

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科

### 最佳團隊合作獎

080835

「霾害」不「霾」怨—空氣清淨機的運用探討

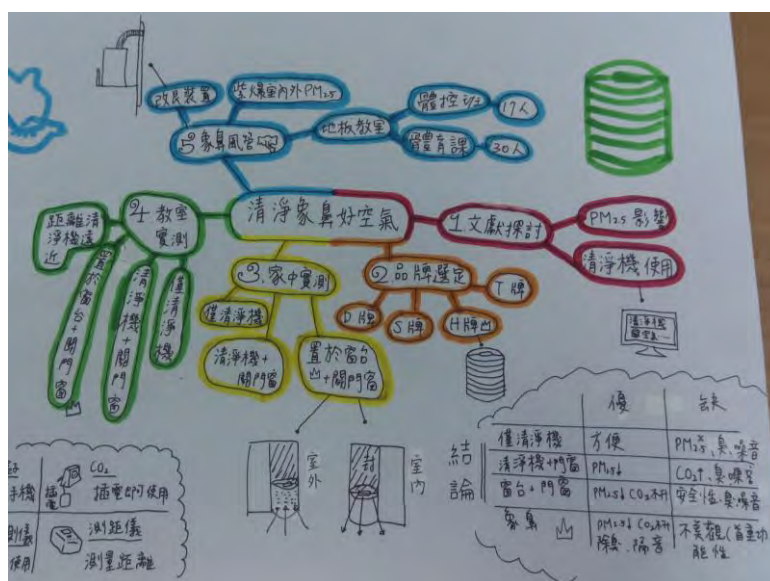
學校名稱：嘉義市港坪國民小學

作者： 小六 呂昕亮 小六 陳懷欣 小五 蘇玥儒	指導老師： 陳素卿 張馨云
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：PM<sub>2.5</sub>、空氣清淨機、正壓

## 摘要

本實驗主要探討在空氣品質不佳的環境下，如何將空氣清淨機發揮最大效能，有效降低室內 PM<sub>2.5</sub> 濃度，達到淨化室內空氣的目的。以我們平日活動的場域，在家中和學校教室進行實驗。我們先評選出實驗代表機種，再探討空氣清新機的使用方法：(1)在不關門窗的情形下使用清淨機：可降低 PM<sub>2.5</sub>，但下降效果無法令人滿意；(2)在關門窗的情形下使用清淨機：PM<sub>2.5</sub> 可下降到個位數，但 CO<sub>2</sub> 濃度上升，會感到空氣悶不舒服。(3)將清淨機裝置於窗台上並關閉門窗，使室內形成正壓環境：PM<sub>2.5</sub> 可下降到個位數，CO<sub>2</sub> 濃度也能維持舒適穩定的範圍。(4)因清淨機裝置在窗台上有安全性顧慮，便將空氣清淨機改良加裝象鼻風管，以室外機的方式使用，同樣能達到有效淨化空氣的目的。






## 壹、研究動機

嘉義的天空有時候霧濛濛的，甚至直到中午霧都沒散。剛好學校教到關於 PM<sub>2.5</sub> 的知識，我上網查詢空污相關資料，發現 PM<sub>2.5</sub> 不單對呼吸系統，對心血管、神經系統等都有嚴重危害，家中也開始使用清淨機，這不禁讓我思考空氣清淨機是否真的有效？怎樣的裝置能讓清淨機的效能達到最好？為了解決問題並讓大家更有效的使用空氣清淨機，便開始了我們的研究。(作品與教材之相關性：南一版 自然與生活科技 第六冊 單元三 珍愛家園)

## 貳、研究目的

- 研究一、文獻探討—瞭解 PM<sub>2.5</sub> 對健康的影響及空氣清淨機資訊。
- 研究二、以家中現有的清淨機做測試，決定後續實驗用清淨機機種。
- 研究三、探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(在家中進行實測)
- 研究四、探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(在學校教室進行實測/較通風，但人數多)
- 研究五、改良空氣清淨機的裝置並實測。

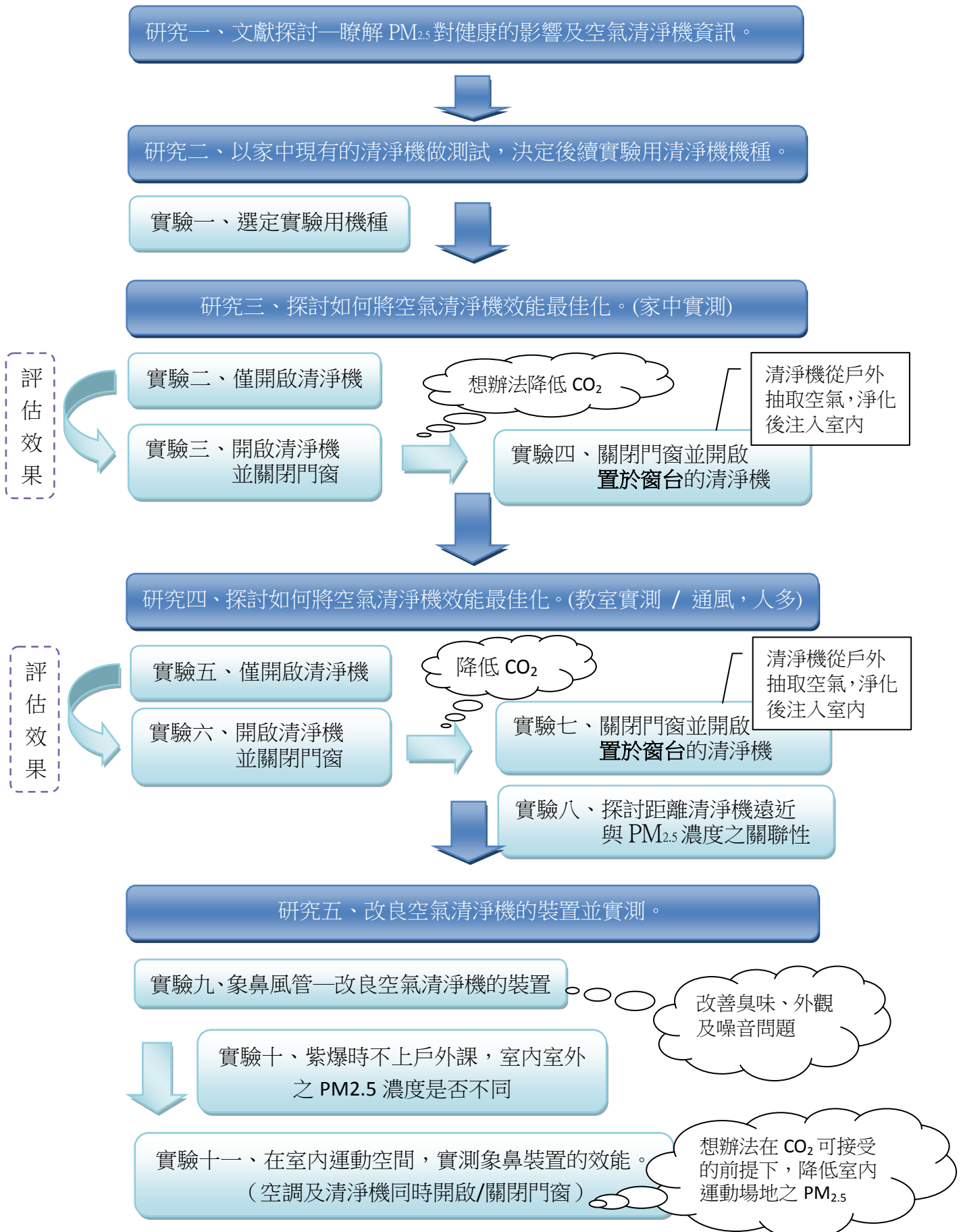
## 參、研究設備及器材

檢測儀器				
	(1)PM <sub>2.5</sub> 檢測儀 A	(2) PM <sub>2.5</sub> 檢測儀 B 空氣盒子(認證)	(3)雙波長 CO <sub>2</sub> 監測儀	
				
	(4)測距儀	(5)風速計	(6)魯班尺/捲尺	
	操作工具			
		熱熔膠槍	裁剪工具	空氣清淨機
實驗耗材				
	厚 PVC 膠皮風管	PVC 塑膠板	塑膠 PP 板	
				
	黏貼膠帶	養生膠帶		

記錄工具：筆、紀錄紙、記錄板、相機

# 肆、研究過程或方法

## 一、研究流程



## 二、實驗步驟

研究一、文獻探討—瞭解 PM<sub>2.5</sub> 對健康的影響及空氣清淨機資訊。

研究二、以家中現有的清淨機做測試，決定後續實驗用清淨機機種。

《實驗一》：以家中現有品牌，選定實驗用機種。

- 1、使用測距儀測出書房的長、寬、高，算出書房容積，計算換氣率。
- 2、啟動測量儀器，包含：PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 A、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 B(空氣盒子)和 APP 程式(EdiGreen)、CO<sub>2</sub> 監測儀。
- 3、分別以 D 牌、H 牌、S 牌、T 牌進行實驗操作
- 4、每分鐘紀錄一次空氣盒子、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀數值及 CO<sub>2</sub> 的濃度。
- 5、連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態（註 1），啟動清淨機。
- 6、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，關門窗。
- 7、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，開門窗。
- 8、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，實驗結束。
- 9、根據觀測結果進行分析討論。

※註 1：當數字變動在正負 5 之間，即視為達到穩定狀態。

研究三、探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(在家中進行實測)

《實驗二》：開啟室內的清淨機(不關門窗)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 之變化情形。

《實驗三》：開啟室內的清淨機(關門窗)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形。

- 1、將清淨機放置在書房。
- 2、啟動測量儀器，包含：PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 A、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 B(空氣盒子)和 APP 程式(EdiGreen)、CO<sub>2</sub> 監測儀。
- 3、每分鐘紀錄一次空氣盒子、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀數值及 CO<sub>2</sub> 的濃度。
- 4、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，啟動清淨機。
- 5、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，關門窗。(實驗二結束／實驗三開始)
- 6、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，開門窗。
- 7、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，實驗結束。
- 8、根據實驗結果進行分析討論。

《實驗四》：開啟置於窗台的清淨機並關閉門窗，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形。

- 1、將清淨機放置在窗台(如右圖)。
- 2、啟動測量儀器，包含：PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 A、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 B(空氣盒子)和 APP 程式(EdiGreen)、CO<sub>2</sub> 監測儀。
- 3、每分鐘紀錄一次空氣盒子、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀數值及 CO<sub>2</sub> 的濃度。
- 4、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，關門窗。
- 5、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，啟動清淨機。
- 6、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，實驗結束。
- 7、根據實驗結果進行分析討論。

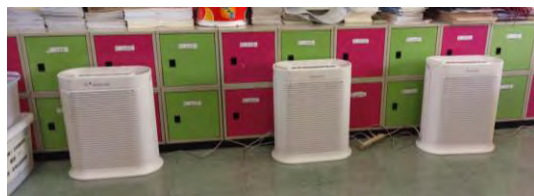


#### 研究四、探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(在學校教室進行實測/較通風，但人數多)

《實驗五》：開啟**教室內**的清淨機(不關門窗)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形。

《實驗六》：開啟**教室內**的清淨機(**關門窗**)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形。

- 1、使用測距儀測出教室的長、寬、高，算出教室容積，計算換氣率。
- 2、將 3 台清淨機放置在教室後方(如下圖)。
- 3、啟動測量儀器，包含：PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 A、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 B(空氣盒子)和 APP 程式(EdiGreen)、CO<sub>2</sub> 監測儀。
- 4、每分鐘紀錄一次空氣盒子、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀數值及 CO<sub>2</sub> 的濃度。
- 5、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，啟動清淨機。
- 6、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，關門窗。(實驗五結束/實驗六開始)
- 7、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，開門窗。
- 8、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，實驗結束。
- 9、根據實驗結果進行分析討論。



《實驗七》：開啟**置於窗台**的清淨機(**關門窗**)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形。

- 1、將 3 台清淨機放置在窗台。
- 2、啟動測量儀器，包含：PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 A、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 B(空氣盒子)和 APP 程式(EdiGreen)、CO<sub>2</sub> 監測儀。
- 3、每分鐘紀錄一次空氣盒子、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀數值及 CO<sub>2</sub> 的濃度。
- 4、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，啟動清淨機、關門窗。
- 5、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，實驗結束。
- 6、根據實驗結果進行分析討論。

《實驗八》：探討距離清淨機遠近與 PM<sub>2.5</sub> 濃度（清淨效果）之關聯性。

實驗 8-1：

- 1、將 3 台清淨機放置在教室後方。
- 2、在與清淨機直線距離 2m、4m、6m、8m 處的地上標示記號。
- 3、啟動測量儀器，包含：PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 A、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 B(空氣盒子)和 APP 程式(EdiGreen)、CO<sub>2</sub> 監測儀。
- 4、每兩分鐘紀錄一次空氣盒子、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀數值及 CO<sub>2</sub> 的濃度。
- 5、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，啟動清淨機、關門窗。
- 6、每兩分鐘將測量儀器移到出風口、2m、4m、6m、8m 處，停留 5 秒後紀錄。
- 7、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，實驗結束。
- 8、根據實驗結果進行分析討論。

實驗 8-2：

- 1、將 3 台清淨機放置在窗台。
- 2、以下同《實驗 8-1》步驟 2~8。

### 實驗 8-3、8-4：

- 1、將 3 台清淨機放置在教室後方。
- 2、在與清淨機直線距離 0、5m、1m、1、5m、2m 處的地上標示記號。
- 3、啟動測量儀器，包含：PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 A、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 B(空氣盒子)和 APP 程式(EdiGreen)、CO<sub>2</sub> 監測儀。
- 4、每兩分鐘紀錄一次空氣盒子、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀數值及 CO<sub>2</sub> 的濃度。
- 5、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，啟動清淨機、關門窗。
- 6、每兩分鐘將測量儀器移到 0、5m、1m、1、5m、2m 處，停留 5 秒後紀錄。
- 7、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，實驗結束。
- 8、根據實驗結果進行分析討論。

### 研究五、改良空氣清淨機的裝置並實測。

#### 《實驗九》：象鼻風管—改良空氣清淨機的裝置

- 1、畫設計圖。
- 2、在清淨機上方接上風管，進行裝置改良。
- 3、將 3 台象鼻裝置安裝在教室窗台。
- 4、以下同《實驗七》步驟 2~6。



#### 《實驗十》：紫爆時不上戶外課，室內室外之 PM<sub>2.5</sub> 濃度是否不同

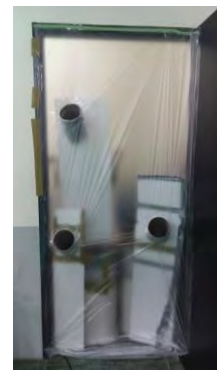
- 1、使用測距儀測出地板教室的長、寬、高，算出地板教室容積，計算換氣率。
- 2、將 3 台清淨機放置在教室後方。
- 3、啟動測量儀器，包含：PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 A、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀 B(空氣盒子)和 APP 程式(EdiGreen)、CO<sub>2</sub> 監測儀。
- 4、每分鐘紀錄一次空氣盒子、PM<sub>2.5</sub> 檢測儀數值及 CO<sub>2</sub> 的濃度。
- 5、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，啟動清淨機、關門窗
- 6、當連續五次 PM<sub>2.5</sub> 觀測值達穩定狀態，實驗結束。
- 7、根據實驗結果進行分析討論。



#### 《實驗十一》：在室內運動空間，實測象鼻裝置的效能。

(空調及清淨機同時開啟/關閉門窗)

- 1、將 3 台象鼻裝置安裝在地板教室的前門。
- 2、以下同《實驗十》步驟 2~6。



## 伍、研究結果

### 一、研究一文獻探討—瞭解 PM<sub>2.5</sub> 對健康的影響及空氣清淨機資訊

(一)、什麼是 PM<sub>2.5</sub>？ PM<sub>2.5</sub> 對健康有什麼影響？

- 1、PM<sub>2.5</sub> 為空氣中 0.3~2.5 微米的細懸浮微粒，直徑大約為頭髮直徑的 1/28，像花粉一樣飄浮在空氣中，讓我們視而不見，因為非常微小可穿過肺泡進入血液循環中。
- 2、PM<sub>2.5</sub> 雖然能被身體排泄及代謝，但排泄前已傷害人體健康，無法被人體代謝或解毒。
- 3、PM<sub>2.5</sub> 無論濃度多低，皆會對人體造成健康危害，PM<sub>2.5</sub> 是「致癌物」，主要影響「呼吸道」、「心血管」。
- 4、當 PM<sub>2.5</sub> 濃度大於 56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，應盡量避免外出，將門窗關閉，打開空氣清淨機。
- 5、空氣中 PM<sub>2.5</sub> 每增加 10，所有原因的死亡率增加 5%。

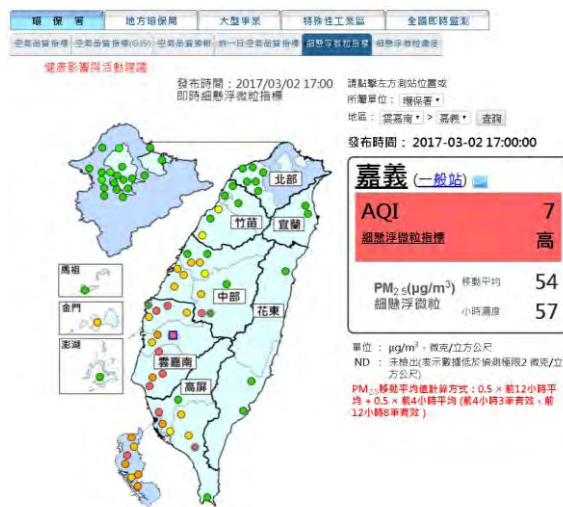


(資料來源：1~4 嘉義市政府衛生局 / 5.立法院公報 第 100 卷 第 42 期 院會紀錄)

(二)、嘉義的空汙嚴重嗎？

嘉義市空氣品質全國倒數第一，空汙濃度世界排名第七，比工業區的高雄市更加糟糕；嚴重原因之一是因為嘉義市位在中央山脈背面，污染物容易滯留，尤以春冬季 10-4 月更嚴重。

(資料來源：嘉義市政府衛生局)



▲資料來源：行政院環保署空氣品質監測網



▲空氣盒子：即時監測各地 PM<sub>2.5</sub> 空氣品質

(三)、如何提升 PM<sub>2.5</sub> 的防護力？





- 1、就算緊閉門窗也無法完全防止，研究發現，馬路旁住戶有比較高呼吸道與心血管疾病。
- 2、一般口罩有戴等於沒戴，只有改善空氣品質才是唯一方法。
- 3、空氣清淨機可以減少 PM<sub>2.5</sub>，中等價位的就有效。(資料來源：胸腔內科 蘇一峰醫師)

綜合以上訊息，改善空氣品質刻不容緩，於是我們開始了以下的研究。



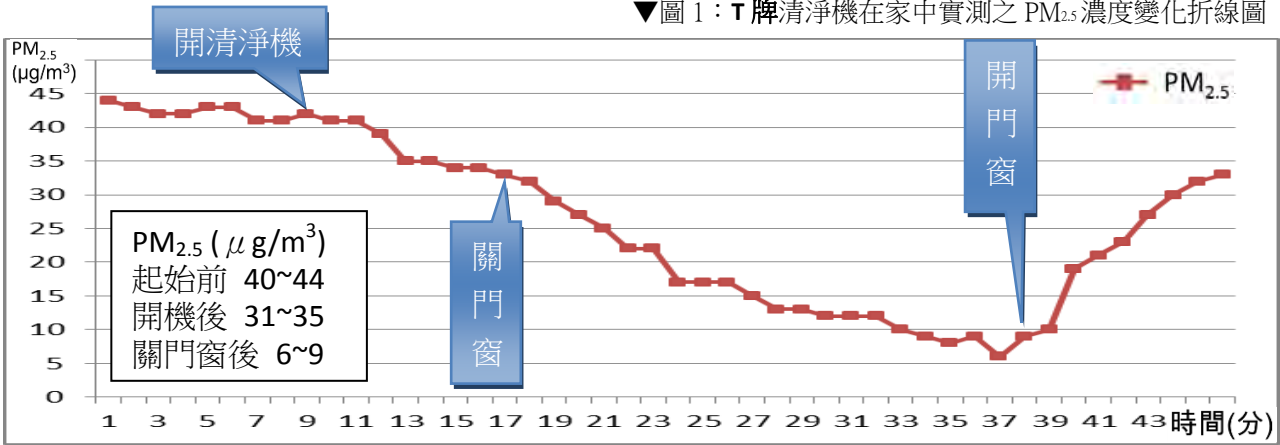
## 二、研究二—以家中現有的清淨機做測試，決定後續實驗用清淨機機種。

《實驗一》：以家中現有品牌，選定實驗用機種。

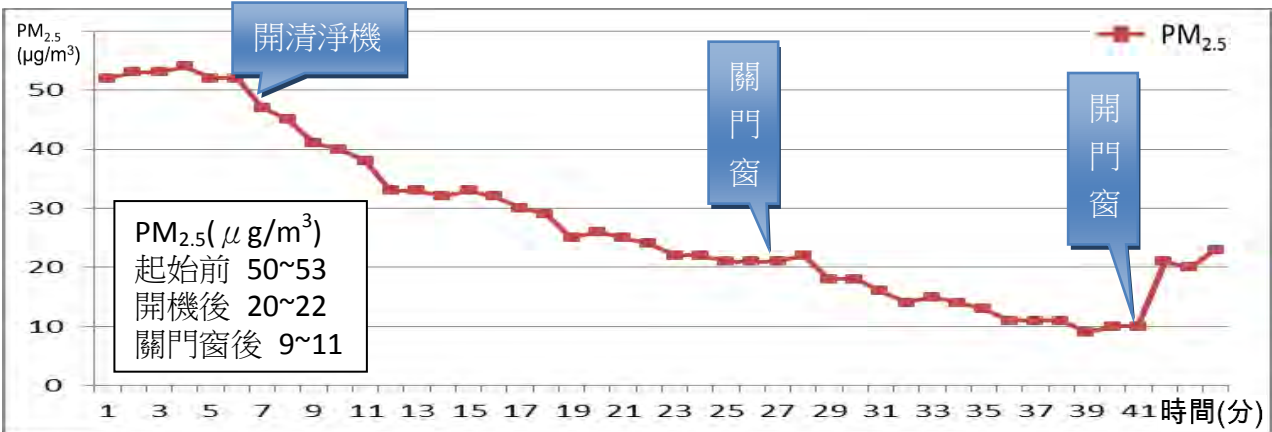
清淨機 品牌 評 比 項 目		T 牌	D 牌	S 牌	H 牌
					
PM <sub>2.5</sub> 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	初始值	40~44	50~53	44~47	76~79
	開機後	31~35	20~22	39~42	40~43
	關門窗	6~9	9~11	10~13	2~5
CADR ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (清淨空氣輸出率) <small>依廠商提供數據，換算值</small>		175	無資料	222	510
機器價格(台幣)		3760	9000	5390	8000
同品牌大坪數 機器價格(台幣)		8392	9000	10700	8000

- 1、實驗一的 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化情形，如下(圖 1~圖 4)。
- 2、根據實驗一的結果，我們發現雖然 H 牌清淨機測試時的 PM<sub>2.5</sub> 濃度起始值最高，但在開機後下降幅度最大；在關閉門窗一段時間後，PM<sub>2.5</sub> 可降到個位數(如下圖 4)，最終 PM<sub>2.5</sub> 濃度也達到最低，清淨效果最好。
- 3、我們依廠商提供的 CADR 值(清淨空氣輸出率)經過換算，H 牌換氣率最高，最符合教室大空間的換氣需求。
- 4、因學校教室為較大面積空間，所以除了清淨機效能，也應考量該品牌大坪數機種之售價，由上表可知 H 牌價格較為優惠。
- 5、根據實驗結果及評比項目，我們選定 H 牌清淨機進行後續實驗。
- 6、實際測量估算學校教室容積為 220m<sup>3</sup>，H 牌清淨機的 CADR 值為 510m<sup>3</sup>/h，設定以每小時換氣 5 次做為目標，經計算購置 2 台 H 牌清淨機作為後續實驗使用。

▼圖 1：T 牌清淨機在家中實測之 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化折線圖



▼圖 2：D 牌清淨機在家中實測之 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化折線圖



▼圖 3：S 牌清淨機在家中實測之 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化折線圖



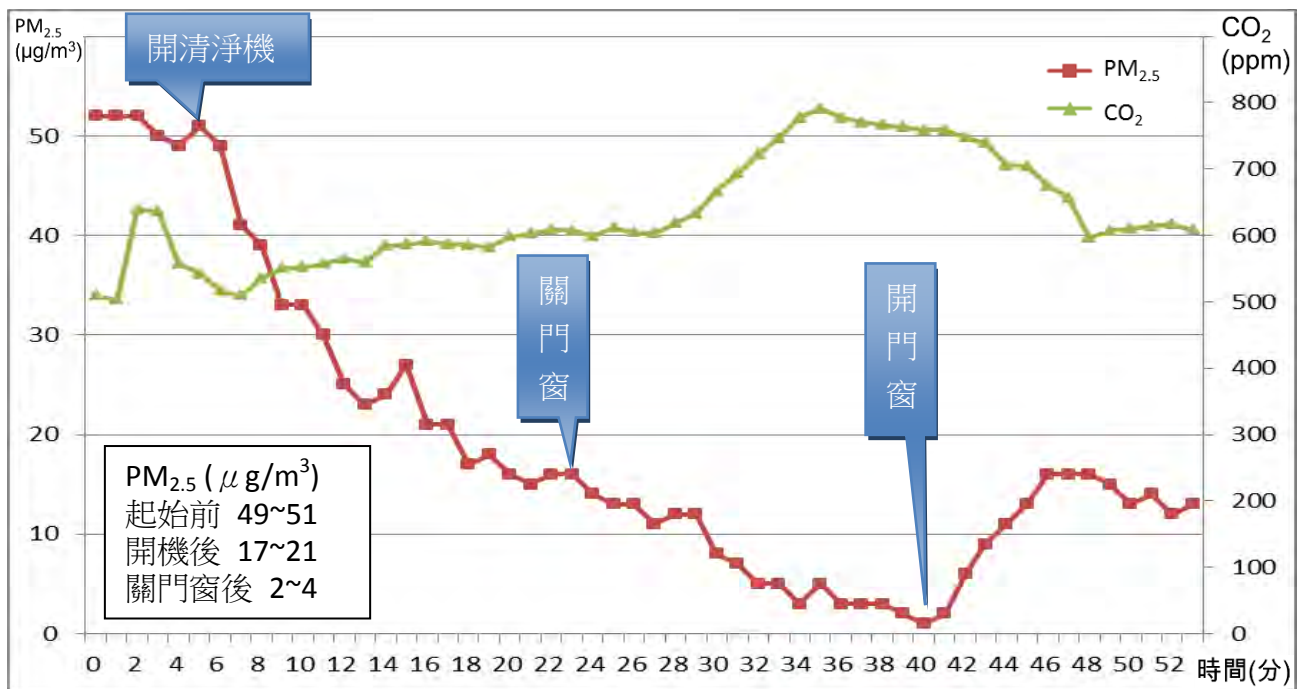
▼圖 4：H 牌清淨機在家中實測之 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化折線圖



### 三、研究三一探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(在家中進行實測)

(一)、《實驗二》：開啟室內的清淨機(不關門窗)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 之變化情形。

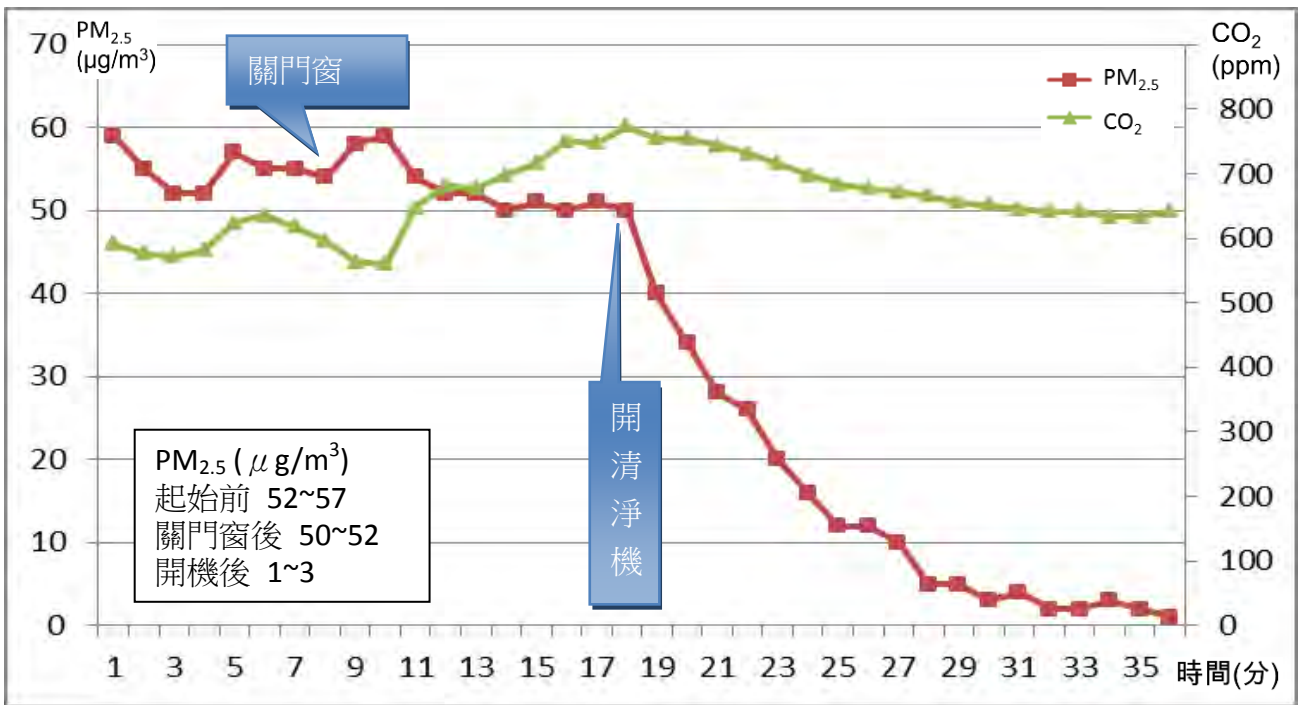
《實驗三》：開啟室內的清淨機(關門窗)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形。



▲圖 5：實驗二、實驗三一清淨機置於室內之 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖

- 1、我們以選定的機種(H 牌)在家中進行實測，在實驗二發現，正常使用清淨機，不關門窗的情形下，開機後確實可以使室內的 PM<sub>2.5</sub> 濃度降低，但因為嘉義市區環境 PM<sub>2.5</sub> 濃度較高，未關窗導致室內外氣體交換，PM<sub>2.5</sub> 在維持穩定值後，不再下降，PM<sub>2.5</sub> 下降情形仍不夠理想。
- 2、因此在實驗三，我們嘗試緊閉門窗，減少和室外交換髒空氣，結果發現 PM<sub>2.5</sub> 濃度可以降得很低(個位數)，但此時 CO<sub>2</sub> 濃度上升，且感覺到不舒服。
- 3、為了讓室內 CO<sub>2</sub> 濃度降低，我們開了門窗，發現 CO<sub>2</sub> 濃度逐漸回到舒適的 600 ppm 左右，但此時的 PM<sub>2.5</sub> 也上升，回到實驗二未關門窗時的狀態。
- 4、我們和班上同學討論後，有人提出可以將清淨機作為抽風機使用的想法，因此，我們決定嘗試將清淨機裝置在窗台上並將門窗關閉，使清淨機從戶外抽取空氣，淨化後注入室內，再觀察 PM<sub>2.5</sub> 及 CO<sub>2</sub> 之變化情形，於是開始了實驗四的實驗。

(二)、《實驗四》：清淨機放置窗台，探討 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形。



▲圖 6：實驗四—清淨機置於窗台之 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖

在實驗四結果發現，將清淨機裝置在窗台上並關閉門窗(如圖 7)，清淨機確實如預期達到良好的清淨效果，PM<sub>2.5</sub>降到個位數，而且此時室內的 CO<sub>2</sub> 濃度維持在 600~700 ppm 之間，並未繼續上升，也不會令人感到氣悶。



▲圖 7：實驗四—清淨機置於窗台



▲圖 8：實驗四—同步觀測室內之 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> (PM<sub>2.5</sub> 檢測儀與空氣盒子同時使用，校正比對)

四、研究四—探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(學校實測/較通風，但人數多)

(一)、《實驗五》：開啟教室內的清淨機(不關門窗)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形。

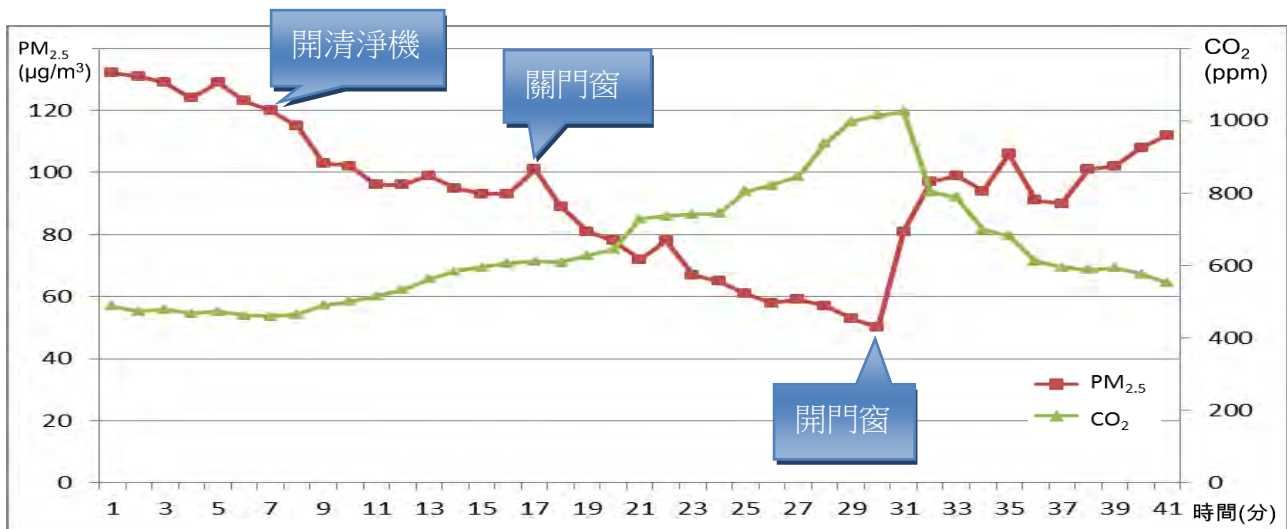
《實驗六》：開啟教室內的清淨機(關門窗)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形。



▲將清淨機置於教室後方，進行實驗五、實驗六。



▲圖 9：實驗五(不關門窗)、實驗六(關門窗)—清淨機置於教室內之 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖(第一次實驗)



▲圖 10：實驗五(不關門窗)、實驗六(關門窗)—清淨機置於教室內之 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖(第二次實驗)

- 1、根據實驗五結果發現，當教室開啟清淨機時，在不關門窗的狀態下，清淨效果出乎意料地差，室內  $PM_{2.5}$  幾乎沒有改善，清淨機等於沒有發揮作用。應該是因為教室兩面皆為大片門窗(如下圖 11)且四周無建築物阻擋，使得教室通風良好，氣體交換量大。因而使得室外的髒空氣不斷的和室內清淨後的空氣做氣體交換，導致空氣清淨機的效能相當不佳。
- 2、在實驗六，當我們緊閉門窗，避免室內空氣和外界髒空氣氣體交換時，清淨機效能明顯改善， $PM_{2.5}$  濃度下降。但  $CO_2$  濃度持續上升，甚至超過 1000 ppm。
- 3、為了降低  $CO_2$  濃度，打開門窗， $CO_2$  濃度迅速降到實驗一開始的數字，令人感到舒適；但在打開門窗後，室內外空氣做氣體交換的同時， $PM_{2.5}$  也迅速上升。
- 4、由實驗六的結果得知，在教室關閉門窗的狀態下使用清淨機雖可降低  $PM_{2.5}$  濃度，卻產生  $CO_2$  濃度持續上升的問題，在教室內的人會感覺不舒服、氣悶，影響學習成效。因此在教室關閉門窗使用清淨機顯然不可行。



▲圖 11：教室左右兩側皆為大面積門窗，當門窗開啟時，通風良好。

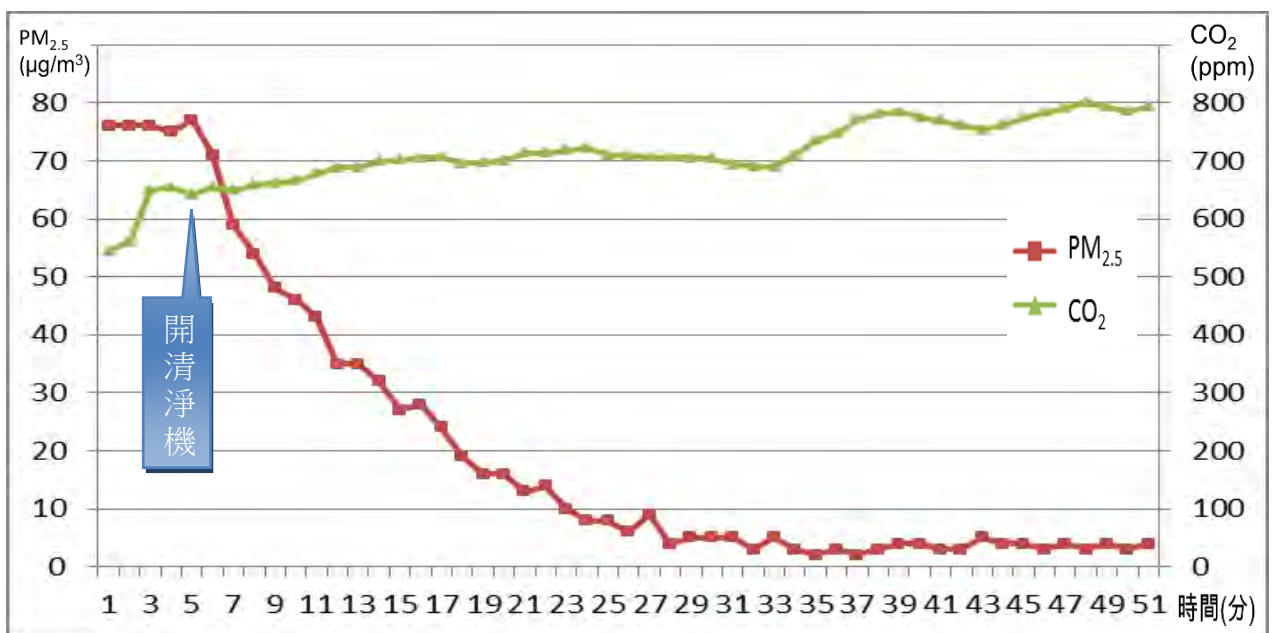
(二)、《實驗七》：開啟置於窗台的清淨機(關門窗)，探討室內 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 之變化情形



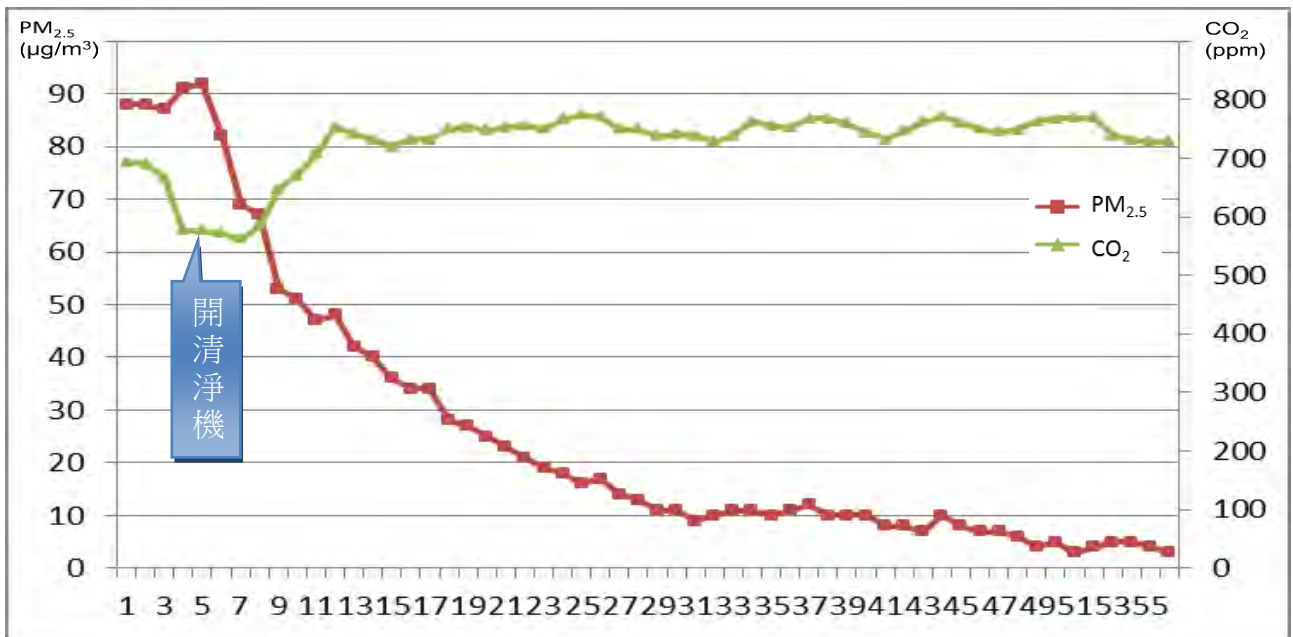
▲圖 12：實驗七—清淨機置於窗台並關閉門窗



▲圖 13：實驗 7-1—清淨機置於教室窗台並關閉門窗之 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖(第 1 次實驗)



▲圖 14：實驗 7-2—清淨機置於教室窗台並關閉門窗之 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖(第 2 次實驗)



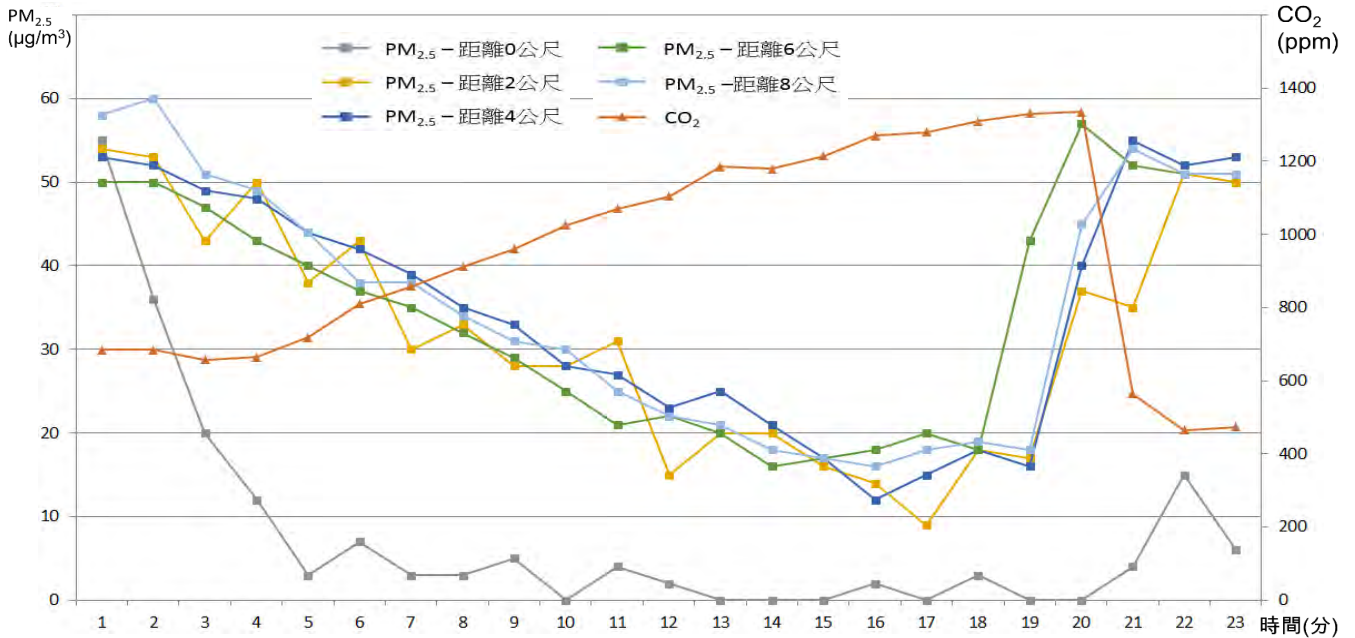
▲圖 15：實驗 7-3—清淨機置於教室窗台並關閉門窗之 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖(第 3 次實驗)

- 1、根據實驗七結果發現，將清淨機裝置於窗台上並關閉門窗，此時清淨機從戶外抽取空氣，淨化後吹入室內，使室內充滿淨化後的乾淨空氣，室內 PM<sub>2.5</sub> 迅速下降後並維持穩定，可以更有效的將 PM<sub>2.5</sub> 濃度降到個位數。
- 2、實驗七的室內 CO<sub>2</sub> 濃度始終維持在舒適的穩定值，並未超過 800ppm，師生在室內實際感受時，覺得涼爽舒適，不會感到不適。
- 3、開啟置於窗台的清淨機並關閉門窗，不但可以有效降低室內 PM<sub>2.5</sub>，也可將 CO<sub>2</sub> 濃度維持在穩定的舒適狀態。但清淨機放在窗台上時，窗台突起的窗框，使得清淨機不易平衡，清淨機可能會摔落，有安全性的顧慮。此外，清淨機運作時所產生的噪音我們也希望能獲得改善，因此我們在後續進行了研究五的實驗。

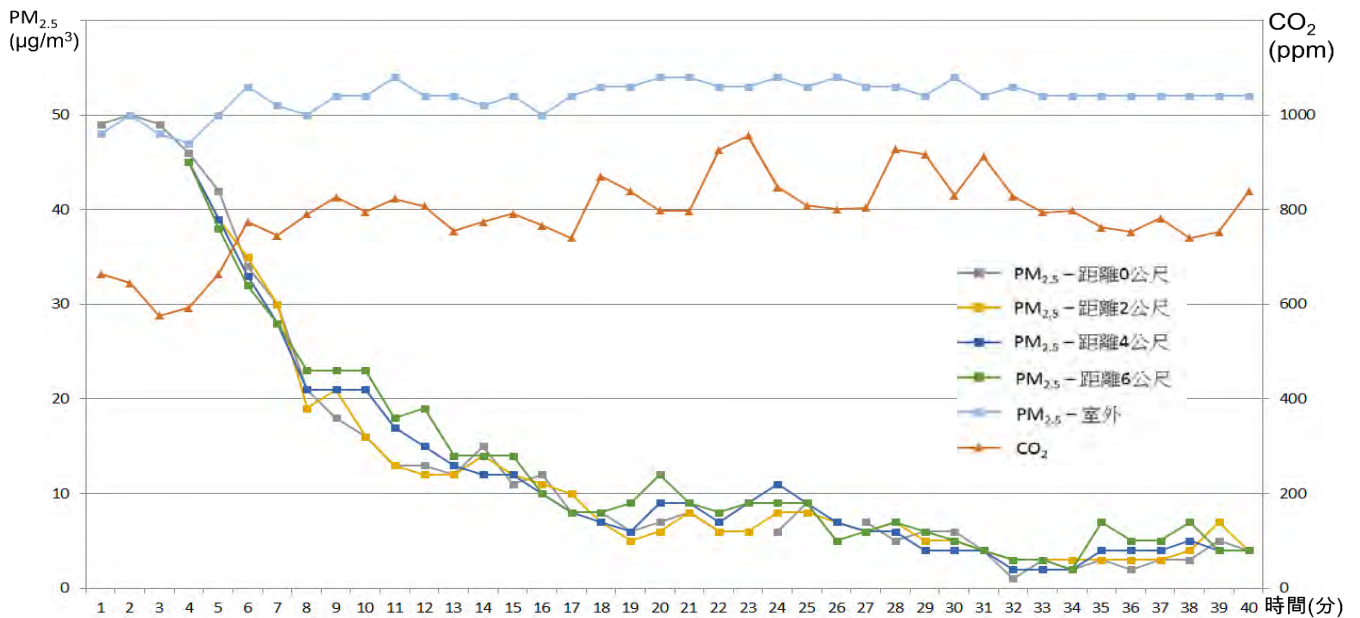


(三)、《實驗八》：探討距離清淨機遠近與 PM<sub>2.5</sub> 濃度（清淨效果）之關聯性。

我們想了解，如果在教室內放置空氣清淨機時，是否會因為座位與空氣清淨機的距離不同，而得到不同的 PM<sub>2.5</sub> 濃度。因此我們在關閉教室門窗的狀態下，將三台空氣清淨機分別放在教室後面和裝置於窗台上，並實測不同的距離下的 PM<sub>2.5</sub> 濃度，實驗結果分別如下：



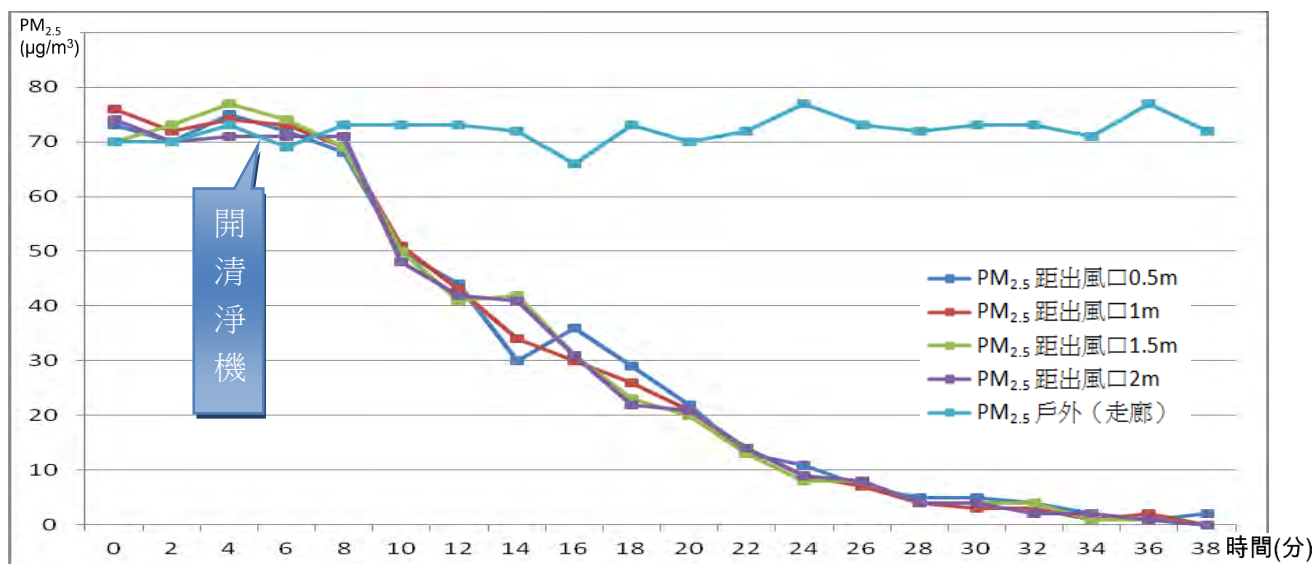
▲圖 16：實驗 8-1—與清淨機距離不同(清淨機置於室內)的 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖



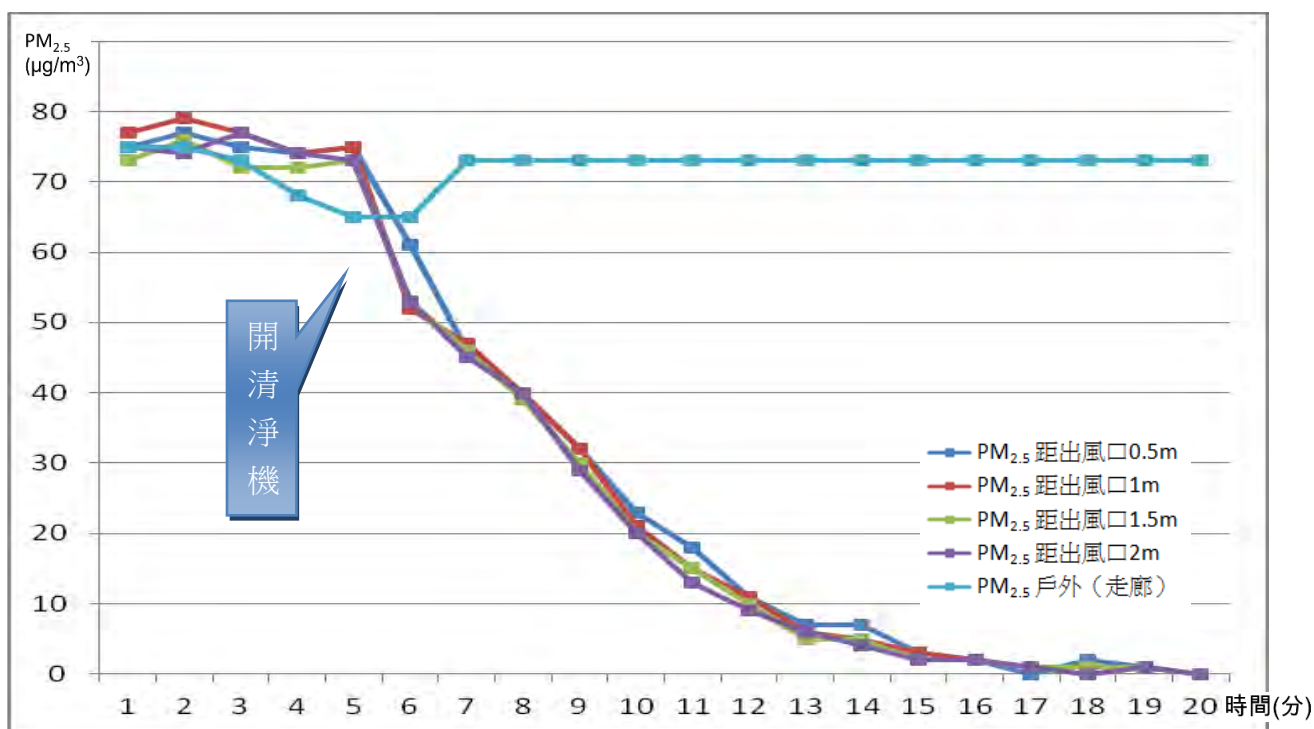
▲圖 17：實驗 8-2—與清淨機距離不同(清淨機置於窗台)的 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖

- 1、由實驗 8-1 的結果(圖 16)發現，當門窗緊閉，清淨機放在教室後面時，清淨效果與距離之相關性僅限於出風口附近，距離 2 公尺處以上即沒有差別。
- 2、由實驗 8-2 結果(圖 17)發現，將清淨機裝置於窗台上時，清淨效果與距離無明顯相關。

- 由實驗 8-1、8-2 結果發現，在室內啟動空氣清新機，無論距離清淨機遠近，PM<sub>2.5</sub> 的濃度都很接近。實際測得清淨機出風口的最大風速為 5m/s，應是出風口風速加速室內空氣流動，使得室內空氣品質達到一致，所以清淨機放置的位置不用特別選定。
- 在實驗 8-1 門窗緊閉時，出風口仍有低的 PM<sub>2.5</sub>，讓我們想探究若是將機器擺在身旁，是否可以呼吸到較乾淨的空氣，於是我們進行 8-3 的實驗，將機器擺在身邊（50 公分）並逐漸遠離測試，結果如下：



▲圖 18：實驗 8-3—與清淨機距離不同(窗台)的 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化折線圖(第 1 次實驗)



▲圖 19：實驗 8-3—與清淨機距離不同(窗台)的 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化折線圖(第 2 次實驗)

在實驗 8-3，分別測量距離清淨機 0.5m，1m，1.5m，2m 之 PM<sub>2.5</sub> 濃度，發現即使坐在機器旁（0.5m），和較遠處（2m）之 PM<sub>2.5</sub> 濃度沒有明顯差別。由此結果，我們認為在寬闊空間中使用個人空氣清淨機應該無法達到良好效果。

## 五、研究五一改良空氣清淨機的裝置並實測。

(一)《實驗九》：改良空氣清淨機的裝置，使用外接裝置（象鼻風管）將清淨機放置於室外。我們在空氣清淨機的出風口上，加裝一支直徑 13.5 公分的風管，並將風管與清淨機出風口做密封的處理，使清淨機所吹出的乾淨空氣完全經由風管吹到室內，並測量室內之 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度（同時關閉門窗）。裝置完成狀態如下圖 21、22：



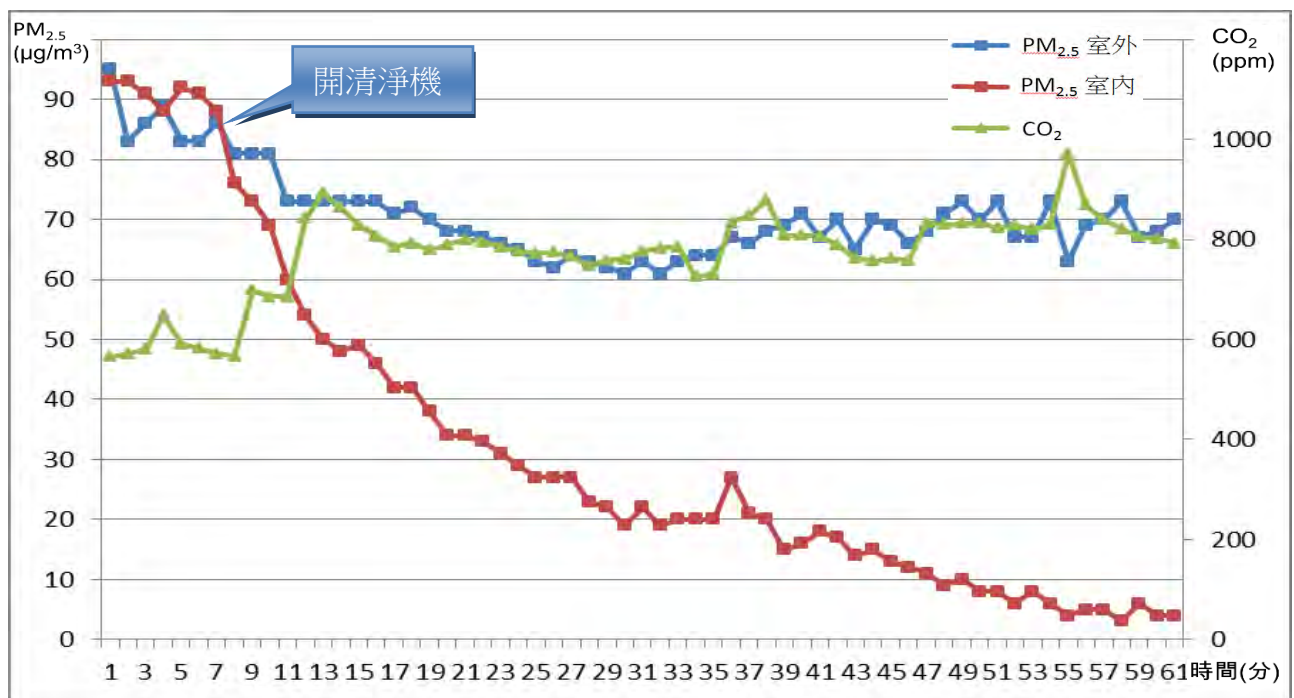
▲圖 20：實驗 9—確認出風口的 PM<sub>2.5</sub>



▲圖 21：象鼻風管完成圖



▲圖 22：象鼻風管裝置於窗台



▲圖 23：實驗 9—使用象鼻裝置實測的 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖

- 1、在實驗九，我們使用改良的空氣清淨機裝置（我們將它命名為象鼻裝置）進行實測，發現象鼻裝置的淨化空氣效果極好，可讓 PM<sub>2.5</sub> 下降到個位數，幾乎與清淨機裝置於窗台上的效果相同。
- 2、象鼻裝置解決了清淨機在窗台上不易固定，可能導致清淨機摔落的風險，也同時解決清淨機運作時產生噪音的問題。
- 3、若考慮長期放置在同一處，未來也可以在入口附近作彩繪等美化的方式。

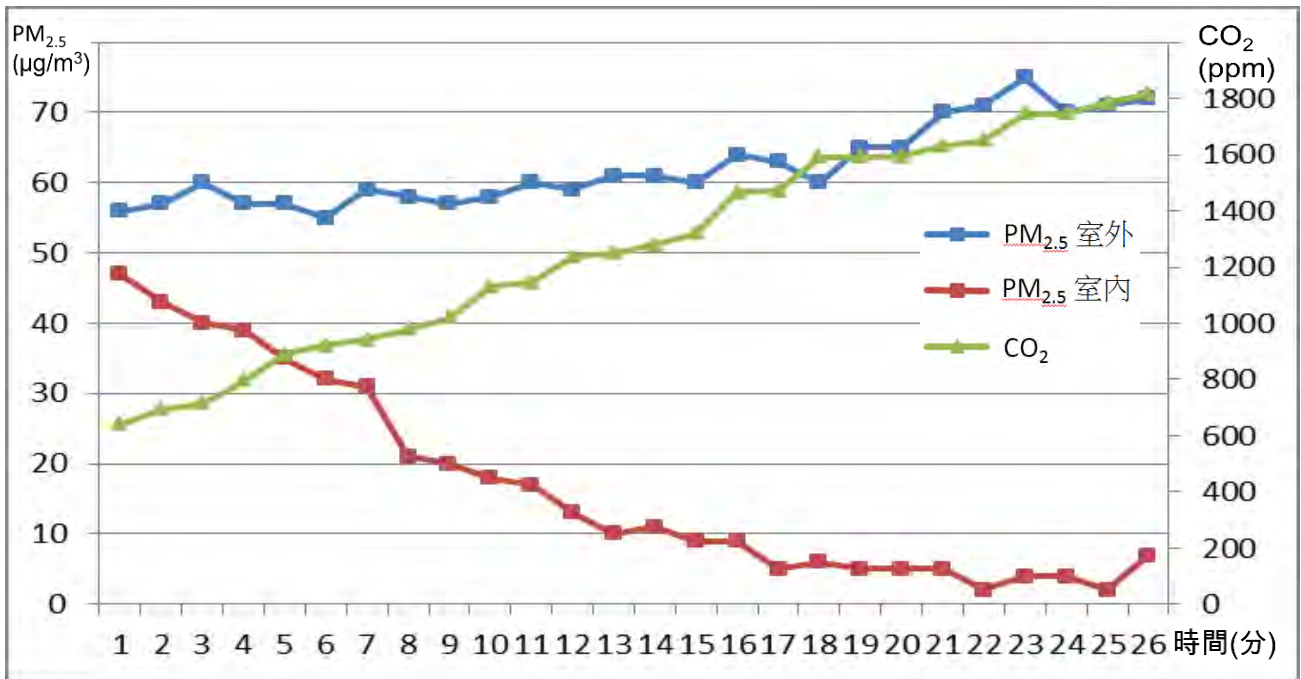
(二)《實驗十》：紫爆時不上戶外課，室內室外之 PM2.5 濃度是否不同？

當空汙旗升上紫旗時，不上戶外課，我們不禁好奇此時室內的 PM2.5 較外面低嗎？紫爆時不上室外課是否有用？在室內進行體育課，空氣品質比較好嗎？於是我們進行了實驗十，觀測結果如下圖 24：

實驗地點：學校地板教室。

教室活動：體控班學生進行體育活動。

操作方式：空調及清淨機(放置在教室內後面)同時開啟、關閉門窗並進行實測。



▲圖 24：實驗 10—清淨機(放置在教室內後面)實測的 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖

- 1、從研究四實驗五和實驗六的結果可知，教室在不關門窗的狀態下，室內、室外的 PM<sub>2.5</sub> 濃度相當接近。換言之，在通風良好的空間，當室外紫爆，室內也是紫爆。
- 2、地板教室內體控班學生正在進行體育活動，從熱身到激烈運動，再到最後的休息。
- 3、在實驗十結果發現(如圖 24)，若僅使用空調換氣，而將清淨機置於室內以一般方式使用時，雖然降低 PM<sub>2.5</sub> 的效果很好，但完全無法抑制 CO<sub>2</sub> 的上升，以至於 CO<sub>2</sub> 上升到無法忍受的 1815ppm，讓體控班師生皆感到氣悶不適。
- 4、在激烈活動下的地板教室，關閉門窗並將空調及清淨機(放置在教室後面)同時開啟雖然可以讓室內 PM<sub>2.5</sub> 降到個位數，但室內 CO<sub>2</sub> 濃度不斷上升，因此在地板教室將清淨機放置在教室後面，關閉門窗使用顯然不可行。



▲清淨機(放置在教室後面)



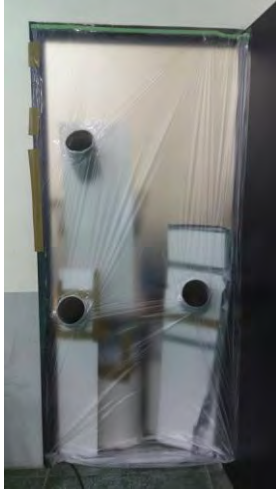
▲監測值(左：室外走廊 PM<sub>2.5</sub> 中：室內 CO<sub>2</sub> 濃度；右：室內 PM<sub>2.5</sub>)

(三)《實驗十一》：在室內運動空間，實測象鼻裝置的效能。

實驗地點：學校地板教室。(實驗 11-1)

教室活動：體控班學生進行體育活動。

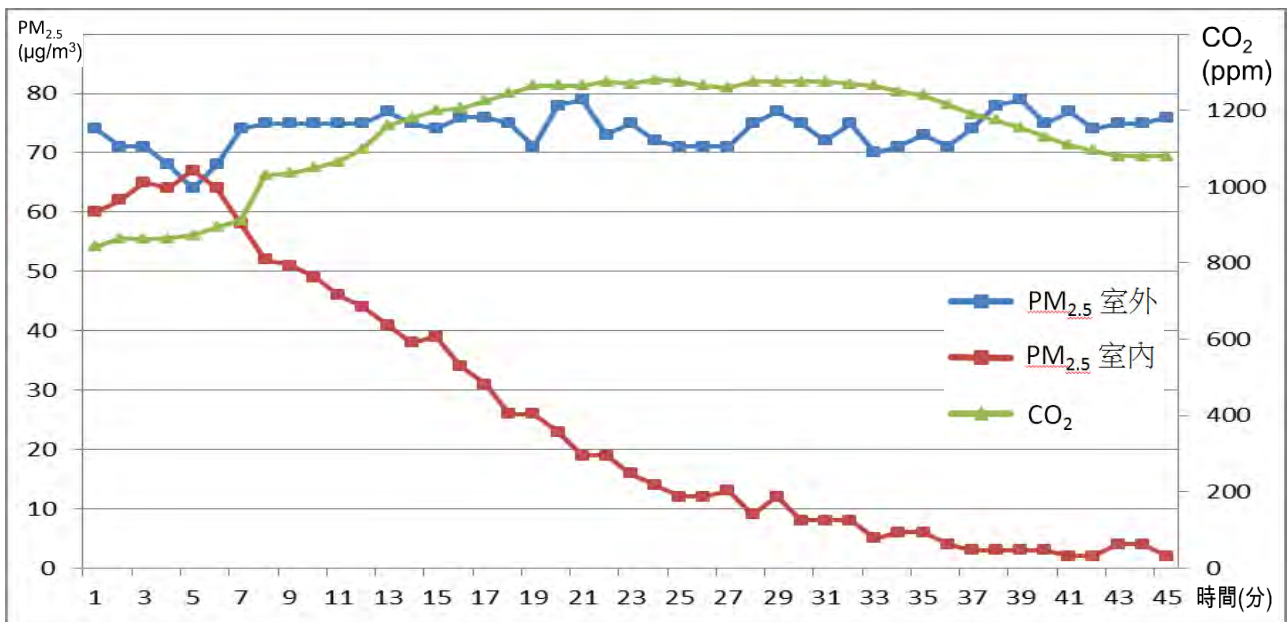
操作方式：空調及清淨機(象鼻裝置)同時開啟、關閉門窗並進行實測，裝置如圖 25、26。



▲圖 25：將象鼻裝置裝在地板教室前門



▲圖 26：如同室外機的象鼻裝置(教室外)



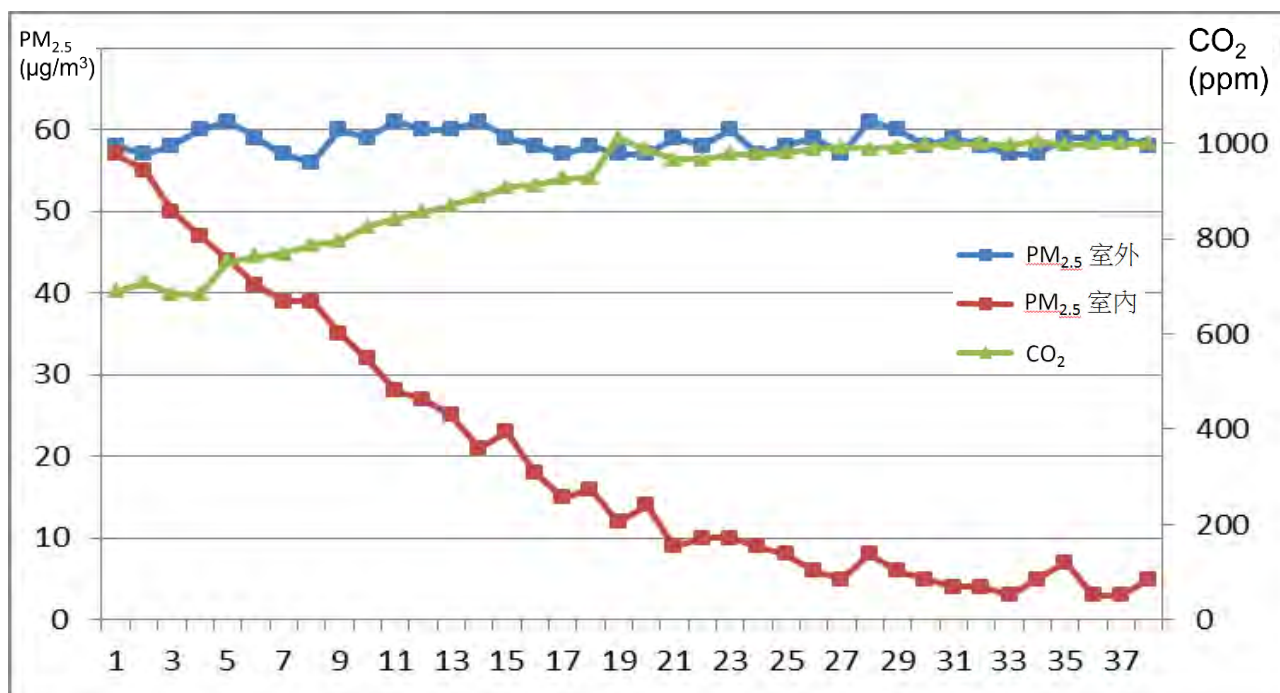
▲圖 27：實驗 11-1—使用象鼻裝置實測(體控班)的 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖

- 1、在進行實驗 11-1 時，體控班學生在地板教室進行體育活動，從熱身到激烈運動（學生活動強度比實驗十更強烈），再到最後的休息。
- 2、由實驗 11-1 的實驗結果(如圖 27)，發現室內 PM<sub>2.5</sub> 很快就降到個位數，且教室內的 CO<sub>2</sub> 可維持在穩定數字，體控班學生進行比實驗十更激烈活動的情形下，CO<sub>2</sub> 最多不超過 1250 ppm，且老師和體控班學生們皆沒有氣悶不適感。
- 3、由實驗 11-1 的結果可知：透過象鼻裝置，在室內形成正壓環境，使得室內 PM<sub>2.5</sub> 降到個位數，CO<sub>2</sub> 也維持在穩定數字。但若是換成人數較多的班級體育活動是否也有良好成效？於是我們進行了實驗 11-2。

實驗地點：學校地板教室。(實驗 11-2)

教室活動：一般班級學生上體育課。

操作方式：空調及清淨機(象鼻裝置)同時開啟、關閉門窗並進行實測，裝置如圖 25、26。



▲圖 28：實驗 11-2—使用象鼻裝置實測(班級體育課)的 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化折線圖

- 1、在進行實驗 11-2 實測時，教室內正進行一般班級的體育課，從熱身到不斷的激烈運動，在不休息的情況下，室內空氣淨化情形良好，PM<sub>2.5</sub>降到個位數，與同步監測室外走廊的 PM<sub>2.5</sub> 濃度有明顯差異。
- 2、雖然班上人數較體控班學生多，且活動激烈，但教室內之 CO<sub>2</sub> 可以穩定在接近 1000ppm 附近，而老師和體控班學生們除了因激烈活動而覺得熱之外，身體並沒有不適感。
- 3、由實驗 11-1、實驗 11-2 結果發現，配合空調及象鼻裝置的清淨機，雖因激烈運動仍會造成 CO<sub>2</sub> 上升，但象鼻裝置營造的室內正壓環境，可強制換氣，能有效抑制因為激烈運動帶來的 CO<sub>2</sub> 上升，在實驗 11-1(圖 27)甚至可以觀察到 CO<sub>2</sub> 下降。

## 陸、討論

- 一、在本研究中，我們設定以真實情境作為研究環境，以空氣盒子和 PM<sub>2.5</sub> 檢測儀，監測空氣中 PM<sub>2.5</sub> 的即時數據。所以在研究一開始，我們碰到的第一個問題就是資料分析不易，因每次觀察記錄的起始值都不相同，經過討論，最後決定將觀測到 PM<sub>2.5</sub> 的即時數據做成折線圖，以升降趨勢，作為分析依據。
- 二、在研究二，選定後續實驗用的清淨機品牌時，因受限於經費條件，只能以家中現有品牌進行測試並挑選，所選定之品牌，曾經在消基會的評比中名列前茅，應具有代表性。而該品牌在家中進行實驗一實測時，也確實有相當好的淨化效果。
- 三、在研究三，進行家中實驗時：
  - (一)、按照一般使用方式裝置(實驗二)，將空氣清淨機開機後，可以觀察到室內之 PM<sub>2.5</sub> 有顯著的下降，但仍未達到令人滿意的標準，我們推測可能是室內外的氣體交換，仍持續帶入 PM<sub>2.5</sub>。
  - (二)、而關閉門窗後(實驗三)，室內之 PM<sub>2.5</sub> 即可下降到個位數，同時也導致室內 CO<sub>2</sub> 上升，在室內的人會感到氣悶不舒服。
  - (三)、在實驗四，我們以抽風機的概念，將清淨機裝置於窗台上並關閉門窗，此時清淨機從戶外抽取空氣，淨化後吹入室內，使室內充滿淨化後的乾淨空氣，可以更有效的將 PM<sub>2.5</sub> 濃度降到個位數；此時由於清淨機不斷地將空氣吹入室內，導致室內壓力高於室外，室內形成正壓環境，室內空氣會經由門窗縫隙流出，讓室內的 CO<sub>2</sub> 維持穩定值，因此不論 PM<sub>2.5</sub> 或是 CO<sub>2</sub> 的變化，均有令人滿意的效果。
- 四、在研究四，進行學校實驗時：
  - (一)、在學校環境進行實驗五時，當教室開啟空氣清淨機，若門窗打開，清淨機幾乎無法降低空氣中的 PM<sub>2.5</sub>，而即使關閉門窗(實驗六)，效能仍遠不如家中，且 CO<sub>2</sub> 上升情形，遠超過家中。推論原因可能是教室環境通風性遠優於家中，而教室內人口密度也高於家中。
  - (二)、在實驗七，將清淨機裝置於窗台上並關閉門窗，此時由於清淨機不斷地將空氣吹入室內，導致室內壓力高於室外，教室形成正壓環境，室內空氣會經由門窗縫隙和上方的通氣口流出，因此 CO<sub>2</sub> 濃度能維持穩定，不至於使人感到不適，教室內的 PM<sub>2.5</sub> 也能迅速降到個位數。
  - (三)、實驗七將清淨機裝置於窗台上，雖然淨化空氣效果良好，但清淨機放在窗台上，窗台突起的窗框，使得清淨機不易平衡，清淨機可能會摔落，而有安全性的顧慮。此外，清淨機運作時所產生的噪音也希望能獲得改善，因此我們進行了研究五的實驗。
  - (四)、關於實驗八一距離清淨機遠近和 PM<sub>2.5</sub> 濃度之關聯性，我們想探究個人用的清淨機是否可行，結果發現，即使與清淨機僅 50cm 的距離，其 PM<sub>2.5</sub> 濃度也已經和教室內其它地方幾乎相同。因此，教室裡如果有同學想在自己座位加裝空氣清淨機，以增進個人健康，效果應該不好，建議以教室為單位，共同加裝大功率清淨機，效果較好。目前市面上販售一款穿戴式空氣清淨裝置，其廣告設定於封閉之玻璃容器內，開啟穿戴

式空氣清淨裝置，可以看見煙霧濃度明顯下降之實驗，在生活應用中之效能，雖未能取得樣本實驗，但依本實驗推測其效果可能不如預期。

- 五、在研究五，我們以室外機的概念，將清淨機的出風口密封，並裝上風管，組成象鼻裝置，將淨化的空氣經由風管導入室內，進行實驗九的裝置改良。
- (一)、我們評估，這樣的改良裝置可以解決噪音及安全性的顧慮，但可能會降低換氣效率及過濾效率。在實驗九(班級教室)及實驗十一(地板教室)的結果發現，加裝風管後，確實解決了噪音及安全性的問題，也沒有發生我們擔心的降低效率的問題。
- (二)、在實驗九(班級教室)和實驗十一(地板教室)以象鼻裝置進行實測，實驗結果發現可以達到和裝置於窗台上時相同的效果。同時，在象鼻裝置上，我們以風速計測量出風口的空氣流速，發現風速變強(未改裝前，出風口最大風速 5m/s；改裝後，最大風速可達 11m/s~12m/s)，可加快室內空氣循環。
- (三)、在實驗過程中，我們除了記錄室內的 PM<sub>2.5</sub> 和 CO<sub>2</sub> 濃度變化，也同時監測室外的 PM<sub>2.5</sub>，根據研究四的實驗結果得知，在通風良好的環境下，室內的 PM<sub>2.5</sub> 幾乎和室外的 PM<sub>2.5</sub> 相同。
- (四)、目前政策，在戶外紫爆時，建議停止戶外課。但本研究顯示，室內室外之 PM<sub>2.5</sub> 濃度未有明顯差距，此時將戶外課改成室內，並不會減少環境中之 PM<sub>2.5</sub> 濃度，且在室內上體育課，學生運動時，會造成室內 CO<sub>2</sub> 濃度快速上升，影響空氣品質。因此停止戶外課僅能經由限制學生活動量來減少 PM<sub>2.5</sub> 的吸入。
- (五)我們嘗試解決上述的問題，希望讓同學們即使在紫爆時，仍然可以在乾淨且空氣清新的環境中運動，因此我們在實驗十，嘗試在地板教室將清淨機與空調同時啟動，發現 PM<sub>2.5</sub> 雖有明顯改善，但上升的 CO<sub>2</sub> 卻使人難以忍受，因此在地板教室將清淨機放置在教室後面，關閉門窗使用顯然不可行。
- (六)在實驗十一，以在地板教室上體育課進行實測，用我們設計改良的象鼻裝置搭配空調進行實驗，PM<sub>2.5</sub> 可以降到個位數、CO<sub>2</sub> 濃度也能穩定控制。即使僅使用象鼻裝置而未開啟空調，也有控制 CO<sub>2</sub> 濃度的效果。
- (七)因此，我們建議在紫爆時，學校可以開放地板教室，並同時啟用加裝象鼻裝置的清淨機及空調，讓學童在這樣的環境下運動，既可達到運動健身效果，又可避免過多的 PM<sub>2.5</sub> 暴露。





研究三（實驗二、三、四）家中實驗		
	優點	缺點
單純使用清淨機	1.可降低 PM <sub>2.5</sub> 2.方便使用，插電開機即可	1. PM <sub>2.5</sub> 下降效果仍不令人滿意 2. 清淨機抽氣音量較大
關閉門窗 使用清淨機	PM <sub>2.5</sub> 下降效果良好，可降到個位數	1. CO <sub>2</sub> 濃度上升，人在室內感到空氣悶 2. 清淨機抽氣音量較大
關閉門窗 清淨機裝置於窗台	1.PM <sub>2.5</sub> 下降效果良好，可降到個位數 2.CO <sub>2</sub> 濃度穩定，人在室內不會感到空氣悶	1. 不方便，裝置繁瑣 2. 機器跨於窗台，安全性顧慮 3. 不美觀

研究四、五（實驗六、七、八、九）學校實驗		
	優點	缺點
單純使用清淨機	方便使用，插電開機即可	1. 對於 PM <sub>2.5</sub> 下降，幾乎沒有效果 2. 清淨機抽氣音量較大
關閉門窗 使用清淨機	可降低 PM <sub>2.5</sub>	1. 對於 PM <sub>2.5</sub> 下降效果仍未令人滿意 2. CO <sub>2</sub> 濃度上升，人在室內感到空氣悶 3. 清淨機抽氣音量較大
關閉門窗 清淨機裝置於窗台	1. PM <sub>2.5</sub> 下降效果良好，可降到個位數 2. CO <sub>2</sub> 濃度穩定，人在室內不會感到空氣悶	1. 不方便，裝置繁瑣 2. 機器跨於窗台突起處，安全性隱憂 3. 不美觀 4. 清淨機抽氣音量較大
象鼻裝置 (室外機模式)	1. 可有效降低 PM <sub>2.5</sub> 2. CO <sub>2</sub> 濃度穩定，人在室內不會感到空氣悶 3. 無清淨機之抽風聲 4. 可加以設計以達到美觀之目的	1. 不方便，裝置繁瑣，但若設計成組套時，可加強方便性 2. 風管影響清淨機效能，但可由增加機器台數改善

學校實驗（實驗八）

空氣中 PM2.5 濃度，僅在出風口處比其他地方較顯著的低，也就是說，不論清淨機擺放的位置為何，在較寬闊的空間中，仍會有均勻的 PM2.5 濃度。也就是說，在教室或辦公場所擺放個人用空氣清淨機應該不會有用。

學校實驗（實驗十、十一）

在學校的通風環境中，室內及室外之 PM<sub>2.5</sub> 濃度其實相當，改成在室內上課，僅能經由減少運動量達到少吸 PM<sub>2.5</sub> 的效果。

比較各種裝置模式於室內體育課如下

	PM2.5	CO2
空調＋一般模式清淨機	優	劣
空調＋象鼻裝置之清淨機	優	優
僅使用象鼻裝置清淨機	優	優

綜合上述各實驗，可以發現，我們設計的象鼻裝置，搭配清淨機使用，不但可以大幅增強清淨機之效能，且對於室內之 CO<sub>2</sub> 濃度也可以達到如同開啟門窗之換氣效果。將在學校實驗結果列表如下：

裝置方式	PM <sub>2.5</sub>	CO <sub>2</sub>	噪音	美觀	裝置之穩定性(安全性)
一般通風	✘	○	✘	○	○
一般＋關門窗	△	✘	✘	○	○
窗台＋關門窗	○	○	✘	✘	✘
象鼻＋關門窗	○	○	○	△ <sub>註</sub>	○

註：若本裝置能夠商業化，則外觀應可美化，其美觀性可最佳化。

## 柒、結論

- 一、在本研究中，我們設定以真實情境作為研究環境，以空氣盒子和 PM<sub>2.5</sub> 檢測儀，監測空氣中 PM<sub>2.5</sub> 的即時數據並做成折線圖，以升降趨勢，作為分析依據。
- 二、在研究二，選定後續實驗用的清淨機品牌，我們考慮了各品牌的 CADR 值，其中 H 牌的換氣率最高；以家中的書房(室內小空間)進行實測，實驗結果是 H 牌的清淨效果最好，我們選定 H 牌並加購兩台進行教室(室內大空間)的實驗。
- 三、在研究三，進行家中(室內小空間)實驗時：
  - (一)、按照一般使用方式裝置(實驗二)：未關門窗將空氣清淨機開機後，可以觀察到室內之 PM<sub>2.5</sub> 有顯著的下降，因未關門窗，室內外的氣體交換仍持續帶入 PM<sub>2.5</sub>，所以室內 PM<sub>2.5</sub> 降到一定數值後，即無法再降，未能達到完全的清淨效果。
  - (二)、關閉門窗後(實驗三)：室內之 PM<sub>2.5</sub> 可下降到個位數，非常接近 0，但同時也因關閉門窗，導致室內 CO<sub>2</sub> 上升，使在室內的人會感到氣悶不舒服。
  - (三)、為了解決 CO<sub>2</sub> 上升問題，進行了實驗四：以抽風機和正壓的概念，關閉門窗並將清淨機裝置於窗台上，從戶外抽取空氣淨化後吹入室內，此時室內壓力高於室外，形成正壓環境，室內空氣會經由門窗縫隙流出，讓室內的 CO<sub>2</sub> 維持穩定值，根據實驗結果發現，PM<sub>2.5</sub> 濃度也更快的降到個位數，不論是 PM<sub>2.5</sub> 的清淨效果或是 CO<sub>2</sub> 的穩定，均有令人滿意的成效。
- 四、在研究四，進行學校(室內大空間)實驗時：
  - (一)、在教室進行實驗五：在門窗打開的狀態下，開啟空氣清淨機，清淨機幾乎無法降低空氣中的 PM<sub>2.5</sub>，推論是因為教室兩面的大窗戶，使得環境通風性佳。
  - (二)、在教室進行實驗六：在關閉門窗的狀態下，清淨機清淨效能遠不如家中，且 CO<sub>2</sub> 上升情形遠超過家中。推論原因可能是教室環境通風性遠優於家中，人口密度也高於家中。
  - (三)、在實驗七，將清淨機裝置於教室窗台上並關閉門窗，清淨機將淨化後的空氣吹入室內，導致室內壓力高於室外，教室形成正壓環境，室內空氣會經由門窗縫隙和教室上方的通氣口流出，因此 CO<sub>2</sub> 濃度能維持穩定，教室內的 PM<sub>2.5</sub> 也能迅速降到個位數。
  - (四)、實驗七將清淨機裝置於窗台上，淨化空氣效果良好，但清淨機可能會摔落，有安全性的顧慮，且希望改善清淨機運作時產生的噪音，因此我們進行研究五加裝象鼻裝置的改良實驗。
  - (五)、在實驗八一我們想了解清淨機距離及放置位置對 PM<sub>2.5</sub> 的影響：實驗 8-1，我們進行長距離的實驗；實驗 8-2，短距離的實驗，結果發現，即使與清淨機僅 50cm 的距離，其 PM<sub>2.5</sub> 濃度也已經和教室內其它地方幾乎相同。因此，教室裡如果有同學想在自己座位加裝空氣清淨機，以增進個人健康，效果應該不好，建議以教室為單位，共同加裝大功率清淨機，效果較好。

五、在研究五，我們以室外機的概念進行改良，將出風口密封裝上風管，組成象鼻裝置。

(一)、在實驗九(班級教室)及實驗十一(地板教室)的結果發現，加裝風管後，確實解決了噪音及安全性的問題，也沒有發生我們擔心的降低效率的問題。

(二)、在實驗九(班級教室)和實驗十一(地板教室)以象鼻裝置進行實測，實驗結果發現可以達到和裝置於窗台上時幾乎相同的效果。以風速計測量在象鼻裝置出風口的空氣流速，發現風速變強，可加快室內空氣循環。

(三)、根據研究四的實驗結果得知，在通風良好的環境下，室內的 PM<sub>2.5</sub> 幾乎和室外的 PM<sub>2.5</sub> 相同。目前政策，在戶外紫爆時，建議停止戶外課。但本研究顯示，室內外之 PM<sub>2.5</sub> 濃度未有明顯差距，在室內活動並不會減少環境中之 PM<sub>2.5</sub> 濃度，在室內上體育課，會造成室內 CO<sub>2</sub> 濃度快速上升，影響空氣品質。因此停止戶外課僅能經由限制學生活動量來減少 PM<sub>2.5</sub> 的吸入。

(四)、在實驗十，我們在地板教室關閉門窗將清淨機放在地上(一般的室內使用方式)與空調同時啟動，發現 PM<sub>2.5</sub> 雖有明顯改善，但 CO<sub>2</sub> 快速上升到 1815PPM，在室內運動時以一般方式使用清淨機並不可行。

(五) 在實驗十一，在地板教室上體育課進行實測：以改良的象鼻裝置搭配空調進行實驗，PM<sub>2.5</sub> 可以降到個位數、CO<sub>2</sub> 濃度也能穩定控制。即使僅使用象鼻裝置而未開啟空調，也有控制 CO<sub>2</sub> 濃度的效果。我們完成了在紫爆時，既能讓同學盡興運動又不受 PM<sub>2.5</sub> 威脅的任務。

## 捌、參考資料及其他

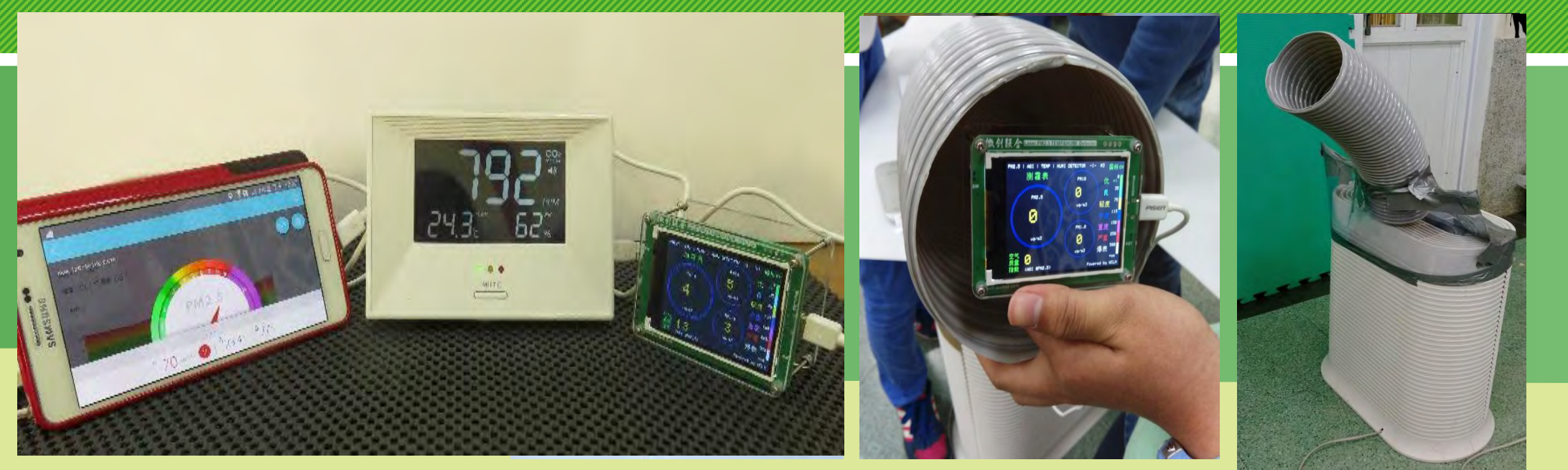
1、<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/Pm25Index.aspx>

[即時細懸浮微粒指標 - 行政院環境保護署 - 空氣品質監測網](#)

## 【評語】 080835

該作品討論豐富，將市售空氣機機台進行使用方式對於 PM2.5 抽除效率的評估，此方式將可提供使用民眾有效使用商業產品。此外，更進一步自製空氣清淨機結合象鼻裝置大幅增強清淨機之效能。研究工具妥適有效，足以呈現正確結果；思維合乎科學邏輯，能提出解決問題的方法。建議未來可以針對真實環境研究針對開放空間的清淨效果的方式。

作品海報



## 摘要

本實驗主要探討在空氣品質不佳的環境下，如何將空氣清淨機發揮最大效能，有效降低室內PM<sub>2.5</sub>濃度，達到淨化室內空氣的目的。以我們平日活動的場域，在家中和學校教室進行實驗。我們先評選出實驗代表機種，再探討空氣清新機的使用方法：(1)在不關門窗的情形下使用清淨機：可降低PM<sub>2.5</sub>，但下降效果無法令人滿意；(2)在關門窗的情形下使用清淨機：PM<sub>2.5</sub>可下降到個位數，但CO<sub>2</sub>濃度上升，會感到空氣悶不舒服。(3)將清淨機裝置於窗台上並關閉門窗，使室內形成正壓環境：PM<sub>2.5</sub>可下降到個位數，CO<sub>2</sub>濃度也能維持舒適穩定的範圍。(4)因清淨機裝置在窗台上有安全性顧慮，便將空氣清淨機改良加裝象鼻風管，以室外機的方式使用，同樣能達到有效淨化空氣的目的。

## 壹、研究動機

嘉義的天空有時候霧濛濛的，甚至直到中午霧都沒散。剛好學校教到關於PM<sub>2.5</sub>的知識，我上網查詢空污相關資料，發現PM<sub>2.5</sub>不單對呼吸系統，對心血管、神經系統等都有嚴重危害，家中也開始使用清淨機，這不禁讓我思考空氣清淨機是否真的有效？怎樣的裝置能讓清淨機的效能達到最好？為了解決問題並讓大家更有效的使用空氣清淨機，便開始了我們的研究。(作品與教材之相關性：南一版 自然與生活科技 第六冊 單元三 珍愛家園)

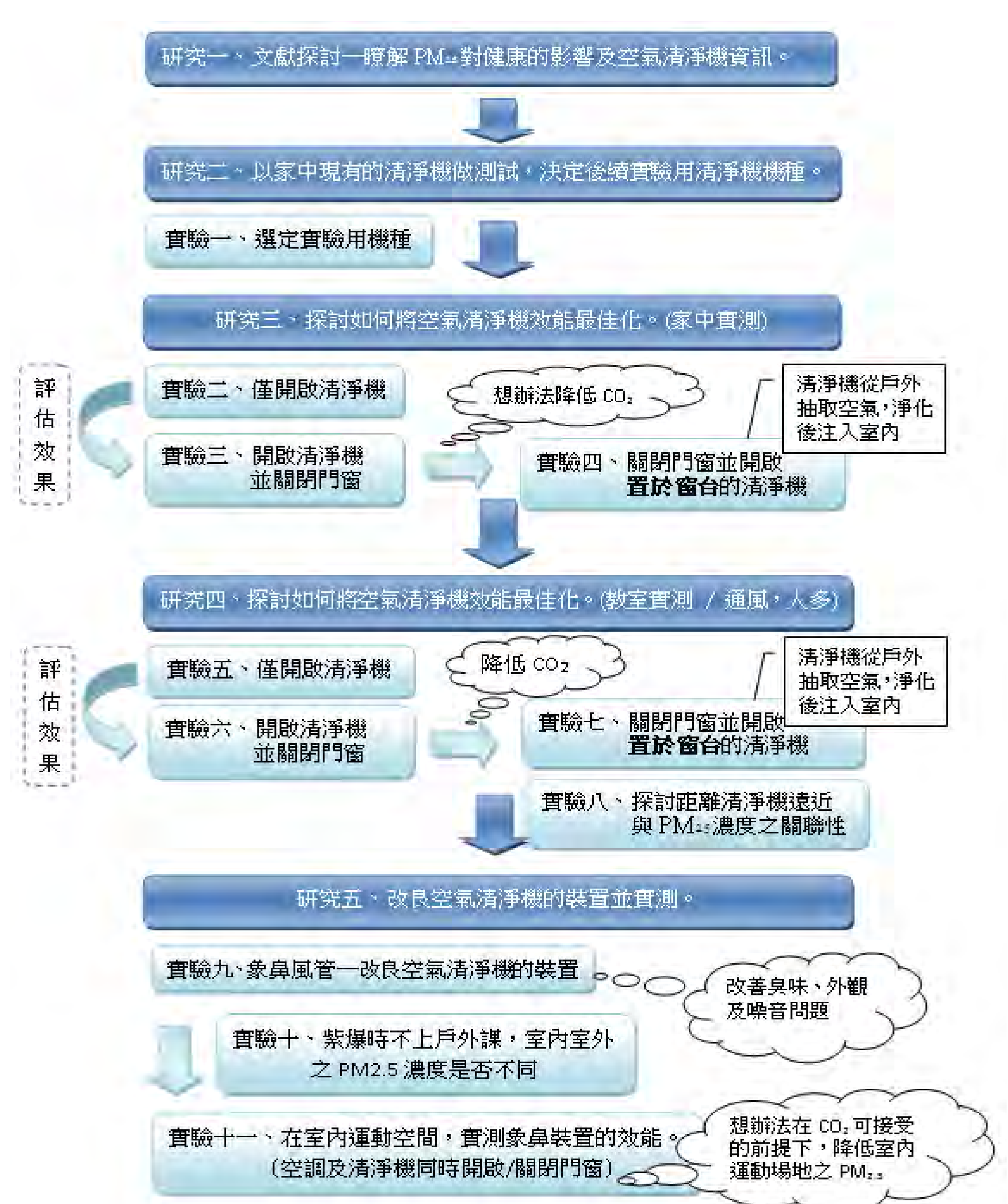
## 貳、研究目的

- 研究一、文獻探討—瞭解PM<sub>2.5</sub>對健康的影響及空氣清淨機資訊。
- 研究二、以家中現有的清淨機做測試，決定後續實驗用清淨機機種。
- 研究三、探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(在家中進行實測)
- 研究四、探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(在學校教室進行實測/較通風，但人數多)
- 研究五、改良空氣清淨機的裝置並實測。

## 參、研究設備及器材

檢測儀器			
	(1)空氣盒子(認證)	(2)PM <sub>2.5</sub> 檢測儀	(3)雙波長CO <sub>2</sub> 監測儀
			
	(4)測距儀	(5)風速計	(6)卷尺/捲尺
操作工具			
	熱熔膠槍	裁剪工具	空氣清淨機
			
實驗耗材	厚PVC膠皮風管	PVC塑膠板	塑膠PP板
			
	黏貼膠帶	養生膠帶	

## 肆、研究過程或方法 (實驗步驟詳見作品說明書)



## 伍、研究結果

### 研究一、文獻探討—瞭解PM<sub>2.5</sub>對健康的影響及空氣清淨機資訊

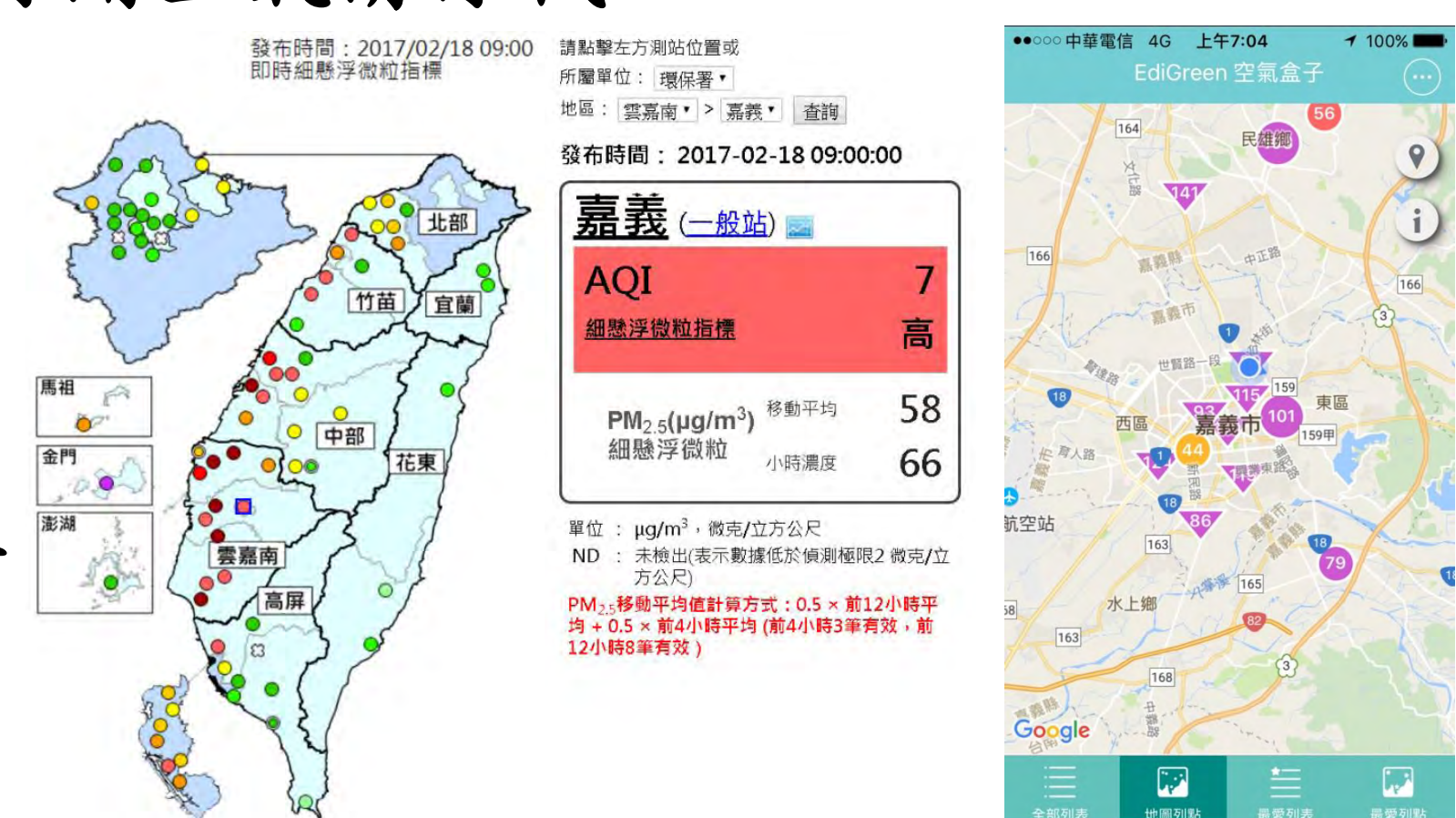
- (一) 什麼是PM<sub>2.5</sub>? PM<sub>2.5</sub>對健康有什麼影響? (資料來源：1~4嘉義市政府衛生局/5.立法院公報第100卷 第42期院會紀錄)
- 1、PM<sub>2.5</sub>為空氣中0.3~2.5微米的細懸浮微粒，直徑大約為頭髮直徑的1/28，像花粉一樣飄浮在空氣中，讓我們視而不見，因為非常微小可穿過肺泡進入血液循環中。
  - 2、PM<sub>2.5</sub>雖然能被身體排泄及代謝，但排泄前已傷害人體健康，無法被人體代謝或解毒。
  - 3、PM<sub>2.5</sub>是「致癌物」，無論濃度多低，皆會對健康造成危害，主要影響「呼吸道」、「心血管」。
  - 4、當PM<sub>2.5</sub>濃度大於56 μg/m<sup>3</sup>，應盡量避免外出，將門窗關閉，打開空氣清淨機。
  - 5、空氣中PM<sub>2.5</sub>每增加10，所有原因的死亡率增加5%。

### (二) 嘉義的空污嚴重嗎? (資料來源：嘉義市政府衛生局)

嘉義市空氣品質全國倒數第一，空污濃度世界排名第七，比工業區的高雄市更加糟糕；嚴重原因之一是因為嘉義市位在中央山脈背面，污染物容易滯留，尤以春冬季10-4月更嚴重。

### (三) 如何提升PM<sub>2.5</sub>的防護力? (資料來源：胸腔內科 蘇一峰醫師)

- 1、一般口罩有戴等於沒戴，只有改善空氣品質才是唯一方法。(資料來源：行政院環保署空氣品質監測網)
- 2、緊閉門窗也無法完全防止，研究發現馬路旁住戶有比較高呼吸道與心血管疾病。
- 3、空氣清淨機可以減少PM<sub>2.5</sub>，中等價位的就有效。

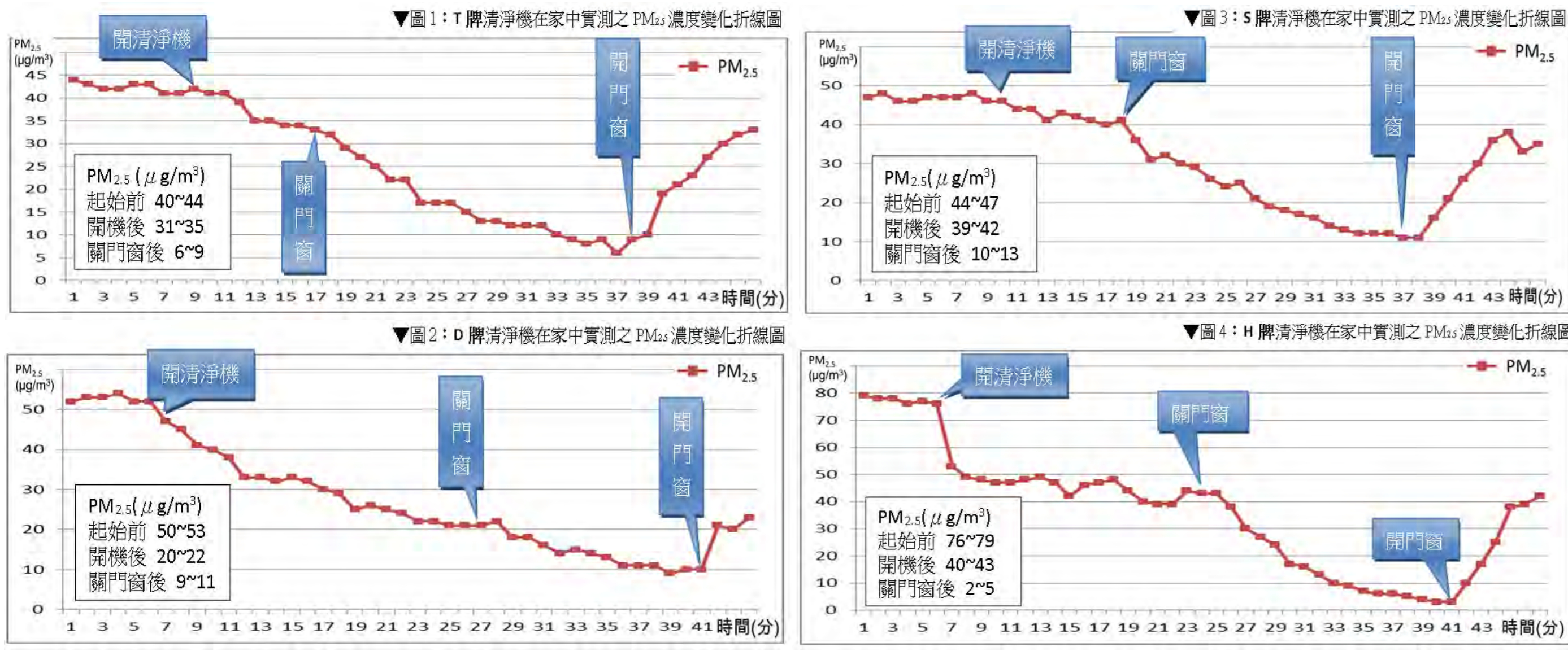


▲空氣品質指標 (資料來源：行政院環保署空氣品質監測網) ▲空氣盒子 (即時監測各地PM<sub>2.5</sub>)



**研究二、以家中現有的清淨機做測試，決定後續實驗用清淨機機種。**

《實驗一》以家中現有品牌，選定實驗用機種。



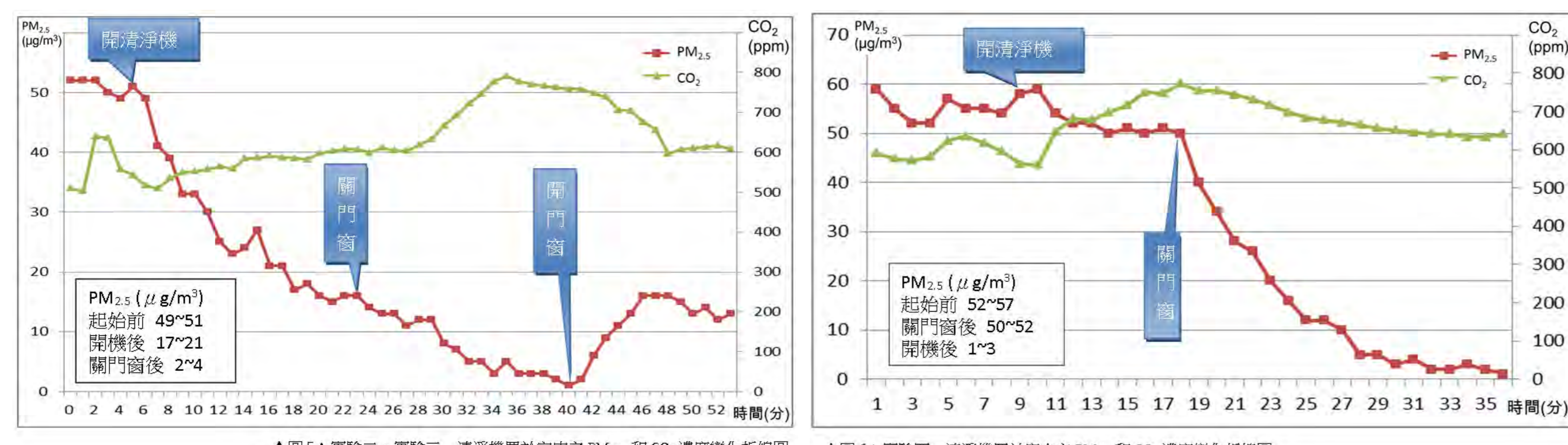
清淨機品牌	T牌	D牌	S牌	H牌
PM <sub>2.5</sub> 濃度 (μg/m <sup>3</sup> )	40~44	50~53	44~47	76~79
開機後	31~35	20~22	39~42	40~43
關門窗	6~9	9~11	10~13	2~5
CADR (m <sup>3</sup> /h) (清淨空氣輸出率) 依廠商提供數據，換算值	175	無資料	222	510
機器價格(台幣)	3760	9000	5390	8000
同品牌大坪數 機器價格(台幣)	8392	9000	10700	8000

**結果與討論：**

- 1、實驗一的PM<sub>2.5</sub>濃度變化情形，如下圖1~圖4。
- 2、根據實驗一，發現H牌清淨機測試時的PM<sub>2.5</sub>濃度起始值最高，但在開機後下降幅度最大；在關閉門窗一段時間後，PM<sub>2.5</sub>可降到個位數(如下圖4)，最終PM<sub>2.5</sub>濃度也達到最低，清淨效果最好。
- 3、我們依廠商提供的CADR值(清淨空氣輸出率)經過換算，H牌換氣率最高，最符合教室大空間的換氣需求。
- 4、因學校教室為較大面積空間，所以除了清淨機效能，也應考量該品牌大坪數機種之售價，H牌價格較為優惠。
- 5、根據實驗結果及評比項目，我們選定H牌清淨機進行後續實驗。
- 6、實際測量估算學校教室容積為220m<sup>3</sup>，以每小時換氣5次做為目標，購置2台作為後續實驗使用。

**研究三、探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(在家中進行實測)。**

《實驗二》：開啟室內的清淨機(不關門窗)，探討室內PM<sub>2.5</sub>之變化情形。  
 《實驗三》：開啟室內的清淨機(關門窗)，探討室內PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>之變化情形。



**結果與討論：**

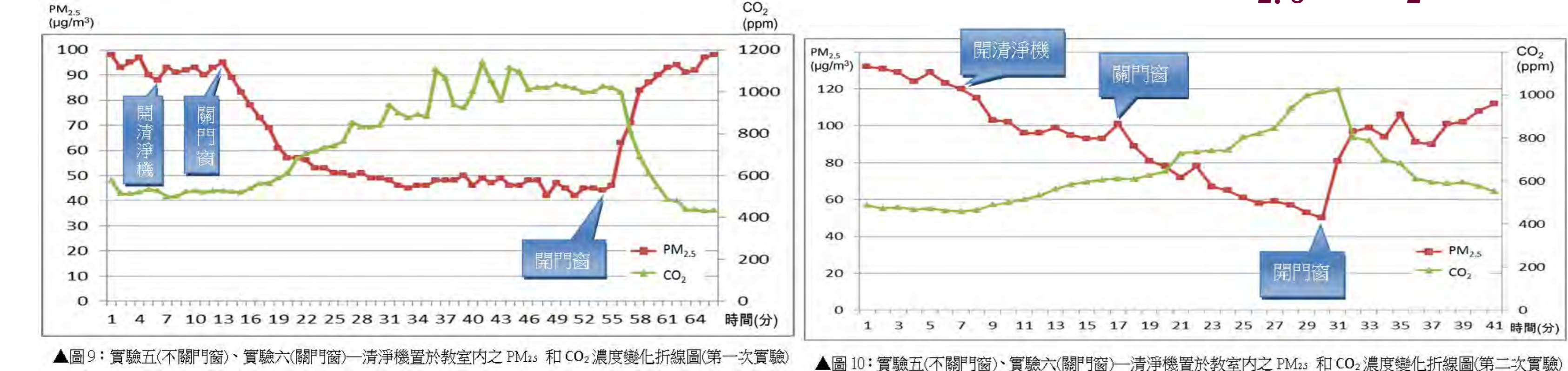
- 1、以H牌在家中進行實測，在實驗二發現，正常使用清淨機，不關門窗的情形下，開機後確實可以使室內的PM<sub>2.5</sub>濃度降低，但因為嘉義市區環境PM<sub>2.5</sub>濃度較高，未關窗導致室內外氣體交換，PM<sub>2.5</sub>下降情形不夠理想。(如下圖5)
- 2、在實驗三緊閉門窗，減少和室外交換空氣，結果發現PM<sub>2.5</sub>濃度可以降得很低(個位數)，但此時CO<sub>2</sub>濃度上升。
- 3、為降低室內CO<sub>2</sub>濃度，我們開了門窗，發現CO<sub>2</sub>濃度可回到600ppm左右，但PM<sub>2.5</sub>也上升到實驗二未關門窗時的狀態。
- 4、經討論，提出將清淨機作為抽風機使用的想法，因此，我們決定將清淨機裝置在窗台上並將門窗關閉，使清淨機從戶外抽取空氣，淨化後注入室內，再觀察PM<sub>2.5</sub>及CO<sub>2</sub>之變化情形，進行實驗四。

《實驗四》：開啟置於窗台的清淨機並關閉門窗，探討室內PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>之變化情形。

實驗四結果，將清淨機裝置在窗台上並關閉門窗(如上圖7)，清淨機確實如預期達到良好的清淨效果，PM<sub>2.5</sub>降到個位數，而且此時室內的CO<sub>2</sub>濃度維持在600~700 ppm之間(如圖6)，並未繼續上升，也不會令人感到氣悶。

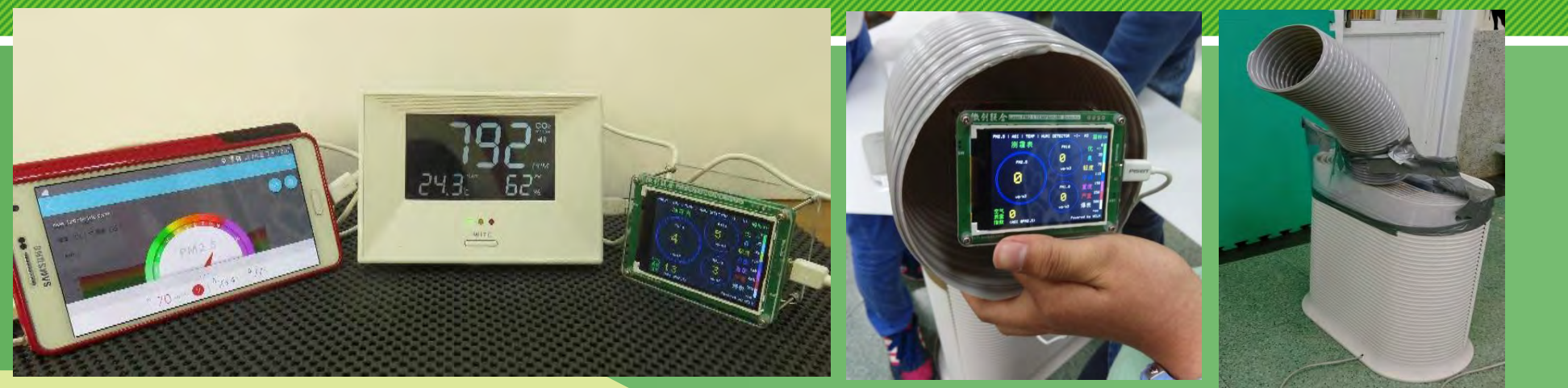
**研究四、探討如何將空氣清淨機效能最佳化。(學校實測/較通風，但人數多)**

《實驗五》：開啟教室內的清淨機(不關門窗)，探討室內PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>之變化情形。  
 《實驗六》：開啟教室內的清淨機(關門窗)，探討室內PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>之變化情形。

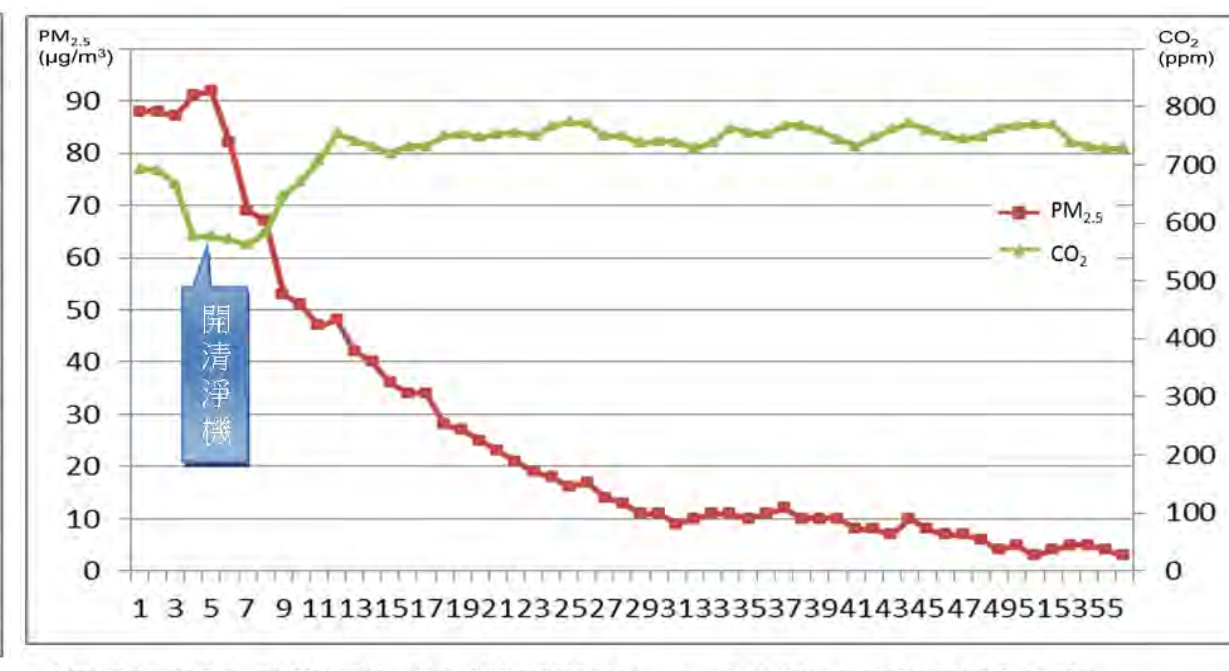
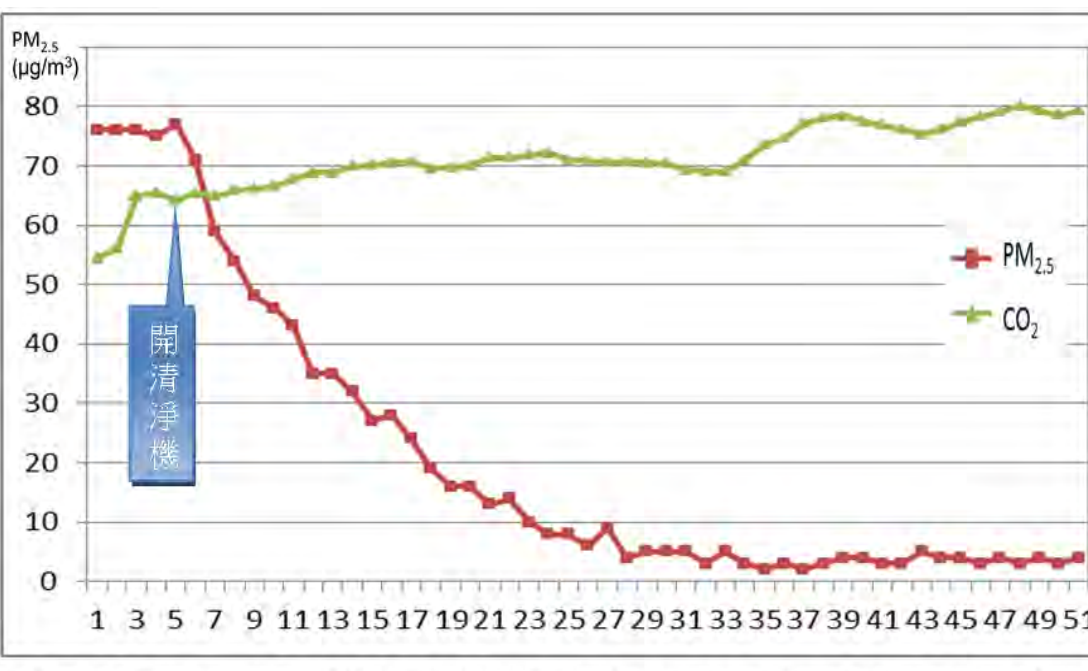
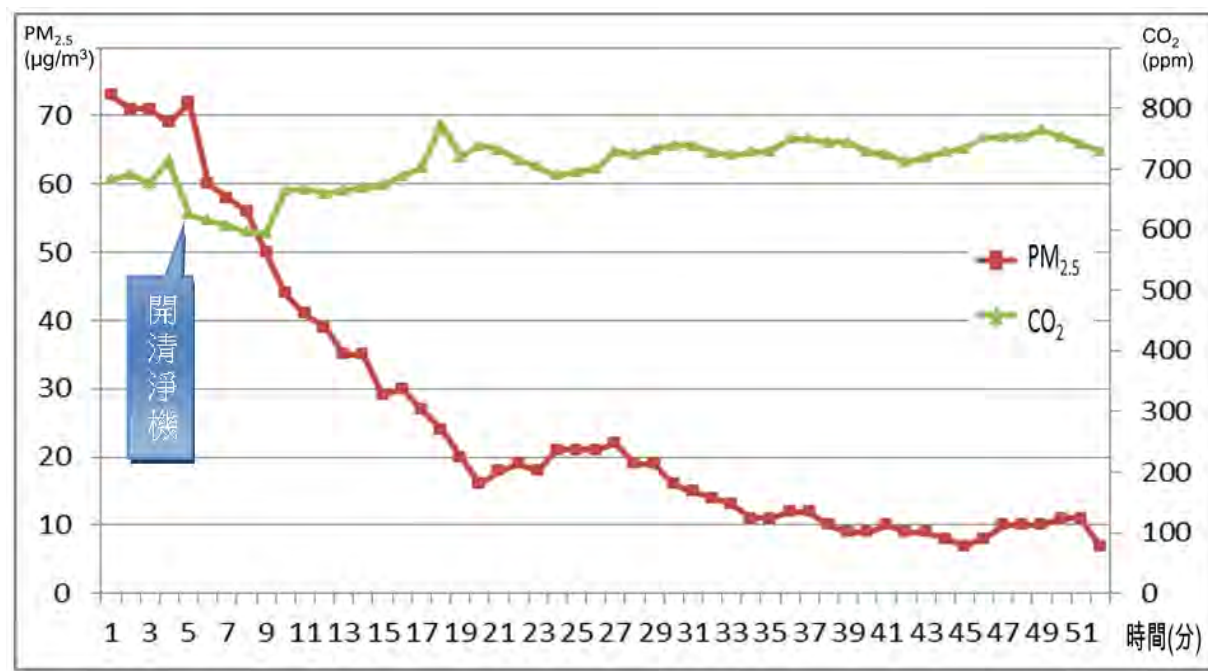


**結果與討論：**

- 1、根據實驗五結果，當教室開啟清淨機時，在不關門窗的狀態下，清淨效果出乎意料地差(圖9、10)，室內PM<sub>2.5</sub>幾乎沒有改善。應該是因為教室兩面皆為大片門窗(如上圖11)且四周無建築物阻擋，使得教室通風良好，氣體交換量大。因而使得室外的空氣不斷的和室內清淨後的空氣做氣體交換，導致空氣清淨機的效能相當不佳。
- 2、在實驗六，當我們緊閉門窗，避免室內空氣和外界空氣氣體交換時，清淨機效能明顯改善(圖9、10)，PM<sub>2.5</sub>濃度下降。但CO<sub>2</sub>濃度持續上升，甚至超過1000 ppm。
- 3、為了降低CO<sub>2</sub>濃度，打開門窗，CO<sub>2</sub>濃度迅速降到實驗一開始的數字，令人感到舒適；但在打開門窗後，室內外空氣交換的同時，PM<sub>2.5</sub>也迅速上升。
- 4、由實驗六的結果得知，在教室關閉門窗的狀態下使用清淨機雖可降低PM<sub>2.5</sub>濃度，卻產生CO<sub>2</sub>濃度持續上升的問題，在教室內的人會感覺不舒服、氣悶，影響學習成效。因此在教室關閉門窗使用清淨機顯然不可行。



## 《實驗七》：開啟置於窗台的清淨機(關門窗)，探討室內PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>之變化情形



▲圖12：實驗七—清淨機置於窗台並關閉門窗

▲圖13：實驗7-1—清淨機置於教室窗台並關閉門窗之PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>濃度變化折線圖(第1次實驗)

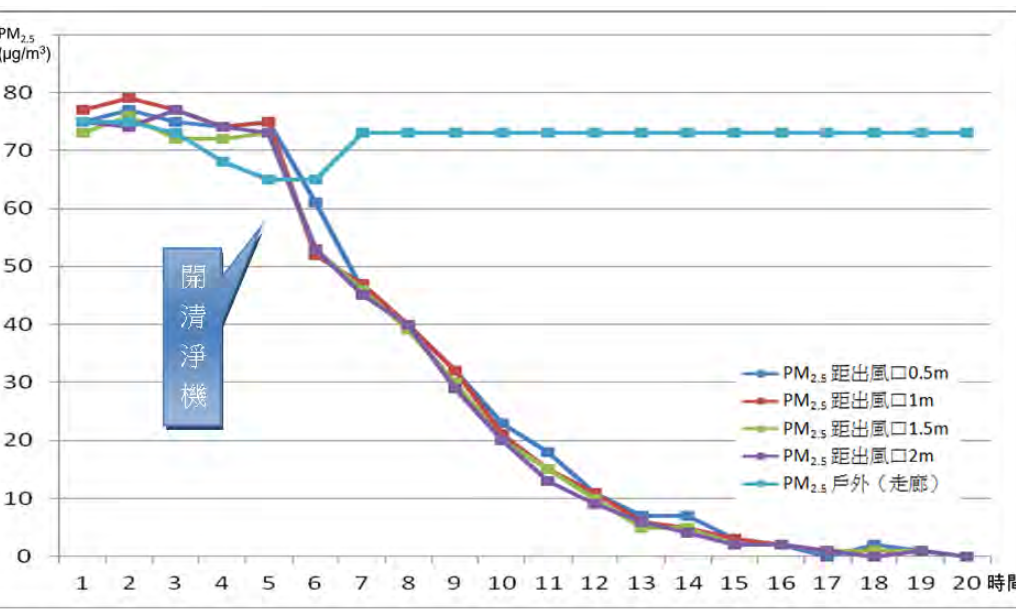
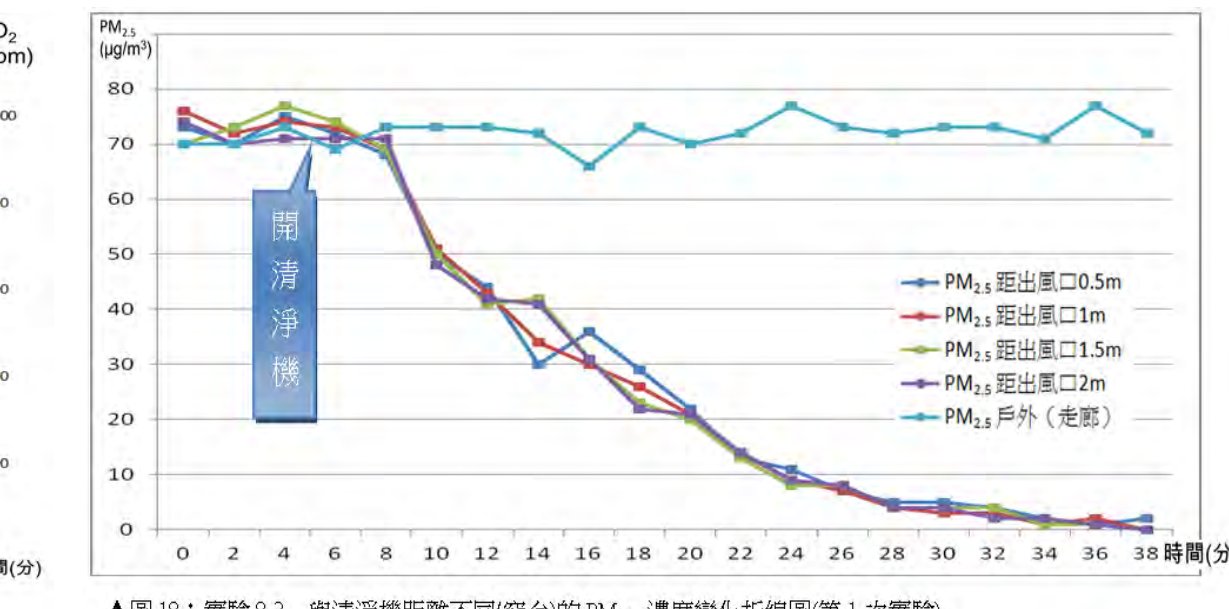
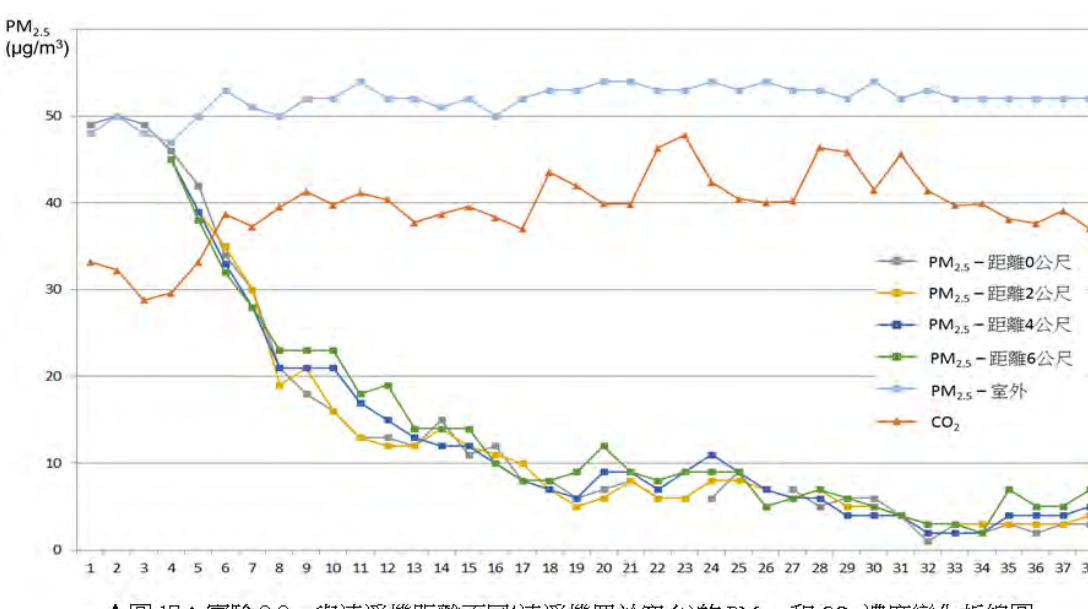
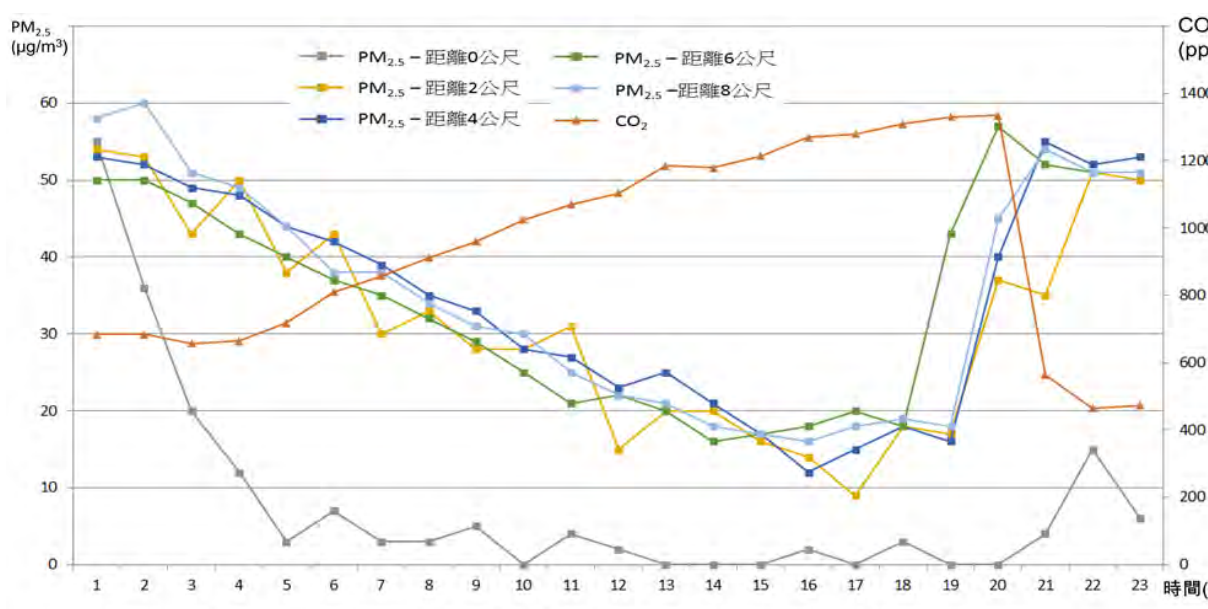
▲圖14：實驗7-2—清淨機置於教室窗台並關閉門窗之PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>濃度變化折線圖(第2次實驗)

▲圖15：實驗7-3—清淨機置於教室窗台並關閉門窗之PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>濃度變化折線圖(第3次實驗)

### 結果與討論：

- 1、根據實驗七結果發現，將清淨機裝置於窗台上並關閉門窗，此時清淨機從戶外抽取空氣，淨化後吹入室內，室內PM<sub>2.5</sub>迅速下降後並維持穩定，可以更有效的將PM<sub>2.5</sub>濃度降到個位數。(圖13、14、15)
- 2、實驗七的室內CO<sub>2</sub>濃度始終維持在舒適的穩定值，並未超過800ppm，實際感受覺得涼爽舒適。
- 3、但清淨機放在窗台上時，窗台突起的窗框，使得清淨機不易平衡，清淨機可能會摔落，有安全性的顧慮。我們也希望能改善清淨機運作時產生的噪音，因此我們進行了研究五的實驗。

## 《實驗八》：探討距離清淨機遠近與PM<sub>2.5</sub>濃度(清淨效果)之關聯性。



▲圖16：實驗8-1—門窗緊閉，清淨機放在教室後面)之PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>濃度變化折線圖

▲圖17：實驗8-2—清淨機裝置於窗台)之PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>濃度變化折線圖

▲圖18：實驗8-3—與清淨機距離不同窗台的PM<sub>2.5</sub>濃度變化折線圖(第1次實驗)

▲圖19：實驗8-3—與清淨機距離不同窗台的PM<sub>2.5</sub>濃度變化折線圖(第2次實驗)

### 結果與討論：

- 1、由實驗8-1(門窗緊閉，清淨機放在教室後面)、實驗8-2(清淨機裝置於窗台)結果發現，無論距離清淨機遠近，PM<sub>2.5</sub>的濃度都很接近。實際測得清淨機出風口的最大風速為5m/s，應是出風口風速加速室內空氣流動，使得室內空氣品質達到一致，所以清淨機放置的位置不用特別選定。
- 2、在實驗8-1門窗緊閉時，出風口仍有低的PM<sub>2.5</sub>，讓我們想探究若是將機器擺在身旁，是否可以呼吸到較乾淨的空氣，於是我們進行8-3的實驗，將機器擺在身邊(50公分)並逐漸遠離測試，結果如上圖18、圖19。
- 3、在實驗8-3，分別測量距離清淨機0.5m, 1m, 1.5m, 2m之PM<sub>2.5</sub>濃度，發現即使坐在機器旁(0.5m)，和較遠處(2m)之PM<sub>2.5</sub>濃度沒有明顯差別。由此結果，我們認為在寬闊空間中使用個人空氣清淨機應該無法達到良好效果。

### 研究五、改良空氣清淨機的裝置並實測。

## 《實驗九》：改良空氣清淨機的裝置

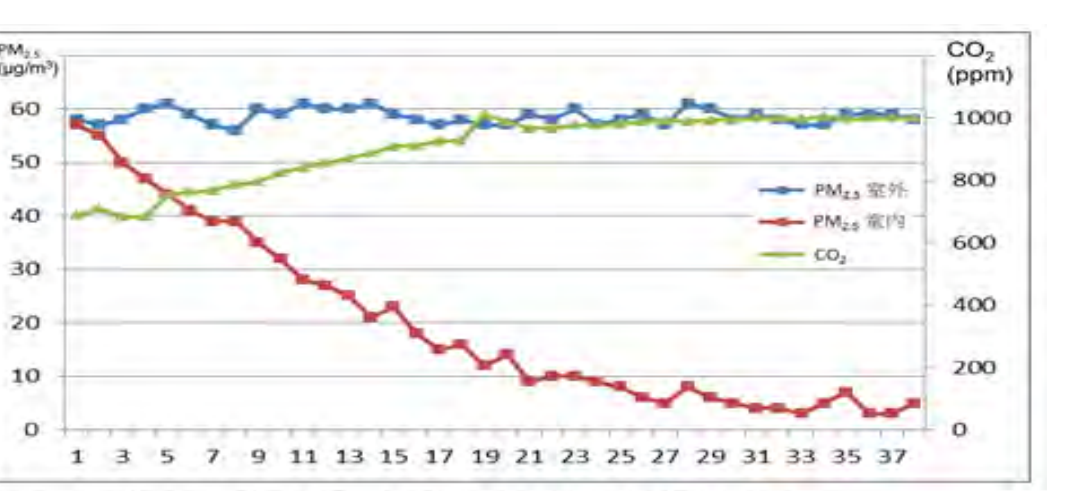
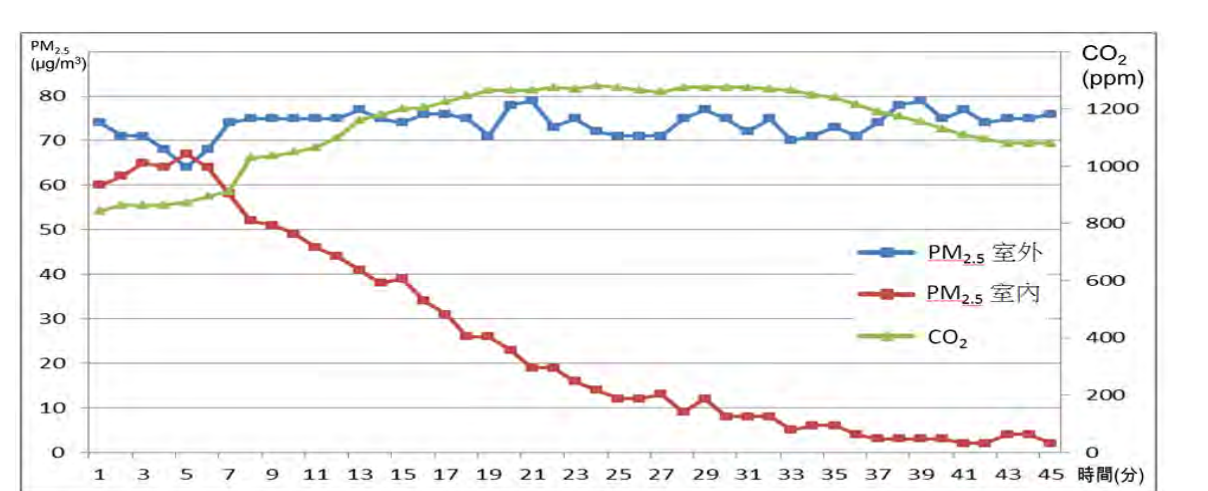
### 結果與討論：

- 1、在實驗九，以改良的空氣清淨機裝置(我們將它命名為象鼻裝置)進行實測，可讓PM<sub>2.5</sub>下降到個位數(右圖23)，幾乎與裝置於窗台上的清淨機效果相同。
- 2、象鼻裝置同時解決了清淨機在窗台上不易固定可能摔落的風險，及運作時產生噪音的問題。

## 《實驗十》：紫爆時不上戶外課，室內室外之PM<sub>2.5</sub>濃度是否不同？

- 1、從研究四的結果可知教室內外的PM<sub>2.5</sub>濃度相當接近。換言之，當室外紫爆，室內也是紫爆。
- 2、在實驗十結果發現(如圖24)，若僅使用空調換氣，而將清淨機置於室內以一般方式使用時，雖然降低PM<sub>2.5</sub>的效果很好，但完全無法抑制CO<sub>2</sub>的上升，以至於CO<sub>2</sub>上升到無法忍受的1815ppm。
- 3、在激烈活動下的地板教室，關閉門窗並開啟空調及清淨機(放置在教室後面)，雖然可以讓室內PM<sub>2.5</sub>降到個位數，但室內CO<sub>2</sub>濃度不斷上升，因此在地板教室將清淨機放置在教室後面，關閉門窗使用顯然不可行。

## 《實驗十一》：在室內運動空間，實測象鼻裝置的效能。



▲將象鼻裝置裝在地板教室前門

- 1、實驗11-1的結果(如圖27)，室內PM<sub>2.5</sub>很快就降到個位數，且CO<sub>2</sub>維持在穩定數字，體控班學生進行比實驗十更激烈活動的情形下，CO<sub>2</sub>最多不超過1250 ppm。
- 2、由實驗11-1可知：透過象鼻裝置，形成正壓環境，使PM<sub>2.5</sub>降到個位數，CO<sub>2</sub>也維持在穩定數字。
- 3、實驗11-2，教室內進行一般班級的體育課，從熱身到不斷的激烈運動，在不休息的情況下，室內空氣淨化情形良好，PM<sub>2.5</sub>降到個位數，與同步監測室外走廊的PM<sub>2.5</sub>濃度有明顯差異(如圖28)。
- 4、實驗11-1、實驗11-2結果發現，配合空調及象鼻裝置的清淨機，雖因激烈運動仍會造成CO<sub>2</sub>上升，但象鼻裝置營造的室內正壓環境，可強制換氣，能有效抑制因為激烈運動帶來的CO<sub>2</sub>上升。

### 陸、結論(因版面有限，詳見作品說明書)

### 柒、參考資料(因版面有限，詳見作品說明書)



▲圖20：確認出風口的PM<sub>2.5</sub>



▲圖21：象鼻風管設計圖完成圖



▲圖22：象鼻風管裝置於窗台



▲圖23：實驗9—使用象鼻裝置實測的PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>濃度變化折線圖



▲圖24：實驗10—清淨機放置教室後面PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>濃度變化折線圖



▲清淨機(放置在地板教室後面)