

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 地球科學科

第一名

最佳創意獎

080502

依「山」傍「水」好空氣?—「氣」捕社區汙染源

學校名稱：高雄市立文府國民小學

作者： 小六 李品陵 小六 曾榆婷 小五 仲 愛 小四 黃雪芬	指導老師： 莊婷嬪 陳慧如
---	---------------------

關鍵詞：PM2.5、煙囪高度、落塵與雨水酸鹼值

得獎感言

本來什麼也不懂的我們，直到開始參加科展及反空汙活動，我們才逐漸明白這片土地空氣汙染多麼嚴重。

我們4個人，在這短短半年的時間，從互不認識變成密不可分的超級好麻吉。過程中，我們學習到許多事情；如：什麼是pH值和TDS值……等許多科學知識，也學習到待人處事的道理，讓我們從井底之蛙變成了在草地上奔跑的羊群；我們有臉上洋溢著幸福的時候，也有吵架的時候，但是我們的感情卻比之前更深、更濃了，因為科展，我們成為摯友！

實驗從11月開始，我們尋找方向，互相幫助。過程中，我們了解到實驗的核心及團隊合作的重要性，也在實驗過程中知道環境竟然已經如此惡化了！

其實，最初我們是以氣體為研究方向，但礙於經費及研究設備的關係，讓我們的實驗陷入了膠著。實驗的轉機其實是一場玩笑，另一組的科展夥伴在無意間帶來的一杯鹼性雨水，為我們燃起一線生機。因為根據所學的知識，雨水受汙染酸化應該是呈現酸性的，因此我們開始蒐集雨水及落塵。在高鐵、台鐵的叔叔阿姨及學校眾多老師的協助之下，我們成功的蒐集到高雄各區的樣本。在檢測當中，我們合作無間，以高效率成就高品質，這也使我們喜歡上科展，喜歡上這份默契。

在模擬實驗中，我們遇到一些瓶頸。起初，因為乾冰昇華後肉眼無法看見，所以只能用來測量各地汙染濃度的變化，但我們很想將煙霧流動的效果呈現出來。一開始，我們探討能否使用線香去完成實驗，但效果並不佳。最後，我們利用油煙產生器去完成氣體流動的實驗，相較之下，效果也較明顯。

最後，我們在此告訴大家：空汙是我們切身的問題，這項實驗不只是單純的科學研究，而是想要藉由這個實驗告訴大家我們受到的汙染，並且用種種的實驗去證明。現在，我們忍受多年的空汙之苦，終於能靠自己小小的努力，和全校的力量集結成巨大的能量，希望大家一起來戰勝空汙，在半屏山插上勝利的旗幟！

在此我們也要謝謝全體老師，謝謝我們的指導老師、幫助我們收集落塵及雨水的老師，也謝謝給我們技術性指導的老師，這些老師都是我們生命中的伯樂。他們在我們心中灑下科學研究的種子，我們很感謝老師給我們機會參加科展，且帶領我們得到國小組地球科學科全國第一名及最佳創意獎的殊榮，謝謝老師。

空汙不是我們一個人的問題，是整個大高雄的問題，甚至是整個臺灣的問題。如果每個小地方都能慢慢的改善，那麼大高雄的空氣汙染便會減少，乾淨的藍天就會回到我們身邊。

高雄是我的家鄉
是我生活的地方
希望大家能夠
愛惜他
保護他



文府國小研究團隊合照



空氣汙染濃度模擬實驗



至高鐵廠區進行落塵採樣及檢測

摘要

本校依半屏山、傍水泥廠，每到了春秋冬季除了紫爆的 PM_{2.5} 汙染，更是不時聞到刺鼻的臭味。當我們發現水泥廠噴出大量白煙時，本校頂樓的微型氣象站 PM_{2.5} 數值就會激增，足見所噴白煙含有粒狀汙染物。

從模擬地形季風風向的乾冰實驗，發現無風時水泥廠周圍 CO₂ 濃度增加，在不同季節的風向中，東北、西北、北北西風亦會依著半屏山地形將上風水泥煙霧帶到社區周圍及山腳區域。從不同煙囪高度模擬實驗，發現煙囪高度超過山的高度時，CO₂ 濃度明顯降低。

從各地雨水、落塵蒐集檢測結果，發現本社區及下風處區域所測得的 pH 值均大於本市平均值，足見水泥廠所飄出之鹼性粉塵嚴重影響社區環境。

因此除了希望工廠改善排放設備，也建議增加煙囪高度，降低對鄰近社區的汙染。

壹、研究動機

學校地理位置依「半屏山」傍「水泥廠」，每到了春秋冬季，全校師生就受空污之苦，除常紫爆的 PM_{2.5}，更不定時會聞到臭味，令人難以忍受，我們懷疑是鄰近的水泥廠燃燒廢輪胎及粉塵逸散導致，儘管即時打 1999 通報，仍未得到妥善的回應。

為了能呼吸新鮮空氣，希望透過實驗及研究，資料蒐集、落塵採樣、雨水蒐集、模擬實驗及研究分析，了解為何是春秋冬季特別容易聞到此味道？半屏山的地理位置在此是助力還是阻力？透過自製模型實驗分析與探討，找出社區汙染與水泥廠的關聯。

貳、研究目的

- 一、透過資料分析社區地理位置，再自製模型，探討半屏山地形的存在，在不同季節風向、不同煙囪高度，汙染對社區及學校的影響。
- 二、透過微型氣象站、空氣品質監測網的資料，分析空氣汙染情形與當地汙染的關係。
- 三、透過落塵採樣，分析酸鹼值及 TDS 值，並探討其差異。

- 四、透過雨水蒐集，分析酸鹼值及 TDS 值，與 2015 年全台雨水酸鹼質相比較，探討社區遭到污染的情形。
- 五、透過水泥廠生產品分析，與社區落塵的酸鹼值進行比較，探討社區污染與水泥廠的關係。

參、研究設備及器材

一、實驗設備及資源

- (一) 模擬實驗器材：1/1200 比例自製社區地形模型（列印 Google Map 為底圖，樓房、水泥廠、半屏山模型）、吹風機、垂直風洞、乾冰、煙霧產生器。
- (二) 其他器材：錄影機、照相機、電子磅秤、量筒、RO 水。
- (三) 網路資源：微型氣象站、空氣品質監測網、高雄市環境保護局空氣品質監測管理中心。

二、實驗儀器：

- (一) pH 檢測儀：測量水溶液酸鹼值。
- (二) TDS 檢測儀：測量溶解於水中的總溶解固體值（單位：ppm）。
- (三) CO₂ 監測儀：檢測模擬實驗中，乾冰昇華在空氣中 CO₂ 濃度（單位：ppm）。

肆、研究限制

- 一、本研究樣本受限於地域關係，高雄市各區的樣本指的是原高雄市區，原高雄縣部分因樣本蒐集困難，因此數量有限。
- 二、本研究以高溫產生的油煙噴霧器作為模擬實驗中煙囪產生的煙霧，因出口溫度及微粒特性不同，僅作為觀察不同風向時空氣滯留現象的探討，不作量化的數據比較。
- 三、固定風向的模擬實驗與實際風吹的狀態有差別，當風吹向建築物時，也會因受風方向的不同而有不同的風向，因此本實驗最主要以四季的季風為主要觀察重點。
- 四、仁武工業區在本社區的北方，工業區內有多種工廠，本校偶爾會聞到飼料味，但絕

大部分的時間都是聞到與水泥生料相同的味道，因此才會先從最接近且最有可能的水泥廠排放的氣體進行實驗分析與比較，如果還要再詳細分析，應該在更廣泛地進行樣本蒐集及落塵光譜分析，只是以國小實驗設備來說，此一階段無法進行。

伍、研究過程與結果

一、社區地形與人口分布的分析

學校一邊依著半屏山、水泥廠、台鐵及高鐵站，另一邊則是新興的社區，人口密度遽增。

【研究過程】：

蒐集資料，分析社區的地形與地物分布，季節風向及人口發展情形。

(一) 地形部分：

【研究結果】：

1. 半屏山位於高雄市左營、楠梓交界之處，呈東北—西南走向，主要由石灰岩和泥岩組成。由於山上的石灰岩已遭水泥廠開挖多年，目前半屏山高度只剩 181 公尺，屬高度低的小山。
2. 半屏山屬單面山，民國 46 年起山的東面石灰岩層成為水泥廠開採的地點，至民國 86 年才明文禁止開採。

(二) 人口成長：

【研究結果】：

1. 從民國 87 年 5 月水泥廠開始協助環保局處理廢輪胎，使用廢輪胎當輔助燃料，如今我們在水泥廠區仍發現大量廢輪胎。
2. 20 年前水泥廠使用廢輪胎為輔助燃料時，當時周圍並無學校、高鐵、台鐵、百貨公



圖 1 半屏山空照圖

(資料來源:<http://goo.gl/0renMT>)



圖 2 水泥廠堆置廢輪胎

司等。如今左營區人口數已從 14 萬人，增加至近 20 萬人，福山里人口數也增加為 42696 人，成長為 2.6 倍，成為全台灣人口最多的里。

3. 當時空曠的空間已人口密佈，燃燒廢輪胎排放之污染物及伴隨的臭味已嚴重影響居民健康。

二、觀測資料的蒐集與分析

從空氣品質監測網整理資料，進行分析，找出 PM_{2.5} 濃度偏高的月份，比較各地 PM_{2.5} 濃度的差異。

【研究結果】：

- (一) 由圖 3 得知，高雄各地的 PM_{2.5} 濃度於 9 月開始升高，12 月至 2 月達高峰，顯示秋冬季時高雄空氣污染嚴重。

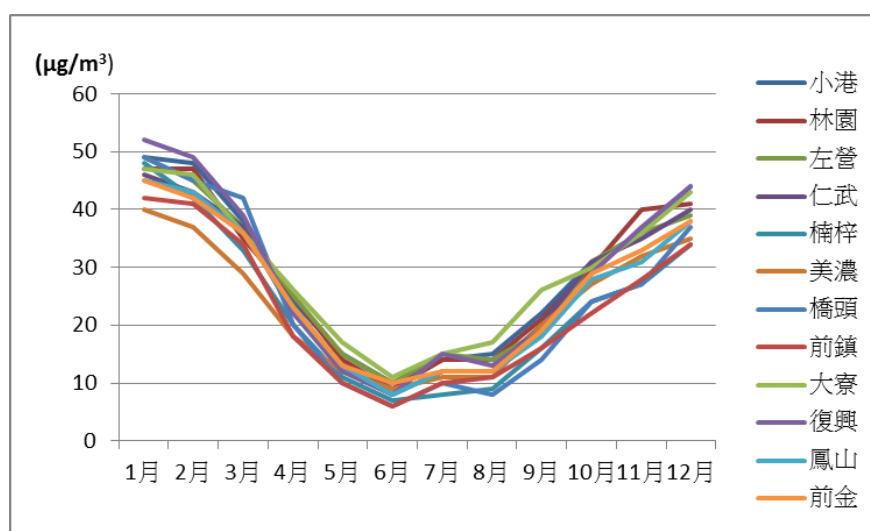


圖 3 2015 年高雄市各地 PM_{2.5} 月平均圖

- (二) 本校雖位於左營區，但較接近仁武測站，因本校師生反應常聞到臭味，資策會於本校頂樓裝設一台微型氣象站，監測本校空氣品質，作為研究參考。

- (三) 春冬季時只有無工業工廠的美濃平均值低於各處，除了境外汙染，是否還有境內汙染的因素？



圖 4 裝設本校之微型氣象站

【研究討論】：

- (一) PM_{2.5} 會隨環境污染物增減而變動，平均值只是了解一整年的狀況，因此想藉由微型氣象站及環保局 CEMS 煙道監測煙囪不透光率的資料，分析比較當水泥廠噴煙嚴重時，微型氣象站 PM_{2.5} 濃度是否增加？
- (二) 根據水泥製程圖，我們懷疑煙囪噴的白煙是水泥的生料及熟料粉塵，因此我們思考是否可以透過粉塵蒐集進行分析？

三、水泥製程及水泥廠煙囪不透光率與微型氣象站 PM_{2.5} 分析之比較

【研究過程】：

- (一) 分析水泥製程，找出經常冒大量白煙煙囪最主要會有何種材料經過？
- (二) 水泥廠停爐期間、運作期間、聞到惡臭時，水泥廠煙囪不透光率與仁武測站、左營測站、本校微型氣象站 PM_{2.5} 分析比較。

【研究結果】：

- (一) 網站上水泥製程如圖 5，並無標示煙囪的位置，因此透過參觀水泥廠拿到水泥廠提供的水泥製程如圖 6，找到水泥廠煙囪位置。

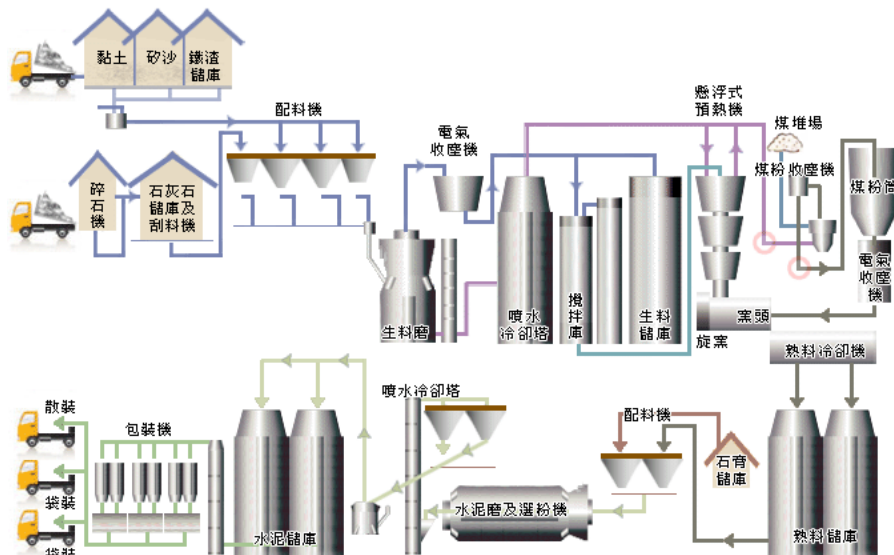
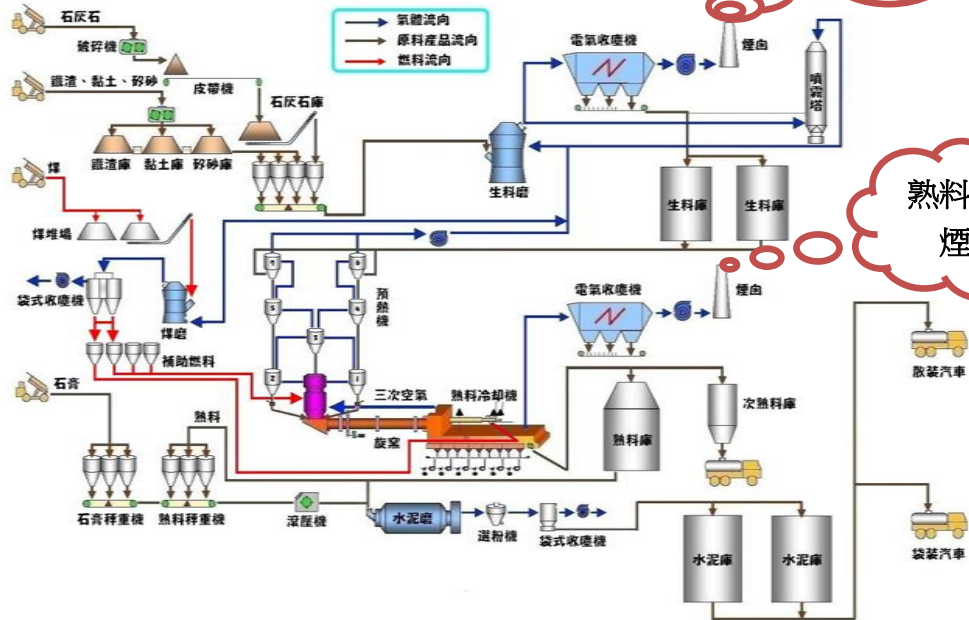


圖 5 水泥廠網站上之水泥製程圖 (資料來源：○○水泥公司網站)

參觀生料製程煙囪
聞到的味道，與在學
校聞到的臭味相同。



熟料製程
煙囪

圖 6 水泥廠提供之水泥製程圖 (資料來源：○○水泥公司提供)

(二) 比較與分析水泥製程後發現，生料入生料庫前會通過電氣收塵機，收塵機若功能不佳生料很容易由煙囪排放出去。

(三) 熟料與水泥屬於高溫滾動熔製過程，呈顆粒狀，因此逸散機率不高。

(四) 微型氣象站資料分析：

1. 圖 7 為水泥廠停爐時之 PM_{2.5} 監測資料，從圖 8 可知當日水泥廠只有在早上 7 時 12 分短暫運轉，其他時間都停爐，本校微型氣象站測得之 PM_{2.5} 濃度均低於仁武及左營測站的數值，可見水泥廠無運轉時，本校的空氣品質是良好的。

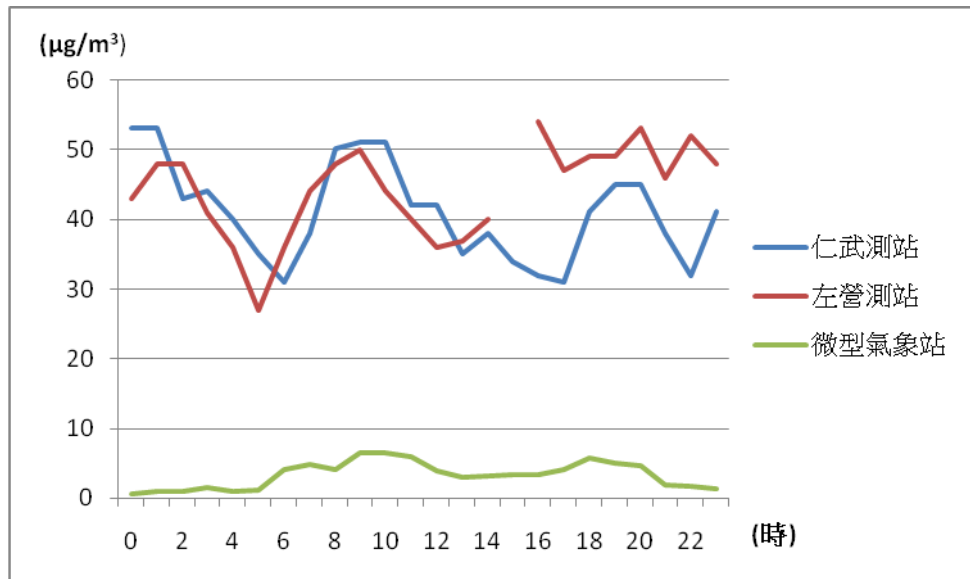


圖 7 民國 105 年 2 月 4 日 PM_{2.5} 濃度監測圖

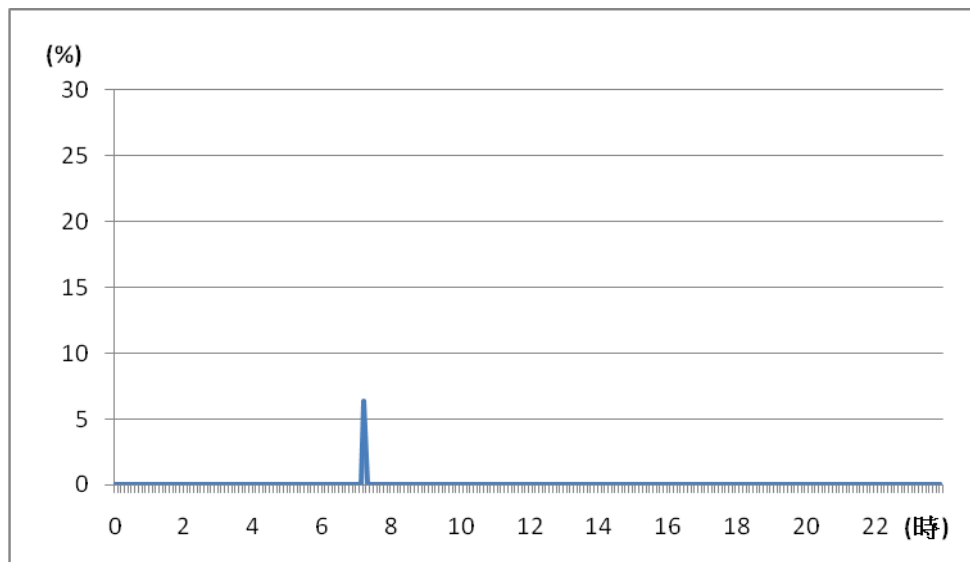


圖 8 民國 105 年 2 月 4 日水泥廠煙囪不透光率監測圖

2. 圖 9 為水泥廠運作時之 PM_{2.5} 監測資料，微型氣象站所測得 PM_{2.5} 濃度大多高於仁武及左營測站；將圖 9 與圖 10 煙囪不透光率監測資料進行比對，發現水泥廠早上 9 點多煙囪不透光率超過標準值 20%，同時微型氣象站所測得之 PM_{2.5} 濃度也飆高，可見水泥廠煙囪排放對本校有影響。

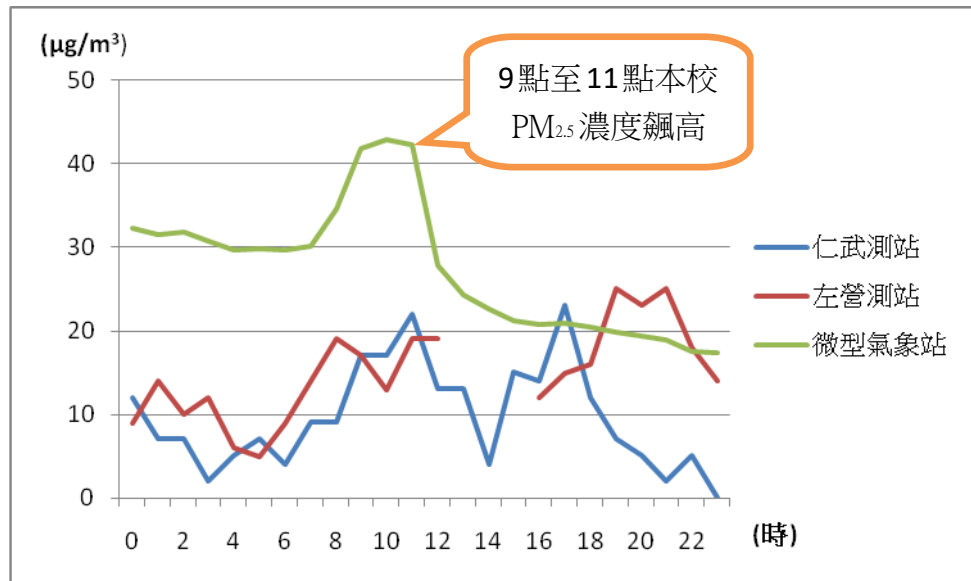


圖 9 民國 105 年 2 月 14 日 PM_{2.5} 濃度監測圖



圖 10 民國 105 年 2 月 14 日水泥廠煙囪不透光率監測圖

3. 104年12月15日近中午，本校師生聞到惡臭味，將圖11當日微型氣象站資料與圖12煙囪不透光率做比較，當不透光率增高，PM_{2.5}濃度亦上升，推測惡臭味會伴隨著水泥廠煙囪排放擴散至本校。

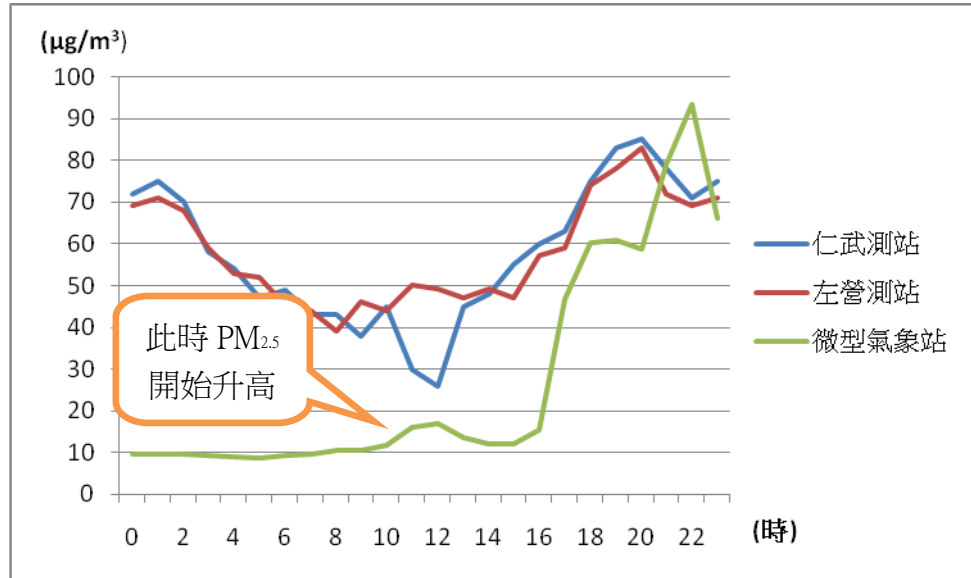


圖 11 民國 104 年 12 月 15 日 PM_{2.5}濃度監測圖

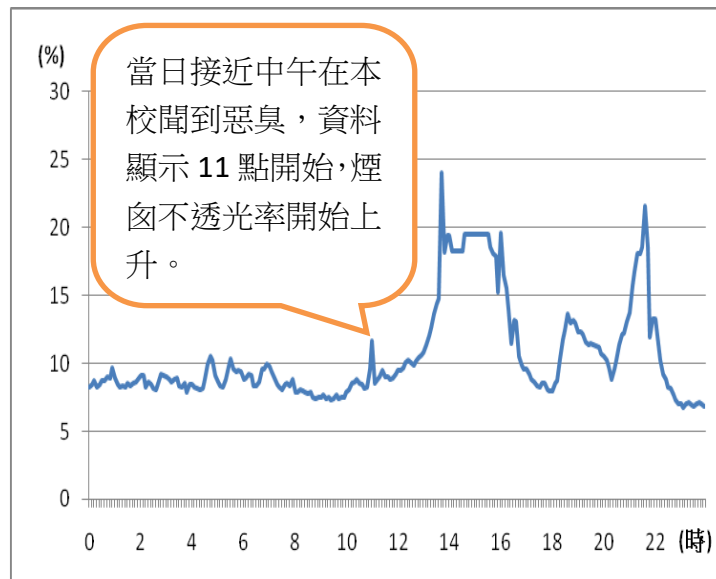


圖 12 民國 104 年 12 月 15 日水泥廠煙囪不透光率監測圖

四、高雄市各地落塵的酸鹼值與 TDS 值分析

(一) 無雨時落塵收集

【研究過程】：

1. 塑膠碗中倒入 500ml 的 RO 水，統一於 105 年 2 月 16 日由參與落塵實驗的師生帶回，置於各家陽台或頂樓空氣流通處，7 天後收回進行檢驗。
2. 與台鐵及高鐵辦公室聯繫，進入最接近水泥廠的辦公室頂樓放置水碗進行落塵收集實驗。
3. 置一含蓋水碗於教室內，作為對照組。
4. 進行 pH 值及 TDS 值檢測：每個樣本各測量 3 次，求平均值。



【研究結果】：

1. pH 值：

(1) 回收有效樣本共 94 份，逐一進行檢測與分析，pH 值分析如圖 13。

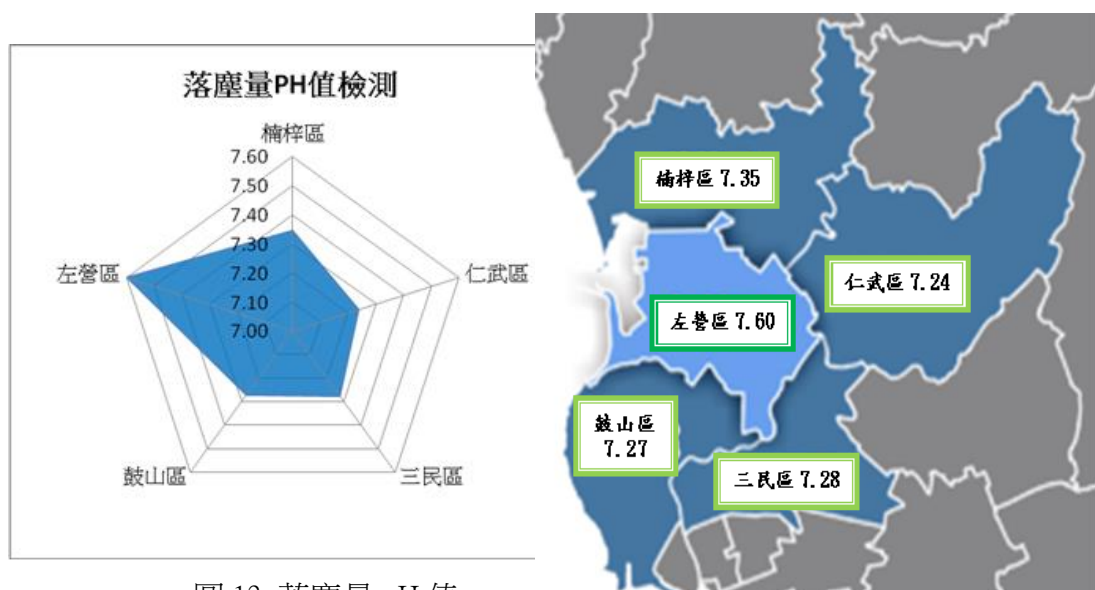


圖 13 落塵量 pH 值

(2) 與左營區周圍各區比較，發現左營區落塵酸鹼值居各區之冠，pH 平均值為 7.60。

(3) 其中又以最接近水泥廠之台鐵與高鐵辦公室頂樓樣本的 pH 值最高 (如表 1)，落塵量也是各樣本之冠，酸鹼值均大於 8，與所有的樣本相較高出許多。

表 1 台鐵、高鐵落塵檢測值

(TDS 值單位：ppm)

地點	區域	與水泥廠距離	pH(前)	pH(後)	TDS(前)	TDS(後)
教室內	左營	含蓋(對照組)	7.04	6.94	2	2
台鐵 1	左營	最近	7.04	8.60	4	74
台鐵 2	左營	次近	7.09	8.77	4	74
台鐵 3(有遮蔽)	左營	最遠	7.02	8.67	6	55
高鐵 1(有遮蔽)	左營	最近	7.02	8.46	6	46
高鐵 2	左營	最遠	7.02	8.49	6	37
高鐵 3(有遮蔽)	左營	次近	7.02	8.62	6	56

(4) 實地採樣發現，台鐵及高鐵辦公室頂樓除可看到煙囪排放白煙，也聞到刺鼻臭味，且員工說公司電纜接頭常因落塵量大導致短路，與台鐵及高鐵的落塵樣本測出高 TDS 值相符。

(5) 學校樣本：校園放置 30 個實驗樣本，有效樣本為 24 個。校舍各樓層樣本分析如圖 14，發現高樓層落塵樣本 pH 值比低樓層高。

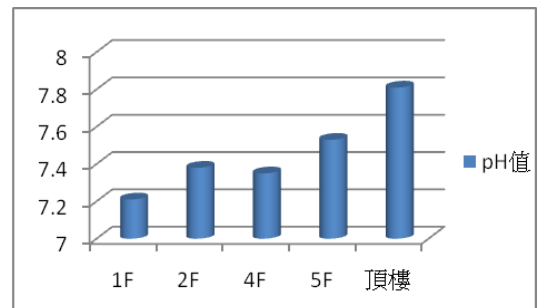


圖 14 學校各樓層落塵 pH 值

2. TDS 值：左營區 TDS 值為 23，其餘地區落塵 TDS 平均值落在 10 左右，應是左營區在地污染造成落塵量高。

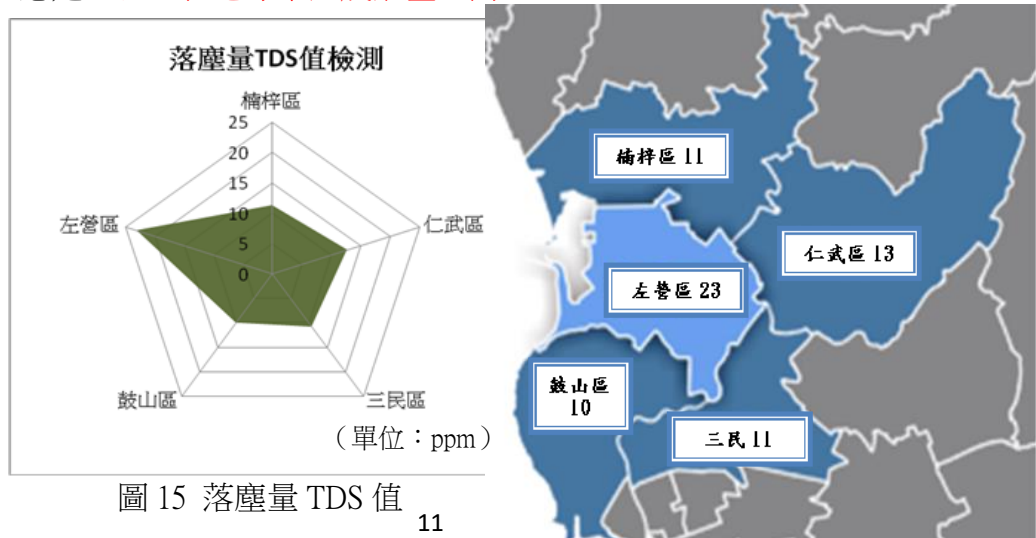


圖 15 落塵量 TDS 值

(二) 雨水蒐集

【研究過程】：

1. 準備空杯給參與收集雨水的師生，待下雨時才拿至戶外直接收集雨水，再收回檢測。
2. 於台鐵及高鐵辦公室頂樓放置空杯，希望能在下雨時接到雨水。
3. 分別於 105 年 3 月 10 日（工廠運轉）及 5 月 10 日（工廠已於 5 月 5 日停工）收集不同的時間的雨水，比較工廠運轉與停工時，高雄市各地雨水酸鹼值的差異。



校園雨水收集



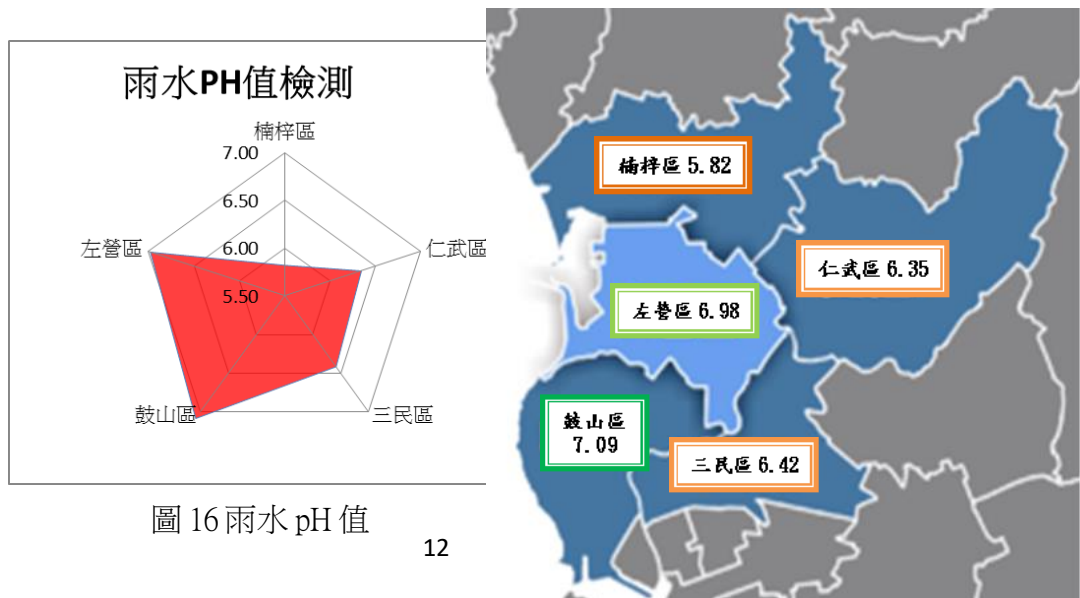
高雄市各區雨水收集



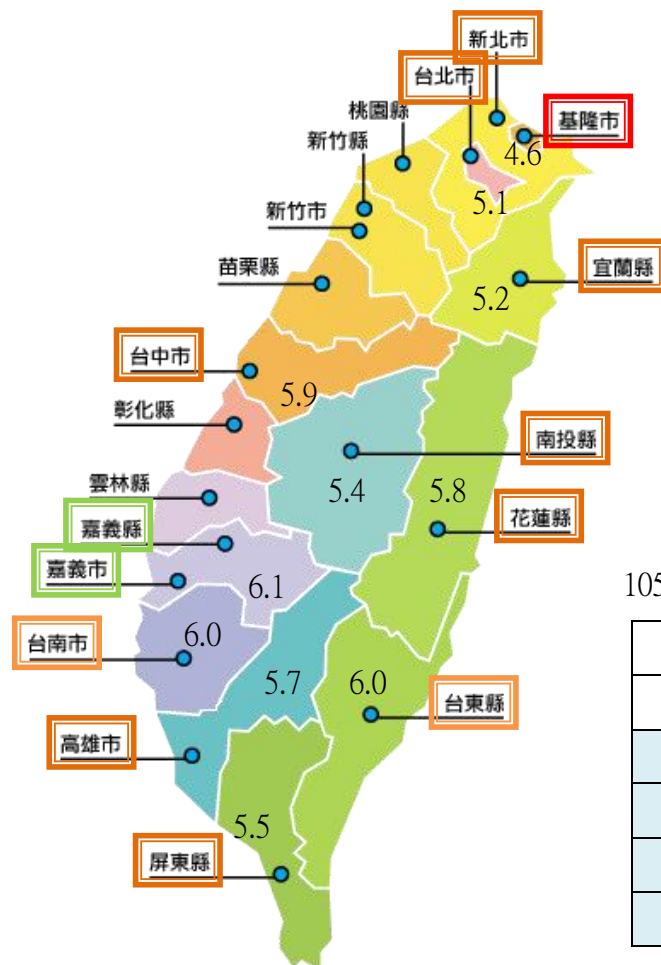
所得樣本數 47 份(3/10)及 57 份(5/10)，進行 pH 值及 TDS 測量及分析

【研究結果】：

105 年 3 月 10 日蒐集雨水樣本共 47 份，pH 值分析如圖 16：



1. 以上實驗結果以 105 年 3 月 10 日當天晚上直接收集的雨水進行分析，若杯子已放置多日才接到的雨水不列入平均。
2. 左營與鼓山區的雨接近中性，仁武與三民區的雨水是弱酸性，楠梓區的雨水更酸。
3. 下圖為 104 年台灣各地雨水 pH 平均值，104 年高雄市雨水 pH 平均值為 5.7，除了左營區北側之楠梓區，左營周圍其他區的雨水 pH 值都比台灣各地的平均值要高。



105.3.10 高雄各區雨水 pH 值

地區	pH 值
楠梓區	5.82
仁武區	6.35
三民區	6.42
鼓山區	7.09
左營區	6.98

4. 由表 2 分析台鐵及高鐵辦公室頂樓的雨水 pH 值皆超過 8，當天直接接雨水 pH 值為 8.01，前一天放置空杯收集到的雨水 pH 值為 8.14，放置一周後的空杯集雨 pH 值更高達 9 以上。

【研究討論】：

我們推斷，測量到的雨水除了有天空的灰塵外，因放置一周的杯子已聚集落塵，導致雨水的 pH 值飆高。

表 2 台鐵、高鐵雨水檢測值

(TDS 值單位：ppm)

地點	與水泥廠距離	pH 值	TDS 值	備註
台鐵 3	最近	8.01	49	台鐵員工 3/10 直接接雨
台鐵 1	最近	8.14	51	從前一天放的杯子倒出
台鐵 2	次近	9.42	71	從放置一周的杯子中倒出
高鐵 2	次近	9.10	57	
高鐵 3	最近	9.03	59	
高鐵 1	最遠	9.29	60	
台鐵 4	最遠	8.09	63	

5. 表 2 的 TDS 值證明我們的推論，放置一周的杯子收集的雨水，TDS 值大於直接接的雨水，TDS 值會影響 pH 值，加上地理位置近水泥廠，合理推論**雨水中溶解物質有部分來自煙囪排放出的生料**。

6. 分析比較 3 月 10 日工廠運轉時 5 月 10 日工廠停工時收集到的雨水發現：

(1) 高雄市各地的雨水酸鹼值及 TDS 值比較：

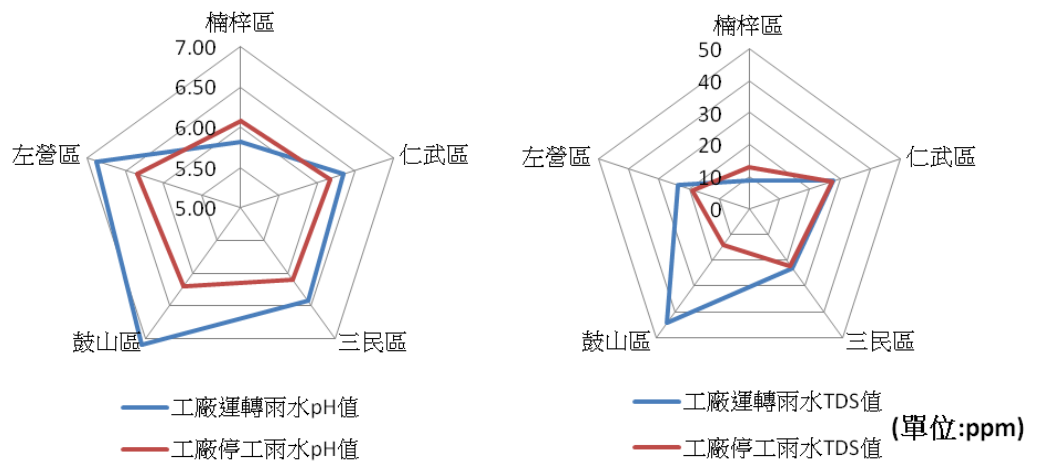


圖 17 工廠運轉與停工雨水 pH 值

圖 18 工廠運轉與停工雨水 TDS 值

① 從圖 17 的結果明顯看出，3 月 10 日**工廠運轉時**，位於水泥廠下風處（春季吹東北及西北風）的**鼓山、左營地區**的 pH 值高出其他區域甚多；而**停工後 5 月 10 日的雨水酸鹼值**各地差異不大，足見水泥廠運轉對鄰近社區的危害。

② 再比較圖 18 水中的總溶解固體值，明顯看出 3 月 10 日位於下風處的鼓山區 TDS 值居各區之冠，代表空氣中懸浮微粒多，而停工後的雨水 TDS 值明顯下降，在左營鼓山區內並無其他工廠，因此水泥廠的粉塵危害明顯可見。

【研究討論】：

圖 18 的 TDS 值檢測分析發現，當水泥廠停工後，左營、鼓山區空氣中的懸浮微粒明顯降低，甚至低於仁武及三民區，其中又以仁武的粉塵量多，由於仁武有工業區、仁武垃圾資源回收（焚化）廠，三民區也有高雄市中區資源回收廠，因此我們懷疑，仁武區、三民區內應該也有污染源，而此污染源的粉塵非鹼性。

(2) 高鐵、台鐵站與本校雨水酸鹼值比較：

2 次的雨水蒐集發現，3 月 10 日工廠運轉時的雨水酸鹼值明顯比 5 月 10 日工廠停工時的高出許多，足見工廠運轉會產生鹼性的物質影響鄰近社區甚鉅。

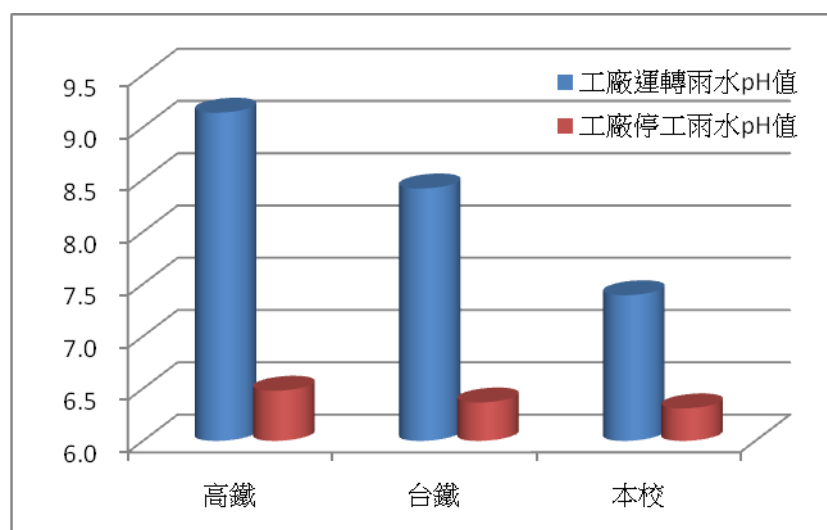


圖 19 鄰近水泥廠地區雨水 pH 值比較

【研究討論】：

雨水蒐集實驗發現，水泥廠運轉時位於左營區南邊的鼓山區，雨水的 pH 值居然比左營區高？是因為位於半屏山南端，東北季風一路沿著半屏山把粉塵帶下去的？我們製作大型地形模型進行模擬實驗，探討季風、地形對社區的影響。

五、學校地理環境與異味來源的關係分析

【研究過程】：

(一) 高雄四季風向：以表 3 各風向進行模擬實驗，以吹風機及垂直風洞為風向來源，進行模擬實驗。

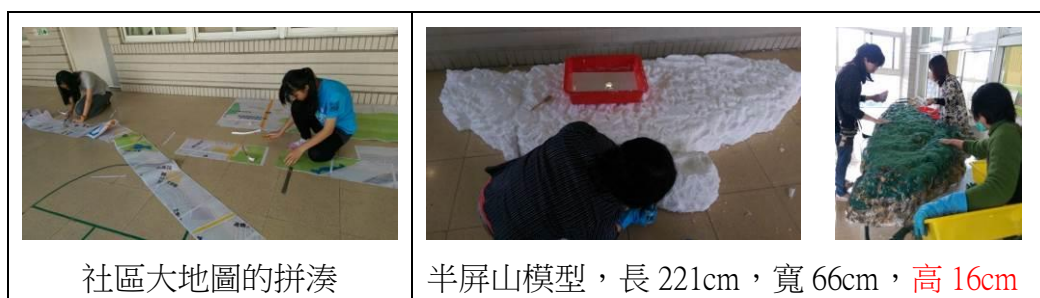
表 3 高雄四季主要風向分析表

(資料來源：交通部高雄港務局網站)

	春(3月-5月)	夏(6月-8月)	秋(9月-11月)	冬(12月-2月)
主要風向	西北、東北	西南	東北、北北西	東北、北北西

(二) 自製社區地形模型：

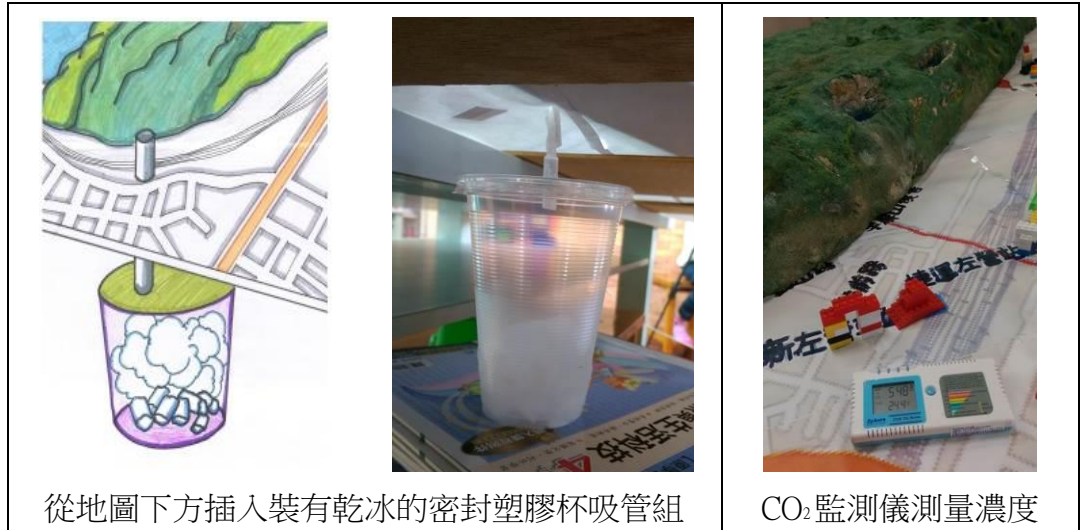
1. 透過 google 地圖，製作 1：1200 比例的社區模擬模型，將社區地圖放大分割列印後計算比例，算出模擬煙囪高度為 4.1 公分，內徑 0.3 公分（原煙囪高度 50.2 公尺，內徑 2.78 公尺）。



2. 社區模擬模型：



(三) 空氣汙染濃度模擬實驗：

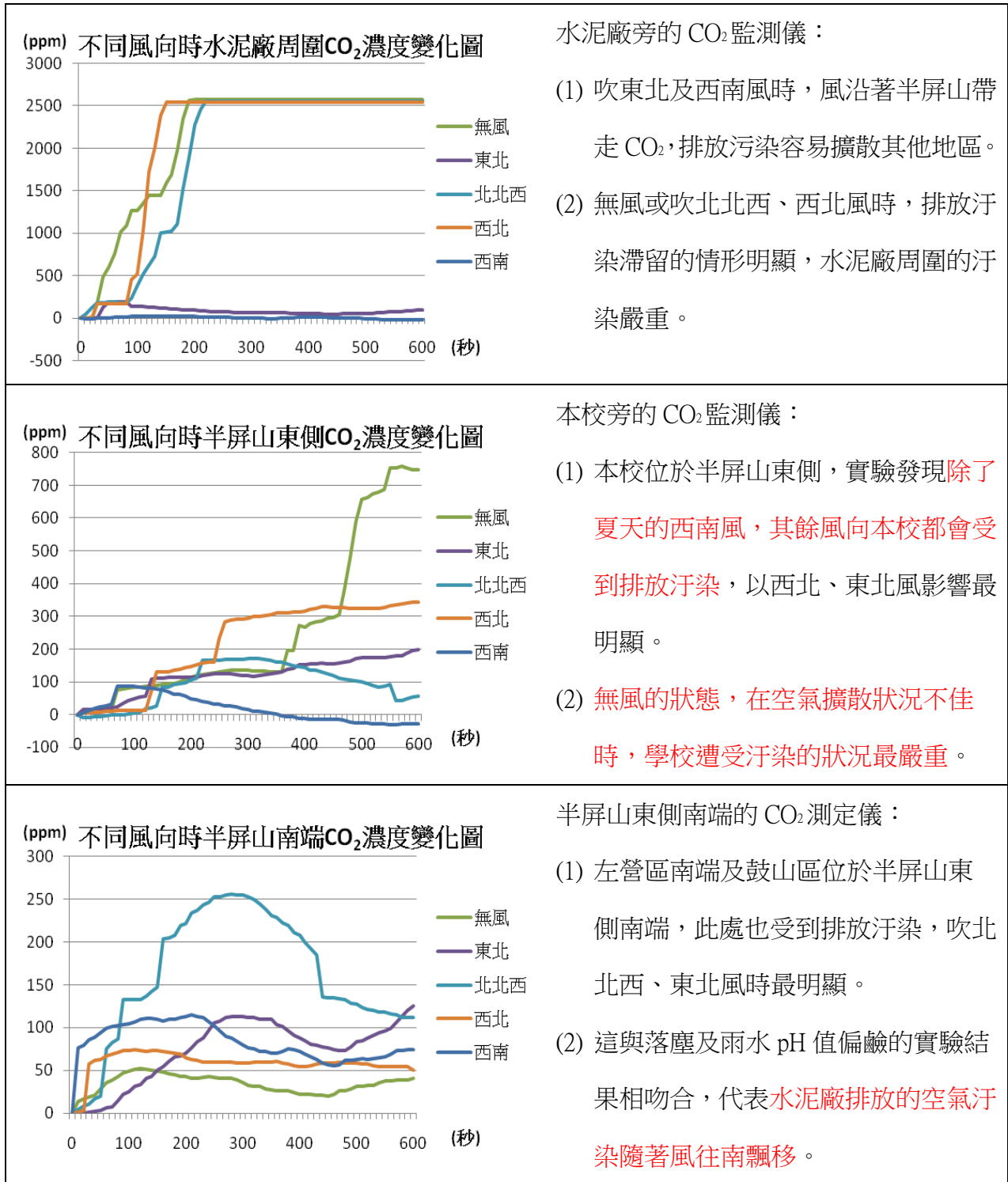


1. 利用乾冰製造 CO₂，模擬水泥廠煙囪排放氣體，在水泥廠旁及半屏山東側、西側、北端、南端放置 CO₂ 監測儀，每 10 秒記錄 CO₂ 濃度變化，模擬不同風向下水泥廠煙囪排放氣體，逸散的情形。
2. 移走半屏山，觀察在沒有靠山可依的狀態下，空氣流動情形。
3. 改變吸管長度，模擬 2、4、8、16、20 公分煙囪高度下水泥廠煙囪排放氣體，逸散的情形。

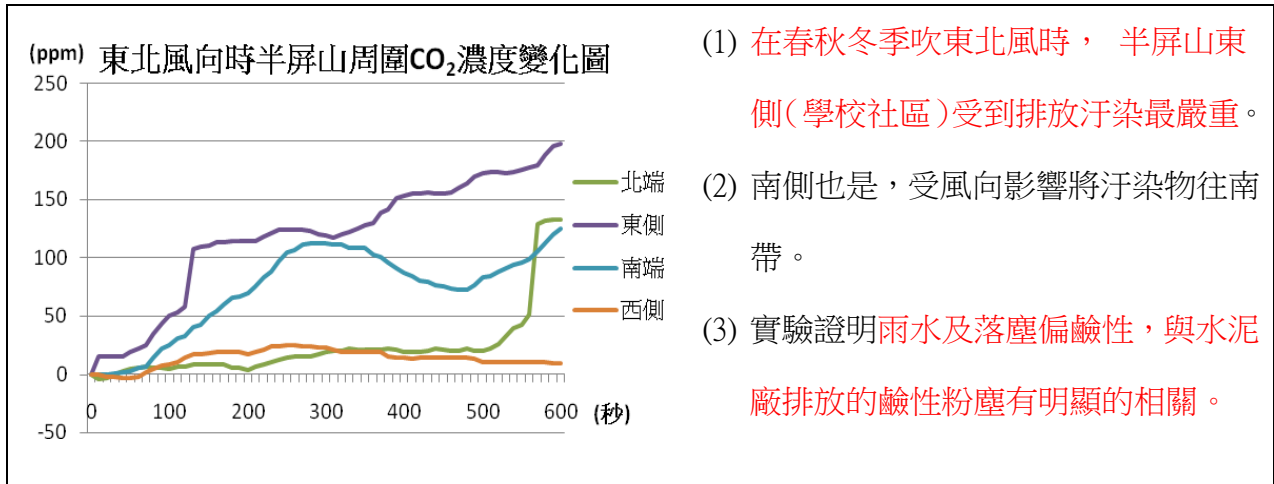


【研究結果】：

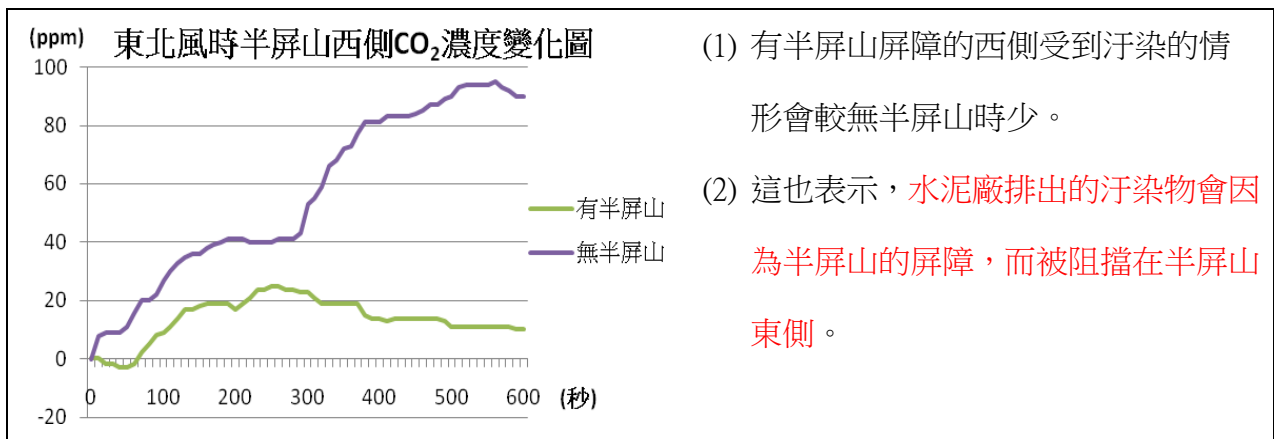
1. 不同風向時各地區 CO₂ 濃度分析：



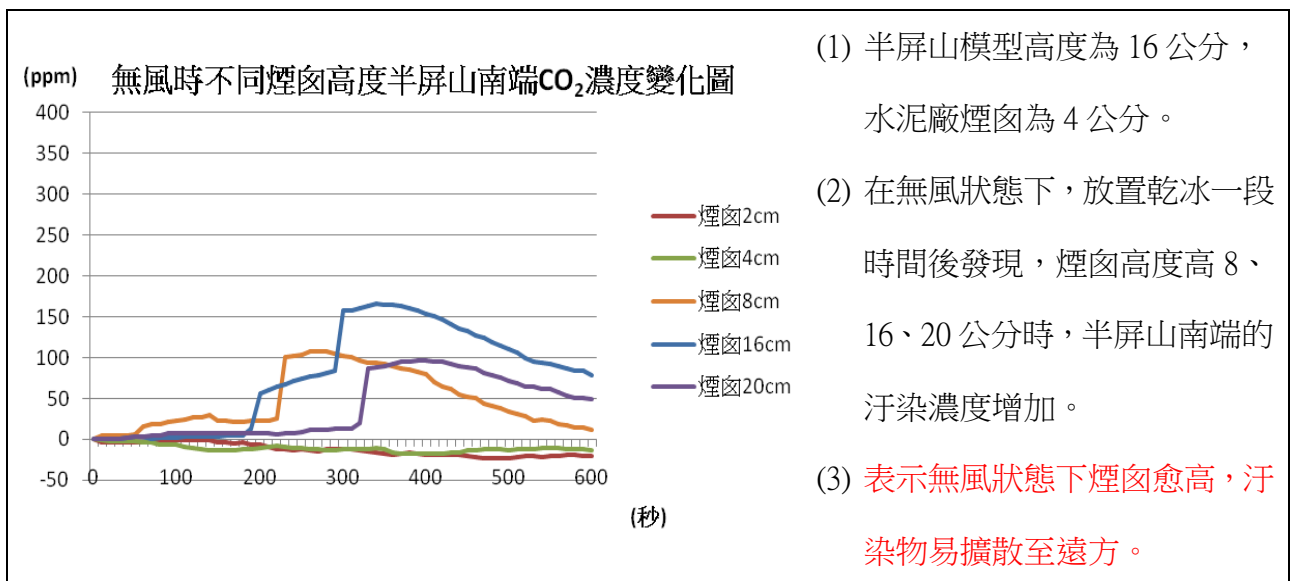
2. 吹東北風時，不同位置的 CO₂ 濃度分析：



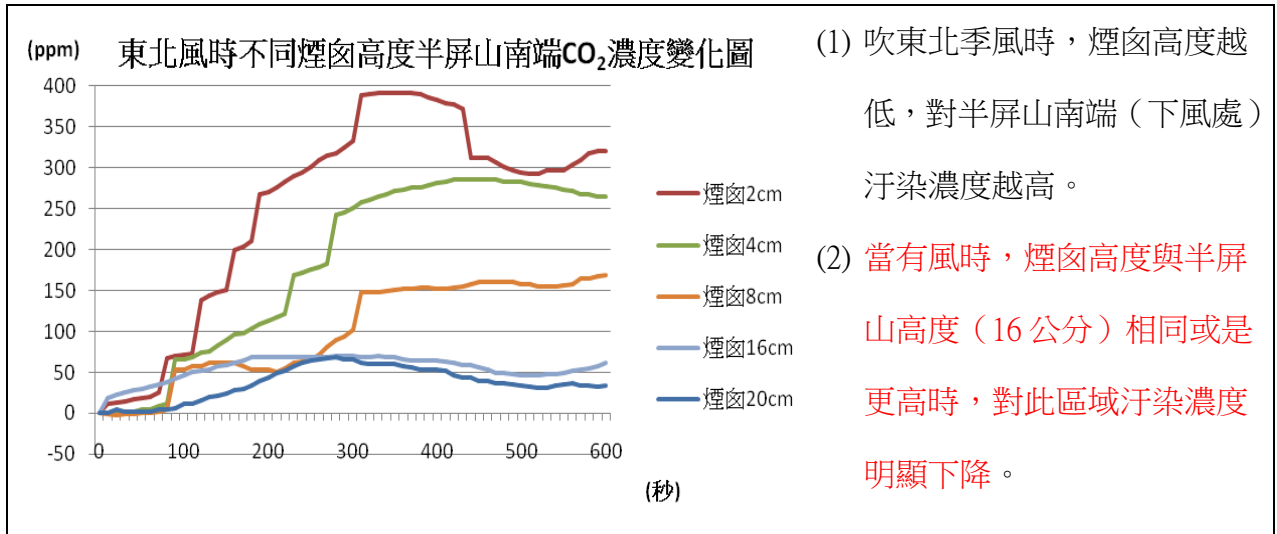
3. 吹東北風時，有無半屏山的差異分析：



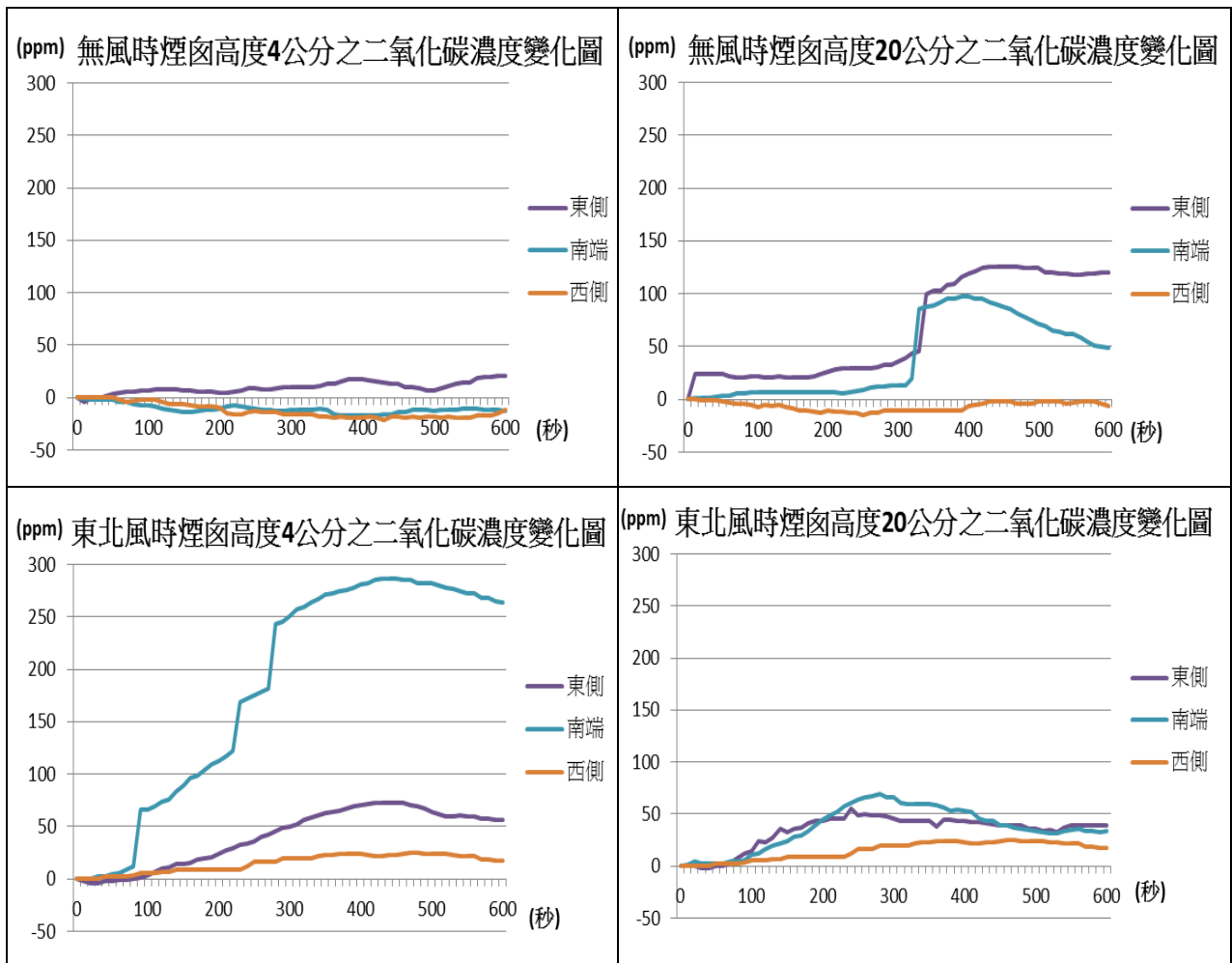
4. 不同煙囪高度，無風時半屏山南端的 CO₂ 濃度分析：



5. 不同煙囪高度，東北風時半屏山南端的 CO₂ 濃度分析：



6. 比較煙囪高度 4 公分（接近水泥廠模擬煙囪高度）和 20 公分（比目前半屏山模擬高度 16 公分高），不同位置的 CO₂ 濃度分析：



(1) 在無風狀態下，當煙囪高度比半屏山高時，放置乾冰一段時間後，半屏山東側及南端的污染濃度增加。

(2) 吹東北季風時，煙囪高度 4 公分時，半屏山南端污染最嚴重，其次是東側（學校社區）。

(3) 儘管在無風狀態下，煙囪高度比半屏山高時，半屏山東側及南端污染嚴重；但吹東北風煙囪高度 4 公分時，半屏山南端污染更嚴重，濃度增加了一倍，因此我們建議請水泥廠將煙囪加高，以降低污染程度。

(四) 氣體流動模擬實驗：



1. 利用煙霧產生器產生白煙，模擬水泥廠煙囪，觀察在不同風向下，白煙流動的情形。
2. 移走半屏山，觀察在不同風向下，白煙流動的情形。

【研究結果】：

風向	西北(春)	西南(夏)	北北西(秋)	東北(冬)
有半屏山 (錄影方式呈現)				
無半屏山 (錄影方式呈現)				

1. 有半屏山的狀況下，煙霧會被阻隔在半屏山的東側，不同風向時，煙霧飄散的方向不同。

2. 吹西北、北北西、東北風時，煙霧會往半屏山東側或沿著半屏山往南端飄散，因此學校社區在春秋冬季，易受到煙囪排放汙染。
3. 吹西南風時，煙霧會往半屏山北端飄散，學校社區在夏季，較不會受煙囪排放汙染。
4. 無半屏山狀況下，煙霧會往下風處飄散，半屏山西側區域汙染會變嚴重。

六、水泥原料、生料、熟料與成品的酸鹼值、TDS 值與成分的分析

【研究過程】：

- (一) 本校於 104 年 12 月 23 日參觀水泥廠時，取得水泥製程中的生料、熟料與成品，加上水泥原料石灰岩，將此四項物品磨成粉後，分別將 0.1g、0.2g、0.3g…1.0g 加入 100ml 的純水中，測量不同重量的原料、生料、熟料及水泥溶解在水中的 pH 值及 TDS 值。



將樣本磨成細粉後稱重



每杯取 100ml 的水，加入不同重量的粉末後測 pH 值

- (二) 將測得的 pH 值與高雄市各地落塵的 pH 值及 TDS 值比較。

【研究結果】：

- (一) 100ml 純水加入原料、生料、熟料及水泥。

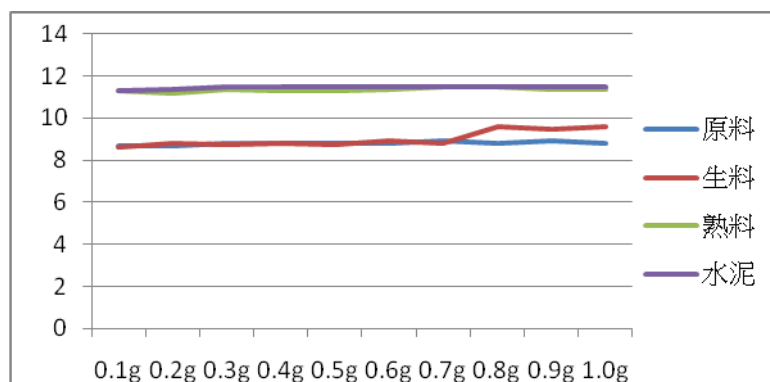


圖 20 原料、生料、熟料與水泥溶於水的 pH 值

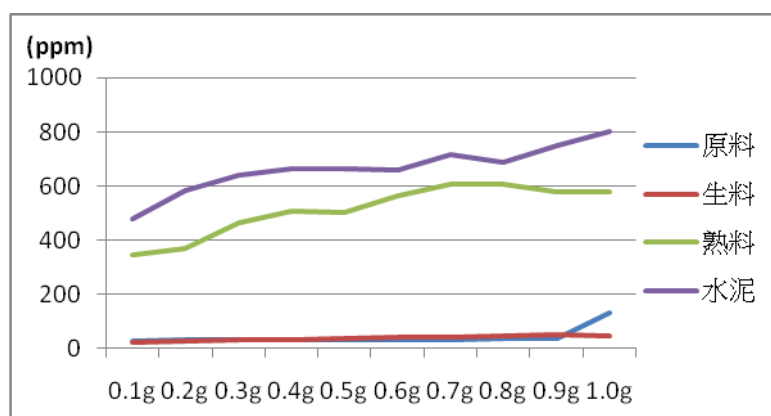





圖 21 原料、生料、熟料與水泥溶於水的 TDS 值

(二) 由圖 20 可知，熟料與水泥成品均為強鹼性，原料與生料的酸鹼值相近，為弱鹼性。

(三) 原料、生料、熟料與水泥的成分與內容物分析如表 4。

表 4 原料、生料、熟料與水泥的分析表

(資料來源：整理自水泥網站)

	原料	生料	熟料	水泥
外觀				
味道	泥土的味道	瓦斯鞭炮味 塑膠化學味	沒有味道	沒有味道
製程	石灰石礦經鑽孔、探測、取樣、化驗而初步確知化學成份後，運至廠區以碎石機鎚後儲存。	將石灰石(碳酸鈣含 80% 以上)、粘土、矽砂、鐵渣等原料，在研磨機內粉碎再均勻拌合選粉、收塵後存於生料庫中。	經懸浮預熱塔及預熱室的燃燒，再高溫燒至半熔融，再入冷卻機中予以冷卻，即為熟料。	將熟料及石膏水泥磨，磨至標準細度即可成為水泥製品。
主要成分	碳酸鈣		氧化鈣	
溶於水後	不易溶於水，弱鹼性		氧化鈣+水→氫氧化鈣，鹼性	

- (四) 將資料與實驗測得的 pH 值相較，確定不論是原料、生料、熟料還是水泥粉，溶於水的 pH 值都大於 7，足見水泥廠產生的粉塵均為鹼性。
- (五) 100ml 溶解 1g 的生料與原料的 TDS 值約為 50 左右，相同克數的熟料與水泥 TDS 值遠高於生料與原料，足見所查資料與實驗相符合，熟料與水泥主要成分為氧化鈣，易溶於水所以 TDS 值高，呈強鹼性，因此 pH 值高。
- (六) 從 TDS 值及 pH 值分析，若水泥廠任一材料溢出且散布在空氣中，則酸雨將會被中和成中性甚至鹼性，這與樣本蒐集結果相吻合，足見本校社區受到水泥廠空氣汙染確實。

陸、結論

- 一、使用乾冰及煙霧模擬煙囪地形模擬實驗中，因為學校「依山」的地理位置，煙囪排放之汙染大多會被阻隔在半屏山的東側，除了夏天吹西南風，其餘季節或無風的狀態下，本校都會受到煙囪排放汙染。
- 二、當水泥廠煙囪不透光率增加，本校微型氣象站 PM_{2.5} 濃度也跟著上升，推測煙囪排放影響到學校社區。
- 三、落塵檢測發現，高鐵及台鐵辦公室落塵量高且呈現鹼性，推測與鄰近的水泥廠產生的鹼性粉塵有關。
- 四、探討雨水 pH 值與當地汙染源的關係發現，雨水 pH 值鼓山區為 7.09，左營區為 6.98，高於高雄市的平均值 5.7，酸鹼中和讓原本的酸雨變成中性甚至鹼性。
- 五、雨水、落塵酸鹼值及總溶解固體值檢測，發現本社區及下風處區域所測得的酸鹼值均大於平均值，用以將水泥廠的生料、熟料與水泥的鹼性特質相比對，足見水泥廠所飄出之水泥原料粉塵嚴重影響社區環境。
- 六、從水泥廠運轉及停工狀態下的雨水蒐集分析發現，水泥廠運轉時，位於水泥廠下風處的鼓山、左營地區的雨水 pH 值及 TDS 值高出其他區域許多；而停工後的雨水 pH 值各地差異不大，TDS 值更是低於其他地區，足見水泥廠運轉對鄰近社區的危害。
- 七、從不同高度的煙囪模擬實驗中分析，當煙囪高度高於半屏山高度時，煙囪排放對周

圍社區的汙染濃度明顯降低，因此建議，除了改善水泥廠排放設備，也加高煙囪高度，增加擴散效應，降低對周圍社區的危害。

八、因為沒有精密的儀器可以分析臭味的成分是否是燃燒廢輪胎導致，因此只能從水泥廠的生產物及煙囪排放的粉塵進行研究。自民國 86 年至今 20 年來，學校周圍社區人口數成長 2.6 倍，大樓人口密集，而臭味代表燃燒排放沒有妥善處理，因此建議水泥廠停止燃燒廢輪胎，維護社區居民健康。

柒、參考資料及其他

一、PM_{2.5}懸浮微粒指數（無日期）。微型氣象站。民 105 年 2 月 15 日，取自：

<http://ectuary.insnergy.com/index.do>

二、中央氣象局各氣象站累年雨水酸鹼度值年平均資料（無日期）。交通部中央氣象局。

民 105 年 2 月 15 日，取自：<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>

三、水泥製程（民 97 年）。OO 水泥股份有限公司。民 104 年 12 月 9 日，取自：

<http://www.southeastcement.com.tw/index.php?q=node/27>

四、左營區歷年人口數(民 103 年 3 月 27 日)。高雄市左營區戶政事務所。民 104 年 12 月

2 日，取自：<http://zuoying-hr.kcg.gov.tw/>

五、固定汙染源管制地圖（無日期）。民 105 年 2 月 15 日，取自：

http://kiang.github.io/chimney_map/

六、空氣汙染物連續自動監測設施(CEMS)（無日期）。高雄市政府環境保護局空氣品質

管理中心。民 105 年 2 月 15 日，取自：

<http://www.ksaqmc.com.tw/pubCems/Cemsindex.aspx>

七、高雄季風的風向（無日期）。交通部高雄港務局。民 105 年 2 月 17 日，取自：

<http://www.khb.gov.tw/>

八、細懸浮微粒(PM_{2.5})（無日期）。行政院環境保護署－空氣品質監測網。民 105 年 2 月

15 日，取自：<http://taqm.epa.gov.tw/pm25/tw/HourlyData.aspx>

捌、感謝與期待

感謝另外一組實驗夥伴無意中接來玩的一杯偏鹼雨水，讓我們找到工廠溢出的粉塵污染證據；感謝全校教師及學生家長及高鐵及台鐵叔叔們的大力支持與幫忙，大家同心要全力緝捕惡鄰的心意讓我們非常感動。這次研究只是我們小小力量的團結，希望能讓大家看見環境污染對我們的困擾及危害，請政府正視這個問題，不能只衡量經濟利益，而須在經濟與環境間做取捨，也希望大家看見我們要呼吸新鮮空氣，還我藍天的心聲。

【評語】 080502

1. 研究動機與目的具體明確。
2. 善用社區內之現有資源（微型氣象站）且符合國小學生能力與程度。
3. 利用社區與生活環境切身問題為題材，並與「空氣」和「環境教育」教材相關。研究方法為調查，紀錄，分析，測試與實驗；作品說明書撰寫很用心，以紅色字體標示主要發現，且利用自製模型移動測試此點具有創意；學生對研究內容掌握度佳，表達清楚生動與流利。