

簡易型空氣品質監測器應用於空氣 污染管制介紹

鄭玟苓* 徐慧淳* 羅 鈞**

摘 要

行政院環境保護署設置之空氣品質自動監測站雖具備數據精確度高、便利查詢等優點，然設備價格昂貴且每年需花費大筆經費進行儀器維護校正等作業，致無法廣為設置；近年來，面對國內民眾對空氣品質現況關注日漸殷切下，如何提供即時、便利且空間解析度更高之空氣品質資訊已成為各界積極思考、研發之議題；配合科學技術的發展成熟，目前業界已發展各式簡易型空氣品質監測器（包括微型感測器及空氣盒子等），由於構造簡單、安裝方便、價格較低及可即時提供空氣品質資訊等優勢，在國內被廣為被使用。

本文係針對環保署積極推動之空氣品質監測物聯網進行介紹，並以架設於新北市轄內之簡易型空氣品質監測器監測結果進行分析，整理地方環保局在執行空氣污染管制方面所獲得之成效；綜合簡易型空氣品質監測器監測結果發現，其監測之 $PM_{2.5}$ 會有系統性偏高問題且受到氣象因素影響，但整體濃度變化趨勢與環保署自動測站相較仍有其一致性，透過後續數據分析比對仍可找出異常排放污染源，有利於協助國內空氣污染管制工作之推動。

關鍵字： $PM_{2.5}$ 、微型感測器、空氣盒子、空氣品質

一、前 言

為監測空氣品質現況，行政院環保署在國內設置有 76 處一般空氣品質自動監測站，該空氣品質資訊一直是民眾及各單位判斷空氣品質良窳主要來源依據；這些國家級測站儀器雖具有極高的精確度，然設備價格昂貴、所需站體龐大，設置後每年需花費高額操作維護經費，實無法進行大規模普設；在數量有限情況下，也無法針對不同區域提供更高解析度的空氣品質分析資訊。

為解決前述問題，近年來各單位亦積極研發簡易型空氣品質監測器替代（包括市售的空氣盒

子及空氣品質感測（偵測）器），由於此類感測器構造簡單、價格便宜、容易安裝且可提供即時資訊以供查詢，使得空氣品質監測資訊取得更為便利，廣受喜愛；然簡易型之缺點為數值精確度不若環保署監測站，且普遍而言較缺乏定期維護及校正作業，在推廣與實際應用上仍存有許多的疑慮。

現行環保署對整體空氣品質監測體系規劃構想如圖 1 所示；依據該規劃構想，最上層將以環保署 76 個監測站為基礎；第二層為區域性測站網，包括地方環保單位設立之自動監測站及目的事業主管機關所設立特殊性工業區測站等，其數

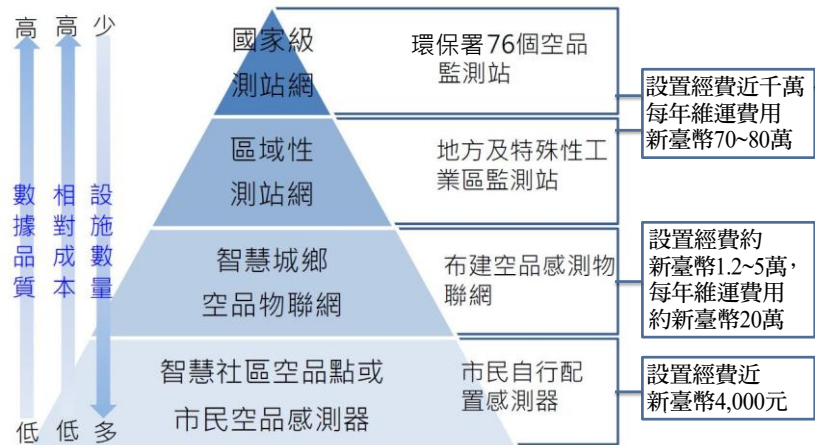
* 環興科技公司環境規劃一部工程師

** 環興科技公司環境規劃一部計畫主任

據精確度與準確度，若透過例行性校正維護可達環保署監測站等級。

第三層及第四層則為目前積極推動的空氣品質監測物聯網，透過密集的區域布建感測器、時

間序列的分析，有助於提高空氣品質的空間解析度，據以掌握不同區域空氣品質現況，針對不同層級監測體系之差異比較整理如表 1 所示。



資料來源：106 年 12 月中華民國環境工程學會電子報

圖 1 階梯式空氣品質監測體系示意圖

表 1 不同層級監測體系之差異比較分析表

	國家監測站	智慧城鄉感測點	學校民間感測器
監測目的	法規監測	污染熱區鑑定感測	環境教育
數據應用	評估大範圍空氣品質是否符合空氣品質標準及政策訂定依據	小區域空氣污染熱區鑑定及污染排放追蹤溯源以做為管制執法應用	微環境空氣品質相對變化趨勢資訊及原因探究
選址要求	依據空污法施行細則設置，選址過程嚴謹	以工業區、交通要道；鄰近工業區社區或鄉鎮區等，僅需具有通風、可通電及有行動通訊特性者	多元化、普及化，多在學校、住家陽台具備遮蔽且通風良好處
設置高度	10 公尺高	3 公尺高	學校布建約 2~3m 高；其他民間布建不確定
儀器原理	β 射線衰減或慣性質量法	物理光散射原理	物理光散射原理
儀器認證或第三方測試	USEPA 等國際認證	工研院實驗室及現場測試	中研院布建機型經工研院實驗室及 AQ-SPEC 測試；其他機型不確定
誤差範圍	需小於 10%	小於 30%	中研院布建機型約 50%~100%；其他機型不確定
布建前校正方式	符合國際認證標準	儀器出廠時統一校正，布建前至標準監測站進行比對	中研院布建設備出廠時統一校正；其他設備不確定
品保制度	有	有	無
維護頻率	週、雙週、月及季維護	每季巡檢一次	無或不定
品保績效查核	有，一年一次	每年抽查 10%	無
品管功能檢查	有，一年六次	每季巡檢一次	無
數據空間解析度	約 10 至 25 公里	工業區內 100-300 公尺	約 1 公里
數據時間解析度（粒狀污染物）	1 小時	1-3 分鐘	1-5 分鐘
設備名稱	懸浮微粒測定儀（VEREWA-F701、Met-One BAM-1020）	環保署微型感測器	訊舟空氣盒子、匯資 AIR MENTOR、ACER Air Monitor 等設備

資料來源：行政院環境保護署空氣品質監測網

目前第三層智慧城鄉空氣品質物聯網，主要係由各級環保單位架設於污染源集中區、交通要道或大型環境敏感區域等，使用感測器自出廠、布設前會經過校正比對程序，且每季進行例行維護；而第四層智慧社區空品測點或市民行動感測器，則屬市民自主性方式參與監測。上述四層監測資料均可傳輸至環保署物聯網平台，資訊整合後可達到物物相聯、網網相接的空氣品質監測目的。

本文主要在於介紹簡易型空氣品質監測器之原理及監測結果，並針對新北市環保局及教育局監測數據解析，及應用於空氣污染管制上獲得之成果。

二、簡易型空氣品質感測器原理介紹

簡易型空氣品質監測器（如圖 2）可依所需監測項目安裝不同感測元件，可監測項目包括： $PM_{2.5}$ 、溫溼度、二氧化氮、臭氧及揮發性有機物等，現階段以溫溼度、 $PM_{2.5}$ 等感測元件技術較為成熟。

$PM_{2.5}$ 感測元件量測原理為光學方式（光散射原理）量測微粒數量，經轉換為 $PM_{2.5}$ 質量濃度後，透過通訊模組傳輸即時數據。由於簡易型空氣品質監測器不若自動監測站具有粒徑篩選及去除干擾的設計，微粒外形及粒徑也易受溫濕度等干擾而改變，相關干擾因素可能會造成量測上誤差。



圖 2 簡易型空氣品質監測器內部及其感應元件

三、微型感測器

環保署目前所積極規劃建置空氣品質監測物聯網有下列二項重要目標：（1）提供與民眾切身相關之空氣品質資訊—可於空氣品質不良時採因應作為；（2）掌握空氣污染現況—應用於排放減量及污染管制。依據上述兩大目標，大致可瞭解空氣品質監測物聯網設置目的，除提供民眾對空氣品質有知的權利外，也提供環保單位在空氣污染管制上協助作為，符合建立監測物聯網目的。

如以新北市政府空氣品質監測體系來看，第一階層部分，環保署已於轄內設立有 9 座空氣品質自動監測站；第二階層部分則為市府環保局於三峽區設置 1 座自動監測站（部分地區有設人工採樣測站），然新北市無論在人口數量、機動車輛及工廠數量皆居國內之冠且幅員遼闊，空氣品質監測站布置在數量相對上應屬不足，也無法滿足空氣污染管制及民眾對空氣品質資訊之需求，故空氣品質監測物聯網之設置對新北市環保局而言，具顯著必要性。

第三層監測體系係由行政院環保署及環保局合作規劃設置；目前環保署在鶯歌地區已協助裝設 70 處空氣品質物聯網感測器，於民國 106 年 3 月起陸續測試及運作，民國 108 年起新北市環保局規劃將監測網擴至林口區、土城區、樹林區及板橋區等區域，整體完成後，總計將有 500 處物聯網感測器，可提供更完整、細緻的空氣品質即時資訊，協助空氣污染管制工作推動。

（一）監測數據分析

行政院環保署布建於鶯歌區之微型感測器節點，以東南區為起點，向西延展，涵蓋鶯歌火車站、鶯歌國小、鶯歌國中、建國國小、昌福國小至永吉國小；再向北延展，沿桃鶯路及鳳鳴路展開，涵蓋鳳鳴國小、鳳鳴國中至鳳吉一街與鳳一路（如圖 3）。空氣品質感測器沿道路，約每 500

公尺架設一組附掛於道路路燈上，進行環境資訊收集。

統計鶯歌區微型感測器民國 106 年 3 月至民國 107 年 8 月監測數據彙整如圖 4 所示；監測時段之 $PM_{2.5}$ 月平均濃度介於 $13 \sim 29 \mu g/m^3$ 之間，大致上以冬、春季（12 月至 4 月）濃度最高，平均為 $25 \mu g/m^3$ ，此段時間也是國內最容易發生空氣品質不良季節；一旦進入到夏季（6 月至 8 月）， $PM_{2.5}$ 濃度即明顯下降，平均約為 $16 \mu g/m^3$ ，整體濃度變化趨勢與環保署一般空氣品質監測站結果類似。

（二）發現高值探討及處置作為

在解析個別感測器監測數值發現，位於鶯歌區大湖路上之一處感測器自民國 107 年 3 月起出

現高值（逐時濃度分析如圖 5），發現日夜間時段濃度落差相當大、夜間測值偏高；日間測值相對較低，推測可能有異常排放情形，故新北市環保局於民國 107 年 4 月前往該區進行查核，發現該測點對面為一間未取得固定污染源設置及操作許可證之塑膠工廠排放，立即以違反空氣污染防治法第 24 條及 56 條處以罰鍰。

民國 107 年 5 月大湖路上之感測器再次發生 $PM_{2.5}$ 濃度異常增加現象，遂於民國 107 年 6 月偕同環保署環境督察總隊到現場再次進行稽核，結果又發現另一間未取得固定污染源操作許可證之橡膠製品工廠，也依法開罰；在完成相關處置作為後，該測點之監測數據迄今均未再發現高值現況，顯見物聯網空氣品質感測器已可扮演污染管制作為上之協助工具。

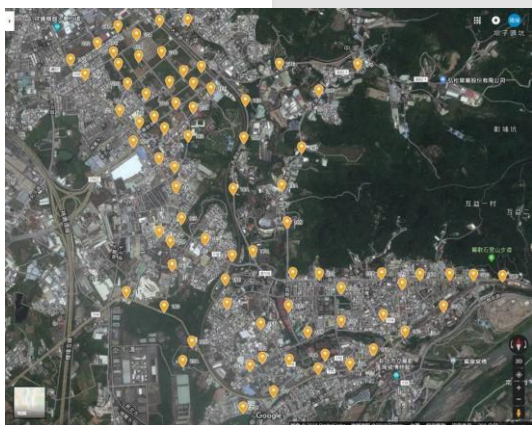


圖 3 新北市鶯歌區微型感測器設置地點

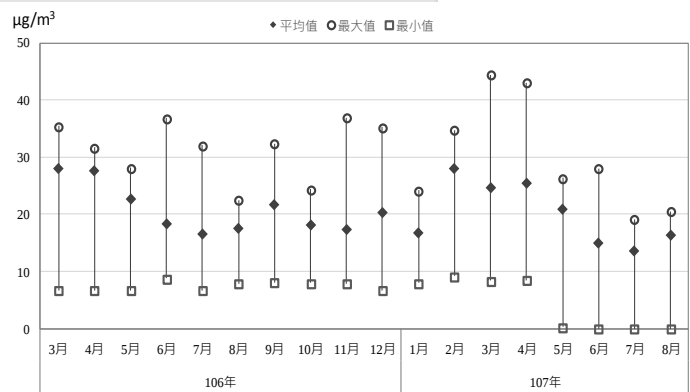


圖 4 新北市鶯歌感測器民國 106 年 3 月至 107 年 8 月逐月平均值

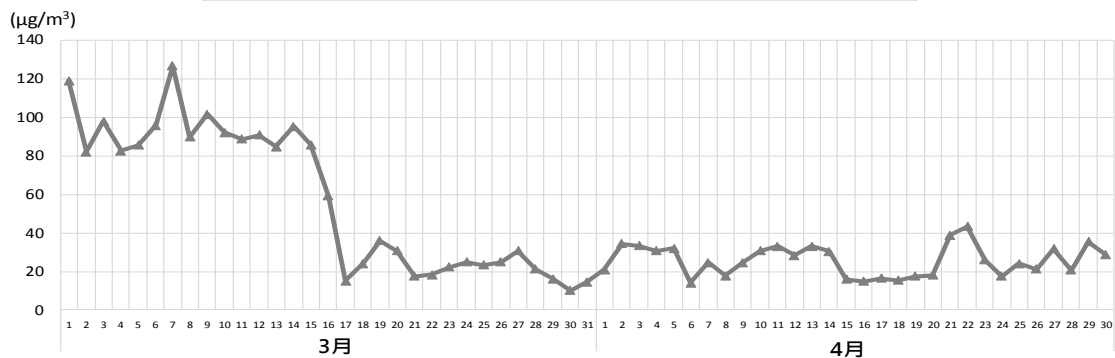


圖 5 鶯歌區大湖路感測器於民國 107 年 3 月至 4 月之逐時濃度分布圖

四、空氣盒子

除行政院環保署協助設立之空氣品質物聯監測網外，民國 105 年由新北市教育局指導，與 Edimax 訊舟科技公司共同推動「校園空氣盒子建置計畫」，該計畫規劃選定新北市轄內中小學共 298 處設置簡易型感測器（簡稱空氣盒子），主要係考量兒童為空氣品質不良敏感受體，監測結果可提供學生即時之空氣品質訊息，並於空氣品質不良時提醒學校採取防護措施之依據。

（一）監測數值分析

新北市校園空氣盒子設置計畫原規劃在 29 個行政區、298 所學校監測 $PM_{2.5}$ 空氣品質，然統計至民國 107 年 8 月止，可擷取數據僅有 141 所（26 個行政區域）；分析民國 106 年 8 月至民國 107 年 8 月各行政區（以市區及郊區區分） $PM_{2.5}$ 月平均濃度如圖 6 及圖 7。

監測結果顯示，一般市區內濃度會較郊區高，尤其以民國 106 年 12 月及民國 107 年 2 月及 3 月最為明顯；郊區沿海的萬里區、三芝區及八里區在冬季有濃度偏高的狀況；與環保署測值相比，亦呈現冬季測值偏高的狀態。

以整體 $PM_{2.5}$ 月平均濃度來看，除民國 107 年 2 月份在五股區及八里區發現測值較高外，整體空氣品質狀況並未有異常。

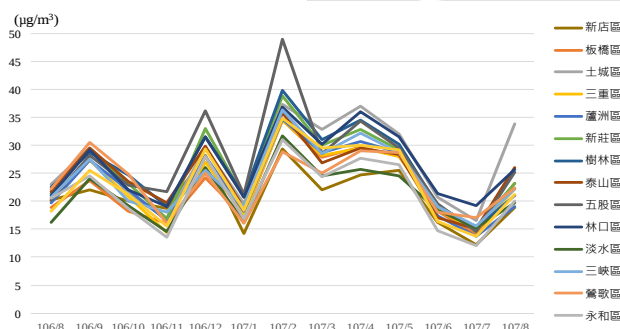


圖 6 新北市市區附近空氣盒子 $PM_{2.5}$ 月平均濃度比較

（二）發現高值探討及處置作為

如上所述，民國 107 年 2 月五股區空氣盒子 $PM_{2.5}$ 監測平均濃度 $49 \mu g/m^3$ ，為新北市所有行政區濃度最高區域；在該區有三個空氣盒子測點分別為五股國小、成州國小及德音國小；其中又以成州國小濃度最高且月平均濃度達 $64 \mu g/m^3$ ；經查該校位於五股成泰路三段，附近有大片墓地及零星工廠分布，地理位置如圖 8。

整理這段期間該測點數值如圖 9 所示，依時序探討高值現象，2 月 14 ~ 18 日為我國農曆春節期間，且屬於大氣擴散條件不佳之氣候型態，監測濃度受當地祭祀行為及民眾放鞭炮影響以致於污染累積情況發生；而 2 月 18 日 20 時段，依據新北市民眾陳情資料顯示，附近民眾有舉報當地有露天燃燒狀況，監測數值從 2 月 18 日 5 時開始升高並持續至隔日 11 時止，再比對環保署新莊測站民國 107 年 2 月 19 日 10 至 13 時係發生空氣品質不良時段，二者監測數值反應情況相當吻合。

2 月 19 ~ 20 日則可能受到過年返鄉潮交通流量較大而影響所致；另外發現部分時段 $PM_{2.5}$ 濃度出現短暫高值現象，由於時段多發生於半夜時間，不排除附近工廠偷排或是露天燃燒所致。另外於 2 月 28 日亦有監測數值於該時間確實有濃度升高情形，顯示均屬短暫空氣污染逸散不法行為，已建議環保局應加強相關稽查作業。

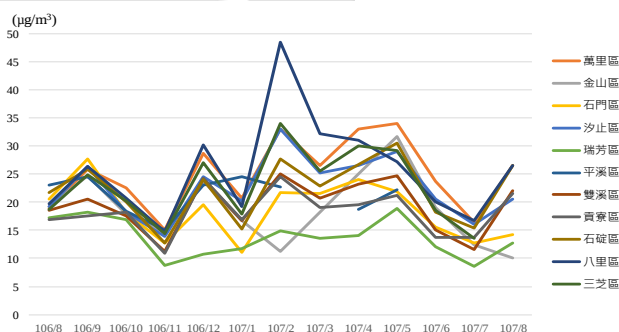


圖 7 新北市郊區附近空氣盒子 $PM_{2.5}$ 月平均濃度比較



圖 8 新北市五股區成洲國小地理相關位置圖

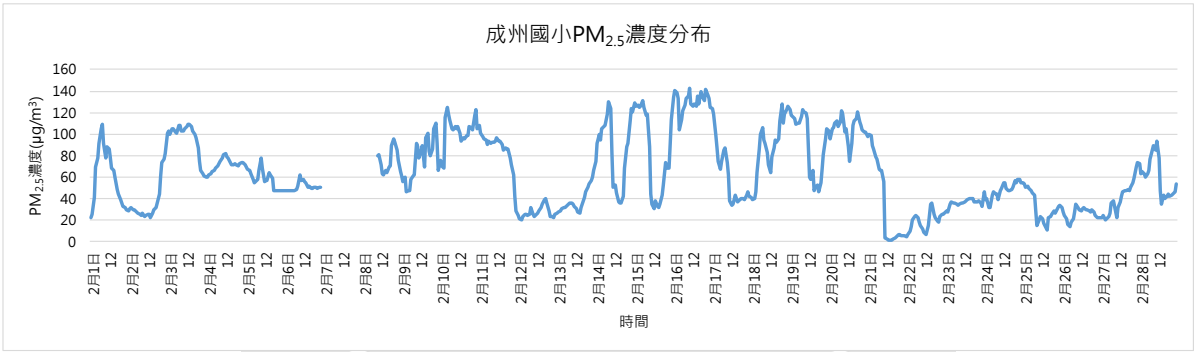


圖 9 新北市五股區成洲國小空氣盒子民國 107 年 2 月逐時濃度分析圖

另外，八里區空氣盒子民國 107 年 2 月 $PM_{2.5}$ 平均濃度 $49 \mu g/m^3$ ，濃度也是較高，該行政區設有四個空氣盒子測點，分別為八里國小、八里國中、大埕國小及米倉國小。經分析發現八里國中 2 月 6 日、2 月 10 日 10 時至 2 月 11 日全日有發生 $PM_{2.5}$ 濃度明顯高值狀況（如圖 10），檢視淡水及林口測站當日並無異常或空氣品質不良問題，且附近無發生空氣污染惡臭之情事，從地理位置（如圖 11）上判定可能受局部地區影響，主要是附近墓地設施、焚香活動及砂石產業所致。

（三）監測數值偏差問題探討

前述有提到簡易型空氣品質監測器易因微粒外形及受溫濕度干擾，造成量測上的誤差；為釐

清空氣盒子與自動監測站間之差異，行政院環保署於民國 106 年 9 月分別選定新北市板橋及淡水兩處自動測站旁安裝訊舟空氣盒子，在相同時空、高度及氣象條件下，進行監測數值平行比對，比對結果整理如圖 12 及圖 13 所示；從比對數值可以發現，空氣盒子與自動監測站數值上有明顯偏差，以板橋站為例，空氣盒子數值明顯偏高，與自動測站的相關性為 0.7282；淡水測站的相關性為 0.6509；淡水站空氣盒子比對結果亦與板橋測站有相同偏高趨勢。

由於 9 月係屬夏季，受雨量濕度影響較小，故比對可以發現淡水空氣盒子因鄰近淡水河，其相關性確實較板橋空氣盒子低，顯示受到濕度影響也相當明顯。

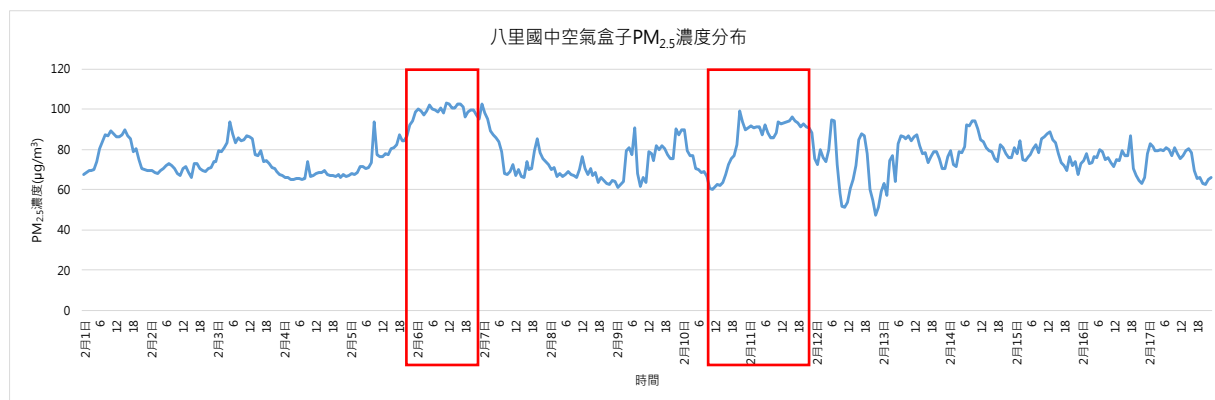
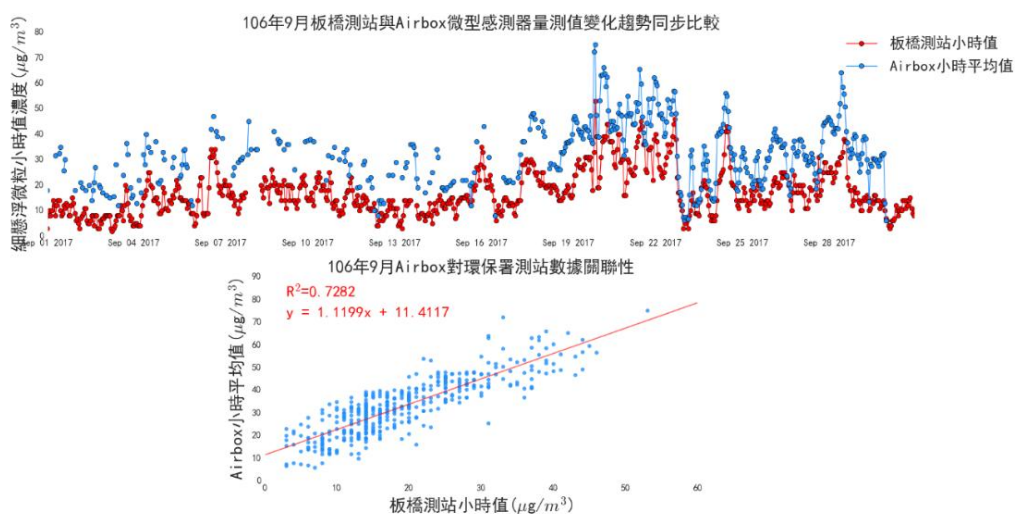


圖 10 新北市八里區八里國中空氣盒子民國 107 年 2 月逐時濃度分析圖



圖 11 新北市八里區八里國中地理相關位置圖



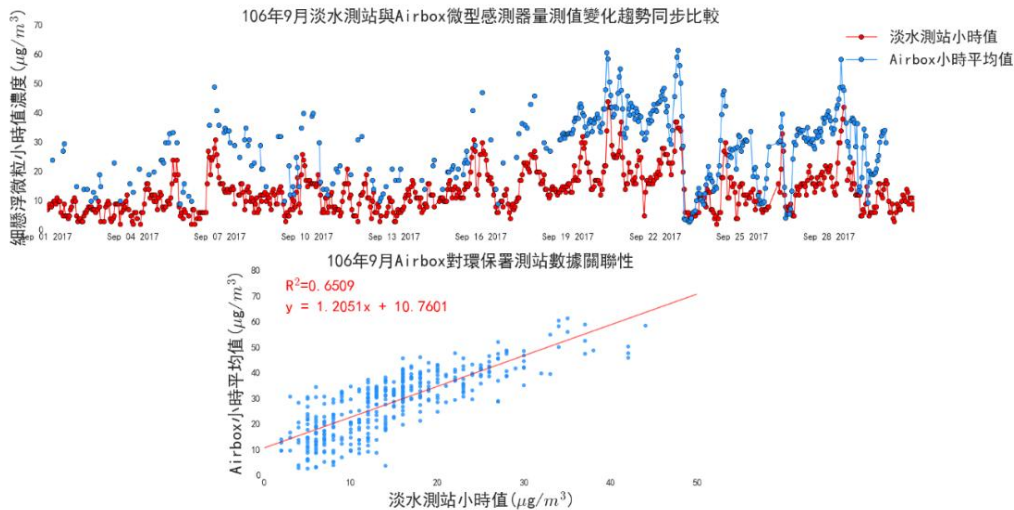
資料來源：行政院環境保護署空氣品質監測網

圖 12 民國 106 年 9 月板橋測站與空氣盒子測值關係圖

前述提到環保署微型感測器與訊舟空氣盒子的最大差異為感測器布建前廠商會對儀器校正、安裝後會定期維護，空氣盒子除與環保署比對外，廠家並無提供相關比對資訊，然而，由於鶯歌區有兩處感測器與空氣盒子裝設點相同（鶯歌國中及鳳鳴國小），本研究嘗試針對這兩者差異

進行比對。

統計民國 106 年 6 月 11 日至 17 日之逐時監測數據如圖 14，其數據趨勢相似而鶯歌國中訊舟空氣盒子數據平均比環保署微型感測器低；鳳鳴國小則兩者數據差異變動較大，無明顯關聯性。



資料來源：行政院環境保護署空氣品質監測網

圖 13 民國 106 年 9 月淡水測站與空氣盒子測值關係圖

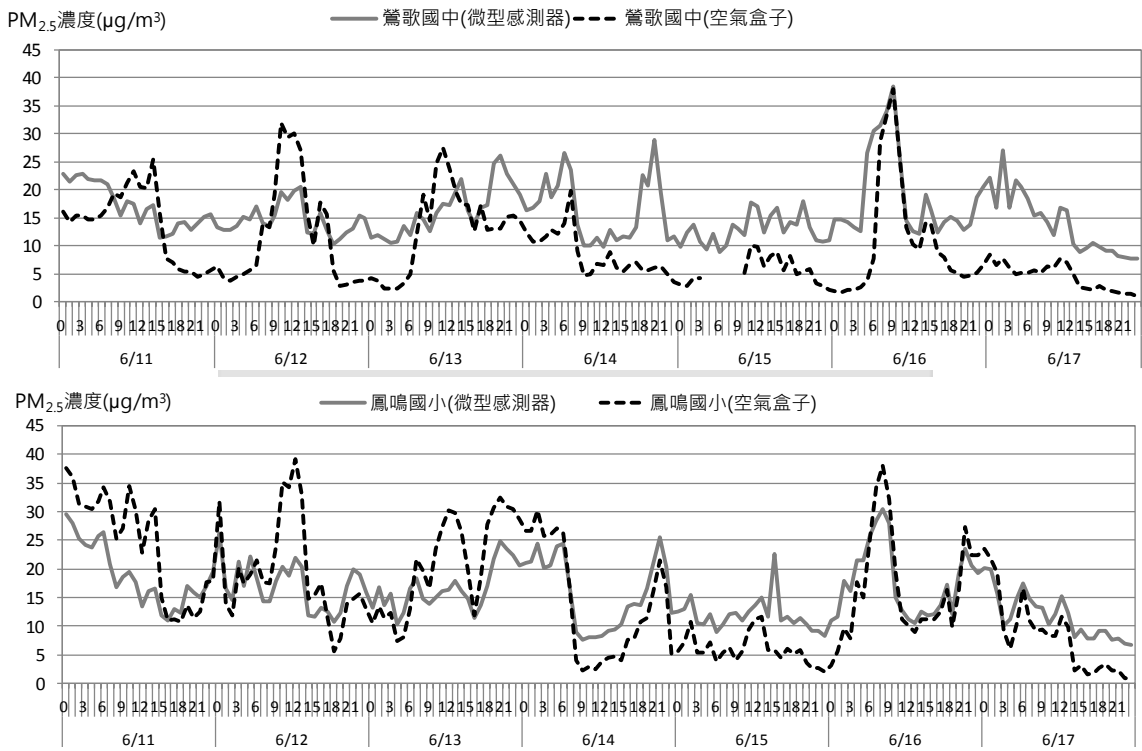


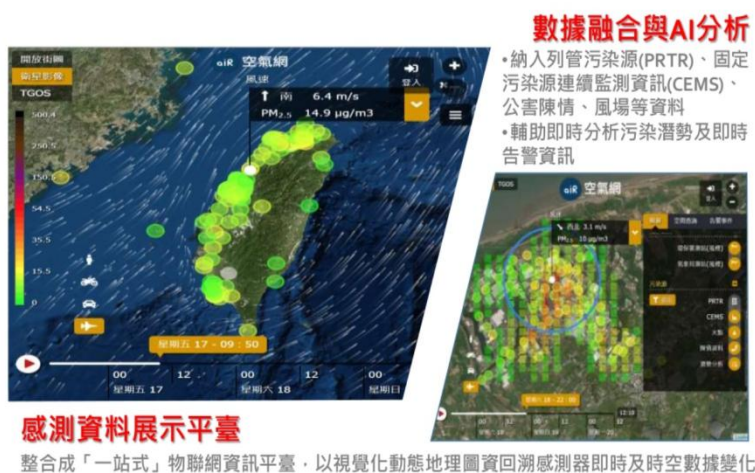
圖 14 微型感測器及空氣盒子監測數據比對

本研究分析其差異原因，由於訊舟空氣盒子一般均安裝於校園內，而微型感測器則安裝於校外馬路路燈上，推測鳳鳴國小空氣盒子安裝位置附近可能有逸散源，致測值會較環保署微型感測器濃度高。

五、簡易型監測數據之整合系統

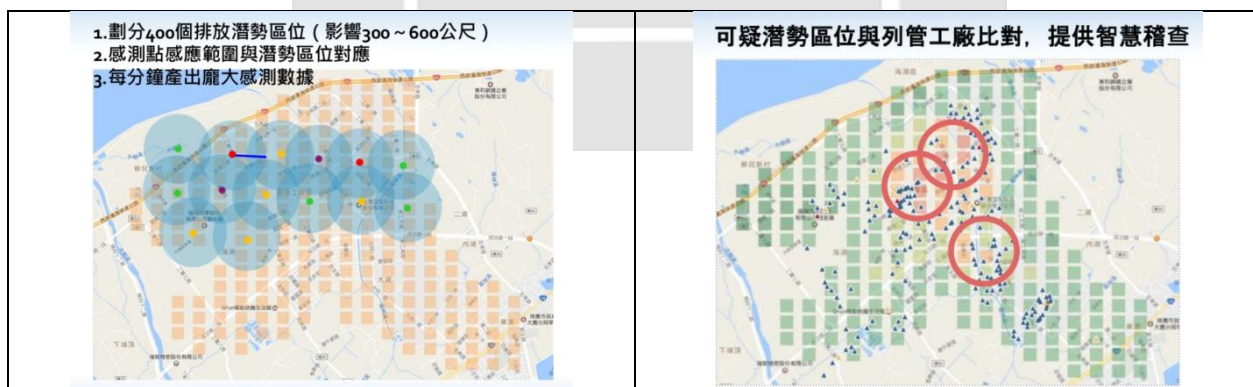
為整合不同之簡易型空氣品質監測器所監測得到數據，行政院環保署已建立 IoT 智慧聯網平台 (<https://iot.epa.gov.tw/iot/>)，方便提供環保單位及民眾將自行設置之感測器數據上傳至平台。

環保署於蒐集到監測數據後，會結合空氣品質監測站數據、氣象、地理及污染源排放等資料（圖 15）以人工智慧進行演算，自動排除設備異常測值，並判斷出污染熱區及排放潛勢區（圖 16），進而提出警示，環保稽查人員即可針對排放熱區的各工廠使用原物料及排放污染特性交叉勾稽，可更有效率地進行查處作業，充分發揮協助管制工作推動。利用上述工具，目前除新北市有查處到非法操作工廠外，桃園市、臺中市等地亦有透過物聯網智慧稽查功能查獲違法事業共 12 家，簡易型空氣品質監測器確實已可扮演協助空氣污染管制工作推動之角色。



資料來源：行政院環境保護署

圖 15 行政院環保署空氣網 aiR 資料展示平臺



資料來源：行政院環境保護署

圖 16 人工智慧判讀污染潛勢區位

六、結論與建議

簡易型空氣品質監測器會受到溼度或粒狀物遮蔽等環境因素干擾，本研究進行數值比對發現，該測值確有系統性偏高問題，但無論是逐時、逐日或逐月來看，濃度變化趨勢具有一致性，其監測數值仍可作為民眾外出活動，是否需要戴口罩防護之依據。

透過人工智慧演算科技進行即時分析及數據判讀，目前各縣市環保局已成功利用簡易型空氣品質監測器協助找尋異常排放污染物之排放源，顯示該監測器已被成功應用於空氣污染管制工作上，桃園市也成功應用於觀音工業區空氣污染管

制，成效相當良好。

簡易型空氣品質監測器具備安裝便利、價格便宜、資訊取得迅速等優點，國內所研發之監測設備已被成功推廣到國外（韓國），顯見應有發展潛勢，至於如何提高數值精確性及發展環境物聯網應用管制，仍需各界持續努力。

參考文獻

新北市政府環境保護局（2018）新北市空氣品質維護改善
規劃整合管制計畫
行政院環境保護署空氣品質監測網 <https://tapm.epa.gov.tw/taqm/tw/AqiForecast.aspx>

財團法人中興工程顧問社已獲得專利如下，若有需要，歡迎洽詢。
聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 473 馬小姐
E-MAIL：pony@sinotech.org.tw
網 址：<http://www.sinotech.org.tw>

序號	專利名稱	發明字號	種類
1	雙封塞水力試驗測量裝置	新型第 M 418283 號	新型
2	岩盤入滲量量測裝置	新型第 M 418937 號	新型
3	自動化地表滲水量測裝置	新型第 M 420684 號	新型
4	消能型金屬接合板消能機構	發明第 I 449832 號	發明
5	氣體採樣裝置與氣體採樣方法	發明第 I 522605 號	發明
6	高濃度藻類的污水培養裝置與方法	發明第 I 534103 號	發明
7	感測裝置及土石流監測系統	新型第 M 550399 號	新型
8	災害指示裝置以及災害應變系統	新型第 M 551733 號	新型
9	多功能熱反應裝置	發明第 I 617357 號	發明
10	邊坡感測裝置	新型第 M 561293 號	新型
11	山區部落智能供水與坡地安全防護系統	新型第 M 561200 號	新型
12	現地表面層冲刷無線監測系統	新型第 M 561201 號	新型
13	井下岩層特徵立體成像的系統及方法	發明第 I 626622 號	發明
14	地層氣體紅外線光譜檢測系統	新型第 M 563548 號	新型
15	高性能等時太陽能地層洩氣系統	新型第 M 565237 號	新型
16	高精度無線節能傾斜感測系統	新型第 M 569420 號	新型
17	監測框架	設計第 D 193440 號	設計