

空無一汙：

探討空氣清淨機與空氣汙染之關係

王于溱 北一女中 二年御班 01

王潔怡 北一女中 二年御班 02

周 意 北一女中 二年御班 08

陳允謙 北一女中 二年御班 23

目錄.....	2
壹、前言.....	3
一、研究動機.....	3
二、實驗目的.....	3
三、器材.....	4
貳、文獻探討.....	5
一、PM _{2.5} 簡介.....	5
二、空氣清淨機原理.....	5
三、潔淨空氣輸出比率 Clean Air Delivery Rate (CADR).....	6
四、空氣盒子的原理.....	7
五、判斷空氣品質的指標.....	7
參、研究方法.....	10
一、實驗一 空氣清淨機的運作效率與時間關係.....	10
二、實驗二 空氣清淨機運作效率與段數.....	10
肆、研究分析與結果.....	11
一、實驗一 空氣清淨機的運作效率與時間關係.....	11
二、實驗二 空氣清淨機運作效率與段數.....	13
伍、研究結論與建議.....	18
一、現象與數據分析結果.....	18
二、空氣清淨機消耗能量與清淨效率和最有效的使用方法.....	19
三、空氣清淨與聯合國永續發展指標.....	19
陸、引註資料.....	21

壹、 前言

一、 研究動機

近年來，空氣品質已成為現代人逐漸重視的環境議題之一。空氣品質不僅關乎市容，更與人民的健康息息相關。為了與聯合國公布的永續發展的第十一個目標（這裡是破折號）永續發展城市相呼應，希望透過一些小改變去打造具包容、安全、韌性及永續特質的城市。因應趨勢，市面上空氣清淨機琳瑯滿目，不禁引起了我們的好奇—空氣清淨機真的有用嗎？期望藉由這次的實驗，探討空氣清淨機的運作效率與能源使用情況。我們這次選用空氣盒子進行測量而非直接利用環保署在各地架設的量測站數據來進行分析，因為量測站研究的是台灣大範圍空氣中的長期演變，所以它的最小時間刻度是小時平均值；而且每個人的家跟政府架設的測站都有幾公里的距離，而短短的幾公里之內，空氣就可能發生極大的變化，我們希望能更精密、更準確的觀察 PM2.5 的數值變化。相較於傳統的環境監測系統，微型空氣盒子繼承了過去傳統物聯網低成本、低功耗且利用無線網路傳輸的特性，也改善了以往使用人力傳遞資料的效率，發展出小尺度、即時性環境觀測的創新應用。同時，空氣盒子方便攜帶，也方便我們在操作實驗時，更好的去掌控其他控制變因，提高數據的可參考價值。

二、 實驗目的

- (一)、探討空氣清淨機使用時間對空氣品質的影響
- (二)、探討空氣清淨機段數對空氣清淨結果的影響
- (三)、探討空氣清淨機的能源使用效率

三、 器材

器材名稱	品牌型號	實體照片
空氣盒子	EDIMAX AI- 1001WV3	
空氣清淨機	HoneyWell True HEPA 抗敏空氣 清淨機 (CADR： 200)	

貳、 文獻探討

一、 PM_{2.5} 簡介

PM_{2.5} 為直徑小於 2.5 微米的細懸浮粒子，其本身有毒且容易吸附有毒物質。根據環保署資料，台灣 PM_{2.5} 的主要污染來源為交通污染源為 36%，大陸的境外輸入為 27%，工業的比例則為 25%，自然界則佔了 12%。特別值得一提的是，若將工業源的 25% 細分為營建、化學、電力、鋼鐵及其他製造業，這些常被外界誤解為污染兇手的產業占比並沒有想像中高，反觀台灣莫約 7 萬家餐飲業卻佔了 6.2%。

註：資料來源 行政院環保署 104/04/28

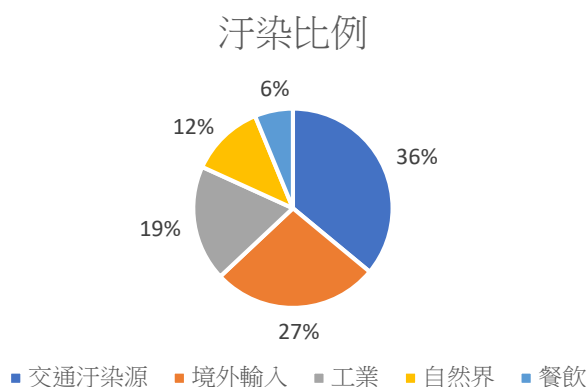


圖 0-1 污染比例圓餅圖

PM_{2.5} 經由鼻、咽及喉進入人體，經氣管、支氣管經肺泡吸收進入人體內部，對健康影響甚巨，包括：支氣管炎、氣喘、心血管疾病、肺癌等，無論長期或短期暴露在空氣污染物的環境之下，皆會提高呼吸道疾病及死亡之風險。

註：資料來源 屏東縣環保局

二、 空氣清淨機原理

空氣清淨機的主要構造十分簡單，基本包含進氣、排氣風扇以及

濾心。目前市面上的空氣清淨機主要可分為「HEPA、靜電集塵、電漿殺菌、負離子」，四大種類。而本實驗利用「HEPA (High-Efficiency Particulate Air)」空氣清淨機進行。HEPA 等級源自於歐盟 EN1882 標準，其依照對於不同顆粒大小的攔截效果與清潔程度進行分級。例如：對 0.3 μ m 粒徑微粒過濾效率高於 99.97%的濾網稱之為 H13。而通常 HEPA 標準至少要在 13 以上才能成為空氣清淨機的基本等級濾網，換句話說，空氣中很多過敏源 PM2.5（如：塵蟎、花粉、粉塵、香煙等）皆可以被市售 HEPA 空氣清淨機成功攔截。至於 HEPA 高效濾網的原理，則是利用直徑約 0.5 到 2.0 微米的不規則排列化學或玻璃纖維，通過很細小的絮狀結構，除去 0.5 μ m 以上之微粒。

表 0-1 HEPA 等級與濾淨比例對照

HEPA 等級	濾淨比例	HEPA 等級	濾淨比例
E10	> 85%	H14	> 99.995%
E11 (H11)	> 95%	U15	> 99.9995%
E12 (H12)	> 99.5%	U16	> 99.99995%
H13	> 99.95%	U17	> 99.999995%

三、 潔淨空氣輸出比率 Clean Air Delivery Rate (CADR)

1988 年由美國家電協會所制定的空氣清淨機標準，可表示空氣清淨機輸出乾淨空氣的比率，其值越大，代表其空氣清淨效率越佳。計算公式如下：

$$CADR=(K_a-K_n)*V$$

K_a =開啟空氣清淨機後微粒衰退的比例， K_n =自然狀態下微粒衰退的比例（微粒數量/分鐘）； V =適用空間大小(ft³)

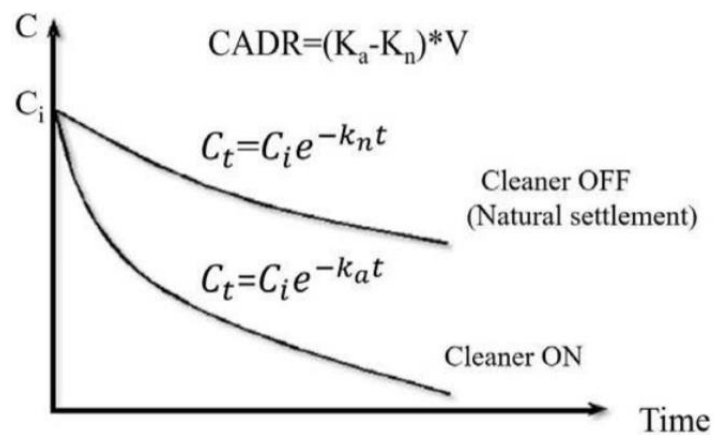


圖 0-2 CADR 計算趨勢

資料來源：, Wen-Tsai Sung, Sung-Jung Hsiao (2020/12/3) 〈 Building an Indoor Air Quality Monitoring System Based on the Architecture of the Internet of Things 〉

四、 空氣盒子的原理

主要是利用光學分析，步驟如下：

1. 透過風扇將空氣吸入箱體內
2. 使用雷射光涉及通盪中空氣微粒子
3. 將特定方向之光線散射聚焦於偵測器中
4. 偵測散射光以量測不同粒徑微粒數量
5. 轉換為 PM2.5 質量濃度
6. 排出空氣

五、 判斷空氣品質的標準

(一)、台灣：

空氣品質指標 (Air Quality index) 為依據監測資料將當日空氣中臭氧(O₃)、細懸浮微粒(PM_{2.5})、懸浮微粒(PM₁₀)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)及二氧化氮(NO₂)濃度等數值，以其對人體健康的影響程度，分別換算出不同污染物之副指標值，再以當日各副指標之最大值為該測站當日之空氣品質指標值(AQI)。

空氣品質指標 (AQI)							
AQI 指標	O ₃ (ppm) 8 小時平均值	O ₃ (ppm) 小時平均值 ⁽¹⁾	PM _{2.5} (µg/m ³) 24 小時平均值	PM ₁₀ (µg/m ³) 24 小時平均值	CO (ppm) 8 小時平均值	SO ₂ (ppb) 小時平均值	NO ₂ (ppb) 小時平均值
良好 0 ~ 50	0.000 - 0.054	-	0.0 - 15.4	0 - 50	0 - 4.4	0-20	0-30
普通 51 ~ 100	0.055 - 0.070	-	15.5 - 35.4	51-100	4.5 - 9.4	21-75	31-100
對敏感族群不健康 101 ~ 150	0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 - 54.4	101-254	9.5 - 12.4	76-185	101-360
對所有族群不健康 151 ~ 200	0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	54.5 - 150.4	255-354	12.5 - 15.4	186-304 ⁽³⁾	361-649
非常不健康 201 ~ 300	0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	150.5 - 250.4	355-424	15.5 - 30.4	305-604 ⁽³⁾	650-1249
危害 301 ~ 400	⁽²⁾	0.405 - 0.504	250.5 - 350.4	425 - 504	30.5 - 40.4	605-804 ⁽³⁾	1250-1649
危害 401 ~ 500	⁽²⁾	0.505 - 0.604	350.5 - 500.4	505-604	40.5 - 50.4	805-1004 ⁽³⁾	1650-2049

圖 0-2 空氣指標 圖片來源：行政院環保署空氣品質監測網

(二)、世界衛生組織

世界衛生組織空氣質量指南(Air Quality Guidelines)世界衛生組織的空氣質量指南 (AQG) 是國家、地區和城市政府通過減少空氣污染來改善公民健康的全球目標。測量的空氣污染物包括 PM_{2.5} 和 PM₁₀、臭氧 (O₃)、二氧化氮 (NO₂)、一氧化碳 (CO) 和二氧化硫 (SO₂)。

AQG 規定 PM_{2.5} 不超過 5 µg/m³ 年平均值，或 15 µg/m³ 24 小時平均值；並且 PM₁₀ 不超過 15 µg/m³ 年平均值，或 45 µg/m³ 24 小時平均值。對於臭氧 (O₃)，AQG 建議值不高於 100 µg/m³ 的 8 小時平均值和 60 µg/m³ 旺季平均值。對於二氧化氮，指南設定年

平均值為 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 或 24 小時平均值為 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。對於二氧化硫，指引規定濃度不超過 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 24 小時平均值。一氧化碳濃度不超過 $4 \text{mg}/\text{m}^3$ 24 小時平均值。

參、 研究方法

一、 實驗一 空氣清淨機的運作效率與時間關係

(一)、目的

利用 $PM_{2.5}$ 濃度探討空氣清淨機使用時間對空氣淨化的影響。

(二)、步驟

1. 前置作業：實驗前 5 小時開啟窗戶、不開空氣清淨機，利用除濕機調控濕度
2. 實驗開始：測量背景環境（溫度、時間、空氣污染指數）
3. 開啟空氣清淨機（5 個小時）
4. 紀錄數據（每半小時記錄一次）共記錄 5 小時

二、 實驗二 空氣清淨機運作效率與段數

(一)、目的

利用 $PM_{2.5}$ 濃度探討空氣清淨機使用段數對空氣淨化的影響（註：段數之不同代表其風扇運轉，即輸入與輸出的速度）

(二)、步驟

1. 前置作業：實驗前 5 小時開啟窗戶、不開空氣清淨機
2. 實驗開始：測量背景環境（溫度、濕度、時間）
3. 使用空氣清淨機最低段數
4. 紀錄數據（每半小時記錄一次，共紀錄 5 小時）
5. 使用第二及最大段數並重複步驟 3-4

肆、 研究分析與結果

一、 實驗一 空氣清淨機的運作效率與時間關係

(一)、數據

表 1-1 中段段數實驗數據 時間、溫度、濕度與 PM_{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

中段段數			
時間	溫度	濕度	PM _{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
初始	23.0°C	56%	20
0.5hr.	23.8°C	55%	11
1hr.	24.9°C	55%	7
1.5hr.	24.9°C	55%	5
2hr.	24.1°C	55%	4
2.5hr.	24.2°C	56%	3
3hr.	24.2°C	56%	4
3.5hr.	24.4°C	56%	3
4hr.	24.2°C	57%	3
4.5hr.	24.2°C	56%	2
5hr.	24.0°C	56%	1

(二)、數據分析

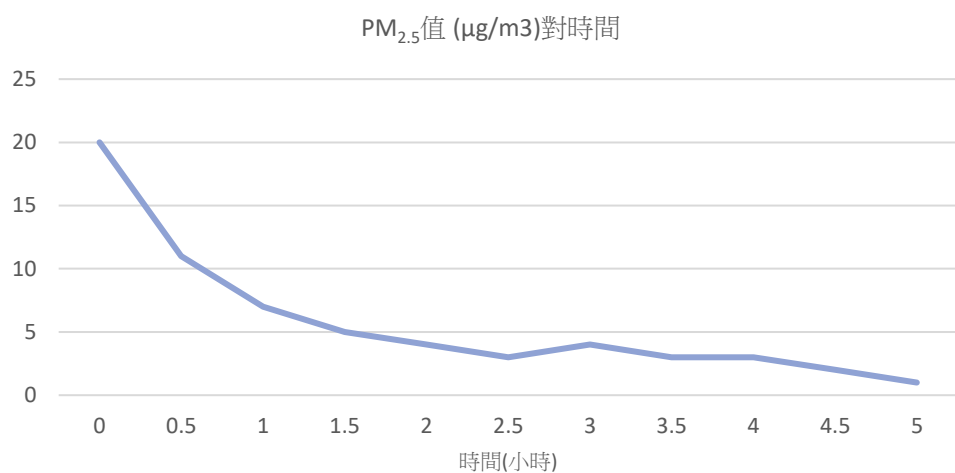


圖 1-1 PM_{2.5} 值 (µg/m3)對時間

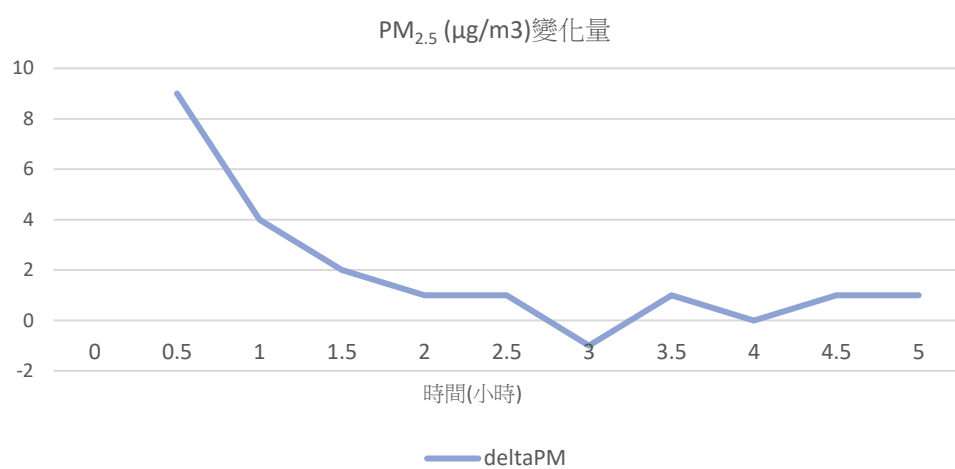


圖 1-2 PM_{2.5} (µg/m3)變化量

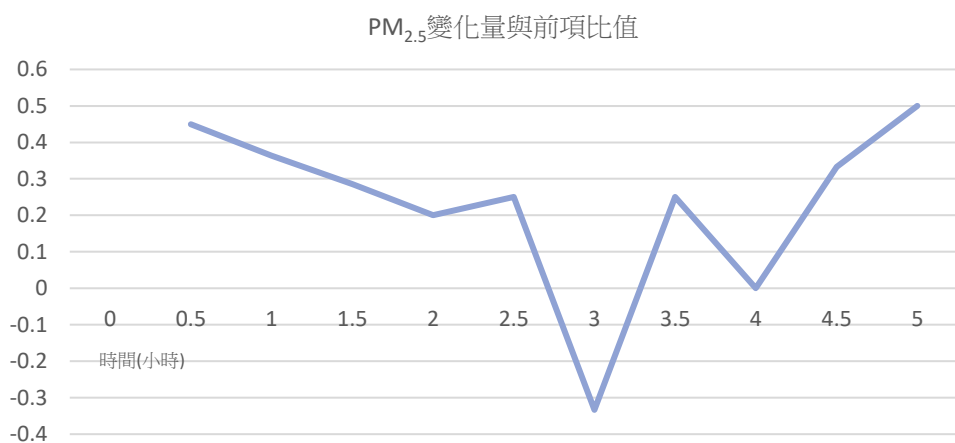


圖 1-3 PM_{2.5} 變化量與前項比值

由圖 1-1 與圖 1-2 可以發現，剛開始的一小時內，PM_{2.5} 濃度下降的幅度最為顯著。但若與圖 1-3 共同比較，除了第三個小時離群數值造成的急遽下降之外，其實整體的比

值，相較於上一時刻減少的比例，並未偏差太多。

(三)、現象討論

雖說第一小時看起來效率最高，但實際上減少的比例並沒有較其他時段高出太多。空氣清淨機的運作效率亦受到所在環境 PM_{2.5} 濃度的影響。若以「減少的濃度值」來定義工作效率，環境污染源濃度越高，空氣清淨機工作效率亦越高。

二、 實驗二 空氣清淨機運作效率與段數

(一)、數據

表 2-1 最弱段數實驗數據 時間、溫度、濕度與 PM_{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

最弱段數			
時間	溫度	濕度	PM _{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
初始	20.8°C	67%	13
0.5hr.	22.5°C	67%	11
1hr.	23.1°C	68%	6
1.5hr.	23.0°C	67%	3
2hr.	23.0°C	67%	2
2.5hr.	23.1°C	65%	1
3hr.	23.1°C	67%	1
3.5hr.	22.9°C	66%	1
4hr.	23.0°C	65%	1
4.5hr.	22.8°C	66%	1
5hr.	22.7°C	65%	0

表 2-2 中段段數實驗數據 時間、溫度、濕度與 PM_{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

中等段數			
時間	溫度	濕度	PM _{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
初始	23.0°C	56%	20
0.5hr.	23.8°C	55%	11
1hr.	24.9°C	55%	7
1.5hr.	24.9°C	55%	5
2hr.	24.1°C	55%	4
2.5hr.	24.2°C	56%	3
3hr.	24.2°C	56%	4
3.5hr.	24.4°C	56%	3
4hr.	24.2°C	57%	3
4.5hr.	24.2°C	56%	2
5hr.	24.0°C	56%	1

表 2-3 最強段數實驗數據 時間、溫度、濕度與 PM_{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

最強段數			
時間	溫度	濕度	PM _{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
初始	24.2°C	77%	22
0.5hr.	24.0°C	75%	12
1hr.	24.4°C	71%	7
1.5hr.	24.4°C	70%	5
2hr.	24.6°C	70%	3
2.5hr.	24.8°C	70%	2
3hr.	24.4°C	70%	2
3.5hr.	24.5°C	71%	1

4hr.	24.8°C	70%	1
4.5hr.	24.8°C	70%	2
5hr.	24.3°C	70%	1

表 2-4 對照組實驗數據 時間、溫度、濕度與 PM_{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

對照組			
時間	溫度	濕度	PM _{2.5} 值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
初始	20.6°C	73%	11
0.5hr.	20.6°C	73%	11
1hr.	20.6°C	73%	11
1.5hr.	20.6°C	73%	11
2hr.	20.6°C	73%	11
2.5hr.	20.6°C	73%	11
3hr.	20.6°C	77%	10
3.5hr.	20.6°C	75%	10
4hr.	20.3°C	73%	11
4.5hr.	20.4°C	73%	11
5hr.	20.2°C	73%	11

(二)、數據分析

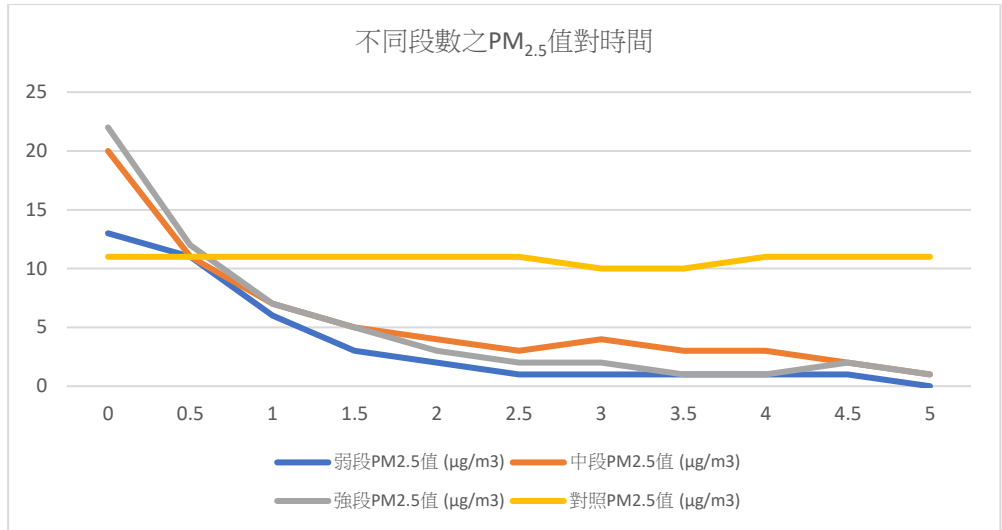


圖 2-1 不同段數之 PM_{2.5} 值對時間

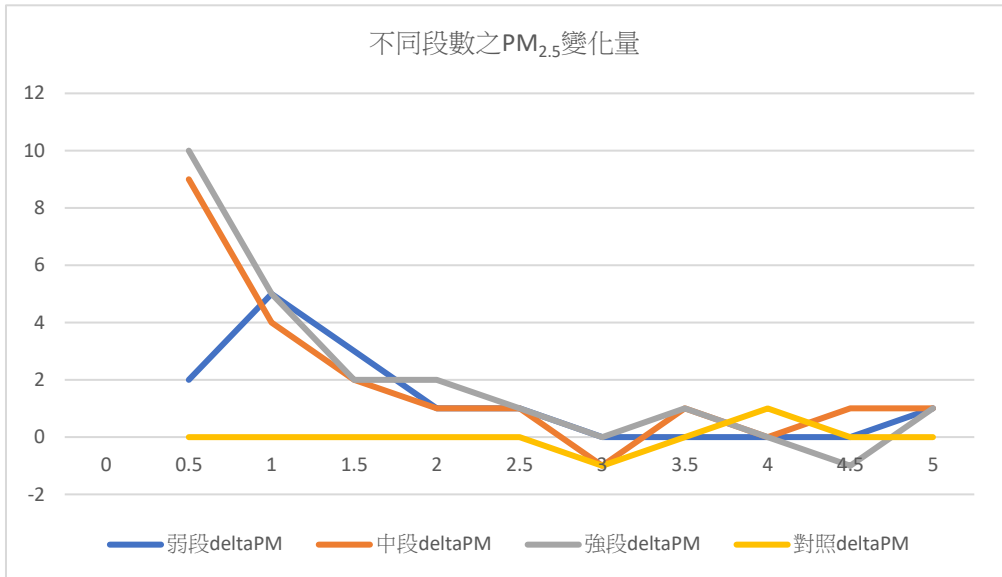


圖 2-2 不同段數之 PM_{2.5} 變化量

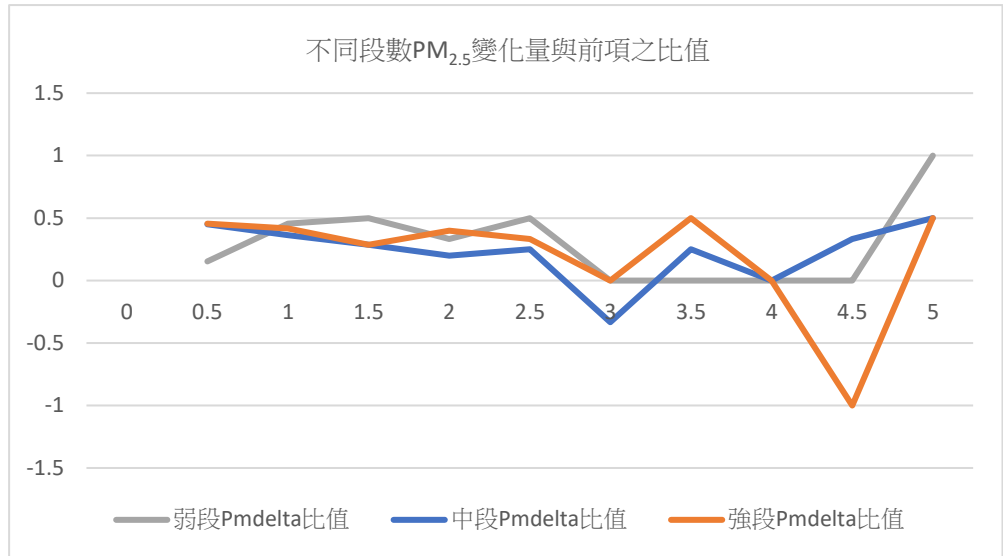


圖 2-3 不同段數 PM_{2.5} 變化量與前項之比值

由圖 2-1、2-2 可以看見，以減少的濃度值而言，似乎會段數有所不同，但此也受到初始濃度的影響。就圖 2-3 看來，撇除離群值第 3 小時，不同段數之變化量與其前項比值，即相較於前一時刻數值減少的比例，並沒有相差太多。

(三)、現象討論

雖說就圖 2-1、2-2 而言，段數看似有所影響，但，就圖 2-3 來說，若我們以相同的定義來觀察其工作效率，其實較強段數的效率未必較高。而圖 2-1、2-2 中強段之所以可以在單位時間內減少較多 PM_{2.5} 的原因，或許與實驗的背景環境 (最初的 PM_{2.5} 值) 有著更高關聯。

伍、 研究結論與建議

一、 現象與數據分析結果

(一)、實驗一

若以「單位時間內減少之 $PM_{2.5}$ 濃度(量)」來定義其工作效率，空氣清淨機工作效率隨著時間流逝而下降，代表開啟時長越短，其平均工作效率越高。但，實際上若依「單位時間內 $PM_{2.5}$ 濃度變化量與前一時刻濃度之比值(相對前一時刻減少多少比例)」來說，實際上時間對於其工作效率影響不大。總歸來說，時間對於相對效率並沒有影響，但其濃度會影響單位時間內所減少的絕對量值。

(二)、實驗二

原先假設，若段數越高，風扇轉動越快，代表濾網在單位時間內可以處理更多空氣，其工作效率應該優於另外二者。但實驗數據顯示，其實其工作效率與另外兩者相差不大。推測應有以下兩種原因：一、實際上濾網的工作量能已經達到飽和極限。然而若是如此，高段數的工作效率應該隨著濃度的下降而上升，與實驗數據並沒有完全吻合。二、可能是因為環境原本的 $PM_{2.5}$ 濃度過低，以至於無法觀察出顯著變化。

此外，由圖 2-1 亦可以發現，開啟空氣清淨機的趨勢與 CADR 的計算趨勢結果(圖 0-2)十分相近，且相關係數高，代表本次實驗數據與大量建模結果相近。然而未開空氣清淨機的自然衰退情形卻與 CADR 的計算趨勢不同，且相關係數僅 0.05，推測結果，呈上，可能是因為濃度過低，變化不明顯所致。

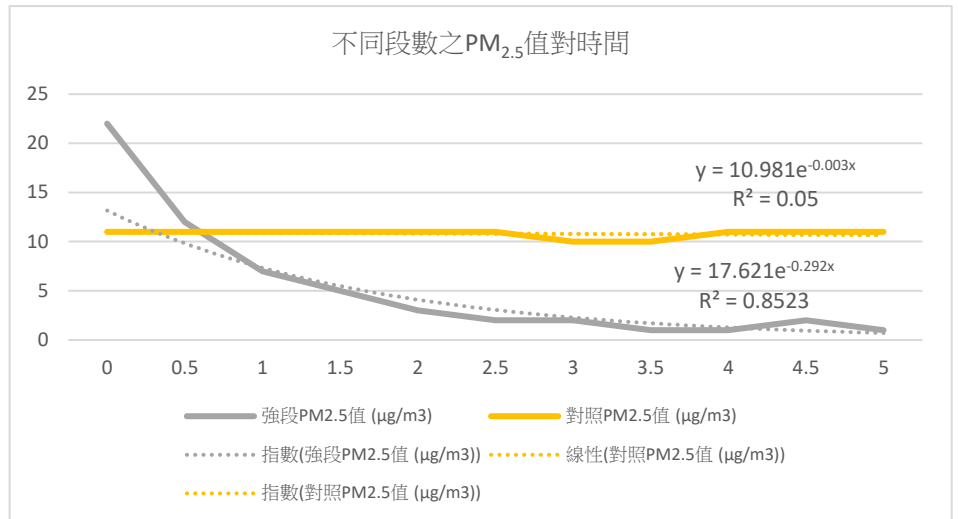


圖 3-1 是否開啟空氣清淨機之實驗趨勢 (開啟空氣清淨機實驗組以最強段數為例)

註：由原始數據可以計算出微粒濃度的平均下降比率為 0.306147，與趨勢線計算結果 0.292 相近

二、 空氣清淨機消耗能量與清淨效率和最有效的使用方法

(一)、耗能量與清淨效率

以 109 年台中火力發電廠平均值為例：

表 3-1 以 109 年台中火力發電廠平均值為例

發電量(W)	AQI 值	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/發電量(W)
4.2×10^8	137	49.486	1.1×10^{-7}

以此次實驗用空氣清淨機為例：

表 3-2 以此次實驗用空氣清淨機為例

平均耗電(VI=W)	平均每小時可以清除的 PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/耗電量(W)
$110 \times 0.73 = 80.3$	11.66	1.45×10^{-1}

由此數據可知，耗費一瓦能量能清除 $1.45 \times 10^{-1} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 同時製造 $1.1 \times 10^{-7} (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ PM_{2.5}，以這樣的懸殊的數據而言，(假設能量完全來自火力發電) 使用空氣清淨機的確能在有限空間大小內有效解決空汙問題。

(一)、空氣清淨機最有效的使用方法

由圖表 1-1 與 2-1 可以明顯發現，不論開啟的段數為何，

空氣清淨機開啟超過 1.5 小時候，實際減少濃度的幅度便降低許多，且 1.5 小時以後，PM_{2.5} 的濃度極低，並無持續開啟的必要。因此，最有效的清淨方法，應是在關上窗戶的密閉環境下，以低段數連續清潔 1.5 小時，便可達到極高的空氣品質，既能省下多餘電力，亦能減少空氣清淨機風扇造成的噪音。

三、 空氣清淨與聯合國永續發展指標

聯合國永續發展指標第十一項指標：永續鄉城^{註1}，其中第六項目標：「藉由正視空氣汙染與其他廢棄物管理，減少城市的人均負面環境影響與死亡率。^{註2}」現代社會中，空氣品質已成為人們逐漸重視的一環。一直以來，人類極盡努力創新科技以改善生活，火力發電為電器生活提供能量來源、汽機車帶來了交通革新，卻同時造成炭粒與空氣汙染。我們迎來便利卻失卻了更基本更重要的清淨空氣。呼吸，分分秒秒在進行，而吸進身體內的空氣究竟是生命所需，還是能源廢棄物；自己的肺，是否也成為經濟發展下的犧牲品？正視空氣品質，也刻不容緩。透過此實驗，發現使用空氣清淨機確實能夠改善空間中的空氣品質，並成功歸納出最有效的使用方法，為促進永續都市的發展跟經營盡一份心力，與七十九億世界公民共榮共好。

註 1：United Nations Sustainable Development Goals – 11：Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable.

註 2：Target 11.6：By 2030, reduce the adverse per capita environmental impact of cities, including by paying special attention to air quality and municipal and other waste management

Target 11.6.2：Annual mean levels of fine particulate matter (e.g. PM_{2.5} and PM₁₀) in cities (population weighted)

陸、引註資料

林欣怡、陳妍如、董筱姝。〈重返地球，尋找遺失的寧「淨」〉。

<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/11/2017111017061717.pdf>

薇伊森肽基負離子 (2021/8/1) 〈負離子空氣清淨機原理是甚麼?有哪些優缺點?〉

<https://nonglinyumu.com/zh-tw/animal/125164.html>

李秉芳 (2018/11/15) 〈關鍵評論「空氣盒子」錯了嗎?數據和環保署的不一樣,立委說要刪預算惹議〉。

<https://www.thenewslens.com>

包士容 (2018/09/27) 〈科技大觀園。照見空中的懸浮微粒(三)-新世代的空氣檢測利器-空氣盒子(二)〉

<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=a6e6bba0-82a6-4ff8-a56e-cdad243d5b87>

(2021/05/04)HEPA 是什麼?

<https://myfone.blog/what-is-hepa/>

台灣電力公司 個機組發電量

https://www.taipower.com.tw/d006/loadGraph/loadGraph/genshx_.html

行政院環保署 空氣品質監測網

<https://airtw.epa.gov.tw/cht/Information/Standard/AirQualityIndicator.aspx>

Wen-Tsai Sung, Sung-Jung Hsiao (2020/12/3) 〈Building an Indoor Air Quality Monitoring System Based on the Architecture of the Internet of Things〉

https://assets.researchsquare.com/files/rs-117142/v1_covered.pdf?c=1631848229

United Nations : Department of economic and social affairs---Sustainable development

<https://sdgs.un.org/goals/goal11>