

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 地球與行星科學科

佳作

051902

「塵」風盡墜

－ 探討空汙粒子擴散特性及口罩對其防範效果

學校名稱：國立屏東高級中學

作者：  高二 周哲宇  高二 張容誠  高二 林宥辰	指導老師：  張凱雯
---	------------------

關鍵詞：空汙粒子、布朗運動、口罩

## 摘要

近年來霾害對台灣影響嚴重，南臺灣又因各種因素而使霧霾擴散不易，影響我們的吸呼品質，因此決定了解空汙粒子的特性，以及口罩對其的防範效果。本研究中，我們利用紅外線反射偵測的空汙感測器和電阻式溫溼度感測器來探討空汙粒子的擴散運動。透過布朗運動的原理了解空汙粒子的傳播情況，並加入濕度參數來做討論，其研究結果發現若空汙粒子濃度越高，其單位空間的擴散速率越快，而所需的平衡時間越長。從實驗中，我們也證明布朗運動中的擴散係數  $D$  值不隨著初始濃度和濕度而改變，可視為一個定值。最後我們測試了不同口罩對空汙粒子的阻隔性，發現對空汙粒子的防禦力為：活性炭口罩=外科口罩=口罩中層>>布口罩>口罩內層=活性炭層>口罩外層。

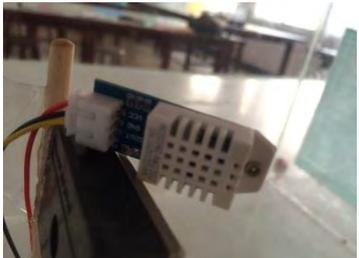
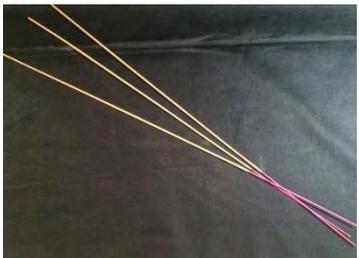
## 壹、研究動機

近來高屏區空氣品質下降，不斷出現「紫爆」的情況，嚴重干擾我們的生活。中央氣象局曾指出，高屏地區是工業區重鎮，每逢季節風向轉變時刻，空氣向外擴散不易，有時可從衛星雲圖上看到一條雲帶分布，全是 MIT(台灣製造)的空氣汙染，且時常一連好幾天霧濛濛，危害人體健康。且在戴起口罩後，有時還是會感覺到空氣的沉悶，甚至是過敏的現象產生，因此決定加以了解空汙粒子擴散的相關變因，以及檢測不同口罩對空汙粒子的防範效果，是否真能有效的阻擋污染物的危害。

## 貳、研究目的

- 一、 了解空汙粒子濃度與擴散時間之關係。
- 二、 了解空汙粒子擴散時間與濕度相關性。
- 三、 分析口罩對空汙粒子的阻擋效果。

## 參、研究設備及器材

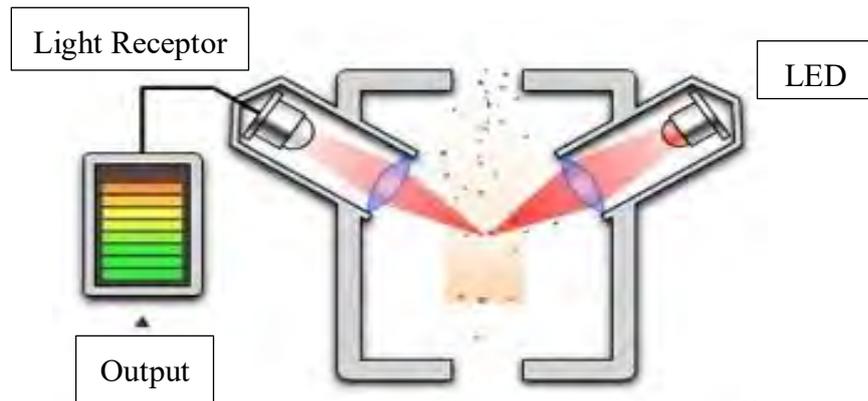
壓克力箱	Arduino Uno 開發版	USB 接頭小型電風扇
		
GP2Y1014AU0F 塵埃感測器	DHT22 溫溼度感測器	抽離式活動紙板隔層
		
噴霧器	線香	外科口罩
		
活性炭口罩	布口罩	外科、活性炭口罩外層
		
外科、活性炭口罩中層	外科、活性炭口罩內層	活性炭口罩碳層
		

## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗原理

#### (一) GP2Y1014AU0F 塵埃感測器

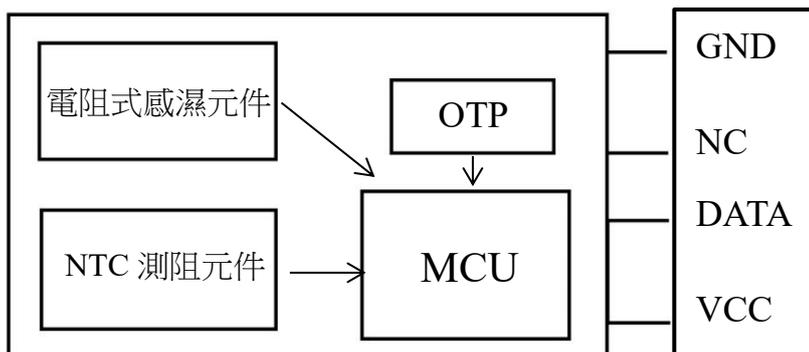
GP2Y1014AU0F 是一款光學空氣品質感測器，設計用來感測空氣中的塵埃粒子，可偵測粒徑大於 0.8 微米的懸浮粒子。其內部對邊安裝紅外線發光二極體(LED)和光電晶體(Light Receptor)，使其能夠探測空氣中塵埃的反射光。



(如上圖所示)當空氣中的塵埃粒子通過感測器時，其內部的紅外線發光二極體(LED)發出的紅外線，會被空汙粒子反射，而反射光會通過光電接收器(Light Receptor)，進而將所接收到光的強弱程度，轉換成電壓輸出(Output)，最後再連接到 Arduino Uno 上產生數據。

#### (二) DHT22 溫溼度感應器

DHT22 是一款經過校准過且直接以數字訊號輸出的溫濕度感測器。內含一個電阻式感濕元件和一個 NTC 測溫元件，並與一個 8bit 單晶片相連接。



電阻式感濕元件測量濕度的變化，是透過其電阻隨濕度的改變來推算該時間點的溼度情況；而 NTC 測阻元件同樣也是藉由電阻隨溫度的改變來推出當下時間點的溫度情況。最後傳入 MCU 中，連接到 Arduino Uno 上產生數據。

### (三) 布朗運動 Brownian motion

在排除其他外力因素下，懸浮粒子的擴散由理想氣體方程式，可得

$$-\left. \frac{dP}{dx} \right|_{x_0} = -k_B T \left( \frac{d\rho}{dx} \right)_{x_0}$$

(其中 P 代表滲透壓， $k_B$  為波茲曼常數，T 代表溫度， $\rho$  為濃度)

所以，一個位於  $x_0$  位置的單一懸浮粒子所受的平均滲透壓合力為  $-\left. \frac{k_B T}{\rho} \frac{d\rho}{dx} \right|_{x_0}$ ，這就是驅使懸浮粒子從濃度高的地方，擴散到濃度低的地方的力量來源。因為懸浮粒子不規則的移動是屬於布朗運動，所以藉由愛因斯坦解釋布朗運動，所推出的結論可得：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}, \quad (\text{其中為 } D \text{ 質量擴散係數})$$

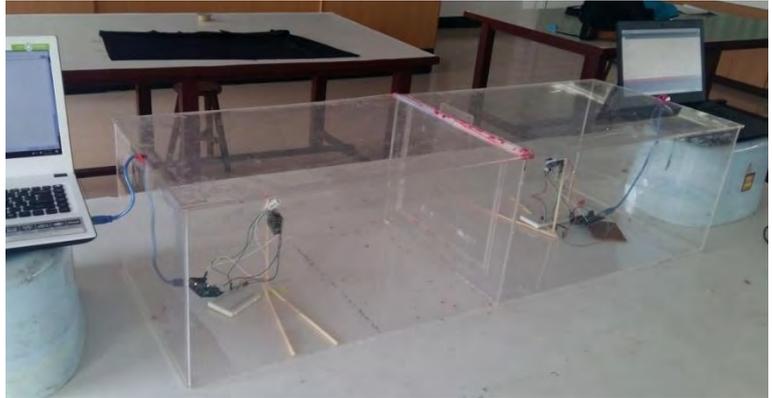
假設在初始時刻  $t = 0$  時，所有的粒子從原點開始運動，則擴散方程式的解為

$$\rho(x, t) = \frac{\rho_0}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\frac{x^2}{4Dt}}$$

因  $\rho$  為粒子的濃度，而  $\sqrt{4\pi D}$  可視為一個常數，因此我們可推得  $\rho$  和  $1/\sqrt{t}$  成正相關。

## 二、實驗方法

我們將空箱以隔板分隔成兩箱，皆架設塵埃感測器及溫濕度感測器，並以燃燒線香的一箱命名為「輸入箱」，而接收空汙粒子的另一箱則稱為「接收箱」。



(一) 實驗一：了解空汙粒子濃度與擴散時間之關係。

1. 先將輸入箱和接收箱的氣體濃度達平衡穩定。
2. 在輸入箱燃燒線香〈測試不同濃度〉，靜置一段時間，使輸入箱內濃度達平衡。
3. 拉開中間隔板，使氣體擴散，並使兩箱濃度達平衡穩定。
4. 將所測得的數據分析討論。

(二) 實驗二：了解空汙粒子擴散時間與濕度相關性。

1. 在輸入箱和接收箱先加入噴霧器控制實驗濕度，靜置一段時間，使兩箱濕度及氣體濃度達平衡穩定。
2. 在輸入箱燃燒線香，靜置一段時間，使輸入箱內濃度達平衡。
3. 拉開中間隔板，使氣體擴散，並使兩箱濃度達平衡穩定。
4. 將所測得的數據分析討論。

(三) 實驗三：分析口罩對空汙粒子的阻擋效果。

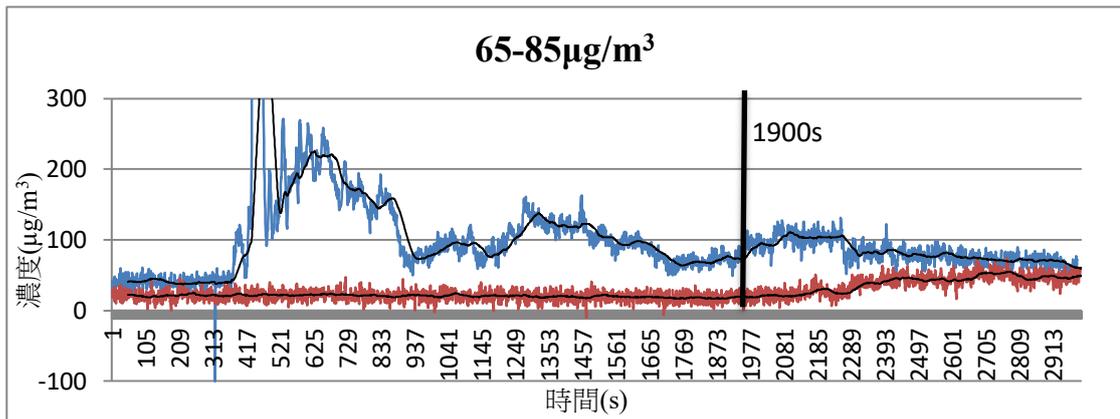
1. 在輸入箱放置小型電風扇〈模擬呼吸〉，於中間隔板凹槽處放入隔板並以活動紙板和口罩阻隔兩箱。
2. 先將輸入箱和接收箱的氣體濃度達平衡穩定。
3. 在輸入箱燃燒線香，靜置一段時間，使輸入箱內濃度達平衡。
4. 拉開活動紙板，並開啟電風扇，使氣體通過口罩。
5. 把所測得的數據分析討論。

## 伍、實驗結果

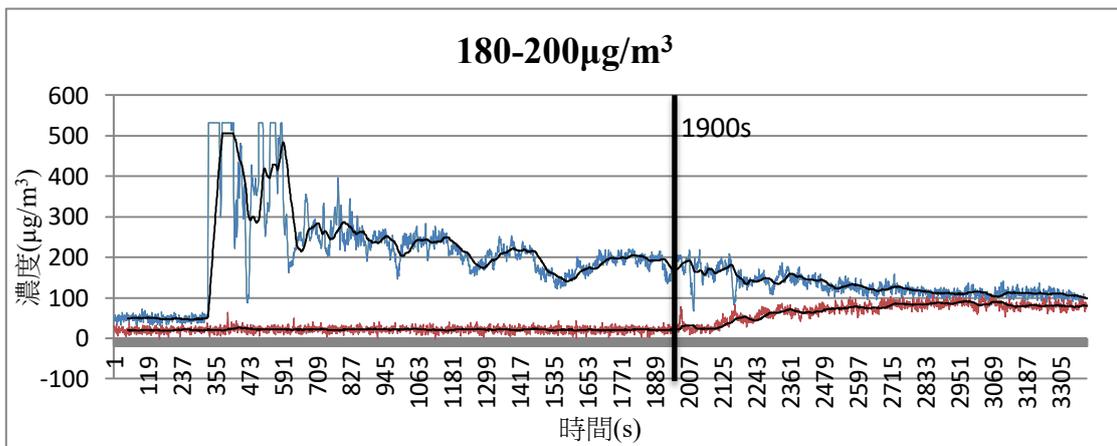
一、實驗一：了解空汙粒子濃度與擴散時間之關係。

以下呈現五組實驗結果，X 軸為時間，Y 軸為濃度，藍線和紅線分別為輸入箱和接收箱濃度隨時間變化圖，黑色粗體鉛直線為開箱時間，其他實驗結果請參見附錄。

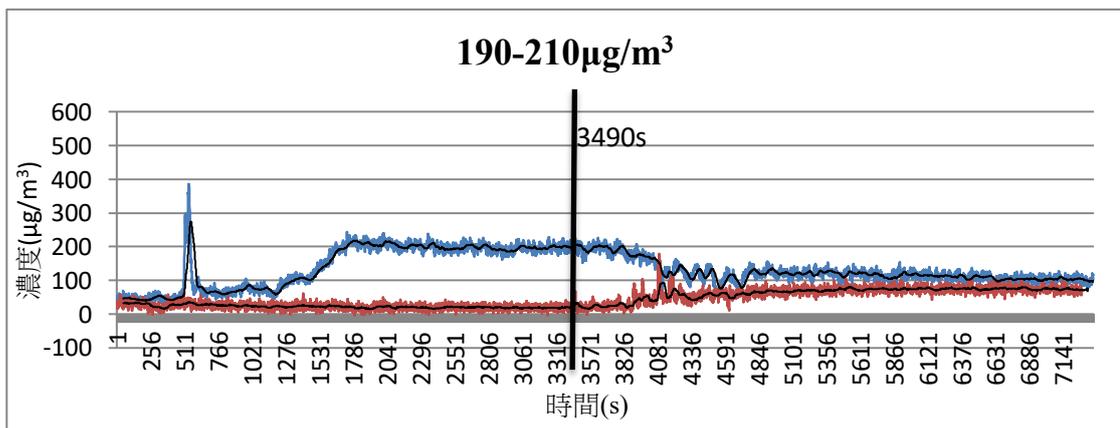
(一) 粒子濃度  $65-85\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



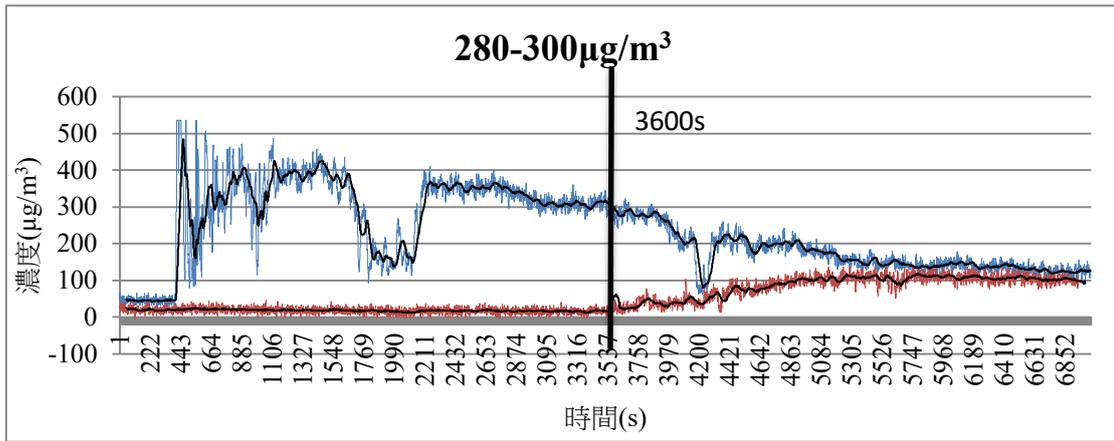
(二) 粒子濃度  $180-200\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



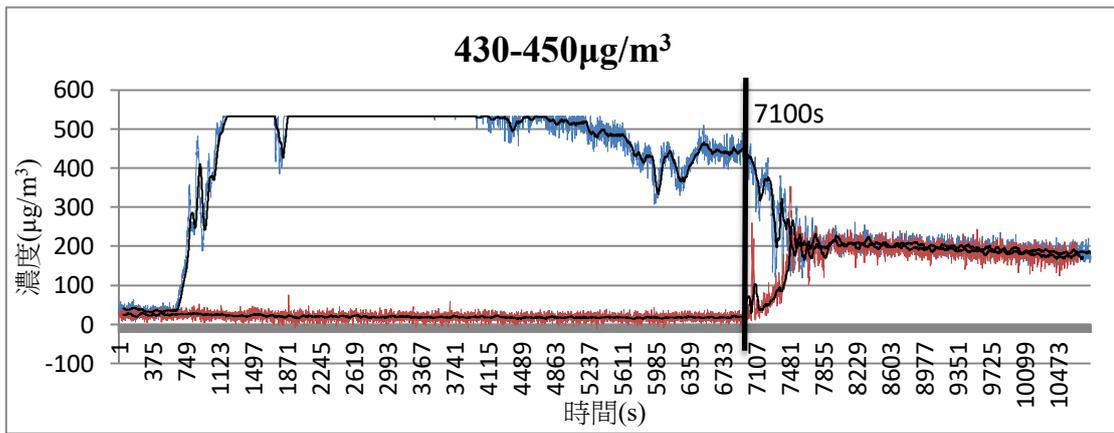
(三) 粒子濃度  $190-210\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



(四) 粒子濃度 280-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



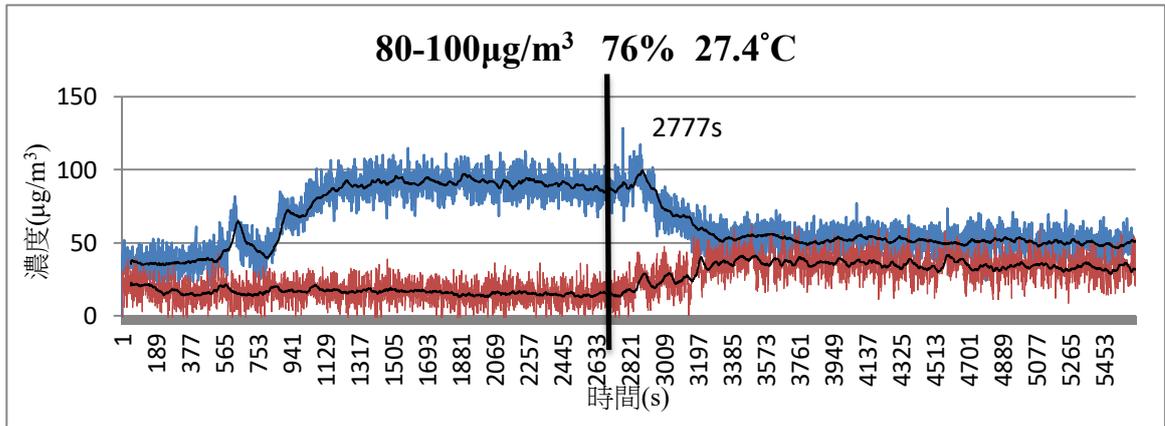
(五) 粒子濃度 430-450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



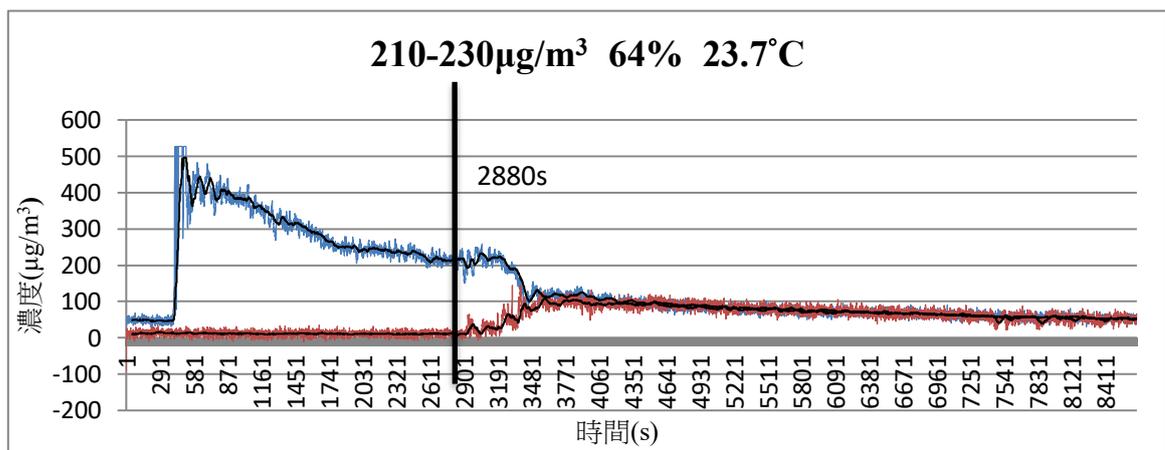
二、實驗二：了解空汙粒子擴散時間與濕度相關性。

以下呈現六組實驗結果，X 軸為時間，Y 軸為濃度，藍線和紅線分別為輸入箱和接收箱濃度隨時間變化圖，黑色粗體鉛直線為開箱時間，其他實驗結果請參見附錄。

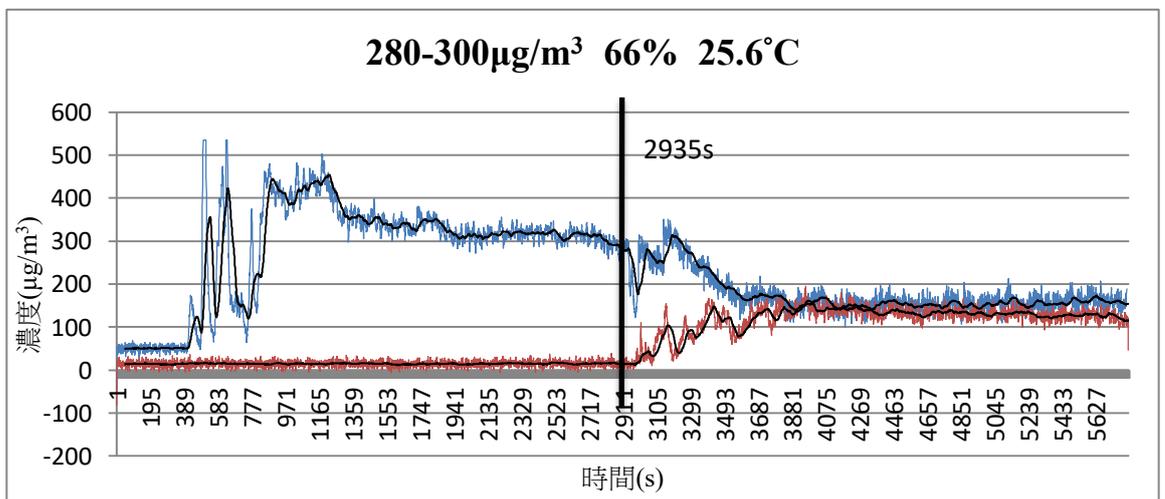
(一) 粒子濃度  $80-100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 76%：



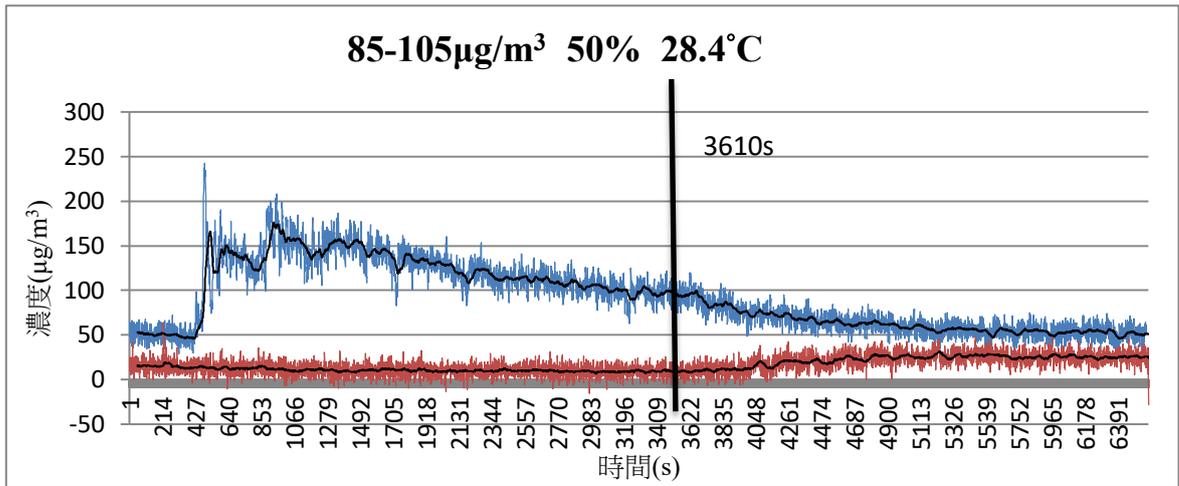
(二) 粒子濃度  $210-230\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 64%：



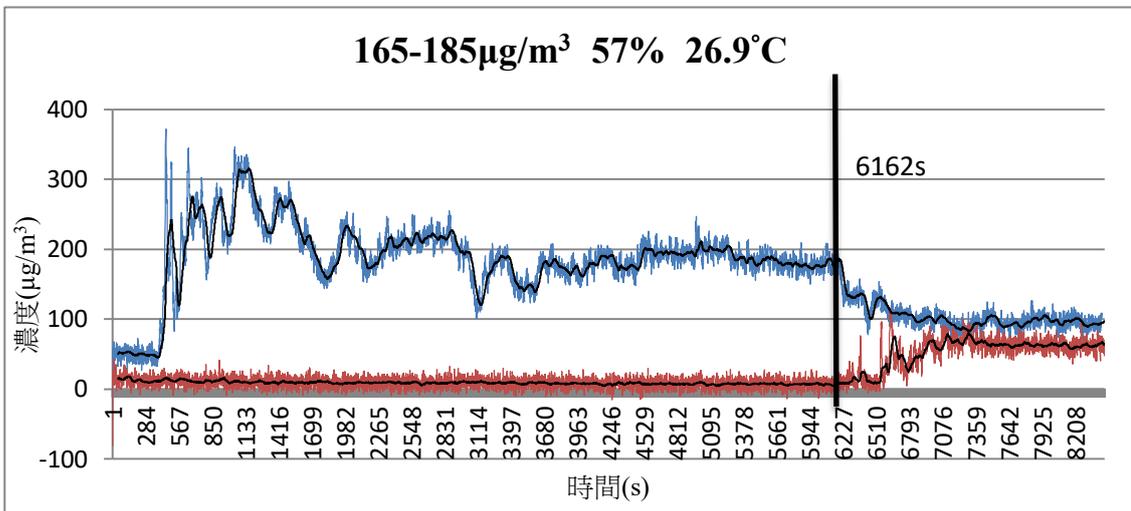
(三) 粒子濃度  $280-300\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 66%：



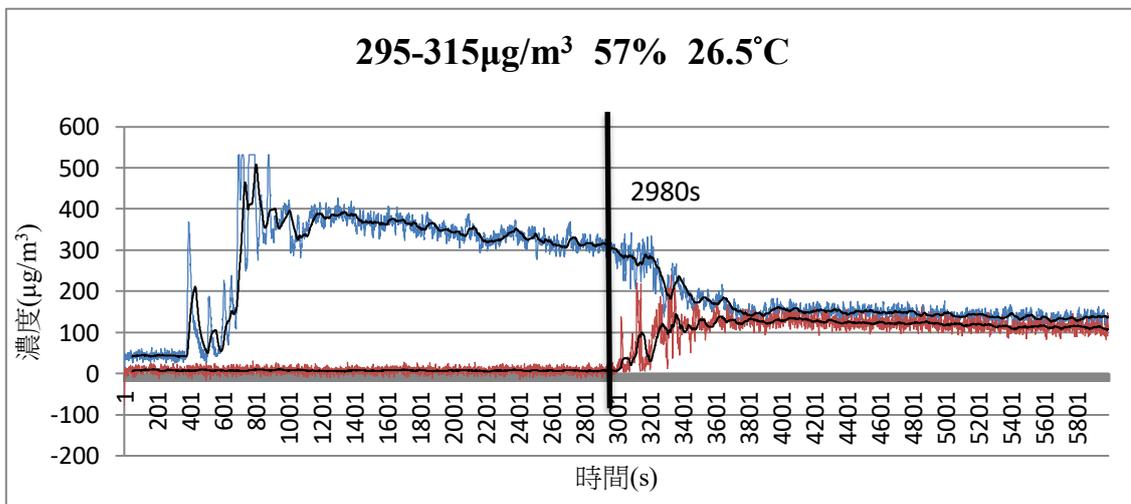
(四) 粒子濃度  $85-105\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 50%：



(五) 粒子濃度  $165-185\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 57%：



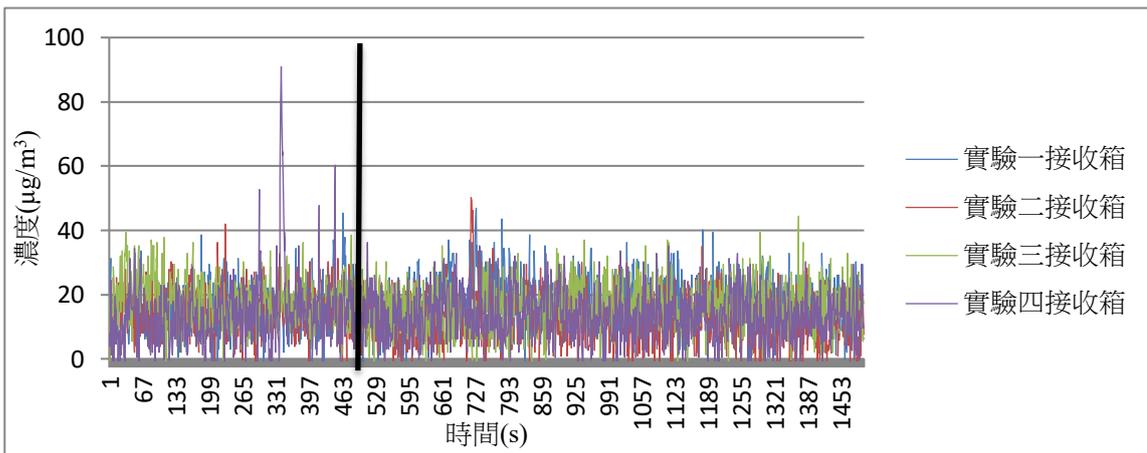
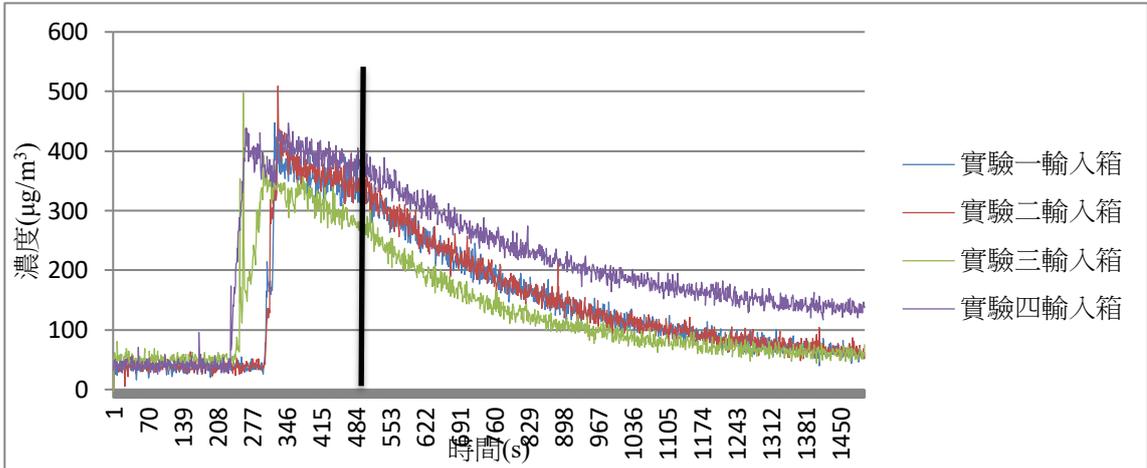
(六) 粒子濃度  $295-315\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 57%：



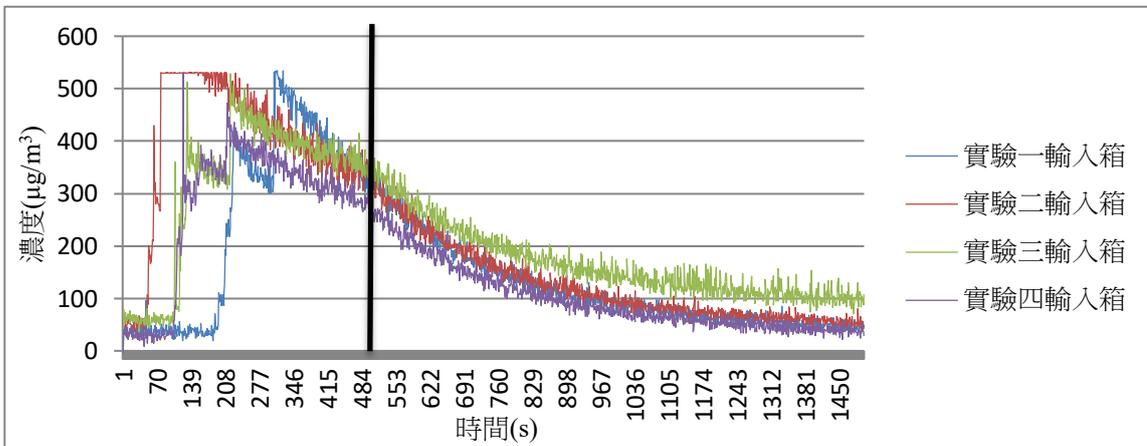
三、實驗三：分析口罩對空汙粒子的阻擋效果。

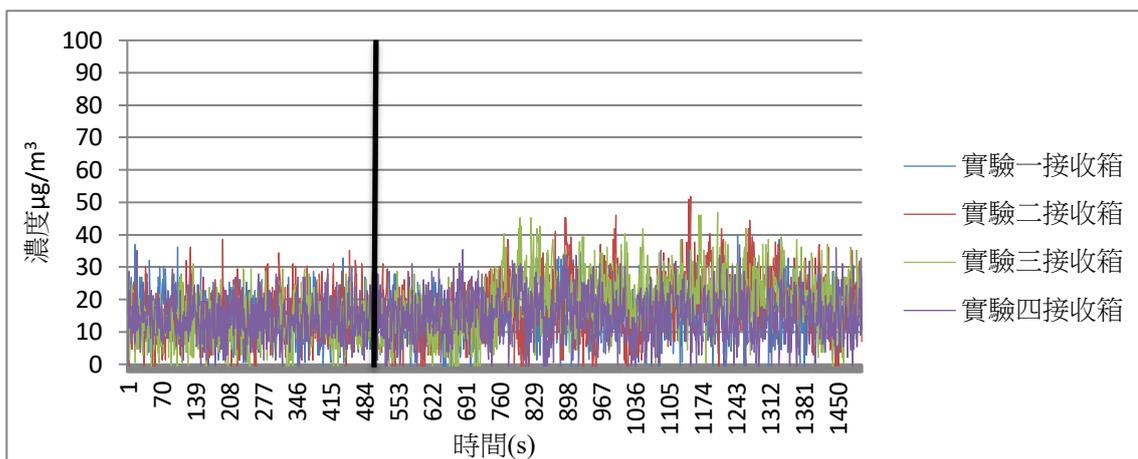
以下呈現不同口罩實驗結果，X 軸為時間，Y 軸為濃度，上圖和下圖分別為輸入箱和接收箱濃度隨時間變化圖，黑色粗體鉛直線為開箱時間第 500 秒。

(一) 外科口罩：(初始濃度分別為： $340\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $345\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $285\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $380\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

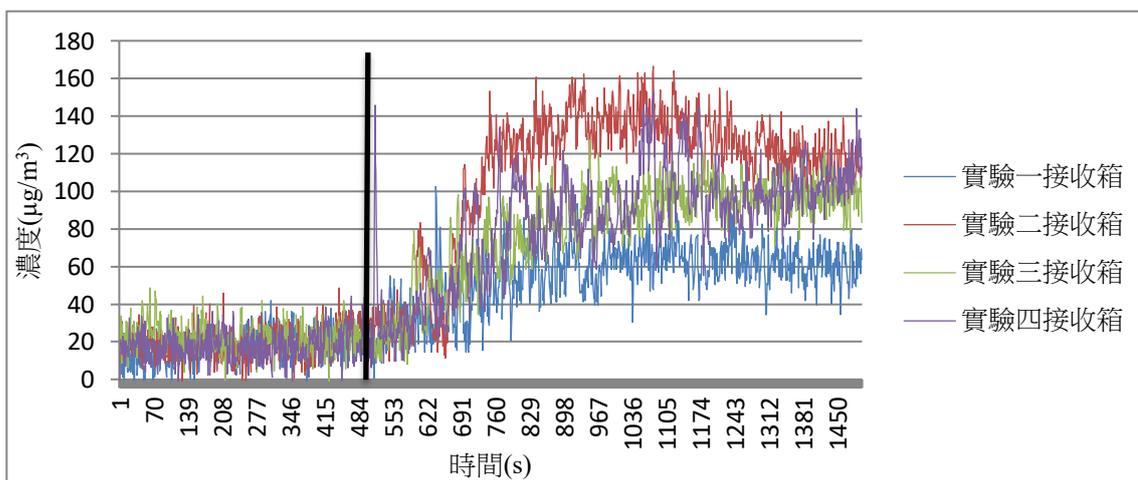
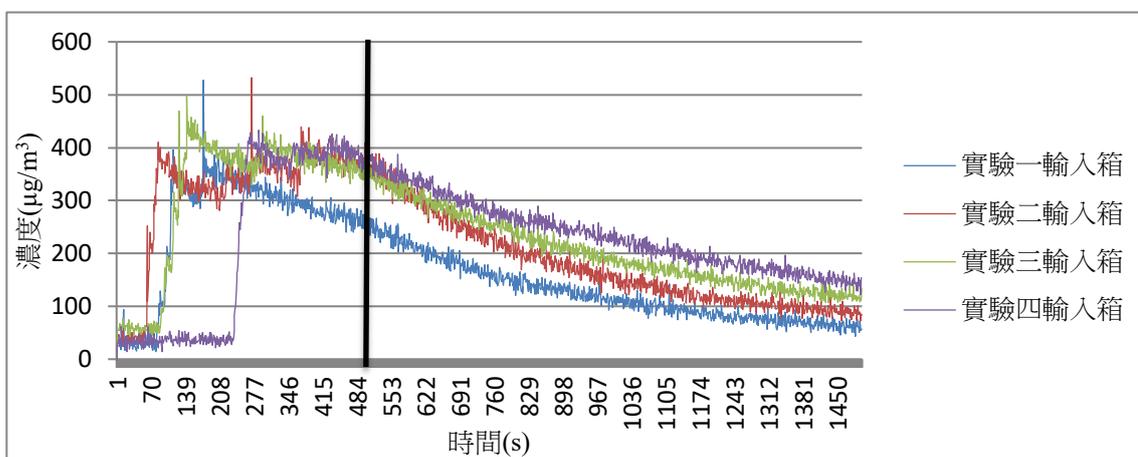


(二) 活性碳口罩：(初始濃度分別為： $350\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $340\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $360\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $290\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

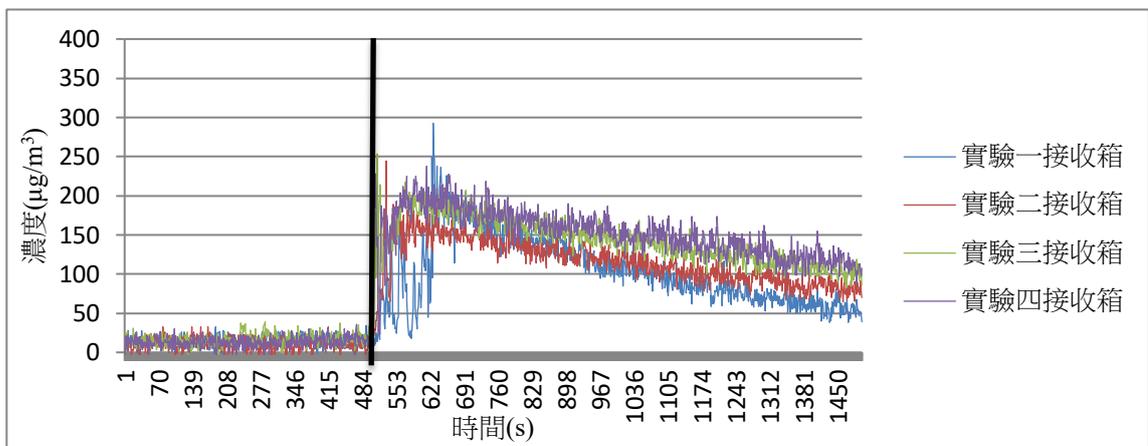
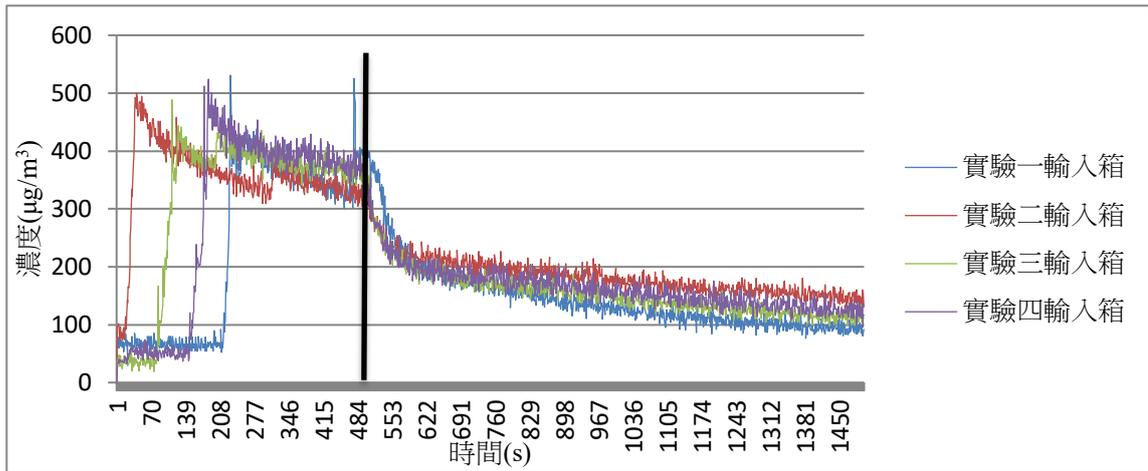




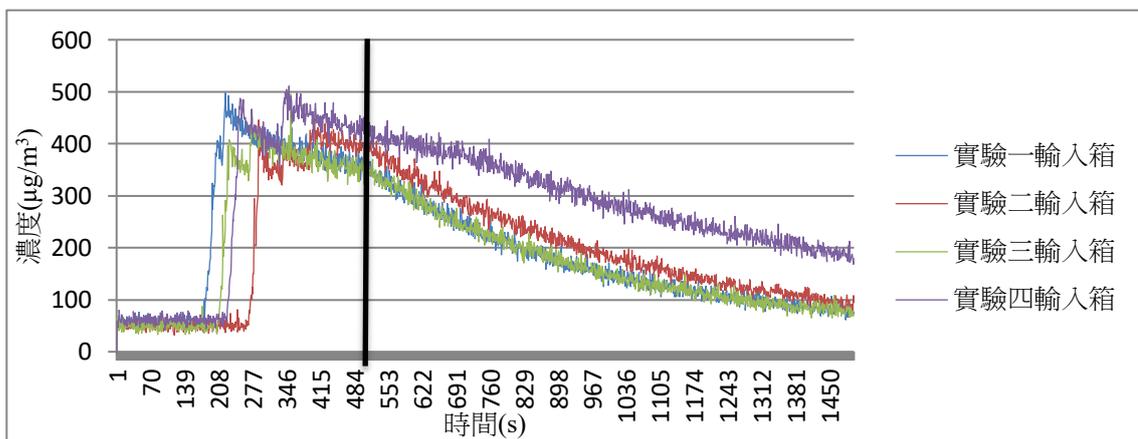
(三) 布口罩：(初始濃度分別為： $260\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $375\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $360\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $390\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

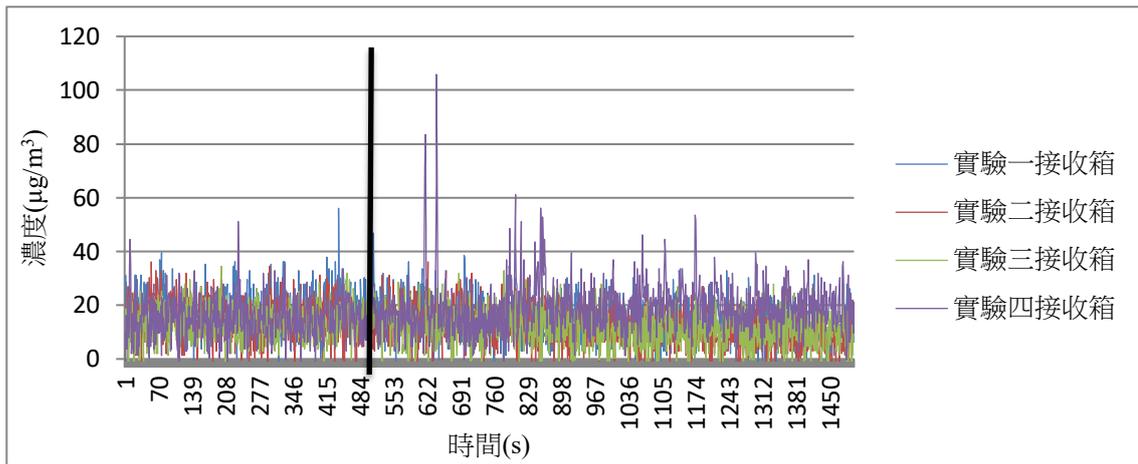


(四) 外科口罩內層：(初始濃度分別為：365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、325 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

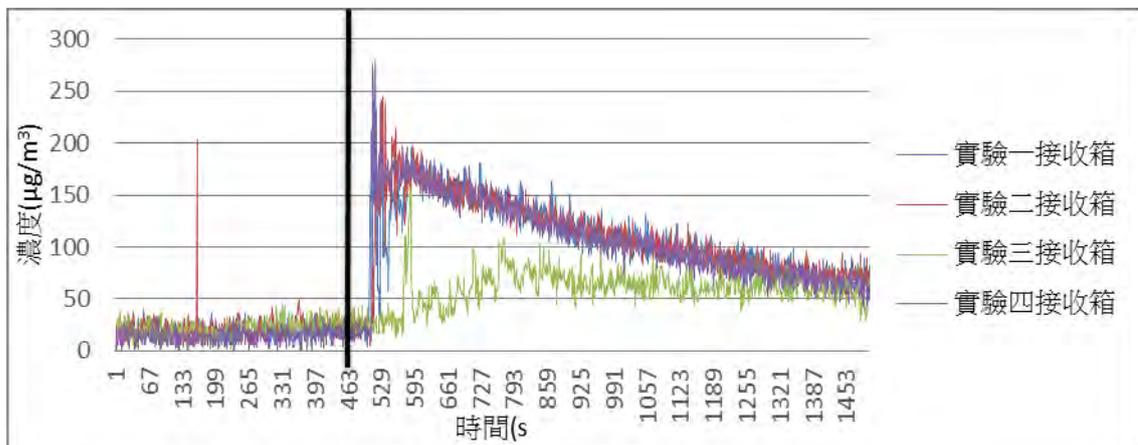
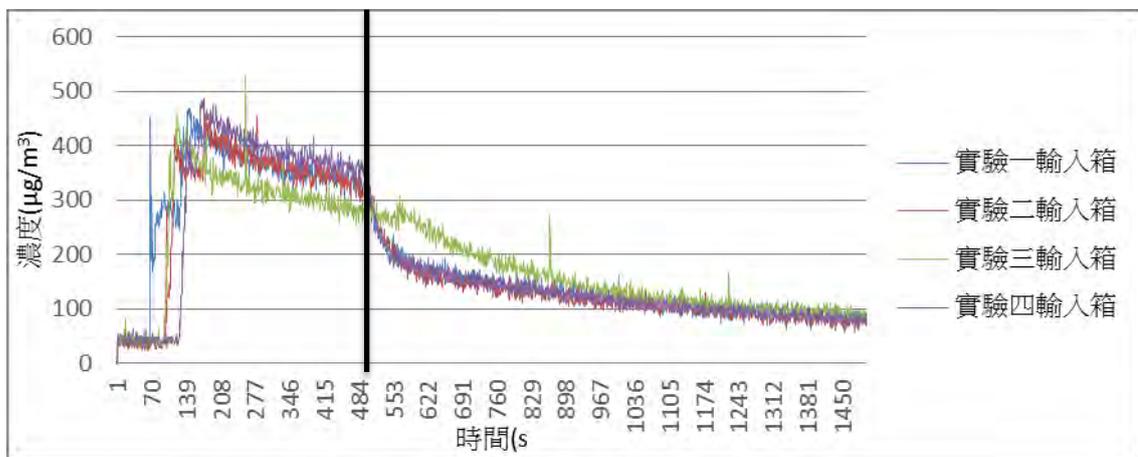


(五) 外科口罩中層：(初始濃度分別為：365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、355 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、430 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

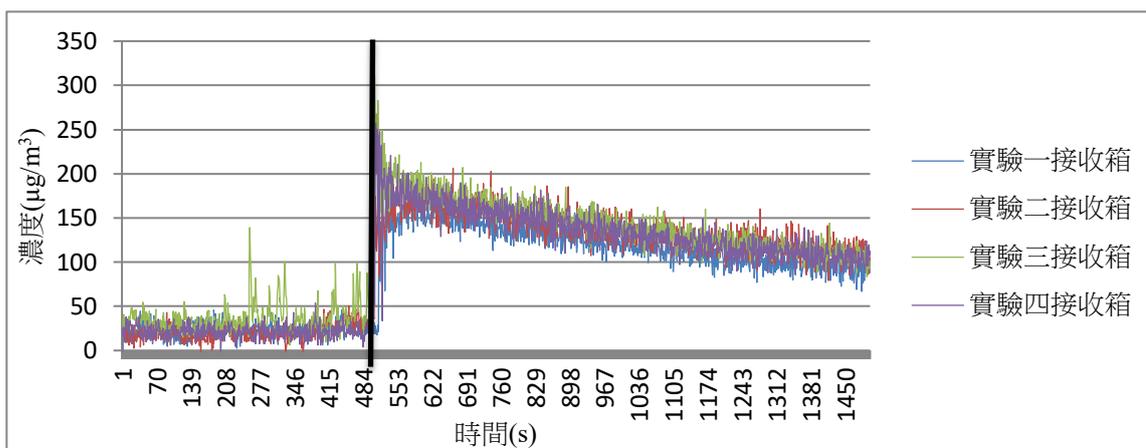
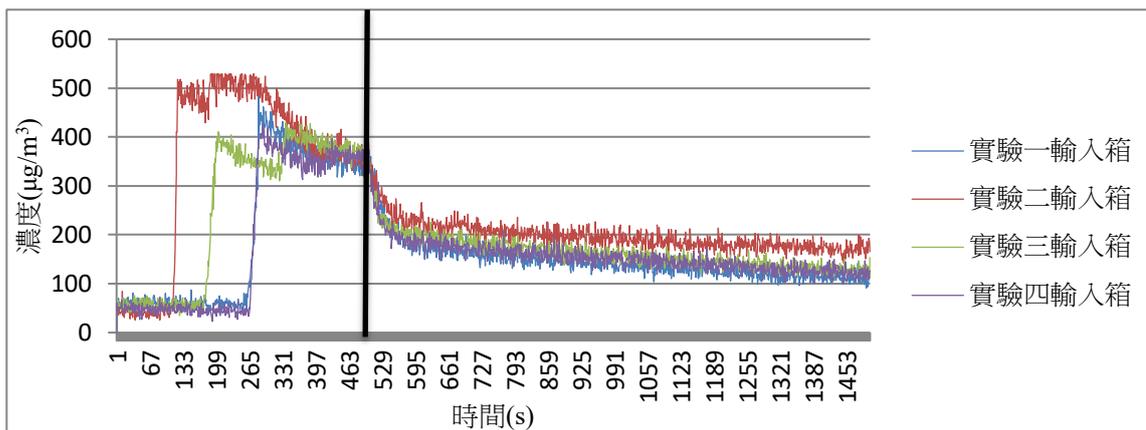




(六) 外科口罩外層：(初始濃度分別為： $330\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $330\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $280\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $360\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



(七) 活性碳口罩碳層：(初始濃度分別為：340 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、370 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

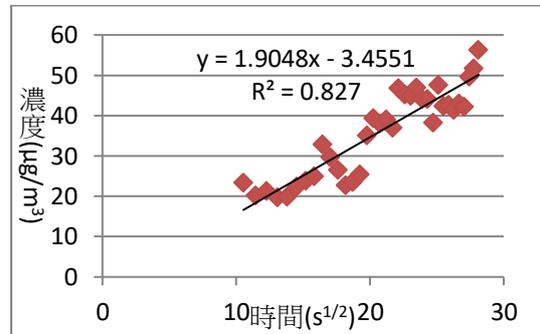
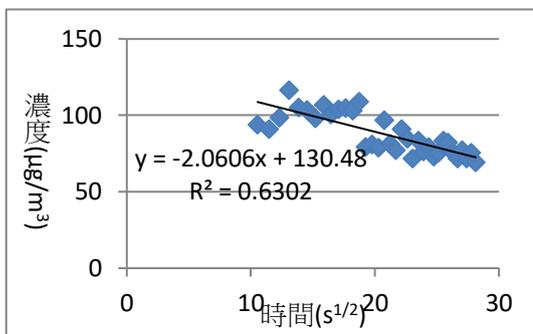


## 陸、討論

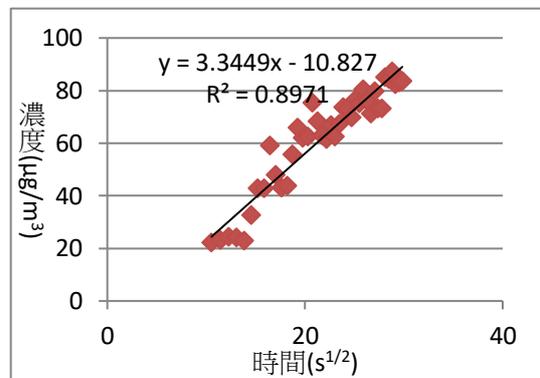
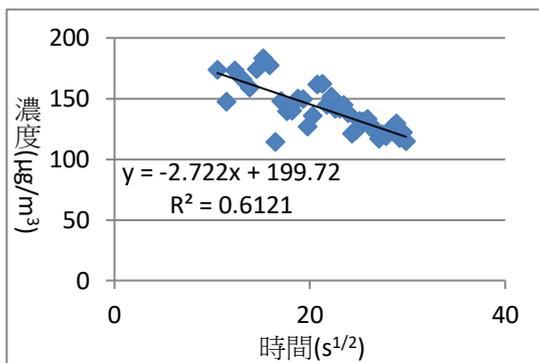
一、實驗一：了解空汙粒子濃度與擴散時間之關係。

(一) 我們將開箱時間定為標準時間，將開箱後的空汙粒子濃度每 20 秒作一次平均值，因此第一次平均值所對應的時間為 11 秒，第二次為 31 秒，... 依此類推。根據布朗運動，粒子濃度與 $\sqrt{t}$ 有其相關性，故將此作圖表示。以下呈現五組分析結果，左圖(藍點)和右圖(紅點)分別為輸入箱和接收箱的空汙粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 之變化，X 軸為時間( $\sqrt{t}$ )，Y 軸為濃度，黑色線為回歸線，其他分析結果請參閱附錄。

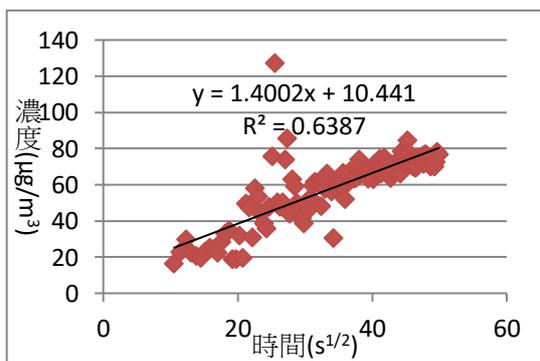
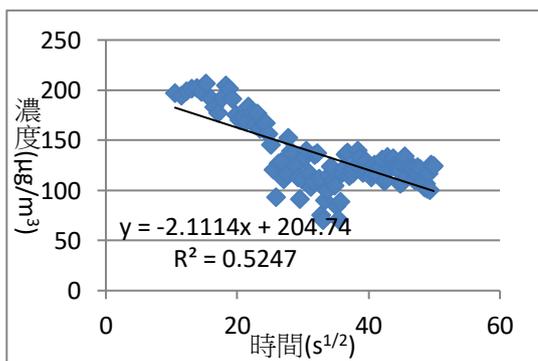
1. 粒子濃度  $65-85\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



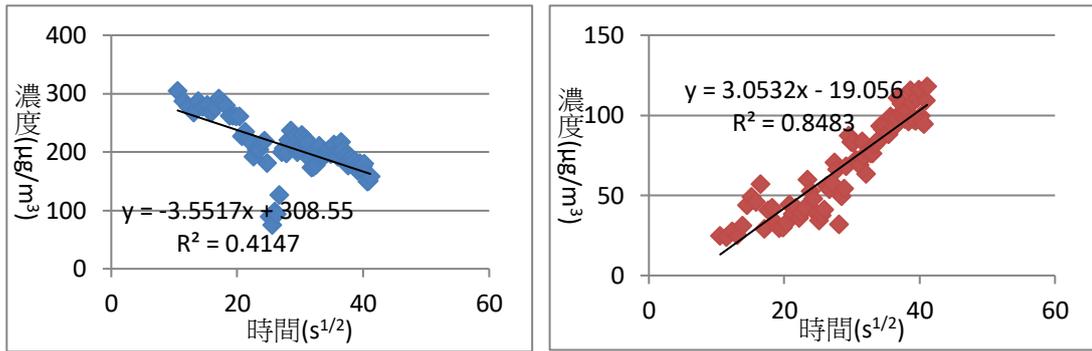
2. 粒子濃度  $180-200\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



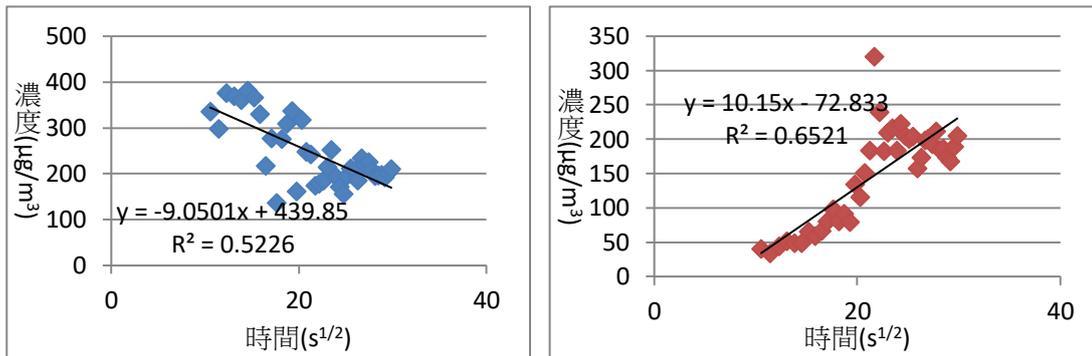
3. 粒子濃度  $190-210\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



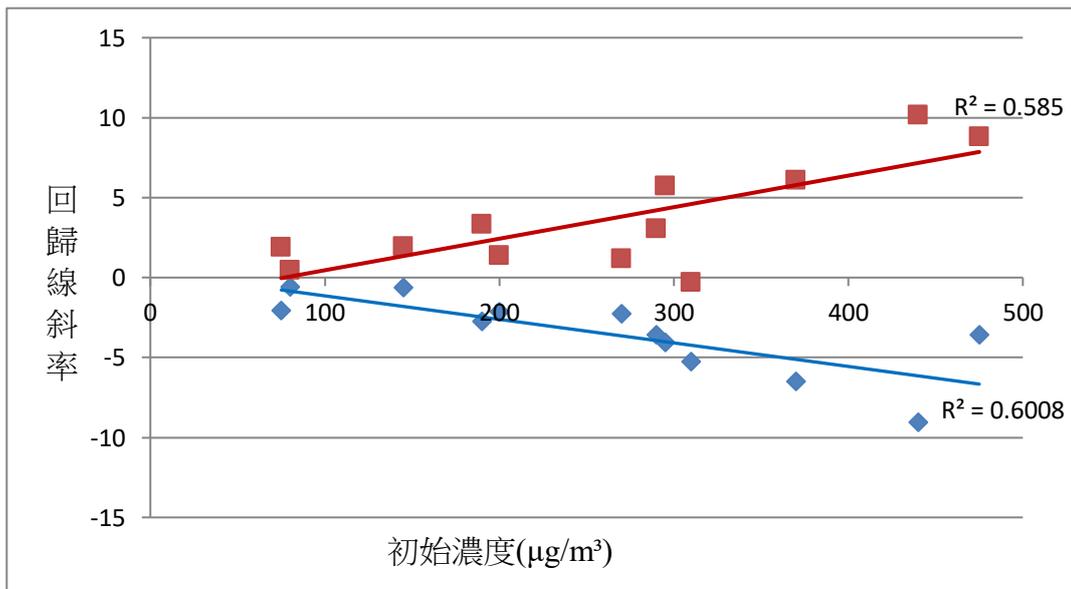
4. 粒子濃度 280-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



5. 粒子濃度 430-450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  :



(二) 我們將上述分析結果所得到的回歸線斜率與各實驗的初始濃度作圖，X 軸為初始濃度，Y 軸為回歸線斜率，藍點表示輸入箱，紅點表示接收箱，藍線和紅線為其回歸線。



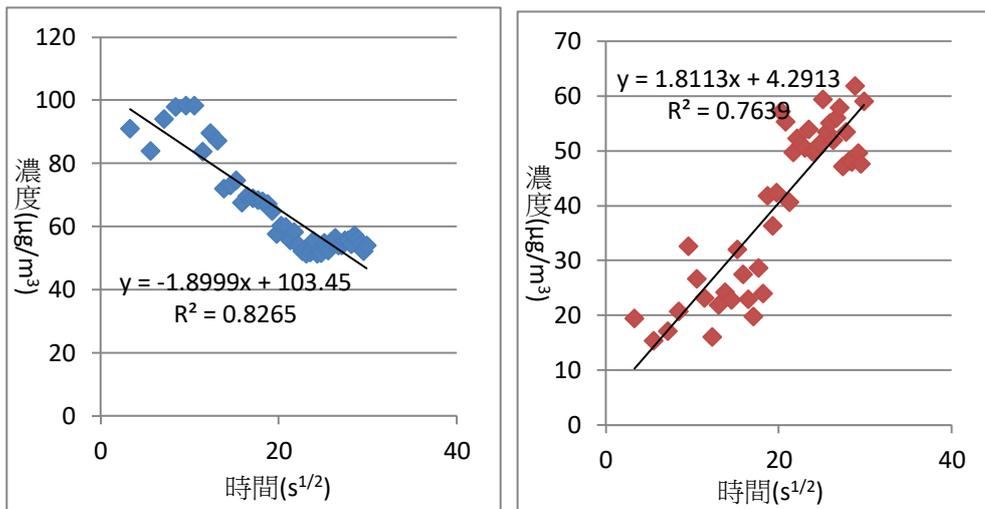
1. 從討論(一)的分析趨勢圖中，發現輸入箱(藍點)的粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 遞減；接收箱(紅點)的粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 增加，與布朗運動理論中的粒子濃度與 $\sqrt{t}$ 呈相關性符合。

2. 從討論(二)的分析趨勢圖中，發現輸入箱(藍點)的回歸線斜率隨初始濃度上升而遞減；接收箱(紅點)的回歸線斜率隨初始濃度上升而增加；也就是說，初始濃度越高，單位空間上的濃度變化越劇烈。根據布朗運動，我們可把 $\rho_0$ 視為 X 軸的初始濃度，而 $\rho_0/\sqrt{4\pi D}$ 為 Y 軸的回歸線斜率，圖中紅線及藍線的斜率可表示為 $(\rho_0/\sqrt{4\pi D})/\rho_0 = 1/\sqrt{4\pi D}$ ，其斜率和濃度存在明顯的相關性，表示擴散係數 D 在所有的實驗中可視為定值，更進一步的涵義為實驗中溫度與空汙粒子都控制得很好，因為擴散係數 D 僅與粒子的質量與環境的溫度有關，不會隨著粒子濃度的高低而改變。
3. 由上可知，若空氣汙染源的濃度很高時，其傳遞速率很快，而影響的時間也會拉長，也就是馬上會擴散周遭區域，而大自然的平衡作用無法在短時間內消化。

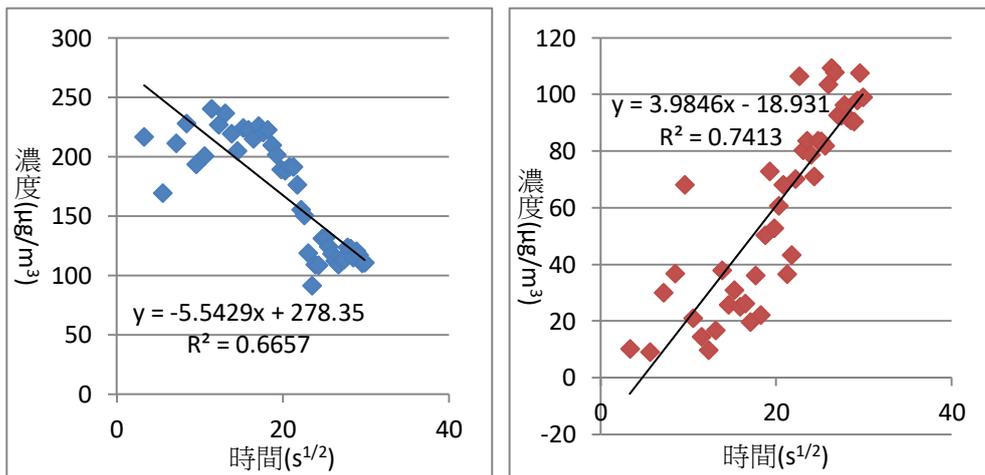
## 二、實驗二：了解空汙粒子擴散時間與濕度相關性。

(一) 我們將開箱時間定為標準時間，並將開箱後的空汙粒子濃度，每 20 秒作一次平均值，因此第一次平均值所對應的時間為 11 秒，第二次為 31 秒，...依此類推。根據布朗運動，粒子濃度與 $\sqrt{t}$ 有其相關性，故將此作圖表示。以下呈現六組分析結果，左圖(藍點)和右圖(紅點)分別為輸入箱和接收箱的空汙粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 之變化，X 軸為時間( $\sqrt{t}$ )，Y 軸為濃度，黑色線為回歸線，其他分析結果請參閱附錄。

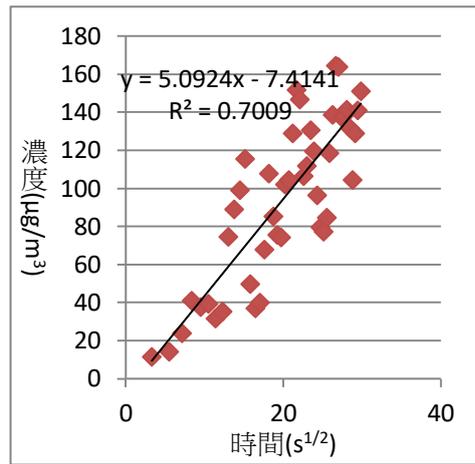
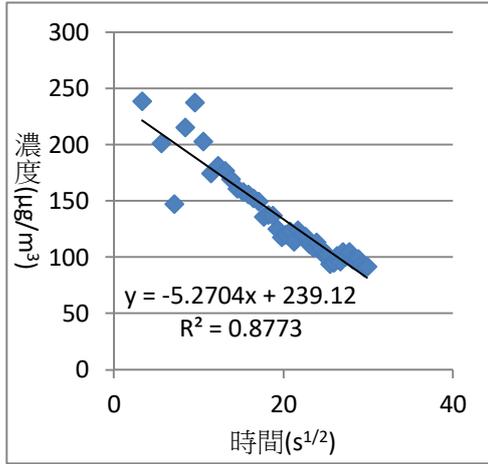
1. 粒子濃度 80-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 76%：



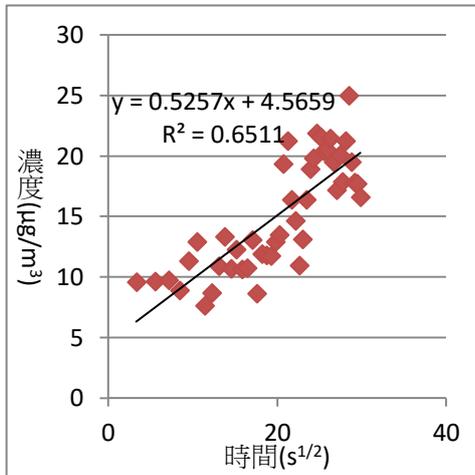
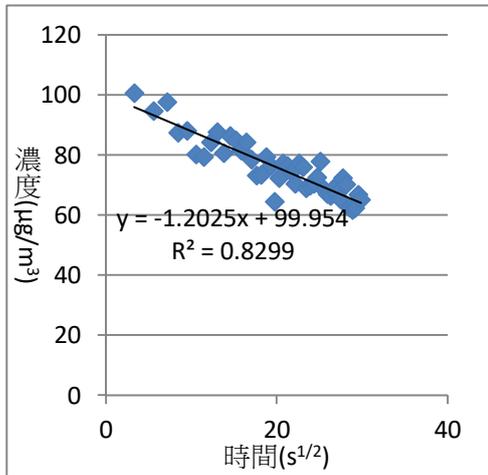
2. 粒子濃度 210-230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 64%：



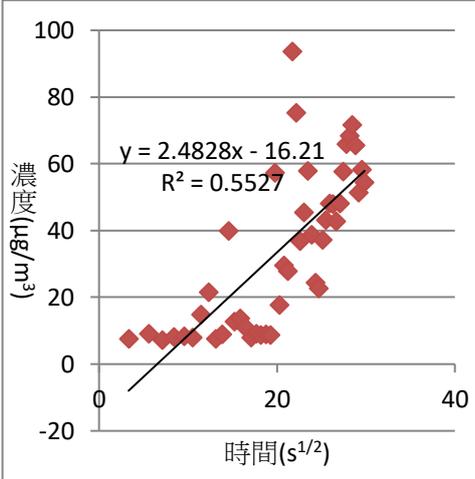
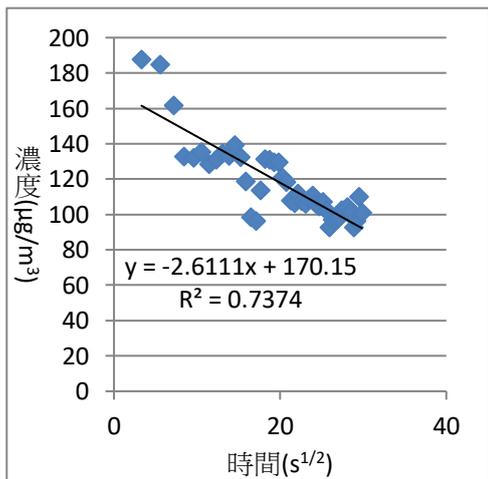
3. 粒子濃度 280-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 66%：



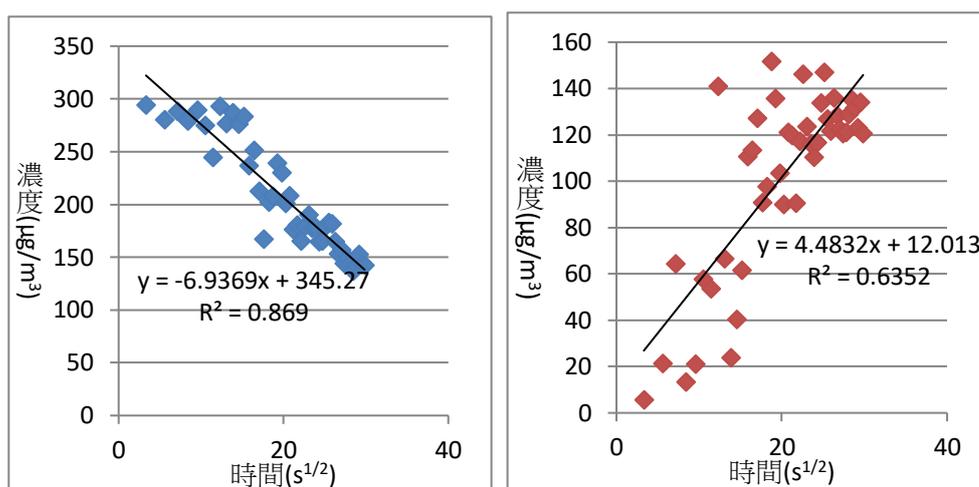
4. 粒子濃度 85-105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 50%：



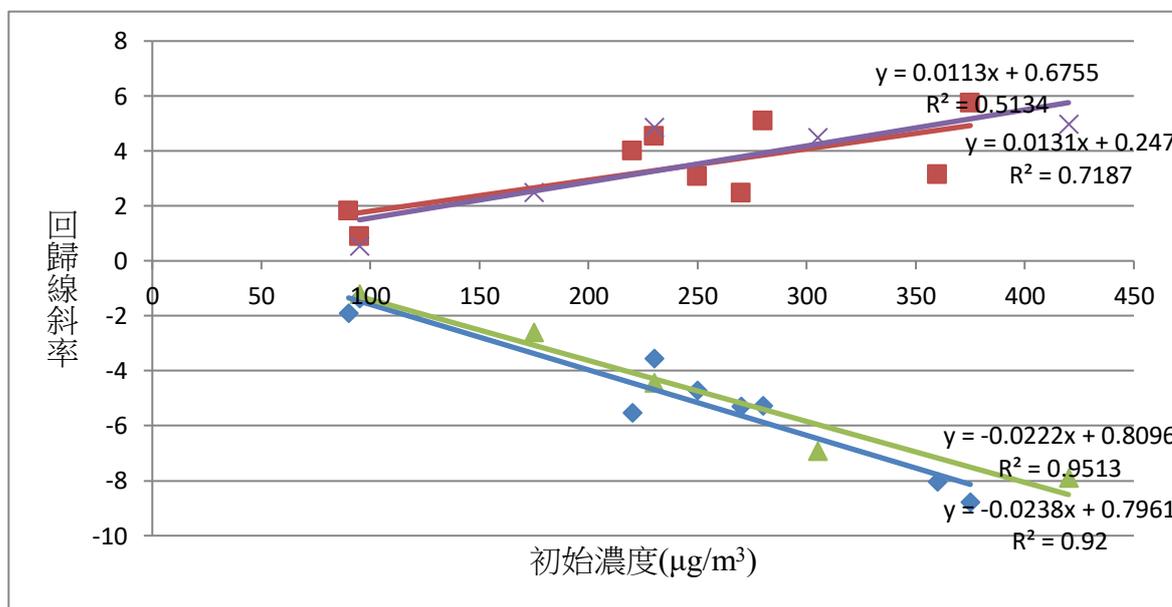
5. 粒子濃度 165-185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 57%：



6. 粒子濃度 295-315 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，大氣濕度約 57%：



(二) 最後我們將上述的分析結果所得到的回歸線斜率與各實驗的初始濃度作圖，並將實驗結果依照濕度分成 70%和 50%兩組作探討，X 軸表示初始濃度，而 Y 軸為相對應之回歸線斜率，藍色和紅色分別代表濕度為 70%的輸入箱和接收箱結果，綠色和紫色分別代表濕度為 50%的輸入箱和接收箱結果。



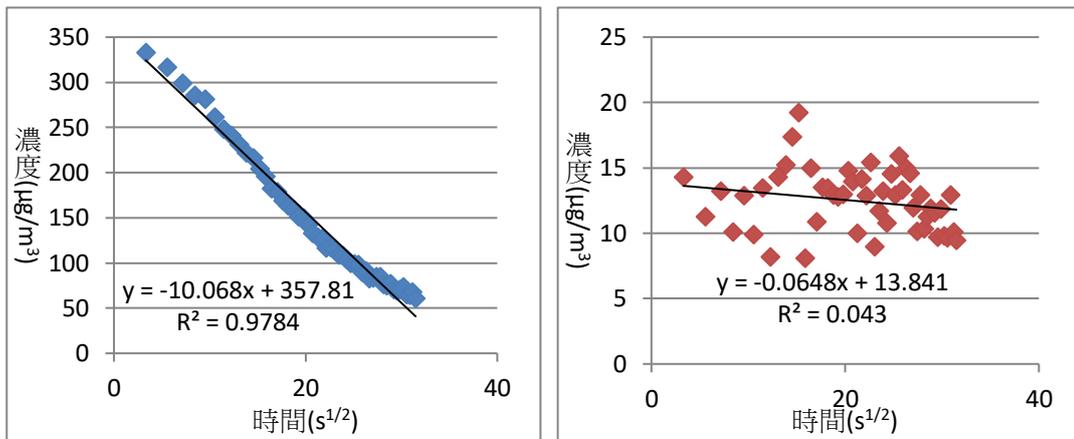
1. 從上述討論(一)的分析趨勢圖中，發現輸入箱(藍點)的粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 遞減；接收箱(紅點)的粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 增加，與布朗運動理論中的粒子濃度與 $\sqrt{t}$ 呈相關性符合。且從討論(二)的初始濃度對回歸線斜率的關係圖中，我們發現在相同濕度下，初始濃度越高，單位空間上的濃度變化越劇烈，與實驗一的結果相符。

2. 在討論(二)的初始濃度對回歸線斜率的關係圖中，發現在不同的濕度下，輸入箱(藍色與綠色線斜率)及接收箱(紅色與紫色線斜率)所得到的斜率變化不大(藍色與綠色線斜率)，顯示布朗運動中的擴散係數  $D$  實驗中可視為定值，不隨濕度而變化。由於水分子的直徑(0.3 奈米)遠小於本實驗的空汙粒子(>0.8 微米)，故當空汙粒子在進行擴散作用時，可以直接忽略水分子對其移動路徑的影響。

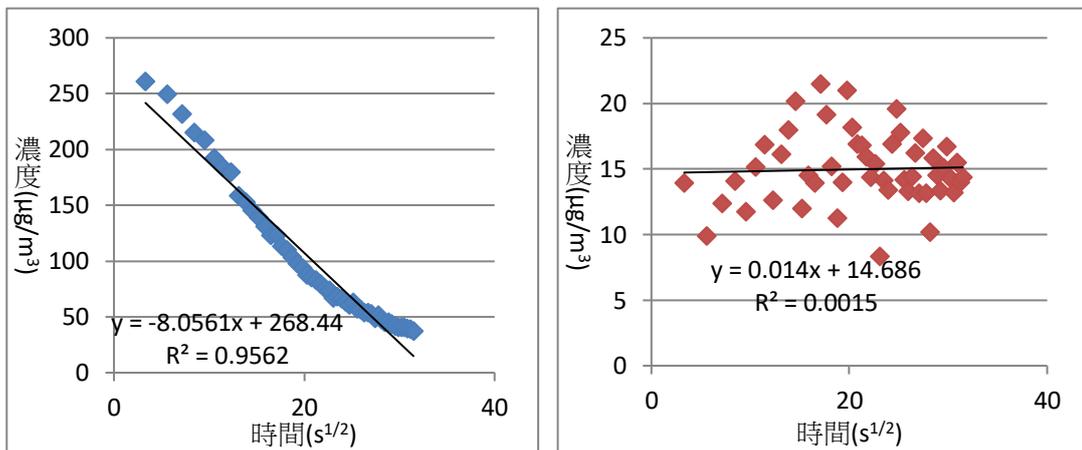
### 三、實驗三：分析口罩對空汙粒子的阻擋效果。

(一) 我們將開箱時間定為標準時間，並將開箱後的空汙粒子濃度，每 20 秒作一次平均值，因此第一次平均值所對應的時間為 11 秒，第二次為 31 秒，...依此類推。根據布朗運動，粒子濃度與 $\sqrt{t}$ 有其相關性，故將此作圖表示。以下呈現不同口罩其中一組的分析結果，左圖(藍點)和右圖(紅點)分別為輸入箱和接收箱的空汙粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 之變化，X 軸為時間( $\sqrt{t}$ )，Y 軸為濃度，黑色線為回歸線，其他分析結果請參閱附錄。

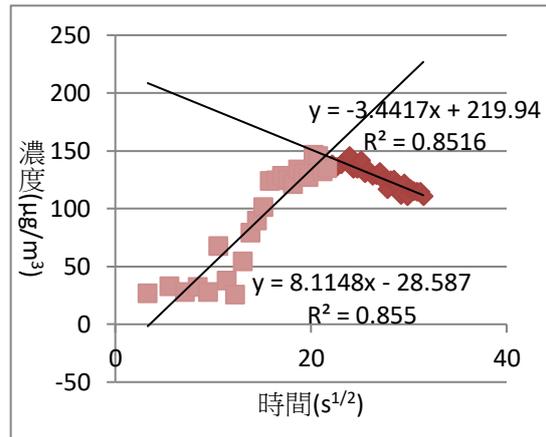
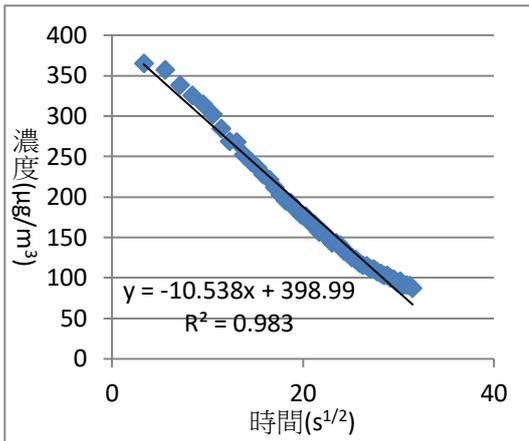
#### 1. 外科口罩(初始濃度 $345\mu\text{g}/\text{m}^3$ )：



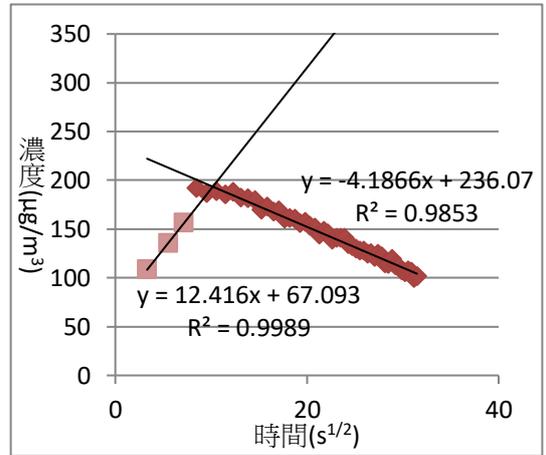
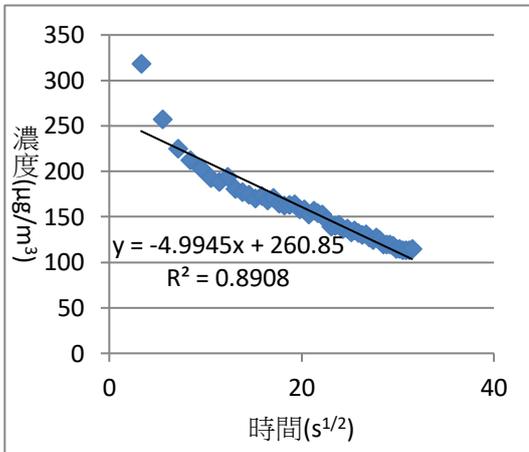
#### 2. 活性碳口罩(初始濃度 $290\mu\text{g}/\text{m}^3$ )：



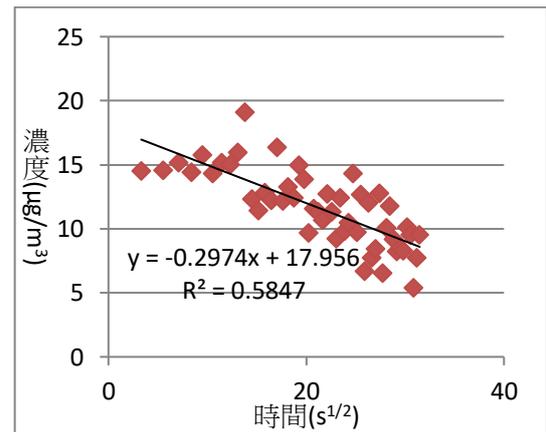
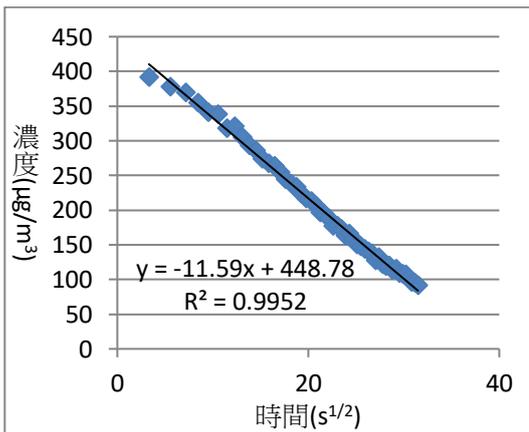
3. 布口罩(初始濃度  $375\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) :



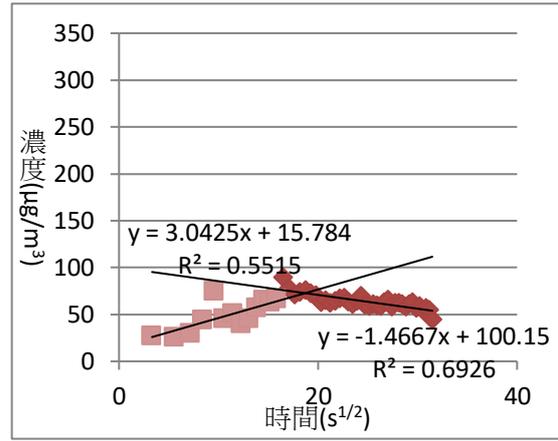
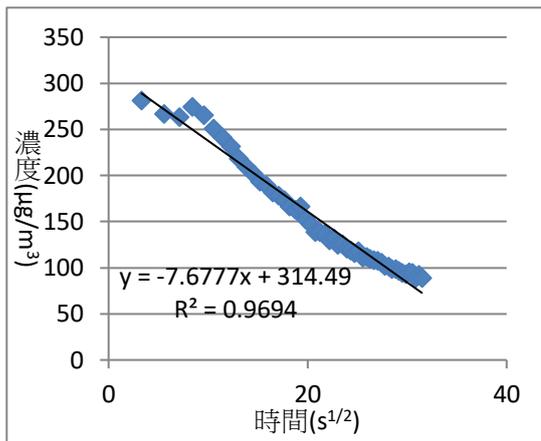
4. 口罩內層(初始濃度  $365\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) :



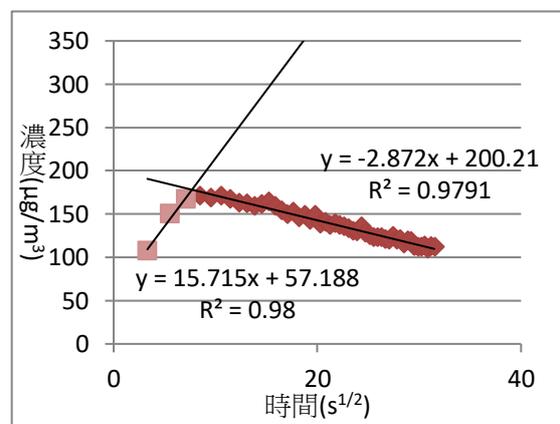
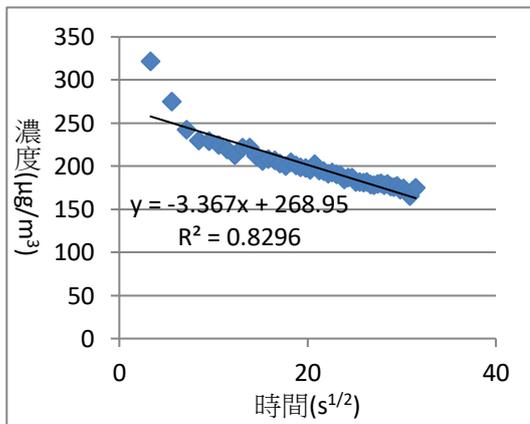
5. 口罩中層(初始濃度  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) :



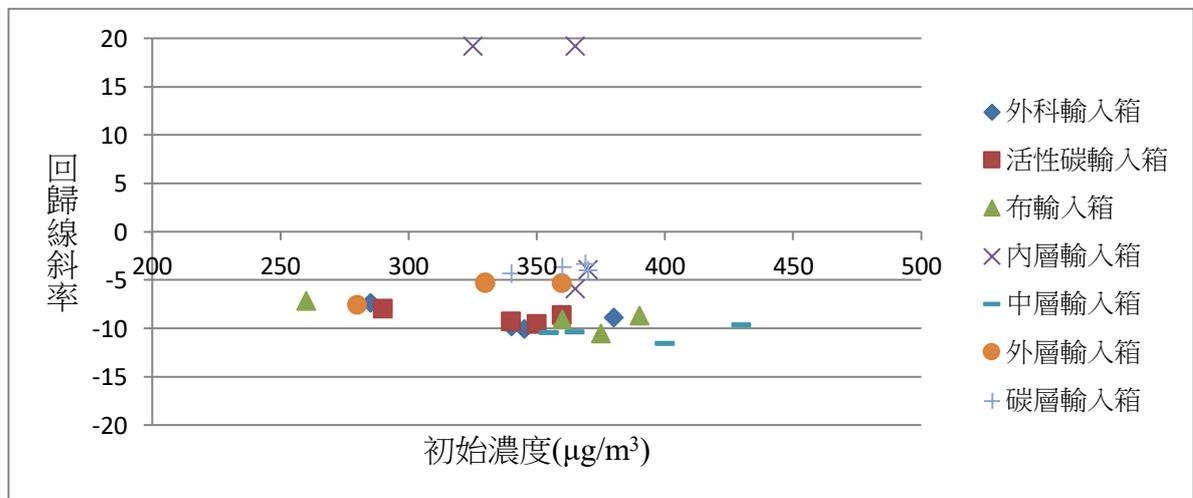
6. 口罩外層(初始濃度  $280\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) :

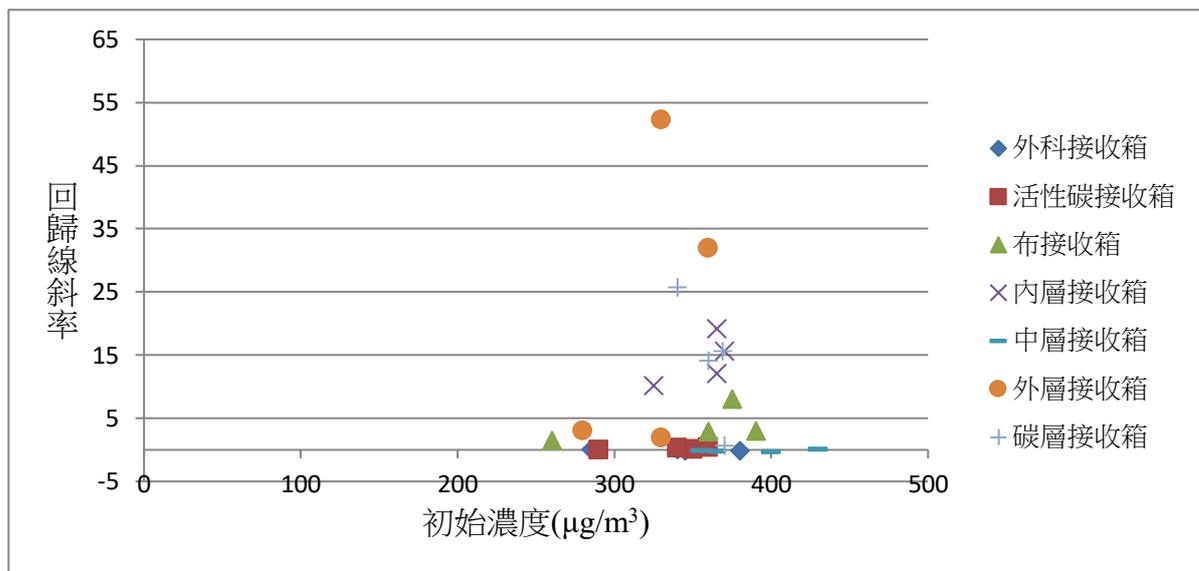


7. 活性碳層(初始濃度  $360\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) :



(二) 我們將上述的分析結果所得到的回歸線斜率與各實驗的初始濃度作圖，上圖為輸入箱，下圖為接收箱，各顏色表示不同口罩測試之實驗。





1. 從上述討論(一)的分析趨勢圖中，發現輸入箱(藍點)的粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 遞減，與布朗運動理論中的粒子濃度與 $\sqrt{t}$ 呈相關性符合。
2. 從上述討論(一)的分析趨勢圖中，發現布口罩、口罩外層、口罩內層以及活性炭碳層的接收箱濃度變化皆先升後降，推測為此四種口罩層皆無法有效阻隔空汙粒子，造成接收箱一開始濃度迅速上升，隨後再以擴散作用將空汙粒子平均分布至空間中，因此濃度開始下降。
3. 從實驗三的實驗紀錄及討論(一)的分析趨勢圖中，發現外科口罩、活性炭口罩以及口罩中層皆能有效阻隔空汙粒子，因此導致其接收箱濃度變化不大。
4. 從討論(二)的初始濃度對回歸線斜率的關係圖中，活性炭口罩、外科口罩以及口罩中層在接收箱的斜率幾乎為 0，表示與初始濃度無明顯關係，更進一步延伸可以有效阻擋空汙粒子。然而布口罩、口罩外層、口罩內層以及活性炭碳層在實驗開始後先升後降，其上升的回歸線斜率遠大於 0，表示無法明顯有效阻隔空汙粒子。由本實驗中，我們可以推測其口罩防禦效果：活性炭口罩=外科口罩=口罩中層>>布口罩>口罩內層=活性炭碳層>口罩外層。

## 柒、結論

- 一、從實驗一的結果分析，我們充分證明空汙粒子濃度與布朗運動中 $\sqrt{t}$ 的關係。且初始濃度和擴散回歸線斜率有其相關性，此表示在我們實驗中的擴散係數  $D$  可視為定值，與理論相符合。此意味著若空氣汙染源的濃度很高時，會迅速地擴散到周遭區域，而大自然的平衡作用無法在短時間內消化，因此人類排放汙染會有區域性的分布，例如高屏地區常出現的“紫爆”現象，若再加上天氣條件不佳，則空汙粒子很難自然代謝掉。
- 二、從實驗二的結果歸納，發現在不同的濕度下，初始濃度和擴散回歸線斜率無相關性，顯示布朗運動中的擴散係數  $D$  不隨濕度而變化。這是由於水分子的直徑(0.3 奈米)遠小於本實驗的空汙粒子(>0.8 微米)，故當空汙粒子在進行擴散作用時，不受水分子對其移動路徑的影響。
- 三、從實驗三的研究結果顯示口罩防禦效果：活性碳口罩=外科口罩=口罩中層>>布口罩>口罩內層=活性碳層>口罩外層。

## 捌、參考資料

柯博文(2014)•Chapter12.18 溫度計和濕度計二合一的傳感器 DHT11•載於 Arduino 互動設計專題與實戰。

David Halliday、Robert Resnick、Jearl Walker(2016)•第 19 章氣體動力論•載於物理(上)第九版。

李育嘉•漫談布朗運動•載於數學傳播第九卷第三期•取自：

[http://episte.math.ntu.edu.tw/articles/mm/mm\\_09\\_3\\_03/](http://episte.math.ntu.edu.tw/articles/mm/mm_09_3_03/)

龐寧寧(2006)•漫談布朗運動•載於物理雙月刊(廿八卷一期)

韩丹翱、王菲(2013)•DHT11 数字式溫湿度传感器的应用性研究•載於电子设计工程半月刊 (第 21 卷 第 13 期)

陳韋霖、馮韋鈞、吳映嫻、邱雁亭(2006)•近代物理學實驗 Brownian Motion•台大物理系論文•

取自：<http://web.phys.ntu.edu.tw/asc/FunPhysExp/ModernPhys/exp/BrownianMotion.pdf>

李佳欣•抗流感、空污口罩怎麼選？正反面戴錯效果差很多•載於康健雜誌•取自：

<http://www.commonhealth.com.tw/article/article.action?nid=70774&fullpage=true>

## 【評語】 051902

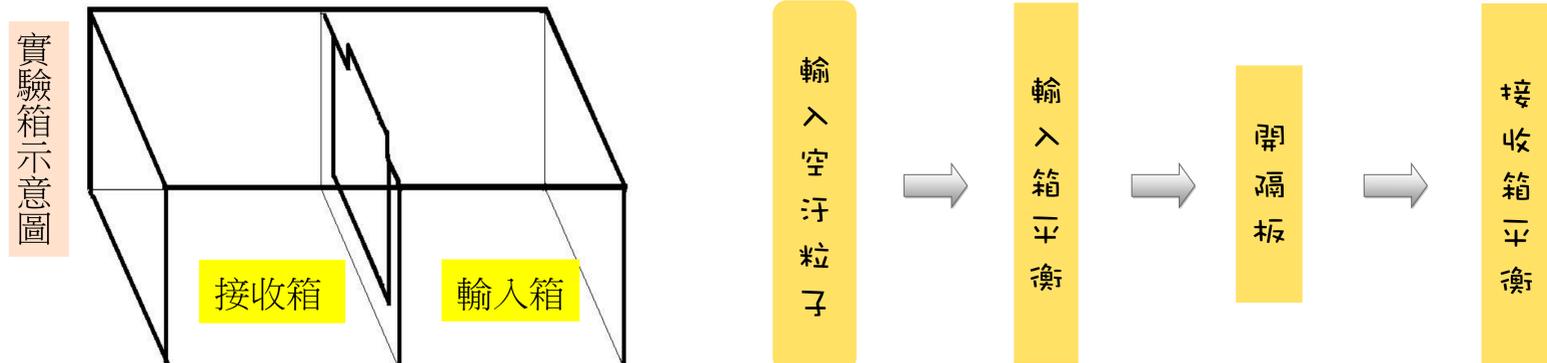
1. 結合地球科學與數學結合的研究，探討空氣污染擴散傳播。
2. 並且藉由所設計的實驗裝置，將實驗所得之數據與數學模型驗證。
3. 並經由實驗設計，探討口罩濾網過濾空汙能力。
4. 很具數理研究熱忱，如能夠進一步探討除了分子擴散之外之效應（如亂流擴散），則更能類比真實大氣狀態。

作品海報

## 摘要

本研究中，透過布朗運動的原理了解空汙粒子的傳播情況，加入濕度參數做討論，研究結果發現空汙粒子濃度越高，單位空間的擴散速率越快，所需的平衡時間越長。實驗中，我們也證明布朗運動中的擴散係數  $D$  值不隨初始濃度和濕度改變，可視為定值。最後我們測試不同口罩對空汙粒子的阻隔性，發現對空汙粒子的防禦力為：活性炭口罩=外科口罩=口罩中層>>布口罩>口罩內層=活性炭層>口罩外層。

## 實驗裝置與流程



## 實驗原理

### 布朗運動 Brownian motion

懸浮粒子不規則的移動是屬於布朗運動，所以藉由愛因斯坦解釋布朗運動，所推出的結論可得：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2},$$

(其中為  $D$  質量擴散係數)

假設在初始時刻  $t = 0$  時，所有的粒子從原點開始運動，則擴散方程式的解為

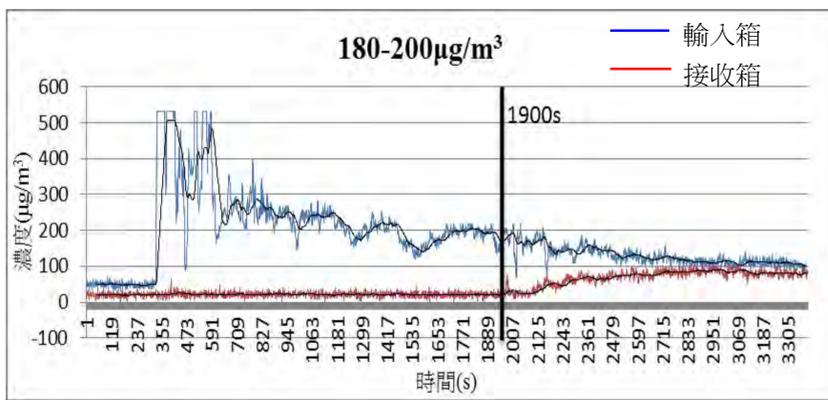
$$\rho(x, t) = \frac{\rho_0}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\frac{x^2}{4Dt}}$$

因  $\rho$  為粒子的濃度，而  $\sqrt{4\pi D}$  可視為一個常數，因此我們可推得  $\rho$  和  $1/\sqrt{t}$  成正相關。

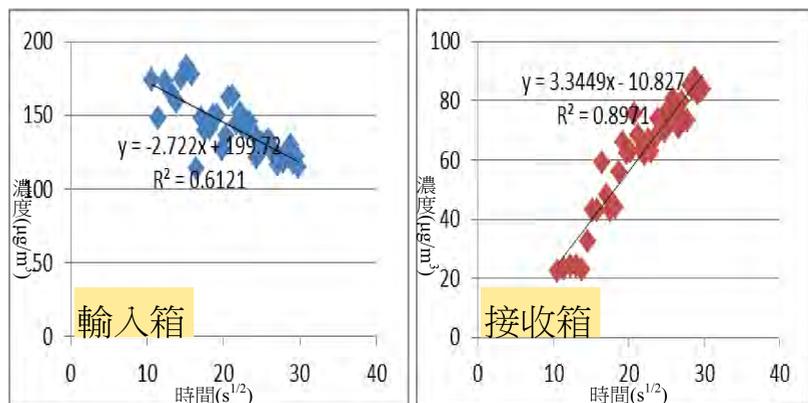
## 實驗結果與分析

**實驗一：**了解空汙粒子濃度與擴散時間之關係。

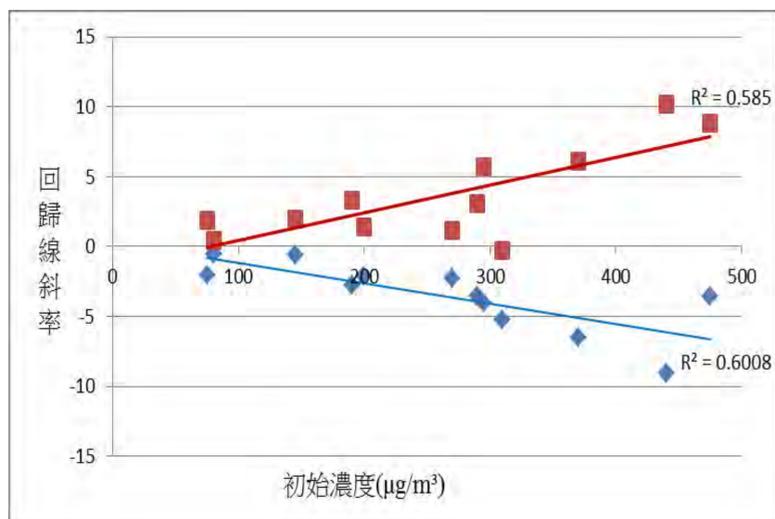
圖(一)：兩箱濃度與時間關係圖



圖(二)、(三)：平均濃度與  $\sqrt{t}$  關係圖



圖(四)：初始濃度對回歸線斜率的關係圖



- 圖(二)、(三)中發現輸入箱的粒子濃度隨  $\sqrt{t}$  遞減；接收箱的粒子濃度隨  $\sqrt{t}$  增加，與布朗運動理論中的粒子濃度與  $\sqrt{t}$  呈相關性符合。
- 圖(四)中，輸入箱的回歸線斜率隨初始濃度上升而遞減；接收箱的回歸線斜率隨初始濃度上升而增加。故初始濃度越高，單位空間上的濃度變化越劇烈。

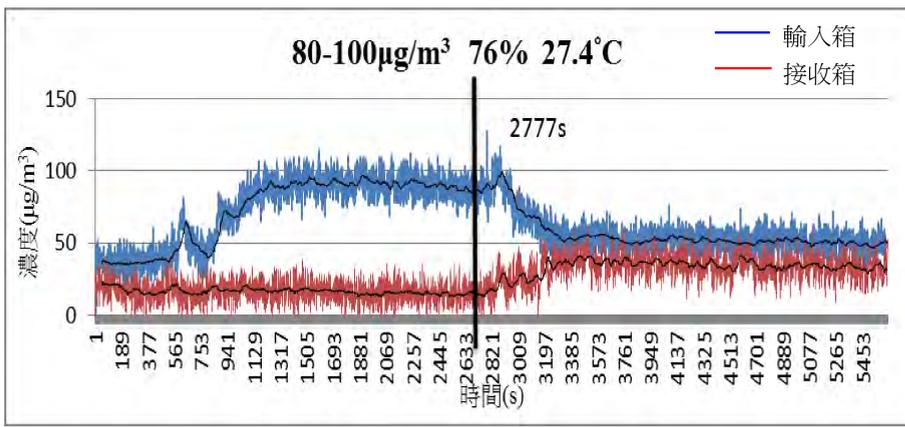
3. 根據布朗運動，我們可把  $\rho_0$  視為 X 軸的初始濃度，而  $\rho_0/\sqrt{4\pi D}$  為 Y 軸的回歸線斜率，圖(四)中紅線

及藍線的斜率可表示為  $(\rho_0/\sqrt{4\pi D})/\rho_0 = 1/\sqrt{4\pi D}$ ，其斜率和濃度存在明顯的相關性，表示擴散係

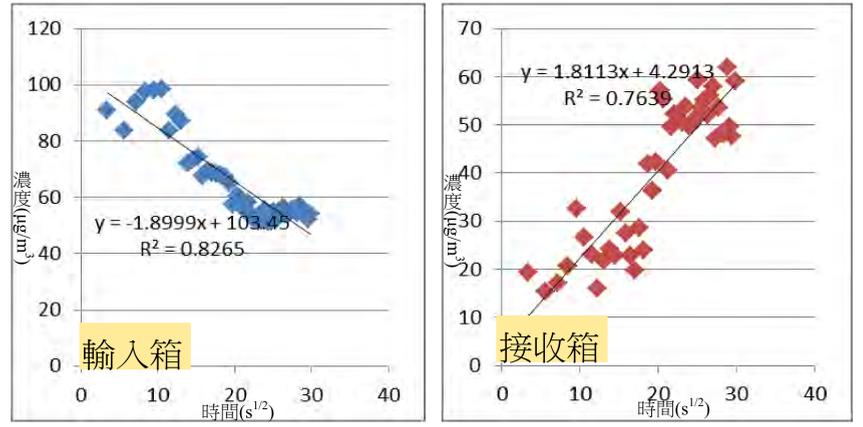
數  $D$  在所有的實驗中可視為定值，不會隨著粒子濃度的高低而改變。

**實驗二：**了解空汙粒子擴散時間與濕度相關性。

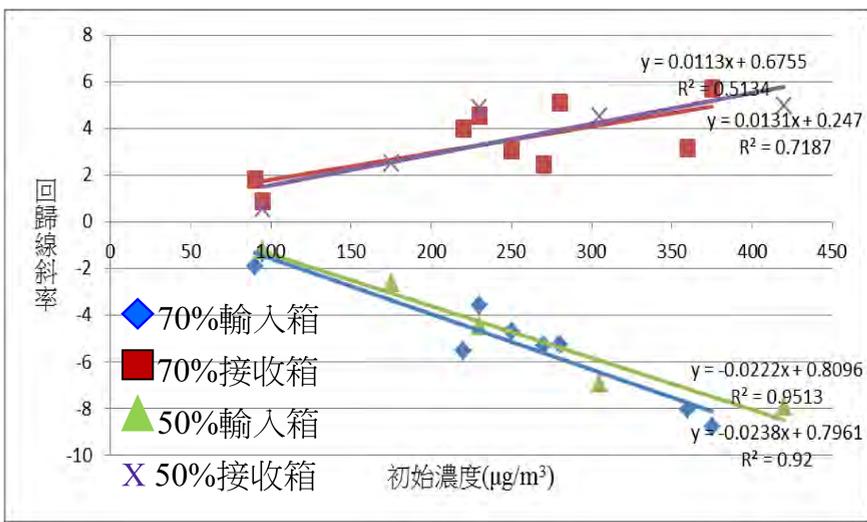
圖(一)：兩箱濃度與時間關係圖



圖(二)、(三)：平均濃度與 $\sqrt{t}$ 關係圖



圖(四)：初始濃度對回歸線斜率的關係圖



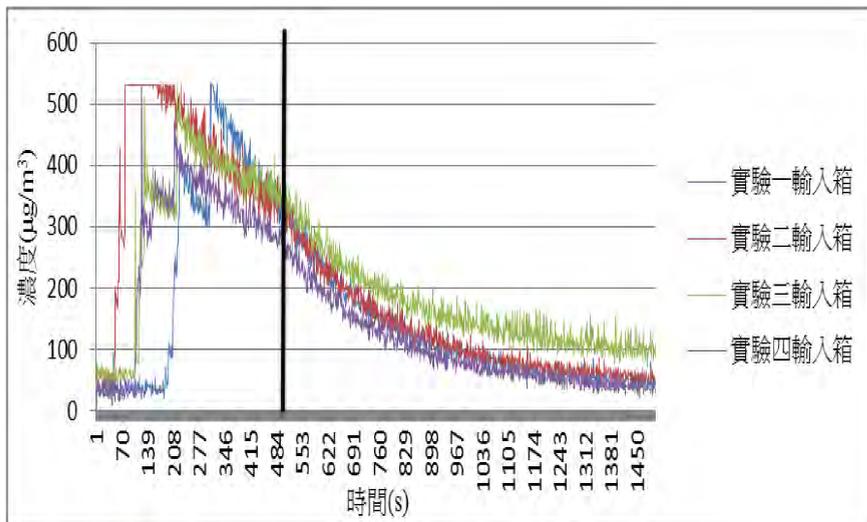
1.圖(二)、(三)中，輸入箱的粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 遞減；接收箱的粒子濃度隨 $\sqrt{t}$ 增加，與布朗運動理論中的粒子濃度與 $\sqrt{t}$ 呈相關性符合。

2.圖(四)中，在相同濕度下，初始濃度越高，單位空間上的濃度變化越劇烈，與實驗一的結果相符。

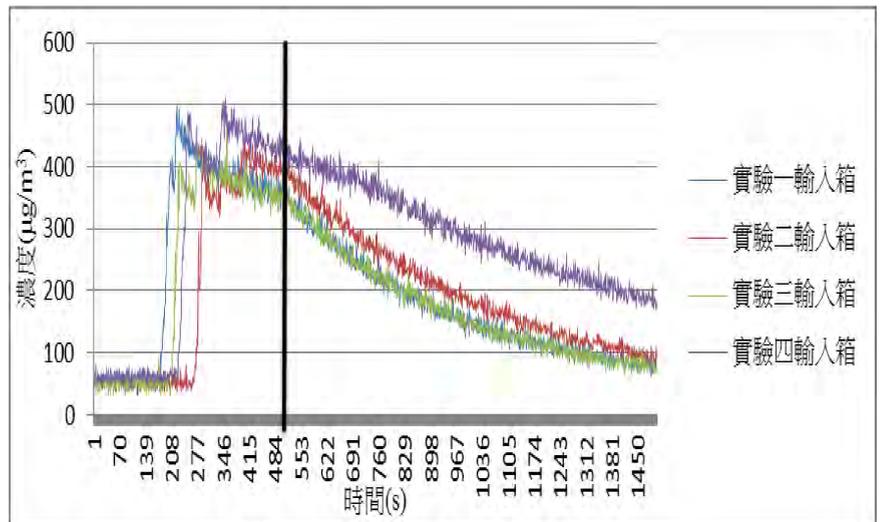
3.圖(四)中，在不同的濕度下，輸入箱及接收箱所得到的斜率變化不大，顯示布朗運動中的擴散係數  $D$  實驗中可視為定值，不隨濕度而變化。由於水分子的直徑(0.3 奈米)遠小於本實驗的空汙粒子(>0.8 微米)，故當空汙粒子在進行擴散作用時，可以直接忽略水分子對其移動路徑的影響。

**實驗三：**分析口罩對空汙粒子的阻擋效果。

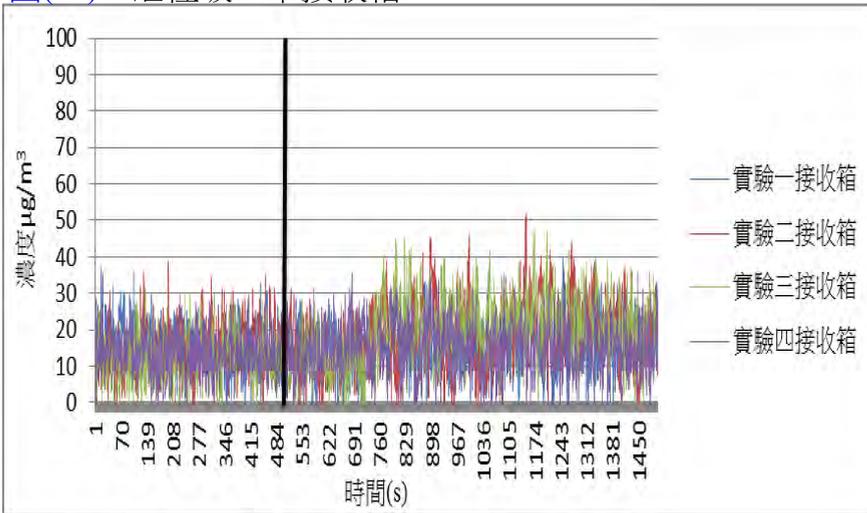
圖(一)：活性炭口罩輸入箱(350、340、360、290 µg/m³)



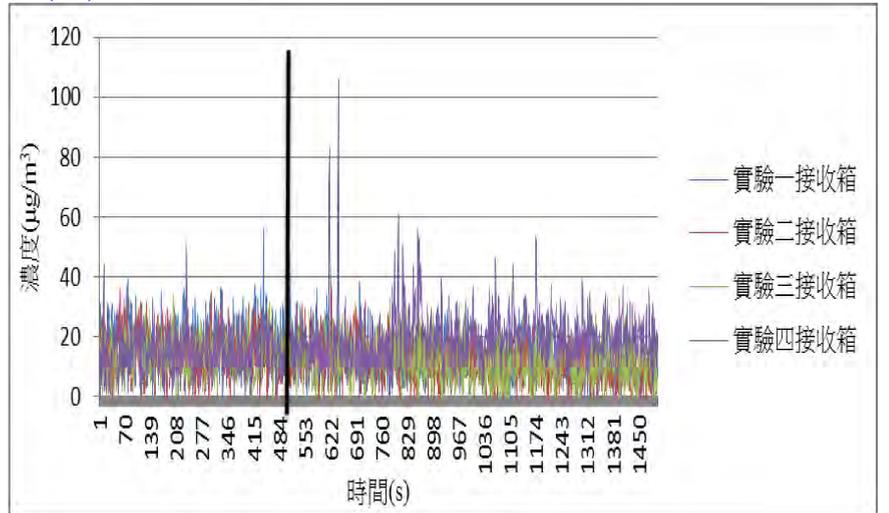
圖(五)：口罩中層輸入箱(365、400、355、430 µg/m³)



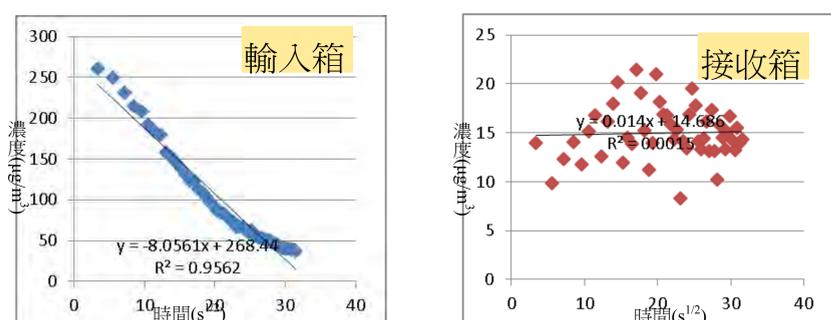
圖(二)：活性炭口罩接收箱



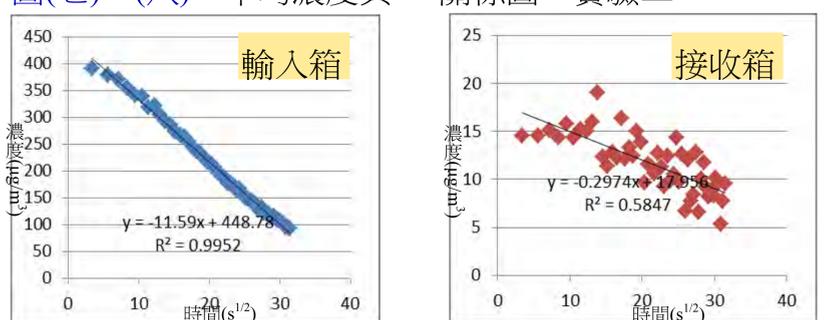
圖(六)：口罩中層接收箱



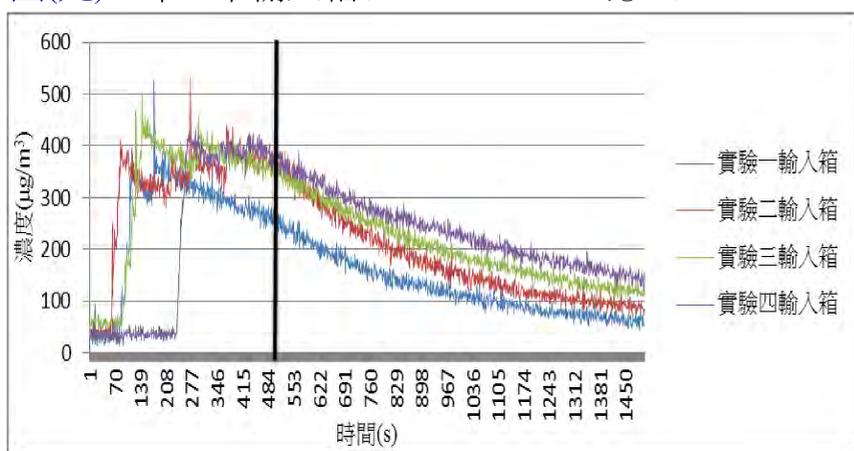
圖(三)、(四)：平均濃度與 $\sqrt{t}$ 關係圖—實驗四



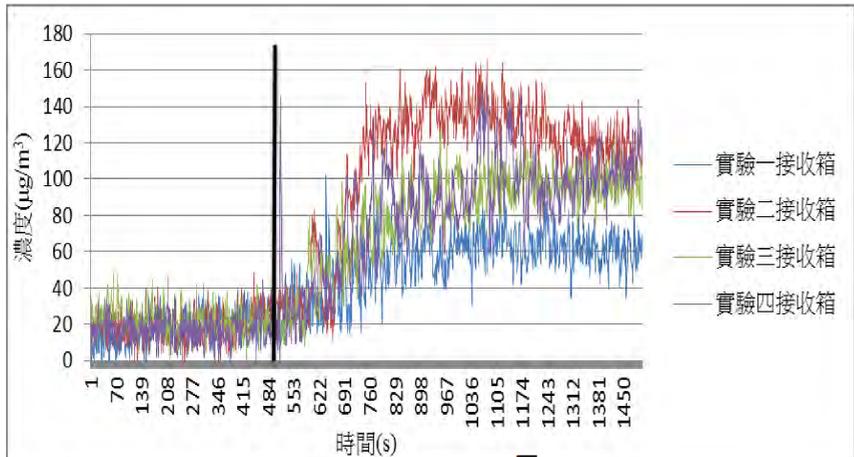
圖(七)、(八)：平均濃度與 $\sqrt{t}$ 關係圖—實驗二



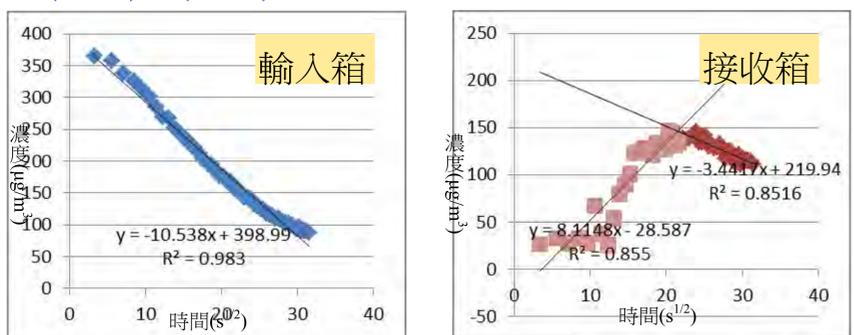
圖(九)：布口罩輸入箱(260、375、360、390 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



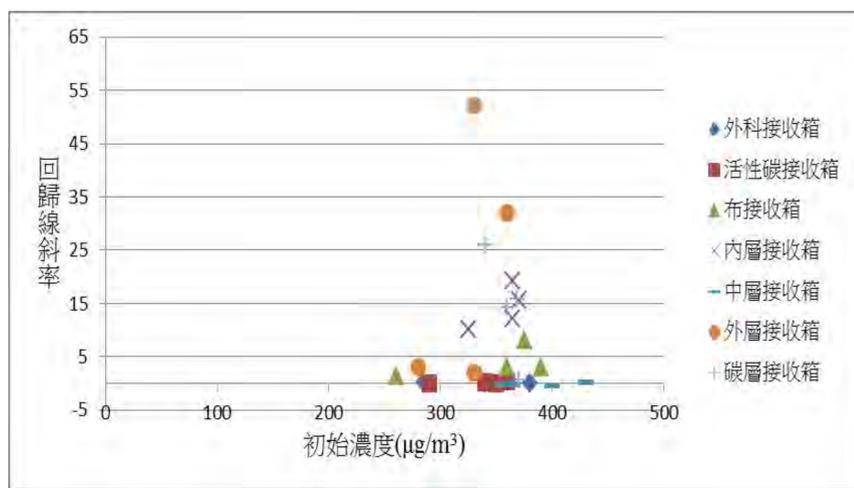
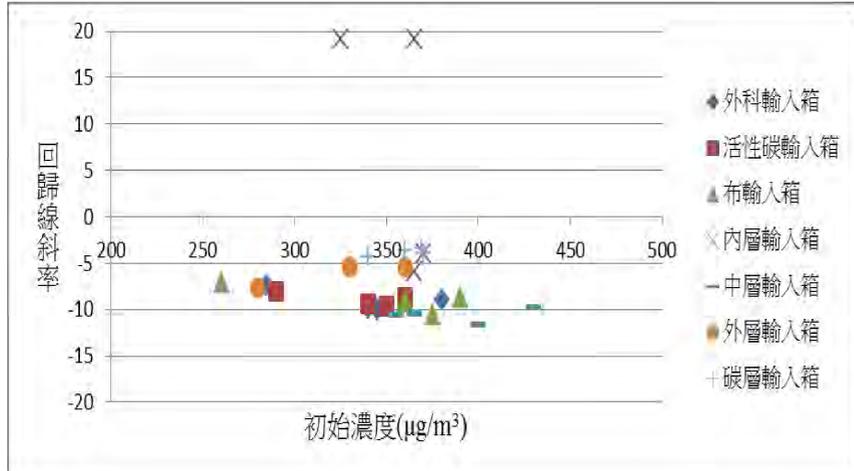
圖(十)：布口罩接收箱



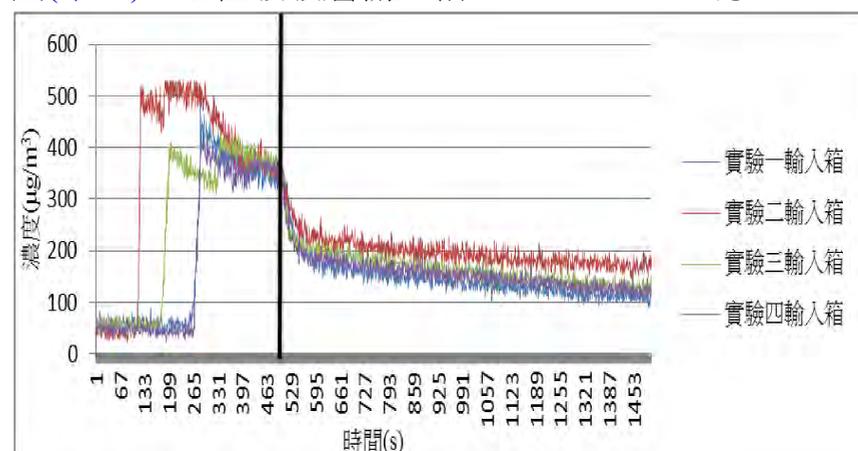
圖(十一)、(十二)：平均濃度與 $\sqrt{t}$ 關係圖—實驗二



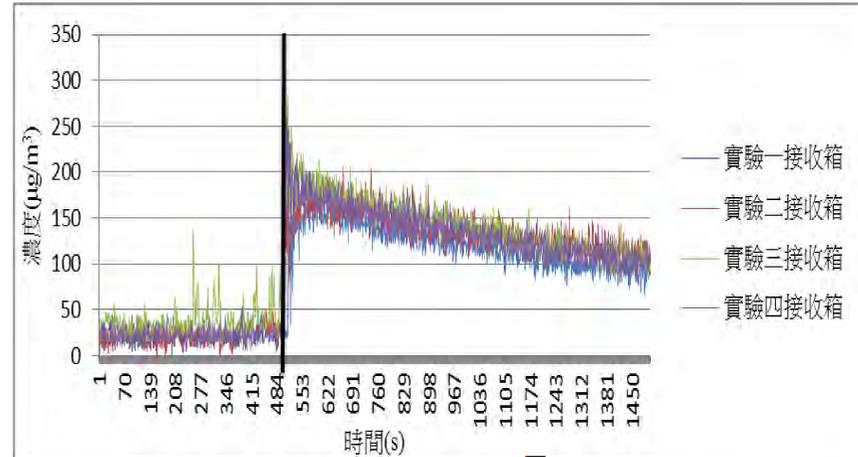
圖(十七)、(十八)：初始濃度對回歸線斜率的關係圖



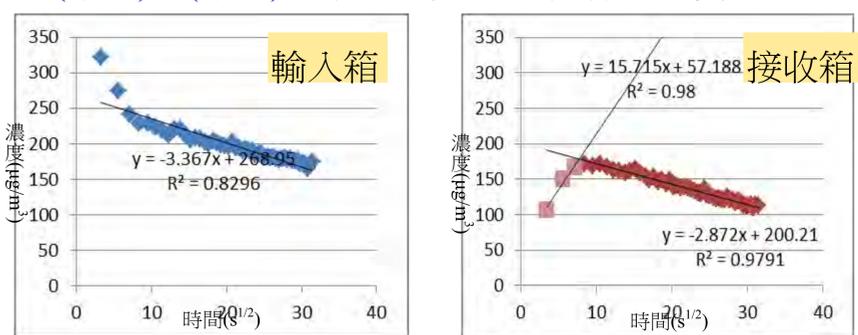
圖(十三)：活性炭層輸入箱(340、360、370、360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



圖(十四)：活性炭層接收箱



圖(十五)、(十六)：平均濃度與 $\sqrt{t}$ 關係圖—實驗二



1. 圖(十)、(十四)發現濃度變化皆先升後降，推測為布

口罩、活性炭口罩皆無法有效阻隔空汙粒子，造成接收箱一開始濃度迅速上升，隨後再以擴散作用將空汙粒子平均分布至空間中，因此濃度開始下降。

2. 圖(十八)中，活性炭口罩、外科口罩以及口罩中層在接收箱的斜率幾乎為 0，表示與初始濃度無明顯關係，更進一步延伸可以有效阻擋空汙粒子。

3. 布口罩、口罩外層、口罩內層以及活性炭層在實驗開始後先升後降，其上升的回歸線斜率遠大於 0，表示無法明顯有效阻隔空汙粒子。

4. 本實驗中，我們可以推測其口罩防禦效果：活性炭口罩=外科口罩=口罩中層>>布口罩>口罩內層=活性炭層>口罩外層。

## 結論

1. 從實驗一的結果分析，我們充分證明空汙粒子濃度與布朗運動中 $\sqrt{t}$ 的關係。且初始濃度和擴散回歸線斜率有其相關性，此表示在我們實驗中的擴散係數  $D$  可視為定值，與理論相符合。
2. 從實驗二的結果歸納，在不同的濕度下，初始濃度和擴散回歸線斜率無相關性，顯示布朗運動中的擴散係數  $D$  不隨濕度而變化。這是由於水分子的直徑(0.3 奈米)遠小於本實驗的空汙粒子(>0.8 微米)，故當空汙粒子在進行擴散作用時，不受水分子對其移動路徑的影響。
3. 從實驗三的研究結果顯示口罩防禦效果：活性炭口罩=外科口罩=口罩中層>>布口罩>口罩內層=活性炭層>口罩外層。

## 參考資料