

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

佳作

030804

凍結 pm2.5

學校名稱：花蓮縣立國風國民中學

作者： 國三 蔡宗霖 國二 李 雙	指導老師： 黃耀輝 林藝暉
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：pm2.5、冷凝、水吸附

摘要

上一屆作品「pm2.5 遠離我」，探討如何藉由通電的金屬網吸附 pm2.5，達到約 32% 的過濾效果，這次利用冷凝的方法來降低 pm2.5 的濃度；大約可以平均降低 63.4% 左右；過濾時，大氣中水氣相對濕度愈大，過濾效果愈好；測量被吸附的水滴中，含有更多空氣中的雜質；最後探討在室溫不冷凝的狀況，只用水過濾，過濾效果仍有 37%，這可以減少因為冷凝而耗費的能源。在密閉空間中自然蒸發樟腦油或是薄荷油等，即使氣味濃烈，偵測不到氣味分子的數值，但是加熱使蠟燭蒸發或是燒 2 張 A4 紙、線香，都使密閉空間中 pm2.5 數值飆高至危險值的 10 倍左右，幸好用水或甘油過濾都能有效降低。

壹、研究動機

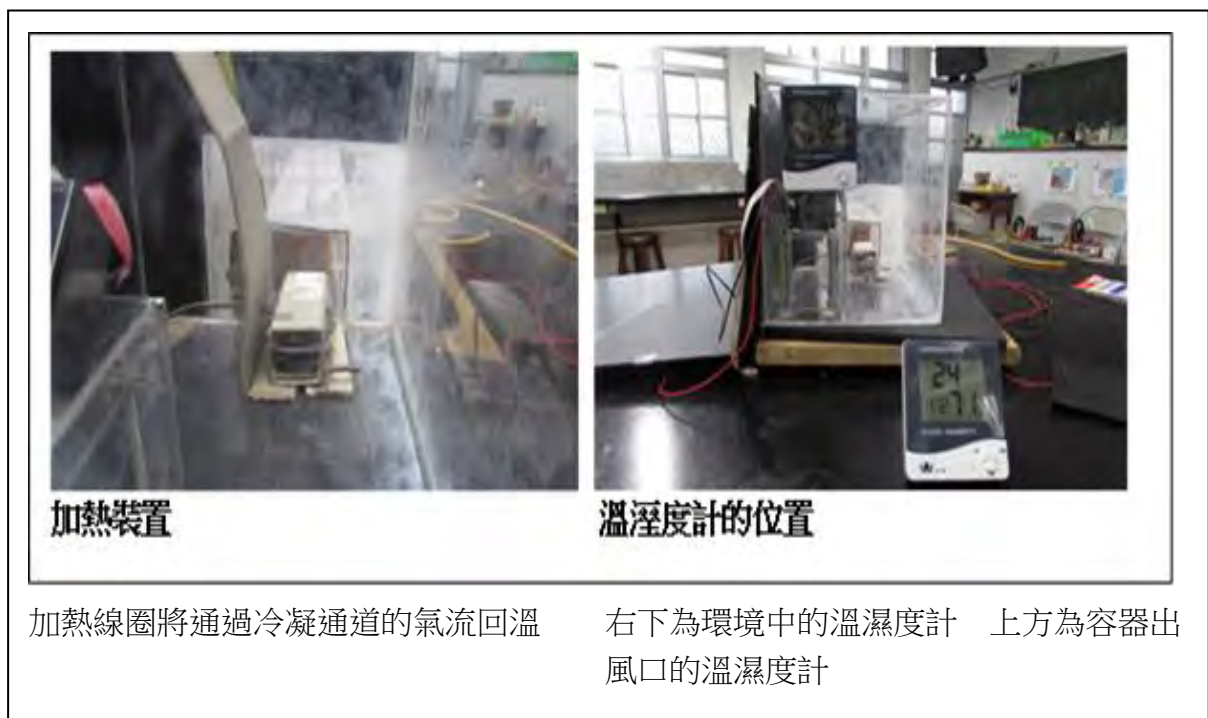
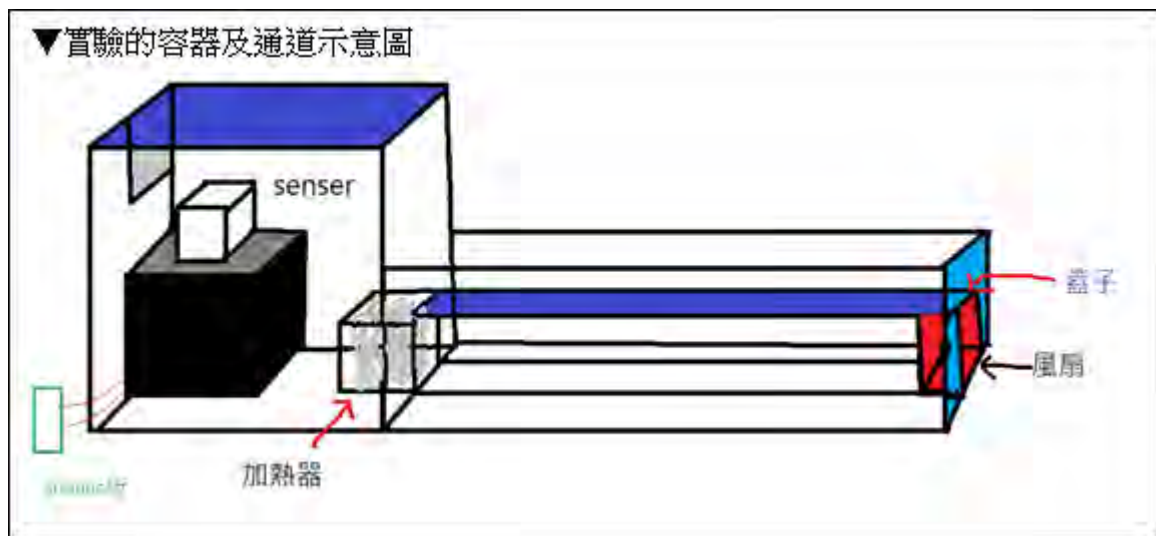
pm2.5 是直徑 2.5 微米以下的粒子，能滲透到微血管中影響我們的健康，但是 8 微米的紅血球和 2 微米的血小板皆無法穿透微血管，只有白血球藉由變形蟲運動運動，變成 0.1 到 1 微米的大小，才足以進出微血管。那麼 pm2.5 遠超過 1 微米這個大小，如何進入微血管呢？我們猜測有害的污染物原本的大小是 1 微米以下，在空氣中吸附許多水氣後，才變大成 2.5 微米的大小，進入人體後，水氣被人體吸收，粒徑大幅縮小回原本的樣子，真正危害我們的污染物質就能進入微血管中，隨著血流傳送到全身，對人體產生傷害。於是我們假設若是能吸收空氣中的水氣，就能同時吸收空氣中的有害物質，於是設計冷凝的方法吸附水氣，藉以降低 pm2.5 的濃度。

貳、研究目的

- 一、研究降溫的方式來吸附水氣，檢測是否能降低 pm2.5 濃度？
- 二、研究收集冷凝後的水滴，檢測是否含有更多雜質？
- 三、研究在室溫下，濕潤環境是否能吸附 pm2.5？

參、研究設備及器材

- (一) 容器及通道如下圖（壓克力板、刮刀、銅片、熱熔膠、快乾膠、瓦楞板、橡皮管、冰塊、12V 風扇、鱷魚夾、12V 鉛電池、麵包板、電阻）
- (二) PM2.5 濃度感測器（麵包板、Arduino 微控制器、杜邦線、傳輸線、5V 電源供應器）
- (三) 加熱裝置（鎳鉻絲、厚紙板、導線、鱷魚夾、電源供應器）



肆、研究過程或方法

一、**空氣污染物**：飄浮在空氣中的微塵，也稱為「氣懸微粒」或「氣溶膠」粒子（在此簡稱「氣膠」），有各式各樣的來源，例如強風颳起的沙塵或海沫碎裂噴出的海鹽、火山噴發的灰燼、燃燒過程所產生的煤灰、植物釋出的花粉與孢子，以及在空氣中經化學作用與凝結作用而產生的酸性微粒。由於陸地上的來源較多也較強，氣膠的濃度通常由工業區、都市、沙漠地區，向四周、向海洋遞減。

以質量而言，整個地球大氣中的氣膠以沙塵、海鹽為主；但以數量而言，則是由硫酸和水氣所形成的氣膠居多，這種氣膠的自然來源，主要是火山活動以及海洋浮游生物排出含硫的物質，經過大氣化學作用而轉變成硫酸，再產生所謂的「硫酸根氣膠」。然而人類的工業、交通活動製造了更多硫化物，使得目前全球的硫酸根氣膠含量已經高達自然含量的三倍，而且集中在人口較密集的地區。其他人類所製造的污染物，如氨、硝酸、煤灰、有機物，也會混入硫酸根氣膠裡。

一般的情況下，自然界最容易產生氣膠的方式是風吹沙，而沙漠地區當然就是大氣沙塵的最大源區

（一）分類：

- 1.一次污染物（又稱初級污染物）：直接排放到大氣中者，例如：霾、臭氧.....等。
- 2.二次污染物（又稱次生污染物）：經過化學反應後才成為污染物者為，例如：一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、固體物質、揮發性有機化合物(VOCs).....等。

（二）來源：

- 1.人為產生：例如：廢物焚燒爐、交通工具之廢氣、髮膠等溶劑散播的煙霧.....等。
- 2.自然產生：例如：沙塵、動物排泄物中的甲烷、火山活動產生的硫、氯和菸灰.....等。

（三）組成：

主要初級污染物有：

1. 二氧化硫：由火山和工業過程產生。煤和石油燃燒時會產生二氧化硫。SO₂ 通常在受到 NO_x 等的催化進一步氧化，形成酸雨。
2. 一氧化碳：CO 無色、無味、無刺激但有毒。由不完全燃燒所產生的，如天然氣、煤或木頭等。汽車廢氣是一氧化碳的主要來源。
3. 二氧化氮：為高溫或閃電所產生，紅棕色，有刺鼻氣味。
4. 氨氣：農業過程產生的腐蝕性氣體，刺激性強。

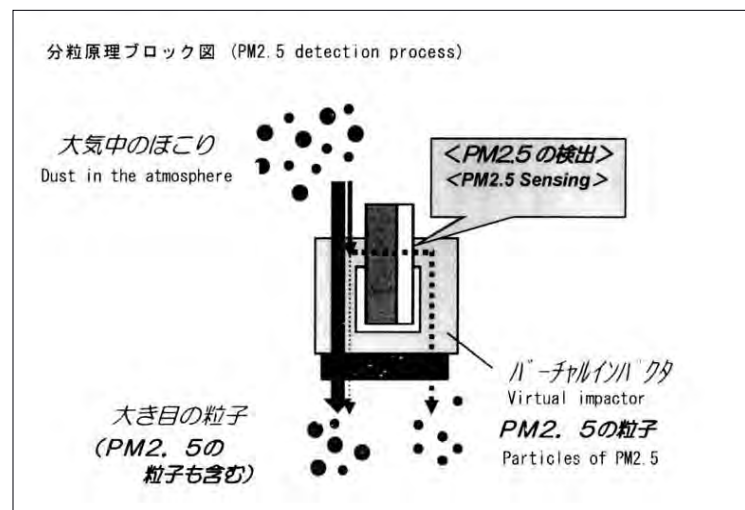
次生汙染物包含：

1. 霾：由汽車和工業排放產生。
2. 地面臭氧層：反常的濃度也是汙染物的一種，導致霾產生。

二、pm2.5 懸浮微粒濃度感測器

(一) sensor 運作原理：

利用 Arduino 微控制器（以下簡稱 Arduino 板），連接網購之 Sharp pm2.5 Sensor Module 懸浮微粒濃度感測器（以下簡稱 Sensor）。

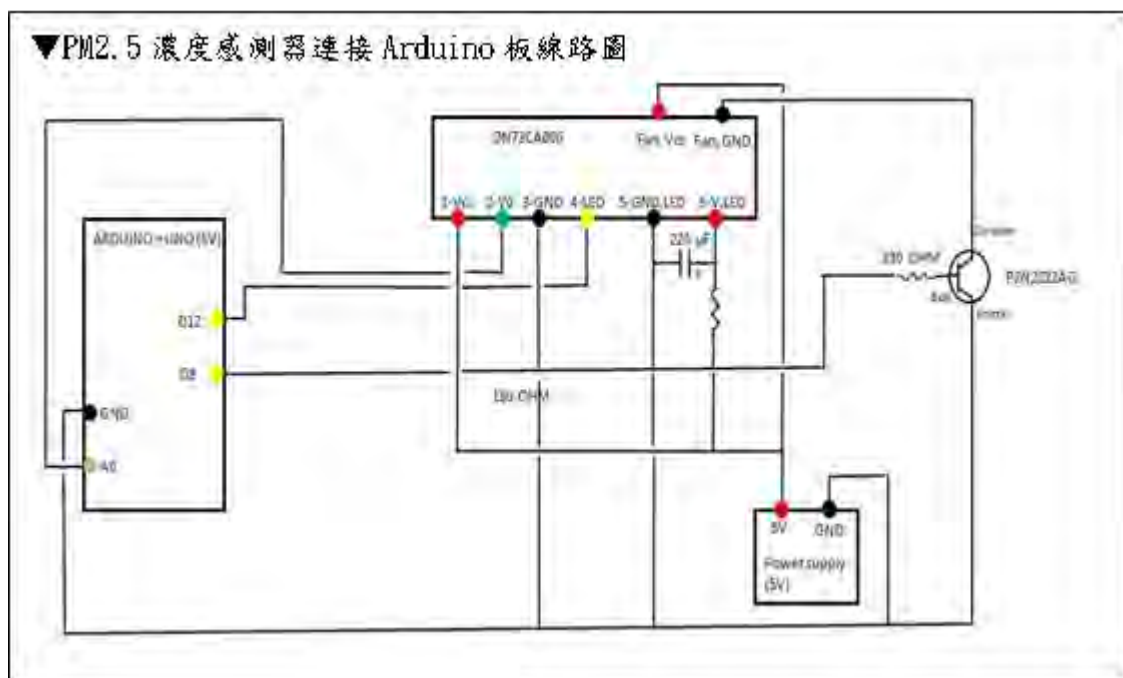


Sensor 內有小風扇，能定時定量抽取外界環境空氣，並利用慣性原理分離 pm2.5 和 pm10，pm10 會通過圖中左方實線箭頭通道回到到外界，而 pm2.5 會經過右方虛線箭頭，內有 LED 與光感測器的通道（LED 光被 pm2.5 散射，經由光感測器感測受光面積）。

一開始 Sensor 會先檢測 200 次（0.6 秒／次）未開風扇、氣流穩定之外界空氣的 pm2.5 濃度（空氣中粒子會沉澱不飄動），稱為背景值。測完 200 次後，內部小風扇開始運轉，Sensor 吸入定量氣體，每 0.6 秒測出散射的 LED 受光面積，代入原廠公式後算出 pm2.5 濃度。

(二) 實驗原理

將 Sensor 接上外部的 arduino 板，並連接好線路（線路圖如下），利用風扇抽氣的方式，使帶有水氣的 pm2.5 通過外部有放置冰塊的通道，並利用銅片導熱性佳的性質，將銅片放在通道裡面，達到更好的冷凝效果，此時氣流通過低溫的環境後，帶有 pm2.5 的水氣被凝結成水滴，留在通道中，藉由凝結水滴的同時吸附 pm2.5。



(三) 如何操作 Sensor 來測量有無降溫時 pm2.5 的濃度變化

1. 將 Arduino 板連接電腦，並在電腦中自官網下載、運行配合 Sensor 的控制程式。
2. 靜置兩分鐘，使容器內的 pm2.5 沉澱。
3. 開啟電腦監控視窗，此時 Sensor 開始檢測 200 個背景值。
4. 測完背景值後，開啟通道口的風扇，自外界抽取空氣至容器內。
5. 測量 30 個通道外沒有放冰塊的 pm2.5 濃度。
6. 將鎳鉻絲加熱裝置通電，避免冷凝後的氣流溫度太低，在 sensor 內產生結露的情形，影響實驗數據。

7. 在通道外部放置冰塊。
8. 檢測 pm2.5 通過冷凝通道後的濃度。

有時候外界的濕度原本就很低了，所以蒐集不到什麼水氣，於是我們在實驗容器附近噴水霧於地面，增加環境的相對濕度，讓氣流通過冷凝通道時有足夠的水氣可以被冷凝，藉此達到效果。

在過濾的過程中，濕度會隨著冷凝的時間長短發生改變。為了使數據維持在同樣的濕度，我們利用 Senser 的公式去校正濕度。

原廠公式： $ug/m^3 = \alpha * \beta * (V_0 - V_s)$ ， $\alpha = 0.6$ ， β 會隨著濕度而改變。當濕度小於 50% 時， $\beta = 1$ ；當濕度大於 50%， $\beta = [1 - 0.01467 * (\text{濕度} - 50)]$ 。

V_0 指測到的數據，而 V_s 則是背景值。

三、水質檢測

(一) 水質檢測原理：

水質檢測筆是利用電極（也就是離子的數量）去檢測水的導電性。而在大氣中易溶解在水裡的空氣污染物有 SO_2 （二氧化硫）、 NH_3 （氨氣）、 NO_2 （二氧化氮）……等分子。利用水質檢測筆檢測收集到的冷凝液中所含的離子量來證明我們蒐集到了空氣污染物。

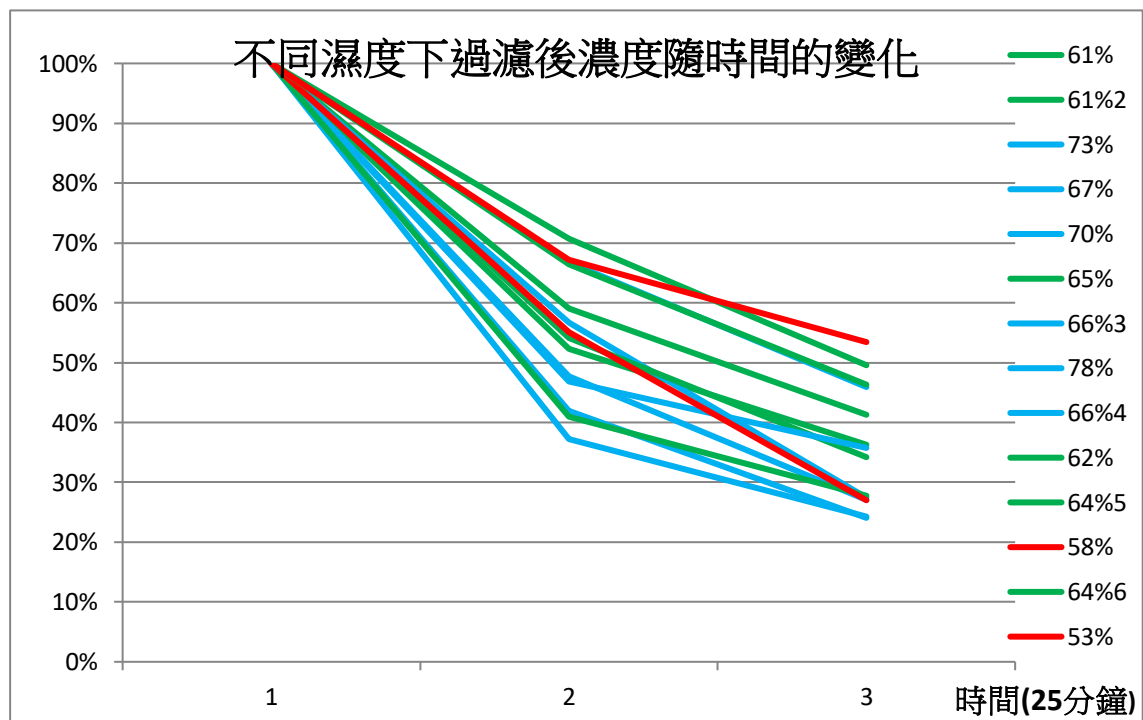
伍、研究結果

一、在每一次的實驗，一開始測量大氣環境的 pm2.5 濃度，通道周圍放入冰塊冷卻後每隔約 40 分鐘測量並計算這段時間內的剩餘濃度平均值，然後對照當天環境值算出剩餘濃度百分比，結果如下表所示：

pm2.5 濃度在實驗中之變化（每 25 分鐘取平均，單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）：

實驗	環境	降幅 1	百分比	降幅 2	百分比 2
1	28.75	16.96	58.99%	11.87	41.29%
2	25.44	13.32	52.35%	9.23	36.28%
3	11.79	5.62	47.67%	3.19	27.06%
4	14.37	8.14	56.65%	3.94	27.44%
5	9.52	6.35	66.74%	4.37	45.92%
6	14.71	7.96	54.12%	5.03	34.20%
7	16.79	7.05	41.96%	4.04	24.06%
8	19.98	9.35	46.79%	7.14	35.74%
9	16.36	6.08	37.16%	3.97	24.26%
10	22.5	15.9	70.67%	7.88	49.56%
11	59.8	24.5	40.97%	16.6	27.76%
12	17.8	9.8	55.06%	2.64	26.94%
13	27.7	18.4	66.43%	8.522	46.32%
14	35	23.5	67.14%	18.7	53.43%

▼不同相對濕度下的過濾百分比隨時間的變化示意圖



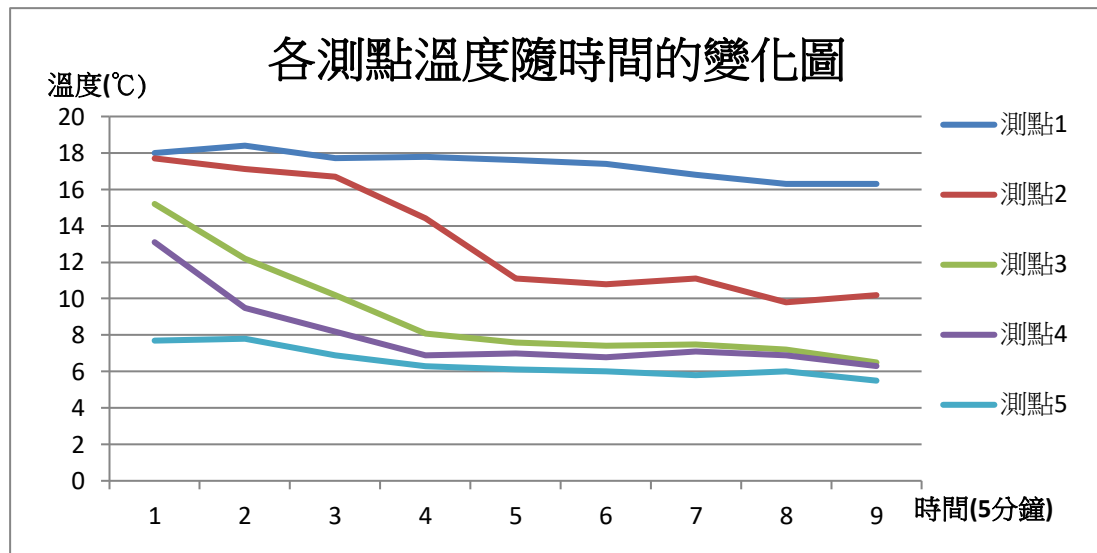
這張圖顯示的是每 25 分鐘，剩餘 pm2.5 的百分率變化圖。可以看出測量時間愈久過濾掉的污染物愈多，pm2.5 濃度就愈低。可以看出 50 分鐘後大約可以平均降低至

36.60%%（誤差值：±12.75%），也發現普遍來說，只要相對濕度越高，pm2.5 和水結合的機會也越多，那麼過濾效果也較好，相對濕度低時，過濾效果較不顯著。

接著我們在通道周圍放置冰塊，靜至 20 分鐘，然後利用熱耦溫度計測量不同定點的溫度隨時間降低的幅度，如下圖：

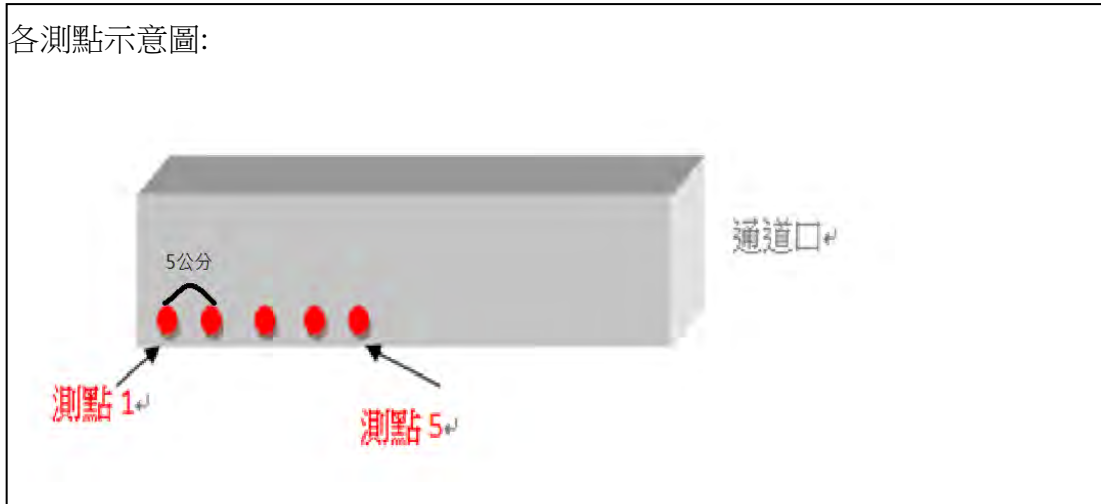
原溫度攝氏 30 度

時間(分鐘)	測點 1	測點 2	測點 3	測點 4	測點 5
5	18	17.7	15.2	13.1	7.7
10	18.4	17.1	12.2	9.5	7.8
15	17.7	16.7	10.2	8.2	6.9
20	17.8	14.4	8.1	6.9	6.3
25	17.6	11.1	7.6	7	6.1
30	17.4	10.8	7.4	6.8	6
35	16.8	11.1	7.5	7.1	5.8
40	16.3	9.8	7.2	6.9	6
45	16.3	10.2	6.5	6.3	5.5



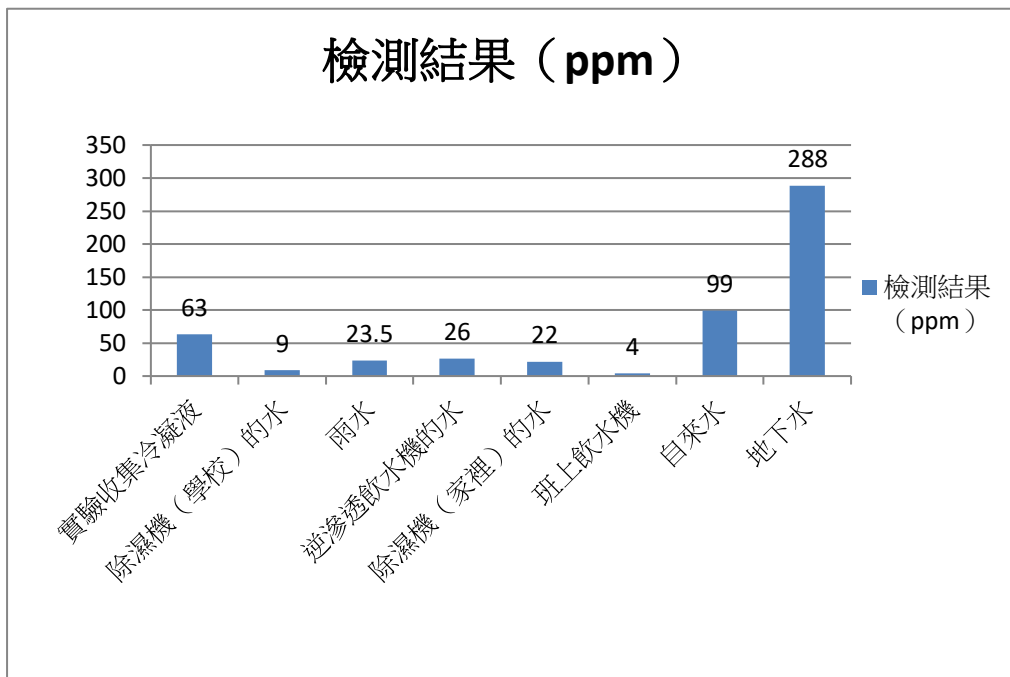
每個測點相距約 5 公分，測點 1 是靠近容器的地方，所以溫度易受室溫影響，而測點 5 是通道中央，周圍被冰塊包圍，所以溫度最低。

各測點示意圖：



二、水質檢測筆以導電原理測量下列各種水質的雜質含量比較：

檢測項目	檢測結果 (ppm)
實驗收集冷凝液	63ppm
除濕機 (學校) 的水	9ppm (平均)
雨水	23.5 ppm (平均)
逆滲透飲水機的水	26ppm
除濕機 (家裡) 的水	22ppm
班上飲水機	4ppm
自來水	99ppm
地下水	288ppm



陸、討論

一、利用冰塊降溫冷凝的結果：

每一次實驗過濾效果出現明顯的差異，可能和當天的空氣汙染物、濕度組成變異有關，也可能和當天實驗時放進的冰塊量有關。隨著過濾時間越久，通道內被冷凝的水越多，pm2.5 粒子被通道內壁及銅片上的小水滴吸附的可能性就越高，所以過濾效果會隨著時間逐漸提升，但是過濾到後面數值偏低時，受到學校建築工地工程車廢氣影響的比例就愈高。

可以被水捕獲的粒子有：沙塵、植物的花粉或孢子、海鹽、煤灰、氨氣和二氧化硫等.....。不能被水捕獲的粒子則有：烷類、一氧化氮、油煙等.....。能被水捕獲的粒子才會在經過通道的時候吸附在內壁或銅片上的水上，原本在空氣中就跟水蒸氣結合的粒子也會在水被冷凝的時候留在通道中。這些可以被捕獲的粒子不全然會在水質檢測時被檢測到，因為它們不一定都會在水中解離，只有電解質被蒐集才會被水質檢測筆檢測到。

二、水質檢測結果：

實驗收集到的冷凝液，是由環境中的汙染物質持續不斷通過通道被捕獲，學校除濕機的水是在一個幾乎密閉空間中的水氣和汙染物被捕獲，由於沒有汙染物質持續供給，所以除濕機的水相對比較乾淨。雨水的雜質則是雨滴在雲層中或從天空下降過程中捕獲雜質，可能因為持續的時間不夠多，所以濃度不及在實驗室中不斷引入外界雜質聚積在一個狹窄的通道中。必須要注意的是，水質檢測筆只能呈現空氣汙染物中溶於水之後能產生離子的部分，但仍然可以證明冷凝的方式確實可以吸附空氣中的雜質。

至於自來水和地下水，兩者都已經觸及地面，雜質的來源不僅僅只來自空氣中，因此不能列入比較。

在某日相對濕度是 63%，室內溫度是攝氏 26 度，我們查出 26 度時，飽和的最高

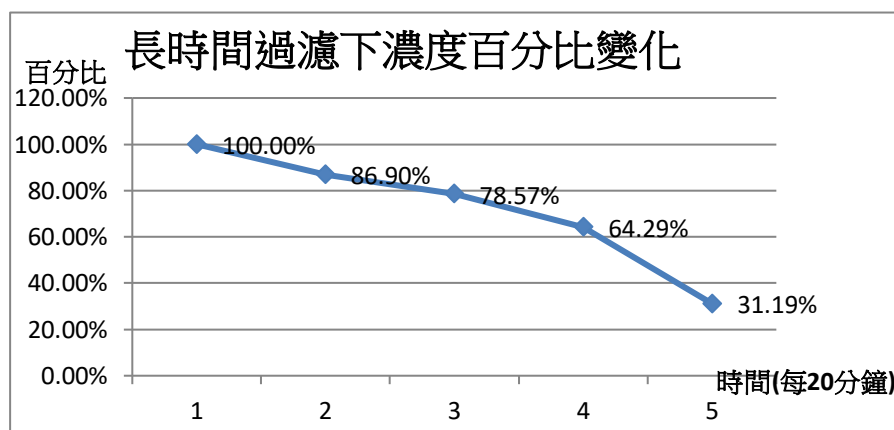
濕度是 24.9g/m³，當天冷凝了 20g 的水，冷凝後濕度從 63%變成 54%，降低了 9%的水氣，代表每立方公尺有 24.9*0.09=2.241 公克的水氣被過濾，那麼我們就有 20/2.241=8.92 立方公尺的空氣被過濾。可是，只有將近 9 立方公尺的空氣被過濾，這樣的過濾處理量，就算是過濾效果優良，但是對於生活空間淨化空氣的效率可能不夠。

某一次實驗的時間比較久，觀察到的過濾效果並沒有因為通道外的冰塊減少而變得比較差，測量冷凝通到末端的溫度，發現溫度由 3°C 上升到 8°C，所以溫度升高並沒有降低捕獲 pm2.5 的效果，暗示，捕獲效果和通道內已經凝結的水有比較密切的關係。

凝結狀況如下：顯示通道內壁和銅片上已經凝結很多水滴



當天的實驗結果如下：

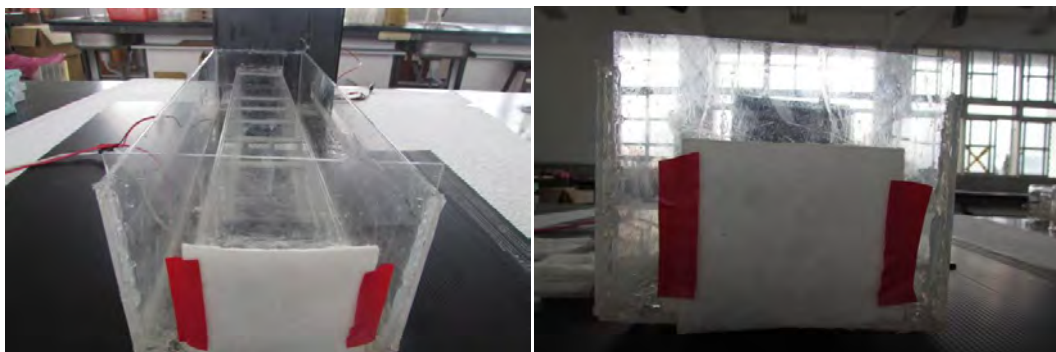


可以看出，即使冰塊隨時間融化，溫度也有升高，過濾的效果卻依然不減，可見通道內如果含有大量的冷凝水，也會提升過濾效果。

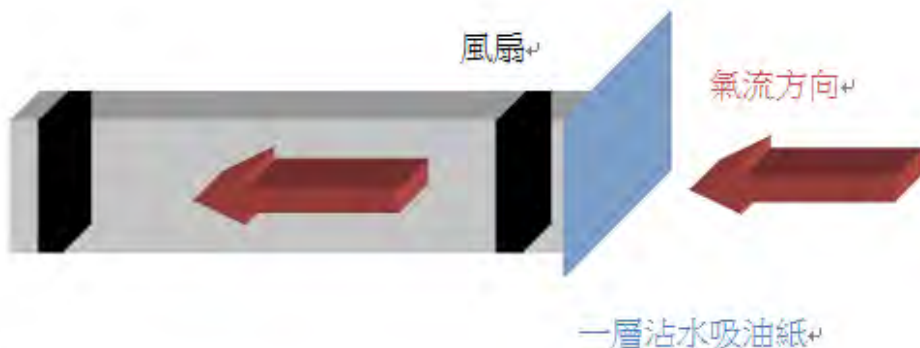
如果在室溫之下不經冷凝的方式使氣流通過潮濕的環境，是否仍有捕獲效果呢？

我們在上一屆作品中，利用摩擦的方式，使塑膠紙上產生靜電，測試吸油紙的效果後，發現吸附效果不佳，幾乎沒有過濾效果，當時推測為孔洞太大，不足以吸附 pm2.5，所以我們這次沾濕吸油紙，將其放在洞口，使帶有 pm2.5 的水氣撞到沾水的吸油紙後被吸附，藉以降低 pm2.5 濃度

下圖為一層吸油紙黏在通道口的照片：

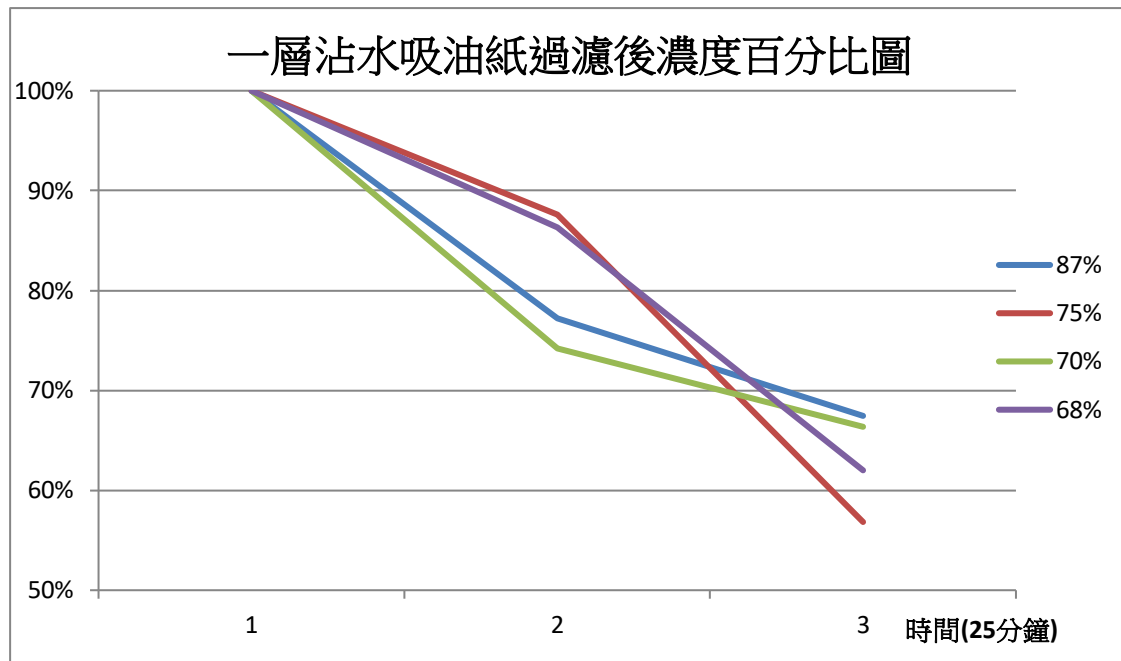


一層吸油紙過濾示意圖：



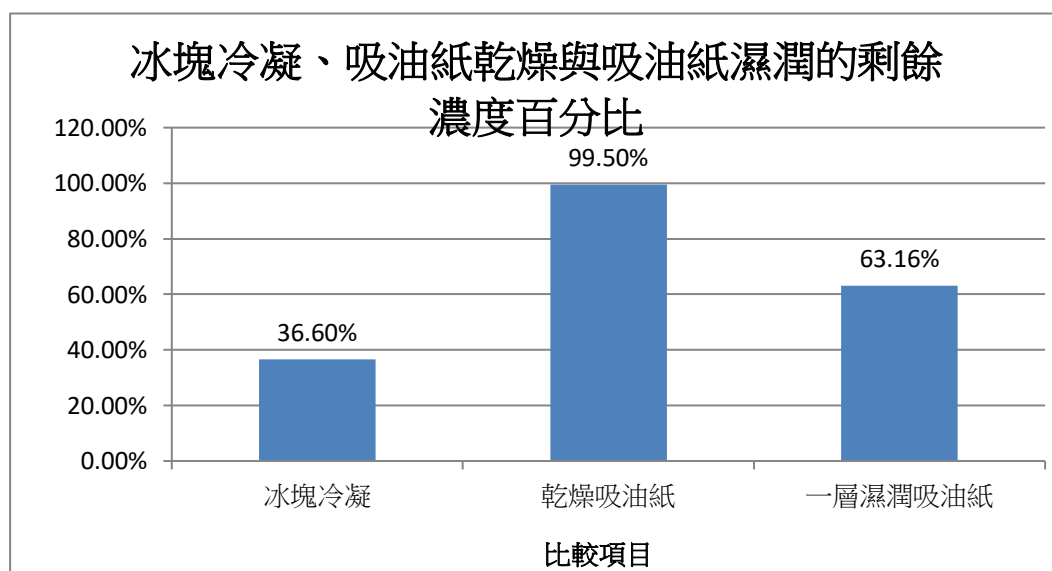
實驗結果如下：

實驗	環境	降幅 1	百分比	降幅 2	百分比 2
1	13.21	10.20	77.21%	8.91	67.45%
2	15.42	13.50	87.58%	8.76	56.83%
3	9.88	7.33	74.18%	6.56	66.36%
4	10.25	8.85	86.34%	6.36	62.00%



原本乾的吸油紙沒有過濾效果，而吸油紙沾濕後則過濾掉了 37%的污染物。所以證明過濾效果的提升是因為水的功效，而不是吸油紙本身的吸附。利用一層沾水吸油紙平均可以降低濃度至 63.16%(誤差值±5.31%)，推測這些被過濾掉的 pm2.5 是水溶性物質。

三、以下是總結冰塊降溫冷凝、乾燥吸油紙、濕潤吸油紙過濾效果的圖表：



由上表可看出，利用冰塊冷凝的方式效果最好，而把吸油紙沾濕也使效果提升許多，但是利用冰塊冷凝時還需要製冰，耗費能源，而且可以過濾的空氣量也很少，即

使放了兩個小時，也只有約9立方公尺的空氣被過濾。如果在大範圍的體育館中，實用性便非常低，若是室溫下利用大面積濕潤的吸油紙或是水霧，搭配大型風扇過濾，效果雖然沒有利用冰塊冷凝來的好，卻能大幅增加過濾的空氣量，若放在風扇或冷氣出風口前，就能達到效果，同時也不需要額外耗費能源。

四、自製污染物

接著，我們在密閉房間中自製污染物，讓乙酸乙酯等物質自然揮發，這樣可以確定單一污染物的性質，能更進一步的去探討，但是這些蒸氣無法被 sensor 檢測，濃度沒有明顯的上升，同樣的，酒精、甘油也無法被檢測，結果如下表：

原始環境[ug/m3]	樟腦油	乙酸乙酯	甘油
8.52	16.21	9.85	12.25

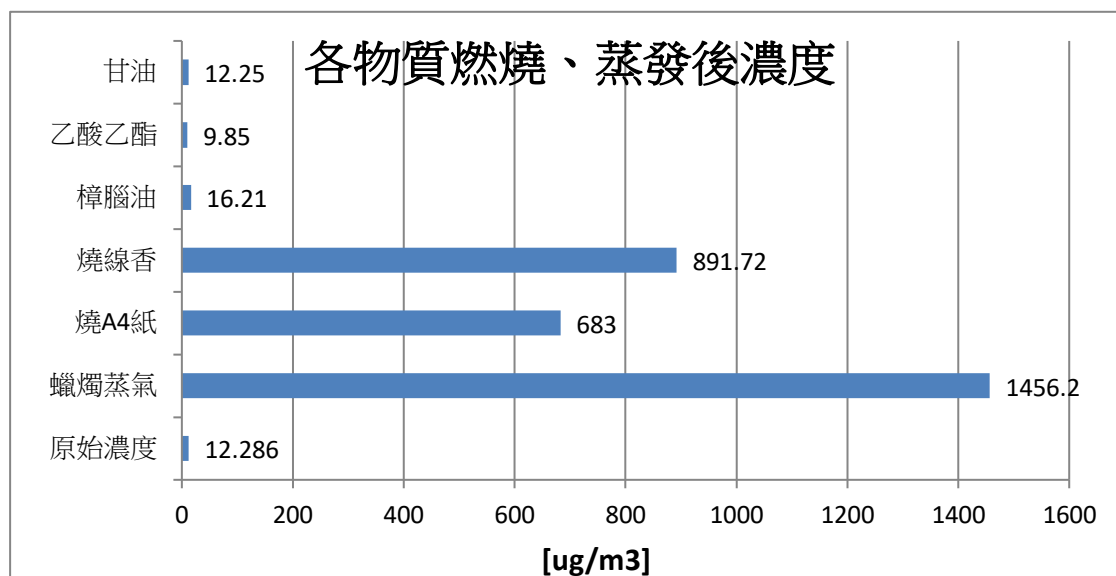
因為這些物質蒸氣顆粒太小，無法被偵測到，把蠟燭放在乾鍋上加熱，使蠟燭蒸發，結果數值升高如下：

原始濃度	16.321	蠟燭蒸氣濃度	1456.2
------	--------	--------	--------

燃燒兩張 A4 紙，燒三隻線香 25 分鐘：

原始濃度	12.286	燒 A4 紙	683
原始濃度	9.633	燒線香	891.72

可看出這些物質燃燒後會大幅增加污染物濃度

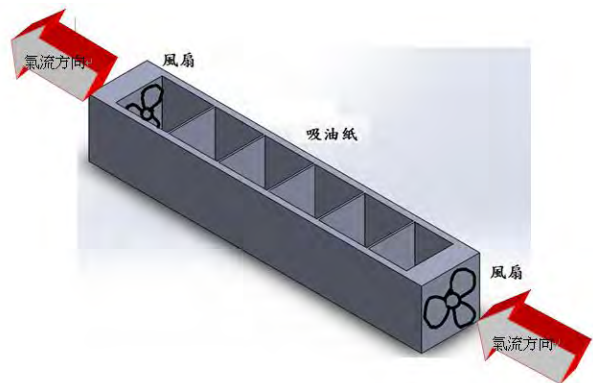
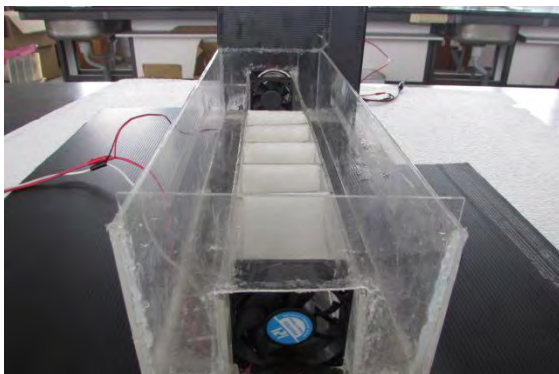


原始環境[ug/m3]	燃燒酒精燈 25 分鐘	燃燒蠟燭 25 分鐘	蠟燭熄滅
4.23	6.23	10.79	48.91

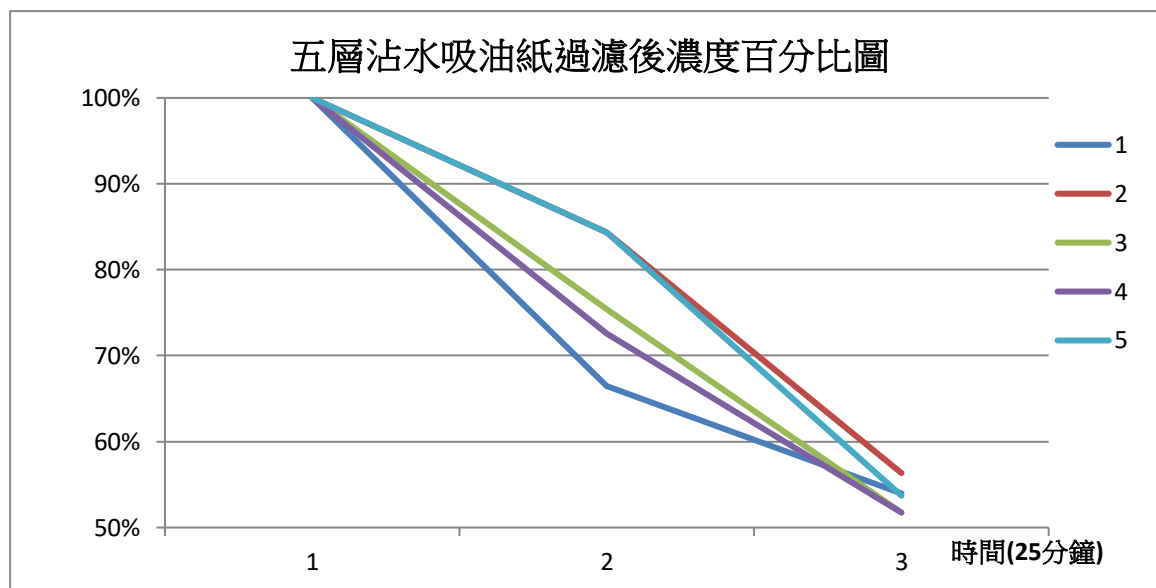
但是在燃燒酒精燈和蠟燭時，濃度也沒有像燃燒線香、A4 紙暴增，反而是在蠟燭熄滅時，濃度有了明顯的變化，推測酒精燈和蠟燭因為燃燒的是它們的蒸氣，產生二氧化碳和水等氣體，所以物質小的 sensor 無法檢測，但在熄滅時，是高溫的蠟油變成了蒸氣被 sensor 檢測到，所以數值才会有明顯的變化。我們也得到以下結論:避免出現在寺廟、焚化廠或是在燒紙錢的地方，這些場所都燒出大量的有害物質，嚴重影響我們，而具有氣味的氣體，雖然不被檢測到，但不代表對人體不會產生影響，也要盡量遠離。

既然一層沾濕吸油紙有過濾效果，於是我們增加成五層，來過濾掉我們自製的汙染物

以下為放在通道的五層吸油紙(通道的蓋子設計成可拆式的):



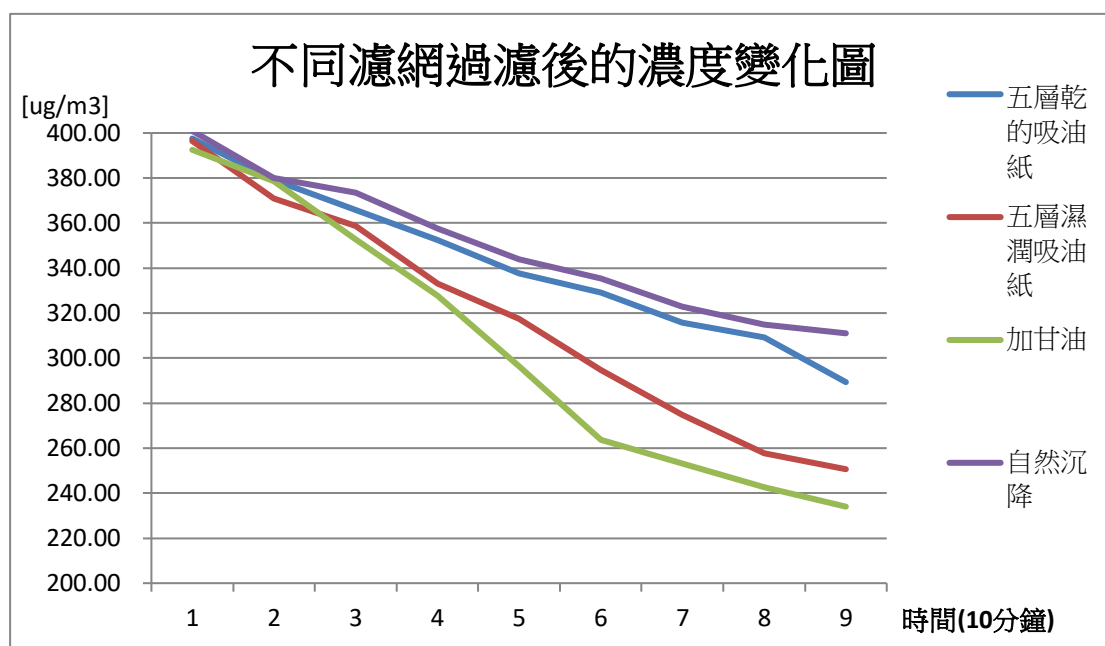
燃燒後濃度	降幅 1	百分比	降幅 2	百分比 2
567.85	377.43	66.47%	306.47	53.97%
683.00	515.06	75.41%	384.77	56.34%
891.72	647.19	72.58%	461.36	51.74%
335.71	283.02	84.31%	180.32	53.71%



五層過濾的效果平均能降至 53.94%(誤差值±2.3%)，比單層的增加了 10%的過濾量，但是利用水吸附，只能捕獲水溶性的物質，油溶性物質能安全通過沾水吸油紙，所以我們在外面放了一層甘油，想吸附油溶性物質，增加過濾量。

在自製污染物時，環境本身的濃度也會自然降低，有可能是黏附在地面、牆上，也有可能是透過門縫飄散到外界，所以我們比較不同過濾方式和自然沉降的濃度變化，得到以下結過:

五層乾的吸油紙 [ug/m3]	五層水	加甘油	自然沉降
397.56	396.46	392.52	400.94
379.15	370.78	378.58	380.01
365.77	358.74	352.60	373.51
352.50	333.06	327.69	357.53
337.54	317.36	296.26	343.92
329.14	294.71	263.69	335.50
315.59	274.90	253.19	322.91
309.19	257.65	242.61	314.86
289.32	250.63	234.01	311.00



所有的過濾方式都有效果，可看出乾燥的吸油紙雖然有效果，但是降幅比自然沉降不明顯，在上方沾水以後，過濾效果提升許多，五層濕潤吸油紙再加了一層甘油後，能對付的污染物更多了，所以效果最好。

柒、結論

- 一、利用降溫冷凝的方式可以有效降低 pm2.5 的濃度至 36.60%。
- 二、如果要用降溫凝結的方式過濾，環境的相對濕度越高，過濾效果越好。
- 三、蒐集到的冷凝液中導電度提高，代表冷凝水中含有較多空氣中的雜質。
- 四、在室溫下利用濕潤的吸油紙能過濾掉 37%的污染物，證明濕潤的表面對吸附雜質也有效果。此方法的耗能較低，且能過濾大量的空氣。
- 五、有些具有揮發性、香味的物質並不能被 sensor 偵測，但不代表不會影響人體。
- 六、蒸發蠟、燃燒紙張、線香會大幅增加空氣中的污染物濃度。
- 七、利用五層濕潤吸油紙，能過濾掉許多上述燃燒的污染物中水溶性物質，再加上一層沾甘油的吸油紙後，還能過濾掉油溶性物質，提升過濾效果。

捌、參考資料

- 1.鄭宗岳；林鴻祥(2011)空氣汙染防治理論設計 新文京開發出版股份有限公司
- 2.行政環保署 空氣品質監測網 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/b0202.aspx>
- 3.大氣科學教室 大氣的組成 空氣汙染物
http://lain.atm.ncu.edu.tw/library/lain_4/encyclopaedia/lainbook/Ch1/1-2p0.htm
- 4.對照表(相對濕度、環境溫度、結露溫度)
<http://www.tande.com.tw/te-condensation.htm>
5. Arduino pm2.5 偵測程式及電路圖 <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=348331.0>
6. 結露溫度溼度 <http://www.tande.com.tw/te-condensation.htm>
7. 維基百科空氣汙染
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A9%BA%E6%B0%A3%E6%B1%A1%E6%9F%93>
8. Arduino Dust Sensor 控制程式(開源)
- 9.105 學年度國中三年級下冊自然課本，康軒版 4-2 環境汙染

【評語】 030804

1. 用冷凝效應過濾 PM2.5 有一些創意。學生利用 ARDUINO 進行偵測設計，很好。
2. 以冰塊達冷凝效果，需額外能源，若以多層濕潤吸油紙搭配沾甘油的吸油紙，能提升過濾效果，此宜考慮實務應用問題。另 PM2.5 成分複雜，如何模擬此汙染物質，又是另一值得探究議題。
3. 應說明冷凝方式與現行除濕機與冷氣不同之處。有一實驗結果數據呈現顏色混亂無法辨別。
4. PM 去除設施之實用性低，此種方法過濾 PM2.5 效率似乎要很長時間。

摘要

上一屆作品「pm2.5 遠離我」，藉由通電的金屬網吸附 pm2.5，達到約 32% 的過濾量，這次利用冷凝的方法來降低 pm2.5 濃度；平均約可降低 63.4%；過濾時，相對濕度愈高效果愈好；測量被吸附的水滴中也含有更多空氣中的雜質；最後探討在室溫不冷凝，只用水過濾，過濾量仍有 37%，這可減少因冷凝而耗費的能源。在密閉空間中自然蒸發樟腦油或薄荷油等，即使氣味濃烈，偵測不到氣味分子的數值，但是加熱使蠟燭蒸發或是燒 A4 紙、線香，都使 pm2.5 數值飆高至危險值的 10 倍，幸好用水或甘油過濾都能有效降低。

壹、研究動機

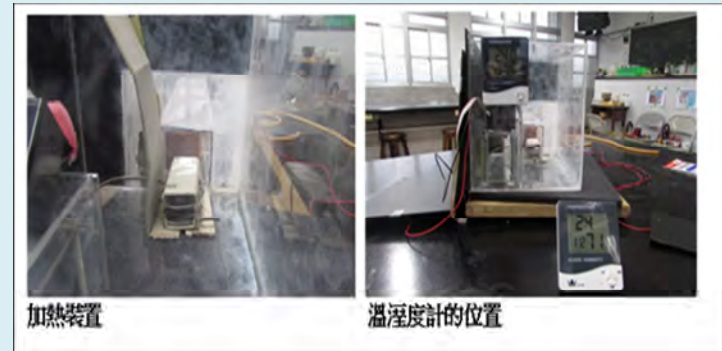
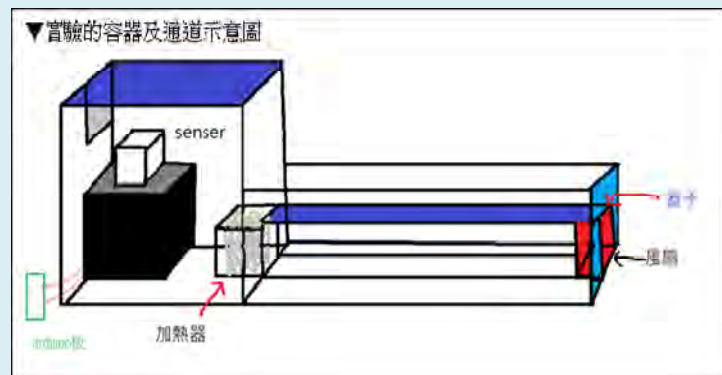
pm2.5 (直徑 2.5 微米以下) 能滲透到微血管中影響健康。但只有 1 微米以下的物質才能進出的微血管。那 pm2.5 超過 1 微米，如何進入微血管呢？我們猜測有害物質原本小於 1 微米，在空中吸附水氣後變大成 2.5 微米，進入人體後水被吸收，粒徑縮小才能進入微血管中，隨血流在全身產生傷害。於是我們假設若是能吸收空气中的水氣，就能同時吸收空气中的污染物，於是利用冷凝的方法吸附水氣，以降低 pm2.5 的濃度。

貳、研究目的

- 一、研究降溫來吸附水氣，是否能降低 pm2.5 濃度？
- 二、研究收集冷凝後的水滴，檢測是否含有更多雜質？
- 三、研究在室溫下，濕潤環境是否能吸附 pm2.5？

參、研究設備與器材

- 一、容器及通道 (壓克力板、刮刀、銅片、熱熔膠、快乾膠、瓦楞板、橡皮管、冰塊、12V 風扇、鱷魚夾、12V 鉛電池、麵包板、電阻)
- 二、PM2.5 濃度感測器 (麵包板、Arduino 微控制器、杜邦線、傳輸線、5V 電源供應器)
- 三、加熱裝置 (鎳鉻絲、厚紙板、導線、鱷魚夾、電源供應器)



肆、研究過程與方法

一、空氣汙染物組成：

1. 二氧化硫：源於火山、工業過程及煤、石油燃燒產生。氧化形成酸雨。
2. 一氧化碳：無色無味無刺激但有毒。源於汽車廢氣和不完全燃燒。

3. 二氧化氮：高溫或閃電所產生，紅棕色，刺鼻。
4. 氨氣：農業過程產生的腐蝕性氣體，刺激性。

次生汙染物包含：

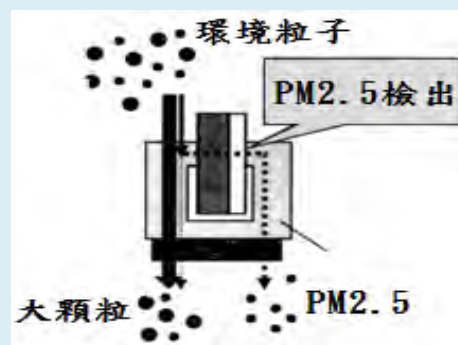
1. 霾：汽車和工業排放產生。
2. 地面臭氧層：反常的濃度是汙染物的一種，導致霾產生。

二、PM2.5 懸浮微粒濃度感測器

(一) sensor 運作原理：

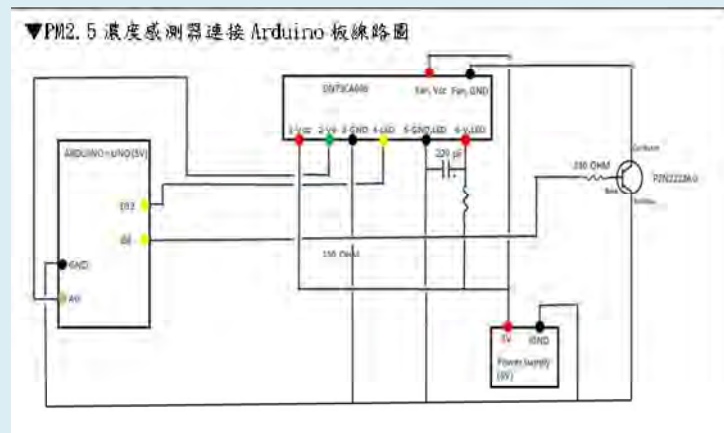
Sensor 內有小風扇，定量抽取外界空氣。只有 PM2.5 曾經右方有 LED 與光感測器的通道。

Sensor 會先檢測 100 次背景光 (0.6 秒/次)。接著內部小風扇運轉，每 0.6 秒照光一次，算出 PM2.5 濃度。



(二) 實驗原理：

將 Sensor 接上 arduino 板及線路 (如下圖)，利用風扇抽氣，使氣流通過放冰塊的通道，並利用銅片的導熱性，達到更好的冷凝效果，此時氣流通過低溫環境，水氣被凝結成水滴，留在通道中，由凝結水滴時吸附 pm2.5。



(三) 如何操作 Sensor 來測量有無降溫時 pm2.5 的濃度變化

1. 下載 Sensor 的控制程式，並將 Arduino 板連接電腦。
2. 靜置兩分鐘，使容器內 pm2.5 沉澱。
3. 開啟視窗，開始檢測背景值。
4. 測完後，開啟通道口的風扇，自外界抽空至容器內。
5. 測量通道外沒放冰塊的 pm2.5 濃度。
6. 將加熱裝置通電，避免溫度太低使 sensor 結露。
7. 在通道外放冰塊。檢測 pm2.5 冷凝後的濃度。

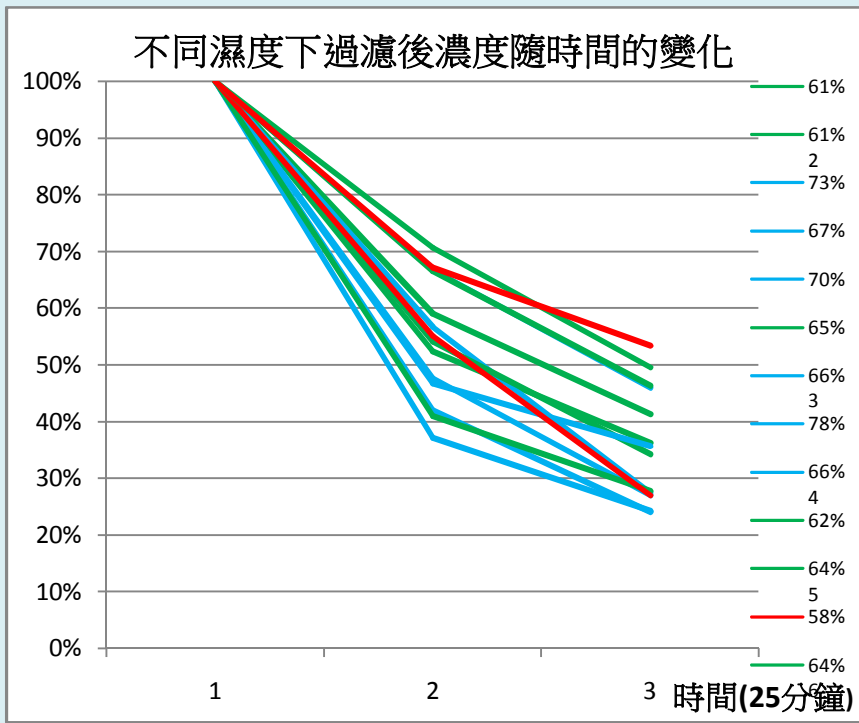
三、水質檢測原理

水質檢測筆是利用電極 (離子數) 去檢測水的導電性。在大氣中易溶於水的空氣汙染物有二氧化硫、氨氣、二氧化氮等，這些有害物質溶於水都能解離，增加冷凝液中的離子。檢測冷凝液中的離子量來確定我們有蒐集到有害物質。

伍、研究結果

(一) 冰塊冷凝：每次實驗，先測大氣環境的 pm2.5 濃度，通道外放冰塊冷凝後每隔約 25 分鐘測量並計算時間內的剩餘濃度平均值，然後對照環境值算出剩餘濃度百分比，結果如下表：

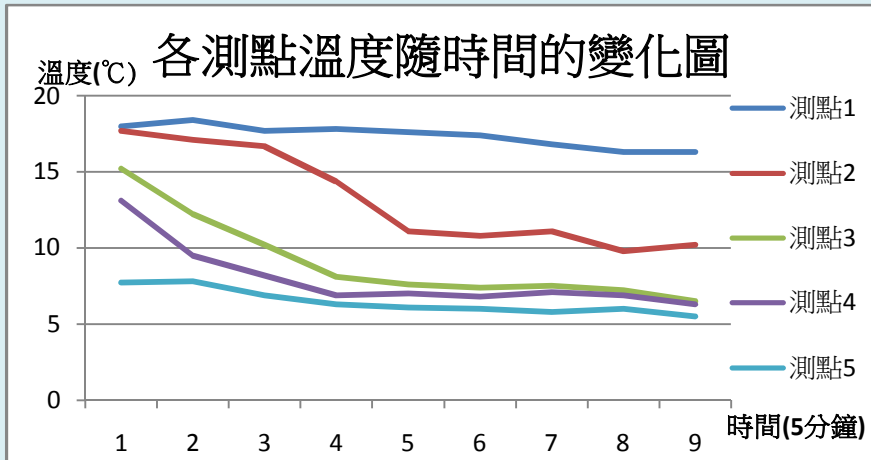
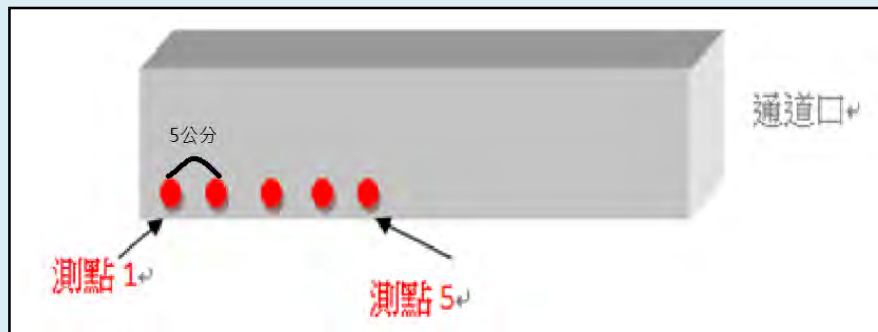
pm2.5 濃度在實驗中之變化 (單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)：



這張圖顯示每 25 分鐘，剩餘 pm2.5 的百分率變化圖。可以看出 50 分鐘後可以平均降低 63.4% (誤差值：±12.75%)。

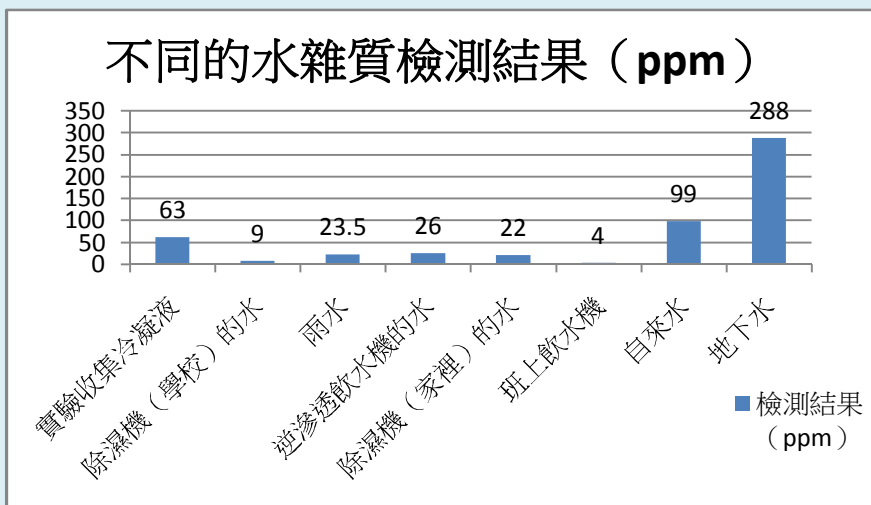
接著我們在通道周圍放置冰塊，靜置 20 分鐘，然後利用熱耦溫度計測量不同定點的溫度隨時間降低的幅度，如下：

各測點位置示意圖：



通道內不同位置，降溫效果不同，中心點降溫效果最佳。

二、水質檢測筆以導電原理測量下列水質的雜質含量比較：



陸、討論

一、利用冰塊降溫冷凝的結果：

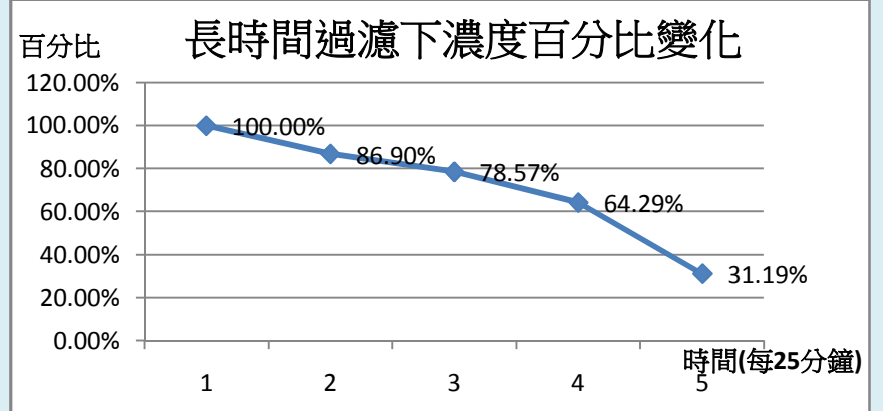
過濾時間越久，pm2.5 粒子被通道內壁及銅片上的小水滴吸附的可能性就越高，所以過濾效果會隨時間提升。可被水捕獲的粒子有：沙塵、植物的花粉或孢子、海鹽、煤灰、氮氣和二氧化硫等。不能被水捕獲的粒子則有：烷類、一氧化氮、油煙等。前者才會在經過通道時吸附在內壁或銅片上的水上，原本在空中就跟水蒸氣結合的粒子也會在水被冷凝時留在通道中。這些可被捕獲的粒子不全然都會在水中解離，只有電解質被蒐集才

會被水質檢測筆檢測到。

二、水質檢測結果：

收集到的冷凝液，是由環境不斷通過通道的汙染物質持續被捕獲，雜質或離子濃度高於學校除濕機的水和雨水，可以證明冷凝的方式確實可以吸附空氣中的雜質。可是，只有將近 9 立方公尺的空氣被過濾，就算過濾效果優良，但對於生活空間淨化空氣的效率可能不夠。

後來觀察到的過濾效果：



並沒有因為通道外的冰塊減少而變得比較差，測量冷凝通道末端的溫度，發現溫度由 5°C 上升到 8°C，所以溫度升高並沒有降低捕獲 pm2.5 的效果，暗示，捕獲效果和通道內已經凝結的水有比較密切的關係。

通道內冷凝大量的水：

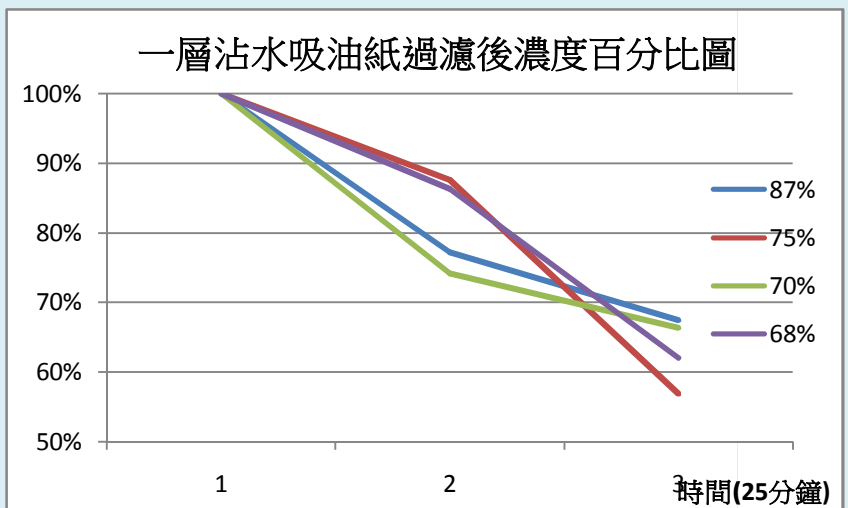
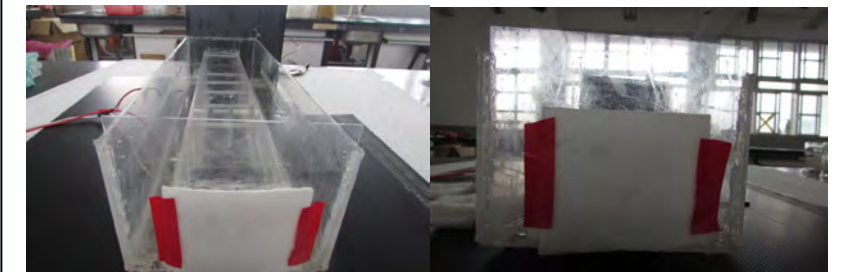


觀察到的凝結狀況下：顯示通道內壁和銅片上已經凝結很多水滴，可見通道內如果含有大量的冷凝水，也會提升過濾效果。

如果在室溫下使氣流通過潮濕的環境，是否有捕獲效果呢？

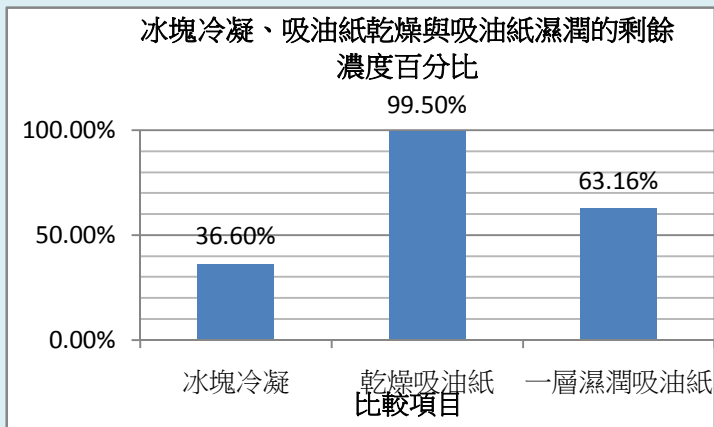
在上一屆作品中，利用摩擦的方式，使吸油紙上產生靜電，發現吸附效果不佳，幾乎無過濾效果，當時為孔洞太大，不足以吸附 pm2.5，所以我們這次沾濕吸油紙，將其放在洞口，使帶有 pm2.5 的水氣撞到沾水的吸油紙後被吸附，藉以降低 pm2.5 濃度。

下圖為一層吸油紙黏在通道口的照片：



原本乾的吸油紙沒有過濾效果，而吸油紙沾濕後則過濾掉了 37% 的汙染物。所以證明過濾效果的提升是因為水的功效，而不是吸油紙本身的吸附。利用一層沾水吸油紙平均可以降低濃度至 63.16% (誤差值±5.31%)，推測這些被過濾掉的 pm2.5 是水溶性物質。

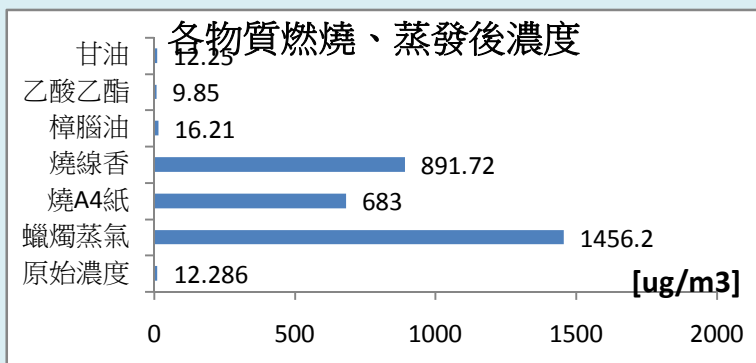
三、以下是不同過濾方式過濾效果的圖表：



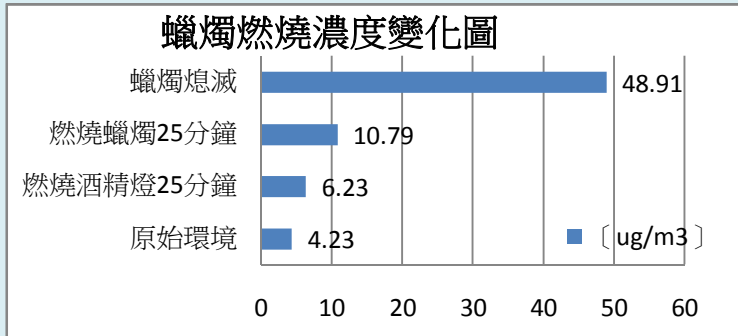
由上表可看出，利用冰塊冷凝的方式效果最好，而把吸油紙沾濕也使效果提升許多。

四、自製汙染物

我們在密閉房間中自製汙染物，讓乙酸乙酯等自然揮發也燃燒，這樣能確定汙染物的性質，可更進一步的去探討。



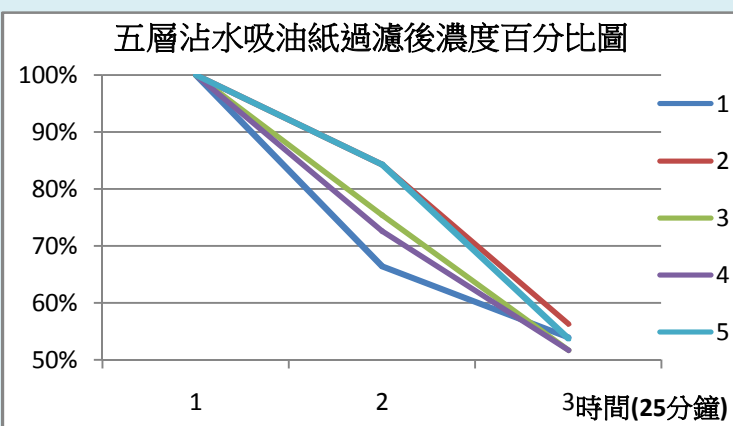
一些蒸氣無法被 sensor 檢測，可能是因為粒子太小，只有在燃燒物質的時候，濃度才會飆升很多。



但是在燃燒酒精燈和蠟燭時，反而是在蠟燭熄滅，濃度有了明顯的變化，推測原本燃燒的是它們的蒸氣，產生二氧化碳和水等氣體，所以物質小的 sensor 無法檢測，但在熄滅時，是高溫的蠟油變成了蒸氣被 sensor 檢測到。我們也得到結論：避免出現在寺廟、焚化廠，這些場所都燒出大量有害物質，嚴重影響我們，而具有氣味的氣體，雖然不被檢測到，但不代表對人體不會產生影響，也要盡量遠離。

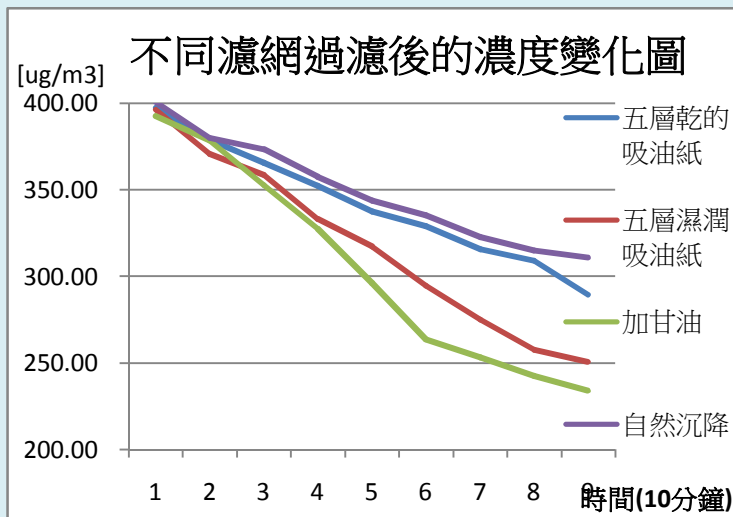
既然一層有效，於是增加成五層來過濾自製的汙染物：

放在通道的五層吸油紙(通道的蓋子設計成可拆式):



五層的效果平均能降低 53.94%(誤差值±2.3%)，但是利用用水只能捕獲水溶性物質，油溶性物質能安全通過沾水吸油紙，所以我們在外面放了一層甘油，想藉由醇類吸附油溶性物質，增加過濾量。

在自製汙染物時，環境本身的濃度也會自然降低，有可能是黏附在地面、牆上，也有可能是透過門縫飄散到外界，所以我們比較不同過濾方式和自然沉降的濃度變化，得到以下結果：



所有的過濾方式都有效果，可看出乾燥的吸油紙雖然有效果，但是降幅比自然沉降不明顯，在上方沾水以後，過濾效果提升許多，五層濕潤吸油紙再加了一層甘油後，能對付的汙染物更多了，所以效果最好。

柒、結論

- 一、利用降溫冷凝的方式可以有效降低 63.4% 的 pm2.5。
- 二、如果要用降溫凝結的方式過濾，環境的相對濕度越高，過濾效果越好。
- 三、蒐集到的冷凝液中導電度提高，代表冷凝水中含有較多空氣中的雜質。
- 四、在室溫下利用濕潤的吸油紙能過濾掉 37% 的汙染物，證明濕潤的表面對吸附雜質也有效果。此方法的耗能較低，且能過濾大量的空氣。
- 五、有些具有揮發性、香味的物質並不能被 sensor 偵測，但不代表不會影響人體。
- 六、蒸發蠟、燃燒紙張、線香會增加汙染物濃度。
- 七、利用五層濕潤吸油紙，能過濾掉許多上述燃燒的汙染物中水溶性物質，再加上一層沾甘油的吸油紙後，還能過濾掉油溶性物質，提升過濾效果。

捌、參考資料

1. 鄭宗岳；林鴻祥(2011)空氣汙染防治理論設計 新文京開發出版股份有限公司
2. 行政環保署 空氣品質監測網 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/b0202.aspx>
3. 大氣科學教室 大氣的組成 空氣汙染物 http://lain.atm.ncu.edu.tw/library/lain_4/encyclopaedia/lainbook/Ch1/1-2p0.htm
4. 對照表(相對溼度、環境溫度、結露溫度) <http://www.tande.com.tw/te-condensation.htm>
5. Arduino pm2.5 偵測程式及電路圖 <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=348331.0>
6. 維基百科空氣汙染 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A9%BA%E6%B0%A3%E6%B1%A1%E6%9F%93>
7. 105 學年度國中三年級下冊自然課本，康軒版 4-2 環境汙染