

# 懸浮微粒 (PM<sub>2.5</sub>) 濃度與氣象要素數值變化影響之研析 (以高雄市左營區為例)

吳妮恩<sup>1</sup> 邱文筠<sup>2</sup> 劉嘉如<sup>3</sup> 李精進<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 空軍航空技術學院軍事學科部戰航管氣象組

<sup>2</sup> 空軍氣象聯隊第十一基地天氣中心

<sup>3</sup> 空軍氣象聯隊第二基地天氣中心

<sup>4</sup> 空軍航空技術學院軍事學科部戰航管氣象組

## 摘要

高雄左營區近 20 年來因東側龐大重劃區快速發展與建設，附近林立的工廠日夜排放污染物，加上人口增加及大量汽機車行駛，造成空氣品質驟降，成為臺灣數年統計中空氣品質最讓人堪憂的地區之一，針對懸浮微粒濃度偏高之原因可分為人為因素、天然因素及境外因素，有研究指出溫度、相對濕度、雨量、風向風速皆會影響 PM<sub>2.5</sub> 的濃度變化，故本研究旨在探討 2010 年至 2016 年高雄左營區 PM<sub>2.5</sub> 與各氣象因子相關性。結果分析顯示，當一天之中平均 PM<sub>2.5</sub> 濃度震盪在中午 11 時及凌晨 1 時濃度為最高，在下午 18 時為最低；另外，由汽機車所排放之污染物 CO (carbonyl monoxide, 一氧化碳)、NO<sub>x</sub> (nitrogen oxides, 氮氧化物)、NMHC (non-methane hydrocarbons, 非甲烷碳氫化合物) 及 THC (total hydrocarbons, 總碳氫化合物)，當其個別濃度在早上及晚上 8、9 時相對較高，領先 PM<sub>2.5</sub> 濃度變化 3 至 4 個小時。而風速微弱時會使 PM<sub>2.5</sub> 濃度居高不下，當風速大於 3m/s 時，PM<sub>2.5</sub> 濃度則有開始顯著下降的趨勢；當 PM<sub>2.5</sub> 濃度越高時，能見度低於 5000M 的天數佔整個月的比例較高，反之，當 PM<sub>2.5</sub> 濃度位於相對低點時，能見度低於 5000M 的比例相對較低。綜合以上所述，PM<sub>2.5</sub> 濃度與風速、相對濕度、溫度及能見度呈現負相關，另外，本研究未針對此次結果作進一步驗證 PM<sub>2.5</sub> 污染事件發生時與隔日能見度不佳的情況，以利後續運用於預報。

**關鍵字：**細懸浮微粒 PM<sub>2.5</sub>、高雄左營區、氣象因子。

## 一、研究動機

本研究針對左營地區所帶來之品質效益，左營區是臺灣高雄市的市轄區，位於市內西南部，屬於熱帶季風氣候，年均溫約 24.7℃，年雨量約 1,800 公釐，且近 20 年來因東側龐大重劃區快速發展與建設，目前已經成為北高雄之新興商業核心，加上人口不斷增加，也造成了空品的下降，因此成為數年統計

下全臺灣空氣品質最為讓人堪憂的地區之一，對於懸浮微粒濃度偏高之原因，所造成天候環境及健康危安影響之探討。

懸浮微粒是存在空氣中的一種污染物，類似灰塵的粒狀物質，又稱為懸浮微粒 (particulate matter, PM)，一般肉眼較不易清楚看見，且 PM 粒徑大小有別，小於或等於 10 微米 (μm) 的懸浮粒子稱為可吸入懸浮粒子 (PM<sub>10</sub>)；直徑小於或等於 2.5 微米的懸浮粒子稱為細懸浮粒子 (PM<sub>2.5</sub>) 通稱細懸浮微

粒，且單位是以微克/立方公尺 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 做為表示，其粒徑極小，僅約為人類頭髮直徑之 1/28，可穿透肺部氣泡，進入血管中隨著血液循環全身，故對人體及生態所造成之影響是不容忽視的，大氣中所帶來的危害物質，不僅會降低能見度，且影響飛行之安全，對於人體的傷害更是具有危害效應，因此，不論是大氣環境的議題，或是人體危安，都是我們需要去重視的要點之一。(如圖1所示)



圖1 PM2.5直徑大小示意圖

## 二、懸浮微粒 (PM2.5) 的來源及成因

本研究針對左營地區所帶來之品質效益，左營區是臺灣高雄市的市轄區，位於市內西南部，屬於熱帶季風氣候，年均溫約24.7°C，指在大氣環境中除了水分子之外的固態或液態粒狀物，其中漂浮在空氣中類似灰塵的粒狀物稱為懸浮微粒 (particulate matter, PM)、懸浮粒子 (particulate matter, PM)、大氣懸浮粒子 (Atmospheric particulate matter)、顆粒 (particulates) 一般人都以為臺灣的空氣汙染大多都來自於大陸工業發展及蒙古戈壁沙漠化的影響，但其實境外移入只有佔了 1/3，大多仍還是臺灣自己所產生出的許多污染物，而這些髒空氣可分為來源 (原生性、衍生性) 及成因 (天然因素、人為因素、境外因素)。

### 2.1 來源

PM2.5來源可分為原生性及衍生性，皆可能由自然界或人為產生。

### (1) 原生性

係指從自然與人為活動所排放出的物質，該成分主要乃由物理破碎或一次污染排放所產生的大氣PM2.5粒狀物，且主要的化學組成份與來源分別為海鹽飛沫 (sea salt aerosol)、塵灰 (soildust) 裸露於地表，經由風力作用所揚起的灰塵微粒。

### (2) 衍生性

係指自然與人為活動排放至大氣環境中受到複雜化學變化與光化反應後，所釋出之非PM2.5之化學物質 (稱為前驅物，可能為固體、液體或氣體)，主要為煤煙 (soot)、硫酸鹽 (sulfate) 及硝酸鹽 (nitrate) 等，以上污染來源均除本地污染外，農業施肥、禽畜排泄及生活污水等，亦受到境外長程傳輸污染之影響。

(如圖2所示)

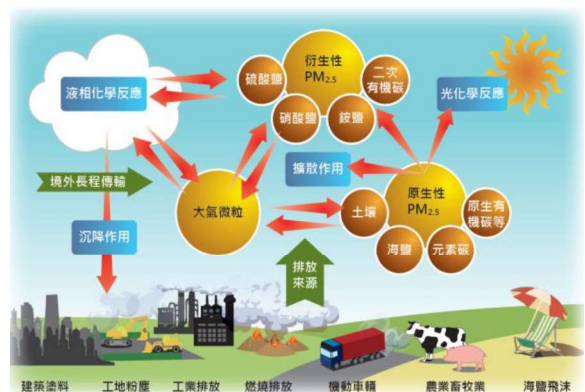


圖2 PM2.5的來源示意圖

### 2.2 成因

#### (1) 天然因素

「霧霾」是氣象要素及天氣現象的一種，也是一個無法避免以及需要重視的因子，懸浮微粒除了會給人體帶來健康衰退之影響外，霾 (haze) 問題也是已久重大氣候的問題之一，氣候的條件會讓大氣環境產生更多的PM2.5，條件也會使大氣通風狀態不好，且大氣現象在氣象觀測作業中，又稱為塵象 (lithometeors)，會造成視障，直接影響水平能見度，且在氣象上是指懸浮於空氣中之塵埃或鹽類等非吸水性固體微粒，主要是由二氧化硫、氮氧化物和可吸入顆粒物所組成，由於其質點極為細微，致肉眼無法辨識，當能見度介於五公里至十公里之間時，稱之為輕霾 (light haze)；能見度介於二公里至五

公里之間時，稱之為中霾（moderate haze）；當霾濃度高時，能見度者會降至二公里以內，稱之為重霾（severe haze）有大量塵埃或煙屑浮游在空中，使能見度下降，當大量極細微的幹塵粒子等均勻地浮游在空中時，會使水準能見度小於 10.0km 的空氣普遍混濁現象，在大氣中多呈乳白色，惟對遠地明亮之背景，則成黃色或橘紅色；反之，對較陰暗之背景，則顯示淡藍色，此乃霾質點所產生之光學效應所致。它會隨著氣候的分秒變化，使氣候加速暖化，影響季風轉換之時間，通常夏季因熱對流旺盛，空氣很快就會被帶上來、較不容易產生；但冬季可能產生逆溫層，就是上空有塊地區溫度比地面高，空氣上不去時就像鍋蓋悶著一樣，此時 PM2.5 就無法被帶走，因此就會充斥在空氣中，若空氣中的質量逐漸惡化時，恐造成降水延遲、乾旱、洪水交替以及生態環境遭受破壞等，包括健康、交通、空運安全及經濟也都會受到嚴重影響。

甚至有些懸浮粒子溶於水後，則會分解出有毒的物質並破壞生態（如：一氧化碳或二氧化碳溶於水會形成碳酸，侵蝕石材表面；氮氧化物與硫氧化物溶於水則是分別形成硝酸與硫酸，會降低雨水或是雪的 PH 值，形成酸雨而侵蝕金屬、各種建材、傷害植物活組織及人的皮膚等），不只如此，一旦大量懸浮微粒聚集後，還會對於光線產生散射或消散作用，只要空氣中微粒濃度越高，能見度就會越低，進而造成能見度之下降，且低雲幕與低能見度也容易造成飛安死亡率增高，加上能見度一旦下降後，易使飛行員無法以肉眼辨識飛行高度與水平距離，容易使飛安情況迅速惡化，甚至無法從天氣系統中做出準確之預測，加上平流霧影響低能見度進而影響飛機起降，霧所造成的低能見度問題在過去很常被探討，因此建立一套針對污染物影響機場能見度預報的標準作業程序（Standard Operation Procedure, SOP）也是相當重要的。

## (2) 人為因素

人為因素可分為兩種，室外及室內所產

出不同的危害物質，最常見的來源大多來自於汽、機車燃燒石化產生的廢氣、大量金屬冶煉的鋼鐵工廠與化學工業、處理垃圾的焚化爐及石化產業等，甚至是一般家庭在家燒香產生的煙塵、抽菸者、廚房油煙、打掃的揚塵等也是影響力之一，就連中南部常見的燃燒稻草行為所產生出的黑煙，造成過量的顆粒散布在空氣中，因此也成為了空氣污染的主要指標之一，這些都是要多加注意的。

針對工業（廠）的部分，全臺灣共有四個縣市擁有石化產業聚落，如：桃園縣、苗栗縣、雲林縣以及高雄市；而高雄市之產值則遠高於其他三個縣市，被世界公認為一級致癌物之污染，最嚴重的前三名，分為是前鎮、左營、前金，都位於高雄市地區。針對左營區為例，光是鄰近工業（廠）所帶來的空汙品質，就足以超過其他縣市，而也曾被視為高雄石化工業龍頭的左營地區，也就是臺灣中油公司高雄煉油廠，廠區位於左營半屏山麓，全廠 177 公頃土地都被列為地下水污染控制場址，土壤受污染面積達 61.6 公頃，運作 47 年後，已於 2015 年熄燈停工，曾是一個極大嚴重污染空氣及土壤的地帶，且住戶都飽受多年的環境污染之苦。雖已無在運作，但俗話說「時過境遷」，代表著隨著時間的推進，社會及環境都會有很大的改變，而曾被破壞的地方，又要花多久時間才能恢復最原本的空氣品質及環境生態呢？

（左營區鄰近工業區與住宅區分布圖如圖 3；左營區鄰近工業區分布圖如圖 4 所示）



圖3 高雄市左營區鄰近工業區與住宅區分布圖



圖4 高雄市左營區鄰近工業區分布圖

然而空汙狀況尚未停息，高雄周邊到處都是石化工業場，從林園、大社工業區，中油的三輕、五輕廠到中鋼及火力發電廠等，特別是位於左營鄰近區域的工業廠，如：楠梓區（加工區）、大社（石化工業區污水處理廠、中國石油化學工業開發股份有限公司大社廠）、仁武（金屬工業廠、臺塑重工仁武廠）等，以上所產業的物質大多是大宗化學品（如：塑膠、合成纖維、化學肥料劑等），另有精密化學品（如電子、橡膠化學品、接著（防漏）劑、農藥、染顏料等），都是會造成隱形殺手再度源源不絕之重要因素。

### (3) 境外因素

近幾年來大陸工業發展及蒙古戈壁沙漠化的污染物危害影響，每年入冬之後，大約是 11 月至隔年 5 月間，都會伴隨著東北季風將大量的懸浮微粒帶進臺灣，導致空氣品質受到影響，此時臺灣整個上空都會呈現出灰濛濛一片，表示空氣品質極度不好。

### (4) 汙染量比率

根據環保署統計，全國排放的 PM<sub>2.5</sub> 總量約 7 萬 3885 公噸，其中「營建、道路揚塵」以 2 萬 7662 公噸居首，其次為「工業」（含電力業）排放 1 萬 6865 公噸、約 23%，「車輛」排放 1 萬 6756 公噸、占 23%，硫氧化物方面（SO<sub>x</sub>）全國排放量為 11 萬 9720 公噸，其中工業排放量為 10 萬 5261 公噸占 88%；氮氧化物（NO<sub>x</sub>）全國排放量為 43 萬 4160 公噸，其中工業排放 17 萬 6100 公噸，占全

國 41%，佔比相當高。（如表 1 所示）

表1 全國各類汙染源空氣汙染物排放量及排放量比率

汙染源	空氣汙染物		硫氧化物(SO <sub>x</sub> )		氮氧化物(NO <sub>x</sub> )	
	公噸/年	比率	公噸/年	比率	公噸/年	比率
工業(含電力業)	16,865	23%	105,261	88%	176,100	41%
車輛	16,756	23%	343	0%	217,109	50%
非公路運輸	601	1%	8,559	7%	21,033	5%
商業	6,440	9%	3,651	3%	3,684	1%
營建/道路揚塵	27,662	37%	0	0%	0	0%
露天燃燒	4,601	6%	574	0%	6,577	2%
其他	930	1%	1,332	1%	9,657	2%
總排放量	73,855	100%	119,720	100%	434,160	100%

## 三、經濟發展效益之危害

### 3.1 時代的進步

「臺灣」美麗的寶島生態之美，藍天白雲、七彩花朵、綠地草原、茂密樹林及清澈河流，充滿著有活力的生命與萬物之地，甚至還有福爾摩沙之稱的美麗島嶼，那現在呢？由於天氣現象之霾害的影響，造成重大氣候之問題，甚至飢荒與糧食短缺、農業損失、漁場改變、生命財產損失、水資源供應、所得重分配等等問題，但大部分仍是人為不惜福因素所造成的，就因為好，還要更好，更進步、更發達等，造就現在眾多的問題。

曾是單純、簡單、步調慢及節約的農業社會，因時代變遷、人口稠密、科技進步及追求便利性，而跨入工商社會，逐漸邁向科技的時代，而在國民政府 1949 年遷臺以來，也無心無意長居久安，制定了「犧牲農業、扶植工業」的政策大方向，早已注定了臺灣的命運。工業發展固然是未來不可阻擋的趨勢之一，不可否認工業文明確實為人類帶來莫大的便利性及進步性，但同時也為美麗的小島帶來莫大禍害，不僅空氣味道變質，不再有翩翩飛舞的蝴蝶，就連空中所呈現的顏色都如此混濁，想要在夜晚觀看閃閃發亮的星星及夜晚綠精靈螢火蟲都很難，還有水溝受到重金屬汙染，不再有小蝦、小魚了。現在的臺灣走向耗竭式開發思維的發展，放任森林砍伐、水源枯竭、青山綠水殘破、氣溫節節飆升，也因此使空氣、河川、土壤、海洋受到極大嚴重汙染，也是臺灣俗稱的種

「因」結「果」關係，而這些的開發對於我們各有利弊，但大多數對於經濟效應所資產出的財富都集中在少數開發者手中，而廣大人民卻要被迫承擔環境惡劣破壞之風險。（如圖5所示）



圖5 台灣自然生態因過度開發遭破壞示意圖

### 3.2 PM2.5對健康之影響

空氣中的懸浮微粒會經由鼻、咽及喉進入人體，而較小的微粒則會經由氣管、支氣管經肺泡吸收進入人體內部。造成人體器官的危害，例如呼吸道疾病、癌症、新生兒低體重、心血管疾病等。而每當PM2.5濃度提升時，會增加許多疾病的死亡率，包含肺癌死亡增加12%，缺血心臟病死亡增加16%，心肺疾病死亡增加10%，以及所有原因死亡率5%，讓壽命多減少了200多天等，而特別是有過敏的人，更是要多加注意，且千萬不能夠輕忽空氣汙染，那些所造成的傷害也等於是慢性自殺。（如表2所示）

表2 PM2.5濃度對人體之危害

PM2.5每增加10，死亡率增加

肺癌	12%
缺血心臟病	16%
心肺疾病	10%
所有原因死亡率	5%
壽命減少	200多天

資料來源：立法院公報 第100卷 第42期 院會紀錄

PM2.5的安全標準環保署整合目前一國兩制的空汙指標「PSI」及「PM2.5濃度」，實施AQI空氣品質指標（Air Quality Index），分成綠色、黃色、橘色、紅色、紫色及褐紅色等級，針對一般人及敏感性族群需注意戶外活動之建議，且網站上還提供即時簡單易懂的細懸浮微粒（PM2.5）空氣品質指標資訊可供大眾參考。且也建議當空汙嚴重時，減少戶外體力消耗及戶外逗留的時間。（如表3所示）

表3 AQI空氣品質指標分級表

指標等級	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	6 <sup>o</sup>	7 <sup>o</sup>	8 <sup>o</sup>	9 <sup>o</sup>	10 <sup>o</sup>
分類	低	低	低	中	中	中	高	高	高	非常高
PM <sub>2.5</sub> 濃度 (µg/m <sup>3</sup> )	0-11	12-23	24-35	36-41	42-47	48-53	54-58	59-64	65-70	>71
一般民眾活動建議	正常戶外活動。			正常戶外活動。			任何人如有不適，應考慮減少戶外活動。		任何人如有不適，應減少體力消耗。	
敏感性族群活動建議	正常戶外活動。			有心臟、呼吸道及心血管疾病者應減少戶外活動。			有心臟、呼吸道及心血管疾病者，應減少體力消耗。		有心臟、呼吸道及心血管者應避免戶外活動。	

資料來源：行政院環保署

## 四、左營區懸浮微粒（PM2.5）濃度與氣象要素研析

空氣品質監測資料，為掌握空氣的品質及有效保護，並防制汙染之重要目的。本研究為了剖析高雄左營區PM2.5濃度與氣象要素相關性，我們整合來自行政院環境保護署EPA的空氣品質監測站，以及空軍第十一基地天氣中心左營派遣組的7年（2010年至2016年之冬季及春季等42個月的資料）期間所提供的PM2.5濃度和氣象資料。

### 4.1 行政院環境保護署EPA左營區空氣品質監測站及空軍氣象聯隊第十一基地天氣中心左營派遣組之地理環境介紹

#### (1) 空軍氣象聯隊的十一基地天氣中心左營派遣組地理位置

左營派遣組測站位於左營海軍營區裡面，西側靠海面，北面距漑底山 7442 公尺，東面距半屏山 3335 公尺，南面距柴山 7292 公尺，萬壽山 6091 公尺。（如圖 6 所示）



圖6 空軍氣象聯隊第十一基地天氣中心左營派遣組之地理位置

**(2) 行政院環境保護署 EPA 左營區空氣品質監測站地理位置**

高雄市左營區至左營大義國中行駛距離，開車方式以最快的途徑為勝利路和左營大路，在交通順暢時約 7 分鐘（距離 2.3 公里），大義國中頂樓，離地高度 15 公尺，採樣口高度 19 公尺，其中氣狀污染物資料（CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、濕度與風速）是參考左營空品測站的數據，氣象資料（能見度及溫度）則是參考左營派遣組測站的紀錄。（如圖 7 所示）

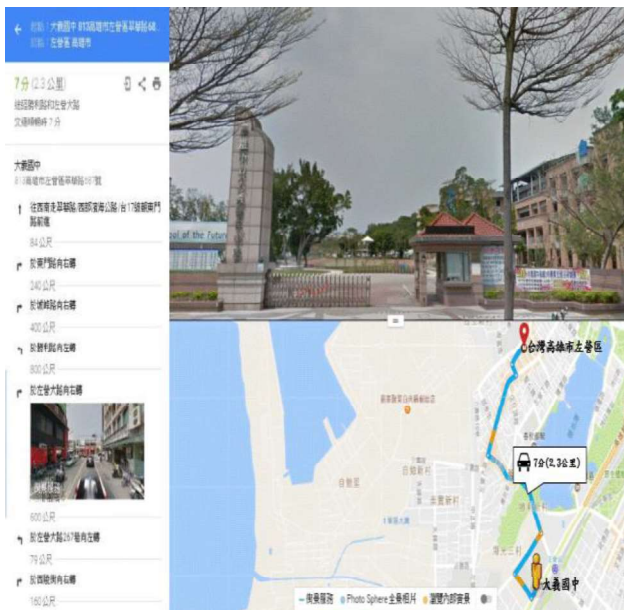


圖 7 行政院環境保護署 EPA 左營區空氣品質監測站之地理位置

**4.2 監測項目（如表 4 所示）**

表 4 左營區空氣品質監測站監測項目

環境	氣象
懸浮微粒 (PM10)	溫度
細懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> ) (自動)	溼度
細懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> ) (手動)	風速
臭氧 (O <sub>3</sub> )	風向
一氧化碳 (CO)	雨量
二氧化氮 (NO <sub>2</sub> )	-
二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	-
<b>其他</b>	
PM <sub>2.5</sub> MetOne	

**4.3 周圍環境（如表 5 所示）**

表 5 左營區空氣品質監測站周圍環境

測站高度	15 公尺																			
採樣口高度	19 公尺																			
採樣口氣流角度	360 度																			
經緯度	北緯：22 度 40 分 29.5 秒 東經：120 度 17 分 34.5 秒																			
<b>測站周圍影像（八方位）</b>																				
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>西北</td> <td>北方</td> <td>東北</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>西方</td> <td>正面</td> <td>東方</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>西南</td> <td>南方</td> <td>東南</td> </tr> </tbody> </table>						西北	北方	東北				西方	正面	東方				西南	南方	東南
西北	北方	東北																		
西方	正面	東方																		
西南	南方	東南																		

前面提到高濃度的 PM<sub>2.5</sub> 容易引發心肺方面的疾病，因此，美國環保署在 1997 年制定 PM<sub>2.5</sub> 的管制標準，並在 2006 年做了修正，現行管制標準為年平均 15 μg/m<sup>3</sup>，日平均 35 μg/m<sup>3</sup>，而我國由行政院環保署（EPA）於 2012 年 5 月訂定空氣品質標準，將 PM<sub>2.5</sub> 濃度納入空氣污染管制項目之一，目前現行標準與美國標準一致。（如表 6 所示）

表 6 各國 PM<sub>2.5</sub> 的管制標準

	年平均	日平均
台灣	15	35
美國	15	35
日本	15	35
新加坡	15	35
歐盟	25	
中國大陸	15/35	35/75
WHO	10	20

本個案探討高雄左營地區空氣污染情況，由於 PM2.5 濃度污染事件較常發生在冬季，春秋其次之，故本研究僅採納 1-3 月份及 10-12 月份資料來做探討，從圖 8 中可看出冬季時段（12、1 及 2 月）較其他月份有較高的 PM2.5 濃度，而又以 24 小時趨勢來說，分別在中午 11 時及凌晨 1 時 PM2.5 濃度相對較高，在上午 6 時及 18 時濃度則相對較低。然而，PM2.5 濃度一天內的震盪起伏大致吻合上下班交通尖峰時刻，屬於半日波的震盪情況，1 天 24 小時內的 PM2.5 濃度都偏高，各月份都超過現行規範的  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  警戒值，嚴重威脅民眾健康。另外，圖 9 為汽機車所排放的污染源分別有 CO、NO<sub>x</sub>、NMHC 及 THC（一氧化氮、氮氧化物、非甲烷碳氫化合物及總碳氫化合物），可以發現其個別濃度在早上及晚上 8、9 時相對較高，領先 PM2.5 濃度變化 3-4 個小時，符合交通運輸在尖峰與離峰時刻的震盪，當街道車流量大增，排放的污染物持續累積後的 3-4 小時 PM2.5 濃度達極大值，在未來可能有助於預警 PM2.5 濃度的數據來源之一。

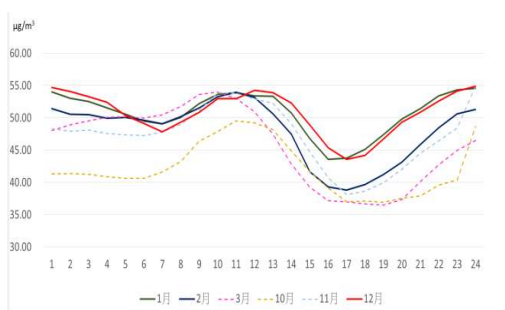


圖 8 2010-2016 年左營地區 PM2.5 濃度趨勢圖

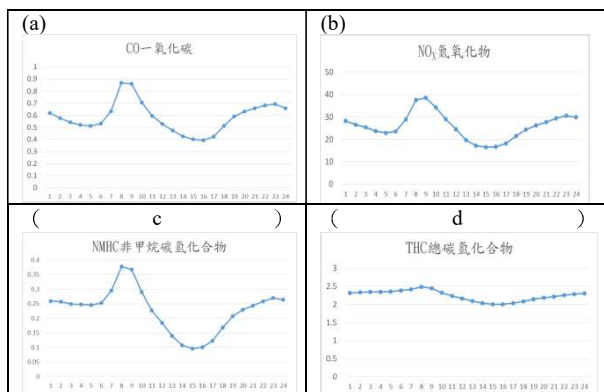


圖 9 2010-2016 年 CO、NO<sub>x</sub>、NMHC 及 THC 日平均趨勢圖

因年度中各月份的 PM2.5 濃度嚴重情況，故將 PM2.5 濃度分為 3 個等級 (<54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  為正常、54-71  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  為紅色警戒、>71  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  為紫色危險)，可以發現在冬季時段 PM2.5 濃度造成空氣品質不佳的情況較其他月份多，以 12 月份來說有高達 87 天達紅色警戒值以上，1、2 月份分別為 75 及 69 天，另外在 1 月份紫爆天數高達 25 天，平均一個月就有 3.57 天達紫色危險情況，在冬季期間高濃度 PM2.5 所呈現的惡劣空氣品質，嚴重威脅到當地居民的健康與生活。(如圖 10 所示)

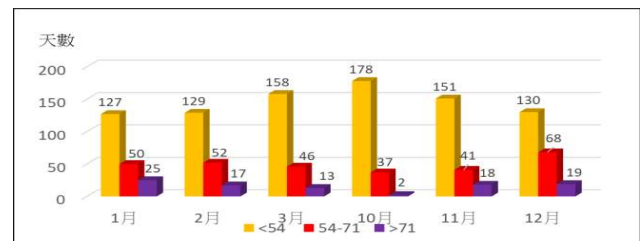


圖 10 2010-2016 年各月份 PM2.5 濃度分布情況

### 4.4 鑑測項目研析

接下來我們將探查 PM2.5 與風速、相對濕度、溫度與能見度相互關係。風速的大小會影響懸浮微粒的擴散與潮解，當東北季風南下到台灣時，而高雄左營區位於山的背風面，伴隨風速微弱及冷空氣沉降作用，使 PM2.5 濃度因此居高不下。風速與 PM2.5 濃度趨勢圖(如圖 11 所示)，當上午風速微弱時 (<2.5 m/s)，其 PM2.5 濃度都維持在 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以上到中午時刻濃度達到最大值 52.85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，上午 9 時開始起風，到 13 時風速增強至 3.02m/s，而 PM2.5 濃度有明顯下降的趨勢，到晚上時段，因風速減弱至 3 m/s 以下，且於下班交通之尖峰時刻，使 PM2.5 濃度開始劇烈上升的趨勢。

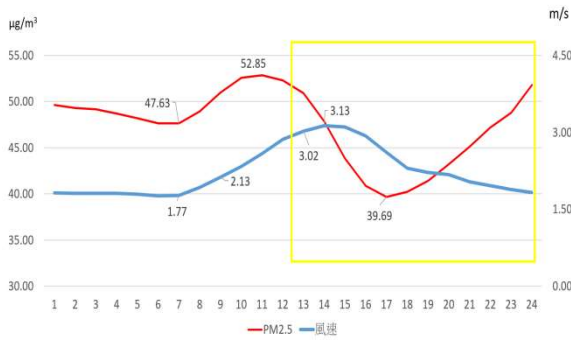


圖 11 PM2.5 與風速趨勢圖

當相對濕度越高時，會增加懸浮微粒的重量，導致粒子下降速度增加，並降低 PM2.5 濃度。PM2.5 與相對濕度的趨勢（如圖 12 所示），本研究發現在上午時段相對濕度高於 75% 時，PM2.5 濃度維持在 50 µg/m³ 以下，上午 9 時相對濕度開始下降，到 10 時降低至 75% 以下，而 PM2.5 濃度有上升的趨勢，並於 11 時濃度增加至 52.85 µg/m³，由此圖可發現，當相對濕度越高，PM2.5 濃度越低，相對濕度越低時，PM2.5 濃度越高。

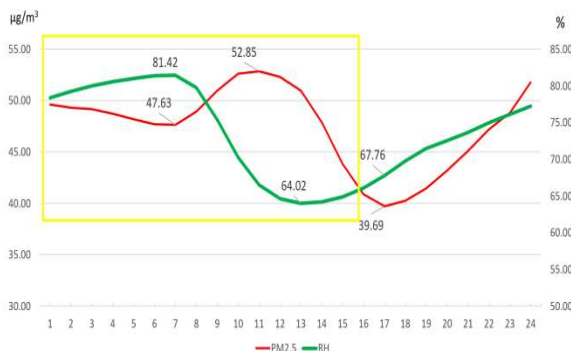


圖 12 PM2.5 與相對溼度趨勢圖

當溫度較高時，會因大氣對流作用而使污染物作垂直空間的混合，同時大氣呈現極不穩定的狀態，使懸浮微粒容易擴散，PM2.5 濃度降低；反之，溫度較低時，不利於懸浮微粒擴散，使 PM2.5 濃度居高不下。PM2.5 與溫度趨勢圖中（如圖 13 所示），當溫度低於 22°C 時，PM2.5 濃度維持在 50 µg/m³ 以上，到中午時溫度增加至 24.5°C 時，PM2.5 濃度開始有下降的趨勢，下午 18 時後隨交通尖峰期，PM2.5 濃度又迅速攀升至凌晨 1 時，然而，高濃度的污染物有類似低雲的作用，可抑

制地表長波輻射的散失，使夜晚至凌晨溫度降低較為緩慢。

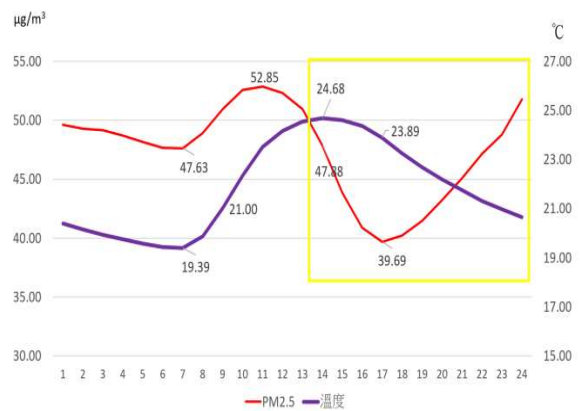


圖 13 PM2.5 與溫度趨勢圖

由於空軍左營派遣組的值班時間主要為上午 6 時至 18 時，其中這時段的 10 時至 13 時的 PM2.5 濃度相對較高，而 16 時至 18 時的濃度相對較低，因此，本文僅探討這兩段時間能見度與 PM2.5 濃度的關係。圖 14 為 2010-2016 年各月份能見度分布情況，能見度以 5000 公尺作為一個界線，以 1 月份來說，當 PM2.5 濃度相對較高時，其能見度小於 5000 公尺約佔 34%，而 PM2.5 濃度低時，能見度小於 5000 公尺僅佔 13%，由 1 月份可以看出 PM2.5 濃度高時，能見度小於 5000 公尺的比例較濃度低的時候高出 21%，也就是說，PM2.5 濃度越高時，能見度有降低的趨勢。2 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 36%（8%），3 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 28%（8%），10 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 22%（5%），11 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 30%（9%），12 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 9%（10%）；綜合上述，圖 15 能見度與 PM2.5 濃度相關性顯示呈負相關，當 PM2.5 濃度越高時，能見度較差，當 PM2.5 濃度越低時，能見度較佳。



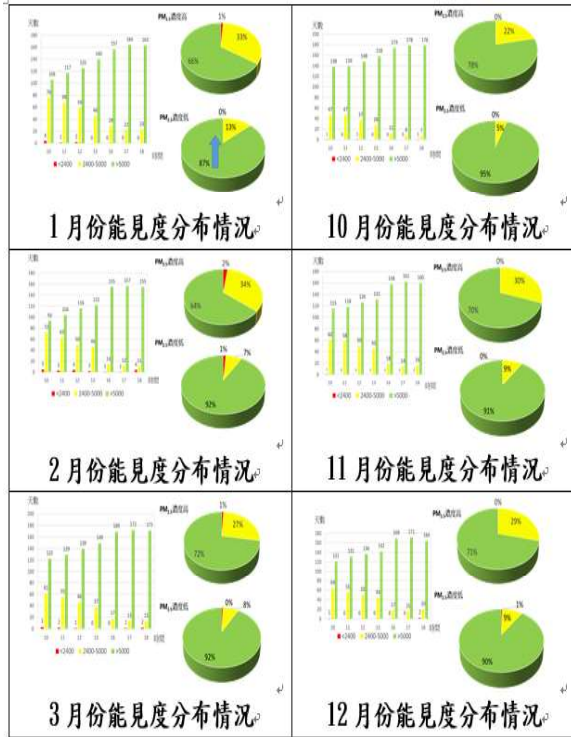


圖 14 各月份能見度分布情況

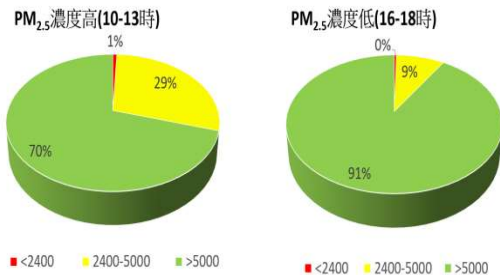


圖 15 能見度與 PM2.5 濃度相關性

### 五、未來展望

空氣品質下降不是一、兩天造成的，隨著時代不斷的進步，加上人口增益，空汙問題只會越來越嚴重，想要減量空汙指數，並維持好的品質環境及生態，不僅只有環保署的工作，而是大家的責任，而我們可以從日常生活中做起，例如汰換高汙染汽機車，並定期檢查，多選擇大眾運輸工具搭乘，甚至在過年過節使用鞭炮，可多採用播放方式來取代燃放及祭拜時不燒金紙，「以功代金」，還有飲食應少吃油炸、燒烤食物、減少烹調用油，更重要是要養成不亂丟（燒）垃圾的

好習慣。

藉由分析 2010-2016 年，共 7 年 EPA 左營空品資料，整合同時間左營派遣組的逐時天氣資料，本文探究 PM2.5 濃度與各氣象要素的關係。分析結果顯示，這 7 年 PM2.5 平均濃度一日震盪在上午 11 時及凌晨 1 時濃度最高，下午 18 時濃度最低，因此一天內的濃度變化呈現半日波的高低震盪。而與汽機車排放源相關的 CO、NO<sub>x</sub>、NMHC 及 THC（一氧化氮、氮氧化物、非甲烷碳氫化合物及總碳氫化合物），其濃度隨時間變化，領先 PM2.5 濃度的變化 3 至 4 小時，此結果大致符合交通運輸在尖峰期及離峰期之間來回震盪。

PM2.5 濃度與風速、相對濕度、溫度呈現負相關。由於能見度觀測資料時間有限，故只能探討 06 至 18 時段的相關性，當濃度低於 40 μg/m<sup>3</sup>，能見度大於 5000 公尺的比例有增加趨勢。因此，PM2.5 濃度較高時，能見度有較差的趨勢。後續作業建議以前一日 PM2.5 污染事件發生時，預測隔日的能見度範圍，以利作為氣象預報之運用。

### 六、參考資料

行政院環保署（2014），細懸浮微粒管制（PM2.5 是什麼?），官方網站。

番懷瑾、楊楚晨、黃祈瑄（2015），霾害-全球關注的空氣汙染，台南縣港明高中。

張雅雯（2015），細懸浮微粒 PM2.5 健康新殺手（沙塵暴、霧霾會增加 PM2.5），網址 <http://www.twhealth.org.tw>。

張雅雯（2015），細懸浮微粒 PM2.5 健康新殺手（室外汙染多來自汽機車與工廠，抽菸、焚香、油煙也有 PM2.5），網址 <http://www.twhealth.org.tw>。

劉珈銘、葉唐男（2015），霾害與民眾健康之探-「霾」對人體與環境的危害，長榮高中。

巫佳玲、藍嘉偉（2016），馬祖地區低能見度與懸浮微粒 PM2.5 濃度之關係，飛航天氣第二十六期。

林顯明、賴翊瑄 (2015)，科學人文跨科際計劃辦公室-「石」過境未遷，政治大學研究所碩士生。

吳晟、王樂惟 (2016，8 月)，啊！美麗的寶島，自由時報。

番懷瑾、楊楚晨、黃祈瑄 (2015) 台南縣港明高中。霾害-全球關注的空氣汙染，(四、經濟衝擊問題)。

蘇一峰 (2015)，胸腔重症醫師用 20 張圖卡，讓你看懂空汙 PM2.5 對人體的嚴重危害，網址 <https://buzzorange.com/2015/11/30/the-doctor-had-these-advice-for-pm2-5>

## **Study on the Influence of Suspended Particles (PM<sub>2.5</sub>) Concentration and Numerical Changes of Meteorological Elements (Take Kaohsiung City Zuoying District as an example)**

Ni-en Wu<sup>1</sup>, Wen Jun-Qiu<sup>2</sup>, Jia ruu-Liu<sup>3</sup>, Ching Chin -Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Tactical Control, Air Traffic Control and Meteorology Department, Air Force Institute of Technology of Military Study, Taiwan

<sup>2</sup>Air Force Weather United elevent base Weather Center

<sup>3</sup>Air Force Weather United second base Weather Center

<sup>4</sup>Tactical Control, Air Traffic Control and Meteorology Department, Air Force Institute of Technology of Military Study, Taiwan

### **ABSTRACT**

Kaohsiung left camp area in the past 20 years due to the rapid development and construction of the huge area on the east side, near the plant day and night emissions of pollutants, coupled with increased population and a large number of steam locomotive driving, resulting in air quality plummeted to become Taiwan several years of statistics in the air One of the most worrying areas of quality, for the reasons for the high concentration of suspended particulates can be divided into human factors, natural factors and foreign factors, studies have pointed out that the temperature, relative humidity, rainfall, wind speed will affect the PM<sub>2.5</sub> concentration Change, so this article aims to explore the 2010 to 2016 Kaohsiung left camp PM<sub>2.5</sub> and the meteorological factors related. The results show that when the average PM<sub>2.5</sub> concentration fluctuates at 11:00 am and 1:00 am, the concentration is the highest at 18:00 pm. In addition, the pollutants emitted by the steam locomotive CO (carbonyl monoxide, Nitrogen oxides, NOX (nitrogen oxides), NMHC (non-methane hydrocarbons) and THC (total hydrocarbons), when their individual concentrations are in the morning and at 8,9 pm Relatively high, leading PM<sub>2.5</sub> concentration change 3 to 4 hours. And the PM<sub>2.5</sub> concentration is high when the wind speed is weak. When the wind speed is higher than 3m / s, the PM<sub>2.5</sub> concentration tends to decrease significantly. When the PM<sub>2.5</sub> concentration is higher, the number of days less than 5000M The proportion of the whole month is high, on the contrary, when the PM<sub>2.5</sub> concentration at a relatively low point, the visibility of less than 5000M ratio is relatively low. In addition, the PM<sub>2.5</sub> concentration was negatively correlated with wind speed, relative humidity, temperature and visibility. In addition, this study did not further validate the PM<sub>2.5</sub> pollution incident and the poor visibility of the next day. And subsequent use in the forecast.

**Keywords: Fine suspended particles PM<sub>2.5</sub>, Kaohsiung City Zuoying District, Meteorological factors .**