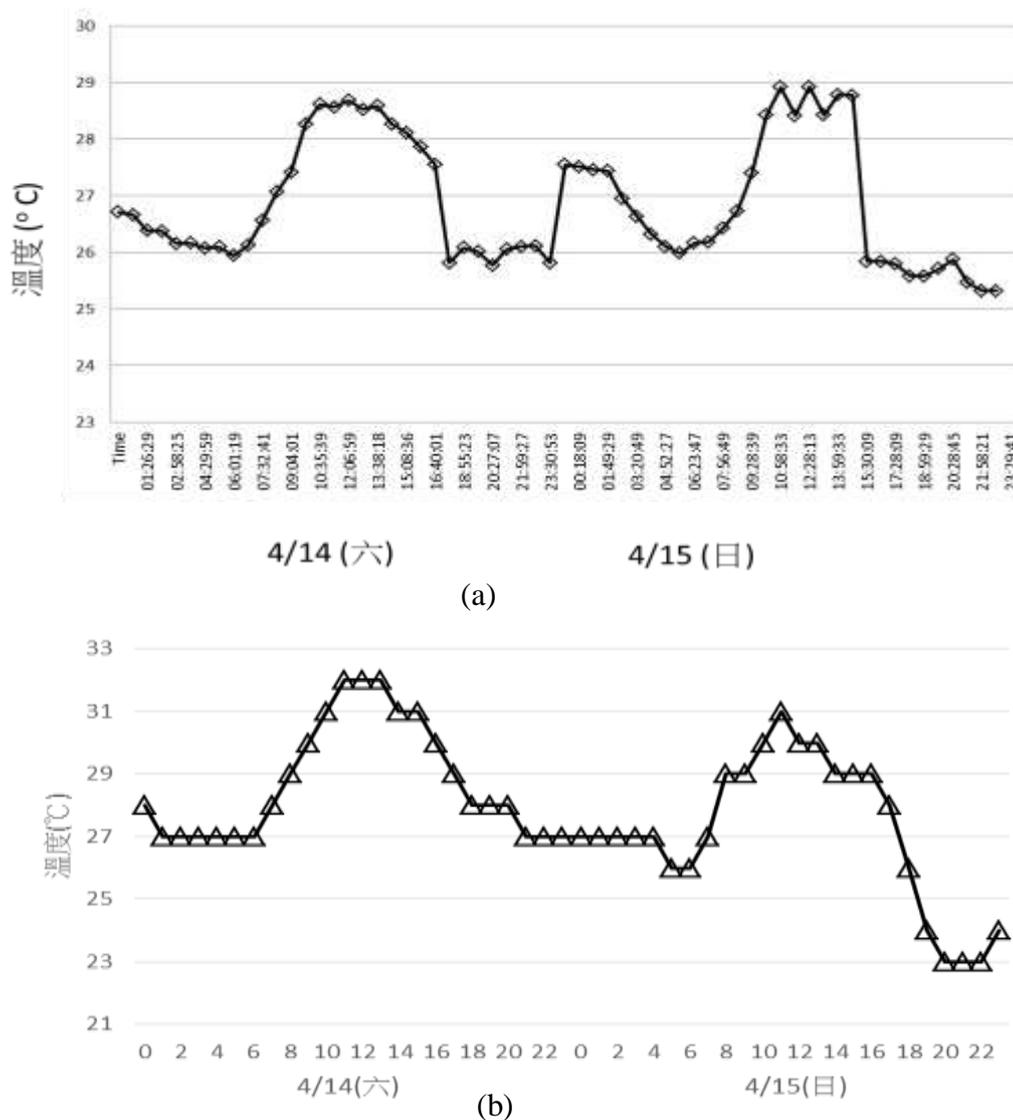


圖 3-11 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房(a)室內(b)戶外溫度量測曲線圖

(資料來源:本研究整理)

從圖 3-11(a)與(b)的比較分析可以看出，雖然時節為晚春，位於中部南部郊區的建築微氣候已接近夏天，公寓書房室內溫度在無開啟空調環境下大多處於 26~29°C 之溫度區間，雖然在日間會因為太陽曝曬與外氣溫度的升高，造成室內書房會有接近 29°C 的高溫出現，其日間的室溫因開空調設備的開啟，可以形成比外氣溫度略降約 2-4°C。

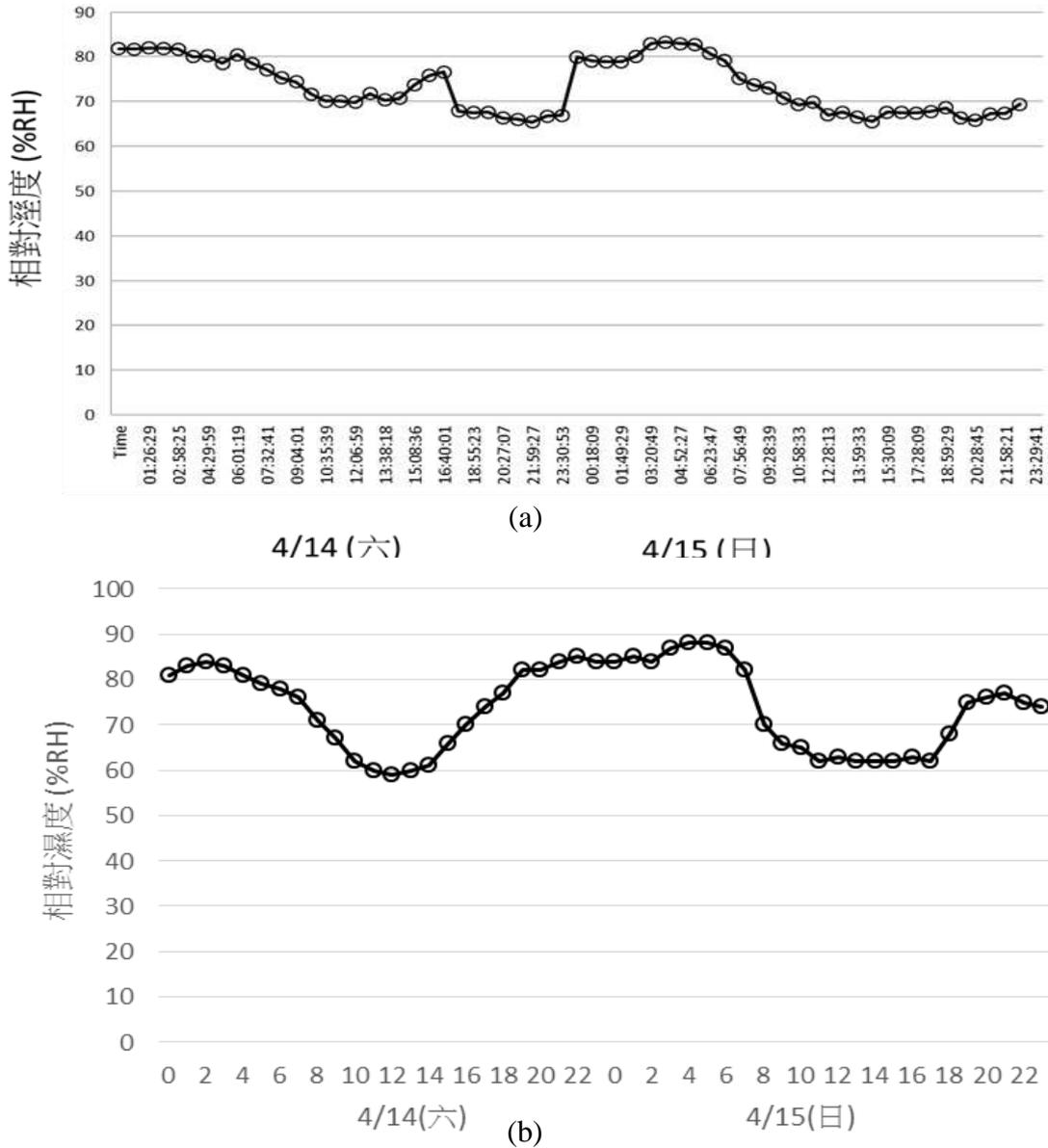


圖 3-12 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房(a)室內(b)戶外相對溼度量測曲線圖  
(資料來源:本研究整理)

從圖 3-12 (a)與(b)的比較分析可以看出，戶外相對溼度在夜間與凌晨時段會受霧氣影響會有高於 70%RH 以上的情形；但是從室內相對溼度量測結果之對應關係看來，戶外濕度的關聯性並沒有前述兩室內空間那麼大，不管白天或夜間都常維持再高於 70%RH 以上的情形，可知該此書房有極高的除濕需求。

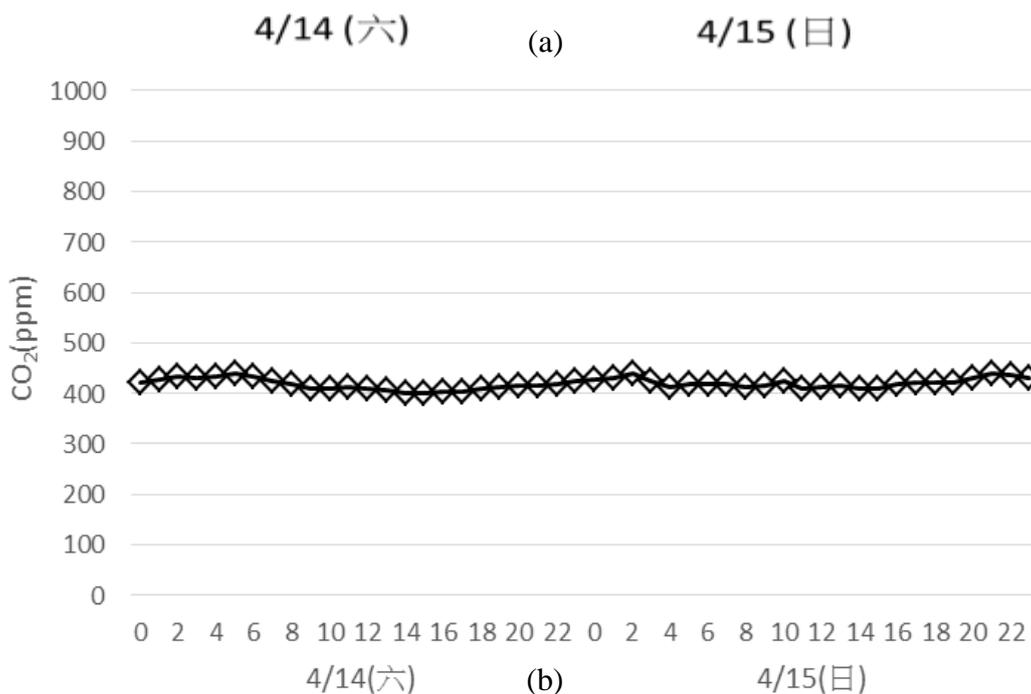
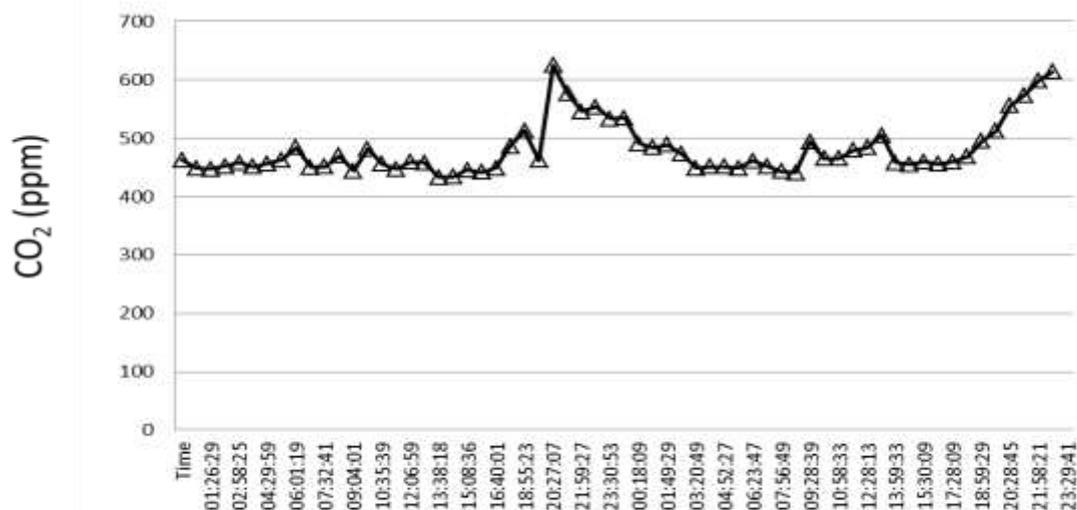


圖 3-13 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房(a)室內(b)戶外 CO<sub>2</sub> 濃度量測曲線圖  
(資料來源:本研究整理)

從圖 3-13(b)的環保署數據可知此段時間的戶外 CO<sub>2</sub> 濃度變動極小,但是圖 3-13 (a) 中的室內 CO<sub>2</sub> 濃度值卻因為晚上人員進入書房的短暫停留而有部分升,但還都遠低於 1000 ppm 的不良濃度值,可知此書房的空間設計雖然除溼功能不佳,但是在通風設計上稱良好。

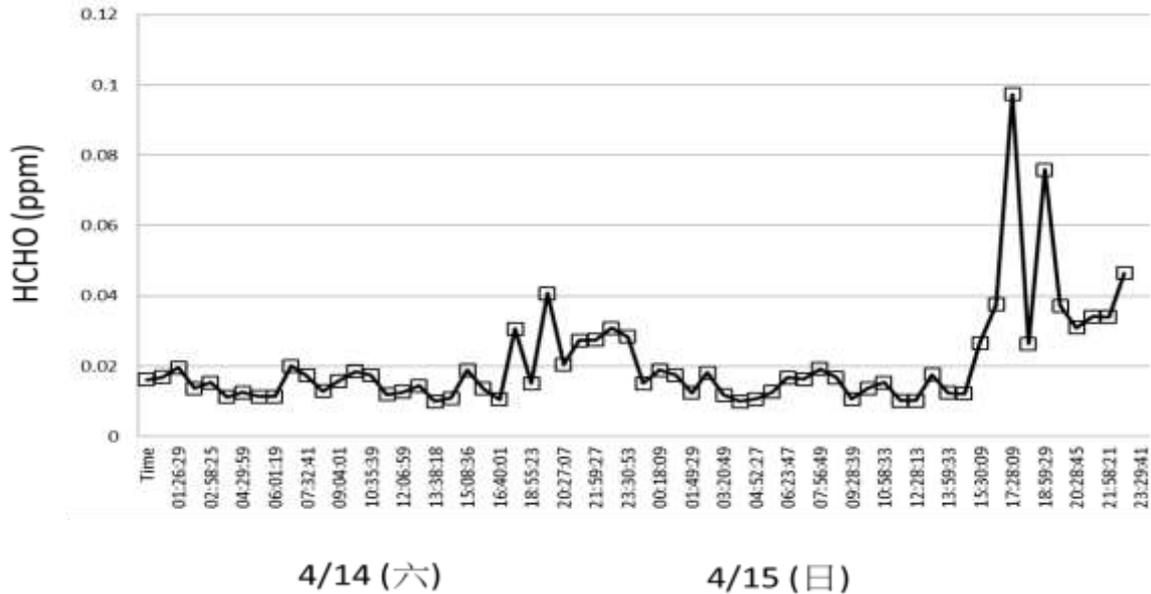


圖 3-14 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房室內甲醛濃度量測曲線圖

(資料來源:本研究整理)

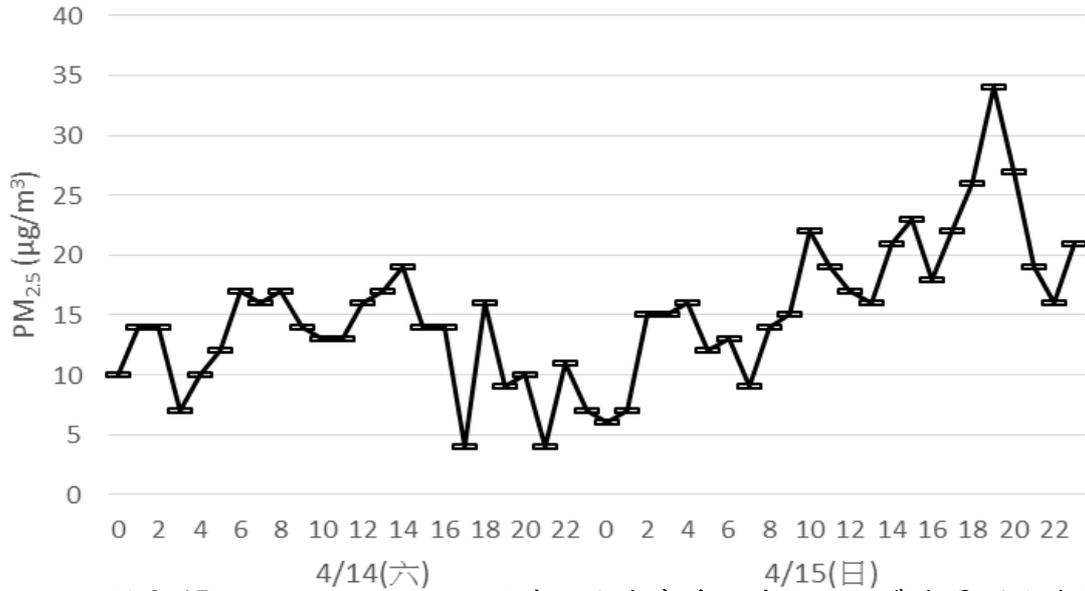


圖 3-15 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房戶外PM2.5濃度量測曲線圖

(資料來源:本研究整理)

圖 3-14 為 2018/4/14~2018/4/15 南部公寓書房室內甲醛濃度量測曲線圖，從圖中甲醛濃度的變化情形可以清楚看出其變動的情況竟然會與戶外 PM2.5 濃度(圖 3-15)同時在 4/15 17:00 後開始急速升高，可推測應該是附近工業區出現了固定污染源，同時造成了室內甲醛與戶外 PM2.5 的升高。從上述量測結果與環保署環境監測數據進行大數據分析後可以看出，目前台灣的室內空氣品質若能排除建材因素以外，氣候因素會影響室內溫溼度，室內 CO<sub>2</sub> 濃度會受空間駐留人員數與通風設計影響，而室內甲醛濃度在本計畫的監測過程中發現明顯與夜間或凌晨之大氣擴

散條件不佳，導致戶外固定污染源引起的 PM2.5 濃度升高有極大之關聯性。

## 第二節 非建材因素之室內空氣環境品質改善策略

從前述量測資料可知現階段非建材因素之室內空氣品質因子主要為 CO<sub>2</sub> 及甲醛，故本計畫將以混合式通風下室內 CO<sub>2</sub> 及甲醛兩大污染物濃度的排除方式與成效進行研究。為降低人員直接進入研究空間之干擾風險，及了解系統是否在排除污染物同時達到節省能源目的，本研究設置可程式控制器(Programmable Logic Controller, PLC)連動系統，以便瞭解整體濃度變化與耗能狀態。透過置於研究室外之電腦進行系統連線即時檢測，當室內污染物質超標便自動啟動通風扇及電漿設備，直接導入外部空氣入室內，並於足尺研究室外窗台架設個人氣象站，於研究進行時以溫溼度檢測儀作為輔助同步監測背景溫度及環境條件，於背景氣候穩定情況下進行測試。

### (一) 研究場域設計

本計畫將以足尺研究室(研究室空間長、寬、高分別為 3.6m、3.3m、2.4m)作為研究地點，研究室由夾板隔間與實牆構成，天花板及地板面為輕鋼架，單面牆整面書櫃，並有整面牆有大面窗戶(圖 3-16)，實驗設備說明如表 3-1。本計畫將在觀察室外溫度超過 32°C、濕度不控制之條件下，研究時段為上午 10 點至下午 2 點，藉由控制 CO<sub>2</sub> 鋼瓶之開啟/關閉，檢測室內 CO<sub>2</sub>、甲醛變化，並觀察儀器啟動之效能。實驗初始條件為：於開啟空調未引進外氣的密閉實驗空間中使用 PMD01 四合一(溫度/濕度/CO<sub>2</sub>/甲醛)氣體偵測器，研究模組將分成六組研究設定(表 3-2)，藉以探討其不同智慧型混和通風系統之清淨效果。

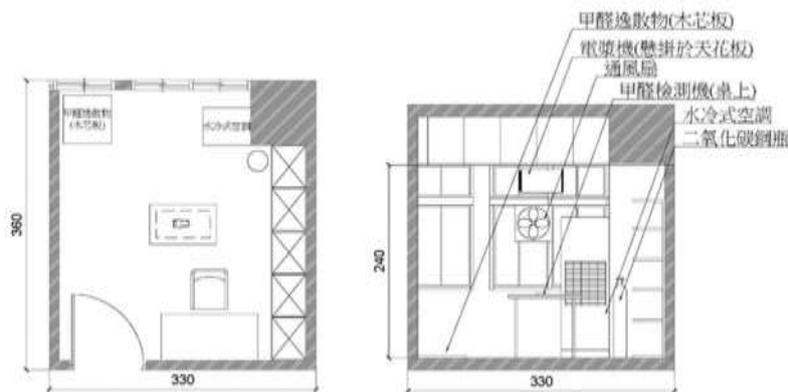


圖 3-16 足尺研究室儀器設備配置圖

(資料來源:本研究整理)

表 3-1 實驗設備說明表

序號	實驗設備	數量	說明
1.	一般水冷式空調 (控制電腦)	1	用於控制室內溫度於平均溫度 25°C。
2.	PMD01 四合一氣體偵測器壹台	1	選用可以同時量測溫度/濕度/CO <sub>2</sub> /甲醛濃度之感測器，其甲醛最低偵測極限為 0.02ppm。放置於實驗室距離地面 75cm 高之桌面，量測空間 CO <sub>2</sub> 及甲醛濃度。
3.	CO <sub>2</sub> 鋼瓶壹支	1	模擬室內 4 人員情況之二氧化碳含量。
4.	甲醛逸散物(木芯板)	1	模擬室內有甲醛污染物逸散之情況。
5.	通風扇	1	設定為吸氣模式，提供室內換氣量可移除室內空氣中的二氧化碳濃度(通風量為 1.55 m/sec)。
6.	PLC(Programmable Logic Controller)控制電腦	1	判讀空間 CO <sub>2</sub> 與甲醛污染物濃度，並依研究設定之監控模式啟動/關閉通風扇與電漿機。
7.	專用電錶紀錄器	1	記錄各組實驗前後耗電量。
8.	室外氣象(溫濕度)檢測器	1	檢視實驗環境的溫溼度，室外平均溫度 32°C 左右，室內平均溫度 25°C 左右。

(資料來源:本研究整理)

表 3-2 實驗初始條件及六組研究模組設定

研究條件：二氧化碳 72 l/h (約 3~4 人排放量)			室內溫度：25 °C 室外溫度：>30 °C				研究時間： 10:00am-14:00pm 共計 4 小時	
	空調	通風扇	人員 (CO <sub>2</sub> )	甲醛	電漿機 (50W)	戶外 溫度	監控條件設定	
Type 0 (對照組)	ON	吸氣 OFF	O	X	X	O	未啟動混合式通風系統	
Type 1 (弱通風模式)	ON	吸氣 ON	O	X	X	O	CO <sub>2</sub> 1000-800ppm	
Type 2 (強通風模式)	ON	吸氣 ON	O	X	X	O	CO <sub>2</sub> 900-700ppm	
Type 3 (弱電漿模式)	ON	吸氣 OFF	X	O	O	O	甲醛 0.08-0.07ppm	
Type 4 (強電漿模式)	ON	吸氣 OFF	X	O	O	O	甲醛 0.08-0.06ppm	
Type 5 (弱電漿通風模式)	ON	吸氣 ON	O	O	O	O	甲醛 0.08-0.07 ppm	CO <sub>2</sub> 1000-800 ppm
Type 6 (強電漿通風模式)	ON	吸氣 ON	O	O	O	O	甲醛 0.08-0.06 ppm	CO <sub>2</sub> 1000-800 ppm

(資料來源:本研究整理)

本計畫利用四合一氣體偵測器儀器放置於上述空間內，將其連動可程式控制器，並透過遠端控制軟體作為現場環境因子監測用，從外部電腦進行操作與監看數值，可選擇做手動或自動監控(全套設備設置成本約新台幣 15 萬元，大量生產時成本可降低 40%-60%)。

### (1) 甲醛設定

為模擬室內環境甲醛濃度過高之狀況，本計畫利用速乾接著劑塗抹於木芯板上，藉以產生揮發性甲醛物質，每次使用之接著劑用量約 60 公克，其所釋放之甲醛量約 0.1 至 0.15ppm。依據中華民國行政院環保署室內空氣品質標準之室內空氣品質管理法公布，甲醛於室內空氣品質標準值一小時不可大於 0.08ppm，因此本計畫將 PLC 連動系統設定如圖 3-17：並在研究室桌面擺設上述 PMD01 偵測器，透過此檢測儀器數值連動設備，系統設定每 25 分鐘自動啟動測量甲醛數值狀態，當檢驗值超出濃度設定值 0.08ppm 後立即啟動電漿設備裝置排除甲醛污染物，每 30 分鐘進行一次甲醛濃度的量測，待甲醛量測濃度降低於系統設定值後便停止運轉電漿設備，以觀察本系統排除甲醛污染物之效果。

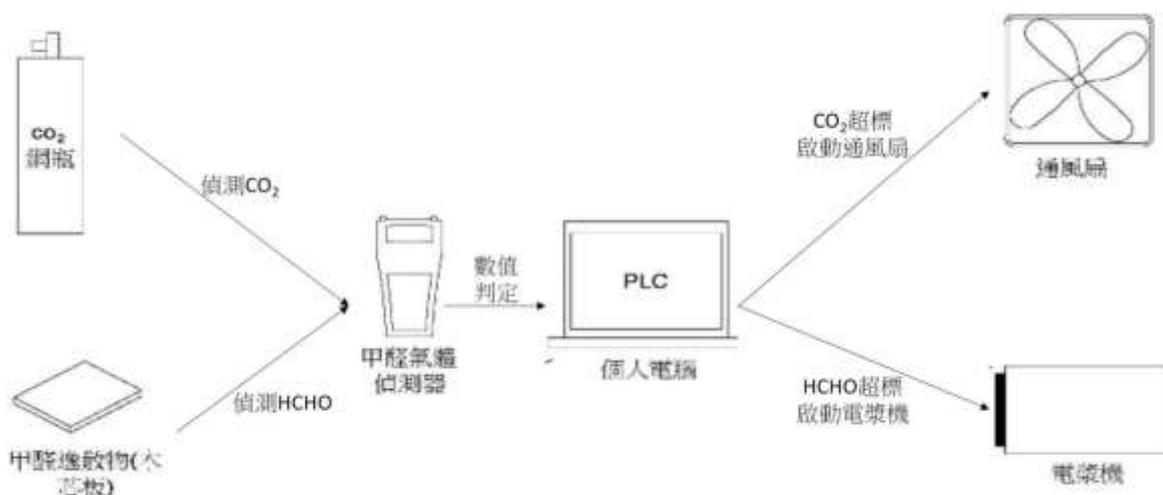


圖 3-17 架設 PMD01 氣體偵測器、電漿機、排氣扇與可程式控制器之系統配置圖

(資料來源:本研究整理)

### (2) 二氧化碳設定

PMD01 進行現場監測時，電腦可即時顯示室內 CO<sub>2</sub> 濃度數值。為模擬室內人員進駐產生的 CO<sub>2</sub> 濃度，本計畫使用 CO<sub>2</sub> 鋼瓶排放 CO<sub>2</sub> 至實驗空間中，其濃度將隨時間增長而逐漸升高。當濃度值達到通風扇啟動值，系統可直接啟動通風扇，將新

鮮空氣吸入，當二氧化碳降低至電腦所輸入設定值後便立即停止通風扇運作。本研究設定空間內有 4 名人員，以 1 名人員平均每分鐘排放濃度為 20 l/h(人) [28]，即為 333 cc/min(人)計算，4 名人員總排放量約為 1300 cc/min，因此將控制鋼瓶釋放二氧化碳濃度為 1300 cc/min。依據行政院環保署公布：二氧化碳標準八小時內不可高於 1000ppm，故本計畫將設定 PLC 連動系統(圖 3-17)當室內二氧化碳濃度高達 1000ppm 開啟通風扇運作，當室內二氧化碳濃度降至 700~800ppm 便停止通風扇運作，待下次測得超標時便再次啟動。

### (3)混合式通風系統控制模式設定

本計畫將以 CO<sub>2</sub> 氣體 1300 cc/min 為排放標準(相當於空間內有 4 個成年人每分鐘二氧化碳排放量)，並放置一台四合一氣體偵測器於桌面(距地面 75 公分)上，以 PLC 主機分別連接到甲醛偵測機、通風扇、電漿機(plasma)及監控電腦上，藉以依照研究條件啟閉相關設備，並記錄資料與解析數據。Type 1(CO<sub>2</sub> A 組)與 Type 2 (CO<sub>2</sub> B 組)設定為室內 3 至 4 人之 CO<sub>2</sub> 排放量，CO<sub>2</sub> 濃度分別高於 1000ppm/900ppm 啟動通風扇，分別在低於 800ppm/700ppm 時關閉通風扇(圖 3-18)；Type 3(HCHO A 組)與 Type 4(HCHO B 組)設定為無人員之情況，系統每 30 分鐘量測甲醛濃度一次，當甲醛濃度值高於 0.08ppm 啟動電漿機，分別低於 0.07ppm/0.06ppm 關閉電漿機(圖 3-19)；Type 5(CO<sub>2</sub>+HCHO A 組)與 Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組)設定為室內 3 至 4 人之二氧化碳排放量，系統每 30 分鐘監測甲醛濃度一次，當甲醛濃度高於 0.08ppm 將啟動電漿機，HCHO 監測濃度分別低於 0.07ppm/0.06ppm 即關閉電漿機；此二模式並同時即時監測 CO<sub>2</sub> 濃度，當 CO<sub>2</sub> 濃度高於 1000ppm 即時啟動通風扇、低於 800ppm 則即時關閉通風扇(圖 3-20、圖 3-21)。

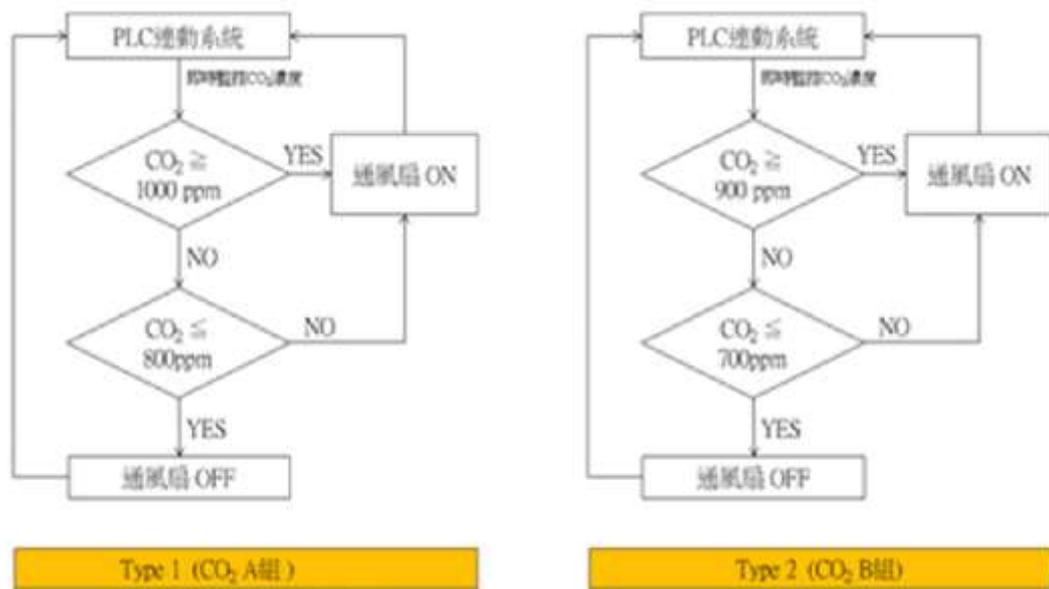


圖 3-18 Type 1(CO<sub>2</sub> A 組)與 Type 2(CO<sub>2</sub> B 組) 監控流程圖  
(資料來源:本研究整理)

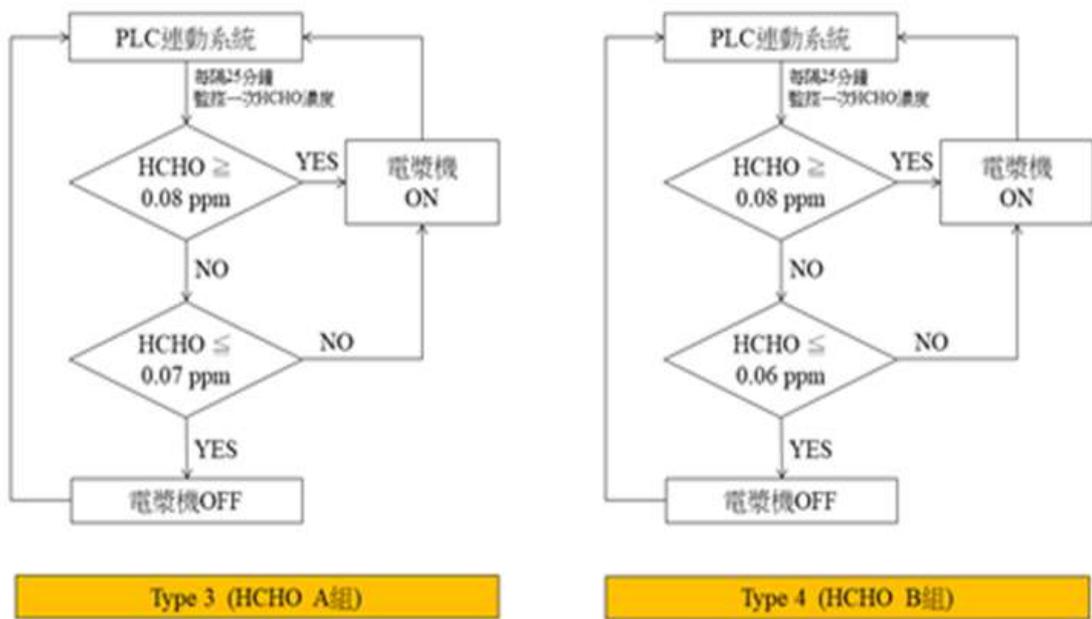


圖 3-19 Type 3(HCHO A 組)與 Type 4(HCHO B 組) 監控流程圖  
(資料來源:本研究整理)

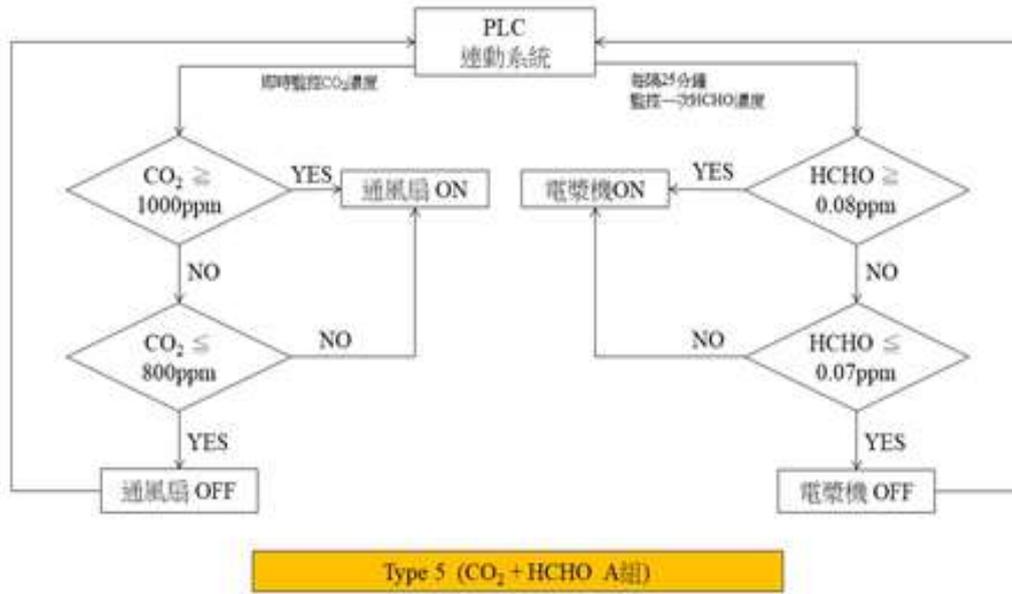


圖 3-20 Type 5(CO<sub>2</sub>+HCHO A 組)監控流程圖

(資料來源:本研究整理)

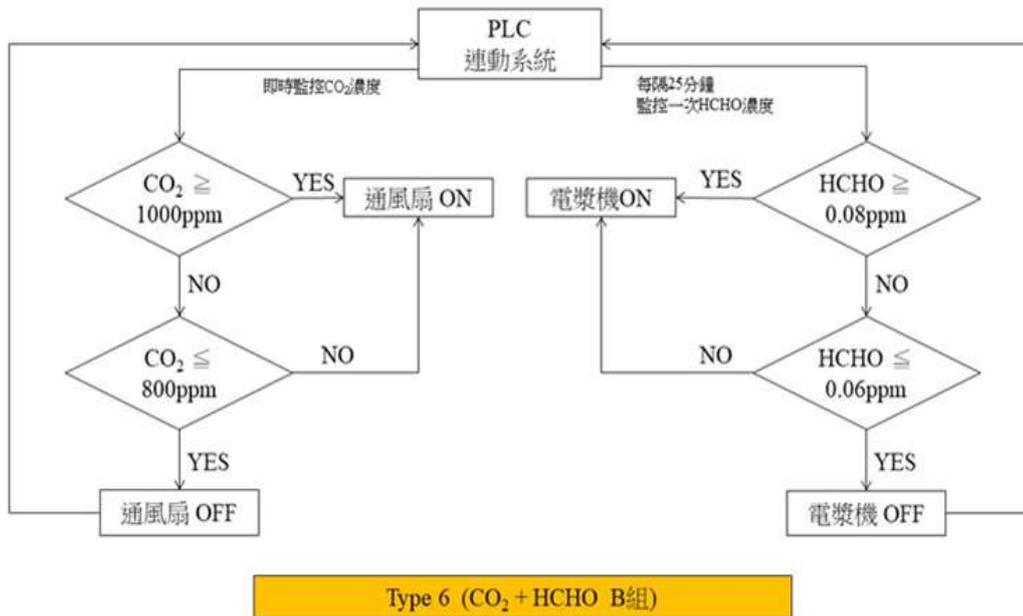


圖 3-21 Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組)監控流程圖

(資料來源:本研究整理)

### 第三節 混合式智慧通風系統對室內空氣品質之改善

本研究以上述組尺實驗室單元空間為主體，藉由通風扇及電漿機配置之混合通風模式建構六組智慧型混合通風系統，積極在污染物之濃度控制與有效通風換氣間找出平衡，探討室內 CO<sub>2</sub>、HCHO 污染物濃度變化特性。本研究可分為有無加入 CO<sub>2</sub> 與 HCHO 之研究組別，經由各組別設定標準探討研究結果，可深入分析。圖 3-3-1 為 Type1(CO<sub>2</sub> A 組-弱通風模式)與 Type2(CO<sub>2</sub> B 組-強通風模式)(CO<sub>2</sub> 濃度較為嚴格的標準)，皆有加入二氧化碳以模擬室內 4 人二氧化碳排放量之組別，圖 3-3-2、圖 3-3-3 為 Type 3(HCHO A 組-弱電漿模式)與 Type 4(HCHO B 組-強電漿模式)未加入二氧化碳濃度(模擬室內無人情況下)，加入甲醛逸散探討混合通風效果之研究組別，透過個別觀察與比較，對其通風效果進行探討，以更清楚瞭解污染物和連動設備的相互關聯。

由圖 3-22 可知：室內若無除污裝置或通風設備，在污染物累積之下，四小時內濃度可高達 1000ppm 以上(Type 0-對照組)，若啟動通風設備，在二氧化碳超標同時，對外通風扇啟動，可立即排除有害物質(Type 1 與 Type 2)，由此可知適度室內通風換氣是必要的。透由 Type 1(CO<sub>2</sub> A 組-弱通風模式)可發現污染物濃度在達至頂標時，透過設備運轉可有效快速降低室內環境二氧化碳濃度至 800ppm，避免環境污染物持續累積於密閉空間。Type 2 (CO<sub>2</sub> B 組-強通風模式)將連動設備啟動數值更改至 900ppm，並於 700ppm 停止時，為使室內二氧化碳濃度維持於所設定之標準值內，相較於 Type 1(CO<sub>2</sub> A 組)僅啟動 1 次排風機制，Type2 (CO<sub>2</sub> B 組)於實驗時間中頻繁啟動六次排風機制。

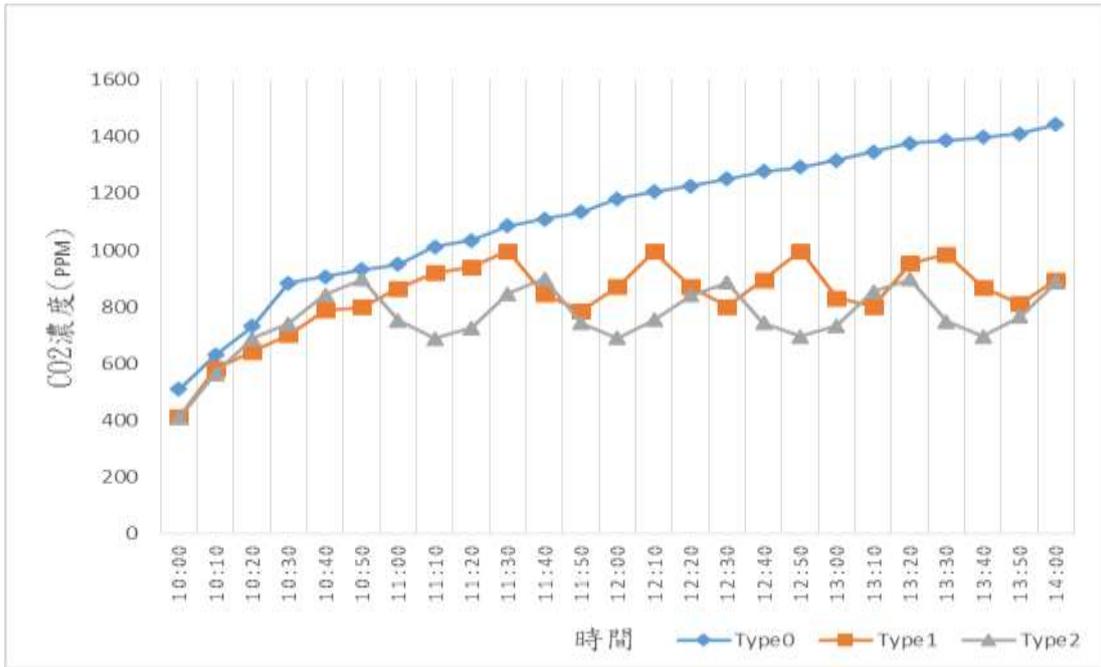


圖 3-22 Type 0(對照組)、Type 1(CO2 A 組)與 Type 2 (CO2 B 組)之 CO2 濃度變化圖  
(資料來源:本研究整理)

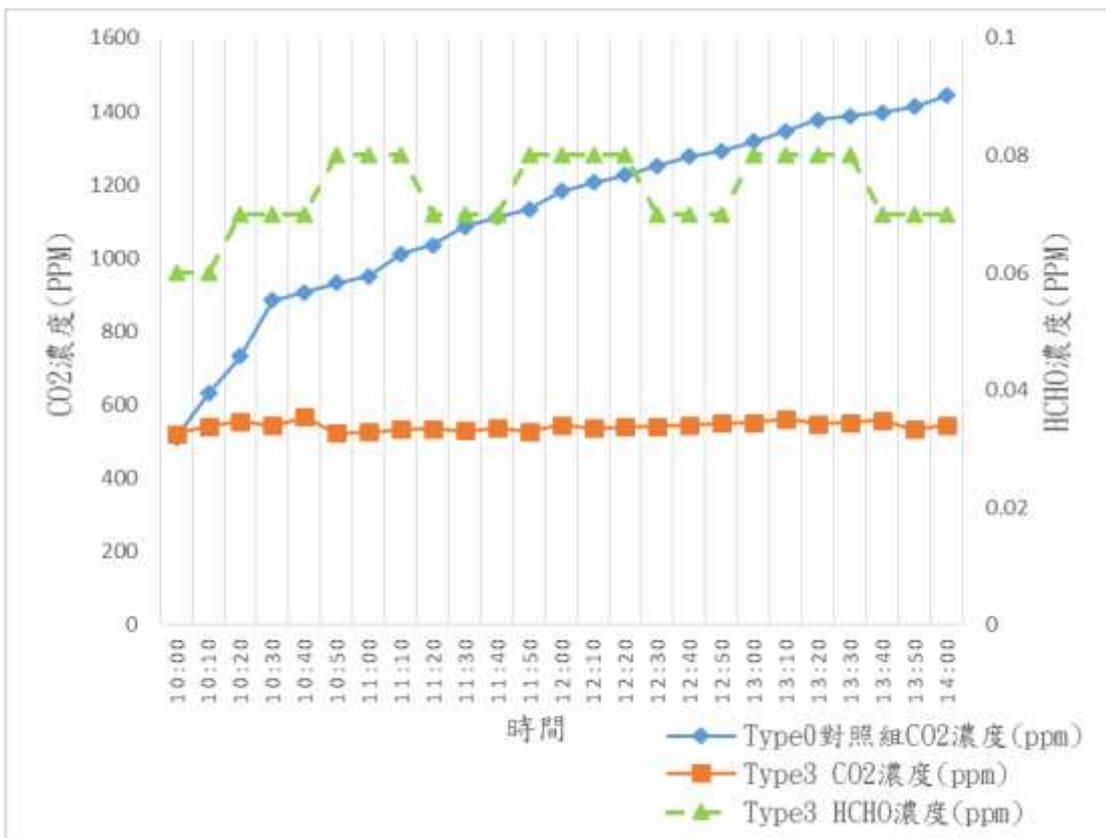


圖 3-23 Type 3(HCHO A 組) CO2 與 HCHO 濃度變化圖  
(資料來源:本研究整理)

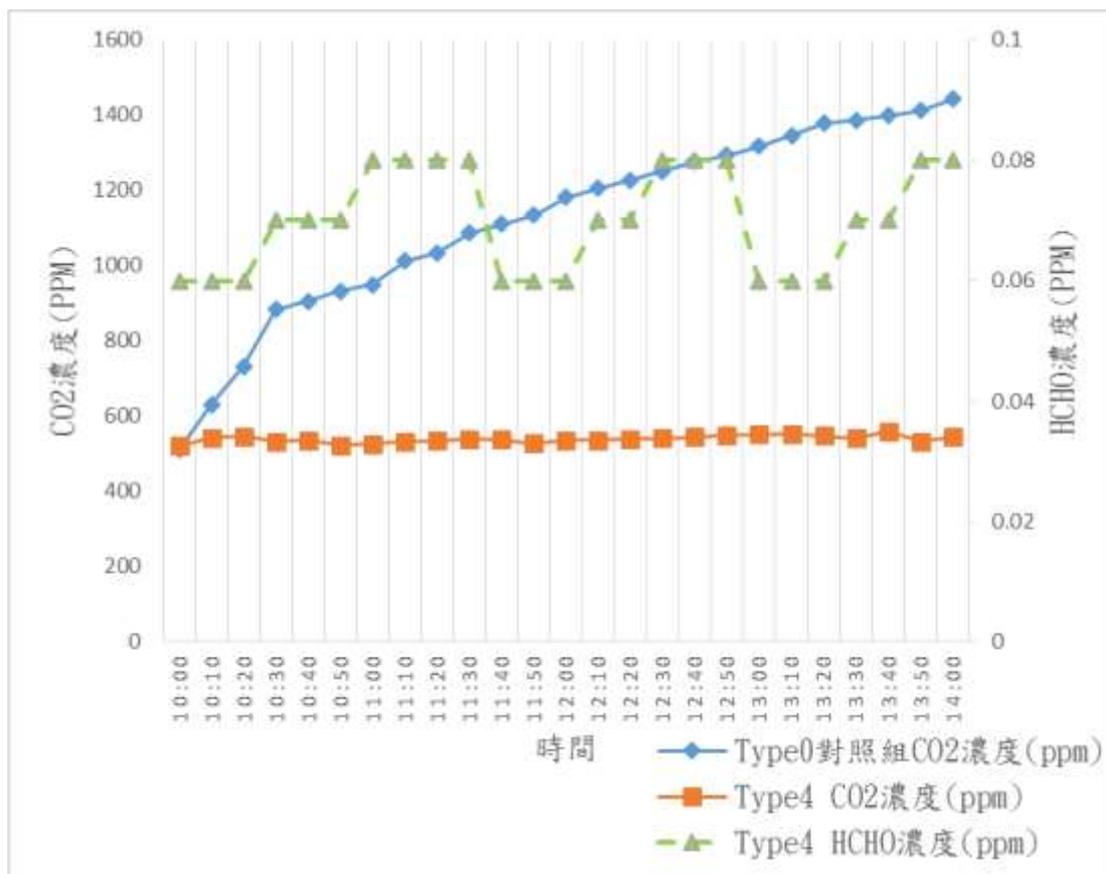


圖 3-24 Type 4(HCHO B 組) CO2 與 HCHO 濃度變化圖

(資料來源:本研究整理)

Type 3(HCHO A 組)與 Type 4(HCHO B 組)(圖 3-23、圖 3-24)為觀察加入甲醛逸散但無人員之密閉室內空間濃度變化，此兩組設定差異為啟動甲醛連動數值，當甲醛濃度超標至 0.08ppm 時，Type 3(HCHO A 組)及 Type 4(HCHO B 組)均會自動啟動電漿機，當濃度降至 0.07ppm 時，Type 3(HCHO A 組-弱電漿模式)即停止設備，而 Type 4(HCHO B 組-強電漿模式)則是當室內甲醛降至 0.06ppm 時才會停止運作。藉由機械設定，偵測設備 25 分鐘量測一次的方式，可觀察出室內甲醛量均可獲得控制，在超標數值後下一次偵測數值均有減低。由電漿機除醛原理中可知，在電漿除醛過程中會產生微量 CO<sub>2</sub>，Type 3(HCHO A 組)與 Type 4(HCHO B 組)研究模組為模擬室內無人員之情況，故於室內無釋放 CO<sub>2</sub> 氣體，經實驗過程記錄可知：CO<sub>2</sub> 濃度趨勢變化不大，均維持於 450~560ppm 間，可以得知電漿除醛過程中產生的 CO<sub>2</sub> 並不會影響室內整體 CO<sub>2</sub> 濃度。又，Type 4(HCHO B 組)將室內甲醛清除濃度設定較為嚴格(0.06ppm 時關閉電漿機)，因此相較 Type 3(HCHO A 組)可控制室內甲醛濃度於四小時實驗中較不易超過

0.08ppm 之法定標準數值(圖 3-23)，有較佳的室內空氣品質控管。

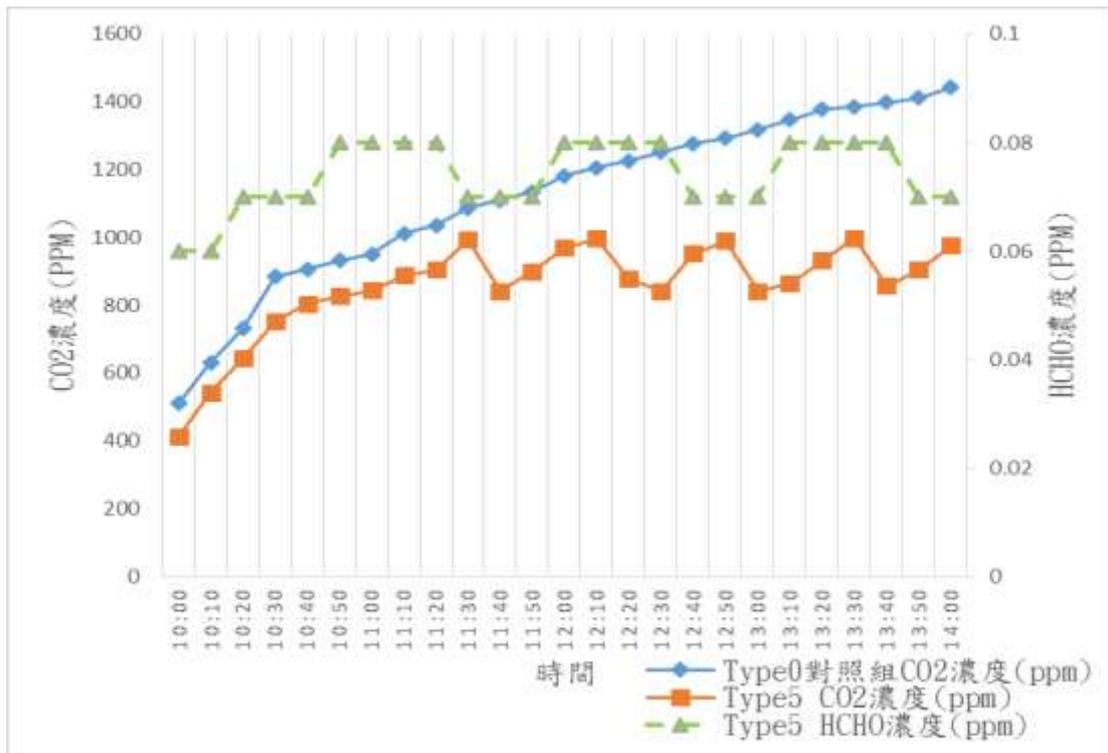


圖 3-25 Type 5(CO<sub>2</sub>+HCHO A 組) CO<sub>2</sub> 與 HCHO 濃度變化圖  
(資料來源:本研究整理)

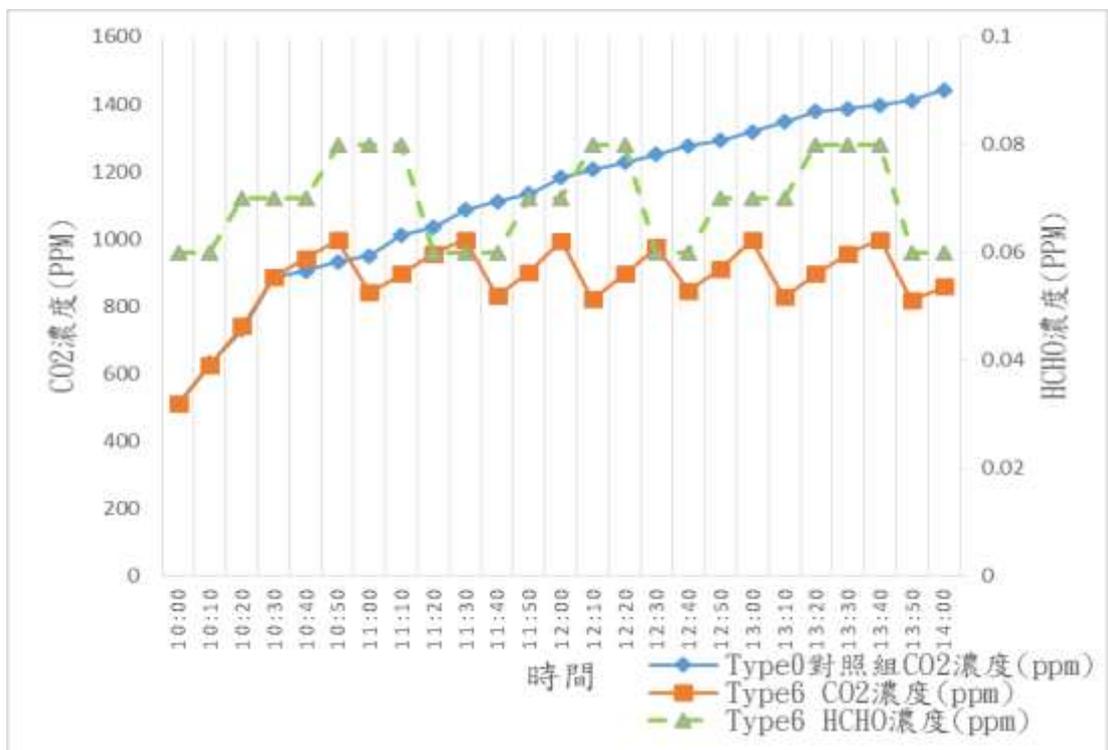


圖 3-26 Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組) CO<sub>2</sub> 與 HCHO 濃度變化圖  
(資料來源:本研究整理)

在 Type 5(CO<sub>2</sub>+HCHO A 組)與 Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組)兩組研究組別中，為假設空間內同時有人員及甲醛逸散之情形，將系統連動數值之二氧化碳設定為超過 1000ppm 時啟動通風扇，並於二氧化碳濃度降至 800ppm 時停止通風扇運轉；甲醛濃度高於 0.08ppm 時啟動電漿機，當甲醛濃度低於 0.07ppm/0.06ppm 時停止電漿機運轉。由 Type 5(CO<sub>2</sub>+HCHO A 組)、Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組)(圖 3-25、圖 3-26)比較可發現，研究一開始即因甲醛超標立即啟動連動除污設備，故室內二氧化碳數值濃度爬升較為緩慢，而室內甲醛濃度透過電漿機有效降低其污染濃度後，為控制不斷累積的二氧化碳濃度，每隔一段時間就需啟動通風扇以降低室內 CO<sub>2</sub> 濃度。研究結果顯示：相較於 Type 5(CO<sub>2</sub>+HCHO A 組-弱電漿通風模式)，Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組-強電漿通風模式)可有效控制甲醛濃度在 0.08ppm 之標準值下。

#### 第四節 室內空氣品質大數據分析模型

為將計畫研究成果納入大數據分析，本研究建立之分析模型係利用積分概念，將總實驗時間中 CO<sub>2</sub> 與 HCHO 完全清淨度各自設定為 1，並求取超過淨化基準值的 CO<sub>2</sub> 與 HCHO 濃度累積值算出佔總淨化基準值之比例後，以 1 扣除污染物濃度比例即為空氣清淨度，本研究定義其為「健康係數」(Health Factor, HF)，公式如下式。健康係數數值越接近 1 代表該空間中空氣清淨度越佳。(本研究以 Type 2 (CO<sub>2</sub> B 組)CO<sub>2</sub> 900ppm 啟動通風扇為 X 值，以 HCHO 0.08ppm 啟動電漿機為 Y 值。)

$$\text{健康係數(HF)} = \left[ 1 - \frac{\sum(\Delta C \times t)}{X \times T} \right] \times \left[ 1 - \frac{\sum(\Delta H \times t)}{Y \times T} \right] \quad (3-1)$$

式 26 中：

$\Delta C$ ：CO<sub>2</sub> 超標值與淨化基準值(X)之差值累計加總值。

$\Delta H$ ：HCHO 超標值與淨化基準值(Y)之差值累計加總值。

t：超標時間(min)。

X：CO<sub>2</sub> 淨化基準值(ppm)，本研究設定為 900ppm。

Y：HCHO 淨化基準值(ppm)，本研究設定為 0.08ppm。

T：實驗總時數(min)。

表 3-3 實驗初始條件及六組研究模組健康係數(HF)計算表

係數 模式	$\Delta C$	$\Delta H$	t	X	Y	T	$[1 - (\sum(\Delta C \times t) / (X \times T))]$	$[1 - (\sum(\Delta H \times t) / (Y \times T))]$	健康係數 (HF)
Type 0	2616	(-)	5	900	(-)	210	0.9308	(-)	0.9308
Type 1	1424	(-)	5	900	(-)	210	0.9623	(-)	0.9623
Type 2	4	(-)	5	900	(-)	210	0.9999	(-)	0.9999
Type 3	(-)	0.45	5	(-)	0.08	210	(-)	0.8661	0.8661
Type 4	(-)	0.1	5	(-)	0.08	210	(-)	0.9702	0.9702
Type 5	973	0.19	5	900	0.08	210	0.9743	0.9435	0.9192
Type 6	1277	0.1	5	900	0.08	210	0.9662	0.9702	0.9375

說明：(-)無監測數值，不納入計算。

(資料來源:本研究整理)

由表 3-3 可知 Type 0 為未開啟通風扇模式、Type 1、Type 2 為開啟通風扇控制室內 CO<sub>2</sub> 濃度的模組，以此三組比較:Type 0(對照組)健康係數 HF=0.9308、Type 1(弱通風模式)健康係數 HF= 0.9623、Type 2 (強通風模式)健康係數為 HF=0.9999，結果得知 Type 0 未開啟通風扇因此健康係數最低，室內空氣品質最差。Type 1 次之，Type 2 (強通風模式-室內 CO<sub>2</sub> 濃度大於 900ppm 啟動通風扇，小於 700ppm 關閉通風扇)為以通風扇控制室內 CO<sub>2</sub> 濃度最佳化的模組設定；Type 3、Type 4 為開啟電漿機控制室內 HCHO 濃度的模組，Type 3(弱電漿模式)健康係數 HF=0.8661、Type 4(強電漿模式)健康係數為 HF=0.9702，結果得知 Type 4 (強電漿模式-監測系統每 25 分鐘監測一次，室內 HCHO 濃度大於 0.08ppm 啟動電漿機，小於 0.06ppm 關閉電漿機) 為以電漿機控制室內 HCHO 濃度最佳化的模組設定；Type 5、Type 6 為同時偵測與控制室內 CO<sub>2</sub> 與 HCHO 的濃度，機動調控通風扇與電漿機開啟的模組，Type 5(弱電漿通風模式)健康係數 HF=0.9192、Type 6(強電漿通風模式)健康係數 HF=0.9375，結果得知 Type 6(強電漿通風模式-即時監測 CO<sub>2</sub> 濃度，當 CO<sub>2</sub> 濃度高於 1000ppm 時啟動通風扇、低於 800ppm 時關閉通風扇；HCHO 監測系統每 25 分鐘監測一次，當 HCHO 監測濃度高於 0.08ppm 啟動電漿機，HCHO 監測濃度低於 0.06ppm 關閉電漿機)為控制產生 CO<sub>2</sub>/HCHO 室內空氣清淨度最佳化的模組設定。

## 第四章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究以建築居住空間單元為主體，首先針對住宅建築類型台灣北中南區住宅各以一例，將其非建材所致空氣污染源之 IAQ 樣態進行大數據分析；然後利用足尺研究室模擬多人密閉的住宅空間，以電漿技術配合通風扇去除氣態污染物及揮發性物質，並利用氣體偵測器遠端控制軟體與通風扇連動，探討不同混合式通風模擬下，室內污染物甲醛及二氧化碳濃度調控與變化，以綜合歸納評估結果，供設計及使用者參考可達到健康與舒適目的。研究具體結論如下：

1. 建築居住空間之溫溼度與其空間基本設計及空調/除溼設備的開啟息息相關，若能在建築設計之初考量自然通風設計理念，搭配除濕設備，當可營造一個舒適且節能的居住空間。
2. CO<sub>2</sub> 濃度值在臥室以外之空間在一般住宅空間尚屬良好，但夜晚於密閉臥室中每每有超標之狀況發生，因此臥室的通風設計為住宅空調設計應被更加重視的一環。
3. 鄰近工業區之夜間無人使用之客廳或書房會偵測到夜晚甲醛濃度因為不明原因有升高的情況，初步判斷是受戶外飄入之污染物造成，未來應深入同步探討戶外有機物污染源對於夜間住宅室內空氣品質之影響。
4. 與 Type 1(CO<sub>2</sub> A 組-弱通風模式)相比，Type 2 (CO<sub>2</sub> B 組-強通風模式)將 CO<sub>2</sub> 濃度控制在較嚴苛的條件下，並於實驗時間中頻繁啟動 6 次排風機制引入外氣，確實有效控制室內 CO<sub>2</sub> 濃度，避免空氣品質超出法定標準(1000ppm)。
5. Type 3(HCHO A 組-弱電漿模式)與 Type 4(HCHO B 組-強電漿模式)研究模組為模擬室內無人員之情況，故二氧化碳濃度趨勢變化不大，均維持於 450~560ppm 間，可以得知電漿除醛過程中產生的 CO<sub>2</sub> 並不會影響室內整體 CO<sub>2</sub> 濃度，實驗亦證實啟動電漿機(Plasma)可以有效清淨室內甲醛濃度。Type 4(HCHO B 組-強電漿模式)將室內甲醛清除濃度設定較為嚴格(0.06ppm 時關閉電漿機)，較可控制室內甲醛

濃度於四小時實驗中不易超標。

6. 相較於 Type 5(CO<sub>2</sub>+HCHO A 組-弱電漿通風模式) (HCHO 監測濃度低於 0.07ppm 關閉電漿機), Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組-強電漿通風模式)條件設定較為嚴格(HCHO 監測濃度低於 0.06ppm 關閉電漿機), 於四小時實驗中 Type 6(CO<sub>2</sub>+HCHO B 組-強電漿通風模式)更可有效控制室內總體空氣品質。
7. 本計畫使用積分概念, 提出可應用於未來室內空氣品質大數據分析用之健康係數 (Health Factor)模型, 可有利於後人深入探討之用。
8. 本計畫運用電腦連動設備(PLC 控制電腦)可以自動控制相關設備, 並記錄室內空氣品質的變化。本研究有效尋找出室內空氣品質最佳化的模組為 Type 6(強電漿通風模式): HCHO 監測系統每 25 分鐘監測一次, 當 HCHO 監測濃度高於 0.08ppm 啟動電漿機, HCHO 監測濃度低於 0.06ppm 關閉電漿機, 並即時監測 CO<sub>2</sub> 濃度, 當 CO<sub>2</sub> 濃度高於 1000ppm 啟動通風扇、低於 800ppm 則關閉通風扇, 本研究將此研究模組提供予醫療機構作為控制室內空氣品質監控的建議標準。

## 第二節 建議

### 建議一

(擴大量測範圍): 立即可行建議

主辦機關: 內政部建築研究所

協辦機關: 行政院環保署

擴大量測與分析台灣各區不同住宅類型與使用行為形成的室內空氣品質(新增 TVOC 與 PM2.5)狀況，其量測其應拉長為至少 7-30 天並同時於量測空間窗外安置相同偵測器進行比對，以多項、長期、多例的實測資料與環保署數據共同納入大數據分析最終建立資料庫，可供各地建築設計者使用，以期建立智慧化的調控功能。

### 建議二

(對通風系統空調耗能方面進行評估): 立即可行建議

主辦機關: 內政部建築研究所

協辦機關: 經濟部能源局

未來計畫可納入強制通風系統造成空調能耗方面的評估，以求在”節能”與”健康”二者之中取得平衡點。

### 建議三

(制訂定對新舊建築物裝置監測設備與未來維修之注意要項或設置原則): 中長期建議

主辦機關: 內政部建築研究所

協辦機關: 內政部營建署

未來計畫可納入盤查國內外室內空氣品質監測技術與儀器，並了解其營運管理策略與成本效益分析，尤其在零組件與耗材壽命之考量及組裝技術與監測位置與頻度之

選定。並提出就智慧技術發展，考量訂定對新舊建築物裝置監測設備與未來維修之注意要項或設置原則。

#### 建議四

(因應少子化與老年社會趨勢，連結相關課題):中長期性建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:內政部營建署

因應少子化與老年社會的趨勢，上述實測計畫可優先考慮連結少子化、高齡的相關課題。

## 附錄一 期初審查意見回覆

審查委員意見(依發言順序)		廠商回應
陳委員宗鵠	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究目標除作相關文獻及探討外，建議歸納出適用於臺灣之監測技術標準作業程序及方法(SOP)，供推廣參考應用。</li> <li>2. 除通風建材、甲醛等之文獻探討及數學模式之外，需加強創新控制技術之內容說明;另控制技術與大數據相關性，亦請補充說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將遵照委員意見，歸納出適用於臺灣之監測技術標準作業程序及方法(SOP)，供推廣參考應用。</li> <li>2. 將加強數理模式與大數據應用回饋智慧感知控制模式之邏輯關係。</li> </ol>
李委員魁鵬	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 住宅採用混合通風之案例不多，且 CO<sub>2</sub> 濃度非住宅建築之常見問題，建議應妥適思考及界定研究標的之設定與選擇。</li> <li>2. 計畫書提及將針對非建材所致之 IAQ 進行監測，但部分內容亦進行甲醛監測，請釐清甲醛來源關鍵點，以呼應研究方法及預期成果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將慎選現場實測案例，以都會集合住宅為標的，以突顯本研究之重要性。</li> <li>2. 本研究將透過實測案例檢測結果之實態，作為實驗室試驗條件之設定修正，以釐清 IAQ 改善之機制。</li> </ol>
周委員芷玫	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請說明如何建立大數據之資料庫?目前環保署已有應符合室內空氣品質管理法之一、二批公告場所之檢測數據，建議可利用現有數據納入研究參考。</li> <li>2. 模擬實驗已列入 CO<sub>2</sub> 卻缺少甲醛項目，若未來檢測結果皆無法測出該污染物，如何進行後續評估，請補充說明。</li> <li>3. 實驗是否有評估室外之污染濃度，請補充說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將透過現場檢測、實驗室監測與數值模擬取得不同變因與邊界之數據進行分析，並納入資料庫;另環保署公告場所之數據亦將納入分析。</li> <li>2. 實驗室監測有納入甲醛污染物項目，且將納入評估。</li> <li>3. 現場實測將納入室外測點進行比較探討。</li> </ol>

<p>詹委員添全</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究涉及室內空氣品質與監控技術之創新作法及大數據分析。</li> <li>2. 創新作法有通風方式採混合通風(交替利用自然與機械通風)。</li> <li>3. 大數據資料庫待北、中、南住宅建築實測建立。</li> <li>4. 建議補充北、中、南實測試驗之試驗計畫。</li> <li>5. 目前規劃之實驗項目與北、中、南實測兩者關係為何?建議再予補充。</li> <li>6. 大數據資料建議導入環保署之監測結果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見。</li> <li>2. 本研究將建立 SOP 以進行相關實驗計畫。</li> <li>3. 有關實驗項目與北、中、南實測兩者關係，將進一步補充說明實測結果導入實驗邊界設定之條件。</li> <li>4. 本研究大數據資料將導入環保署監測結果。</li> </ol>
<p>呂副召集人文弘</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議蒐集比較國內外室內外環境與空氣品質現場監控的設備技術，以及目前與智慧化管理大數據蒐集分析的整合介面軟硬體設施發展資訊，俾利未來成果應用推廣。</li> <li>2. 以目前所提出之服務建議書研究內容，預期研究成果可對應那些(如室內空氣品質管理法)政策、法令或措施推動 SOP 之參考?</li> <li>3. 目前所列參考文獻偏重 2001~2005 年間之論文或研究，建議如獲得標，應增補近期文獻之蒐集與比較分析。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照委員意見辦理，將納入研究計畫之中。</li> <li>2. 研究成果如何應對到相關政策與推動措施，將於計畫執行具初步成果之際，具體呈現。</li> <li>3. 遵照委員意見辦理，增補近期文獻之蒐集與比較分析。</li> </ol>

<p>羅召集人時麒</p>	<p>1. 本研究係本所「智慧化環境科技發展推廣計畫」項下之協同研究計畫，以智慧感知控制技術及大數據應用為主軸，請補充說明如何達到此一目標。</p>	<p>1. 本研究將以智慧感知控制技術之開發為主軸，透過混合式(Hybrid)不同空氣監控因子之運作，與大數據之判讀達到最佳節能效益的通風運行模式建立。並導入遠端展示與控制技術，推廣智慧建築之成效。</p>
---------------	--	---



## 附錄二 期中審查意見回覆

審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
<p>何教授明錦</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議先確認所選定之室內空氣品質監測項目其原因與目的，是否符合臺灣地區社會需求與民眾期望。</li> <li>2. 請盤查國內外室內空氣品質監測技術與儀器，並了解其營運管理策略與成本效益分析，尤其在零組件與耗材壽命之考量及組裝技術與監測位置與頻度之選定。</li> <li>3. 請補充說明監測資料回傳，與該資料後續應用於管控技術上之成熟度及在臺灣地區之可運用性。</li> <li>4. 就智慧技術發展，宜考量訂定對新舊建築物裝置監測設備與未來維修之注意要項或設置原則。</li> <li>5. 關於雙向(室內與室外)之空氣品質調控，亦可納入研究考量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已確認，與環保署目前至各公共場所室內空氣品質實測項目相符</li> <li>2. 本建議可於未來年度專案執行</li> <li>3. 將於期末報告 p. 49 補充</li> <li>4. 本建議可於未來年度專案執行</li> <li>5. 將於期末報告 p. 25 補充</li> </ol>
<p>周教授碩彥</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告內容與計畫題目有所差別，題目為監控技術和大數據應用分析，建議研究內容參酌調整。</li> <li>2. 室內空氣監測應包含設備選用及建置，並以成本考量取得最精確的環境空氣品質監測資訊，另本研究應建立空間空氣品質分布及變化狀態之模式，以有效改善室內空氣品質。大數據是以多項、長期、多例的方式建立智慧化的調控功能。</li> <li>3. 於調控之相關影響部分，尤</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將於期末報告 p.25 呈現</li> <li>2. 本建議範圍極廣且深入，可於未來年度專案執行</li> <li>3. 將於期末報告 p.24 呈現</li> </ol>

	<p>其是對耗能、溫溼度、內外空氣狀況交互作用之可行性等，須能掌握外部空氣狀態，以確保調控後之效果。</p>	
<p>陳理事長 宗鵠</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案主要針對「室內空氣品質監控技術」，內容應有全面空氣品質項目之蒐集與分析，並說明臺灣之整體空氣品質現況，應用優先次序，不宜直接進入甲醛及CO<sub>2</sub>相關通風監控技術方法之研討，建議補充細部調查與歸納分析之過程內容。</li> <li>2. 研究方法上宜採題目要求之大數據方向，請補充相關蒐集資料，就目前臺灣現況探討適合之控制方式與發展方向，最後可提出兼具節能效益與室內空氣品質之控制技術。</li> <li>3. 報告書書名頁缺少研究人員相關資訊，請補充。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 環保署目前至各公共場所室內空氣品質實測項目為甲醛及CO<sub>2</sub>，故本計畫期初提案內容即為上述兩種汙染物</li> <li>2. 將於期末報告 p. 25 呈現</li> <li>3. 將於期末報告 p. 6 補充</li> </ol>
<p>黃教授彥男</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目前以甲醛和CO<sub>2</sub>為研究方向，切合實際狀況，建議可補充國外相關案例資料。</li> <li>2. 目前提出之文獻內容以技術研究為主，對於相關實測案例之選擇原則，例如：不同建築類型(集合住宅或連棟住宅)、樓層高低不同等變因等，建議多作說明；另量測時間目前為2天是否太短，及量測時氣候狀態之影響等，建議納入檢討補充。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將於期末報告 p. 17、18 補充</li> <li>2. 擴大實測建築類型與時間之建議，可於未來年度專案執行</li> </ol>

<p>廖建築師 慧燕</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 甲醛為有毒氣體，其來源多數由塗料或膠等產生，目前法令尤其是綠建材等採源頭管制方式，本計畫以甲醛控制為主軸是否妥適請再審酌。</li> <li>2. 本案預期成果之一為完成國內外大數據技術應用於室內空氣環境資料分析之文獻及案例，惟目前報告中似未見本資料，建議補充；後續提出甲醛和 CO<sub>2</sub> 控制為主要目標，亦未能看出與大數據分析之結果關係，請補充說明。本案研究方向宜依原計畫預期成果調整。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 環保署目前至各公共場所室內空氣品質實測項目為甲醛及 CO<sub>2</sub>，故本計畫期初提案內容即為上述兩種污染物</li> <li>2. 委員建議內容將於期末報告 p. 25 呈現</li> </ol>
<p>行政院環境 保護署(李技 士宜娟)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有關北、中、南案例分析資料，甲醛與 PM<sub>2.5</sub> 之關聯描述似有不足，應加強相關案例之環境、行為之瞭解，以利說明甲醛濃度升高問題。</li> <li>2. 直讀式儀器取得之數據(除 CO<sub>2</sub> 外)，應注意有相關比對及測試報告，以確保數據之可信度。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 擴大實測案例之環境與行為等深入研究，可於未來年度專案執行</li> <li>2. 儀器廠商已提供，做為實測數據準確度之佐證</li> </ol>
<p>中華電信研 究院(張經 理光燦)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 民眾對空氣品質更關心 PM<sub>2.5</sub> 和灰塵(塵蟎)量，若能斟酌加入更多研究資訊，研究成果將對民眾更有直接幫助。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議增加之室內空氣品質指標污染物可納入未來年度專案執行</li> </ol>

<p>財團法人資訊工業策進會(于總監濂波)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在 IAQ 監控技術方面，由於室內本身也有細懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 的問題，例如油煙、抽菸、蚊香、指甲油及打掃揚塵等，建議可考量 PM<sub>2.5</sub> 之監控，增加技術實用性。</li> <li>2. 在大數據應用分析方面，建議可再加強大數據分析模型建立(例如污染源濃度變化模型)，以優化 IAQ 監控策略。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 擴大實測數據與各項環境因素之探討，可於未來年度專案執行</li> <li>2. 委員建議將於期末報告 p. 49 呈現</li> </ol>
<p>臺灣建築學會(趙秘書長夢琳)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究目前提出之混合型空氣清淨技術省能效益顯著。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指教</li> </ol>

## 附錄三 期末審查意見回覆

審查委員意見(依發言順序)		廠商回應
何教授明錦	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 第三章研究成果的實際量測數據與環保署數據比較，宜說明環保署測站位址，以顯示具有比較意義。</li> <li>2. 報告部分圖說顯示模糊，建議改善。</li> <li>3. 圖 2-4 室內配置圖，顯現通風扇尺寸過大，在實際應用上未必妥適。</li> <li>4. 請補充說明創新監控技術意義以及大數據應用分析的具體方法，與研究顯現可預期之成果。</li> <li>5. 大數據收集項目及如何回應調適？仍有待補充說明，例如汙染物採捕捉收集或通風稀釋等，建議採分類分情境方式說明，尤其若外氣品質欠佳如何做妥適處理？</li> <li>6. 現有市售設備如何引進串接，建議納入考量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已補充(P.29)。</li> <li>2. 已改善。</li> <li>3. 感謝委員指教，將列為未來研究注意事項。</li> <li>4. 已於 P.51 補充說明。</li> <li>5. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>6. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議三)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> </ol>
周教授碩彥	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議報告的呈現可依研究的邏輯，以較結構化和系統化的方式論述。</li> <li>2. 針對不同建築類型、房型、居住密度、建材等，所需之控制策略差異建議補充論述。</li> <li>3. 關於感測技術分析部分，除目前設備方面外，應包含感測器放置建議最佳位置、室外空氣品質狀況之影響、結果資訊的運用和溯源推論等輔助技術的功能。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已重新整理。</li> <li>2. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.62 建議四)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>3. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議三)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> </ol>

<p>陳理事長 宗鵠</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究題目為「創新室內空氣品質監控技術及大數據應用分析之研究」，應有系統敘明室內空品與生活需求切合之重點，再進入甲醛、CO<sub>2</sub>之研究原因及效益。</li> <li>2. 研究宜針對民生需求及問題發現再提出解決方案，例如大環境室外PM<sub>2.5</sub>問題對健康影響甚鉅，PM<sub>2.5</sub>與室內空品控制及通風因素間之互動影響等，以符合目前民生健康需要。</li> <li>3. 關於研究創新之內容及目的請再補充說明；另是否日常生活之家電可聯結相關室內監控技術以取代其效益，建議考量其可行性。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已於第一章與第二章補充說明。</li> <li>2. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>3. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議三)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> </ol>
<p>黃教授彥男</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究內容充實預期成果均有達成。</li> <li>2. 針對國內外室內空氣監控技術的發展及應用案例，研究深度及報告內容應再加強。</li> <li>3. 室內空氣品質影響因素眾多，建議應就不同分類污染源分類，並敘明相關可控制與不可控制之因素。</li> <li>4. 案例中(如報告 P.21)部分量測時間建議應拉長；另採用之去除甲醛電漿技術，其使用成本請補充說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員。</li> <li>2. 已在 P.19-28 加強說明。</li> <li>3. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>4. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。使用成本已於 P.47 補充說明。</li> </ol>

<p>廖建築師 慧燕</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 甲醛在一般建築物主要來自於建材逸散，目前國內法規對建材已有規定，而綠建材更已有高標準限制，所以甲醛的偵測與排除應該不是當前室內空氣品質的重要議題。</li> <li>2. 本案內容與創新室內空氣品質監控及大數據應用分析似未盡相符。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫係以非建材逸散甲醛為標的物進行通風控制。</li> <li>2. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> </ol>
<p>鄭教授泰昇</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案題目範圍可縮小，宜修正為「混合式智慧通風系統對室內空氣品質之改善」，大數據並不符合內容項目，另IAQ 監控項目僅有甲醛及CO2 之原因，及監控樣本選取原則請補充說明。</li> <li>2. 目前住宅實測案例分類採北、中、南分區方式無實質意義，建議可考慮以住宅型態、氣候條件、居住者需求等分類方式來規劃分類；另感測器裝置位置僅為客廳，是否具完整之代表性？</li> <li>3. 建議可以「建築生命週期」的大架構分析以下項目：(1)蒐集人力所無法直接讀取之數據，未來可供驗證空間之室內設計、BIM 模擬等結果之正確性，及預測不同房型之 IAQ 差異性，(2)可探討就由目前人力技術無法快速預測之項目，可用運算預測的項目，(3)影響室內空氣品質之連動因子項目可擴大考量，除 CO2 等項外，尚可納入戶外環境 PM2.5 及用电量等因子。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>2. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>3. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一及二)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> </ol>

<p>行政院環境保護署 (李技士宜娟)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 室內空氣品質對生活之影響大，CO<sub>2</sub> 可採加強通風處理，甲醛則主要由裝修之影響；另室外汙染物則種類多，未來若有後續計畫建議可採 TVOC 為主體進行監控分析。</li> <li>2. 室內空品改善技術部分，如採通風方式無法完全改善時，建議可思考採引進經處理之乾淨外部空氣方式，以達改善目的。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>2. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議二)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> </ol>
<p>中華電信研究院(張經理光燦)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 若能再強化空氣品質大數據分析的內容，報告將更加完備。</li> <li>2. 報告 P.IX、3、6、9、40 有錯字，請修正。</li> <li>3. 報告 P.36 通風量之單位有誤，請修正。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>2. 已修正。</li> <li>3. 已修正。</li> </ol>
<p>財團法人台灣建築中心 (江工程師友直)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案研究成果明確，可供改善室內環境品質應用參考。</li> <li>2. 報告表 3-1 中提及實驗設備已包含專用電錶紀錄器，用於紀錄各組實驗前後耗電量，惟報告書中未見相關分析，建議加以說明。</li> <li>3. 建議日後可朝不同空間屬性及使用行為持續研究，並可拉長測試天數，以獲致更精確成果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員</li> <li>2. 耗能評估因為非本次計畫重點，故未完整呈現，已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議二)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>3. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> </ol>

<p>財團法人資訊工業策進會(于總監 濂波)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 空氣品質監控技術方面，建議可再補強有關「研發具有省能效益之混合型空氣清淨技術」之成果說明(如技術規格、功能及性能等)。</li> <li>2. 大數據應用分析方面，建議可再補強空氣品質監控分析技術與大數據 5V(Velocity、Variety…等)之關聯性、空氣品質監控大數據的特性、及其與報告書 P. 49 分析模型之關聯性。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議三)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> <li>2. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> </ol>
<p>財團法人工業技術研究院(洪總監 英彰)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 數據分析與室內空氣品質改善之方案具可行性。但成本需考量，惟室內有機氣體偵測宜變更為 TVOC 較適當。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已在資料分析蒐集報告建議中提出(P.61 建議一)，未來計畫執行時建議優先考量。</li> </ol>



## 參考書目

- [1] M. Jantunen , E. Oliveira Fernandes , P. Carrer , S. Kephelopoulos European Commission, Directorate General for Health & Consumers, Promoting Actions For Healthy Indoor Air (IAIAQ), European Commission, Luxembourg, 2011.
- [2] .M. Logue, P.N. Price, M.H. Sherman, B.C. Singer, A method to estimate the chronic health impact of air pollutants in U.S. Residences, *Environ. Health Perspect.* 120, 216–222, 2011.
- [3] J. Laverge, N. Van Den Bossche, N. Heijmans, A. Janssens, Energy saving potential and repercussions on indoor air quality of demand controlled residential ventilation strategies, *Build. Environ.* 46, 1497–1503, 2011.
- [4] M. Woloszyn, T. Kalamees, M. Olivier Abadie, M. Steeman, A. Sasic Kalagasidis, The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture-buffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings, *Build. Environ.* 44, 515–524, 2009.
- [5] W. Borsboom, W. De Gids, J. Logue, M. Sherman, P. Wargoeki, TN 68: residential ventilation and health, AIVC Technical Note 68, 2016.
- [6] N.E. Matson , M.H. Sherman , Why We Ventilate Our Houses-An Historical Look, Berkeley Natl. Lab, Lawrence, 2004 .
- [7] L.G. Mansson, L.A. Svennberg, M. Liddament, Technical Synthesis Report. A Summary of IEA Annex 18. Demand Controlled Ventilating Systems, AIVC, 1997.
- [8] M.J. Limb, TN 36: Air infiltration and ventilation glossary. AIVC Technical Note, 1992.
- [9] S. Caillou, Heijmans, N., Laverge, J., Janssens, A., Méthode de calcul PER: Facteurs de réduction pour la ventilation à la demande, 2014
- [10] Gaëlle Guyot, Max H. Sherman, Iain S. Walker, “Smart ventilation energy and indoor air quality performance in residential buildings: A review,” *Energy & Buildings*, 165, 416-430, 2018.
- [11] I. Walker , M.H. Sherman , B. Less , Houses are Dumb without Smart Ventilation, eScholarship, 2014.
- [12] M.H. Sherman, Efficacy of intermittent ventilation for providing acceptable indoor air quality (No. LBNL–56292, 834643), 2004.

- [13] M.H. Sherman, I.S. Walker, Meeting residential ventilation standards through dynamic control of ventilation systems, *Energy Build* 43, 1904–1912, 2011.
- [14] W.J.N. Turner, I.S. Walker, J. Roux, Peak load reductions: Electric load shifting with mechanical pre-cooling of residential buildings with low thermal mass, *Energy* 82, 1057–1067, 2015.
- [15] Moo-Hyun Kim, Ji-Hyeon Hwang, “Performance prediction of a hybrid ventilation system in an apartment house,” *Energy & Buildings*, 41, 579-586, 2009.
- [16] Young-hoon Lim, Hi-won Yun, Doosam Song, “Indoor Environment Control and Energy Saving Performance of a Hybrid Ventilation System for a Multi-residential Building,” 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015.
- [17] Jianli Chena, Godfried Augenbroe, Xinyi Song, “Lighted-weighted model predictive control for hybrid ventilation operation based on clusters of neural network models,” *Automation in Construction*, 89, 250-265, 2018.
- [18] G. Brager, S. Borgeson, Y. Lee, Summary report: control strategies for mixed-mode buildings, <https://escholarship.org/uc/item/8kp8352h>, 2007.
- [19] ANSES, Concentrations De CO2 Dans L’air Intérieur Et Effets Sur La Santé- Avis De L’anses - Rapport D’expertise Collective, Édition, scientifique, 2013 .
- [20] D. Jreijiry, A. Husaundee, C. Inard, Numerical study of a hybrid ventilation system for single family houses, *Sol. Energy* 81, 227–239, 2007.
- [21] T.R. Nielsen, C. Drivsholm, Energy efficient demand controlled ventilation in single family houses, *Energy Build* 42, 1995–1998, 2010.
- [22] Liang, W. J., Li, J., Li, J. X., Zhu, T., & Jin, Y. Q., “Formaldehyde removal from gas streams by means of NaNO<sub>2</sub> dielectric barrier discharge plasma,” *Journal of hazardous materials*, 175(1-3), 1090-1095, 2010.
- [23] Shimizu, K., Kuwabara, T., & Blajan, M., “Study on decomposition of indoor air contaminants by pulsed atmospheric microplasma,” *Sensors*, 12(11), 14525-14536, 2012.
- [24] Lo, T. H., Tsay, Y. S., Chiang, C. L., & Lee, C. Y., “Experimental evaluation of indoor formaldehyde decomposition performance of atmospheric plasma reactor utilizing sensor network,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(6), 761439, 2015.

- [25] 黃綉評, "BIM 應用於室內裝修工程碳排放評估之研究," 國立高雄第一科技大學營建工程研究所碩士論文, 2015.
- [26] Xionglei Cheng, Hao Zhang, Wuxuan Pan, Sumei Liu, Mingrui Zhang, Zhengwei Long, Tengfei Zhang, and Qingyan Chen, "Field study of infiltration rate and its influence on indoor air quality in an apartment," 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017, Jinan, China, 19-22 October 2017.
- [27] Sorin Cociorva, Andreea Ifene, "Indoor air quality evaluation in intelligent building," Sustainable Solutions for Energy and Environment, EENVIRO 2016, , Bucharest, Romania, 26-28 October 2016.
- [28] 田中俊六, 簡裕榮, 薛寧心. "最新建築環境工學." 六合出版社, 2004。

**創新室內空氣品質監控技術及大數據應用分析之研究 / 鄭元良等編**

編者: 鄭元良、周伯丞、林招焯、呂文弘、林霧霆、李佳言、詹元慶、郭仲剛

出版年月: 107年12月

版次: 第一版

ISBN 978-986-05-7476-0 (平裝)