

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability


College of Science and Technology

Nanhua University

Master Thesis

應用物聯網技術於室內空氣品質即時改善系統

Application of Internet of Thing on the Real-Time Improvement  
System of Indoor Air Quality



陳其南

Chi-Nan Chen

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 110 年 6 月

June 2021

# 南華大學

永續綠色科技碩士學位學程

碩士學位論文

應用物聯網技術於室內空氣品質即時改善系統

Application of Internet of Thing on the Real-Time

Improvement System of Indoor Air Quality

研究生：陳其南

經考試合格特此證明

口試委員：林裕益

陳柏青

洪耀明

指導教授：洪耀明

系主任(所長)：林文賜

口試日期：中華民國 110 年 05 月 22 日

## 誌謝

感謝南華大學永續綠色科技碩士學位學程，提供升學管道深造的機會，更感謝求學的這段期間給予我諸多建議的指導老師洪耀明教授，因為有洪教授在我從專業職場進入到碩士班的這兩年內，細心的教導我，教授許多關於專業感測技能與無線感測的運用，也教會了我許多做學問的方法。再次發自內心的感謝他種種的教誨，才能讓我順利完成畢業論文。同時也非常感謝陳柏青教授、林文賜教授對於本論文的指導，使敝人的研究得以更臻完善。

特別感謝同期的同儕鈞豪、淑菁、馥瑛、正華同學在這兩年間一起教學相長，相互交換在職專業領域的知識、發現問題及解決問題、砥礪彼此；以及學長、姊們，平民、明振、元馨諸學長鼓勵，分享經驗，在我的碩士班學習階段給予我諸多幫助；還有志彬、順麗、本安、秀霞、璩駿幾位學弟、妹一起相互勉勵交換心得，感謝大家在這兩年間互相嘻笑、打鬧、鞭策。每段共同經歷的美好時光，都是我這輩子沒齒難忘的經驗。同時感謝我的家人以及朋友在背後默默的支持著我，讓我沒有後顧之憂的勇往直前，專心鑽研學習。如果這一份薄薄論文能有所貢獻，請將榮耀歸於他們。

## 中文摘要

都市居民超過 90% 時間在室內度過，室內空氣品質(Indoor Air Quality, IAQ)好壞影響人的生產和生活。本研究以降低空氣污染物濃度及通風換氣技術，配合物聯網(Internet of Things, IoT)建立室內空氣品質控制系統。首先採用靜電集塵技術以及活性炭物理吸附模組建立空氣品質改善技術，並收集多處室內封閉型辦公處所低濃度有害氣體及細懸浮粒子 PM2.5 吸附的數據；再依據所收集數據，應用物聯網技術，建立空氣品質即時改善系統，當空氣品質將低於標準時，立即啟動空氣品質即時改善系統以維持室內空氣品質；實驗成果顯示，QQair 空氣清淨機產品直接收集、落地型及天花板型之 PM2.5 移除率達 99%，PM0.3 $\mu\text{m}$ ~5.0 $\mu\text{m}$  移除率達 99%，開啟空氣清淨機 10 分鐘，室內 CO<sub>2</sub> 降低率約 30%~40%。

關鍵詞：物聯網、室內空氣品質、即時改善系統

# Abstract

Urban residents spend more than 90% of their time indoors. Indoor Air Quality (IAQ) affects people's production and life. This study combined internet of thing (IoT), the reduce of pollutant concentration, and Ventilation technology to develop a Real-Time Air Quality Improvement System(RTAQIS). Firstly, air quality improvement technology was established based on activated carbon and electrostatic dust collection technology. The data, including the adsorption of low concentration harmful gases and suspended particles PM<sub>2.5</sub> in 17 indoor enclosed office buildings, were collected. Based on the collected data, IoT was used to establish RTAQIS. When the air quality will be lower than the standard, RTAQIS starts to maintain indoor air quality immediately. Experimental outcomes showed that three QQair air purifier products, including a direct collection, floor-to-ceiling and ceiling-types, all of PM<sub>2.5</sub> removal rate reach 99%, and a PM<sub>0.3μm~5.0μm</sub> removal rate is 99%. When the air purifier is turned on for 10 minutes, the indoor CO<sub>2</sub> reduction rate is about 30%~40%.

**Keywords:** Internet of thing, Indoor Air Quality, Real-Time Improvement System

# 目錄

誌謝 .....	I
中文摘要 .....	II
ABSTRACT .....	III
目錄 .....	IV
表目錄 .....	VI
圖目錄 .....	VII
第一章 前言 .....	1
1.1 研究動機 .....	2
1.2 研究目的 .....	3
1.3 研究限制 .....	3
1.4 研究流程 .....	4
第二章 文獻回顧 .....	6
2.1 空氣清淨的方法 .....	6
2.2 過濾器的型式 .....	6
2.2.1 整體或嵌板過濾器 .....	7
2.2.2 自動清潔或自動翻新過濾器 .....	9
2.2.3 其他類型的過濾器 .....	13
2.3 稀釋 CO <sub>2</sub> 二氧化碳濃度 .....	14
2.4 物聯網架構運用 .....	15
2.5 空氣品質標準 .....	17
第三章 研究方法 .....	20
3.1 研究設備 .....	20

3.1.1 空氣清淨設備.....	20
3.1.2 量測設備.....	27
3.1.3 油霧產生機.....	31
3.2 實驗架構.....	33
3.2.1 實驗配置.....	35
3.2.2 試驗量測.....	36
3.2.3 污染物顆粒收集.....	37
3.2.4 實驗條件.....	39
第四章 結果與討論.....	40
4.1 實驗結果.....	40
4.1.1 PM2.5 直接收集移除率實驗.....	40
4.1.2 CO <sub>2</sub> 二氧化碳濃度稀釋實驗.....	41
4.1.3 落地及天花板型空氣清淨機 PM2.5 移除率實驗.....	46
4.1.4 PM0.3~5 $\mu$ m 移除率實驗.....	52
4.1.5 遠端操作 PM2.5 移除率實驗.....	56
4.2 空氣淨化設計實現與討論.....	63
第五章 結論與建議.....	65
5.1 結論.....	65
5.2 建議.....	66
參考文獻.....	68
附錄一 國家空調設備質量監督檢驗 TEST REPORT 2019.....	68

## 表目錄

表 2-1 過濾器效能比.....	9
表 2-2 電子式空氣清潔器與其他形式空氣清潔器優缺點比較.....	11
表 2-3 室內空氣品質建議值.....	18
表 2-4 PM2.5 指標對照表與活動建議.....	18
表 4-1 細懸浮微粒 PM2.5 移除效率出風口測試 2 .....	41
表 4-2 CO <sub>2</sub> 二氧化碳濃度稀釋測試紀錄.....	46
表 4-3 實驗會議室空間感測點 A 之 PM2.5 移除率實驗記錄.....	47
表 4-4 實驗會議室空間感測點 B 之 PM2.5 移除率實驗記錄.....	50
表 4-5 QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R 規格表 .....	52
表 4-6 實驗場域背景值 PM0.3 $\mu$ m ~5.0 $\mu$ m 顆粒採樣紀錄 .....	53
表 4-7 AC-680R 出風口 PM0.3 $\mu$ m~5 $\mu$ m 第一次量測紀錄 .....	53
表 4-8 AC-680R 出風口 PM0.3 $\mu$ m~5 $\mu$ m 第二次量測紀錄 .....	54
表 4-9 wifi 遠端監控細懸浮微粒 PM2.5 指數移除紀錄.....	63



## 圖目錄

圖 1-1 研究流程圖.....	5
圖 2-1 CO <sub>2</sub> 二氧化碳濃度對人體的影響.....	15
圖 2-2 物聯網架構圖.....	17
圖 3-1 靜電集塵器及活性炭脫臭濾網過濾器原理圖.....	21
圖 3-2 靜電集塵器配備參考圖.....	22
圖 3-3 QQair 天花板隱藏型.....	23
圖 3-4 QQair 落地上吹型.....	24
圖 3-5 空氣品質揭示板.....	25
圖 3-6 QQair 空氣品質揭示板介面.....	26
圖 3-7 QQair 空氣品質揭示板介面 2.....	26
圖 3-8 wifi 遠端監控 app 顯示介面.....	27
圖 3-9 Matone HHP-6 攜帶式懸浮粒子計數器.....	28
圖 3-10 激光測霾儀 HK-B5S.....	29
圖 3-11 CO <sub>2</sub> 二氧化碳感測器.....	30
圖 3-12 C1SP：空氣品質監測儀.....	31
圖 3-13 油霧產生機.....	32
圖 3-14 油霧產生機操作照片.....	33
圖 3-15 試驗流程與物聯網系統運用.....	34
圖 3-16 實驗流程.....	34
圖 3-17 空氣清淨模式控制.....	35
圖 3-18 實驗配置流程架構.....	36
圖 3-19 實驗場域室外對照環境背景值.....	37
圖 3-20 實驗流程架構操作示意圖.....	38
圖 3-21 示範案例空氣清淨機出風口檢測示意圖.....	39

圖 4-1 監測實驗場域戶外空氣品質背景值.....	41
圖 4-2 實驗場域戶外 CO <sub>2</sub> 二氧化碳濃度監測數據.....	42
圖 4-3 實驗空間室內 CO <sub>2</sub> 二氧化碳使用前進行量測.....	43
圖 4-4 實驗場域室內空間於使用經過 1 小時之後監測數據.....	43
圖 4-5 實驗場域室內空間於使用經過 2 小時之後監測數據.....	44
圖 4-6 QQair 新風型空氣清淨機 AC-602R 新鮮空氣引進.....	45
圖 4-7 QQair 新風型空氣清淨機 AC-602R 新鮮空氣引進 10 分鐘 CO <sub>2</sub> .....	46
圖 4-8 PM2.5 移除率實驗場域會議室感測點 A 操作示意圖.....	47
圖 4-9 實驗場域 A 空間感測點 A 之 PM2.5 移除率實驗記錄.....	49
圖 4-10 PM2.5 移除率實驗場域會議室感測點 B 操作示意圖.....	50
圖 4-11 實驗場域 A 空間感測點 B 之 PM2.5 移除率實驗記錄.....	52
圖 4-12 Matone HHPC-6 攜帶式懸浮粒子計數器.....	52
圖 4-13 細懸浮微粒直徑 PM0.3 $\mu$ M~5.0 $\mu$ M (微米)移除效率.....	54
圖 4-14 細懸浮微粒直徑 PM0.3 $\mu$ M~5.0 $\mu$ M (微米)移除效率 2.....	56
圖 4-15 QQair 遠端監控環境背景值監測.....	57
圖 4-16 QQair 遠端監控開機 3 分鐘後監測數據.....	58
圖 4-17 QQair 遠端監控每次間隔 2 分鐘持續監測.....	59
圖 4-18 QQair 遠端監控開機 7 分鐘後監測數據.....	60
圖 4-19 QQair 遠端監控開機 25 分鐘後監測數據.....	61
圖 4-20 QQair 遠端監控開機 27 分鐘後監測數據.....	62
圖 4-21 wifi 遠端監控細懸浮微粒 PM2.5 移除效率.....	63
圖 4-22 空氣淨化設計實現成果紀錄.....	64

# 第一章 前言

美國環保署 (Environmental Protection Agency, EPA) 指出室內空氣污染可能是室外污染濃度的 2-5 倍，有時甚至到 100 倍(臺大醫院環境職業醫學部教授兼主任-蘇大成)。2013 年世界衛生組織國際癌症研究機構 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 宣布室外空氣污染是癌症死亡的首要環境因素是第一級致癌物質。現在許多研究皆一一證實，空氣污染與許多疾病相關，包括心血管疾病、腦中風、肺癌、慢性呼吸道阻塞等疾病。交通工具以及工廠生產製程排放的廢氣洩漏進到室內，且與各類型清潔液、美妝產品、建築材料、地毯、寵物皮屑、以及烹飪產生之煙霧顆粒物相結合。事實上，除了花粉、真菌、寵物皮屑及病毒外，室內空氣中還包含了多種化學物質，從家俱與家飾用品中散發出來。由於我們 80 ~ 90% 以上的時間都待在室內，持續呼吸清淨的空氣對我們的健康至關重要。

內政部建築研究所-室內環境品質簡易自評手冊(江哲銘, 2007) 鑒於都市居民居住與工作型態超過 90% 時間在室內度過，室內空氣品質(Indoor Air Quality, IAQ) 好壞影響人的生產和生活，而室內空氣品質問題眾多 (南投縣環境保護局, 2019) 且亟待解決。本研究對應辦公空間室內空氣品質管理，找出「污染物濃度控制」(行政院環境保護署 1995) 及「有效通風換氣控制」的平衡點，以提出了一種基於室內空氣品質的需求控制和策略。

本研究首先收集室內空氣品質控制方法及標準，建立空氣品質分級標準，發展靜電集塵技術以及活性碳物理吸附模組，再以實驗獲得室內低濃度有害氣體及懸浮粒子，懸浮顆粒或稱細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub>

(particulate matter ,PM2.5)吸附的數據，並發展空氣品質即時改善系統；最後進行效益評估，建立工程應用中靜電集塵技術以及活性碳物理吸附模組過濾器的設計和選型方法，提出有效改善室內空氣品質方式。

## 1.1 研究動機

隨著時代變遷，經濟模式快速發展，換取人類舒適的生活，同時也破壞生態環境，伴隨著環境的污染副產物，導致產生全球暖化效應的影響，處於室內環境諸如辦公大樓、居家及其他建築物內工作或居住的國人，經常利用空調系統，調節室內溫度、濕度，另外為減低空調流失，而導致耗電量增加，門窗建材也使用氣密性材質。雖然讓室內場所的使用者感受較高舒適度，但長期處於通風不良之室內環境，導致室內空氣品質的下降，進而產生許多病症，例如頭痛、噁心、刺激眼睛，呼吸系統疾病、疲勞等症狀，這些病症統稱為病態建築症候群(Sick Building Syndrome)，而病症來源為室內長期累積過多室內污染物，如人員呼吸累積的CO<sub>2</sub> 二氧化碳，細菌、粉塵，和傢俱、裝潢建材生產所使用之黏著劑。另外，住家、飯店等公共場所，常會因室內有異味，而大量使用芳香劑產品，抑制異味，以及清潔過程必須使用清潔劑，這些溶劑內含物大部分含有揮發性溶劑，而當這些污染物濃度累積超過建議標準值時，CO<sub>2</sub> 二氧化碳標準濃度 1000ppm、總揮發性有機化合物(Total Volatile Organic Compounds, TVOC)濃度 0.56ppm、甲醛濃度 0.08ppm(行政院環境保護署 1995)，在長久使用或一直處於使用環境中，對人體健康影響甚大。

## 1.2 研究目的

本研究建構一套運用靜電集塵技術以及活性碳物理吸附過濾模組，結合物聯網智慧型空氣淨化系統，使用感測器收集室內環境 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度、總揮發性有機化合物濃度，以及細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 密度。依據 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度感測器以及 TVOC 感測器與細懸浮粒子 PM<sub>2.5</sub> 計數器，所收集汙染程度訊號傳達給控制器；經由控制器單元 (Microcontroller unit, MCU) 分析後，依據設定值，透過 Wi-Fi 平台，輸出訊號分別傳達給靜電式空氣淨化機以及活性碳過濾模組，控制空氣淨化機電機自動開啟或者關閉，控制適當外氣新鮮氧氣供應量及靜電式空氣淨化機的室內空氣循環量。以物聯網(Internet of Things, IoT) 發想起源於 1985 年中 Peter T.Lewis (Peter T. Lewis,1985 )智慧控制系統監控室內空氣品質狀況，經由感測器透過智慧控制器，控制靜電式空氣淨化機以及活性碳過濾模組運轉，達到最佳化、便利化，使室內汙染物濃度不超過建議標準濃度與密度，讓長期活動於室內場域所有人，能享有最佳空氣品質狀態。

## 1.3 研究限制

本研究首先確立研究動機及目的後，針對靜電集塵技術以及活性碳物理吸附過濾模組蒐集與探討，並彙整汙染物特性與解決途徑。根據環保署空氣品質建議值標的汙染物分類：CO<sub>2</sub> 二氧化碳、CO 一氧化碳、HCHO 甲醛、TVOC 總揮發性有機化合物、Bacteria 細菌、Fungi 真菌、粒徑小於等於 10 微米(μm)之懸浮粒子(PM<sub>10</sub>)、粒徑小於等於 2.5 微米(μm)之細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)、臭氧、溫度、濕度等。鑒於細菌、真菌汙染與移除率需要實驗室等級培養、採樣與分析；CO 一氧化碳、O<sub>3</sub> 臭氧非常態型式內汙染物。特歸納標的汙染物，針對 CO<sub>2</sub> 二氧化

碳濃度、以及細懸浮微粒 PM2.5 密度。進行研究討論針對 IAQ 室內空氣品質指標提供改善方案。

## 1.4 研究流程

本研究首先確認研究問題及目的後，針對空氣清淨方式與原理進行了解，整理與收集有效之空氣淨化方法，進行有關空氣汙染防治文獻研究與探討，且對市售空氣清淨機形式，著手分類與研究，因為實務從事空氣清淨機生產製造，選出空氣清淨有效解決方式，蒐集空氣品質改善手段進行分析與運用，對空氣清淨淨化待解決標的汙染物質，諸如 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度稀釋與改善、細懸浮微粒 PM2.5 捕捉移除；根據行政院環境保護署建議之 IAQ 空氣品質建議值進行室內汙染物設定值，進行空氣淨化器選型與制定實驗架構，著手進行實驗設計，取得實驗設計操作結果驗證，審慎檢視空汙議題與解決方案執行成效，探討實驗結論與空汙議題之建議 如圖 1-1 研究流程圖。

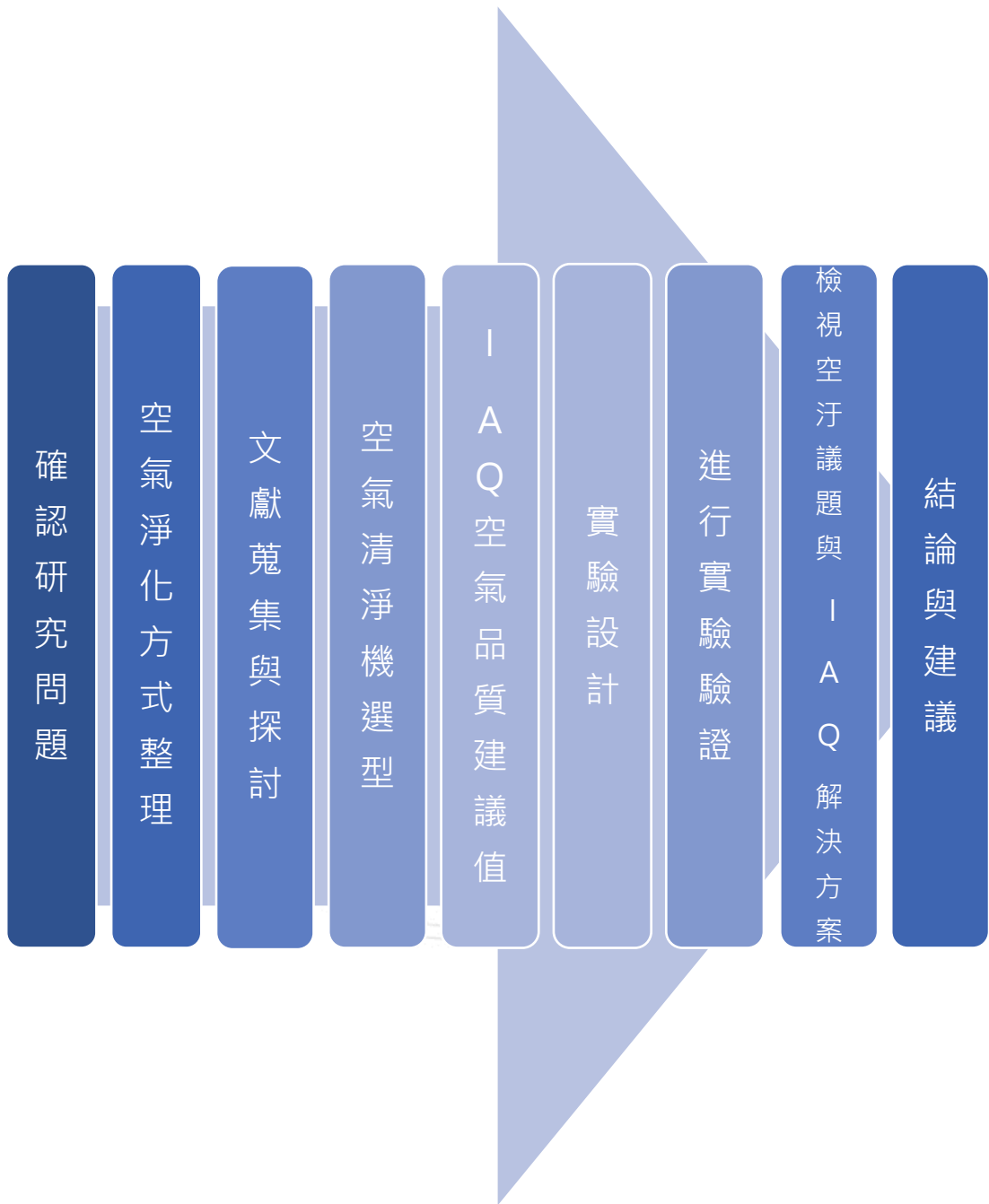


圖 1-1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 空氣清淨的方法

最佳的空氣清潔方法，乃決定於微粒子之類型及體積。用於微粒子之收集的主要方法有四（財團法人徐氏基金會科學圖書大庫,1988）：

#### (1)撞擊法

在撞擊過程，各種過濾元件(如纖維、葉片等。)的安裝可使氣流在經過每一纖維或葉片等，忽然改變方向。較大之微粒子由於慣性與附著在纖維或葉片的作用使之繼續停留在直通道上，而較小之微粒子卻被氣流帶走。

#### (2)過濾法

有些纖維過濾器很密集使得空氣通道比被過濾之微粒子直徑還要小。使微粒子不能通過而被濾除。此種用途只對較大微粒子(如麻布纖維)才有效用。

#### (3)擴散法

在主要氣流之微粒子被亂流空氣的移動而帶走，並被擋在纖維過濾器。此法對那些不阻礙亂流空氣移動的小微粒物的功用特別大。而稍大之微粒子因不受到亂流空氣的影響而繼續存在於主要氣流之中。

#### (4)靜電沉澱法

此法之工作原理乃利用正、負電荷相吸之作用。將懸浮微粒子賦以一靜電電荷，通常用正電荷，而用帶有負電之濾過濾器收集。此法對大小微粒子均有效。

### 2.2 過濾器的型式



家庭式之空氣清潔器大致可分為兩大類：機械性過濾器及電子空氣清潔器。此兩種型式中較好的機型幾乎可將所有 5 微米或較大之懸浮微粒去除，但只有電子空氣清潔器及特殊設計之乾型過濾器才能夠將小於 5 微粒(PM5)之微粒子去除。

為了使濾過器等級分類法一致，在工業方面一一透過空氣調節及冷凍協會 ARI(Air-Conditioning and Refrigeration Institute, ARI)相繼建立對空氣清潔器分類測試以及定等級的標準。此標準(ARI 標準 680-70, 空氣過濾器裝置)只應用於能從空氣中去除微粒子之過濾器。此標準說明了那些只用於住家、商業及工業設施中有封閉空間之環境條件的清潔元件。換言之，它說明清潔室內空氣中微粒物的清潔元件。ARI 將這些空氣清潔原件分為四大類型：

- (一) 整體或嵌板過濾器
- (二) 自動清潔或自動翻新過濾器
- (三) 擴大濾過面積過濾器
- (四) 電子空氣清潔器

除此之外，又建立依過濾器內部媒介而分類的分類法如下：

### **2.2.1 整體或嵌板過濾器**

整體或嵌板過濾器為一平淺之器具，以一般家庭爐用的玻璃纖維過濾器為代表。在這一組中，有些過濾器只用一次，有些則是恆久性且髒了可重複清洗的。這些過濾器都使用撞擊及過濾之空氣清潔法。

此分類中，過濾器之其一實例為黏性撞擊過濾器。其收集媒介塗有一層黏性物質如礦油或甘油，以便黏著所收集之灰塵。此類過濾器所需的壓力很小，價格低廉。普遍的規格僅有 1~2 吋之厚度。其對麻布纖維濾過效率極佳。但對大氣中的一般灰塵則效率差。

以黏性撞擊過濾器之一般過濾器媒介的類型有成形濾網、雜亂纖維及曲折之媒介物等。成形濾網媒介體含有一隔板或一伸縮金屬。不潔微粒子經過過濾器時撞擊於金屬線上。由於網的開口結構，其阻力不會因為負荷增加而快速加大。這一類型的過濾器通常是為了能夠清洗及能再使用而製造的。雜亂纖維媒介是以纖維做成高度滲水性之攔截網。通常將纖維在過濾器之出氣口處塞加厚些，如此使較大之微粒子聚集在出氣處。有時纖維之大小由入氣口按粗而細排列至出氣口。典型的雜亂纖維媒介過濾器之設計是當過濾器有塵土負荷時，便要拋棄不再使用。蜿蜒媒介之構造是波浪型金屬或網條放置與空氣流向平行之位置。當氣流通過過濾器時，氣流被迫迅速改變方向，而將微粒子撞擊於金屬物上。此過濾器經常被作為高效率過濾器的前置過濾用。

組一(整理或嵌版)過濾器為以每分鐘 250~700 呎的氣流速度通過媒介而設計的。一般應用，此速度約等於進氣管的氣流速度。對半流體撞擊過濾器而言，一般美國冷凍空調學會 (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Condition Engineers, ASHRAE) 之大氣污穢效率為 5% 至 25%。

自帶電荷式靜電過濾器亦被歸納於 ARI 組一之內。此類過濾器使用少量聚苯乙烯為過濾媒介。吾人已發現聚苯乙烯能吸著其表面之散亂靜電荷。這些塞滿聚苯乙烯之過濾器具有收集纖維填塞過濾器之性能以及收集傳統過濾器所不能收集之較小帶電荷之微粒子。這些較小微粒子之收集是由聚苯乙烯表面微量的電荷吸引較小帶電荷微粒子，此種靜電過濾器只對那些當進入過濾器時剛好帶靜電荷的微粒子才有效，並且只能收集少量。

當相對溼度增加時，由於過濾器之電荷量減少以及微粒子帶電量減少，其工作效率降低。用美國國家標準局塵土污染方法來衡

量，其一般效率為 15~20%。依據 ARI 之標準 680-70 號之分類，各家過濾器效能比較如表 2-1，其中氣壓降水柱 WC (Water Column)，色度學 (Colorimetry)，又名比色法之大氣塵土汙點測試法乃為早期頒佈在 ASHRAE56-68 及 ARI680-70 汙染塵土效率測試方法之中。

表 2-1 過濾器效能比

過濾器	效率範圍(%)	氣壓降水柱 WC
嵌板過濾器	5~10%	.10
自動翻新過濾器	5~15%	.10
擴大過濾面積過濾器	10~40%	.05~.10
電子空氣清潔器		
帶電荷媒介體式	50~80%	.10~.20
平面板式	70~95%	.10~.30

### 2.2.2 自動清潔或自動翻新過濾器

此種過濾器分類，名稱如期含意，說明其濾過媒介體是可清潔或可更換。最普通之例子為可處理之移動濾幕。一捲的過濾媒介體利用一支撐物放在氣流之通道中，它的控制可用利用壓力感測器控制，即預調至最大承受壓力，或利用計時器來控制更換過濾網時機。

在此分類中之其他過濾器為自動清潔固定濾幕以及自動清潔可移動過濾網。

此類型之效率與整體過濾器型大致相同。而這些過濾器大多用撞擊或濾出方法來清潔空氣。

### 2.2.3 擴大過濾面積過濾器

擴大過濾面積過濾器是在過濾媒介中製做成皺褶或袋狀，而顯出其特性。奇特性是將過濾器增加很大的有效過濾面積，使空氣速

度在經過媒介物時大大減低。同時亦能使過濾密度，效率增加或使濾存能力增大。此過濾器之媒介物可能為恆久性(可清潔的)或為可處理的型式之乾性或黏性汙染物。

## 2.2.4 電子空氣清潔器

電子空氣清潔器以靜電沉澱將微粒子從空氣中去除。在 ARI 分類有兩種通用的型式：帶電荷媒介物過濾器(單層電子空氣清潔器)及雙層電子空氣清潔器。

### (1)帶電荷媒介物過濾器

帶電荷媒介物過濾器的第一型式為將電介質媒介物(玻璃，纖維素或同類之物質)支持於一架子上。在某些情況下，此架子以一排之褶狀物支持其媒介物以便增加過濾面積，提供更大的污穢濾存能力及降低對空氣的阻力。

第二型式的帶電荷媒介物過濾器由有針孔或吸孔之金屬板造成。這些金屬板之放置以便氣流通過時分成無數的小氣流道。如此，這些小氣流道在通過金屬板時，迅速且重複的改變其流向。

一個很強的靜電場被放置於收集媒介物和金屬板之中。此靜電場是由一高直流電壓所產生(高過 12000 伏特)此電壓來自-電源產生器。

進入靜電場之污穢微粒子便帶有極性，同時被帶電荷之纖維媒介物或金屬片所吸著。當塵埃及污穢物收集的過多時，空氣之阻力增加直到更換收集塵媒介物，或清潔更換集塵金屬板，空氣之阻力才會減小。

相對溼度很高時(大約百分之 70)會降低這種過濾器之清潔效率。用色度學 (Colorimetry)，又名比色法之污塵測試法，此類過濾器一般效率為 20~40%。

## (2)電子空氣清潔器

電子空氣清潔器是一個雙層式靜電沉澱收集器，其最實際之用途對於空中活動的微粒物和污染物之收集。基本來說，所有的電子清潔器有三個組成部分：1-為操作電子清潔器之控制系統；2-為供應高直流電壓之動力組；3-使污染微粒子沉澱收集之空間。

雙層式靜電沉澱器具有一個雙層電子室，其第一部分(電離子化)產生一個強力的電場，此電場付出一正電荷給正進入此室的微粒子上，而第二部分(收集)具有一串連接地與正極交替的金屬板。接地金屬板吸引以及保留帶正電荷(電離子化)之微粒子，而正極金屬板將正性微粒子排斥至接地之金屬板。一個帶電荷媒介集塵器使用於一些雙層電子空氣清潔器之設計中。各類型產品比較如表 2-2。

表 2-2 電子式空氣清潔器與其他形式空氣清潔器優缺點比較

方法	優點	缺點
1.黏性撞擊式	1.購置成本低	1.對大氣塵土之過濾效率低
2.聚苯乙烯靜電式過濾器	1.較一般爐用過濾器更能收集較小的帶電荷微粒子	1.微粒子必須預先帶靜電荷 2.相對濕度 RH(Relative humidity,RH)值增加，其效率隨之變差
3.自動清潔可移動濾幕式	1.可不斷的清洗	1.對濾過小微粒子效率差 2.氣壓降很高
4.擴大過濾面積過濾器	1.有效過濾面積大 2.因進入過濾器之氣流速降而效率增 3.花費中等	1.比上面 1，2 及 3 式還貴 2.不被人採用
5.帶電荷媒介體式(單層式電子空氣清潔器)	1.對塵土濾除力高	1.經常要換新花費高 2.當相對濕度在 70%以

方法	優點	缺點
	2.效率中等	上則效率變差
6.電子空氣清潔器(雙層式靜電沉澱器)	1.不論濾過大小微粒子之效率都高(70~98%) 2.與其他高效率集塵器比較其氣壓降與用電均低 3.可收集乾和濕的微粒子 4.可清洗	1.購置費用高 2.因高壓而威脅了安全保障
7.HEPA(High-Efficiency Particulate Air,HEPA)高效率微粒子汙染物濾留過濾器	1.效率最高達95~99.9%	1.氣壓降很高(1吋WC) 2.費用高、昂貴 3.定期換新費用高

雙層式靜電沉澱器，如 QQair 之電子空氣清潔器其操作方法如下。由通過導管之循環氣流所攜帶的微粒子旋轉的進入電子空氣清潔器。微粒子然後進入一個強力的電場內(此電場形成在一系列之電離化線間)，微粒子在此場內接受強烈的正極電荷。當微粒子進入集塵部分時，它們進入電場中，此電場由一連串的帶有正、負電的金屬板形成。帶有正電荷之微粒子帶負電的金屬板吸引而吸附至收集板上。就好像鐵屑被磁鐵吸著一樣。除非將其清洗，否則這些帶正電之微粒子會一直停留在此集塵板上。通常這些被收集之微粒子有香菸草之焦油，烹飪之油垢以及其他的黏性汙染物。這些動作就像對於一塊黏布，能以熱水以及有效的清潔劑將在電離子化器及集塵器表面上之灰塵清洗。

電子空氣清潔器之最重要特色是它不會對氣流產生過度的阻力(壓損低)，進而能達成高度空氣清潔效率的能力。電子空氣清潔器入口與出口的實際氣壓降不會比一般之前被電子空氣清潔器所代替之

舊式纖維過濾器之氣壓降為大。空氣速度慢時，電子空氣清潔器之效率增加，空氣速度變快時，其效率則降低。

於典型的家用中央空調系統，電子空氣清潔器在空氣強迫循環系統之回流導管內動作。如此電子空氣清潔器才能於每次空調空氣回流時，除去其中之微粒子。所以只要暖氣系統、冷氣系統或風扇在運轉時，使空氣能繼續循環，則微粒子便可減至相當低的數量。

若需新鮮的空氣引進，則必須經電子空氣清潔器將新鮮空氣導入室內。導入口必須是葉板或隔板式加防蟲網，且要安裝妥當，使雨水、雪、灰塵、樹葉、冷空氣或是昆蟲之進入都不會造成運轉問題。如果冷空氣要進入電子空氣清潔器中，則必須要用一預熱線圈將空氣加熱。

由一些實驗證明，在大都市室外之"新鮮"空氣都含有大量不潔之物。然而在這些區域之居民，若有空氣清潔器，則幾乎可避免由於空氣帶入之污染。

### 2.2.3 其他類型的過濾器

有一些過濾器也許是用來清潔空氣，但不列入 ARI 標準 680-70 之類別中。它們一般被歸類為工業用空氣或氣體之清潔器類中。

如：

- (1.)機械式集塵器(隔塵室，離心力集塵器)
- (2.)濕性集塵器(空氣洗淨器，濕性過濾器或閉塞水塔，離心或惰性清洗器)，文式清洗器(Venturi Scrubbers)。
- (3.)纖維式集塵器(袋室)
- (4.)工業用靜電沉澱器
- (5.)吸附器與吸收器
- (5.)空氣焚化器

## (6.)高效率集塵過濾器

高效率集塵過濾器用於特殊用途。這種過濾器(Absolute Filter)。因其捕捉效率非常高(最低為 99.97%，可收集顆粒物最小到 0.3 微米，此為用 MIL-STD-282DOP 測試方法測得)。此過濾器有擴大濾過面積的設計，並用微細的玻璃以及石棉纖維做成。HEPA 過濾器通常用在 250 呎/分鐘之空氣流速。由於其為高效率，對空氣阻力相對大，成本也較高。一般而言應用於空間中之空氣清潔，以及有放射性與有毒性之微粒物的收集。

## 2.3 稀釋 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度

CO<sub>2</sub> 二氧化碳是一款密度較高的溫室氣體，大氣中的含量大約在 300~400 ppm，在通風不良的場所，因為呼吸需求，造成 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度的累積，人們每次呼吸作動都會產生 CO<sub>2</sub> 二氧化碳，CO<sub>2</sub> 二氧化碳本身是不具任何毒性，除非 CO<sub>2</sub> 二氧化碳在空氣中超過一般的濃度時，造成缺氧，則會對人體產生不良反應，變成對人體有害的物質。如果長時間都待在一個人員擁擠密集的環境或換氣效率不彰的處所時，CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度會伴隨時間，急遽升高，進而導致人體產生不適感。CO<sub>2</sub> 二氧化碳被行政院環境保護署做為室內空氣污染程度的健康指標，建議人群如果需要長時間待在一個場所時，其 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值不能超過 0.07%~0.1%，若為短暫停留時，也不能超過 0.15%。行政院勞動部也有針對急性呼吸危害所制定的立即致危濃度 IDLH(Immediately dangerous to life or health, IDLH)，當 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值為 4%，就會開始危害開始危害到生命；CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值 7.5%，生理反應則會開始心悸、頭暈、頭痛；當濃度值超過 10%，則失去聽力、嘔吐、噁心；濃度值超過



30%，便會失去知覺，造成痙攣。室內 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值介於 350~450ppm 之間為良好；當濃度大於 1000ppm 之後，人就會開始產生嗜睡症狀，隨著濃度越高，越發劇烈，因此美國冷凍空調學會建議室內中的 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度不得超過得超過 1000ppm，且詳細的描述 CO<sub>2</sub> 二氧化碳針對人體健康的影響，如圖 2-1。

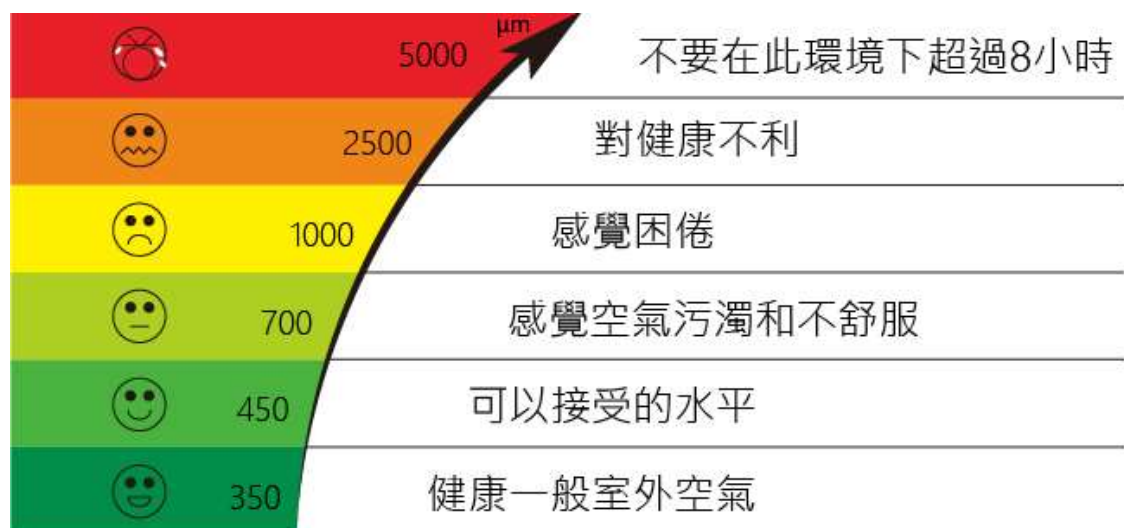


圖 2-1 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度對人體的影響

## 2.4 物聯網架構運用

物聯網發想起源於 1985 年中 Peter T.Lewis 在演講時所提出的一個概念，接著在 1999 年，美國麻省理工學院提出將無線射頻辨識 (Radio Frequency Identification, RFID) 加上網路化，讓無線射頻辨識能夠實現智慧化的規劃及管理。然後國際電信聯盟 (Union International Telecommunications, UIT) 在世界資訊高峰會 (World Summit on the Information Society, WSIS) 上提出物聯網的概念，自此讓物聯網這個詞彙進入人們的世界。物聯網就是指將能夠接收資訊的感測器像是：溫度、照度、控器品質感測器等，讓原先無法連上網路的物品，藉由電子標籤或是無線射頻辨識裝置，來將兩者結合，使感測器可以記錄環境的變化又能讓使用者能在透過 Wi-Fi、

ZigBee、藍芽(Bluetooth)、LoRa(Long Range, LoRa)等無線網路或是透過有線網路中找尋我們需要的資訊。物聯網的技術層面也分出多個主流的物聯網技術，其所使用的通訊發展也各有不同分別是 NB-IOT(Narrowband Internet of Things, NB-IOT)、LoRa、SIGFOX 等，各種不同的物聯網裝置也具備不同的網路節點，像是 IPv4、IPv6 等。依照上述的概念後，物聯網會依據歐盟電信協會(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)建立起三層的架構，並針對不同的工作項目區分出應用層、網路層、感知層，如(圖 2-2)，資策會數位轉型研究所物聯網架構，台灣下一個翻身機會-物聯網(FIND 中心，2010)。

### **(1)感知層**

感知層主要區分成兩大部分，分別是感測及辨識相關技術，針對不同環境場域得到不同的監控跟感測。感測技術：即是使用我們的感測器諸如氣體濃度、溫度、濕度、亮度、紅外線等感測器；辨識技術的部份：透過 LoRa、ZigBee、RFID 標籤、RS232 等通訊協定將感測器的數據傳送至網路層。

### **(2)網路層**

網路層介於感知層及應用層之間，主要就是雙向溝通的橋樑。其中網路層的技術也分為低功耗、低傳輸的無線網路、超高速近距離的無線傳輸技術、無線傳輸技術、Wi-Fi 長距離無線網路技術以及最新的長距離無線網路技術以及最新的 5G LTE 行動通訊協定等支援。

### **(3)應用層**

應用層主要是把從感知層所量測得到的數據，經過網路層的網路傳送至最上層的應用系統，再透過分析結果做出針對特定事件的

反應，建立模型，類似我們人類的大腦及中樞神經類似物流管理、門禁系統、環境監控、智慧家電、醫療照護、交通運輸、決策支援等。在未來都會被廣泛的應用，而應用層的主要技術為雲端運算、巨量資料分析與大數據分析等。



資料來源：資策會 FIND(2010)

圖 2-2 物聯網架構圖

## 2.5 空氣品質標準

根據行政院環保署室內空氣品質管理法（以下簡稱本法）第七條第二項規定訂定之，如表 2-3 建議值（行政院環境保護署環署 2020）標的污染物分類：CO<sub>2</sub> 二氧化碳、CO 一氧化碳、HCHO 甲醛、TVOC 總揮發性有機化合物、Bacteria 細菌、Fungi 真菌、粒徑小於等於 10 微米(μm)之懸浮粒子(PM10)、粒徑小於等於 2.5 微米(μm)之細懸浮微粒(PM2.5)、O<sub>3</sub> 臭氧、溫度等，說明如下：

參考室內空氣品質建議值如表 2-3。

表 2-3 室內空氣品質建議值

項 目	建 議	值	單 位	
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	8 小時值	第 1 類	600	ppm( 體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	1000	
一氧化碳 (CO)	8 小時值	第 1 類	2	ppm( 體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	9	
甲醛 (HCHO)	11 小時值		0.1	ppm( 體積濃度百萬分之一)
總揮發性有機化合物(TVOC)	1 小時值		3	ppm( 體積濃度百萬分之一)
細菌(Bacteria)	最高值	第 1 類	500	CFU/m <sup>3</sup> ( 菌落數/立方公尺)
		第 2 類	1000	
真菌(Fungi)	最高值		1000	CFU/m <sup>3</sup> ( 菌落數/立方公尺)
粒徑小於等於 10 微米 (µm) 之懸浮微粒 (PM <sub>10</sub> )	24 小時值	第 1 類	60	µg/m <sup>3</sup> ( 微克/立方公尺)
		第 2 類	150	
粒徑小於等於 2.5 微米 (µm) 之懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> )	24 小時值		100	µg/m <sup>3</sup> ( 微克/立方公尺)
臭氧 (O <sub>3</sub> )	8 小時值	第 1 類	0.03	ppm ( 體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	0.05	
溫度 (Temperature)	1 小時值	第 1 類	15 至 28	°C (攝氏)

根據細懸浮微粒(PM2.5)指標對照表與活動建議如表 2-4，界定室外細懸浮微粒 PM2.5 指標一般民眾活動建議，建立安全衛生戶外活動建議參考，維護自身活動健康與安全。了解細懸浮微粒 PM2.5 濃度對人體健康危害程度與生理反應建置室內空氣品質設定標準。透過空氣品質改善手段，讓居家環境時時處於個適合安全與衛生的環境。

表 2-4 PM2.5 指標對照表與活動建議

指標等級	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分類	低	低	低	中	中	中	高	高	高	非常高
PM2.5 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0-11	12-23	24-35	36-41	42-47	48-53	54-58	59-64	65-70	$\geq 71$
一般民眾 活動建議	正常戶外活動			正常戶外活動			如有不適，如眼痛， 咳嗽或喉嚨痛等，應 考慮減少戶外活動		如有不適，如眼痛/咳嗽 或喉嚨痛，應減少體力 消耗，特別是戶外活動	



## 第三章 研究方法

本研究首先確立研究動機及目的後，針對靜電式空氣淨化機以及活性碳過濾模組蒐集與探討，並彙整污染物特性與解決途徑。鑒於細菌、真菌污染與移除率需要實驗室等級培養、採樣與分析；CO 一氧化碳、O<sub>3</sub> 臭氧非常態型式內污染物。特歸納標的污染物，研究針對 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度，以及細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 密度。進行研究討論與空氣品質改善方案研究。

### 3.1 研究設備

本研究研擬針對 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度，以及細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 密度，進行研究討論與空氣品質改善方案示範實驗需求，針對 QQair 整理適用設備發展出天花板隱藏型及落地上吹型，結合監看系統空氣品質揭示板、量測設備、油霧產生機、wifi 遠端監控 app，進行一系列實驗印證以及配備特性整理條列如下；

#### 3.1.1 空氣清淨設備

##### (1) 靜電集塵器及活性碳脫臭濾網物理吸附清淨設備

本研究規劃採用靜電式空氣淨化機以及活性碳過濾模組進行物理吸附為空氣品質改善對策，靜電集塵器及活性碳物理性吸附脫臭濾網過濾器原理(圖 3-1)，其中正、負電荷通過高壓形成強電場，產生大量電子和離子與空氣中的懸浮微粒碰撞並附著，強迫顆粒物帶正電荷後被清淨機中的集塵板負極(零極)吸附，去除顆粒物、淨化空氣。過程中淨化器只須少量導引氣流，使空氣經過集塵板達到淨化空氣，集塵箱具備定期清洗保養後循環再利用之特性，長期使用，



兼具節能環保特性。

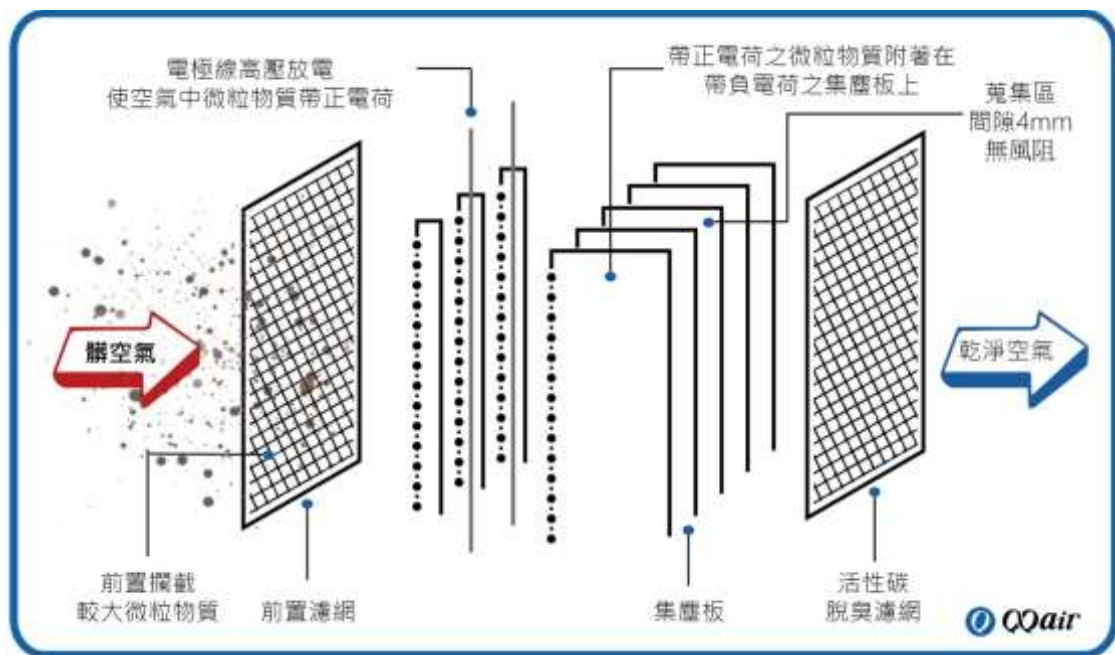


圖 3-1 靜電集塵器及活性炭脫臭濾網過濾器原理圖

- 1- 耐洗前置濾網：阻擋一般大型毛屑灰塵，避免大顆粒污染物或者蚊蟲進入空氣淨化設備內。
- 2- 高效能離化區：將微塵懸浮顆粒物離化強迫帶正電荷，便利集塵器收集顆粒污染物。
- 3- 污染集塵區：讓通過高效能離化區帶正電荷顆粒式污染物，物理吸附收集於污染集塵區。
- 4- 活性炭脫臭濾網：採用椰殼碳或者配方改性碳，採物理吸附將TVOC、甲醛等揮發性污染物吸附，達到脫臭與降低濃度的目的。
- 5- 光觸媒 TIO<sub>2</sub> 滅菌器：運用 TiO<sub>2</sub> 二氧化鈦光觸媒+Philips 燈管 T5/8W，波長 365nm，總體積：1,800 立方公分以上，大腸桿菌、金黃色葡萄球菌滅菌力 99.99%。

## QQair 靜電集塵清淨設備簡介



圖 3-2 靜電集塵器配備參考圖

本研究因應稀釋 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度，以及細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 密度移除實驗需求，QQair 發展出天花板隱藏型及落地上吹型，設備內建配備整理，以及針對汙染物移除進行示範性實驗準備如下：

### (a) 天花板隱藏型

QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R(圖 3-3)：內建空氣清淨模組，濾除細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub>，包含鋁質前置濾網、高效離化區、汙染集塵區、搭配脫臭顆粒式活性炭濾除 TVOC 及甲醛等汙染物、TiO<sub>2</sub> 光觸媒滅菌器淨化機制，組合成靜電式空氣淨化器以及活性炭物理吸附過濾模組，掛載於實驗場域天花板進行實驗需求之空氣清淨設備。





圖 3-3 QQair 天花板隱藏型

**(b) 落地上吹型**

QQair 落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R(圖 3-4)，內建空氣清淨模組，能有效濾除 PM0.05(附錄一.國家空調設備質量監督檢驗 TEST REPORT 2019)、以及細懸浮微粒 PM2.5，包含鋁質前置濾網、高效離化區、汙染集塵區、搭配脫臭顆粒式活性炭濾除 TVOC 及甲醛等污染物、TIO2 光觸媒滅菌器淨化機制，組合成靜電式空氣淨化器以及活性炭物理吸附過濾模組，直接擺放於實驗場域空間地板上進行實驗需求之空氣清淨設備。



圖 3-4 QQair 落地上吹型

## (2) 監視版介紹

### (a) 空氣品質顯示板

空氣品質揭示板(圖 3-5) 詳實揭露顯示實驗場域時間、日期、溫度、濕度、CO<sub>2</sub> 二氧化碳與細懸浮微粒 PM2.5 等空氣品質數據。搭配智慧控制機制，可依據行政院環保署建議之 IAQ 設定空氣品質預設值，隨場域空氣品質狀態，佐以空氣清淨設備，換氣設備，改善場域空氣品質狀態，提升環境衛生安全。



圖 3-5 空氣品質揭示板

#### (b)空氣品質揭示板介面

本研究針對場域空氣品質改善手段，運用 QQair 空氣品質揭示板介面(圖 3-6)，綜合揭露多種空氣品質指數：包括溫度、濕度、CO<sub>2</sub> 二氧化碳、細懸浮微粒 PM2.5、甲醛、TVOC 等空氣品質指數、顯示空氣污染指標，都能透過輕巧的偵測器即時偵測數值，同時於揭示看板做多合一資訊揭露。空氣品質揭示板(圖 3-6；3-7)除了顯示實驗場域空氣品質溫度、濕度、CO<sub>2</sub> 二氧化碳、細懸浮微粒 PM2.5 等空氣品質指數狀態，即時顯示空氣品質狀態，作為設定空氣品質改善設定值依據外。也可以依據 IAQ 指數設定場域設定值，結合 wifi 遠端監控 app 操作控制，設定標的場域空氣品質需求指數，進行操作與監看。當場域污染源超過設定值時，即刻喚醒設備執行空氣淨化處理，當空氣品質指數達到預設理想狀態時，設備則自動恢復低檔運轉處於待命狀態。除了 wifi 遠端監控 app 監看空氣品質以外兼具遠端操作及智慧開關功能，設定設備自動開啟、關閉的功能。

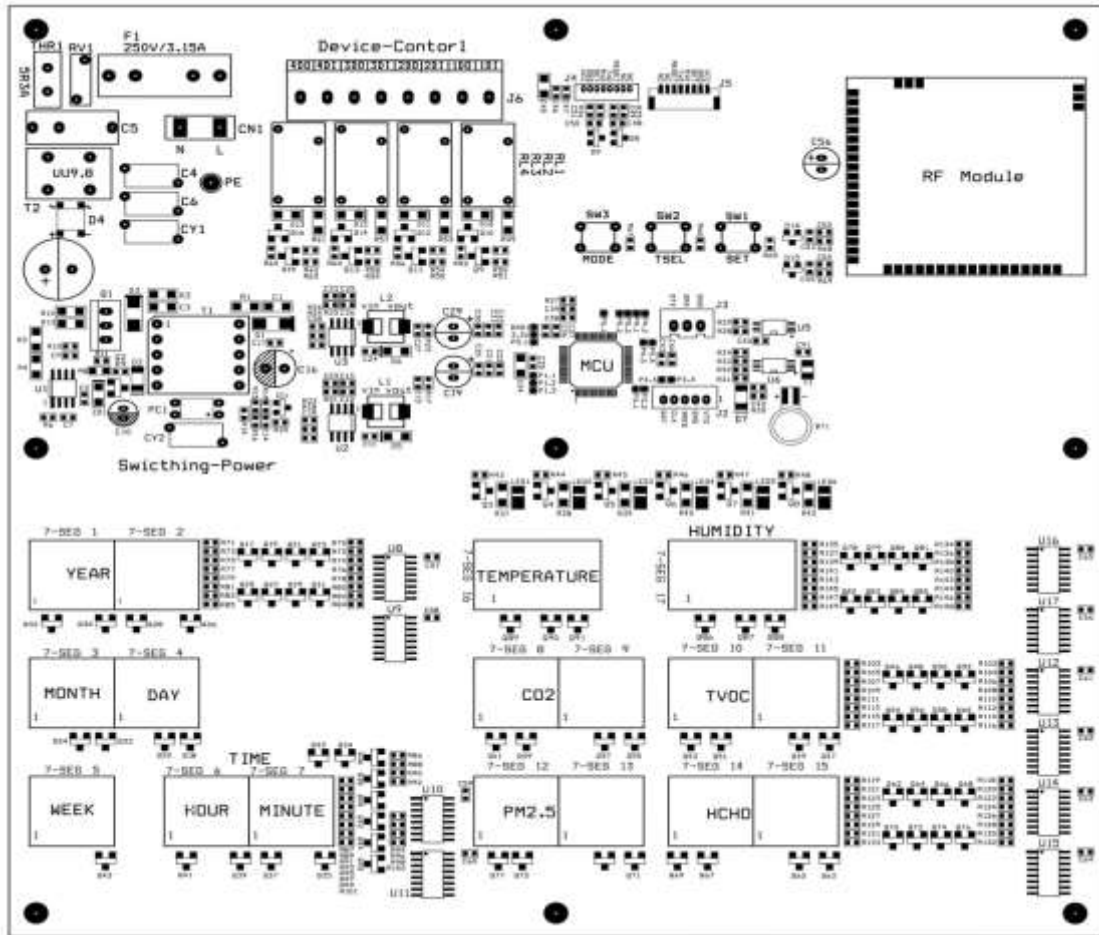


圖 3-6 QQair 空氣品質揭示板介面



圖 3-7 QQair 空氣品質揭示板介面 2

(3)wifi 操作、遠端監控 app 介面



本研究結合 QQair 開發之 wifi 遠端監控 app(圖 3-8)於 wifi 環境下可以進行遠端監看與控制設備的開啟、關閉、段位控制，判讀設備使用狀態、顯示監控場域空氣品質數據如溫度 32°C、濕度 46%、細懸浮微粒 PM2.5 指數 136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、空氣清淨設備過濾單元清洗提示、耗材更換提示，即時掌握設備狀況同時收集使用端大數據。

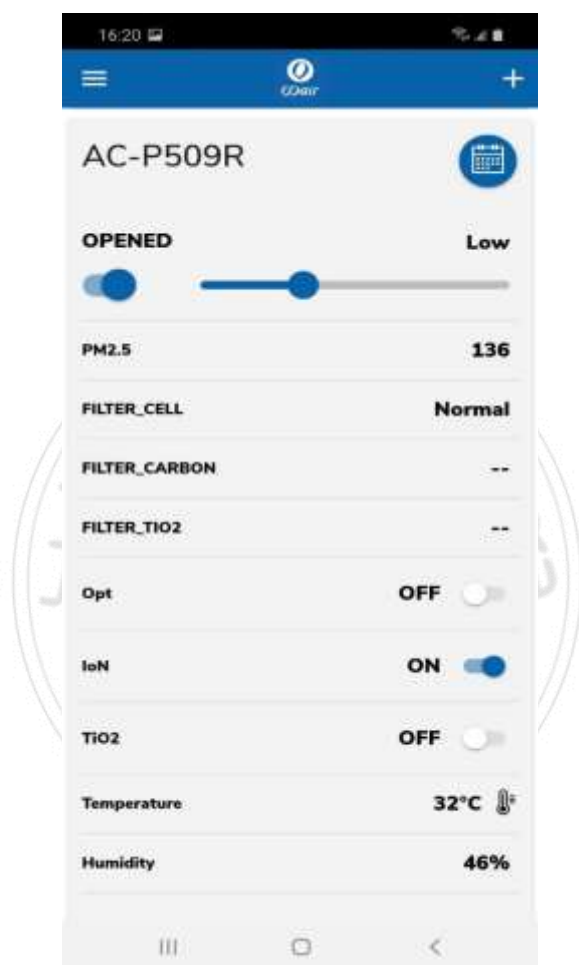


圖 3-8 wifi 遠端監控 app 顯示介面

### 3.1.2 量測設備

本研究依據空氣品質改善實驗印證需求，審慎挑選專業儀器公司與網路平台選購驗證空氣品質相關量測儀器，依序整理量測設備與儀器，針對儀器規格與量測原理及有效量測範圍整理如下：

#### (1) 粒子計數器：型號-MATONE HHPC-6

Matone HHPC-6 攜帶式懸浮粒子計數器(圖 3-9)，使用雙光束雷

射偵測，具質量數及顆粒數兩種模式，可同時偵測多種懸浮粒子包含 PM0.3、PM0.5、PM0.7、PM1、PM3、PM5。採用雷射光學散射 (Laser diode) 原理，當粒子經過雷射二極體所發出的雷射光束後，雷射光束產生散發，感應出一個反應電壓值，即可判斷所經過的微塵粒子的尺寸大小，再經由計數器計算單位時間內各種尺寸的微塵粒子通過雷射光束有多少數量。根據粒子對光的散射作用後衰減的光強度，通過公式計算出濃度值。其規格如下：

- A. 雷射光源：雷射二極體
- B. 雷射頭：耐用 30,000 小時
- C. 取樣流速；0.1cfm(0.1 立方英尺/每分鐘)
- D. 採樣偵測濃度限制：4,000,000particle/ft<sup>3</sup>@10%
- E. 大容量：10,000 組記憶體



**圖 3-9 Matone HHPC-6 攜帶式懸浮粒子計數器  
(2)PM2.5 計數器：激光測霾儀 HK-B5S**

激光測霾儀 HK-B5S(圖 3-10)，本量測儀器內置高精度傳感器，

用於量測細懸浮微粒 PM2.5 空氣質量參數，為打造健康的室內環境，提供準確的數據為依據，保護居住者的健康，產品還可通過微信連接網絡，聯網後可隨時隨地查看細懸浮微粒 PM2.5 檢測數據。規格如下：

- A. 測量原理：激光散射 測量精度： $\pm 15\%$
- B. 測量量程： $0\sim 999\mu\text{g}/\text{m}^3$
- C. 感應時間： $\leq 5\text{S}$
- D. 海克智動：HK-B5S；PM2.5 感應器品牌採用：攀藤



圖 3-10 激光測霾儀 HK-B5S

### (3) CO<sub>2</sub> 二氧化碳監測儀

本研究使用的 CO<sub>2</sub> 二氧化碳監測儀(圖 3-11)為 NDIR 紅外線感測器模組如圖 3-13 所示，主要是利用非分散式紅外線的原理，針對室內空氣中的 CO<sub>2</sub> 二氧化碳進行量測，具備壽命長之特性、內部含有溫度補償、具備數位及類比的輸出、感測範圍為  $0\sim 3,000\text{ppm}$ ，CO<sub>2</sub> 二氧化碳感測器是對動脈血 CO<sub>2</sub> 二氧化碳分壓 (partial pressure of carbon dioxide in artery, PaCO<sub>2</sub>) 進行監測的儀器。工作原理是 CO<sub>2</sub> 二氧化碳主要吸收波長為 4,260nm 的紅外線，將氣體送入測

試，一側用紅外線照射，另一側用一傳感器測出所接受紅外線的衰減程度，其衰減程度與 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度成正比。規格如下：

- A. 測量範圍：0~3,000ppm
- B. 顯示剖析率：0~1,000ppm 剖析率 1ppm；1,000~2,000ppm 剖析率 5ppm；2,000~3,000ppm 剖析率 10ppm
- C. 精確性：±50ppm
- D. 重複性：±20ppm
- E. 溫度係數：典型值，每攝氏度變化讀值±0.1%，或±2ppm；參考 25°C
- F. 壓力係數：讀值得 0.13%/毫米汞柱(高度通過用戶的正確輸入)
- G. 反應時間：<2 分鐘(63%變換)
- H. 熱機時間：<60 秒在 20°C
- I. 台灣熱映光電 CO 二氧化碳監測儀：ZG 106



圖 3-11 CO<sub>2</sub> 二氧化碳感測器

#### (4)空氣品質監測儀

空氣品質監測儀 C1SP (圖 3-12)將空氣中微粒導入光學散射原理的感測區域，在未經粒徑篩選方式下，以光學方式（光散射原理）量測不同粒徑微粒數量，再經轉換為細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 質量密度。



當光線照射到微粒表面，會有反射、散射等效應，這些效益會因微粒粒徑、形狀及表面粗糙情形而不同，同時也與光的波長有關。而當微粒含有吸水成分（例如硫酸鹽、硝酸鹽等），微粒外形、粒徑會因吸收空氣中水分而改變，進而影響測定結果。用於量測細懸浮微粒 PM2.5、二氧化碳（二氧化碳 CO<sub>2</sub>）、甲醛、TVOC 等空氣質量參數。規格如下：

- A. 甲醛技術指標：0.000~5,000mg/m<sup>3</sup>；±5%
- B. TVOC 技術指標：0.000~9.999mg/m<sup>3</sup>；±10%
- C. PM2.5 技術指標：0~999μg/m<sup>3</sup>；±10%
- D. 溫溼度技術指標：-40~100°C；±1°C
- E. 杭州拓康：C1SP：PM2.5 感應器品牌採用-Honeywell



圖 3-12 C1SP：空氣品質監測儀

### 3.1.3 油霧產生機

本研究計劃採用油霧產生機(圖 3-13)模擬產生細懸浮微粒 PM2.5 污染物，原理是將含有高溫受熱後能快速汽化成份的煙霧油，快速通過高溫加熱管，形成白色氣態煙霧噴出。這種油霧產生機具備功率小、體積小、經濟實用及使用方便的特點，ANTARI 是目前舞台油霧產生機的主流產品。一般功率在 3kW 內。規格如下：

- A. 耗油量：13 毫升/分鐘
- B. 電壓：AC100~200V；50/60Hz；6.7A
- C. 加熱時間：約 2 分鐘
- D. 油桶容量：0.8 公升(0.21 加侖)



**圖 3-13 油霧產生機**

煙霧產生機於示範實驗時產生油煙，模擬細懸浮微粒 PM2.5 污染物顆粒的產生，實際操作狀況如照片顯示(圖 3-14)



圖 3-14 油霧產生機操作照片

### 3.2 實驗架構

本研究示範實驗規劃進行物聯網系統運用(圖 3-15)，於應用層選用 QQair 天花板隱藏空氣清淨機 AC-680R 以及落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R，搭配油霧產生機模擬細懸浮微粒 PM2.5 污染物產生；於感知層運用細懸浮微粒 PM2.5 感應器與 CO<sub>2</sub> 二氧化碳感測器，進行環境監測取得空氣品質數據，透過控制機板自動控制與設定，以行政院環境保護署建議之空氣品質建議值 IAQ，隨場域空氣品質指數為基礎設定，自動喚醒空氣清淨設備，進行細懸浮微粒污染物移除與換氣機制進行調控；網路層搭配 QQair 之 wifi 遠端監控 app，針對環境改變以及設備設定啟動與關閉，於後台收集客戶與使用者大數據，便利開發端參考，開發更貼近使用與消費者需求的空氣清淨設備。



圖 3-15 試驗流程與物聯網系統運用

依據物聯網系統運用，研擬實驗流程(圖 3-16)搭配油霧產生機模擬細懸浮微粒 PM2.5 產生；應用層採用靜電式空氣淨化器以及活性碳過濾模組為過濾單元；於感知層運用細懸浮微粒 PM2.5 感應器與 CO<sub>2</sub> 二氧化碳感測器，進行監測環境空氣品質數據，統計空氣清淨效果量測。

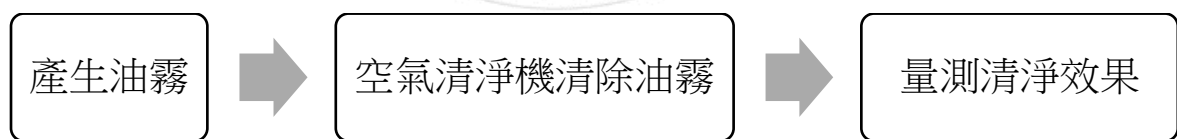


圖 3-16 實驗流程

制定實驗流程後，根據行政院環保署建議空氣品質 IAQ 為依據，於網路層採用 wifi 遠端監控 app 設定符合安全衛生之室內空氣品質 IAQ 數據，應用層採用靜電式空氣淨化器以及活性碳物理吸附過濾模組之空氣清淨器進行汙染移除為手段；依據 Sensors 感應器收集反饋之空氣品質現況，於 IOT 物聯網架構下操作與控制，進行監測環境空氣品質數據變化，分析空氣品質最佳解決方案有效性(圖 3-

17)，進行實驗執行後之成果討論。

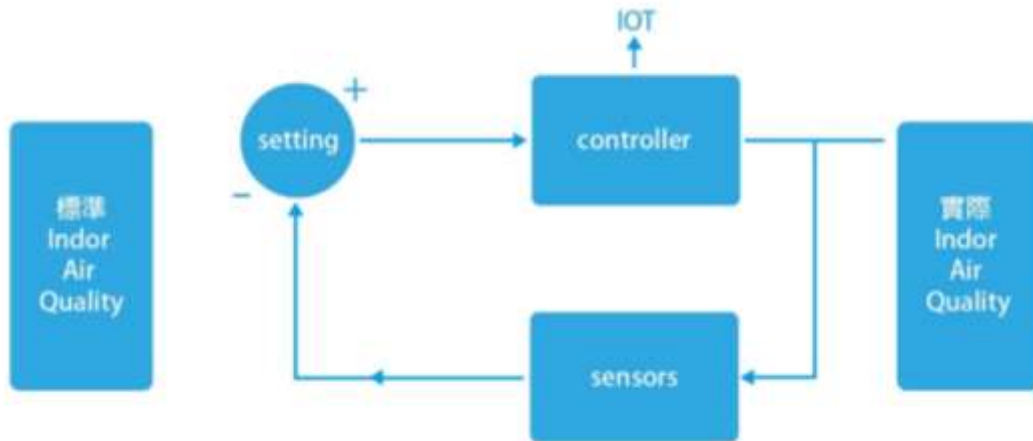


圖 3-17 空氣清淨模式控制

### 3.2.1 實驗配置

本研究於實研流程下，將油霧產生機產生之油霧模擬細懸浮微粒 PM2.5 污染物產生，藉由預設路徑藉由壓克力圓形管道，將細懸浮微粒 PM2.5 污染物傳導至壓克力收集箱，於壓克力收集箱經由細懸浮微粒 PM2.5 計數器量測污染物總量數據，再將細懸浮微粒 PM2.5 污染源由風道導引進入 QQair 落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 空氣淨化器模組；包含鋁質前置濾網、高效離化區、污染集塵區、搭配脫臭顆粒式活性炭濾除 TVOC 及甲醛等污染物、TIO<sub>2</sub> 光觸媒滅菌器淨化機制，最終由空氣淨化器出風口處以激光測霾儀 HK-B5S 量測清淨清淨機出風口之空氣清淨效果如圖 3-18。





圖 3-18 實驗配置流程架構

### 3.2.2 試驗量測

針對實驗場域實驗條件，進行該空間室內、室外示範實驗對照環境背景值數據，觀察記錄實驗場域於使用空氣淨化手段前、後差異。首先檢測實驗場域之室外空氣品質狀態，以激光測霾儀 HK-B5S 實際量測實驗場域戶外背景值，著手進行量測細懸浮微粒 PM2.5 數據如圖 3-19，室外空氣品質量測結果細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $21\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。



圖 3-19 實驗場域室外對照環境背景值

### 3.2.3 污染物顆粒收集

照片左側油霧產生機製造模擬細懸浮微粒 PM2.5 污染物顆粒，藉由預設透明壓克力圓形管道將污染源全數集中輸送到照片右側壓克力收集箱，以激光測霾儀 HK-B5S 於收集箱內進行污染物總量偵測，依序做污染物顆粒收集試驗(圖 3-20)。



圖 3-20 實驗流程架構操作示意圖

示範案例經過模擬實驗流程配置，進行具體操作，實地偵測實驗場域室內細懸浮微粒 PM2.5 背景值空氣品質狀態，量測細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ (圖 3-21)；由煙霧產生機產生污染源藉由預設壓克力管道傳送至壓克力收集箱，於壓克力收集箱內以激光測霾儀 HK-B5S 檢視細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $999\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；再將細懸浮微粒 PM2.5 污染物經過空氣淨化器，於 QQair 落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 設備出風口以激光測霾儀 HK-B5S 監測清淨效果，實際量測細懸浮微粒 PM2.5 數據  $0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。示範案例實驗證明 QQair 選型之落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 能夠有效率移除細懸浮微粒 PM2.5。





圖 3-21 示範案例空氣清淨機出風口檢測示意圖

### 3.2.4 實驗條件

本研究規劃採用靜電式空氣淨化機以及活性炭物理吸附過濾模組進行實驗操作，搭配市售專業空氣品質懸浮微粒監測儀與網路平台銷售細懸浮微粒 PM2.5 之量測儀器為示範案例實驗佐證用。實驗場域詳實紀錄實驗當下溫度、濕度等背景條件，做為日後規劃案例設計對照參考用；計劃首先以激光測霾儀 HK-B5S 偵測環境細懸浮微粒 PM2.5 實際狀況以及 CO<sub>2</sub> 二氧化碳監測儀：ZG 106 監測實驗場域室外以及室內人員使用狀態下 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度變化。進行室內與戶外與 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度稀釋後之變化紀錄與細懸浮微粒 PM2.5 清淨效果為示範案例實驗對照參考。再以 Matone HHPC-6 攜帶式懸浮微粒監測儀進行細懸浮微粒直徑 PM0.3 $\mu\text{m}$ ~5.0 $\mu\text{m}$  (微米)監測移除效率實驗。以期找出空氣污染防制有效的即時改善方案與途徑

## 第四章 結果與討論

本研究依據空氣品質感應器所收集數據做示範案例基礎，搭配 QQair 空氣清淨設備之靜電式空氣淨化機以及活性碳物理吸附過濾模組，搭配 wifi 應用物聯網技術，建立空氣品質即時改善系統，預設當空氣品質將低於設定標準時，立即啟動空氣品質即時改善系統以維持室內空氣品質；最後依據實驗成果，建立靜電式空氣淨化機以及活性碳物理吸附過濾模組的設計和選型方式之效益評估，提出有效改善室內空氣品質最佳化方案，探討結果及實驗數據呈現如下。

### 4.1 實驗結果

#### 4.1.1 PM2.5 直接收集移除率實驗

監測實驗場域首先針對實驗場域戶外進行空氣品質採樣，對照戶外空氣品質以激光測霾儀 HK-B5S 量測細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ (圖 4-1)之(a)室外監測。同時針對(b)室內監測記錄，取得實驗場域示範案例之室內空氣品質背景值進行量測，經採樣室內細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及  $14\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

針對實驗場域示範案例之室內細懸浮微粒 PM2.5 第一次量測指數為  $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ (圖 3-19)；壓克力收集箱經激光測霾儀 HK-B5S 量測細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $999\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；細懸浮顆粒污染物經過空氣淨化模組過濾之後出風口採用激光測霾儀 HK-B5S(圖 4-1)量測空氣清淨機出風口清淨效果，細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，記錄如(表 4-1)，細懸浮微粒 PM2.5 移除率  $>99.9\%$ 。



(a) 室外監測

(b) 室內監測

圖 4-1 監測實驗場域戶外空氣品質背景值

表 4-1 細懸浮微粒 PM2.5 移除效率出風口測試 2

室外 PM2.5 數據	室內 PM2.5 數據	壓克力收集箱 PM2.5 數據	清淨機出風口 PM2.5	PM2.5 移除率
18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	> 99.9%
	14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	> 99.9%

實驗證明 QQair 落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 能夠有效率移除細懸浮微粒 PM2.5。

#### 4.1.2 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度稀釋實驗

針對 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度稀釋實驗示範測試之場域預設格局：長 4.5×寬 4.6×高 2.9M 的立體空間；本實驗規劃採用設備為新風型空氣清淨機 AC-602R，進行 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度稀釋改善手段。首先以 CO<sub>2</sub> 二氧化碳監測儀 ZG-106 進行場域監測，測試時間為上午 09：00 進行，測試開始先針對監測實驗場域之戶外進行 CO<sub>2</sub> 二氧化碳採樣，實際量測戶外 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值為 460ppm(圖 4-2)，作為未來稀釋



室內之新鮮空氣來源。



圖 4-2 實驗場域戶外 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度監測數據

爾後進入預設之實驗場域內，該室內空間於人員尚未進入使用前，進行環境背景值量測室內之 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值採樣，實際量測 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度為 588ppm(圖 4-3)，量測紀錄後人員開始活動使用該空間，於使用活動期間，觀察該空間 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值變化。



圖 4-3 實驗空間室內 CO<sub>2</sub> 二氧化碳使用前進行量測

追蹤實驗場域空間於人員進入操作使用經過 1 小時之後，室內人員吐出 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度持續累積，針對環境 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度進行採樣，發現量測值數據升高至 840ppm(圖 4-4)；



圖 4-4 實驗場域室內空間於使用經過 1 小時之後監測數據持續追蹤示範實驗場域空間於人員進入操作使用經過 2 小時之

後，CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度持續累積，再一次針對環境 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度進行量測，發現量測值數據更升高至 1190ppm(圖 4-5)；超過環保署 CO<sub>2</sub> 二氧化碳之建議值 1000ppm。

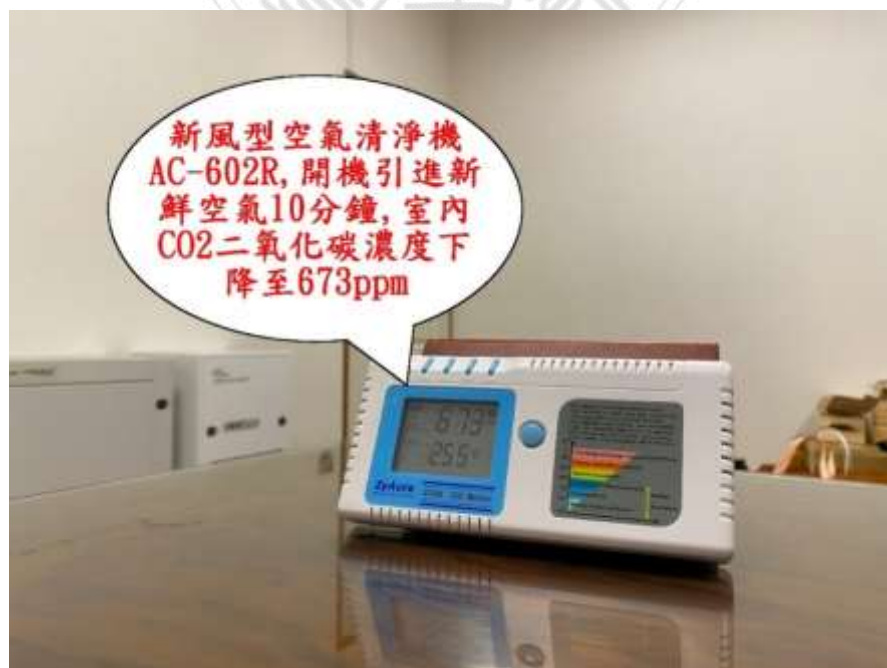


**圖 4-5 實驗場域室內空間於使用經過 2 小時之後監測數據**  
當室內 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度攀升至超越環保署 IAQ 建議值 CO<sub>2</sub> 二氧化碳 1000ppm 後，選用 QQair 新風型空氣清淨機 AC-602R(圖 4-6) 作為解決方案，開機運轉引進實驗前對照室外背景值濃度 460ppm 之戶外新鮮空氣，稀釋 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度，改善實驗場域室內空氣品質狀態。



**圖 4-6 QQair 新風型空氣清淨機 AC-602R 新鮮空氣引進**

觀察並紀錄 QQair 新風型空氣清淨機 AC-602R 開機運轉 10 分鐘後，引進場域戶外 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度背景值 460ppm 戶外之新鮮清淨空氣，進行稀釋室內 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值，實際量測 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度顯著降低至 673ppm(圖 4-7)。室內環境之 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值恢復下降至環保署建議 IAQ 之安全衛生環境。





**圖 4-7 QQair 新風型空氣清淨機 AC-602R 新鮮空氣引進 10 分鐘 CO<sub>2</sub>**

本研究紀錄根據(表 4-3)於第二次實驗紀錄顯示，CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度稀釋實驗測試表格紀錄數據得知，環境濃度變化從初始場域戶外以二氧化碳監測儀：ZG 106 針對 CO<sub>2</sub> 二氧化碳採樣顯示濃度值為 460ppm >> 實驗場域室內環境於人員未進入使用前，先行採樣 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值為 588ppm >> 場域經過人員使用 1 小時呼出大量 CO<sub>2</sub> 二氧化碳後，進行環境監測 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值升高至 840ppm >> 場域室內於人員使用 2 小時呼出更大量 CO<sub>2</sub> 二氧化碳後，再一次進行環境量測 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值持續升高至 1190ppm >> 等待室內 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度超過環保署建議值 ≤1000ppm，選用 QQair 新風型空氣清淨機 AC-602R 開機引進室外背景值 460ppm 清淨之新鮮空氣 10 分鐘後，稀釋二氧化碳濃度值迅速降低為：673ppm。CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度值下降至環保署建議 IAQ 之安全衛生環境，實驗佐證 CO<sub>2</sub> 濃度解決方式引進適當清淨之新鮮戶外空氣，稀釋二氧化碳濃度成效非常顯著，紀錄如(表 4-2)。

**表 4-2 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度稀釋測試紀錄**

編號	室外環境	初始室內	1 小時室內	2 小時室內	外氣引進 10 分鐘 CO <sub>2</sub> 值	CO <sub>2</sub> 值 降低率
	CO <sub>2</sub> 值	CO <sub>2</sub> 值	CO <sub>2</sub> 值	CO <sub>2</sub> 值		
第一次測試	391ppm	578ppm	703ppm	922ppm	651ppm	29.39%
第二次測試	460ppm	588ppm	840ppm	1190ppm	673ppm	43.45%

### 4.1.3 落地及天花板型空氣清淨機 PM<sub>2.5</sub> 移除率實驗

本研究於細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub> 移除率預設實驗場域會議室格局為：長 4.5×寬 3.9×高 2.9M 之立體空間，示範實驗紀錄說明如下：

#### (a) 落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R

首先採用選型 QQair 落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 進行細



懸浮微粒 PM2.5 移除率測試，搭配 3 組 C1SP 之 PM2.5 測霾儀進行場域會議室內之感測點 A、B、C 三點進行採樣，量測細懸浮微粒 PM2.5 數據變化，並進行紀錄(圖 4-8)。根據示範實驗場域會議室空間圖示感測點 A 為記錄，進行細懸浮微粒 PM2.5 移除率實驗，針對會議室感測點 A 進行細懸浮微粒 PM2.5 移除率實驗全程紀錄。時間記錄與數據呈現如(表 4-3)。



圖 4-8 PM2.5 移除率實驗場域會議室感測點 A 操作示意圖  
表 4-3 實驗會議室空間感測點 A 之 PM2.5 移除率實驗記錄

時間	感測 A PM2.5	A 點 移除率	感測點 B 之 PM2.5	B 點 移除率	感測點 C PM2.5	C 點 移除率	運轉 時間

08 : 25	865 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		743 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		705 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
08 : 35	398 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	53%	377 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	49%	345 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	51%	10
08 : 44	175 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	79%	166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	77%	151 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	78%	19
09 : 00	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95%	32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95%	29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95%	35
09 : 13	9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	98%	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	98%	7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	99%	48
09 : 30	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	99%	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	99%	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	99%	65

**08 : 25** 監測場域會議室感測點 A 之室內環境背景值，於未使用空氣清淨機前進行細懸浮微粒 PM2.5 量測指數為 865 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，採樣完成後，開啟落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 運轉進行細懸浮微粒 PM2.5 移除率實驗測試。

**08 : 35** 實驗場域於空氣清淨機運轉 10 分鐘後，針對感測點 A 進行量測細懸浮微粒 PM2.5 降低至指數為 398 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。對照原始未使用空氣清淨機前之環境背景值指數 865 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，該細懸浮微粒 PM2.5 移除率約 53%。

**08 : 44** 持續針對感測點 A 進行第二次量測細懸浮微粒 PM2.5 降低至指數為 175 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。對照原始未使用空氣清淨機前之環境背景值指數 865 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，該細懸浮微粒 PM2.5 移除率約 79%。

**09 : 00** 針對感測點 A 持續進行第三次量測細懸浮微粒 PM2.5 降低至指數為 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。對照原始未使用空氣清淨機前之環境背景值指數 865 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，該細懸浮微粒 PM2.5 移除率約 95%。

**09 : 13** 持續針對感測點 A 進行第四次量測並記錄細懸浮微粒 PM2.5 降低至指數為 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。對照原始未使用空氣清淨機前之環境背景值指數 865 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，該細懸浮微粒 PM2.5 移除率約 98%。

**09 : 30** 於開機測試約 65 分鐘後，針對感測點 A 進行第五次量測細懸浮微粒 PM2.5 降低至指數為 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。對照原始未使用空氣清淨機前之環境背景值指數 865 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，該細懸浮微粒 PM2.5 移除率 >99%。

本研究實驗印證落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 針對空間細

懸浮微粒 PM2.5 污染物總量進行移除效率測試，細懸浮微粒 PM2.5 移除率示範實驗實測結果可以達到 99%以上(圖 4-9)。

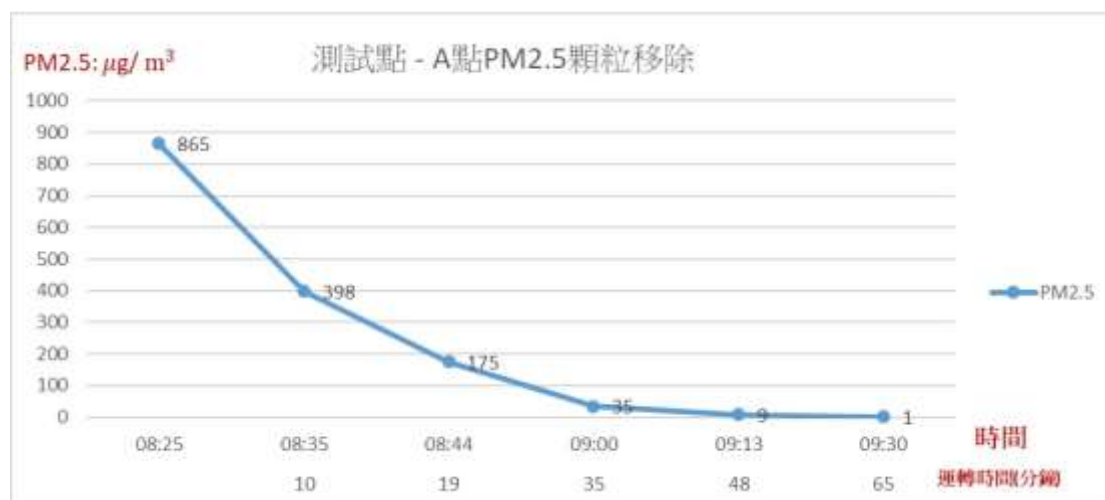


圖 4-9 實驗場域 A 空間感測點 A 之 PM2.5 移除率實驗記錄  
(b)天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R

依序選型採用 QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R 進行細懸浮微粒 PM2.5 移除率測試，一樣搭配 3 組 C1SP 之 PM2.5 測霾儀進行場域會議室空間內預設之感測點 A、B、C 三處採樣點，紀錄細懸浮微粒 PM2.5 數據變化，同時進行實驗紀錄(圖 4-10)。實驗 b 以場域會議室空間圖示感測點 B 為實驗記錄參考，第二次針對會議室感測點 B 進行細懸浮微粒 PM2.5 移除率實驗全程紀錄如表 4-4。



圖 4-10 PM<sub>2.5</sub> 移除率實驗場域會議室感測點 B 操作示意圖

表 4-4 實驗會議室空間感測點 B 之 PM<sub>2.5</sub> 移除率實驗記錄

時間	感測點 A PM <sub>2.5</sub>	A 點 移除率	感測點 B PM <sub>2.5</sub>	B 點 移除率	感測點 C PM <sub>2.5</sub>	C 點 移除率	運轉時 間
16 : 38	638 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		576 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		593 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
17 : 10	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	97%	18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	97%	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	97%	32
17 : 18	7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	98%	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	98%	7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	98%	40
17 : 36	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	99%	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	99%	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	99%	58

16 : 38 監測場域會議室感測點 B 採樣點之室內環境背景值，於未使

用空氣清淨機前進行細懸浮微粒 PM2.5 量測指數為  $576\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，採樣量測完成後，開啟 QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R 運轉進行示範實驗細懸浮微粒 PM2.5 移除率實驗測試。

**17:10** 實驗場域於空氣清淨機運轉 32 分鐘後，針對感測點 B 進行量測，細懸浮微粒 PM2.5 降低至指數為  $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。對照原始未使用空氣清淨機前之環境背景值指數  $576\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，該細懸浮微粒 PM2.5 移除率約 97%。

**17:18** 持續針對會議室感測點 B 進行第二次量測細懸浮微粒 PM2.5 降低為： $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。對照原始未使用空氣清淨機前之環境背景值  $576\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，該細懸浮微粒 PM2.5 移除率約 98%。

**17:36** 於開機測試約 58 分鐘後，再針對會議室感測點 B 採樣點進行第三次量測細懸浮微粒 PM2.5 降低至指數為  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。對照原始未使用空氣清淨機前之環境背景值指數  $576\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，該細懸浮微粒 PM2.5 移除率  $>99\%$ 。

本研究根據示範實驗場域會議室空間圖示感測點 B 數據記錄為基礎，以 QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R 針對空間細懸浮微粒 PM2.5 總量進行移除效率測試，針對細懸浮微粒 PM2.5 移除後總數量，對照原始未使用空氣清淨機前之環境背景值指數  $576\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其細懸浮微粒 PM2.5 移除效果達到 99%以上(圖 4-11)。

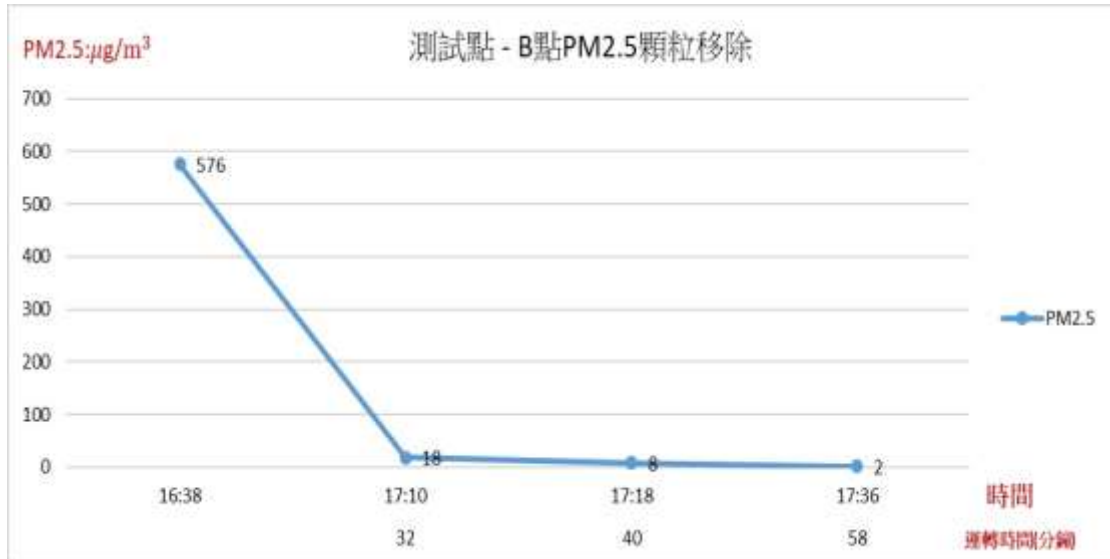


圖 4-11 實驗場域 A 空間感測點 B 之 PM2.5 移除率實驗記錄

#### 4.1.4 PM0.3~5µm 移除率實驗

本研究實驗選定細懸浮微粒直徑為 PM0.3~5µm 做移除效果實驗，搭配採用 Matone HHPC-6 攜帶式懸浮粒子計數器(圖 4-12)針對 PM0.3µm~5µm 顆粒進行清淨度效率測試。



圖 4-12 Matone HHPC-6 攜帶式懸浮粒子計數器

本研究示範實驗選用 QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R，針對系懸浮微粒直徑 PM0.3µm~5µm 顆粒做移除率做實驗測試。設備規格耗電量，進風以及出風口形式，處理風量如表 4-5。

表 4-5 QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R 規格表



機 型	QQair AC-680R
外觀尺寸	620×620×1 mm
嵌入尺寸	580×580×345 mm
生產國	台灣製造
電源／耗電量	110V／39～61W
進／出風口設計	機體底部中央進氣，兩側立體出風導板(吹距遠、擴散廣、效率高)立體循環不容易造成擾流
進氣處理量	H-610 M-425 L-255(CFM)

首先針對測試場域尚未使用空氣清淨機之前，所在之室內環境背景值進行採樣量測，以 Matone HHPC-6 攜帶式懸浮粒子計數器，依據細懸浮顆粒物直徑 PM0.3 $\mu$ m～5 $\mu$ m 顆粒數量逐項進行統計，紀錄數據如表 4-6。

**表 4-6 實驗場域背景值 PM0.3 $\mu$ m～5.0 $\mu$ m 顆粒採樣紀錄**

細懸浮微粒直徑	微粒數量
0.3 $\mu$ m	81670
0.5 $\mu$ m	6973
0.7 $\mu$ m	2031
1.0 $\mu$ m	1099
3.0 $\mu$ m	537
5.0 $\mu$ m	61

示範實驗環境經過採樣之後，使用選型 QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R 開機運轉，經過空氣淨化模組後，於空氣清淨機出風口以 Matone HHPC-6 攜帶式懸浮粒子計數器進行第一次細懸浮微粒直徑 PM0.3 $\mu$ m～5.0 $\mu$ m(微米)量測數據紀錄如表 4-7。

**表 4-7 AC-680R 出風口 PM0.3 $\mu$ m～5 $\mu$ m 第一次量測紀錄**

細懸浮微粒直徑	微粒數量
0.3 $\mu$ m	2173
0.5 $\mu$ m	115
0.7 $\mu$ m	20
1.0 $\mu$ m	9

3.0 μm	4
5.0 μm	1

於 QQair 天花隱藏型空氣清淨機 AC-680R 空氣淨化模組過濾後，統計第一次由空氣清淨機出風口量測細懸浮微粒總數量，進行淨化效果評估。空氣清淨機出風口細懸浮微粒總數量÷背景值細懸浮微粒總數量=移除率。逐一檢視通過空氣淨化模組，換算細懸浮微粒直徑 0.3μm~5.0μm 移除效率為：97.3%~99.2%。統計出風口細懸浮微粒總數量與環境背景值總數量，換算移除率數據如圖 4-13。清淨機出風口總數量 2173÷背景值 81670=0.3μm 移除率約 97.3%。清淨機出風口總數量 115÷背景值 6973=0.5μm 移除率約 98.3%。清淨機出風口總數量 20÷背景值 2031=0.7μm 移除率約 99.0%。清淨機出風口總數量 9÷背景值 1099=1.0μm 移除率約 99.1%。清淨機出風口總數量 4÷背景值 537=3.0μm 移除率約 99.2%。清淨機出風口總數量 1÷背景值 61=5.0μm 移除率約 98.3%。

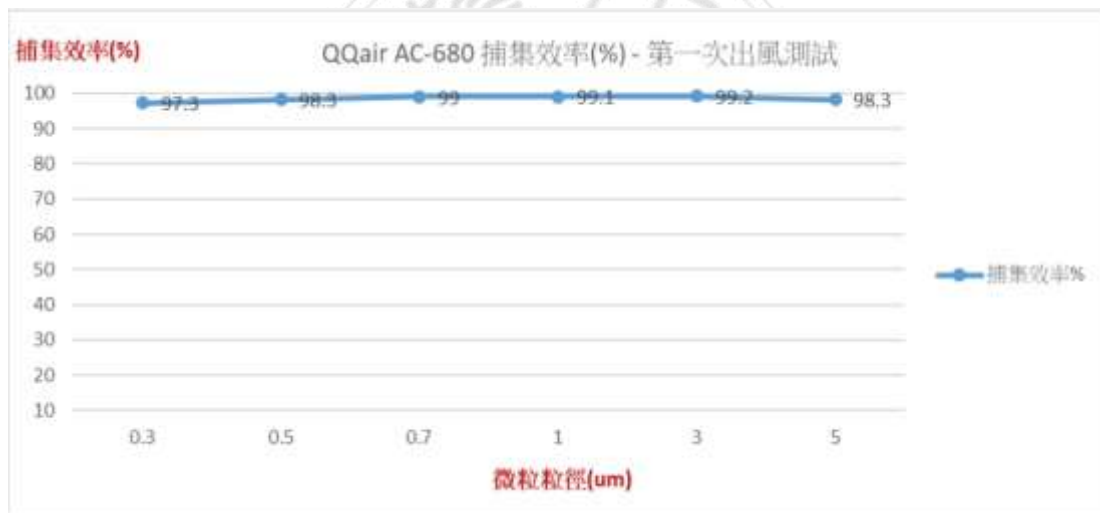


圖 4-13 細懸浮微粒直徑 PM0.3μm~5.0μm (微米)移除效率

經過第一次 QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R 出風口量測採樣之後，將 Matone HHPC-6 攜帶式懸浮粒子監測儀重新歸零，再一次於空氣清淨機出風口，針對細懸浮微粒直徑 0.3μm ~ 5.0μm(微米)量測紀錄再進行實驗，第二次統計數據如下：

表 4-8 AC-680R 出風口 PM0.3μm~5μm 第二次量測紀錄

細懸浮微粒直徑	微粒數量
0.3 μm	1735
0.5 μm	114
0.7 μm	32



1.0 $\mu\text{m}$	8
3.0 $\mu\text{m}$	2
5.0 $\mu\text{m}$	0

將 Matone HHP-6 攜帶式懸浮粒子計數器重新歸零後，在 QQair 天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R 空氣淨化模組過濾後，統計第二次由空氣清淨機 AC-680R 出風口量測細懸浮微粒直徑  $\text{PM}_{0.3\mu\text{m}} \sim 5\mu\text{m}$  總數量，進行淨化效果評估。空氣清淨機出風口細懸浮微粒總數量 $\div$ 背景值細懸浮微粒總數量=移除率，逐一檢視通過空氣淨化模組，檢視細懸浮微粒直徑  $\text{PM}_{0.3\mu\text{m}} \sim 5.0\mu\text{m}$  移除效率為：97.8%~100%。

實驗得知電子式空氣清淨機針對細懸浮微粒直徑  $\text{PM}_{0.3\mu\text{m}} \sim 5.0\mu\text{m}$  (微米)污染物有顯著清淨效果，第二次空氣清淨機出風口量測細懸浮微粒總數量對照環境背景總數量，換算移除率數據如圖 4-14。

清淨機出風口總數量 1735 $\div$ 背景值 81670= $0.3\mu\text{m}$  移除率約 97.8%。

清淨機出風口總數量 114 $\div$ 背景值 6973= $0.5\mu\text{m}$  移除率約 98.3%。

清淨機出風口總數量 32 $\div$ 背景值 2031= $0.7\mu\text{m}$  移除率約 98.4%。

清淨機出風口總數量 8 $\div$ 背景值 1099= $1.0\mu\text{m}$  移除率約 99.2%。

清淨機出風口總數量 2 $\div$ 背景值 537= $3.0\mu\text{m}$  移除率約 99.6%。

清淨機出風口總數量 0 $\div$ 背景值 61= $5.0\mu\text{m}$  移除率約 100%。

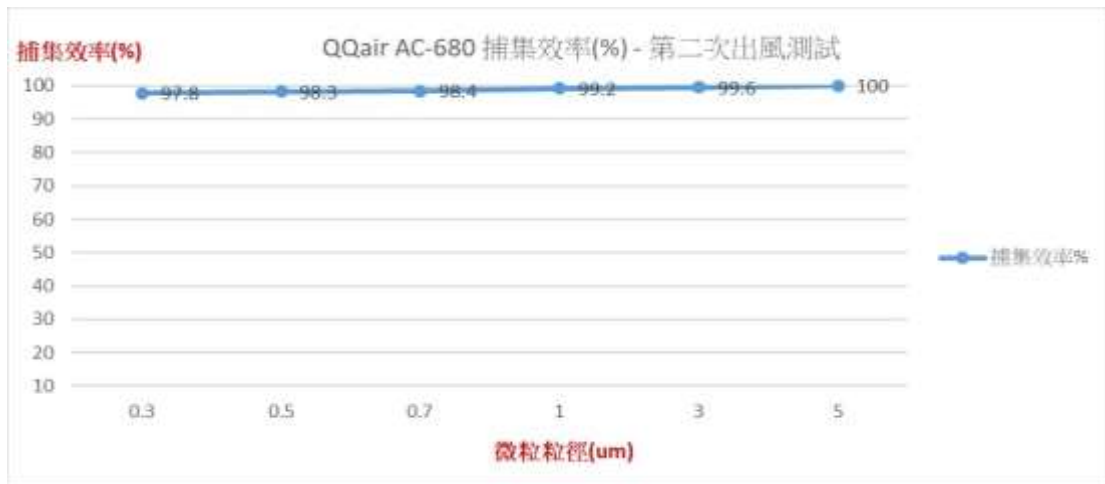


圖 4-14 細懸浮微粒直徑  $PM_{0.3\mu m} \sim 5.0\mu m$  (微米) 移除效率 2

檢視上述兩次示範實驗量測數據統計結果，空氣清淨機針對細懸浮微粒直徑  $PM_{0.3\mu m} \sim 5.0\mu m$  (微米) 的顆粒物具有良好的移除效果。

#### 4.1.5 遠端操作 $PM_{2.5}$ 移除率實驗

遠端操作細懸浮微粒  $PM_{2.5}$  移除率實驗，選定預設場域空間條件如下：長度：7.2M×寬度：4.65M×高度 3.03M 的立體空間進行示範實驗，實驗時間於 16：20 開始，首先於未使用空氣清淨設備之前，以 QQair 之 wifi 遠端監控 app 執行操作，針對實驗場域室內對照背景值細懸浮微粒  $PM_{2.5}$ 、溫度、濕度進行記錄，量測背景細懸浮微粒  $PM_{2.5}$  指數為  $136\mu g/m^3$  (圖 4-15)、溫度  $32^\circ C$ 、濕度 46%，於場域空氣品質背景值數據取得後，利用 QQair 之 wifi 遠端監控 app 搭配落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 進行實驗開機運轉，利用 app 介面進行後續遠端監控之實驗紀錄。

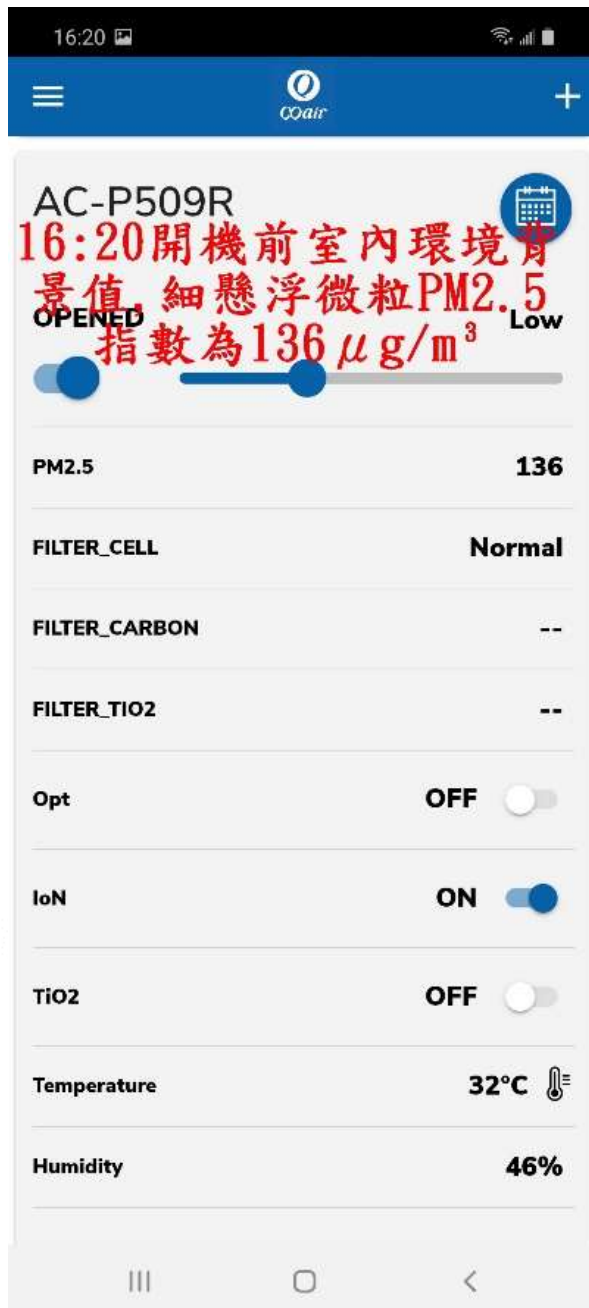


圖 4-15 QQair 遠端監控環境背景值監測

QQair 之 wifi 遠端監控 app，搭配落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 開機時間運轉 3 分鐘後，時間 16:23 開始針對監測實驗場域進行量測，細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $117\mu\text{g}/\text{m}^3$ (圖 4-16)。

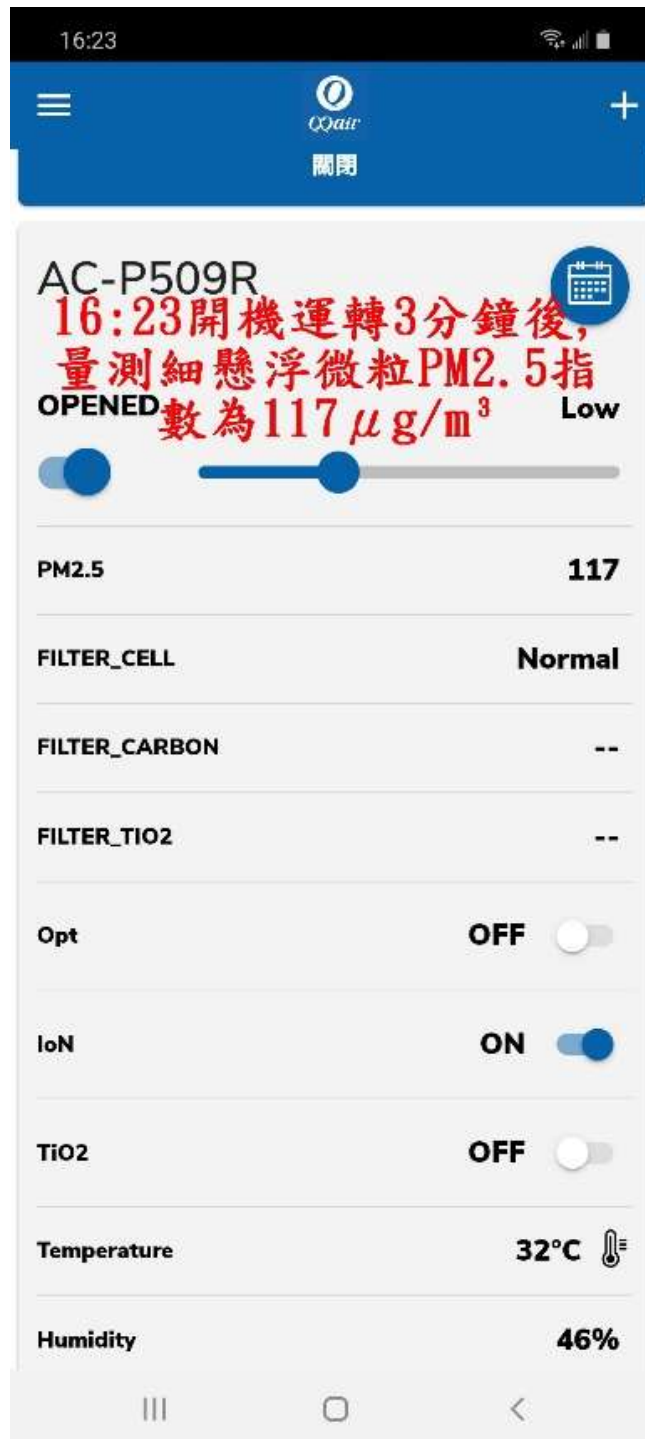


圖 4-16 QQair 遠端監控開機 3 分鐘後監測數據

16:25 再一次監測細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $72\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，之後實驗記錄計劃每間隔 2 分鐘監測一次細懸浮微粒 PM2.5 數據變化，直到實驗結束，逐筆紀錄實驗結果(圖 4-17)。

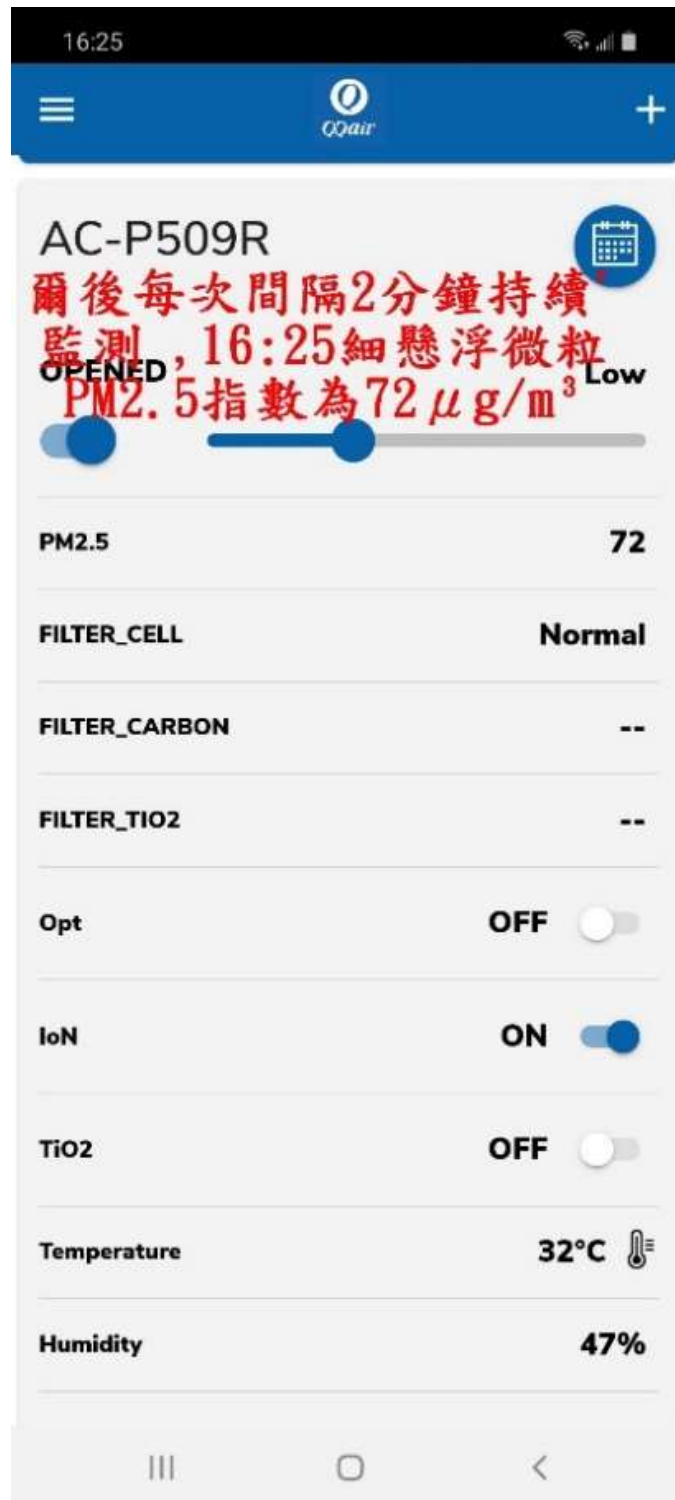


圖 4-17 QQair 遠端監控每次間隔 2 分鐘持續監測  
16:27 實驗進行 7 分鐘後，監測細懸浮微粒 PM2.5 指數為  
55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (圖 4-18)。

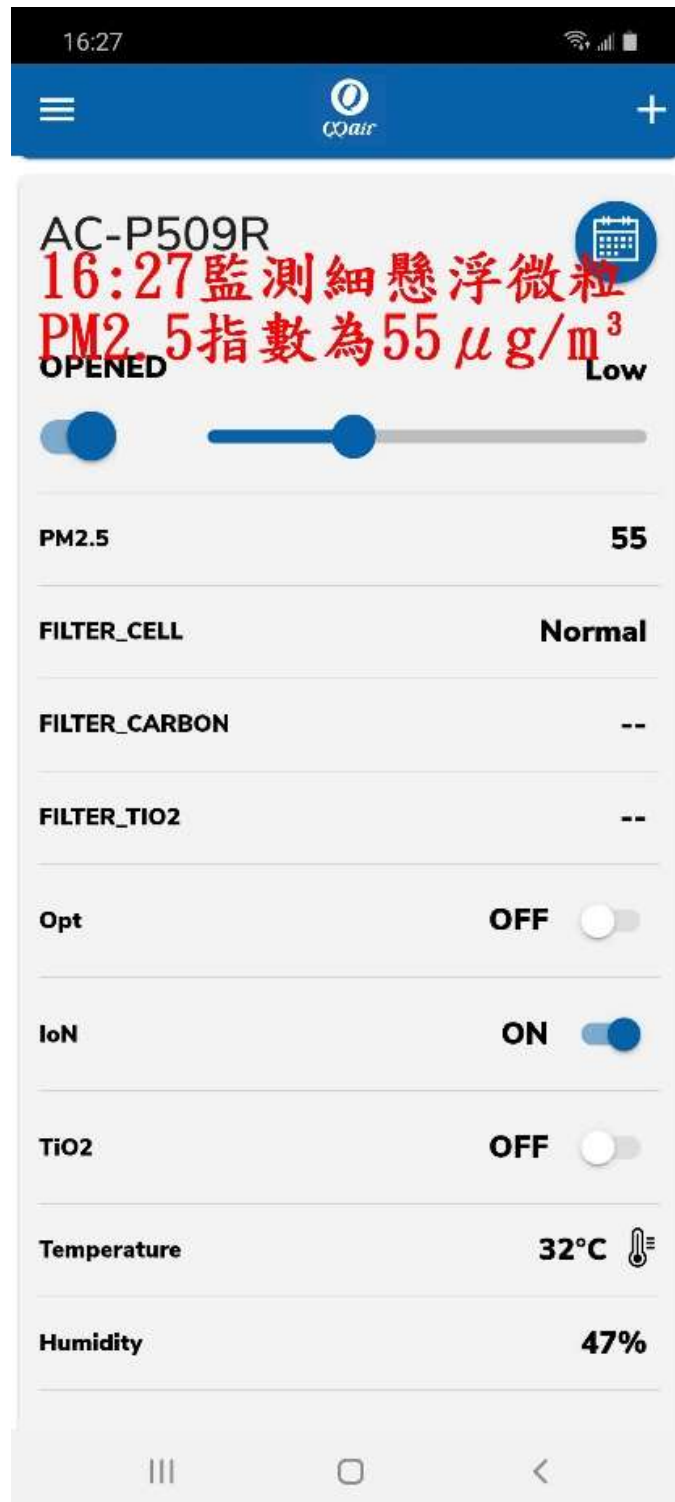


圖 4-18 QQair 遠端監控開機 7 分鐘後監測數據

16:45 實驗進行 25 分鐘後，監測細懸浮微粒 PM2.5 指數已經下降至指數為  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (圖 4-19)。



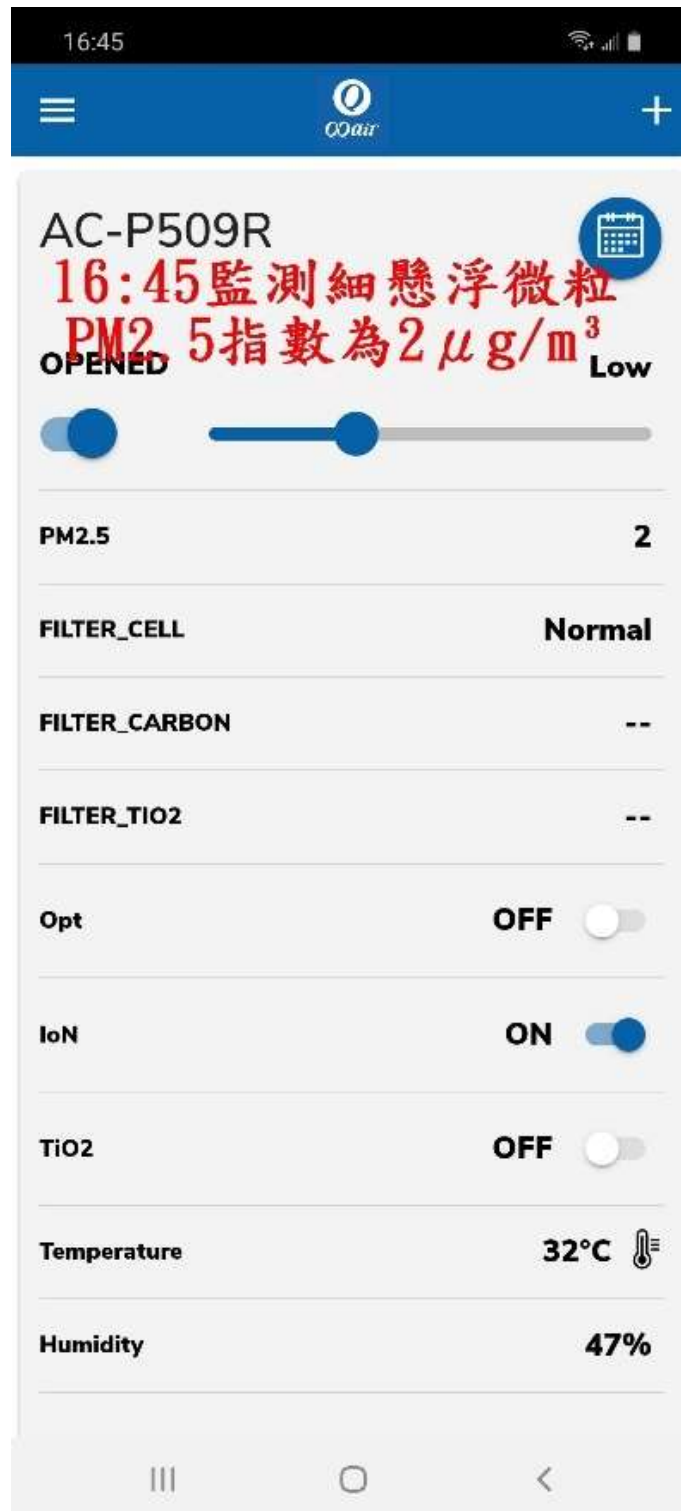


圖 4-19 QQair 遠端監控開機 25 分鐘後監測數據

16:46 實驗經歷 26 分鐘後，監測細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $0\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，將室內污染物有效移除(圖 4-20)。



圖 4-20 QQair 遠端監控開機 27 分鐘後監測數據

本研究示範實驗場域經過空氣清淨機模組運轉測試，原始環境背景值從初始 16:20 開始測試，量測細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $136\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，移除率實驗經過 27 分鐘後，環境污染指數於開機 27 分鐘 16:47 下降至細懸浮微粒 PM2.5 指數為  $0\mu\text{g}/\text{m}^3$ (表 4-9)。示範實驗佐證 wifi 環境下搭配 QQair 遠端監控 app 操作，選型採用 QQair 落地上吹

型空氣清淨機 AC-P509R 空氣淨化模組運轉，能夠有效移除標的場域室內細懸浮微粒 PM2.5 汙染物(圖 4-21)。

表 4-9 wifi 遠端監控細懸浮微粒 PM2.5 指數移除紀錄

時間	PM2.5 指數 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	實驗運轉時間
16:20	136	未開機-量測室內環境背景值
16:23	117	3
16:25	72	5
16:27	55	7
16:29	31	9
16:31	21	11
16:33	16	13
16:35	10	15
16:37	8	17
16:39	4	19
16:41	3	21
16:43	1	23
16:45	2	25
16:46	0	26

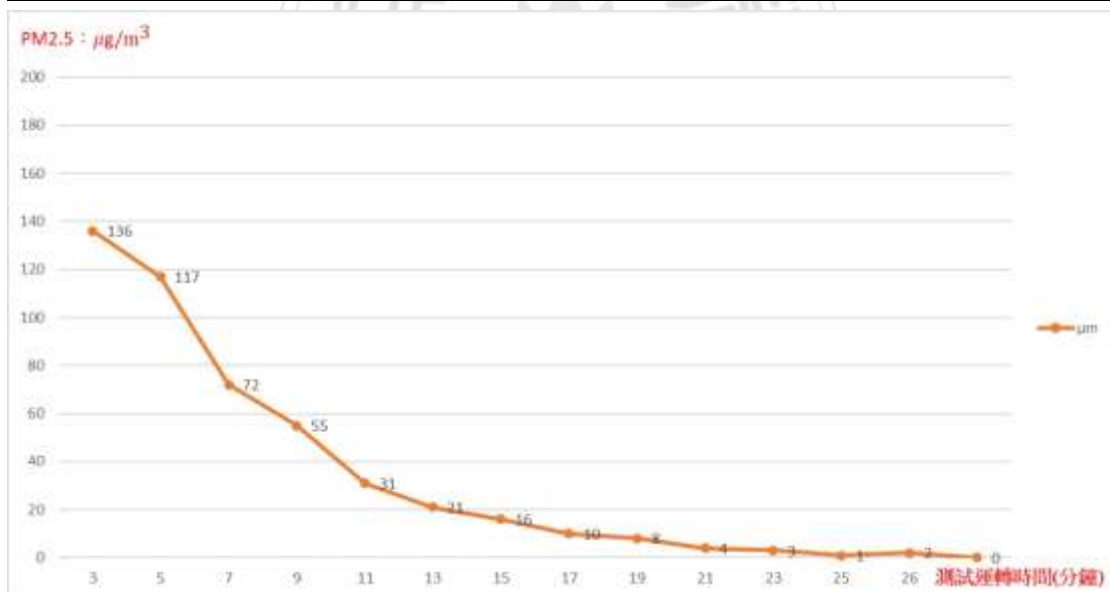


圖 4-21 wifi 遠端監控細懸浮微粒 PM2.5 移除效率

## 4.2 空氣淨化設計實現與討論

從上述示範實驗對於空氣品質改善手段中得知，在多種實驗模式架構下發現 4.1.3 之(a) 落地上吹型 AC-P509R 及(b)天花板隱藏型空氣清淨機 AC-680R 針對細懸浮微粒 PM2.5 移除率實驗；與 4.1.5

搭配 wifi 遠端監控 app 細懸浮微粒 PM2.5 移除率實驗得知，QQair 落地上吹型空氣清淨機 AC-P509R 結合 wifi 遠端監控 app 針對降低細懸浮微粒 PM2.5 總量(圖 4-22)，對於空氣淨化需求與改善皆有高度成效，本研究之空氣淨化機單機處理與 wifi 遠端監控 app 實驗均能達到空氣品質改善理想的範圍，故本研究應用物聯網技術於室內空氣品質即時改善系統進行探討有一定的成效。

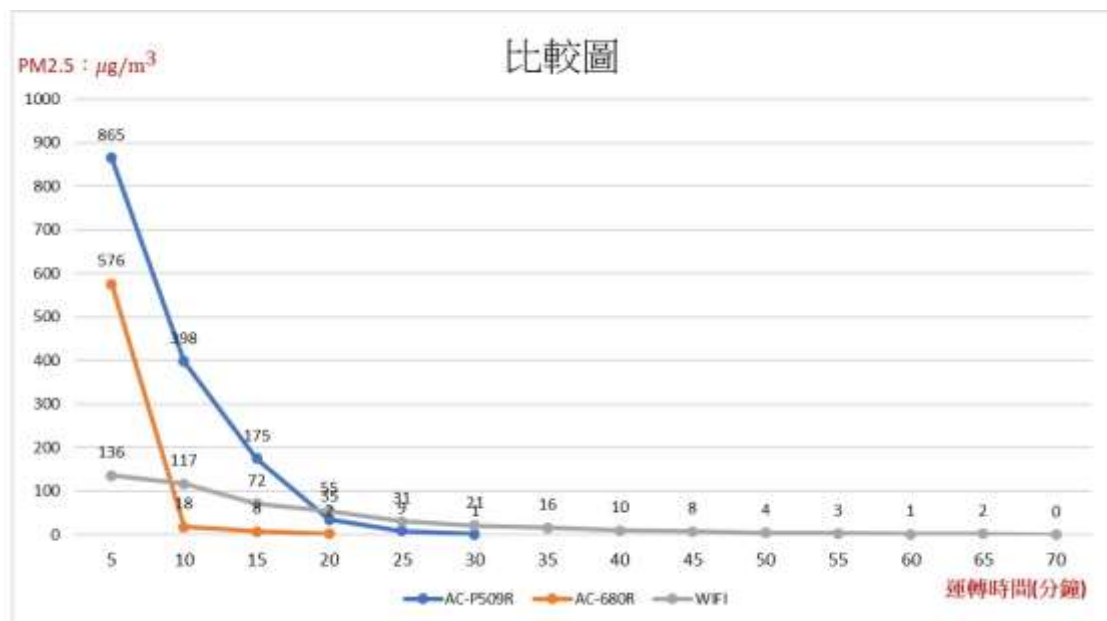


圖 4-22 空氣淨化設計實現成果紀錄

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本研究鑑於居住型態每人每天約有 80~90% 的時間處於室內環境中(包括在住家、辦公室、工作空間或其他建築物內)，室內空氣品質的良窳，直接影響工作品質與效率，因此室內空氣污染物對人體健康影響應當受到重視。有效改善室內空氣品質，才能維護人體健康，避免健康受危害。鑒於二、三十年來民眾生活型態改變，使得人們處在密閉的居住空間或是辦公空間裏享受空調系統帶來的舒適便利之餘，「病態建築物症候群」(Sick Building Syndrome, SBS) 也應運而生。於密閉的建築物體，倘若室內通氣量不足時，污染物就容易積而導致室內空氣品質惡化。世界衛生組織(WHO)於 1982 年將「病態建築物症候群」定義為：「凡因建築物內空氣污染導致人體異常症狀，如神經毒性症狀(含眼，鼻，喉頭感到刺激等)。

本研究選用了室內空氣品質 IAQ 指標以及行政院環境保護署訂定的 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度指標做為評估室內空氣品質的評價標準，依據兩項指標的共同關係制定出室內細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>，將學者認為的 IAQ 值介於  $0 < AQI < 50$  為最佳品質、行政院環境保護署所制定的 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度表中 CO<sub>2</sub> 二氧化碳濃度應介於  $0(\text{ppm}) < \text{CO}_2(\text{ppm}) < 1,000(\text{ppm})$ ，實驗印證進行模擬結果，分析出空氣品質改善歸納為可控環境因素。

研究本論文期間，適逢 2019 年起全球陸續爆發 COVID-19 疫情，病毒於地球村生活架構下，人與人、國與國之間頻繁接觸於 2019 年 10 月至 11 月進入人類社會生活並開始傳播，被感染者死傷無數，釀成全球人類、社會、經濟，健康之鉅大衝擊與心理恐慌。

於研究當下進行空氣清淨最小細懸浮微粒 PM0.05 移除率印證，達 50 奈米之成效。COVID-19 病毒根據研究顯示直徑約 60 至 140nm(台灣醫界,2020)，期許在各國政府、科學家攜手打擊、對抗病毒的同時，恪守空氣清淨氣專業研發、設計、生產的本位，開發印證除了兼具捕集細菌、病毒能力以外，能否進一步達到對於消滅細菌、病毒具備實質成效。為提升人類居住安全與環境衛生盡一份心力。

## 5.2 建議

本研究主要針對居住環境常見空氣污染種類的細懸浮微粒 PM0.05、PM2.5、CO<sub>2</sub> 二氧化碳作分析，探討眾多家庭會在家飼養寵物，希望會在客戶端使用者雲端大數具的部分再補上，人的皮屑、塵蟎排泄物、寵物的毛髮都是空氣品質污染物，容易造成人體過敏反應的一環，還有一些揮發性氣體也都會暫時導致空氣品質不佳，因此加入這些部分可能使室內環境品質的測量分出更多的空氣品質改善對策，更能針對污染標的對症下藥，降低過敏原及身體的不適感。未來蒐集空氣品質 IAQ 建議結合溫度、濕度、居家品質、安全衛生結合，讓每個人都能在一個乾淨、安全的環境中成長，達到一個真正理想優質的居住環境。

期許除了做好智慧監測控制的運作，從空間配置、儀器種類、操作維護及品保等，全面提升，期達到空氣品質監測的良好數據與改善目的，確認落實：

- » 判斷空氣污染法規的適合度
- » 研究空氣污染物的長期趨勢
- » 評測空氣污染管制手段的有效性



- » 探討空氣品質對民眾健康的威脅及損害
- » 評估汙染物對自然環境的威脅及損害
- » 開發及驗證具備預測能力的空氣品質擴散模式與解決方案



## 參考文獻

1. No, I. A. F. (1991). 4 (revised) Sick building syndrome. United States Environmental Protection.
2. 資策會數位轉型研究所-FIND 中心(2010), 物聯網架構, 台灣下一個翻身機會 物聯網。
3. 南投縣環境保護局(2019), 2019 年 12 月 30 日-室內空氣品質重要性。
4. 空氣汙染防制法(2006), 中華民國 95 年 5 月 30 日華總一義字第 09500075781 號令修正公布第五十九條及第八十六條條文。
5. 台灣行政院環境保護署(2020), 室內空氣品質標準-環境保護署環署空字第 1010106229 號。
6. 江哲銘(2007), 綠建材解說與評估手冊。
7. 財團法人台灣癌症基金會, FCF(<https://www.canceraway.org.tw> page)。
8. 蘇大成(2010), 臺大醫院環境職業醫學部教授兼主任。台灣癌症基金會電子報：室內空污是室外的 2-5 倍 清淨室內動起來。

## 附錄

### 附錄一. 國家空調設備質量監督檢驗 TEST REPORT 2019

#### 國家空調設備質量監督檢驗中心

樣品編號	2019A-0052		
產品名稱	空氣清化器	規格型號	/
		商標	COLOGY QQAIR
	驊懋有限公司	出廠編號	20190828

委託單位		生產日期	2019-09-06
生產單位	驊懋有限公司	送樣數量	1 台
		送樣日期	2019-09-17
檢驗類別	委託檢驗	檢驗日期	2019-10-23
委託單位地址	NO.123-2,Jifeng Rd., Wufeng Dist., Taichung City		
檢驗依據	檢測方案 BEET-TA-86		
判定依據	/		
檢驗地點	北京市通州區葛渠富壁路		
檢驗用儀器、裝置	T-H70 鋼卷尺；T-H61 激光粒子計數器；T-IAQ01 30m <sup>3</sup> 環境測試艙；T-H44 靜電分級器；H24 凝結核粒子計數器		
檢驗項目	顆粒物淨化效率(0.0514μm、0.1018μm)		
檢驗結論	檢驗結果見第 4~7 頁。		

### 1. 檢測依據

參考 GB/T 108801-2015《空氣淨化器》

### 2. 顆粒淨化效率檢測方案

2.1 將待檢樣品放置於 30 m<sup>3</sup>環境測試艙內，把樣品調節至額定工作狀態，檢驗運轉成功後，關閉樣品。

2.2 開啟空調淨化系統，淨化測試艙內空氣，使粒徑在 0.3μm 以上的顆粒物背景濃度不小於 1000 個/L，同時啟動溫濕度控制裝置，使艙內溫度達到(25±使艙內溫度達到(25±2)°C，相對溼度達到(50±10)%。

2.3 待顆粒物背景濃度降低到合適的水平，紀錄顆粒物背景濃度，關閉空氣淨化系統，啟動攪拌風扇和循環風扇。利用香菸發生器發生標準香菸煙霧，待總濃度(粒徑範圍為 14.6nm-615.3nm)達到(2x10<sup>7</sup>~2x10<sup>8</sup>)個/L 時，關閉香菸發生器，攪拌風扇再攪拌 10min，顆粒物混合均勻後關閉攪拌風扇，試驗過程中，循環風扇一直保持開啟狀態。

2.4 待濃度穩定後，用凝結核粒子計數器測定委託方要求的顆粒物粒徑的初始濃度 c'<sub>0</sub>，開啟樣品至額定狀態，並記錄該樣機輸入功率 P。

2.5 試驗艙內的初始濃度測定後，每 2min 測定並記錄一次委託方要求的顆粒物粒徑下的顆粒物濃度，連續測定 120min。

2.6 關閉樣品，並記錄試驗時試驗艙內的溫度和相對濕度。

2.7 依據測試結果，求得樣品去除顆粒物的淨化效率。

2.8 顆粒物淨化效率計算：

$$\eta' = \frac{c'_0 - c'_t}{c'_0}$$

η'——樣品顆粒物淨化標準，%。

$c'_0$ —— $t=0$  時，室內未開啟樣品時，顆粒物初始濃度，個/L。

$c'_t$ ——在時間為  $t$ ，室內開啟樣品時，顆粒物濃度，個/L。

本頁以下空白。



樣品編號		2019A-0052				
檢 驗 結 果						
序號	檢驗項目	時間點 (min)	粒子濃度(P/L)		淨化效率(%)	
			0.0514μm	0.1018μm	0.0514μm	0.1018μm
1	顆粒物淨化效率	0	31588	351098	/	/
		2	23499	302946	25.6	13.7
		4	11215	154857	64.5	55.9
		6	6690	92087	78.8	73.8
		8	4799	51667	84.8	85.3
		10	4799	35154	84.8	90.0
		12	4742	17298	85.0	95.1
		14	4114	16656	87.0	95.3
		16	4114	11544	87.0	96.7
		18	4114	7818	87.0	97.8
		20	3839	4091	87.8	98.8
		22	3839	2144	87.8	99.4
		24	3537	1649	88.8	99.5
		26	3537	1099	88.8	99.7
28	3537	1099	88.8	99.7		
樣品編號		2019A-0052				
檢 驗 結 果						
序號	檢驗項目	時間點 (min)	粒子濃度(P/L)		淨化效率(%)	
			0.0514μm	0.1018μm	0.0514μm	0.1018μm
1	顆粒物淨化效率	30	3154	1099	90.0	99.7
		32	3154	923	90.0	99.7
		34	2959	923	90.6	99.7
		36	2742	550	91.3	99.8
		38	2742	550	91.3	99.8
		40	2742	550	91.3	99.8
		42	2742	550	91.3	99.8
		44	2567	550	91.3	99.8
		46	2567	550	91.8	99.8
		48	2468	550	92.2	99.8
		50	2165	550	93.1	99.8
		52	2165	550	93.1	99.8
		54	2165	122	93.1	>99.9
		56	2057	122	93.5	>99.9
58	2057	未檢出	93.5	>99.9		
樣品編號		2019A-0052				
檢 驗 結 果						
序號	檢驗項目	時間點 (min)	粒子濃度(P/L)		淨化效率(%)	
			0.0514μm	0.1018μm	0.0514μm	0.1018μm
1	顆粒物淨化效率	60	2057	未檢出	93.5	>99.9
		62	2057	未檢出	93.5	>99.9
		64	2057	未檢出	93.5	>99.9
		66	2057	未檢出	93.5	>99.9
		68	2057	未檢出	93.5	>99.9
		70	1782	未檢出	94.4	>99.9
		72	1782	未檢出	94.4	>99.9
		74	1480	未檢出	95.3	>99.9
		76	1371	未檢出	95.7	>99.9
		78	1371	未檢出	95.7	>99.9
		80	1371	未檢出	95.7	>99.9
		82	1097	未檢出	96.5	>99.9
		84	1097	未檢出	96.5	>99.9

		86	686	未檢出	97.8	>99.9
		88	686	未檢出	97.8	>99.9
樣品編號	2019A-0052					
檢 驗 結 果						
序號	檢驗項目	時間點 (min)	粒子濃度(P/L)		淨化效率(%)	
			0.0514μm	0.1018μm	0.0514μm	0.1018μm
1	顆粒 物 淨化 效率	90	656	未檢出	97.8	>99.9
		92	656	未檢出	97.8	>99.9
		94	411	未檢出	98.7	>99.9
		96	408	未檢出	99.7	>99.9
		98	108	未檢出	99.7	>99.9
		100	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9
		102	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9
		104	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9
		106	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9
		108	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9
		110	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9
		112	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9
		14	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9
116	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9		
118	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9		
樣品編號	2019A-0052					
檢 驗 結 果						
序號	檢驗項目	時間點 (min)	粒子濃度(P/L)		淨化效率(%)	
			0.0514μm	0.1018μm	0.0514μm	0.1018μm
1	顆粒 物 淨化 效率	120	未檢出	未檢出	>99.9	>99.9



檢驗說明：

1. 環境測試艙環境條件：  
溫度 23°C-27°C；相對溼度：40%-60%。
2. 測試樣品工作狀態：高檔。
3. 輸入功效：49.9W。

本頁以下空白。

