

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)科

佳作

052314

PM2.5 智慧整合照護窗

學校名稱：新北市立鶯歌高級工商職業學校

作者： 職二 陳宥潤 職二 易聖博 職二 陳 慶	指導老師： 曾盛如 褚崇勝
---	-----------------------------

關鍵詞：舒適度、環境、自動化

摘要

窗戶是室內與室外的主要空氣流通管道，妥善調節窗戶可以替人們空氣污染防護做把關。污染物中 PM2.5 對人體的危害最大，WHO 已正式將 PM2.5 歸為 2 級致癌物質，最新的健康醫療報導更指出 PM2.5 會造成腦損及中風。所以建築物的通風調節，窗戶至為重要，因此如果能自動偵測污染濃度逕行調節窗戶，並啟動除污裝置，可避免人們暴露在 PM2.5 等污染物的危害之下。

本次研究使用檢知元件來偵測 PM2.5、照度、溫濕度、風速、空氣品質等，取得環境變因，再配合微控電路有效運用控制技術，賦予窗戶智慧，從 PM2.5 危害隔離、空氣品質、舒適度及適當照度等觀點來進行實驗研究，以全面性的整合達到無微不至的 PM2.5 智慧照護窗。

壹、研究動機

粒徑小於 2.5 微米的細懸浮微粒穿透性強，已證實對呼吸系統及腦、心血管健康影響甚大，甚至導致癌症；居家保持空氣流通，可使室內清新，也是健康生活的要件。上述二者應如何取得平衡點才能兼顧通風與安全，是我們想要探討的主要項目。

人們在早上的第一件事是拉開窗簾、開窗，在夜幕低垂時要關閉，如此日復一日重覆而不經濟。另外在學校裡在安全考量下較高之窗戶無法開啟，而減低了窗戶的效益，加上窗戶的調節對於大部份的人，是大多在感覺不適的情形下才去動手，及即性差而且很不方便。在窗戶較多的場所，例如：活動中心、教室等，窗戶調節要耗費大量的人力及時間所以調節次數減少，而且無法做到精細的差異控制，本次研究主題的動機是為了改善上述的問題。

貳、研究目的

本研究要隔離空氣中的危險因子 PM2.5，並由環境中的各項變因來改變窗與窗簾的運作，有效的協助與照護室內的人們，以達成下面目的：

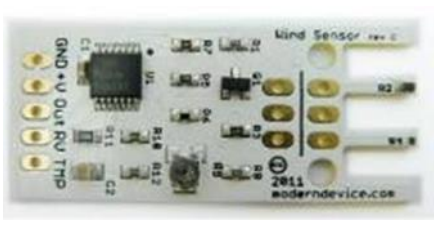


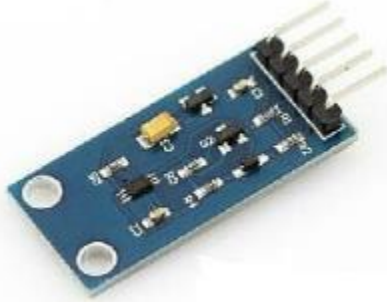





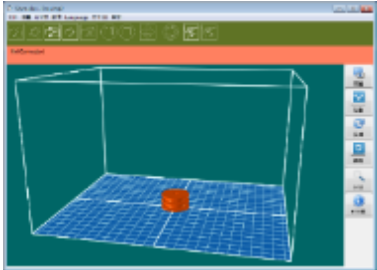

- 一、有效隔離 PM2.5 及空氣品質污染危害。
- 二、實現全自動調整窗，依照人們的習慣需求。
- 三、協助行動不便人士居家照護，免手動調節。
- 四、提升窗與窗簾的調節時效，可在感覺不適前即調節完畢。
- 五、節省主控電路上的成本，所有窗戶集中控制。

參、研究設備及器材

一、硬體設備與材料

主要是以感測模組檢測出環境變因，傳送至伺服器平台進行分析，再使用微控電路精密控制電動窗戶，所需的主要設備與材料如下表 1：

表 1 使用設備器材一覽表

		
風速感測器 Modern Device	SHT10 溫濕度感測模組	MQ-4 煙霧感測器模組
		
BH1750FV 照度感測模組	Arduino MEGA2560 微控板	MQ-135 空氣品質感測
		
雨水及葉面感測模組	直流減速馬達	太陽能電池板
		
LinkitOne 微控板	3D 印表機 SKYMAKER	PSM3003 粉塵濃度測器

		
SHARP DN7C3CA006 PM25	Arduino L298P 馬達驅動板	Arduino MOSFET 模組
		
太陽能控制器 XDC1210	馬達控制驅動板 DRV8837	雷射切割壓克力捲線器
		
3D 列印捲線器	邏輯分析儀	資料分析伺服器

二、 相關軟體

網路伺服器分析平台可快速即時分析成果，取得有效資訊；韌體程式是採用 Arduino 微控電路開發環境，所需的相關軟體如下表 2：

表 2 相關軟體表

相關軟體表		
項次	軟體名稱	規格用途
1	PHP+MySQL 分析平台	數據分析、圖表繪製
2	Arduino IDE	Aduino 韌體開發、燒錄
3	Fritzing	Aduino 電路繪製、規劃配置
4	Cadence OrCAD	電路設計、模擬
5	eTeks Sweet Home 3D	3D 示意圖繪製
6	Adobe Dreamweaver	PHP 分析及繪圖程式編寫

肆、研究過程或方法

本次研究首先資料蒐集 PM2.5 等空氣品質影響危害、照度控制及溫濕度舒適度指數等，接著製作開關窗電動機構，並且設計控制與室內外環境感測電路，再實驗個別變因及交互影響分析，最後試圖找出適當的調節方式。所規劃研究程序如下圖 1 及圖 2，並加以說明：

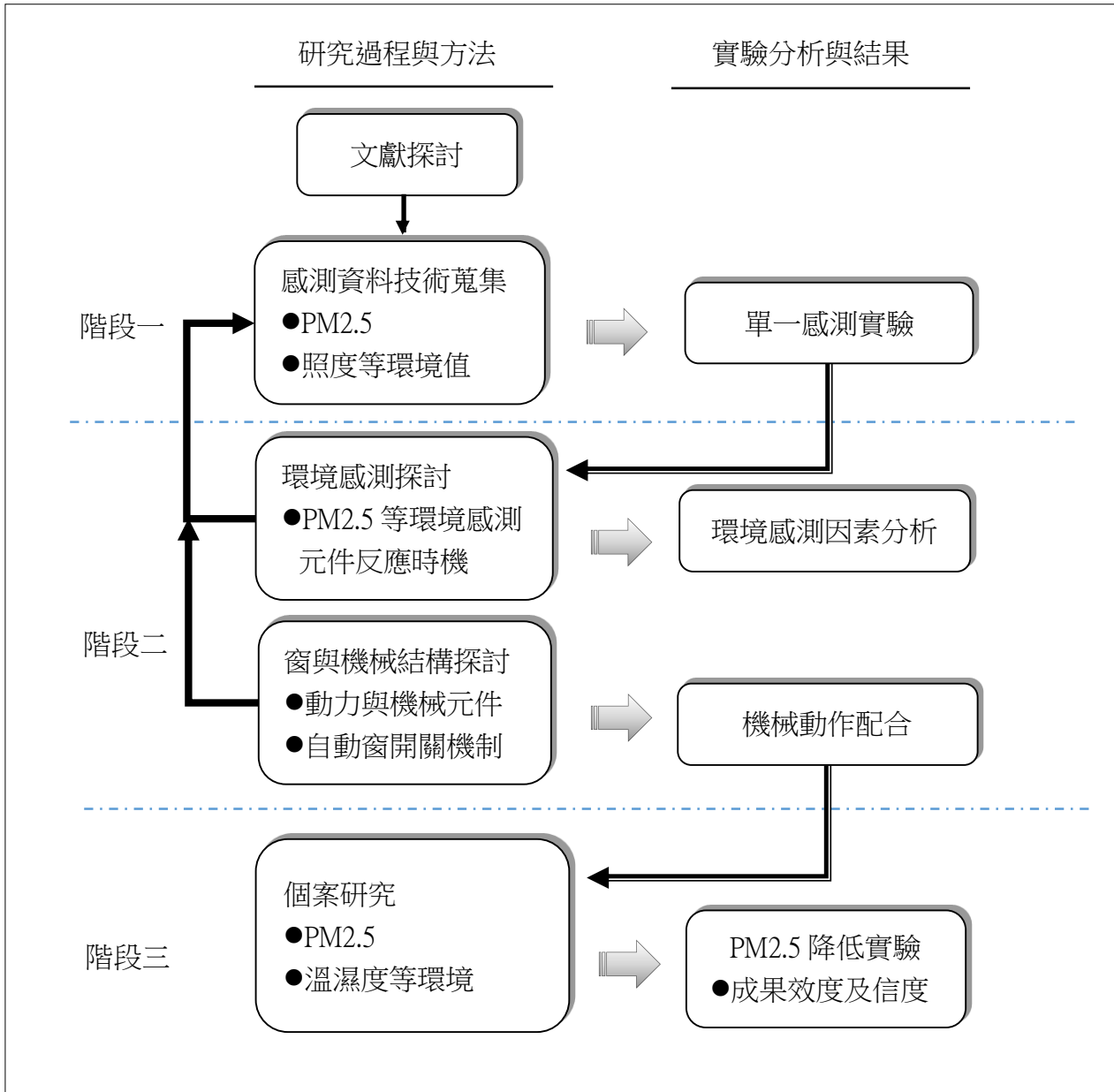


圖 1 PM2.5 智慧照護窗研究流程

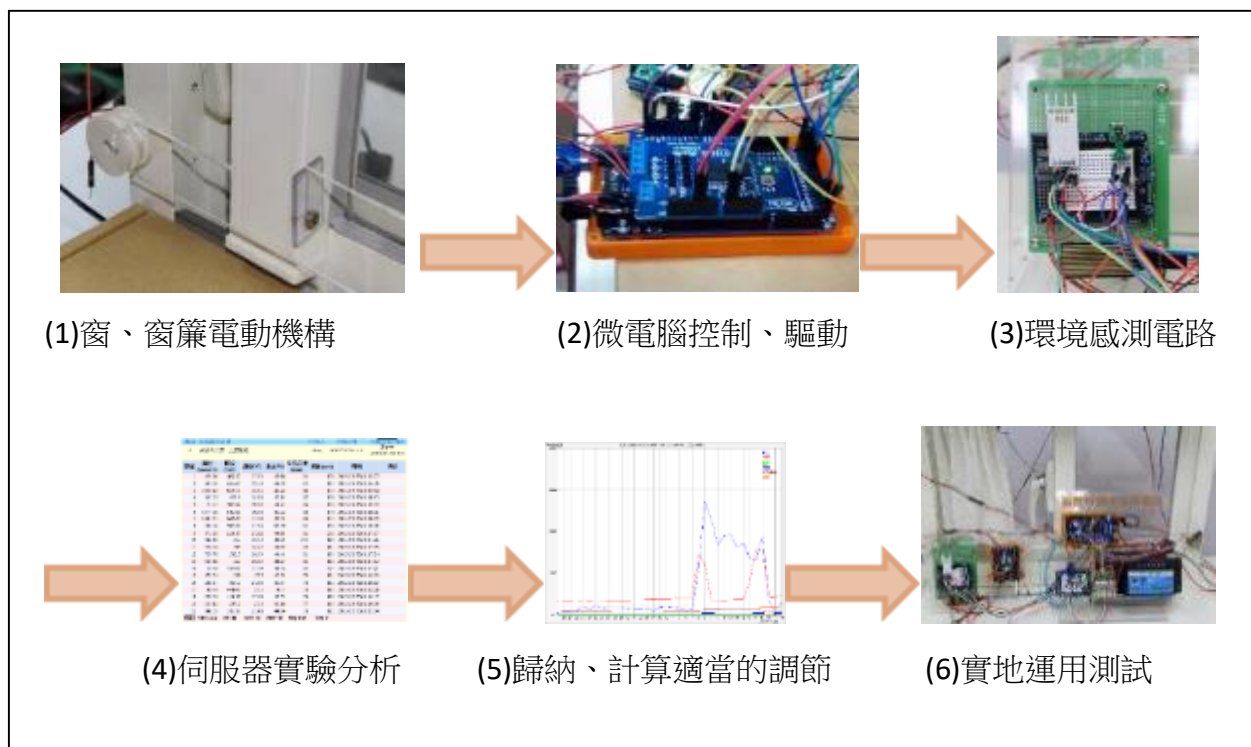


圖 2 PM2.5 智慧照護窗實驗模型製作程序

一、窗與環境因素關係探討：

對於可能影響智慧窗的動作環境參考值，有下面四項：

- (一) PM2.5 等粉塵及空氣品質危害：取第 3 級低危為動作基準。(參考資料：附表 1 附表 2)
- (二) 理想照度與規範：取極精細作業 750Lux 為動作基準。(參考資料：附表 3)
- (三) 溫濕度舒適度指數：取中間矩形範為動作基準(參考資料：附圖 1)
- (四) 蒲福風級：取強風 6 級強風 10.8m/ses 為動作基準(參考資料：附表 4)

由上面 4 個項目，預定規畫室內外偵測項目及推動設備如表 3

表 3 室內外偵測項目及推動設備表

環境偵測項目及推動設備表			
項次	室外感測項目	室內感測項目	推動設備
1	PM2.5 及粉塵感測	溫濕度感測	PM2.5 空氣清淨機
2	溫濕度感測	照度感測模組	抽排風機、水霧加濕器
3	照度感測模組	空氣品質感測	室內照明
4	空氣品質感測		空氣清淨機
5	風速計		冷暖氣、除濕空調
6	雨水感測		除濕機

二、窗、窗簾電動機構設計製作：

以目前最普遍之氣密窗做為設計藍本，用較易取得的拉繩來製作，左方以馬達帶動捲線器可以收放拉繩，右方使用定滑輪輔助拉繩動作，構想設計如圖 3 及圖 4。



圖 3 電動拉繩機構設計圖

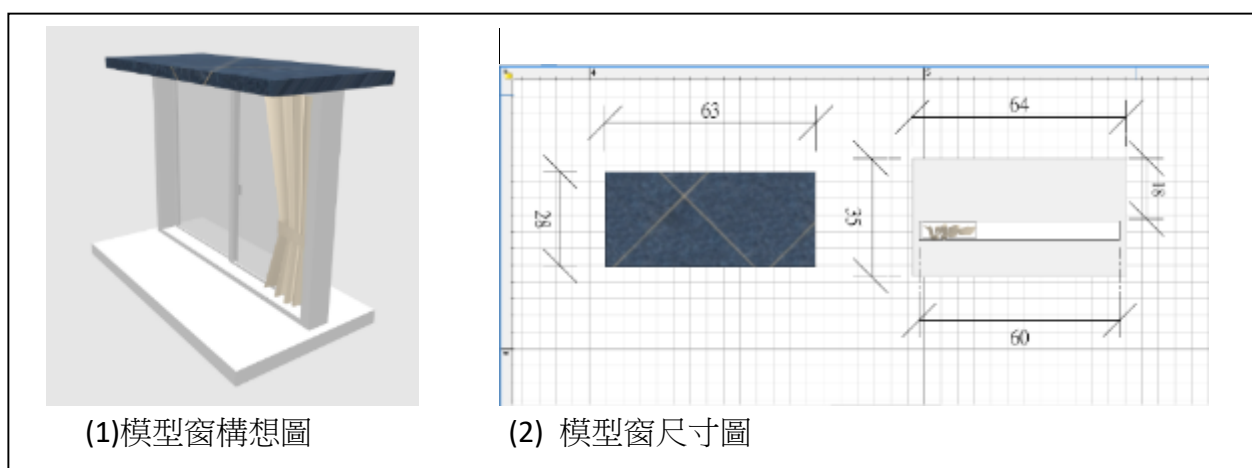


圖 4 模型窗的設計

(一) 捲線器的設計製作

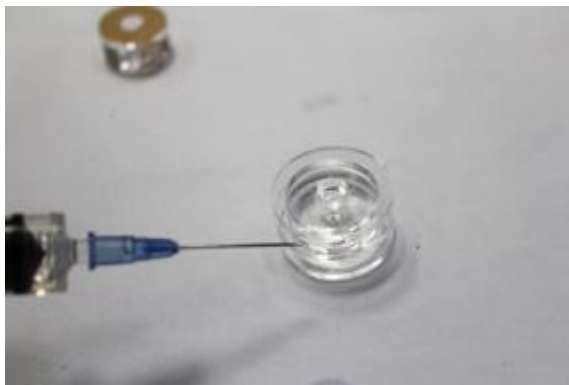
如果以機械加工的方式製作金屬捲線器較為昂貴且複雜，在有限資源下可以採用雷射切割壓克力的方式，再逐層黏合形成自製捲線器，捲線器製作過程如下圖 5：



(1) 設計原始圖案



(2) 不同尺寸及厚度的切割壓克力片



(3) 逐層黏合壓克力片



(4) 鑽孔並攻牙加入固定螺絲



(5) 安裝於減速馬達

圖 5 雷射切割壓克力捲線器製作過程圖

在等候雷射切割壓克力的同時有了另一個構想，若是採用 3D 印表機也許有更好的效果，因此把構想的手繪圖交付機械製圖，再以 3D 印表機輸出，如下圖 6：

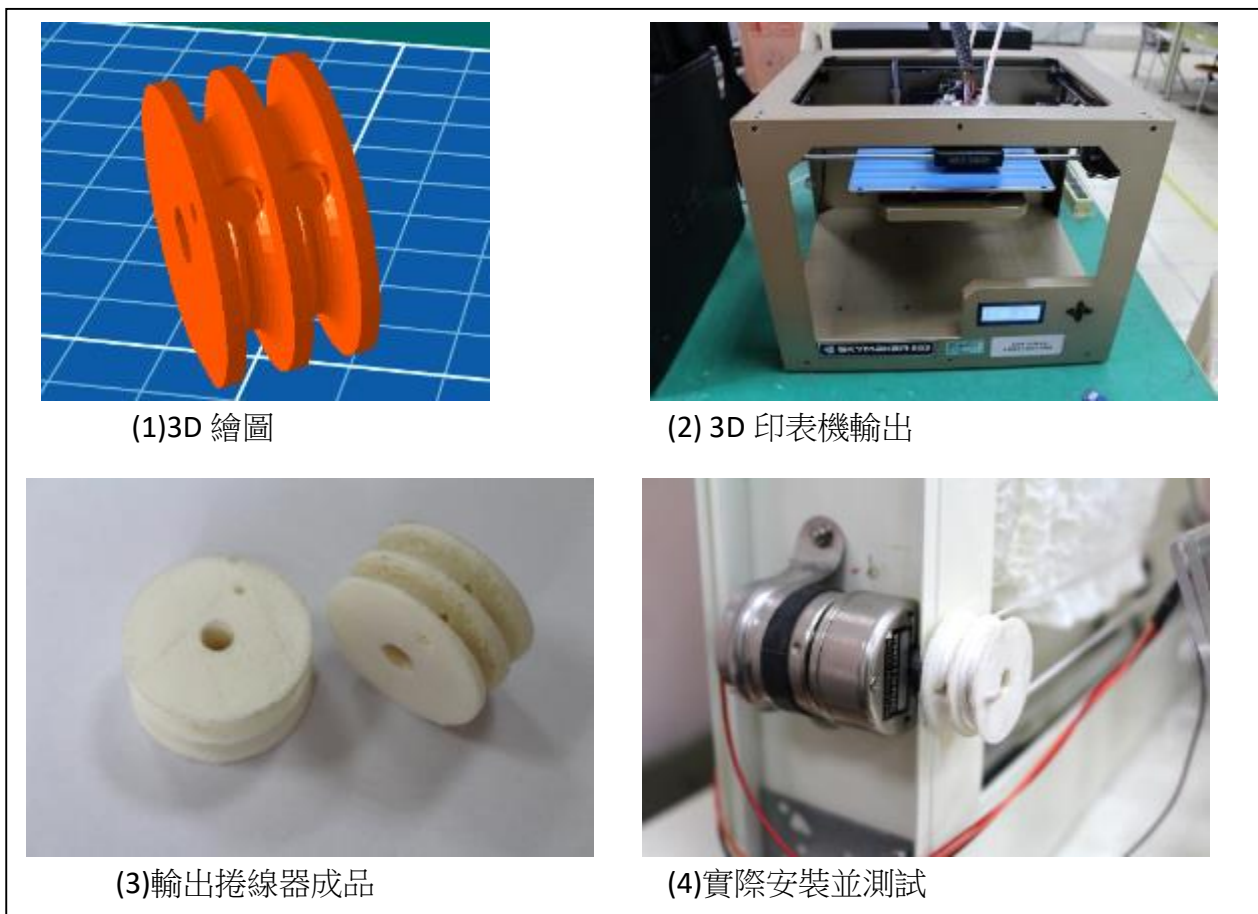


圖 6 3D 印表 ABS 捲線器製作過程圖

(二) 拉窗、窗簾機構製作

以定滑輪配合拉繩的機構，左方以直流減速馬達轉動帶動捲線器，在正轉時開窗；在逆轉時關窗，捲線器的兩個線槽在運作時，一線槽為收線時則另一線槽為放線，來完成開窗或關窗的控制，如圖 7 及圖 8。



(1)拉繩結構及防斷彈片



(2)單邊定滑輪導引拉繩



(3)拉窗機構完成圖

圖 7 窗戶拉繩機構製作



(1)馬達及捲線軸



(2)右側定滑輪及固定中線

圖 8 窗簾拉繩機構製作過程圖

三、控制電路的構想設計：

電路構想上區分為微電腦主控電路及馬達驅動、室內感測電路、室外感測電路，如下圖 9：

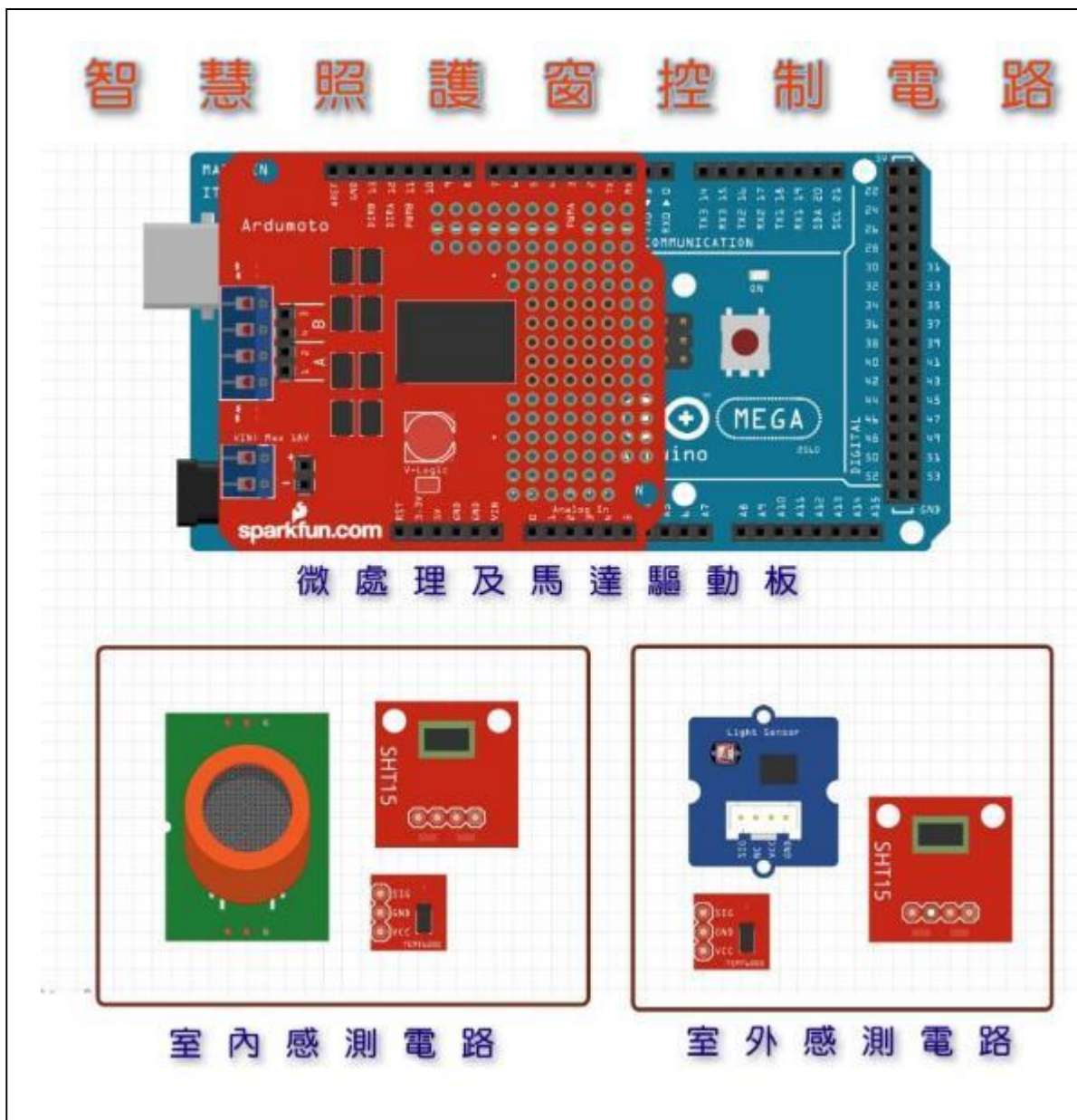


圖 9 控制電路構想配置圖

為有效測試動作的正常與否，另外規畫製作陽光與照度模擬電路以快速實驗與測試。

四、室內外環境關係探討

(一) 溫度與濕度

為調節最佳舒適度在室內外均安裝溫濕度感測器，以窗、簾及抽風設備，調節至舒適範圍，仍有不足再以冷暖氣、除濕空調設備輔助，如下圖 10 所示。

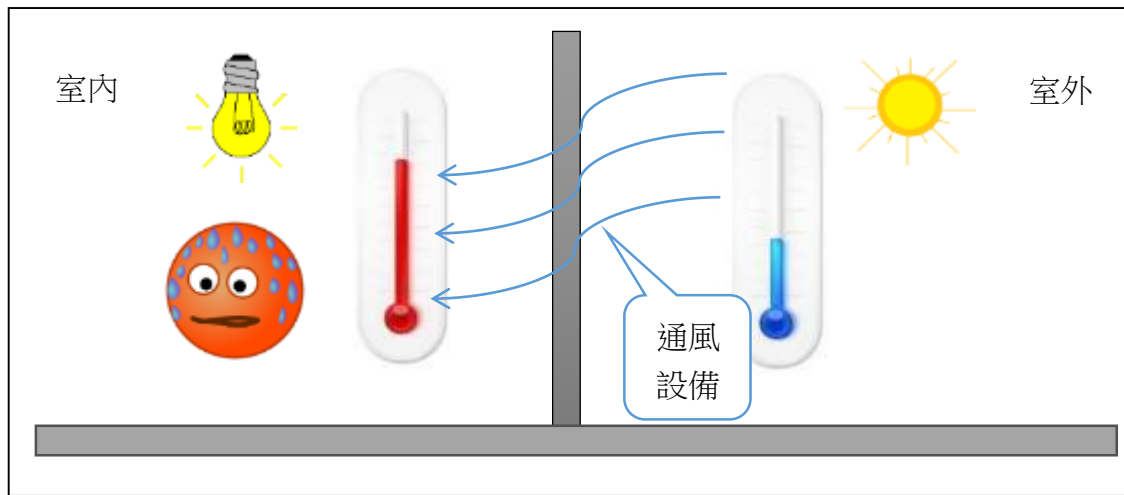


圖 10 室內舒適度低於室外，開窗戶調節至舒適範圍

(二) 光線與照度

為調節最佳光線，安裝室內外照度感測器，以窗簾及室內照明，調節最佳照度，如下圖 11 所示。

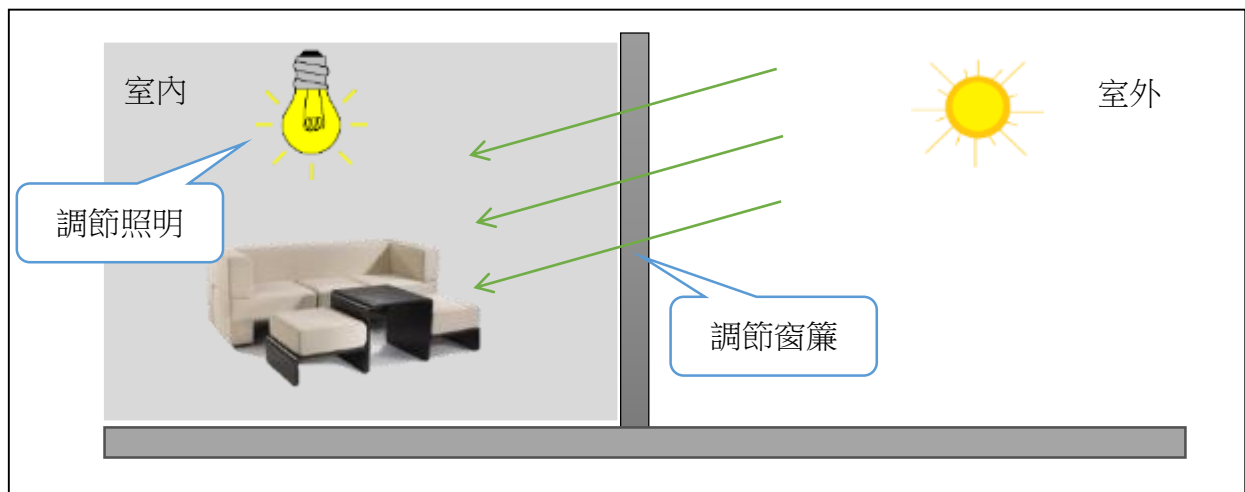


圖 11 室內光線不足且低於室外，拉動窗簾以調節至標準照度

(三) 強風與大雨：關閉窗戶。

(四) 夜間：可自動調節窗戶，並拉上窗簾保護隱私。

(五) 粉塵與空氣污染：室外空氣污染可關閉窗戶；室內空氣污染打開窗戶減低污染，啟動通風設備或空氣清淨機。

五、PM2.5 細懸浮微粒偵測實驗(一般環境下)

(一)實驗環境：學校電學實驗室。

(二)使用器材：PMS3003 懸浮微粒偵測器、LinkitOne、紀錄伺服器。

(三)實驗目的：一般環境下的 PM2.5 影響因數探討。

(四)實驗方式：每 10 秒紀錄一次，在 3 小時內的變化。

```

void loop() {
  Sum = 0;
  if(Serial1.available()>0) {
    //Serial.println("Serial ok!");
    for (i=0; i<leng; i++) {
      buf[i]= Serial1.read();
      //Serial.print(buf[i]);
      //Serial.print(",");
      if(i <leng-2) Sum += buf[i];
    }
    cSum=buf[22]*256+buf[23];
    if(Sum == cSum ){      //判斷查驗和，資料檢核
      outStr=String(buf[4]*256+buf[5])+","+String(buf[6]*256+buf[7])+","+String
(buf[8]*256+buf[9])+","
+String(buf[10]*256+buf[11])+","+String(buf[12]*256+buf[13])+","+String

```

COM6 (LinkIt ONE)

```

CF=1, PM1.0=2 ug/m3
CF=1, PM2.5=3 ug/m3
CF=1, PM10=6 ug/m3
atmosphere, PM1.0=2 ug/m3
atmosphere, PM2.5=3 ug/m3
atmosphere, PM10=6 ug/m3
complete
CF=1, PM1.0=2 ug/m3
CF=1, PM2.5=4 ug/m3
CF=1, PM10=6 ug/m3
atmosphere, PM1.0=2 ug/m3
atmosphere, PM2.5=4 ug/m3
atmosphere, PM10=6 ug/m3
complete
 Autoscroll

```

PM2.5 偵測濃度

PM2.5 偵測濃度值
每 10 秒紀錄一次

圖 12 Arduino 與 PMS3003 序列傳輸程式

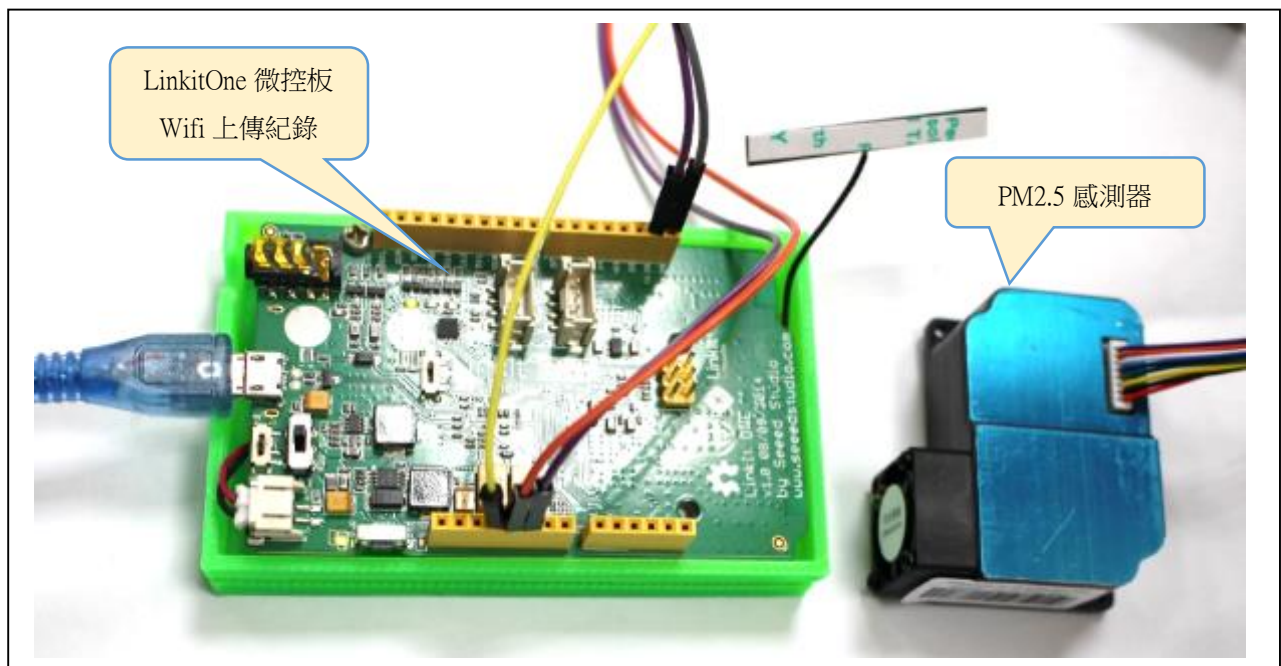


圖 13 PM2.5 偵測電路接線(一般環境)

六、照度、風速、空氣品質等環境偵測實驗

(一)實驗環境：一般環境(學校專題實驗室)

(二)使用器材：風速感測器、照度感測器、溫濕度感測器、空氣品質感測器、煙霧感測器、Arduino Yun 微控板、紀錄伺服器。

(三)實驗目的：一般環境下開關窗及開關窗簾影響因數探討。

(四)實驗方式：每 10 秒紀錄一次，在 3 小時內的變化。

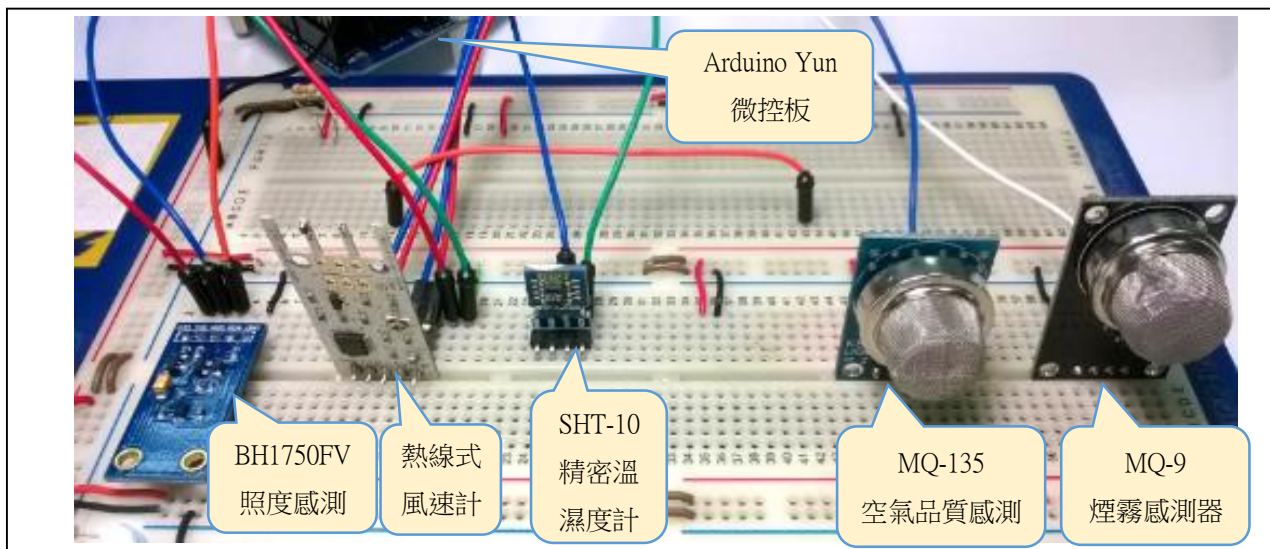


圖 14 照度、風速、空氣品質偵測實驗

七、有害氣體、人體偵測等環境偵測實驗

(一)實驗環境：一般環境(學校專題實驗室)。

(二)使用器材：風速感測器、照度感測器、溫濕度感測器、空氣品質感測器、煙霧感測器、Arduino Yun 微控板、紀錄伺服器。

(三)實驗目的：一般環境下開關窗及開關窗簾及交互影響探討。

(四)實驗方式：每 6 分鐘紀錄一次，在 1 天內的變化。

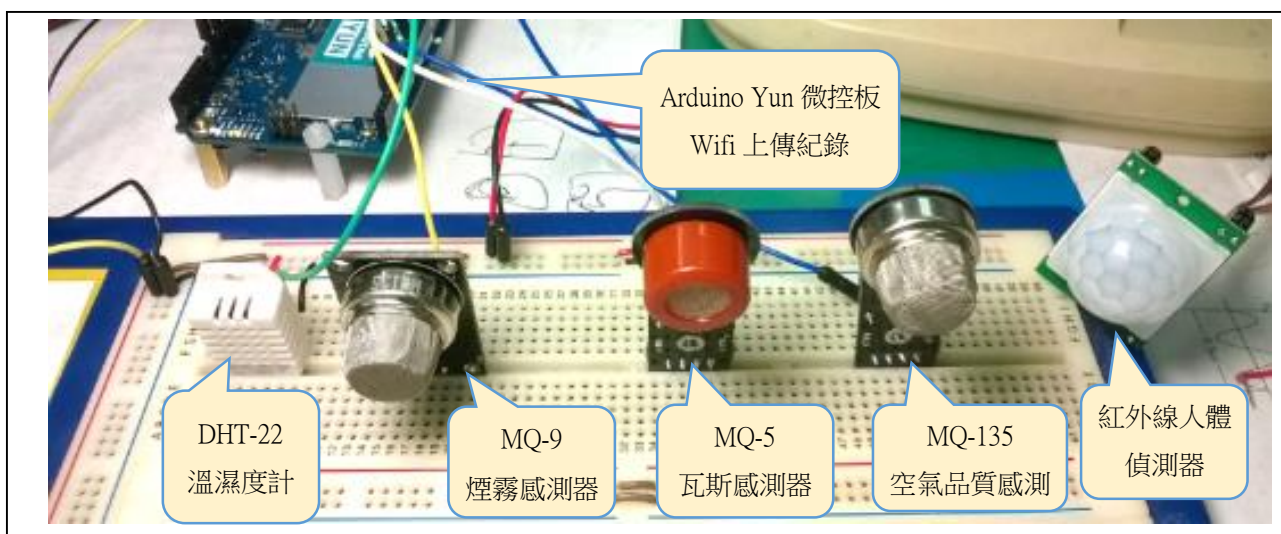


圖 15 溫濕度、有害氣體、人體偵測實驗

八、環境模擬實驗

(一)實驗環境：一般環境(學校專題實驗室)

(二)使用器材：馬達驅動板、LED 燈泡、MOSFET 大電流驅動板、Arduino UNO 微控板。

(三)實驗目的：調節 LED 燈泡光線及風扇強度，以模擬日照與風速，加速實驗進行。

(四)實驗方式：每 5~10 秒調節光線及風扇強度，用以自動實驗開關窗簾動作。

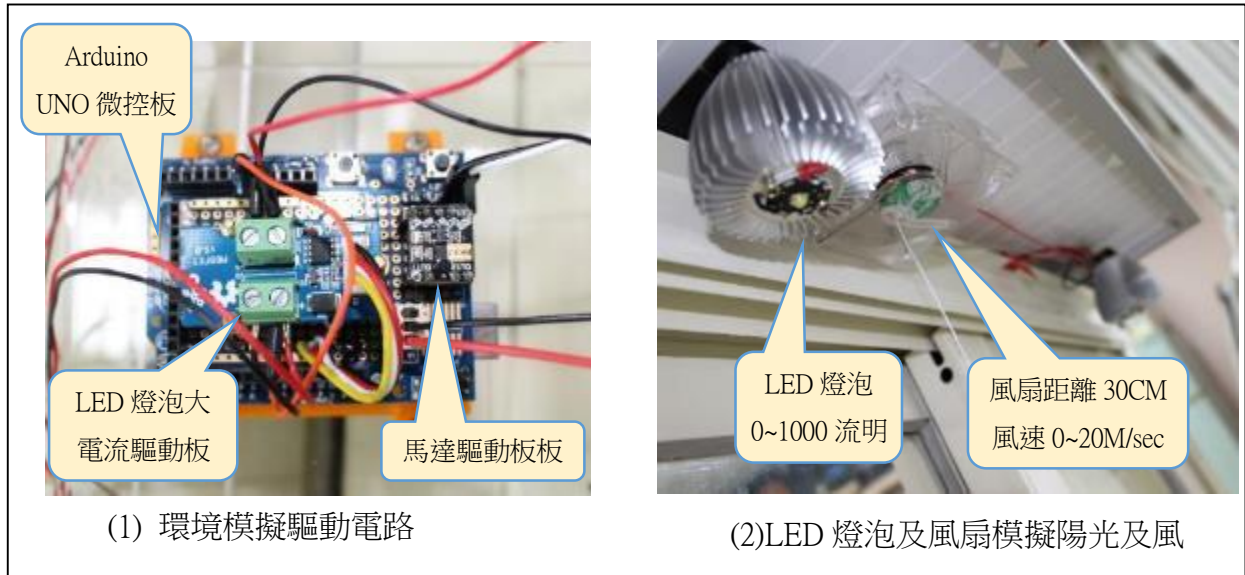


圖 16 日照與風速環境模擬

九、環境感測之響應時機實驗

(一)實驗環境：一般環境(學校專題實驗室)。

(二)使用器材：室外環境偵測組合電路、室內環境偵測組合電路。

(三)實驗目的：各環境感測之響應時機數值確認實驗。

(四)實驗方式：每 5~10 秒調節光線及風扇強度，用以自動實驗開關窗簾動作。

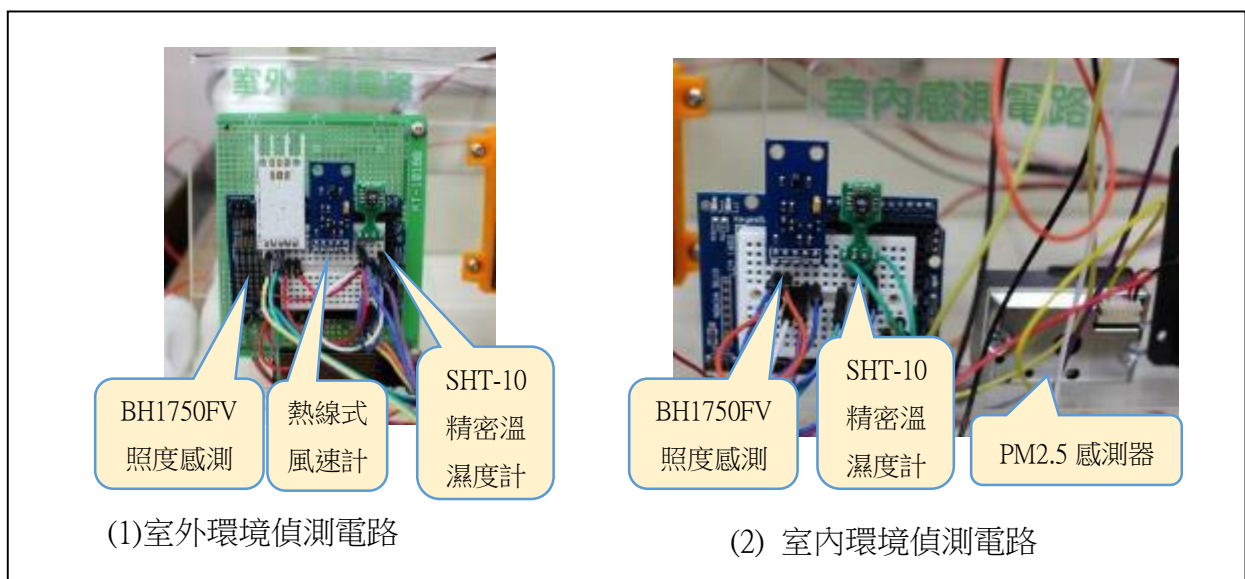


圖 17 室/內外偵測電路

十、PM2.5 增加濃度與過濾實驗

(一) 實驗環境：一般環境(學校專題實驗室)、密閉壓克力空間。

(二) 使用器材：PM2.5 感測器、線香、香煙、14cm 風扇、N98 過濾材料、熱線風速計。

(三) 實驗目的：實驗 PM2.5 可能來源及濃度，如何過濾 PM2.5 及過濾效率。

(四) 實驗方式：燃燒線香、香煙及粉筆灰揚塵增加 PM2.5 濃度變化及探討過濾情形。

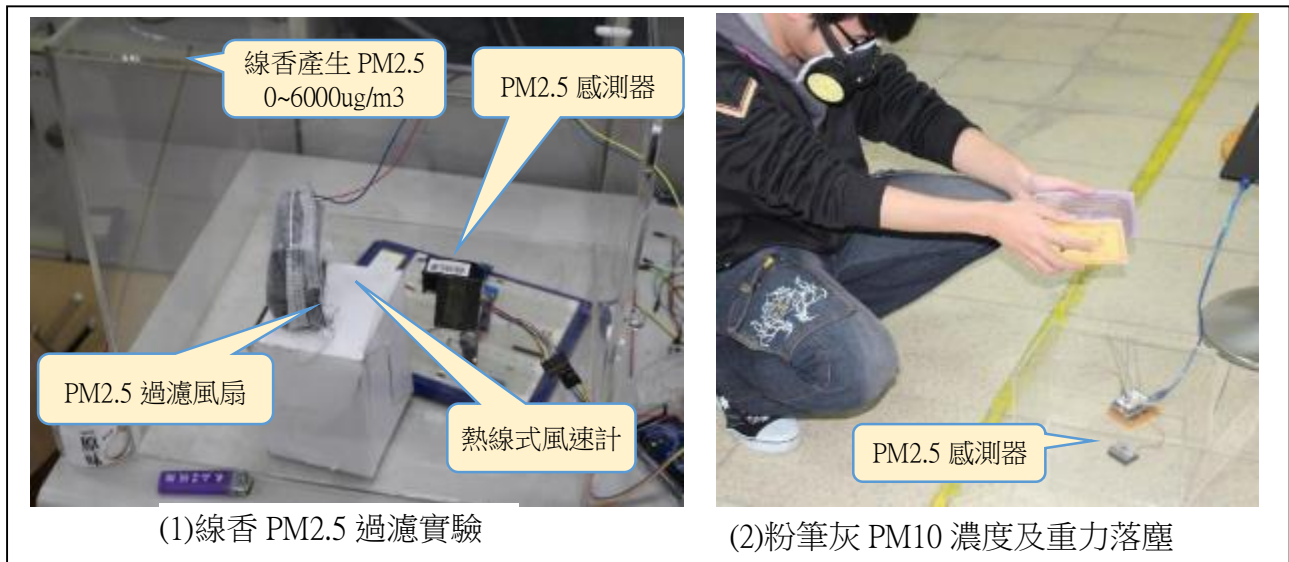


圖 18 PM2.5 增加濃度與過濾實驗

十一、太陽能與控制

窗戶接近陽光容易使用太陽能，在使用太陽能電池板同時可兼具雨遮功能。為達有效能源使用，加入太陽能控制器，可協助電源的分配，並有效管理蓄電池充電放電。

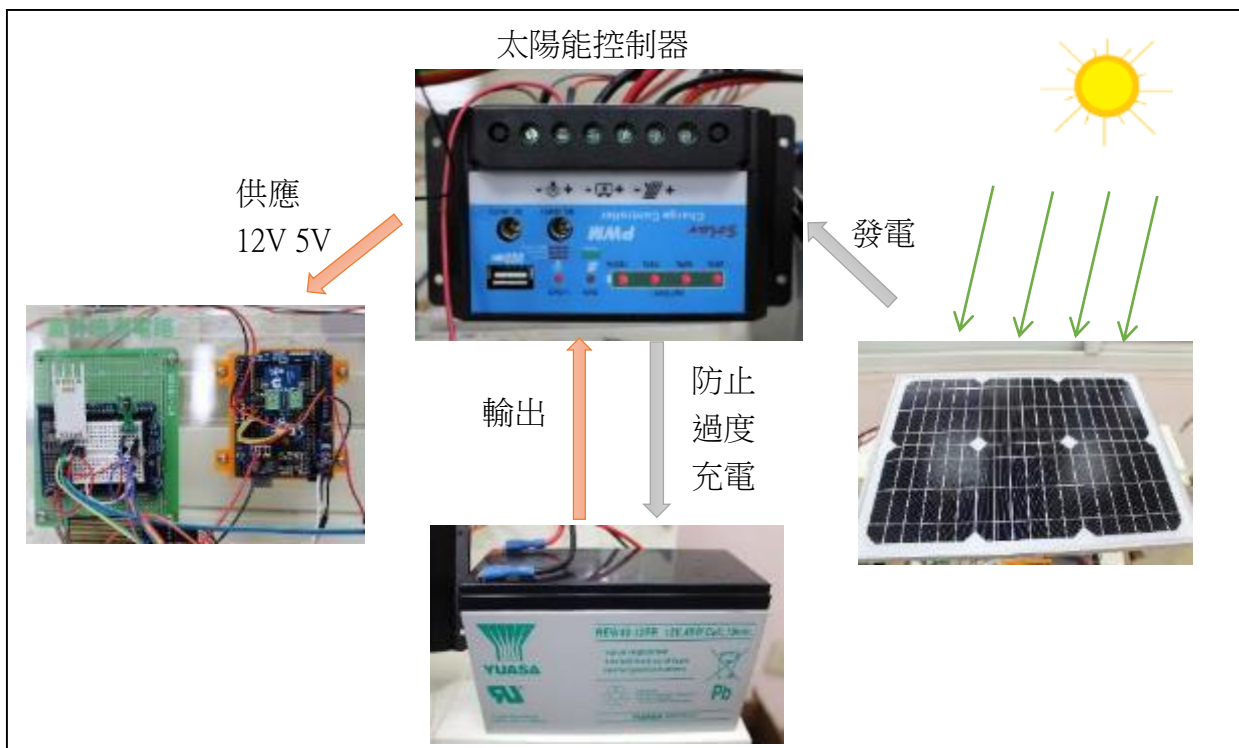


圖 19 太陽能控制關係圖

伍、研究結果

一、PM2.5 細懸浮微粒偵測實驗(一般環境下)

序號	PM1.0 (ug/m3)	PM2.5 (ug/m3)	PM10 (ug/m3)	PM1.0ATM (ug/m3)	PM2.5ATM (ug/m3)	PM10ATM (ug/m3)	時間
382	30	41	48	26	38	48	2016/3/14 AM 9:38:29
381	30	45	53	26	40	51	2016/3/14 AM 9:38:23
380	31	45	53	27	40	51	2016/3/14 AM 9:38:16
379	32	42	50	27	39	50	2016/3/14 AM 9:38:10
378	31	42	50	27	39	50	2016/3/14 AM 9:38:04
377	31	41	55	27	38	54	2016/3/14 AM 9:37:58
376	31	41	55	27	38	54	2016/3/14 AM 9:37:52
375	31	40	54	27	38	52	2016/3/14 AM 9:37:46
374	30	39	55	26	36	54	2016/3/14 AM 9:37:40
373	30	39	55	26	36	54	2016/3/14 AM 9:37:34
372	30	38	57	26	36	55	2016/3/14 AM 9:37:28
371	28	38	56	26	36	54	2016/3/14 AM 9:37:22
370	28	38	56	26	36	54	2016/3/14 AM 9:37:16
369	28	38	56	26	36	54	2016/3/14 AM 9:37:09
368	28	36	55	26	35	54	2016/3/14 AM 9:37:03
367	28	36	55	26	35	54	2016/3/14 AM 9:36:57
366	28	36	55	26	35	54	2016/3/14 AM 9:36:51
365	28	36	55	26	35	54	2016/3/14 AM 9:36:45
364	28	36	55	26	35	54	2016/3/14 AM 9:36:39
363	28	37	55	26	35	54	2016/3/14 AM 9:36:33
模組 PMS3003							
Total Log : 382 From : 1 To				Page: [1] 2 3 4 5 6 7 8 9 10			Page1

圖 20 PM2.5 偵測數據表(每 10 秒 1 次，紀錄 400 次)

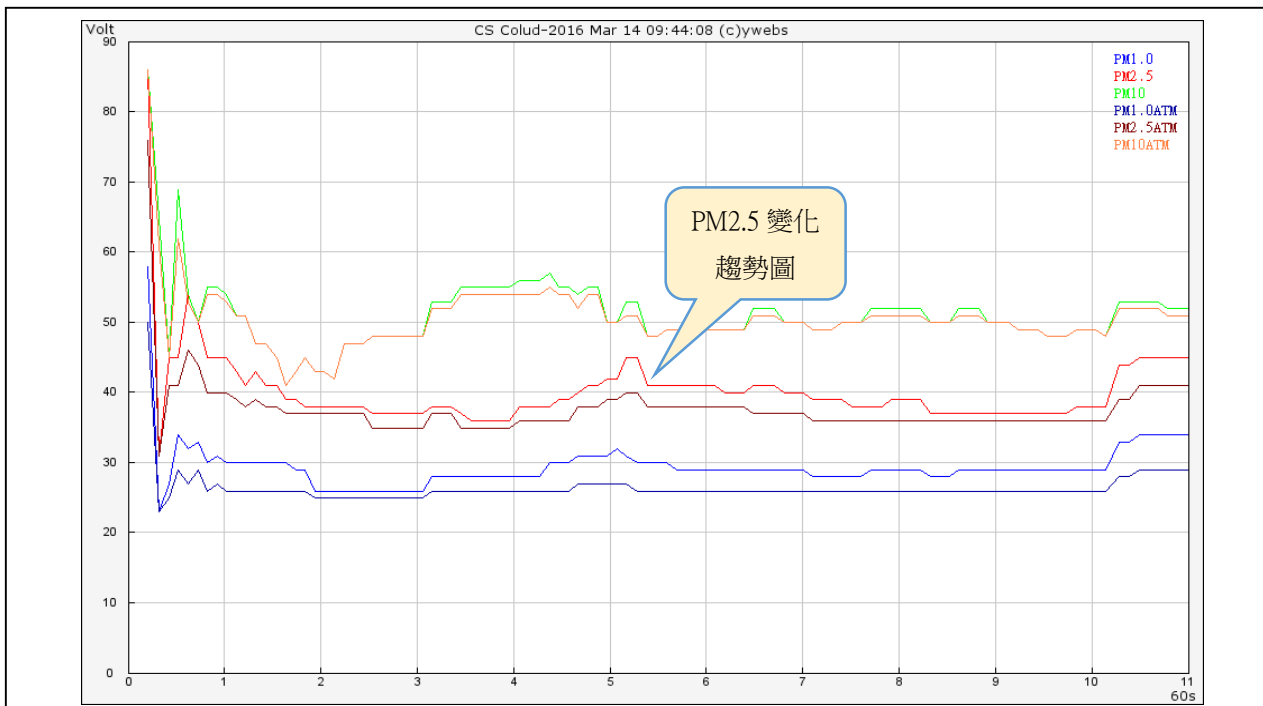


圖 21 一般環境 PM2.5 偵測趨勢圖(單位:ug/m3)

二、照度、風速、空氣品質等環境偵測實驗

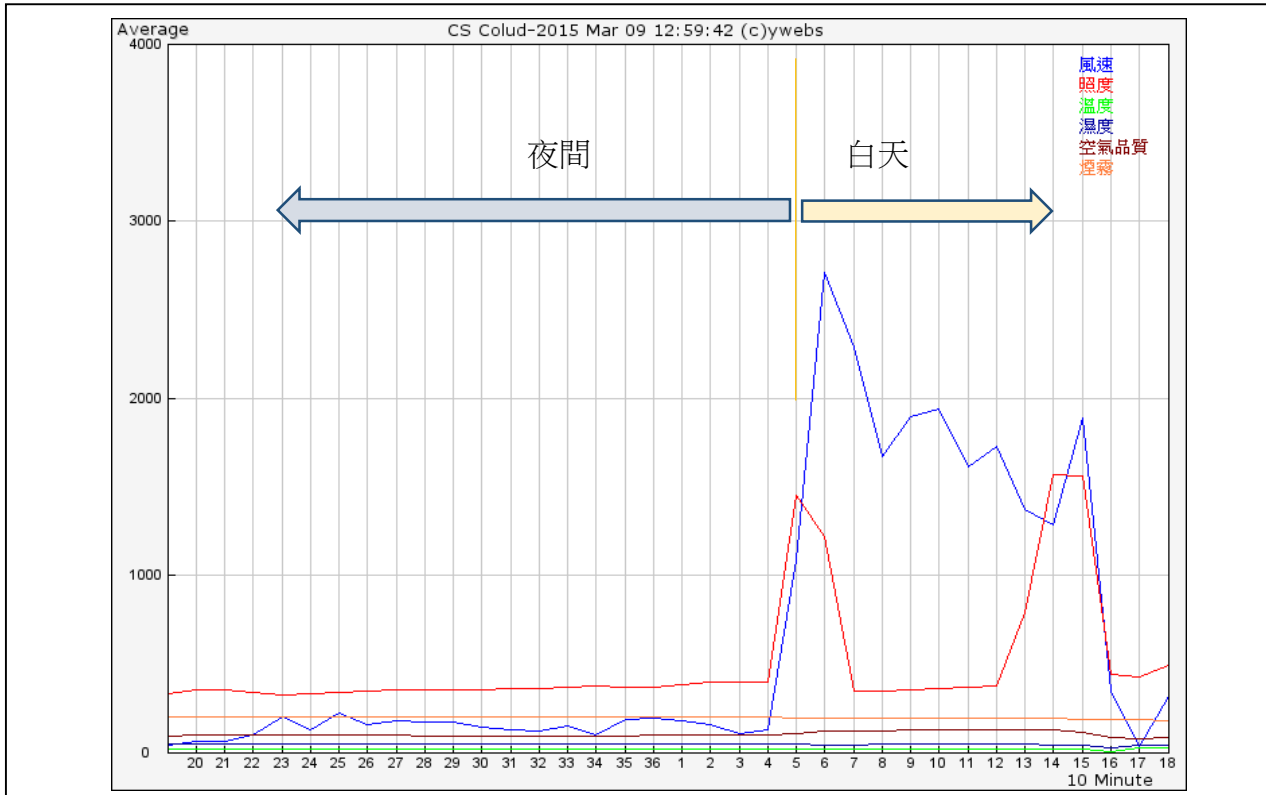


圖 22 有害氣體、人體偵測等環境偵測實驗趨勢圖

序號	風速 (meter/hr)	照度(Lux)	溫度(°C)	濕度(%)	空氣品質 (ppm)	煙霧(ppm)	時間	備註
1	455.96	609.17	27.93	43.96	84	178	2015/1/9 PM 1:19:27	
2	330.05	626.67	28.13	43.48	84	180	2015/1/9 PM 1:19:16	
3	2139.43	623.33	28.63	42.48	86	179	2015/1/9 PM 1:19:04	
4	167.74	557.5	28.98	42.15	87	178	2015/1/9 PM 1:18:53	
5	713.2	590.83	29.48	41.32	86	179	2015/1/9 PM 1:18:42	
6	1377.88	610.83	30.38	40.52	88	174	2015/1/9 PM 1:18:31	
7	1487.37	666.67	31.29	43.21	90	175	2015/1/9 PM 1:18:20	
8	286.66	590.83	32.56	92.29	94	179	2015/1/9 PM 1:18:08	
9	171.83	324.17	27.82	44.81	81	202	2015/1/9 PM 1:17:57	
10	344.49	425	28.12	46.83	511	180	2015/1/9 PM 1:17:46	
11	556.61	295	28.02	44.07	65	181	2015/1/9 PM 1:17:35	
12	759.76	542.5	28.09	44.41	81	180	2015/1/9 PM 1:17:24	
13	923.48	525	28.03	44.27	81	182	2015/1/9 PM 1:17:13	
14	559.8	526.67	27.79	44.48	83	207	2015/1/9 PM 1:17:01	
15	175.34	530	27.5	45.21	79	181	2015/1/9 PM 1:16:50	
16	248.37	467.5	27.44	45.47	78	181	2015/1/9 PM 1:16:39	
17	409.9	441.67	27.5	45.7	78	183	2015/1/9 PM 1:16:28	
18	233.04	449.17	27.48	47.52	78	183	2015/1/9 PM 1:16:17	
19	550.12	537.5	27.4	45.16	77	180	2015/1/9 PM 1:16:06	
20	148.59	519.17	27.48	44.94	78	182	2015/1/9 PM 1:15:54	
模組	MD-wind	GY-30	SHT-10	SHT-10	MQ-135	MQ-9		

Total Log : 48107 From : 21 To Page: [1] [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#) [7](#) [8](#) [9](#) [10](#) Page1 ▾

※ 監測電路直接寫入資料庫，每10秒偵測1次。

圖 23 PM2.5 偵測數據表(每 6 分 1 次，紀錄 48000 次)

三、有害氣體、人體偵測等環境偵測實驗(一般環境下)

序號	濕度(%)	溫度(°C)	人體(PIR)	煙霧(ppm)	瓦斯(ppm)	空氣品質(ppm)	時間
138	49.1833	22.3667	288	245	16	142.667	2014/12/26 PM 12:55:01
137	48.3833	22.3167	287	246.167	16.6667	142.667	2014/12/26 PM 12:54:01
136	48.0167	22.3333	288	246	16	142.667	2014/12/26 PM 12:53:01
135	47.8833	22.4	286.667	245.333	16	142	2014/12/26 PM 12:51:38
134	47.8833	22.4833	286.833	244.833	16	142.333	2014/12/26 PM 12:50:38
133	48.1667	22.45	287.5	245.833	16	142.5	2014/12/26 PM 12:49:38
132	48.1333	22.4667	287.333	244.833	16	142.667	2014/12/26 PM 12:48:38
131	48.1333	22.5	286.667	245	16.1667	142.5	2014/12/26 PM 12:47:38
130	48.1167	22.5	288.667	245.5	16	142.333	2014/12/26 PM 12:46:24
129	48.0167	22.5167	287.833	244.167	16	142.833	2014/12/26 PM 12:45:24
128	48.0167	22.5333	288.667	244	16.1667	142.833	2014/12/26 PM 12:44:24
127	47.6167	22.6333	287.667	242.167	16	143	2014/12/26 PM 12:43:24
126	47.6333	22.75	282.5	243	16	140.833	2014/12/26 PM 12:42:24
125	48.2167	22.6	319.833	266	16.6667	159	2014/12/26 PM 12:40:51
124	48.5833	22.4	284.667	298.5	16.1667	141.833	2014/12/26 PM 12:39:51
123	48.75	22.2167	285	242.333	16.3333	142.333	2014/12/26 PM 12:38:51
122	48.5	22.2667	285.5	242.167	16.3333	142.333	2014/12/26 PM 12:37:51
121	48.2833	22.3333	285	245.167	16.1667	141.5	2014/12/26 PM 12:36:51
120	48.85	22.3667	287.833	243.333	16.8333	142.833	2014/12/26 PM 12:35:17
119	48.8667	22.3167	284.333	244.667	16.8333	141.833	2014/12/26 PM 12:34:17
模組	DHT-22	DHT-22	HC-SR501	MQ-2	MQ-5	MQ-135	

Total Log : 6118 From : 5981 To Page: [295](#) [296](#) [297](#) [298](#) [299](#) [300] [301](#) [302](#) [303](#) [304](#)

※採DHT-22溫濕度模組，以一分鐘內6次偵測之平均值統計

圖 24 PM2.5 偵測數據表(每 10 秒 1 次，紀錄 400 次)

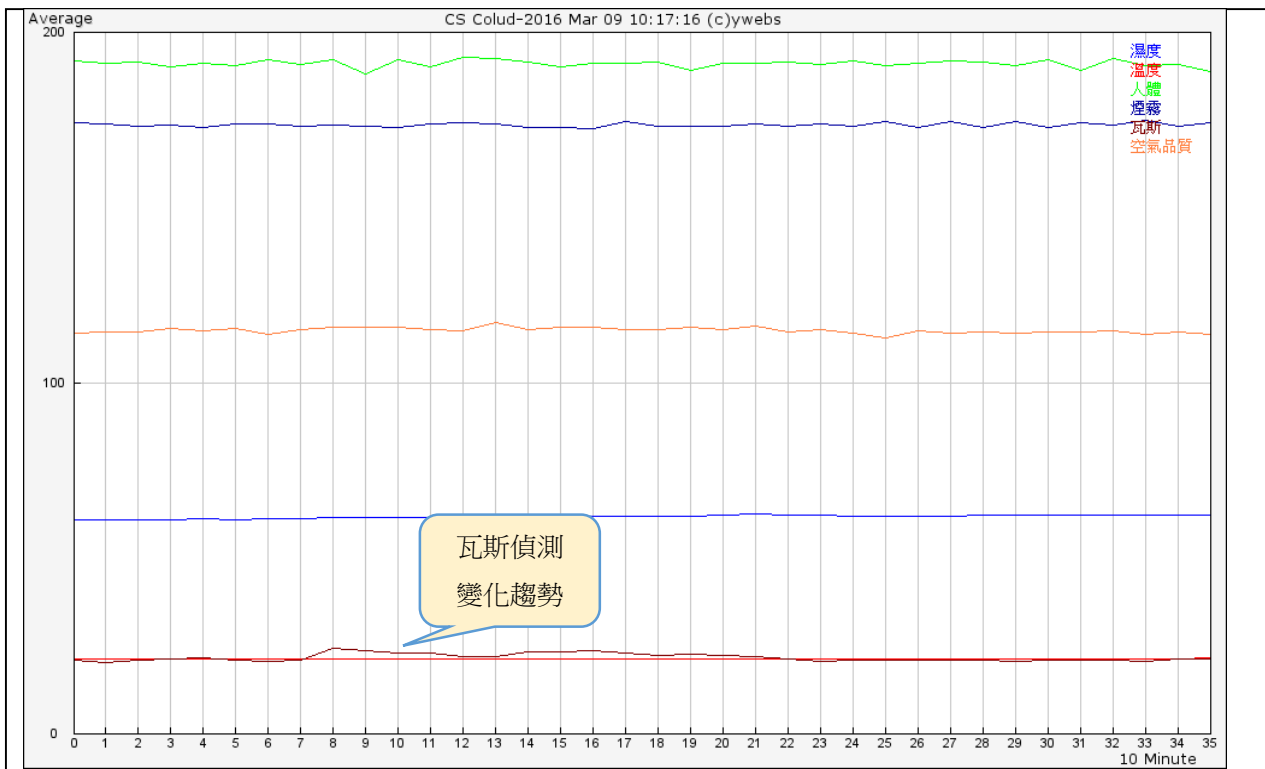


圖 25 一般環境 PM2.5 偵測趨勢圖(單位:ug/m3)

四、環境感測之響應時機實驗結果

以新有效溫度 ET*的舒適度範圍，再以矩形調整為程式判斷範圍，氣溫範圍為 19~27.5°C，相對濕度小於 80%，(如參考資料：附圖 1)。

表 4 環境與感測反應時機

環境與感測反應時機						
項次	項目	室外指數	室內指數	窗戶動作	窗簾動作	備註
1	溫度	19~27.5°	19~27.5°	不動作	XX	
2	溫度	<19 , >27.5	XX	關閉		
3	溫度	19~27.5°	<19 , >27.5	調節開大		
4	濕度	>80%	XX	關閉		
5	照度	>750Lux	<750Lux	XX	調節開大	
6	照度	>750Lux	>750Lux	XX	調節關小	
7	照度	<50Lux	XX	XX	關閉	夜間
8	風速	>10.8m/s	XX	關閉	XX	強風
9	PM2.5	>54ug/m3	XX	關閉	XX	污染
10	空氣品質	>100psi	XX	關閉	XX	污染
11	空氣品質	XX	>100psi	開啟最大	XX	流通
12	雨滴	1	XX	關閉	XX	下雨

五、PM2.5 變化實驗結果

燃燒線香、香煙、蚊香產生煙霧大 PM2.5 濃度均可立即上升到 2000ug/m³，過濾結果如下：

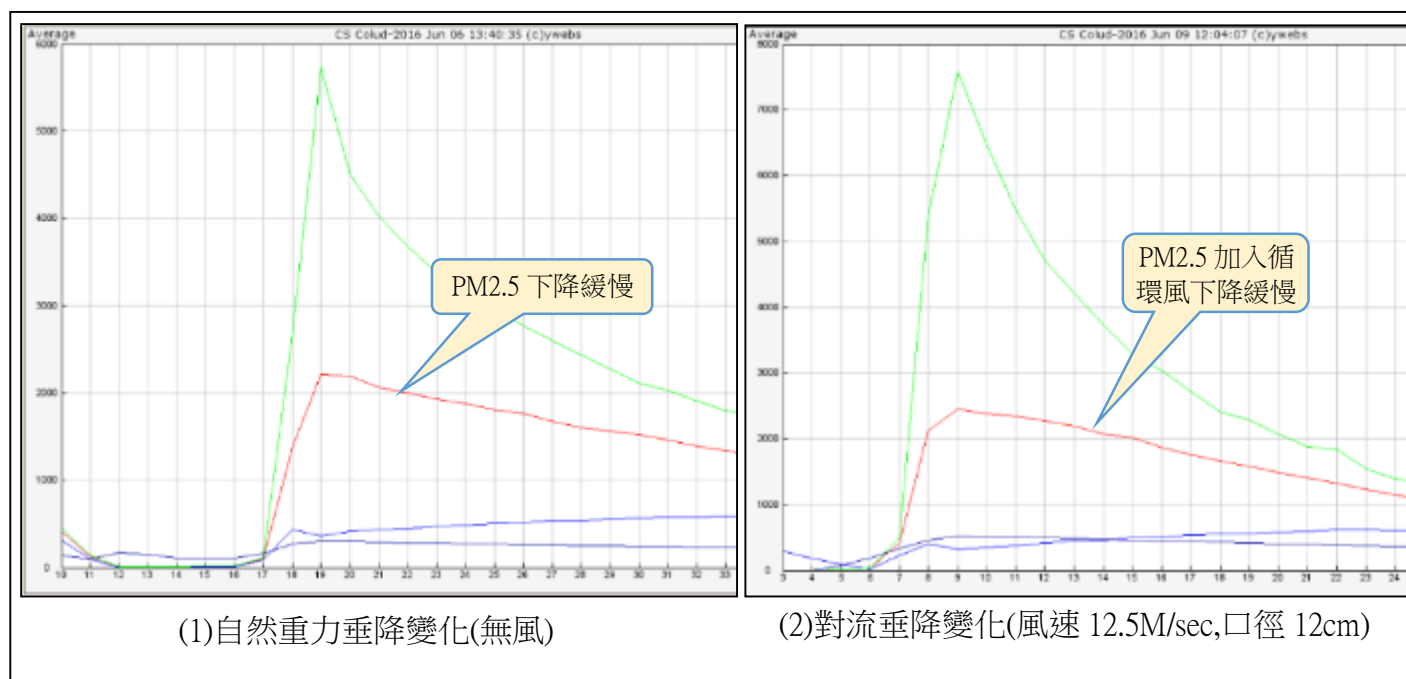


圖 26 PM2.5 重力垂降實驗曲線

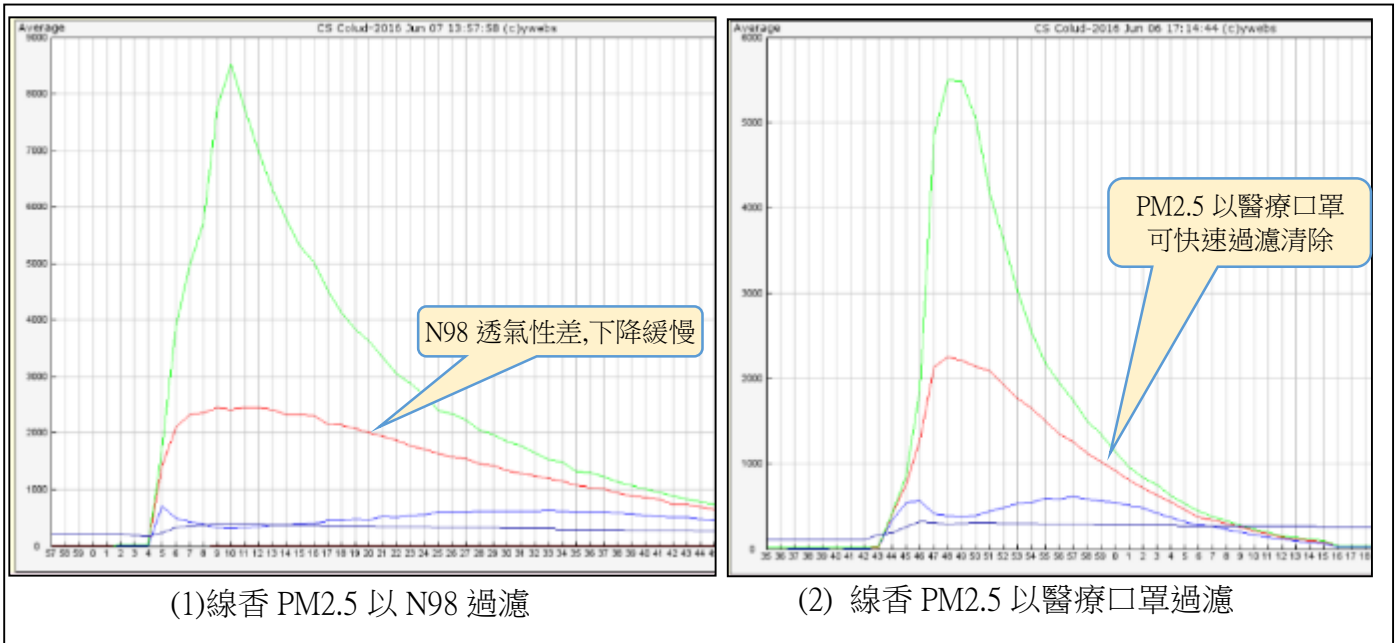


圖 27 PM2.5 濃度變化圖-線香 ug/m^3

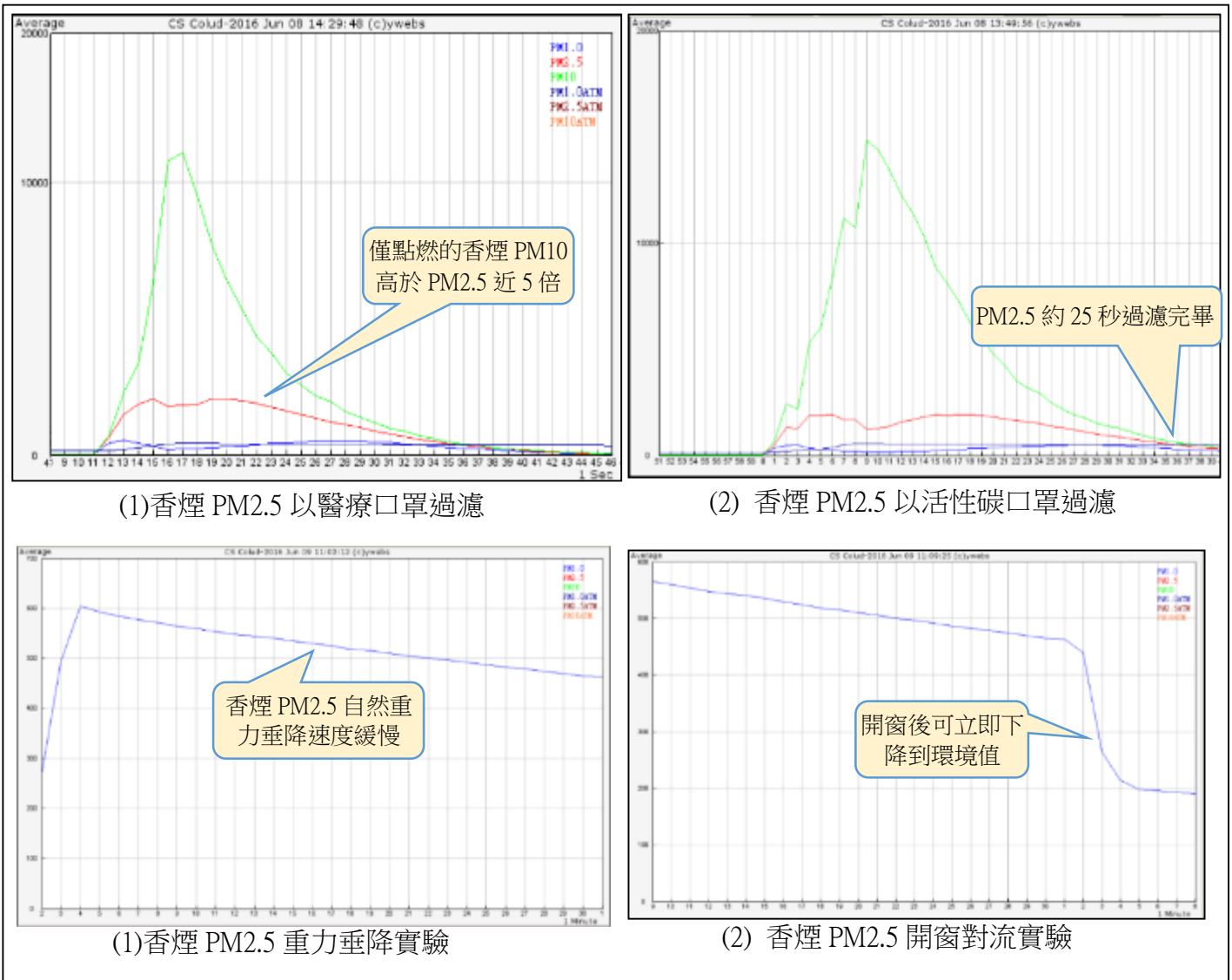


圖 28 PM2.5 濃度變化圖-香煙 ug/m^3

陸、討論

科技能帶來方便性，賦予生活用品智慧，並且可有效運用於人們的照護，避免日常生活中的危害：

一、日常活動所產生的 PM2.5 的因素：

由圖 22 實驗結果可知人的活動開始，也是各污染源的開始；另外周圍環境的活動揚塵會造成短暫性的上升，經由圖 24 實驗結果：

(一) **走動、物品放置揚塵**：下課時間的 PM2.5 較上課時約有 3 倍的濃度，推論是學生下課活動時在地面走動及身上灰塵揚起所造成。

(二) **掃地及抖動抹布**：打掃時間的 PM2.5 較上課時約有 8 倍的濃度。

二、大量產生的 PM2.5 的活動：

由以實驗結果五(圖 26)我們發現，生活中很多不經意的行為可能產生大量的 PM2.5，而置身於 PM2.5 的危害。

(一) **燃燒線香、香煙、蚊香等**：這些有些人每天都要接觸的事，產生的 PM2.5 濃度驚人，可上升到 2000 ug/m^3 以上，遠高於 54 ug/m^3 的安全值，近 40 倍。

(二) **粉筆灰**：尤其在擦黑板及打板擦時 PM2.5 濃度可達 600 ug/m^3 以上。

三、PM2.5 過濾方法探討：

(一) **自然重力垂降**：由圖 26 實驗結果，PM2.5 自然之下降低至 50% 需 19~20 分鐘；加入循環風結果亦同，可見要快速消除，加入過濾是必要的。

(二) **醫療用口罩**：可快速過濾 PM2.5，以圖 24 實驗結果，在濃度 2200 ug/m^3 ，可在 30 秒內過濾到環境值，實驗箱 100 公升，風扇直徑 14cm，風速 10cm/sec；若以 5 坪 (15.15 m^2) 房間加上清淨機清淨力 $110 \text{ m}^3/\text{h}$ ，可計算需時 680.13 秒，約 11.34 分。

$$\text{實驗風扇清淨力} C = A \times V \times t = \frac{\pi d^2}{4} \times 0.1 \times 3600 = 5.5418 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{房間加上清淨機清淨時間} = \frac{v_1}{v_2} \times \frac{c_2}{c_1} \times t = \frac{15 \times 3}{0.1} \times \frac{5.5418}{110} \times 30 = 680.13 \text{ sec}$$

(三) **活性炭口罩**：基本上與醫療口罩相同，多了活性炭層。

(四)N95 及 N98 口罩：由圖 27 實驗結果，N98 因為質地細密，透氣性差，反而降低效果，不適合用在 PM2.5 過濾。

四、PM2.5 感測器的探討：

(一)垂降式 PM2.5 感測器：以自然重力垂降再以光感測方式偵測數值，僅能偵測粉塵的總數值。例如：SHARP GP2Y1051AU0F。

(二)抽風式 PM2.5 感測器：將空氣以進氣扇吸入進風口後，具有更低慣性的 PM2.5 會在半路上浮，再以光感測方式偵測數值，可分別偵測 PM1.0、PM2.5、PM10。例如：SHARP DN7C3CA006、PantengGx PMSX0XX 系列。

五、自動窗結構討論

(一)電動機的選擇

首先進行氣密窗的拉力實驗，以拉繩吊掛水筒，逐漸加入水筒直到氣密窗開始移動，以電子秤稱重量即為靜摩擦力。

採用 DC 12V 減速馬達可避免轉速過高，並可獲得較大的轉矩。選擇以轉矩適當可拉動市售氣密窗，且不拉斷拉繩及不夾傷手為原則，如下圖 29(1)中 120rpm 減速馬達。

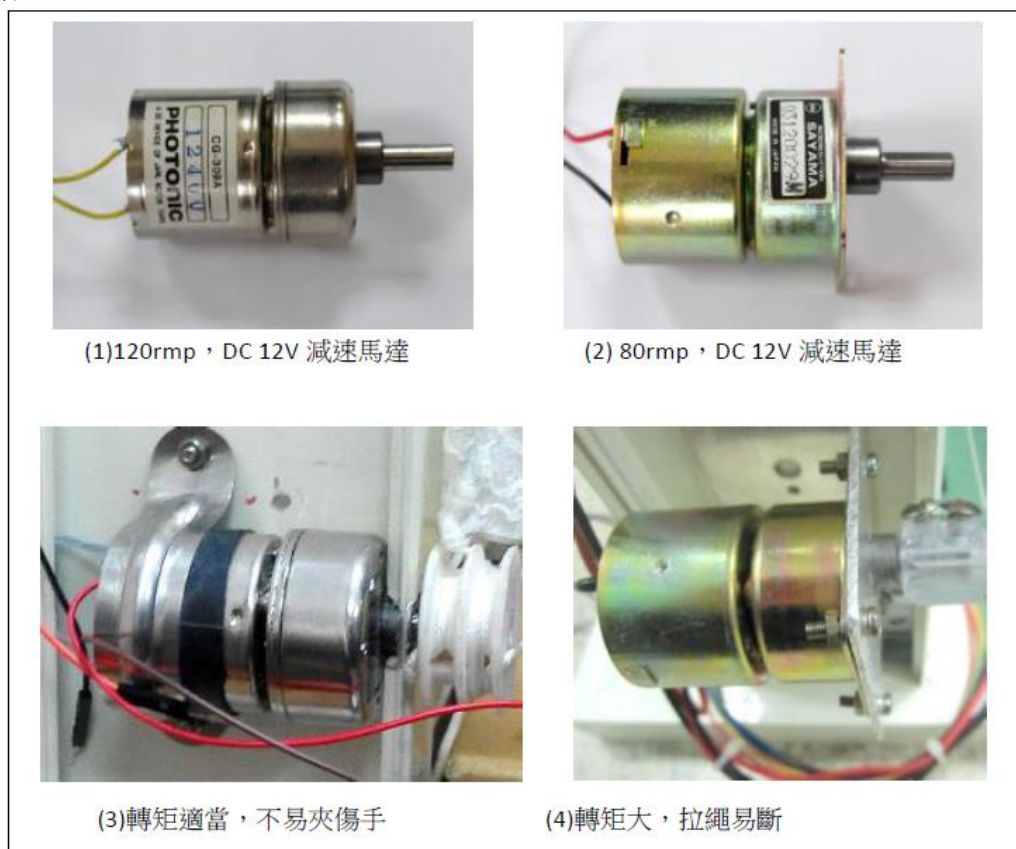


圖 29 二款 DC 12V 減速馬達比較

(二)拉窗機構：

1. **齒條機構**：因齒條僅能在窗的最上方或最下方施力，而拉窗的最適施力範圍在 1/4 到 3/4 的位置，否則氣密窗會卡住無法拉動，不適合目前窗戶，如右圖所示：
2. **拉繩機構**：可安裝於 1/4 到 3/4 的位置，但是仍需要包覆隔離保護。



圖 30 拉窗的最適施力範圍

(三)開窗定位控制：

採用超音波測距用於偵測開窗的大小，增加開窗線性變化。

六、採用智慧控制窗的優點：

- (一)使用微電腦電路可以增加控制彈性，可依即時偵測結果動作及個人習慣做調整。
- (二)加裝環境感測器可提供資訊給微電腦電路，可提供足夠判斷資訊。
- (三)可依不同的使用者做參數設定客製化動作。
- (四)可安裝於現有窗戶，不必更換窗戶，實用性高。
- (五)使用者仍可用手動開關窗戶，不受電路及斷電影響。
- (六)微電腦控制及感測電路僅需一組可控制大量窗戶，可節省成本。
- (七)對照各種資料指數，例如：舒適度、標準照度、PM2.5 等，可讓窗的運作符合人性需求。
- (八)窗戶與窗簾的調節自動化可有效照護室內居家，尤其是身心障礙者。
- (九)透過伺服器平台可掌握即時各項指數資訊。

柒、結論

窗戶室內與室外的主要空氣流通管道，因此妥善調節窗戶可以替人們空氣污染防護做把關。以下是我們的各項結論：

- 一、**智慧照護窗可有效隔離 PM2.5 及其他污染物並且快速過濾消除：** 室外 PM2.5 過高 ($>54\mu\text{g}/\text{m}^3$) 可立即關閉窗戶，經實驗可在 12 分鐘內迅速濾除 PM2.5，可保護家人健康。
- 二、**實現全面性整合型自動照護窗，包括照度、溫濕度、風速、空氣品質的適度自動調節。**：以有效的感測值加上智慧自動化整合設計，讓窗戶的調節不用手動操作，並智慧連結環境控制家電，如：冷暖氣空調、除濕機、空氣濾清器等；將溫度、濕度、空氣清潔度控制在安全舒適範圍。
- 三、**提升窗與窗簾的調節時效，可在感覺不適之前已先調節完成：**使用舒適度、照度、風速指標資料參數，可設定為判斷機制，達到最佳值；例如：風速 $>10.8\text{m/s}$ 強風等級立即關窗，照度 $>750\text{Lux}$ 窗簾調節關小。
- 四、**可隔離有害氣體並發出警報：**智慧調節窗監測空氣品質偵測有害氣體，當空氣品質達到 $>100\text{psi}$ 普通級最大值，迅速警報或開啟可增加安全性。
- 五、**節能環保：**利用加裝太陽能板、蓄電池及供蓄電控制器，形成供蓄電系統，達成節能環保之效。

捌、參考文獻

- 施士文(2014.9)。Arduino 微電腦應用實習。新北市：台科大圖書股份有限出版社。
- 梅克 2 工作室(2014.2)。Arduino 微電腦控制實習。新北市：台科大圖書股份有限出版社。
- 尹國正(2013)。第 2 版 PHP+MySQL 程式設計。新北市：新文京開發出版股份有限公司。
- 楊水清 (2008)。深入淺出 JavaScript 與 Ajax 網頁設程式設計。台北縣:博碩文化股份公司。
- 文淵閣工作室 (2008)。挑戰 PHP5/MySQL 程式設計樂活學。台北市：基峰資訊股份有限公司。
- W.Richard Stens(2009)。TCP/IP Illustrated, Volumel 中譯本。台北市：和碩科技文化有限公司。
- 學校教室照明與節能參考手冊(教育部 20160307) <http://www.edu.tw/>
- 細懸浮微粒(PM2.5)指標對照表、空氣污染指標(行政院環境保護署 20160307))
<http://taqm.epa.gov.tw/>
- 台灣區冷凍空調工程工業同業公會 舒適度指標。 <http://www.hvac-net.org.tw/>
【PM2.5 問題嚴重 腦損、中風機率激增】。
- <http://www.healthnews.com.tw/readnews.php?id=23986>
- 【2-5 擴散與逸散】。 <http://natural.cmshtc.edu.tw/senior/chem/h2text/2-5>
- 【教科書中關於氣體擴散實驗的錯誤】 <http://sci.hcsh.ntpc.edu.tw/diffusio.htm>
- 【HTTP SERVER 安裝及設定說明文件】 The Apache Software Foundation。
<http://natural.cmshtc.edu.tw/senior/chem/h2text/2-5>
- 【安裝及設定說明文件】 MySQL Server Database。 <http://www.mysql.com/>
- 【PHP Language 安裝及設定說明文件】 The PHP Group。 <http://www.php.net/>
- 【PF 安裝及設定說明文件】 The OpenBSD project。 <http://www.openbsd.org/>

玖、附錄

一、引用資料

(一) 窗與環境因素關係探討：

1. PM_{2.5} 等粉塵及空氣品質危害

附表 1 細懸浮微粒(PM_{2.5})指標對照表與活動建議(摘自環保署)

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
PM _{2.5} 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	≥ 71
一般民眾 活動建議	正常戶外活動。			正常戶外活動。				任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應該考慮減少戶外活動。		任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。
敏感性族群 活動建議	正常戶外活動。			有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童感受到癥狀時，應考慮減少體力消耗，特別是減少戶外活動。				1. 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。 2. 老年人應減少體力消耗。 3. 具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。		1. 有心臟、呼吸道及心血管疾病的成人與孩童，以及老年人應避免體力消耗，特別是避免戶外活動。 2. 具有氣喘的人可能需增加使用吸入劑的頻率。

附表 2 空氣污染指標日 PSI 值與健康影響(摘自環保署)

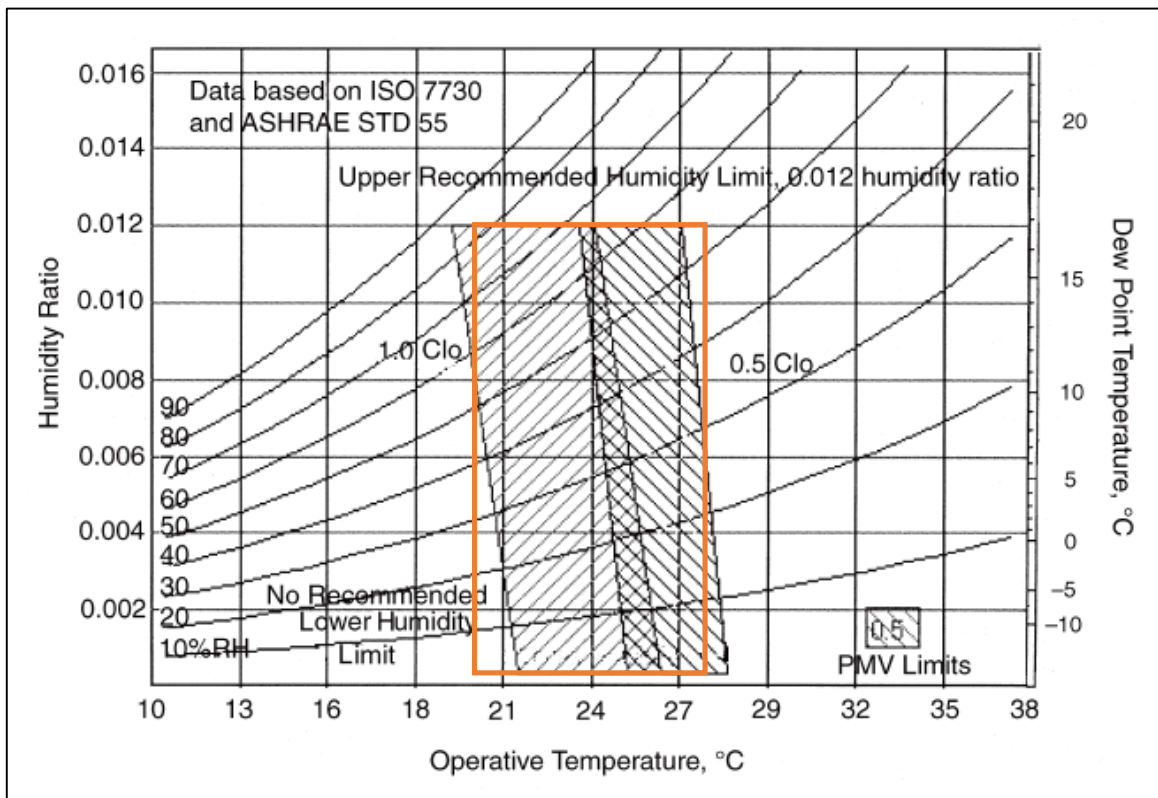
空氣污染指標 (PSI)	0~50	51~100	101~199	200~299	≥ 300
對健康的影響	良好	普通	不良	非常不良	有害
	Good	Moderate	Unhealthful	Very Unhealthful	Hazardous
人體健康影響	對一般民眾身體健康無影響。	對敏感族群健康無立即影響。	對敏感族群會有輕微症狀惡化的現象，如臭氧濃度在此範圍，眼鼻會略有刺激感。	對敏感族群會有明顯惡化的現象，降低其運動能力；一般大眾則視身體狀況，可能產生各種不同的症狀。	對敏感族群除了不適症狀顯著惡化並造成某些疾病提早開始；減低正常人的運動能力。

2. 理想照度與規範

附表 3 學校教室建議照度標準(摘自教育部)

作業種類	教室名稱	桌面照度 [lx]	地板面照度 [lx]	黑板面照度 [lx]
極精細作業	製圖教室、縫紉教室	750	--	500
精細作業	普通教室、實驗教室 電腦教室、自然教室 社會教室、美術教室 工藝教室、家事教室 會計教室、英打教室 視聽教室、語言教室 攝影教室、餐飲教室 音樂教室	500	--	500
普通作業	舞蹈教室	--	300	500

3. 溫濕度舒適度指數



附圖 1 溫度、相對濕度與舒適度關係曲線

4. 蒲福風級

附表 4 陸上應用之蒲福風級表(摘自中央氣象局)

蒲福風級	風之稱謂	一般敘述	公尺每秒 m/s
0	無風 calm	煙直上	不足 0.3
1	軟風 light air	僅煙能表示風向，但不能轉動風標。	0.3-1.5
2	輕風 slight breeze	人面感覺有風，樹葉搖動，普通之風標轉動。	1.6-3.3
3	微風 gentle breeze	樹葉及小枝搖動不息，旌旗飄展。	3.4-5.4
4	和風 moderate breeze	塵土及碎紙被風吹揚，樹之分枝搖動。	5.5-7.9
5	清風 fresh breeze	有葉之小樹開始搖擺。	8.0-10.7
6	強風 strong breeze	樹之木枝搖動，電線發出呼呼嘯聲，張傘困難。	10.8-13.8
7	疾風 near gale	全樹搖動，逆風行走感困難。	13.9-17.1
8	大風 gale	小樹枝被吹折，步行不能前進。	17.2-20.7
9	烈風 strong gale	建築物有損壞，煙囪被吹倒。	20.8-24.4
10	狂風 storm	樹被風拔起，建築物有相當破壞。	24.5-28.4
11	暴風 violent storm	極少見，如出現必有重大災害。	28.5-32.6
12	颶風 hurricane	-	32.7-36.9
13	-	-	37.0-41.4
14	-	-	41.5-46.1
15	-	-	46.2-50.9
16	-	-	51.0-56.0
17	-	-	56.1-61.2

【評語】 052314

本作品建置偵測環境空氣品質能力，並可自動關窗戶及開窗戶
本作品建置偵測環境空氣品質能力，並可自動關窗戶及開窗戶，升降窗簾，以有效隔離 PM2.5 細懸浮微粒。採用 Arduino 控制板，連結偵測環境品質的包括有 PM2.5 感測器、溫濕度、煙霧、瓦斯、紅外線人體偵測、光照度、風速記等。連結馬達已開關窗戶及升降窗簾。

系統已建置完成。並展示的量測空氣品質的數據、窗戶開關及窗簾升降功能、均已展示成功。

空氣品質監測能力也應用於多款式口罩材料有效的檢測，也有助於民眾選用 PM2.5 口罩參考。