

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

032921

處處「霾」伏-探討模擬 PM_{2.5} 擴散 及改善之
研究

學校名稱：苗栗縣立頭份國民中學

作者： 國二 李衡縈 國二 黃奕軒 國二 李衡燁	指導老師： 張聖麒 李桂雲
---	-----------------------------

關鍵詞：PM_{2.5}、奈米光觸媒、擴散現象

摘要

本研究為探討霾害問題，以墨汁及色素擴散實驗模擬 PM_{2.5} 污染擴散，自製 PM_{2.5} 擴散觀察裝置，觀察擴散過程，污染物受障礙物阻擋，污染物沿物體擴散，漸擴至整個空間，使污染物難以擴散。改善策略如下：

1. 奈米光觸媒塗在建材，使 PM_{2.5} 有機物被光觸媒分解為 CO₂ 及 H₂O 的產生；經奈米光觸媒處理，使空間 PM_{2.5} 濃度下降趨勢高於對照組(至 AQI 普通級別時間：70,000 秒→21,000 秒)。

2. 康達效應可將污染物疏導，解決大氣擴散不佳及建築物阻擋狀況。發現煙霧會沿半圓形管疏散，作為擴散裝置，發現裝置可更快降低空間 PM_{2.5} 濃度(至 AQI 普通級別時間：70,000 秒→35,000 秒)。

結合上述改善策略，使 PM_{2.5} 濃度降至 AQI 普通級從 70,000 秒→8,000 秒，運用奈米光觸媒及搭配建物結合康達效應之設計，可達低空污生活環境。

壹、 研究背景及動機

望向窗外，一層淡淡的霧霾壟罩整片天空，遠方的建築披上一件灰濛濛的薄紗。近年來，空氣污染日益嚴重，在上光學課程時，老師提到這是懸浮微粒 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 造成的。透過網路搜尋，發現這些霧霾不僅會對環境造成影響，亦會危害人體的健康，為了維護地球與保護自己的健康，空氣清淨機成了近代熱門的商品，而許多空氣清淨機都有標榜光觸媒，但卻不清楚光觸媒是否能有效降低空氣中懸浮微粒子的濃度，引發我們強烈的好奇。美國學者波普等人的研究，PM_{2.5} 濃度每下降 10 μg/m³，該地區居民平均壽命就增加 0.61 歲。因此若能找到改善策略，是一個很有意義的研究。

貳、 研究目的

一、以擴散現象探討 PM_{2.5} 之擴散

1. 探討 PM_{2.5} 的來源及影響 PM_{2.5} 濃度的原因
2. 以擴散現象模擬大氣擴散，探討 PM_{2.5} 擴散情形
3. 設計模擬環境，探討 PM_{2.5} 擴散狀況

二、探討影響改善 PM_{2.5} 之條件

化學方式：

1. 觀察塗佈不同層數的奈米光觸媒樣本影響 PM_{2.5} 濃度情形
2. 觀察密閉空間內，不同光照環境對奈米光觸媒運作情形

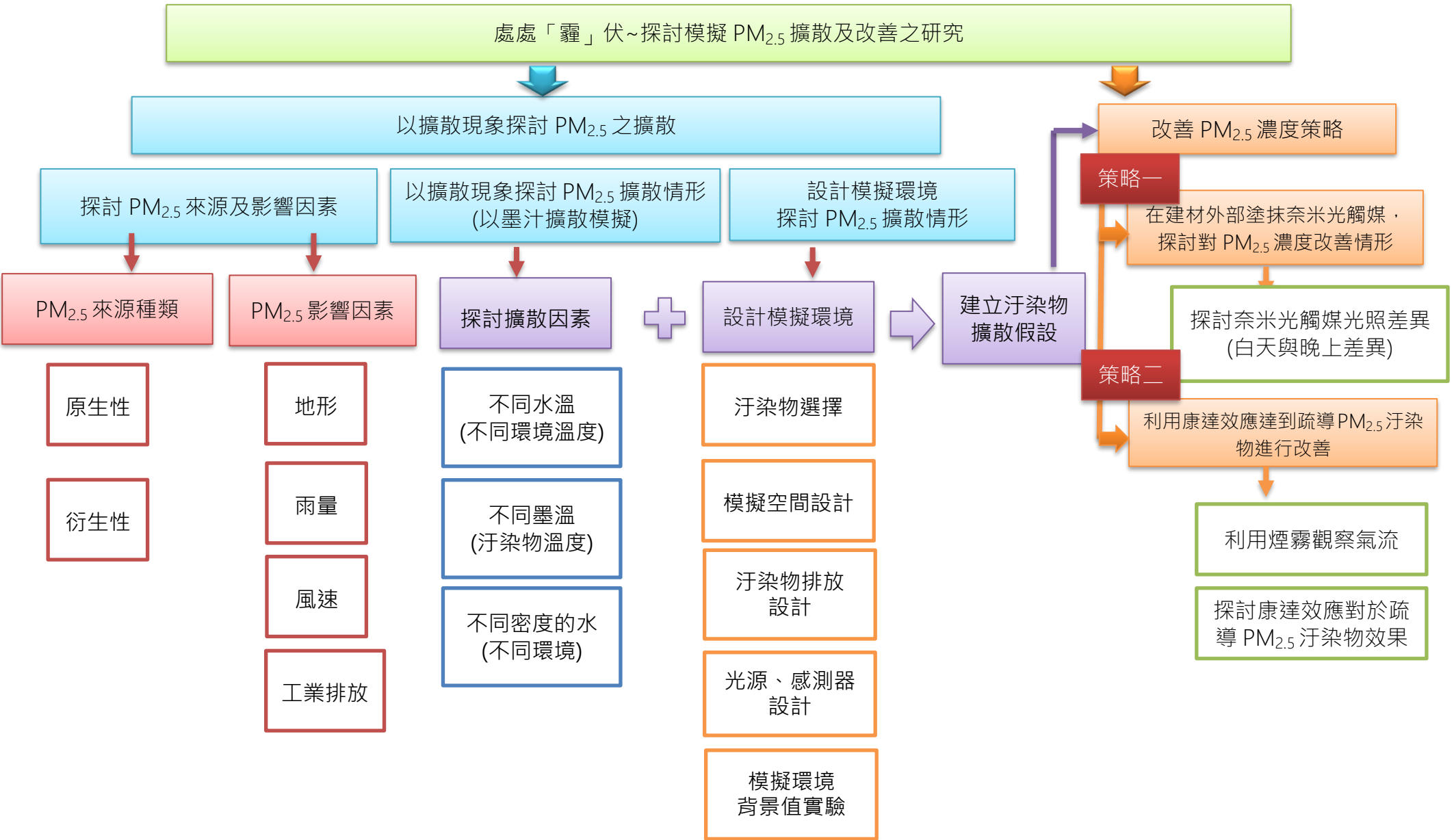
物理方式：

1. 運用康達效應，觀察煙霧擴散情形
2. 觀察密閉空間內，康達效應疏導污染物後，PM_{2.5} 濃度變化情形

參、 研究器材

墨汁	自製密閉箱	加熱板	磚頭
塑膠膜片	Arduino 板	防火磚	PM _{2.5} 偵測器
自製打氣筒	行動充	CO ₂ 偵測器	溫度計
水缸	線香	煙霧彈	奈米光觸媒
水管	色膏		

肆、研究方法



一、以擴散現象探討 PM_{2.5} 之擴散

1. 探討 PM_{2.5} 的來源及影響 PM_{2.5} 濃度的因素

(1) 探討 PM_{2.5} 的來源及種類

原生性：原生性指直接從污染源排出的粒狀 PM_{2.5}，主要來源：

- a. 海水飛沫 藉由風力作用將溶有大量 NaCl 的海水揚起，水分蒸發後形成海洋懸浮粒子，因此懸浮粒子有大量的 Na⁺、Cl⁻。
- b. 營建/道路揚塵 營建工地或裸露地表經由風力作用或其他機械力，所揚起的微粒含有大量的地殼元素如矽、鈣、鎂、及鋁等。例如人為走動或車行經過、震動等作用所揚起的揚塵
- c. 汽機車之排放：汽機車引擎在燃燒化石燃料的過程當中產生不完全燃燒態，如柴油引擎所造成之碳粒。
- d. 工廠鍋爐和火力發電廠：工廠及電廠的煙囪燃燒重油的鍋爐及燃煤發電在不完全燃燒狀態，會排放出煤灰碳粒。
- e. 其他原生性來源：火山爆發、森林大火與自然風化微粒等自然界發生源及電鍍煉鋼等產業均會產生原生性微粒。

衍生性：衍生性來源的氣膠又稱二次氣膠，是由更小的排放物經過物理反應（如凝結）或化學反應（如光化學反應）形成約微米大小的粒狀物。

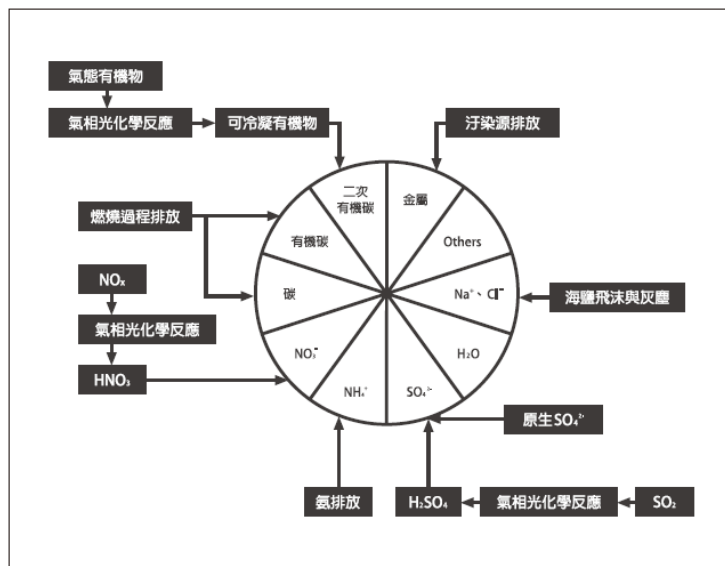


圖 1 PM_{2.5} 來源及成分(余國賓, 2018)

(2) 影響 PM_{2.5} 濃度的因素

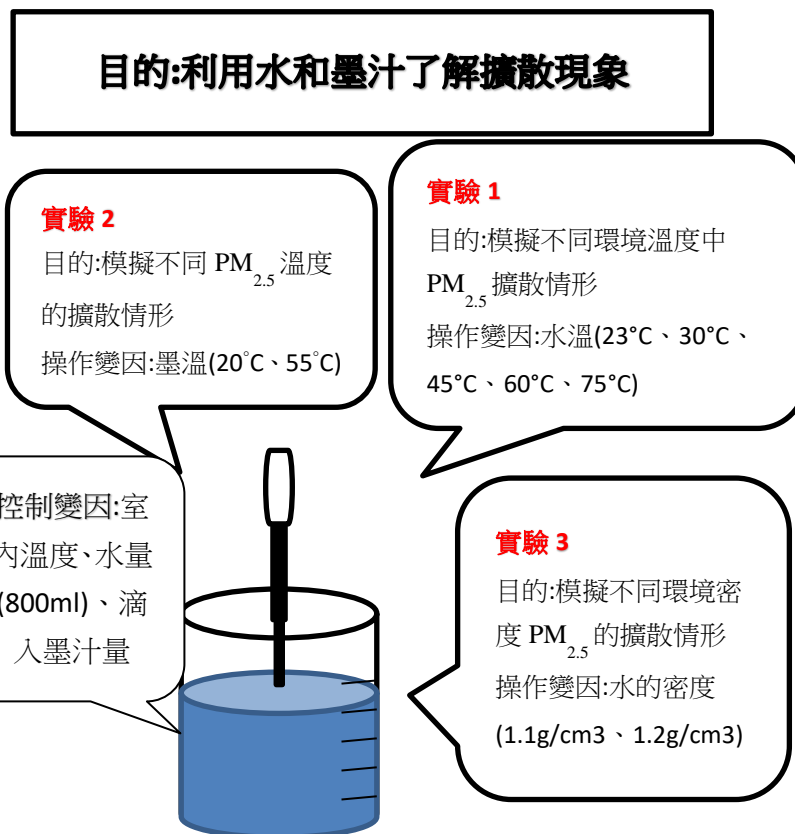
地形：地形差影響氣流場變化，所以會出現空氣污染物擴散條件不同的情況。以埔里盆地為例，PM_{2.5}不易散失，濃度較高。

雨量：PM_{2.5}重量過輕不易降沉，下雨後將PM_{2.5}降沉至地面，所以空氣中的PM_{2.5}濃度下降，強烈降雨(如午後雷陣雨、颱風等)效果更佳。

風速：風速低時，PM_{2.5}停滯於一地，濃度高；風速高時，PM_{2.5}被吹散至各地，濃度低。但季風通常會帶著沿路的污染物，影響各地，減少PM_{2.5}濃度。

工業排放：營建工地、工廠鍋爐、火力發電廠、電鍍煉鋼(原生性)、化石燃料的燃燒(衍生性)等都是懸浮微粒子形成原因。

2. 以擴散現象模擬大氣擴散，作為 PM_{2.5} 擴散之探討



實驗 2

目的:模擬不同 $PM_{2.5}$ 溫度的擴散情形
操作變因:色素溫度(30°C、40°C、50°C、60°C)

目的:利用水和色素了解擴散現象

實驗 1

目的:模擬不同環境溫度中 $PM_{2.5}$ 擴散情形
操作變因:水溫(30°C、40°C、50°C、60°C)

控制變因:室內溫度、水量、滴入墨汁量

目的:用 L 管從側面滴入色素了解擴散現象

實驗 1

目的:模擬不同 $PM_{2.5}$ 溫度的擴散情形
操作變因:色素溫度(30°C、40°C、50°C、60°C、70°C)

3. 設計模擬環境，探討 PM_{2.5} 擴散情形

(1) 污染物的選擇

目標：容易取得、含空氣品質監測標準的成分。

結果：細懸浮微粒成分有 H₂O、SO₄、NO₃、NH₃、C、VOC_S 等。

線香燃煙的成分 CO、CO₂、SO₂、NO₃、NH₃ 等，且較容易取得。

(2) 模擬空間設計

目標：製造一個密閉、可以注入污染物、擺放實驗組建材、可以開啟光源、阻隔光線進入、放置測量工具的模擬空間。

結果：裝置如下圖 該裝置以側邊以膠帶密封，形成密閉空間、黑色外殼阻止光線進入，污染物可由進氣孔進入此裝置，而在裝置裡面，放入防火磚，並排成固定形狀，模擬當 PM_{2.5} 飄過房子，觀察 PM_{2.5} 的濃度變化。



圖 2 模擬空間側視圖

(3) 污染物排放設計

原因：為了讓含有 PM_{2.5} 的氣體定量

想法：我們將燃燒的線香置於集氣瓶 10 秒，並將收集到的氣體打入裝置(一筒)，確保每一次的 PM_{2.5} 濃度都能控制在一定的範圍內。



圖 3 污染物集氣及進氣設計

(4) 光源、感測器設計

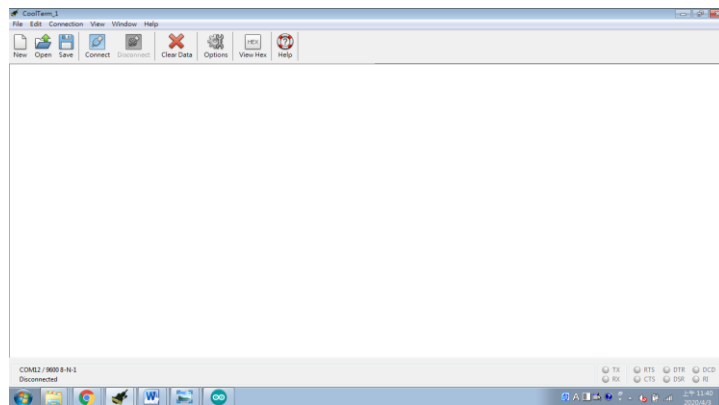
在箱子上方裝設燈管，PM_{2.5}感測器則分別裝設於箱子的前、中、後，

擺設方式如圖 4：



圖 4 空間擺放設計

• 使用者畫面：



(5) 模擬環境背景值實驗

控制變因：固定空間、無光照、通入固定量的汙染物(線香於集氣瓶中燃燒 10 秒→打氣筒從中間位置壓縮至底)、室溫

操作變因：有放建材、無建材組(建材擺放形式及位置)如圖 5



圖 5 建材擺放形式

步驟：

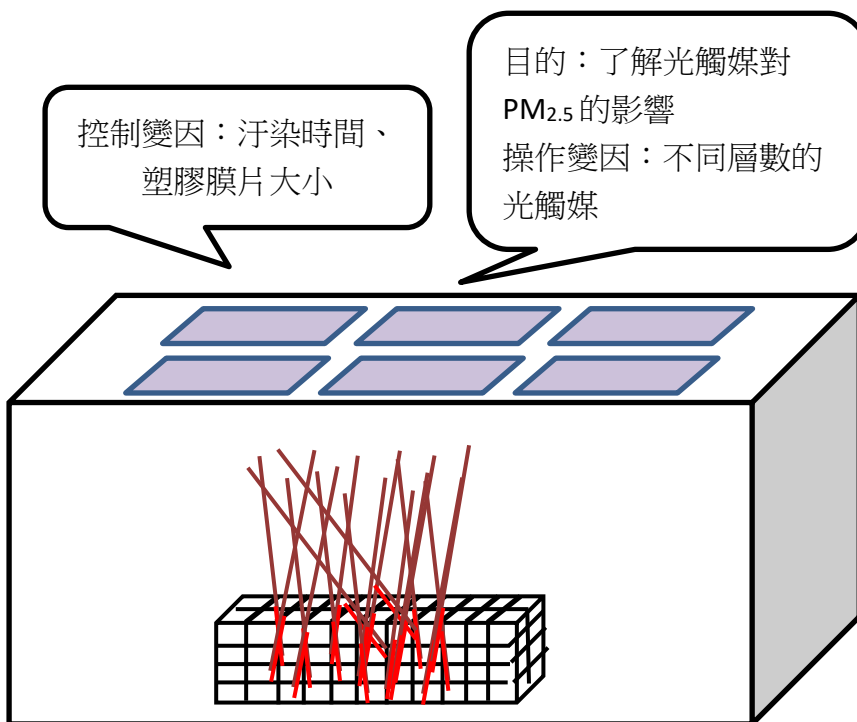
- i. 將模擬箱放置水平，並將縫隙以膠帶密封
- ii. 線香燃燒 10 秒於集氣瓶，以打氣筒通入進氣口。
- iii. 觀察偵測器讀數，持續讀取 20 小時。

二、探討影響改善 PM_{2.5} 之條件

(一) 改善策略一(化學法)-運用奈米光觸媒

在建材外部塗抹奈米光觸媒，探討對 PM_{2.5} 濃度改善情形

1. 塗佈不同層數的光觸媒於建材



• **塑膠膜片**：利用投影片做成盒子，並在下方用線香燻透明盒，層數分為 0~5 層(一層為 1 ml 光觸媒)，並在下方用線香燻，觀察不同層數的 PM_{2.5} 汙染物附著情形。

• **粗糙磚頭**：在粗糙磚頭上分別塗抹 0~5 層的光觸媒，並在下方用線香燻，觀察不同層數的 PM_{2.5} 汙染物附著情形

2. 不同光照環境模擬

目的：探討光觸媒應用於建材對 $PM_{2.5}$ 的改善

實驗二

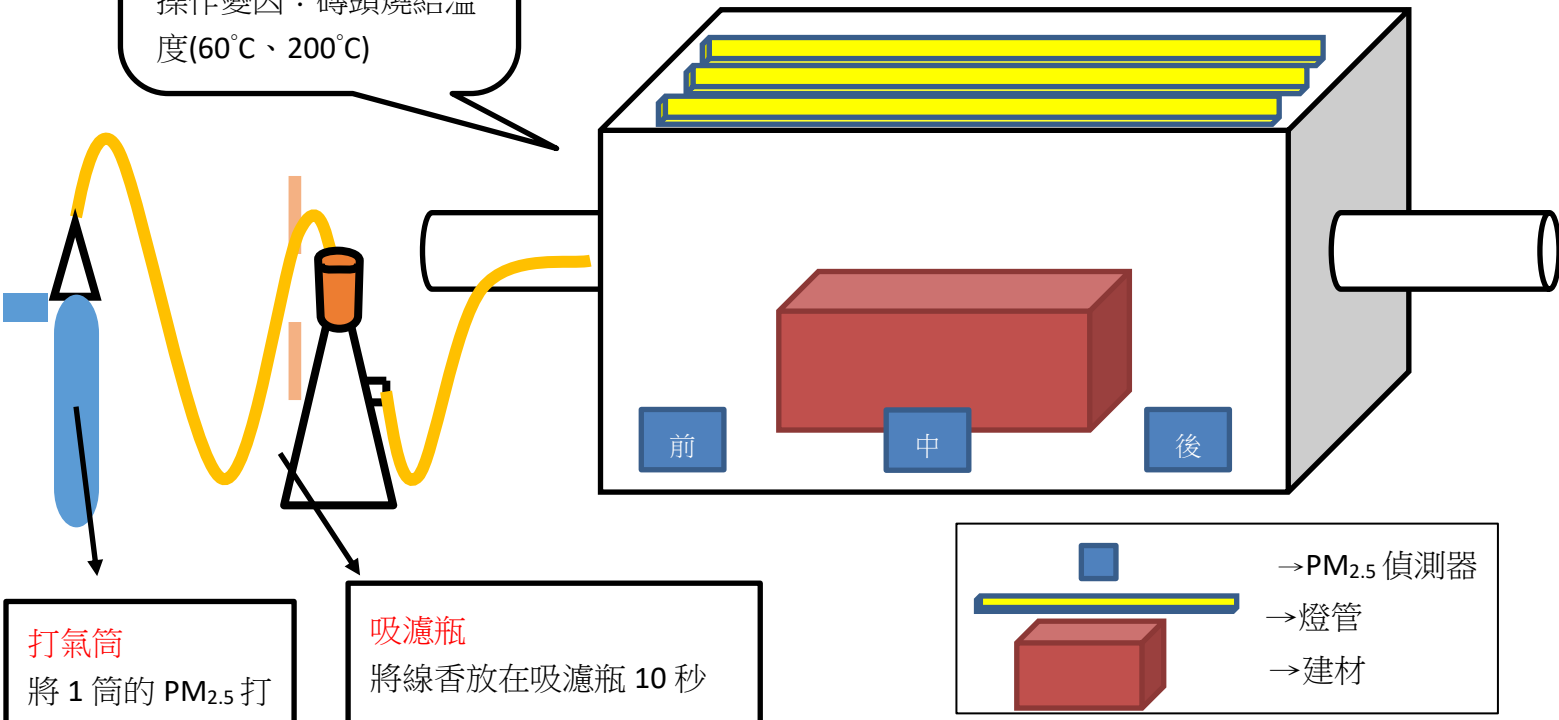
目的：觀察不同光照環境下光觸媒應用於建材對 $PM_{2.5}$ 的影響
操作變因：有無照光

實驗一

目的：觀察光觸媒應用於建材對 $PM_{2.5}$ 的影響
操作變因：有無塗光觸媒

實驗三

目的：觀察不同燒結溫度對 $PM_{2.5}$ 的影響
操作變因：磚頭燒結溫度 ($60^{\circ}C$ 、 $200^{\circ}C$)



• **密閉箱**：將一改良過的箱子放在桌上，並把桌子與箱子之間空隙用膠帶堵住，以模擬密閉的房子。

• **污染物**：初始，是直接將線香放在箱子的孔內，卻發現污染的量很難控制。因此，我們改成把污染物用打氣筒打進箱子裡，我們先將橡皮管及打氣筒連接吸濾瓶，把線香放在吸濾瓶內燻十秒，並用打氣筒把氣體灌進去，約打一下。

• **偵測器**：我們用 arduino 做出三個 $PM_{2.5}$ 的偵測器，分別放在箱子內的前、中、後，加上一個 CO_2 及濕度的偵測器，放在箱子後方，觀察 $PM_{2.5}$ 在 24 小時內變化的程度。

- **磚頭**：將磚頭排成屋子的形狀作為障礙物，觀察在有障礙物和無障礙物的情況下，PM_{2.5}變化的不同，以及觀察障礙物在有、無塗光觸媒的環境下，PM_{2.5}改變的程度差別。

- **燈光**：觀察光線會不會影響光觸媒降低 PM_{2.5} 濃度，一開始用行動充電管開燈，之後卻發現行動充的電量無法維持 24 小時，所以改成直接連插座開燈。

(二)改善策略二(物理法)-康達效應

從煙霧會沿著障礙物擴散的現象，讓我們聯想到煙囪、火箭爐的原理-康達效應，就是流體沿著壁緣移動的例子。

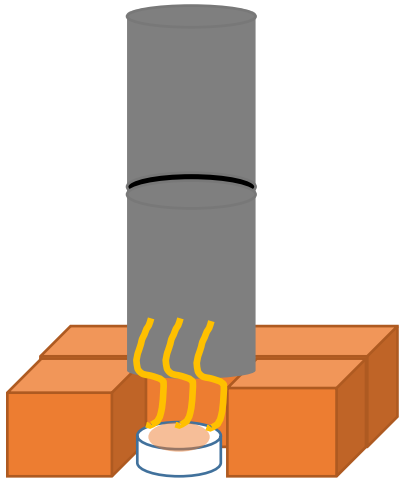
1、運用康達效應，觀察煙霧擴散情形

康達效應為氣流離開原本流動方向，改為沿著物體表面流動之傾向。

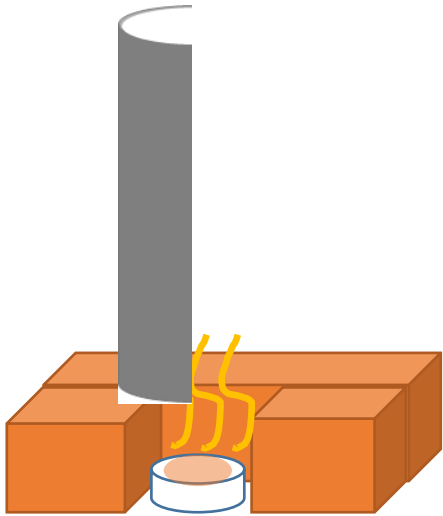
將建築物視為物體，以半圓形水管作為疏導裝置，先觀察煙霧在半圓形水管影響之流動狀況。(P13 實驗示意圖)

2、觀察密閉空間內，康達效應疏導污染物後，PM_{2.5}濃度變化情形

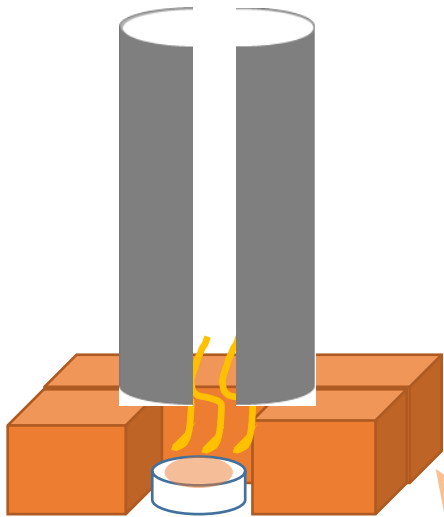
再將半圓形水管運用於擴散觀察裝置(如 P14 實驗示意圖)，觀察半圓形水管對於 PM_{2.5}濃度變化情形。



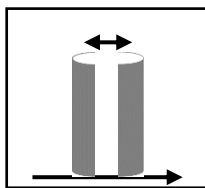
目的：
 觀察水管(後方)對煙的移動方向之影響
 控制變因：水管高度、實驗環境、汙染物
 操作變因：水管距離汙染物遠近
 (0cm~10cm)
 應變變因：煙的移動方向



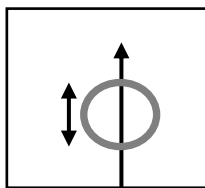
目的：
 觀察水管(左方)對煙的移動方向之影響
 控制變因：水管高度、實驗環境、汙染物
 操作變因：水管距離汙染物遠近
 (0cm~10cm)
 應變變因：煙的移動方向



目的：
 觀察水管(左右)對煙的移動方向之影響
 控制變因：水管高度、實驗環境、汙染物
 操作變因：水管距離汙染物遠近
 應變變因：煙的移動方向

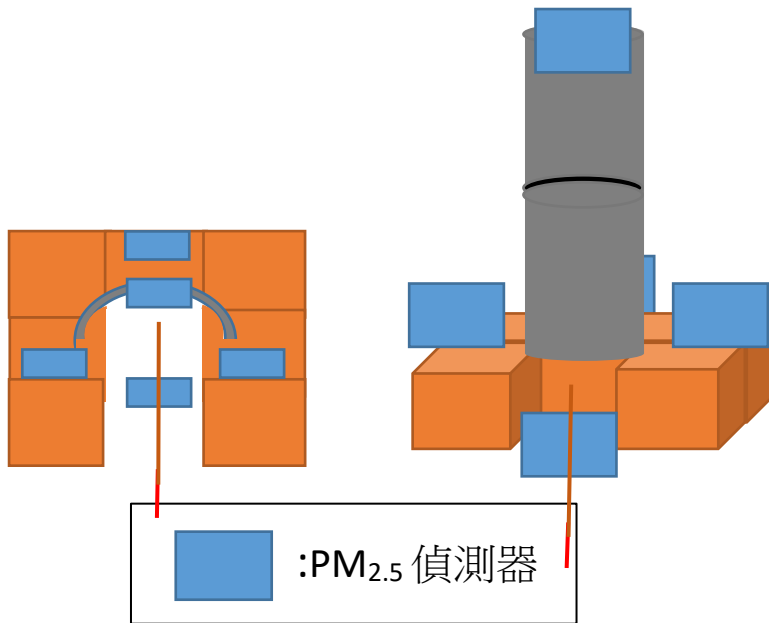


X 軸



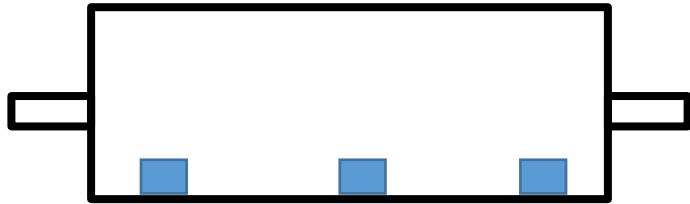
Y 軸

(2cm,4cm,6cm,8cm,10cm) (0cm,2cm,4cm,6cm,8cm)

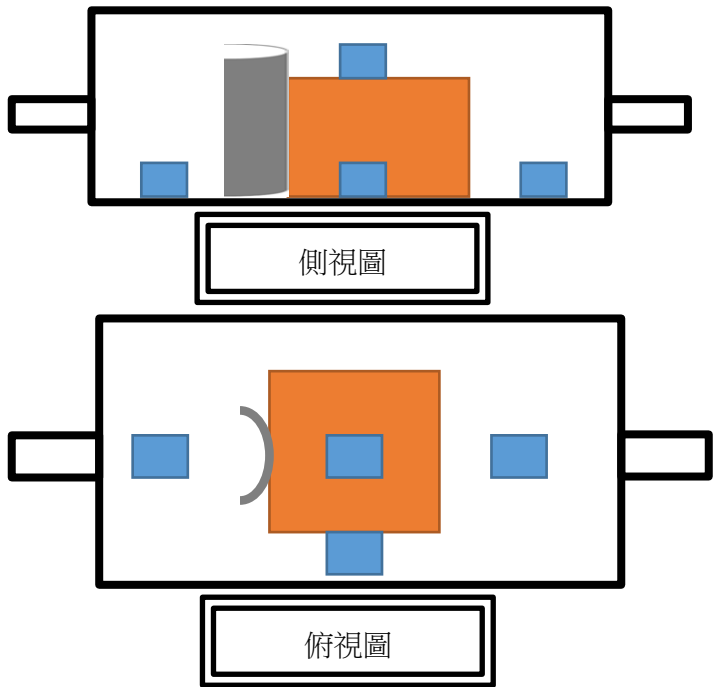


目的：利用 PM_{2.5} 偵測器觀察水管對煙的移動方向之影響
 控制變因：水管高度、實驗環境
 操作變因：水管距離污染物遠近 (0cm~10cm)
 應變變因：煙的移動方向

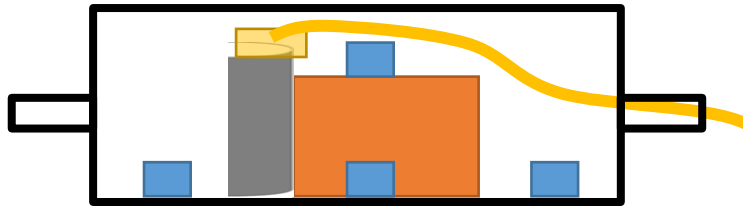
目的：模擬在密閉空間中，水管影響 PM_{2.5} 移動的情形



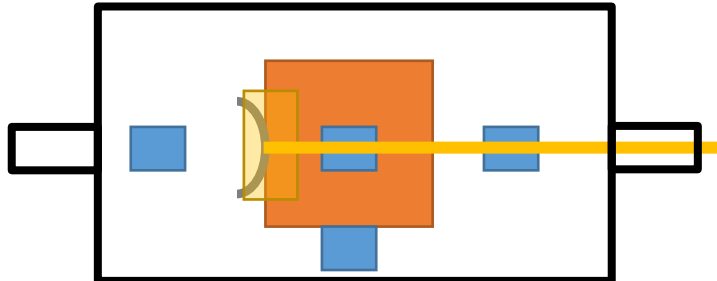
空白實驗
 操作變因：無磚頭、無水管
 控制變因：實驗環境(密閉無光)、污染物(線香)
 應變變因：不同位置的 PM_{2.5} 偵測器所測到的數值



實驗 1
 操作變因：放置水管
 控制變因：實驗環境(密閉無光)、
 污染物(線香)、防火磚擺放位置、
 水管高度
 應變變因：不同位置的 PM_{2.5} 偵測器所測到的數值



側視圖



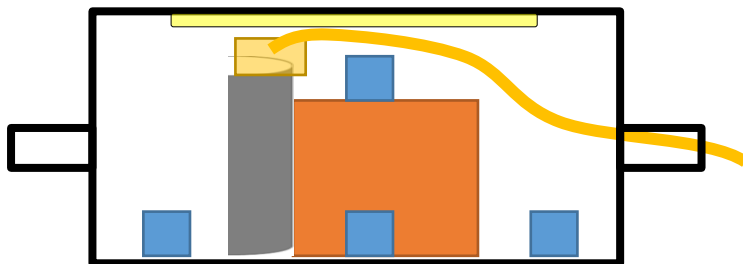
俯視圖

實驗 2

操作變因：排氣裝置

控制變因：實驗環境(密閉無光)、污染物(線香)、防火磚擺放位置、水管高度

應變變因：不同位置的 PM_{2.5} 偵測器所測到的數值



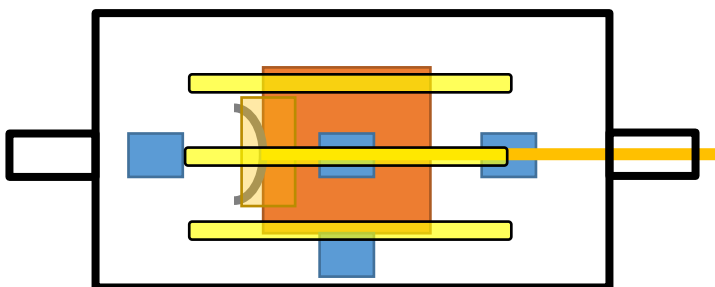
側視圖

實驗 3

操作變因：磚頭塗光觸媒

控制變因：實驗環境(密閉有光)、污染物(線香)、防火磚擺放位置、水管高度

應變變因：不同位置的 PM_{2.5} 偵測



俯視圖

實驗 4

操作變因：水管塗光觸媒

控制變因：實驗環境(密閉有光)、污染物(線香)、防火磚擺放位置、磚頭塗光觸媒

應變變因：不同位置的 PM_{2.5} 偵測器所測到的數值

伍、 結果與討論

一、以擴散現象探討 PM_{2.5} 之擴散

2. 探討 PM_{2.5} 的來源及影響 PM_{2.5} 濃度的因素

(1) 探討 PM_{2.5} 的來源及種類

目標：了解 PM_{2.5} 的來源跟種類，以了解造成日常生活中空氣品質不佳的主要來源，以思考實驗方式及改善策略。

結果：

- a. 從資料蒐集可以得知，部分地區長期空氣品質不佳的來源主要為人類行為造成之影響。
- b. 根據「台灣 PM_{2.5} 成因分析與管制策略研擬」報告指出，境內影響空氣汙染不佳主要為硝酸根(氮氧化物)汙染物之增加、境外移入造成之空氣汙染主要為硫酸根(硫氧化物)汙染物之增加。
- c. 根據環保署 106 年「臺灣空氣品質現況與防制策略」報告指出，氮氧化物主要來源於工業、電廠及車輛排放，而車輛排放對近地表氮氧化物貢獻度較高。

小結：因此本研究選擇日常常見的線香作為本研究之汙染源。

(2) 影響 PM_{2.5} 濃度的因素

目標：了解影響 PM_{2.5} 濃度改變的因素，以設計模擬實驗及探討改善策略。

結果：

影響 PM_{2.5} 濃度的因素，可以分為地形、雨量、風速及汙染製造(工業、火力發電廠、汽機車排放等)。

- a. 地形：以中部地區為例，埔里盆地因地形因素，因而空氣品質不佳。
- b. 汙染源：2019 全台空氣品質排行，空氣品質不良(PM_{2.5}>35.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)天數高屏地區有 21%(工業影響)、中部地區 8%(發電廠影響)。
- c. 風速：台灣地區 PM_{2.5} 濃度在冬季時，因東北季風影響，中南部空氣品質較不佳，即風造成之影響。

d. 雨量：在強降雨，如午後雷陣雨、颱風等強降雨後，空氣品質指標多呈現綠色(良好)。

小結：因此本研究擬設計密閉空間，以控制風速及雨量影響，並於密閉空間內放置障礙物，以比較地形之影響。

3. 以擴散現象模擬大氣擴散，探討 PM_{2.5} 模擬情形

(1) 不同水溫(不同環境溫度)

目標：以水模擬大氣，墨汁作為污染物，探討墨汁在不同水溫(環境溫度)的擴散情形，取水溫 23°C、30°C、45°C、60°C、75°C。

實驗結果：溫度越高的水溫，會讓污染物越快擴散至整個燒杯，溫度低的狀況下，僅受到重力作用下沉，擴散範圍也無法至整個燒杯。

高水溫擴散情形：

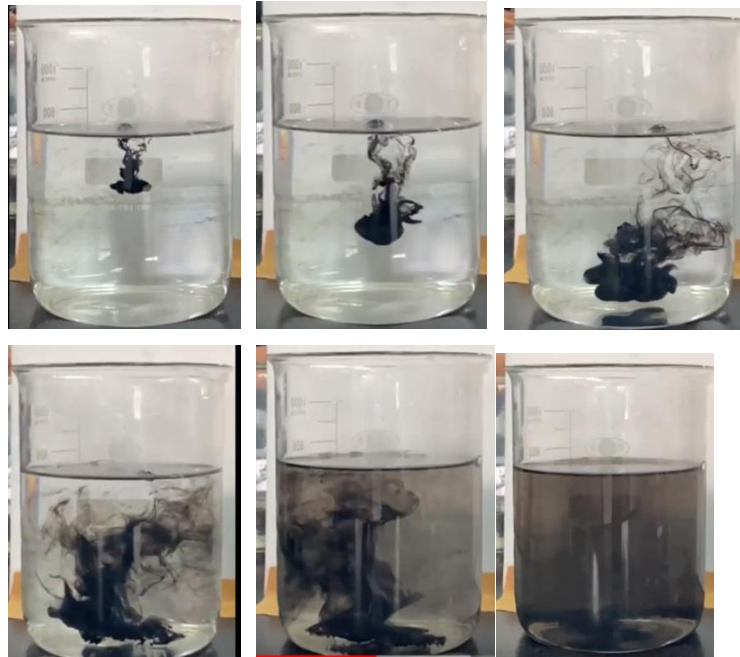


圖 6 水溫 60°C、墨溫 23°C 擴散情形

低水溫擴散情形：

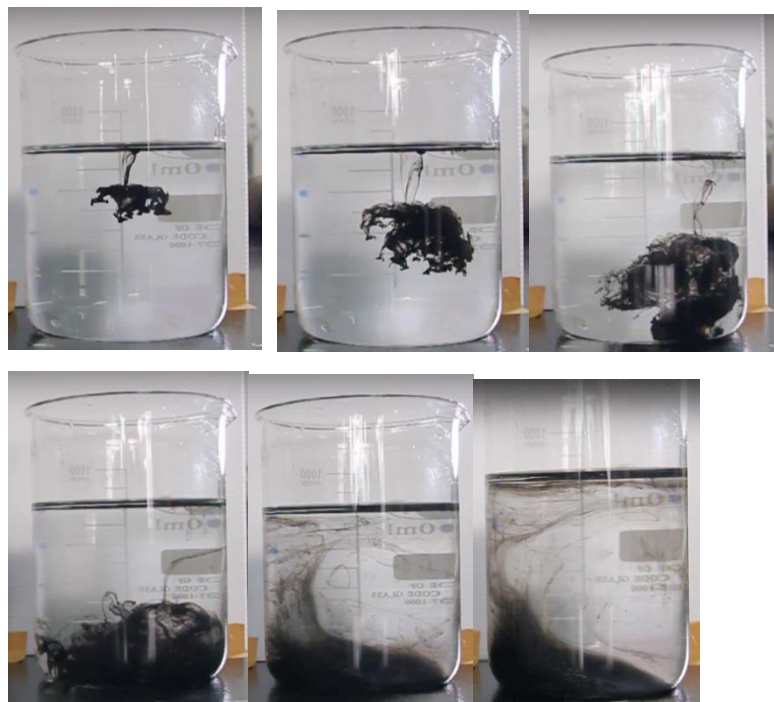


圖 7 水溫 23°C、墨溫 23°C 擴散情形

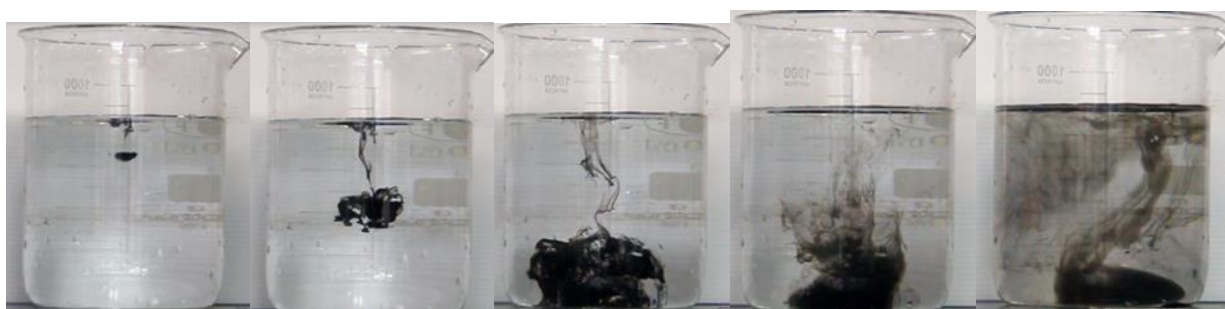
(2) 不同墨汁溫度(不同污染物溫度)

目標：以水模擬大氣，墨汁作為污染物，探討不同墨汁溫度在室溫水溫(23°C)的擴散情形，取墨溫 23°C、30°C、45°C、55°C。

實驗結果：高墨溫擴散時，墨汁分子所含之動能較高，因此會往滴入方向迅速移動，至反彈到空間壁才擴散。為了驗證並非重力的影響，因此另外設計從側邊滴入的方式，也是相同結果。在有障礙物的時候，高溫墨汁會沿著障礙物邊緣擴散，低溫墨汁則較不明顯。

高墨溫擴散情形：

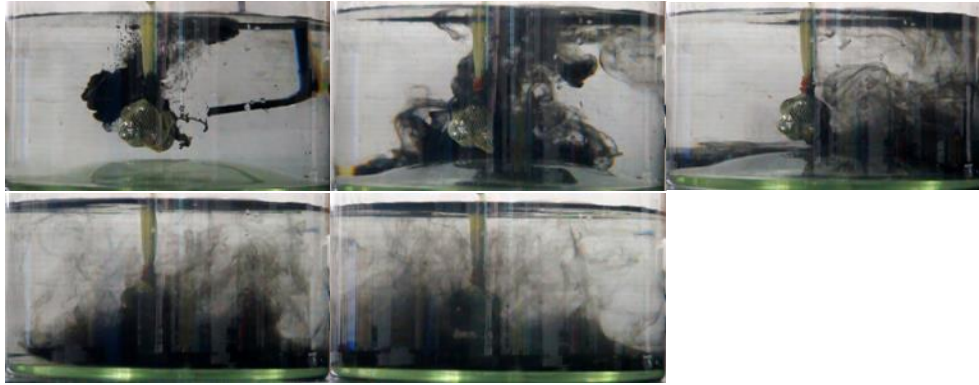
A 模式(從上往下滴)(左邊圖片為起始) 水溫 22°C、墨溫 55°C



B 模式(從側邊滴入)(左邊圖片為起始) 水溫 22°C、墨溫 55°C

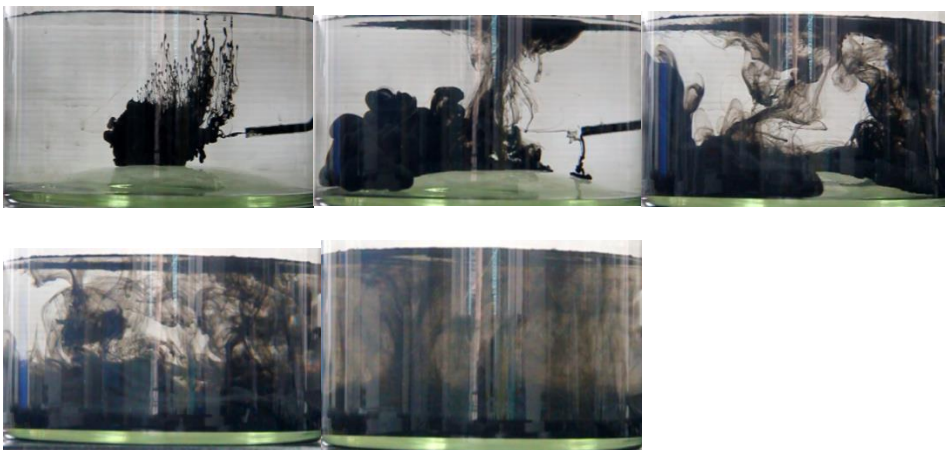


C 模式(從側邊滴入)(左邊圖片為起始)(有障礙物)水溫 22°C、墨溫 55°C



低墨溫擴散情形：

B 模式(從側邊滴入)(左邊圖片為起始) 水溫 22°C、墨溫 22°C



C 模式(從側邊滴入)(左邊圖片為起始)(有障礙物)水溫 22°C、墨溫 22°C



(3) 不同密度水(不同環境密度，25°C 時空氣密度為 1.1839 kg/m³)

目標：了解污染物與環境，在不同密度情形下，擴散情形的影響。

實驗結果：墨汁在室溫(23°C)時，密度為 1.058g/cm³，23°C 的水為 0.997g/cm³。配置溶解度 10g 食鹽/100g 水的鹽水，密度約 1.1 g/cm³，滴入密度 1.1 g/cm³ 的鹽水中，墨汁不易擴散(無法溶質及溶液一起)，更多的是浮在水面上，只有部分黑色顆粒逐漸擴散。因此混合物若遭遇密度比自身大的環境，僅有密度大的溶質會沉降、擴散。如下圖



圖 8 密度 1.1g/ml 鹽水擴散情形

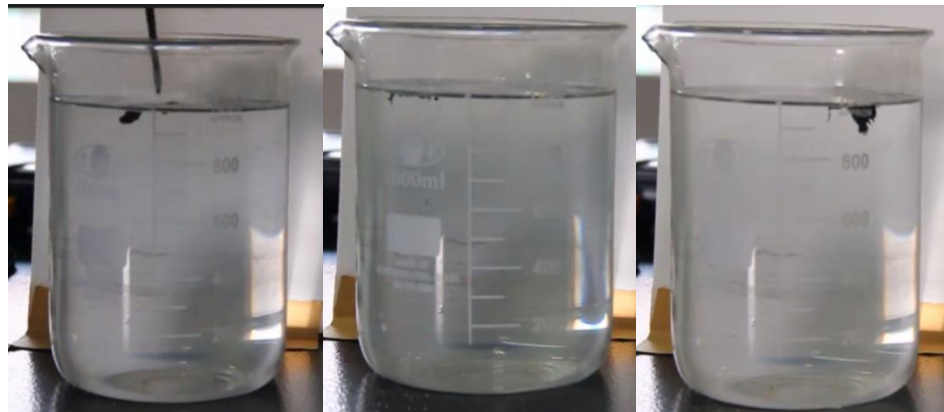


圖 9 密度 1.2g/ml 鹽水擴散情形

4. 實驗裝置設計與 PM_{2.5} 污染物擴散探討

(1) 光源、感測器設計

目標：能長時間觀察空間內 PM_{2.5} 濃度，及進行光照與否的實驗設計。

實驗結果：因此在空間外部架設 LED 燈管、包覆鋁箔紙成為暗室；在空間內部，連結 arduino uno 板，測量空間內三點位置 PM_{2.5} 濃度。



圖 10 裝置設計簡圖

(2) 模擬環境背景值實驗

目標：為瞭解模擬空間 PM_{2.5} 濃度背景值及模擬空曠空間擴散情形。

實驗結果：以污染物排入模擬空間，空間內分為無置放建材(空曠空間)及置放建材(模擬房屋)，靜置後讀取數據得到下圖 11、12 資料。

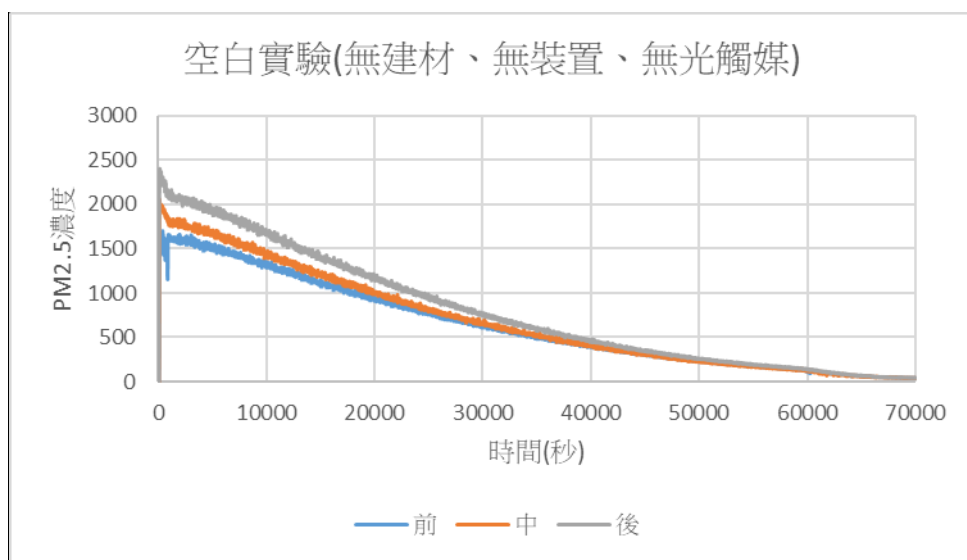


圖 11 模擬空曠空間靜置實驗(背景擴散實驗)

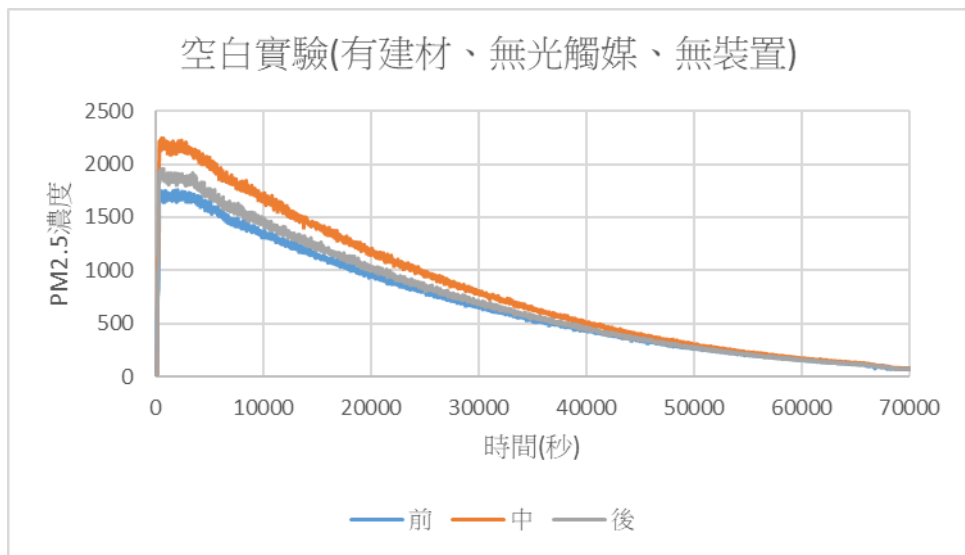


圖 12 模擬城市空間靜置實驗(有建材之背景擴散實驗)

(3) 建立擴散假說

A. 濃度下降原因探討：

根據空白實驗結果顯示，經過 70,000 秒後，濃度數值下降至一定量，甚至低於模擬空間外的 PM_{2.5} 數值，我們推測的狀況有：

- i. 污染物自入口進入後，逐漸擴散至整個空間，因此濃度數值逐漸下降一定量。(濃度逐漸下降原因)
- ii. 污染物吸附於空間壁上及沉降至空間底部，因此濃度數值下降比空間外背景值還低。(比空間外背景值還低原因)

B. 空曠空間擴散探討

- i. 根據本研究於污染物入口開始，設置前、中、後三位置偵測器。起初靠近污染物入口的偵測器，會先感應到污染物數值上升，其次為中間位置，再到後方位置；但讀取到最高濃度的位置都是後端位置的偵測器。
- ii. 從墨汁擴散實驗中，墨汁溫度較高的情形會比較接近本研究排放污染物之狀況。溫度較高的空氣粒子具有較高動能，因此快速移動至空間壁，再反彈擴散至整個空間。
- iii. 結合本研究兩個實驗結果推論：污染物高於空氣溫度，因此

有高溫分子擴散的狀況，會擴散至空間壁再反彈擴散。從文獻比對污染源對 PM_{2.5} 污染狀況，距離污染源越近，並非是污染嚴重區域，而是距離污染源一段距離的區域才是受污染嚴重的地區。因此推測，污染物溫度、空氣溫度及風速會對污染物擴散造成影響。

C. 模擬城市空間擴散探討

- i. 模擬空間中放置建材模擬大樓，發現污染物遇到障礙物後即反彈擴散，沿著建材邊緣擴散(中位置偵測器數值較高)，與墨水擴散實驗中，水中放置障礙物的情形類似。
- ii. 綜合上述推測，污染物遭遇到障礙物，會沿著障礙物邊緣擴散，中區段濃度較高，因此若能利用障礙物來進行空氣污染改善策略，是一個可以探討的方向。

二、探討影響改善 PM_{2.5} 之條件

(一)改善策略一(化學法)-使用奈米光觸媒

1. 塗佈不同層數的光觸媒於建材

目標：了解污染物在不同層數的奈米光觸媒樣本上造成的影響。

實驗結果：塗抹層數較高的樣品，沾附線香污染物的狀況較少，因此評估奈米光觸媒對於 PM_{2.5} 濃度改善會有一定程度的影響。

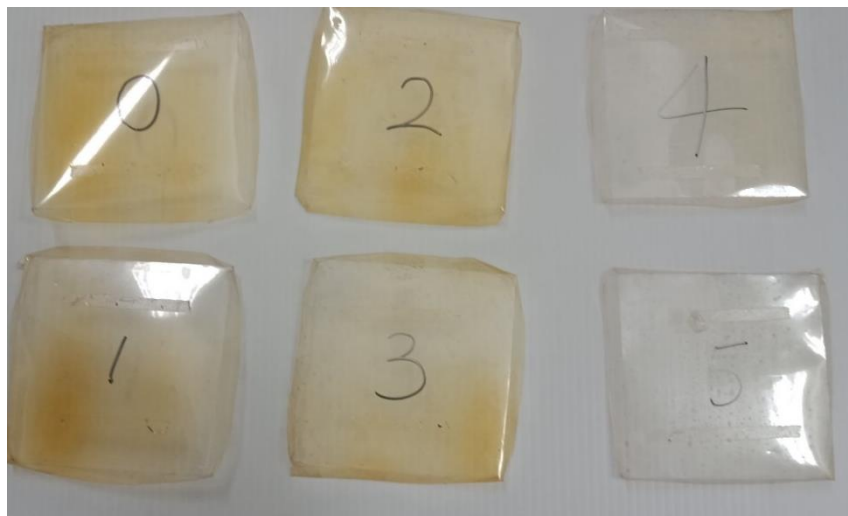


圖 13 不同層數光觸媒受線香煙燻結果

2. 不同光照環境模擬

目標：了解奈米光觸媒在不同光照狀況下，對 PM_{2.5} 濃度之影響。

實驗結果：

1. 建材塗抹光觸媒後，「建材塗抹光觸媒無照光組(圖 14)」與「有建材背景擴散實驗對照組(圖 12)」PM_{2.5} 濃度上升趨勢相近，皆為中端(建材前)測得較高數值，建材前端最先下降。
2. 而「建材塗抹光觸媒有照光組(圖 15)」，讓 PM_{2.5} 濃度下降的效果是最佳的，在第 20000 秒即下降至 AQI 普通級別；「建材塗抹光觸媒無照光組」讓 PM_{2.5} 濃度下降效果較不佳，要到約 45000 秒，才能下降至 AQI 級別。

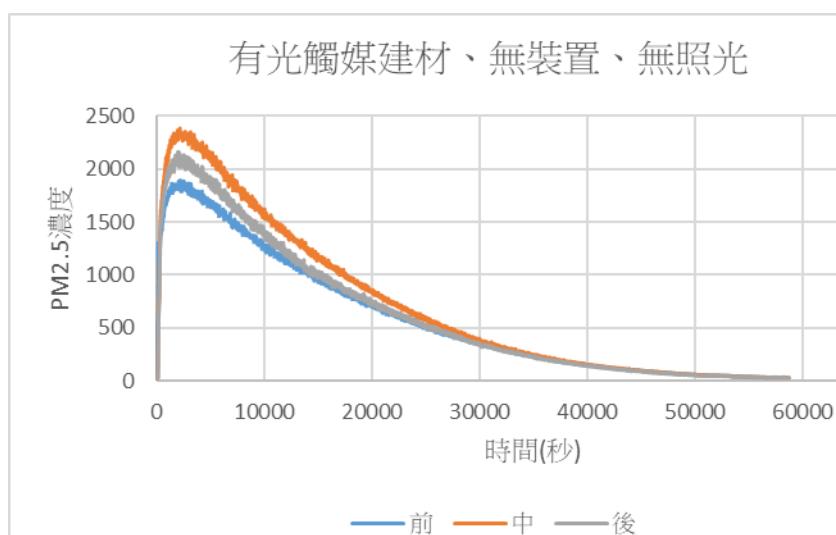


圖 14 建材塗抹光觸媒，未給予光照實驗組 PM_{2.5} 濃度變化

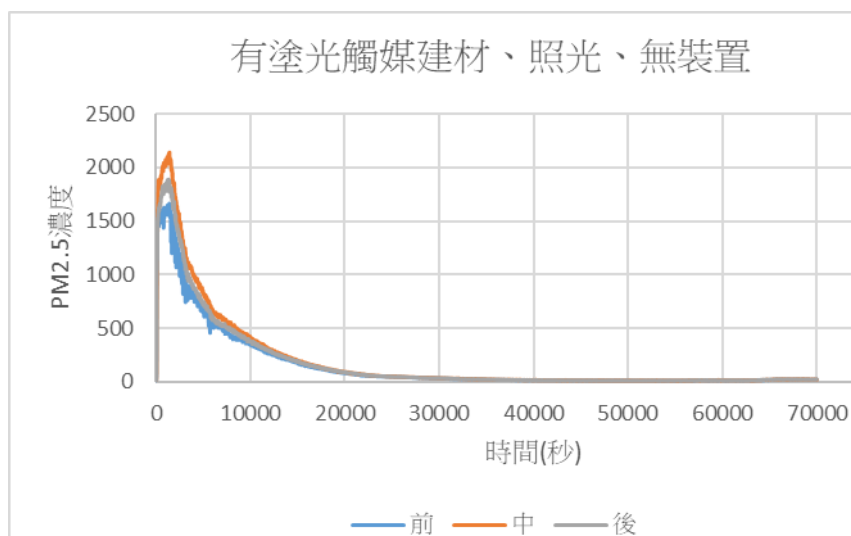


圖 15 建材塗抹光觸媒，給予日光燈光照實驗組 PM_{2.5} 濃度變化

(二)改善策略二(物理法)-康達效應

1. 運用康達效應，觀察煙霧擴散情形

(1) 煙會往管子流動，碰到管壁反彈，接著沿管壁螺旋狀上升，至管壁高度擴散。而煙源離管子越近，從旁邊流失的煙越少。

(2) 即使煙未在靠近水管中心燃燒，旁邊的煙在擴散過程也會沿著水管壁引導而疏散，無須額外提供驅動力。



圖 16 實驗過程圖

2. 觀察密閉空間內，康達效應疏導污染物後，PM_{2.5} 濃度變化情形

(1) 靜置空間中建材前方放上半圓形水管(疏導裝置)，可以發現後方 PM_{2.5} 濃度上升較快(圖 17)，降至 AQI 普通級別比「有建材背景擴散組(圖 12)」的 7,000 秒快 5,000 秒。

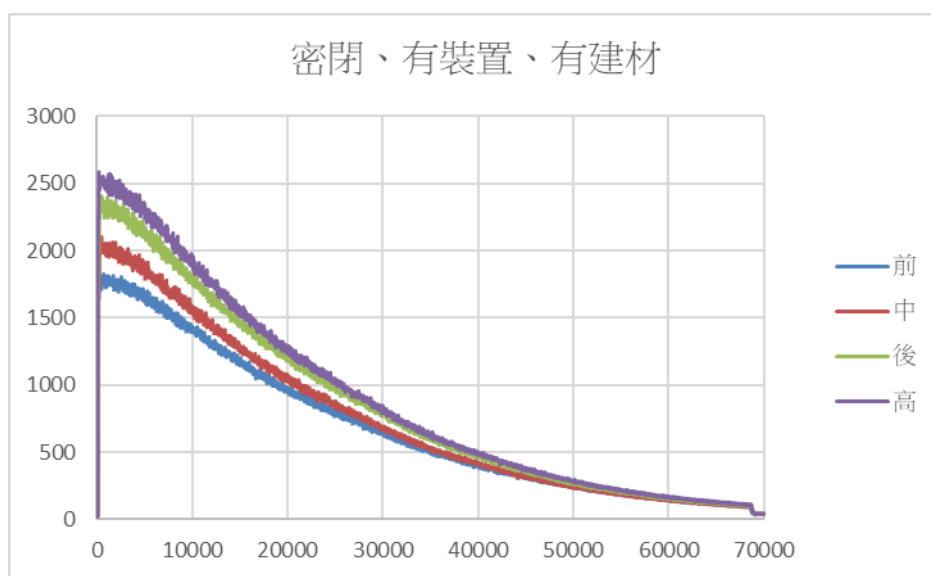


圖 17 有放置建材無塗光觸媒，加上疏導裝置組

(2) 因此思考，若將疏導裝置加上一個排氣管，是否速度會加快？從圖 18 可觀察到，約 35,000 秒即達到 AQI 普通級別。

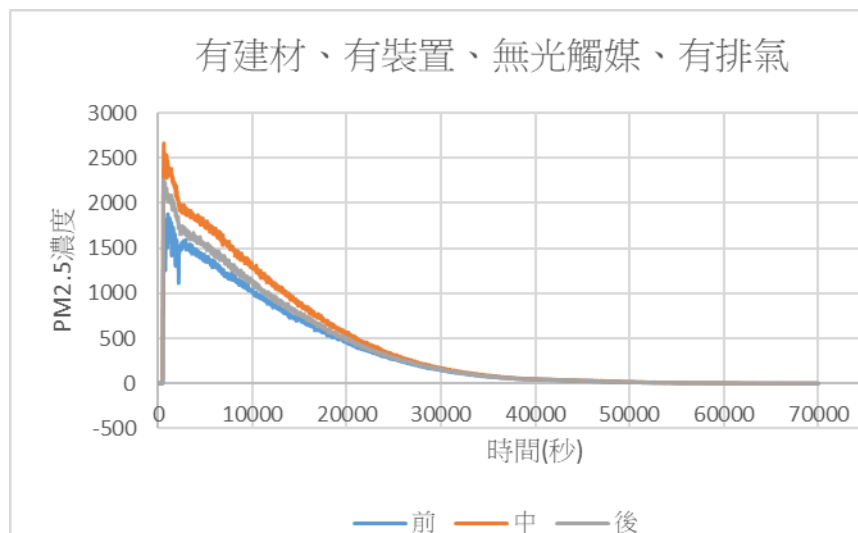


圖 18 有放置建材無塗光觸媒，加上疏導裝置及排氣管

3. 奈米光觸媒及康達效應運用探討

為了達到更好效果，我們嘗試將兩種方法結合，實驗結果如下表資料：

	建材情形	疏導裝置	光照	是否有排氣管	達到 AQI 普通級別(PM _{2.5} 濃度 <35.4)時間
背景值	無建材	無	無	無 (密閉空間)	約 60,000 秒
P14 空白實驗	有建材 (無塗光觸媒)	無	無	無 (密閉空間)	約 70,000 秒
P14 實驗 1	有建材 (無塗光觸媒)	有	無	無 (密閉空間)	約 65,000 秒
P15 實驗 2	有建材 (無塗光觸媒)	有	無	有	約 35,000 秒
比較實驗	有建材 (無塗光觸媒)	無	無	有	約 45,000 秒
P15 實驗 3	有建材 (有塗光觸媒)	無	無	無 (密閉空間)	約 45,000 秒
P15 實驗 3	有建材 (有塗光觸媒)	無	有	無 (密閉空間)	約 21,000 秒
P15 實驗 4	有建材 (有塗光觸媒)	有	有	有	約 13,000 秒
P15 實驗 4	有建材 (有塗光觸媒)	有(表面塗 光觸媒)	有	有	約 8,000 秒

從上表推論可知，無論使用化學法-奈米光觸媒、或物理法-康達效應，

皆可達更快降低 PM_{2.5} 濃度的效果。

陸、 結論

一、以擴散現象探討 PM_{2.5} 之擴散

1. 探討 PM_{2.5} 的來源及影響 PM_{2.5} 濃度的因素

懸浮微粒來源可分為原生性及衍生性，原生性主要為自然產生及人為製造，衍生性為原生性微粒經由氣體-微粒化學作用或其他化學反應產生。文獻中提到：PM_{2.5} 約佔 PM₁₀ 質量濃度的 55-70%，其中 PM_{2.5} 的主要成分為無機二次氣膠微粒及含碳物質。(曾志評 & 蔡春進, 2006)

2. 以擴散現象模擬大氣擴散，探討 PM_{2.5} 模擬情形

(1) 不同水溫(不同環境溫度)

在溫度較高的水中，熱對流旺盛，容易讓墨汁容易擴散。從資料中找到相符，在對流旺盛時空氣被迅速往上帶動，PM_{2.5} 濃度較低，冬天則反之。(方國權, 2017)

(2) 不同墨汁、色素溫度(不同污染物溫度)

在墨汁、色素溫度較高時，分子速率較高，移動速度較快，會移動撞擊到空間壁面後再反彈，再擴散至整個空間。與燃燒物質時，煙霧迅速擴散至空間中現象類似。

(3) 不同密度水(不同環境密度)

墨汁為混合物(與污染物狀況相同)，密度略大於純水，會藉由擴散作用逐漸擴散至整杯水中；但加入鹽水後，因密度小於鹽水，絕大部分物質在水面上，僅有部分墨汁溶質逐漸下沉並擴散。

(4) 模擬環境背景值實驗

- i. 在沒有放置建材的模擬實驗中，空間後方(距離進氣孔較遠處)濃度最高，中間及前端濃度逐漸上升，與高墨溫的擴散實驗結果相同。(溫度高的污染物，迅速移動直到撞擊到空間壁面)
- ii. 在放置建材的模擬實驗中，空間中間濃度最高，主要集中在建材側邊。(污染物建材沿著建材擴散，從兩側逐漸往整個空間擴散，撞到空間壁後反彈)

(5) 建立擴散假說

A. 濃度下降原因探討：

根據空白實驗結果顯示，經過 5 個小時後，濃度數值下降至一定量，甚至低於模擬空間外的 PM_{2.5} 數值，我們推測的狀況有：

- i. 污染物自入口進入後，逐漸擴散至整個空間，因此濃度數值逐漸下降一定量。(濃度逐漸下降原因)
- ii. 污染物吸附於空間壁上及沉降至空間底部，因此濃度數值下降比空間外背景值還低。(比空間外背景值還低原因)

B. 空曠空間擴散探討

結合本研究兩個靜置實驗結果推論：污染物高於空氣溫度，因此有高溫分子擴散的狀況，會擴散至空間壁再反彈擴散。從文獻比對污染源對 PM_{2.5} 污染狀況，距離污染源越近，並非是污染嚴重區域，而是距離污染源一段距離的區域才是受污染嚴重的地區。因此推測，污染物溫度、空氣溫度及風速會對污染物擴散造成影響。

C. 模擬城市空間擴散探討

污染物遭遇到障礙物，會沿著障礙物擴散，因此若能利用障礙物來進行空氣污染改善策略，是一個可以探討的方向。

二、探討影響改善 PM_{2.5} 之條件

在建材外部塗抹奈米光觸媒，探討對 PM_{2.5} 濃度改善情形

改善策略一(化學法)-運用奈米光觸媒

1. 塗佈不同層數的光觸媒於建材

從實驗中可以發現，塗抹多層奈米光觸媒的樣品，越不容易被線香燃燒污染物附著。

2. 不同光照環境模擬

在建材上塗抹光觸媒並有光照的實驗組，讓空間內 PM_{2.5} 濃度下降

的趨勢，高於未進行光照的實驗組；且對照無塗抹光觸媒的實驗組，皆比「放置建材的靜置實驗組」下降趨勢更快，可以發現不僅是污染物逐漸擴散到空間中造成的，且光觸媒具降低 PM_{2.5} 濃度的效果。且在空間壁中都有觀察到水珠殘留(光觸媒會分解有機物形成水及二氧化碳)，若有儀器可以進一步觀測，可以驗證奈米光觸媒分解 PM_{2.5} 中的有機物，達到降低 PM_{2.5} 濃度效果

改善策略二(物理法)-結合康達效應

1. 利用半圓形水管，觀察煙霧沿半圓形水管擴散情形

從康達效應得知，流體會沿著物體表面流動，本實驗以半圓形水管作為氣流收集裝置。觀察煙霧流動情形，煙霧會沿著水管壁螺旋向上流動至水管頂部。即使離水管一段距離之煙霧，擴散至水管附近時，無須動力會被水管收集，擴散至水管頂端。

2. 利用半圓形水管至於建材前時，會讓污染物更快擴散至實驗空間後方，讓 PM_{2.5} 濃度更快下降。(至 AQI 普通級別時間 70,000 秒→65,000 秒)

3. 若在半圓形水管頂部位置放置一排氣孔，無疏導裝置(半圓形水管)花費 45,000 秒達到 AQI 普通，加上疏導裝置是 35,000 秒。代表疏導裝置確實可以達到降低 PM_{2.5} 濃度效果，更快的疏導污染物。

三、結合兩項改善策略之條件

結合兩項改善策略，可讓在密閉空間中不易擴散的 PM_{2.5} 污染物，更快的擴散至整個空間，甚至部分被分解。本實驗採用化學法(奈米光觸媒)嘗試分解，物理法(康達效應)嘗試疏導，在兩種處理方式同時運用時，AQI 達到普通級別時間從 70,000 秒減少至 8,000 秒。故可運用奈米光觸媒塗佈建材，並結合現有建物加裝康達效應裝置等，可加速降低及疏導 PM_{2.5} 濃度的效果，達到低空污的生活環境。

柒、 參考文獻

方國權. (2017). 室內室外的 PM2.5 都是隱形殺手. Retrieved from

<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/ac1G.htm>

余國賓. (2018). PM2.5 知多少?. Retrieved from

<http://scitechreports.blogspot.com/2018/01/pm25.html>

曾志評, & 蔡春進. (2006). 桃園地區大氣懸浮的現場採樣分析及一個微粒採樣器的開發研究.

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品 (2018) 以小搏大-奈米二氧化鈦用於建材改善 PM_{2.5} 濃度之研究

PM_{2.5} 報導 <http://pansci.asia/archives/flash/114784>

PM_{2.5} 成分報導 <https://udn.com/news/story/7266/2528245>

光觸媒與 PM_{2.5}

<http://pm25-topic.weebly.com/208093532023186250332999226044pm25.html>

【評語】 032921

1. 主題有趣，實驗設備也頗簡易，是好的方向，研究結果顯示結合康達效應和光觸媒對改善 PM2.5 有助益。
2. 先是以墨汁在水中之擴散，進行模擬，然在液相與氣相擴散，二者行為差距頗大。大氣擴散有垂直和水平方向，垂直方向以溫度差為驅動力，水平擴散以流傳，濃度擴散/動力擴散為主，與靜止且等溫的水環境無法視為雷同，另擴散源也難類比，宜思考模型之適切性。
3. 本研究為延續性研究，思考脈絡與先前作品相似，本實驗設計中增加康達效應改善 PM2.5 濃度的做法，惟一般認知之康達效應，與煙塵粒子與沉積於固體表面的作用並不相同。
4. 擬以光觸媒解決 PM2.5 的問題，宜加強以光觸媒可以分解 PM2.5 的理論，另研究中 PM2.5 感測器都放在桌面上，宜討論放置的高度對實驗結果的影響。

摘要

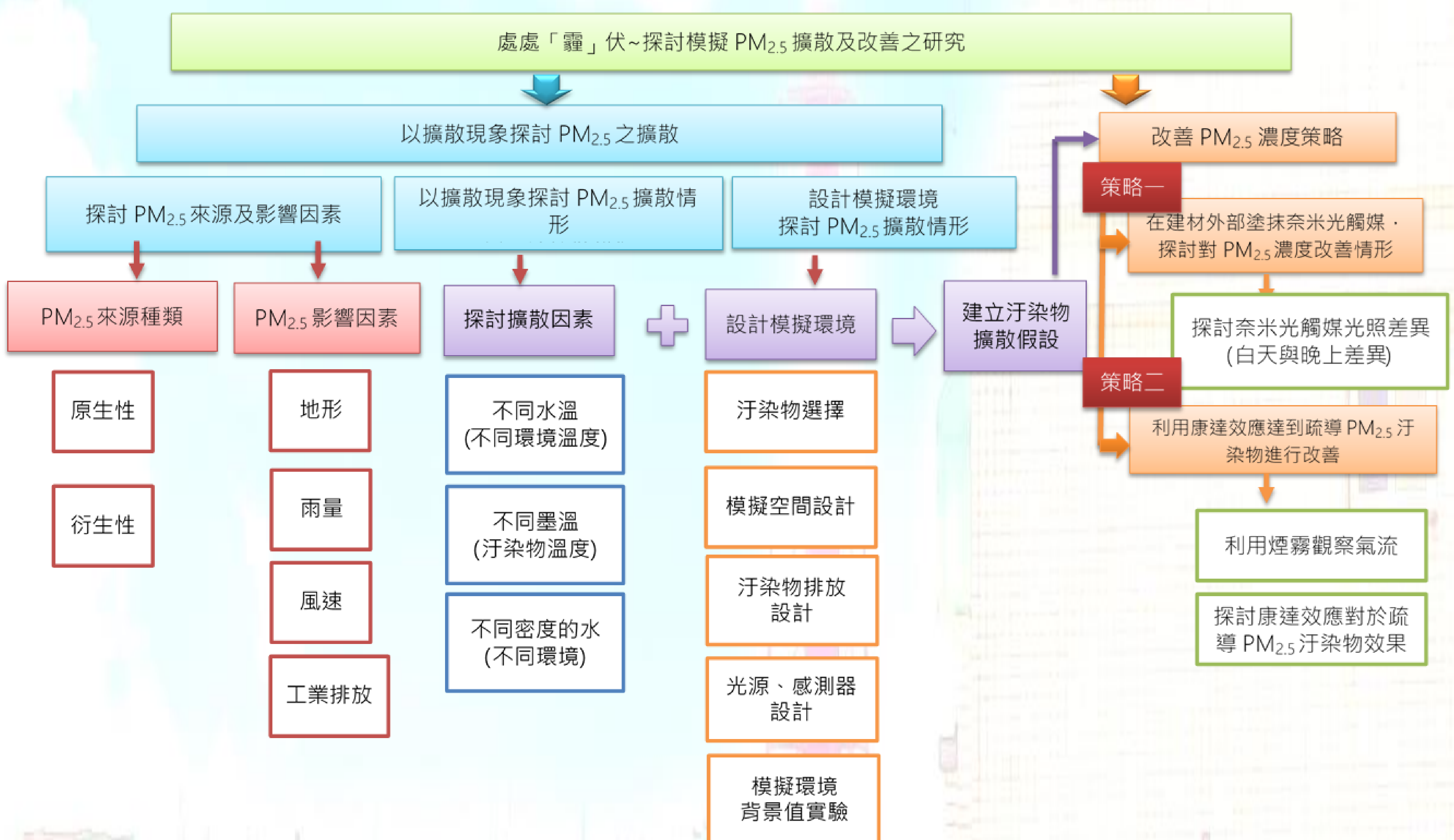
本研究為探討霾害問題，以墨汁及色素擴散實驗模擬PM_{2.5}污染擴散，自製PM_{2.5}擴散觀察裝置，觀察擴散過程，污染物受障礙物阻擋，汙染物沿物體擴散，漸擴至整個空間，使污染物難以擴散。改善策略如下：

1. 奈米光觸媒塗在建材，使PM_{2.5}有機物被光觸媒分解為CO₂及H₂O的產生；經奈米光觸媒處理，使空間PM_{2.5}濃度下降趨勢高於對照組(至AQI普通級別時間：70,000秒至21,000秒)。

2. 康達效應可將污染物疏導，解決大氣擴散不佳及建築物阻擋狀況。發現煙霧會沿半圓形管疏散，作為擴散裝置，發現裝置可更快降低空間PM_{2.5}濃度(至AQI普通級別時間：70,000秒至35,000秒)。

結合上述改善策略，使PM_{2.5}濃度降至AQI普通級從70,000秒至8,000秒，運用奈米光觸媒及搭配建物結合康達效應之設計，可達低空污生活環境。

架構圖



一、以擴散現象探討PM_{2.5}之擴散

1. 探討PM_{2.5}的來源及影響PM_{2.5}濃度的因素

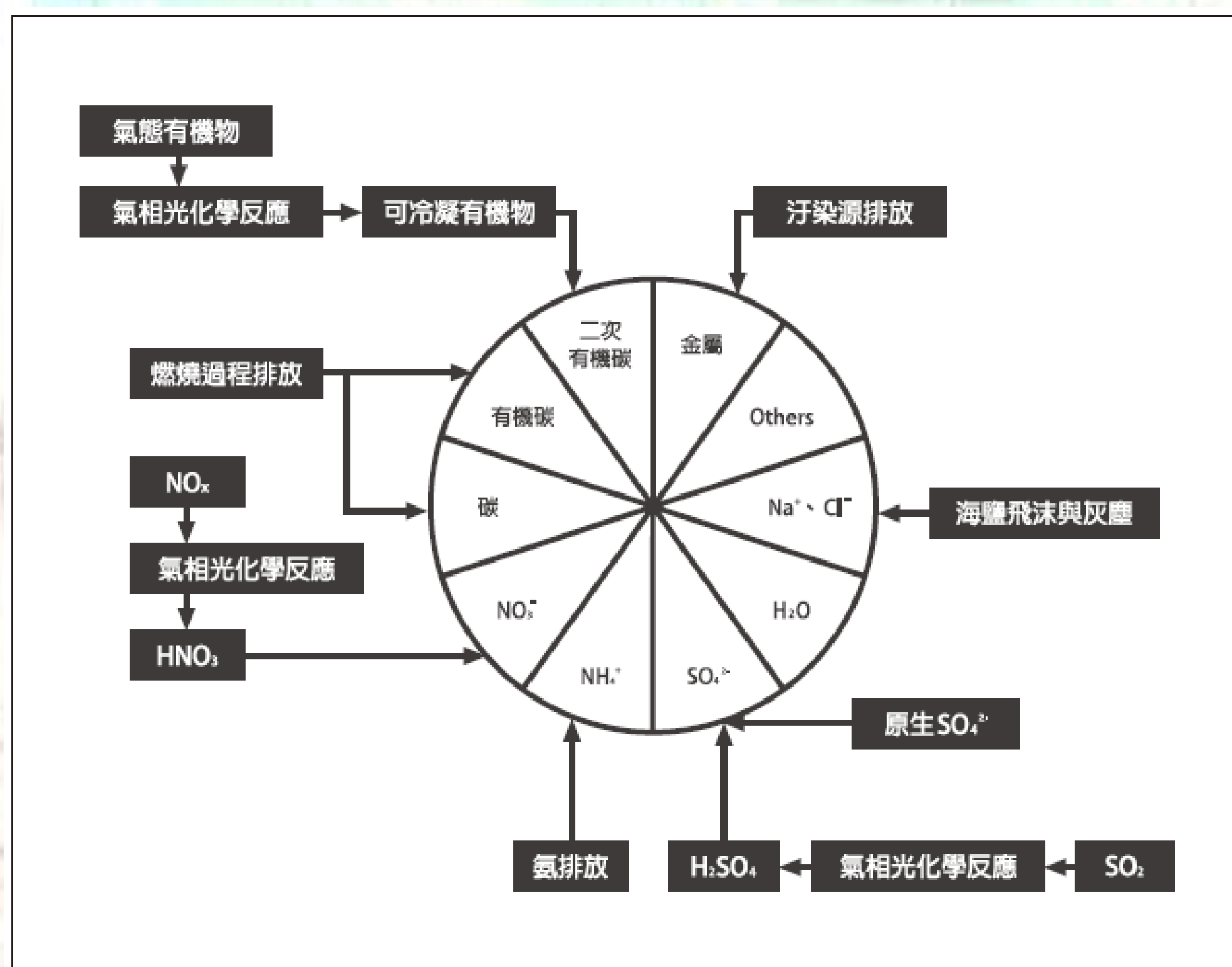


圖 1 PM_{2.5}來源及成分(余國賓, 2018)

地形：地形差影響氣流場變化，會出現空氣汙染物擴散條件不同的情況。以埔里盆地為例，PM_{2.5}不易散失，濃度較高。

雨量：下雨後將PM_{2.5}降沉至地面，所以空氣中的PM_{2.5}濃度下降，強烈降雨(如午後雷陣雨、颱風等)效果更佳。

風速：風速低時，PM_{2.5}停滯於一地，濃度高；風速高時，PM_{2.5}被吹散至各地，濃度低。但季風通常會帶著沿路的汙染物，影響各地，減少PM_{2.5}濃度。

工業排放：營建工地、工廠鍋爐、火力發電廠、電鍍煉鋼(原生性)、化石燃料的燃燒(衍生性)等都是懸浮微粒子形成原因。

A. 根據「台灣PM_{2.5}成因分析與管制策略研擬」報告指出，**境內影響空氣汙染不佳主要為硝酸根(氮氧化物)汙染物之增加**、境外移入造成之空氣汙染主要為硫酸根(硫氧化物)汙染物之增加。

B. 根據環保署106年「臺灣空氣品質現況與防制策略」報告指出，氮氧化物主要來源於工業、電廠及車輛排放，而車輛排放對近地表氮氧化物貢獻度較高。

小結：因此本研究選擇日常常見的**線香作為汙染源**。

2. 以擴散現象模擬大氣擴散，探討PM_{2.5}模擬情形

(1) 不同水溫(不同環境溫度)

溫度越高的水溫，會讓汙染物越快擴散至整個燒杯，溫度低的狀況下，僅受到重力作用下沉，擴散範圍也無法至整個燒杯。



圖2 水溫60°C、墨溫23°C擴散情形

(2) 不同墨汁溫度(不同汙染物溫度)

高墨溫擴散時，墨汁分子所含之動能較高，因此會往滴入方向迅速移動，至反彈到空間壁才擴散。為了驗證並非重力的影響，因此另外設計從側邊滴入的方式，也是相同結果。在有障礙物的時候，高溫墨汁會受障礙物反彈再擴散，低溫墨汁則較不明顯。

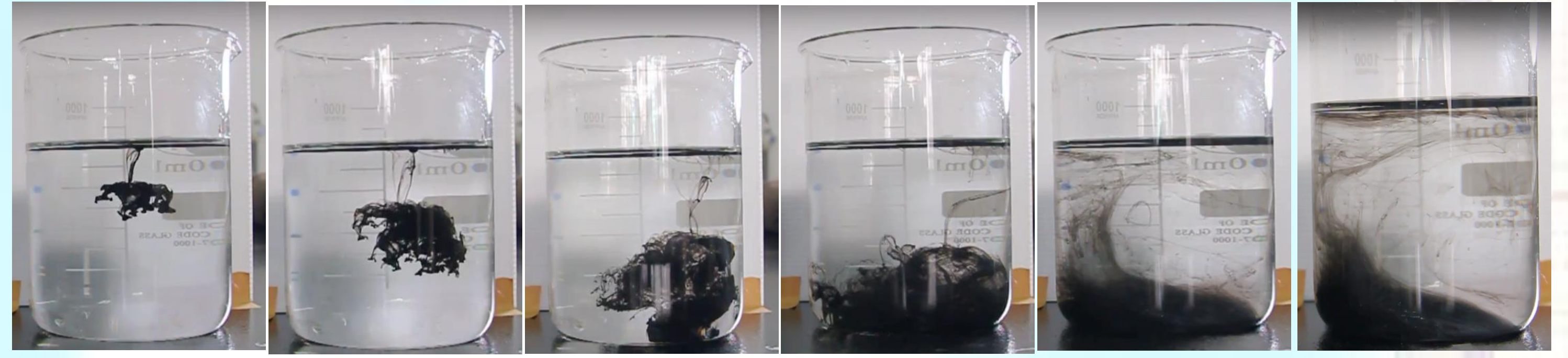


圖3 水溫23°C、墨溫23°C擴散情形

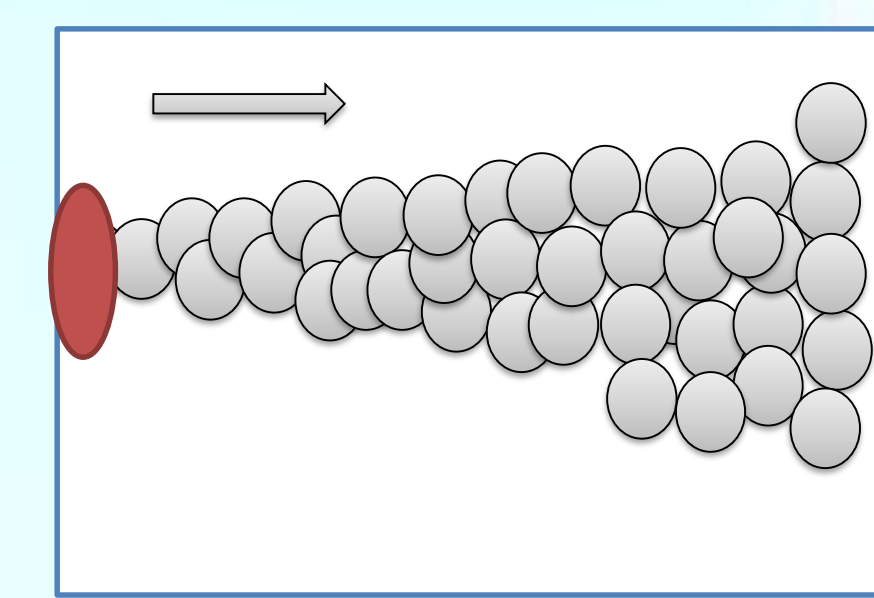
3. 設計模擬環境，探討PM_{2.5}擴散情況

PM_{2.5}擴散實驗

以汙染物排入模擬空間，空間內分為無置放建材(空曠空間)及置放建材(模擬房屋)，靜置後讀取數據得到圖7、圖8數據。溫度較高的空氣粒子具有較高動能，因此快速移動至空間壁，再反彈擴散至整個空間。



➢ 模擬空曠空間(無建材)擴散探討
汙染物高於空氣溫度，因此有高溫分子擴散的狀況，會擴散至空間壁再反彈擴散。從文獻比對汙染源對PM_{2.5}汙染狀況，距離汙染源越近，並非是污染嚴重區域，而是距離汙染源一段距離的區域才是受汙染嚴重的地區。



空曠空間擴散示意圖

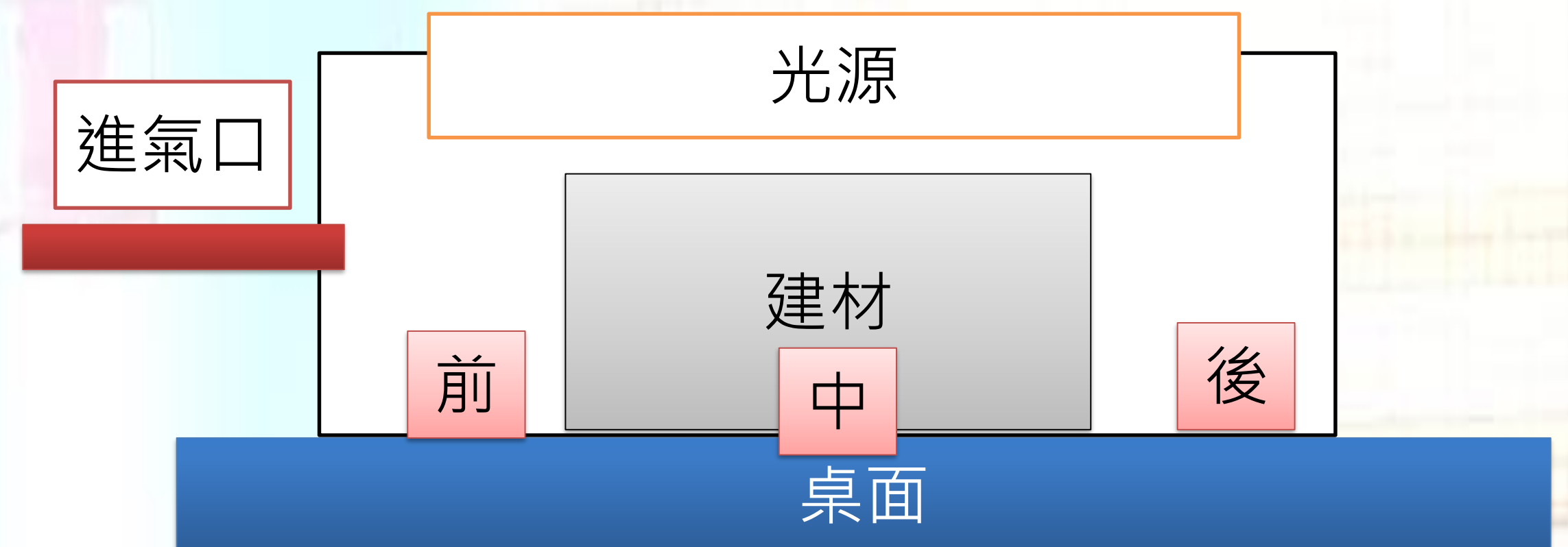
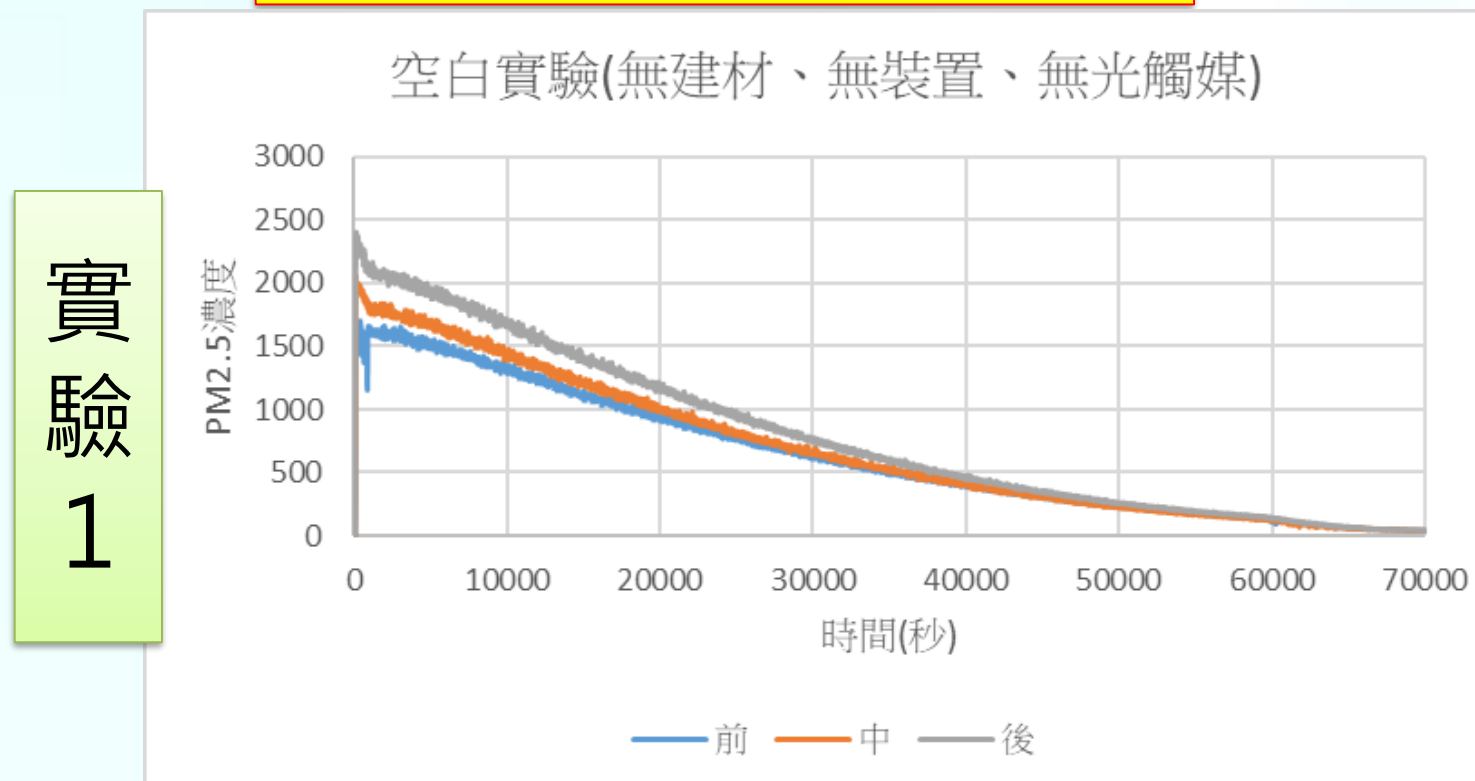


圖6 模擬裝置簡圖

➢ 模擬城市空間(有建材)擴散探討
模擬空間中放置建材模擬大樓，發現汙染物沿著障礙物擴散(中位置偵測器數值較高，後方位置偵測器數值低很多)，與墨汁擴散實驗中，水中放置障礙物的情形類似。綜合上述推測，汙染物遭遇到障礙物，會沿著障礙物擴散，因此若能利用障礙物來進行空氣汙染改善策略，是一個可以探討的方向。

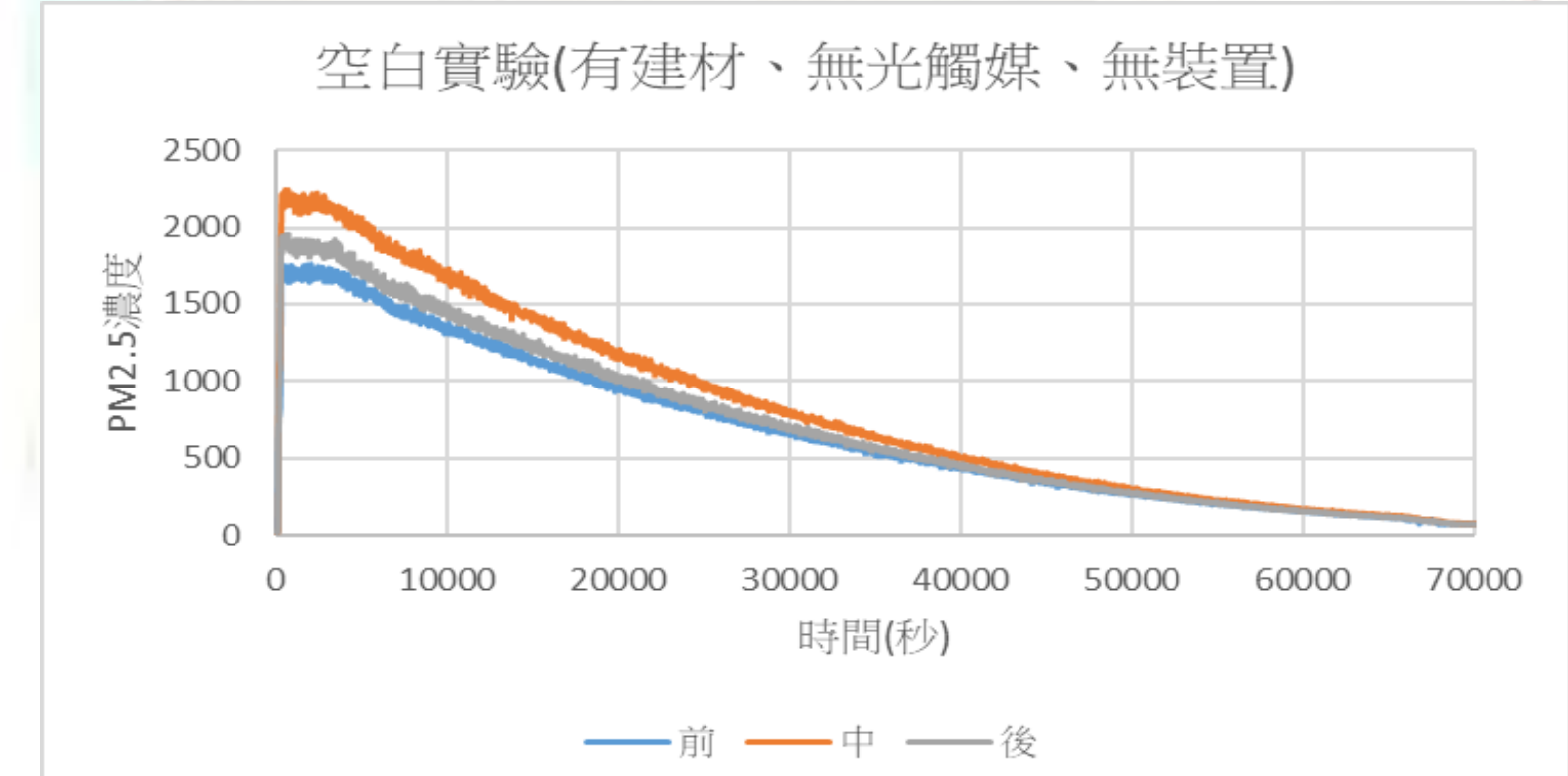
60,000秒擴散至AQI普通級



實驗 1

圖7 模擬裝置擴散實驗(無建材)

70,000秒擴散至AQI普通級



實驗 2

圖8 模擬裝置擴散實驗(有建材)

二、探討影響改善PM_{2.5}之策略

改善策略一

1. 塗佈不同層數的光觸媒於建材

塗抹層數較多的樣品，沾附線香汙染物的狀況較少，因此評估奈米光觸媒對於PM_{2.5}濃度改善會有一定程度的影響。(如圖9所示)

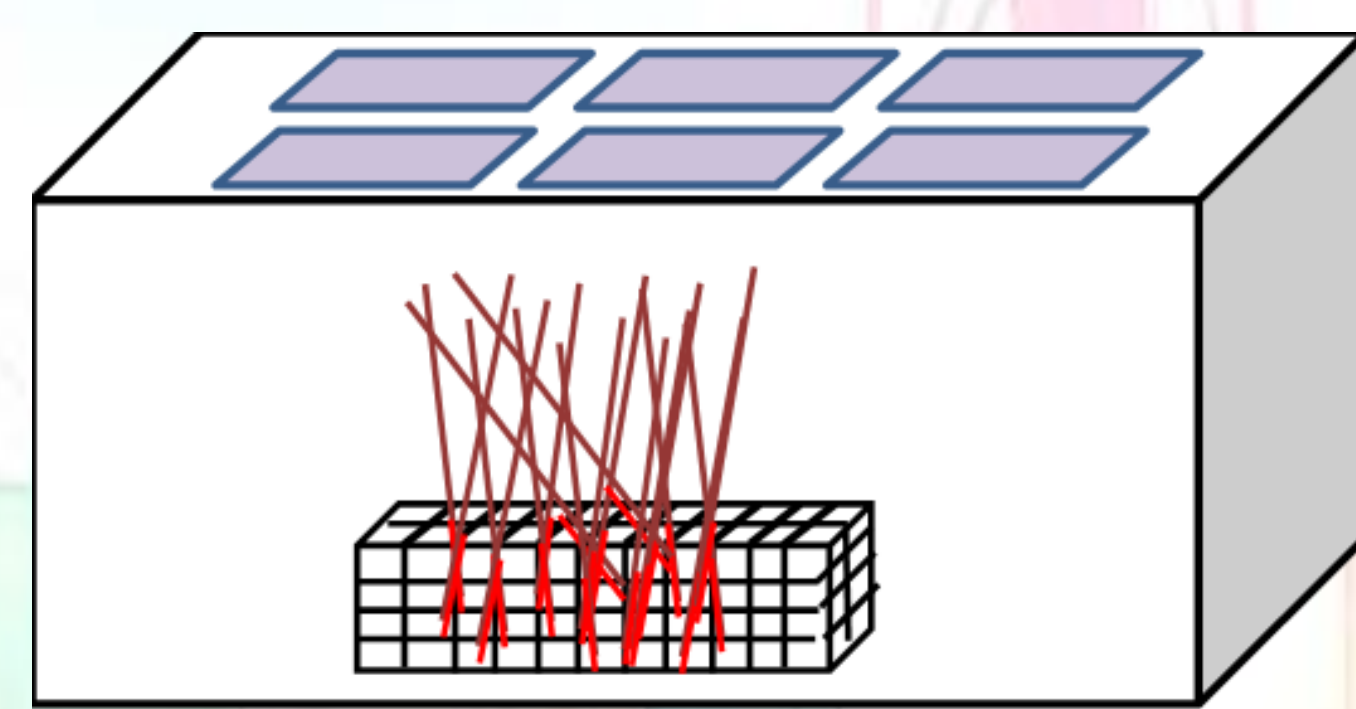


圖9 塗抹不同層數奈米光觸媒樣本受線香煙燻結果



圖10 塗抹不同層數奈米光觸媒樣本受線香煙燻結果

2. 不同光照環境模擬

「建材塗抹光觸媒有照光組」(圖12)，讓PM_{2.5}濃度下降的效果是最佳的；「建材塗抹光觸媒無照光組」(圖11)讓PM_{2.5}濃度下降效果較不佳，與「無塗光觸媒有建材照光組」(圖8)比較，都有將PM_{2.5}濃度下降。

實驗 3

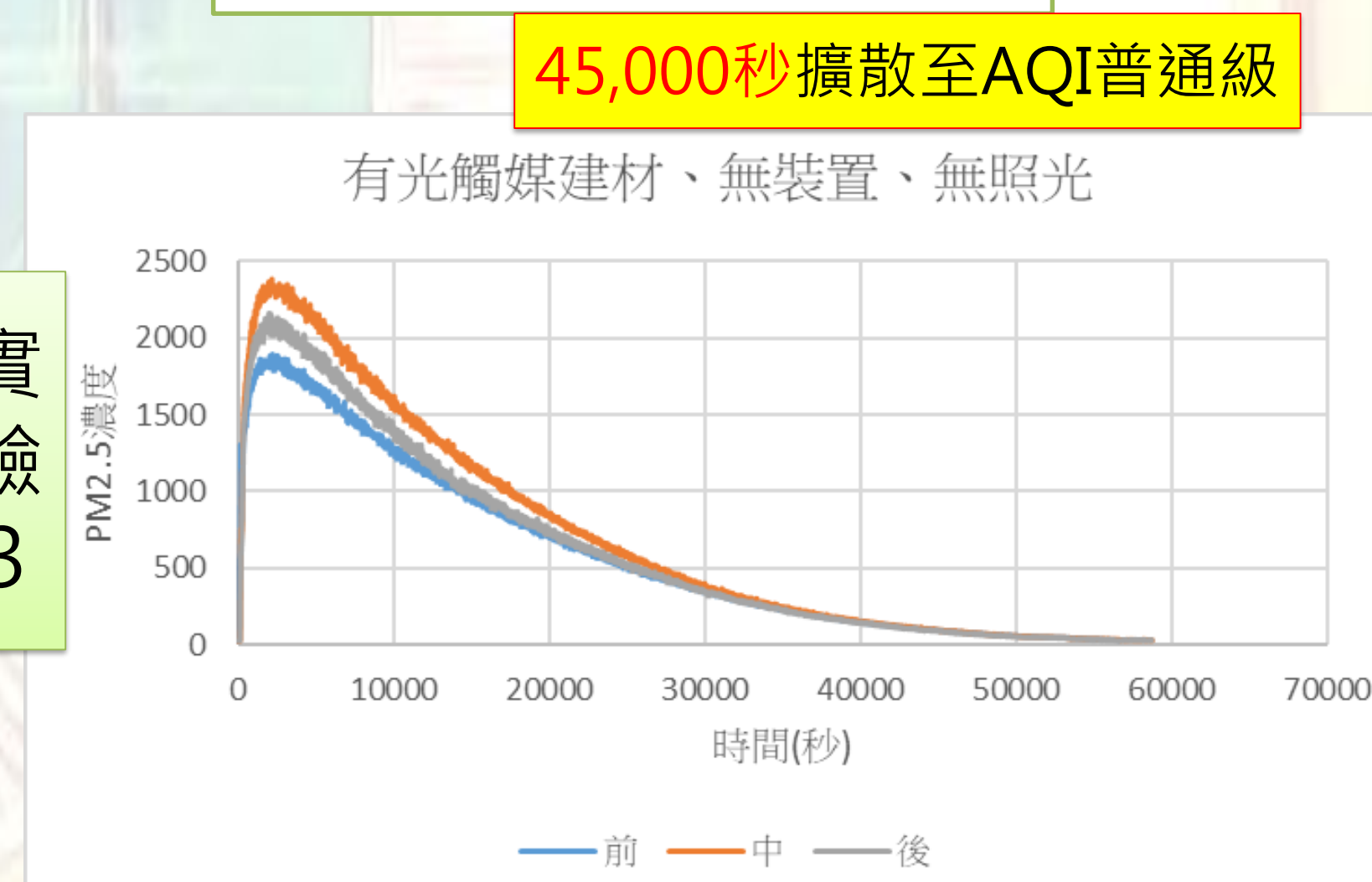
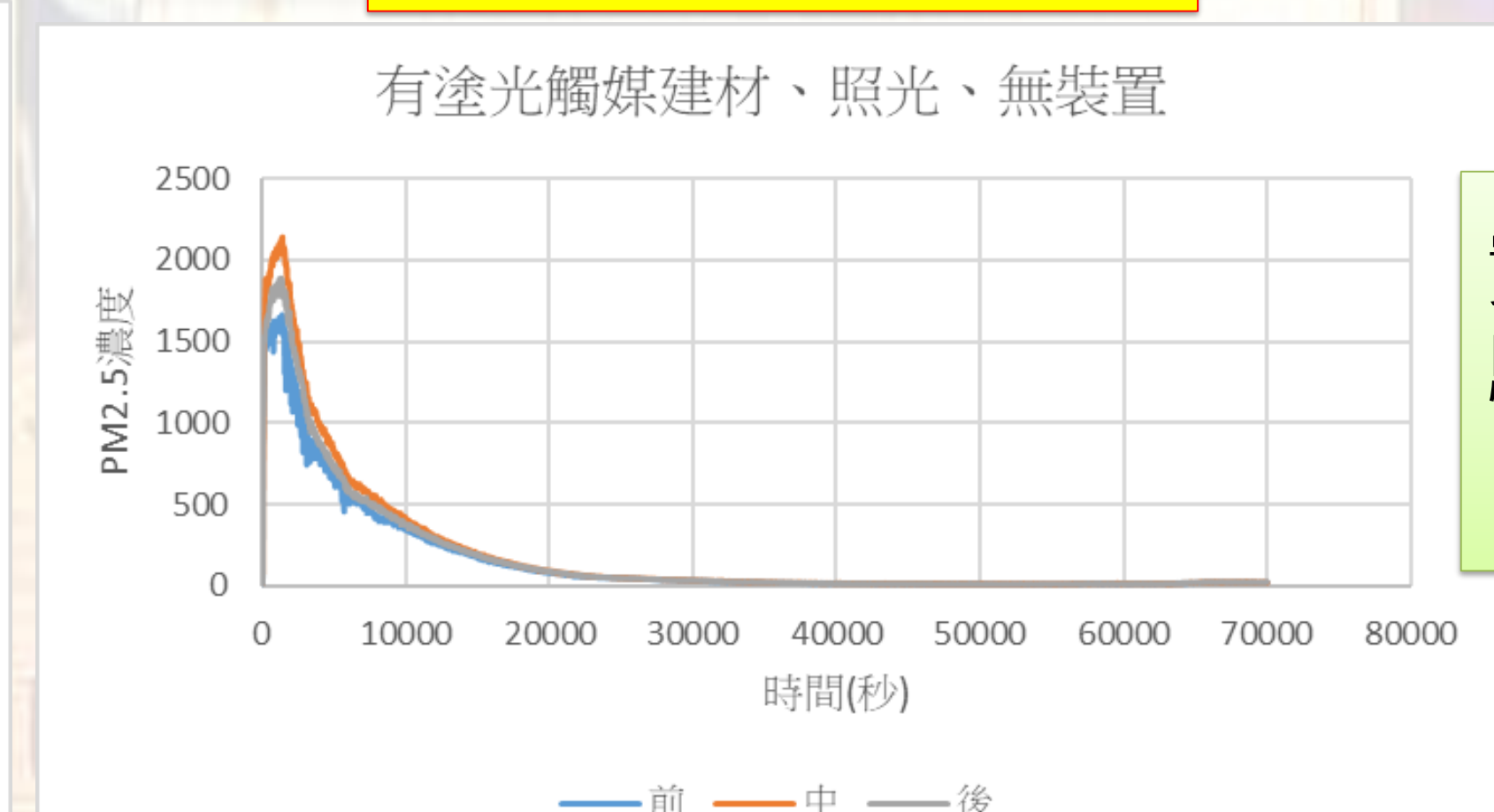


圖11 塗抹奈米光觸媒建材，無照光組PM_{2.5}濃度變化

21,000秒擴散至AQI普通級



實驗 4

圖12 塗抹奈米光觸媒建材，有照光組PM_{2.5}濃度變化

改善策略二

1. 測試利用簡易形狀裝置疏導煙霧

我們發現，以管狀物作為裝置，確實可以將煙霧引導至高處。即使離水管一段距離之煙霧，擴散至水管附近時，無須動力會被水管收集，擴散至水管頂端。

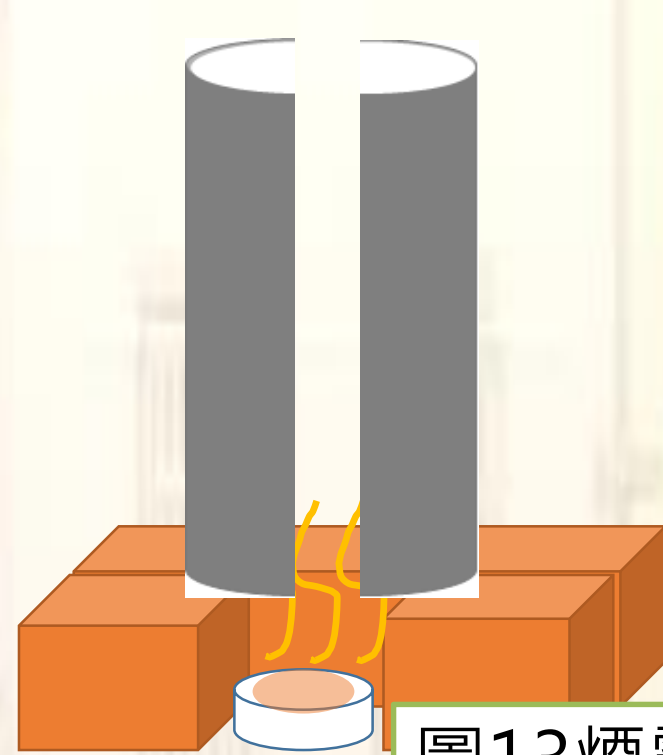


圖13 煙霧實驗裝置



圖14 煙霧實驗過程

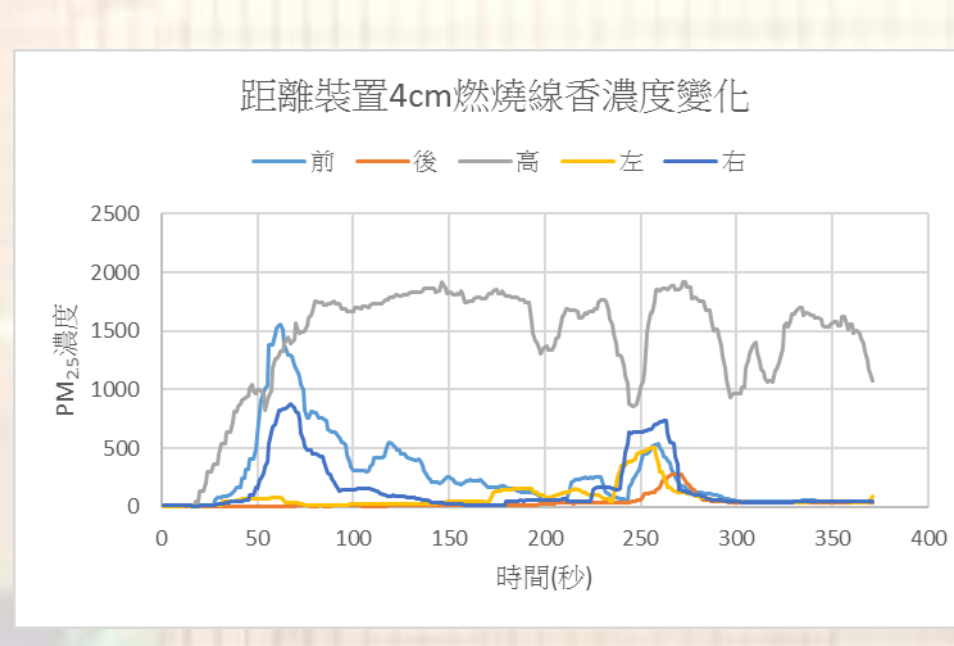
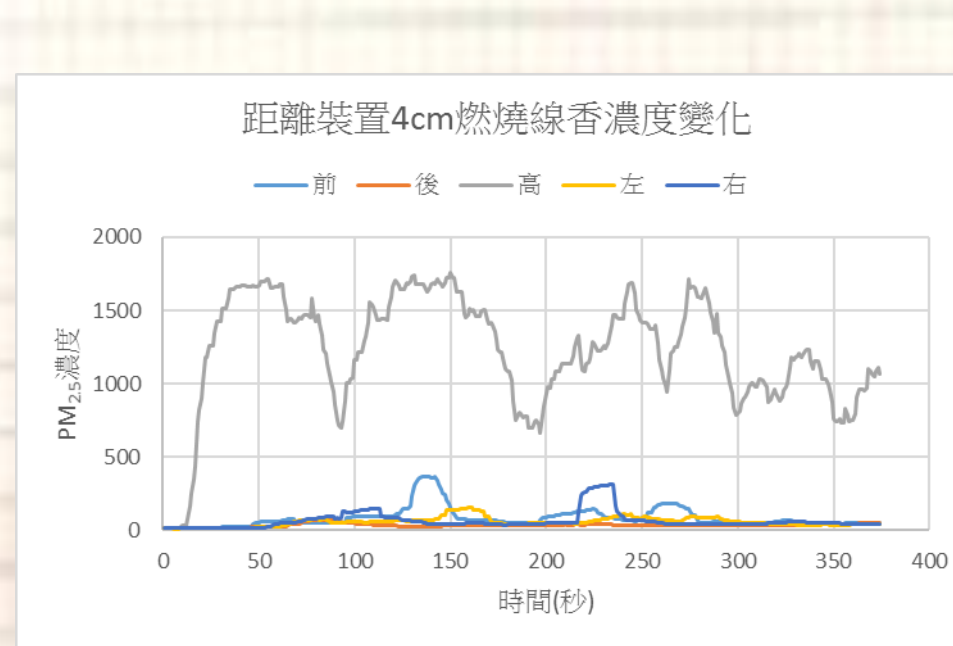


圖15 煙霧實驗數值

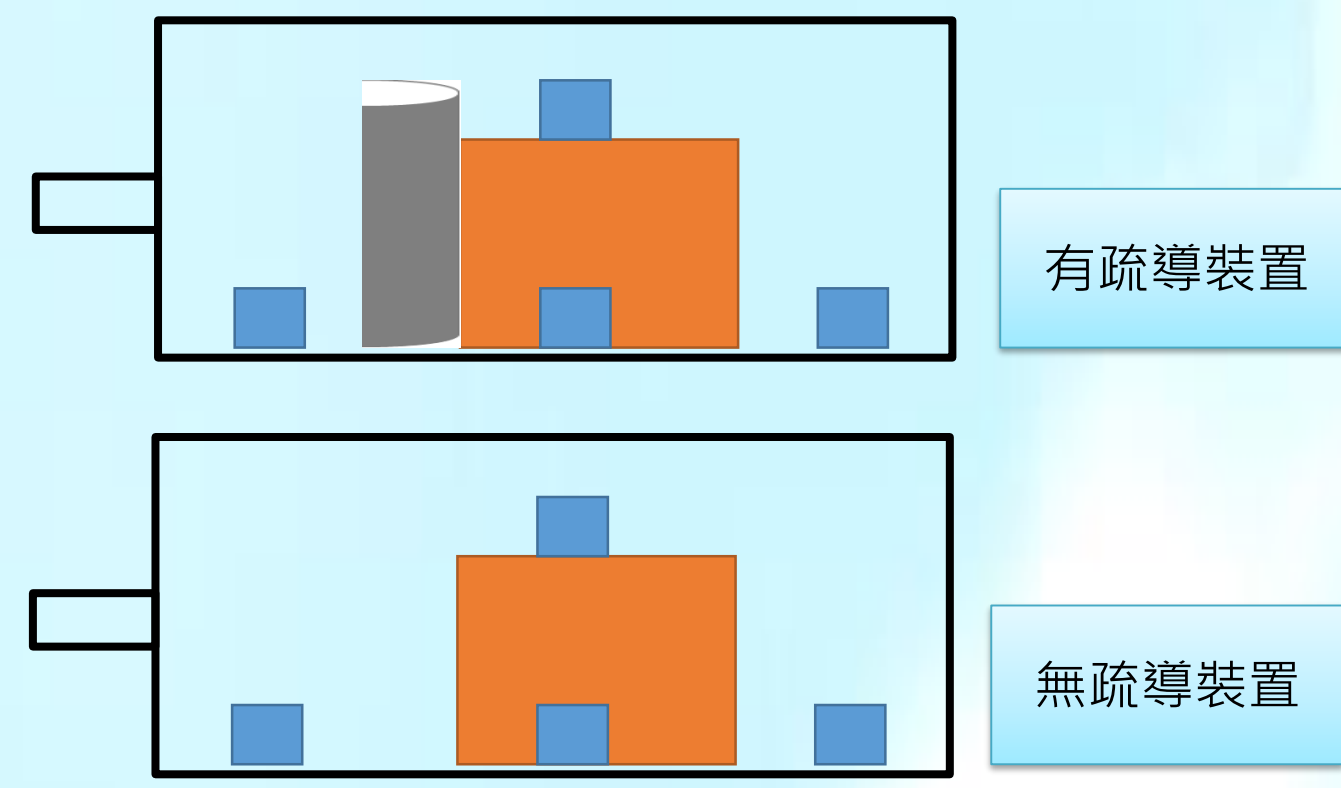
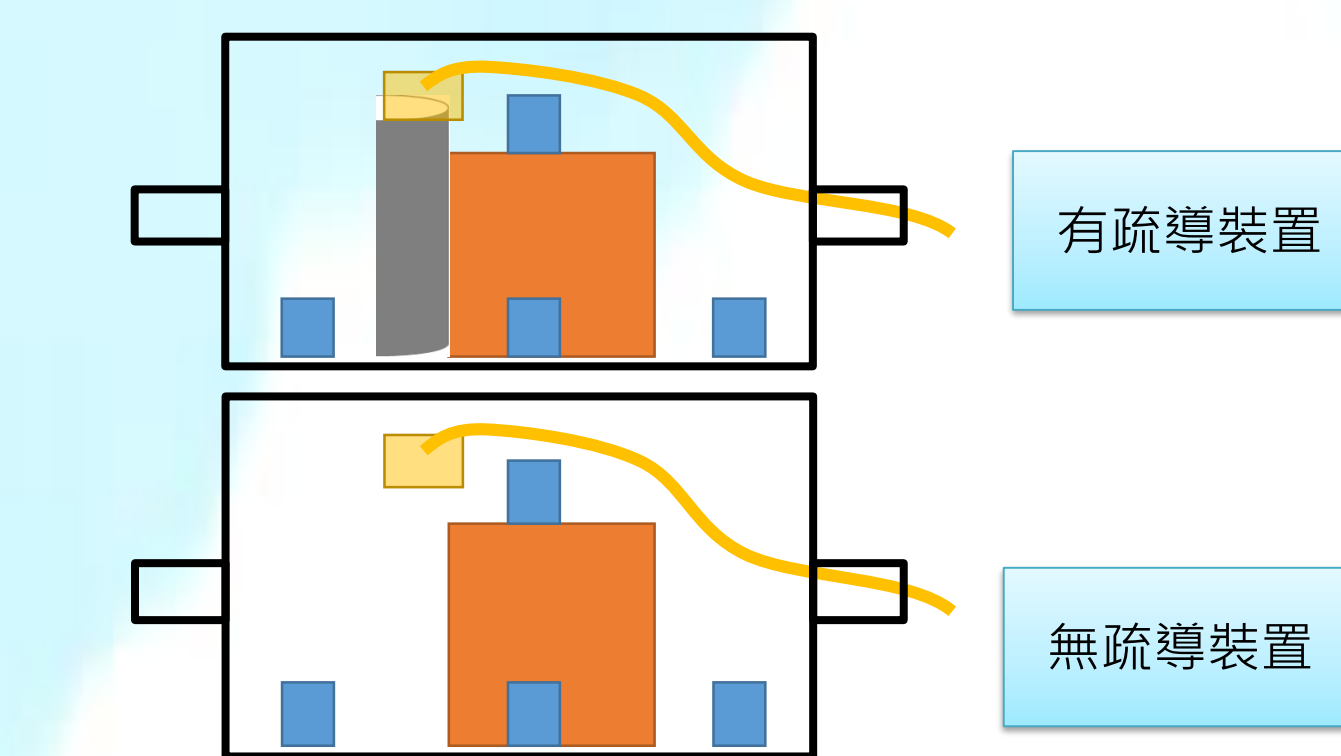
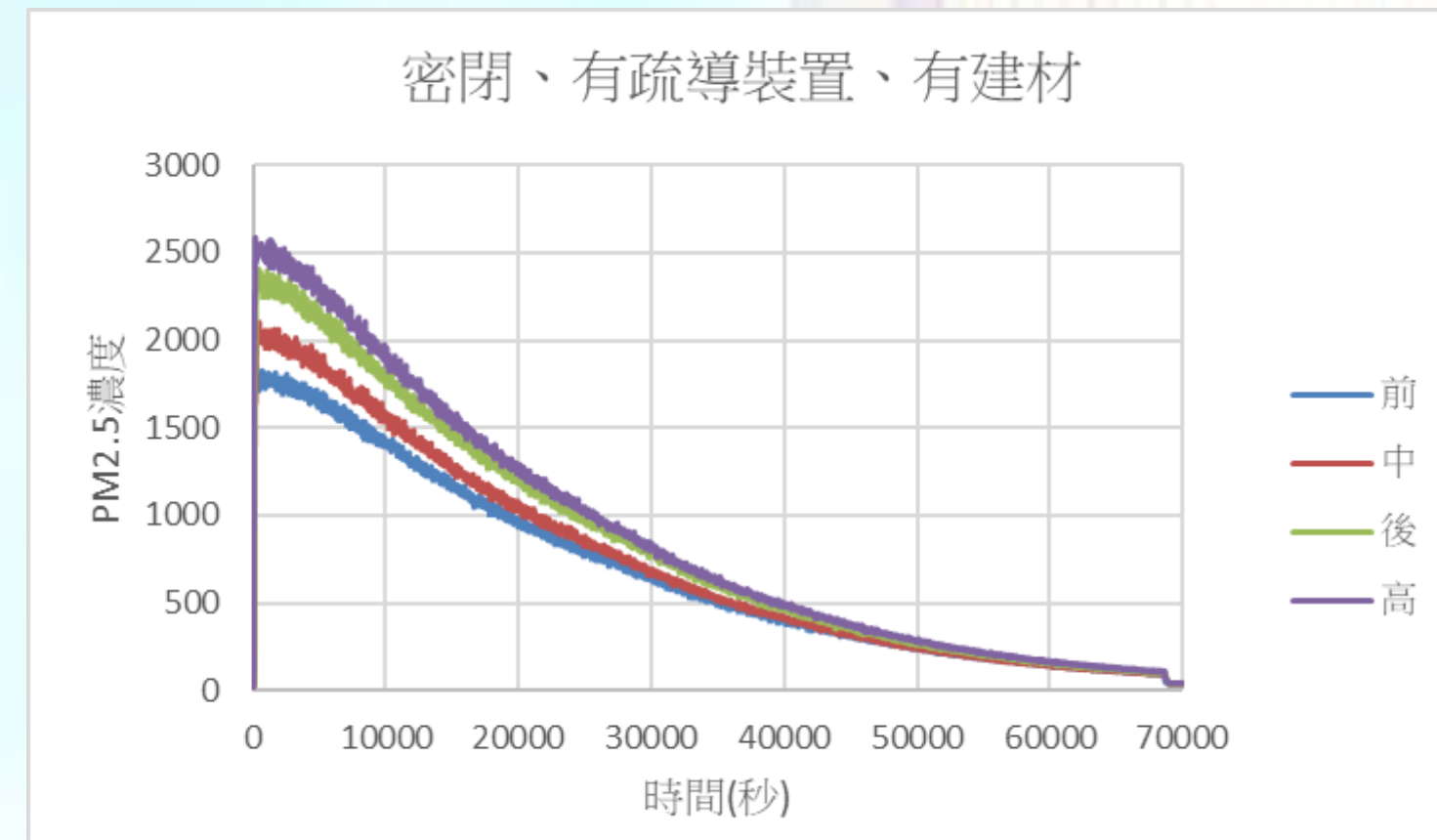
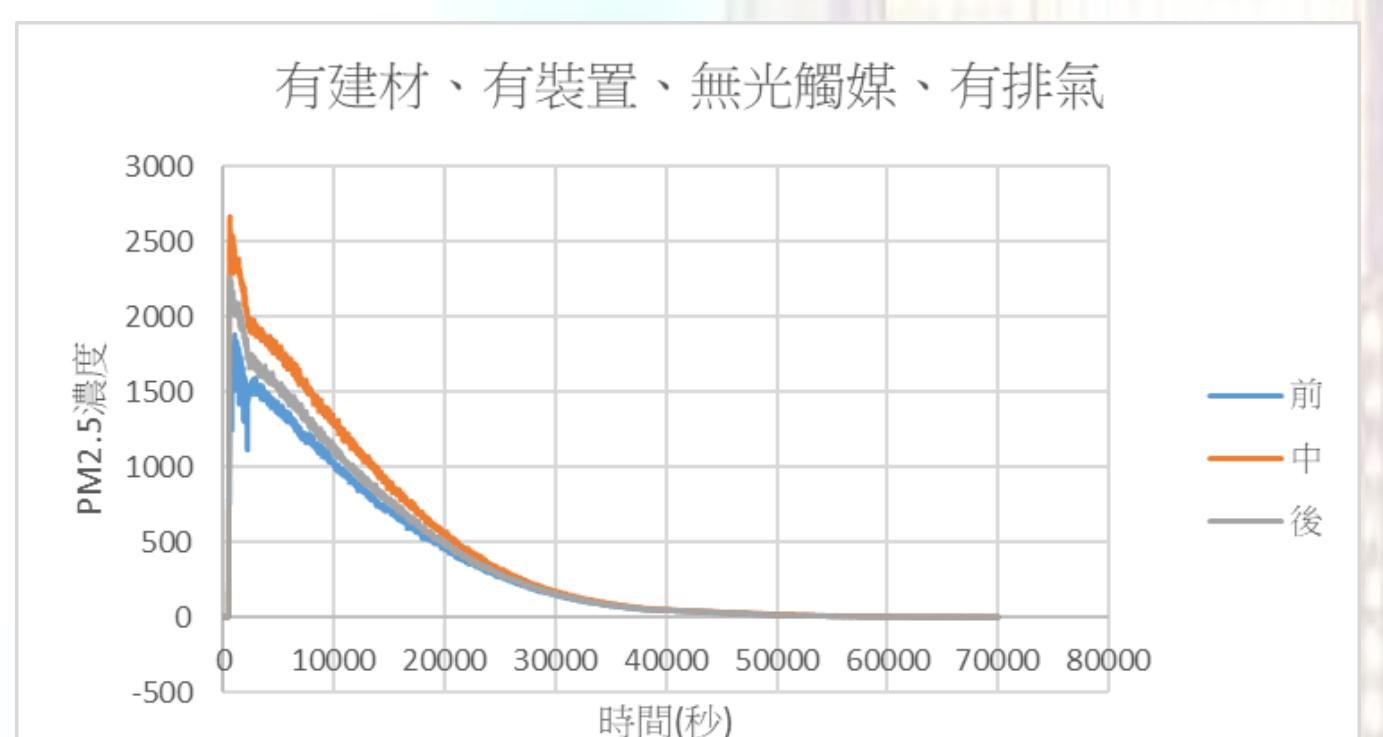
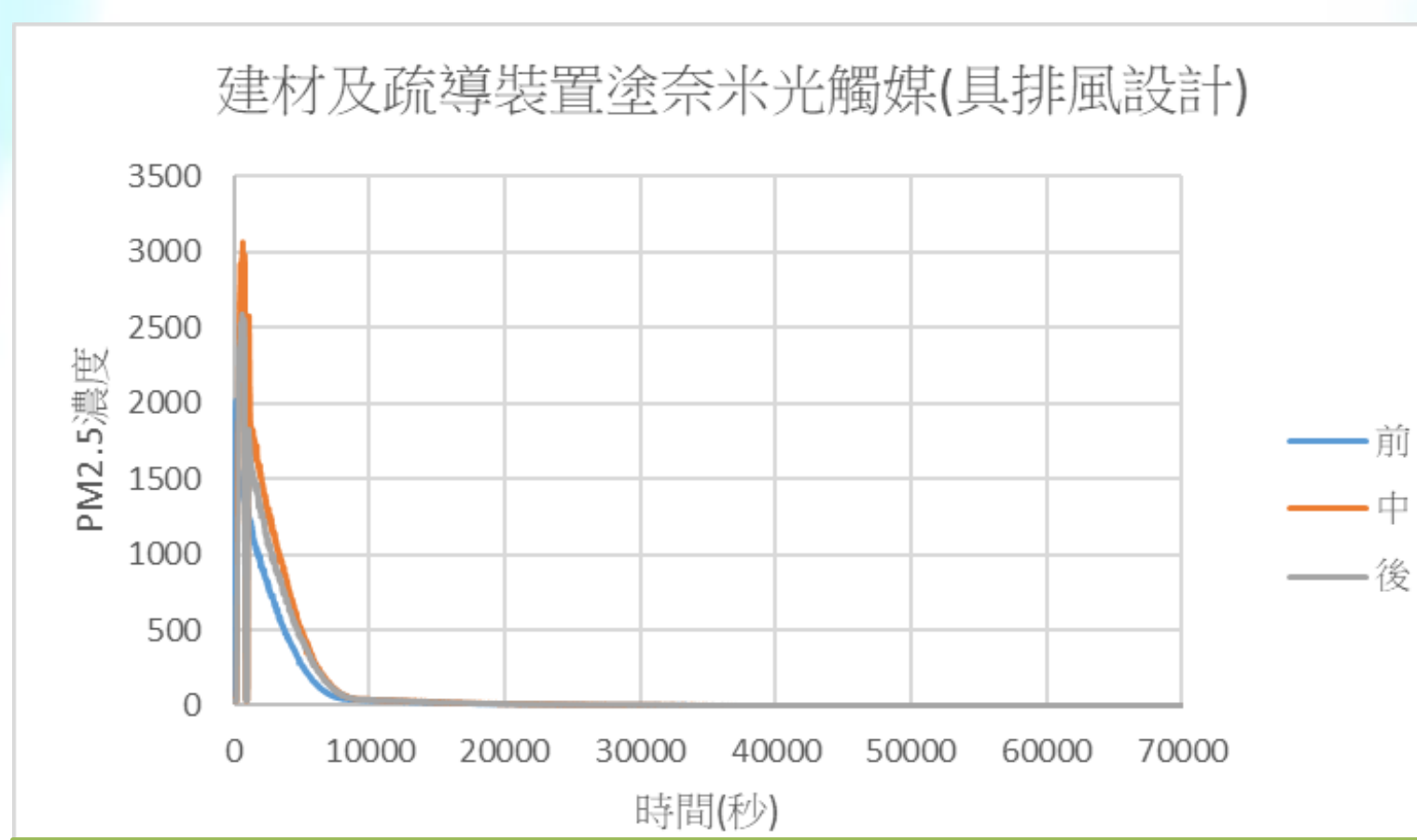


2. 利用簡易形狀裝置進行PM_{2.5}擴散實驗

實驗(1) 在擴散裝置中置入疏導裝置(半圓形水管)(圖16)，可以發現PM_{2.5}沿著疏導裝置(高處偵測器數值較高)擴散，使得前跟中部區域，在60,000秒就達到AQI普通程度，整體在65,000秒達到。

實驗(2) 在擴散裝置頂端裝置一個通風管，讓汙染物排出(模擬汙染物疏導至高空)(圖18)。在此情況下，無疏導裝置的擴散實驗，AQI下降至普通級別須45,000秒，裝置疏導裝置須35,000秒。

將奈米光觸媒及疏導裝置同時應用，進行PM_{2.5}擴散實驗。在有排風設計的對照組，需要45,000秒才能讓AQI下降至普通級別。而塗抹奈米光觸媒及疏導裝置的實驗組，僅須13,000秒即可達到AQI普通級別。故可運用奈米光觸媒塗佈建材，並結合現有建物加裝康達效應裝置等，可加速降低及疏導PM_{2.5}濃度的效果，達到低空污的生活環境。

圖16 有無裝疏導裝置之PM_{2.5}擴散實驗圖18 有無裝疏導裝置(有排風設計)之PM_{2.5}擴散實驗圖17 裝疏導裝置PM_{2.5}擴散數值圖19 裝疏導裝置(有排風設計)之PM_{2.5}擴散實驗圖19 疏導裝置(有排風設計)+奈米光觸媒應用之PM_{2.5}擴散實驗

結論

一、以擴散現象探討PM_{2.5}之擴散1. 探討PM_{2.5}的來源及影響PM_{2.5}濃度的因素

懸浮微粒來源可分為原生性及衍生性，原生性主要為自然產生及人為製造，衍生性為原生性微粒經由氣體-微粒化學作用或其他化學反應產生。文獻中提到：PM_{2.5}約佔PM₁₀質量濃度的55-70%，其中PM_{2.5}的主要成分為無機二次氣膠微粒及含碳物質。(曾志評 & 蔡春進, 2006)

2. 以擴散現象模擬大氣擴散，探討PM_{2.5}模擬情形

(1) 不同水溫(不同環境溫度)

在溫度較高的水中，熱對流旺盛，容易讓墨汁容易擴散。從資料中找到相符，在對流旺盛時空氣被迅速往上帶動，PM_{2.5}濃度較低，冬天則反之。(方國權, 2017)

(2) 不同墨汁溫度(不同汙染物溫度)

在墨汁溫度較高時，分子速率較高，移動速度較快，會移動撞擊到空間壁面後再反彈，再擴散至整個空間。與燃燒物質時，煙霧迅速擴散至空間中現象類似。

(3) 不同密度水(不同環境密度)

墨汁為混合物(與汙染物狀況相同)，密度略大於純水，會藉由擴散作用逐漸擴散至整杯水中；但加入鹽水後，因密度小於鹽水，絕大部分物質在水面上，僅有部分墨汁溶質逐漸下沉並擴散。

(4) 模擬環境背景值實驗

i. 在沒有放置建材的模擬實驗中，空間後方(距離進氣孔較遠處)濃度最高，中間及前端濃度逐漸上升，與高墨溫的擴散實驗結果相同。(溫度高的汙染物，迅速移動直到撞擊到空間壁面)

ii. 在放置建材的實驗中，中段區域的PM_{2.5}濃度最高。(因汙染物撞擊到建材，沿著建材兩側逐漸往整個空間擴散)

(5) 建立擴散假說

A. 濃度下降原因探討：

根據空白實驗結果，經過6萬秒後，濃度數值下降至一定量，甚至低於模擬空間外的PM_{2.5}數值，我們推測的狀況有：

i. 汙染物自入口進入後，逐漸擴散至整個空間，因此濃度數值逐漸下降一定量。(濃度逐漸下降原因)

ii. 汙染物吸附於空間壁上及沉降至空間底部，因此濃度數值下降比空間外背景值還低。(比空間外背景值還低原因)

B. 空曠空間擴散探討

結合本研究兩個靜置實驗結果推論：汙染物高於空氣溫度，因此有高溫分子擴散的狀況，會擴散至空間壁再反彈擴散。從文獻比對汙染源對PM_{2.5}汙染狀況，距離汙染源越近，並非是污染嚴重區域，而是距離汙染源一段距離的區域才是受汙染嚴重的地區。因此推測，汙染物溫度、空氣溫度及風速會對汙染物擴散造成影響。

C. 模擬城市空間擴散探討

汙染物遭遇到障礙物，會沿著障礙物擴散，因此若能利用障礙物來進行空氣汙染改善策略，是一個可以探討的方向。

二、探討影響改善PM_{2.5}之策略

(一) 改善策略一-奈米光觸媒

在建材外部塗抹奈米光觸媒，探討對PM_{2.5}濃度改善情形

1. 塗佈不同層數的光觸媒於建材

從實驗中可以發現，塗抹多層奈米光觸媒的樣品，越不容易被線香燃燒汙染物附著。

2. 不同光照環境模擬

在建材上塗抹光觸媒並有光照的實驗組，讓空間內PM_{2.5}濃度下降的趨勢，高於未進行光照的實驗組；且對照無塗抹光觸媒的實驗組，皆比「放置建材的靜置實驗組」下降趨勢更快，可以發現不僅是汙染物逐漸擴散到空間中造成的，且光觸媒有起到降低PM_{2.5}濃度的效果。

(二) 改善策略二-康達效應

從汙染物沿著障礙物擴散的現象發想，利用簡易形狀的疏導裝置進行疏導。

1. 利用半圓形水管至於建材前時，會讓汙染物更快擴散至實驗空間後方，讓PM_{2.5}濃度更快下降。(至AQI普通級別時間70,000秒→65,000秒)

2. 若在半圓形水管頂部位置放置一排氣孔，無疏導裝置(半圓形水管)花費45,000秒達到AQI普通，加上疏導裝置是35,000秒。代表疏導裝置確實可以達到降低PM_{2.5}濃度效果，更快的疏導汙染物。

(三) 結合兩項改善策略之條件

結合兩項改善策略，可讓在密閉空間中不易擴散的PM_{2.5}汙染物，更快的擴散至整個空間，甚至部分被分解。本實驗採用化學法(奈米光觸媒)嘗試分解，物理法(康達效應)嘗試疏導，在兩種處理方式同時運用時，AQI達到普通級別時間從45,000秒減少至13,000秒。故可運用奈米光觸媒塗佈建材，並結合現有建物加裝康達效應裝置等，可加速降低及疏導PM_{2.5}濃度的效果，達到低空污的生活環境。