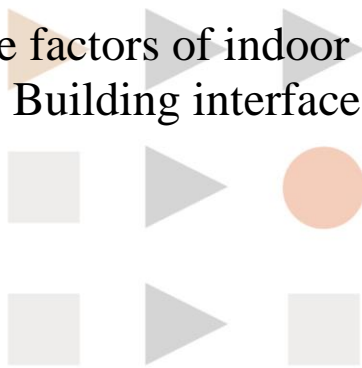


東方設計大學室內設計系住居整合設計碩士班
碩士學位論文

Graduate Program of Housing Integrated Design,
Department of Interior Design
Tung Fang Design University
Master's Thesis

從建築介面探討室內空氣污染物影響因子之研究

Study on the influence factors of indoor air pollutants from the
Building interface



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

指導教授：陳振誠

Advisor : Chen,Cheng-Chen

研究生：郭孟涵 撰

Graduate Student : Guo,Meng-Han

中華民國 108 年 06 月
June, 2019

東方設計大學博碩士論文電子檔案上網授權書

Tungfang Design University Letter of Authorization of Master Thesis and Doctoral Dissertation

本授權書所授權之論文為授權人於東方設計大學 室內設計居住整合設計 系所

107 學年度第 2 學期取得之 碩 士學位論文。

論文名稱：從建築介面探討室內空氣污染影響因子之研究

指導教授：陳振茂

紙本論文依著作權法第15條第2項3款規定，「依學位授予法撰寫之碩士、博士論文，著作人已取得學位者」，「推定著作人同意公開發表其著作」，除學生另有申請延後公開並獲學校同意外，圖書館對典藏之論文採公開閱覽為原則。

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文(含摘要)，基於學術研究之目的，非專屬、無償授權東方設計大學及國家圖書館得不限地域、時間與次數，以微縮、數位化或其他方式重製收錄於資料庫，並以電子形式透過單機、網際網路、無線網路或其他方式公開傳輸數位檔案，提供讀者進行非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印等。

請勾選下列選項，若未勾選任何選項則視為立即開放。(授權方式須與國家圖書館相同，若有差異則以國家圖書館的授權內容為準)

<input type="checkbox"/> 同意授權校內立即開放
<input type="checkbox"/> 同意授權校外立即開放
<input checked="" type="checkbox"/> 同意授權校內於西元 <u>2024</u> 年 <u>4</u> 月 <u>24</u> 日後再開放
<input checked="" type="checkbox"/> 同意授權校外於西元 <u>2024</u> 年 <u>4</u> 月 <u>24</u> 日後再開放
<input type="checkbox"/> 上列論文為授權人向經濟部智慧財產局申請專利之附件或相關文件之一(專利申請案號：_____)
<input type="checkbox"/> 其他：_____

注意事項：
1.延後公開之期限以不超過5年為限。
2.非專屬授權是指被授權人所取得的權利並非獨占性的使用權，授權人尚可將相同的權利重複授權給他人使用。

茲同意東方設計大學將授權人擁有著作權之上列論文全文(含摘要)，在上述範圍內得再授權第三人以各種方法重製與利用

授權人

姓名：郭孟羽 (請親筆正楷簽名)

學號：053114005

日期：中華民國 108 年 8 月 1 日

G14

東方設計大學碩士學位考試

考試委員審定書

室內設計系住居整合設計碩士班

研究生 郭孟涵 所提論文

從建築介面探討室內空氣污染物影響因子之研究

經本委員會審議，合於碩士資格標準。

學位考試委員會： 林沂品

陳冠祖
陳振誠

指導教授： 陳振誠

系（所）主管： 陳冠祖

中華民國 108 年 7 月 8 日

誌謝

這本論文的完成，首先要先感謝我的指導教授 陳振誠 教授，承蒙陳振誠老師在我三年的求學過程中悉心的指導與諄諄教誨，使我不管在專業知識或者是研究方法皆受益良多。

感謝口試委員 陳念祖 教授、林沂品 教授，在百忙之中細心審閱內容，且不吝給予寶貴的建議與指正，使此研究得以更臻完備。

感謝我的同窗與好友們，建鑫、皓昕、曉綺、詠文、文淑、承霖、雅意、世洋、文寧系助、雅鈞、卉羚學妹，還有妹妹曉晨，給予的幫助及建議，還有最重要的陪伴。

感謝祥佑給予我的關心、鼓勵、支持與包容，並且對在外求學的我生活關懷備至，給我溫暖與照顧，謝謝我最愛的人。

最後，僅將此論文獻給我親愛的父母，感謝你們養育之恩，感謝你們的支持與鼓勵，我辦到了，達成人生中的另一個里程碑；獻給我的爺爺，在我讀研究所前給我大力的支持；希望與您們分享這份喜悅與榮耀。

東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

郭孟涵 謹誌於 108 年 6 月

從建築介面探討室內空氣污染物影響因子之研究

研究生：郭孟涵

指導教授：陳振誠

東方設計大學室內設計系住居整合設計碩士班

中文摘要

近年來的氣候變遷及極端氣候越來越嚴重，造成環境變化及健康危害等問題。台灣位處於濕熱地區，都會密集發展與環境污染的問題，影響建築室內的環境品質，其中室內空氣品質之良窳，直接影響人體的健康安全及舒適，並間接影響經濟生產與學習效率。我國行政院環境保護署推動與執行，「室內空氣品質管理法」已於民國101年11月23日正式實施。

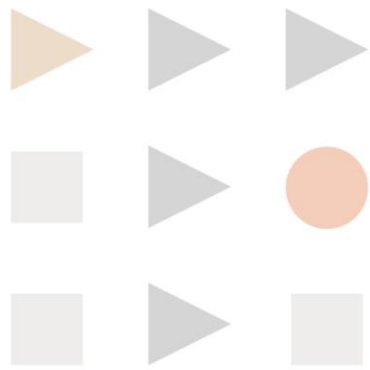
建築物中的空間環境，由於室內開窗的位置、方位、通風的條件、濕度、溫度及周邊鄰近污染源的不同，在各個空間中的空氣污染程度也有所不同，每人一生約有八成以上的時間處於室內環境中(包括住家、辦公室或其他建築物內)。據美國環保署(United States Environmental Protection Agency, 2003)指出，室內空氣的污染濃度常比室外高出2至5倍。由於室內環境的通風條件差，以致懸浮微粒、毛屑、塵蟎、煙霧和花粉等，不斷在室內環境循環蓄積。室內空氣品質對於人體的健康和睡眠品質、工作、生活的影響密切，因此室內環境的空氣污染更不容小覷。

本研究透過實驗分析方法，測試在不同的建築介面的情況下(建築開口大小、室內溫溼度、空調及空氣清淨設備啟動或關閉…等)，研究分析其室內空氣對於揮發性有機化合物(TVOC)及懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})污染影響因子之情形，在複雜的污染物逸散與通風清淨移除的關係下，改善既有建築物面對氣候變遷的室內調變機制，更可維護室內環境空氣的健康舒適度及降低其危害風險值。

本研究實驗結果，從建築介面來看，使室內空氣品質影響較大的因子為建築開口部開口率，當未開窗(開口部開口率為0%)時，使污染物在室內積蓄無法排出；而當窗戶完全開啟(開口部開口率為100%)時，易使室內空氣品質受到室外髒空氣、污染物影響。當室內空氣污染濃度過高時，開口部開口率建議值為

20%，而空調系統、全熱交換器及空氣清淨設備等，對於空氣污染物屬輔助設備，較無法取代通風移除污染物，此實驗結果證明了室內空氣通風換氣之重要性。

關鍵字：室內空氣品質、揮發性有機化合物、懸浮微粒、通風換氣



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

Study on the influence factors of indoor air pollutants from the Building interface

Graduate Student:
Guo,Meng-Han

Advisor:
Dr. Chen,Cheng-Chen

Graduate Institute of Housing Integrated Design, Department of Interior Design, Tung Fang Design University

Abstract

In recent years, the climate change and extreme weather have become more and more serious, causing environmental changes and health hazards. Taiwan is in a hot and humid area, which will intensively develop and pollute the environment, affecting the environmental quality of the building. The quality of indoor air directly affects the health and safety of the human body and indirectly affects economic production and learning efficiency. The Environmental Protection Department of the Executive Yuan of China promoted and implemented the "Indoor Air Quality Management Law" which was officially implemented on November 23, 101.

The space environment in the building, due to the location, orientation, ventilation conditions, humidity, temperature and neighboring pollution sources of the indoor window, the degree of air pollution in each space is also different. Each person has more than 80% of his life. Time is in an indoor environment (including in a home, office, or other building). According to the United States Environmental Protection Agency (2003), indoor air pollution concentrations are often two to five times higher than outdoors. Due to the poor ventilation conditions in the indoor environment, suspended particles, dander, dust mites, smoke and pollen continue to accumulate in the indoor environment. The indoor air quality has a close impact on the health and sleep quality, work and life of the human body, so the air pollution in the indoor environment should not be underestimated.

In this study, the experimental analysis method was used to test the indoor air for volatile organic compounds (TVOC) under different building interfaces (building opening size, indoor temperature and humidity, air conditioning and air cleaning equipment startup or shutdown, etc.). And the impact factor of suspended particulates ($PM_{10}/PM_{2.5}$), improving the indoor modulation mechanism of existing buildings facing climate change, and maintaining the relationship between complex pollutants and removal of ventilation. The indoor environment air is healthy and comfortable and reduces its risk of damage.

According to the results of the research, from the perspective of the building interface, the factor that makes the indoor air quality more important is the opening ratio of the opening of the building. When the window is not opened (the opening ratio of the opening is 0%), the pollutants cannot be discharged; When the window is completely opened (opening rate is 100%), the room is easily affected by outdoor dirty air and pollutants. When the indoor air pollution concentration is too high, the opening ratio of the opening is recommended to be 20%, and the air conditioning system, the total heat exchanger and the air cleaning equipment are relatively auxiliary equipment. The experimental results prove that the indoor air is ventilated The importance.

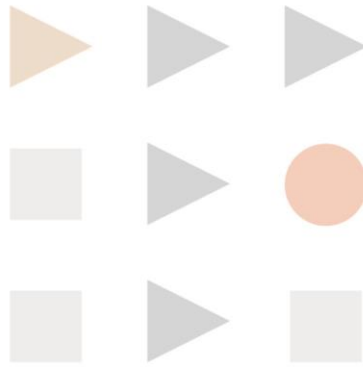
Key words: Indoor air quality, Total Volatile Organic Compound, Particulate Matter, Ventilation.

目錄

誌謝	i
中文摘要.....	ii
Abstract.....	iv
目錄	vi
表目次.....	vii
圖目次.....	viii
一、緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	2
1.3 研究目的.....	3
1.4 研究範圍.....	4
1.5 研究流程.....	5
二、文獻探討.....	6
2.1 室內空氣污染的來源與種類.....	6
2.2 室內建材揮發性有機物的種類及來源.....	9
2.3 懸浮微粒的來源與特性.....	11
2.4 室內空氣品質問題改善.....	11
三、研究方法.....	13
3.1 實驗空間與設備.....	13
3.2 不同建築介面實驗設計.....	15
3.2.1 建築介面定義.....	15
3.2.2 實驗方法.....	17
3.3 實驗現場量測現況.....	18
四、研究分析.....	21
4.1 不同建築介面測量實驗.....	21
4.2 實驗測量結果對比.....	37
4.2.1 揮發性有機化合物.....	37
4.2.2 懸浮微粒.....	43
4.3 實驗綜合結果分析.....	50
五、結論與建議.....	56
5.1 結論.....	56
5.2 建議.....	57
參考文獻.....	58
附錄	61

表目次

表 1 化學性污染因子與說明	6
表 2 生物性污染因子與說明	7
表 3 生物性污染因子與說明	8
表 4 室內揮發性有機物質污染源分類表	9
表 5 室內有機污染物分類	9
表 6 室內常見的揮發性有機化合物來源	10
表 7 常見的改善室內空氣品質方法	11
表 8 不同建築介面模式	17



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

圖目次

圖 1 研究範圍圖	4
圖 2 研究流程圖	5
圖 3 實驗空間示意圖	13
圖 4 實驗設備照片	14
圖 5 測量儀器照片	14
圖 6 建築介面示意圖	15
圖 7 開口部開口率變化示意圖	16
圖 8 開口部開口率 100%現況照片	18
圖 9 開口部開口率 80%現況照片	18
圖 10 開口部開口率 50%現況照片	18
圖 11 開口部開口率 20%現況照片	19
圖 12 開口部開口率 0%現況照片	19
圖 13 實驗現況照片	19
圖 14 溫濕度記錄器實驗照片	20
圖 15 實驗編號 100AcHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化	21
圖 16 實驗編號 100AcHcCc-懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	22
圖 17 實驗編號 100AcHcCc-懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化	22
圖 18 實驗編號 80AcHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化	23
圖 19 實驗編號 80AcHcCc-懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	23
圖 20 實驗編號 80AcHcCc-懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化	24
圖 21 實驗編號 50AoHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化	25
圖 22 實驗編號 50AoHcCc-懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	25
圖 23 實驗編號 50AoHcCc-懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化	26
圖 24 實驗編號 50AoHoCo-揮發性有機物(TVOC)濃度變化	27
圖 25 實驗編號 50AoHoCo-懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	27
圖 26 實驗編號 50AoHoCo-懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化	28
圖 27 實驗編號 20AoHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化	29
圖 28 實驗編號 20AoHcCc-懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	29
圖 29 實驗編號 20AoHcCc-懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化	30
圖 30 實驗編號 20AoHoCo-揮發性有機物(TVOC)濃度變化	31
圖 31 實驗編號 20AoHoCo-懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	31
圖 32 實驗編號 20AoHoCo-懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化	32
圖 33 實驗編號 0AoHoCo-揮發性有機物(TVOC)濃度變化	33
圖 34 實驗編號 0AoHoCo-懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	33

圖 35 實驗編號 0AoHoCo-懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化	34
圖 36 實驗編號 0AoHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化	35
圖 37 實驗編號 0AoHcCc-懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	35
圖 38 實驗編號 0AoHcCc-懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化	36
圖 39 各組實驗揮發性有機化合物(TVOC)濃度變化	38
圖 40 實驗編號 0AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及溫度變化	38
圖 41 實驗編號 0AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及濕度變化	39
圖 42 實驗編號 100AcHcCc 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及溫度變化	39
圖 43 實驗編號 100AcHcCc 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及濕度變化	40
圖 44 實驗編號 20AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及溫度變化	40
圖 45 實驗編號 20AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及濕度變化	41
圖 46 實驗編號 50AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及溫度變化	41
圖 47 實驗編號 50AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及濕度變化	42
圖 48 各組實驗懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	44
圖 49 實驗編號 100AcHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化 ..	45
圖 50 實驗編號 50AoHoCo 室內及室外懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化 ..	45
圖 51 實驗編號 80AcHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化 ..	46
圖 52 實驗編號 20AoHoCo 室內及室外懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化 ..	46
圖 53 實驗編號 0AoHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM ₁₀)濃度變化	47
圖 54 各組實驗懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化	47
圖 55 實驗編號 100AcHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化 ..	48
圖 56 實驗編號 80AcHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化 ..	48
圖 57 實驗編號 0AoHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM _{2.5})濃度變化 ...	49
圖 58 各組實驗揮發性有機化合物(TVOC)濃度平均值及最高值 ..	50
圖 59 各組實驗當日平均溫度	51
圖 60 各組實驗當日平均濕度	51
圖 61 各組實驗懸浮微粒(PM ₁₀)濃度平均值及最高值	52
圖 62 各組實驗室外懸浮微粒(PM ₁₀)濃度平均值	53
圖 63 各組實驗懸浮微粒(PM _{2.5})濃度平均值及最高值	54

圖 64 各組實驗當日室外懸浮微粒(PM_{2.5})濃度平均值 55



一、緒論

1.1 研究背景

近年來的氣候變遷及極端氣候越來越嚴重，造成環境變化及健康危害等問題。2016年9月世界衛生組織發佈關於空氣污染的研究報告，報告指出全球有92%的人生活在空氣品質的水平超過世衛組織極限值的地區。研究數據顯示，包括中國在內，於世衛組織東南亞區域及西太平洋區域，空氣污染相關死亡案件的比例佔了全球的2/3，且將近90%的空氣污染相關死亡的案例皆發生在低收入和中等收入國家，而各地的霧霾問題包括重工業污染、汽機車的數量和排放廢氣等。每年約有300萬死亡案例與暴露於室外空氣污染有關，其室內的空氣污染也有致命的可能。2012年，估計有650萬的死亡案件，佔了全球總死亡人數的11.6%與室內和室外空氣污染有關。而室內空氣品質(Indoor Air Quality, IAQ)是現代人們對於住居環境、工作環境及室內公共場所需面臨的最大問題。

台灣位處於濕熱地區，都會密集發展與環境污染的問題，影響建築室內的環境品質，其中室內空氣品質之良窳，直接影響人體的健康安全及舒適，並間接影響經濟生產與學習效率。我國行政院環境保護署推動與執行，「室內空氣品質管理法」已於民國101年11月23日正式實施。綜合考量公私場所的公眾聚集量、進出量及室內空氣污染物危害風險程度等，於民國103年1月23日公告「應符合室內空氣品質管理法之第一批公告場所」，配合室內空氣品質標準與室內空氣品質檢驗測定管理辦法之規定，訂定管制室內空間範圍。民國106年1月11日另擴大管制列管，公告「應符合室內空氣品質管理法之第二批公告場所」，除了擴大列管第一批已公告管制的大專院校、圖書館、醫療機構、社福機構、政府機關、鐵路運輸、民用航空站、捷運車站、展覽室、商場等10類場所範圍，另外新增列管博物館及美術館、金融機構營業場所、表演廳、電影院、視聽歌唱業及運動健身等6類場所。

1.2 研究動機

建築物中的空間環境，由於室內開窗的位置、方位、通風的條件、濕度、溫度及周邊鄰近污染源的不同，在各個空間中的空氣污染程度也有所不同，如：家中客廳的牆壁粉刷油漆、地毯、寢室的枕頭、棉被、浴室的芳香劑、廚房烹飪的油煙、辦公室的影印機等，這些都有可能是室內空氣的污染源，若污染源是來自室內的，污染物將會在室內環境中不斷蓄積且不易排出。

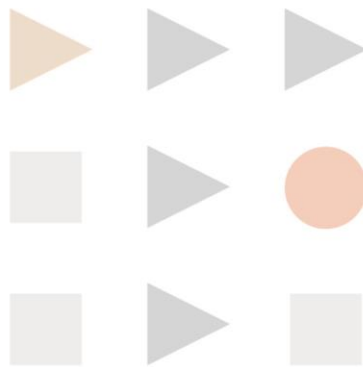
每人一生約有八成以上的時間處於室內環境中(包括住家、辦公室或其他建築物內)。據美國環保署(United States Environmental Protection Agency, 2003)指出，室內空氣的污染濃度常比室外高出 2 至 5 倍。由於室內環境的通風條件差，以致懸浮微粒、毛屑、塵蟎、煙霧和花粉等，不斷在室內環境循環蓄積。室內空氣品質對於人體的健康和睡眠品質、工作、生活的影響密切，因此室內環境的空氣污染更不容小覷。

本研究透過實驗分析方法，測試在不同的建築介面的情況下(建築開口大小、室內溫溼度、空調及空氣清淨設備啟動或關閉…等)，研究分析其室內空氣影響因子之情形，在複雜的污染物逸散與通風清淨移除的關係下，改善既有建築物面對氣候變遷的室內調變機制，更可維護室內環境空氣的健康舒適度及降低其危害風險值。

1.3 研究目的

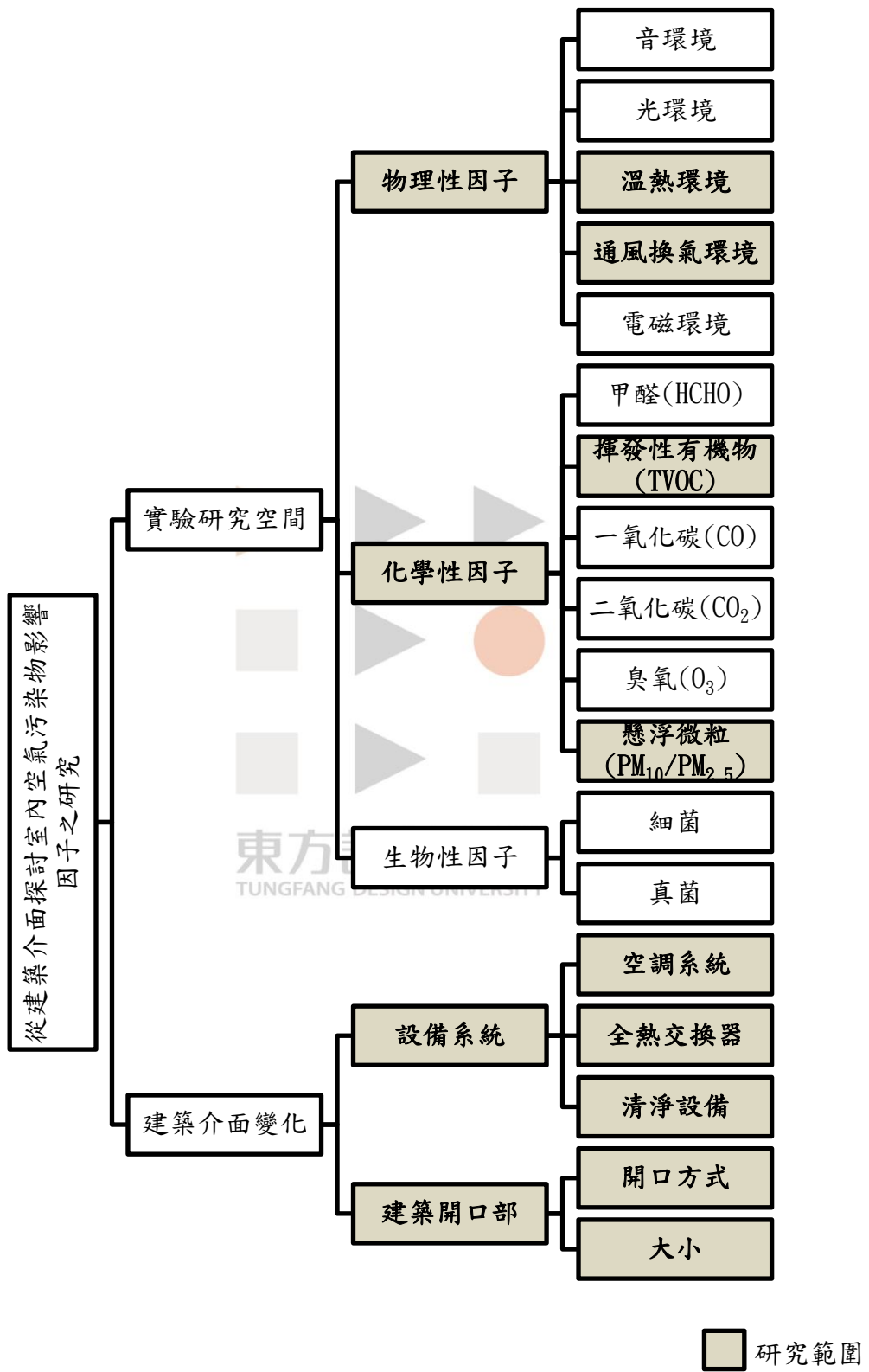
本研究目的如下：

1. 本研究主要目的為在不同的建築介面及條件下，針對其室內空氣中的懸浮微粒(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$)與 TVOC 的濃度影響。
2. 從實驗研究空間不同的建築介面探討室內空氣品質的影響因子。
3. 建構室內空氣品質影響變因的控制評估。



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

1.4 研究範圍



1.5 研究流程

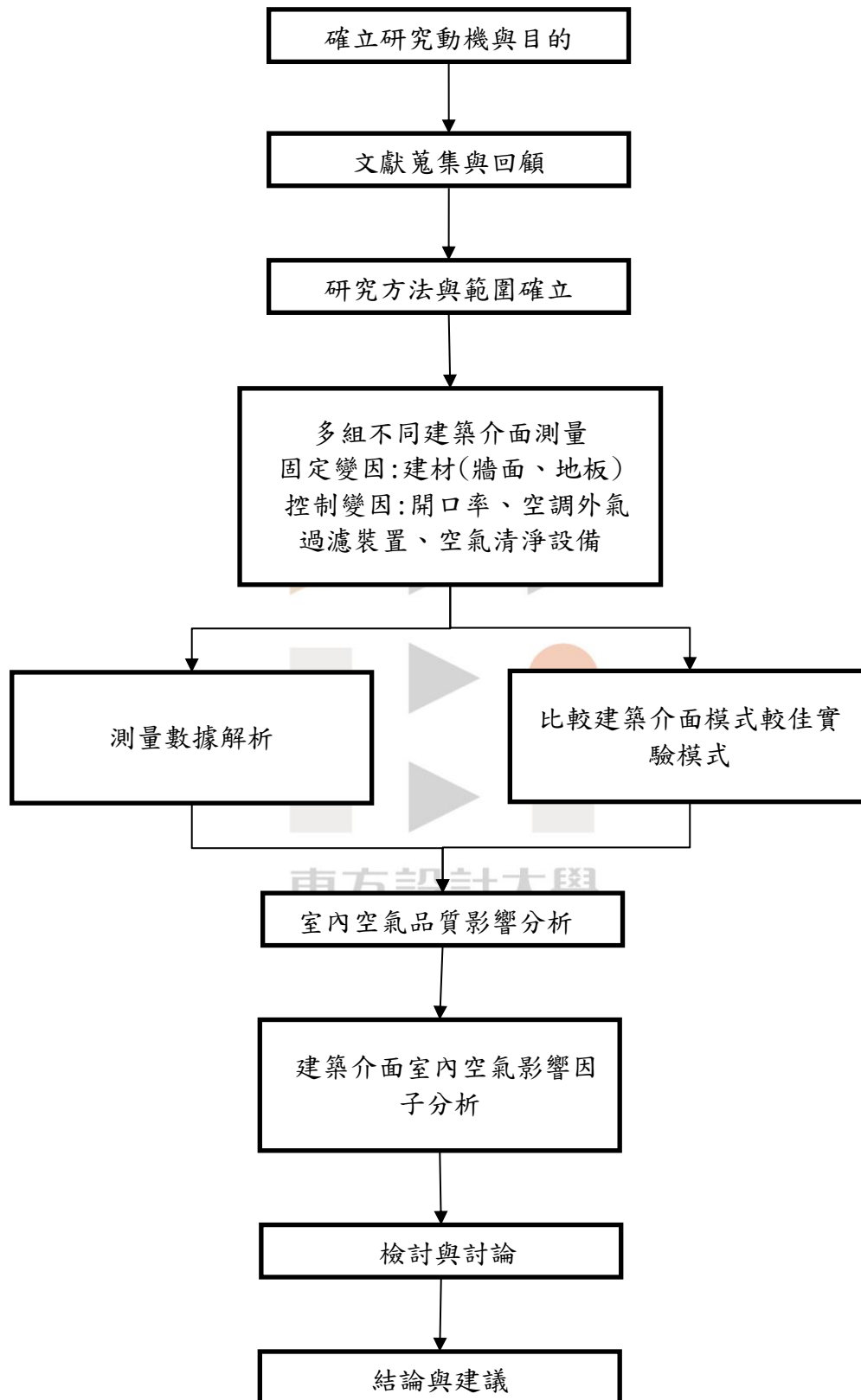


圖 2 研究流程圖

二、文獻探討

2.1 室內空氣污染的來源與種類

室內空氣污染源來自四面八方，如汽機車與附近工廠排放的廢氣等；室內的事務用品與機器，影印機、清潔劑等；室內人員如化妝品、香水與室內裝修建材及家具。建築物中的各個空間因為開窗的方位、溫度、濕度、通風條件及周邊鄰近污染源的不同，以致空間中的空氣污染程度也有所不同。

室內的空氣污染主要可分為三類，有化學性污染、生物性污染和物理性污染（Berglund, 1989）。有研究者（林君穎, 2004）整理出室內空氣污染的三大分類所包含的室內空氣污染的各项污染因子。

(1) 化學性污染

化學污染主要跟建築材料、裝飾材料、香菸煙霧、日用化學品及燃燒產物有關，如甲醛、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氨及揮發性有機化合物等，表 1 為各項化學性污染因子及說明。

表 1 化學性污染因子與說明

汙染因子	說明
建築材料	隨著時代的演進，人們的生活水準提升、居住條件改善，大量的新型建築和裝潢材料使用於居室中，建材中的主要污染成分即是甲醛和揮發性有機化合物。
裝飾材料	隨著室內裝潢和裝修量增加，使得所用裝飾材料的種類越來越多樣化，例如地板、地磚、地毯、油漆、內牆塗料、膠合板和壁紙等，這些裝飾材料中所含的甲醛、苯、甲苯、醚類、酯類等揮發性有機化合物會逸散在空氣中污染室內空氣（Tate, 1994）。
燃燒產物造成的室內空氣污染	燃料燃燒、烹調油煙及抽煙等，都是造成該類污染室內空氣的主因之一。燃燒產物的一部分來自燃燒物質本身的雜質，如硫、砷、鎘及粉塵等（Tirkkhonen, 1993）；另一部分來自燃燒物質在加工的過程和製造過程中的化學反應劑（Sparks, 1996）；還有一部分的污染物是由高溫燃燒所產生的有害物質，烹調油煙及香煙煙霧中含有大量的致癌物質（Maroni, 1995）。

室內家具產生的污染	家具是各個室內場所的重要用品，也是室內裝飾的重要組成的一部分。目前大多數的家具中都含有甲醛和苯等，使有害物質散發在空氣中，那些主要來自於膠黏劑、油漆以及塗料等（Anderson, 1975）。
人體散發的污染物質	人體的新陳代謝過程中，會排出許多二氧化碳、水蒸氣、細菌和多種類氣味。有研究指出（Vesel, 1984）人的肺可排出 25 種有毒物質，呼出的氣體裡含有 16 種揮發性有毒物質。
家用化學品和空氣清新劑等產生的污染	用於室內滅蟲的各種殺蟲劑、各類空氣清新劑、清洗劑等都會使室內的空氣帶來不同程度的污染。
外部環境污染物產生的影響	室內的空氣來自於室外，室外的空氣質量密切的影響室內的空氣，當室外的空氣受到污染後，就會通過門窗等開口污染室內，因此大小煙囪、小型鍋爐、局部臭氧發生源等都會成為室內的空氣污染源。

（資料來源：林君穎，2004）

(2) 生物性污染

生物污染包括：細菌、真菌、病菌、花粉和塵蟎等。如果室內存在著這些污染源，易造成室內空氣的微生物污染，表 2 為各項生物性污染因子及說明。

表 2 生物性污染因子與說明

污染因子	說明
日常垃圾帶來的生物污染	日常垃圾堆放的地方，空氣中的細菌、真菌濃度很高，真菌在大量繁殖的過程中會散發出特殊氣味的氣體，會使人產生厭煩感。
家用電器（電磁輻射）和現代化辦公設備產生的污染	空調開放的室內中門窗封閉，人體、空調機和室內空氣形成了一個與外界隔離的循環系統，新的空氣量補充不足的情況下易使室內溫度升高，容易使細菌等微生物大量繁殖（Crump, 1995）。
室內花卉產生的污染	有些植物和花卉不宜在室內擺放，易使人產生呼吸不順暢、憋氣、鬱悶不適、皮膚過敏等症狀（Sterling, 1985）。
寵物污染	家中飼養的貓狗等寵物也容易造成細菌、真菌等的微生物污染。
室內裝飾與擺設的污染	室內鋪設的各種地毯、寢具及牆上貼的各種壁紙，是塵蟎及細菌的孳生地。

（資料來源：林君穎，2004）

(3) 物理性污染

表 3 生物性污染因子與說明

汙染因子	說明
建築陶瓷產生的污染	建築陶瓷包括浴室浴缸、洗臉盆、抽水馬桶及瓷磚等，它們是由砂石、粘土、礦渣或工業廢渣和一些天然輔助料成型塗釉再燒結而成的。這些材料中或多或少含有放射性元素，這些放射性物質會對人體造成體內輻射和體外輻射的危害（Broder, 1988）。
天然石材中的放射性污染	用於裝飾的天然石材主要有大理石和花崗岩，這些天然石材中有時含有高放射性物質，是室內環境污染的隱憂之一（Rose11, 1990）。
電磁輻射污染	室內電磁輻射主要由電視、螢幕、無線電廣播等電器用品所產生的（Breysse, 1984）。

（資料來源：林君穎, 2004）

2.2 室內建材揮發性有機物的種類及來源

室內的建材是室內帶來 VOCs 和 甲醛污染源的主因之一。室內揮發性有機物的種類及來源繁多，而含有這些化學成分的主要建材包括有表面塗裝材料、黏著劑、填縫劑(安裝地毯、膠合地板、壁紙、門、窗框等)以及溶劑，其所採用的揮發性有機物，在室內裝修後慢慢逸散出來而造成污染。

依美國環保署研究和發展辦公室(Office of Research and Development)在室內環境管理部門對於揮發性有機物做分類，依分類方法可分成乾性與濕性兩種，如表 4。

表 4 室內揮發性有機物質污染源分類表

分 類		污染源名稱
濕性	建築用材料	地板黏著劑、填縫劑、一般用黏著劑等
	建築材料附屬用品	地板用臘、去污清潔劑等
	油漆及表面塗裝	木材亮光漆、家具表面塗裝漆等
乾性	原料及家具	間隔板、地毯、粒片板

(資料來源: Maroni, 1995)

室內常見的揮發性有機物的來源以逸散源來做分類如表 5 所示；另一種分類法以常見逸散污染物來作分類如表 6 所示。

表 5 室內有機污染物分類

說明	沸點溫度(°C)
極易揮發性(氣態)有機化合物(VVOCs)	<0~50-100
揮發性有機化合物(VOCs)	50-100~240-260
半揮發性有機化合物(SVOCs)	240-260~380-400
附著於懸浮微粒的有機物或固形有機物(POMs)	>380

(資料來源: WHO 世界衛生組織規範)

表 6 室內常見的揮發性有機化合物來源

污染物	室內來源
甲醛	殺菌劑、壓板製成品、尿素-甲醛泡沫絕緣材料(UFFI)、硬木夾板、黏合劑、粒子板、層壓製品、油漆、塑料、地毯、軟塑家具套、石膏板、接合化合物、天花瓦及壁板、非乳膠嵌縫化合物、酸固化木塗層、木製壁板、塑料/三聚氰西先安壁板、乙烯基(塑料)PVC 地磚、鑲木地板
苯	室內燃燒煙草的煙霧、溶劑、油漆、染色劑、清漆、圖文傳真機、電腦終端機及打樣機、接合化合物、乳膠嵌縫劑、水基黏合劑、木製壁板、地氈、地磚黏合劑、污點/紡織品清洗劑、聚苯乙烯泡沫塑料、塑料、合成纖維
四氯化碳	溶劑、致冷劑、噴霧劑、滅火器、油脂溶劑
三氯乙烯	溶劑、經乾洗布料、軟塑家具套、油墨、油漆、亮漆、清漆、黏合劑、圖文傳真機、電腦終端機及打印機、打字機改錯液、油漆清除劑、污點清除劑
四氯乙烯	經乾洗布料、軟塑家具套、污點/紡織品清洗劑、圖文傳真機、電腦終端機及打印機
氯仿(三率甲烷)	溶劑、染料、除害劑、圖文傳真機、電腦終端機及打印機、軟塑家具墊子、氯化水
1,2-二氯苯	乾洗附加劑、去油污劑、殺蟲劑、地氈
1,3-二氯苯	殺蟲劑
1,4-二氯苯	除臭劑、防黴劑、空氣清新劑/除臭劑、抽水馬桶及廢物箱除臭劑、除蟲丸及除蟲片
乙苯	與苯乙烯相關製成品、合成聚合物、溶劑、圖文傳真機、電腦終端機及打印機、聚氨脂、家具拋光劑、接合化合物、乳膠及非乳膠嵌縫化合物、地磚黏合劑、地氈黏合劑、亮漆硬木鑲木地板

(資料來源:WHO 世界衛生組織, 1984)

2.3 懸浮微粒的來源與特性

室內外的空氣中含有許多污染物，其中懸浮微粒(Particulate Matter)是漂浮在空氣中固態或液態有機和無機物質的混合物，懸浮微粒之來源可分為，在大氣中未經過化學反應的微粒-原生性微粒與在都市空氣污染中經過化學反應後所產生的微粒-衍生性微粒兩種(葉士鳴, 2002)，這兩種微粒可能從自然產生或是人為的生成，原生性微粒如土壤、細菌、病毒、花粉等；衍生性微粒如汽機車、工廠所排放的氮氧化物、硫氧化物等物質，受氣候影響起化學反應所產生的硫酸鹽、硝酸鹽等細懸浮微粒。

微粒的粒徑大小會影響其在空氣中存在的時間長短，粒徑越大的微粒具有沉降的特性，在空氣中的懸浮時間較短，越容易造成本地污染；粒徑越小的微粒懸浮在空氣中的時間較長，更容易受到氣候的影響，透過大氣的傳遞，其影響的範圍較廣。

2.4 室內空氣品質問題改善

在室內空氣污染的問題下，一般常見的改善室內空氣品質的方法約有污染源控制、通風換氣及使用空氣清淨設備三種，如表 7。

表 7 常見的改善室內空氣品質方法

改善方法	說明
污染源控制	保持良好的室內空氣品質方法之一，找出污染物的可能來源，避免使用或改變使用方式等，如一般辦公室常見的影印機為常見的污染物之一，可將影印機放置獨立空間，遠離工作範圍。在建材上、家具的選擇上，使用環保綠建材、天然的礦物塗料等，降低室內空氣污染物質釋放。

<p>通風換氣</p>	<p>引入外氣到室內，藉由換氣達到移除或稀釋室內空氣污染物改善空氣品質，為較常用的方式，分為自然通風及機械通風兩種。自然通風為最原始的方式，但受限於建築開口部位置、大小、周遭環境及開關的時間等因素，其效果有限；機械通風除了可排除室內污染空氣也可以利用換氣降低室內污染物濃度，但外氣如無過濾機制或過濾的不完全，實際應用上亦有限制。</p>
<p>空氣清淨設備</p>	<p>使用空氣清淨設備無法將全部的室內空氣污染物去除，但可降低污染物的濃度。室內空間的大小、空間的通風換氣率、空氣清淨設備本身處理的空氣流量及擺放位置等，都會影響空氣清淨設備的去除效能。</p>

(資料來源:許澤恩, 2007)

三、研究方法

3.1 實驗空間與設備

(1) 實驗空間

本研究實驗空間位於高雄市某大學之某大樓最高樓層十樓，於學校基地的西北側，面積為 $10.8\text{m} \times 10.95\text{m} = 118.26\text{m}^2$ 實驗空間，如圖 3。

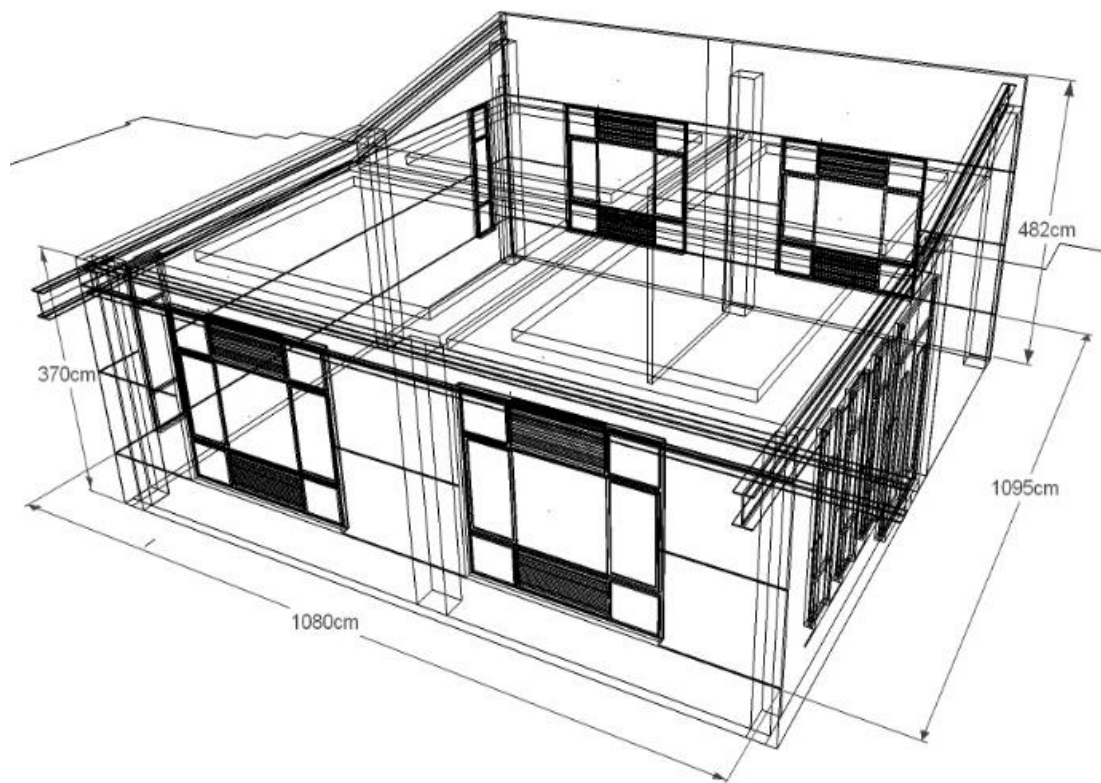


圖 3 實驗空間示意圖

(資料來源：東方設計大學，2018)

(2) 實驗設備與測量儀器

本研究實驗設備有空調系統、全熱交換系統、空氣清淨設備，如圖 4。則測量儀器為溫濕度紀錄器、九合一室內空氣品質偵測儀，如圖 5。

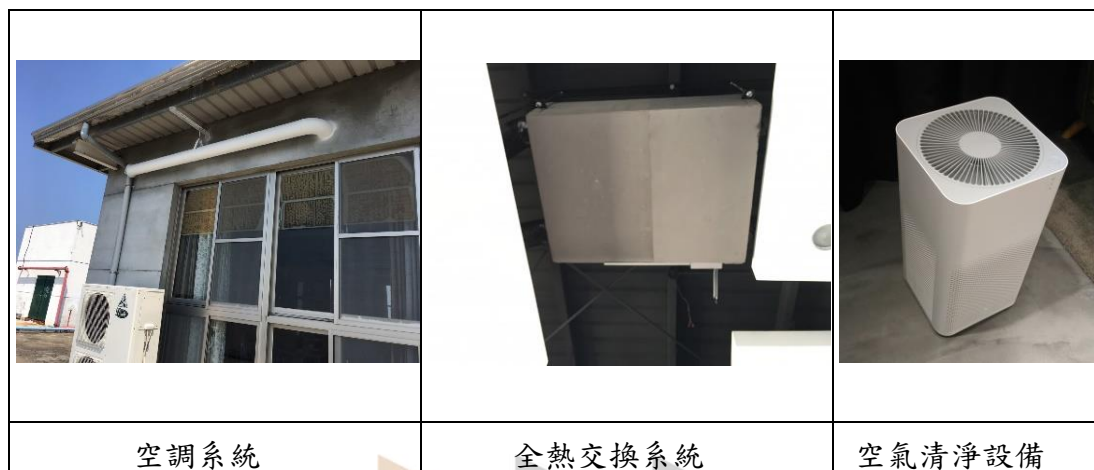


圖 4 實驗設備照片



圖 5 測量儀器照片

3.2 不同建築介面實驗設計

本研究透過實驗分析方法，測試在不同的建築介面的情況下找出對於室內空氣污染物的影響因子，探討其室內空氣品質影響因子的重要性。

3.2.1 建築介面定義

本研究以建築開口部開口率、空調系統、全熱交換系統、空氣清淨設備之變化，作為建築介面進行實驗研究，如圖 6。而開口部開口率大小之變化圖示為圖 7。

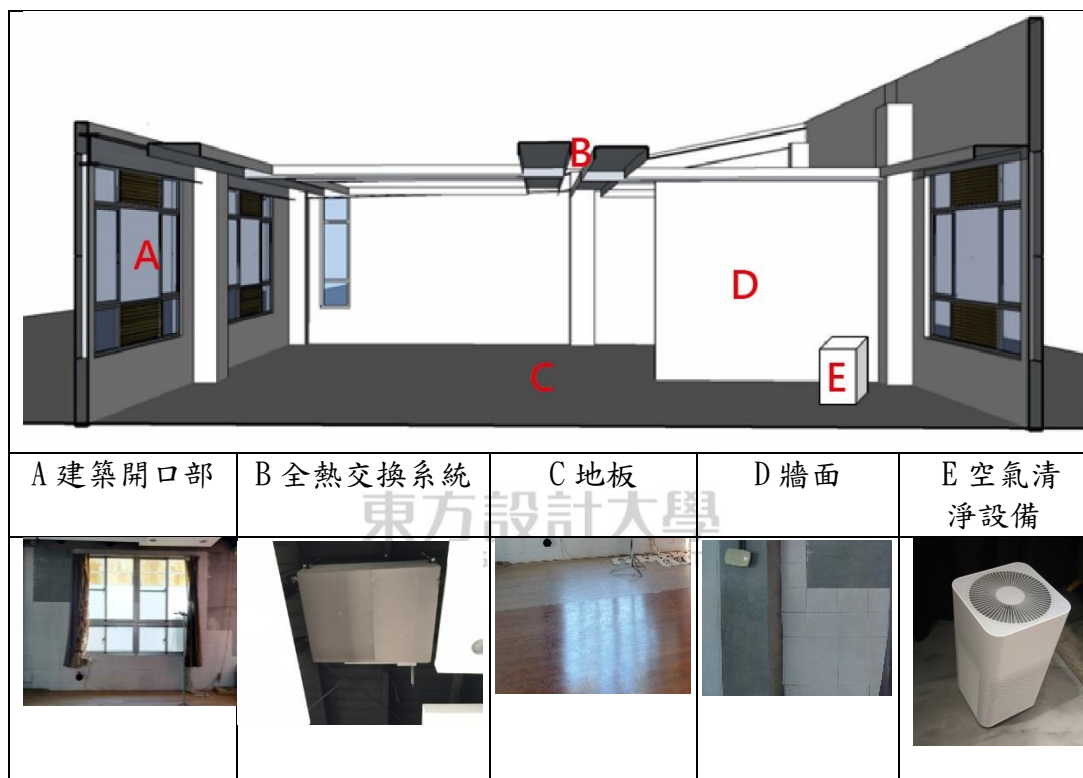


圖 6 建築介面示意圖

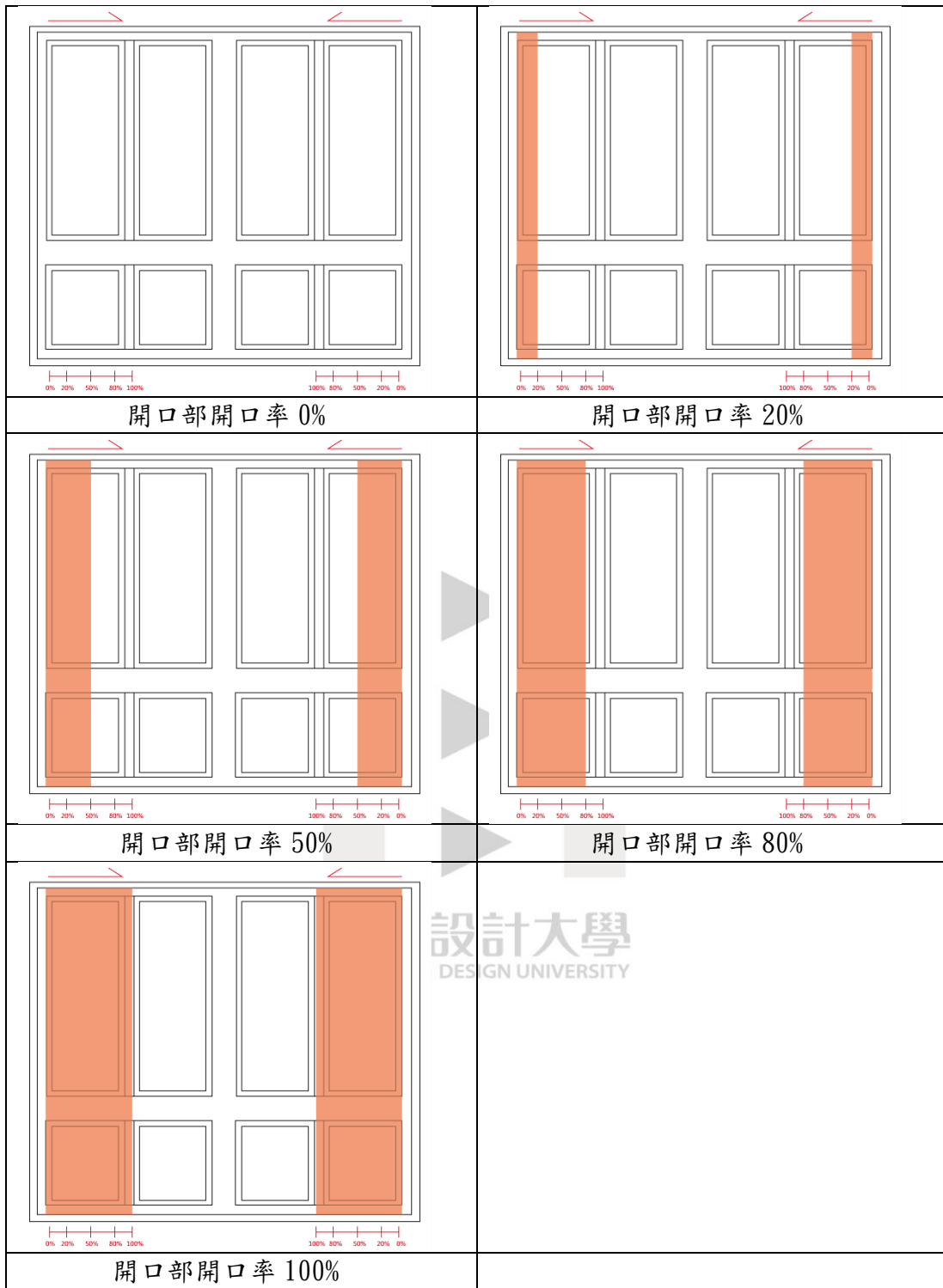


圖 7 開口部開口率變化示意圖

3.2.2 實驗方法

本研究實驗方法以實驗空間的牆面與地板建材為固定變因，開口部開口率、空調系統、全熱交換系統、空氣清淨設備為控制變因，進行不同建築介面之量測室內空氣中揮發性有機物(TVOC)與懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})的變化，再與室外空氣品質進行比對，分析其影響空氣品質的影響因子。初期測量多組實驗中結果以表 8 建築介面模式較佳，因此本研究以這 8 組實驗進行探討及分析。

表 8 不同建築介面模式

開口部開口率變化	空調系統 (A)	全熱交換系統(HRV)	空氣清淨設備(C)	實驗編號
開口 100%	關	關	關	100AcHcCc
開口 80%	關	關	關	80AcHcCc
開口 50%	開	關	關	50AoHcCc
開口 50%	開	開	開	50AoHoCo
開口 20%	開	關	關	20AoHcCc
開口 20%	開	開	開	20AoHoCo
開口 0%	開	開	開	0AoHoCo
開口 0%	開	關	關	0AoHcCc

3.3 實驗現場量測現況



圖 8 開口部開口率 100%現況照片



圖 9 開口部開口率 80%現況照片



圖 10 開口部開口率 50%現況照片



圖 11 開口部開口率 20%現況照片



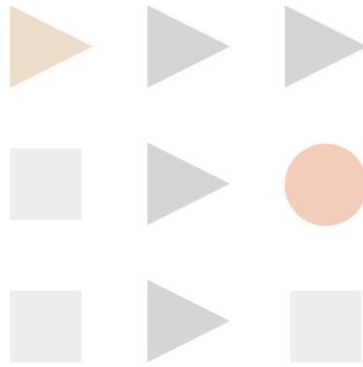
圖 12 開口部開口率 0%現況照片



圖 13 實驗現況照片



圖 14 溫濕度記錄器實驗照片



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

四、研究分析

4.1 不同建築介面測量實驗

根據本研究實驗，在不同建築介面之變化下，揮發性有機物(TVOC)與懸浮微粒($PM_{10}/PM_{2.5}$)的實驗記錄數據如下：

(1) 實驗編號 100AcHcCc

開口部開口率 100%狀態、空調系統關閉、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態下，揮發性有機物(TVOC)在開始測量第 564 分鐘(02:54AM)時，濃度達最高值 1.01ppm，如圖 15。懸浮微粒($PM_{10}/PM_{2.5}$) PM_{10} 在開始測量第 1044 分鐘(09:30AM)濃度達最高值 $57.6\mu g/m^3$ ，如圖 16。 $PM_{2.5}$ 在開始測量第 1044 分鐘(09:30AM)濃度達最高值 $48.3\mu g/m^3$ ，如圖 17。

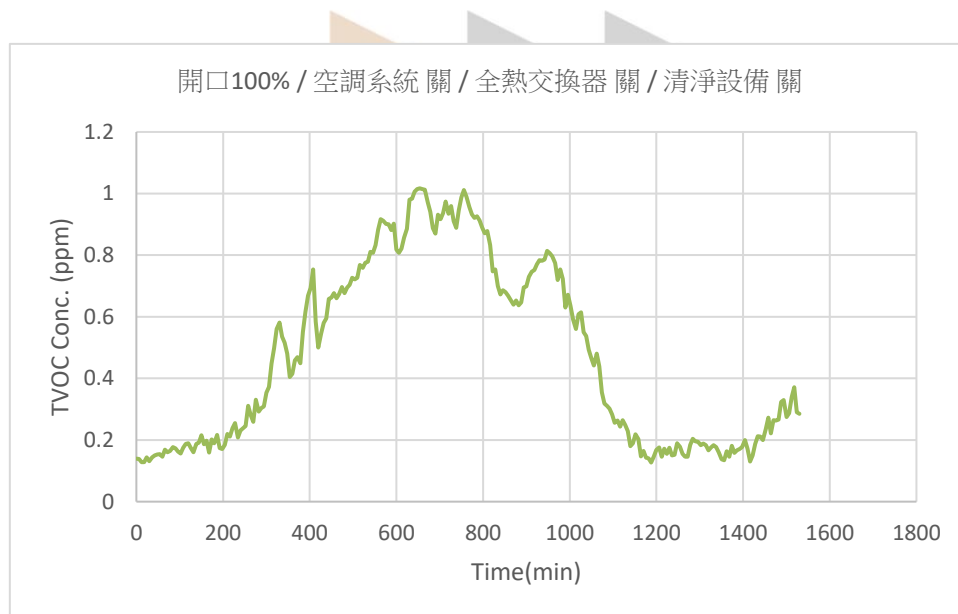


圖 15 實驗編號 100AcHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化

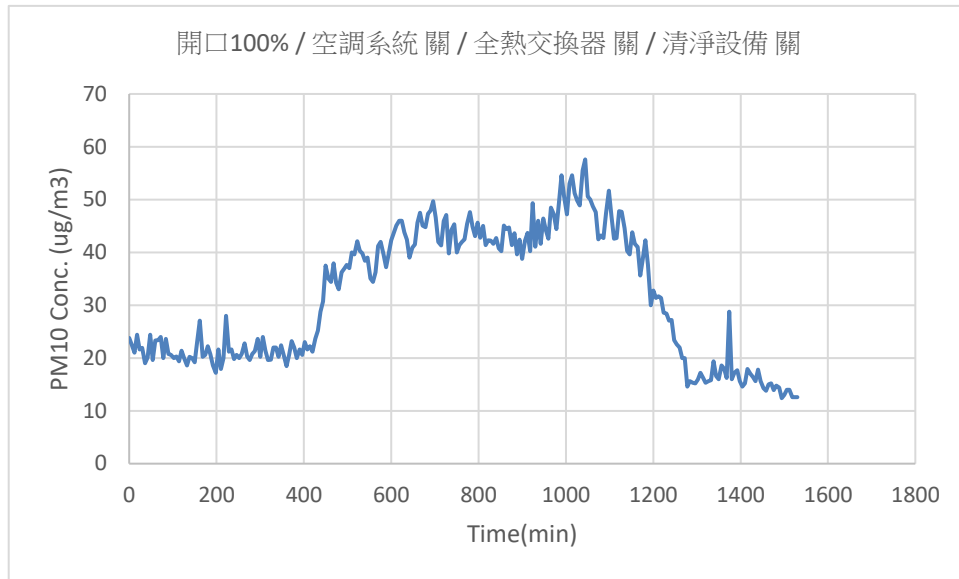


圖 16 實驗編號 100AcHcCc-懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化

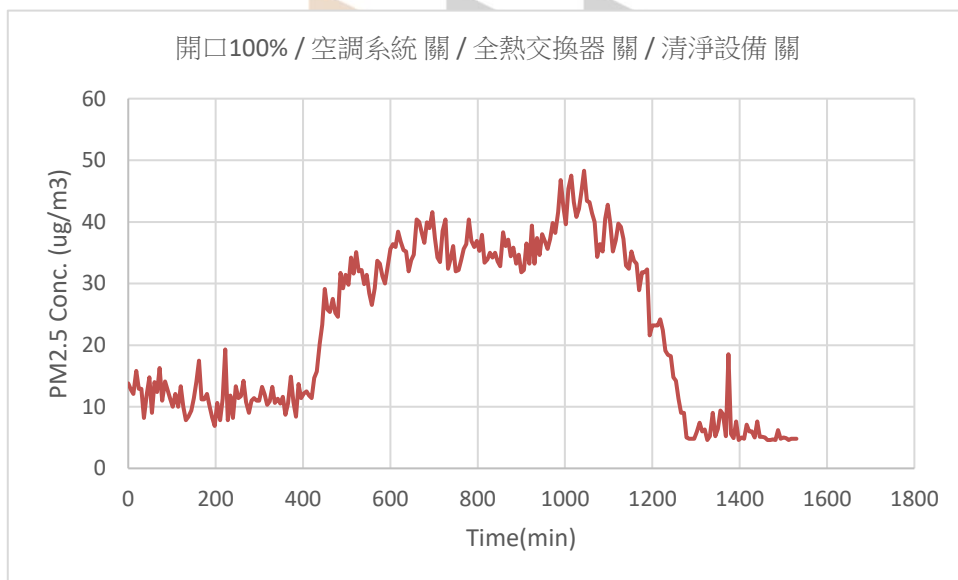


圖 17 實驗編號 100AcHcCc-懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化

(2) 實驗編號 80AcHcCc

開口部開口率 80% 狀態、空調系統關閉、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態下，揮發性有機物(TVOC)在開始測量第 306 分鐘(05:06AM)時，濃度達最高值 0.88ppm，如圖 18。懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})PM₁₀ 在開始測量第 504 分鐘(08:24AM)濃度達最高值 32.5ug/m³，如圖 19。PM_{2.5} 在開始測量第 318 分鐘(05:18AM)濃度達最高值 23.6ug/m³，如圖 20。

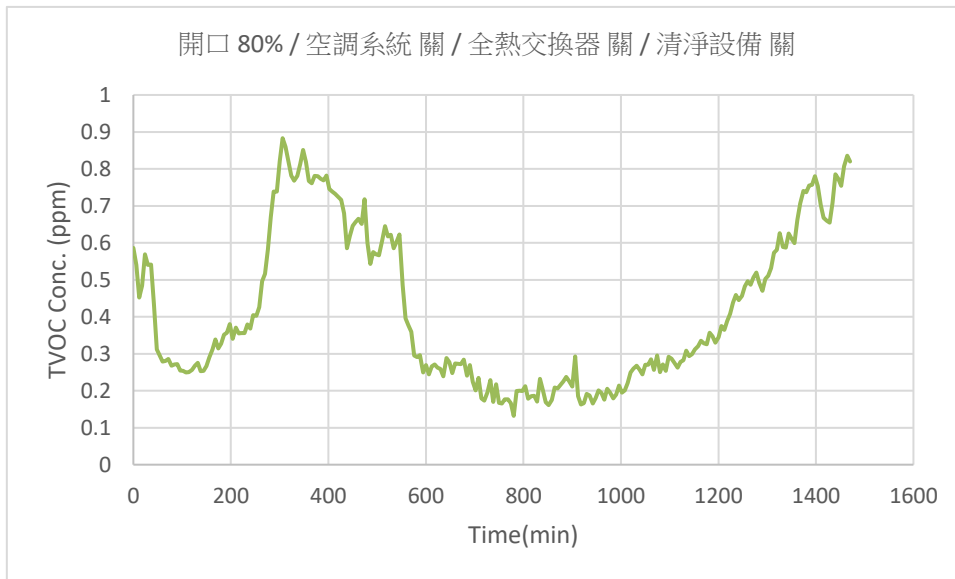


圖 18 實驗編號 80AcHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化

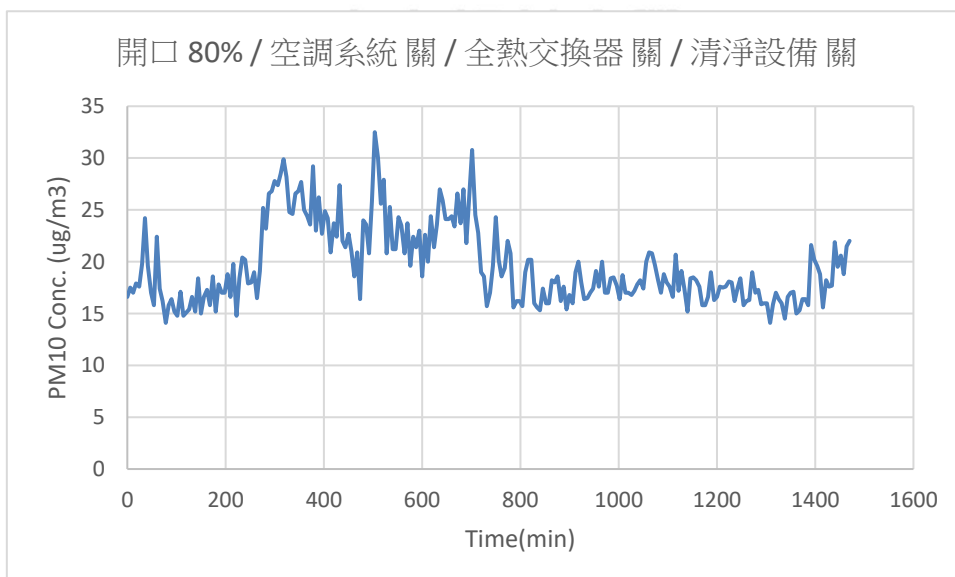


圖 19 實驗編號 80AcHcCc-懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化

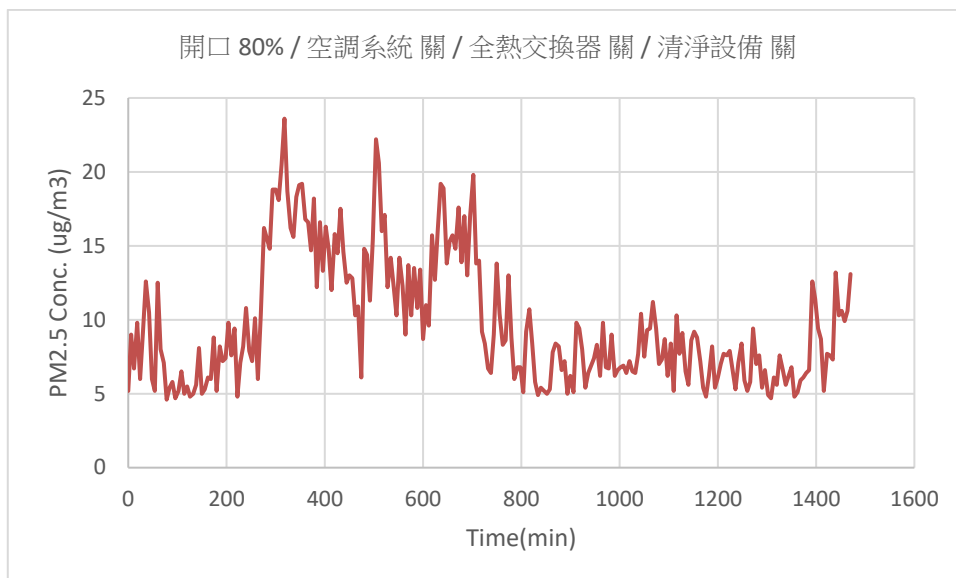


圖 20 實驗編號 80AcHcCc-懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

(3) 實驗編號 50AoHcCc

開口部開口率 50% 狀態、空調系統開啟、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態下，揮發性有機物(TVOC)在開始測量第 738 分鐘(11:42PM)時，濃度達最高值 0.77ppm，如圖 21。懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})PM₁₀ 在開始測量第 876 分鐘(02:00AM)時，濃度達最高值 23ug/m³，如圖 22。PM_{2.5} 在開始測量第 876 分鐘(02:00AM)時，濃度達最高值 12ug/m³，如圖 23。

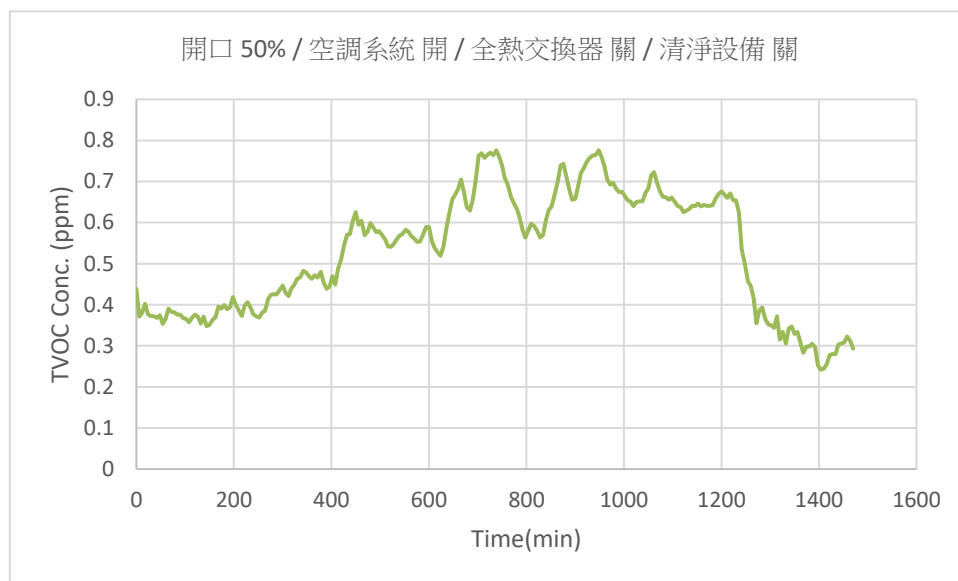


圖 21 實驗編號 50AoHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化

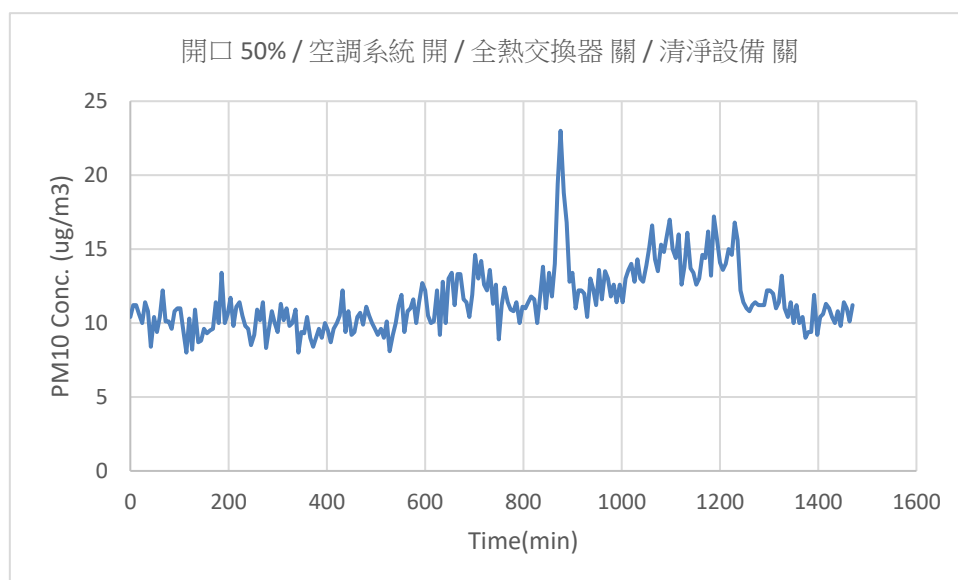


圖 22 實驗編號 50AoHcCc-懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化

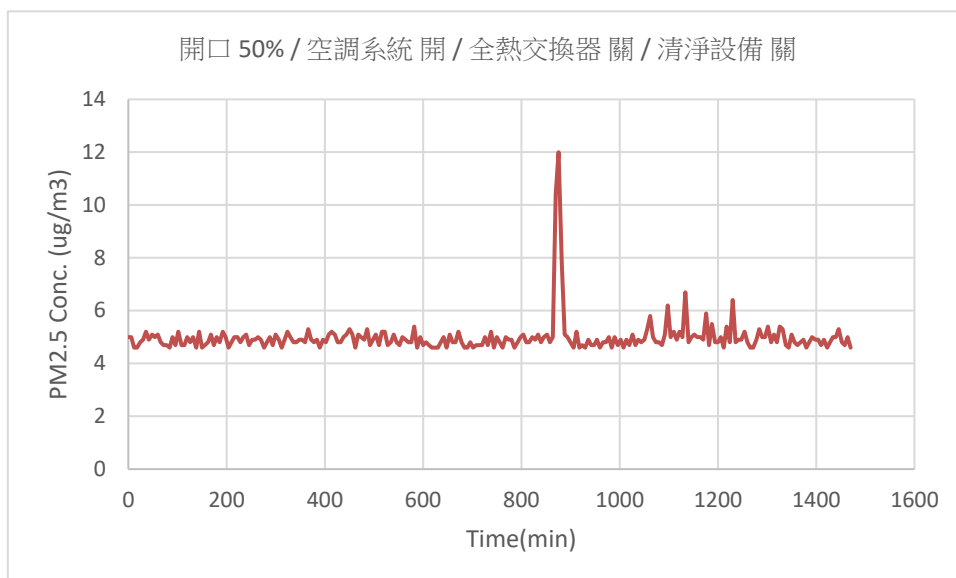


圖 23 實驗編號 50AoHcCc-懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

(4) 實驗編號 50AoHoCo

開口部開口率 50% 狀態、空調系統開啟、全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態下，揮發性有機物(TVOC)在開始測量第 798 分鐘(01:42AM)時，濃度達最高值 0.88ppm，如圖 24。懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})PM₁₀ 在開始測量第 1134 分鐘(07:18AM)時，濃度達最高值 43.4 ug/m³，如圖 25。PM_{2.5} 在開始測量第 1134 分鐘(07:18AM)時，濃度達最高值 36.5ug/m³，如圖 26。

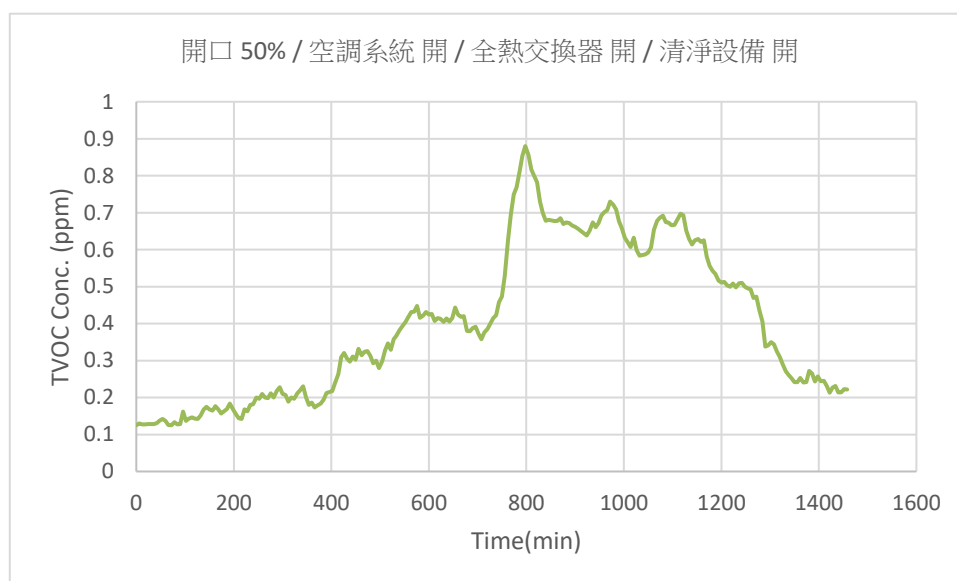


圖 24 實驗編號 50AoHoCo-揮發性有機物(TVOC)濃度變化

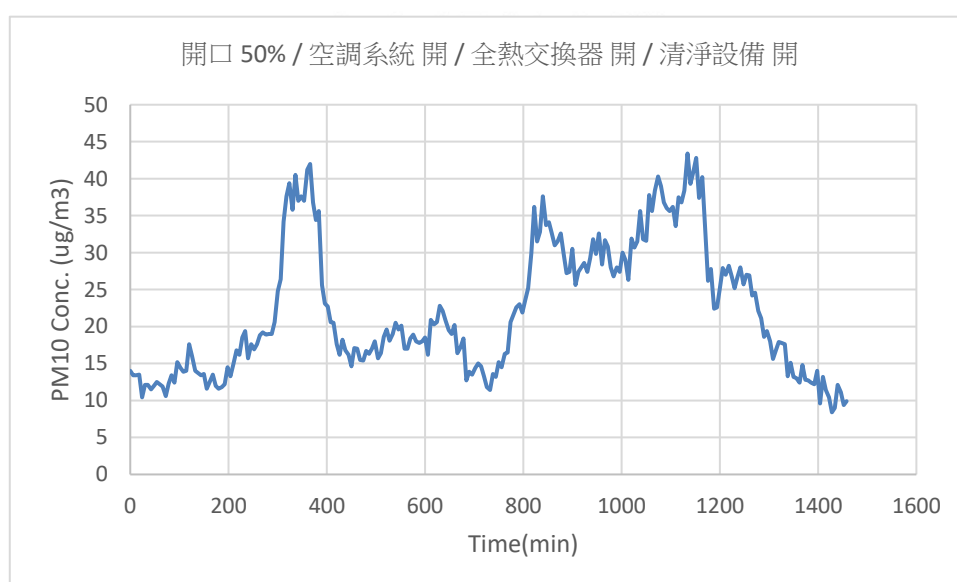


圖 25 實驗編號 50AoHoCo-懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化

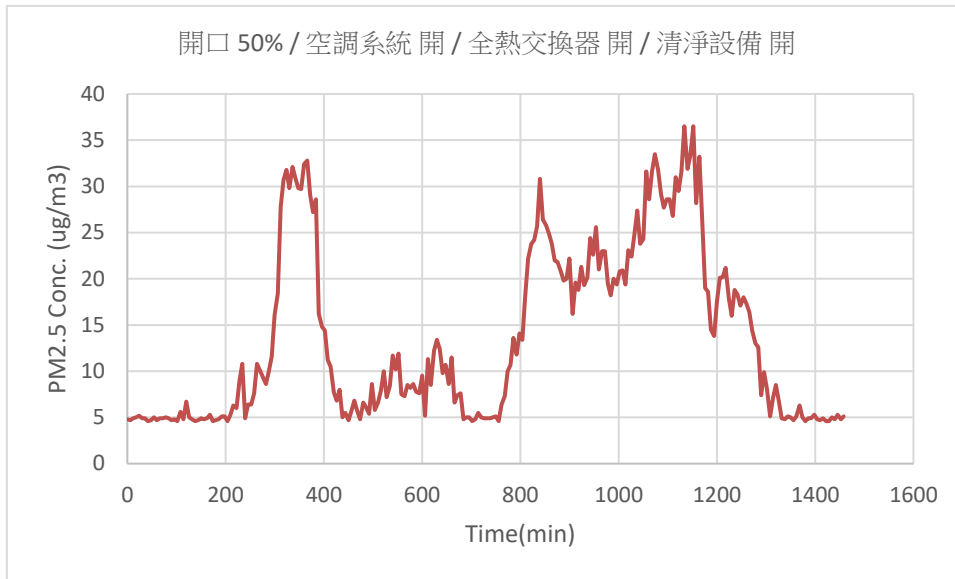
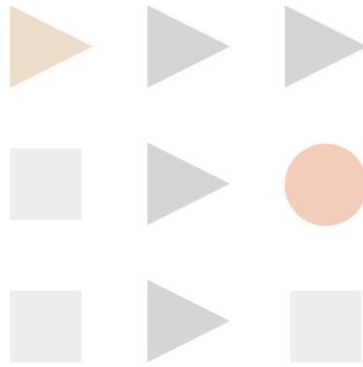


圖 26 實驗編號 50AoHoCo-懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

(5) 實驗編號 20AoHcCc

開口部開口率 20% 狀態、空調系統開啟、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態下，揮發性有機物(TVOC)在開始測量第 906 分鐘(06:12AM)時，濃度達最高值 0.85ppm，如圖 27。懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})PM₁₀ 在開始測量第 906 分鐘(06:12AM)時，濃度達最高值 25.6ug/m³，如圖 28。PM_{2.5} 在開始測量第 906 分鐘(06:12AM)時，濃度達最高值 17.7ug/m³，如圖 29。

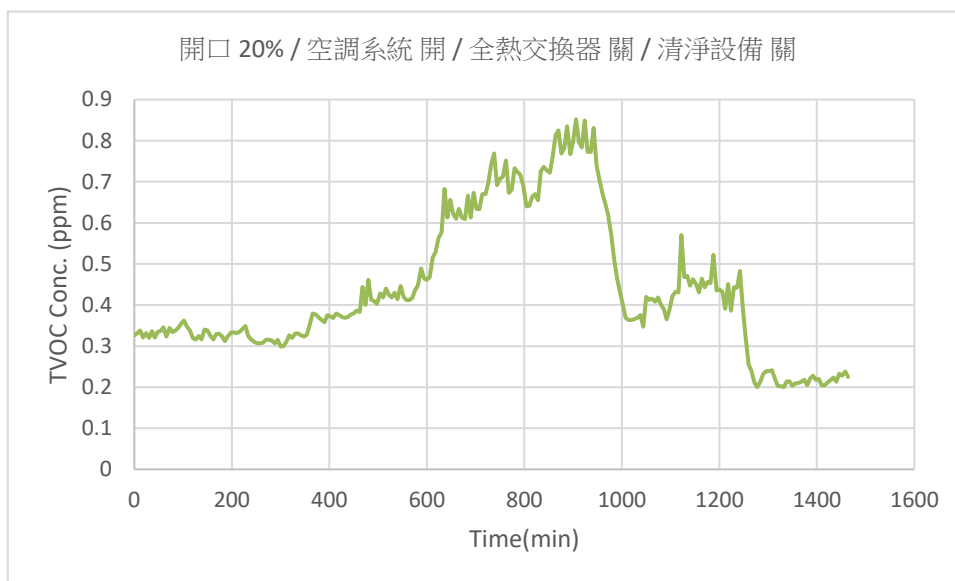


圖 27 實驗編號 20AoHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化

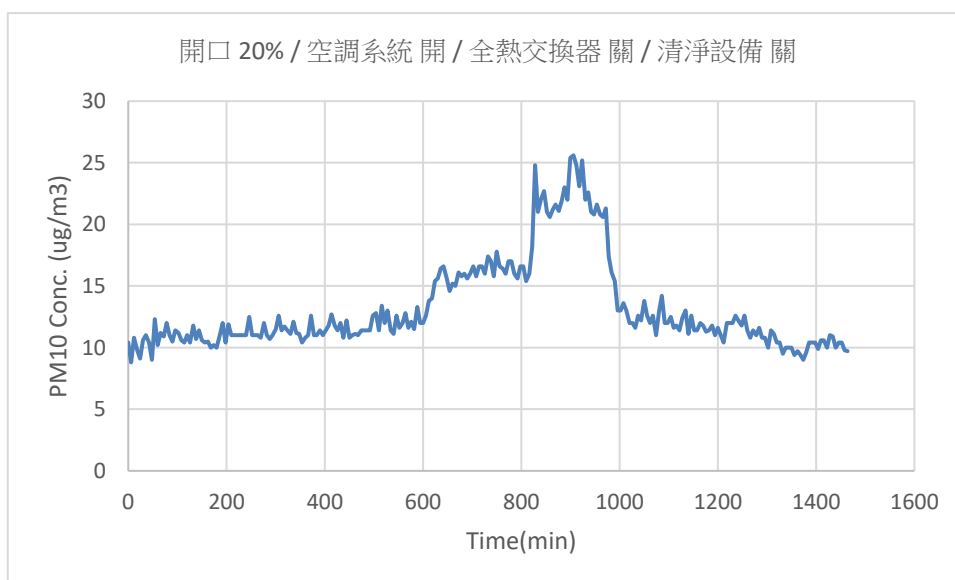


圖 28 實驗編號 20AoHcCc-懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化

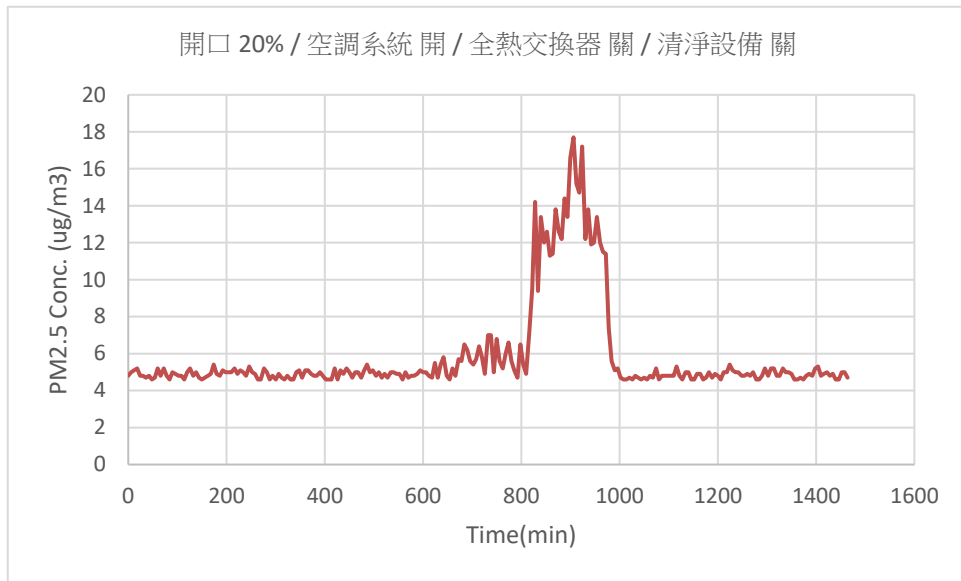
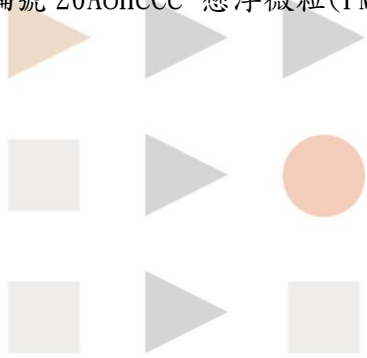


圖 29 實驗編號 20AoHcCc-懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化



(6) 實驗編號 20AoHoCo

開口部開口率 20%狀態、空調系統開啟、全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態下，揮發性有機物(TVOC)在開始測量第 792 分鐘(04:12AM)時，濃度達最高值 0.47ppm，如圖 30。懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})PM₁₀ 在開始測量第 1206 分鐘(11:06AM)時，濃度達最高值 13.9ug/m³，如圖 31。PM_{2.5}在開始測量第 342 分鐘(08:42PM)時，濃度達最高值 5.4ug/m³，如圖 32。

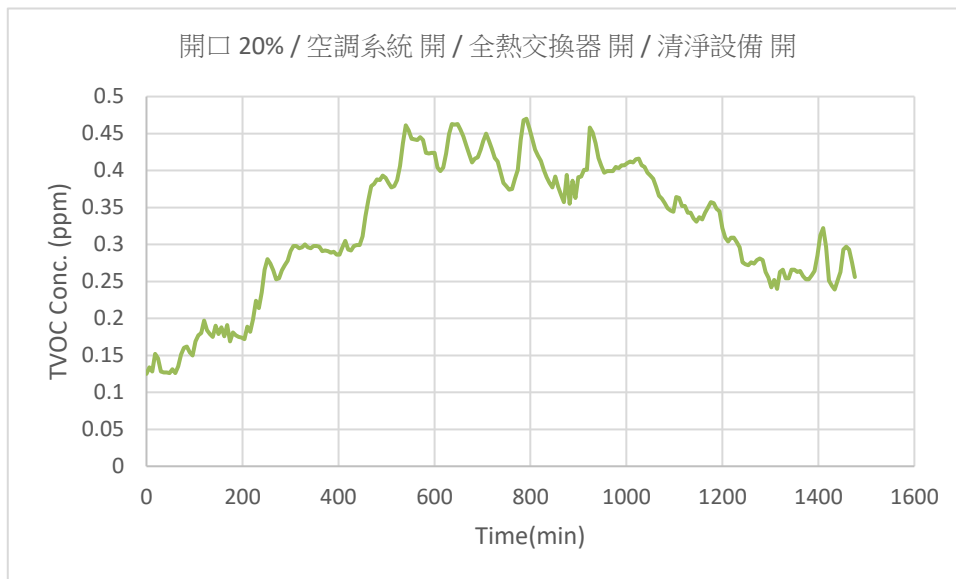


圖 30 實驗編號 20AoHoCo-揮發性有機物(TVOC)濃度變化

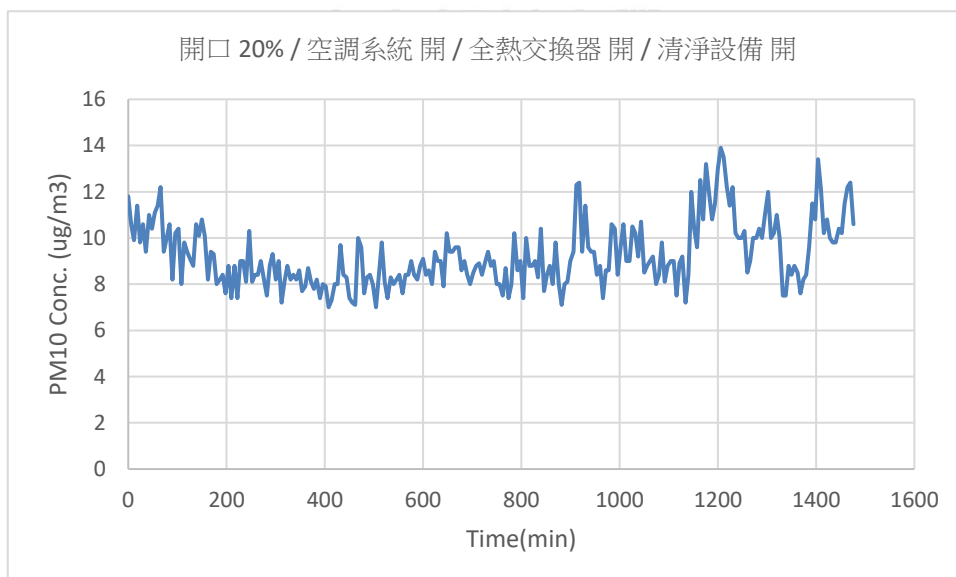


圖 31 實驗編號 20AoHoCo-懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化

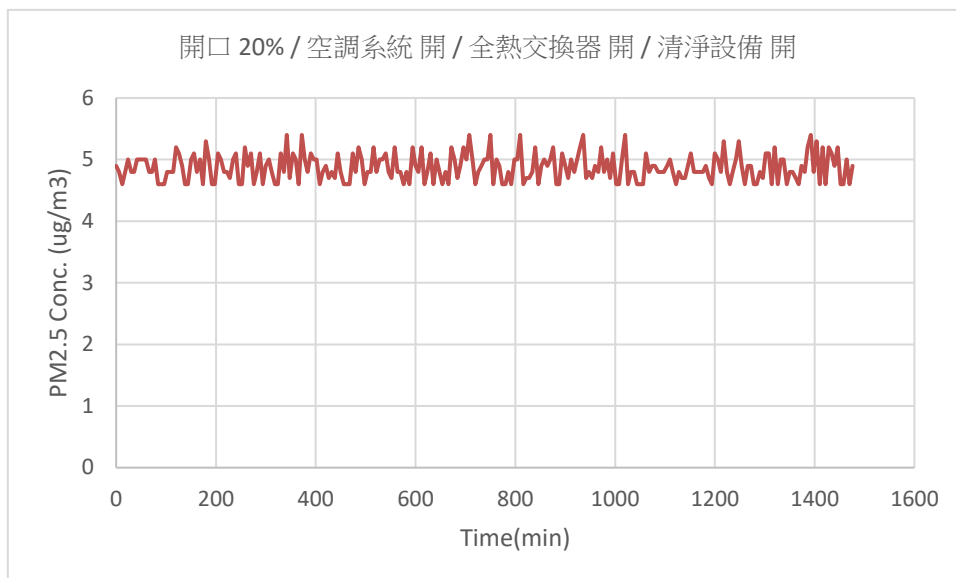


圖 32 實驗編號 20AoHoCo-懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

(7) 實驗編號 0AoHoCo

開口部開口率 0% 狀態、空調系統開啟、全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態下，揮發性有機物(TVOC)在開始測量第 84 分鐘(05:24PM)時，濃度達最高值 0.96ppm，如圖 33。懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})PM₁₀ 在開始測量第 396 分鐘(10:36PM)時，濃度達最高值 26.4ug/m³，如圖 34。PM_{2.5}在開始測量第 396 分鐘(10:36AM)時，濃度達最高值 17.8ug/m³，如圖 35。

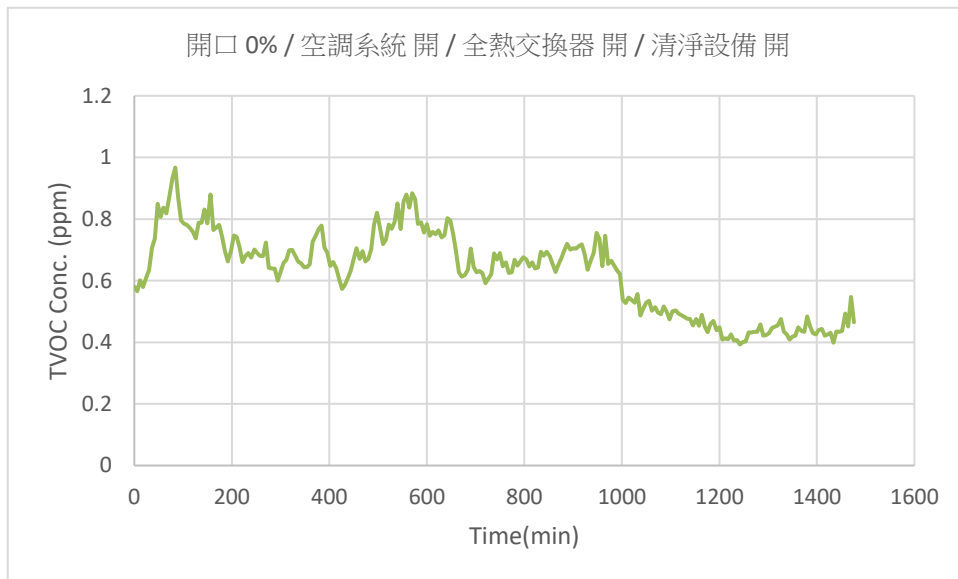


圖 33 實驗編號 0AoHoCo-揮發性有機物(TVOC)濃度變化

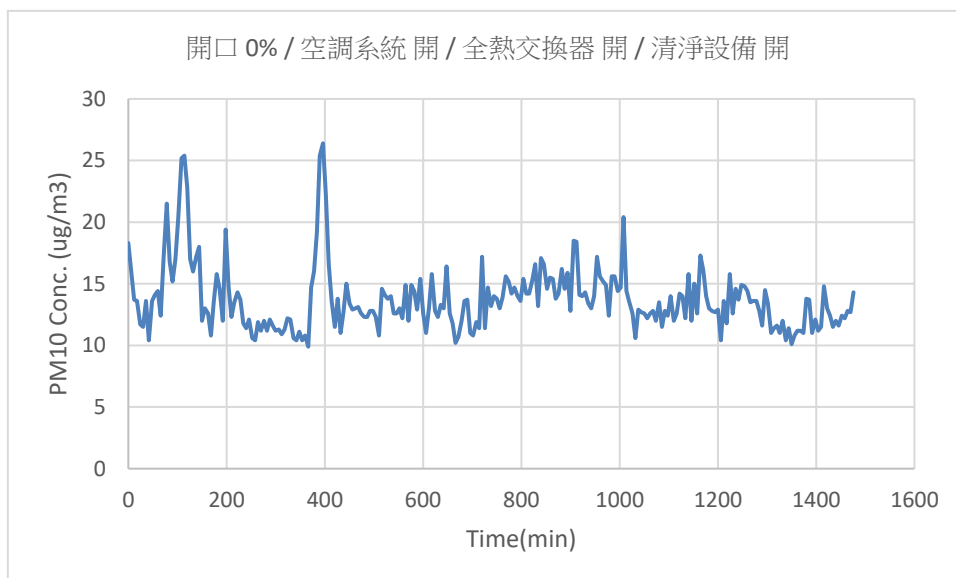


圖 34 實驗編號 0AoHoCo-懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化

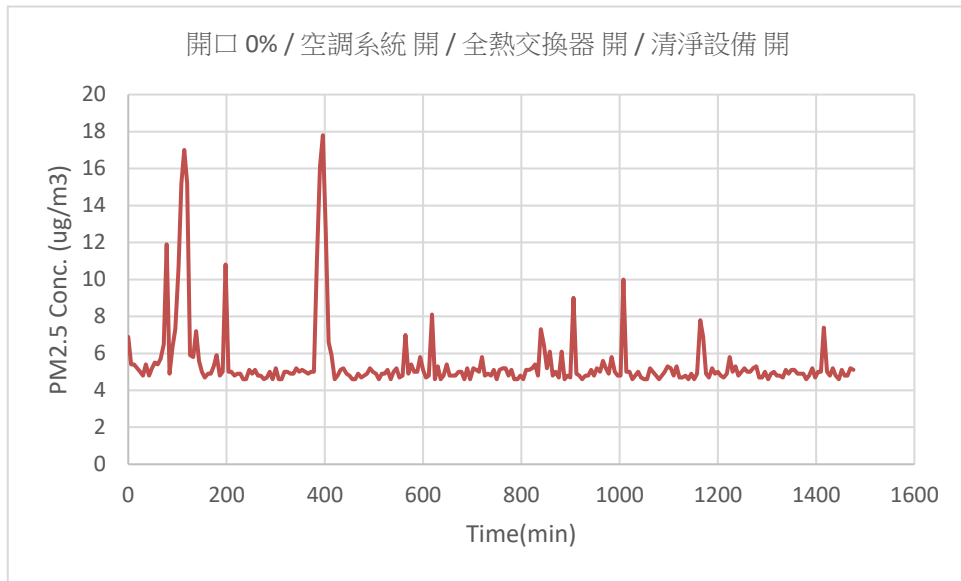


圖 35 實驗編號 0AoHoCo-懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

(8) 實驗編號 0AoHcCc

開口部開口率 0% 狀態、空調系統開啟、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態下，揮發性有機物(TVOC)在開始測量第 1152 分鐘(05:30AM)時，濃度達最高值 0.73ppm，如圖 36。懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})PM₁₀ 在開始測量第 1254 分鐘(07:12AM)時，濃度達最高值 13ug/m³，如圖 37。PM_{2.5} 在開始測量第 1320 分鐘(08:18AM)時，濃度達最高值 5.4ug/m³，如圖 38。

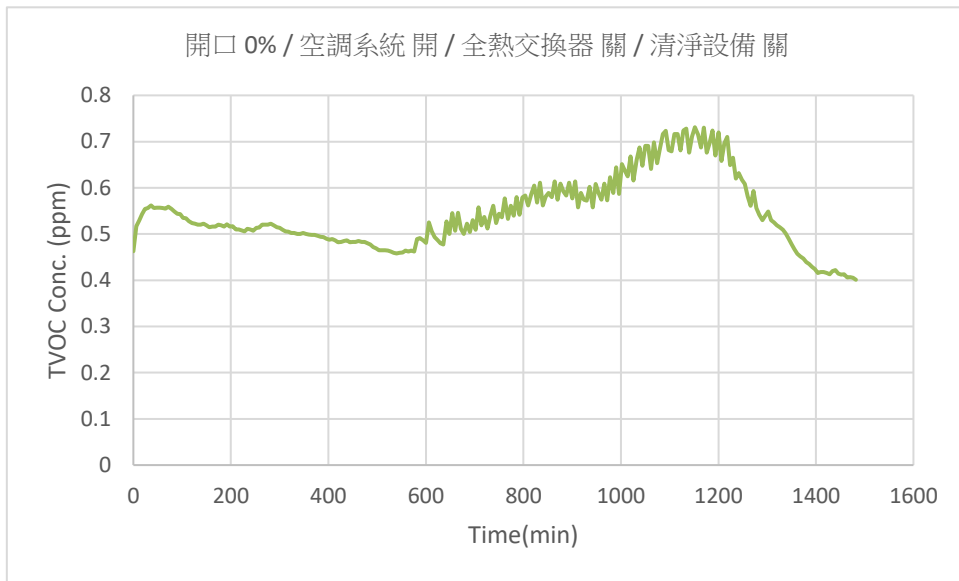


圖 36 實驗編號 0AoHcCc-揮發性有機物(TVOC)濃度變化

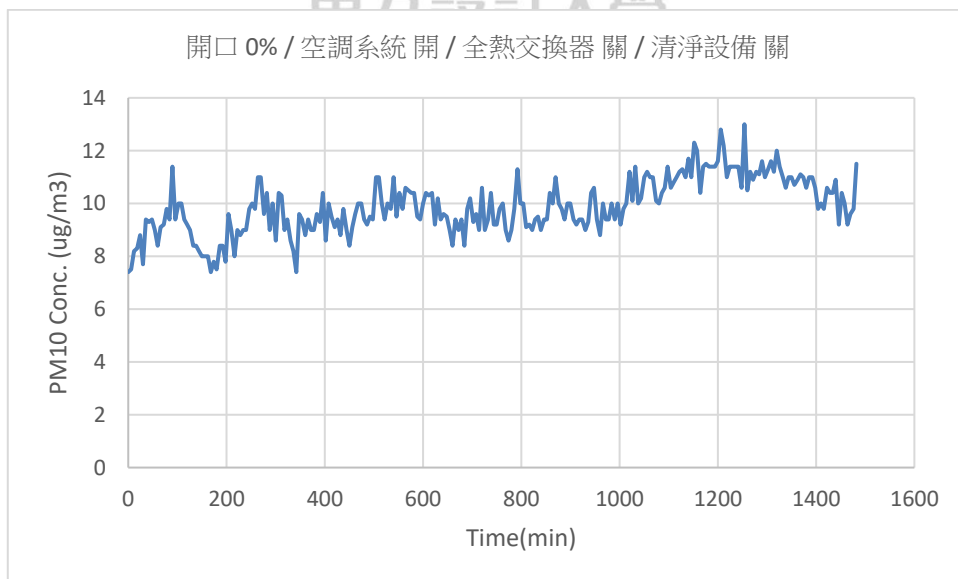


圖 37 實驗編號 0AoHcCc-懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化

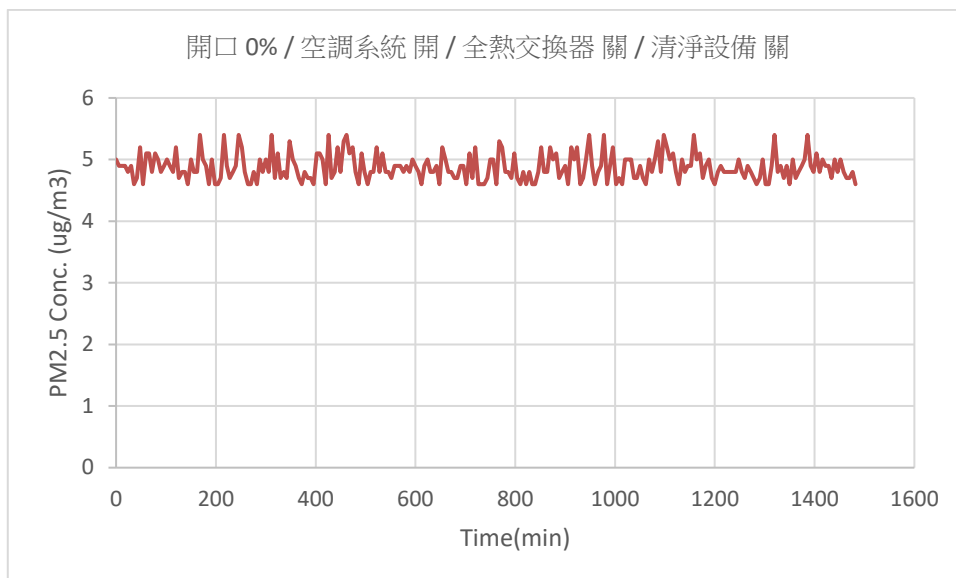


圖 38 實驗編號 0AoHcCc-懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

4.2 實驗測量結果對比

4.2.1 揮發性有機化合物

在本研究實際測量的空間中，其揮發性有機化合物(TVOC)的測量結果，圖 39 為各組實驗揮發性有機化合物(TVOC)濃度對比。揮發性有機化合物(TVOC)平均濃度最高為實驗編號 0AoHoCo，開口部開口率 0%、空調系統開啟、全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態，如圖 40 為揮發性有機化合物(TVOC)濃度與溫度的變化，圖 41 為揮發性有機化合物(TVOC)濃度與濕度之變化，在室內平均溫度 30.7℃、濕度 72.3%的條件下，平均濃度達 0.62ppm，濃度最高值為 0.96ppm；實驗編號 100AcHcCc，開口部開口率 100%、空調系統關閉、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態，如圖 42 為揮發性有機化合物(TVOC)濃度與溫度的變化，圖 43 為揮發性有機化合物(TVOC)濃度與濕度之變化，在室內平均溫度 29.6℃、濕度 62.3%的條件下，平均濃度為 0.47ppm，最高值達 1.01ppm。

平均濃度最低的為實驗編號 20AoHoCo，開口部開口率 20%、空調系統開啟、全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態，如圖 44 為揮發性有機化合物(TVOC)濃度與溫度的變化，圖 45 為揮發性有機化合物(TVOC)濃度與濕度之變化，在室內平均溫度 27.2℃、濕度 76.5%的條件下，平均濃度為 0.32ppm，最高值為 0.47ppm；實驗編號 50AoHoCo，開口部開口率 50%、空調系統開啟、全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態，如圖 46 為揮發性有機化合物(TVOC)濃度與溫度的變化，圖 47 為揮發性有機化合物(TVOC)濃度與濕度之變化，在室內平均溫度 28℃、濕度 78%的條件下，平均濃度為 0.4ppm，最高值達 0.88ppm。

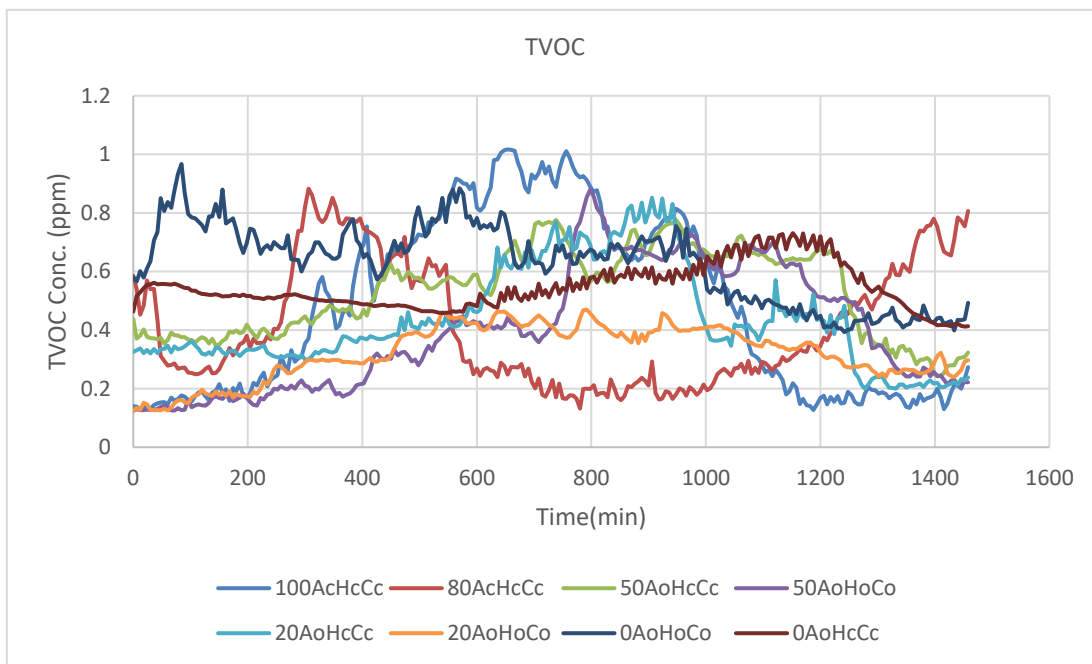


圖 39 各組實驗揮發性有機化合物(TVOC)濃度變化

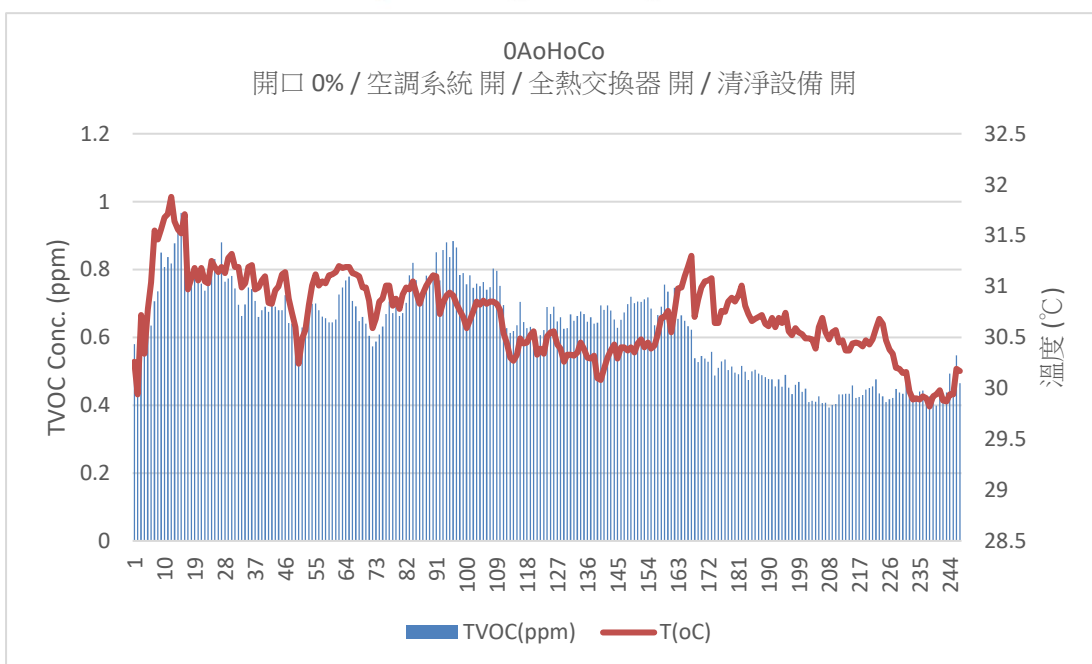


圖 40 實驗編號 0AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及溫度變化

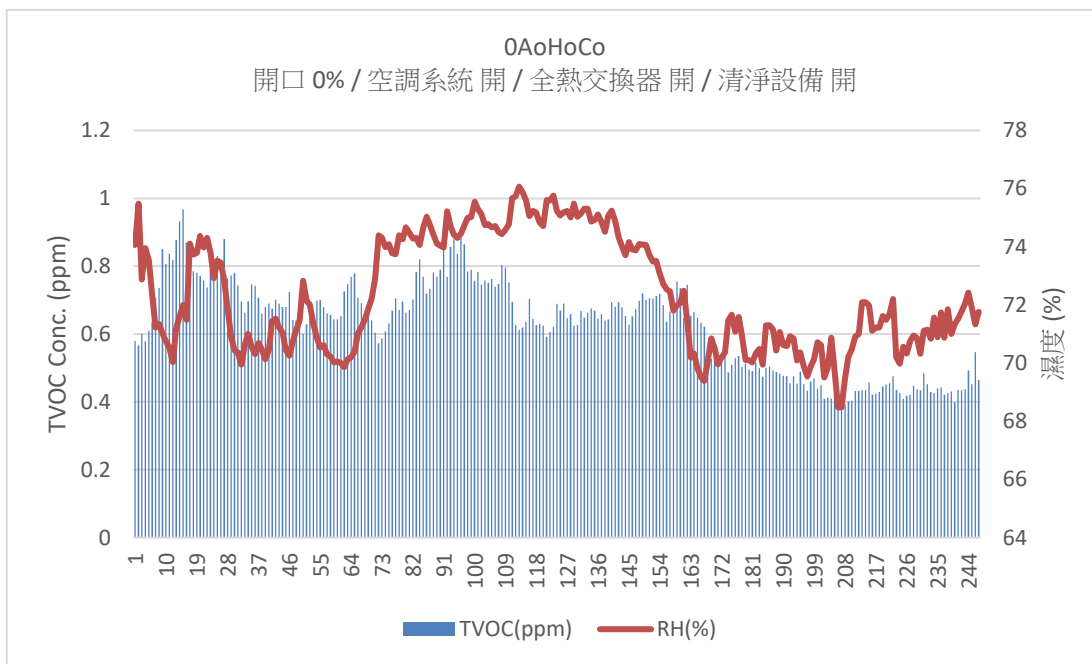


圖 41 實驗編號 0AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及濕度變化

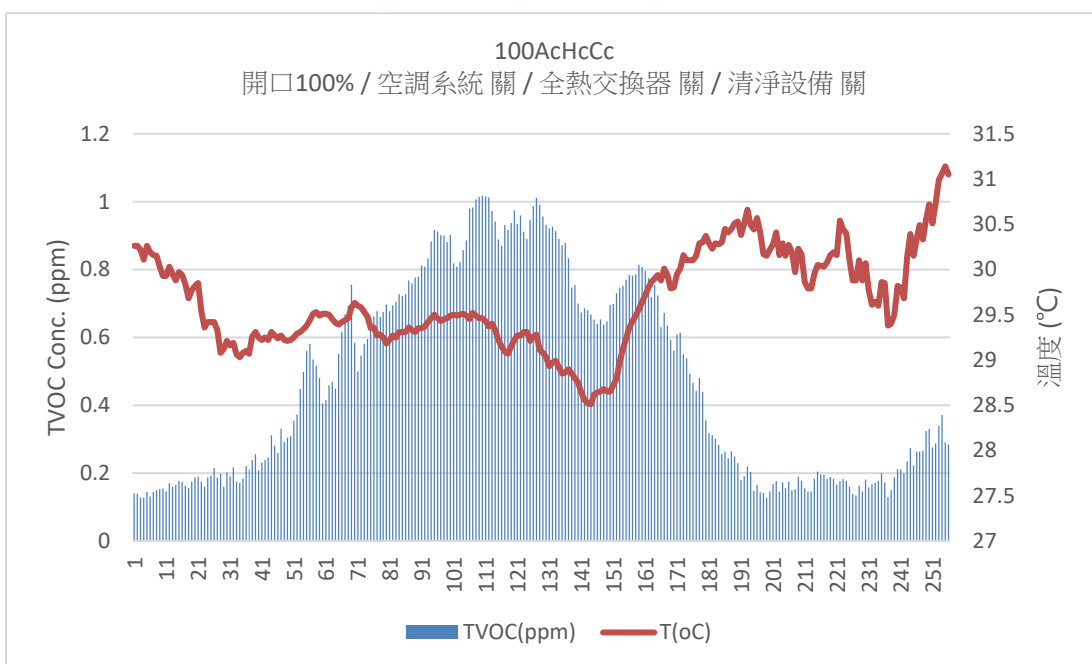


圖 42 實驗編號 100AcHcCc 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及溫度變化

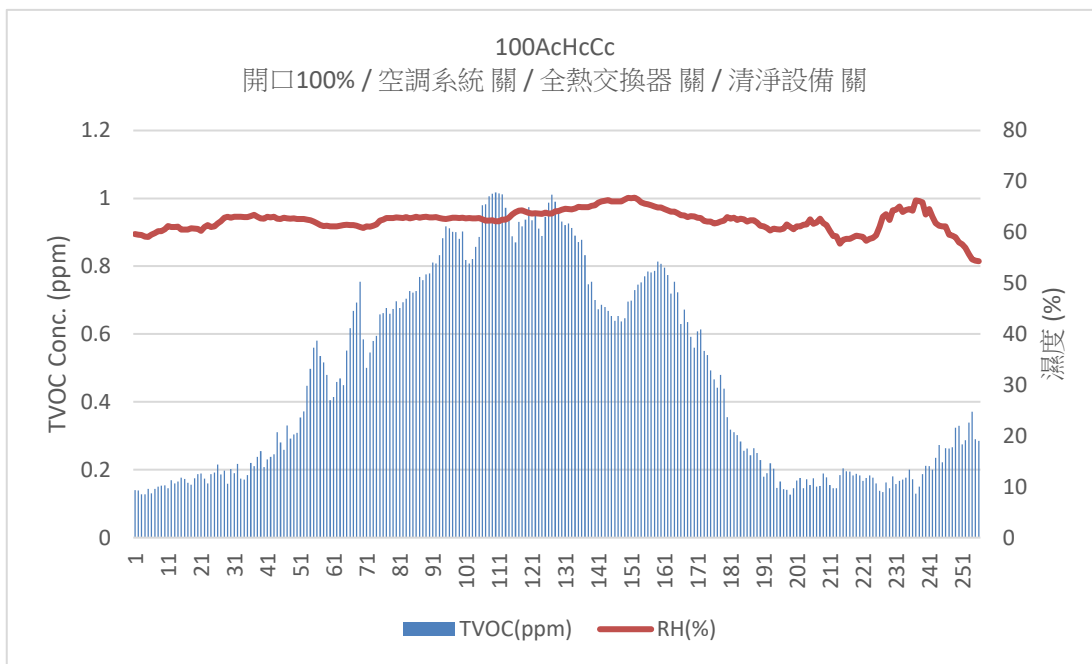


圖 43 實驗編號 100AcHcCc 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及濕度變化

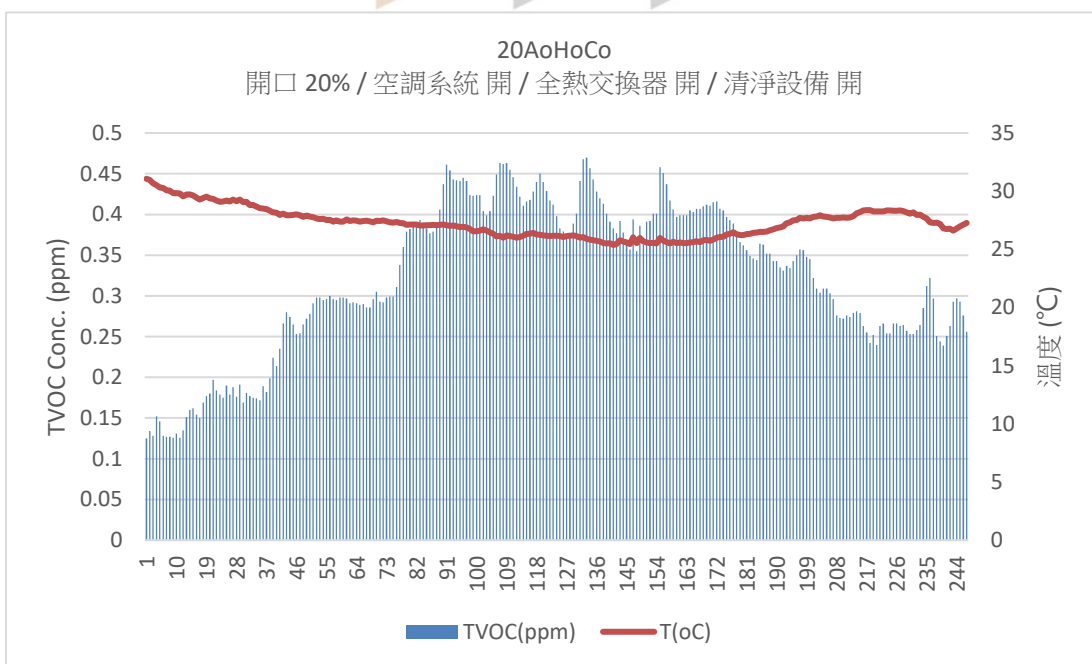


圖 44 實驗編號 20AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及溫度變化

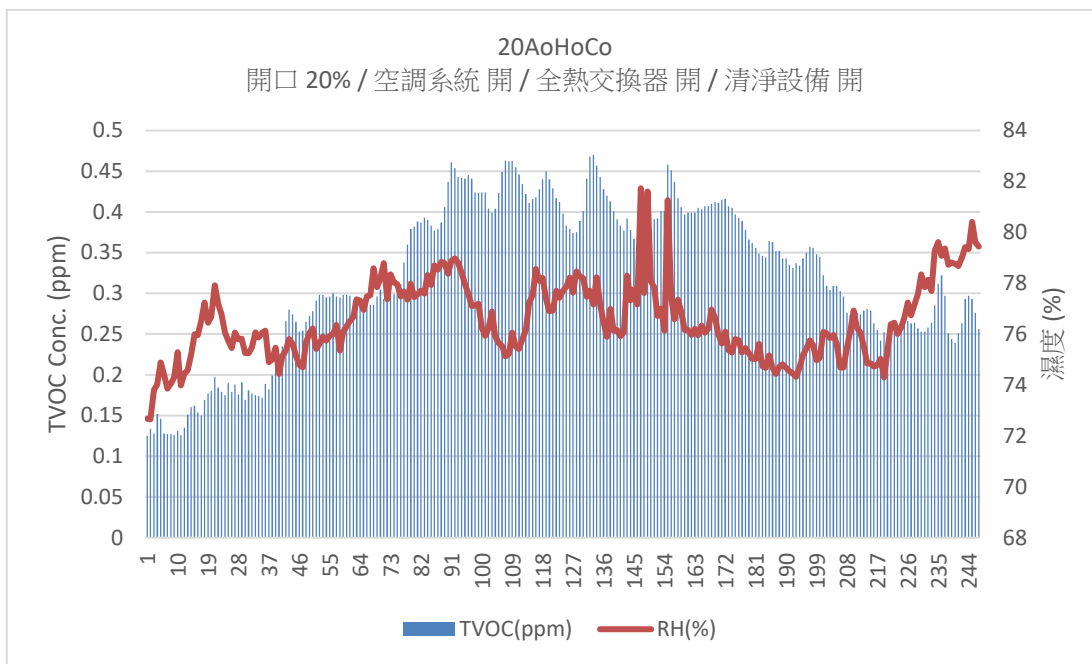


圖 45 實驗編號 20AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及濕度變化

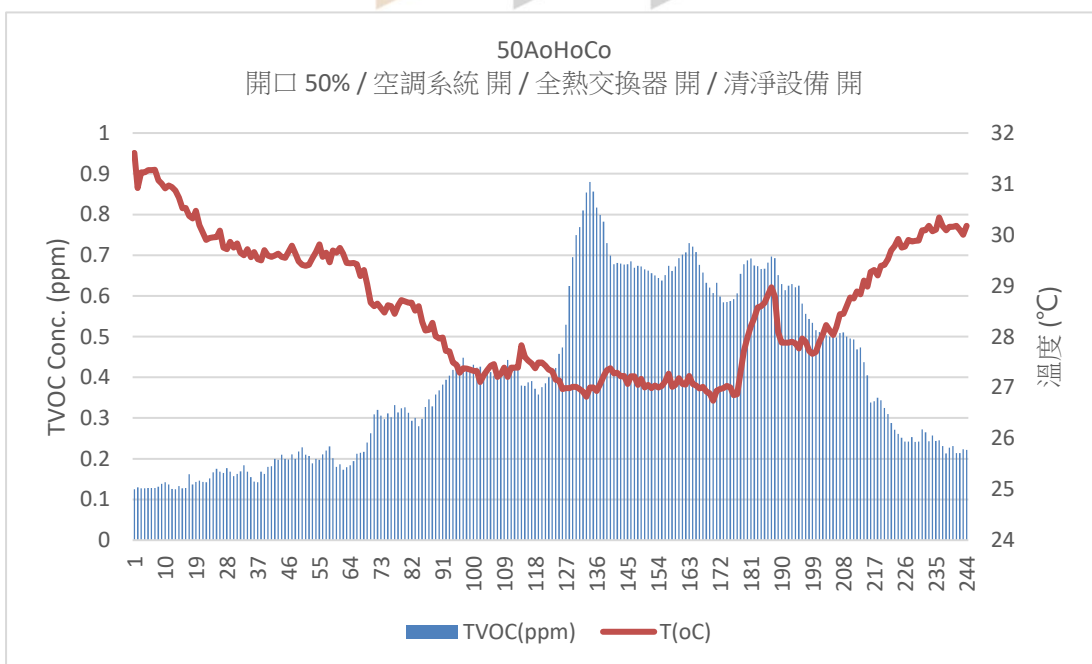


圖 46 實驗編號 50AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及溫度變化

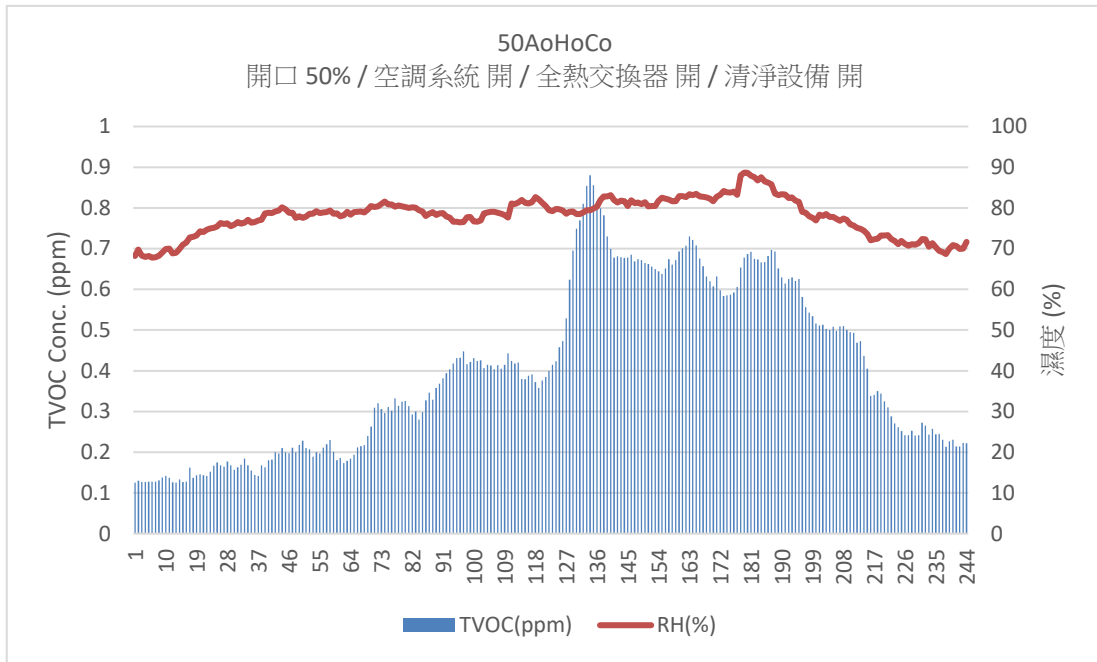


圖 47 實驗編號 50AoHoCo 揮發性有機化合物(TVOC)濃度及濕度變化

4.2.2 懸浮微粒

在本研究實際測量的空間中，其懸浮微粒(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$)的測量結果，圖 48 為各組實驗懸浮微粒(PM_{10})濃度變化對比。懸浮微粒(PM_{10})的部分，懸浮微粒(PM_{10})平均濃度最高的為實驗編號 100AcHcCc，開口部開口率 100%、空調系統關閉、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態，如圖 49 為室外 PM_{10} 平均濃度與室內 PM_{10} 濃度變化，在室外 PM_{10} 平均濃度 $61.04\mu g/m^3$ 之條件下，平均濃度達 $31.4\mu g/m^3$ ，濃度最高值為 $57.6\mu g/m^3$ ；次高的為實驗編號 50AoHoCo，開口部開口率 50%、空調系統開啟、全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態，如圖 50 為室外 PM_{10} 平均濃度與室內 PM_{10} 濃度變化，在室外 PM_{10} 平均濃度 $46.04\mu g/m^3$ 之條件下，平均濃度達 $22.1\mu g/m^3$ ，濃度最高值為 $43.4\mu g/m^3$ ；第三高為實驗編號 80AcHcCc，開口部開口率 80%、空調系統關閉、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態，如圖 51 為室外 PM_{10} 平均濃度與室內 PM_{10} 濃度變化，在室外 PM_{10} 平均濃度 $49.29\mu g/m^3$ 之條件下，平均濃度達 $19.6\mu g/m^3$ ，濃度最高值為 $32.5\mu g/m^3$ 。其平均濃度最低的為實驗編號 20AoHoCo，開口部開口率 20%、空調系統開啟、全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態，如圖 52 為室外 PM_{10} 平均濃度與室內 PM_{10} 濃度變化，在室外 PM_{10} 平均濃度 $25.95\mu g/m^3$ 之條件下，平均濃度為 $9.2\mu g/m^3$ ，濃度最高值為 $13.9\mu g/m^3$ ；實驗編號 0AoHcCc，開口部開口率 0%、空調系統開啟、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態，如圖 53 為室外 PM_{10} 平均濃度與室內 PM_{10} 濃度變化，在室外 PM_{10} 平均濃度 $21.5\mu g/m^3$ 之條件下，平均濃度為 $9.8\mu g/m^3$ ，濃度最高值為 $13\mu g/m^3$ 。

懸浮微粒($PM_{2.5}$)的部分，圖 54 為各組實驗懸浮微粒($PM_{2.5}$)濃度變化對比。懸浮微粒($PM_{2.5}$)平均濃度最高的為實驗編號 100AcHcCc，開口部開口率 100%、空調系統關閉、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態，如圖 55 為室外 $PM_{2.5}$ 平均濃度與室內 $PM_{2.5}$ 濃度變化，在室外 $PM_{2.5}$ 平均濃度 $29.13\mu g/m^3$ 之條件下，平均濃度達 $22.7\mu g/m^3$ ，濃度最高值為 $48.3\mu g/m^3$ ；次高的為實驗編號 50AoHoCo，開口部開口率 50%、空調系統開啟、全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態，平均濃度達 $13.5\mu g/m^3$ ，濃度最高值為 $36.5\mu g/m^3$ ；第三高為實驗編號 80AcHcCc，開口部開口率 80%、空調系統關閉、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態，如圖 56 為室外 $PM_{2.5}$ 平均濃度與室內 $PM_{2.5}$ 濃度變化，在室外 $PM_{2.5}$ 平均濃度 $22.25\mu g/m^3$ 之條件下，平均濃度達 $9.7\mu g/m^3$ ，濃度最高值為 $23.6\mu g/m^3$ 。其平均濃度最低的為實驗編號 20AoHoCo，開口部開口率 20%、空調系統開啟、

全熱交換系統開啟、空氣清淨設備開啟之狀態，平均濃度為 $4.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，濃度最高值為 $5.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；實驗編號 0AoHcCc，開口部開口率 0%、空調系統開啟、全熱交換系統關閉、空氣清淨設備關閉之狀態，如圖 57 為室外 $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度與室內 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度變化，在室外 $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度 $7.41\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之條件下，平均濃度為 $4.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，濃度最高值為 $5.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ （上述室外懸浮微粒平均濃度資料來源：行政院環境保護署）。

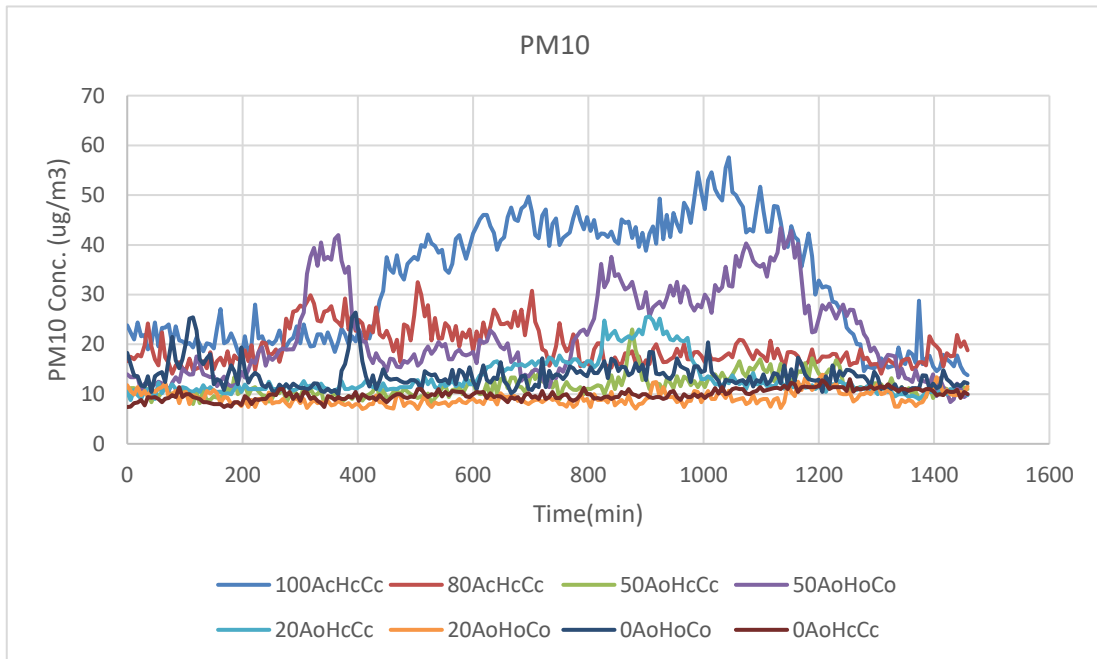


圖 48 各組實驗懸浮微粒(PM_{10})濃度變化

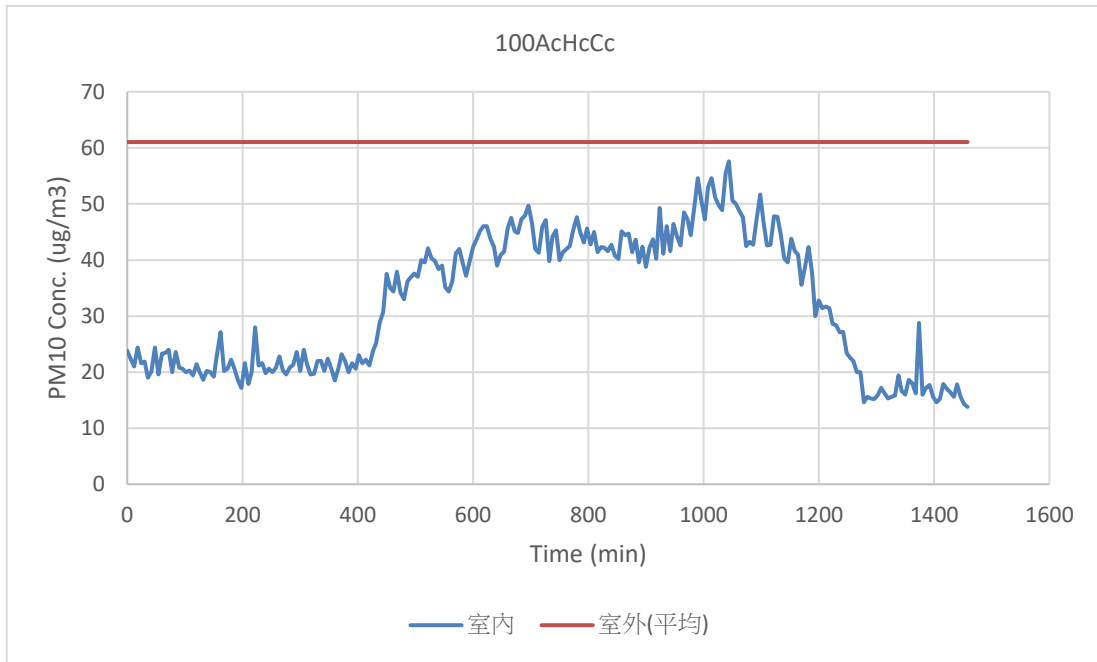


圖 49 實驗編號 100AcHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化
(室外懸浮微粒平均濃度資料來源:行政院環境保護署)

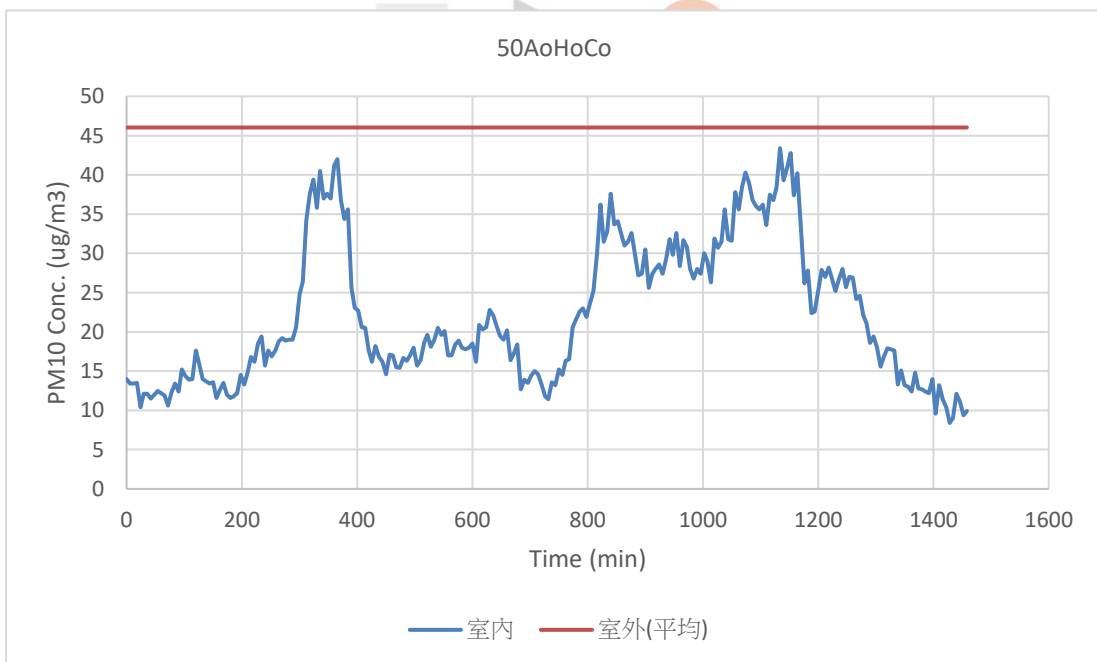


圖 50 實驗編號 50AoHoCo 室內及室外懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化
(室外懸浮微粒平均濃度資料來源:行政院環境保護署)

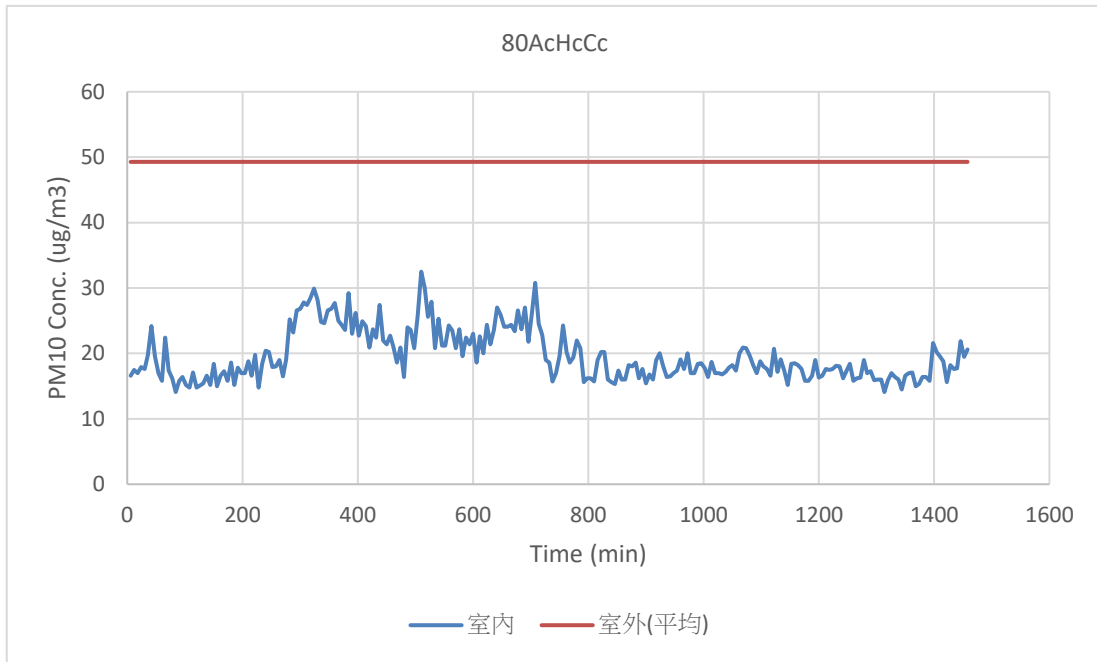


圖 51 實驗編號 80AcHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化
 (室外懸浮微粒平均濃度資料來源:行政院環境保護署)

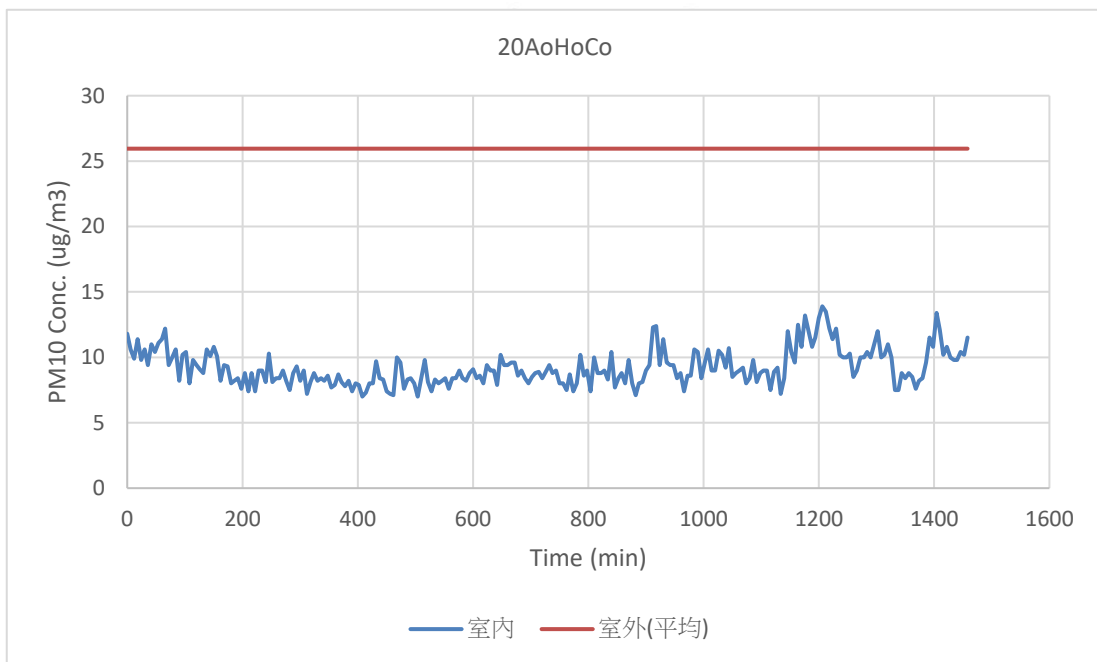


圖 52 實驗編號 20AoHoCo 室內及室外懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化
 (室外懸浮微粒平均濃度資料來源:行政院環境保護署)

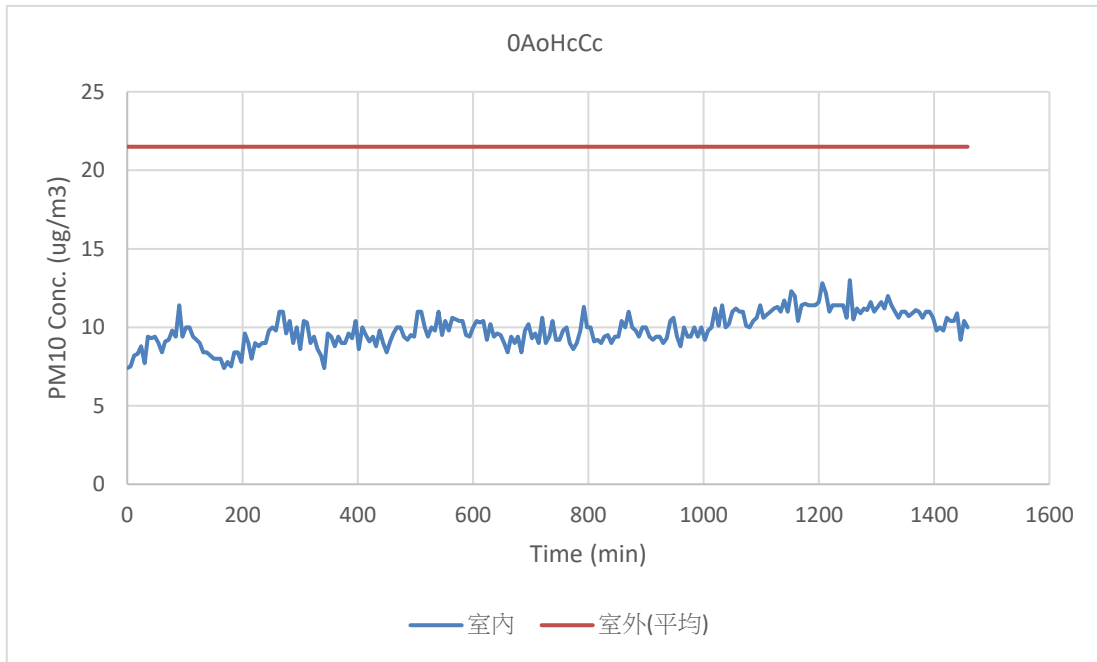


圖 53 實驗編號 0AoHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化
(室外懸浮微粒平均濃度資料來源:行政院環境保護署)

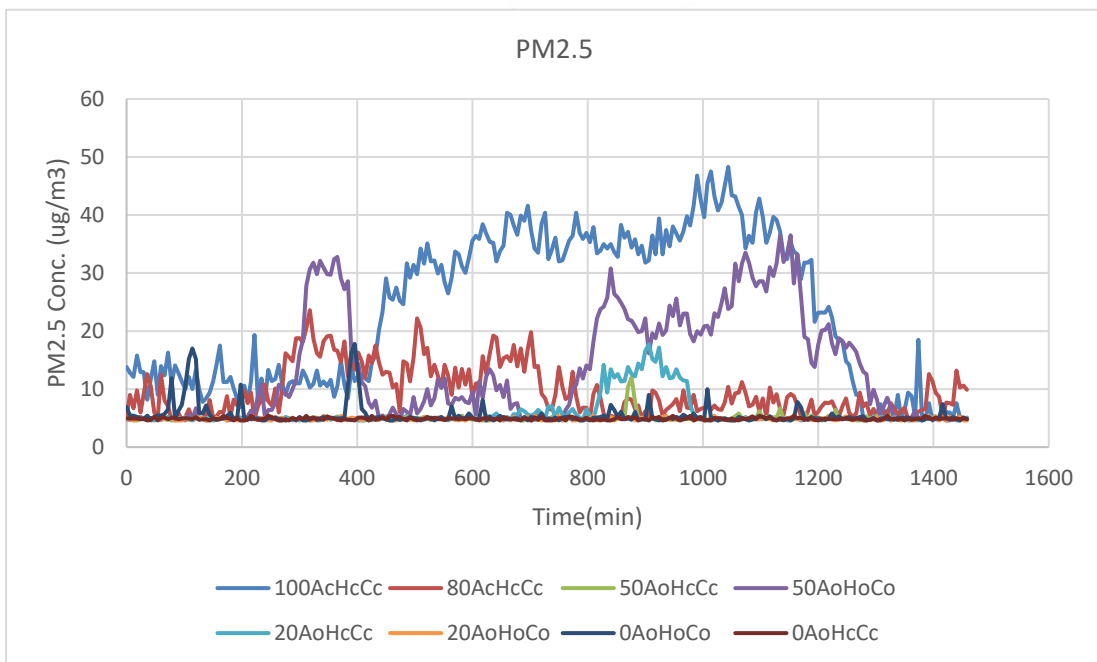


圖 54 各組實驗懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化

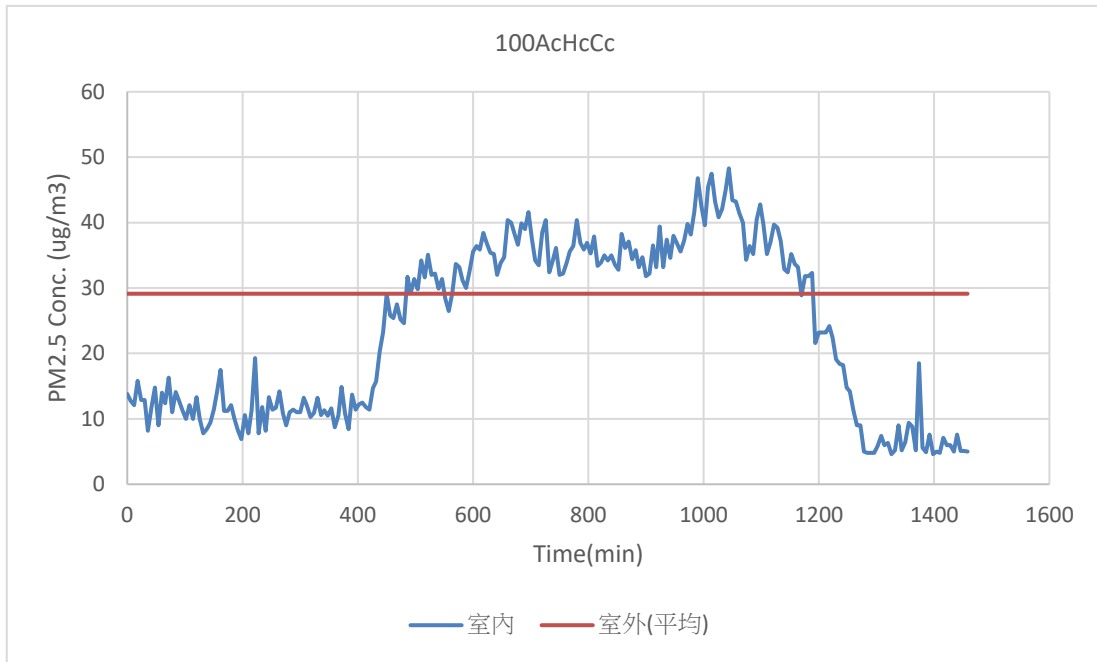


圖 55 實驗編號 100AcHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化
(室外懸浮微粒平均濃度資料來源:行政院環境保護署)

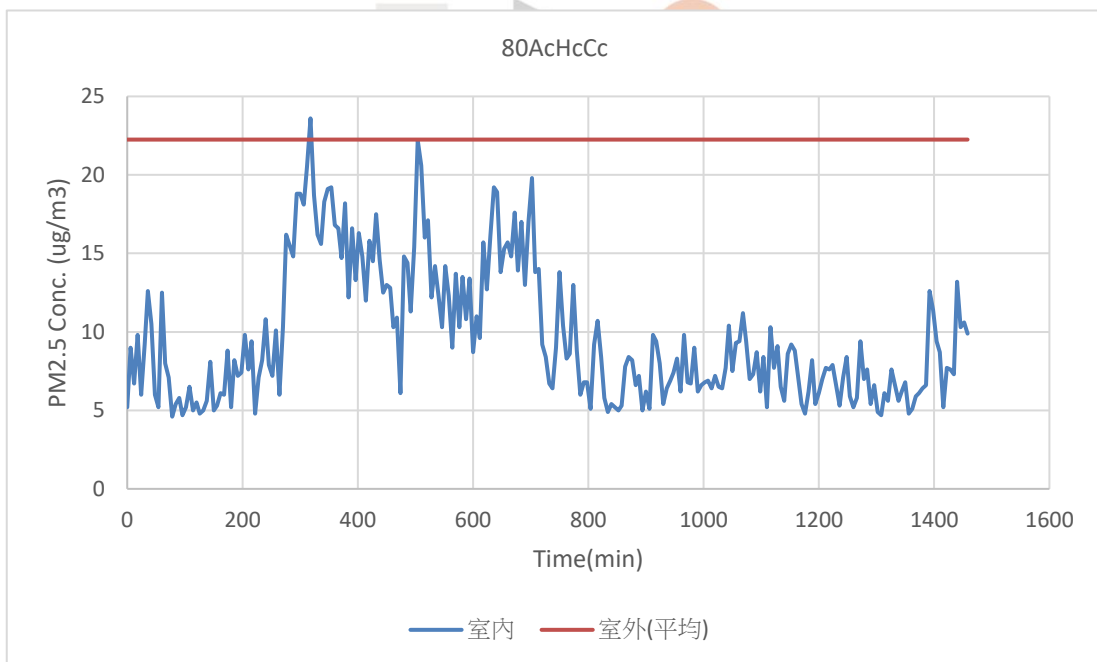


圖 56 實驗編號 80AcHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化
(室外懸浮微粒平均濃度資料來源:行政院環境保護署)

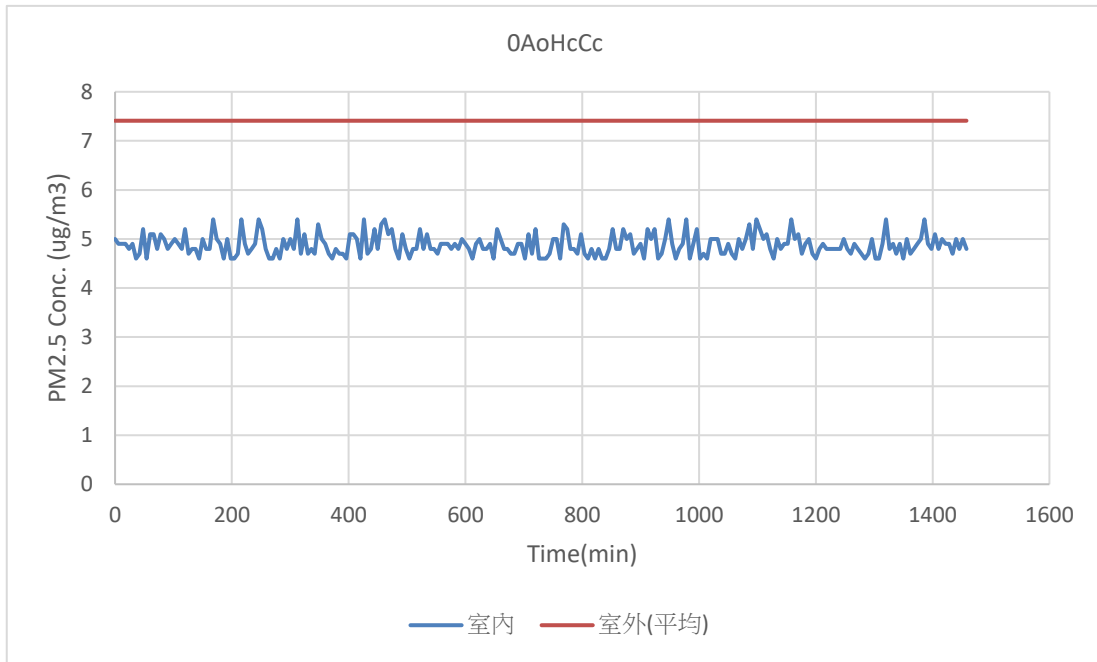


圖 57 實驗編號 0AoHcCc 室內及室外懸浮微粒(PM_{2.5})濃度變化
 (室外懸浮微粒平均濃度資料來源:行政院環境保護署)



4.3 實驗綜合結果分析

(1)在本研究實驗測量中，揮發性有機化合物(TVOC)的部分，如圖 58 為各組實驗揮發性有機化合物(TVOC)濃度平均值及最高值，揮發性有機化合物(TVOC)平均濃度最高的為 0AoHoCo，因室內平均溫度 30.7°C、濕度 72.3%，溫度及濕度偏高，且開口部開口率為 0%，測量出平均濃度達 0.62ppm，濃度最高值為 0.96ppm；平均濃度最低的為 20AoHoCo，因室內平均溫度 27.2°C、濕度 76.5%，且開口部開口率為 20%，測量出平均濃度為 0.32ppm，最高值為 0.47ppm。以開口部開口率來說，當室內完全密閉開口部(開口率為 0%)時，揮發性有機化合物(TVOC)的濃度相對較高；以空調系統來說，維持較低的溫度及濕度，揮發性有機化合物(TVOC)逸散濃度較低；而搭配開啟全熱交換器及空氣清淨設備，使空氣中揮發性有機化合物(TVOC)濃度較低，圖 59 為各組實驗平均溫度，圖 60 為各組實驗平均濕度。

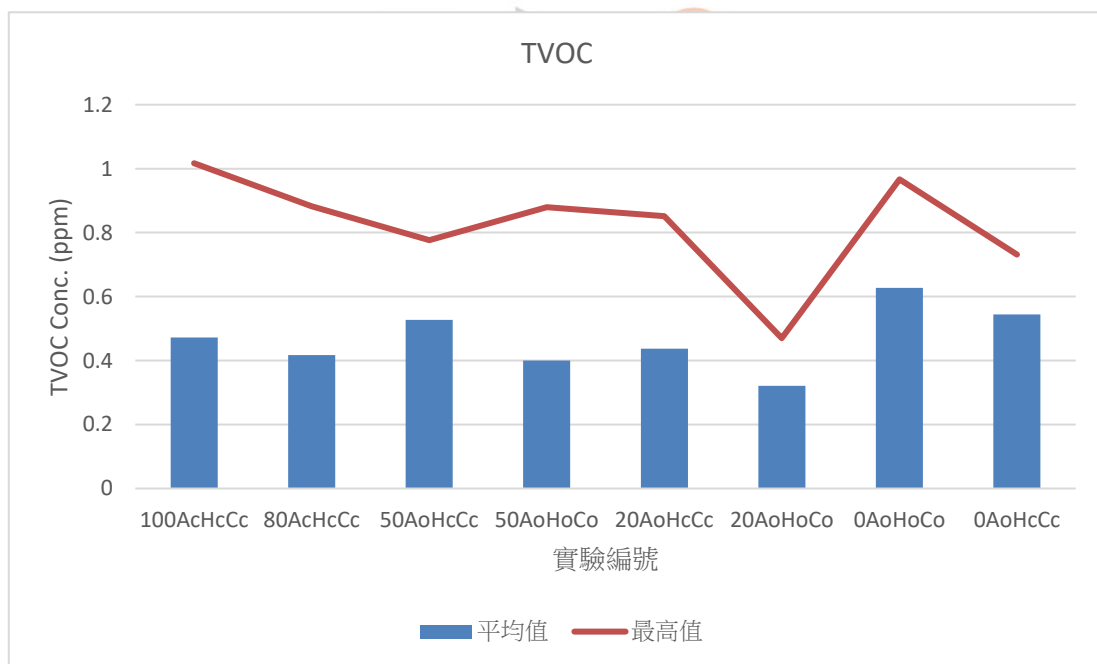


圖 58 各組實驗揮發性有機化合物(TVOC)濃度平均值及最高值

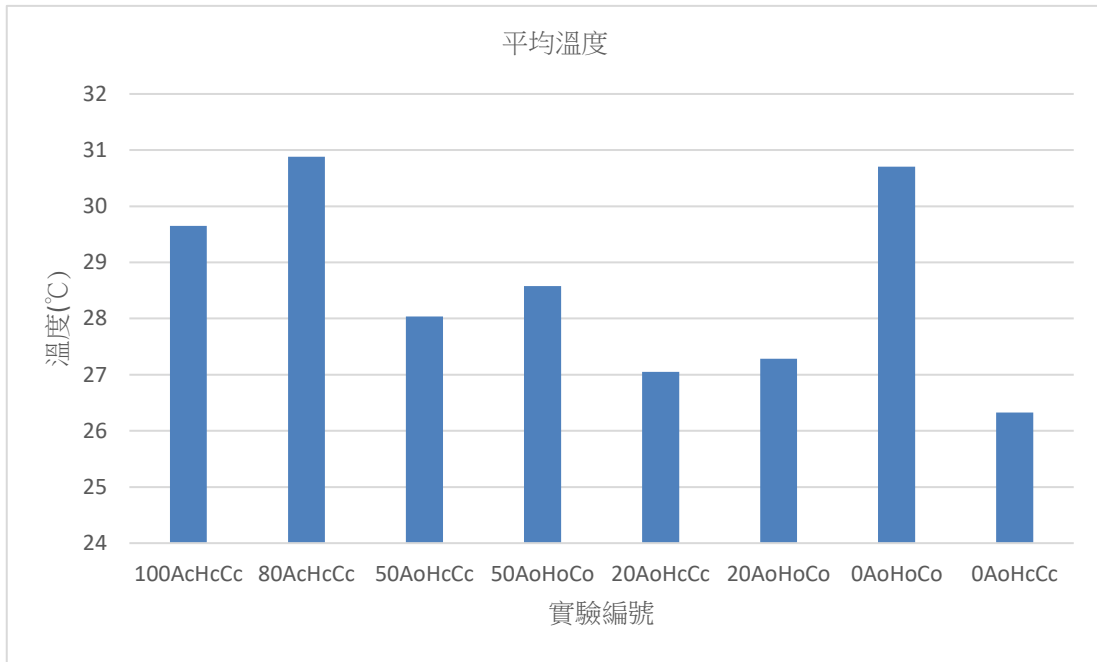


圖 59 各組實驗當日平均溫度

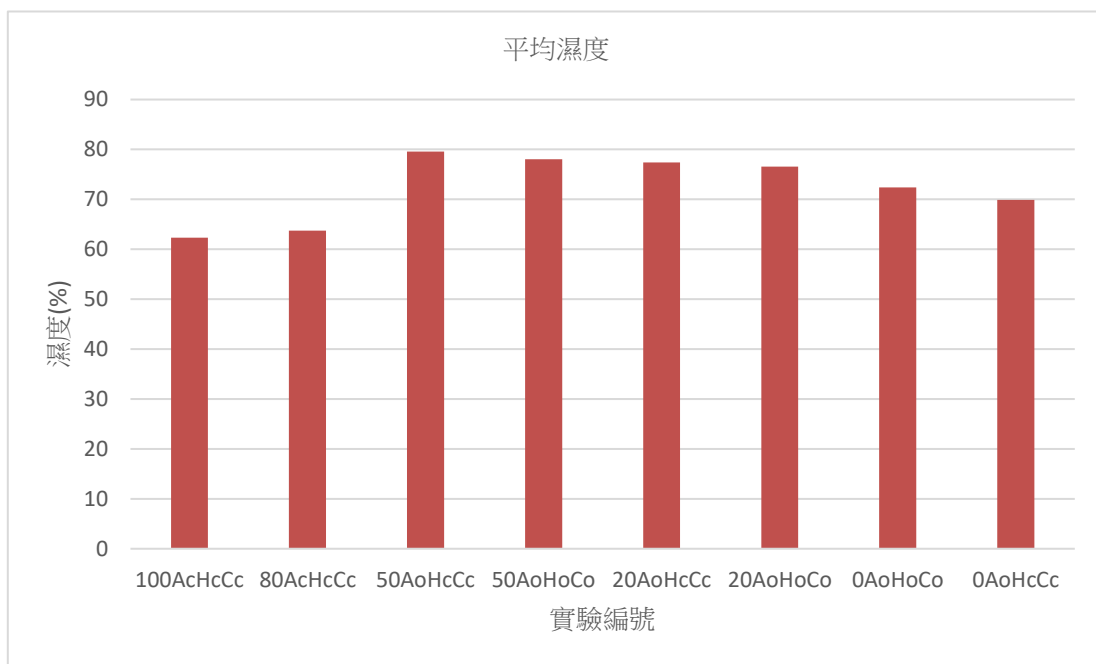


圖 60 各組實驗當日平均濕度

(2)在本研究實驗測量中，懸浮微粒(PM₁₀)的部分，如圖 61 為各組實驗懸浮微粒(PM₁₀)濃度平均值及最高值，圖 62 為各組實驗室外懸浮微粒(PM₁₀)濃度平均值。懸浮微粒(PM₁₀)平均濃度最高的為 100AcHcCc，因開口部開口率為 100%，受到室外 PM₁₀(平均濃度 61.04ug/m³)的影響，平均濃度達 31.4ug/m³，濃度最高值為 57.6ug/m³；懸浮微粒(PM₁₀)平均濃度最低的為 20AoHoCo，因開口部開口率為 20%，而室外 PM₁₀平均濃度 25.95ug/m³，測量出平均濃度為 9.2ug/m³，濃度最高值為 13.9ug/m³。以開口部開口率來說，當開口部完全開啟(開口率為 100%)或完全封閉(開口率為 0%)時，懸浮微粒(PM₁₀)濃度較高；在懸浮微粒低濃度狀態下，以空調系統來說，對於在室內空氣中的懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化較無明顯關係；而全熱交換器及空氣清淨設備對於懸浮微粒(PM₁₀)濃度變化也較無明顯差異。

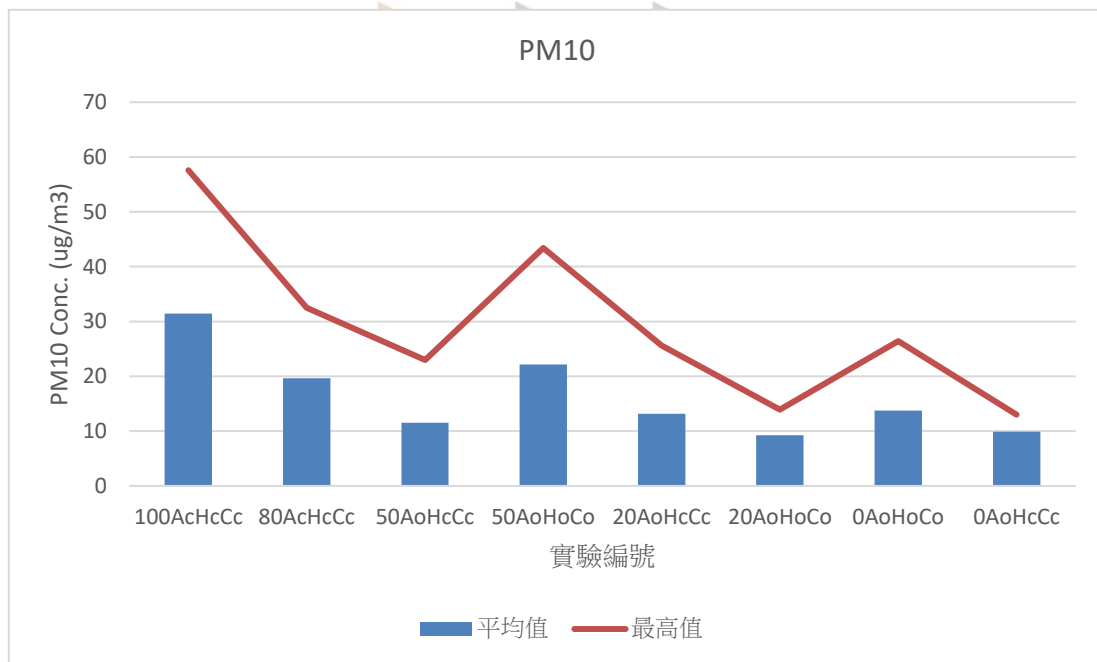


圖 61 各組實驗懸浮微粒(PM₁₀)濃度平均值及最高值

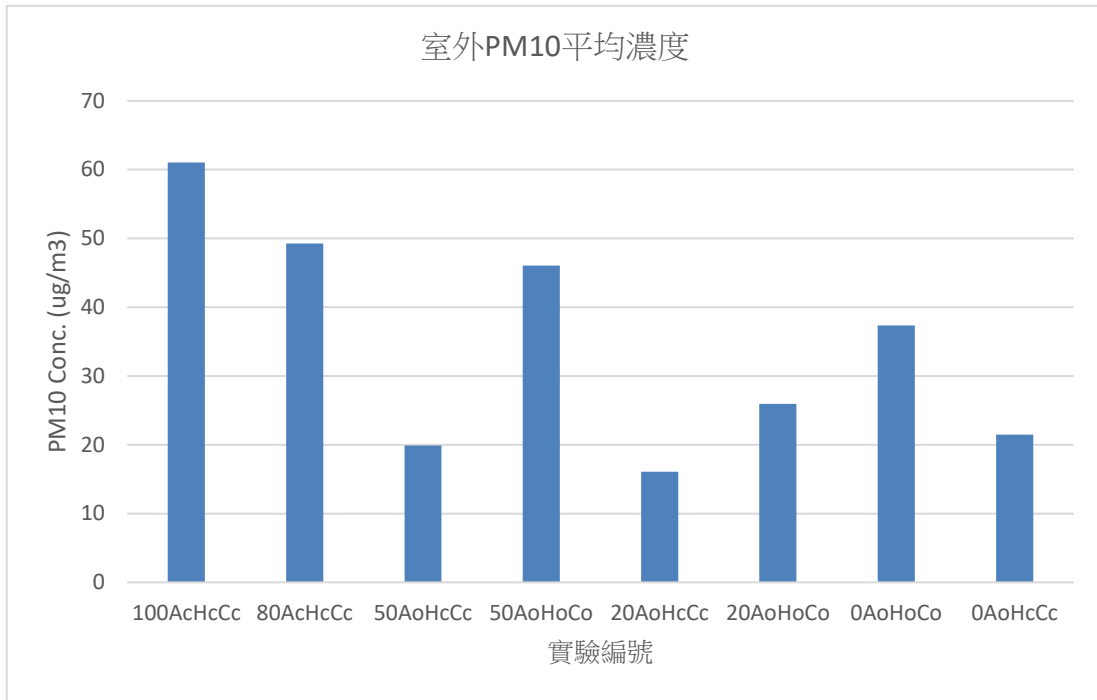


圖 62 各組實驗室外懸浮微粒(PM₁₀)濃度平均值
 (資料來源:行政院環境保護署, 107年橋頭站)



(3)在本研究實驗測量中，懸浮微粒(PM_{2.5})的部分，如圖 63 為各組實驗懸浮微粒(PM_{2.5})濃度平均值及最高值，圖 64 為各組實驗室外懸浮微粒(PM_{2.5})濃度平均值，懸浮微粒(PM_{2.5})平均濃度最高的為 100AcHcCc，因開口部開口率為 100%，受到室外 PM_{2.5}(平均濃度 29.13ug/m³)的影響，平均濃度達 22.7ug/m³，濃度最高值為 48.3ug/m³；平均濃度最低的為 20AoHoCo，因口部開口率為 20%，測量出平均濃度為 4.8ug/m³，濃度最高值為 5.4ug/m³。以開口部開口率來說，開口部開口率越大，懸浮微粒(PM_{2.5})的濃度就越高；在懸浮微粒低濃度狀態下，以空調系統來說，對於在室內空氣中的懸浮微粒(PM_{2.5})濃度較無明顯關係；而全熱交換器及空氣清淨設備對於懸浮微粒(PM_{2.5})也較無明顯差異。

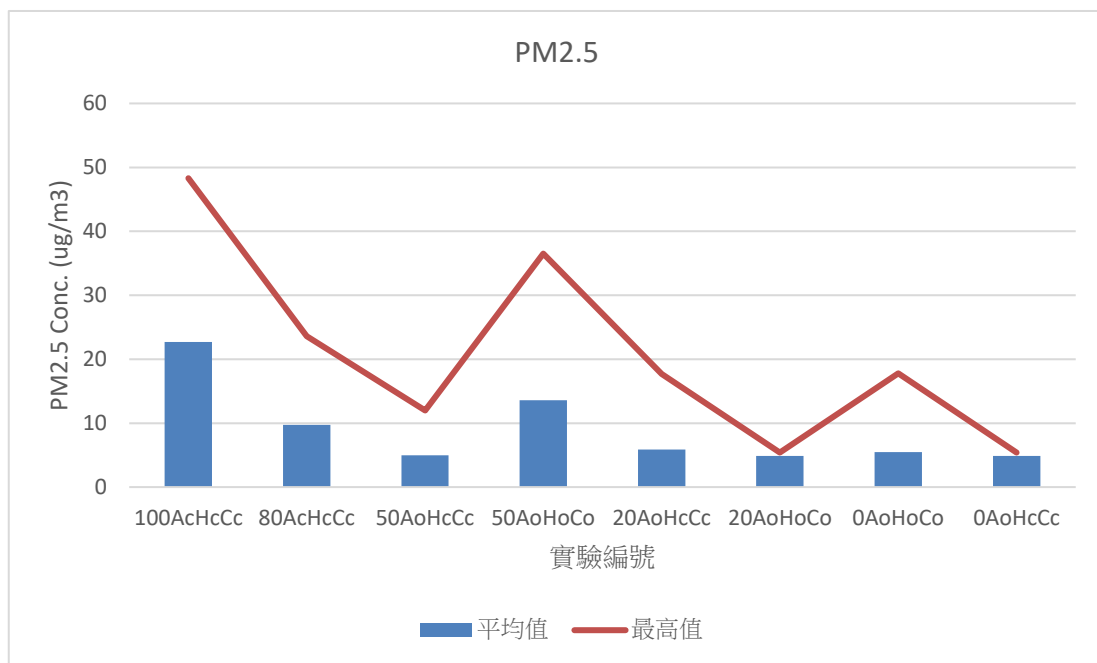


圖 63 各組實驗懸浮微粒(PM_{2.5})濃度平均值及最高值

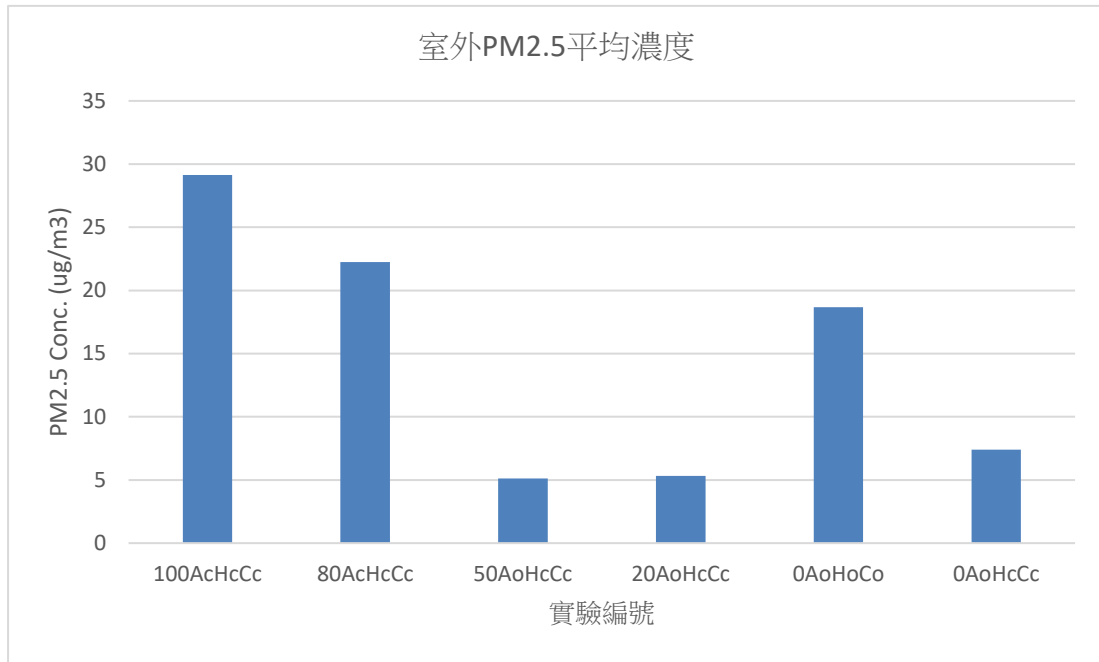


圖 64 各組實驗當日室外懸浮微粒(PM_{2.5})濃度平均值
 (資料來源:行政院環境保護署, 107年橋頭站)



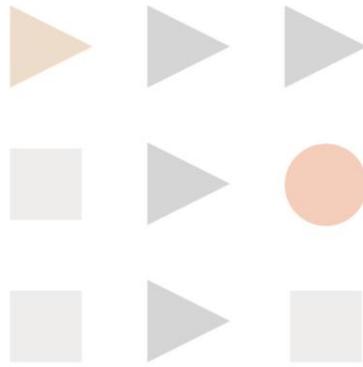
五、結論與建議

5.1 結論

- (1)揮發性有機化合物(TVOC)實驗分析，綜合8組實驗之結果，開口部開口率為0%時，TVOC濃度較高。當平均溫度達28°C以上，相對濕度達70%以上時，TVOC濃度較高。因此，揮發性有機化合物(TVOC)濃度過高時，開口部開口率建議開啟20%讓空氣通風，室內平均溫度建議值建議維持在25~27°C，濕度建議值建議維持在70%以內較佳，可搭配全熱交換器及空氣清淨設備使用。
- (2)懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})經由實驗分析，綜合8組實驗之結果，開口部開口率為100%時，室內懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})濃度會受到室外懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})污染物影響，使得室內的懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})濃度較高；但當開口部開口率為0%時，室內懸浮微粒(PM₁₀)因在室內積蓄無法排出，而污染濃度也相對偏高。懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})濃度過高時，室內開口部開口率建議開啟50%至20%讓空氣通風，且要依照室外污染物濃度斟酌開口率大小。在懸浮微粒低濃度狀態下，全熱交換器及空氣清淨設備使用上對於懸浮微粒(PM₁₀/PM_{2.5})較無明顯幫助。
- (3)從建築介面來看，使室內空氣品質影響較大的因子為建築開口部開口率，當未開窗(開口部開口率為0%)時，使污染物在室內積蓄無法排出；而當窗戶完全開啟(開口部開口率為100%)時，易使室內空氣品質受到室外髒空氣、污染物影響。空調系統、全熱交換器及空氣清淨設備等，對於空氣污染物屬輔助設備，較無法取代通風移除污染物，此實驗結果證明了室內空氣通風換氣之重要性。

5.2 建議

- (1) 建議後續研究，能在設備上、建材、家具以及人員進出等可能影響因子，持續分階段追蹤紀錄，以確保其室內空間室內空氣品質之發展情形，建立完整的追蹤紀錄機制，納入未來使用管理維護室內空氣品質改善之依據。
- (2) 在建築介面上可另增加其他影響因子，參考多元變因上對於室內空氣品質的影響，及找出其污染物移除或改善的解決方案。



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

參考文獻

一、英文文獻

Anderson, I., G. R. Lundquist, and L. Molhave, "Indoor Air Pollution Due to Chipboard Used as A Construction Material," *Atmosphere Environment*, vol. 9, pp. 1121-1127, 1975.

Breysse, P.A., Formaldehyde levels and accompanying symptoms associated with individuals residing in over 1000 conventional and mobile homes in the state of Washington. *Indoor Air*, 1984(3) : 403-408.

Broder I, et al. Comparison of health of occupations and characteristics of house among control homes and homes insulated with urea-formaldehyde foam insulation, *I. Methodology Environ.* 1988(45):414-55.

Sterling DA, "Volatile organic compounds in indoor air: an overview of sources, concentrations and health effects," In: Gammage RB, Kaye SV, eds. *Indoor air and human health*. Chelsea, MI: Lewis Publishers, 1985 (11) : 387-402

二、中文文獻

江哲銘、邵文政、陳逸青、陳振誠，建材揮發性有機物質逸散行為預測模式之研究，2006年。

江哲銘、楊武泰、李俊璋、何明錦、陳瑞鈴、羅時麒，建築室內空氣品質最佳化量測方法之研究—以辦公建築及寺廟建築為例，2009年。

何宇琪，氣候變異對室內空氣品質的影響：台灣大氣環境中各指標與污染物及其相對室內濃度之15年變化趨勢，2013年。

林君穎，環境因子對室內建材 VOCs 及 Formaldehyde 逸散率之影響研究，2004年。

許澤恩，空氣清淨機濾網及元件去除室內空氣污染物之去除效能評估，2007年。

孫煒超，室內空氣品質診斷與改善方法之研究—以建築實品屋為例，2012年。

陳振誠，台灣本土氣候下換氣率影響建材有機物質逸散特性之研究—以合板及清漆為例，2004年。

陳振誠，室內建材逸散污染物及通風換氣移除效率之研究，2012年。

葉士鳴，大氣中懸浮微粒含碳成分之分佈與來源，2002年。

蔡佳哲，改善與監控室內空氣品質物聯網系統，2017年。

劉肇昀、曾昭衡，室內空氣品質改善策略—通風換氣，2017年。

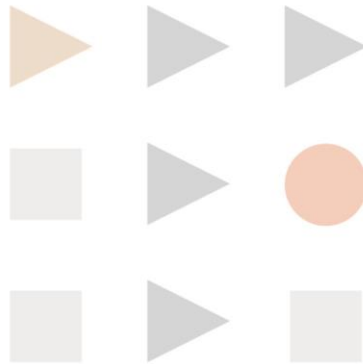
羅時麒，建築材料釋放揮發性有機化合物對室內空氣品質影響之研究，2013年。

蘇憲訓，建材裝修負荷率對室內空氣品質影響之研究—以實驗研究類型空間為例，2011年。

三、網路引用資料

行政院環境保護署，空氣品質監測網，2018 年。

取自：<https://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/YearlyDataDownload.aspx>



東方設計大學
TUNGFANG DESIGN UNIVERSITY

附錄

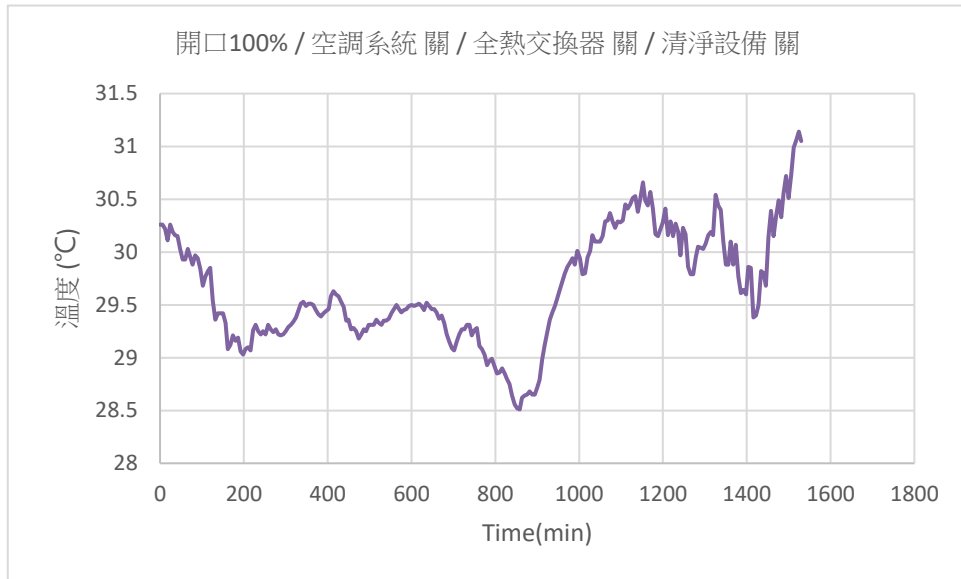


圖 1 實驗編號 100AcHcCc-溫度變化

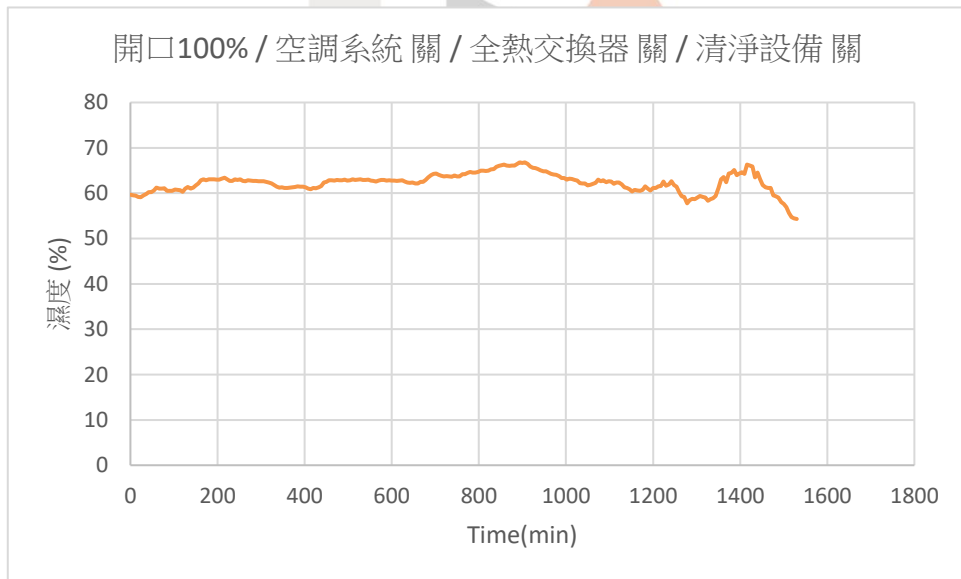


圖 2 實驗編號 100AcHcCc-濕度變化

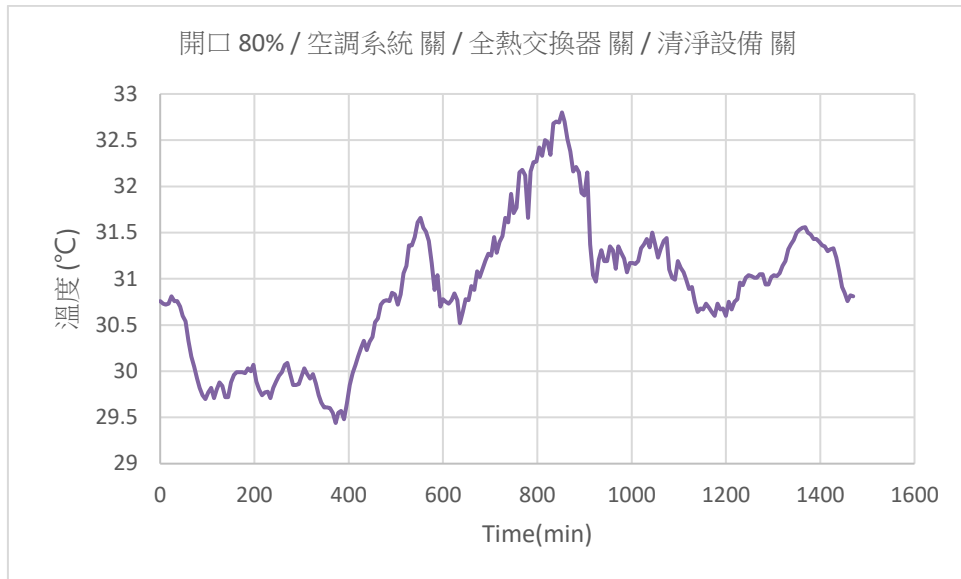


圖 3 實驗編號 80AcHcCc-溫度變化

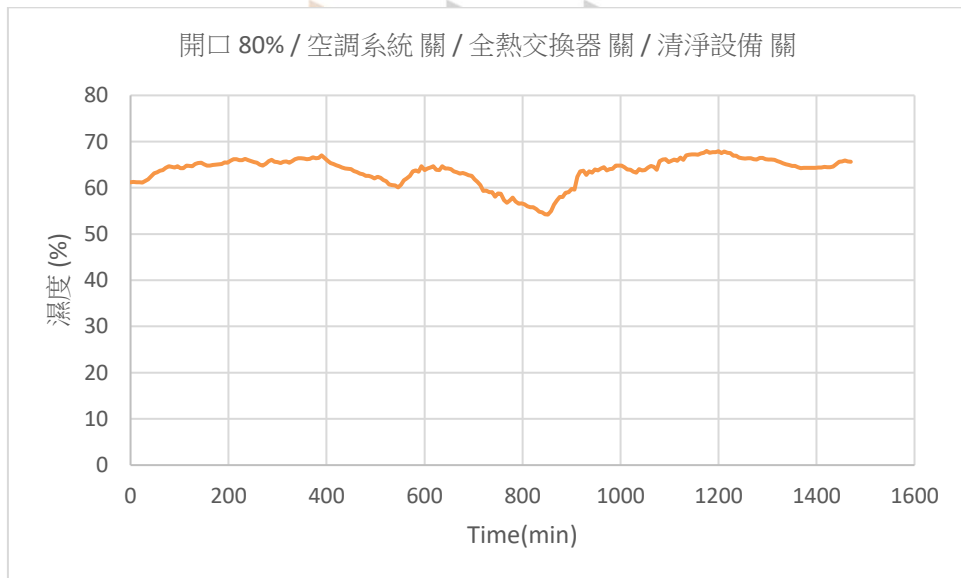


圖 4 實驗編號 80AcHcCc-濕度變化

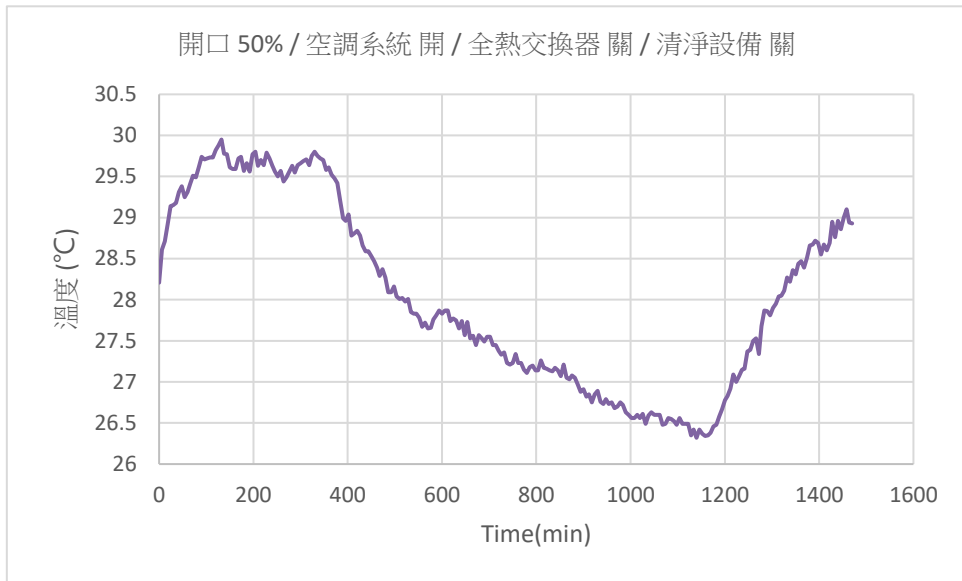


圖 5 實驗編號 50AoHcCc-溫度變化

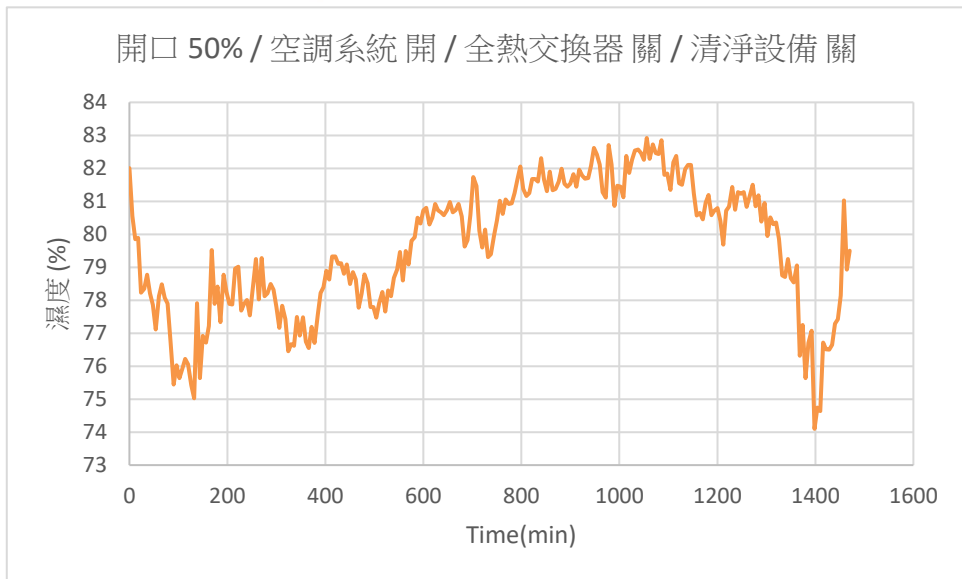


圖 6 實驗編號 50AoHcCc-濕度變化

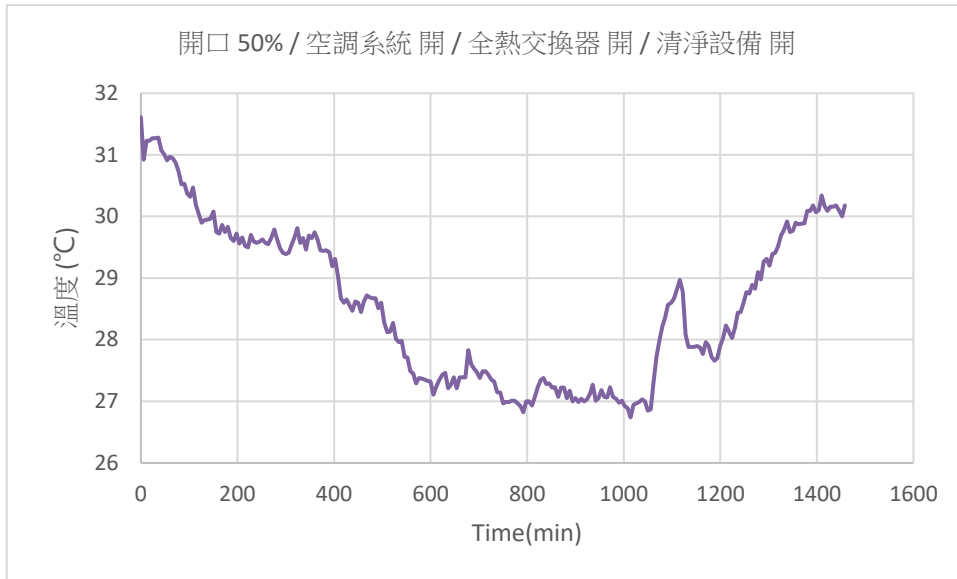


圖 7 實驗編號 50AoHoCo-溫度變化

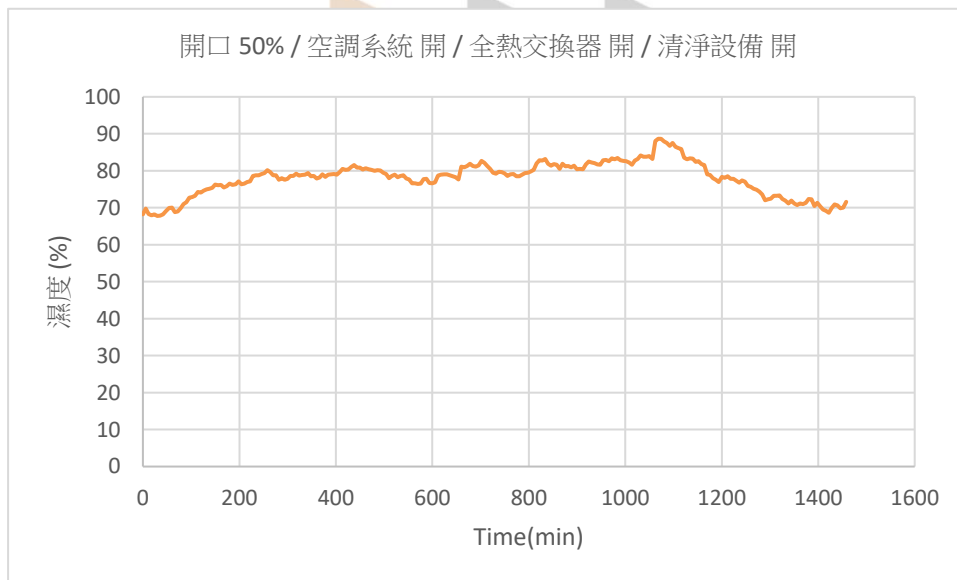


圖 8 實驗編號 50AoHoCo-濕度變化

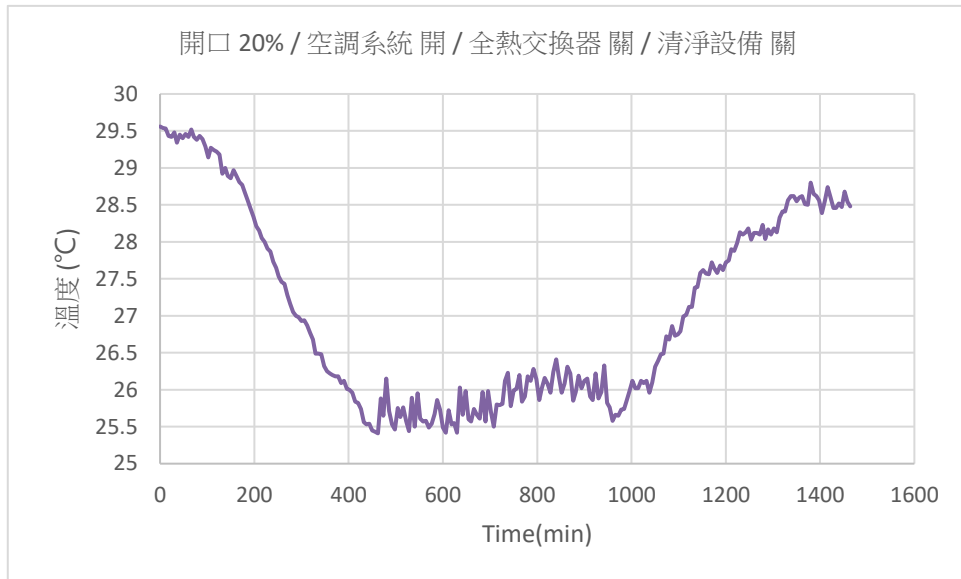


圖 9 實驗編號 20AoHcCc-溫度變化

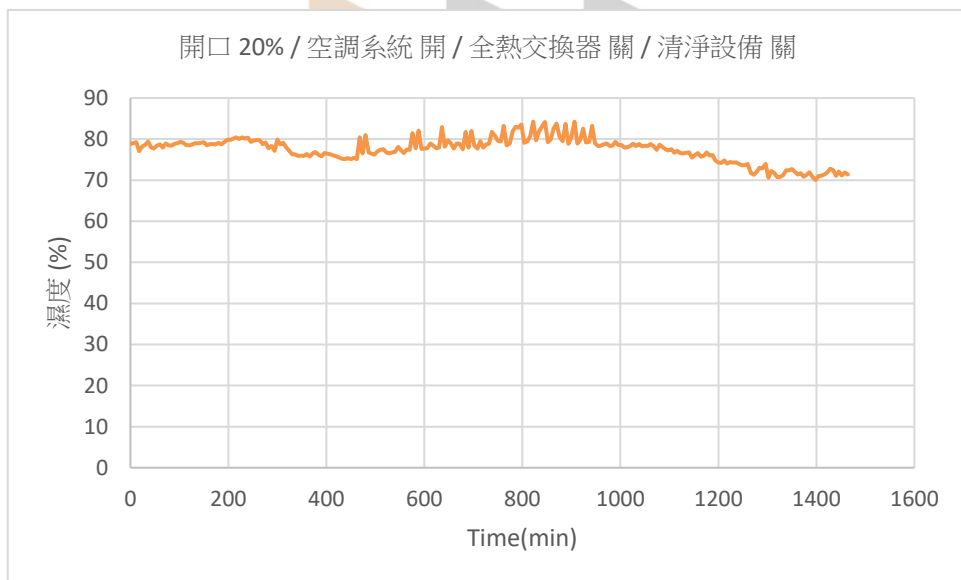


圖 10 實驗編號 20AoHcCc-濕度變化

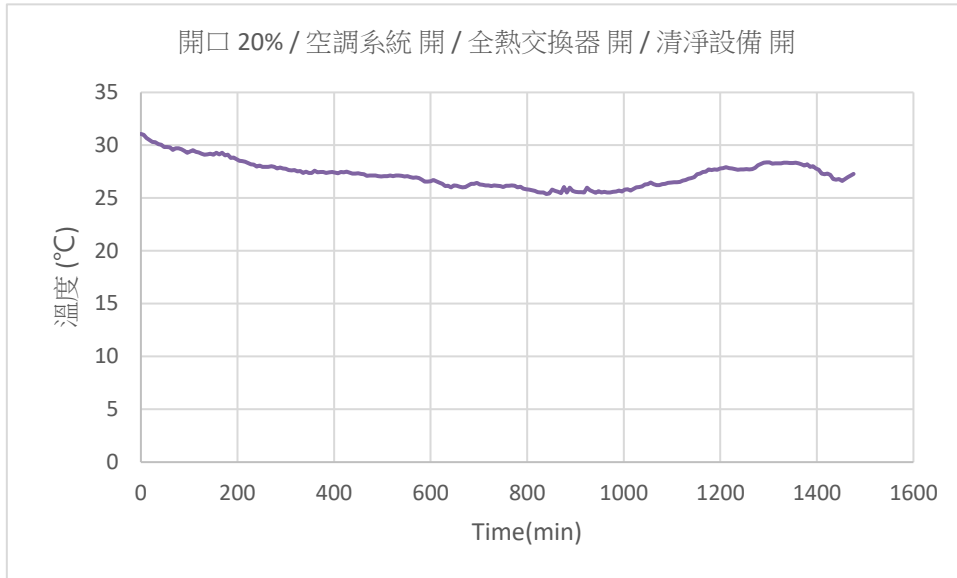


圖 11 實驗編號 20AoHoCo-溫度變化

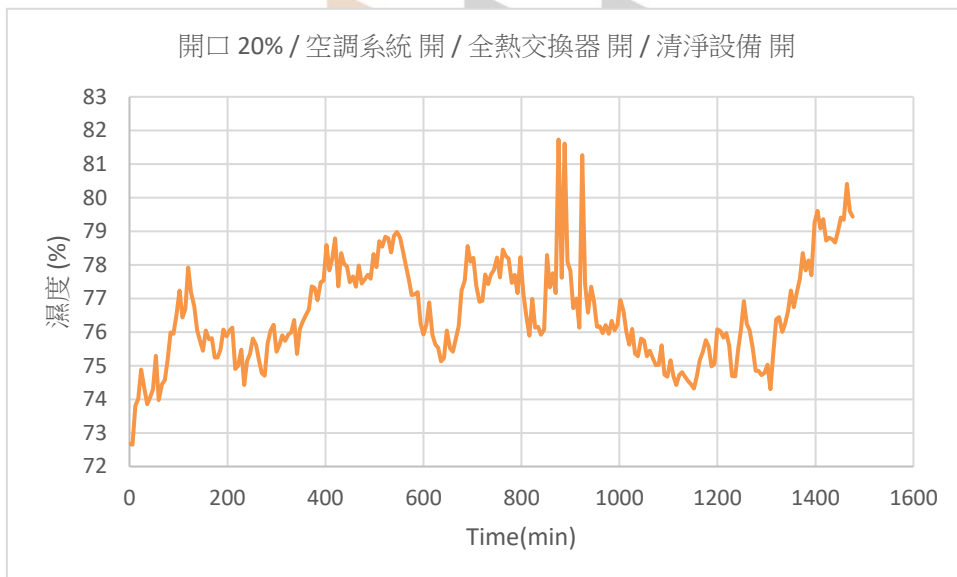


圖 12 實驗編號 20AoHoCo-濕度變化

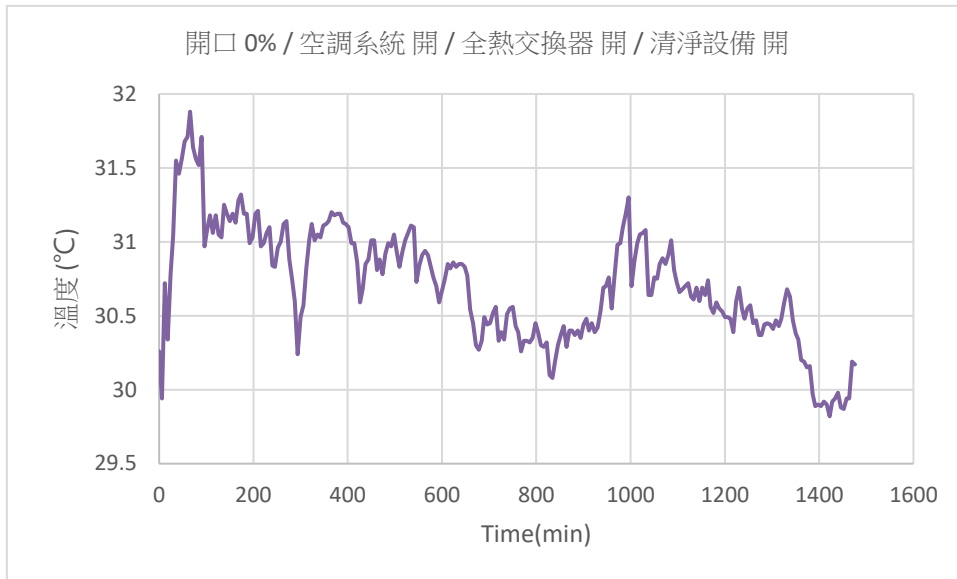


圖 13 實驗編號 0AoHoCo-溫度變化

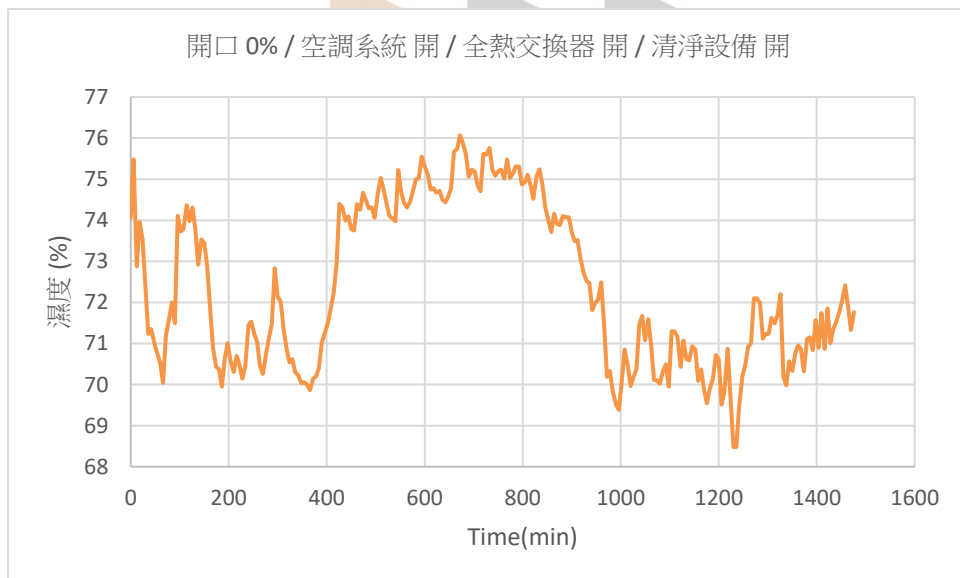


圖 14 實驗編號 0AoHoCo-濕度變化

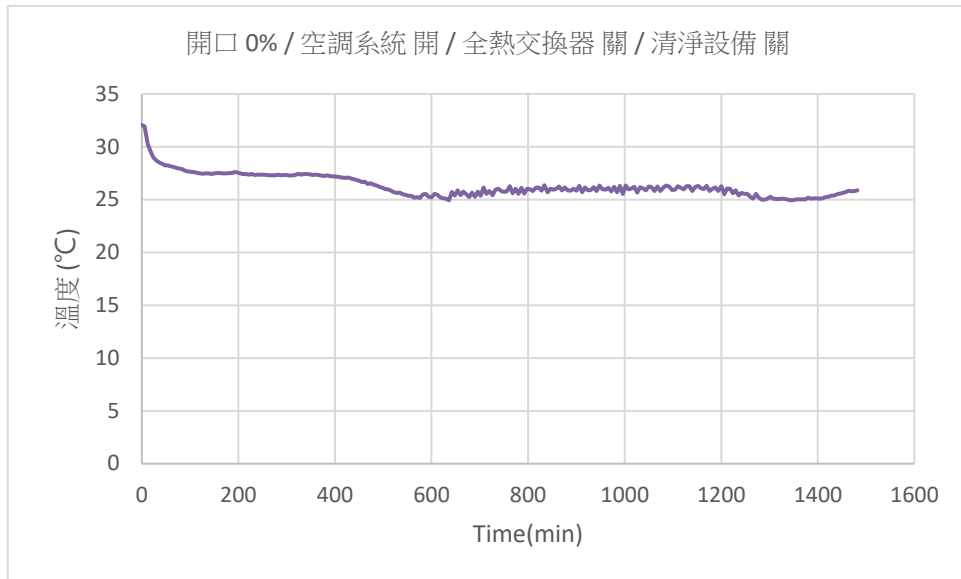


圖 15 實驗編號 0AoHcCc-溫度變化

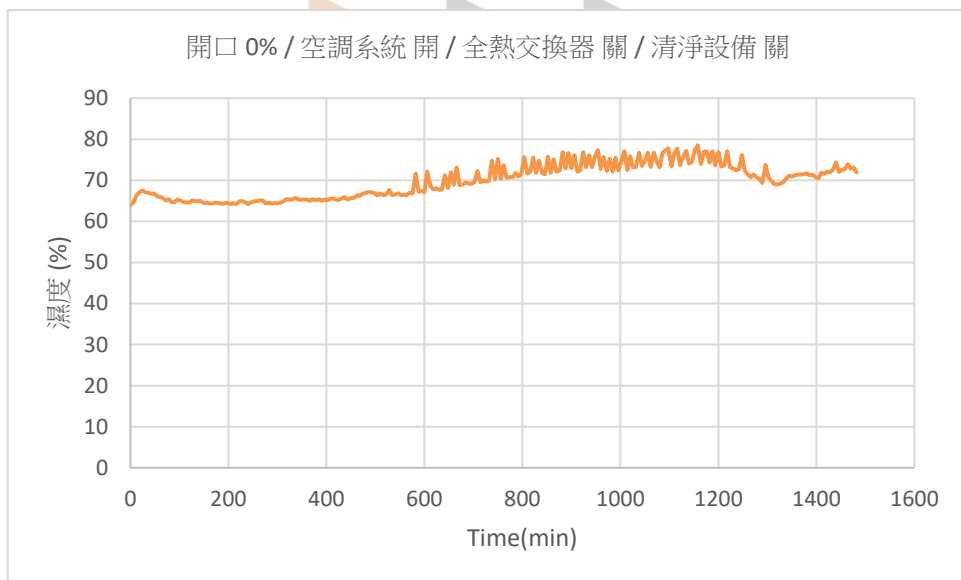


圖 16 實驗編號 0AoHcCc-濕度變化