

**「110年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及空品預報計畫」
報告基本資料表**

甲、委辦單位	臺中市政府環境保護局			
乙、執行單位	台灣綠仕科技有限公司			
丙、年 度	110	計畫編號	P1100106002	
丁、專案性質	應用研究			
戊、專案領域	大氣空氣			
己、計畫屬性	<input checked="" type="checkbox"/> 科技類		<input type="checkbox"/> 非科技類	
庚、全程期間	110年3月~110年12月			
辛、本期經費	12,800 千元			
	資本支出		經常支出	
	土地建築	千元	人事費	1,611 千元
	儀器設備	千元	業務費	10,760.145 千元
	其 他	千元	材料費	0 千元
		其 他	428.855 千元	
壬、摘要關鍵詞				
可凝結性懸浮微粒、可過濾性懸浮微粒、能見度、消光係數、微粒粒徑分佈、數位影像處理				
參與計畫人力資料：				
參與計畫人員姓名	工作要項或撰篇章節	現職與簡要學經歷	參與時間	聯絡電話及 e-mail 帳號
白珣玲	1. 工作要項 ■ 協助計畫執行架構訂定與工作分派 ■ 報告審閱 2. 撰寫章節 ■ 微粒粒徑、成分調查與管制（第四章） ■ 蒐集彙整國內外文獻及縣市監測結果（第七章） ■ 研析發現（第八章）	東海大學環境科學所碩士 1. 國立臺灣大學專案助理 2. 祥威環境科技公司工程部課長 3. 台灣綠基科技公司副總經理 4. 台灣綠仕科技公司副總經理	2 人/月	04-22911616#36 lynnn6688@gmail.com
程萬里	1. 工作要項 ■ 協助計畫主持人 ■ 協助報告審閱 2. 撰寫章節 ■ 中英文計畫摘要撰寫	Atmospheric Science, Flinders University, Australia 博士 1. United Nations Environment Programme 1st Programme Officer 兼主管 2. 東海大學環境科學與工程學系教授兼系主任 3. 台灣綠基科技公司資深顧問 4. 台灣綠仕科技公司總經理	2 人/月	04-22911616 wlcheng0606@gmail.com

參與計畫人員姓名	工作要項或撰稿章節	現職與簡要學經歷	參與時間	聯絡電話及e-mail 帳號
林家綾	1. 工作要項 <ul style="list-style-type: none"> ■ 採樣規劃 ■ 工作品質督導 ■ 蒐集國內外文獻 ■ 檢測數據品保 ■ 環境大氣 PM 採樣工作報告撰寫 2. 撰寫章節 <ul style="list-style-type: none"> ■ 計畫說明(第一章) ■ 管道 PM_{2.5} 採樣分析(第三章) ■ 每日空品預報及播送(第六章) ■ 結論與建議(第九章) ■ 參考文獻 	國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系碩士 1. 台灣綠碁科技公司專案工程師 2. 台灣綠仕科技公司副理 3. 台灣綠仕科技公司經理	10人/月	04-22911616#31 decryje08@gmail.com
謝嘉馨	1. 工作要項 <ul style="list-style-type: none"> ■ 協助環保局之行政專責人員 ■ 局內交辦之例行性文件報表彙整 2. 撰寫章節 <ul style="list-style-type: none"> ■ 背景說明(第二章) 	國立高雄科技大學海洋環境工程系學士 1. 台灣綠仕科技公司專案工程師	10人/月	04-22911616#35 zhappy2105@gmail.com
羅奕朋	1. 工作要項 <ul style="list-style-type: none"> ■ 督導管道 PM_{2.5} 採樣工作 ■ 執行環境大氣 PM₁ 採樣 ■ 龍井微粒監測站操作維護 2. 撰寫章節 <ul style="list-style-type: none"> ■ 應用數位影像解析技術解析能見度(第五章) 	國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系學士 1. 台灣綠仕科技公司課長	4人/月	04-22911616#33 yipeng0624@gmail.com
黃昱維	工作要項 <ul style="list-style-type: none"> ■ 每日空品預報及播送影音製作 ■ 科普/政策短片及科普圖卡製作 ■ 台中空品報報 LINE 策畫營運 	逢甲大學工業工程與系統管理碩士 1. 天氣即時預報創辦人 2. 逢甲大學營建及防災研究中心講師 3. 昱豪數位有限公司負責人 4. 台灣天氣股份有限公司執行長	10人/月	0978800970 mapleegg@gmail.com

臺中市政府環境保護局計畫成果中英文摘要（簡要版）

一、中文計畫名稱：

110 年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及空品預報計畫

二、英文計畫名稱：

Analysis of PM_{2.5} and Visibility and Air Quality Forecasting in Taichung, 2021

三、計畫編號：

P1100106002

四、執行單位：

台灣綠仕科技有限公司

五、計畫主持人：

白珣玲

六、執行開始時間：

110/3/11

七、執行結束時間：

110/12/31

八、報告完成日期：

110/12/30

九、報告總頁數：

243 頁

十、使用語文：

中文，英文

十一、報告電子檔名稱：

P1100106002.DOCX

十二、報告電子檔格式：

WORD 2019

十三、中文摘要關鍵詞：

可凝結性懸浮微粒、可過濾性懸浮微粒、能見度、消光係數、微粒粒徑分布、數位影像處理

十四、英文摘要關鍵詞：

Filterable Particulate Matter (FPM), Condensable Particulate Matter (CPM), Visibility, Extinction Coefficient, Particle Size Distribution, Digital Image Processing

十五、中文摘要

本計畫工作範圍包括管道 PM_{2.5} 檢測、微粒粒徑及消光係數研究、數位攝影技術解析能見度以及空氣品質預報。

本年度管道 PM_{2.5} 檢測包括后里垃圾焚化爐、祥祐資源及豐興鋼鐵排放管道，檢測結果顯示可過濾性微粒 (Filterable Particulate Matter) FPM 分別為 0.60 mg/Nm³、2.06 mg/Nm³、0.060 mg/Nm³，可凝結性微粒 (Condensable Particulate Matter) CPM 為 1.50 mg/Nm³、18.1 mg/Nm³、0.37 mg/Nm³。

臺中市海區龍井微粒與消光特性監測，消光係數介於 3 Mm⁻¹~115Mm⁻¹ 之間，散光效應是造成能見度差之主因，平均散光貢獻占 69%，吸光貢獻占 31%。以實際量測的散光係數與 PM₁ 化學成分建立多元線性迴歸式，各化學物種中以硝酸根之散光效率最高 15.8 m²/g，其次為硫酸根 4.6 m²/g，有機碳為 4.2 m²/g，對臺中市而言，硝酸鹽對能見度影響最大，多數硝酸鹽屬於二次污染物，前驅物為氮氧化物(NO_x)，因此欲有效快速地改善能見度，管制策略應以減少工業及交通氮氧化物的排放為主。

數位攝影技術解析能見度工作，在本市沙鹿區、北屯區及烏日區進行，方法是以攝影機擷取影像，透過軟體改變影像資訊，轉換成灰階數值，再將數值差異與藉由關係式轉換成能見度值。以 3 月~11 月資料解析結果，北屯站及弘光站影像亮度差值與能見度呈現線性相關，而烏日站則呈現指數相關。以每日中午能見度情況統計，可知北屯站能見度最差，能見度大於 20 km 的機率約 13.6%，其次為弘光站 32.8%，烏日站能見度最佳，能見度大於 20 km 的機率約 56.6%。

預測未來 48 小時空氣品質狀況，3 月~11 月統計顯示，每三小時預測 AQI 值 (空氣品質標準，Air Quality Index) 準確度而言，AQI=101~150 預報準確率介於 82%~94%，AQI>150 預報準確率介於 88%~96%。

十六、英文摘要：

The scope of this project includes stack monitoring of PM_{2.5}, investigation of particle size and extinction coefficient characteristics, measurement of visibility using digital image processing, and air quality forecasting.

In the year 2021, PM_{2.5} stack monitoring were performed on the municipal waste incinerator in Houli, as well as the solvent waste incinerator of Shine-yo Resource & Recycling Co., Ltd. and the electric arc furnace of Feng Hsin Steel Co., Ltd. The results indicate that FPM (Filterable Particulate Matter) were 0.60 mg/Nm³, 2.06 mg/Nm³ and 0.060 mg/Nm³. Also, CPM (Condensable Particulate Matter) were 1.50 mg/Nm³, 18.1 mg/Nm³ and 0.37 mg/Nm³.

We monitored the characteristics of particulate matter and light extinction in the coastal Longjing District of the City of Taichung. The extinction coefficient was between 3 Mm⁻¹ and

115 Mm^{-1} . Low visibility was mainly attributed to scattering. On average, the contribution of scattering was 69%, while the contribution of absorption was 31%.

The multiple linear regression formula was based on the actual measured scattering coefficient and the chemical composition of PM_{10} . Among the chemical species, the highest scattering efficiency was nitrate, at $15.8 \text{ m}^2/\text{g}$, and followed by sulfate and organic carbon, at $4.6 \text{ m}^2/\text{g}$ and $4.2 \text{ m}^2/\text{g}$. For Taichung City, nitrate has the greatest impact on visibility. Most nitrates are secondary pollutants, and the precursor is nitrogen oxides (NO_x). Therefore, the control strategies to improve the visibility effectively and quickly is that should focus on reducing the emissions of nitrogen oxides in industrial and traffic.

We used digital image processing to measure visibility in the Shalu, Beitun, and Wuri Districts of the City. The methodology used was the following:

1. Capture an image with a camera.
2. Transform the image into grayscale values with the aid of software.
3. Transform differences in values into values of visibility with a formula.

Analysis data from March through November, value differences of imagery brightness exhibited a linear relationship with visibility at the Beitun station and the Hungkuang station, while the relationship was exponential at the Wuri station. We compiled the daily visibility above 20 km statistics at noon. At the Beitun station, the visibility with the lowest probability was at 13.6%. And followed by the Hungkuang station with 32.8%. The visibility above 20 km with the highest probability was at the Wuri station, at 56.6%.

We conducted air quality forecasting for the upcoming 48 hours, using data from March through November. Regarding three-hourly AQI (Air Quality Index) predictions, the accuracy for $\text{AQI}=101\sim 150$ was between 82% and 94%. For $\text{AQI}>150$, the forecasting accuracy was between 88% and 96%.

期末報告 目錄

頁次

期末報告基本資料表	
計畫成果中英文摘要（簡要版）	
章節目錄	
圖目錄	
表目錄	
報告大綱	
計畫成果中英文摘要（詳細版）	
成果摘要表	
服務建議評選意見回覆	
期中審查意見回覆	
期末審查意見回覆	
第一章 計畫說明.....	1-1
1.1、計畫緣起.....	1-1
1.2、計畫目標.....	1-2
1.3、預期效益.....	1-2
1.4、工作項目.....	1-2
1.5、工作執行流程.....	1-8
1.6、經費、工作進度與報告章節對照.....	1-9
第二章 背景說明.....	2-1
2.1、環境特性.....	2-1
2.1.1、行政區劃分.....	2-2
2.1.2、氣候特性.....	2-3
2.1.3、環境負荷.....	2-6
2.2、細懸浮微粒特性說明.....	2-9
2.2.1、對人體健康危害.....	2-9
2.2.2、生成機制.....	2-11
2.2.3、境內外污染來源.....	2-16

2.2.4、PM _{2.5} 污染源指紋特徵.....	2-19
2.3、PM _{2.5} 與能見度現況.....	2-23
2.3.1、PM _{2.5} 濃度變化趨勢.....	2-23
2.3.2、PM _{2.5} 成分特徵變化.....	2-27
2.3.3、能見度變化趨勢.....	2-32
2.3.4、微粒消光特性.....	2-33
第三章 管道 PM _{2.5} 採樣分析.....	3-1
3.1、管道 PM _{2.5} 採樣分析.....	3-1
3.2、檢測結果.....	3-4
第四章 微粒粒徑、成分調查與管制.....	4-1
4.1、回顧臺中市 PM _{2.5} 、PM ₁ 與能見度調查結果.....	4-1
4.2、龍井粒徑監測站安裝、操作與維護.....	4-4
4.3、消光與微粒顆粒數調查結果.....	4-9
4.3.1、消光效應及特徵.....	4-9
4.3.2、消光係數與粒徑顆粒數關係.....	4-13
4.3.3、粒徑顆粒數與氣象相關.....	4-15
4.4、次微米微粒成分特徵與有害重金屬含量.....	4-18
4.5、能見度改善之管制建議.....	4-26
4.5.1、成分管制.....	4-26
4.5.2、微粒粒徑管制.....	4-30
第五章 應用數位影像技術解析能見度.....	5-1
5.1、攝影機架設與影像擷取技術說明.....	5-2
5.2、山、海、屯區能見度變化特徵.....	5-9
5.3、能見度分級.....	5-10
第六章 每日空品預報及播送.....	6-1
6.1、空氣品質 AQI 預測說明.....	6-2
6.2、空氣品質預報短片.....	6-17
6.3、空品不良通報及特殊輿情提供.....	6-19
6.4、臺中市空品預報 LINE 官方帳號營運規劃.....	6-22
6.5、科普/政策短片及科普圖卡.....	6-24
第七章 蒐集彙整國內外文獻及縣市監測結果.....	7-1

7.1、國內外文獻彙整	7-1
7.2、過去三年各縣市微粒監測結果	7-14
第八章 研析發現.....	8-1
第九章 結論與建議	9-1
9.1、結論	9-1
9.2、建議	9-3
參考文獻	I

光碟內容

附錄一 報告本文 (word 檔)

附錄二 評選意見回覆表

附錄三 SOP (全) 附件

附錄四 環境 PM_{2.5} 檢測數據及 QAQC

附錄五 PM_{2.5} 排放清冊

附錄六 空氣品質預報影音連結

附錄七 管道 PM_{2.5} 檢測報告

圖目錄

	頁次
圖 1.5.1、工作執行流程概要圖	1-8
圖 2.1、背景資料架構說明	2-1
圖 2.1.1、臺中市地理位置圖	2-2
圖 2.1.2、臺中市行政區劃分圖	2-2
圖 2.1.3、臺中市月平均氣溫統計圖	2-4
圖 2.1.4、臺中市月降雨量統計圖	2-4
圖 2.1.5、臺中市月平均相對溼度統計圖	2-5
圖 2.1.6、臺中市月日照時數統計圖	2-5
圖 2.1.7、臺中市工業區分布概況	2-6
圖 2.2.1、微粒不同成分之致死率統計圖	2-10
圖 2.2.2、細懸浮微粒生成機制	2-12
圖 2.2.3、環境中細懸浮微粒化學組成特性示意圖	2-13
圖 2.2.4、懸浮微粒主要來源及粒徑分布	2-14
圖 2.2.5、TEDS11.0 推估全臺空氣污染物之排放量趨勢圖	2-17
圖 2.3.1、臺中市 PM _{2.5} 自動監測站分布圖	2-23
圖 2.3.2、臺中市環保署測站 PM _{2.5} 年平均値變化	2-24
圖 2.3.3、臺中市地方測站 PM _{2.5} 年平均値變化	2-24
圖 2.3.4、臺中市 PM _{2.5} 月平均値變化	2-25
圖 2.3.5、PM _{2.5} 化學組成占比 (%) 調查結果	2-27
圖 2.3.6、近年臺中市 PM _{2.5} 排放量與自動 PM _{2.5} 年平均値變化關係	2-29
圖 2.3.7、近年臺中市大里站手動 PM _{2.5} 濃度與主要成分變化關係	2-30
圖 2.3.8、近年臺中市后里站手動 PM _{2.5} 濃度與主要成分變化關係	2-31
圖 2.3.9、六都能見度觀測結果	2-32
圖 2.3.10、臺中環保署西屯站能見度觀測結果	2-33
圖 2.3.11、109 年臺中市大里地區能見度監測結果日數統計	2-36
圖 3.1.1、排放管道 PM _{2.5} 採樣廠家擇定工作流程	3-1
圖 3.2.1、焚化爐 FPM 主要化學成分占比	3-6
圖 3.2.2、焚化爐 FPM 之金屬元素成分占比	3-6

圖 3.2.3、鋼鐵業電弧爐 FPM 主要化學成分占比.....	3-9
圖 3.2.4、鋼鐵業電弧爐 FPM 之金屬元素成分占比	3-9
圖 4.1、臺中市細懸浮微粒與能見度研究之進程.....	4-1
圖 4.1.1、PM _{2.5} 化學組成調查結果.....	4-1
圖 4.3.1、110 年 4 月~11 月臺中市海區龍井散光及吸光監測變化.....	4-10
圖 4.3.2、110 年 4 月~11 月臺中市海區龍井消光係數之 24 小時變化.....	4-11
圖 4.3.3、110 年 4 月~11 月臺中市海區龍井吸光貢獻來源分析.....	4-11
圖 4.3.4、110 年 1 月~11 月臺中市西屯吸光貢獻來源分析	4-12
圖 4.3.5、110 年臺中市西屯與龍井吸光之逐日變化圖	4-12
圖 4.3.6、110 年 4 月~11 月西屯與龍井站吸光貢獻.....	4-12
圖 4.3.6、110 年 4 月~11 月臺中市海區龍井不同粒徑之顆粒數日變化	4-13
圖 4.3.7、110 年 4 月~11 月臺中市海區龍井消光係數與顆粒數之 24 小時變化.....	4-13
圖 4.3.8、粒徑與消光效應相關分析	4-14
圖 4.3.9、粒徑顆粒數與濕度分階統計	4-15
圖 4.3.10、龍井微粒監測站地理位置圖.....	4-16
圖 4.3.11、110 年 4 月 15 日~110 年 11 月 30 日之風花圖	4-16
圖 4.3.12、龍井微粒監測站粒徑與風向風速關係	4-17
圖 4.4.1、PM ₁ 採樣分析工作執行流程.....	4-18
圖 4.4.2、龍井 PM ₁ 手動測站與台電龍井測站相對位置.....	4-20
圖 4.4.3、龍井 PM _{2.5} 與 PM ₁ 相關性.....	4-23
圖 4.4.4、110 年龍井站 PM ₁ 濃度與成分	4-23
圖 4.4.5、110 年龍井站 PM ₁ 各成分百分比.....	4-24
圖 4.5.1、不同污染源產生之粒子大小.....	4-30
圖 5.1、能見度調查分析之工作要點與目標進程.....	5-1
圖 5.1.1、影像能見度值解析之工作執行流程	5-2
圖 5.1.2、環境影像判定點選擇處理流程.....	5-3
圖 5.1.3、Sobel 邊緣檢測影像示意圖	5-4
圖 5.1.4、影像萃取圖.....	5-4
圖 5.1.5、本計畫能見度攝影機架設位置.....	5-5
圖 5.1.6、攝影機與能見度儀架設方式.....	5-5
圖 5.1.7、烏日站能見度公里數與影像像素差線性相關.....	5-8

圖 5.2.1、臺中市 3 站能見度戶外攝影機影像解析數值日變化	5-9
圖 5.3.1、臺中市 110 年 3 月~11 月能見度分級百分比統計圖	5-15
圖 5.3.2、霧、靄、霾及霧霾形成條件	5-17
圖 5.3.3、歷月能見度大於 20 公里之天數統計	5-19
圖 5.3.4、歷月能見度小於 20 公里之天數統計	5-20
圖 6.1、空氣品質預測及極端氣候預警架構圖	6-1
圖 6.1.1、CMAQ/Models-3 模擬各模組之關聯圖	6-3
圖 6.1.2、ECMWF IFS 之臭氧預報資訊	6-12
圖 6.2.1、臺中市空氣品質預報分區示意圖	6-17
圖 6.2.2、空品預報歷程圖	6-18
圖 6.2.3、空品影音 LINE 點擊次數	6-18
圖 6.3.1、特殊輿情提供	6-21
圖 6.4.1、LINE 官方帳號大頭貼	6-22
圖 6.4.2、(A) ~ (C) 三種 LINE 選單設計樣式	6-23
圖 6.5.1、科普/政策短片示意圖	6-24
圖 8.1、近三年 PM ₁ 化學成分占比分析	8-3

表目錄

	頁次
表 1.6.1、本計畫進度及查核點一覽表.....	1-9
表 1.6.2、工作實際進度及考核點.....	1-12
表 1.6.3、各項工作成果概要與報告章節對照.....	1-15
表 2.1.1、臺中市各行政區面積與人口數一覽表.....	2-3
表 2.1.2、臺中市工業區固定污染源列管資料統計表.....	2-7
表 2.1.3、臺中市機動車輛種類及數量統計一覽表.....	2-7
表 2.1.4、臺中市 TEDS11.0 各污染物排放量一覽表.....	2-8
表 2.1.5、臺中市 TEDS11.0 各污染物排放量百分比.....	2-8
表 2.2.1、PM _{2.5} 對人體及環境之危害.....	2-9
表 2.2.2、TEDS11.0 全國各類污染源排放量一覽表.....	2-16
表 2.2.3、國內污染源與境外污染源對各縣市 PM _{2.5} 濃度貢獻比例.....	2-18
表 2.2.4、固定源管道 PM _{2.5} 主要成分占比彙整表.....	2-20
表 2.2.5、交通源 PM _{2.5} 主要成分占比彙整表.....	2-20
表 2.2.6、不同污染源之金屬指標元素彙整表.....	2-21
表 2.3.1、臺中市空氣品質自動監測站監測項目一覽表.....	2-23
表 2.3.2、近年臺中市 PM _{2.5} 成分調查報告之結果彙整表.....	2-28
表 2.3.3、近年臺中市 PM _{2.5} 排放量與大里站自動 PM _{2.5} 年平均值變化.....	2-29
表 2.3.4、近年臺中市大里站手動 PM _{2.5} 濃度與成分變化.....	2-30
表 2.3.5、近年臺中市后里站手動 PM _{2.5} 濃度與成分變化.....	2-31
表 2.3.6、國內、外懸浮微粒特性與能見度相關研究.....	2-34
表 2.3.7、不同地區之消光公式彙整表.....	2-38
表 3.1.1、110 年採樣廠家資訊及時程摘要表.....	3-2
表 3.1.2、110 年排放管道 PM _{2.5} 採樣情形及時程.....	3-2
表 3.2.1、臺中市垃圾焚化爐排放管道 PM _{2.5} 檢測結果一覽表.....	3-4
表 3.2.2、垃圾焚化爐管道排放 FPM 之成分比例/濃度含量表.....	3-5
表 3.2.3、臺中市電弧爐排放管道 PM _{2.5} 檢測結果一覽表.....	3-7
表 3.2.4、臺中市電弧爐排放管道 FPM 之成分比例/濃度含量表.....	3-8
表 3.2.5、歷年豐興鋼鐵及中龍鋼鐵管道 PM _{2.5} 檢測結果彙整表.....	3-10
表 3.2.6、歷年豐興鋼鐵及中龍鋼鐵管道成分檢測結果彙整表.....	3-11

表 4.2.1、龍井微粒監測站設備及監測目的一覽表.....	4-4
表 4.2.2、龍井粒徑監測站安裝過程施工照片	4-5
表 4.2.3、龍井粒徑監測站自動監測設備規格一覽表.....	4-6
表 4.2.4、龍井粒徑監測站自動監測設備維護報表.....	4-7
表 4.2.5、龍井粒徑監測站自動監測設備維護照片	4-7
表 4.2.6、龍井粒徑監測站 PM ₁₀ 手動設備維護報表.....	4-8
表 4.4.1、110 年 PM ₁₀ 手動採樣行程表	4-19
表 4.4.2、110 年龍井站 4 月~11 月及 PM ₁₀ 手動採樣結果與天氣狀況	4-21
表 4.4.3、110 年 4 月~11 月龍井站 PM ₁₀ 成分分季統計	4-24
表 4.4.4、110 年龍井站 PM ₁₀ 重要金屬濃度.....	4-25
表 4.5.1、臺中市 NO _x 前十大行業別排放量	4-27
表 5.1.1、山、海、屯攝影機架設位置資訊表	5-7
表 5.1.2、山、海、屯判定點與線性迴歸式一覽表.....	5-8
表 5.3.1、不同地區能見度分級一覽表.....	5-10
表 5.3.2、北屯站能見度分級概況.....	5-11
表 5.3.3、弘光站能見度分級概況.....	5-12
表 5.3.4、烏日站能見度分級概況.....	5-13
表 5.3.5、臺中市 110 年 3 月~11 月北屯、弘光及烏日站之能見度分級天數統計.....	5-14
表 5.3.6、臺中市 110 年 3 月~11 月能見度分級百分比統計表.....	5-15
表 5.3.7、台電龍井站及環保署沙鹿站霧、霾、靄統計表	5-18
表 6.1.1、AQI 及污染物濃度對應指數表.....	6-4
表 6.1.2、110 年西屯站空品預測與實際 AQI 趨勢變化	6-4
表 6.1.3、110 年臺中市空品 AQI 預報準確率統計表	6-9
表 6.1.4、臺中市空品 AQI 預報與環保署準確度比較.....	6-13
表 6.1.5、每日最大 AQI 平均準確率	6-14
表 6.1.6、110 年臺中市空品 AQI>100 之預報準確率統計表	6-15
表 6.3.1、110 年 1 月~12 月空品不良與極端天氣通報圖卡	6-19
表 6.5.1、4 則科普/政策短片主題規劃.....	6-25
表 6.5.2、32 則科普圖片	6-25
表 7.1.1、國內外細懸浮微粒 (PM _{2.5}) 化學組成比例.....	7-1
表 7.1.2、臺灣空氣污染防制擴大行動方案一覽表.....	7-4

表 7.1.3、臺灣 PM _{2.5} 成分特徵之管制策略建議.....	7-6
表 7.1.4、美國聯邦環保署之 PM _{2.5} 主要防制政策.....	7-6
表 7.1.5、美國加州 PM _{2.5} 管制策略.....	7-7
表 7.1.6、日本 PM _{2.5} 管制策略及作法.....	7-8
表 7.1.7、國內外次微米微粒 (PM ₁) 化學組成特徵	7-11
表 7.1.8、國內外次微米微粒 (PM ₁) 化學組成占比彙整表.....	7-12
表 7.1.9、PM ₁ 管制策略綜整說明	7-13
表 7.2.1、彙整近 3 年各縣市及本市 PM _{2.5} 監測地點及結果	7-14
表 7.2.2、107 年嘉義縣市交通道路旁 PM ₁ 監測結果	7-15
表 7.2.3、108 年臺南縣市交通道路旁 PM ₁ 監測結果	7-15
表 7.2.4、108 年臺中市大氣 PM ₁ 質量濃度及組成分析結果.....	7-16
表 8.1、近年臺中市大里站手動 PM _{2.5} 濃度與成分變化	8-1
表 8.2、臺中市 TEDS 污染物減量表	8-2
表 8.3、近 3 年臺中市手動 PM ₁ 濃度與成分統計表.....	8-3

報告大綱

章節	內容主題	內涵
第一章 計畫說明	1.計畫緣起、目標及預期效益 2.工作項目及執行流程 3.經費、進度及報告章節對照說明	摘錄計畫工作內容，並以邏輯性流程架構說明工作執行方法及查核點，以利掌握本計畫應達成之各項目標。
第二章 背景說明	1.本市環境特性 2.細懸浮微粒特性說明 3.PM _{2.5} 與能見度現況	彙整 PM _{2.5} 重要的基本資訊，提供非環工人士瞭解本市 PM _{2.5} 來源及生成機制，以及本市 PM _{2.5} 污染現況。
第三章 管道 PM _{2.5} 採樣分析	1.管道 PM _{2.5} 採樣分析 2.檢測結果	呈現垃圾焚化爐管道 PM _{2.5} 檢測結果。
第四章 微粒粒徑、成分調查與管制	1.回顧臺中市 PM _{2.5} 、PM ₁ 與能見度調查結果 2.龍井粒徑監測站安裝、操作與維護 3.消光與微粒顆粒數調查結果 4.次微米微粒成分特徵與有害重金屬含量	本章節詳細說明 110 年臺中市海區 PM _{2.5} 到 PM _{0.18} 不同粒徑數及能見度調查結果。選擇海區為主要探討地區，乃考量該區鄰近本市最大的工業污染源，交通及工廠污染排放量大。
第五章 應用數位影像技術解析能見度	1.攝影機架設與影像擷取技術說明 2.山、海、屯區能見度變化特徵 3.能見度分級	以攝影機擷取影像，透過軟體改變影像資訊，轉換成灰階數值，再將數值差異與藉由關係式轉換成能見度值，並比較不同攝像點位的能見度差異予以分級，以瞭解不同區域能見度的視覺差異。
第六章 每日空品預報及播送	1.空氣品質 AQI 預測說明 2.空氣品質預報短片 3.空品不良通報及特殊輿情提供 4.臺中市空品預報 LINE 官方帳號營運規畫	提供分區空氣品質預報，讓民眾居家及外出規劃上，能掌握更充足的資訊並及早防範空氣品質轉變。 預告經營 LINE 官方帳號作法，作為傳遞民眾正確空品資訊的路徑。
第七章 蒐集彙整國內外文獻及縣市監測結果	1.調查蒐集國內外文獻有關細懸浮微粒 (PM _{2.5}) 及次微米微粒 (PM ₁) 成分及污染管制策略相關資料、差異分析及建議。 2.彙整過去三年各縣市及本市有關細懸浮微粒 (PM _{2.5}) 及次微米微粒 (PM ₁) 監測地點及結果，並提出分析報告，包含盛行風向、風速、降雨量及熱區分布差異等分析。	蒐集彙整國內外有關 PM _{2.5} 及 PM ₁ 成分調查及管制策略、各縣市及本市相關監測結果，並分析熱區分布差異與風向、風速及降雨量之相關性。
第八章 研析發現		工作執行過程中，發現之問題、困難或重大發現。
第九章 結論與建議		摘錄各工作項目重要執行成果與建議。

計畫期末成果報告摘要（詳細版）

計畫名稱：110 年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及空品預報計畫

計畫編號：P1100106002

計畫執行單位：台灣綠仕科技有限公司

計畫主持人：白珏玲

計畫期程：110 年 3 月 11 日起 110 年 12 月 31 日止

計畫經費：12,800 仟元

摘要

本計畫工作範圍包括管道 PM_{2.5} 檢測、微粒粒徑及消光係數研究、數位攝影技術解析能見度以及空氣品質預報。

本年度管道 PM_{2.5} 檢測包括后里垃圾焚化爐、祥祐資源及豐興鋼鐵排放管道，檢測結果顯示可過濾性微粒（Filterable Particulate Matter）FPM 分別為 0.60 mg/Nm³、2.06 mg/Nm³、0.060 mg/Nm³，可凝結性微粒（Condensable Particulate Matter）CPM 為 1.50 mg/Nm³、18.1 mg/Nm³、0.37 mg/Nm³。

臺中市海區龍井微粒與消光特性監測，消光係數介於 3 Mm⁻¹~115Mm⁻¹ 之間，散光效應是造成能見度差之主因，平均散光貢獻占 69%，吸光貢獻占 31%。以實際量測的散光係數與 PM₁ 化學成分建立多元線性迴歸式，各化學物種中以硝酸根之散光效率最高 15.8 m²/g，其次為硫酸根 4.6 m²/g，有機碳為 4.2 m²/g，對臺中市而言，硝酸鹽對能見度影響最大，多數硝酸鹽屬於二次污染物，前驅物為氮氧化物（NO_x），因此欲有效快速地改善能見度，管制策略應以減少工業及交通氮氧化物的排放為主。

數位攝影技術解析能見度工作，在本市沙鹿區、北屯區及烏日區進行，方法是以攝影機擷取影像，透過軟體改變影像資訊，轉換成灰階數值，再將數值差異與藉由關係式轉換成能見度值。以 3 月~11 月資料解析結果，北屯站及弘光站影像亮度差值與能見度呈現線性相關，而烏日站則呈現指數相關。以每日中午能見度情況統計，可知北屯站能見度最差，能見度大於 20 km 的機率約 13.6%，其次為弘光站 32.8%，烏日站能見度最佳，能見度大於 20 km 的機率約 56.6%。

預測未來 48 小時空氣品質狀況，3 月~11 月統計顯示，每三小時預測 AQI 值（空氣品質標準，Air Quality Index）準確度而言，AQI=101~150 預報準確率介於 82%~94%，AQI>150 預報準確率介於 88%~96%。

The scope of this project includes stack monitoring of PM_{2.5}, investigation of particle size and extinction coefficient characteristics, measurement of visibility using digital image processing, and air quality forecasting.

In the year 2021, PM_{2.5} stack monitoring were performed on the municipal waste incinerator in Houli, as well as the solvent waste incinerator of Shine-yo Resource & Recycling Co., Ltd. and the electric arc furnace of Feng Hsin Steel Co., Ltd. The results indicate that FPM (Filterable Particulate Matter) were 0.60 mg/Nm³, 2.06 mg/Nm³ and 0.060 mg/Nm³. Also, CPM (Condensable Particulate Matter) were 1.50 mg/Nm³, 18.1 mg/Nm³ and 0.37 mg/Nm³.

We monitored the characteristics of particulate matter and light extinction in the coastal Longjing District of the City of Taichung. The extinction coefficient was between 3 Mm⁻¹ and 115 Mm⁻¹. Low visibility was mainly attributed to scattering. On average, the contribution of scattering was 69%, while the contribution of absorption was 31%.

The multiple linear regression formula was based on the actual measured scattering coefficient and the chemical composition of PM₁. Among the chemical species, the highest scattering efficiency was nitrate, at 15.8 m²/g, and followed by sulfate and organic carbon, at 4.6 m²/g and 4.2 m²/g. For Taichung City, nitrate has the greatest impact on visibility. Most nitrates are secondary pollutants, and the precursor is nitrogen oxides (NO_x). Therefore, the control strategies to improve the visibility effectively and quickly is that should focus on reducing the emissions of nitrogen oxides in industrial and traffic.

We used digital image processing to measure visibility in the Shalu, Beitun, and Wuri Districts of the City. The methodology used was the following:

1. Capture an image with a camera.
2. Transform the image into grayscale values with the aid of software.
3. Transform differences in values into values of visibility with a formula.

Analysis data from March through November, value differences of imagery brightness exhibited a linear relationship with visibility at the Beitun station and the Hungkuang station, while the relationship was exponential at the Wuri station. We compiled the daily visibility above 20 km statistics at noon. At the Beitun station, the visibility with the lowest probability was at 13.6%. And followed by the Hungkuang station with 32.8%. The visibility above 20 km with the highest probability was at the Wuri station, at 56.6%.

We conducted air quality forecasting for the upcoming 48 hours, using data from March

through November. Regarding three-hourly AQI (Air Quality Index) predictions, the accuracy for AQI=101~150 was between 82% and 94%. For AQI>150, the forecasting accuracy was between 88% and 96%.

前言

細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 可穿透肺部肺泡進入血管，隨血液循環全身危害人體健康，增加患病率及減少壽命，PM_{2.5}也是導致能見度降低的主因，是目前民眾最重視之指標污染物之一。

行政院環境保護署(簡稱環保署)於民國94年8月完成全臺76個空氣品質監測站設置，並增加PM_{2.5}自動監測項目，以掌握PM_{2.5}濃度變化。民國101年5月14日修正公告空氣品質標準，正式將PM_{2.5}納入空氣品質標準。民國102年1月增設30站PM_{2.5}手動採樣監測站，空氣品質從過去專注懸浮微粒 (PM₁₀) 污染，進入重視細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 污染的階段。

PM_{2.5}成因複雜，如電廠、石化廠、煉鋼廠、汽機車、營建工程與裸露揚塵等，皆會排放原生性與產生衍生性PM_{2.5}於環境中。要有效控制PM_{2.5}污染，需明瞭其生成機制，調查其組成與前驅物的成分及濃度相對地非常重要。臺中市政府環境保護局積極配合PM_{2.5}管制，101年開始即系統性地進行全市PM_{2.5}成分調查，包括增設PM_{2.5}自動監測設施、設置PM_{2.5}成分監測站……等；污染源方面，自102年起對轄內固定源、逸散源及移動源建立污染指紋及排放係數，建置本市PM_{2.5}排放清冊，作為PM_{2.5}管制基礎。105年開始加入生活周遭PM_{2.5}量測調查工作，最近3年發展分區空氣品質預報，透過空品預報訊息，當空品有惡化之虞時，提前48小時啟動預警工作，遏止空品不良。

臺中市PM_{2.5}值逐年下降，109年本市PM_{2.5}值下降至 15.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，相較103年的 27.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，改善率已達43%，然而，民眾對能見度改善仍不滿意，以至於認為PM_{2.5}只是數據上的改善，並非真正改善空污，然而能見度不僅與PM_{2.5}有關，與PM₁及更小粒徑的顆粒物關係更為密切，因此，探究能見度不良的成因必須注重小顆粒的研究，才能改善能見度，提高民眾對於施政有感度。

執行方法

一、排放管道PM_{2.5}採樣分析

為達成臺中市污染防制計畫書三根管道PM_{2.5}採樣之目標，故委託環檢所認證實驗室執行採樣，以NIEA A212.11B及NIEA A214.71C方法進行。調查管道FPM(過濾性微粒，Filterable Particulate Matter)及CPM(凝結性微粒，Condensable Particulate Matter)

質量濃度，同時將FPM予以成分分析，同時建立指紋資料，納入本市已建置多年的PM_{2.5}排放清冊中，作為本市管制及污染溯源的基礎。

二、微粒粒徑分布調查

本期計畫採粒徑分析儀自動監測儀器，監測粒徑 0.3 μm ~2.5 μm 的顆粒數，瞭解次微米微粒之粒徑及數量，並配合散光儀及吸光儀監測，解析粒徑大小與能見度關係（備註：能見度好壞取決於大氣散光與吸光效應的高低）。

三、消光成分物種調查

使用Thermo 2000i採樣器，依環檢所NIEA A205.11C方法執行採樣，大氣次微米微粒（PM₁）化學成分調查，分析物種包含陰陽離子、金屬元素、元素碳及有機碳。分析方法採環檢所公告之NIEA A451.10C、NIEA A305.11C方法，元素碳及有機碳以熱光反射法分析。

四、應用數位影像技術解析能見度

以攝影機擷取影像，透過軟體改變影像資訊，轉換成灰階數值，再將數值差異藉由關係式轉換成能見度值，並比較不同攝像點位的能見度差異，瞭解區域能見度的特徵，圖1為工作要點及目標進程。



圖 1、能見度調查分析之工作要點與目標進程

五、每日空品預報及播送

空氣品質模式採用區域多尺度空氣品質模式（Models-3/ Community Multiscale Air Quality Modeling System, Models-3/CMAQ）之網格模式進行空氣品質模擬預報，流程如圖2所示。空品預報AQI值主要以CMAQ預測結果為主，輔以機器學習及類神經網絡方法，並持續微調類神經網絡方法，以提升準確率預估。為快速提供民眾正確空訊息，本年度將建置官方LINE帳號，透過LINE使用習慣，強化與民眾連結。

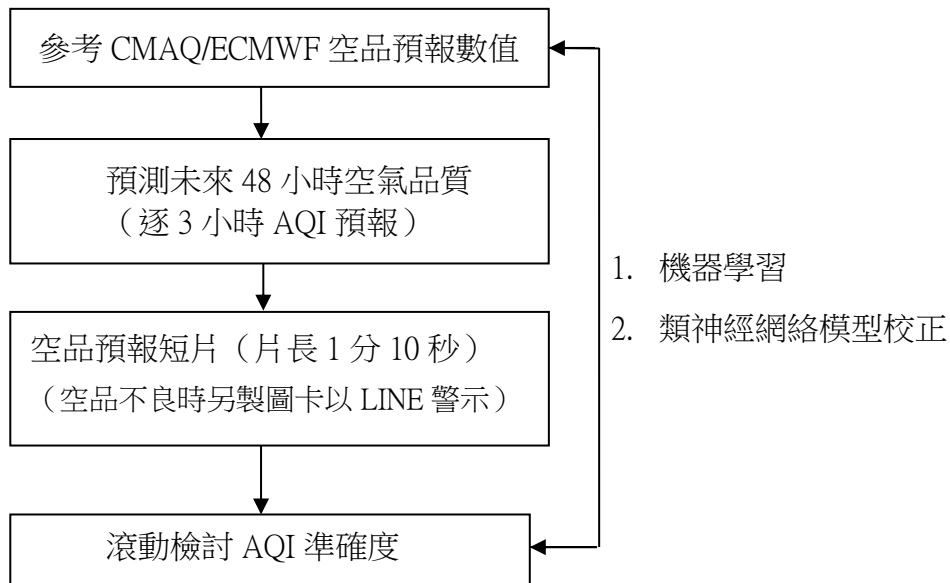


圖2、空氣品質預測及極端氣候預警架構圖

結 果

一、排放管道 PM_{2.5} 採樣分析

本年度完成后里垃圾焚化爐、祥祐資源及豐興鋼鐵 3 根次檢測，檢測結果顯示 FPM 分別為 0.60 mg/Nm³、2.06 mg/Nm³、0.060 mg/Nm³，CPM 為 1.50 mg/Nm³、18.1 mg/Nm³、0.37 mg/Nm³。

表1、110年臺中市排放管道PM_{2.5}檢測結果一覽表

廠家	管道編號	採樣年份	FPM	CPM	採樣口平均排氣溫度(°C)	總 PM _{2.5} FPM+CPM (mg/Nm ³)	防制設備
			(mg/Nm ³)				
后里焚化爐	P001	110	0.60	1.50	151.0	2.10	除氮氧化物設備、半乾式洗煙塔
祥祐資源	P103		2.06	18.1	157.0	20.16	半乾式洗滌塔、袋式集塵器
豐興鋼鐵	P014		0.06	0.37	64.3	0.43	空氣逆洗式袋式集塵器

備註：FPM 檢測方法 NIEA A212.11B，CPM 檢測方法 NIEA A214.71C

二、微粒粒徑分布調查

- (一)、臺中市海區龍井監測結果統計，4/15 日~11/30 日消光係數（散光係數+消光係數）介於 3Mm⁻¹~115Mm⁻¹之間，造成能見度差（消光係數高）主要以散光效應為主，吸光效應較低，平均而言，散光貢獻占 69%，吸光貢獻占 31%，如圖 3。

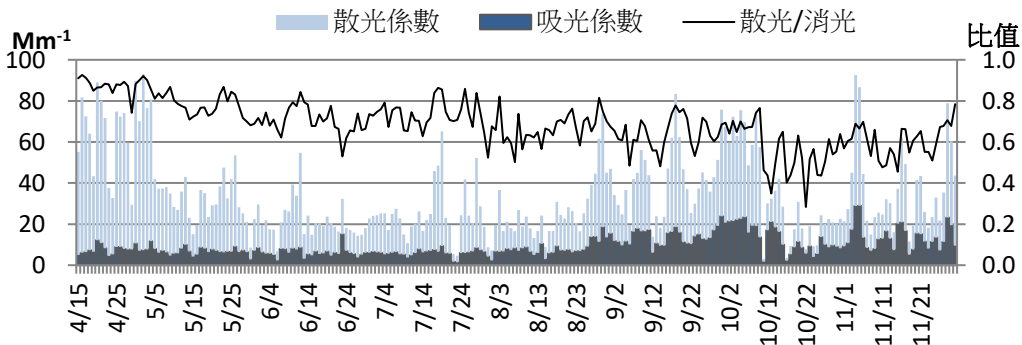


圖3、110年4月~11月臺中市海區龍井散光及吸光監測變化

- (二)、粒徑 0.3 μm~0.4 μm 與消光性呈現高度相關，粒徑 1 μm、2.5 μm 屬於低度相關，推論可知造成海區龍井能見度不佳者，以 0.3 μm~0.4 μm 粒徑為主。

三、應用數位影像技術解析能見度

- (一)、藉由攝影機擷取影像，透過軟體改變影像資訊，轉換成灰階數值，再將數值差異藉由關係式轉換成能見度值。以 3 月~11 月資料解析結果，北屯站及弘光站影像亮度差值與能見度呈現線性相關，而烏日站則呈現指數相關。
- (二)、參考美國亞利桑那州能見度分階類別，分析每日 3 個時段能見度平均結果，可

以看出北屯站及弘光站以「差」等級居多，出現機率分別為 41.3%及 27.7%，烏日站以「普通」等級機率最高 29.3%。「良好」等級以上出現機率以弘光最高，為 33.3%，北屯最低 11.6%，如表 2。

表2、臺中市110年3月~11月能見度分級百分比統計表

測站	時段	差	不良	普通	良好	極好
北屯	早上	48.7%	15.1%	20.7%	11.8%	3.7%
	中午	41.2%	28.3%	19.1%	8.8%	2.6%
	下午	33.9%	31.7%	26.6%	6.3%	1.5%
	平均	41.3%	25.1%	22.1%	9.0%	2.6%
弘光	早上	34.9%	20.4%	19.0%	11.9%	13.8%
	中午	28.9%	22.6%	21.1%	19.3%	8.1%
	下午	19.3%	17.4%	16.3%	38.9%	8.1%
	平均	27.7%	20.1%	18.8%	23.3%	10.0%
烏日	早上	36.6%	28.4%	21.3%	11.6%	2.2%
	中午	25.4%	28.7%	31.3%	12.1%	2.6%
	下午	17.3%	22.5%	35.4%	18.5%	6.3%
	平均	26.4%	26.5%	29.3%	14.0%	3.7%

四、每日空品預報及播送

110年3月~11月AQI準確率統計，就海線、市屯區、山線而言，準確率介於76%~83%，平均80%，如表3。（備註：山區無環保署測站可供參考，無法計算準確度）。

表3、110年臺中市空品AQI預報準確率統計表

分區	站別	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	平均
海線	沙鹿	72%	77%	83%	81%	83%	81%	79%	76%	83%	79%
山線	豐原	80%	81%	87%	82%	82%	79%	81%	76%	82%	81%
市屯區	西屯	82%	81%	82%	80%	83%	80%	80%	78%	82%	81%
	忠明	80%	81%	80%	81%	81%	80%	78%	77%	82%	80%
	大里	78%	78%	81%	79%	81%	80%	80%	75%	82%	79%
平均		78%	79%	83%	81%	82%	80%	80%	76%	82%	80%

結論

一、排放管道PM_{2.5}採樣分析

1. 后里垃圾焚化爐及祥祐資源排放管道 PM_{2.5} 檢測 FPM 為 0.60 mg/Nm³、2.06 mg/Nm³，CPM 為 1.50 mg/Nm³、18.1 mg/Nm³，管道總 PM_{2.5} 為 2.10 mg/Nm³、20.16 mg/Nm³，后里焚化爐與其他焚化爐檢測結果比較，濃度並未較高，由歷年資料可知 CPM 變異相對大。后里焚化爐 FPM 成分解析結果以氯離子占比最高，此與塑膠垃圾有關，祥祐資源管道主要處理廢溶劑，排放濃度受溶劑成分影響，硫酸根占比高於其他成分。
2. 與歷史數據比較，后里焚化爐及烏日焚化爐 FPM 金屬成分占比以鐵 (Fe) 1.08% 及 7.65%、鋅 (Zn) 0.60% 及 3.77% 占比較高，文山焚化爐之 FPM 化金屬成分占比以鎘 (Cd) 8.54%、鐵 (Fe) 2.46% 較高。
3. 電弧爐以廢鋼為原料，用來熔解廢鋼、冶煉鋼鐵的設備。豐興鋼鐵電弧爐排放管道 PM_{2.5} 檢測結果，FPM 為 0.06 mg/Nm³，CPM 介於 0.37 mg/Nm³，與歷年豐興鋼鐵及中龍鋼鐵檢測結果比較，濃度變異大但未超過歷史高值，濃度變異大與進料品質、操作條件、防制設備……等不同有關。

二、微粒粒徑、成分調查與管制

1. 臺中市海區龍井監測結果統計，消光係數 (散光係數+消光係數) 多介於 3 Mm⁻¹~115Mm⁻¹ 之間，平均而言，散光貢獻占 69%，吸光貢獻占 31%。
2. 粒徑 0.3 μm~0.4 μm 微粒與消光性呈現高度相關，粒徑 1 μm、2.5 μm 屬於低度相關，推論可知造成海區龍井能見度不佳者，以 0.3 μm~0.4 μm 粒徑為主。
3. 以實際量測的散光係數與 PM₁ 化學成分建立多元線性迴歸式，各化學物種中以硝酸根之散光效率最高 15.8 m²/g，其次為硫酸根 4.6 m²/g，有機碳為 4.2 m²/g。
4. 微粒中硫酸鹽、硝酸鹽及有機碳占比最高，是消光的主要三大物種，對臺中市而言，硝酸鹽對能見度影響效應最大，而多數硝酸鹽屬於二次污染物，前驅物為氮氧化物 (NO_x)，因此欲有效快速地改善能見度，管制應以減少工業及交通氮氧化物的排放為主。有效管制措施包含 1.使用低氮燃燒器，調控空氣與燃料配比使燃燒達最佳化，抑制鍋爐 NO_x 產生 2.使用廢氣脫硝防制設備 3.開發綠能 4.推廣電動車。

三、應用數位影像技術解析能見度

1. 本章是以攝影機擷取影像，透過軟體改變影像資訊，轉換成灰階數值，再將數值差異藉由關係式轉換成能見度值。以 3 月～11 月資料解析結果，北屯站及弘光站影像亮度差值與能見度呈現線性相關，而烏日站則呈現指數相關。
2. 參考美國亞利桑那州能見度分階類別，分析每日 3 個時段能見度平均結果，可以看出北屯站及弘光站以「差」等級居多，出現機率分別為 41.3%及 27.7%，烏日站以「普通」等級機率最高 29.3%。「良好」等級以上出現機率以弘光最高，為 33.3%，北屯最低 11.6%。
3. 為瞭解海區霧、霾、靄發生情況，以台電龍井空品站及環保署沙鹿空品站資料分類，4/15 日～11/30 日期間分類結果顯示，海區多屬於靄情況，「霾」及「霧霾」發生頻率低。
4. 以每日中午能見度情況統計，由每月能見度大於 20km 的天數總和，可知北屯站能見度最差，能見度大於 20 km 的機率約 13.6% (=36 天/265 天)，其次為弘光站 32.8% (=87 天/265 天)，烏日站能見度最佳，能見度大於 20km 的機率約 56.6% (=150 天/265 天)。

四、每日空品預報及播送

1. 本計畫為臺中市分區預報，與環保署的中部空品區預報精細度不同。針對臺中市分區預報而言，110 年 3 月～11 月 AQI 準確率統計平均 80%，每月 AQI= 101～150 以上的預報準確率介於 82%～94%，每月 AQI>150 預報準確率介於 88%～96%，整體來說，對 AQI>150 時預報準確率的掌握度比 AQI=101～150 高。
2. AQI 預報值與環保署預報值比較，環保署之 AQI 預測值取自「中部空品區」之當日 16:30 產出之預報隔日數值。本預測為分區「每三小時平均」數值預報，兩種預測的方法與邏輯也不盡相同。取預報值與「每日最高 AQI」最高值，與環保署比較結果，可知 110 年 3 月～11 月本預報準確率略優於環保署約 0.1%～3%。
3. 臺中市提供分區（山區、山線、海線、市屯區）空品預報短片，臺中市政府 LINE 截至 2021 年 11 月 30 日點擊瀏覽次數達 41 萬餘次。空氣品質惡化事件提供圖卡，共計 26 次。

期末報告執行成果摘要表

項次	工作項目	契約目標量	現階段執行量	達成率(%)	備註
1	戶外攝影機系統	3 組	3 組	100.0	
2	安裝場地租用、電費及傳輸費用	3 處	3 處	100.0	
3	空品影像整合	1 式	1 式	100.0	
4	本市能見度調查結果分級與差異分析報告	1 式	1 式	100.0	
5	排放管道 PM _{2.5} 採樣及分析	3 根次	3 根次	100.0	
6	微粒散光自動連續監測	10 站月	9 站月	90.0	
7	微粒粒徑自動連續監測	10 站月	9 站月	90.0	
8	微粒吸光自動連續監測	10 站月	9 站月	90.0	
9	監測儀器站房租用	10 站月	9 站月	90.0	
10	微粒化學成分調查採樣	40 點次	40 點次	100.0	
11	手動採樣器維護與檢修	10 月次	10 月次	100.0	
12	監測數據彙整分析及管制策略評估研擬報告	1 式	1 式	100.0	
13	空氣品質及氣象預測及預報	365 日	296 日	81.1	
14	9 月至 12 月運作期間，須製作提供 4 則科普/政策短片，32 則科普圖卡	4 則短片 32 則圖卡	4 則 32 則	100.0 100.0	
15	空品行銷之 LINE 建置與經營	1 式	1 式	100.0	
計畫整體達成率				96.1%	

統計期間：110 年 3 月 11 日～110 年 12 月 31 日

臺中市政府環境保護局 110 年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及
空品預報計畫

期末報告計畫執行成果摘要

計畫名稱：110 年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及空品預報計畫

計畫執行期程：110 年 3 月 11 日至 110 年 12 月 31 日

執行單位：台灣綠仕科技有限公司

計畫主持人：白珣玲

計畫經費：壹仟貳佰捌拾萬元整

執行摘要：

本計畫於 110 年 3 月 11 日至 110 年 12 月 31 日止各項工作執行成果如下：

- 一、 戶外攝影機系統累計完成 3 組
- 二、 安裝場地租用、電費及傳輸費用累計完成 3 處
- 三、 空品影像整合累計完成 1 式
- 四、 本市能見度調查結果分級與差異分析報告累計完成 1 式
- 五、 排放管道 PM_{2.5} 採樣及分析累計完成 3 根次
- 六、 微粒散光自動連續監測累計完成 9 站月
- 七、 微粒粒徑自動連續監測累計完成 9 站月
- 八、 微粒吸光自動連續監測累計完成 9 站月
- 九、 監測儀器站房租用累計完成 9 站月
- 十、 微粒化學成分調查採樣累計完成 40 點次
- 十一、 手動採樣器維護與檢修累計完成 10 月次
- 十二、 監測數據彙整分析及管制策略評估研擬報告累計完成 1 式
- 十三、 空氣品質及氣象預測及預報累計完成 296 日
- 十四、 9 月至 12 月運作期間，須製作提供 4 則科普/政策短片，32 則科普圖卡
累積完成 4 則短片 32 則圖卡
- 十五、 空品行銷之 LINE 建置與經營累計完成 1 式

受委託廠商： 台灣綠仕科技有限公司 蓋大小章：

承辦人： _____ 股長： _____ 技正： _____ 科長： _____

計畫名稱：110 年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及空品預報計畫

委辦單位：台灣綠仕科技有限公司

臺中市政府環境保護局服務建議評選意見回覆/修正對照表

廖順榮 委員	
審查意見	回覆
一、依過往計畫執行成果及服務建議書第二章所述，臺中市測站間之 PM _{2.5} 測值差異不大，但成分特徵則略有差異，尤其是大里測站；故近年於大里測站執行之相關研究是否能適用於全市或做為代表測站，仍有疑慮；服務建議書中第二章、第三章有提到署測站西屯測站亦有提入相對多之資源，進行研究，建議能於計畫期中或期末報告中協助提出相關研究顯示大里測站與西屯測站及本計畫選定之測點之差異。	感謝委員意見， 1. 大里測站之研究結果並不適用於全市，過去經驗顯示其與海區特徵存在差異，例如大部分地區 PM _{2.5} 成分以硫酸鹽占最高，但大里測站則以有機碳占最高，代表主要污染貢獻來源並不相同。 2. 有關署西屯站投入較多研究資源，於期中報告納入龍井站與西屯站完整黑碳及粒徑大小比較結果，詳第四章。
二、空品預報、預警通報，今年增加空品行銷之 LINE 建置經營，除每日空品預報、科普外，針對特殊突發空污事件可提供之協助為何？	對特殊突發空污事件，本計畫可即時以空污擴散模擬污染路徑，並整合成圖卡資訊，提供局端發布相關訊息，同時，預計 9 月份臺中空品報報 LINE 營運後，將有專屬頻道，可同步呈現訊息給關心的民眾，詳第六章。
盧昭暉 委員	
審查意見	回覆
一、能見度的感官指標如何建立？	感官指標參採國外分類方式，採用極佳、良好、普通、不良、差 5 個等級分類，詳第五章。
二、能見度的改善對策是什麼？	依據監測結果，小顆粒的散光及吸光效應是造成本市能見度下降的主因，根據國外經驗與研析，電廠及柴油車排放小顆粒多，應優先管制，詳第四章。
三、每日空品預報與環保署的預報工作的分工。	受限於中央法規，環保局應變或相關防制措施以環保署「中部空品區」預報等級為主，而本計畫職責是針對臺中市區分四區（海線、山區、山線、屯區）預報，提供民眾健康防護參考。

盧昭暉 委員	
審查意見	回覆
四、能見度預報與氣象局如何分工？	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫旨在瞭解能見度現況與分區差異，未規劃進行能見度預報。 2. 因能見度有區域差異，計畫目標之一在建立全市能見度影像資料庫，朝感官監測資訊方向發展。 3. 深入研析如何改善臺中市能見度不佳問題，故配合粒徑大小、微粒散光、吸光性及成分調查，瞭解空污與能見度關係，提出改善對策。
林伯雄 委員	
審查意見	回覆
一、請針對執行本計畫之採樣、分析、數據判讀之人力分工，以及與協力廠商之異常數據之應變流程補充說明；並說明人員之學經歷是否符合本計畫之要求。	本計畫大氣 PM ₁₀ 採樣由台灣綠仕科技公司執行，分析由環保局環境檢驗科及成功大學負責。分析後之整體數據由台灣綠仕科技公司做合理性判讀與深入解析；管道 PM _{2.5} 採樣分析均委由上準環境公司執行，數據判讀亦由台灣綠仕科技公司執行；本計畫之計畫主持人、計畫專案經理、工程師及助理工程師之學經歷皆符合計畫要求。
二、PM _{2.5} 之成分分析之濾紙（CPM）前後處理含秤重，執行單位為何？	執行單位為上準環境科技公司實驗室。
三、能見度儀監測數據與亮度差之關係曲線建立流程（口頭報告頁次 8）是否有參考文獻？若有，請補充於未來之期中與期末報告。	感謝委員意見，參考文獻補充於第四章中。（詳 p.5-2、P5-4、P5-6）
四、PM 之成分與組成分析儀、黑碳監測儀、散光儀之操作維護校正之執行單位為何？	PM 粒徑分析儀、黑碳監測儀及散光儀之操作維護、QA/QC 皆由台灣綠仕科技公司執行。
五、PM ₁₀ 之採樣及分析由三個單位負責，如何確保分析數據 QA/QC、樣本運送污染問題，請補充說明，服務建議書圖 4.4.1，並明確分工及職掌。	PM ₁₀ 之採收樣由台灣綠仕公司負責，樣品質量濃度、陰陽離子及重金屬分析及 QA/QC 由環保局環境檢驗科負責，而碳成分分析及 QA/QC 由成功大學氣膠研究室把關。分工及職掌部分已補充說明服務建議書當中。

林伯雄 委員	
審查意見	回覆
六、建議未來之期中期末報告可以針對歷年趨勢含 PM _{2.5} 、濃度、成分分析變化與污染源減量及能見度進行比對，歸納出污染成因及改善之策略（第二章）。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因長期成分分析區域僅大里與后里，因此以 PM_{2.5} 排放量、PM_{2.5} 濃度硫酸鹽及硝酸鹽等成分作分析，結果顯示除元素碳之外，其它成分皆呈下降趨勢，以硝酸根下降最多，與本市 NO_x 大幅減量相呼應（詳 pp.2-29~2-31）。 2. 因能見度僅在大里站量測 2 年，且每年僅 4 個月無代表性，故不納入比較。
盧重興 委員	
審查意見	回覆
一、本計畫能見度分析執行目的應著重於（1）民眾宣導教育（2）提供政府改善策略兩大部分。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 民眾宣導教育將利用在 9 月份臺中空品報報 LINE 的專屬頻道上進行。 2. 改善策略列於第四章，依據粒徑監測站的監測結果，對於海區而言，電廠及柴油車排放管制是必須優先執行。
二、建議本計畫執行成果能夠提供下列相關性： 能見度 VS. 微粒粒徑分布與數目濃度 能見度 VS. 氣象因子（溫溼度與風速） 能見度 VS. PM _{2.5} 中陰陽離子（包括 SO ₄ ²⁻ 、NO ₃ ⁻ 、NH ₄ ⁺ ） 能見度與影像分類（建議應用能見度距離、相對溼度及感測器 PM _{2.5} 濃度進行分類）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 第四章中能見度以消光性取代，就大氣消光性與微粒粒徑數目濃度、氣象因子（溫溼度與風速）及陰陽離子成分（包括 SO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺）分析。 2. 能見度與影像分類以相對溼度及 PM_{2.5} 濃度進行分類，屬於霧霾尚未發生，與此目前處於非空污期有關。
三、第五章未來發展方向 2. 應為跨領域工作，最好能夠結合資工-網路、數據分析學者才有辦法獲得成果。	本計畫之能見度影像與弘光科大羅金翔教授合作，資訊方面由昱豪數位有限公司之資訊工程專業人員支援。
李書安 委員	
審查意見	回覆
一、對於測量數據的結果分析方法，應列章節說明清楚。	謹遵辦理，將於期中、期末報告說明。
二、各採樣器與測量的時間為何？	PM ₁ 採樣器量測時間為 24 小時，粒徑分析儀、黑碳監測儀及散光儀測量時間每小時至少一筆數據。

李書安 委員	
審查意見	回覆
三、建置空品 Line 官方帳號有無跟市府官方帳號做整合？	無。 由於市府 LINE 須整合所有局處之訊息，種類繁多，且無法大量或短時間發布同一局處訊息，尤其於空污季節時空噪科訊息需求量可能較高，市府 LINE 較無法達成局端需求。因此將空品資訊獨立成立一 LINE 官方帳號，將有助於訊息分眾分流，也促使民眾於特定 LINE 頻道觀看特定訊息，養成社群平台的使用習慣，對於局端後續相關業務、政策、訊息推廣，將有較大助益。
四、Acoumulation mode 是用 Condensation mode 與 droplet mode 結合，為何不用 MUDI 測可只採 PM ₁ ，缺乏粒徑解析度。	使用 MUDI 雖可分粒徑解析及成分解析，但所需經費及人力相對高，且時間解析度低。本計畫採粒徑自動監測儀器，未來具有高時間解析的資料，有助於釐清能見度問題，PM ₁ 採樣器採樣的質量濃度，用來校驗粒徑分析儀中 PM ₁ 質量濃度的絕對值。
五、請問粒徑分析儀的目的是要測數目濃度的目的何在？	粒徑分析儀輸出所測得的數目濃度及質量濃度，其目的為瞭解為何 PM _{2.5} 下降幅度大，而能見度改善情況確有限的成因，且許多研究已經發現 PM _{2.5} 質量濃度無法反應細小顆粒的變化。
六、能見度影像分級制度是既有的，還是新建立的？	能見度影像分級制度參考其他國家方式分類，採用極佳、良好、普通、不良、極差 5 個等級分類，詳第五章。
七、能見度與影像分析（與 Liao 的研究），能見度、消光成分分析與之前的研究不同的地方在哪？之前的研究都無法找出能見度差的原因嗎？建議把之前的結果整理比對後，建議未來改善的政策依據。	1. 依據張士昱教授團隊（2020）執行環保署能見度應用計畫結果顯示，「消光性能見度儀觀測」、「氣象局人工觀測」、「氣象局散光能見度儀觀測」等 3 種能見度觀測方法所得能見度以 T 檢定判斷，經統計檢定結果顯示 3 種觀測方法的能見度在多數時期存在差異，原因來自觀測主體與空間代表性的差異。

	<ol style="list-style-type: none">2. 109 年針對臺中市大里影響調查能見度與消光成分關係，單位濃度下，以有機碳及元素碳的消光係數較高，加入濃度含量考量則是硫酸鹽成分的消光貢獻量最高，詳第四章 (p.4-2)。3. 本年度將調查區域移至高 PM_{2.5} 排放量及高健康風險的海區龍井，並增加細小粒徑對能見度影響。4. 第四章 4.6 節管制策略中已彙整過去研究結果與國際文獻，歸納總結提出未來改善政策方針。
--	---

計畫名稱：110 年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及空品預報計畫

委辦單位：台灣綠仕科技有限公司

期中報告意見回覆/修正對照表

林伯雄 委員	
審查意見	回覆
一、本計畫「110 年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及空品預報計畫」期中報告撰寫內容及格式，以及計畫執行進度大致皆符合合約之要求（但部分疏漏）。	感謝委員，將疏漏處修正並補充說明。
二、誤植亦請更正，例如摘要及本文之英文專有名詞請先定義(全名)，FPM、CPM、AQI。	謹遵辦理，已補充於摘要、成果摘要及本文。(詳摘要、p.3-3、iii 及 6-2。)
三、計畫中確認影響能見度之主要粒徑分布範圍為(0.3~0.5 μ m)之微粒(第四章)，與目前主要之產業所建立之指紋資料比對，是否能提出改善能見度之方案，除龍井站於 4~6 月期間之數據，是否有規劃不同季節及區域進行類似數據收集。	因臺中市產業尚未建立粒徑指紋資料庫，故目前龍井監測站之監測微粒粒徑大小來源，僅能歸納出貢獻方位，無法比對出可能排放的工廠；龍井站今年度規劃持續監測一年，不會移至其他區域，目前已有 4 月~6 月數據，後續 7 月~12 月監測數據取得後，於期末報告進行季節性分析。
四、第八章之初步結論提及管制燃煤及燃油鍋爐之效率減少 NO _x 排放，亦即減少硝酸鹽貢獻比，能否提出具體之減量比重所提升之能見度比例。	燃油及燃煤在 NO _x 噸數雖可計算，但排放高度不同，不是單純線性關係可以推估。貢獻比重及對能見度的提升比例必須透過模式模擬才能推衍，本年度計畫尚無此項工作。
五、第八章之重金屬占比於各焚化爐排放管道請加註比例數值。	謹遵辦理，已加註於 p.8-1。
賴進興 委員	
審查意見	回覆
一、龍井微粒監測站相當珍貴，維護、保養校正之狀況為何？(含備品)請補充。	微粒監測站儀器為一年內新機，儀器狀況尚屬穩定，因儀器為租用，租用廠家負責提供零件耗材、維護技術及備機供使用，以因應故障檢修。

賴進興 委員	
審查意見	回覆
二、海區／市區（西屯）在 BC3／BC10 差異很大，除了區域特性外？季節影響情況如何？	海區(龍井)與市區(西屯)的季節變化皆呈現夏季低，秋季高現象，兩地區相比，4月～8月期間無論生質燃燒或交通排放的吸光效應以西屯高，9月～10月有所變化，龍井站的生質燃燒對吸光效應上升，並高於西屯，而交通的吸光效應則相當。(詳 pp.4-11～4-12)
三、濕度與顆粒大小之相關性是否明顯？可再納入更多資料，再分析，後續須補充。	謹遵辦理，截至 10/31 日數據統計，粒徑 0.18 μm 粒徑在濕度 30%～70%之間顆粒數量會增加，0.3 μm 、0.4 μm 及 0.7 μm 粒徑數在濕度 40%～50%顆粒數量增加。(詳 p.4-16)
四、數位影像判別能見度，與其它縣市觀測結果，差異性如何？如中山大學／弘光科大在高雄之研究結果？	已蒐集中山大學袁中新教授與其劉山豪碩士論文比較。該研究著重數位式影像判別與人驗判斷做比較，影像解析結果因不受心理因素影響較能精確判別，對於區間在 5 公里～10 公里優於肉眼的辨識能力。
五、霧／靄／霾的判別是否能以「淺顯易懂」的判別與說明，讓民眾學習科普知識？	本計畫在 9 月建置空品報報 LINE，旨在提供民眾科普知識，並在 11 月份以一頁式圖卡將霧／靄／霾判別做簡淺分類，對民眾說明。(詳 p.6-27)
六、空品不良 AQI>100 預測，環保署亦在執行，本市及環保署預測方法與準確度是否能比較？	環保署增加比較結果於第六章中，詳 P.6-12。準確度以「一日(24hr)」預測 AQI 最大值進行比較，兩者不分軒輊。
七、PM _{2.5} 重金屬成分分析，沒分析 Cr（含 Cr（VI））？	排放管道 PM _{2.5} 之重金屬檢測方法為 NIEA A302.73C，不包含 Cr（VI），排放管道中 Cr（VI）檢測方法須採用 NIEA A308.10C，因計畫無此經費編列，無法另做採樣。

方國權 委員	
審查意見	回覆
一、中英文參考文獻，建議應更新至 2021 年。	謹遵辦理，將於期末報告補入文獻。
二、p.8-1 能見度平均結果指出弘光站有「差」及「良好」之等級，其所代表之意義為何？是否有具體建議給環保局？	已補充「差」~「良好」之代表公里數，並比較出能見度有區域的差別存在，北屯站能見度相對較差。對於能見度改善提出管制電廠、交通及 VOC 排放之建議。
三、p.8-2 之四之 3，有關臺中空品預報短片之半年瀏覽暨次數達 23 萬餘次，空品惡化事件提供圖片計 21 次，其效益如何，如何評估？	效益是以瀏覽次數為依據，本計畫自 3 月中旬開始播放影片及圖卡，累計至 10 月份已達 37 萬餘次瀏覽次數。空品惡化事件圖卡尚無權限可進入 LINE 後台查詢瀏覽次數，但每遇空品不良時，新聞局即通知出具圖卡，此反映市府的重視程度。
四、p.6-26 之小結及 p.8-2 之每日預報及播送之結論，其內容是否應有所區隔，目前二者內容均相同。	謹遵辦理，結論已重新編排撰寫（詳 p.9-2）。
五、pp.6-22~6-25 請說明科普／政策短片之效益評估。	將以瀏覽次數作為效益評估或透過民眾反饋結果評估。因 9 月份開始運行，目前加入人數尚未突破百人，必須從市府 LINE 導入人流，已規劃進行中。
六、p.5-15 之表 5.3.6 及 p.5-17 表 5.3.7 應加入統計分析來說明三測站（點）之間於不同時段之能見度是否有顯著差異。	謹遵辦理，因一天中的能見度是具變化性的，因此分為早上、中午、下午三時段統計，北屯站三格時段能見度皆以「差」的等級最多；弘光站日能見度變化較大，早上至中午多為「差」，下午以「良好」等級居多；烏日站早上以能見度多為「差」，中午以後，轉為「普通」。由上述分析可知不同地點感官能見度存在相當差異。

方國權 委員	
審查意見	回覆
七、p.3-5 之圖 3.2.2 請說明重金屬 Cd 及 Zn 成分高之原因，可能來源為何？	焚化爐之垃圾來源多元，品質差異不像一般工廠有穩定的進料品質，因此燃燒排放重金屬含量差異大，文獻比對顯示垃圾焚化爐排放金屬以鐵及鋅的含量較高，而 Cd 來源初步推測與廢棄物上的金屬上的電鍍物質或顏料或螢光粉有關，已知常用於油漆、塑膠等產品的著色劑。鎘黃常用於製造黃色和橘黃色顏料，鎘紅是常用的紅色顏料。
八、簡報中提到污染源來自梧棲、沙鹿，其確認方法為何？未來是否有更具體的確認方法？	龍井微粒監測站之粒徑與風速風向關係繪製極風花圖，對應地理位置推估污染源來自梧棲及沙鹿區。目前尚未建立粒徑指紋資料庫，尚無法確認污排放工廠。未來須朝建立工廠排放管道微粒之粒徑大小指紋資料庫才能進一步追溯污染來源。
陳簡任技正忠義	
審查意見	回覆
一、p.26 數位影像解析可否與空氣污染的情形相比較，如 PM _{2.5} 符合 24hr 平均值 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，當天的能見度情形或與日均濃度 (PM _{2.5}) 作比較。	數位影像解析地點有三處，僅弘光站鄰近環保署沙鹿測站可作統計。在 3 月~10 月僅三天為 PM _{2.5} 事件日，此三天能見度屬「差」等級，統計同時也顯示了 PM _{2.5} 達 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上，能見度就有可能來到「差」等級。
二、經過多年的努力，大里的手動測值分析，各污染因子都有改善，對大里的空氣品質政策是否也相對改善，可加以說明。再搭配臺中市對台中電廠生煤減量成效，交叉比對績效。	有關台中電廠生煤減量對大環境 PM _{2.5} 改善是肯定的，參考 CMAQ 模式分析結果，台中電廠對臺中市 PM _{2.5} 年平均貢獻量在 0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ 1.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，年平均 0.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，該研究模擬台中電廠改全燃氣機組後，PM _{2.5} 影響可降至 0.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。(資料來源: 台灣電力公司。2020。USC 燃煤機組與 NGCC 機組對 PM _{2.5} 排放貢獻與 AQI 影響之評估與比較)。

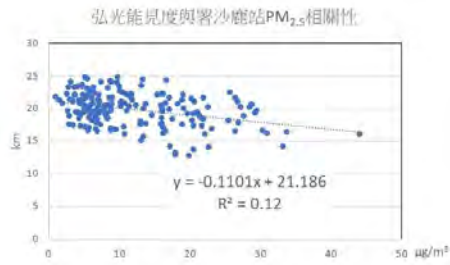
趙技正重周	
審查意見	回覆
一、請於期末報告時將 PM _{2.5} 、PM ₁ 組成分析及能見度分析之 3 年來的成果進行彙整，並標註本市採行何種管制措施造成結果的改變。	謹遵辦理，不同地點 PM _{2.5} 化學成分差異如表 4.1.1(詳 p.4-1)。同一地點(大里)長時間於監測，彙整 4 年數據比較，趨勢變化與管制措施說明詳第八章。(詳 pp.8-1~8-2) PM ₁ 分析執行三年但非相同地點 (註：第一、二年在 大里(屯區)，第三年在 龍井(海區)，表列比較於第八章。(詳 p.8-3)。 。能見度因量測方式差異大且地點不同，不予比較。
二、每日空品預報準確率請與環保署的預報做比較。	本計畫 AQI 預報值與環保署預報值比較，環保署之 AQI 預測值取自「中部空品區」之當日 16:30 產出之預報隔日數值。本預測為「每三小時平均」，因此，比較上存在不對等性，且每日最高值與逐三小時，兩種預測的方法與邏輯也不盡相同，但仍可初判不同預測對於實際應用之準確度。本計畫預報值取「每日最高 AQI」，與環保署比較結果，可知 110 年 3 月~10 月預測準確率本預報略優於環保署約 0.2%~3%。詳 p.6-12。
空噪科審查意見：	
審查意見	回覆
一、成果摘要詳細版與 p.4-21 月份春季定義請再釐清。	謹遵辦理，春季定義為 3 月~5 月，成果摘要詳細版已修正為春、夏季（4 月~6 月），詳 p.vii。
二、p.4-24 臺中市「RH」年平均約在 70%~80% 請加註。	謹遵辦理，已於 p.4-24 加註 RH。
三、p.8-1 階段結論二各項研究歸納管制對象 PM ₁ 為電廠，小於 PM ₁ 則管制交通或 VOC，各國粒徑是否有區域特性影響？	粒徑與微粒成分及濕度有關，因此粒徑大小是有區域特性的。

空噪科審查意見：	
審查意見	回覆
四、p.8-1 階段結論三能見度分類結果弘光站以「差」及「良好」接近 40%，其能見度有極端情形，建議分析各站原因。	謹遵辦理，於期末報告完整分析呈現。
五、建議在表 4.4.3 列出偵測極限是多少。	謹遵辦理，已補充於表 4.4.4 (詳 p.4-26)。
六、建議說明連續微粒監測儀前端是否有加裝 dryer。	微粒監測儀之採樣管外部配置有加熱管包覆，用以降低進氣濕度。
七、建議可分析本市重油鍋爐退場對硫酸銨的影響。	過去檢測重油鍋爐排放為 PM _{2.5} 中，約三成為硫酸銨，重油鍋爐退場對硫酸銨的影響，必須透過具有複雜反應機制的模式模擬才能推估，非本年度所能執行。
八、建議可在 p.5-12 能見度分級圖中，增加各站各級所對應的短距式能見度儀公里數。	謹遵辦理，各級對應之能見度公里數以加入。(詳 pp.5-11~5-13)

計畫名稱：110 年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及空品預報計畫

委辦單位：台灣綠仕科技有限公司

期末報告意見回覆/修正對照表

林伯雄 委員	
審查意見	回覆
一、年度期末報告之執行進度以及報告書撰寫格式，大致皆符合合約之要求，應予以肯定。	感謝委員。
二、第三章 PM _{2.5} 採樣分析之 QA/QC 之數據，建議予以明確實現，另若有異常數據處理流程，亦一併呈現與協力廠商之分工。	PM _{2.5} 管道採樣 QA/QC 數據檢附於附錄七，異常數據由出具檢測報告實驗室負責。
三、第五章數位影像技術解析度能見度之方法依據及可能誤差及干擾因素，並明確提到校正方法、頻率。	解析方法的可能誤差及干擾因素包括參考標的物、天氣型態、太陽條件等等 (Liaw et al., 2020)。每月執行一次鏡頭偏移校正檢查，確保解析參考點位置一致性。
四、同上第五章數據與 PM _{2.5} 測站數據之連結相關性分析，請補充說明於報告中 (例如參考文獻 Liaw et al., 2020)。	<p>經統計弘光站能見度公里數與 PM_{2.5} 相關係數 R² 僅 0.12，因此，不納入期末報告內文。相關係數 R² 為 0.12 與參考文獻 (Liaw et al., 2020) 差異大，此與觀測地點、統計方法及數據篩選方式不同有關，另相關性太低的原因，推測與能見度取自弘光科大西面之結果，而 PM_{2.5} 取自位在弘光科大北面沙鹿站資料，不同方向所致。</p>  <p>弘光能見度與沙鹿站PM_{2.5}相關性</p> <p>Y</p> <p>X</p> <p>$y = -0.1101x + 21.186$</p> <p>$R^2 = 0.12$</p>
五、PM ₁ 之採樣流程建議納入國際期刊之文獻作為參考，並比較與 NIEA A205.11C 方法差異，此外 Sobel 檢測影像及高頻篩分法亦需納入參考文獻 (例如是否為 Jin et al.2008)。	<p>國際期刊大多採用多分道採樣器，採集不同粒徑進行分析，而本計畫 PM₁ 採集的管路設計與環保署 PM₁ 自動監測管路設計相同。</p> <p>經檢視 Sobel 檢測影像及高頻篩分法參考文獻為 Jin et al., 2008。</p>

林伯雄 委員																													
審查意見	回覆																												
六、未來可將成分分析數據資料庫建立臺中各區域之指紋比對，及季節性變化，對於污染源判定以及減量策略，擬定有所助益。	感謝委員寶貴意見。																												
七、山海屯之影像解析與短距式能見度儀相關性分析，建議先進行常態分布檢驗，若不符 Normal distribution，應先轉換，例如以 Natural log 轉換後再進行線性迴歸分析。	檢視結果烏日站結果屬於非常態分布，進行 Natural log 轉換後再進行線性迴歸分析結果如圖 5.1.7 所示（詳 p.5-8）。																												
賴進興 委員																													
審查意見	回覆																												
一、消光係數之日變化，峰值在上午；此與林文印教授在高雄調查的結果一致嗎？	林文印教授團隊調查高雄的結果顯示：夏、秋季各時段（清晨、上午、下午、晚上）消光係數差不多；春（3 月～5 月）、冬季（10 月、11 月）清晨和上午有較高消光係數，與本計畫皆以上午消光係數最高，略有不同。																												
二、4/15～10/31 分析海區多屬於「靄」之情況，分析量測相關氣象因子與 p.6-27 圖卡之科普知識一致嗎？	靄的分類是依照科普知識中的分類統計，兩者一致。																												
三、數位影像判別能見度，判別「再現性」的誤差狀況為何？	再現性的誤差與視程與視覺間之迴歸式的結果相近，約在 50%～60%的再現性，誤差來源包括影像參考點背景條件穩定性（是否受山嶺雲霧、海霧影響）、太陽條件（陽光入射的干擾）、天氣型態（晴天、雨天）干擾等等。																												
四、后里焚化爐 FPM 成份分析，以氯離子占比最高，此焚化爐生成戴奧辛是否較高？	<p>垃圾組成複雜且變異大，本計畫檢測 FPM 的同時並未檢測戴奧辛；經調閱 108 年～110 年后里、烏日及文山焚化爐資料，后里焚化爐戴奧辛並無較高之情況。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>焚化爐</th> <th>爐別</th> <th>樣本數 (N)</th> <th>戴奧辛 (ng-TEQ/Nm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">后里</td> <td>1</td> <td>5</td> <td>0.009±0.003</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>6</td> <td>0.005±0.001</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">文山</td> <td>1</td> <td>6</td> <td>0.014±0.005</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>6</td> <td>0.023±0.015</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>5</td> <td>0.053±0.036</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">烏日</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>0.016±0.006</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3</td> <td>0.009±0.001</td> </tr> </tbody> </table>	焚化爐	爐別	樣本數 (N)	戴奧辛 (ng-TEQ/Nm ³)	后里	1	5	0.009±0.003	2	6	0.005±0.001	文山	1	6	0.014±0.005	2	6	0.023±0.015	3	5	0.053±0.036	烏日	1	2	0.016±0.006	2	3	0.009±0.001
焚化爐	爐別	樣本數 (N)	戴奧辛 (ng-TEQ/Nm ³)																										
后里	1	5	0.009±0.003																										
	2	6	0.005±0.001																										
文山	1	6	0.014±0.005																										
	2	6	0.023±0.015																										
	3	5	0.053±0.036																										
烏日	1	2	0.016±0.006																										
	2	3	0.009±0.001																										

賴進興 委員	
審查意見	回覆
五、祥祐資源主要以燃燒溶劑，因而 FPM 或 CPM 均較一般焚化爐為高，主要原因為何？	檢測數值 FPM 高推測與防制設備操作條件有關，CPM 高則與煙氣中含硫份較高有關，已知含硫物質較高，冷凝過程硫酸根增加。
六、未來計畫排放管道測重金屬成分，若考量以鄰近居民健康為出發點，建議增測 Cr (VI)。	委員寶貴意見轉呈空噪科納入考量，評估是否由固定污染計畫或有害空氣污染物調查計畫執行。
方國權 委員	
審查意見	回覆
一、未見 2021 之中英之文獻。	已加入 2021 英之文獻（詳 p.2-34、p.7-12）。
二、p.9-1 請說明后里焚化爐及烏日焚化爐 FPM 金屬成分不同之原因。	FPM 金屬成分不同，與垃圾特性有關，且兩座焚化爐採樣年度不同（分別為 110 年及 106 年）。依據臺灣地區各類焚化爐調查之文獻（吳義林，1997）指出在焚化過程所產生的金屬含量，視垃圾的品質而異。
三、請以瀏覽次數說明科普/政策短片之目前效益。	科普/政策短片在 9 月 1 日開始，目前 LINE 頻道因尚未導流，致瀏覽次數不如預期，已在 12 月 17 日由市府 LINE 導流，目前點閱人數持續成長中。
四、p.8-4 之三之 3，提及抑制硫酸鹽的增長有助於能見度之提升，具此，是否有更具體之建議給臺中市環保局。	p.8-4 之三之 3，「抑制硝酸根」誤植為「抑制硫酸根」，修正稿中已予更正。而減少硝酸根增長有提出具體建議於第九章的建議中（詳 p.8.4）。
五、p.8-3 之表 8.3 僅以龍井之手動 PM ₁ 及污染物濃度與大里相較，雖於不同年度，其值均為最低？	此與大里站（4 月、7 月~11 月）而龍井站大多在非空污季採樣（4 月~10 月），濃度相對較低有關。

方國權 委員	
審查意見	回覆
六、p.5-19 之圖 5.3.3 請說明北屯、烏日及弘光能見度大於 20km 天數之差異及可能原因。	差異來源與影像參考點背景穩定性有關，例如：弘光位在大肚山頂，俯瞰海拔較低的台中火力發電廠的煙囪為俯視角度；北屯與烏日位在平地，是以仰視角度看遠方山脈，在氣象條件變化下山、海背景是誤差的可能原因。
七、簡報資料中提及大里之 OC 所占之比例大於硫酸根，其可能原因為何？請補充說明貴公司是否有具體建議。	大里 OC 經參考文獻李崇德教授以同位素污染追蹤法發現其碳來源為現代碳，而非古代碳。現代碳來自生質燃燒貢獻，古代碳來自燃油或燃煤，前期計畫也發現當大里地區微粒組成分析到高有機碳的占比時，通常是民俗上拜土地公的日子，顯然受到燃香及燃燒金紙的影響，此也呼應李崇德教授團隊的研究結果。
八、簡報資料中提及吸光效應的 29%，黑碳應先改善，其具體建議為何？	黑碳主要貢獻為柴油機具排煙、柴油車廢氣、家用木柴燃燒、森林大火等，對屬於都會區的臺中市而言，柴油機具及柴油車廢氣管制應優先予以管制。
九、簡報之未來工作建議已具方向雛形，未來建議能有更具體的減量管制策略給臺中市環保局。	感謝委員寶貴意見，提出具體的減量策略彙整於 9.2 節（詳 p.9-3）。
趙技正重周	
審查意見	回覆
一、p.3-4 表 3.2.1 后里焚化爐防制設備請再確認。	已更正，加入袋式集塵器（詳 p.3-4）。
二、PM ₁ 來源管制方向指向電廠，應有參考依據，若無，不建議寫出。	此為國際期刊 Yu et al. (2018) 研究結果，中國政府在杭州舉辦 G20 高峰會期間，先關閉電廠數日，再依序強制車輛禁行及關閉石化廠，實測結果顯示燃煤電廠減排抑制次微米微粒（PM ₁ ）的增長，而在車輛和 VOC 工廠減排期間，PM ₁ 並未明顯下降，是因為車輛和 VOC 工廠排放屬於更小粒徑的顆粒，未能反應在 PM ₁ 減量上。
三、計畫至 10 月底工項達成率 69.4%，未達 p.1-9，表 1.6.1 預定進度 76%，請計畫掌握工作進度。	因相關計畫起始日於 3 月 11 日開始，故部分工項需扣除，目前執行情形皆有按照進度執行中。

趙技正重周	
審查意見	回覆
四、p.5-5 圖 5.1.5，請增加能見度攝影機拍攝方向指標。	已加入拍攝方向指標（詳 p.5-5）。
空噪科審查意見：	
審查意見	回覆
一、p.4-31 小結針對有效管制措施，是否有建議減少排放之具體比例或量化。	NO _x 減排應以總排放量高低作為先後順序，TEDS11.0 之 NO _x 排放量前十大行業別中，以大貨車排放量 30.71% 最高，其次為電力業 27.88%，再次為鋼鐵業 7.89%；大貨車方面應優先汰換 1 期~3 期老舊柴油車，以 4 期~5 期車為主，未來朝使用電動大貨車方向推動；電力業已全面採用低氮燃燒器及廢氣脫硝防制設備，未來可朝要求其防制設備效能最佳狀態下運轉；鋼鐵業亦應全面要求使用低氮燃燒器及廢氣脫硝防制設備來抑制 NO _x 排放（詳 p.4-27 及 p.4-32）。
二、p.4-24 秋季 PM ₁₀ 成分分析結果顯示硫酸根濃度高，惟春秋兩季樣品數量較少，其可參考有效性，是否有差異？	樣品數量較少的確會影響代表性，可參考性相對較低。待秋季 11 月高污染季節之樣品納入統計後，可針對較完整的夏、秋季比較差異。
三、p.5-10 能見度分級除分析大於 20km 之日數統計，未納入其他日數能見度（km）分布情形，請補充納入討論。	已補充於期末報告圖 5.3.4 中（詳 p.5-20）。
四、本計畫於龍井分析出硝酸根散光效率最高，目前看起來與先前大里區分析結果一致，其樣品分析數量是否有影響？	根據 2018 年蕭大智教授團隊在臺中市西屯區（監測地點為東海大學）的調查，結果顯示能見度劣化時，硝酸鹽明顯增加，大里地區與龍井結果一樣，推論硝酸根散光效率高應該是臺中地區的特徵。

第一章 計畫說明

—章節摘要—

本章主述 110 年臺中市細懸浮微粒與能見度分析及空品預報計畫之成案緣由，包含主要工作內容、執行流程、各期查核重點以及執行現況，分項工作均依預計進度執行，無任何落後情形發生。

1.1、計畫緣起

細懸浮微粒($PM_{2.5}$)可穿透肺部肺泡進入血管，隨血液循環全身危害人體健康，增加患病率及減少壽命， $PM_{2.5}$ 也是導致能見度降低的主因，是目前民眾最重視之指標污染物之一。

行政院環境保護署（簡稱環保署）於民國94年8月完成全臺76個空氣品質監測站設置，並增加 $PM_{2.5}$ 自動監測項目，以掌握 $PM_{2.5}$ 濃度變化。民國101年5月14日修正公告空氣品質標準，正式將 $PM_{2.5}$ 納入空氣品質標準。民國102年1月增設30站 $PM_{2.5}$ 手動採樣監測站，空氣品質從過去專注懸浮微粒（ PM_{10} ）污染，進入重視細懸浮微粒（ $PM_{2.5}$ ）污染的階段。

$PM_{2.5}$ 成因複雜，如：電廠、石化廠、煉鋼廠、汽機車、營建工程與裸露揚塵等，皆會排放原生性與產生衍生性 $PM_{2.5}$ 於環境中。欲有效控制 $PM_{2.5}$ 污染，需明瞭其生成機制，調查其組成與前驅物的成分及濃度相對地非常重要。臺中市政府環境保護局積極配合 $PM_{2.5}$ 管制，101年開始即系統性地進行全市 $PM_{2.5}$ 成分調查，包括：增設 $PM_{2.5}$ 自動監測設施、設置 $PM_{2.5}$ 成分監測站……等；污染源方面，自102年起對轄內固定源、逸散源及移動源建立污染指紋及排放係數，建置本市 $PM_{2.5}$ 排放清冊，作為 $PM_{2.5}$ 管制基礎。105年開始加入生活周遭 $PM_{2.5}$ 量測調查工作，最近三年發展分區空氣品質預報，透過空品預報訊息，當空品有惡化之虞時，提前48小時啟動預警工作，遏止空品不良。

臺中市 $PM_{2.5}$ 值逐年下降，109年本市 $PM_{2.5}$ 值下降至 $15.4 \mu g/m^3$ ，相較103年的 $27.0 \mu g/m^3$ ，改善率已達43%，然而，民眾將能見度與空氣品質畫上等號，對能見度改善仍不滿意，認為只是數據上的改善，並非真正改善空污。能見度不只與天候有關，也與空氣品質密切相關，現今，民眾普遍直接以能見度作為空污改善的指標。事實上，能見度會隨著觀測地點的微粒物理化學特性而不同，施政單位須探究能見度不良之成因，著重於能見度的改善，以提高民眾對於施政的有感度。

1.2、計畫目標

- 一、本市高污染區域細懸浮微粒（PM_{2.5}）成分調查，作為評估重大污染源管制效益及管制方向修正。
- 二、針對本市空氣品質及天氣變化預測，預測臺中市分區空氣品質，空氣品質超過標準時提出預警，作為提前啟動應變計劃之參考，提供民眾防護及空氣品質不良預警並適時發布應變成效。
- 三、分析影響本市能見度之細懸浮微粒（PM_{2.5}）及次微米微粒（PM₁）成分、粒徑大小、解析能見度不良與微米微粒成因，建立臺中市分區能見度影像資料庫。

1.3、預期效益

- 一、微粒成分調查配合散光、吸光及粒徑量測，解析微粒對能見度影響，提出本市能見度改善對策。
- 二、空品不良前間，提前 48 小時啟動預警工作，遏止空品惡化，並發布科普/政策短片及科普圖卡培養民眾對於空氣的基本認知。
- 三、持續建置臺中市管道 PM_{2.5} 排放清冊。

1.4、工作項目

- 一、蒐集及調查環境背景資料：
 - （一）調查蒐集國內外文獻有關細懸浮微粒（PM_{2.5}）及次微米微粒（PM₁）成分及污染管制策略相關資料、差異分析及建議。
 - （二）彙整過去 3 年各縣市及本市有關細懸浮微粒（PM_{2.5}）及次微米微粒（PM₁）監測地點及結果，並提出分析報告，包含盛行風向、風速、降雨量及熱區分布差異等分析。
- 二、辦理本局重要管制：
 - （一）本計畫相關工作項目近 3 年執行之「計畫成果亮點分析」，如重點工作、執行成果及特色作法，分析其成效全國比較或歷年比較。
 - （二）辦理本計畫 110 年空氣污染防制計畫書目標之工作項目。
 - （三）計畫各項作業依據本局既有標準作業程序執行；應於簽約後 1 個月內

完成各項分析、調查及預報工作之標準作業程序修訂，並依修訂後之標準作業程序執行。

三、排放管道採樣及成分分析：

- (一) 本市固定污染源排放管道 PM_{2.5}採樣分析 3 根次，管道檢測單位需取得環檢所 TSP、FPM 及 CPM 之標準方法認證，檢測對象需報本局同意。
- (二) 以 NIEA A212.11B 方法和 NIEA A214.71C 或最新公告方法，進行煙道 PM_{2.5}採樣，測項包括：過濾性微粒 (Filterable Particulate Matter，簡稱 FPM)、凝結性微粒 (Condensable Particulate Matter，簡稱 CPM)，並建立 FPM 及 CPM 排放係數及比例關係，推估該管道 PM_{2.5}年排放量，納入本市 PM_{2.5}排放清冊。
- (三) 排放管道採集之 FPM 需進行成分分析，分析項目包括：OC、EC、硫酸鹽、硝酸鹽、氯鹽、鈉鹽、銨鹽、鉀鹽、鎂鹽、鈣鹽……等陰陽離子成分，其中，金屬成分分析需以感應耦合電漿質譜儀 (ICP-MS) 進行，建立固定污染源排放管道 PM_{2.5}排放指紋資料。
- (四) 相關檢測報告應於採樣次日起 30 日內提送，如提送日遇假日則順延至工作日提交。
- (五) 本工作項目依實際執行檢測點次進行給付，不加計懲罰性違約金。

四、能見度影像資料庫建置：

- (一) 本市山、海、屯各擇一適當制高點架設戶外攝影機，每小時擷取影像資料至少 4 筆，自動傳輸至影像資料庫。同時，整合臺中市境內既有之空品站環境影像資料 (如環保署、環保局)，透過影像資料庫建置，作為能見度改善成效之參考。戶外攝影機需為新品，規格如下：
 1. 解析度為 1920 x 1080 p (含) 以上
 2. 25 倍光學變焦鏡頭需涵蓋 $f = 4.8 \sim 120 \text{ mm}$ ，光圈涵蓋 $F 1.6 \sim 4.4$ (含) 以上。
 3. 最低照度：彩色 0.05Lux、 $F1.6$ ；黑白：0.005Lux、 $F1.6$ ；0Lux、 $F1.6$ (紅外線開啟)
 4. 操作溫度： $-20 \sim 50^\circ\text{C}$ (含) 以上。
 5. 防水等級：IP66 (含) 以上。
 6. 介面：需具 TCP/IP (網路方式) 並提供網路供電設備 (PoE Injector) 1 埠 (含) 以上。

7. 含運轉所需網路線、電力線路與傳輸線材、支架及其他所需料件。
 8. 具移動偵測錄影功能，支援H.265壓縮技術。
 9. 具PTZ模式，支援定點巡航。
- (二) 廠商需負責場地現勘、場地租用、硬體設備安裝、軟體安裝、配線、電費、傳輸費、攝影機定期維護、影像傳輸至資料庫等，本局提供必要行政協助，不另支費用。定期維護及不定期檢修配合事項說明如下：
1. 每雙週執行鏡頭清潔及線路檢查。
 2. 戶外攝影機有影像晃動、位置偏移或管線鬆脫等情形，廠商需於本局通知日起，2日內到站檢修至恢復原有功能。
 3. 每月15日（含）提交維護報告，含維護紀錄、影像獲取率並歸納摘要說明3處影像之差異。
- (三) 期中及期末報告中對能見度影像資料予以分類，比較山、海、屯能見度好壞並提出差異說明，提供本局對外說明能見度改善之依據。

五、微粒粒徑、散光性、吸光性及化學組成調查：

為瞭解本市導致能見度不良成因，進行微粒粒徑、散光及吸光特性，調查地點由本局指定，年度調查地點更動次數以不超過 1 次為原則，廠商需使用足以符合設備需求之空調站房，讓儀器正常運轉，相關作業如站房吊搬、施工、資料傳輸費用、電費、場地租用費……等由廠商負責，本局提供行政支援，但不另支付費用。

- (一) 微粒粒徑調查使用之設備儀器需為 1 年內新品，相關規範如下：
1. 量測方式：自動且連續採樣、分析。
 2. 粒徑量測範圍：至少涵蓋 $0.3\sim 10\ \mu\text{m}$ ，粒徑區段至少10階。
 3. 偵測極限：各階監測濃度極限至少為 $0.1\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
 4. 操作電力：110~120V，50~60Hz。
 5. 採樣系統：含採樣管及幫浦。
 6. 輸入/輸出：具有類比或數位輸出功能，可以網路方式傳輸至資料蒐集系統。
- (二) 微粒散光調查使用之設備儀器需為 1 年內新品，相關規範如下：
1. 測量參數：450、525 和 635奈米光波段下的全向散射係數及背向散射係數。

2. 散射係數測定範圍：0~20000 Mm^{-1} 。
 3. 最低偵測極限（LDL）： $\leq 0.3 \text{ Mm}^{-1}$ 。
 4. 光源：穩定的LED光源。
 5. 光散射角度：全向散射9~170度、後向散射90~170度。
 6. 採樣速率：5 slpm。
 7. 輔助量測項：採樣管內空氣溫度、濕度、壓力、機艙溫度。
 8. 操作濕度範圍：10~95%。
 9. 操作電力：110~120V，50~60Hz。
 10. 具自動溫度及壓力補償功能。
 11. 具自動零點及全幅檢核功能。
 12. 具自動光學參考校正功能。
 13. 具外置泵浦控制組件。
 14. 配置 PM_{10} 篩分器。
 15. 輸入/輸出：具有類比或數位輸出功能，可以網路方式傳輸至資料蒐集系統。
- (三) 微粒吸光調查使用之黑碳監測設備儀器需為 1 年內新品，相關規範如下：
1. 量測方式：自動且連續採樣分析。
 2. 分析原理：以量測黑碳的吸光係數（光學衰減）為原理。
 3. 分析波長：連續自動量測在濾紙的黑碳濃度，至少能進行370、375nm及880nm波長的量測。
 4. 資料儲存：內建資料儲存器，並可使用USB隨身碟複製下載觀測數據，資料儲存時間至少可儲存30天以上。
 5. 操作電壓：110~120V，50~60Hz。
 6. 配置 $\text{PM}_{2.5}$ 採樣頭及採樣入口控濕乾燥系統。
 7. 輸入/輸出：具有類比或數位輸出功能，可以網路方式傳輸至資料蒐集系統。
- (四) 微粒採樣器維護與操作； PM_{10} 採樣器 2 台由本局提供，廠商需負責採樣器之安裝、定期維護及零件耗材更換，簽約日起 2 個月內進行現勘

作業，提交安裝地點、安裝作法，經本局同意後始得安裝。廠商負責需負責場地租用費、電費，本局提供必要行政協助，不另支費用。

1. 每月月維護一次，包括清潔濾紙匣、清潔PM₁₀篩分器、清潔採樣頭、V型密封圈的清洗和更換、洩漏測試、溫度比對、壓力比對、流量校正（標準±4%）。
 2. 每季維護一次，包括環境溫度校正、濾紙溫度校正、壓力校正、流量校正（標準±4%）、時間校準。
 3. 每半年維護一次，包括更換採樣頭O-ring、PM₁₀篩分器 O-ring、更換採樣馬達過濾器、更換質子流量控制器過濾器。
 4. 廠商應自備標準品如標準溫度計、標準壓力計、標準流量計，並送至TAF校正實驗室追溯校驗，追溯校驗證明之效期需符合本計畫執行期程。
 5. 定期（3/15、6/15、9/15、12/15）提交定期維護紀錄。
- （五）配合本局環境檢驗科指定日期進行 PM₁₀ 採樣，年度樣品量需達 40 點次，每一點次樣品包含鐵氟龍濾材及石英濾材共 2 張濾紙，品保品管作業程序依本局環境檢驗科之規定執行。
1. 放樣、收樣程序需依循NIEA A205.110C方法辦理，放收樣填寫相關文件紀錄備查，並檢附工作使用之流量計、溫度計等之追溯校正資料，每季作成紀錄備查。
 2. 鐵氟龍濾材樣品送至本局環境檢驗科進行水溶性陰、陽離子及重金屬組成分析；石英濾材樣品分析由廠商負責，須以熱光反射法（Thermal Optical Reflectance, TOR）分析樣品中有機碳（OC）和元素碳（EC）含量。
- （六）期中、期末報告需彙整國內外有關能見度、微粒粒徑、散光與吸光之文獻及研究報告，並納入環檢科 PM₁₀ 成分分析資料，綜合比較本市與其他城市的差異，並研析其特性對本市能見度影響，提出改善本市能見度建議，作為本局相關改善策略之評估。

六、每日空品預報及播送

- （一）每日針對臺中市預測空氣品質變化，預測本市未來 48 小時分區空品狀況，在預測空品不良時，通知本局據以因應。每日錄製之空品預報影音檔，如中央氣象局有特殊天氣（包括熱浪、寒流、能見度、颱風等）

警示，得納入短片內容，影音檔需於下午 5 時前提供連結供點閱。

- (二) 空品預報影音檔內容及格式需經本局同意後使可採用，並依本局需求不定期更換播報版本。
- (三) 履約期間每日(日曆天)，如預報隔日 AQI 達空品不良情形，則配合主動提報相關圖卡，供本局發布使用。另需配合本局應變工作提供事示警圖卡，本局得以任何形式(電話、Line)交辦，接獲本局指示後需於 1 小時內提供，並適時提供 AQI 情資分析。
- (四) 應按月提供與署測站監測值之準確率分析報告，並於次月 15 日前(含)提報。年度平均總體準確率須達 74%以上，如因環保署測站數據問題，則不納入整體準確率計算亦不予扣罰。
- (五) 建置臺中市空品預報 LINE 官方帳號，空品相關資訊配合局端需求整合發布，以利民眾瞭解空氣品質及市府局處之應變作為，建置前需提交規劃書，經本局同意始得執行。廠商應負責帳號申請、主題設計(LOGO、選單)、圖卡設計與繪製、社群經營與管理，本局可提供必要行政協助，但不另支費用。
- (六) 另於 9 月~12 月運作期間，須製作提供 4 則科普/政策短片，32 則科普圖卡，並依預算法第 62 條之 1 規定辦理。(備註：圖卡需供「台中好環保 Facebook」使用)

七、計畫期間應按月提交工作月報，其內容包括工作事項、工作進度、工作人數等，並於次月 5 日前(含)提報。

1.5、工作執行流程

本計畫範疇涵蓋兩部分：一、延續性工作，包括建置本市管道PM_{2.5}排放清冊、本市空氣品質分區預報及預警工作兩項；二、非延續性工作，包括調查微粒特性對能見度之影響、製作科普/政策短片及科普圖卡，與建置臺中市空品預報LINE官方帳號，工作流程圖如圖1.5.1所示。

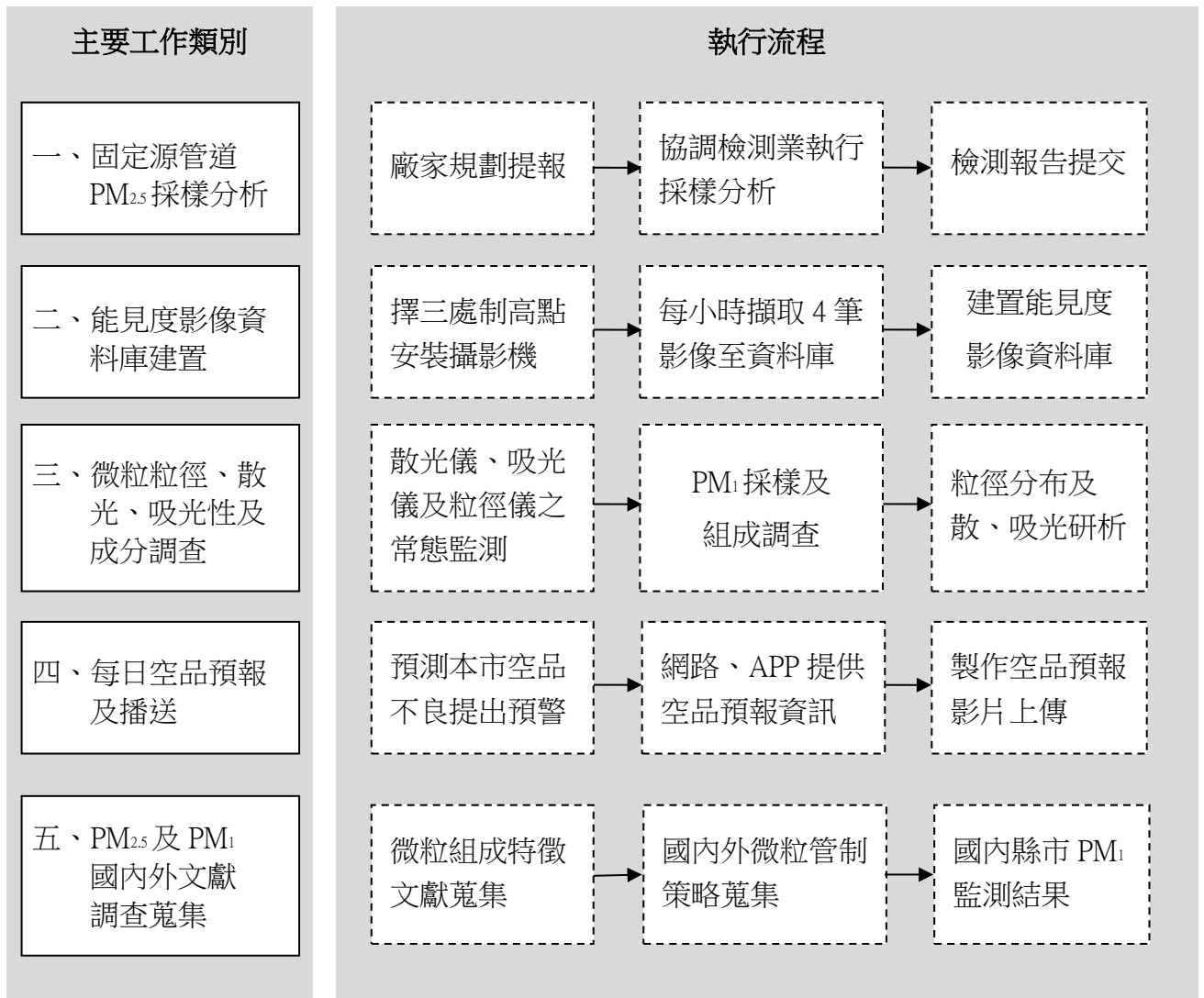


圖 1.5.1、工作執行流程概要圖

1.6、經費、工作進度與報告章節對照

計畫經費1,280萬元，計畫期程自110年3月11日起至110年12月31日止，表1.6.1為本計畫工作進度表及查核點，表1.6.2為工作進度及考核點一覽表，計畫執行進度達合約要求，各項工作成果之章節對照如表1.6.3。

表 1.6.1、本計畫進度及查核點一覽表 (1/3)

工作內容項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	年別	110年									
	月份	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. PM ₁₀ 採樣及質量分析			■	■	■	■	■	■	■	■	■
2. PM ₁₀ 碳組成分析			■	■	■	■	■	■	■	■	■
3. 採樣器定期維護及場租電費		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4. 排放管道PM _{2.5} 採樣分析					■		■		■		
5. 能見度影像解析		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6. 微粒粒徑自動連續監測			■	■	■	■	■	■	■	■	■
7. 微粒散光自動連續監測			■	■	■	■	■	■	■	■	■
8. 微粒吸光自動連續監測			■	■	■	■	■	■	■	■	■
9. 監測儀器站房租用			■	■	■	■	■	■	■	■	■
10. 空品每日AQI預報		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
11. 空品科普/政策短片									■	■	■
12. 空品科普圖卡									■	■	■
13. 空品行銷之LINE建置與經營						■	■	■	■	■	■
14. 蒐集調查環境背景資料		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
15. 期中、期末報告						■				■	
預定進度累積百分比 (%)		8.0	18.0	26.0	34.0	40.0	52.0	64.0	76.0	88.0	100.0

備註：■ 表示已完成，□ 表示未完成

續表 1.6.1、本計畫進度及查核點一覽表 (2/3)

查核點	預定完成時間	查核點內容說明
1	110年06月10日 檢具成果紀錄 辦理第一期請款	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成戶外攝影機系統架設 3 組 2. 安裝場地租用、電費及傳輸費用 (依實際量) 3. 空品影像整合 (依實際量) 4. 本市能見度調查結果分級與差異分析報告 (依實際量) 5. 完成排放管道 PM_{2.5} 採樣及分析 (依實際量) 6. 完成微粒散光自動連續監測 (依實際量) 7. 完成微粒粒徑自動連續監測 (依實際量) 8. 完成微粒吸光自動連續監測 (依實際量) 9. 監測儀器站房租用 (依實際量) 10. 完成微粒化學成分調查採樣 (依實際量) 11. 手動採樣器維護與檢修 (依實際量) 12. 監測數據彙整分析及管制策略評估研擬報告 (依實際量) 13. 空氣品質及氣象預測及預報 (依實際量) 14. 空品行銷之 LINE 建置與經營 (依實際量)
2	110年07月15日	提送期中報告初稿
3	110年11月04日 檢具成果紀錄 辦理第二期款請領	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安裝場地租用、電費及傳輸費用 (依實際量) 2. 空品影像整合 (依實際量) 3. 本市能見度調查結果分級與差異分析報告 (依實際量) 4. 完成排放管道 PM_{2.5} 採樣及分析 (依實際量) 5. 完成微粒散光自動連續監測 (依實際量) 6. 完成微粒粒徑自動連續監測 (依實際量) 7. 完成微粒吸光自動連續監測 (依實際量) 8. 監測儀器站房租用 (依實際量) 9. 完成微粒化學成分調查採樣 (依實際量) 10. 手動採樣器維護與檢修 (依實際量) 11. 監測數據彙整分析及管制策略評估研擬報告 (依實際量) 12. 空氣品質及氣象預測及預報 (依實際量) 13. 空品行銷之 LINE 建置與經營 (依實際量)
4	110年11月20日	提送期末報告初稿

續表 1.6.1、本計畫進度及查核點一覽表 (3/3)

查核點	預定完成時間	查核點內容說明
5	110年12月31日 檢具成果紀錄 辦理第三期款請領	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安裝場地租用、電費及傳輸費用 3 處 2. 空品影像整合 1 式 3. 本市能見度調查結果分級與差異分析報告 1 式 4. 完成排放管道 PM_{2.5} 採樣及分析 (依實際量) 5. 完成微粒散光自動連續監測 10 站月 6. 完成微粒粒徑自動連續監測 10 站月 7. 完成微粒吸光自動連續監測 10 站月 8. 監測儀器站房租用 10 站月 9. 完成微粒化學成分調查採樣 40 點次 10. 手動採樣器維護與檢修 10 月次 11. 監測數據彙整分析及管制策略評估研擬報告 1 式 12. 空氣品質及氣象預測及預報 365 日 13. 9 月至 12 月運作期間，需製作提供 4 則科普/政策短片， 32 則科普圖卡 14. 空品行銷之 LINE 建置與經營 1 式

表 1.6.2、工作實際進度及考核點 (1/3)

契約書之預定進度累積百分比 (%)		100.0			實際執行進度 (%)	96.1	
工作內容項目	實際執行情形	差異分析 (打√)			落後原因	困難檢討及對策	預計改善完成日期
		符合	落後	超前			
1. 戶外攝影機系統架設 (3 組)	完成 3 組, 達成率 100%	✓			無		
2. 安裝場地租用、電費及傳輸費用 (3 處)	完成 3 處, 達成率 100%	✓			無		
3. 空品影像整合 (1 式)	完成 1 式, 達成率 100%	✓			無		
4. 本市能見度調查結果分級與差異分析報告 (1 式)	完成 1 式, 達成率 100%	✓			無		
5. 排放管道 PM _{2.5} 採樣及分析 (3 根次)	完成 3 根次, 達成率 100%	✓			無		
6. 微粒散光自動連續監測 (10 站月)	完成 9 站月, 達成率 90%		✓		計畫招標 延遲所致		
7. 微粒粒徑自動連續監測 (10 站月)	完成 9 站月, 達成率 90%		✓				
8. 微粒吸光自動連續監測 (10 站月)	完成 9 站月, 達成率 90%		✓				
9. 監測儀器站房租用 (10 站月)	完成 9 站月, 達成率 90%		✓				
10. 微粒化學成分調查採樣 (40 點次)	完成 40 點次, 達成率 100%				無		
11. 手動採樣器維護與檢修 (10 月次)	完成 10 月次, 達成率 100%	✓			無		
12. 監測數據彙整分析及管制策略評估研擬報告 (1 式)	完成 1 式, 達成率 100%	✓			無		
13. 空氣品質及氣象預測及預報 (365 日)	完成 296 日, 達成率 81.1%		✓		計畫招標 延遲所致		
14. 9 月~12 月運作期間, 需製作提供 4 則科普/政策短片, 32 則科普圖卡	短片完成 4 則, 達成率 100% 科普圖片 32 則, 達 100%	✓			無		
15. 空品行銷之 LINE 建置與經營 (1 式)	完成 1 式, 達成率 100%	✓			無		

續表 1.6.2、工作實際進度及考核點 (2/3)

查核點	預定完成時間	查核點內容說明 (工作項目之相關文件)
查核點一	110年6月10日	完成戶外攝影機系統(3組)、完成安裝場地租用、電費及傳輸費用(依實際量)、完成空品影像整合(依實際量)、完成本市能見度調查結果分級與差異分析報告(依實際量)、完成排放管道PM _{2.5} 採樣及分析(依實際量)、完成微粒散光自動連續監測(依實際量)、完成微粒粒徑自動連續監測(依實際量)、完成微粒吸光自動連續監測(依實際量)、完成監測儀器站房租用(依實際量)、完成微粒化學成分調查採樣(依實際量)、完成手動採樣器維護與檢修(依實際量)、完成監測數據彙整分析及管制策略評估研擬報告(依實際量)、完成空氣品質及氣象預測及預報(依實際量)、9月至12月運作期間,須製作提供4則科普/政策短片,32則科普圖卡(累積完成0則短片0則圖卡)、空品行銷之LINE建置與經營(依實際量)、提送成果摘要、成果報告及成果光碟。
查核點二	110年7月15日	提送期中報告
查核點三	110年11月4日	完成安裝場地租用、電費及傳輸費用(依實際量)、完成空品影像整合(依實際量)、完成本市能見度調查結果分級與差異分析報告(依實際量)、完成排放管道PM _{2.5} 採樣及分析(依實際量)、完成微粒散光自動連續監測(依實際量)、完成微粒粒徑自動連續監測(依實際量)、完成微粒吸光自動連續監測(依實際量)、完成監測儀器站房租用(依實際量)、完成微粒化學成分調查採樣(依實際量)、完成手動採樣器維護與檢修(依實際量)、完成監測數據彙整分析及管制策略評估研擬報告(依實際量)、完成空氣品質及氣象預測及預報(依實際量)、9月至12月運作期間,須製作提供4則科普/政策短片,32則科普圖卡(累積完成0則短片0則圖卡)、空品行銷之LINE建置與經營(依實際量)、提送成果摘要、成果報告及成果光碟。
查核點四	110年11月20日	提送期末報告

續表 1.6.2、工作實際進度及考核點 (3/3)

查核點	預定完成時間	查核點內容說明 (工作項目之相關文件)
查核點五	110 年 12 月 31 日	完成安裝場地租用、電費及傳輸費用 (3 處)、完成空品影像整合 (1 式)、完成本市能見度調查結果分級與差異分析報告 (1 式)、完成排放管道 PM _{2.5} 採樣及分析 (依實際量)、完成微粒散光自動連續監測 (10 站月)、完成微粒粒徑自動連續監測 (10 站月)、完成微粒吸光自動連續監測 (10 站月)、完成監測儀器站房租用 (10 站月)、完成微粒化學成分調查採樣 (40 點次)、完成手動採樣器維護與檢修 (10 月次)、完成監測數據彙整分析及管制策略評估研擬報告 (1 式)、完成空氣品質及氣象預測及預報 (365 日)、9 月至 12 月運作期間, 須製作提供 4 則科普/政策短片, 32 則科普圖卡 (累積完成 4 則短片 32 則圖卡)、空品行銷之 LINE 建置與經營 (1 式)、提送成果摘要、成果報告及成果光碟。

表 1.6.3、各項工作成果概要與報告章節對照

工作內容項目	報告內容	報告章節
1. 排放管道採樣及成分分析	完備本市固定源 PM _{2.5} 排放清冊，包括 FPM 及 CPM 排放濃度化學成分與比例，作為本市管制及污染溯源的基礎。	第三章 管道 PM _{2.5} 採樣分析 附錄五 PM _{2.5} 排放清冊 附錄七 管道 PM _{2.5} 檢測報告
2. 能見度影像資料庫建置	於本市山、海、屯各擇一適當制高點架設戶外攝影機，自動傳輸至影像資料庫。 除建置影像資料庫並將能見度分類，長期執行後作為能見度改善之參考。	第五章 應用數位影像技術解析能見度
3. 微粒粒徑、散光性、吸光性及化學組成調查	呈現粒徑監測及消光係數監測情形，瞭解其變化特徵及趨勢，並提出提升能見度之管制作法。	第四章 微粒粒徑、成分調查與管制 附錄四 環境 PM ₁ 檢測數據
4. 每日空品預報及播送	提前 48 小時空品預報，提供空品不良緊急應變措施之參考，同時由動畫短片提供分區空氣品質預報，讓民眾及居家及外出規劃上，有充足資訊及早防範空氣品質轉變。 110 年 9 月起營運之官方 LINE 帳號，作為傳遞空品訊息及知識之途徑。	第六章 每日空品預報及播送 附錄六 空氣品質預報影音連結
5. 蒐集調查環境背景資料	彙整 PM _{2.5} 及 PM ₁ 重要的基本資訊，包括微粒來源及生成機制、濃度趨勢變化、成分特徵以及對本市能見度影響等。	第二章 背景說明 第七章 蒐集彙整國內外文獻及縣市監測結果

第二章 背景說明

— 章節摘要 —

彙整對臺中市PM_{2.5}濃度具影響的資訊，包括地理特性、氣象以及污染源等基礎資料，作為PM_{2.5}污染貢獻源分析之參考，圖2.1為本章背景資料架構說明。

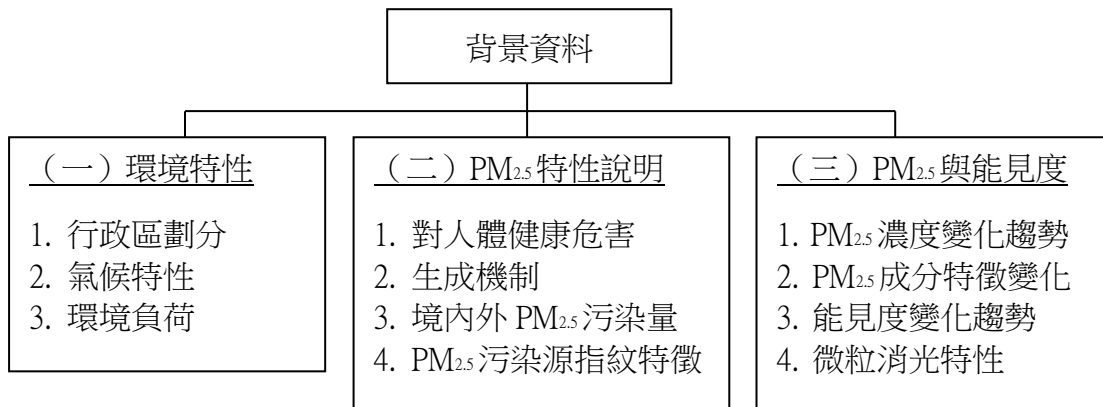


圖2.1、背景資料架構說明

2.1、環境特性

臺中市轄區原分屬臺灣省轄之臺中市及臺中縣，於109年12月25日合併改制升格為直轄市。如圖2.1.1，臺中市位於臺灣西部的中段偏北，介於大安溪與大肚溪之間。面積東西狹長，最寬可達99公里，南北短，最短只有16公里。

臺中市東以中央山脈毗鄰花蓮縣，西濱臺灣海峽，北接苗栗縣，南臨彰化、南投等縣。極東為東經121°27'00"，北緯24°22'00"（和平鄉南湖大山東方）；極西為東經120°29'00"，北緯24°12'30"（龍井鄉塗葛堀西方）；極南為東經120°42'00"，北緯24°01'10"（霧峰鄉象鼻坑南方）；極北為東經120°37'00"，北緯24°26'00"（大甲鎮船頭埔北方）。

全市面積約為2214.90 km²。地形變化大體由東向西漸緩，由西向東大體上可分成西部沿海平原、西部臺地、臺中盆地、丘陵地與山地五個地區。

表2.1.1、臺中市各行政區面積與人口數一覽表

行政區	面積 (km ²)	人口 (人)	密度 (人/km ²)	行政區	面積 (km ²)	人口 (人)	密度 (人/km ²)
中區	0.8803	17,728	20,139	神岡區	35.0445	64,989	1,854
東區	9.2855	75,625	8,144	潭子區	25.8497	109,145	4,222
南區	6.8101	126,326	18,550	大雅區	32.4109	95,605	2,950
西區	5.7042	113,105	19,828	新社區	68.8874	23,713	344
北區	6.9376	144,507	20,830	石岡區	18.2105	14,472	795
西屯區	39.8467	231,020	5,798	外埔區	42.4098	31,626	746
南屯區	31.2578	176,757	5,655	大安區	27.4045	18,562	677
北屯區	62.7034	290,347	4,630	烏日區	43.4032	77,017	1,774
豐原區	41.1845	165,017	4,007	大肚區	37.0024	56,534	1,528
東勢區	117.4065	48,557	414	龍井區	38.0377	77,973	2,050
大甲區	58.5192	75,660	1,293	霧峰區	98.0779	64,682	659
清水區	64.1709	88,361	1,377	太平區	120.7473	195,634	1,620
沙鹿區	40.4604	95,763	2,367	大里區	28.8759	212,357	7,354
梧棲區	16.6049	59,513	3,584	和平區	1,037.8192	10,869	10
后里區	58.9439	54,013	916				

資料來源：臺中市政府民政局（最近更新日：110年10月）

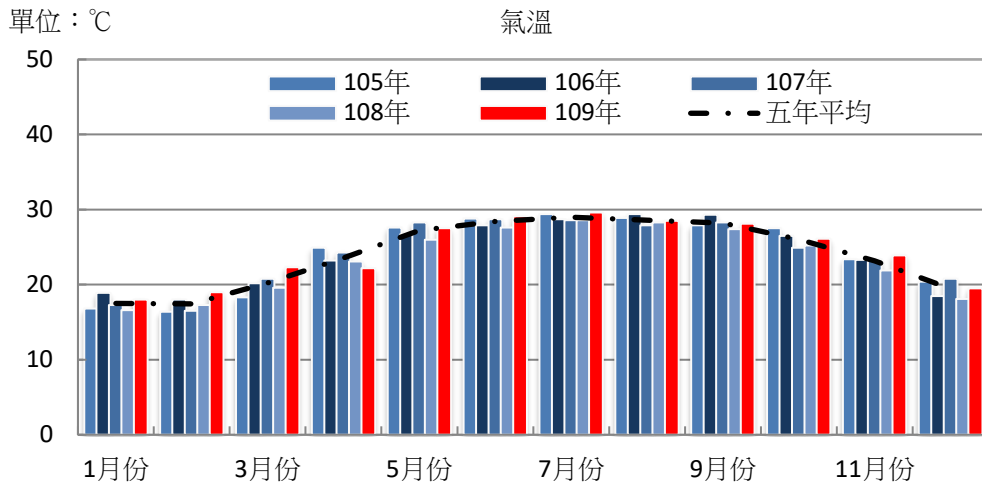
2.1.2、氣候特性

氣候受地形影響甚大，高山、海岸、丘陵及臺地各有差異，臺中市全市氣候大致可分為三區：西海岸區，季風強而雨量少；中部盆地，夏多雨冬乾旱；東部丘陵山地，夏冬有雨。整體而言，夏雨冬乾，每年雨量集中在5月～9月。冬季雨源受地形阻擋，雨量少；夏季雨源受地形阻擋不多，且多颱風來襲，雨量豐沛，9月至翌年5月的冬季季風常被地形約束成北風；每年6月～8月的夏季季風也常被約束為南風。臺中市盛行風向受地形約束的結果，使北風和南風的頻率最高。

依據中央氣象局臺中氣象站觀測結果統計，最近30年（70年～109年）臺中市年平均溫度為攝氏 23.3度，年平均相對濕度 75.6%，年平均降雨量1,773mm，年平均風速為1.5m/s。

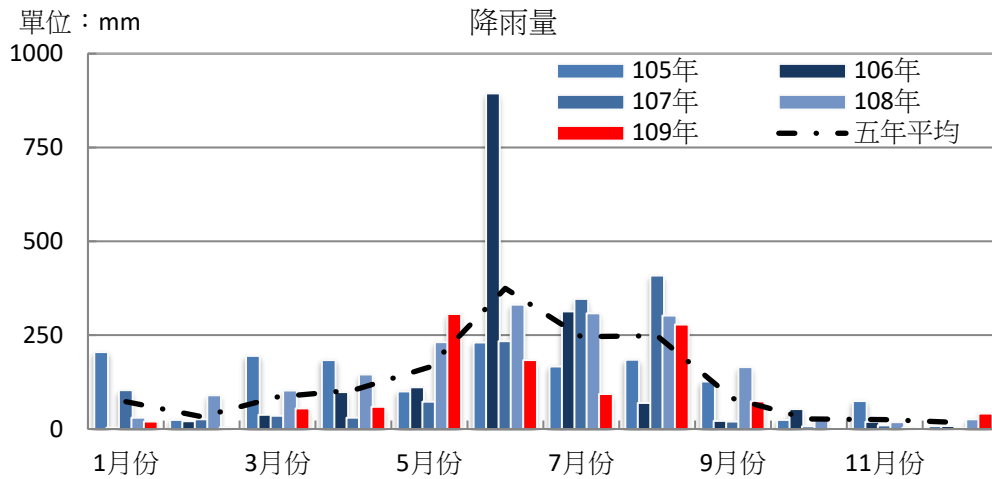
統計臺中氣象站近五年監測結果，圖2.1.3為每月平均氣溫統計，最冷月在1月，最熱月為7月，圖2.1.4為每月累計降雨量統計，5月～8月總雨量占全年總降雨量約7成；反之，9月至翌年4月為乾季，8個月的總降雨量約占年降雨量的三成。降雨集中、乾溼分明、乾季綿長，是本市主要降雨特性。

圖 2.1.5為相對濕度統計，一年之中至少十個月的平均相對濕度在 70%以上，且最高、最低之間的變化幅度不大。圖2.1.6為日照時數統計，4月份日照小時數較少，9月~12月之日照小時數較多。



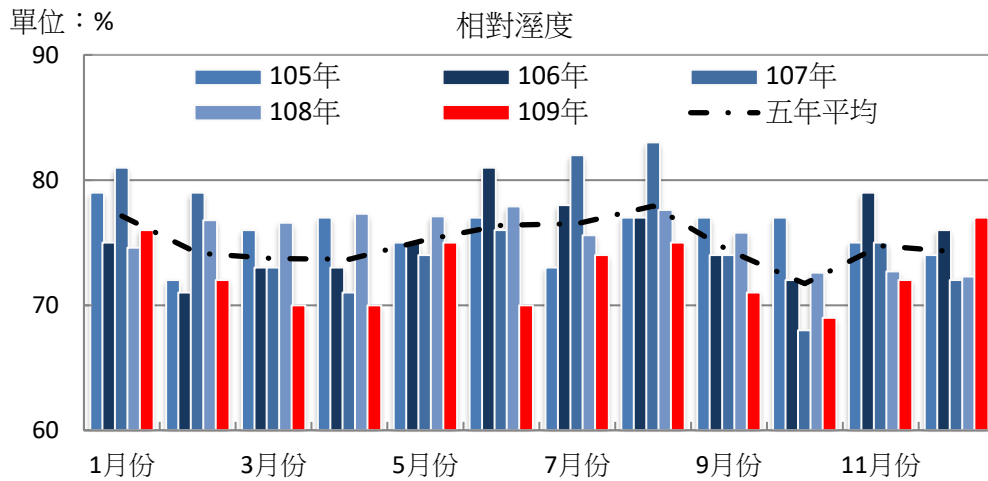
說明：1.統計期間：105年~109年
 2.數據來源：中央氣象局網站 <http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
 3.計算方式：採臺中氣象站月觀測資料統計

圖2.1.3、臺中市月平均氣溫統計圖



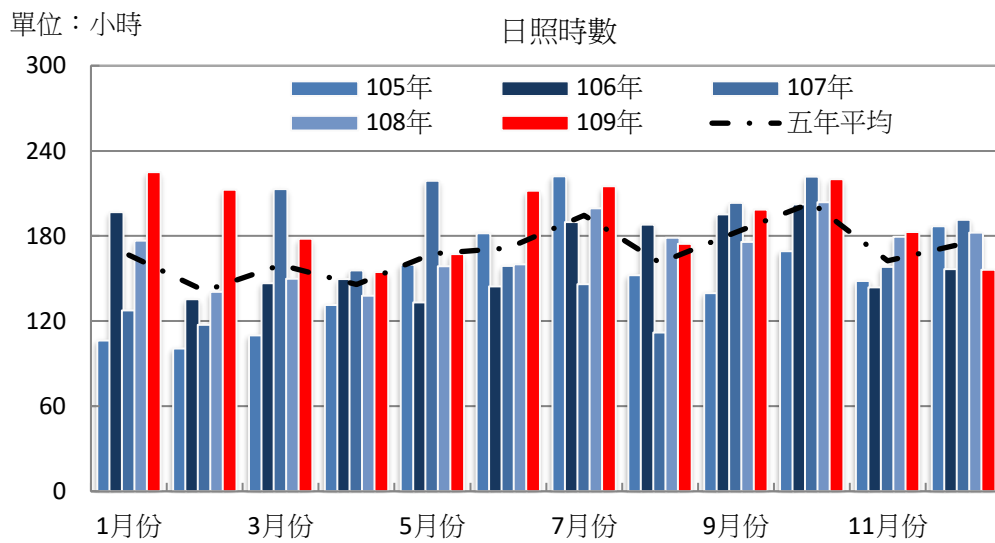
說明：1.統計期間：105年~109年
 2.數據來源：中央氣象局網站 <http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
 3.計算方式：採臺中氣象站月觀測資料統計

圖2.1.4、臺中市月降雨量統計圖



說明：1.統計期間：105年~109年
 2.數據來源：中央氣象局網站 <http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
 3.計算方式：採臺中氣象站月觀測資料統計

圖2.1.5、臺中市月平均相對溼度統計圖



說明：1.統計期間：105年~109年
 2.數據來源：中央氣象局網站 <http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
 3.計算方式：採臺中氣象站月觀測資料統計

圖2.1.6、臺中市月日照時數統計圖

2.1.3、環境負荷

圖 2.1.7 為臺中市工業區分布概況，本市轄內含臺中港區，共計 13 座工業區。表 2.1.2 之列管工廠數以臺中工業區最多，其次為關連工業區及大甲幼獅工業區。工業區列管數占全市列管數 22.9%，顯示本市除應著重工業區管制外，非工業區之列管廠家亦應規畫管制。

目前已經通過環境影響評估之開發案為：豐洲科技工業區（二期）、潭子聚興產業園區、磯鑫工業區，未來陸續開發後，施工及營運期間直接排放（原生性）粒狀物，對空氣品質勢必產生不良影響。營運後排放 SO_x、NO_x、VOC 等污染物亦會轉化衍生成懸浮微粒，其產生的量亦不容忽視。



圖片引用：臺中市政府招商資訊網 <https://www.invest-taichung.com.tw/%E5%B7%A5%E6%A5%AD%E5%8D%80%E5%88%86%E4%BD%88%E5%9C%96%EF%BC%BF%E9%87%8D%E7%BD%AE%E5%9C%96-2/>

圖2.1.7、臺中市工業區分布概況

表2.1.2、臺中市工業區固定污染源列管資料統計表

行政區別	列管數	製程數	污染源數	防制設備數	排放口數
臺中工業區	237	342	1,756	490	440
大甲幼獅工業區	107	178	1,036	356	294
大里工業區	42	44	149	38	38
中部科學園區	46	67	423	557	528
中港加工出口區	38	48	235	100	119
臺中加工出口區	32	42	152	58	57
臺中市精密機械科技創新園區	19	19	173	82	22
臺中港關連工業區	111	152	1,034	233	218
太平工業區	12	15	71	15	10
神岡豐洲科技工業區	7	9	37	8	5
外埔工業用地	3	4	24	6	6
仁化工業區	5	7	25	7	6
霧峰工業區	2	2	10	5	4
其他工業區	52	91	922	295	196
非屬工業區	2,394	2,604	13,826	2,989	2,137
合計	3,107	3,624	19,873	5,239	4,080

資料來源：109年臺中市固定污染源許可、空污費管制查核暨空氣品質維護綜合管理計畫（表 2.3.1-3）

表2.1.3為近五年臺中市機動車輛登記數，109年總登記數約266萬輛，相對於103年，除大客車及大貨車數量減少外，其餘車種均增加，以機車增加107,811輛最多，次為小客車96,817輛。

表2.1.3、臺中市機動車輛種類及數量統計一覽表

單位：輛

年度 \ 車種	大客車	大貨車	小客車	小貨車	特種車	機車	合計
103年	3,547	22,169	866,282	116,048	7,167	1,647,752	2,662,965
104年	3,697	22,398	891,966	117,408	7,118	1,650,878	2,693,465
105年	3,807	22,469	908,883	117,997	7,362	1,665,116	2,725,634
106年	3,717	22,261	926,625	118,828	7,512	1,687,364	2,766,307
107年	3,731	21,691	941,539	119,511	7,523	1,706,686	2,800,681
108年	3,524	21,126	953,063	120,312	7,617	1,617,771	2,723,413
109年	3,433	21,188	963,099	121,256	7,755	1,755,563	2,662,965
7年增加數 (109年-103年)	-114	-981	96,817	5,208	588	107,811	

資料來源：交通部公路總局統計查詢網（109年12月更新資料）

依TEDS11.0 彙整本市總懸浮微粒(TSP)、懸浮微粒(PM₁₀)、細懸浮微粒(PM_{2.5})、硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)……等排放量如表2.1.4及表2.1.5；PM₁₀年總排放量10,231.07公噸，主要來源為營建/道路揚塵占54.1%，次為車輛排放占21.6%。PM_{2.5}年總排放量4,919.48公噸，主要來源為車輛占35.4%，次為工業排放占30.1%。

SO_x 年總排放量12,443.84公噸，主要來源為工業占90.0%，其次為非公路運輸占7.7%。NO_x 年總排放量35,389.20公噸，主要來源為車輛占48.7%，其次為工業占42.3%。NMHC年總排放量57,601.88公噸，以商業占38.3%為大。

表2.1.4、臺中市TEDS11.0各污染物排放量一覽表

單位：公噸/年

類別		TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	NMHC
固定	工業	3,082.42	1,967.39	1,482.36	11,196.01	14,971.49	20,263.96
移動	車輛	3,301.00	2,205.18	1,739.31	13.95	17,246.32	11,085.81
	非公路運輸	173.45	173.34	144.28	956.14	1,742.45	131.08
逸散	商業	201.91	188.77	131.84	160.40	282.75	22,051.28
	營建/道路揚塵	18,015.26	5,534.74	1,278.74	0.00	0.00	3947.87
	露天燃燒	20.20	19.50	14.38	1.14	10.09	9.55
其他	其他	155.31	142.15	128.56	116.20	1,136.11	112.33
總排放量		24,949.56	10,231.07	4,919.48	12,443.84	35,389.20	57,601.88

備註：本表不含船舶離岸排放量

表2.1.5、臺中市TEDS11.0各污染物排放量百分比

類別		TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	NMHC
固定	工業	12.35%	19.23%	30.13%	89.97%	42.31%	35.18%
移動	車輛	13.23%	21.55%	35.36%	0.11%	48.73%	19.25%
	非公路運輸	0.70%	1.69%	2.93%	7.68%	4.92%	0.23%
逸散	商業	0.81%	1.85%	2.68%	1.29%	0.80%	38.28%
	營建/道路揚塵	72.21%	54.10%	25.99%	0.00%	0.00%	6.85%
	露天燃燒	0.08%	0.19%	0.29%	0.01%	0.03%	0.02%
其他	其他	0.62%	1.39%	2.61%	0.93%	3.21%	0.20%
總排放量		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

備註：本表不含船舶離岸排放量

2.2、細懸浮微粒特性說明

2.2.1、對人體健康危害

細懸浮微粒 (Fine Particulate Matters) 係指懸浮在空氣中氣動粒徑小於 2.5 μm 以下的粒子 (簡稱 PM_{2.5})。PM_{2.5} 大多發生於燃燒過程中，隨著工商經濟活動增加，工廠及汽機車的排放日趨大量的狀況下，除對人體健康具不良影響外，大氣中 PM_{2.5} 濃度增加亦導致能見度下降，進而造成日照時數縮短，影響農作物生長。

表 2.2.1 為 PM_{2.5} 對人體及環境危害概要說明，對人體健康影響主要分為長期效應與短期效應兩部份：長期效應研究認為 PM_{2.5} 濃度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，就會增加全死因 4%，心血管疾病 (包括心絞痛、心肌梗塞與腦中風) 死因 6%，與肺癌死亡 8% (Pope et al., 2002)；短期效應是指 PM_{2.5} 突然上升，則在當天，及隨後數日於身體上出現的不良效應，包括心血管疾病、慢性肺病惡化，與氣喘的急性發作。

由於 PM_{2.5} 容易深入人體肺部，進而引起一些肺部疾病及呼吸器官的慢性損害，故對健康危害大，若微粒上又附著其他污染物，將更加深對呼吸系統之危害，如微粒加上酸性的特性會引起心臟血管的發炎 (Schwartz et al., 1996)。

流行病學研究證實大氣懸浮微粒與心血管及呼吸道疾病有關，一般健康族群受影響程度不大，然而對具呼吸道、心血管疾病者或是老年人則屬易受微粒空氣污染物影響之族群。罹有糖尿病、粥狀動脈硬化、心律不整、腦血管疾病、血栓性栓塞疾病、心臟衰竭、氣喘或慢性阻塞性肺疾病等患者，易受到空氣中的微粒影響 (Dockery et al., 1993；Samet et al., 2000)。

表2.2.1、PM_{2.5}對人體及環境之危害

類別	說明
健康	短期效應：加重呼吸道症狀，如咳嗽、呼吸困難、肺功能下降，加劇哮喘、慢性支氣管炎的發展，造成心律不整。 長期效應：心血管疾病、癌症。
環境	能見度差。
生態	粒子沉降於地面或水面上造成湖泊和河流酸化，消耗土壤的養分，導致森林和農作物生長遲緩或不良；影響生態的多樣性。
經濟	污染和破壞材料，如雕像和建築物古蹟。

國內有關空氣微粒與心血管效應之研究顯示，冠心病患者是空氣微粒及二氧化氮污染的易感族群，對心跳、血壓具不良影響（Chan et al., 2006；Chuang et al., 2005；Chuang et al., 2006）。都市的空氣污染會造成冠心病患者血栓溶解功能下降（Su et al., 2006；鄭尊仁，1998）。對於年輕大學生，當其暴露於都市的空氣污染時，其血液中之發炎指標、氧化壓力、血液凝固因子及自主神經功能皆會受影響（Chuang et al., 2007）。暴露於 PM_{2.5} 空氣污染後，血液中發炎、凝血及血栓指標提高（詹長權，1997），近期研究顯示與孕婦早產及嬰兒壽命減少有關（Kampa & Castanas, 2008）。

根據 Miller et al.(2007)等人在 1994 年至 1998 年對美國 36 個大都市的女性進行暴露評估，經過校正性別、種族、抽煙狀態、教育程度、家庭收入、BMI 和糖尿病、高血壓及高膽固醇血之有無後，發現 PM_{2.5} 每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 暴露的婦女會增加 24% 心血管疾病的發生率，增加 76% 心血管疾病而死亡的發生率。母親懷孕期間的高 PM_{2.5} 暴露也被證明和孩子的血壓升高相關（Zhang et al., 2018）。

美國有毒物質和疾病管制處（ATSDR）對可吸入性的粒狀物列出前 20 名的危險物質，其中砷、鉛、汞、鎘對人類健康而言為毒性最高之金屬。歐盟（指令 2004/107/EC 和 199/30/CE）建立「年度目標限閾值」，理想濃度限值為 6 ng/m^3 之砷、5 ng/m^3 之鎘、20 ng/m^3 之鎳、500 ng/m^3 之鉛。

圖 2.2.1 為 Atkinson et al.(2015)所統計之可吸入性的粒狀物不同成分每增加 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的致癌風險，以元素碳（EC）最高，次為有機碳（OC），硫酸鹽及硝酸鹽較低。SO₄²⁻，NO₃⁻，EC 和 OC 與全因死亡率，心血管疾病和呼吸道疾病死亡率呈正相關，其中碳的最大相關性為每 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的全因死亡率 1.30% (95%CI: 0.17%, 2.43%)。

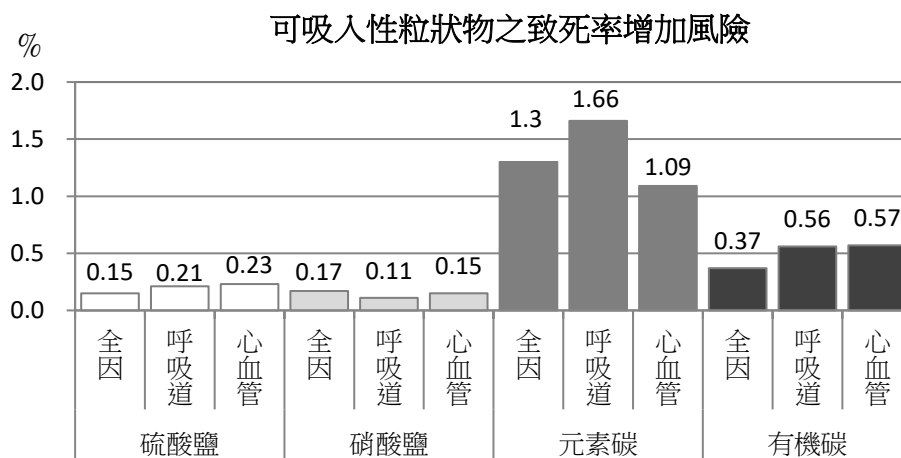


圖2.2.1、微粒不同成分之致死率統計圖

2.2.2、生成機制

PM_{2.5} 包含許多化學性物質，其中經光化反應後，常見形成之組成為原生性有機碳、衍生性有機碳、元素碳、硫酸鹽、硝酸鹽及其他離子性物質，反應生成機制如圖2.2.2。

細懸浮微粒（PM_{2.5}）來源可分為原生性及衍生性兩類：原生性PM_{2.5}係指由污染源排放到大氣時，即為粒徑等於或小於2.5μm的固體或液體；衍生性PM_{2.5}為污染源排放出的氣體，經過物理反應（如凝結）或化學反應（如光化學反應）形成的PM_{2.5}，又稱二次氣膠（secondary aerosol）。

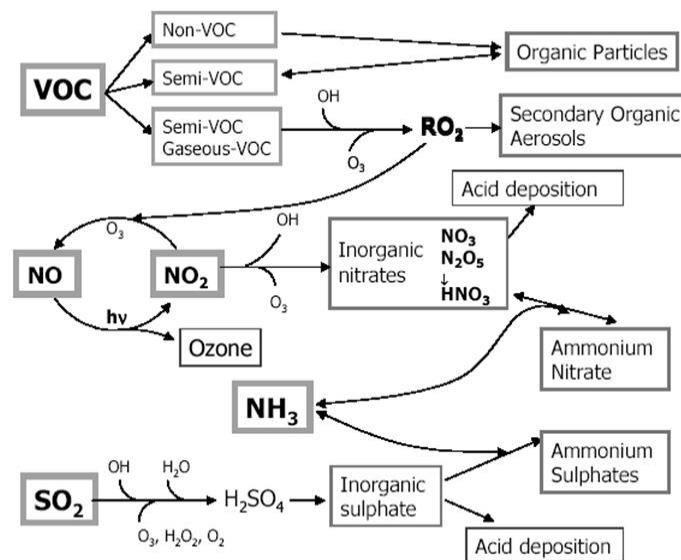
衍生性PM_{2.5}是SO₂、NO_x、VOCs與NH₃等氣態前驅物在大氣中經過複雜化學反應形成，其反應過程包括氣相光化學反應、液相反應與氣固相反應與不同反應物間之競合作用等，反應機制如圖2.2.3（Mangelson et al., 1997）。因PM_{2.5}濃度與前驅物排放量之間存在非線性關係，使得PM_{2.5}的管制工作相當困難。環境中細懸浮微粒化學組成如圖2.2.2所示，原生性PM_{2.5}與衍生性PM_{2.5}主要的化學組成分與來源說明如下：

（一）原生性PM_{2.5}

1. 營建/道路揚塵：營建工地及裸露地表經由風力或其他機械力，例如人為走動或車行經過、震動等作用所揚起的粉塵，經由此一作用所揚起的微粒含大量的地殼元素如矽、鈣、鎂及鋁等。
2. 汽機車之排放：汽機車引擎在燃燒化石燃料過程當中，可能產生不完全燃燒態，包含有機碳及元素碳，因此在大量使用汽、柴油車輛的地區，PM_{2.5}中有機碳及元素碳占比也相對較高。另外，車輛行駛時輪胎及剎車皮磨損後形成之微粒，亦是PM_{2.5}貢獻來源之一。
3. 工廠鍋爐和火力發電廠：燃燒重油的鍋爐以及燃煤發電在不完全燃燒狀態，會排放出有機碳及元素碳，因煤中含比汽油更多的S、N及微量金屬，故其排放出原生性PM_{2.5}組成中有較多的硫酸鹽、硝酸鹽及金屬微粒等成分。
4. 海水飛沫：因風力作用將海水揚起的海水飛沫，水分蒸發後形成海鹽懸浮粒子。海水因溶有大量氯化鈉等物質，因此海鹽微粒含鈉離子與氯離子成分。
5. 其他原生性來源：其他諸如火山爆發、森林大火與自然風化微粒等自然界發生源，電鍍、煉鋼等產業均會產生原生性微粒。

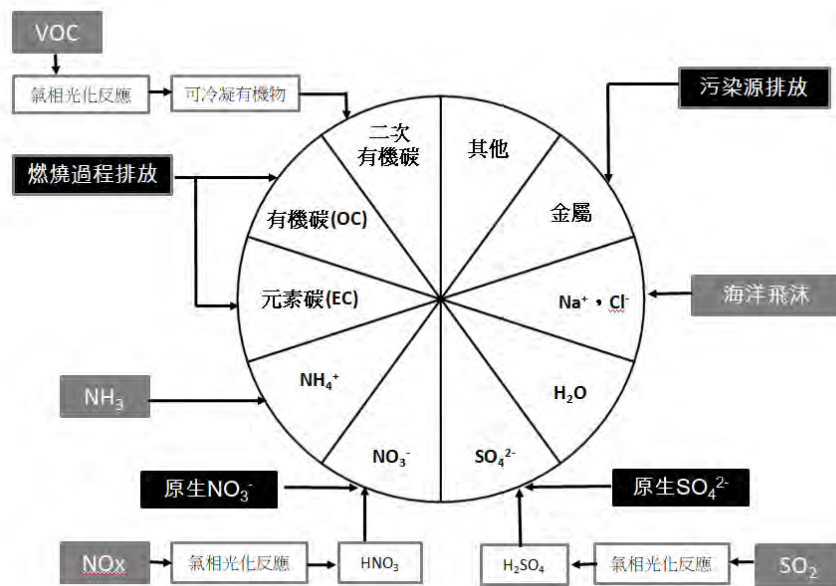
（二）衍生性PM_{2.5}

1. 硫酸鹽：其主要來源為化石燃料燃燒產生硫氧化物(SO_2 與 SO_3 ，合稱為 SO_x)，經由氣相或液相反應而成。液相反應較氣相反應迅速，在相對濕度高的地區，液相反應機制尤為重要。
2. 硝酸鹽：主要來源是燃料高溫燃燒時空氣中的氮和氧反應產生之氮氧化物（包含 NO 與 NO_2 ，合稱為 NO_x ），再經過反應所形成。
3. 銨鹽：其前驅物為氨氣。主要來源為農牧業的動植物殘體或排泄物分解所產生，其次為工業人為活動所排放。氨氣於大氣環境所扮演的角色相當重要，為中和大氣酸性物質的主要物種，例如硫酸與硝酸均主要與氨氣進行中和反應而形成微粒。
4. 二次有機氣膠：大氣中有機氣體經過光化學作用，與臭氧及氫氧自由基反應產生半揮發性有機物，可與大氣中既存之微粒形成有機氣膠，或凝核直接產生有機氣膠。



資料來源：http://air.epa.gov.tw/Public/suspended_particles.aspx

圖2.2.2、細懸浮微粒生成機制



圖片參考 <http://scitechreports.blogspot.tw/2018/01/pm25.html>

圖2.2.3、環境中細懸浮微粒化學組成特性示意圖

懸浮微粒粒徑分布及來源如圖2.2.4 所示 (Seinfeld, 1986)，其粒徑分布特徵可分為：核凝波峰 ($D_p < 0.1\mu\text{m}$)、積聚波峰 ($0.1\mu\text{m} < D_p < 2.5\mu\text{m}$) 與粗波峰 ($D_p > 2.5\mu\text{m}$)。各波峰的粒徑分布與主要來源說明如下：

1. 核凝波峰 (nucleation)：

核凝波峰粒徑大多小於 $0.1\mu\text{m}$ 。此類微粒主要來自於高溫蒸汽冷凝成為原發性微粒後，再經由凝聚鍵之聚合而形成。其來源為森林火災及工業燃燒過程（如金屬燻煙）等。

2. 積聚粒徑 (accumulation mode)：

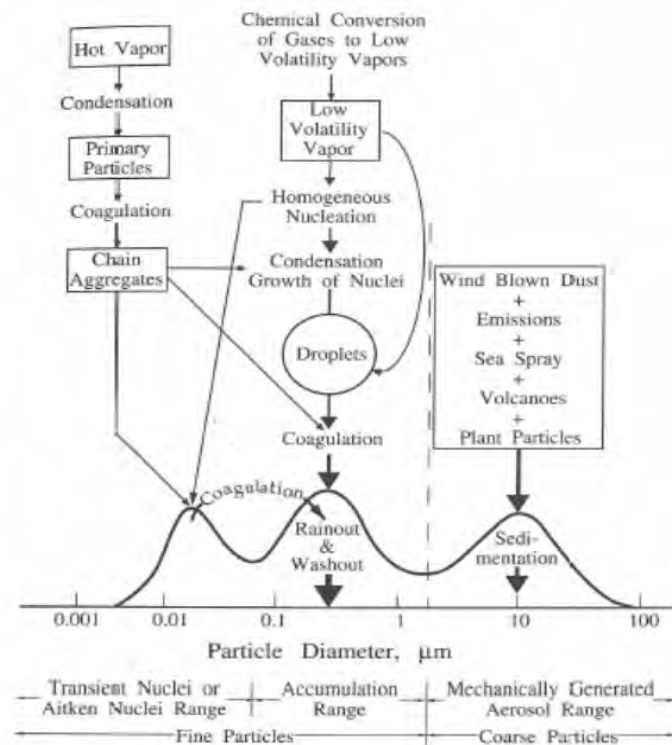
積聚粒徑分布約在 $0.1\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$ 間。其主要來自於原生性排放之氣體經由氣固相轉化形成低揮發性之氣體，如光化學反應將二氧化硫 (SO_2) 與二氧化氮 (NO_2) 反應形成硫酸 (H_2SO_4) 與硝酸 (HNO_3) 等氣體，再經過均相核化產生之細微粒後，最後凝結成長至積聚粒徑範圍，例如 H_2SO_4 與 NH_3 反應形成細微粒如硫酸銨 ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) 或者硫酸氫銨 (NH_4HSO_4)，此粒徑之微粒易經由凝結作用成長至 $0.1\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$ 。此外，氣固相轉化反應形成之低揮發性氣體亦可能經由凝滴作用而直接形成 $0.1\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$ 微粒，例如硝酸 (HNO_3) 與氨氣 (NH_3) 可於已存在於大氣中之微粒表面反應生成硝酸銨 (NH_4NO_3)。

0.1 μm ~1.0 μm 之積聚粒徑又可細分為凝結型 (condensation mode) 及液滴型 (droplet mode)。John et al. (1990) 研究指出，凝結型會藉由水分或硫酸鹽成長為液滴型。凝結型為氣相前驅物質凝結之產物，而液滴型則為細微粒經由成核作用及液滴核成長而形成。所以，微粒粒徑分布會隨著地區及氣象條件不同而有所差異。一般而言，沿海地區多呈單峰分布，內陸地區則多為雙峰分布，而在高密度汽機車之都會區則多以細微粒為主。

3. 粗微粒 (coarse mode) :

粗微粒之粒徑通常大於 2.5 μm 。其主要來源為風化的岩石或土壤、海水飛沫、裸露地表與車行的揚塵，以及工廠經由機械產生而直接排放的微粒。由於粒徑較大，較易經由重力沉降作用而下沉至地表。

一般而言，原生性污染物具較大的粒徑，衍生性微粒因來自氣固相轉換反應生成，故其粒徑較小。至於在各化學成分所占懸浮微粒之比重關係中，由於不同區域具不同的排放特徵、不同的氣候條件可能影響反應機制、以及地理地形亦會影響化學組成成分之比例，因此，在不同的區域之化學組成均不同，而同一區域的不同季節亦可能由於氣候因素而產生不同的組成比例。



資料來源：Seinfeld, 1986.

圖2.2.4、懸浮微粒主要來源及粒徑分布

John(1990)歸納認為所有粒徑分布均可分為二個次微米波峰(submicron mode)及一個粗粒徑波峰(coarse mode)，最小的波峰位於 $0.2 \pm 0.1\mu\text{m}$ ，稱之為凝結波峰(condensation mode)；在次微米粒徑範圍之較大的粒徑波峰位於 $0.7 \pm 0.2\mu\text{m}$ ，稱之為液滴波峰(droplet mode)。凝結波峰會藉由水分或硫酸鹽成長為液滴波峰。

Whitby 將 $0.1\mu\text{m} \sim 1.0\mu\text{m}$ 間的凝結波峰和液滴波峰統稱為積聚粒徑(accumulation mode)，在 SCAQS 研究中指出硝酸鹽及硫酸鹽會在液滴波峰形成內部混合(internally mixed)，硫酸鹽及硝酸鹽會與銨離子達成離子平衡。在美國南加州空氣品質研究(Southern California Air Quality Study, SCAQS)結果中顯示，除了相對溼度較低的氣候狀況下，大部分的無機氣膠微粒均分布於液滴波峰。

硝酸鹽及硫酸鹽之粒徑分布決定於 SO_x 及 NO_x 與氧化劑反應形成 HNO_3 及 H_2SO_4 後再與中和物質形成氣固相轉移，此過程由中和物質決定硝酸鹽及硫酸鹽之粒徑分布，若中和物質為揮發性 NH_3 ，則形成 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4HSO_4 等產物，主要分布於細微粒上；若中和物質為非揮發性之海鹽飛沫或塵土，則形成較大粒徑之污染物，如 NaNO_3 、 Na_2SO_4 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 MgSO_4 、 CaSO_4 等產物。

Cabada et al. (2004) 研究匹茲堡(Pittsburgh)空氣微粒組成及粒徑分布，硫酸鹽呈現雙峰分布(Bi-modal distribution)，較大波峰位置大約在 $0.7\mu\text{m}$ (液滴型)，較小波峰位置大約在 $0.2\mu\text{m}$ (凝結型)。Mehlmann 與 Warneck (1995) 研究西德微粒發現，硝酸鹽主要存在粗粒徑 ($\geq 2\mu\text{m}$)，其原因為硝酸鹽與海鹽 (Na^+) 形成較大顆粒之 NaNO_3 所導致，少部分硝酸鹽出現於細粒徑 ($\leq 2\mu\text{m}$) 是以硝酸銨的形式存在。

許文昌與李崇德(1992)探討臺北空氣微粒組成結果顯示，氣相 HNO_3 與海水飛沫中 NaCl 反應形成 NaNO_3 分布於粗微粒上，而粗微粒之 SO_4^{2-} 來源為海水相關物種。細微粒之 SO_4^{2-} 來自 NH_4HSO_4 與 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 。 NH_4HSO_4 主要分布於氣動粒徑 $0.32\mu\text{m} \sim 1.00\mu\text{m}$ 間，其他粒徑範圍內 NH_4^+ 與 SO_4^{2-} 的結合方式主要為 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ， SO_4^{2-} 及 NH_4^+ 於細微粒之累積分率較粗微粒大，而 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 及 K^+ 於粗微粒之累積分率較細微粒大。

2.2.3、境內外污染來源

行政院環保署每三年進行一次空氣污染排放清查，目的為瞭解人為空氣污染量，稱為「空氣污染排放清冊」（Taiwan Emission Data System, TEDS）。該清冊將排放源分為點、線、面三類污染排放源進行統計及整理，如：工廠廢氣、汽機車廢氣、住商餐飲廢氣及農業排放等來源。表2.2.2為TEDS11.0（基準年108年）全國空氣污染排放量，此表中PM_{2.5}指原生性PM_{2.5}排放量，代表污染源直接排放的原生性PM_{2.5}，不包含由SO_x及NO_x經二次衍生而成的衍生性PM_{2.5}。由該表可知臺灣一年原生性PM_{2.5}產生噸數64,129公噸，衍生性PM_{2.5}生成的總量會隨季節、氣象條件以及大氣中其他污染物含量而變化，較難以定量。

圖2.2.5為TEDS 11.0（基準年108年）版回溯與預測各污染源管制後之歷年未來年推估結果，臺灣地區110年原生性PM_{2.5}將減至45,839公噸。

表2.2.2、TEDS11.0全國各類污染源排放量一覽表

污染源類別		統計	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	NMHC	CO
固定源	工業	排放量	20,425	13,376	9,965	51,299	106,358	144,992	247,599
		占比	6.8%	11.4%	21.2%	77.2%	36.2%	31.1%	42.2%
移動源	車輛	排放量	28,175	18,934	14,977	111	150,867	96,732	307,967
		占比	9.3%	16.1%	31.8%	0.2%	51.3%	20.7%	52.5%
	非公路運輸	排放量	1,724	1,722	1,482	12,463	24,560	2,143	14,463
		占比	0.6%	1.5%	3.2%	18.8%	8.4%	0.5%	2.5%
逸散源	商業	排放量	1,960	1,833	1,275	1,456	2,152	185,865	4,481
		占比	0.7%	1.6%	2.7%	2.2%	0.7%	39.8%	0.8%
	營建/道路揚塵	排放量	247,043	79,400	17,776	0	0	35,200	0
		占比	81.9%	67.6%	37.7%	0.0%	0.0%	7.6%	0.0%
	露天燃燒	排放量	1,047	1,000	605	87.2	358	364	4,651
		占比	0.4%	0.9%	1.3%	0.1%	0.1%	0.1%	0.8%
其他	排放量	1,273	1,145	1,036	1,070	9,815	1,206	7,940	
	占比	0.4%	1.0%	2.2%	1.6%	3.3%	0.3%	1.4%	
總排放量	排放量	301,647	117,410	47,115	66,487	294,110	466,502	587,101	
	占比	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

備註：1.本表基準年為 108 年，不含生物源排放量

2.排放量單位：公噸

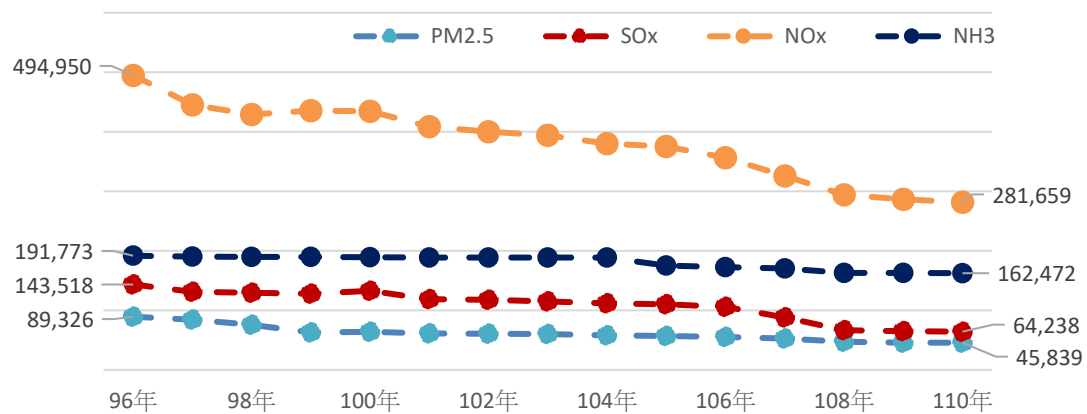


圖2.2.5、TEDS11.0推估全臺空氣污染物之排放量趨勢圖

臺灣細懸浮微粒（PM_{2.5}）的三大成分為「硫酸鹽」、「有機碳」跟「硝酸鹽」，以周崇光（2017）對中南部大氣環境PM_{2.5}調查結果中指出，硫酸鹽占大氣細懸浮微粒質量約20%；有機碳占15%~20%；硝酸鹽占23%。根據該研究發現硫酸鹽及硝酸鹽跟工廠、交通有關，有機碳則來自生質燃燒貢獻較大。

除了本地工業、交通、建築等人為活動產生的PM_{2.5}外，臺灣每年9月到隔年4、5月，易受到自中國沿海排放之污染影響，3月份亦受到東南亞生質燃燒的影響。依據張良輝（2013）所執行之環保署專案調查，指出臺灣PM_{2.5}的貢獻來源，臺灣自身排放約占66%，境外傳輸影響約34%。其中30%來自中國，而日本及韓國分別貢獻0.14%、0.24%，其他國家及海鹽影響約為2%。

表2.2.3為吳義林（2014）研究結果，將污染源區分為國內污染源與境外，國內污染源再區分為原生性與衍生性，結果顯示境外傳輸對縣市細懸浮微粒濃度的貢獻比例均超過30%，而且北部縣市較中南部縣市高。

表2.2.3、國內污染源與境外污染源對各縣市PM_{2.5}濃度貢獻比例

單位：%

縣市別	國內污染源		境外
	原生	衍生	
基隆市	30	8	63
新北市	47	7	46
臺北市	50	8	42
桃園市	52	7	41
新竹縣	51	7	42
新竹市	48	12	40
苗栗縣	50	10	40
臺中市	52	16	33
彰化縣	50	11	39
南投縣	42	22	36
雲林縣	42	18	40
嘉義縣	34	22	44
嘉義市	40	25	35
臺南市	39	26	36
高雄市	40	32	28
屏東縣	33	34	32
臺東縣	33	7	60
花蓮縣	42	8	50
宜蘭縣	36	8	56
澎湖縣	—	—	57
金門縣	—	—	96
連江縣	—	—	95

資料來源：吳義林（2014）。細懸浮微粒（PM_{2.5}）管制策略研擬及減量成效分析(EPA-102-FA11-03-A082)。行政院環境保護署。

2.2.4、PM_{2.5}污染源指紋特徵

PM_{2.5} 氣象條件、工業生產、工業燃燒、汽機車尾氣排放等都是導致大氣中 PM_{2.5} 濃度增加的原因。近十年國內對於 PM_{2.5} 成分研究分析顯示：PM_{2.5} 其主要成分包括地殼元素、硫酸鹽、硝酸鹽、有機碳（OC）及元素碳（EC）等，其組成比例則因季節、區域、污染源及粒徑而異。

對於工業排出的 PM_{2.5} 組成會因燃料及原料的不同而有特徵，表 2.2.4 為彙整各縣市管道 PM_{2.5} 組成比例，可知不同污染源排放的 PM_{2.5} 組成中幾乎皆含硫酸鹽、硝酸鹽、有機碳（OC）及元素碳（EC）之成分，唯在比例上有所差異。例如：燃煤電廠排放的 PM_{2.5} 以有機碳及金屬成分占比最高，各占兩成左右；鋼鐵業電弧爐則是金屬元素占比高達七成，而有機碳、硫酸鹽含量不高；燃油鍋爐則是硫酸鹽含量最高，約三成，其次為有機碳（台灣綠基科技股份有限公司，2015、2016；李奎廷，2014；南台灣環境科技股份有限公司，2016）。

對於車輛排出的 PM_{2.5} 以有機碳及元素碳為主要特徵（陳康興等，2005；許翔璽，2006），學者常利用 OC/EC 之比值判斷車輛的排放（Lee et al., 1995；Tsai & Cheng, 1998；Wei et al., 1993；Wu, 1997；林立偉等，1999；林能暉等，2000；李崇德，2003；鄭尊仁，1998）。如高雄地區研究結果顯示，氣膠成分的 OC/EC 在 1.4～2.6 間，屬於二次氣膠的污染現象（Chen et al., 1996；袁中新等，1998；黃建達等，1999）。表 2.2.5 可知無論是柴油車或汽油車排放 PM_{2.5} 中含碳成分（元素碳+有機碳）占 6 成～8 成左右。

鑒於硫酸鹽、硝酸鹽、有機碳、元素碳是許多污染源的共同成分，藉之污染溯源極為困難。許多研究微粒來源的報告指出，利用不同污染源排放特徵金屬元素，由微粒中的金屬元素成分差異，可有效追溯污染貢獻來源。例如自然界地面揚塵所含之微量金屬成分主要是 Fe、Mn、Zn、Pb、V、Cr、Ni、Cu、Co、Hg 及 Cs 等；海水飛沫所含的微量金屬成分則為 Fe、Mn、Pb、V 及 Zn；燃煤電廠所排出則含 Fe、Zn、Pb、V、Mn、Cr、Cu、Ni、As、Co、Cd、Ti 及 Hg 元素；燃油工廠所排放的金屬成分係 V、Fe、Zn、Pb、Cu、As、Co、Cr、Mn 及 Ti 等元素（Chow et al., 1994）。

近年環檢所委託中研院對國內行業別的指標元素予以調查，研究指出臺灣的燃煤電廠指標元素是 As、Se 與 Ge，鋼鐵廠電弧爐製程為 Fe、Mn、Pb、Cr、Zn、及 Sn，鋼鐵廠煉焦製程乃 Ca 及 Ba，鋼鐵廠燒結製程係 K、Cd、Rb 及 Cs，水泥廠生料製程則為 Ca、Sr、Ti、Tl 及 Cs，水泥熟料則是 Ca、Tl 及 Cs，石油煉製（重油燃燒）是 Co、Sb、Ni、V、La 及 P，石油煉製（觸媒裂解）為 La、Ce 及 Nd；對於指標元素特別貧乏者，例如水泥業，則可選用 Tl 作為潛力指標特徵（周崇光，2014）。

國內調查行業製程的金屬指標元素與國外文獻略具差異，詳表2.2.6。

表2.2.4、固定源管道PM_{2.5}主要成分占比彙整表

單位：%

項目名稱	金屬元素 Metal	元素碳 EC	有機碳 OC	硝酸根 NO ₃ ⁻	硫酸根 SO ₄ ²⁻
電廠燃煤鍋爐	21.3	13.9	24.2	0.99	15.3
工業燃煤鍋爐	13.2	9.0	9.8	/	12.6
燃油鍋爐	11.0	7.1	18.3	0.80	32.5
鋼鐵業電弧爐	67.3	4.0	7.8	1.89	2.0
鋼鐵業煉焦爐	2.9	13.5	24.4	7.60	12.0
鋼鐵業轉爐	5.9	19.8	25.4	7.70	7.0
造紙業流體化床	7.9	17.4	21.4	1.60	3.7
焚化爐	33.0	12.4	17.2	1.70	3.8
玻璃熔解窯	24.1	1.6	2.9	/	37.1
柴油鍋爐	0.7	/	29.0	/	1.8
爐石研磨機	27.3	9.7	7.4	4.00	7.2
鋁二級冶煉	29.9	0.7	0.4	0.30	0.2

表2.2.5、交通源PM_{2.5}主要成分占比彙整表

單位：%

項目名稱	金屬元素 Metal	元素碳 EC	有機碳 OC	硝酸根 NO ₃ ⁻	硫酸根 SO ₄ ²⁻
柴油車 ¹	9	24	41	<2	
柴油車 ²	0.4~6.9	70~79		0.04~3.10	
機車 ³	未說明	15~20	60	0.02~0.08	

參考文獻：1.陳康興，陳瑞仁、林銳敏、黃國林（2005）。行政院國家科學委員會。

2.勤智興業有限公司（2016）。雲林縣環境保護局。

3.許翔璽（2006）。未出版之碩士論文。國立臺北科技大學。

表2.2.6、不同污染源之金屬指標元素彙整表

製程	金屬指標元素	參考文獻
發電廠燃煤鍋爐	Fe、Ca、Al、K、Na	楊錫賢等(2014)
	As、Se、Ge	周崇光(2014)
	As、Be、Cd、Co、Cr、Cu、Ge、Ni、Pb、Mn、V、Zn	Yan et al. (1999)
	As、Se、Cr	Zhao et al. (2018)
重油鍋爐	Ni、Fe、Al、Ca、V	楊錫賢等(2014)
	Ni、V	黃俊彥(2001)；Ogulei et al. (2005)
鋼鐵廠電弧爐	Fe、Mn、Pb、Cr、Zn、Sn	周崇光(2014)
	Ni、Zn、Pb	吳沛愉(2014)
鋼鐵廠煉焦	Ca、Ba	周崇光(2014)
	Al、Fe及Ca	吳沛愉(2014)
鋼鐵廠燒結	K、Cd、Rb及Cs	周崇光(2014)
鋼鐵廠轉爐煉鋼	Ca	吳沛愉(2014)
焚化爐	Fe、Al、Ca、Zn、Pb	Han et al. (2006)
水泥廠生料製程	Ca、Sr、Ti、Tl、Cs	周崇光(2014)
水泥熟料	Ca、Tl、Cs	
石油煉製(重油燃燒)	Co、Sb、Ni、V、La、P	
石油煉製(觸媒裂解)	La、Ce、Nd	
交通源	Ba、Sb	Lin et al. (2015)
	Ba、Sb、Cu	Pio et al. (2013)
	Pb、Zn	Lee et al. (1999)
農廢燃燒	K	Watson & Chow (2001)

國內以 PM_{2.5} 成分特徵及含量推估污染源貢獻類別及占比相當多，臺北案例研究顯示：PM_{2.5} 中水溶性離子占總量 35%、碳含量占 31%、金屬元素占 12%、含水量為 2%，模式推估顯示，以二次光化反應、揚塵為最主要的污染源，交通來源與工業污染為次要來源（王俊凱，2000）。新北市機動車輛貢獻占 15%，烹飪占 11%。（中興工程顧問股份有限公司，2012）。桃園案例研究顯示 PM_{2.5} 污染來源機動車輛貢獻比為 15%~38%，街道揚塵的貢獻比約 10%~31%（環科工程顧問股份有限公司，2011）。

中部案例研究結果顯示：硫酸鹽及硝酸鹽是 PM_{2.5} 主要物種(Tsai & Cheng, 1997；吳啟文，1996)，105 年臺中市密集的採樣結果顯示以硫酸鹽、有機碳以及硝酸鹽占比最高（台灣綠碁科技股份有限公司，2016；郭崇義，2017），貢獻來源分析顯示：工業污染源影響比例 4.67%~13.47%，交通影響比例 22.53%~33.14%，地殼元素影響比例 1.42%~5.10%，海洋飛沫影響比例 3.38%~6.27%（上境科技股份有限公司，2016）。

高雄案例研究結果顯示：PM_{2.5} 主要由硫酸鹽、硝酸鹽、銨鹽、OC、EC 組成(Lin, 2002)。潮州 PM_{2.5} 主要來自機動車輛的排放，占 92.1% 貢獻量；另一個次要來源是海水飛沫，占 4.1%（李崇德，2003）。高雄小港案例研究顯示當地 PM_{2.5} 來自汽油車及柴油車貢獻各為 43% 及 17%（王文正，2008）。

2.3、PM_{2.5}與能見度現況

2.3.1、PM_{2.5}濃度變化趨勢

環保署於民國 101 年 5 月 14 日發布 PM_{2.5} 空氣品質標準，24 小時值標準為 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，年平均值標準 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。該標準適用於 101 年 4 月 24 日公告之 NIEA A205.11C（空氣中懸浮微粒檢測方法－手動採樣法）所檢測之數據。

圖 2.3.1 為環保署與環保局空氣品質自動監測站位置，環保署 5 站與臺中市環保局 6 站，合計共 11 站。表 2.3.1 為空氣品質自動測站位址及污染物監測項目。

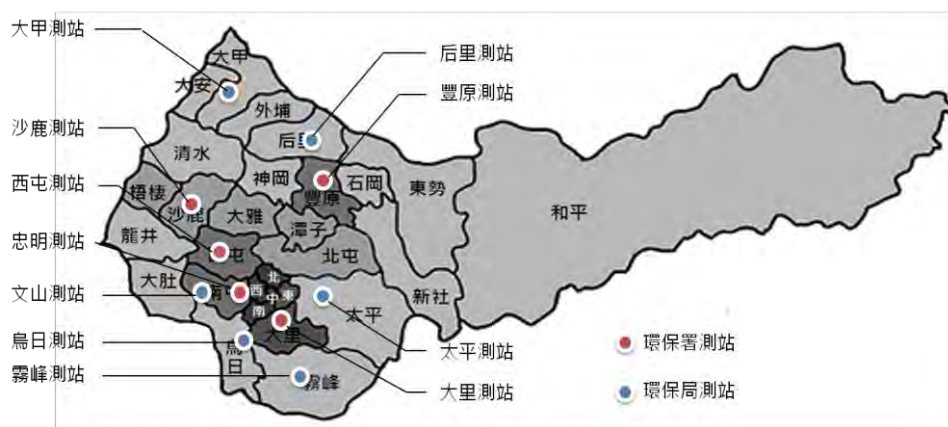


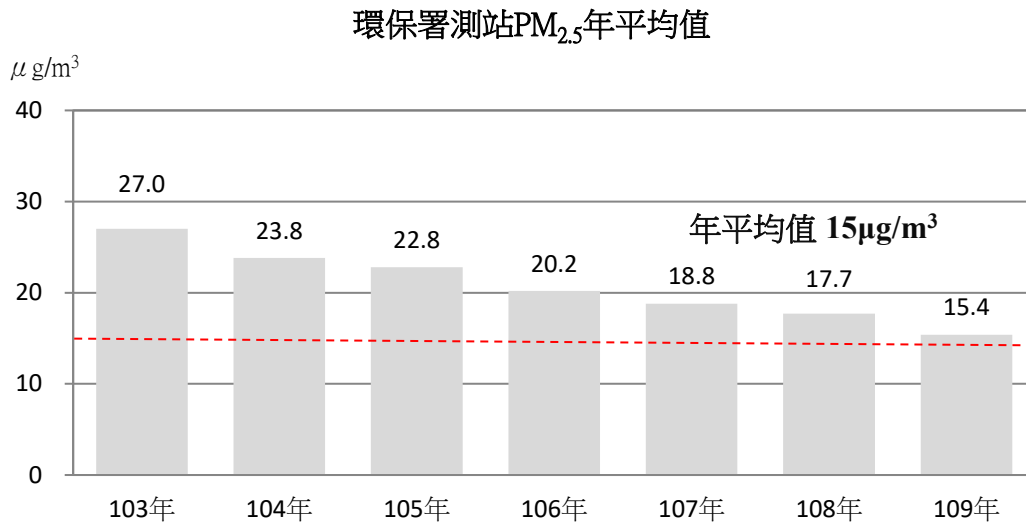
圖2.3.1、臺中市PM_{2.5}自動監測站分布圖

表2.3.1、臺中市空氣品質自動監測站監測項目一覽表

基本資料				測站監測項目												
分類	行政區	單位	站名	SO ₂	CO	O ₃	NO _x	HC	PM ₁₀	PM _{2.5}	酸雨	雨量	風向	風速	溫度	紫外線
都區	1	西屯區	署	西屯	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	2	南屯區	署	忠明	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
	3		局	文山	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
海區	4	大甲區	局	大甲	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
	5	沙鹿區	署	沙鹿	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
山區	6	后里區	局	后里	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
	7	豐原區	署	豐原	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
屯區	8	烏日區	局	烏日	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
	9	霧峰區	局	霧峰	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
	10	太平區	局	太平	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
	11	大里區	署	大里	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	

備註：臺中市政府環境保護局PM_{2.5}自動監測始於102年10月

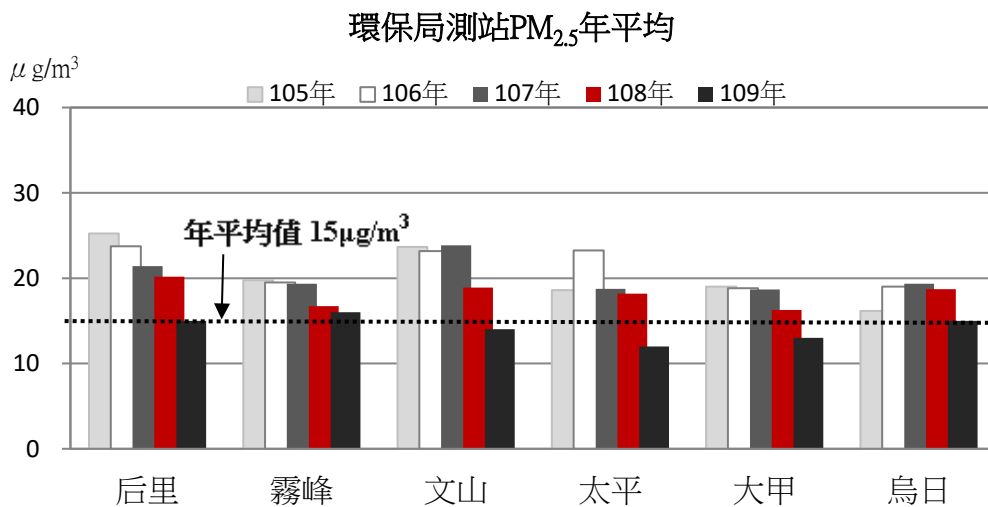
圖 2.3.2 統計環保署五站（豐原、沙鹿、西屯、忠明、大里）PM_{2.5} 資料，臺中市已由 103 年 27.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 109 年 15.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，七年改善 11.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，改善率 43.0%，目前與空氣品質標準 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 僅差距 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。



數據來源：<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/YearlyDataDownload.aspx>

圖2.3.2、臺中市環保署測站PM_{2.5}年平均値變化

圖 2.3.3 為臺中市政府環保局地方測站（后里、霧峰、文山、太平、大甲、烏日）年平均統計結果，109 年霧峰 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 最高，太平 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 最低，六站中僅一站不符合空氣品質標準之 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，可見近年本市 PM_{2.5} 改善成效明顯。



備註：臺中市政府環保局自 105 年起開始監測 PM_{2.5}

圖2.3.3、臺中市地方測站PM_{2.5}年平均値變化

圖 2.3.4 將環保署及環保局 PM_{2.5}自動測值予以彙整，分山、海、屯、都四區表示，藉以瞭解分區之長期趨勢特徵，圖中可看出除了山區測站之外，海、屯、都三區測站 PM_{2.5} 下降趨勢明顯。

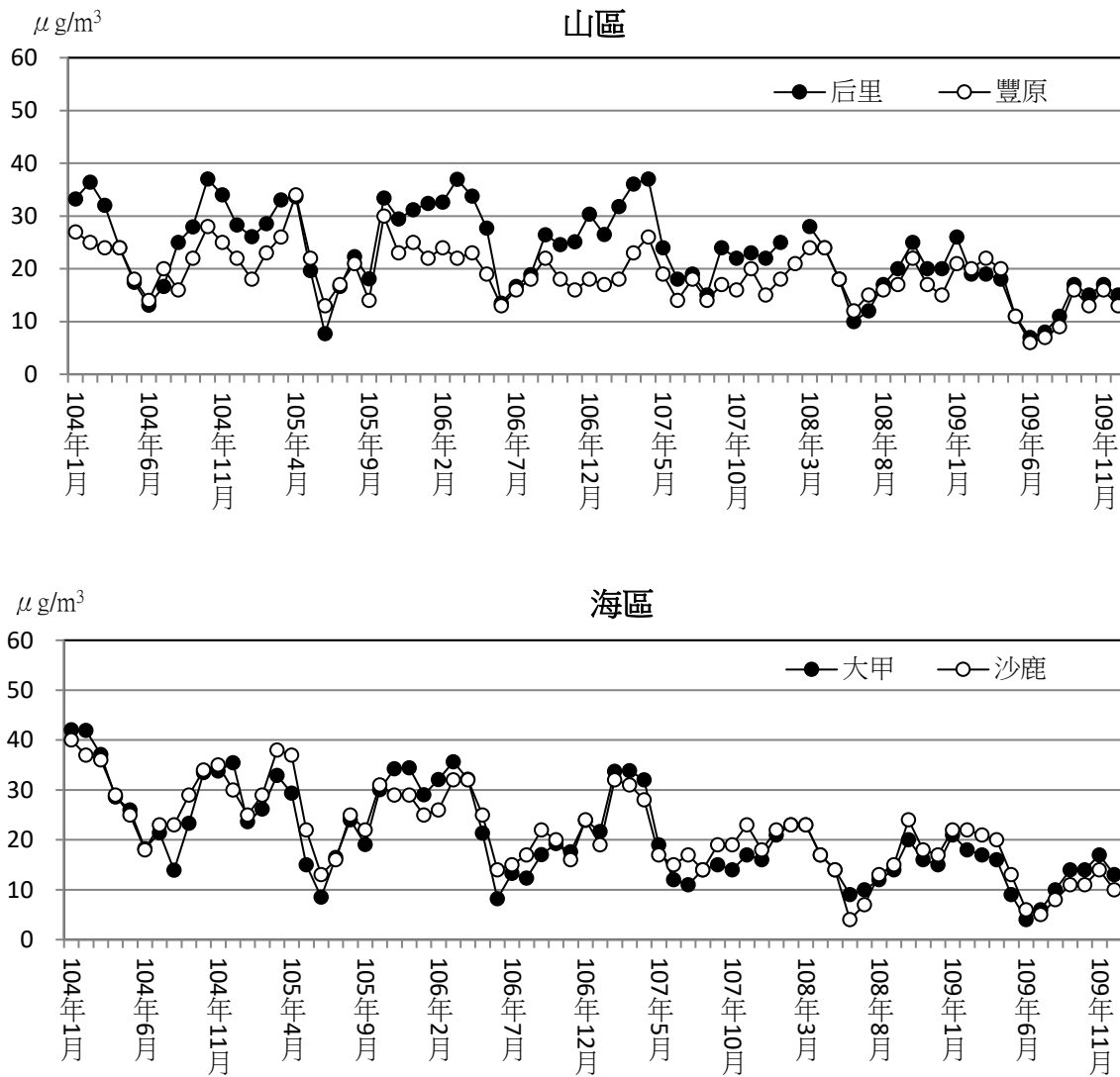
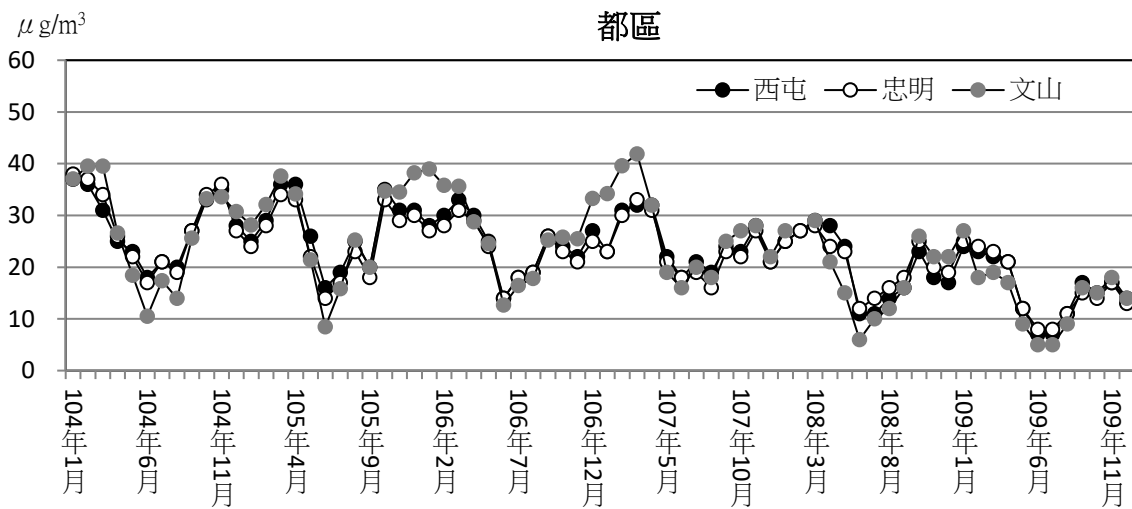
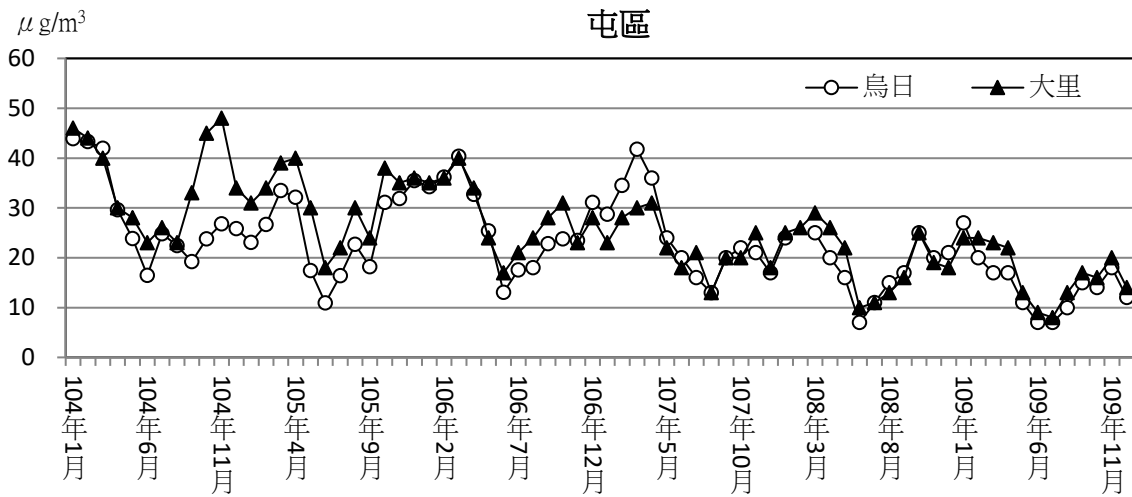
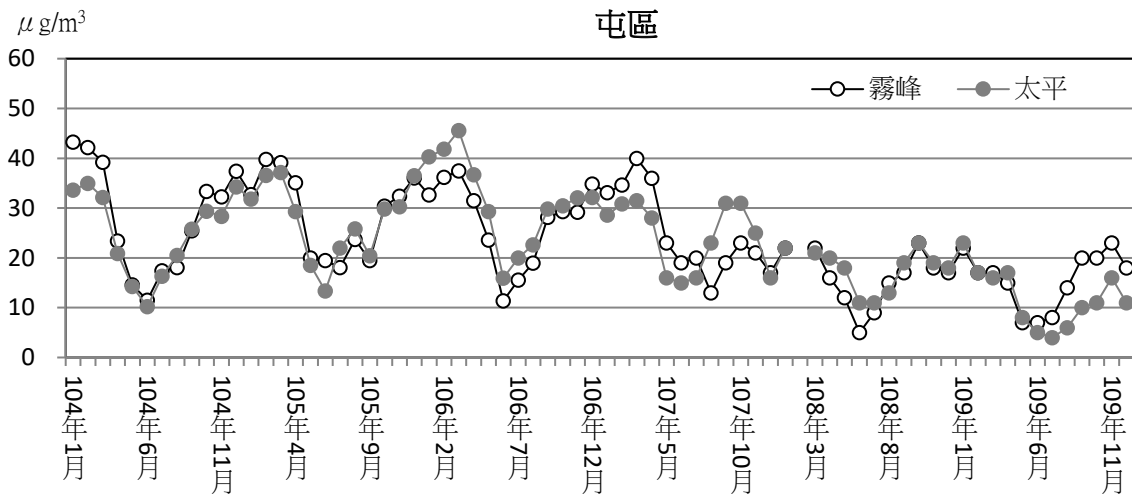


圖2.3.4、臺中市PM_{2.5}月平均值變化 (1/2)



續圖2.3.4、臺中市PM_{2.5}月平均值變化 (2/2)

2.3.2、PM_{2.5}成分特徵變化

PM_{2.5}化學成分與污染來源有關，圖 2.3.5 為近年臺中市大氣中 PM_{2.5} 調查結果，大里、后里、東大三個地區以硫酸鹽跟有機碳為大宗，后里及東大站以硫酸根占比最高，次為有機碳，大里站則以有機碳占比最高，次為硫酸根（台灣綠仕科技有限公司，2017；台灣綠仕科技有限公司，2018）。

表 2.3.2 彙整臺中市近年 PM_{2.5} 成分調查專案結果，各專案依其研究目的採用不同的採樣器及分析方法，PM_{2.5} 化學成分結果略具差異。值得注意的是，環保署專案計畫（李崇德，2016、2018）於專案調查中指出，以 PM_{2.5} 標準方法採樣時，因使用單張濾紙分析，未矯正濾紙微粒揮發及空氣中揮發性有機物干擾的結果，水溶性無機離子可能在 NH₄⁺ 濃度低估 11%~37%，NO₃ 濃度低估 21%~91%，Cl 濃度低估 41%~90%。經補償後可歸納出本市 PM_{2.5} 以硫酸鹽及有機碳含量最高。

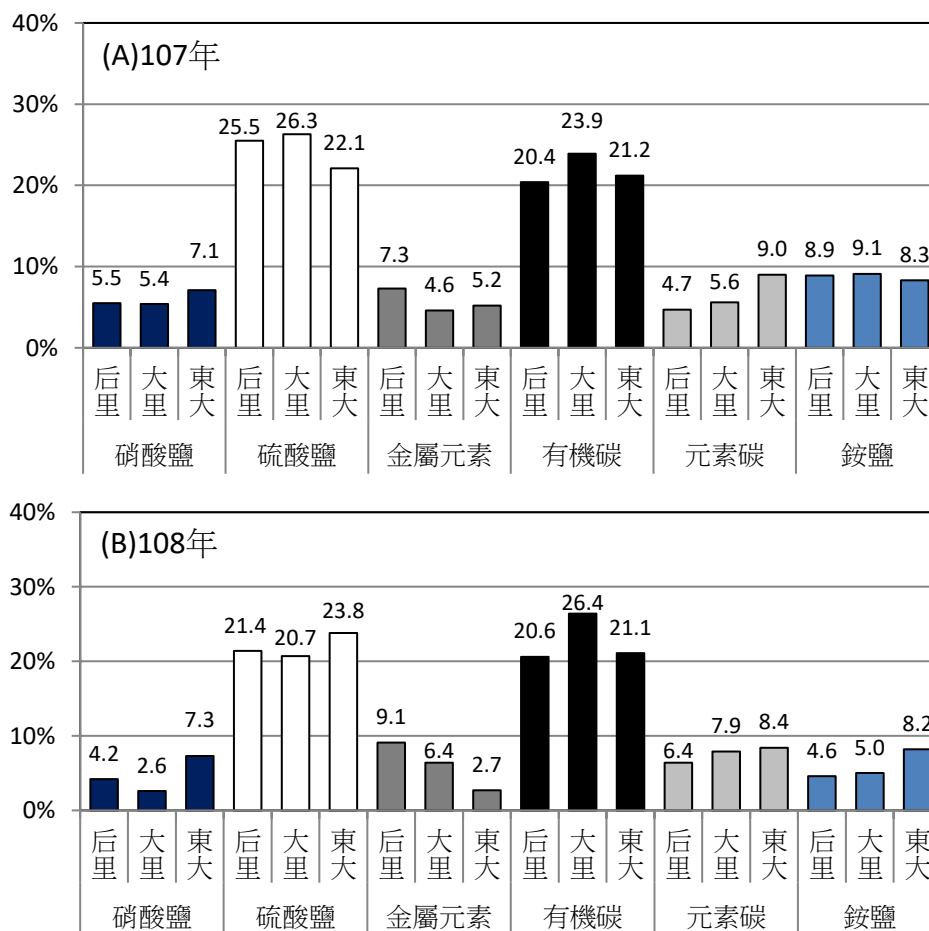


圖2.3.5、PM_{2.5}化學組成占比（%）調查結果

表2.3.2、近年臺中市PM_{2.5}成分調查報告之結果彙整表

採樣地點	項目	占比 (%)	資料來源
環保署固定站 (忠明)	SO ₄ ²⁻	15~21	李崇德等 (2020)
	NO ₃ ⁻	6~23	
	NH ₄ ⁺	8~12	
	OC	20~28	
	EC	5~6	
環保局固定站 (后里、大里、東大)	SO ₄ ²⁻	21~24	台灣綠仕科技有限公司 (2019)
	NO ₃ ⁻	3~7	
	NH ₄ ⁺	5~8	
	OC	21~26	
	EC	6~8	
環保局固定站 (后里、大里、東大)	SO ₄ ²⁻	25~29	台灣綠仕科技有限公司 (2018)
	NO ₃ ⁻	5~7	
	NH ₄ ⁺	9~10	
	OC	18~23	
	EC	5~10	
環保局固定站 (梧棲、后里、西屯、大里)	SO ₄ ²⁻	26~27	台灣綠仕科技有限公司 (2017)
	NO ₃ ⁻	3~4	
	NH ₄ ⁺	2~14	
	OC	18~29	
	EC	4~6	
環保署固定站 (忠明)	SO ₄ ²⁻	20~31	李崇德 (2016)
	NO ₃ ⁻	6~11	
	NH ₄ ⁺	9~12	
	OC	17~25	
	EC	6~8	
計畫自設移動站 (港區、后里區、西屯區、大雅區) (設點 41 處)	SO ₄ ²⁻	14~31	郭崇義 (2017)
	NO ₃ ⁻	1~14	
	NH ₄ ⁺	2~15	
	OC	9~20	
	EC	4~10	
環保署固定站 (忠明、豐原)	SO ₄ ²⁻	28~29	吳義林 (2015)
	NO ₃ ⁻	10~12	
	NH ₄ ⁺	15~16	

備註：1.李崇德 (2016、2018) 計畫、吳義林 (2015)、台灣綠仕科技有限公司 (2017、2018、2019) 等人以標準方法之採樣器採樣，碳組成以熱光學反射法分析

2.郭崇義 (2017) 之計畫以高量採樣器採樣，碳組成以元素分析儀分析

環保署雖在本市設有手動及自動 PM_{2.5} 監測站，但無成分分析。本市自 105 年設置區域 PM_{2.5} 成分監測站，可就長期成分分析區域大里與后里，分析 PM_{2.5} 排放量、PM_{2.5} 濃度以及 PM_{2.5} 主要成分硫酸鹽、硝酸鹽、有機碳等成分變化。

表 2.3.3 可知全市 PM_{2.5} 排放量變化，四年減少 2,267 公噸排放，而大里 PM_{2.5} 濃度改善 5.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，后里站改善 5.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。圖 2.3.6 為兩者趨勢關係，並非直線相關，

此說明 PM_{2.5} 濃度不只受 PM_{2.5} 排放量影響，還有其他相關因素，如氣象及前驅污染物等。

表2.3.3、近年臺中市PM_{2.5}排放量與大里站自動PM_{2.5}年平均值變化

項目 \ 年度	105 年	106 年	107 年	108 年	105 年-108 年 (改善量)
全市 PM _{2.5} 排放量 (公噸/年)	7,194	6,342	6,127	4,927	2,267
大里自動 PM _{2.5} 年平均 (μg/m ³)	22.5	20.8	15.7	16.7	5.8
后里自動 PM _{2.5} 年平均 (μg/m ³)	25.0	26.6	24.9	19.9	5.1

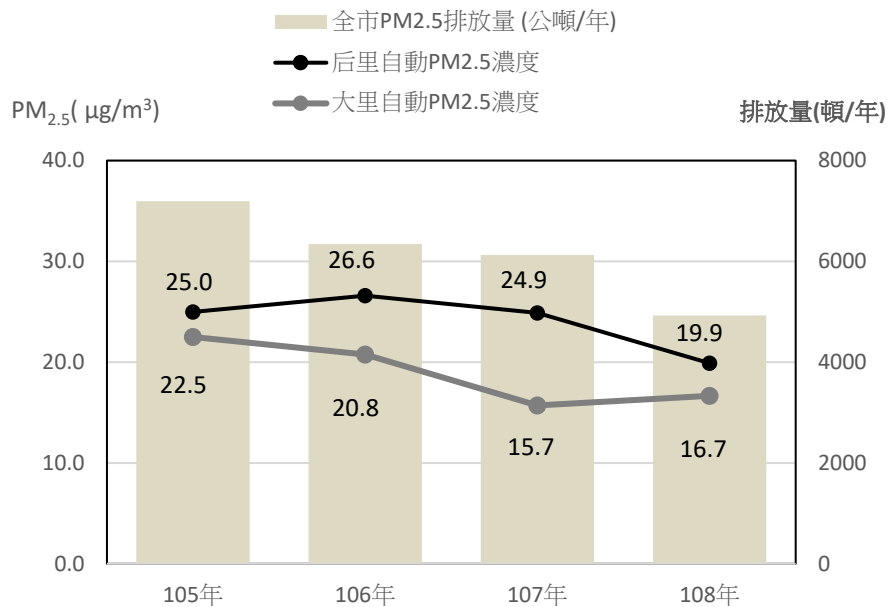


圖2.3.6、近年臺中市PM_{2.5}排放量與自動PM_{2.5}年平均值變化關係

成分監測樣品須送至實驗室分析，因採樣分析費用昂貴，無法每日採樣，105年採樣分析次數最多，每間隔六天採樣一次。表 2.3.4 是本市大里成分監測站統計結果，可看到 PM_{2.5} 中以硝酸根 (NO₃⁻) 成分改善最多，其次為有機碳 (OC)。由 TEDS11.0 資料庫可知 105 年~108 年本市 NO_x 減量 18,271 公噸，減量噸數遠高於 SO_x (減量 10,837 公噸)，因此，NO_x 的衍生物硝酸根 (NO₃⁻) 減量最多。圖 2.3.7 為手動 PM_{2.5} 濃度與主要成分變化關係，元素碳濃度未減反增。

表2.3.4、近年臺中市大里站手動PM_{2.5}濃度與成分變化

項目	年度	105 年	106 年	107 年	108 年	105 年-108 年 (改善量)
樣品數 (N)		56	21	16	16	
手動 PM _{2.5} 濃度 (μg/m ³)		23.21	20.03	22.56	17.81	5.40
NO ₃ 濃度 (μg/m ³)		2.72	1.08	1.99	0.62	2.10
SO ₄ ²⁻ 濃度 (μg/m ³)		4.48	4.99	5.62	3.73	0.75
NH ₄ ⁺ 濃度 (μg/m ³)		2.01	1.67	2.20	1.07	0.94
OC 濃度 (μg/m ³)		6.07	5.03	4.91	4.23	1.84
EC 濃度 (μg/m ³)		1.43	1.16	1.3	1.61	-0.18

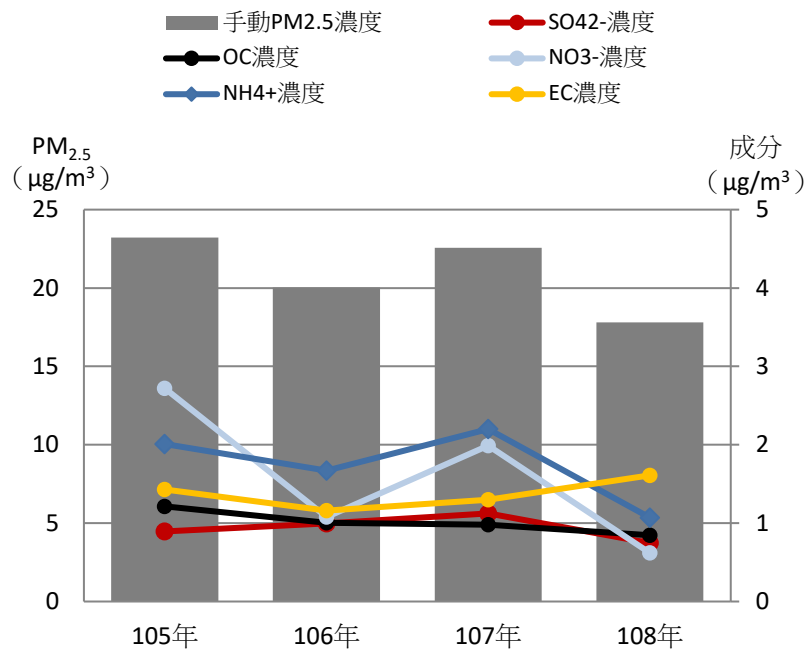
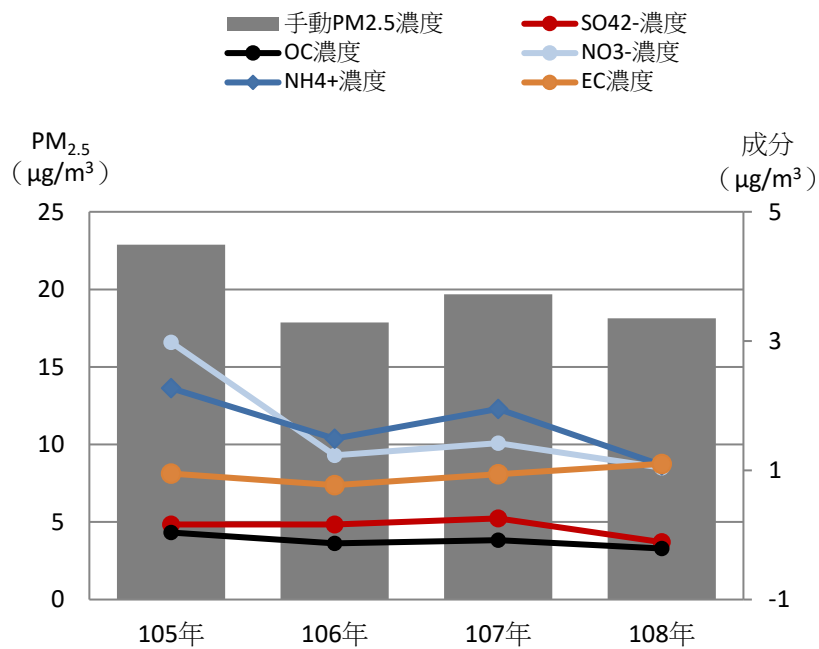
圖2.3.7、近年臺中市大里站手動PM_{2.5}濃度與主要成分變化關係

表 2.3.5 是本市后里成分監測站統計結果，可看到 PM_{2.5} 中以硝酸根 (NO₃⁻) 成分改善最多，其次為氨根 (NH₄⁺)。由 TEDS11.0 資料庫可知 105 年~108 年本市 NO_x 減量 18,271 公噸，減量噸數遠高於 SO_x (減量 10,837 公噸)，因此，NO_x 的衍生物硝酸根 (NO₃⁻) 減量最多。圖 2.3.8 為手動 PM_{2.5} 濃度與主要成分變化關係，元素碳濃度未減反增。

表2.3.5、近年臺中市后里站手動PM_{2.5}濃度與成分變化

項目	年度	105年	106年	107年	108年	105年-108年 (改善量)
樣品數 (N)		56	23	16	16	
手動 PM _{2.5} 濃度 (μg/m ³)		22.89	17.87	19.69	18.13	4.76
NO ₃ 濃度 (μg/m ³)		2.98	1.23	1.42	1.04	1.94
SO ₄ ²⁻ 濃度 (μg/m ³)		4.85	4.85	5.23	3.70	1.15
NH ₄ ⁺ 濃度 (μg/m ³)		2.27	1.49	1.95	1.08	1.19
OC 濃度 (μg/m ³)		4.32	3.62	3.83	3.29	1.03
EC 濃度 (μg/m ³)		0.95	0.77	0.94	1.10	-0.15

圖2.3.8、近年臺中市后里站手動PM_{2.5}濃度與主要成分變化關係

2.3.3、能見度變化趨勢

霧跟霾都是造成能見度不佳的原因，一般而言，造成能見度不及一公里的視障為霧，而霾則是能見度小於十公里時的天氣現象。霧是小水滴組成，有濕潤感，相對溼度大於 90%；霾則是懸浮於空氣為小顆粒，對光線具消光效應。發生時相對溼度大約在 75%以下。霧在午夜到清晨出現，霾任何時候都可能會出現，一天之內也可能一直存在。

霧、霾也會相伴而生，懸浮微粒會增加水氣的凝結作用，增加霧的形成，當相對濕度高於 80%的狀況下，以霧為主，而若濕度不高，以霾為主。空污季節因為霾所造成能見度下降經常發生，因此，當大氣能見度不佳，民眾大多直接與空氣品質惡化畫上等號。

圖 2.3.9 為氣象局人工觀測資料，六都之能見度統計，能見度為夏季高，冬季低；北部能見度較高，越往南部能見度越差。臺中市能見度僅優於臺南市及高雄市。

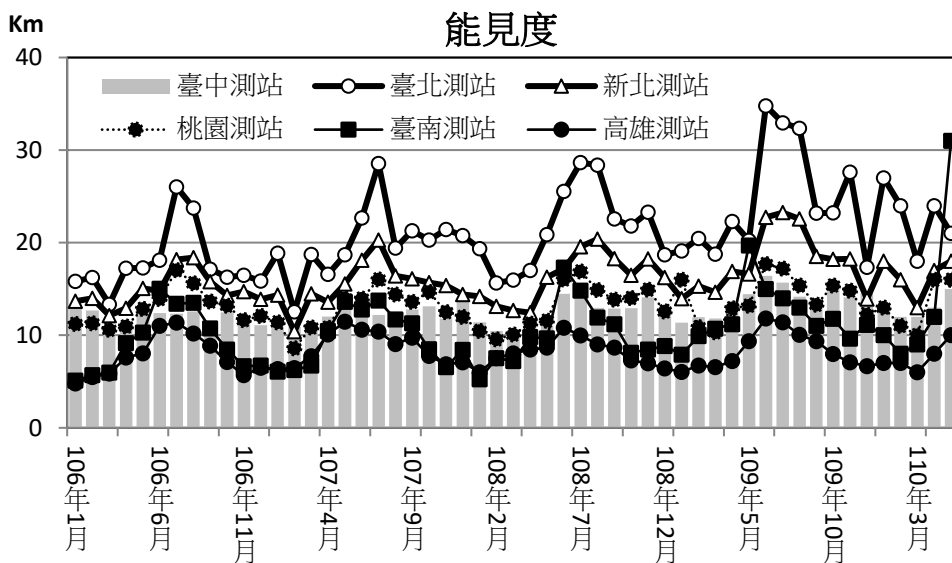
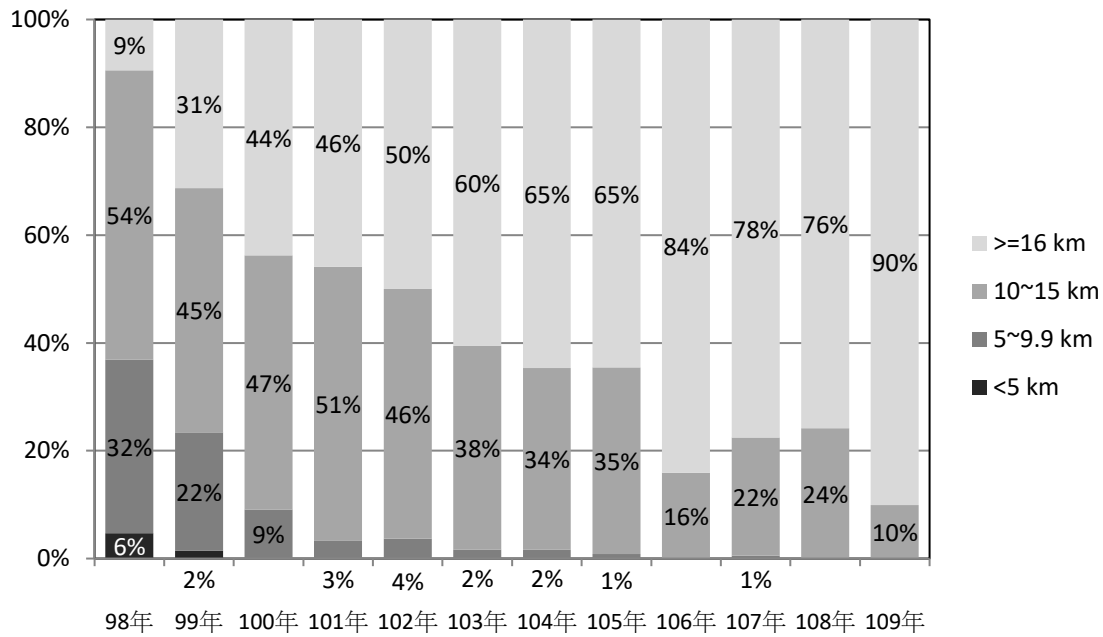


圖2.3.9、六都能見度觀測結果

環保署於 97 年起於全國設置八座能見度自動監測站，圖 2.3.10 為本市西屯測站小時能見度統計結果，由圖可知能見度大於 16 公里由 98 年 9% 上升至 109 年的 90%。以自動能見度儀結果而言，臺中市之能見度確實逐年提升。



資料來源：環保署西屯測站能見度儀日平均

圖2.3.10、臺中環保署西屯站能見度觀測結果

2.3.4、微粒消光特性

對微粒消光性質的調查是改善能見度的基本課題，能見度與微粒成分、大小以及相對濕度等多重的影響，提升能見度是空氣品質管理工作之一。臺中市能見度改善應該在科學根據下，研擬管制措施，求其效益。

許多文獻以美國 IMPROVE 經驗公式或多元線性迴歸推估當地微粒化學組成之消光係數，如澳大利亞的布里斯本為 65Mm^{-1} (Chan et al., 1999)、墨西哥 199.98Mm^{-1} (Eidels, 2002)、西班牙的格拉納達 110Mm^{-1} (Lyamani, 2008) 和美國 $22\text{Mm}^{-1} \sim 105\text{Mm}^{-1}$ (Sisler & Malm, 2000)。大致上以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 和 POM 是當地主要的消光化學成分，占微粒消光係數的 70% 以上。

中國廣州市的調查結果顯示，微粒化學組分消光係數在 $37\text{Mm}^{-1} \sim 548\text{Mm}^{-1}$ ， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 為主要消光物種，占 32% 以上，二次有機物 (POM) 其次 (20% 左右)，且不同季節各化學組分貢獻率呈現不同的變化特徵，其中秋季 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的消光貢獻率達到 60%， NH_4NO_3 冬季為最大 (29%)，POM 夏季為最大 (23%)。而相對於 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 和 POM，粗粒子的消光係數較小，約 5.0%~20.4%。廣州深圳 PM_{10} 的消光係數為 290Mm^{-1} (Tao, 2009)。

表 2.3.6 彙整國內外懸浮微粒與能見度相關研究結果，可以得知微粒光學特性具極大關聯性，間接影響大氣能見度。

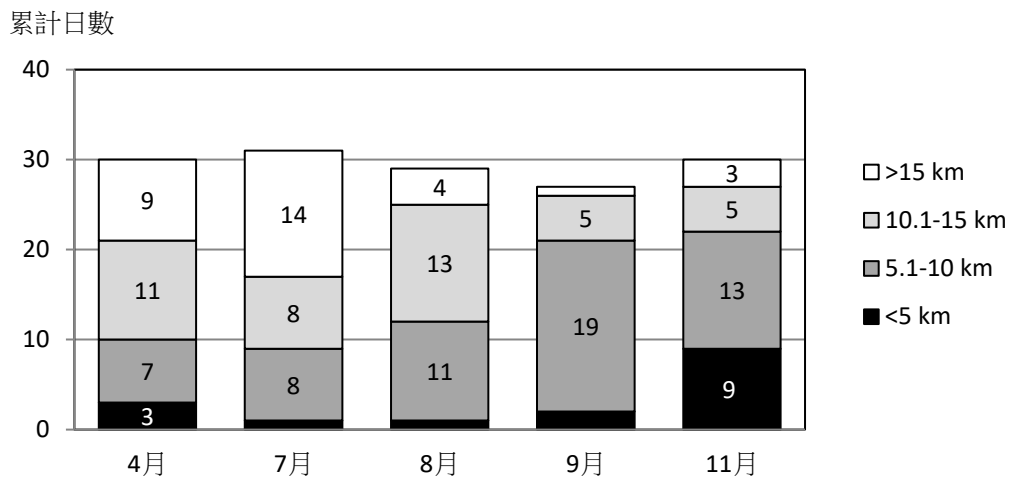
表2.3.6、國內、外懸浮微粒特性與能見度相關研究 (1/2)

研究結果	參考文獻
北京氣膠中消光貢獻有機物占 30%，氯化銨占 6%，硝酸銨占 24%，硫酸銨占 26%。黑碳占 6%，其他占 8%。	Kong et al. (2021)
臺中地區 PM ₁ 對於能見度劣化貢獻比 PM _{2.5} 高，PM _{2.5} 質量濃度減量雖有助於能見度改善，但粒徑上的變化抵銷減量的效益。能見度劣化期間大氣中硝酸鹽呈大幅增加的現象。	林唐煌等 (2018)
探討高雄市區（前金）與郊區（橋頭）大氣能見度結果，研究指出秋夏兩季有較大的粒徑，原因在於兩季擁有較高相對濕度（RH>80%）以致增加微粒粒徑。秋季消光係數最高，夏季最低，而消光係數會隨著硫酸銨和硝酸銨濃度變化，粒徑改變並導致能見度下降。前金消光係數粒徑分布為 0.46μm~0.7μm；橋頭則為 0.30μm~0.45μm。	林文印等 (2018)
臺中地區102年~106年PM _{2.5} 與能見度之關係研究顯示，PM _{2.5} 濃度與逐時能見度有中度之負相關，且明顯受相對濕度影響，低濃度PM _{2.5} 亦能導致能見度不良。PM _{2.5} 散光係數之主要貢獻者，依序為SO ₄ ²⁻ （27%~30%）、NO ₃ ⁻ （26%）、有機物（20%~26%）、粗微粒（10%~11%）、海鹽（6%）與地殼塵土（6%~7%）等。大氣消光係數增加時能見度惡化，PM _{2.5} 中NO ₃ 之貢獻增幅最大（21%）；反之，能見度良好時，PM _{2.5} 中SO ₄ ²⁻ 與有機物之貢獻則相對重要。	林唐煌等 (2018)
PM ₁ 的消光貢獻最大成分是硫酸銨，平均貢獻率35.1%；其次是硝酸銨26.7%；OC貢獻率25.5%，EC貢獻率8.7%；氯化銨貢獻率4.0%，浙江金華地區PM ₁ 中的硫酸銨及有機物（二次轉化與生物質燃燒排放）是造成能見度下降的重要因素。	陳雯廷等 (2017)
臺中市能見度與微粒、氣象多元迴歸結果 $Visibility(km) = 13.99 - 0.48SO_4^{2-} + 0.38WS + 0.37T - 0.44RH$ 。PM _{2.5} 成分及氣象因子為臺中市忠明測站數據，能見度採梧棲氣象站觀測資料。	李崇德 (2016)
中國南京霧霾事件研究指出，造成當地霧霾嚴重與NO ₃ ⁻ /SO ₄ ²⁻ 比例增加有關，懸浮微粒氣膠散射係數介於696.7±445.4Mm ⁻¹ ，造成此原因跟高相對濕度使粒徑增至0.6μm~1.4μm相關性極高。	Kang et al. (2013)
中國廣州探討大氣濕度、溫度、微粒質量濃度和PM _{2.5} 之碳成分（EC/OC）及陰陽離子（NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , 與NH ₄ ⁺ ）關係，結果顯示當地(NH ₄) ₂ SO ₄ 、NH ₄ NO ₃ 、有機物質、EC、SS與PM _{2.5} 之能見度貢獻率分別為36.5%、5.7%、27.1%、7.8%、3.7%及19.3%。	Jung et al. (2009)

續表2.3.6、國內、外微粒特性與能見度相關研究 (2/2)

研究結果	參考文獻
探討高雄能見度下降與微粒粒徑介於0.26 μm ~0.90 μm 高度相關，散光係數貢獻度為約72%左右。整體而言，硫酸銨、硝酸銨、總碳及PM _{2.5} 各自貢獻整體散光係數之53%、17%、16%及14%。	Lee et al. (2005)
探討臺北及高雄都會區之大氣能見度之比較，發現都會區之能見度呈季節性變化，且夏季之能見度高於冬季，都會區能見度與懸浮微粒濃度呈負相關。而84年以來臺北都會區之能見度普遍高於高雄都會區之能見度，其中臺北都會區之能見度呈逐年上升之趨勢，而高雄都會區則呈逐年下降之趨勢。	張國忠等 (2005)
研究臺北新莊地區91年3月~9月散光係數與化學組成的多元線性迴歸關係，結果顯示總散光係數 (Mm^{-1}) = 16 [Sulfate (總散/ m^3)] + 16 [Nitrate (總散/ m^3)] + 6 [Organic carbon (化學組成 ³)] - 14，此一迴歸式可以解釋新莊地區約80% ($R^2=0.8$) 散光係數的變化。該調查顯示新莊春季散光係數高於夏季，背散射對總散射的貢獻比例有明顯的季節性差異，夏季高於春季，但是吸光係數的季節性差異不明顯。	呂理德 (2003)
探討臺北及高雄都會區氣膠特性與污染來源推估，研究指出臺北、高雄地區氣膠散光係數與PM _{2.5} 有良好的相關性，氣膠成分中硫酸鹽、硝酸鹽與氣膠散光係數間有中度相關性。在高雄地區，整體採樣期間以硫酸鹽散光效率最高，其次為硝酸銨；在臺北地區，整體採樣期間以硫酸銨散光效率為最高，其次為硝酸銨。	王俊凱 (2000)
美國東部PM _{2.5} 成分以硫酸鹽為主，西部以含碳物質 (OC+EC) 為主，南部加州以硝酸鹽為主。研究顯示東部消光物種主要為硫酸鹽，西部因為濕度關係，硫酸鹽與含碳物質的消光程度相近，南部加州則是硝酸鹽為主要消光物種。	Sisler & Malm (2000)
分析85年12月至87年1月之資料顯示臺中都會及沿海地區之盛行能見度 (km) 與氣膠散光係數 (km^{-1})，具良好負相關。都會及沿海地區之兩者關係分別為能見度=2.82/ (氣膠散光係數 ^{0.81}) 及能見度= (3.71/氣膠散光係數 ^{0.45})，兩地能見度之經驗模式顯示以硫酸鹽對能見度變化最具敏感性。	蔡瀛逸 (1999)
丹佛地區於冬天時期造成能見度下降的吸光效應，約占消光係數之31%，其中主要為懸浮微粒中元素碳所致，貢獻量約為吸光係數之38%。水氣對於消光係數影響顯著，於採樣期間所量測之乾氣膠散光係數約占40%。	Groblicki et al. (1981)

臺中市 109 年於大里地區以消光能見度儀監測大氣 24 小時消光變化，監測月份比較結果如圖 2.3.11 所示，以 7 月份能見度最佳。能見度>15km 的天數有 14 天最多，9 月份僅 1 天；能見度極差 (<5km) 的日子以 11 月份最多，達 9 天（台灣綠仕科技有限公司，2020）。



備註：109年僅監測5個月（4月、7月、8月、9月、11月）

圖2.3.11、109年臺中市大里地區能見度監測結果日數統計

該計畫以微粒組成特徵建立化學消光效率公式，公式之推估參考美國 IMPROVE 之 $b_{ext}=b_{ag}+b_{ap}+b_{sg}+b_{sp}$ ，詳細說明如下：

微粒對於光源傳輸干擾分為散光（scattering）與吸光（absorption）兩種，散光和吸光合稱為消光（extinction）。經典的 Koschmieder 公式已將大氣能見度與消光係數間建立數值關係，即：

$$b_{ext} = \frac{-\ln(\epsilon)}{V}$$

V：水準能見度（m）

b_{ext} ：大氣消光係數（ Mm^{-1} ）

ϵ ：對比視感閾值（指能見度觀測時，亮度對比值減小到目標物不能見時的值）

當物體和周圍環境的光強度對比 ϵ 為 0.02 時（目標物與背景之比值小於 0.02），可視為人類肉眼之偵測極限，故能見度與消光係數關係式如下：

$$V = \frac{3.91}{b_{ext}}$$

消光係數 (Extinction Coefficient, b_{ext}) 單位皆為 Mm^{-1} ，是指大氣中氣體與微粒因吸光與散光導致之單位距離光強度衰減分率，即消光係數 (b_{ext}) 為吸光 (b_{abs}) 與散光 (b_{scat}) 之總和，即：

$$b_{ext} = b_{scat} + b_{abs}$$

吸光係數又可細分為氣體吸光係數 (b_{ag}) 以及微粒吸光係數 (b_{ap})，散光係數也可細分為氣體散光係數 (b_{sg}) 以及氣膠散光係數 (b_{sp}) (Seinfeld, Pandis et al., 1998)：

$$b_{scat} = b_{sg} + b_{sp}$$

$$b_{abs} = b_{ag} + b_{ap}$$

因此，能見度由大氣消光係數代入 Koschmieder 公式推估如下：

$$b_{ext} = b_{ag} + b_{ap} + b_{sg} + b_{sp}$$

b_{sg} ：空氣分子之散光係數

b_{ag} ：空氣分子的吸光係數

b_{sp} ：懸浮微粒的散光係數

b_{ap} ：懸浮微粒的吸光係數

其中：

$$b_{ag} = 0.330[NO_2]，[NO_2] \text{單位：ppb}$$

$$b_{sg} = 10，\text{取氣體的瑞利散射係數}10$$

$$b_{ap} = 10[EC]$$

$$b_{sp} = 3f(RH)[SO_4^{2-}] + 3f(RH)[NO_3^-] + 4[OC] + 1[Soil] + 0.6[CM]$$

備註：OC、EC、Soil、CM由以下方式推估

(1) (RH)：不同大氣濕度下的散光係數

(2) [OC]：有機碳

(3) [EC]：元素碳

(4) [Soil]：土壤元素，一般金屬元素含量推估而得，即

$$2.2[Al] + 2.49[Si] + 1.94[Ti] + 1.63[Ca] + 2.42[Fe] \text{計算而得}$$

(5) [CM]：粗粒，即 $PM_{10-2.5}$

代入消光公式中得到下式：

$$b_{ext} = 0.33[NO_2] + 3f(RH)[SO_4^{2-}] + 3f(RH)[NO_3^-] + 4[OC] + 1[Soil] + 0.6[CM] + 10[EC] + 10$$

在微粒的消光特性中，因地殼元素、金屬等對細微粒濃度的貢獻很少且消光效率較低（Tao et al., 2014；Watson, 2002），該兩項可以忽略不計。表 2.3.7 為本計畫彙整不同地區研究微粒組成與大氣消光性的數值公式，以 109 年臺中市大里地區以 PM₁ 作為大消光性的研析發現，微粒中的元素碳（EC）及有機碳（OC）是導致當地能見度不佳的前二大物種（台灣綠仕科技有限公司，2020）。

表2.3.7、不同地區之消光公式彙整表

消光公式	參考文獻
$PM_1, b_{ext} = 0.33[NO_2] + 2.2[SO_4^{2-}] + 3.7[NO_3^-] + 4.2[OC] + 10[EC] + 3.4[CM]$	台灣綠仕科技有限公司(2020)
$PM_1, b_{ext} = 5.0 \times [EC] + 6.4 \times [(NH_4)_2SO_4] + 7.5 \times [NH_4NO_3] + 3.9 \times [NH_4Cl] + 3.4 \times [SOA] + 17.3 \times [BBOA]$	陳雯廷等(2017)
$PM_{2.5}, b_{ext} = 3f(RH)[(NH_4)_2SO_4 + NH_4NO_3 + WSOC] + 4[WSOC] + 10[EC] + 1[fine\ soil] + 0.6[coarse\ mass] + 330[NO_2] + 10 + 1.7f_{ss}(RH)[1.8Cl^-]$	徐薇等(2015)
$PM_{2.5}, b_{ext} = b_{Rg} + (3)f(RH)[SO_4^{2-}] + (3)(RH)[NO_3^-] + (4)[OC] + (1)[Soil] + (0.6)[Coarse\ Mass] + b_{abs}$	美國 IMPROVE 能見度指引
$PM_{2.5}, b_{ext} = 0.03 \times 10^{-4}([NO_3^-] + [SO_4^{2-}] + [OC]) + 0.006 \times 10^{-4}[Dust] + 0.12 \times 10^{-4}[Soot]$	Farber et al. (1994)
$PM_{2.5}, b_{ext} = (3) \left(\frac{7}{(1 - RH)/100} \right) [SO_4^{2-} + NO_3^-] + (4) \left(0.5 + (0.5) \left(\frac{7}{((1 - RH)/100)} \right) \right) [OC] + (10)[EC] + (2)[Fine\ dust] + (0.6)[CM] + (0.45)[NO_2] + 9.9$	Buhr 與 Cummins (1998)

依據 109 年大里 PM 之消光公式 $b_{ext} = 0.33[NO_2] + 2.2[SO_4^{2-}] + 3.7[NO_3^-] + 4.2[OC] + 10[EC] + 3.4[CM]$ 可知，元素碳（EC）消光效率最高 $10\ m^2 \cdot g^{-1}$ ，有機碳（OC）消光效率 $4.2\ m^2 \cdot g^{-1}$ 次之，此結果代表 EC 和 OC 是影響大里地區能見度的前二大物種，因此，改善大里能見度的首要課題仍是管制 OC 與 EC。

第三章 管道 PM_{2.5} 採樣分析

— 章節摘要 —

掌握管道 PM_{2.5} 實際排放量並訂管道排放標準是管制固定污染源重要的工作之一。中央與地方長期進行管道 PM_{2.5} 調查工作，臺中市於 102 年～109 年執行 46 根次檢測，已涵蓋 16 個業別，逐步完成本市固定源 PM_{2.5} 排放清冊（詳附錄五）。為達成本市污防書 110 年檢測三根次的目標，本年度選取兩根次廢棄物焚化爐及一根次電弧爐調查。本章說明檢測結果，並與過去比較，瞭解排放特徵。

3.1、管道 PM_{2.5} 採樣分析

今年度配合污防書目標編列三根次之排放管道 PM_{2.5} 採樣，採樣工作流程如圖 3.1.1 所示，採樣廠家如表 3.1.1：

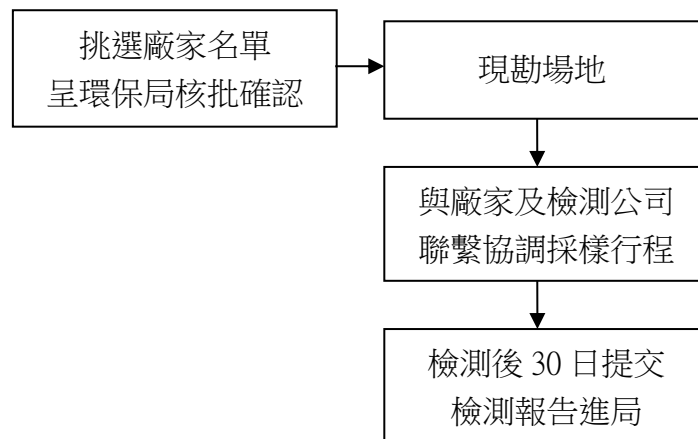


圖 3.1.1、排放管道 PM_{2.5} 採樣廠家擇定工作流程

管道 PM_{2.5} 檢測委託認證檢測業上準環境科技公司執行，以公告方法「排放管道中細懸浮微粒（PM_{2.5}）檢測方法」（NIEA A212.11B）、「排放管道中可凝結性微粒檢測方法」（NIEA A214.71C）採集，表 3.1.2 管道採樣日期及照片記錄。

表 3.1.1、110 年採樣廠家資訊及時程摘要表





廠家	No.	管制編號	製程名稱	管道編號	PM _{2.5} 採樣日期	備註
后里焚化爐	1	L9201289	廢棄物焚化處理程序 (M01)	P001	06/17~06/18	1.烏日焚化爐109年採樣 2.文山焚化爐更新中
祥祐資源	2	L9101720	廢棄物熱處理 (焚化處理除外) 程序 (M01)	P103	08/26~08/27	處理廢溶劑 過去未曾採樣
豐興鋼鐵	3	L9200728	電弧爐煉鋼製造程序 (M06)	P014	10/19~10/20	去年署考核指定業別 (發生工安問題停採)

備註：1. 採樣單位：上準環境科技有限公司
2. 陪同單位：台灣綠仕科技有限公司

表 3.1.2、110 年排放管道 PM_{2.5} 採樣情形及時程 (1/2)

廠家	採樣日期	採樣情形	
后里焚化爐 P001	06/17~06/18		
			
			
			
祥祐資源 P103	08/26~08/27		
			
			
			

續表 3.1.2、110 年排放管道 PM_{2.5} 採樣情形及時程 (2/2)

廠家	採樣日期	採樣情形	
<p>豐興鋼鐵 P014</p>	<p>10/19~10/20</p>		
			

3.2、檢測結果

一、后里焚化爐管道及祥祐資源排放管道

后里垃圾焚化爐及祥祐資源排放管道 PM_{2.5} 檢測結果如表 3.2.1，可過濾性微粒（Filterable Particulate Matter）FPM 為 0.60 mg/Nm³、2.06 mg/Nm³，可凝結性微粒（Condensable Particulate Matte）CPM 為 1.50 mg/Nm³、18.1 mg/Nm³，管道總 PM_{2.5} 為 2.10 mg/Nm³、20.16 mg/Nm³，后里焚化爐與其他焚化爐檢測結果比較，濃度並未較高，而祥祐資源主要處理廢溶劑，無論 FPM 或 CPM 的排放濃度皆較一般垃圾焚化爐高，建議未來應持續關注。

表 3.2.2 為 FPM 成分檢測結果及占比分析，成分高低占比差異極大，后里焚化爐 P001 燃燒一般垃圾，成分解析結果以氯離子占比最高，此與塑膠垃圾有關。祥祐資源以硫酸根占比最高，查其廢溶劑來源為半導體晶圓廠，具含硫物質。以重金屬管制標準而言，鎘（Cd）、鉛（Pb）、砷（As）濃度皆低於管制標準。圖 3.2.1 與圖 3.2.2 可知，后里焚化爐 P001 及烏日焚化爐 P001 之金屬占比皆以 Fe、Zn 較高，文山焚化爐之金屬占比以 Cd、Fe 較高。祥祐資源 P103 之金屬占比明顯偏低，與原料以廢溶劑為主有關。

表 3.2.1、臺中市垃圾焚化爐排放管道 PM_{2.5} 檢測結果一覽表

廠家	管道編號	年份	FPM	CPM	採樣口平均 排氣溫度 (°C)	總 PM _{2.5} FPM+CPM (mg/Nm ³)	防制設備
			(mg/Nm ³)				
后里 焚化爐	P001	110	0.60	1.50	151.0	2.10	除氫氧化物設備、 半乾式洗煙塔 脈動式袋式集塵器
祥祐 資源	P103	110	2.06	18.1	157.0	20.16	半乾式洗滌塔、 袋式集塵器
烏日 焚化爐	P001	102	0.31	0.35	152.0	0.66	半乾式洗煙塔、 脈動式袋式集塵器
	P001	109	0.70	8.52	147.0	9.22	半乾式洗煙塔、 脈動式袋式集塵器
文山 焚化爐	P003	106	0.08	12.78	161.7	12.86	半乾式洗煙塔、 脈動式袋式集塵器

備註：FPM 檢測方法 NIEA A212.11B，CPM 檢測方法 NIEA A214.71C

表 3.2.2、垃圾焚化爐管道排放 FPM 之成分比例/濃度含量表

廠家 成分	后里 焚化爐	烏日 焚化爐 ¹	烏日 焚化爐 ²	文山 焚化爐	祥祐 資源	后里 焚化爐	烏日 焚化爐 ¹	烏日 焚化爐 ²	文山 焚化爐	祥祐 資源	管制標準 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	質量濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					占比 (%)					
金屬元素											
Al	0.30	15.50	1.20	0.71	1.10	0.05	5.00	0.17	0.84	0.05	
Cd	0.04	0.63	0.02	N.D	0.10	0.01	0.20	0.003	8.54	0.005	1000
Co	0.02	-	0.02	N.D	0.10	0.003	-	0.003	-	0.005	50
Cr	0.30	0.35	0.10	0.09	0.30	0.05	0.11	0.014	0.11	0.01	1000
Cu	0.10	1.75	0.20	0.43	0.20	0.02	0.56	0.03	0.51	0.01	200
Fe	6.50	23.70	4.00	2.09	5.00	1.08	7.65	0.57	2.46	0.24	
Mg	0.30	4.36	0.70	1.09	1.10	0.05	1.41	0.10	1.28	0.05	
Mn	0.10	N.D	0.10	N.D	0.20	0.02	-	0.01	-	0.01	1000
Ni	0.10	N.D	0.10	N.D	0.30	0.02	-	0.01	-	0.01	1000
Pb	0.90	0.60	0.50	0.12	0.20	0.15	0.19	0.07	0.14	0.01	50
Zn	3.60	11.70	2.60	0.50	0.60	0.60	3.77	0.37	0.59	0.03	
As	0.02	-	0.02	N.D	0.10	0.003	-	0.003	-	0.005	10
Ba	0.10	-	0.10	0.01	0.20	0.02	-	0.01	0.01	0.01	500
Sb	0.10	-	0.10	0.00	0.10	0.02	-	0.014	0.00	0.005	
V	0.02	-	0.02	N.D	0.10	0.003	-	0.003	-	0.005	
Se	0.02	-	0.02	0.00	0.10	0.003	-	0.003	0.00	0.005	
備註：前 5 大金屬元素—鐵、銅、鋁、鋅、鎂											
有機碳/元素碳											
EC	6.00	40.0	8.00	10.00	7.00	1.00	12.9	1.14	11.76	0.34	
OC	3.00	55.6	5.00	2.30	3.00	0.50	17.94	0.71	2.71	0.15	
陰陽離子											
Na ⁺	20.0	15.60	12.00	14.00	6.00	3.33	5.03	1.71	16.47	0.29	
NH ₄ ⁺	2.00	0.15	2.00	N.D	8.00	0.33	0.05	0.29	-	0.39	
K ⁺	28.00	18.00	11.00	0.30	6.00	4.67	5.81	1.57	0.35	0.29	
Mg ²⁺	2.00	0.30	2.00	0.40	6.00	0.33	0.10	0.29	0.47	0.29	
Ca ²⁺	2.00	5.34	8.00	1.90	40.00	0.33	1.72	1.14	2.24	1.94	
Cl ⁻	59.00	32.80	28.00	1.10	6.00	9.83	10.58	4.00	0.08	0.29	
NO ₃ ⁻	2.00	5.59	2.00	N.D	6.00	0.33	1.80	0.29	-	0.29	
SO ₄ ²⁻	12.00	12.30	10.00	0.80	46.00	2.00	3.97	1.43	0.94	2.23	

備註：烏日焚化爐¹為 102 年採樣、烏日焚化爐²為 109 年採樣、文山焚化爐³為 106 年採樣

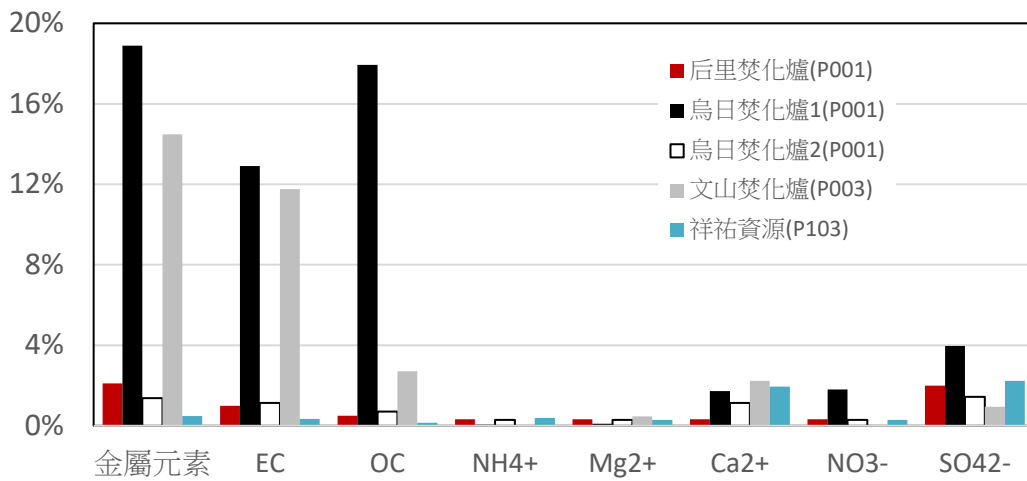


圖 3.2.1、焚化爐 FPM 主要化學成分占比

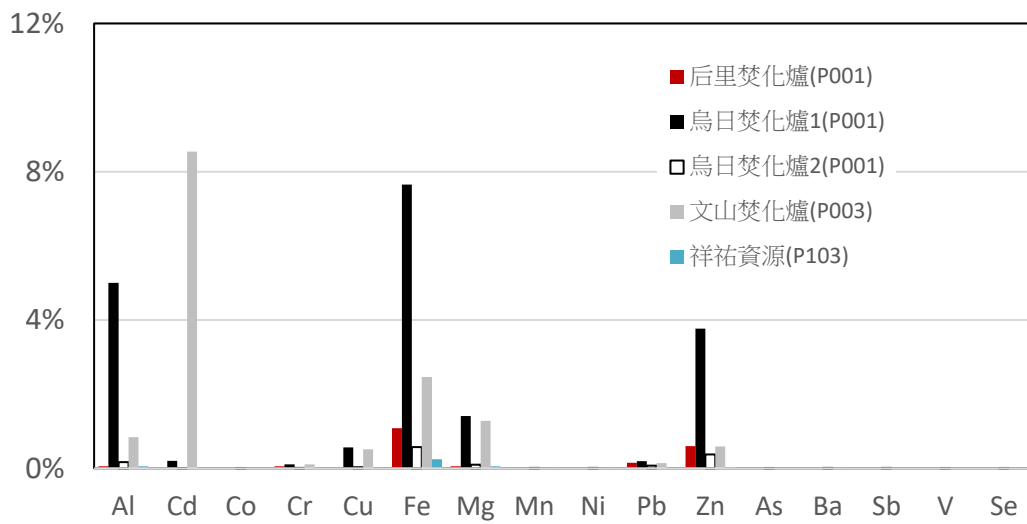


圖 3.2.2、焚化爐 FPM 之金屬元素成分占比

二、豐興鋼鐵電弧爐排放管道

電弧爐以廢鋼為原料，用來溶解廢鋼、冶煉鋼鐵的設備。豐興鋼鐵電弧爐排放管道 PM_{2.5} 檢測結果如表 3.2.3，FPM 為 0.060 mg/Nm³，CPM 為 0.37 mg/Nm³，管道總 PM_{2.5} 為 0.43 mg/Nm³。彙整歷年資料，可知電弧爐 FPM 介於 0.06 mg/Nm³~1.23 mg/Nm³，CPM 介於 0.09 mg/Nm³~2.00 mg/Nm³，管道總 PM_{2.5} 介於 0.43 mg/Nm³~2.94 mg/Nm³。變異程度大，與進料品質、操作條件、防制設備……等不同有關。

表 3.2.3、臺中市電弧爐排放管道 PM_{2.5} 檢測結果一覽表

廠家	管道編號	年份	FPM	CPM	採樣口平均 排氣溫度 (°C)	總 PM _{2.5} FPM+CPM (mg/Nm ³)	防制設備
			(mg/Nm ³)				
豐興 鋼鐵 1	P014	110	0.06	0.37	64.3	0.43	空氣逆洗式 袋式集塵器
豐興 鋼鐵 2		109	1.05	0.88	75.0	1.93	空氣逆洗式 袋式集塵器
豐興 鋼鐵 3	P002	109	0.37	0.09	85.7	0.46	脈動式 袋式集塵器
豐興 鋼鐵 4			0.34	2.00	93.6	2.34	
中龍 鋼鐵 1	P001	109	1.23	1.71	62.3	2.94	CO 燃燒塔 冷卻塔
中龍 鋼鐵 2			0.29	0.44	61.1	0.73	

備註：FPM 檢測方法 NIEA A212.11B，CPM 檢測方法 NIEA A214.71C

表 3.2.4、臺中市電弧爐排放管道 FPM 之成分比例/濃度含量表

廠家 成分	豐興 鋼鐵 1	豐興 鋼鐵 2	豐興 鋼鐵 3	豐興 鋼鐵 4	中龍 鋼鐵 1	中龍 鋼鐵 2	豐興 鋼鐵 1	豐興 鋼鐵 2	豐興 鋼鐵 3	豐興 鋼鐵 4	中龍 鋼鐵 1	中龍 鋼鐵 2	管制 標準 µg/m ³
	質量濃度 (µg/m ³)						占比 (%)						
金屬元素													
Al	0.34	0.80	15.00	1.30	0.50	1.10	0.57	0.08	4.05	0.38	0.04	0.38	
Cd	0.02	0.03	0.10	0.20	0.03	0.02	0.03	0.003	0.027	0.06	0.002	0.007	1000
Co	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.002	0.008	0.01	0.002	0.007	50
Cr	0.20	0.30	1.50	3.20	1.10	0.10	0.33	0.03	0.41	0.94	0.09	0.034	1000
Cu	0.07	0.10	1.00	0.70	1.40	0.07	0.12	0.01	0.27	0.21	0.10	0.02	200
Fe	26.40	25.10	65.60	84.10	23.00	5.30	<u>44.00</u>	<u>2.39</u>	<u>17.73</u>	<u>24.74</u>	<u>1.87</u>	<u>1.83</u>	
Mg	0.70	0.50	1.40	1.40	0.50	0.34	1.17	0.05	0.38	0.41	0.04	0.12	
Mn	2.40	2.10	5.10	4.70	0.70	0.20	4.00	0.20	1.38	1.38	0.06	0.07	1000
Ni	0.07	0.30	0.50	1.40	0.50	0.07	0.12	0.03	0.14	0.41	0.04	0.02	1000
Pb	0.60	0.30	5.30	5.30	0.40	0.10	1.00	0.03	1.43	1.56	0.03	0.03	50
Zn	19.60	23.70	92.80	108.00	6.20	1.50	<u>32.67</u>	<u>2.26</u>	<u>25.08</u>	<u>31.76</u>	<u>0.50</u>	<u>0.52</u>	
As	0.02	0.03	0.10	0.02	0.03	0.02	0.03	0.003	0.027	0.01	0.002	0.007	10
Ba	0.07	0.10	0.30	0.07	0.10	0.07	0.12	0.01	0.08	0.02	0.01	0.02	500
Sb	0.02	0.03	0.10	0.10	0.03	0.02	0.03	0.003	0.03	0.03	0.002	0.007	
V	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.003	0.01	0.01	0.002	0.007	
Se	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.003	0.01	0.01	0.002	0.007	
備註：前 5 大金屬元素—鐵、錳、鋁、鋅、鎂													
有機碳/元素碳													
EC	5.5	8.0	14	6	8	6	9.17	0.76	3.78	1.76	0.65	2.07	
OC	3.0	7.3	20	29	8	12	5.00	0.70	5.41	8.53	0.65	4.14	
陰陽離子													
Na ⁺	3	6	11	9	12	2	5.00	0.57	2.97	2.65	0.98	0.69	
NH ₄ ⁺	2	6	7	2	6	2	3.33	0.57	1.89	0.59	0.49	0.69	
K ⁺	2	6	7	8	10	2	3.33	0.57	1.89	2.35	0.81	0.69	
Mg ²⁺	2	6	7	2	6	2	3.33	0.57	1.89	0.59	0.49	0.69	
Ca ²⁺	2	7	7	2	29	14	3.33	0.67	1.89	0.59	2.36	4.83	
Cl ⁻	3	8	24	21	6	3	5.00	0.57	1.71	6.18	0.43	1.03	
NO ₃ ⁻	3	6	7	2	41	2	5.00	0.43	0.50	0.59	2.92	0.69	
SO ₄ ²⁻	2	6	7	5	7	2	3.33	0.57	1.89	1.47	0.57	0.69	

表 3.2.4 為成分占比分析，FPM 化學成分以鐵 (Fe) 跟鋅 (Zn) 占比較高，此受廢鋼中以鍍鋅鋼板類為最大宗原料來源有關。以重金屬管制標準而言，鎘 (Cd)、鉛 (Pb)、砷 (As) 濃度皆低於管制標準。圖 3.2.3 與圖 3.2.4 可知，豐興鋼鐵¹ (P014) 之金屬占比高，其中又以 Fe、Zn 居多。

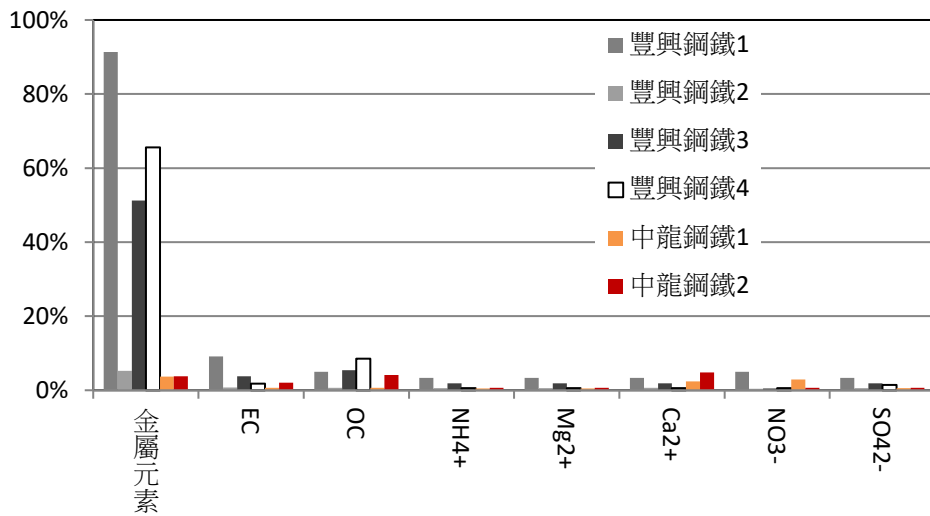


圖 3.2.3、鋼鐵業電弧爐 FPM 主要化學成分占比

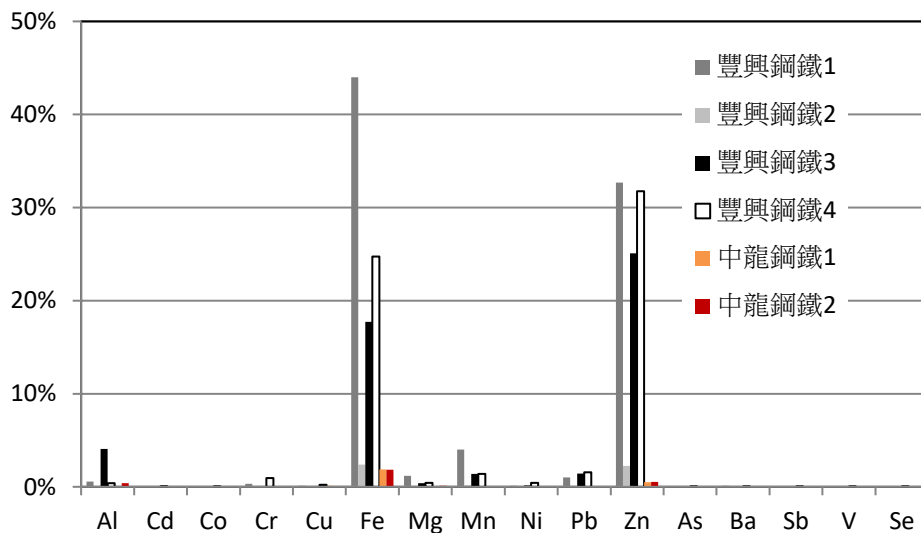


圖 3.2.4、鋼鐵業電弧爐 FPM 之金屬元素成分占比

表 3.2.5 彙整豐興鋼鐵及中龍鋼鐵電弧爐歷年檢測結果，今年度豐興鋼鐵 FPM 濃度較低為 0.06 mg/Nm³，CPM 濃度介於歷年最高及最低範圍內，濃度高低會受進料品質及操作參數綜合影響。表 3.2.6 為歷年成分檢測結果，成分變異大，主因於廢鐵來源複雜，加上每批次進料需依照客戶需求調整所致。

豐興鋼鐵兩座電弧爐，一座 (P002) 是交流電弧爐，一座 (P014) 是直流電弧爐，直流電弧爐效能較高，因其對石墨電極消耗量減少 1/2~2/3，熔煉單位電能消耗下降 3%~10%，直流電弧燃燒相對穩定。由表 3.2.5 歷次檢測可知，豐興鋼鐵 P002 交流電弧爐，FPM 濃度介於 0.28 mg/Nm³~3.61 mg/Nm³，P014 直流電弧爐，FPM 濃

度介於 $0.06 \text{ mg/Nm}^3 \sim 1.97 \text{ mg/Nm}^3$ ，似乎直流電弧爐的 FPM 排放較低，然而，據調查該兩座電弧爐之產鋼等級不同，產能不同（年產能約 85 公噸及 100 公噸），進料不同也是 FPM 濃度差異的來源。中龍鋼鐵為直流電弧爐（年產能約 100 萬噸），FPM 濃度 $0.09 \sim 2.25 \text{ mg/Nm}^3$ 。

表 3.2.5、歷年豐興鋼鐵及中龍鋼鐵管道 $\text{PM}_{2.5}$ 檢測結果彙整表

廠家	管編	採樣時間	FPM (mg/Nm^3)	CPM (mg/Nm^3)	備註
豐興 鋼鐵	P002	102/05/18	3.61 (最高)	2.94	環保局採檢
		103/03/21	0.28 (最低)	2.02	
		109/03/31~04/01	0.37	0.09	
		109/10/13~10/14	0.34	2.0	
		108/03/15	0.87	/	豐興自檢
		108/06/03	1.61	/	
		108/09/09	2.18	/	
		108/11/29	0.52	/	
	P014	110/10/19~10/20	0.06 (最低)	0.37	環保局採檢
		109/03/25~03/26	1.05	0.88	
		108/03/22	0.90	/	豐興自檢
		108/06/06	0.18	/	
		108/09/12	1.97 (最高)	/	
		108/11/26	0.13	/	
中龍 鋼鐵	P001	102/05/14	2.25 (最高)	4.26	環保局採檢
		109/04/16~04/17	1.23	1.71	
		109/11/19~11/20	0.29	0.44	
		108	0.09 (最低)	2.16	中龍自檢

備註：/ 表示未檢測

表 3.2.6、歷年豐興鋼鐵及中龍鋼鐵管道成分檢測結果彙整表

廠家	採樣日期	管編	EC	OC	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	V	Zn	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K
豐興	2013/05/18	P002	0	15.7	3.2	1.1	2	1.5	0.2	1.2	0.1	0.5	28.5	0.8	4.6	3.4	0.1	/	/	0.2	1.1	8.3	9.9	<ND	0.2	6.8	1.4	/	/	0.9	89.3	37.7
	2014/03/21	P002	21.8	25.1	14.8	12.9	11.8	4	7.1	3.5	0.17	1.28	0.4	2.3	5.7	0.6	9.5	0.1	<ND	<ND	<ND	75.8	<ND	<ND	<ND	<ND	0.2	<ND	0.4	0.5	27.9	5.7
	2020/03/31~04/01	P002	14	20	24	<7	<7	11	<7	<7	<7	<7	1.4	5.1	1.4	0.5	5.3	<0.1	<0.03	<0.03	<0.03	92.8	15	<0.1	<0.3	<0.5	0.1	<0.03	1.5	1	65.6	<1.1
	2020/10/13~10/14		6	29	21	<2	5	9	<2	8	<2	<2	1.4	4.7	5.7	1.4	5.3	0.1	<0.02	<0.02	0.02	108	1.3	<0.02	<0.07	<0.3	0.2	<0.02	3.2	0.7	84.1	6.5
	2020/03/25~03/26	P014	8	<7.3	8	<6	<6	<6	<6	<6	<6	7	<0.5	2.1	<0.5	<0.3	0.3	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	23.7	0.8	<0.03	<0.1	<0.5	<0.03	<0.03	0.3	<0.1	25.1	<1.1
	2021/10/19~10/20		<5.5	3	3	3	<2	3	<2	<2	<2	<2	0.7	2.4	1.8	<0.07	0.6	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	19.6	<0.3	<0.02	<0.07	0.8	<0.02	<0.02	0.2	<0.07	26.4	1.6
中龍	2013/05/14	P001	0.2	6	1	0.3	0.8	0.4	0.1	0.3	0.1	0.2	9.45	N.D	3.68	N.D	N.D	/	/	/	/	5.7	5.04	/	/	3.42	0.28	/	N.D	0.15	19.8	5.8
	2020/04/16~04/17	P001	8	8	<6	41	7	12	<6	10	<6	29	<0.5	0.7	6.9	0.5	0.4	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	6.2	<0.5	<0.03	<0.1	2.7	<0.03	<0.03	1.1	1.4	23	<2.1
	2020/11/19~11/20		12	<6	3	2	2	<2	<2	<2	<2	14	<0.3	0.2	<0.3	<0.07	<0.1	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	1.5	1.1	<0.02	<0.07	<0.34	<0.02	<0.02	0.1	<0.07	5.3	1.3

備註：1. / 表示無檢測數據 2. <表示低於 ND 值 3. 單位：μg/m³

小結

1. 后里垃圾焚化爐及祥祐資源排放管道PM_{2.5}檢測FPM為0.60 mg/Nm³、2.06 mg/Nm³，CPM為1.50 mg/Nm³、18.1 mg/Nm³，管道總PM_{2.5}為2.10 mg/Nm³、20.16 mg/Nm³，后里焚化爐與其他焚化爐檢測結果比較，濃度並未較高，由歷年資料可知CPM變異相對大。祥祐資源管道主要處理廢溶劑，排放濃度受溶劑成分影響，硫酸根占比高於其他成分。
2. 與歷史數據比較，后里焚化爐及烏日焚化爐FPM金屬成分占比以鐵（Fe）1.08%及7.65%、鋅（Zn）0.60%及3.77%占比較高，文山焚化爐之FPM化金屬成分占比以鎘（Cd）8.54%、鐵（Fe）2.46%較高。
3. 電弧爐以廢鋼為原料，用來溶解廢鋼、冶煉鋼鐵的設備。本市電弧爐排放管道PM_{2.5}檢測結果如表3.2.3，FPM介於0.06 mg/Nm³~1.23 mg/Nm³，CPM介於0.09 mg/Nm³~2.00 mg/Nm³，管道總PM_{2.5}介於0.43 mg/Nm³~2.94 mg/Nm³。變異程度大，與進料品質、操作條件、防制設備……等不同有關。
4. 電弧爐FPM化學成分以鐵（Fe）跟鋅（Zn）占比較高，此受廢鋼中以鍍鋅鋼板類為最大宗原料來源有關。以重金屬管制標準而言，FPM中所含鎘（Cd）、鉛（Pb）、砷（As）濃度皆低於管制標準。
5. 彙整豐興鋼鐵及中龍鋼鐵電弧爐歷年FPM檢測結果，本次濃度未超過歷史高值，介於歷年最高及最低範圍內，濃度與成分變異大的主因，與廢鐵來源複雜，加上每批次進料需依照客戶需求調整有關。

第四章 微粒粒徑、成分調查與管制

一章節摘要一

臺中市民眾重視 PM_{2.5} 與能見度問題，多數人把能見度與空氣品質畫上等號。臺中市環保局長期調查 PM_{2.5} 成因並加以管制，調查顯示能見度與 PM₁ 之相關性高過 PM_{2.5}。圖 4.1 為近年臺中市細懸浮微粒與能見度的研究進程，本章節詳細說明 110 年臺中市海區 PM₁ 到 PM_{0.3} 不同粒徑數及能見度調查結果。選擇海區為主要探討地區，乃考量該區鄰近本市最大的工業污染源，交通及工廠污染排放量大。

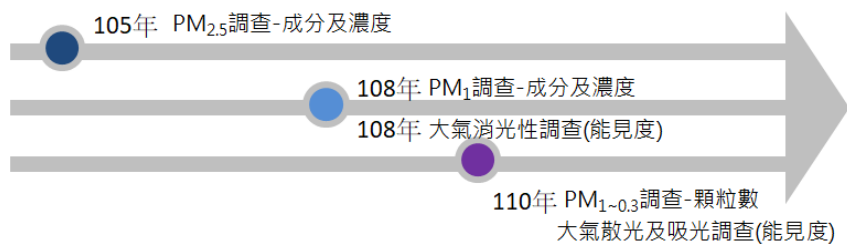


圖4.1、臺中市細懸浮微粒與能見度研究之進程

4.1、回顧臺中市 PM_{2.5}、PM₁ 與能見度調查結果

臺中市目前已清楚掌握本市PM_{2.5}以硫酸鹽及有機碳為主要兩大物種，其他如硝酸鹽、銨鹽、元素碳、金屬元素屬之含量占比則較低。圖4.1.1為近年臺中市PM_{2.5}成分組成占比（台灣綠仕科技公司，2019），硫酸鹽與有機碳在不同區域都是占比前一、二高，改善PM_{2.5}必須從硫酸鹽及有機碳減量著手。

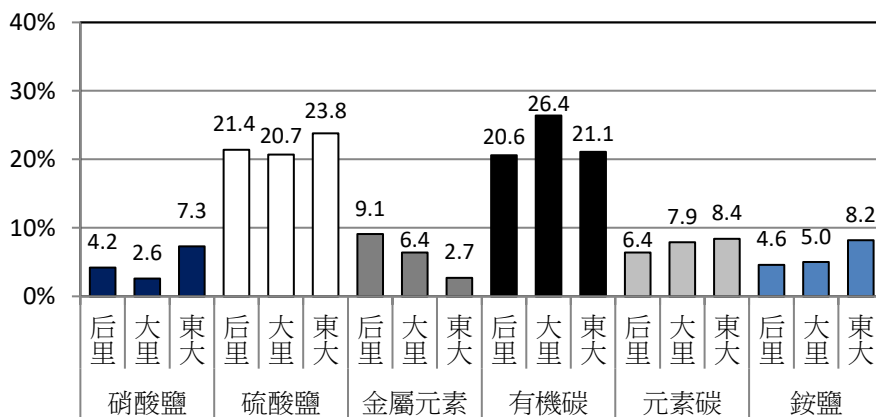


圖4.1.1、PM_{2.5}化學組成調查結果

臺中市實施 PM_{2.5} 之管制策略下，PM_{2.5} 已經大幅下降至接近空氣品質標準 (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，然而，PM_{2.5} 質量濃度的改善並未讓民眾有感原因之一，則與能見度未明顯提升有關。

能見度是空氣中微粒阻礙光線，眼睛感知後呈現的結果，根據學者林能暉分析過去十年資料，PM_{2.5} 濃度越高，能見度越不好，但當 PM_{2.5} 較少時，能見度卻不一定變好，原因是許多是比 PM_{2.5} 更小的微粒，才是影響能見度的原因，這些微粒通常由幾個奈米大小的核慢慢集結長大成比 PM₁ 更小粒子懸浮在大氣中，使大氣看起來霧茫茫。

大氣環境中 PM₁ (次微米微粒) 之來源廣泛且與 PM_{2.5} 之來源不太相同，大部分來源是燃燒室在燃燒過程中產生之揮發性物質，經過再凝結而形成一次排放，或在大氣中由前驅氣體反應生成的二次微粒，由於前驅氣體及次微米微粒能傳送很遠，很難確認微粒個別之來源。

臺中市高污季節的天空仍經常處於灰濛狀態，灰濛感是可看得遠，但不清晰，就是與大氣中充滿比 PM_{2.5} 更小的微粒有關。由 109 年本市研究大里地區 PM₁ 次微米微粒與能見度關係，相關性優於 PM_{2.5} 可見一斑 (台灣綠仕科技公司，2020)，且能見度與次微米微粒的成分相關，下式為能見度、消光係數與成分關係，由關係式裡的係數高低可知元素碳與有機碳成分影響程度較高；亦即各成分的濃度相等而言，造成能見度不良的順序分別是元素碳，次為有機碳，再次為硝酸鹽。

$$V = \frac{3.91}{b_{ext}}$$

- (1) V：能見度
- (2) b_{ext} ：大氣消光係數

$$b_{ext} = 0.33[\text{NO}_2] + 2.2[\text{SO}_4^{2-}] + 0.37[\text{NO}_3^-] + 4.2[\text{OC}] + 10[\text{EC}] + 3.4[\text{CM}]$$

- (1) NO₂ 單位 ppb
- (2) (RH)：不同大氣濕度下的散光係數
- (3) [OC]：有機碳
- (4) [EC]：元素碳
- (5) [Soil]：土壤 (金屬元素計算而得)
2.2[Al]+2.49[Si]+1.94[Ti]+1.63[Ca]+2.42[Fe]
- (6) [CM]：PM_{2.5-1}

能見度不佳的原因與微粒的粒徑及成分有關，以下就粒徑與能見度關係及成分與能見度關係分別概述：

一、粒徑與能見度關係

大氣研究指出，比 $PM_{2.5}$ 粒徑更小的顆粒物是天空灰濛的主因，尤其粒徑在 $0.4\mu m \sim 0.7\mu m$ 粒子多寡對能見度影響最大（備註：此粒徑與可見光的波長相當）。因此，當大氣中粒徑 $2.5\mu m$ 被去除，留下遠小於 $2.5\mu m$ 的顆粒物時，這些遠小於 $PM_{2.5}$ 的顆粒物，以目前的 $PM_{2.5}$ 監測儀器只能監測到部分（說明：50% 為粒徑 $2.5\mu m$ 的顆粒物，其他 $>2.5\mu m$ 及 $<2.5\mu m$ 粒子各占約 25%）。

二、成分與能見度關係

- 硫酸鹽顆粒從二氧化硫氣體中形成。這些氣體大部分來自燃煤發電廠和其他工業來源，如冶煉廠、工業鍋爐和煉油廠。硫酸鹽是美國東部霧霾的最大貢獻者，乃因該地區燃煤電廠數量眾多。在潮濕的環境中，硫酸鹽顆粒迅速生長，而非常有效地散射光線，從而加劇了東部的能見度降低。
- 氮氧化物氣體在空氣中形成硝酸鹽顆粒。幾乎所有燃燒活動中都會釋放出這種氣體，特別是涉及發電廠、汽車、卡車、越野發動機（例如建築設備、割草機和船隻）和其他工業來源的燃燒活動。和硫酸鹽一樣，硝酸鹽在潮濕的環境中散射出更多的光。
- 有機碳顆粒直接排放到空氣中，並形成各種氣態碳氫化合物的反應。直接和間接有機碳顆粒的來源包括汽車尾氣、車輛加油、溶劑蒸發（如油漆）、食品烹飪以及各種商業和工業來源。氣態碳氫化合物也自然地從樹木和火災中排放，被認為是造成藍嶺山脈藍色霧霾（自然）的原因。
- 元素碳顆粒與煙灰非常相似。它們比大多數其他粒子都小，容易吸收而不是散射光線。冬季在城市地區和山谷中經常出現的「棕色雲」主要歸因於元素碳。幾乎從所有燃燒活動都會直接排放出這些顆粒到空氣中，但在柴油廢氣和燃燒木材和廢物產生的煙霧中尤為普遍。
- 地殼（土壤）材料與灰塵非常相似。由於風、交通和其他地面活動，它從土路、田野和其他空地上進入空氣。其他類型的粒子來自微小粒子和氣體的凝結和生長，而地殼材料則來自較大土生土長的物質的破碎和研磨。由於很難將這種物質減少到微觀大小，地殼材料往往比其他顆粒大，而且往往更快地從空氣中落下，對霧霾的整體影響較小。

4.2、龍井粒徑監測站安裝、操作與維護

研究能見度必須將次微米微粒以下粒徑視為重點，小粒徑範圍對光波傳輸之干擾，較粒徑 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) 以上微粒之作用顯著，尤其粒徑範圍在可見光波之波長範圍 (0.4 μm ~0.7 μm) 之微粒，其與光波交互影響結果使能見度損失更為明顯。這些微粒之消光效率，是造成能見度下降的主因。

本計畫於龍井建置一座微粒監測站，安裝有粒徑自動分析儀，監測粒徑 0.3 μm ~2.5 μm 不同粒徑的顆粒數，同時配置有散光儀及吸光儀（黑碳儀）量測能見度高低（備註：能見度好壞取決於大氣散光與吸光效應的高低），以及 PM_{10} 採樣器，表 4.2.1 為龍井微粒監測站設備及監測目的一覽表，透過調查何種粒徑及何種成分最不利於能見度，從而提出改善本市能見度之管制建議。

表4.2.1、龍井微粒監測站設備及監測目的一覽表

儀器類別	監測目的
1. 粒徑分析儀	調查次微米以下各種粒徑顆粒數目。
2. 散光儀	大氣散光調查，研析微粒徑對能見度之影響效應。
3. 吸光儀 (黑碳分析儀)	大氣吸光調查，研析微粒徑對能見度之影響效應，同時解析吸光效應受交通排放或生質燃燒影響比。
4. PM_{10} 採樣器	調查粒徑 $\leq 10\mu\text{m}$ 微粒之成分組成（含重金屬濃度）

表 4.2.2 為龍井微粒監測站 110 年 4 月 6 日安裝過程施工照片，表 4.2.3 為自動監測設備廠牌、型號及規格一覽表，該站除 3 台自動監測設備外，另安裝 4 台 PM_{10} 手動採樣器，定期採樣分析 PM_{10} 成分特徵。

自動監測設備每雙週維護一次，另需執行月維護及年度維護，維護內容見表 4.2.4，表 4.2.5 為手動採樣器維護報表。

表4.2.2、龍井粒徑監測站安裝過程施工照片



表4.2.3、龍井粒徑監測站自動監測設備規格一覽表

監測設備 (廠牌/型號)	規格
微粒監測儀器 FIDAS-200S	<ol style="list-style-type: none"> 1. 量測方式：自動且連續採樣、分析。 2. 粒徑量測範圍：至少涵蓋0.3μm~10μm，粒徑區段至少10階。 3. 操作電力：110 V~120 V，50 Hz~60 Hz。 4. 採樣系統：含採樣管及幫浦。
散光儀 AURORA-3000	<ol style="list-style-type: none"> 1. 測量參數：450、525 和635奈米光波段下的全向散射係數及背向散射係數。 2. 散射係數測定範圍：0 Mm^{-1}~20000 Mm^{-1}。 3. 最低偵測極限 (LDL)：$\leq 0.3 \text{ Mm}^{-1}$。 4. 光源：穩定的LED光源。 5. 光散射角度：全向散射9~170度、後向散射90~170度。 6. 採樣速率：5 slpm。 7. 輔助量測測項：採樣管內空氣溫度、濕度、壓力、機艙溫度。 8. 操作濕度範圍：10%~95%。 9. 操作電力：110 V~120 V，50 Hz~60 Hz。 10. 具自動溫度及壓力補償功能。 11. 具自動零點及全幅檢核功能。 12. 具自動光學參考校正功能。具外置泵浦控制組件。
吸光儀 ECOTECH-BC1054	<ol style="list-style-type: none"> 1. 量測方式：自動且連續採樣分析。 2. 分析原理：以量測黑碳的吸光係數（光學衰減）為原理。 3. 分析波長：連續自動量測在濾紙的黑碳濃度，至少能進行370nm、375nm及880nm波長的量測。 4. 資料儲存：內建資料儲存器，並可使用USB隨身碟複製下載觀測數據，資料儲存時間至少可儲存30天以上。 5. 操作電壓：110 V~120 V，50 Hz~60 Hz。 6. 配置PM_{2.5}採樣頭及採樣入口控濕乾燥系統。

表4.2.4、龍井粒徑監測站自動監測設備維護報表

粒徑分析儀 定期維護紀錄表			
測站名稱: 龍井國壽管		10年	0月 29日
維護行程/工作項目		是	否
雙週	1. 檢查儀器狀態是否正常無 ERROR 產生?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2. 測試儀器資料收集正常並遠端連線正常?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3. 檢查儀器抽氣幫浦是否正常運作·無雜音?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4. 檢查採樣管是否完好無受損?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5. 檢查採樣管接頭是否無脫落或鬆動?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6. 粒徑分布是否正常?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
月	1. 清理採樣進氣口?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2. 清潔感測器(以試鏡紙清潔)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
年	1. 更換內部 PUMP 過濾管(DFU)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

稽核人員: 楊中明 維護人員: 羅奕融

表4.2.5、龍井粒徑監測站自動監測設備維護照片



表4.2.6、龍井粒徑監測站PM₁手動設備維護報表

PM ₁ 採樣器維護紀錄表		
維護時間：110年10月29日 10時10分		
本月執行： <input checked="" type="checkbox"/> 月維護 <input type="checkbox"/> 季維護 <input checked="" type="checkbox"/> 半年維護 <input type="checkbox"/> 年度維護		
維護地點：龍井A 測站		
儀器廠牌型號：THERMO 2000i 序號：7500JW205771507		
月定期維護		
類別	執行內容	結果
維護	1.清潔濾紙匣	<input checked="" type="checkbox"/> 執行 <input type="checkbox"/> 未執行(說明：)
	2.清潔 VSCC PM ₁ 篩分器	<input checked="" type="checkbox"/> 執行 <input type="checkbox"/> 未執行(說明：)
	3.清潔 PM ₁₀ 採樣頭	<input checked="" type="checkbox"/> 執行 <input type="checkbox"/> 未執行(說明：)
	4. V型密封圈的清洗和檢視	<input checked="" type="checkbox"/> 執行 <input type="checkbox"/> 未執行(說明：)
調整 校正	5.洩漏測試	<input checked="" type="checkbox"/> 執行 <input type="checkbox"/> 未執行(說明：)
	6.溫度比對	<input checked="" type="checkbox"/> 執行 <input type="checkbox"/> 未執行(說明：)
	7.壓力比對	<input checked="" type="checkbox"/> 執行 <input type="checkbox"/> 未執行(說明：)
	8.流量校正 (標準±4%) (誤差:0.6%)	<input checked="" type="checkbox"/> 執行 <input type="checkbox"/> 未執行(說明：)
	9.儀器時間校準(標準±60s) (誤差:10s)	<input checked="" type="checkbox"/> 執行 <input type="checkbox"/> 未執行(說明：)
品保主管簽核：李易中明 維護人員簽名：羅奕朋		

4.3、消光與微粒顆粒數調查結果

對於次微米以下的微粒，以顆粒數當指標，比質量濃度更容易看出差異。小於 $1\mu\text{m}$ 的細微粒，因日間污染源較多及陽光所催化的二次微粒生成，在數目濃度上遠大於夜間的濃度。

蔡與鄭（1998）年於臺中都會區以微孔沉降衝擊器（MOUDI）分徑所做的實驗指出，在高污染狀態下，大氣微粒多以細微粒存在，主要分布 $0.56\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ 粒徑範圍。

2020 年臺中地區調查發現能見度劣化期間的硝酸鹽比例較乾淨期間大幅增加（12%增至 43%），此外主要散光成分的硫酸鹽（18%）、硝酸鹽（43%）與有機物（32%）的粒徑明顯增長，這些成分分別在 $400\text{ nm}\sim 600\text{ nm}$ 、 $200\text{ nm}\sim 500\text{ nm}$ 與 $100\text{ nm}\sim 300\text{ nm}$ 的範圍內，造成散光效應導致能見度降低之結果（蔡榮秋，2020）。

4.3.1、消光效應及特徵

能見度受光源傳輸影響，干擾光源因素分別為散光（Scattering）與吸光（Absorption）兩種方式，其中微粒的散光是被認為主要導致能見度降低的原因（Friedlander, 2000），占消光貢獻百分比約有 80%至 90%（Deng et al., 2008; Andreae et al., 2008）。林文印等人（2018）研究高雄粒狀物顯示，散光占消光的貢獻百分比約占 80%左右。董海燕等（2009）利用 Mie 理論研究了天津市細微粒的消光貢獻，發現 80%以上消光貢獻的是粒徑小於 $1\mu\text{m}$ 的顆粒物所造成。

國外對引起消光的顆粒物成分研究較早，1985 年美國提出 IMPROVE 估算公式對消光成分進行估算（Hwang and Hopke, 2007），學者利用該公式估算大氣消光係數，如印度德里與中國天津、西安等地研究結果均指出有機碳和硫酸鹽是主要的消光貢獻成分（Tiwari et al., 2014；古金霞等，2012；Cao et al., 2012）。

國內南部研究顯示，微粒消光貢獻來源主要為散光，反觀吸光係數的貢獻度較小，其貢獻比例僅占 5%~10%左右，在消光係數方面，兩地測站以秋季有較高的消光係數值，夏季則為較低，其量測前金平均消光係數分別約為 272 Mm^{-1} （秋季）和 52 Mm^{-1} （夏季）；橋頭測站則分別為 235.4 Mm^{-1} （秋季）和 31.4 Mm^{-1} （夏季）。

本計畫之 110 年臺中市海區龍井監測結果統計，4/15~11/30 消光係數（散光係數+消光係數）介於 $3\text{ Mm}^{-1}\sim 115\text{ Mm}^{-1}$ 之間，散光係數最大日平均 85.63 Mm^{-1} ，吸光係數最大日平均 28.95 Mm^{-1} 。5 月下旬至 6 月散光係數大幅下降，與該時期梅雨季節強降雨除去大氣中微粒，減少消光效應有關。

由圖 4.3.1 可知造成能見度差（消光係數高）主要以散光效應為主，吸光效應較低，平均而言，海區龍井能見度下降，散光貢獻占 69%（散光/消光比值介於 0.28~0.93），吸光貢獻占 31%，比較 2008 年高雄都會區調查消光係數貢獻率介於 56.1%~78.6%之間，吸光係數的貢獻率為 21.4%~49.9%（邱宏城等人，2008），兩地皆以散光貢獻率較高。2018 年林文印學者等人對高雄調查顯示散光佔消光的 80%（林文印等人，2018）。

表 4.3.1 依季節變化統計消光係數為春季最高（ 46.87Mm^{-1} ），代表能見度在春季較差；消光中的散光及吸光占比，散光係數於春季時較高（ 39.70Mm^{-1} ），次為秋季，夏季散光係數最低，能見度相對較好。吸光係數則在秋季時最高（ 13.50Mm^{-1} ），為其他季節的 2 倍。

圖 4.3.2 為消光係數之日變化，可知為單峰型態，峰值在上午發生，消光效應強，能見度是一日當中最差的時段。

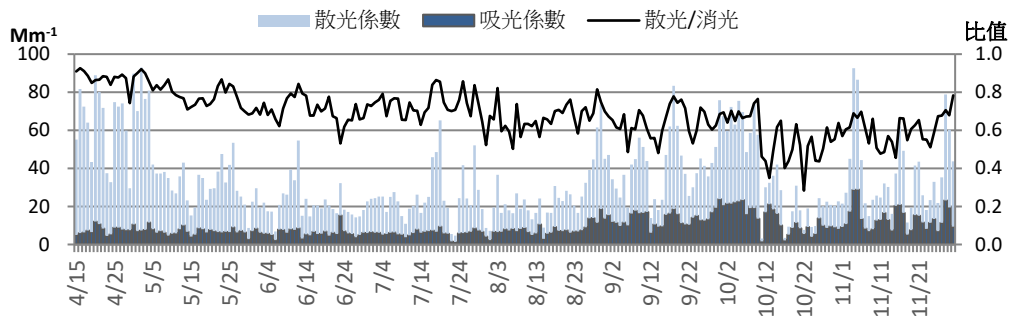


圖4.3.1、110年4月~11月臺中市海區龍井散光及吸光監測變化

表4.3.1、110年4月~11月臺中市海區龍井散光及吸光季節變化

月份	散光係數 (Mm^{-1})	吸光係數 (Mm^{-1})	消光係數 (Mm^{-1})
春季 (4 月~5 月)	39.70	7.16	46.87
夏季 (6 月~8 月)	17.67	6.77	24.43
秋季 (9 月~11 月)	24.04	13.50	37.54

備註：春季為3月~5月，夏季為6月~8月，秋季為9月~11月。因4月開始監測，故無3月資料。

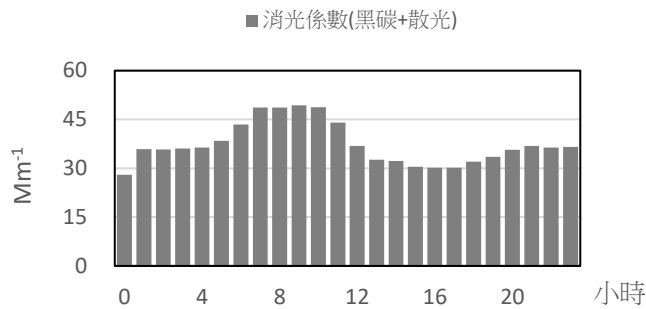


圖4.3.2、110年4月~11月臺中市海區龍井消光係數之24小時變化

圖4.3.3為黑碳分析儀中波長950nm與470nm監測結果比較，950nm為交通排放黑碳之吸收波長，470nm為生質燃燒（指農作物或林業燃燒）產生之黑碳吸收波長，可知龍井區生吸光受生質燃燒影響高於交通排放。圖4.3.4也可知吸光特性中，生質燃燒貢獻高於交通排放。由龍井及西屯監測結果可知生質燃燒在吸光貢獻上高於交通排放。

龍井站吸光儀自4/15日開始監測，鑒於環保署於臺中市西屯站（啟聰學校）架設一台黑碳分析儀監測（備註：無散光儀），圖4.3.5將西屯站與龍井站吸光之日變化比較，可知8月~11月龍井站吸光貢獻高於西屯站，因西屯測站只有吸光係數，僅吸光數值高低無法做進一步分析並推知能見度好壞。由圖4.3.6可知，生質燃燒及交通之吸光效應的季節變化皆呈現夏季低，秋季高。兩地區相比，4月~8月期間無論生質燃燒或交通排放的吸光效應以西屯高，9月~11月有所變化，龍井站的生質燃燒對吸光效應上升，並高於西屯，而交通的吸光效應則相當，此意味龍井秋季能見度受生質燃燒影響較大。

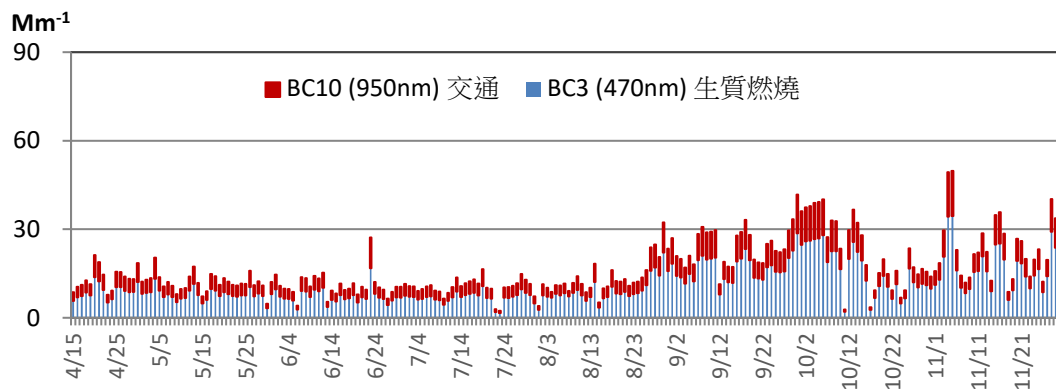


圖4.3.3、110年4月~11月臺中市海區龍井吸光貢獻來源分析

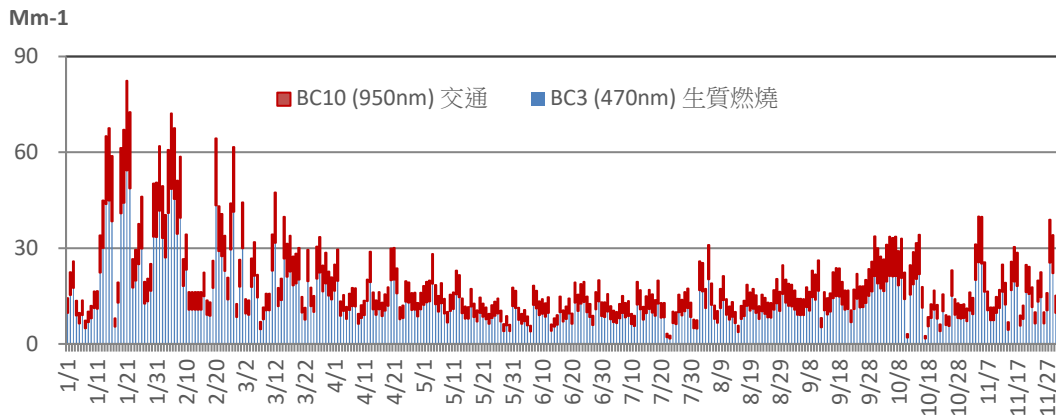


圖4.3.4、110年1月~11月臺中市西屯吸光貢獻來源分析

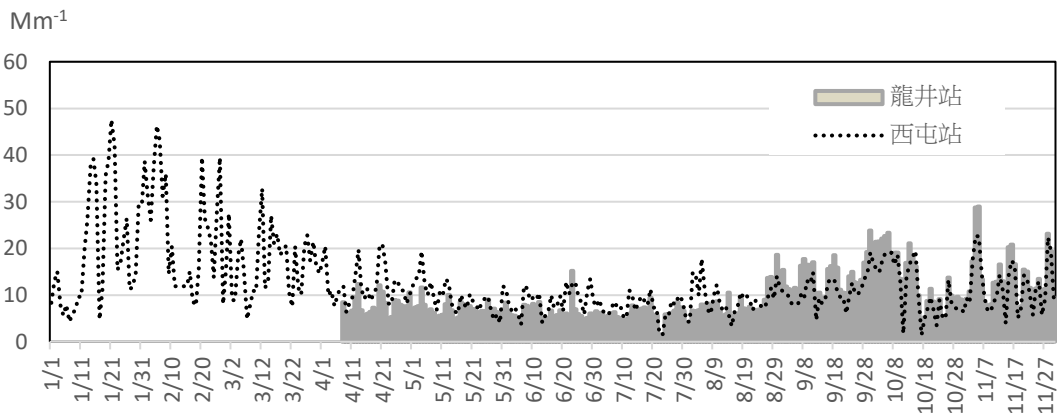


圖4.3.5、110年臺中市西屯與龍井吸光之逐日變化圖

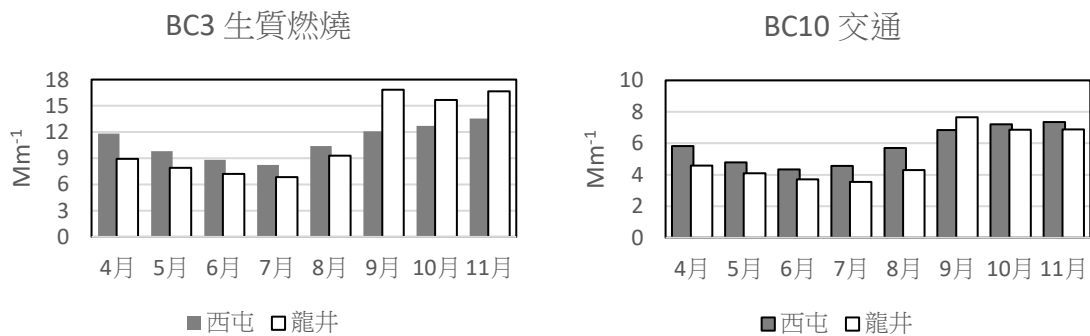


圖4.3.6、110年4月~11月西屯與龍井站吸光貢獻

4.3.2、消光係數與粒徑顆粒數關係

本節擷取粒徑 2.5 μm 、1 μm 、0.7 μm 、0.4 μm 、0.3 μm 、0.18 μm 計算顆粒數，由圖 4.3.6 可看出粒徑愈小，顆粒數愈多，粒徑 2.5 μm 、1 μm 顆粒數占比極低。圖 4.3.7 為不同粒徑顆粒數 24 小時變化情形，圖中顯示 0.18 μm 、0.3 μm 、0.4 μm 為單峰特徵，峰值出現在 9:00~10:00 之間。消光係數與顆粒數之日變化，皆屬單峰型態，且峰值在上午發生，消光效應強，顆粒數亦有上升趨勢，此與日間污染源較多及陽光所催化的二次微粒生成，故在數目濃度上大於夜間濃度。

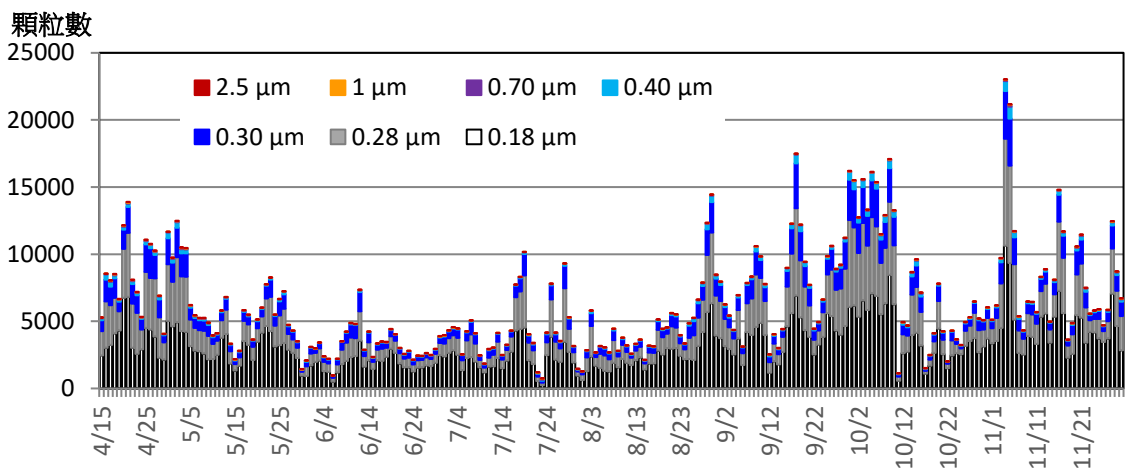


圖4.3.6、110年4月~11月臺中市海區龍井不同粒徑之顆粒數日變化

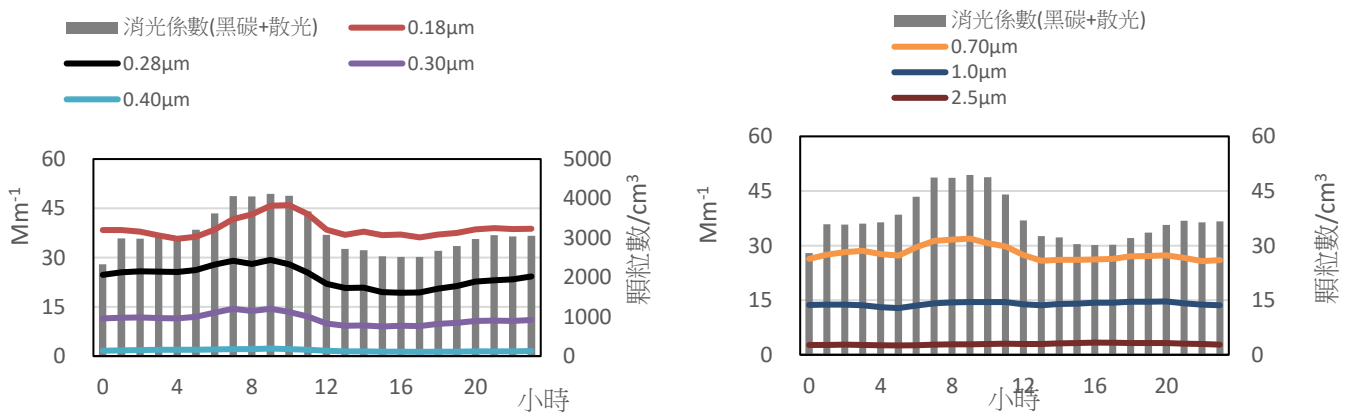


圖4.3.7、110年4月~11月臺中市海區龍井消光係數與顆粒數之24小時變化

許多研究指出粒徑 $0.3\mu\text{m}\sim 0.7\mu\text{m}$ 微粒具有高散光特性，因其粒徑落在可見光波長 ($0.3\mu\text{m}\sim 0.7\mu\text{m}$)，會提升與消光係數關聯性，導致能見度下降，其成分與微粒水溶性無機鹽和碳成分組成有關(劉山豪, 2000)。圖 4.3.8 同樣可看出粒徑 $0.30\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ 微粒與消光性呈現高度相關，粒徑 $1\mu\text{m}$ 、 $2.5\mu\text{m}$ 屬於低度相關。由結果可知造成海區龍井能見度不佳者，以 $0.30\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ 粒徑為主。

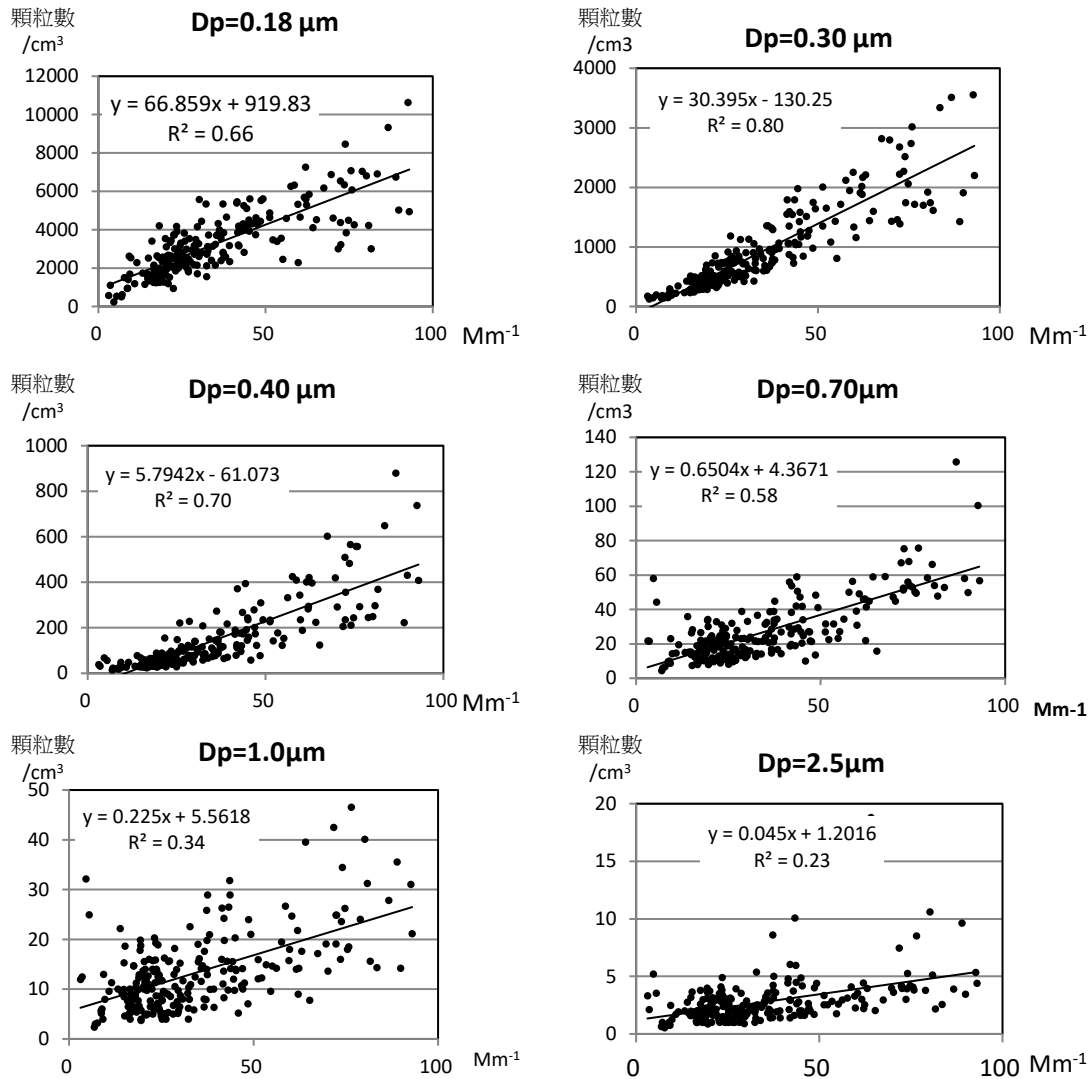


圖4.3.8、粒徑與消光效應相關分析

4.3.3、粒徑顆粒數與氣象相關

微粒粒徑成長與其成分、溫度及濕度有關，龍井站並無各粒徑成分之連續監測，本節就濕度與粒徑顆粒數量進行分析，因粒徑數差異過大，將粒徑與濕度分階統計並分(A)、(B)圖表示。圖4.3.9可知粒徑0.18 μm 粒徑在濕度50%~70%之間顆粒數量會增加，0.4 μm 及0.7 μm 粒徑數隨濕度上升增長，在濕度50%~90%顆粒數量增加。

黃小林(1996)觀察氣膠成分變化與潮解點關係，在 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - Na_2SO_4 混合系統中， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: Na_2SO_4 =90%:10%、75%:25%、50%:50%及0%:90%(質量比)可觀察到一個潮解點，而當 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: Na_2SO_4 =25%:75%有兩個潮解點。施博邁(1993)在實驗室的結果發現，在相對溼度小於75%時，硫酸銨氣膠沒有粒徑成長發生。在相對溼度介於81%~89%時，粒徑成長為原來的1.3至1.6倍。

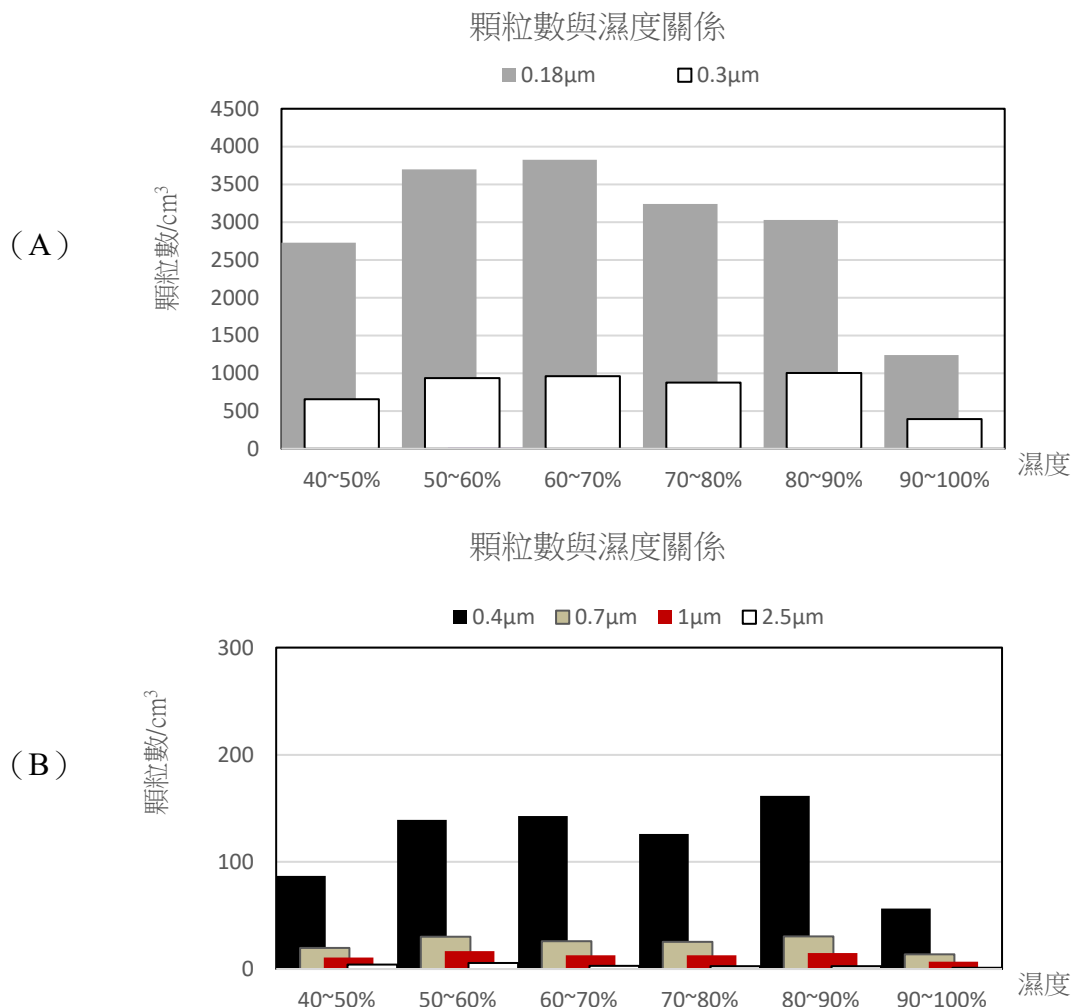


圖4.3.9、粒徑顆粒數與濕度分階統計

圖 4.3.10 是龍井微粒監測站位置，圖 4.3.11 是 110 年 4 月 15 日至 110 年 11 月 30 日之風花圖，圖 4.3.12 是粒徑與風向、風速關係，可看出粒徑 $0.18\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ 微粒發生在中、低風速測站附近，一部分來自西北面，部分為測站周圍，西北面不排除受該方向之電力業、鋼鐵業及海上船舶影響； $0.7\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ 微粒高值在高風速期間發生，來自北面，對照圖 4.3.10 可知污染來源與梧棲區、沙鹿區有關。

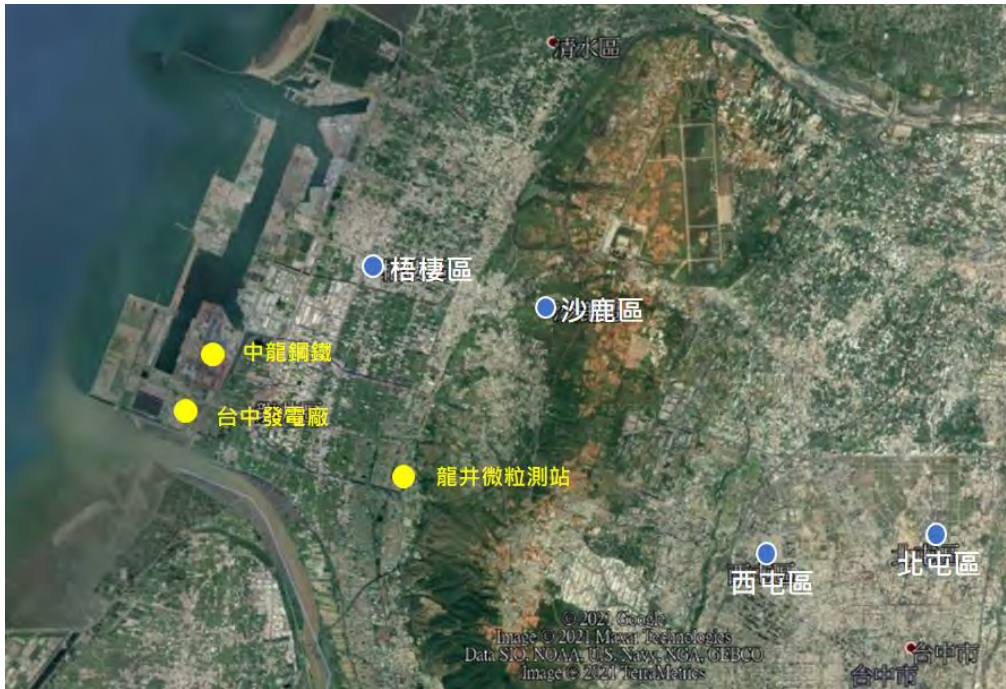


圖4.3.10、龍井微粒監測站地理位置圖

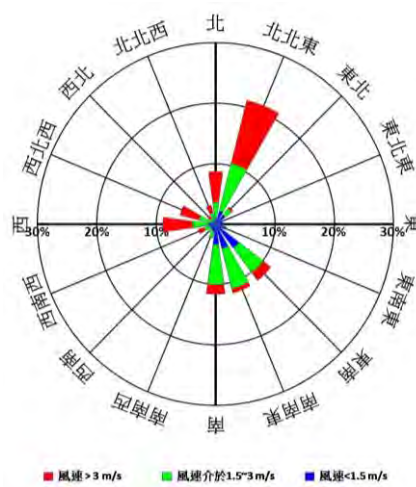


圖4.3.11、110年4月15日~110年11月30日之風花圖

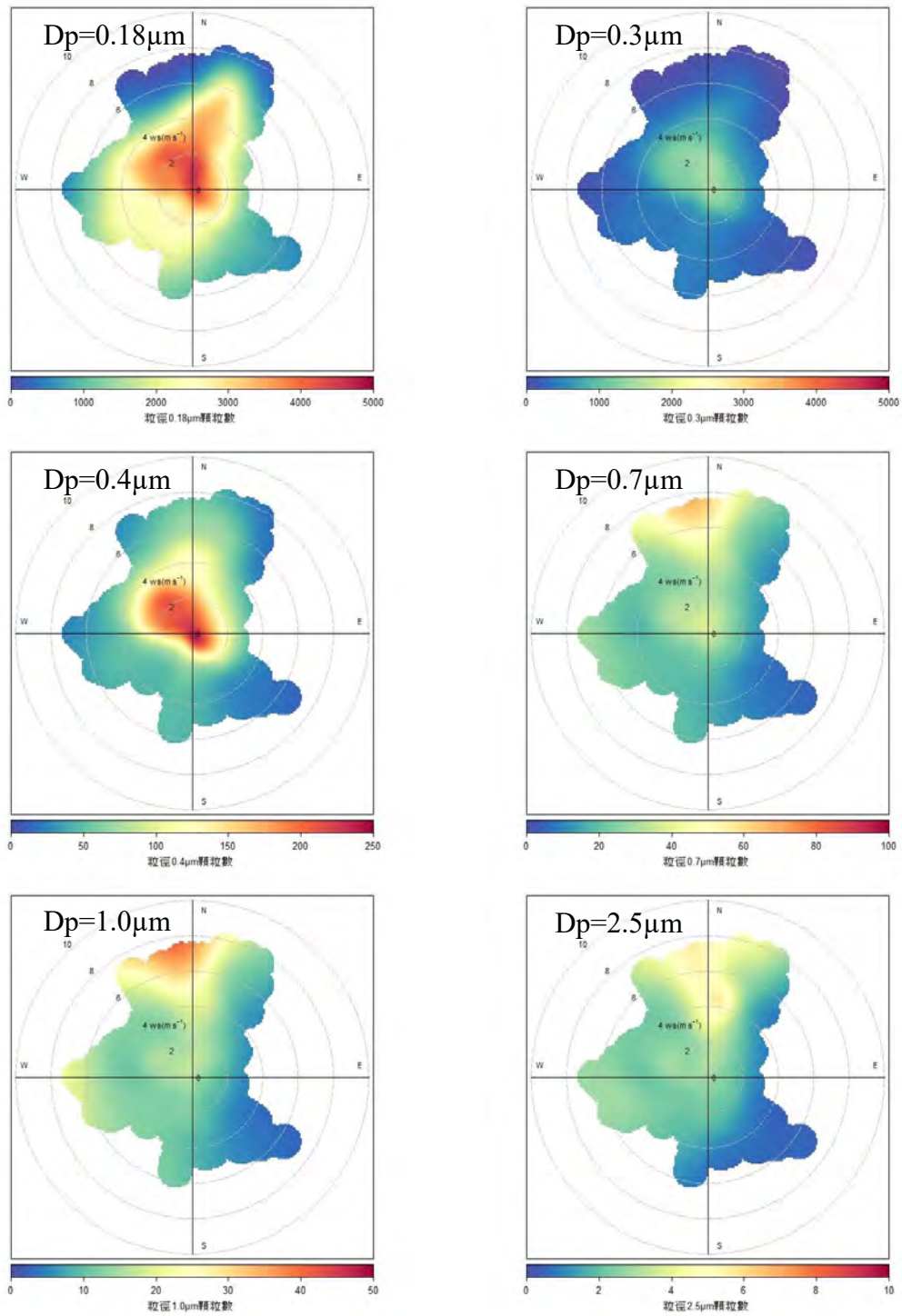


圖4.3.12、龍井微粒監測站粒徑與風向風速關係

4.4、次微米微粒成分特徵與有害重金屬含量

PM₁ 手動採樣器為 Thermo 2000i，規格及性能符合環檢所 NIEA A205.11C 要求。Thermo 2000i 手動採樣器採樣原理是以 16.7LPM 定流量抽引空氣進入進氣口，經 PM₁ 旋風分徑器分離，即 PM₁ 之採樣方法及設備與 PM_{2.5} 相同。

氣動粒徑小於或等於 1 微米 (μm) 的微粒 (PM₁) 被收集於濾紙上。收集之 PM₁ 微粒淨重，除以採氣總體積即為 PM₁ 質量濃度。

採樣濾紙為聚四氟乙烯 (或鐵氟龍)，符合環檢所公告之規範。相關採樣設備零件耗材，包含：濾紙、墊片、流量計、壓力計及溫度計等皆由本計畫負責。圖 4.4.1 為 PM₁ 手動採樣分析工作執行流程。碳組成分析委託成功大學氣膠研究室，而質量濃度、水溶性陰陽離子及重金屬則由臺中市環保局環境檢驗科分析。

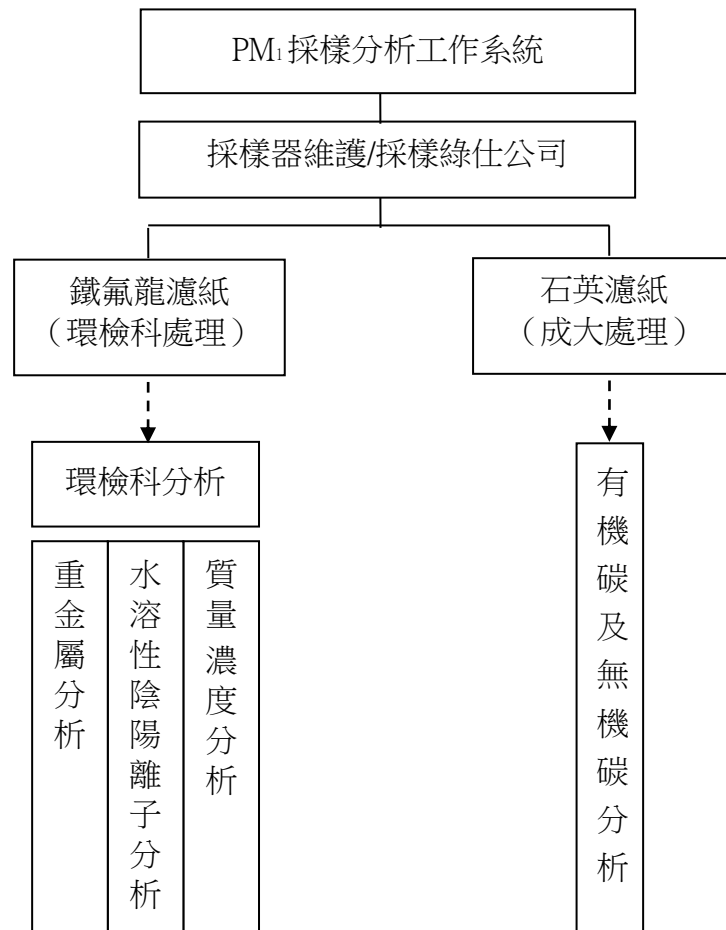


圖4.4.1、PM₁採樣分析工作執行流程

本計畫之龍井 PM₁ 手動採樣器架設於龍井微粒監測站旁，採樣口離地高度約 12 m，表 4.4.1 為採樣行程表，安排在 4 月～11 月。氣象資料採用鄰近台電龍井測站監測結果，兩測站相距約 4 km，相對位置及地圖如圖 4.4.2。

表4.4.1、110年PM₁手動採樣行程表

一月						二月						三月								
日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六
					1	2		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13	7	8	9	10	11	12	13
10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20	14	15	16	17	18	19	20
17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27	21	22	23	24	25	26	27
24	25	26	27	28	29	30	28							28	29	30	31			
31																				
四月						五月						六月								
日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六
				1	2	3							1			1	2	3	4	5
4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12
11	12	13	14	15	16	17	9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19
18	19	20	21	22	23	24	16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26
25	26	27	28	29	30		23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30			
							30	31												
七月						八月						九月								
日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六
				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25
25	26	27	28	29	30	31	29	30	31					26	27	28	29	30		
十月						十一月						十二月								
日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六
					1	2		1	2	3	4	5	6				1	2	3	4
3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13	5	6	7	8	9	10	11
10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20	12	13	14	15	16	17	18
17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27	19	20	21	22	23	24	25
24	25	26	27	28	29	30	28	29	30					26	27	28	29	30	31	
31																				

備註：1.黃色色塊處為環保署 PM_{2.5} 手動採樣日期，綠色為本計畫 PM₁ 採樣日期，紅字為國定假期（龍井圖書館每週一為公休日）
2.採樣若遇颱風或其他狀況，將視情況調整



備註：

PM₁ 手動採樣器位置：臺中市龍井區龍泉里觀光路2號（龍井圖書分館）

台電龍井站測站：臺中市龍井區三港路水里巷28號

圖4.4.2、龍井PM₁手動測站與台電龍井測站相對位置

表 4.4.2 為龍井 PM₁ 手動成分站 4 月~11 月採樣結果與天氣狀況，PM₁ 濃度介於 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，6/6 日 PM₁ 濃度低（2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），當日天氣類行為西南氣流，降雨量 65.5mm，10/01 日 PM₁ 濃度較高（21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），天氣類型為微弱東北風，當日無降雨。

表4.4.2、110年龍井站4月~11月及PM_i手動採樣結果與天氣狀況（1/2）

採樣日	PM _i								氣象			
	項目	質量 濃度	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	金屬	OC	EC	風速	風向	雨量
單位	μg/m ³								m/s	方位	mm	
110/04/22	12	1.35	2.21	0.49	0.51	0.13	2.01	0.93	1.95	北北東	-	颱風外圍環流
110/04/25	13	1.34	1.83	0.49	0.40	0.09	2.69	1.19	1.45	東北	-	華南雲雨帶東移
110/04/28	10	1.31	2.03	0.48	0.44	0.29	1.35	0.54	1.55	北北東	0.5	華南雲雨帶東移
110/04/30	12	1.35	0.96	0.52	0.42	0.22	2.16	1.12	1.63	西	-	華南雲雨帶東移
110/05/07	8	0.13	1.80	N.D.	N.D.	0.12	1.97	0.86	1.88	西	-	太平洋高壓（弱綜觀）
110/05/13	9	0.13	2.40	0.03	0.01	0.28	1.52	0.81	2.02	西	-	偏南氣流型
110/05/19	6	0.14	1.15	0.06	0.01	0.34	1.60	0.59	2.38	西	-	太平洋高壓（弱綜觀）
110/06/03	5	0.02	1.66	N.D.	0.63	0.20	1.18	0.37	2.33	西	-	颱風外圍環流
110/06/06	2	0.02	0.29	N.D.	0.11	0.41	0.50	0.00	2.42	南南東	65.5	西南氣流
110/06/09	6	0.01	2.04	N.D.	0.79	0.67	1.68	0.59	1.79	北	0.5	弱縱觀型態
110/06/24	5	0.03	0.54	N.D.	0.14	0.38	1.46	0.51	1.63	西	2.5	梅雨鋒面影響
110/06/27	4	0.02	1.05	0.06	0.41	0.81	1.29	0.24	2.70	南南東	0.5	西南風（或西南氣流）
110/07/03	6	0.02	1.88	N.D.	0.71	0.73	1.67	0.54	2.35	南	-	太平洋高壓接近
110/07/09	4	0.03	0.95	0.05	0.40	0.16	1.08	0.30	2.28	西	-	太平洋高壓籠罩
110/07/15	5	0.02	0.96	N.D.	0.39	0.82	1.71	0.70	2.25	西北西	1.0	南方低壓帶影響
110/07/18	14	0.11	4.48	N.D.	1.69	0.67	2.60	1.20	2.00	東南	-	低壓帶影響
110/07/21	6	0.04	1.44	N.D.	0.54	0.24	1.77	0.61	3.92	北北東	0.5	颱風外圍環流
110/07/24	8	0.04	1.23	N.D.	0.50	0.59	2.79	0.93	3.45	北北西	-	颱風外圍環流
110/08/05	6	N.D.	0.77	N.D.	0.31	0.59	0.92	0.43	2.14	東南	7.0	颱風外圍環流
110/08/08	8	0.09	1.56	N.D.	0.63	0.76	0.86	0.29	2.20	南南東	30.0	西南氣流
110/08/11	6	0.11	0.88	0.06	0.37	0.65	0.57	0.29	2.22	西	-	西南風
110/08/14	6	0.09	0.55	N.D.	0.23	0.51	1.55	1.04	2.08	南	-	微弱西南風
110/08/20	7	N.D.	1.29	N.D.	0.55	0.64	1.74	0.75	1.83	東南	-	弱縱觀型態
110/08/26	12	0.09	3.53	N.D.	1.39	1.17	1.08	0.90	1.96	東南	-	太平洋高壓籠罩
110/08/29	18	0.26	5.42	N.D.	2.13	1.59	2.13	1.26	1.81	北北東	-	太平洋高壓籠罩

續表4.4.2、110年龍井站4月~11月及PM_i手動採樣結果與天氣狀況(2/2)

採樣日	PM _i								氣象			
	質量 濃度	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	金屬	OC	EC	風速	風向	雨量	天氣類型
單位	μg/m ³								m/s	方位	mm	
110/09/01	12	0.07	3.72	0.07	1.27	0.82	1.24	0.84	1.75	東南	-	太平洋高壓籠罩
110/09/04	7	N.D.	1.78	N.D.	0.61	0.58	0.87	0.27	1.91	東南	-	太平洋高壓籠罩
110/09/10	14	0.08	4.11	N.D.	1.50	0.63	2.27	1.15	1.57	南南東	-	颱風外圍環流
110/09/16	14	0.08	3.85	0.05	1.42	0.68	1.87	1.05	1.73	東南	-	弱縱觀型態
110/09/25	15	0.04	5.26	0.04	2.04	0.55	1.76	1.11	2.38	北	-	微弱東北風
110/10/01	21	0.11	5.96	0.04	2.38	1.02	3.58	2.21	1.70	南	-	微弱東北風
110/10/07	20	0.71	5.29	ND	2.33	1.02	3.36	1.77	1.50	南南東	-	颱風外圍環流
110/10/13	8	0.02	0.65	ND	0.28	0.68	2.85	1.25	1.20	南南西	3.0	颱風外圍環流
110/10/16	10	0.08	2.22	ND	1.05	0.91	1.47	0.79	3.20	東北	-	冷高壓南下
110/10/22	4	0.01	0.64	ND	0.30	0.47	0.72	0.16	4.90	東北	-	冷高壓南下
110/10/28	11	0.05	2.86	0.04	1.18	0.79	1.63	0.82	3.20	東北	-	冷高壓南下
110/11/03	14	0.06	3.46	ND	1.36	0.76	3.2	1.44	1.80	北北東	-	東北季風型
110/11/06	15	0.12	3.62	ND	1.51	0.84	2.83	1.57	2.00	南南東	-	東北季風型
110/11/12	11	0.07	1.85	ND	0.79	0.55	3.39	1.29	2.30	東北	-	鋒前暖區
110/11/18	5	0.12	1.11	0.03	0.53	0.35	1.1	0.27	3.50	北北東	-	東北季風型
平均值	9.5	0.2	2.2	0.2	0.8	0.6	1.8	0.8	-			
標準差	4.6	0.4	1.5	0.2	0.7	0.3	0.8	0.5	-			

圖 4.4.3 為龍井自動站 PM_{2.5} 與龍井微粒站之手動 PM₁ 濃度相關，可知 PM₁/PM_{2.5} 比值大約為 0.7，PM_{2.5} 與 PM₁ 相關性佳。

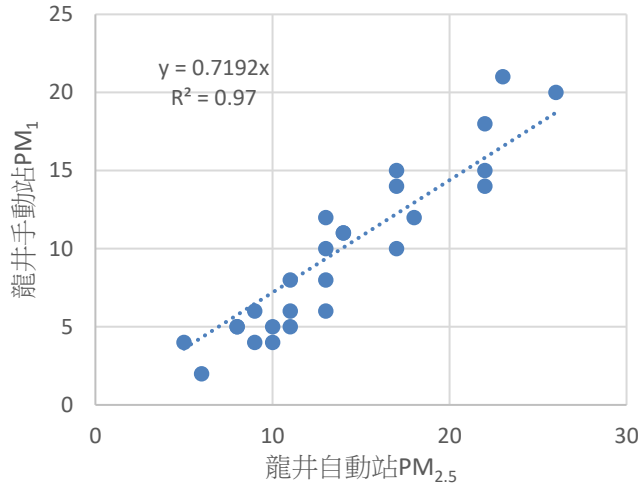


圖4.4.3、龍井PM_{2.5}與PM₁相關性

圖 4.4.4 為龍井站（4 月～11 月）歷次 PM₁ 成分析結果，由圖可知 PM₁ 濃度以 110/10/01 濃度最高 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，當日 PM_{2.5} 日均值 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，查本年度 4 月～11 月並無 PM_{2.5} 事件日發生。

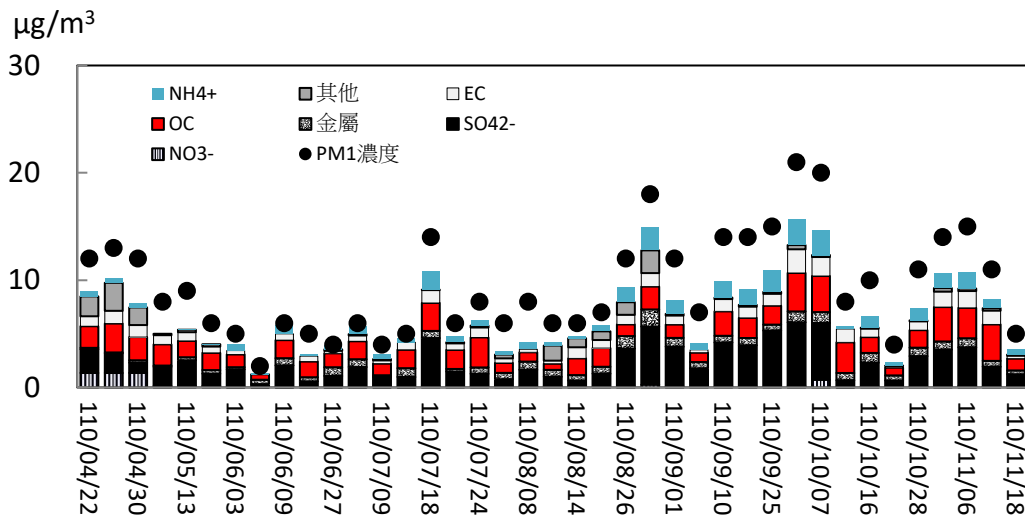


圖4.4.4、110年龍井站PM₁濃度與成分

表4.4.3、110年4月~11月龍井站PM₁成分分季統計

季節	樣本數 (N)	NO ₃ ⁻ (μg/m ³)	SO ₄ ²⁻ (μg/m ³)	NH ₄ ⁺ (μg/m ³)	金屬 (μg/m ³)	OC (μg/m ³)	EC (μg/m ³)
春季 (4月~5月)	7	0.67±0.64	1.72±0.55	0.27±0.23	0.20±0.10	1.95±0.47	0.88±0.22
夏季 (6月~8月)	18	0.08±0.08	1.80±1.75	0.72±0.67	0.66±0.47	1.72±0.64	0.77±0.36
秋季 (9月~11月)	15	0.12±0.17	3.09±1.69	1.24±0.67	0.71±0.19	2.14±0.99	1.07±0.57

備註：1.計畫自 4/22 日開始採樣，本表已扣除降雨日

季節統計如表 4.4.3 所示，龍井站 PM₁ 成分濃度在春季以有機碳 (OC) 濃度最高，夏季及秋季以硫酸根 (SO₄²⁻) 濃度最高。整體而言，PM₁ 中以硫酸根占比最高 22.27%，次為有機碳 20.75%，詳圖 4.4.5。

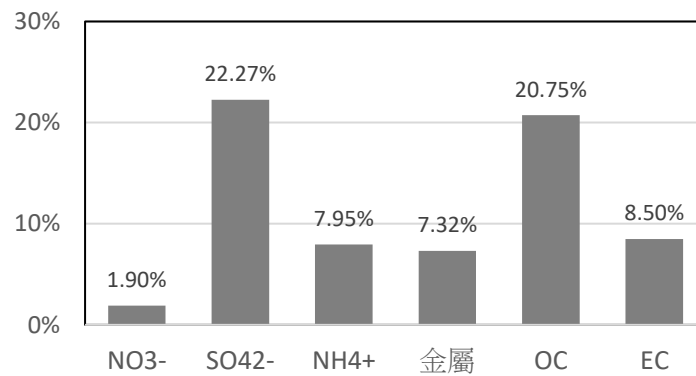
圖4.4.5、110年龍井站PM₁各成分百分比

表 4.4.4 可知龍井站 PM₁ 金屬濃度鑑測結果，有害重金屬的鎘皆為 N.D.，其中鋅濃度最大值為 0.0481 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，鉛及鉻濃度最大值分別為 0.0073 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及 0.0218 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表4.4.4、110年龍井站PM₁重要金屬濃度單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

採樣日	砷	鉛	銅	鉻	鋅	鎳	鎘
110/04/22	N.D.	N.D.	N.D.	0.0083	N.D.	N.D.	N.D.
110/04/25	N.D.	N.D.	N.D.	0.0048	N.D.	N.D.	N.D.
110/04/28	N.D.	N.D.	N.D.	0.0051	N.D.	N.D.	N.D.
110/04/30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
110/05/07	N.D.	N.D.	0.0056	N.D.	0.0382	N.D.	N.D.
110/05/13	N.D.	0.0066	N.D.	N.D.	0.0481	N.D.	N.D.
110/05/19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0359	N.D.	N.D.
110/06/03	N.D.	N.D.	N.D.	0.0042	N.D.	N.D.	N.D.
110/06/06	N.D.	N.D.	N.D.	0.0076	N.D.	N.D.	N.D.
110/06/09	0.0052	N.D.	N.D.	0.0122	N.D.	N.D.	N.D.
110/06/24	0.0058	N.D.	N.D.	0.0204	0.0070	N.D.	N.D.
110/06/27	0.0065	N.D.	N.D.	0.0218	N.D.	N.D.	N.D.
110/07/03	N.D.	N.D.	N.D.	0.0047	N.D.	N.D.	N.D.
110/07/09	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
110/07/15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
110/07/18	N.D.	0.0058	N.D.	N.D.	0.0233	N.D.	N.D.
110/07/21	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0072	N.D.	N.D.
110/07/24	N.D.	0.0070	N.D.	N.D.	0.0135	N.D.	N.D.
110/08/05	N.D.	0.0045	0.0070	N.D.	0.0152	0.0049	N.D.
110/08/11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0117	N.D.	N.D.
110/08/14	N.D.	N.D.	0.0059	N.D.	0.0280	0.0049	N.D.
110/08/20	N.D.	0.0065	N.D.	N.D.	0.0133	N.D.	N.D.
110/08/26	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0146	N.D.	N.D.
110/08/29	N.D.	0.0073	0.0068	N.D.	0.0279	0.0046	N.D.
110/09/01	N.D.	N.D.	0.0059	N.D.	0.0205	0.0034	N.D.
110/09/04	N.D.	N.D.	0.0112	0.0133	N.D.	N.D.	N.D.
110/09/10	N.D.	N.D.	0.0049	0.0105	N.D.	N.D.	N.D.
110/09/16	N.D.	N.D.	0.0078	0.0114	N.D.	N.D.	N.D.
110/09/25	N.D.	N.D.	0.0157	0.0102	N.D.	N.D.	N.D.
110/10/01	ND	0.0066	ND	ND	0.0357	0.0125	ND
110/10/07	ND	ND	ND	ND	0.0172	ND	ND
110/10/13	ND	ND	ND	ND	0.0351	ND	ND
110/10/16	ND	ND	ND	ND	0.0052	ND	ND
110/10/22	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
110/10/28	ND	ND	ND	ND	0.0051	ND	ND
110/11/03	ND	0.0057	ND	ND	0.0192	ND	ND
110/11/06	ND	0.0047	0.0044	0.0045	0.0218	ND	ND
110/11/12	ND	0.0047	ND	ND	0.0163	ND	ND
110/11/18	ND	ND	ND	ND	0.0077	ND	ND
最大值	0.0065	0.0073	0.0157	0.0218	0.0481	0.0125	N.D.

備註：金屬偵測極限均為0.0042 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

4.5、能見度改善之管制建議

4.5.1、成分管制

張士昱等人（2020）調查臺灣能見度與微粒成分關係，指出其中硫酸鹽、硝酸鹽為重要消光係數貢獻成分，從 PM_{2.5} 質量效率分析中，發現 NO₃⁻ 在質量占比的增加會導致能見度的下降，而 SO₄²⁻ 占比的情形卻不相同，沒有明顯的趨勢，顯示避免高濃度的 NO₃⁻ 出現是改善能見度首要工作之一。

臺中地區忠明站以冬、春兩季能見度低，主要以硝酸鹽（RH）、燃煤與富含氯（RH）為影響消光係數的大宗，此三項是改善見度較不佳的優先建議管控污染源。

依據臺中市政府環保局之專案計畫（台灣綠仕科技有限公司，2018）調查顯示 PM_{2.5} 事件日與非事件日硫酸鹽占比變化不大，但硝酸鹽(NO₃⁻)占比上升，鑒於 PM_{2.5} 事件日 (>35µg/m³) 時，NO₃⁻ 占比上升，應在 PM_{2.5} 事件日發生前夕，加強氫氧化物排放管制。

林文印等人（2018）研究指出當微粒中分布的硫酸銨和硝酸銨粒徑大多落在可見光區（0.4µm~0.7 µm）時，消光係數就會隨著硫酸銨和硝酸銨粒徑濃度的提升，導致能見度的下降。前金硫酸銨和硝酸銨影響微粒消光係數主要粒徑分布為 0.46µm~0.7 µm，其微粒消光係數粒徑範圍介於可見光區（0.4µm~0.7 µm），以致於較橋頭粒徑分布為 0.32µm~0.42 µm，有較低的能見度。

林唐煌等人（2018）研究臺中地區發現，PM₁ 對於能見度劣化貢獻比 PM_{2.5} 高，PM_{2.5} 質量濃度減量雖有助於能見度改善，但粒徑上的變化抵銷減量的效益，該研究指出粒徑 0.01µm 微粒主要成分是有機物，而粒徑 0.3µm~1.0µm 粒主要成分是硫酸鹽、硝酸鹽，此粒徑恰為可見光（0.4µm~0.7µm）之波段，因此，影響能見度最大，能見度劣化期間大氣中硝酸鹽有大幅增加的現象。

2020 年臺中調查發現能見度劣化期間的硝酸鹽比例較乾淨期間大幅增加（12% 增至 43%），造成散光效應促使能見度降低之結果（蔡榮秋，2020）。

在加拿大西岸東南方的菲沙河谷（Fraser Valley），研究 PM_{2.5} 對河谷的能見度所造成的影響，發現造成河谷能見度降低的 PM_{2.5} 主要由汽機車所排放，其中氨鹽及硝酸鹽（即硝酸鹽）是造成河谷能見度降低之主要物種。

微粒中硫酸鹽、硝酸鹽及有機碳占比最高，是消光的主要三大物種，本節彙整相關文獻以瞭解當中何種成分影響能見度效應最高。綜合上述調查可知，硝酸鹽對能見度影響效應最大，而大多數的硝酸鹽屬於二次污染物，前驅物為氫氧化物

(NO_x)，建議應以減少來自工業及交通氮氧化物的排放為主。有效管制措施包含
 1.使用低氮燃燒器，調控空氣與燃料配比使燃燒達最佳化，抑制鍋爐 NO_x 產生
 2.使用廢氣脫硝防制設備
 3.開發綠能
 4.推廣電動車。

根據 TEDS11.0 排放量，臺中市 NO_x 前十大行業別如下表，減少 NO_x 排放應以總排放量高低作為先後順序的依據。大貨車排放量 30.71%最高，其次為電力業 27.88%，再次為鋼鐵業 7.89%；大貨車方面應優先汰換 1~3 期老舊柴油車，以 4~5 期車為主，未來朝使用電動大貨車方向推動；電力業已全面採用低氮燃燒器及廢氣脫硝防制設備，未來可朝要求其防制設備效能最佳狀態下運轉；鋼鐵業亦應全面要求使用低氮燃燒器及廢氣脫硝防制設備來抑制 NO_x 排放。

表4.5.1、臺中市NO_x前十大行業別排放量

編號	業別	排放量(公噸/年)	百分比
1	大貨車	10,840.75	30.71%
2	電力業	9,843.58	27.88%
3	鋼鐵基本工業	2,786.79	7.89%
4	自用小客車	2,036.90	5.77%
5	船舶-港區內	1,490.73	4.22%
6	柴油小貨車	1,116.54	3.16%
7	四行程機車	739.18	2.09%
8	其他大客車	727.60	2.06%
9	焚化爐	632.99	1.79%
10	造紙及印刷出版業	608.56	1.72%

資料來源：TEDS11.0

圖 4.5.1 為龍井微粒監測站散光效應與 PM₁ 成分相關分析，可看出散光效應與硫酸根相關性最佳，其次為硝酸根，再次為有機碳。金屬成分在消光效應上貢獻極小，忽略不計，元素碳主要是吸光效應。

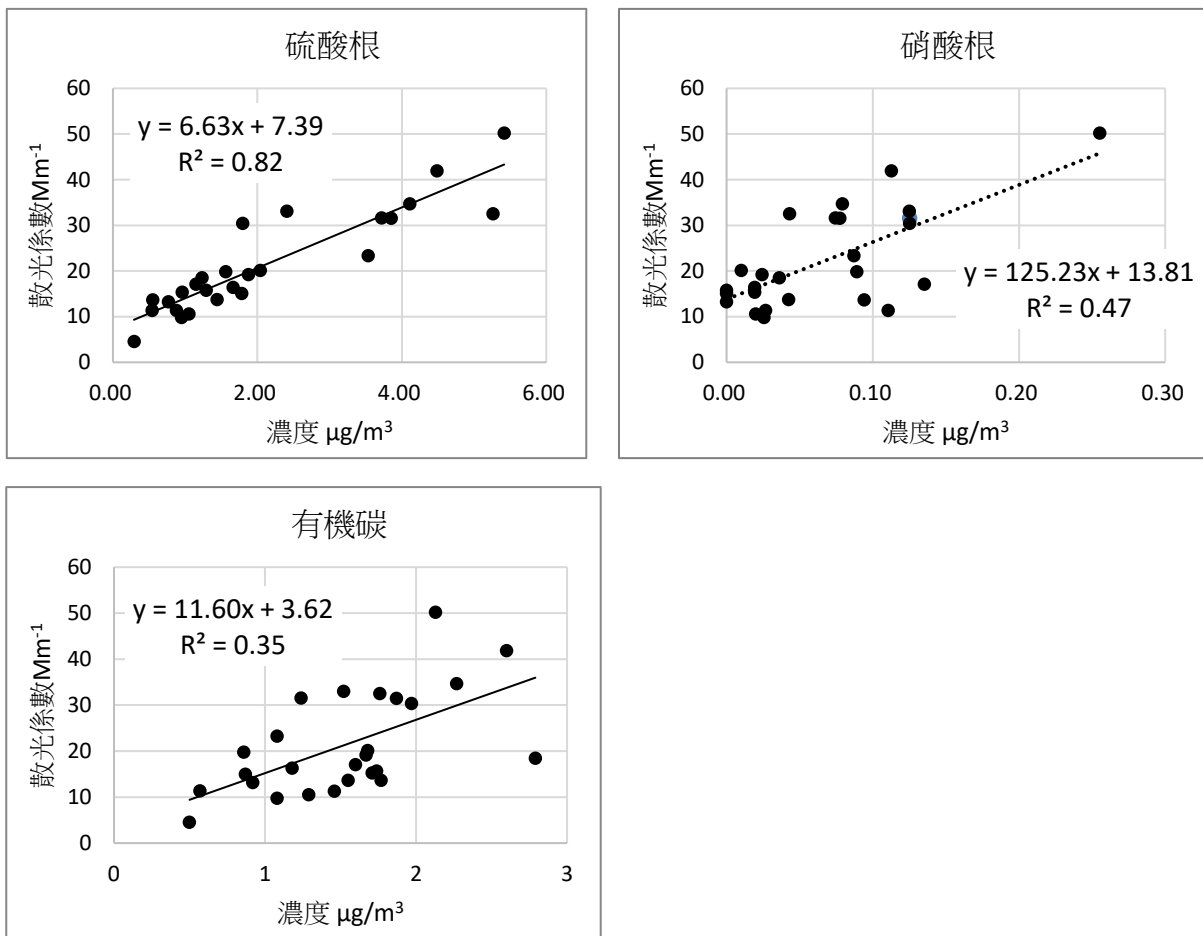


圖 4.5.1 龍井微粒監測站散光效應與微粒成分關係

以實際量測的散光係數與 PM₁ 化學成分建立多元線性迴歸式，此多元線性迴歸式以硫酸根 (SO₄²⁻)、硝酸根 (NO₃⁻) 及有機碳 (OC) 為自變數，散光係數 ($b_{spd,p}$) 為應變數 (Cass, 1985；劉山豪，2000)，迴歸結果 R 平方值 0.93，數學式如下：

$$b_{spd,p} = 4.6[SO_4^{2-}] + 15.8[NO_3^-] + 4.2[OC] + 0.17[R] + 0.96$$

[SO₄²⁻]：次微米微粒中之硫酸根濃度

[NO₃⁻]：次微米微粒中之硫酸根濃度

[OC]：次微米微粒中之硫酸根濃度

[R]：次微米微粒中扣除硫酸根、硝酸根、有機碳之剩餘物種濃度

迴歸統計	
R 的倍數	0.964135
R 平方	0.929556
調整的 R	0.916138
標準誤	3.211256
觀察值個	26

ANOVA					
	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	4	2857.585	714.3962	69.27702	8.59E-12
殘差	21	216.5555	10.31217		
總和	25	3074.14			

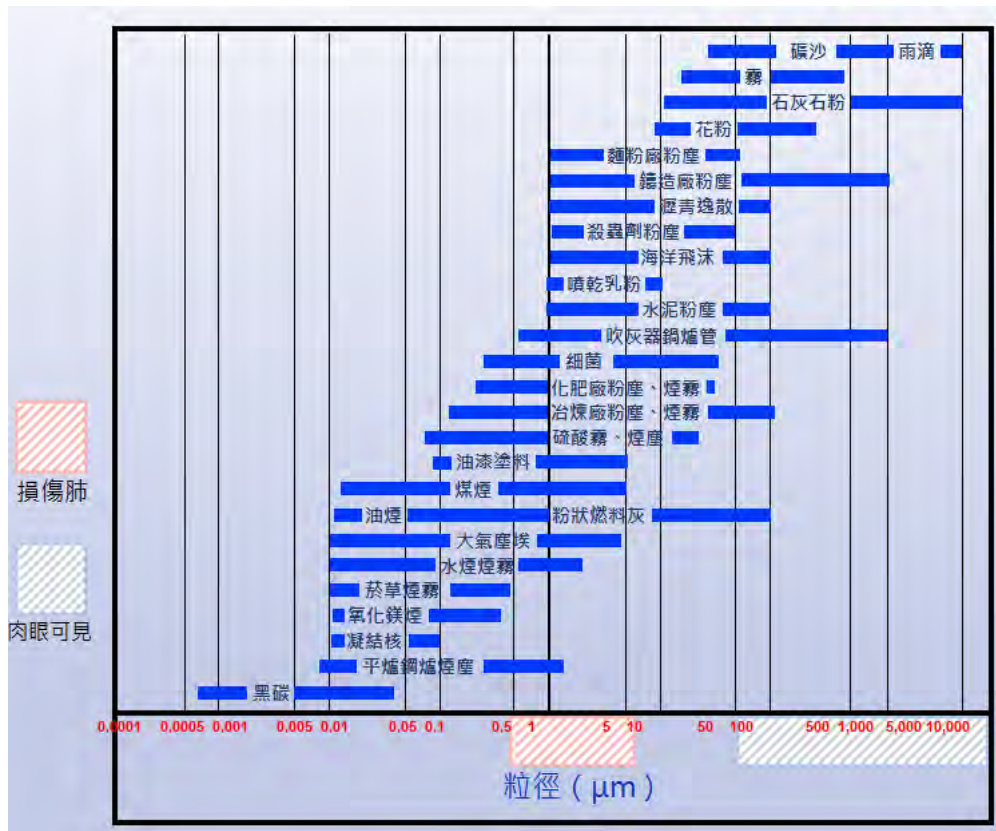
	係數	標準誤	t 統計	P-值	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
截距	0.956265	2.18249	0.438153	0.665749	-3.58247	5.495002	-3.58247	5.495002
S	4.599867	0.954491	4.819182	9.2E-05	2.614894	6.58484	2.614894	6.58484
N	15.83006	8.26547	3.91365	0.000798	26.16339	85.49673	26.16339	85.49673
OC	4.19639	1.293571	3.244036	0.003885	1.506263	6.886517	1.506263	6.886517
R	0.166832	0.635331	0.26259	0.795426	-1.15441	1.488075	-1.15441	1.488075

多元迴歸式中係數可視為各化學物種之散光效率，各化學物種中以硝酸根之散光效率最高 $15.8 \text{ m}^2/\text{g}$ ，其次為硫酸根 $4.6 \text{ m}^2/\text{g}$ ，有機碳為 $4.2 \text{ m}^2/\text{g}$ ，而剩餘物質之散光效率則是 $0.17 \text{ m}^2/\text{g}$ 。

4.5.2、微粒粒徑管制

小於 PM_{10} 是過去較少被考慮到的因素，而這些 PM_{10} 到奈米級的細小微粒來源包括：工業燃煤及燃油、柴油車、機車排放、露天燃燒等，都是直接排放來源，另外，也會有光化形成二次來源。

過去空氣污染源控制策略已清掉較大的 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ ，而 PM_{10} 到奈米級因沒被有效控制與清除，數目累積越來越多。圖 4.5.1 為不同污染源所產生粒子的大小， PM_{10} 以下污染源包括化肥廠及冶煉廠的粉塵、硫酸霧氣、油漆塗料、煤煙、油煙……等。



圖片來源 <https://www.americanallergysupply.com/box-fan-air-cleaner.htm>

圖4.5.1、不同污染源產生之粒子大小

Pokorna et al. (2015, 2016) 調查歐洲空污熱區指出，煤炭燃燒、鋼鐵生產及交通排放粒徑多屬於 $PM_{0.34\sim 1.15}$ ，研究道路揚塵的微粒屬於 $PM_{1.15\sim 10}$ 。Shen et al. (2014) 及 Wu et al. (2014) 研究中國浙江杭州市的次微米微粒組成，70%以上為硫酸鹽、硝酸鹽及車輛所貢獻。Yu et al. (2018) 研析 2016 年舉辦 G20 (二十國集團杭州峰會；2016 G20 Hangzhou summit) 時，強制發電廠及交通減排 50%，VOC 工廠 (如煉油廠及化工廠) 全面停工期間進行監測，結果顯示燃煤電廠減排抑制次微米微粒 (PM_{10}) 的增長，而在車輛和 VOC 工廠減排期間， PM_{10} 並未明顯下降，是因為車輛

和 VOC 工廠排放屬於更小粒徑的顆粒，未能反應在 PM_{10} 減量上。

彭爽等人（2020）監測中國四川成都大氣粒狀物粒徑 $0.25\mu\text{m}\sim 32\mu\text{m}$ 微粒，分析顯示 $PM_{0.25\sim 0.5}$ 粒子數占 97.75%，而 $PM_{0.25\sim 0.5}$ 因為對可見光波段的米散射效應，而對能見度產生較大影響；當 $RH < 70\%$ 時，粒徑 $0.25\mu\text{m}\sim 0.3\mu\text{m}$ 粒子數濃度對能見度影響大， RH 在 $70\%\sim 80\%$ 情況下，粒徑 $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ 粒子數濃度對能見度影響大，當 $RH > 80\%$ 時，粒徑 $0.3\mu\text{m}\sim 1\mu\text{m}$ 粒子數濃度對能見度影響大。以臺中地區 RH 年平均約在 $70\%\sim 80\%$ 之間而論（詳圖 2.1.5），粒徑 $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ 粒子數應該是影響臺中能見度的最大區間。此結果與龍井站粒徑大小與消光性分析結果（圖 4.3.8）大致吻合。

Zhu et al.（2002）及 Charron et al.（2003）分別研究洛杉磯及倫敦兩地懸浮微粒的來源，發現該都市中粒徑範圍在 $0.02\mu\text{m}\sim 0.06\mu\text{m}$ 的超細微粒多由汽油引擎類的輕型交通工具所排放；而粒徑範圍在 $0.06\mu\text{m}\sim 0.13\mu\text{m}$ 的超細微粒則多由柴油引擎類的重型交通工具所排放。吳和張（2005）針對臺南市機動車輛所排放之懸浮微粒的粒徑分布進行研究，結果顯示汽車所排放之超細微粒的粒徑範圍在 $0.01\mu\text{m}\sim 0.02\mu\text{m}$ ，機車則為 $0.01\mu\text{m}\sim 0.03\mu\text{m}$ 。

綜合上述可知，要控制原生性微粒在粒徑 $1\mu\text{m}$ 微粒生成，可以將管制電廠列為首要，管制更小顆粒應該則應以交通或 VOC 工廠為主。

小結

1. 臺中市海區龍井監測結果統計，消光係數（散光係數+消光係數）多介於 $3 \text{ Mm}^{-1} \sim 115 \text{ Mm}^{-1}$ 間，平均而言，散光貢獻占 69%，吸光貢獻占 31%。
2. 依季節變化統計消光係數為春季最高（ 46.87 Mm^{-1} ），代表能見度再春季較差；消光中的散光及吸光占比，散光係數於春季時較高（ 39.70 Mm^{-1} ），次為秋季，夏季散光係數最低，能見度相對較好。吸光係數則在秋季時最高（ 13.50 Mm^{-1} ），為其他季節的兩倍。
3. 粒徑 $0.3 \mu\text{m} \sim 0.4 \mu\text{m}$ 微粒與消光性呈現高度相關，粒徑 $1 \mu\text{m}$ 、 $2.5 \mu\text{m}$ 屬於低度相關，推論可知造成海區龍井能見度不佳者，以 $0.3 \mu\text{m} \sim 0.4 \mu\text{m}$ 粒徑為主。
4. 消光係數與顆粒數之日變化，可知為單峰型態，峰值在上午發生，消光效應強，顆粒數亦有上升趨勢，此與日間污染源較多及陽光所催化的二次微粒生成，在數目濃度上遠大於夜間的濃度，因此，相對地能見度是一日當中最差的時段。
5. 微粒粒徑與風向、風速極座標分析，可知粒徑 $0.18 \mu\text{m} \sim 0.4 \mu\text{m}$ 微粒發生在中、低風速測站附近，一部分來自西北面，部分為測站周圍，西北面不排除受該方向之電力業、鋼鐵業及海上船舶排放的影響； $0.7 \mu\text{m} \sim 2.5 \mu\text{m}$ 微粒高值在高風速期間發生，來自北面，污染來源與梧棲區、沙鹿區有關，因無粒徑污染源指紋資料庫可供比對，無法進一步推知貢獻業別。
6. 以實際量測的散光係數與 PM_{10} 化學成分建立多元線性迴歸式，各化學物種中以硝酸根之散光效率最高 $15.8 \text{ m}^2/\text{g}$ ，其次為硫酸根 $4.6 \text{ m}^2/\text{g}$ ，有機碳為 $4.2 \text{ m}^2/\text{g}$ 。
7. 微粒中硫酸鹽、硝酸鹽及有機碳占比最高，是消光的主要三大物種，對臺中市而言，硝酸鹽對能見度影響效應最大，而多數硝酸鹽屬於二次污染物，前驅物為氮氧化物（ NO_x ），因此欲有效快速地改善能見度，管制應以減少工業及交通氮氧化物的排放為主。有效管制措施包含 1.使用低氮燃燒器，調控空氣與燃料配比使燃燒達最佳化，抑制鍋爐 NO_x 產生 2.使用廢氣脫硝防制設備 3.開發綠能 4.推廣電動車。
8. NO_x 減排應以總排放量高低作為先後順序，TEDS11.0 中 NO_x 排放量前十大行業別中，以大貨車排放量 30.71%最高，其次為電力業 27.88%，再次為鋼鐵業 7.89%；大貨車方面應優先汰換 1~3 期老舊柴油車，以 4~5 期車為主，未來朝使用電動大貨車方向推動；電力業已全面採用低氮燃燒器及廢

氣脫硝防制設備，未來可朝要求其防制設備效能在最佳狀態下運轉；鋼鐵業亦應全面要求使用低氮燃燒器及廢氣脫硝防制設備來抑制 NO_x 排放。

第五章 應用數位影像技術解析能見度

— 章節摘要 —

目前各縣市致力把 AI 技術導入環境污染監測系統，有鑒於此，若將環境影像資料，取其影像轉化為能見度，以獲取能見度變化特徵；等同以鏡頭代替人眼取像，由 AI 取代人腦判別，建立本市空污與能見度的關係，作為環境管理參考。

本章是以攝影機擷取影像，透過軟體改變影像資訊，轉換成灰階數值，再將數值差異藉由關係式轉換成能見度值。本章內容說明攝影機安裝地點、如何建立關係式，以及以數位影像技術量測結果，並比較不同攝像點位的能見度差異，瞭解區域能見度的特徵，本工作要點與目標進程如圖 5.1 所示。



圖 5.1、能見度調查分析之工作要點與目標進程

5.1、攝影機架設與影像擷取技術說明

過去學者透過解析影像參數換算能見度，Lou 等（2002）把數位影像轉換成灰階數值做處理，再藉由線性關係換算能見度值，Martha 等（2012）以影像灰階值作分析，不同的權重加入到對應的能見度，國內學者也著手實驗以數位影像技術量測大氣能見度進行評估（蔡岱玲，2014），這些做法都是利用攝影機將環境影像轉換成能見度，反映肉眼實際感受，是未來能見度監測網建置的重要參考。

美國環境保護署在 1999 年就開始嘗試使用 Slide Photography 方式，該署在其網站（<http://www.epa.gov/air/visibility/index.html>）說明透過數位影像監看國家公園和野地的能見度與霾（Haze）現象；現今全美各地形成 CAMNET（<http://www.hazecam.net/>），並由美國 Air Resource Specialists, Inc. 提供相機軟硬體安裝與維護。

本工作目標是建立環境圖像與能見度之線性關係，執行步驟有三：1. 圖像取樣；2. 圖像亮度差計算；3. 建立亮度差與大氣能見度關係式。工作執行流程如圖 5.1.1 所示，首先擷取環境影像畫面，取影像裡建築物與背景計算邊緣亮度值，以短距式能見度儀取得能見度公里數，最後以線性迴歸式建立亮度差異與能見度公里數關係。

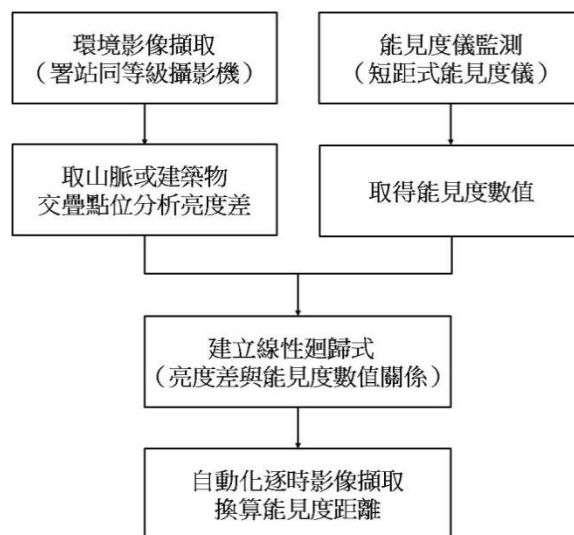


圖 5.1.1、影像能見度值解析之工作執行流程

亮度差異值與能見度值公里數的數值關係式建立後，作為日後圖像與能見度公里數換算的基礎，並進一步與 PM_{2.5} 及 PM₁ 濃度比較。此方式精準度雖不及能見度儀，但能提供一種經濟且更貼近人類視覺感受的資訊。

影像能見度解析方法主要應用 Sobel 邊緣檢測演算法，邊緣檢測是圖像處理中的一門技術，該技術優點在於可大幅度減少資料量，並剔除雜訊，只保留圖像重要處的結構屬性，非常適合現今數位圖像的處理，羅金翔等（2014）建構大氣能見度高頻辨識模式，目標物體在影像訊號（如顏色或色階）變化越大，愈可被辨識，高頻分量越多，表示大氣能見度越好；該學者研究將大氣能見度的自動觀測領域與即時與深度學習一類神經網絡結合，並將此系統應用於臺中海區長期觀測的工作（羅金翔等，2019）。圖 5.1.2 為環境影像判定點選擇處理流程。

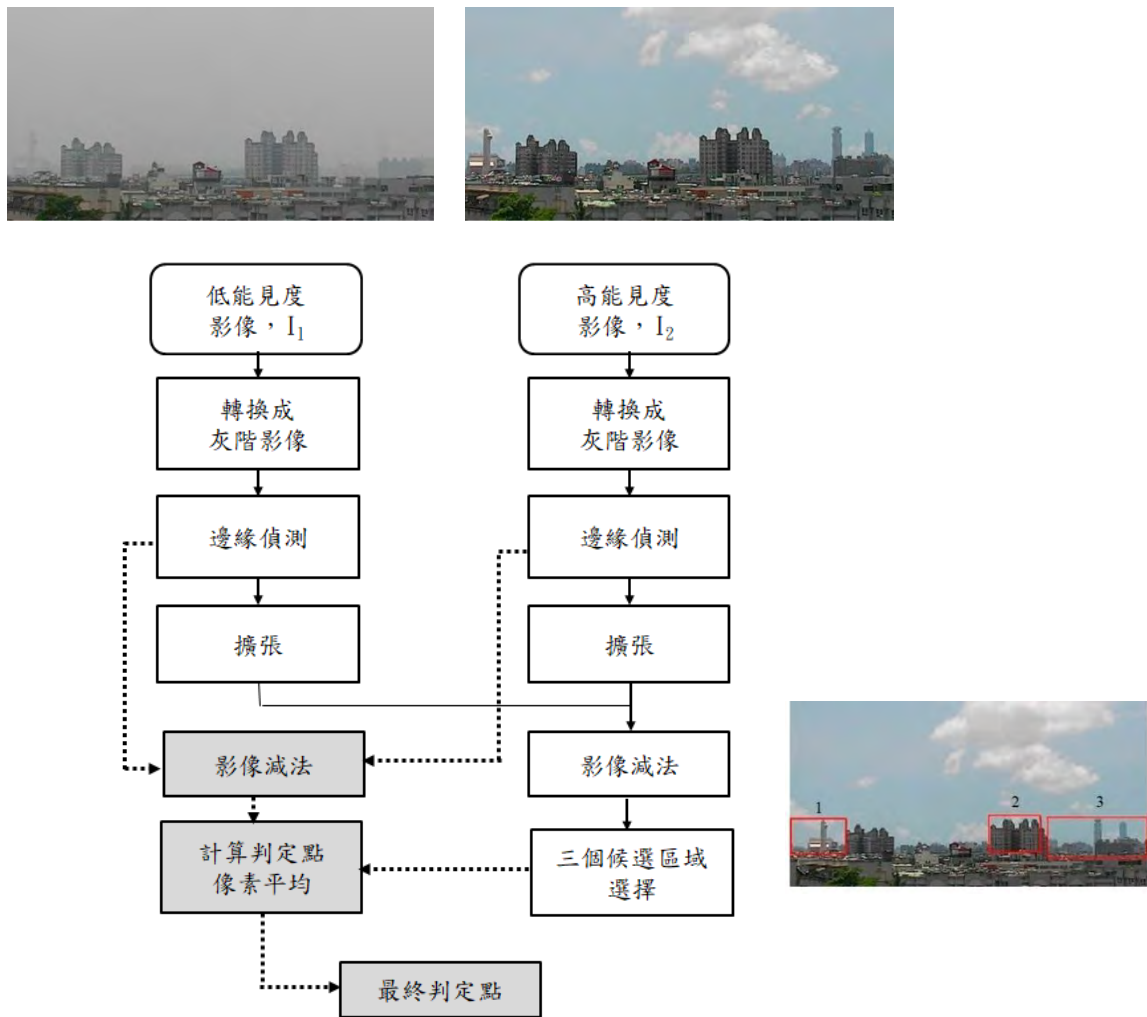


圖 5.1.2、環境影像判定點選擇處理流程

有關 Sobel 邊緣檢測演算法簡要說明如下，第一步，將 Sobel 邊緣檢測應用於圖像對 I1 和 I2，以提取高頻分量（Jin et al., 2008），在 Sobel 邊緣檢測中，此方法中分別用於 x 軸和 y 軸的梯度表示為 G_x 和 G_y ，採網格切割，計算 G_{xy} ，公式如下：

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ and } G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad G_{xy} = |G_x| + |G_y|$$

由 Sobel 邊緣偵測產生的圖像如圖 5.1.3 (A) 低能見度與圖 5.1.3 (B) 高能見度，進行 Sobel 邊緣偵測後，高能見度圖像比低能見度圖像具有更多細節。說明高能見度中的高頻分量較多，之後以圖像減法獲得圖 5.1.3 (C)。再進一步將圖 5.1.3 (C) 萃取標示，像素相同者刪除，像素不同者保留並標以不同顏色區分，可得到如圖 5.1.4 所示之萃取圖，不同顏色像素差與能見度進行線性迴歸式，取迴歸式相關性最佳者，作為影像與能見度換算公式。此影像解析技術已應用在中臺灣並與 $PM_{2.5}$ 質量濃度建立數值關係，相關係數達 0.7（Liaw et al., 2020）。



圖 5.1.3、Sobel 邊緣檢測影像示意圖



圖 5.1.4、影像萃取圖

本市的山、海、屯各擇一適當制高點架設戶外攝影機，架設相對位置如圖5.1.5，架設情況如圖5.1.6，環境影像每小時擷取影像資料至少4筆，自動傳輸至影像資料庫，攝影機架設位置與擷取畫面詳表5.1.1。



圖 5.1.5、本計畫能見度攝影機架設位置

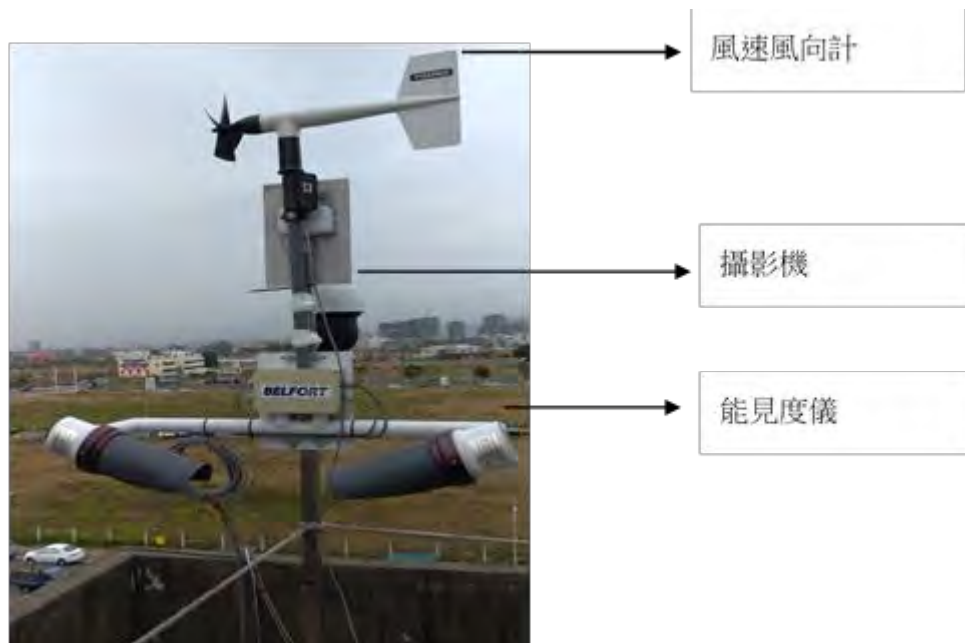


圖 5.1.6、攝影機與能見度儀架設方式

人們知道氣象光學法量測到的能見度與視覺範圍存在一些差異，隨著影像分析技術的改進，各種基於相機影像的能見度測量技術正在開發中，南韓 Kim(2018) 研析影像能見度解析與人類視覺間的相關優於光學能見度解析。

法國蘭伯蒂安區應用影像梯度技術，以公路攝影機的攝像對大氣能見度進行新的估計，該評估結果以非線性迴歸校準，白天攝影圖像的平均誤差為 30%(Babari et al., 2012)。

Graves 和 Newsam (2014) 將美國亞利桑那州鳳凰城大氣能見度的圖像處理技術，視為一項長期研究工作，目標之一是把無法從透射儀或類似儀器獲得數據，改以能見度相機系統模式呈現，此方法在提供能見度的相對而非絕對值，攝像來源可以是我們環境中存在越來越多的攝像頭。第二個目標是將觀測結果直接地與大氣污染做關聯，以獲取圖像和相應粒狀物污染的關係。

表 5.1.2 為亮度差異與能見度數值關係式，三站 R^2 值分別為 0.51、0.60、0.70，影像亮度差異將以此數值式轉換為能見度值。攝影機與能見度值建立數值關係須透過能見度儀。

表 5.1.1、山、海、屯攝影機架設位置資訊表

分區	影像	地址/座標
山區		<p>臺中市北屯區 陳平路 179 號 民宅</p> <p>N 24°18'70" E 120°67'01"</p>
海區		<p>臺中市沙鹿區 臺灣大道六段 1018 號 弘光科大研究大樓</p> <p>N 24°13'05.7" E 120°34'54.2"</p>
屯區		<p>臺中市烏日區 東園里溪南路一段 238 巷 195 號 東園活動中心</p> <p>N 24°5'01" E 120°38'21"</p>

表 5.1.2、山、海、屯判定點與數值相關式一覽表


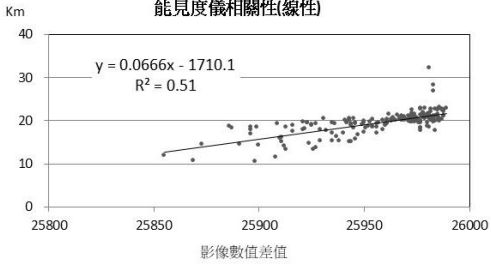

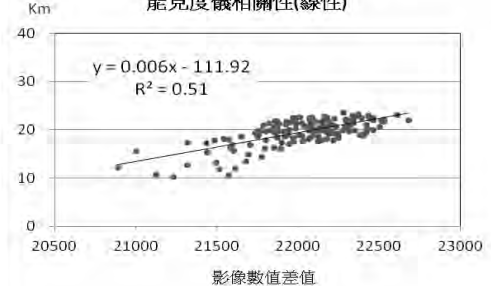
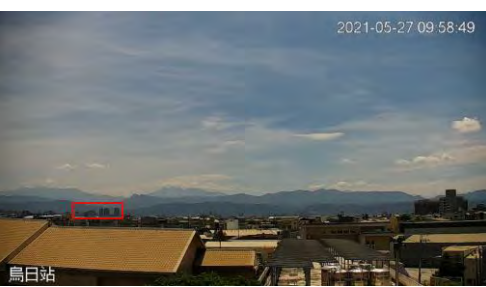
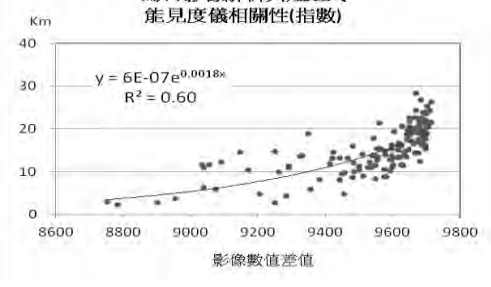
<p>北屯站特徵點</p>  <p>2021-05-27 10:58:03</p> <p>北屯站</p>	<p>北屯影像解析與短距式 能見度儀相關性(線性)</p>  <p>$y = 0.0666x - 1710.1$ $R^2 = 0.51$</p> <p>Km</p> <p>影像數值差值</p>
<p>弘光站特徵點</p>  <p>2021-05-27 08:57:00</p> <p>弘光站</p>	<p>弘光影像解析與短距式 能見度儀相關性(線性)</p>  <p>$y = 0.006x - 111.92$ $R^2 = 0.51$</p> <p>Km</p> <p>影像數值差值</p>
<p>烏日站特徵點</p>  <p>2021-05-27 09:58:49</p> <p>烏日站</p>	<p>烏日影像解析與短距式 能見度儀相關性(指數)</p>  <p>$y = 6E-07e^{0.0018x}$ $R^2 = 0.60$</p> <p>Km</p> <p>影像數值差值</p>

表 5.1.2 中烏日站能見度公里數與影像像素差為指數關係，將影像像素取自然對數，與能見度公里數進行線性迴歸，結果如下圖 5.1.7，相關係數為 0.60。

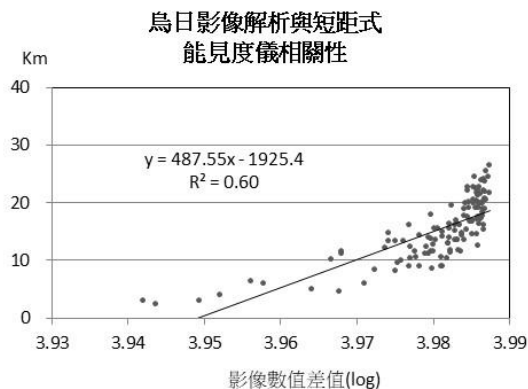


圖 5.1.7、烏日站能見度公里數與影像像素差線性相關

5.2、山、海、屯區能見度變化特徵

分析每日 8:00~16:00 能見度平均以瞭解 3/11 日~11/30 日之日變化，影像解析數值最大及最小值之即時影像如圖 5.2.1 所示。

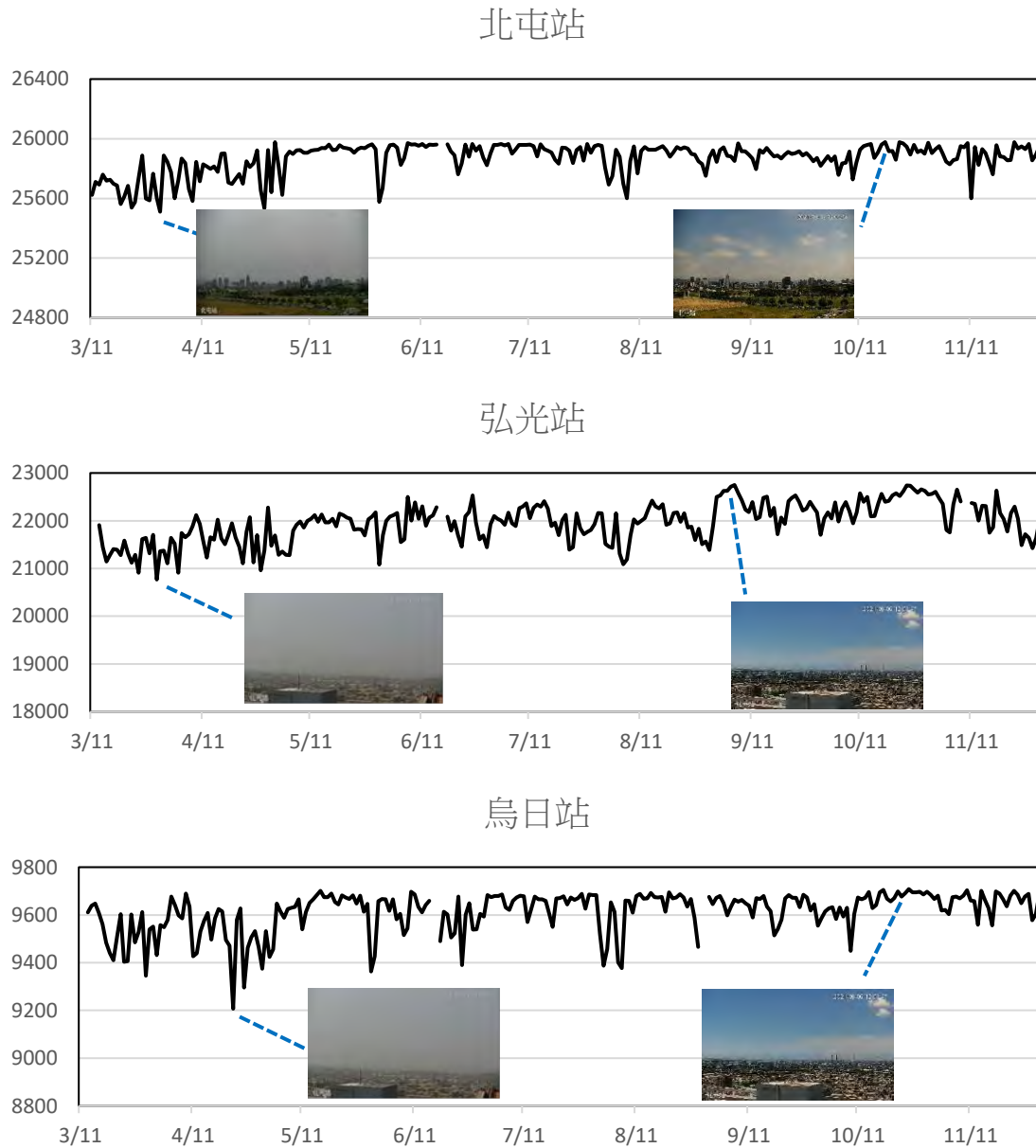


圖 5.2.1、臺中市 3 站能見度戶外攝影機影像解析數值日變化

5.3、能見度分級

美國亞利桑那州鳳凰城能見度網站利用透射儀量測消光性，以消光值計算能見度變化，能見度指標值 DV（備註： $DV = 10 \ln (bext/10)$ ）以四小時移動平均值計算，且僅記錄白天的時間，該系統將能見度指標區分五級，分別為極好 (Excellent)、良好 (Good)、普通 (Fair)、不良 (Poor)、極差 (Very Poor)。

美國科羅拉多州政府將能見度分四級，分別為良好 (Good)、普通 (Moderate)、不良 (Poor)、極差 (Extremely Poor)。美國愛達荷州環境品質部將能見度分為三級，<5km、5km~10km、>10km。澳州維多利亞市環境部門不僅將能見度分為：良好 (Good)、普通 (Fair)、不良 (Poor)、差 (Very Poor)、極差 (Extremely Poor) 等五級，更訂出能見度為 20 公里（平均小時值）的標準。分級彙整於表 5.3.1。

表 5.3.1、不同地區能見度分級一覽表

國家/州	級別
美國亞利桑那州 ¹	極好 (Excellent)、良好 (Good)、普通 (Fair)、不良 (Poor)、差 (Very Poor)
美國科羅拉多州 ²	良好 (Good)、普通 (Moderate)、不良 (Poor)、極差 (Extremely Poor)
美國愛達荷州 ³	<5 km、5 km~10 km、>10 km
澳州維多利亞 ⁴	良好 (Good)、普通 (Fair)、不良 (Poor)、差 (Very Poor)、極差 (Extremely Poor) About 20 km、About 10 km、About 5 km、About 1.5 km、Less 1.5 km
Deshpande, D. (2016). ⁵	極好 (>50km)、很好 (20km~50km)、良好 (10km~20km)、中等 (4km~10km)、不良 (2km~4km) 輕霧 (~2km)、中霧 (500m~1000m)、霧 (200m~500m)、濃霧 (50m~200m)、重霧 (<50 m)
臺灣新北市 ⁶	良好、好、普通、不好 > 9 km、5~9 km、3~5 km、≤ 3 km

資料來源：1. <http://www.phoenixvis.net/vis-index.aspx>

2. <http://www.Colorado.gov/airquality/brochure.aspx#D>

3. <https://www.deq.idaho.gov/air-quality/air-quality-index/visibility-range-index>

4. <https://www.epa.vic.gov.au/for-community/environmental-information/air-quality/air-pollution-and-visibility>

5. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:1801948>

6. http://photino.cwb.gov.tw/rdcweb/lib/cd/cd03cons/compilation/2015/M01-final_p70.pdf

本計畫於臺中市之山、海、屯擷取每日影像，將能見度分為五類，表 5.3.2～表 5.3.4 分別為北屯、弘光及烏日分級概況表。

表 5.3.2、北屯站能見度分級概況

 <p>2021-04-30 12:12:59</p>	 <p>2021-05-26 12:18:00</p>
<p>差</p>	<p>不良</p>
 <p>2021-04-23 12:03:46</p>	 <p>2021-05-13 12:14:09</p>
<p>普通</p>	<p>良好</p>
 <p>2021-05-18 12:13:21</p>	<p>分級依據說明</p> <p>差：未見到山脈 (<5km)</p> <p>不良：隱約看到山陵線 (5km~10km)</p> <p>普通：一層山脈 (10km~15km)</p> <p>良好：二層山脈，第二層模糊 (15km~20km)</p> <p>極好：二層山脈，第二層清晰 (>20km)</p>
<p>極好</p>	

表 5.3.3、弘光站能見度分級概況

	
<p>差</p>	<p>不良</p>
	
<p>普通</p>	<p>良好</p>
	<p>分級依據說明</p> <p>差：未見到煙囪 (<5km)</p> <p>不良：四支煙囪 (5km~10km)</p> <p>普通：五支煙囪，第五支模糊 (10km~15km)</p> <p>良好：五支煙囪 (15km~20km)</p> <p>極好：五支煙囪，且背景色差大 (>20km)</p>
<p>極好</p>	

表 5.3.4、烏日站能見度分級概況

	
<p>差</p>	<p>不良</p>
	
<p>普通</p>	<p>良好</p>
	<p>分級依據說明</p> <p>差：未見到山脈 (<5km)</p> <p>不良：第一層山脈但不清晰 (5km~10km)</p> <p>普通：二層山脈但不清晰 (10km~15km)</p> <p>良好：三層山脈但不清晰 (15km~20km)</p> <p>極好：三層山脈較清晰 (顏色略深) (>20km)</p>
<p>極好</p>	

表 5.3.5 為一般能見度分級結果，由統計圖可知能見度日變化大，北屯站三個時段能見度皆以「差」的等級最多；弘光站日能見度變化較大，早上至中午多為「差」，下午以「良好」等級居多；烏日站早上以能見度多為「差」，中午以後，轉為「普通」。由上述分析可知不同地點感官能見度存在相當差異。

表 5.3.5、臺中市 110 年 3 月~11 月北屯、弘光及烏日站之能見度分級天數統計

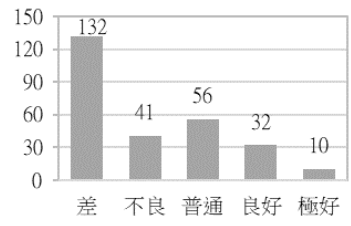
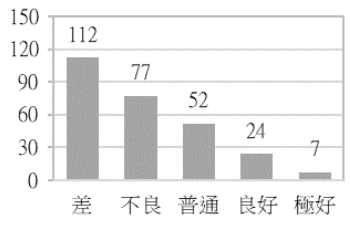
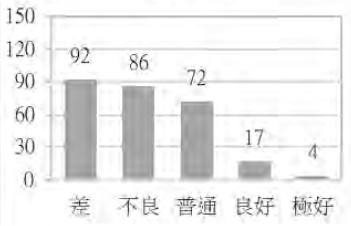
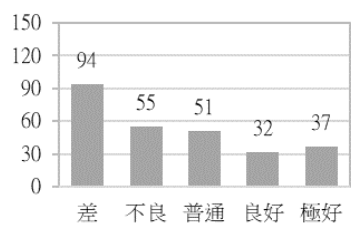
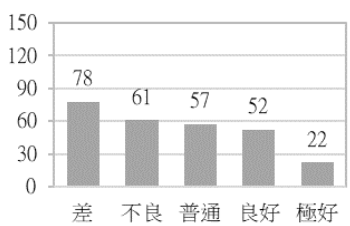
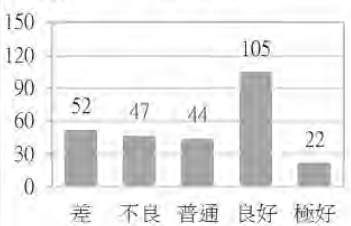
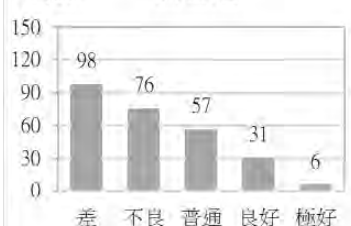
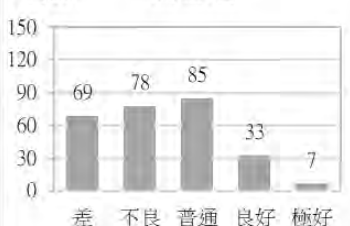
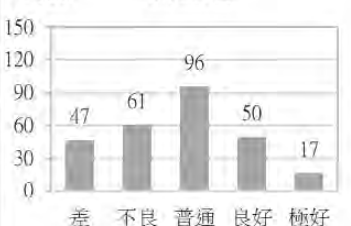
早上 (8:00)	中午 (12:00)	下午 (16:00)																																				
<p>天數 北屯站</p>  <table border="1"> <tr><th>等級</th><th>天數</th></tr> <tr><td>差</td><td>132</td></tr> <tr><td>不良</td><td>41</td></tr> <tr><td>普通</td><td>56</td></tr> <tr><td>良好</td><td>32</td></tr> <tr><td>極好</td><td>10</td></tr> </table>	等級	天數	差	132	不良	41	普通	56	良好	32	極好	10	<p>天數 北屯站</p>  <table border="1"> <tr><th>等級</th><th>天數</th></tr> <tr><td>差</td><td>112</td></tr> <tr><td>不良</td><td>77</td></tr> <tr><td>普通</td><td>52</td></tr> <tr><td>良好</td><td>24</td></tr> <tr><td>極好</td><td>7</td></tr> </table>	等級	天數	差	112	不良	77	普通	52	良好	24	極好	7	<p>天數 北屯站</p>  <table border="1"> <tr><th>等級</th><th>天數</th></tr> <tr><td>差</td><td>92</td></tr> <tr><td>不良</td><td>86</td></tr> <tr><td>普通</td><td>72</td></tr> <tr><td>良好</td><td>17</td></tr> <tr><td>極好</td><td>4</td></tr> </table>	等級	天數	差	92	不良	86	普通	72	良好	17	極好	4
等級	天數																																					
差	132																																					
不良	41																																					
普通	56																																					
良好	32																																					
極好	10																																					
等級	天數																																					
差	112																																					
不良	77																																					
普通	52																																					
良好	24																																					
極好	7																																					
等級	天數																																					
差	92																																					
不良	86																																					
普通	72																																					
良好	17																																					
極好	4																																					
<p>天數 弘光站</p>  <table border="1"> <tr><th>等級</th><th>天數</th></tr> <tr><td>差</td><td>94</td></tr> <tr><td>不良</td><td>55</td></tr> <tr><td>普通</td><td>51</td></tr> <tr><td>良好</td><td>32</td></tr> <tr><td>極好</td><td>37</td></tr> </table>	等級	天數	差	94	不良	55	普通	51	良好	32	極好	37	<p>天數 弘光站</p>  <table border="1"> <tr><th>等級</th><th>天數</th></tr> <tr><td>差</td><td>78</td></tr> <tr><td>不良</td><td>61</td></tr> <tr><td>普通</td><td>57</td></tr> <tr><td>良好</td><td>52</td></tr> <tr><td>極好</td><td>22</td></tr> </table>	等級	天數	差	78	不良	61	普通	57	良好	52	極好	22	<p>天數 弘光站</p>  <table border="1"> <tr><th>等級</th><th>天數</th></tr> <tr><td>差</td><td>52</td></tr> <tr><td>不良</td><td>47</td></tr> <tr><td>普通</td><td>44</td></tr> <tr><td>良好</td><td>105</td></tr> <tr><td>極好</td><td>22</td></tr> </table>	等級	天數	差	52	不良	47	普通	44	良好	105	極好	22
等級	天數																																					
差	94																																					
不良	55																																					
普通	51																																					
良好	32																																					
極好	37																																					
等級	天數																																					
差	78																																					
不良	61																																					
普通	57																																					
良好	52																																					
極好	22																																					
等級	天數																																					
差	52																																					
不良	47																																					
普通	44																																					
良好	105																																					
極好	22																																					
<p>天數 烏日站</p>  <table border="1"> <tr><th>等級</th><th>天數</th></tr> <tr><td>差</td><td>98</td></tr> <tr><td>不良</td><td>76</td></tr> <tr><td>普通</td><td>57</td></tr> <tr><td>良好</td><td>31</td></tr> <tr><td>極好</td><td>6</td></tr> </table>	等級	天數	差	98	不良	76	普通	57	良好	31	極好	6	<p>天數 烏日站</p>  <table border="1"> <tr><th>等級</th><th>天數</th></tr> <tr><td>差</td><td>69</td></tr> <tr><td>不良</td><td>78</td></tr> <tr><td>普通</td><td>85</td></tr> <tr><td>良好</td><td>33</td></tr> <tr><td>極好</td><td>7</td></tr> </table>	等級	天數	差	69	不良	78	普通	85	良好	33	極好	7	<p>天數 烏日站</p>  <table border="1"> <tr><th>等級</th><th>天數</th></tr> <tr><td>差</td><td>47</td></tr> <tr><td>不良</td><td>61</td></tr> <tr><td>普通</td><td>96</td></tr> <tr><td>良好</td><td>50</td></tr> <tr><td>極好</td><td>17</td></tr> </table>	等級	天數	差	47	不良	61	普通	96	良好	50	極好	17
等級	天數																																					
差	98																																					
不良	76																																					
普通	57																																					
良好	31																																					
極好	6																																					
等級	天數																																					
差	69																																					
不良	78																																					
普通	85																																					
良好	33																																					
極好	7																																					
等級	天數																																					
差	47																																					
不良	61																																					
普通	96																																					
良好	50																																					
極好	17																																					

圖 5.3.1 為每日 3 個時段能見度平均結果，可以看出北屯站及弘光站以「差」等級居多，出現機率分別為 41.3%及 27.7%，烏日站以「普通」等級機率最高 29.3%。「良好」等級以上出現機率以弘光最高，為 33.3%，北屯最低 11.6%，百分比數值詳表 5.3.6。

表 5.3.6、臺中市 110 年 3 月~11 月能見度分級百分比統計表

測站	時段	差	不良	普通	良好	極好
北屯	早上	48.7%	15.1%	20.7%	11.8%	3.7%
	中午	41.2%	28.3%	19.1%	8.8%	2.6%
	下午	33.9%	31.7%	26.6%	6.3%	1.5%
	平均	41.3%	25.1%	22.1%	9.0%	2.6%
弘光	早上	34.9%	20.4%	19.0%	11.9%	13.8%
	中午	28.9%	22.6%	21.1%	19.3%	8.1%
	下午	19.3%	17.4%	16.3%	38.9%	8.1%
	平均	27.7%	20.1%	18.8%	23.3%	10.0%
烏日	早上	36.6%	28.4%	21.3%	11.6%	2.2%
	中午	25.4%	28.7%	31.3%	12.1%	2.6%
	下午	17.3%	22.5%	35.4%	18.5%	6.3%
	平均	26.4%	26.5%	29.3%	14.0%	3.7%

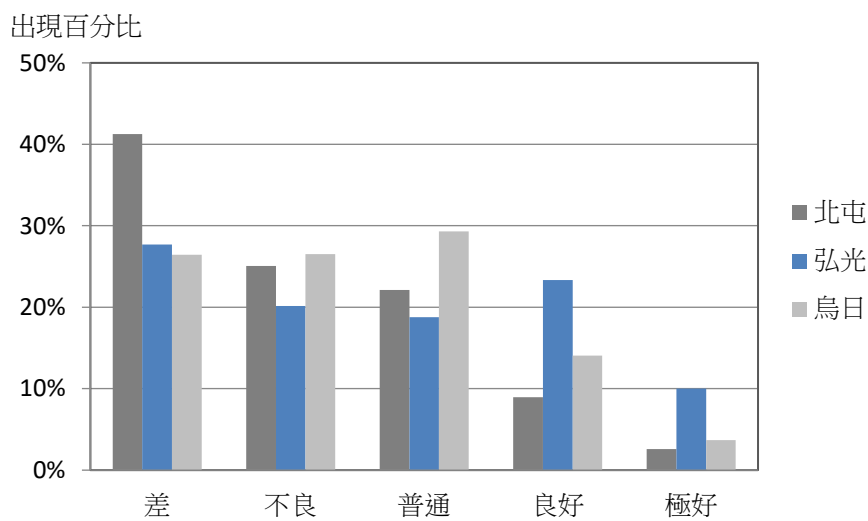


圖 5.3.1、臺中市 110 年 3 月~11 月能見度分級百分比統計圖

臺中市區、沿海及阿里山等地的小時能見度變化情形，Cheng et al. (2000) 指出民國 60 年臺中地區的年平均能見度範圍有 25 公里，然而近幾年臺中沿海區域所測得的年平均能見度卻剩下不到 12 公里，可知臺中空氣污染嚴重化程度。

大氣能見度為一複雜大氣現象的呈現，不僅與空氣污染有關，亦深受氣象條件的影響。以空氣污染影響而言，大氣中懸浮微粒不僅會降低可見度 (Visibility)，尤其是會影響人體的健康，粒徑愈小影響愈大。工業製程、農業活動的焚燒、人類活動……等，皆會造成煙塵 (Smoke)、灰塵 (Dust)、有色氣體 (Colored Gases) 的排放。而這些細小微粒物質藉由散射 (Scatter) 或吸收 (Absorb) 光線，在大氣中會形成一層薄霧 (Haze)，直接影響大氣的可見度。

在美國東部，大氣能見度可能由 90 英哩減至 14 英哩～24 英哩。而在美國西部，則可能由 140 英哩減至 33 英哩～90 英哩，尤其在夏天大氣流動速率緩慢時特別嚴重。

目前國內並無相關法規與指標可供能見度事件的辨別，學者張士昱等人(2018)以視程搭配相對濕度區別霧、靄與霾，並使用消光係數轉換為能見度指標 (Deciviews: 以消光測量計算能見度)，使用此法國家包括韓國、中國與新加坡等。方法中將相對濕度大於 90 % 視為霧，能見度小於 10 公里且相對濕度大於 75 % 視為靄，能見度小於 10 公里且相對濕度 $\leq 75\%$ 視為霾，霾。

圖 5.3.2 說明當空氣品質不好時 ($PM_{2.5} > 35 \mu g/m^3$) 會出現「霾」及「霧霾」，這兩種對人體有害。「霾」是指懸浮於空氣中或被風吹起的塵埃，或是空氣中數百種化學顆粒物質組成，相當細小且肉眼無法辨識，相對濕度通常在 75% 以下，屬於一種有害的物質。「霧霾」則是相對濕度介於 75%～90% 之間，水蒸氣附著在霾上，由霾與霧的混合物共同組成。

當空氣品質不錯的時候，能見度不佳就可區分為「霧」或「靄」出現，「霧」是由空氣中的小水滴組成，懸浮於空中，相對溼度很高，時常接近 100%，而且能見度小於 1 公里。「靄」又稱輕霧，由小水滴組成，懸浮於空中，但相對濕度較低，大於 75% 時易形成。以下就 $PM_{2.5}$ 與 RH 區分之等級如下：

- (A) 霾 $PM_{2.5} > 35 \mu g/m^3$ 、 $RH \leq 75\%$
- (B) 霧霾 $PM_{2.5} > 35 \mu g/m^3$ 、 $RH > 75\%$
- (C) 靄 (或稱薄霧/輕霧) $PM_{2.5} \leq 35 \mu g/m^3$ 、 $75\% < RH \leq 90\%$
- (D) 霧 $PM_{2.5} \leq 35 \mu g/m^3$ 、 $RH > 90\%$

備註：「霧」與「薄霧」是依照其能見度的不同而作區分，能見度少於 1 公里的為「霧」，1 至 2 公里的為「薄霧」



圖片來源：天氣即時預報臉書| <https://www.facebook.com/weather.taiwan>

圖 5.3.2、霧、靄、霾及霧霾形成條件

為瞭解海區霧、霾、靄發生情況，本計畫以台電龍井空品站及環保署沙鹿空品站資料分類，4/15 日～11/30 日期間之分類結果如表 5.3.7 顯示，海區多屬於靄情況，「霾」及「霧霾」發生頻率低。

表 5.3.7、台電龍井站及環保署沙鹿站霧、霾、靄統計表

早上 (7:00~9:00)	中午 (11:00~13:00)	下午 (15:00~17:00)																														
<p>天數 龍井站</p> <table border="1"> <tr><th>天氣</th><th>天數</th></tr> <tr><td>霾</td><td>1</td></tr> <tr><td>霧霾</td><td>4</td></tr> <tr><td>靄</td><td>113</td></tr> <tr><td>霧</td><td>15</td></tr> </table>	天氣	天數	霾	1	霧霾	4	靄	113	霧	15	<p>天數 龍井站</p> <table border="1"> <tr><th>天氣</th><th>天數</th></tr> <tr><td>霾</td><td>5</td></tr> <tr><td>霧霾</td><td>0</td></tr> <tr><td>靄</td><td>53</td></tr> <tr><td>霧</td><td>5</td></tr> </table>	天氣	天數	霾	5	霧霾	0	靄	53	霧	5	<p>天數 龍井站</p> <table border="1"> <tr><th>天氣</th><th>天數</th></tr> <tr><td>霾</td><td>1</td></tr> <tr><td>霧霾</td><td>0</td></tr> <tr><td>靄</td><td>55</td></tr> <tr><td>霧</td><td>6</td></tr> </table>	天氣	天數	霾	1	霧霾	0	靄	55	霧	6
天氣	天數																															
霾	1																															
霧霾	4																															
靄	113																															
霧	15																															
天氣	天數																															
霾	5																															
霧霾	0																															
靄	53																															
霧	5																															
天氣	天數																															
霾	1																															
霧霾	0																															
靄	55																															
霧	6																															
<p>天數 沙鹿站</p> <table border="1"> <tr><th>天氣</th><th>天數</th></tr> <tr><td>霾</td><td>6</td></tr> <tr><td>霧霾</td><td>4</td></tr> <tr><td>靄</td><td>76</td></tr> <tr><td>霧</td><td>14</td></tr> </table>	天氣	天數	霾	6	霧霾	4	靄	76	霧	14	<p>天數 沙鹿站</p> <table border="1"> <tr><th>天氣</th><th>天數</th></tr> <tr><td>霾</td><td>3</td></tr> <tr><td>霧霾</td><td>0</td></tr> <tr><td>靄</td><td>49</td></tr> <tr><td>霧</td><td>9</td></tr> </table>	天氣	天數	霾	3	霧霾	0	靄	49	霧	9	<p>天數 沙鹿站</p> <table border="1"> <tr><th>天氣</th><th>天數</th></tr> <tr><td>霾</td><td>0</td></tr> <tr><td>霧霾</td><td>0</td></tr> <tr><td>靄</td><td>49</td></tr> <tr><td>霧</td><td>7</td></tr> </table>	天氣	天數	霾	0	霧霾	0	靄	49	霧	7
天氣	天數																															
霾	6																															
霧霾	4																															
靄	76																															
霧	14																															
天氣	天數																															
霾	3																															
霧霾	0																															
靄	49																															
霧	9																															
天氣	天數																															
霾	0																															
霧霾	0																															
靄	49																															
霧	7																															

圖 5.3.3 是以每日中午能見度情況統計，由每月能見度大於 20 km 的天數總和，可知北屯站能見度最差，能見度大於 20 km 的天數總計 36 天，機率約 13.6% (=36 天/265 天)，其次為弘光站 32.8% (=87 天/265 天)，烏日站能見度最佳，能見度大於 20 km 的天數總計 150 天，機率約 56.6% (=150 天/265 天)。

北屯及弘光在秋季的 9 月~10 月能見度達到 20 km 以上天數最多；烏日站能見度達到 20 km 以上天數最多是在 5 月，10 月、11 月能見度也有上升。夏季能見度大於 20km 以上天數不多，與 6 月~8 月降雨天數較多有關係(9 天/月~18 天/月)。

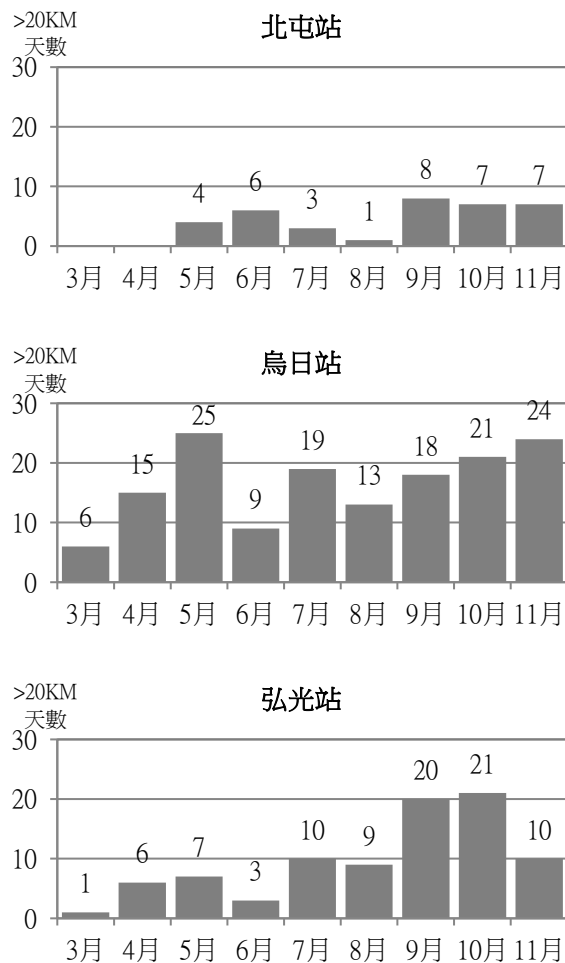


圖 5.3.3、歷月能見度大於 20 公里之天數統計

圖 5.3.4 是以每日中午能見度情況統計，由每月能見度小於 20 km 的天數總和，可知北屯站能見度最差，能見度小於 20 km 的天數總計 229 天，機率約 86.4% (=229 天/265 天)，其次為弘光站 67.2% (=178 天/265 天)，烏日站能見度最佳，能見度小於 20 km 的天數總計 115 天，機率約 43.4% (=115 天/265 天)。

北屯及弘光在春、夏季的 4 月~8 月能見度小於 20 km 以上天數較多；烏日站能見度小於 20 km 以上天數最多是在 6 月及 8 月。

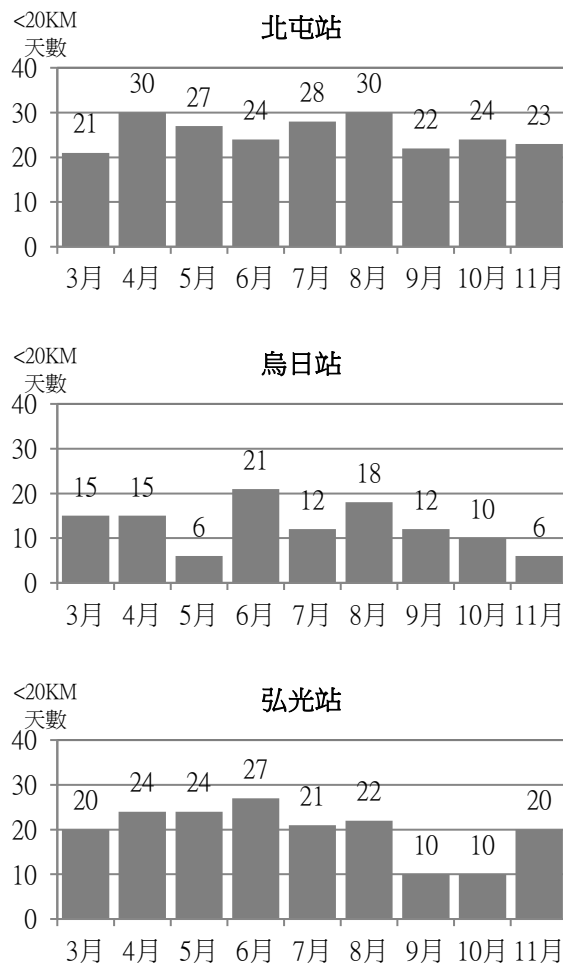


圖 5.3.4、歷月能見度小於 20 公里之天數統計

小結

1. 本章是以攝影機擷取影像，透過軟體改變影像資訊，轉換成灰階數值，再將數值差異藉由關係式轉換成能見度值。以 3 月～11 月資料解析結果，北屯站及弘光站影像亮度差值與能見度呈現線性相關，而烏日站則呈現指數相關。
2. 參考美國亞利桑那州能見度分階類別，分析每日三個時段能見度平均結果，可以看出北屯站及弘光站以「差」等級居多，出現機率分別為 41.3% 及 27.7%，烏日站以「普通」等級機率最高 29.3%。「良好」等級以上出現機率以弘光最高，為 33.3%，北屯最低 11.6%。
3. 為瞭解海區霧、霾、靄發生情況，以台電龍井空品站及環保署沙鹿空品站資料分類，在 4/15～11/30 之期間，分析顯示海區多屬於靄情況，「霾」及「霧霾」發生頻率低。
4. 以每日中午能見度情況統計，由每月能見度大於 20km 的天數總和，可知北屯站能見度最差，能見度大於 20km 的機率約 13.6% (=36 天/265 天)，其次為弘光站 32.8% (=87 天/265 天)，烏日站能見度最佳，能見度大於 20km 的機率約 56.6% (=150 天/265 天)。

第六章 每日空品預報及播送

— 章節摘要 —

民眾關注 PM_{2.5} 污染問題，且健康防護意識日益提高，空氣品質預報需求應運而生。環保署僅提供中部空品區預報資訊，並無細緻到針對臺中市，因次，自 106 年起市府將臺中市分區（註：山線、山區、海線、市屯區 AQI 值）預報列為重要工作。本年度將分區預報以活潑動畫短片呈現，並結合民眾 LINE 點閱習慣，使空品預報資訊可快速布達與理解，方便民眾居家及外出規劃。

預報工作目的是提前預警可能出現之空氣品質惡化事件並做成因分析，進而啟動有效之對應變工作，以達抑制惡化之效。本章節說明空氣品質預報流程、超標預警程序及空品預報短片製作等工作。整體執行架構如圖 6.1 所示。

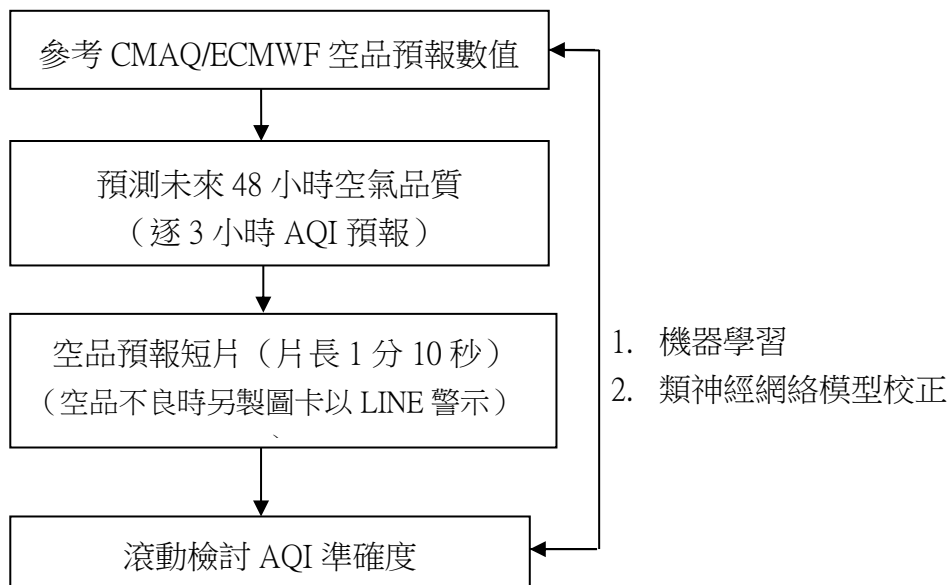


圖6.1、空氣品質預測及極端氣候預警架構圖

6.1、空氣品質 AQI 預測說明

本工作項透過空氣品質模式預測未來 48 小時空氣品質資訊，再予計算 AQI 指標（空氣品質標準，Air Quality Index）進行預報。空氣品質模式採區域多尺度空氣品質模式（Models-3/ Community Multiscale Air Quality Modeling System, Models-3/CMAQ）之網格模式。

Models-3/CMAQ（EPA Third-Generation Air Quality Modeling System）主要運算核心為 CMAQ，整體運作如圖 6.1.1 所示。由 WRF 取得之氣象資料與 SMOKE 運算之排放量資料，輸入 CMAQ 中進行化學機制之模擬，其可約略分為四大部分：

一、氣象模組

CMAQ 以 WRF 模式作為氣象資料的提供者，WRF 除了提供氣象資料，亦提供模式所需的土地利用型態及巢狀網格資訊。CMAQ 以 MCIP（Meteorological - Chemistry Interface Processor）模組進行 WRF 資料轉換，同時在 MCIP 模組中可重新計算混合層高度。以 MCIP 轉換後的氣象資料提供排放資料庫處理及最後化學機制模擬之用，經過 MCIP 產生的檔案為模式所需要氣象資料檔，裡面包含有雲層厚度資料、風速風向、土地利用型態及地形高層資料等資訊，這些資訊提供排放源處理（SMOKE）及模式核心模擬（CCTM）所需參數。

二、排放量資料

CMAQ 以 Sparse Matrix Operator Kernel Emissions System（SMOKE）模組進行排放量處理，SMOKE 的處理分為點源、線源、面源及生物源。相較於面元，點源多考慮了氣團的煙流上升效應，且加入氣團對於網格化的影響（Plume in Grid）；在移動源（線源）的模擬情況中，SMOKE 可將移動源分兩種輸入模式進行模擬，第一種使用機動車輛行駛里程數及車輛型態進行模擬（MVK），第二種則直接以排放量進行模擬。

三、化學傳輸模擬

CMAQ Chemical-Transport Modeling System（CCTM）模組為整個模式的處理核心，CCTM 中包含了擴散、傳輸、化學反應機制、雲程序及氣膠反應等模組。

四、輸出介面

由於 Models-3 的輸出檔亦為 I/O API 介面，故使用資料需經過轉換，轉換後的資料能以 SAS 或其他相關的統計軟體進行分析，或直接以 PAVE 等繪圖軟體進行資料轉換。



圖6.1.1、CMAQ/Models-3 模擬各模組之關聯圖

每年9月到隔年4月是臺中市空品不良好發期，9月下旬至10月初，西南季風逐漸退去之際，北方槽線漸趨活躍，東北季風便成為主導臺灣天氣的重要因素。尤其在大陸冷高壓中心出海後，隨著高壓中心東移，氣流經中央山脈地形使東北風過山沉降，臺中市位在背風下沉區，大氣條件不利於空氣污染物擴散，常為導致本市空品不良的要因之一。因此，空品不良的好發期間空品預報相對重要，除告知民眾空品變化讓民眾及早因應，同時，提供市政府及環保局實施應變等級及相關措施，以維護民眾健康。

空氣品質模擬預測與環保署類似，主要採用 CMAQ 模式產出預報值，再依據 AQI 指標計算方式計算，詳表 6.1.1。預報 48 小時先作時間間隔，其切分為兩區間：0~24 小時，每 3 小時提供 AQI 預報區間平均值（區間平均值乃特定時間內之平均值，如：3~5 時，模擬 AQI 為 100、110、120，則 AQI 預報區間平均值為 110）；25~48 小時，則每 6 小時提供 AQI 預報區間平均值。

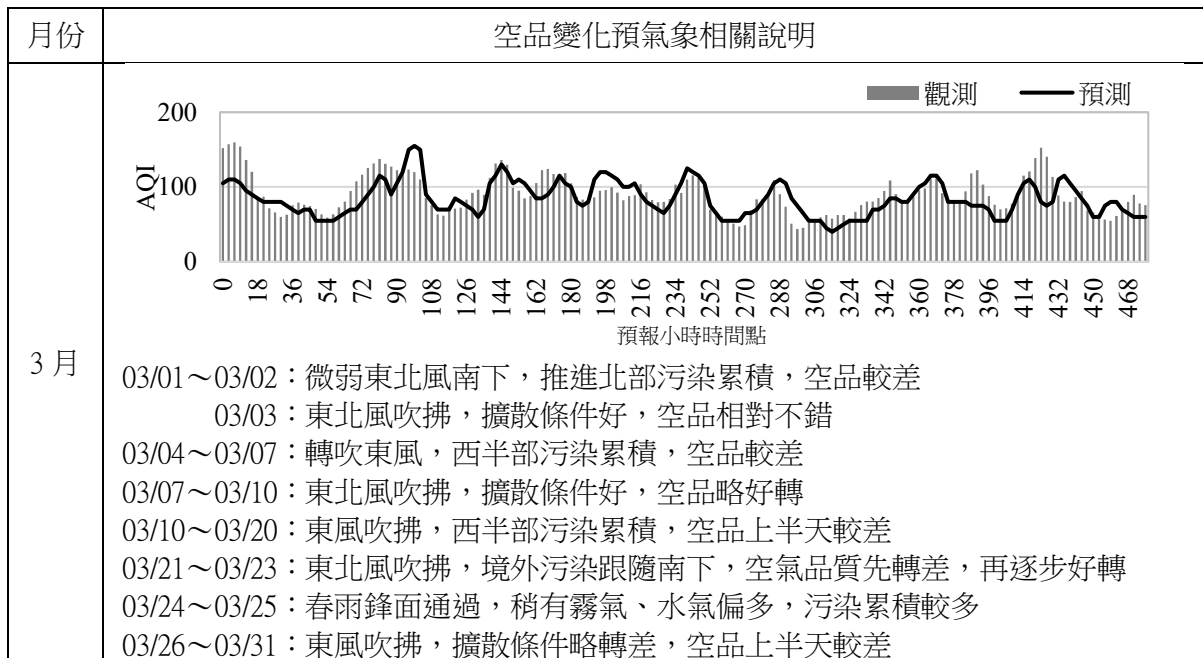
表 6.1.2 是以 110 年西屯站為例的逐月空品預測與實際 AQI 趨勢變化情形，每月空品高低變化與氣象相關皆詳細分析，以利必要時對外說明。

表 6.1.1、AQI 及污染物濃度對應指數表

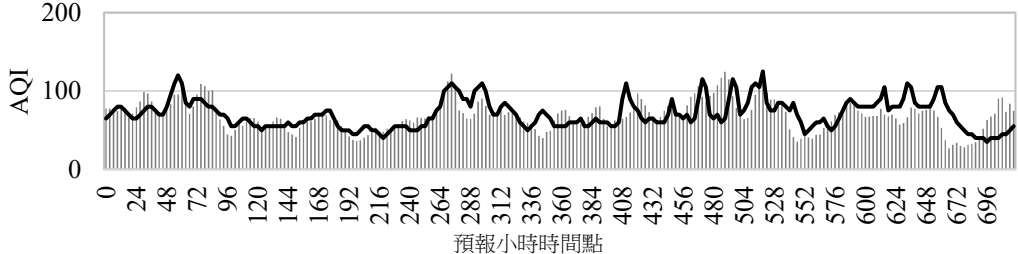
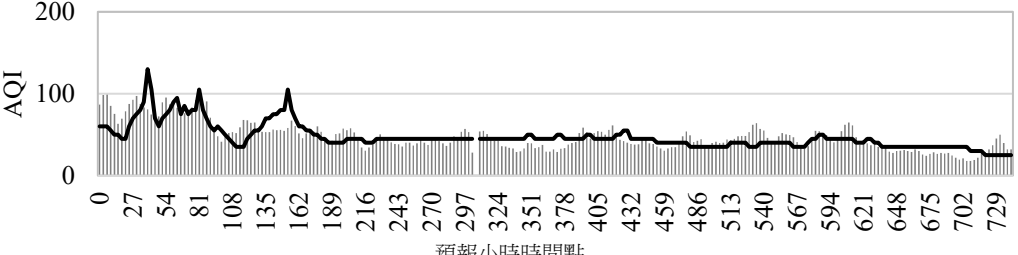
AQI 指標	O ₃ (ppb) 8 小時平均值	O ₃ (ppb) 小時平均值 ⁽¹⁾	PM _{2.5} (µg/m ³) 24 小時平均值	PM ₁₀ (µg/m ³) 24 小時平均值	CO (ppm) 8 小時平均值	SO ₂ (ppb) 小時平均值	NO ₂ (ppb) 小時平均值
0~50 良好	0~54	-	0.0~15.4	0~54	0~4.4	0~35	0~53
51~100 普通	55~70	-	15.5~35.4	55~125	4.5~9.4	36~75	54~100
101~150 對敏感族群不健康	71~85	125~164	35.5~54.4	126~254	9.5~12.4	76~185	101~360
151~200 對所有族群不健康	86~105	165~204	54.5~150.4	255~354	12.5~15.4	186~304 ⁽³⁾	361~649
201~300 非常不健康	106~200	205~404	150.5~250.4	355~424	15.5~30.4	305~604 ⁽³⁾	650~1249
301~400 危害	⁽²⁾	405~504	250.5~350.4	425~504	30.5~40.4	605~804 ⁽³⁾	1250~1649
401~500 危害	⁽²⁾	505~604	350.5~500.4	505~604	40.5~50.4	805~1004 ⁽³⁾	1650~2049

1. 一般以臭氧 (O₃) 8 小時值計算各地區之空氣品質指標 (AQI)。但部分地區以臭氧 (O₃) 小時值計算 AQI 是更具有預警性，在此情況下，臭氧 (O₃) 8 小時與臭氧 (O₃) 1 小時之 AQI 則皆計算之，取兩者之最大值作為 AQI。
2. 空氣品質指標 (AQI) 301 以上之指標值，是以臭氧 (O₃) 小時值計算之，不以臭氧 (O₃) 8 小時值計算之。
3. 空氣品質指標 (AQI) 200 以上之指標值，是以二氧化硫 (SO₂) 24 小時值計算之，不以二氧化硫 (SO₂) 小時值計算之。

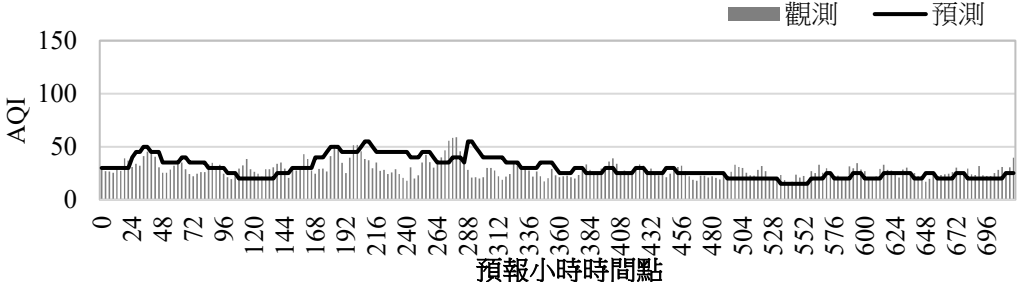
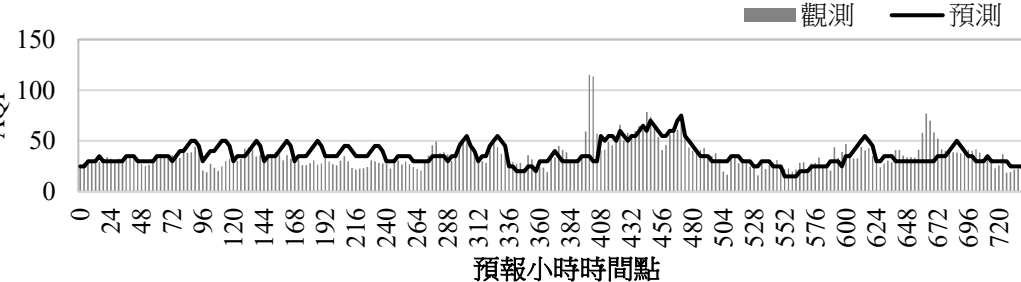
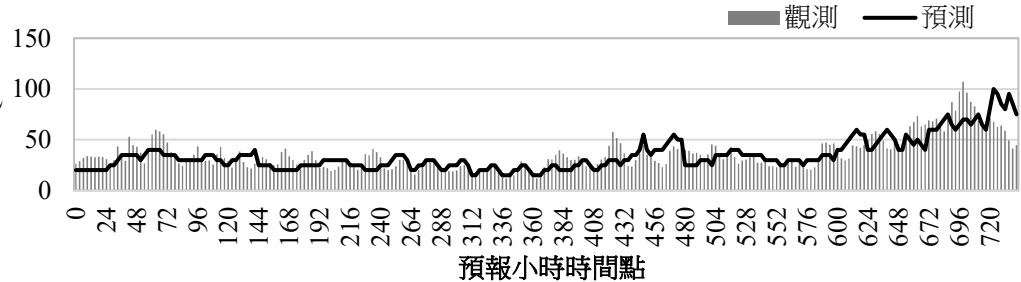
表 6.1.2、110 年西屯站空品預測與實際 AQI 趨勢變化 (1/5)



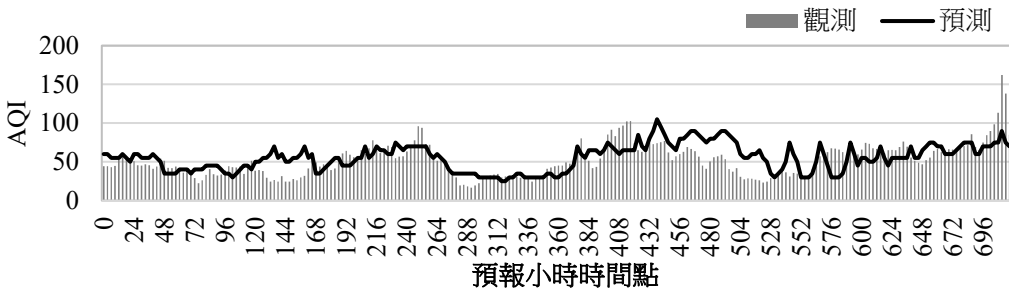
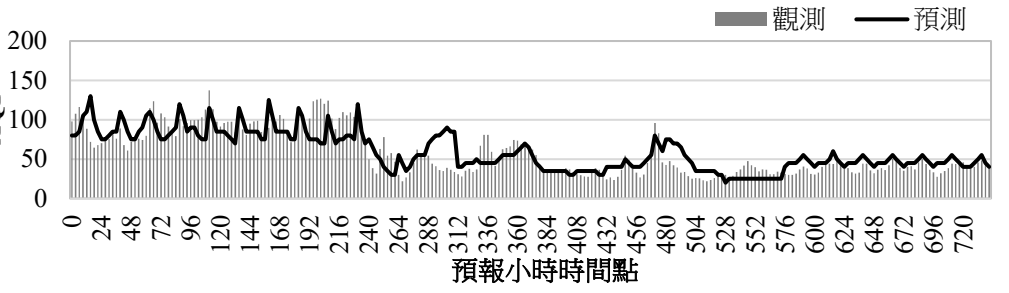
續表 6.1.2、110 年西屯站空品預測與實際 AQI 趨勢變化 (2/5)

月份	空品變化預氣象相關說明
4 月	<div style="text-align: right; margin-bottom: 5px;"> 觀測 預測 </div>  <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">預報小時時間點</p> <p>04/01~04/03：暖氣團影響，各地偏熱，空品較好 04/04~04/10：東北風吹拂，稍轉涼，空品沿海較好 04/11~04/13：轉吹東風，回暖，西部風速弱，空品略轉差 04/14~04/16：東北風吹拂，帶來少量境外臭氧 04/17~04/19：東北風吹拂，較大量之境外污染南下 04/20~04/26：舒力基颱風由臺灣東方海域通過，帶來偏東風，西半部擴散條件較差，上半天 PM_{2.5}濃度高，午後臭氧濃度也偏高 04/27~04/28：鋒面通過，帶來一波雨勢，空品快速轉好 04/29~04/30：鋒面結束，轉吹東風，渦旋帶來臺中以南污染物，空品又明顯轉差</p>
5 月	<div style="text-align: right; margin-bottom: 5px;"> 觀測 預測 </div>  <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">預報小時時間點</p> <p>05/01~05/04：暖氣團影響，各地偏熱，局部時段臭氧濃度較高 05/05：微弱鋒面影響，降雨少，空品普通為主 05/06~05/07：鋒面遠離，水氣減少，垂直擴散條件好，空品良好或普通 05/08~05/09：另一波鋒面靠近，降雨仍不多，空品無明顯變化 05/10~05/23：強盛的偏南風或西南風吹拂，暖氣團影響之下，空品良好 05/24~05/25：微弱鋒面影響，降雨不多，西南風偏強，空品相當不錯 05/26~05/28：鋒面遠離，西南風增強，空品良好 05/29~05/31：鋒面再次影響，本次鋒面水氣較多，降雨較為明顯，空品良好</p>

續表 6.1.2、110 年西屯站空品預測與實際 AQI 趨勢變化 (3/5)

月份	空品變化預氣象相關說明
6 月	 <p>06/01~06/30：西南風、偏南風吹拂，臺灣位於太平洋高壓西側，時常有午後雷雨、驟雨發生，或有梅雨鋒面影響臺灣，雨除雨沖頻繁，擴散條件也因為暖氣團移入而相當好，空氣品質整月良好</p>
7 月	 <p>07/01~07/11：太平洋高壓籠罩，微弱東南風吹拂，垂直擴散條件佳，空品良好為主 07/12~07/16：太平洋高壓持續籠罩，午後雷雨稍增加，空品維持良好等級 07/17~07/20：烟花颱風靠近，外圍環流風場及沉降作用導致污染稍累積，空品略有轉差 07/21~07/26：烟花颱風自臺灣北部海域掠過，臺灣附近風速明顯增強，水平擴散條件轉好，空品恢復良好 07/27~07/31：烟花颱風北移並引進西南風，西南風挾帶少量境外污染，西半部空氣品質略轉差</p>
8 月	 <p>08/01~08/15：8 月上半月，臺灣皆位於西南風環境之中，局部時段西南風強度為「西南氣流」，中南部多雨，空品良好為主。 08/16~08/31：8 月下半月，太平洋高壓勢力明顯增強，臺灣附近轉為東風吹拂，天氣是典型夏季型態，風場大多為偏東風或無明顯盛行風向，空品良好為主，偶爾普通。</p>

續表 6.1.2、110 年西屯站空品預測與實際 AQI 趨勢變化 (4/5)

月份	空品變化預氣象相關說明
9 月	 <p>09/01~09/09：太平洋高壓籠罩，各地炎熱、午後雨，空品良好為主。</p> <p>09/10~09/11：璨樹颱風自臺灣東部海域北上，西半部位於背風面，PM_{2.5} 稍有累積，空品普通為主。</p> <p>09/12~09/16：璨樹颱風往北移動遠離，帶動西半部風速增強，擴散條件轉好，空品恢復良好為主。</p> <p>09/17~09/30：太平洋高壓再次籠罩，且高壓脊偏北，導致偏東風明顯增強，西半部擴散條件轉差，空品普通或橘色提醒。</p>
10 月	 <p>10/01~10/10：太平洋高壓籠罩，且高壓脊偏北，加上圓規颱風接近導致偏東風明顯增強，西半部擴散條件轉差，空品普通或橘色提醒。</p> <p>10/11：圓規颱風通過臺灣南側，西半部偏北風增強，擴散條件轉好。</p> <p>10/12~10/16：圓規颱風抵達臺灣西南側，西半部位於相對背風面，擴散條件受到影響，污染物稍有累積。</p> <p>10/17~10/31：東北風增強，西半部風速偏強，擴散條件大致不錯，但有少量臭氧累積，午後局部區域空品達短暫橘色提醒。</p>

續表 6.1.2、110 年西屯站空品預測與實際 AQI 趨勢變化 (5/5)

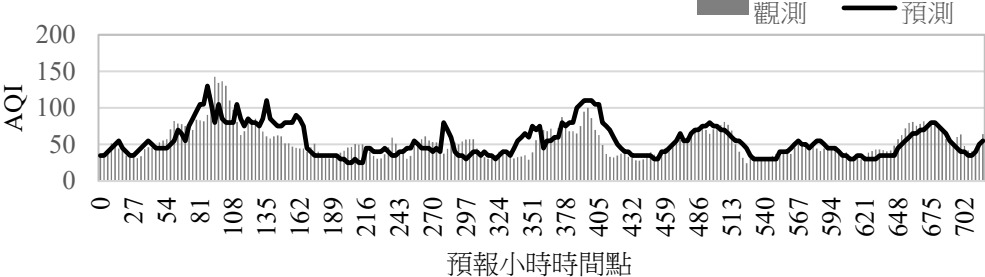
月份	空品變化預氣象相關說明
11 月	 <p data-bbox="316 638 1305 855"> 11/01~11/03：東北季風影響，擴散條件好，空品相對不錯。 11/04~11/07：轉吹東風或東南風，白天明顯回暖、溫差大，空品略有轉差。 11/08~11/11：東北季風影響，風速增強，擴散條件好，空品相對不錯。 11/12~11/20：東北季風減弱，溫度回升，空品仍相對不錯。 11/21~11/24：冷氣團影響，風速強、擴散條件好，空品好。 11/25~11/30：冷空氣減弱，擴散仍加，空品仍相對不錯。 </p>

表 6.1.3 為 110 年 3 月~11 月 AQI 準確率統計，就海線、市屯區、山線而言，3 月~11 月之各區之月準確率介於 76%~83%，平均 80%。(備註：山區無環保署測站可供參考，無法計算準確度)

3 月份為冬、春季節交替時節，天氣系統變化速度極快，統計 3 月共有四波東北風、三波東風、一波春雨，約 3 天~5 天大氣條件就改變一次，因此在空品模擬、預報上，是最難掌握的季節，本月預測準確度平均 78%。而 4 月份為一年中臭氧污染次高的季節，除本地臭氧外，境外臭氧亦為造成空品轉差的重要條件之一，境外臭氧掌握得宜有助於準確度提升。

5 月份為春夏轉換之際，西南季風增強，且梅雨鋒面開始影響臺灣，同時，臺灣西中南部空污季節逐漸結束，由於大環境氣團及風場變化皆在掌握內，預測準確度較 3 月、4 月份提升，平均預報準確度 81%~83%。

6 月份受到梅雨鋒面、西南風頻繁影響，明顯降雨，大氣擴散條件好，各區域空氣品質大致都在「良好」等級。7 月份受到太平洋高壓籠罩，垂直擴散條件亦相當不錯，各區域空氣品質大致在「良好」等級，這兩個月多數時間 AQI 多在 50 以下，對於 AQI 介於 25~45 之預測準確度掌握，過去已累積相當經驗，因此，誤差不至於太大，平均預報準確度 81%~82%。

8 月份西南風、太平洋高壓影響，較無局部污染累積狀況發生，多數時間 AQI 都在 50 以下，與 6 月~7 月類似，因此預測著重 AQI 介於 25~45 的拿捏。而 9 月份受太平洋高壓及颱風影響，太平洋高壓主導時，擴散條件較好，空品相對較佳，

但高壓脊位置若偏北，則為「偏東風」主導，西半部受到東風的「背風、沉降」作用，空品會轉差。9月颱風因其環流較小，氣流以「繞山」方式通過臺灣南北側，西半部風速偏弱，污染累積相對明顯，8月、9月平均預報準確度80%。

10月受到颱風接近或高壓帶來的東風影響，午後臭氧濃度偏高，東風繞山後，西半部多為海陸風環流主導污染物移動，白天海風偏強時，山區接受來自西面東移之污染物累積，因此AQI極值也容易偏高，導致預測準確度下降。

11月份的空品變化，主要受「冷高壓中心位置」影響，臺灣附近的風場以「東北風」為主，此時臺中位在相對上風處，擴散條件佳，空氣品質也相對不錯。當高壓中心出海，並東移至日本附近時，高壓迴流所帶來的「東風」將導致西半部風速大幅減弱，此時，臺灣海峽受背風環境影響，容易有「渦漩」生成使污染物聚集，易導致局部高污染現象發生。因此，只要掌握冷高壓中心位置，就能有較佳的預報準確度，11月之平均準確度為82%。

表 6.1.3、110 年臺中市空品 AQI 預報準確率統計表

分區	站別	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	平均
海線	沙鹿	72%	77%	83%	81%	83%	81%	79%	76%	83%	79%
山線	豐原	80%	81%	87%	82%	82%	79%	81%	76%	82%	81%
市屯區	西屯	82%	81%	82%	80%	83%	80%	80%	78%	82%	81%
	忠明	80%	81%	80%	81%	81%	80%	78%	77%	82%	80%
	大里	78%	78%	81%	79%	81%	80%	80%	75%	82%	79%
平均		78%	79%	83%	81%	82%	80%	80%	76%	82%	80%

備註：1.因山區無空氣品質監測站，無法計算準確率

2.計畫自 110/03/11 啟動，故準確率自 110/03/11 起開始統計

本計畫根據準確率相對較低的地區、時間進行預報準確率校正，根據不同的大氣條件與模型產出數值，修正類經網絡分析的校正公式，以達到更高的預測準確度，說明如下：

● 海線：

沙鹿測站位於海線，受到境外污染影響最為顯著，若有境內污染發生時，陸風、海峽渦旋輻合導致污染物累積，也時常導致空氣品質劇烈變化。

另外，若臺灣處於弱綜觀環境，福建沿岸之污染物容易經由微弱北風往南導引並影響海線空氣品質。因此，海線測站模擬重點為：境外污染影響程度、境內污染與渦旋交互所導致的局部污染移動、累積、海峽微弱北風吹拂時境外污染移入程度分析。

根據海線的地理條件，模型校正微調的重點為：

1. 境外污染 (O_3) 南下時，富貴角、萬里測站臭氧濃度與沙鹿測站之關係式。
2. 弱綜觀環境時，夜間陸風導引污染物累積於海線之效率。
3. 弱綜觀環境時，海峽有微弱北風吹拂，並導引境外污染南下之趨勢。
4. 弱綜觀轉偏北風環境時，臺灣西北部沿海污染物南下抵達沙鹿測站之時間軸修正。
5. 大環境東南風吹拂時，海峽近地表輻散、海風風速、地表溫度上升速率、地表濕度與海線地表擴散之特徵式。
6. 臺灣北方海域有低壓生成，導引微弱北風南下，並伴隨平流霧生成時，西北部沿海污染聚集特徵。

● 市屯區：

市屯區共有三處測站，由沿海往內陸依序包含：西屯、忠明、大里，受海風吹拂影響，污染物通常由沿海往內陸累積，本預測是以「忠明」作為預報基準點，預估西屯站、大里站的空氣變化情況。

根據市屯區的地理條件，模型校正微調的重點為：

1. 有境內污染時，北風強度與北風抵達海線並往內陸延伸之特徵式。
2. 北風轉為東北風、偏東風，海峽渦旋引導雲嘉污染物北上之效率。
3. 高壓迴流東南風，濕度、雲量、地表溫度升高與污染物遞減之特徵式。
4. 高壓迴流東南風環境，臺灣上空有小型近地表高壓生成，導致陸風偏強、濕度較低，並影響市屯區污染物變化之特徵式。
5. 偏南風吹拂，垂直擴散條件與雲量之特徵式。
6. 弱綜觀環境時，微弱偏南風 (500~1000m) 導引南投內陸污染物移

入大里測站之效率。

7. 境外污染 (PM_{2.5}) 南下時，東北風繞山角度與境外污染進入臺中市區之特徵式。
8. 境外污染 (O₃) 南下時，大環境風場與臭氧污染累積於內陸之效率與特徵式。
9. 平日、假日臭氧污染與氮氧化物滴定效應之效率。

由於地理位置較為內陸，污染成因相較於海線複雜，其中「大里」測站由於地處最內陸，受海風推進市區污染影響最為顯著，抑或偏東風環境時，內陸渦旋也時常導引雲嘉投污染物北上，因此預報上的變動度也相對高。

● 山線：

山線位於臺中市盆地之東北側，受惠於北側火炎山與東側中央山脈、雪山山脈阻擋，通常較不受境外污染直接影響，但受到鄰近山區影響，在海陸風盛行時，容易發生污染物隨日夜變化之狀況。

此外，當春末夏初，西南風增強之際，由於山線位於西南風相對下風處，容易受到市區污染物累積影響，AQI 相對較高，也是預報校正的重點之一。

根據山線的地理條件，模型校正微調重點為：

1. 地面~100m 之陸風強度-觀測與模擬調校。
2. 晨間內陸濕度降低與粒狀污染物濃度的特徵式。
3. 境外污染與火炎山脈對山線之影響特徵式。
4. 弱綜觀環境時，微弱偏南風 (500m~1000m) 導引南投內陸污染物移入豐原測站之效率。
5. 西南風環境時，西南風強度、風向角、雲量、溫濕度對於山線污染物累積之特徵式。

由於山線地理位置位於臺中市平地之東北側，對於境外污染敏感度較低，但境內污染累積時，時常與市屯區同步發生污染高值，在弱綜觀環境下，山線的污染數值表現與市屯區較為相近。

綜觀以上，本預測持續運用 CMAQ、ECMWF IFS、NOAA 提供之環境與空氣預測模擬資料，並輔以類神經網絡分析進行電腦校正，當有愈多觀測數據，或更多特徵式與特徵值加入，將能更進一步優化空氣預測準確度。

此外，本計畫也同步導入 ECMWF IFS 之臭氧預報，在境外臭氧移入時，能更精準預報臭氧污染所造成的空氣轉差，圖 6.1.2 為 ECMWF IFS 之臭氧預報資訊，參採該資訊讓本計畫在春季、秋季預報 O₃ 準確度優於環保署。

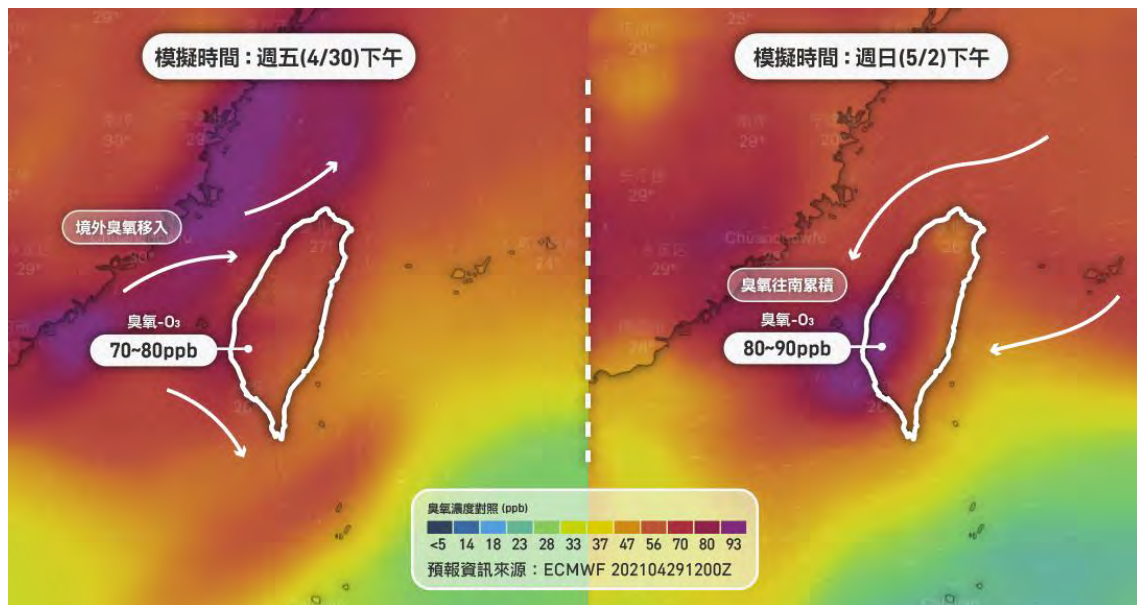
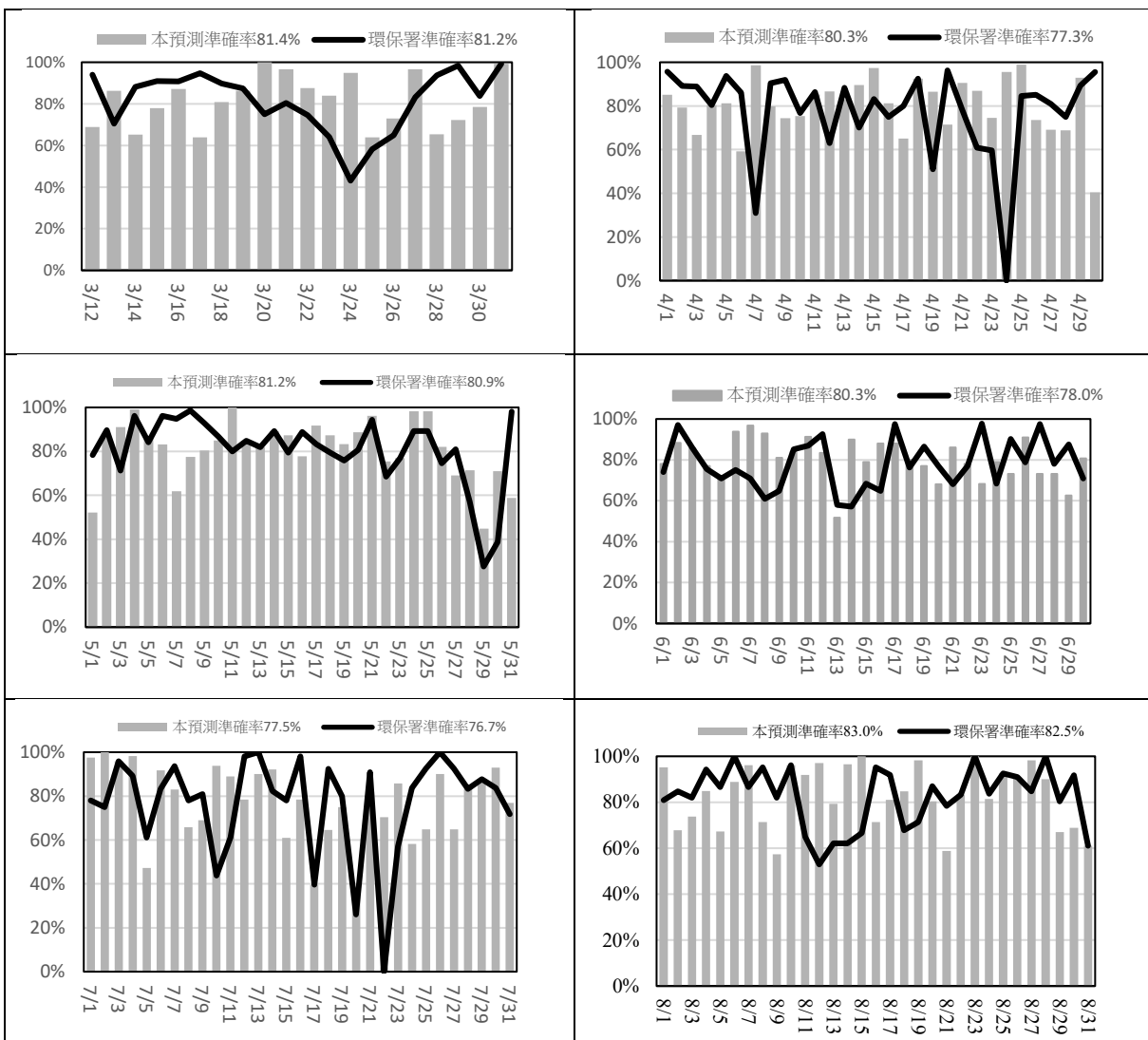


圖6.1.2、ECMWF IFS之臭氧預報資訊

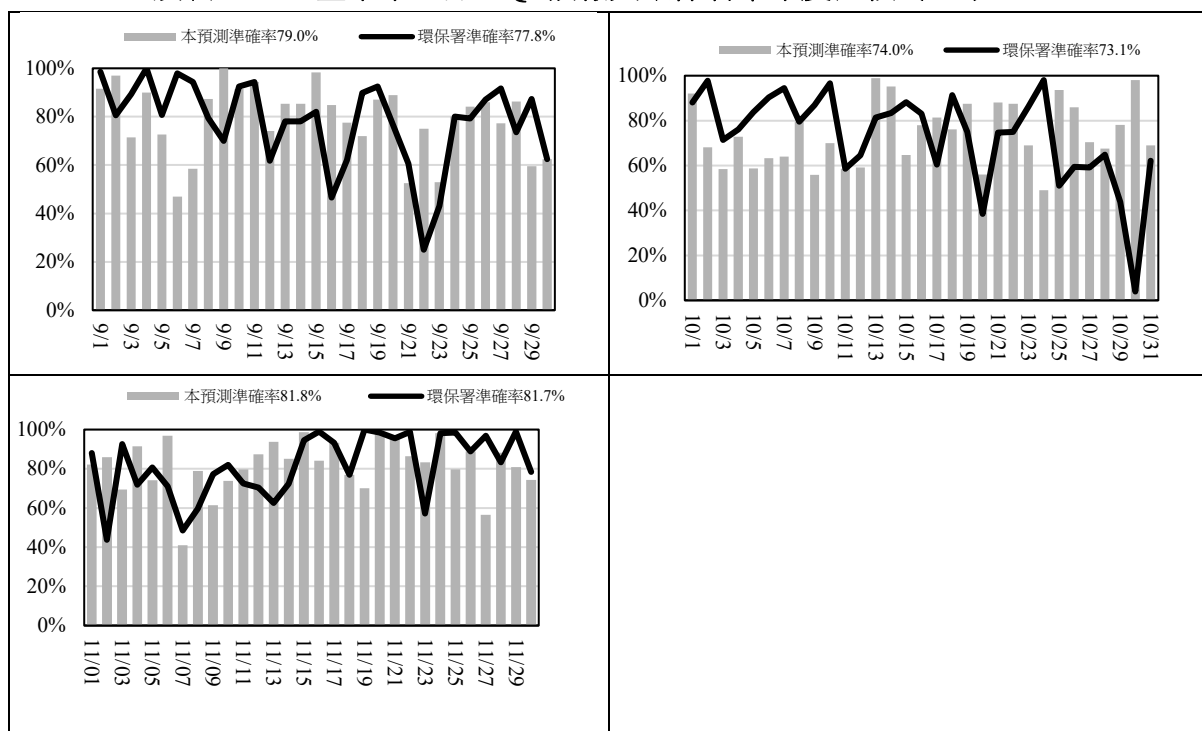
表 6.1.4 為本計畫 AQI 預報值與環保署預報值比較，環保署之 AQI 預測值取自「中部空品區」之當日 16:30 產出之預報隔日數值。本預測為「每三小時平均」，而環保署為「中部空品區（中彰投）最大值」，因此，比較上仍存在不對等性，且每日最高值與逐三小時，兩種預測的方法與邏輯也不盡相同，但仍可初判不同預測對於實際應用之準確度。

表 6.1.5 為本計畫預報值取「每日最高 AQI」，與環保署比較結果，可知 110 年 3 月～11 月份預測準確率本預報略優於環保署約 0.1%～3.0%。

表 6.1.4、臺中市空品 AQI 預報與環保署準確度比較 (1/2)



續表 6.1.4、臺中市空品 AQI 預報與環保署準確度比較 (2/2)



備註：計算方式：1- (預測誤差值/當日觀測臺中市五測站最大值)

表 6.1.5、每日最大 AQI 平均準確率

月份	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	平均
本計畫	81.4%	80.3%	81.2%	73.0%	77.5%	83.0%	79.0%	74.0%	81.8%	79.0%
環保署	81.2%	77.3%	80.9%	70.5%	76.7%	82.5%	77.8%	73.1%	81.7%	78.0%

表 6.1.6 統計本計畫在 AQI>100 之預報準確率，當 AQI>150 時預報準確率的掌握度比 AQI=101~150 高，而整體來說，每月 AQI= 101~150 以上的預報準確率介於 82%~94%，每月 AQI>150 預報準確率介於 88%~96%。

表 6.1.6、110 年臺中市空品 AQI>100 之預報準確率統計表 (1/2)

月份	分區	站別	AQI = 101~150		AQI>150	
3 月	海線	沙鹿測站	80%	82%	86%	88%
	山線	豐原測站	84%		89%	
	市屯區	西屯測站	84%		89%	
		忠明測站	84%		89%	
		大里測站	80%		87%	
4 月	海線	沙鹿測站	87%	87%	91%	91%
	山線	豐原測站	86%		91%	
	市屯區	西屯測站	87%		91%	
		忠明測站	88%		92%	
		大里測站	86%		91%	
5 月	海線	沙鹿測站	95%	94%	97%	96%
	山線	豐原測站	94%		96%	
	市屯區	西屯測站	94%		96%	
		忠明測站	93%		95%	
		大里測站	92%		95%	
6 月	海線	沙鹿測站	95%	93%	96%	96%
	山線	豐原測站	94%		97%	
	市屯區	西屯測站	94%		95%	
		忠明測站	93%		96%	
		大里測站	92%		95%	
7 月	海線	沙鹿測站	95%	94%	96%	96%
	山線	豐原測站	94%		97%	
	市屯區	西屯測站	95%		96%	
		忠明測站	93%		96%	
		大里測站	92%		95%	
8 月	海線	沙鹿測站	92%	91%	95%	95%
	山線	豐原測站	90%		94%	
	市屯區	西屯測站	92%		95%	
		忠明測站	92%		95%	
		大里測站	91%		95%	
9 月	海線	沙鹿測站	92%	91%	95%	95%
	山線	豐原測站	92%		95%	
	市屯區	西屯測站	92%		95%	
		忠明測站	91%		95%	
		大里測站	91%		93%	

續表 6.1.6、110 年臺中市空品 AQI>100 之預報準確率統計表 (2/2)

月份	分區	站別	AQI = 101~150		AQI>150	
10 月	海線	沙鹿測站	87%	87%	91%	91%
	山線	豐原測站	86%		91%	
	市屯區	西屯測站	88%		92%	
		忠明測站	88%		91%	
		大里測站	87%		91%	
11 月	海線	沙鹿測站	89%	89%	92%	91%
	山線	豐原測站	90%		91%	
	市屯區	西屯測站	88%		91%	
		忠明測站	88%		91%	
		大里測站	89%		91%	

備註：山區無空氣品質監測站，無法計算準確率

6.2、空氣品質預報短片

空品影音自 110/03/11 日計畫啟動開始，預報主要畫面設計（春、夏、秋及冬季）如圖 6.2.1 所示。在製播過程中，於每月工作會議中滾動式檢討內容及 LINE 點擊次數，持續精進改善。圖 6.2.2 為空品預報歷程圖。

圖 6.2.3 為空品影音市府 LINE 點擊次數，時間上以空污季與非空污季區別，空污季（3 月、10 月~11 月）點擊次數 64,046 次，非空污季（4 月~9 月）之點擊次數為 352,747 次。



圖6.2.1、臺中市空氣品質預報分區示意圖

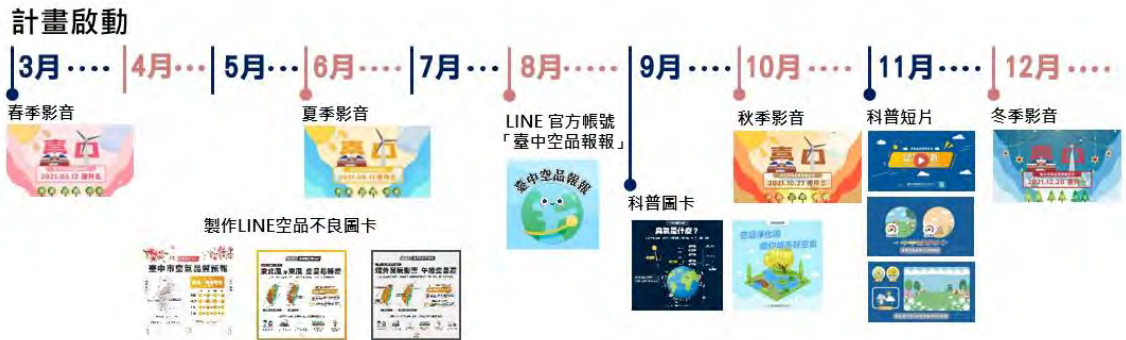
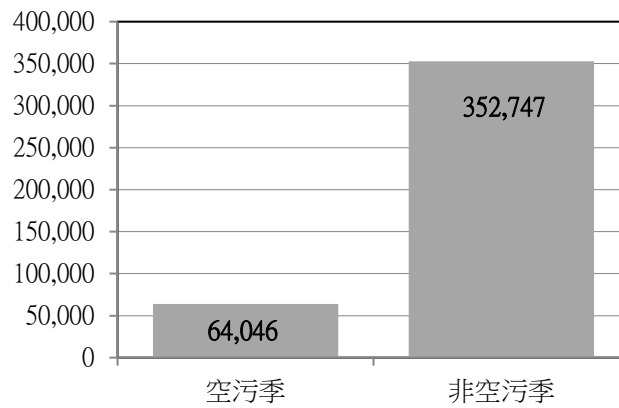


圖6.2.2、空品預報歷程圖

次數



備註：因本計畫自110/03/11日啟動，故本表之非空污季為4月~9月，空污季為03/11日~03/31日及10月~11月

圖6.2.3、空品影音LINE點擊次數

6.3、空品不良通報及特殊輿情提供

空品不良時，依預報數據製作清晰、易懂、具設計感的圖卡（如表 6.3.1），提供市府與民眾溝通之用。

表 6.3.1、110 年 1 月~12 月空品不良與極端天氣通報圖卡（1/2）

<p>01/12~01/15 寒流挾帶境外污染</p>	<p>01/30~02/01 東風境內污染</p>
<p>02/02~02/04 境外污染影響</p>	<p>02/08~02/10 東北風挾帶境外污染</p>
<p>03/16~03/18 趨於靜風, 境內污染累積</p>	<p>03/19~03/20 西部起霧, 境內污染</p>

續表 6.3.1、110 年 1 月~12 月空品不良與極端天氣通報圖卡 (2/2)

<p>提醒！根據環保署預報</p> <p>週六(4/24)~週三(4/28)</p> <p>西部風弱 空品較容易轉差</p> <p>上半天注意PM_{2.5}略高，午後化學反應較明顯，臭氧持續升高</p> <p>空品轉差時間易達 橘色提醒(AQI>100)</p> <p>1 稍減少戶外劇烈運動 2 出門請記得佩戴口罩</p> <p>因應PM_{2.5}及臭氧污染，臺中市政府已啟動相關應變措施</p> <p>保護公民健康 總局 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府</p>	<p>提醒！根據環保署預報</p> <p>週六(5/1)~週一(5/3)</p> <p>境外臭氧影響 午後空品差</p> <p>臭氧趨近於無色無味、較難察覺，請市民朋友避開「下午~傍晚」，在戶外劇烈運動</p> <p>下午~傍晚，空品易達 橘色提醒(AQI>100)</p> <p>1 稍減少戶外劇烈運動 2 因應臭氧污染，建議佩戴活性碳口罩</p> <p>因應PM_{2.5}及臭氧污染，臺中市政府已啟動相關應變措施</p> <p>保護公民健康 總局 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府</p>
<p>04/24~04/28 境內臭氧累積</p>	<p>05/01~05/03 境外臭氧影響</p>
<p>提醒！根據環保署預報</p> <p>中秋連假(9/18-9/21)</p> <p>高壓+東風，西半部空品轉差</p> <p>西半部PM_{2.5}及臭氧皆有累積，連假期間請注意空品變化</p> <p>受PM_{2.5}及臭氧影響 AQI易達橘色提醒</p> <p>1 稍減少戶外劇烈運動 2 出門請記得戴上口罩</p> <p>因應PM_{2.5}及臭氧污染，臺中市政府已啟動相關應變措施</p> <p>保護公民健康 總局 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府</p>	<p>提醒！根據環保署預報</p> <p>週日(9/26)~週一(9/27)</p> <p>注意臭氧！午後空品易轉差</p> <p>東北風挾帶少量境外臭氧，西半部「下午~傍晚」注意AQI可能達橘色提醒</p> <p>受臭氧影響，下午~傍晚 AQI易達橘色提醒</p> <p>1 稍減少戶外劇烈運動 2 出門請記得戴上口罩 3 臭氧趨近無色無味，較難察覺，請敏感族群多加注意！</p> <p>因應臭氧污染，臺中市政府已啟動相關應變措施</p> <p>保護公民健康 總局 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府</p>
<p>09/18~09/21 西半部空品轉差</p>	<p>09/26~09/27 境外臭氧影響</p>
<p>提醒！根據環保署預報</p> <p>週四(10/7)~週六(10/9)</p> <p>臭氧影響，午後空品易轉差</p> <p>海峽有渦旋生成，導致臭氧累積相當明顯，下午~傍晚請特別注意空品變化</p> <p>下午~傍晚，AQI易達到 橘色提醒+紅色警示</p> <p>1 此時段避免戶外劇烈運動 2 出門請記得戴上口罩 3 臭氧趨近無色無味，較難察覺，請敏感族群多加注意！</p> <p>因應PM_{2.5}及臭氧污染，臺中市政府已啟動相關應變措施</p> <p>保護公民健康 總局 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府</p>	<p>提醒！根據環保署預報</p> <p>12/16~12/17</p> <p>週四~週五 注意空品轉差</p> <p>週四(12/16)東風吹，西部有霧，污染易累積；週五(12/17)境外污染影響，仍請注意空品</p> <p>由於有霧擴散差，且有境外污染 AQI可能達橘色提醒</p> <p>1 減少戶外劇烈運動 2 出門請記得戴上口罩</p> <p>因應PM_{2.5}及臭氧累積，臺中市政府已啟動相關應變措施</p> <p>保護公民健康 總局 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府 臺中市政府</p>
<p>10/07~10/09 臭氧累積，空品轉差</p>	<p>12/16~12/17 西部有霧，污染易累積</p>

本計畫若於觀測資料或網路輿情發現相關空氣惡化訊息，將會立即回報 LINE 工作群組，如圖 6.3.1 所示：



圖6.3.1、特殊輿情提供

6.4、臺中市空品預報 LINE 官方帳號營運規劃

臺中市因環保局官方網站及 Facebook 台中好環保網站觸擊率較低，缺乏有效傳遞資訊的平台，因此，本年度建置屬於臺中市民的空品整合平台 LINE 官方帳號，將空品資訊、政策及空氣科普知識配合局端需求，整合發布，以利民眾瞭解空氣品質及市府局處之應變作為。前置作業包含（1）帳號申請、（2）大頭貼設計及（3）選單設計。說明如下：

（1）帳號申請：

目前已完成帳號申請，預計官方 LINE 帳號名稱為：「臺中空品報報」，ID 為：@taichungair。

（2）大頭貼設計：

大頭貼樣式預計如圖 6.4.1。選單設計可依局端需求隨時調整。

（3）選單設計：

LINE 有多種版型及方框置入連結功能如圖 6.4.2，未來可依照需求進行畫面顏色及圖案調整。

另外，本計畫空品預報官方帳號「臺中空品報報」已於 110 年 9 月 1 日上線，每週分享空品相關知識或政策，不定時發布即時空品變化，好友人數持續增加中。



圖6.4.1、LINE官方帳號大頭貼



圖6.4.2、(A) ~ (C) 三種LINE選單設計樣式

6.5、科普/政策短片及科普圖卡

一、科普/政策短片

將以 Motion Graphic 形式呈現 2D 動畫，已於 11 月~12 月期間發布四支科普/政策短片，供環保局進行後續運用。圖 6.5.1 為短片示意圖。製作程序包括：前期腳本構思、中期動畫繪製、後期製作及最終配音，並以 2 分鐘~3 分鐘的短片呈現相關主題，如：空氣相關科普、重要空氣政策說明……等。

為了更吸引民眾觀看，2D 動畫使用破題式的問答、簡化複雜數據後的資訊圖表、虛擬主題具象化的動畫製作，並由專業錄音室及電台 DJ 進行配音。4 則科普短片主題如表 6.5.1，詳細腳本及動畫於發布前提交環保局審核通過後再予以製作。



圖6.5.1、科普/政策短片示意圖

表 6.5.1、4 則科普/政策短片主題規劃

- 1 認識臭氧！一天當中，什麼時候臭氧最高？
- 2 秋冬季空污如何形成
- 3 主要空氣污染物的介紹、口罩如何選擇？
- 4 清新好空氣在臺中-藍天白雲行動計畫

二、科普圖卡

為培養民眾對於空氣的基本認知，達到教育以及資訊有效正確的傳遞，本年度共製作 32 則圖卡發布，另外，圖片同步需供「台中好環保 Facebook」使用。表 6.5.2 為 32 則科普圖卡內容。

表 6.5.2、32 則科普圖片 (1/6)

<p>[生活] 臭氧是什麼？</p>	<p>[生活] 認識「地表臭氧的危害」</p>
<p>[生活] 「臭氧」在生活中的妙用</p>	<p>[政策] 露天燃燒，對空氣品質危害大！</p>

續表 6.5.2、32 則科普圖片 (2/6)

<p>[預報] 中秋連假後二日：空品「普通為主」</p> 	<p>[政策] 空品不良應變作為介紹</p> 																																			
<p>[政策] AQI 是什麼？顏色怎麼分？</p>  <table border="1" data-bbox="263 1030 758 1243"> <thead> <tr> <th>AQI數值</th> <th>0-50</th> <th>51-100</th> <th>101-150</th> <th>151-200</th> <th>201-300</th> <th>301以上</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>狀態</td> <td>良好</td> <td>普通</td> <td>對敏感族群不健康</td> <td>所有族群不健康</td> <td>非常不健康</td> <td>危害</td> </tr> <tr> <td>PM2.5 (µg/m³)</td> <td>15.4以下</td> <td>15.5-35.4</td> <td>35.5-54.4</td> <td>54.5-150.4</td> <td>150.5-250.4</td> <td>250.5以上</td> </tr> <tr> <td>PM10 (µg/m³)</td> <td>50以下</td> <td>51-100</td> <td>101-254</td> <td>255-354</td> <td>355-424</td> <td>425以上</td> </tr> <tr> <td>O₃ (ppm)</td> <td>54以下</td> <td>55-70</td> <td>71-85</td> <td>86-105</td> <td>106-200</td> <td>405以上 (或以小時值計算)</td> </tr> </tbody> </table> <p>戶外活動建議： 良好：可從事所有戶外活動。 普通：可從事所有戶外活動。 對敏感族群不健康：減少戶外活動。 所有族群不健康：減少戶外活動。 非常不健康：避免戶外活動。 危害：避免戶外活動。</p>	AQI數值	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301以上	狀態	良好	普通	對敏感族群不健康	所有族群不健康	非常不健康	危害	PM2.5 (µg/m³)	15.4以下	15.5-35.4	35.5-54.4	54.5-150.4	150.5-250.4	250.5以上	PM10 (µg/m³)	50以下	51-100	101-254	255-354	355-424	425以上	O ₃ (ppm)	54以下	55-70	71-85	86-105	106-200	405以上 (或以小時值計算)	<p>[生活] 下廚時刻，不可忽視的PM2.5</p> 
AQI數值	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301以上																														
狀態	良好	普通	對敏感族群不健康	所有族群不健康	非常不健康	危害																														
PM2.5 (µg/m³)	15.4以下	15.5-35.4	35.5-54.4	54.5-150.4	150.5-250.4	250.5以上																														
PM10 (µg/m³)	50以下	51-100	101-254	255-354	355-424	425以上																														
O ₃ (ppm)	54以下	55-70	71-85	86-105	106-200	405以上 (或以小時值計算)																														
<p>[政策] 防制空污大作戰：七大禁止行為</p> 	<p>[預報] 雙十國慶：空品、天氣提醒</p> 																																			


續表 6.5.2、32 則科普圖片 (3/6)

<p>[政策] 餐飲業空污防制，大解密！</p> <p>餐飲業，如何防制空污？</p> <p>各種烹飪類型的污染程度</p> <p>蒸 煎 炸 炒 烤</p> <p>輕微 人類影響程度 嚴重</p> <p>餐飲業的油煙防制設備</p> <table border="1"> <tr> <td>油煙處理</td> <td>20~40%</td> <td>40~60%</td> <td>75~95%</td> <td>70~80%</td> <td>>90%</td> </tr> <tr> <td>異味處理</td> <td>10~20%</td> <td>10~20%</td> <td>40~60%</td> <td>30~70%</td> <td>80~90%</td> </tr> </table> <p>臺中市政府環境保護局</p>	油煙處理	20~40%	40~60%	75~95%	70~80%	>90%	異味處理	10~20%	10~20%	40~60%	30~70%	80~90%	<p>[政策] 臺中市空品不良應變策略，報你知！</p> <p>臺中市空品不良應變策略</p> <ol style="list-style-type: none"> 依本市空品惡化防制措施通報大型污染源配合減排並加強巡查 通知營建工地加強道路洗掃街街作業抑制道路揚塵 加強制高點巡查露天燃燒行為 執行河川揚塵巡查查核裸露地 查核重大營建工程 查核餐飲業防制設備操作 高污染車輛查緝並加強急速熄火及搭乘大眾運輸宣導 各局處通知各機關單位配合空品狀況調整戶外作業 <p>臺中市政府環境保護局</p>																				
油煙處理	20~40%	40~60%	75~95%	70~80%	>90%																												
異味處理	10~20%	10~20%	40~60%	30~70%	80~90%																												
<p>[政策] 空品測站百百種，如何區分？</p> <p>各種空品監測儀器的比較</p> <p>各種監測皆有其意義，可作不同層面之解讀</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>國家監測站</th> <th>智慧感測測站</th> <th>學校民間感測測站</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>數據應用範圍</td> <td>大</td> <td>小</td> <td>微</td> </tr> <tr> <td>空間解析度</td> <td>10-25km</td> <td>100-300m</td> <td>1km</td> </tr> <tr> <td>儀器原理</td> <td>β射線衰減或儀性質量法</td> <td>物理光散射原理</td> <td>物理光散射原理</td> </tr> <tr> <td>數據時間解析度</td> <td>1小時</td> <td>1-3分鐘</td> <td>1-5分鐘</td> </tr> <tr> <td>選址要求</td> <td>嚴謹 依據空污法施行細則</td> <td>近工業區、交通要道</td> <td>較不嚴謹 多在學校、住家囉台</td> </tr> <tr> <td>設置高度</td> <td>10公尺高</td> <td>3公尺高</td> <td>不定</td> </tr> <tr> <td>維護頻率</td> <td>週、雙週、月及季</td> <td>每季巡檢一次</td> <td>無或不定</td> </tr> </tbody> </table> <p>臺中市政府環境保護局</p>		國家監測站	智慧感測測站	學校民間感測測站	數據應用範圍	大	小	微	空間解析度	10-25km	100-300m	1km	儀器原理	β射線衰減或儀性質量法	物理光散射原理	物理光散射原理	數據時間解析度	1小時	1-3分鐘	1-5分鐘	選址要求	嚴謹 依據空污法施行細則	近工業區、交通要道	較不嚴謹 多在學校、住家囉台	設置高度	10公尺高	3公尺高	不定	維護頻率	週、雙週、月及季	每季巡檢一次	無或不定	<p>[生活] VOC 是什麼？</p> <p>VOC是什麼？</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>
	國家監測站	智慧感測測站	學校民間感測測站																														
數據應用範圍	大	小	微																														
空間解析度	10-25km	100-300m	1km																														
儀器原理	β射線衰減或儀性質量法	物理光散射原理	物理光散射原理																														
數據時間解析度	1小時	1-3分鐘	1-5分鐘																														
選址要求	嚴謹 依據空污法施行細則	近工業區、交通要道	較不嚴謹 多在學校、住家囉台																														
設置高度	10公尺高	3公尺高	不定																														
維護頻率	週、雙週、月及季	每季巡檢一次	無或不定																														
<p>[生活] 生活中的 VOC 有哪些？</p> <p>生活中的VOC</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>	<p>[政策] 東北風減弱，秋老虎將來襲</p> <p>秋老虎來襲</p> <p>節約用電，注意中午高溫</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>																																

續表 6.5.2、32 則科普圖片 (4/6)

<p>[生活] 霧、靄、霾、霧霾的介紹</p> <p>空氣品質科普</p> <h2>是霧還是霾</h2> <p>霧霧的，不一定是髒空氣</p> <p>外面霧霧的</p> <p>空氣乾淨 (PM_{2.5}濃度<100)</p> <p>空氣航霧 (PM_{2.5}濃度>100)</p> <p>霧 (Mist 或稱「薄霧」) 相對濕度>90%以上 能見度<1km以下</p> <p>霧 (Fog) 相對濕度>90%以上 能見度<1km以下</p> <p>霾 (Haze 或稱「煙霧」) 相對濕度<75%以下</p> <p>霧霾 (Smog) 相對濕度>75%以上</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>	<p>[政策] 河川揚塵介紹、防制作為</p> <p>空氣品質政策</p> <h2>河川揚塵</h2> <h3>相關防制作為</h3> <p>河川沿岸造林工作</p> <p>空品不良或揚塵發生，盡量避免外出或戴口罩</p> <p>東北季風期間河岸周邊區域洗掃街</p> <p>人工智慧物聯網馬路通報、連動自動澆水</p> <p>溪水環墳巡守隊執行河川掃塵通報</p> <p>• 每年9月至12月期間易受東北季風影響引起揚塵</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>
<p>[生活] 下雨了，空氣品質會因此變好嗎？</p> <p>空氣品質科普</p> <h2>下雨空氣會變好嗎？</h2> <p>下雨讓空氣變好的兩大原因：</p> <p>雨除作用 (Rain Removal)：污染物在雨滴形成時被吸收</p> <p>雨沖作用 (Rain Wash)：污染物被雨沖降至地面</p> <p>下雨了，空氣會馬上變好嗎？</p> <p>雨勢不夠大，難以除去污染物</p> <p>2019.12.29，忠明測站 PM_{2.5}濃度與降雨量</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>	<p>[政策科普] 空品淨化區介紹</p> <p>空氣品質政策</p> <h2>空品淨化區</h2> <h3>給你城市好空氣</h3> <p>臺中市政府環境保護局</p>
<p>[生活科普] 室內空污介紹</p> <p>空氣品質科普</p> <h2>室內空污</h2> <p>一天有超過 80% 時間待在室內 你我更需要注意室內空品</p> <p>PM_{2.5} 甲肝</p> <p>CO₂ 臭氣</p> <p>PM₁₀ CO</p> <p>TVOC</p> <p>抽菸</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>	<p>[政策宣導] 鼓勵多多搭乘大眾運輸工具</p> <p>空氣品質政策</p> <h2>多多搭乘大眾運輸</h2> <p>臺中市政府環境保護局</p>

續表 6.5.2、32 則科普圖片 (5/6)

<p>[政策宣導]中火降載資訊</p> 	<p>[生活科普]境外污染如何觀測或預報？</p> 
<p>[空品政策]藍天白雲計畫，大解密：</p> 	<p>[生活科普]沙塵暴是什麼？</p> 
<p>[生活科普]口罩防護挑選</p> 	<p>[生活科普]酸雨是如何形成的？</p> 

續表 6.5.2、32 則科普圖片 (6/6)

<p>[生活科普]室內植栽：淨化空氣、美化環境</p>	<p>[政策科普]機車出廠滿五年，記得定檢!</p>
 <p>室內植栽 美觀又可淨化空氣</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>	 <p>機車出廠滿五年 記得每年定檢</p> <p>檢驗免費用，只要3分鐘</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>
<p>[生活科普]能見度與空氣污染的關聯</p>	<p>[預報]跨年假期空品預報</p>
 <p>能見度 VS 空氣污染</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>	 <p>2022 HAPPY NEW YEAR 跨年假期空氣品質預報</p> <p>受境外污染影響 AQI多半在普通等級</p> <p>稍減少戶外劇烈運動 敏感族群外出戴口罩</p> <p>臺中市政府環境保護局</p>

小結

1. 本計畫在 AQI>150 時預報準確率的掌握度比 AQI=101~150 高，而整體來說，每月 AQI= 101~150 以上的預報準確率介於 82%~94%，每月 AQI>150 預報準確率介於 88%~96%。
2. 本計畫 AQI 預報值與環保署預報值比較，環保署之 AQI 預測值取自「中部空品區」之當日 16:30 產出之預報隔日數值。本預測為「每三小時平均」，因此，比較上存在不對等性，且每日最高值與逐三小時，兩種預測的方法與邏輯也不盡相同，但仍可初判不同預測對於實際應用之準確度。本計畫預報值取「每日最高 AQI」，與環保署比較結果，可知 110 年 3 月~11 月份預測準確率本預報略優於環保署約 0.1%~3.0%。
3. 民眾關注 PM_{2.5} 污染問題，且健康防護意識日益提高，空氣品質預報需求應運而生。環保署僅提供中部空品區預報資訊，並無細緻到針對臺中市，本計畫將臺中市分區（註：山線、山區、海線、市屯區 AQI 值）預報列為重要工作。並以分區預報以活潑動畫短片呈現，並結合民眾 LINE 點閱習慣，使空品預報資訊可快速布達與理解，方便民眾居家及外出規劃。
4. 臺中市提供分區空品預報短片，臺中市政府 LINE 截至 2021 年 11 月 30 日點擊瀏覽次數達 416,793 次。空氣品質惡化事件提供圖卡，共計 26 次。
5. 有關 110 年 9 月開始之臺中空品報報 LINE 營運，已完成帳號申請、大頭貼樣式及內容規劃，已將臺中市政府官方 LINE 之「空品報報」連結換為「臺中空品報報」進行導流，每週分享空品相關知識或政策，不定時發布即時空品變化，好友人數持續增加中。

第七章 蒐集彙整國內外文獻及縣市監測結果

一章節摘要一

本章是蒐集國內外文獻有關細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 及次微米微粒 (PM₁) 成分及污染管制策略相關資料、差異分析及建議，以及彙整過去三年各縣市及本市有關細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 及次微米微粒 (PM₁) 監測地點及結果，並提出分析報告，包含盛行風向、風速、降雨量及熱區分布差異等分析。

7.1、國內外文獻彙整

一、PM_{2.5}成分

PM_{2.5} 成分析大多採用手動採樣法與在線分析法，而手動採樣法較常見，其在採樣器上放置濾紙採樣，收樣後送回實驗室分析，分析成分包含水溶性陰陽離子，碳成分及金屬元素三大部分。表 7.1.1 為彙整國內外 PM_{2.5} 化學組成調查結果，差異說明如下：

臺灣之 PM_{2.5} 化學組成以陰陽離子占比較高（中興大學環工系，2020；立境環境科技公司，2013；立境環境科技公司，2014；台灣綠基科技有限公司，2013；台灣綠基科技有限公司，2016；吳家安，2013；李崇德，2016；李崇德，2018；李崇德，2020；許美華，2008；郭崇義，2017；葉青峯，2015）；亞洲國家（中國、日本）之 PM_{2.5} 也以陰陽離子占比最大（Khan et al., 2010; Kuang, 2015; Su et al., 2020; Zheng et al., 2016）。

非亞洲國家之碳組成占比較高（Lanzaco et al., 2017; Martinez et al., 2012; Putaud et al., 2010; Rattigan et al., 2016; Salameh et al., 2015; Schwarz et al., 2016; Tolis et al., 2015）。如：美國紐約皇后區，近年碳組成占比上升，因管制 SO₂ 與 NO_x 排放與減排，故陰陽離子含量下降（Rattigan et al.）。阿根廷之工業區採樣結果，碳組成占比高，乃受該工業區大量玻璃產業、石膏產業及輪胎製造業之影響（Lanzaco et al.）。

表7.1.1、國內外細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 化學組成比例 (1/2)

地區		PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	陰陽離子 (%)	碳組成 (%)	微量元素 (%)	參考文獻
國內	臺灣南投 (竹山)	28.2	49.7	33.1	2.8	中興大學環工系 (2020)
	臺灣花蓮 (花蓮)	8.3	40.8	26.0	-	李崇德 (2020)

續表7.1.1、國內外細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 化學組成比例 (2/2)

地區	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	陰陽離子 (%)	碳組成 (%)	微量元素 (%)	參考文獻	
國內	臺灣新北 (板橋)	14.0	41.3	30.8	-	李崇德 (2020)
	臺灣臺中 (忠明)	17.3	45.8	29.3	-	
	臺灣雲林 (斗六)	21.5	45.8	27.0	-	
	臺灣嘉義 (嘉義)	21.8	48.3	24.8	-	
	臺灣高雄 (小港)	22.8	48.0	25.0	-	
	臺灣新北 (板橋)	17.6	46.2	30.3	1.6	李崇德 (2018)
	臺灣臺中 (忠明)	21.1	49.3	25.7	1.8	
	臺灣雲林 (斗六)	25.3	50.7	24.9	1.4	
	臺灣高雄 (小港)	26.6	52.1	24.1	1.9	
	臺灣花蓮 (花蓮)	10.9	49.0	23.6	1.2	
	臺灣新北 (板橋)	16.2	43.0	30.4	1.9	李崇德 (2016)
	臺灣臺中 (忠明)	24.6	45.3	28.7	1.8	
	臺灣高雄 (前金)	29.9	48.4	24.3	2.4	
	臺灣臺中 (后里、西屯、大雅、港區)	29.4	36.5	19.6	9.0	郭崇義 (2017)
	臺灣臺中 (大里)	22.8	39.6	37.0	3.9	台灣綠基科技公司 (2016)
	臺灣臺中 (后里)	22.5	43.6	26.1	5.5	
	臺灣臺中 (西屯)	22.0	43.4	31.4	4.3	台灣綠基科技公司 (2013)
	臺灣臺中 (全市平均)	40.2	54.1	13.5	2.3	
	臺灣臺中沿海	48.6	29~35	30.0	3.0	許美華 (2008)
	臺灣宜蘭	16.6	30.0	15.0	8.0	葉青峯 (2015)
臺灣臺南	22.7	37.9	20.4	13.7	立境環境科技公司 (2014)	
臺灣高雄	57.1	45.0	8.0	15.0	吳家安 (2013)	
臺灣金門	23.8	49.0	25.0	3.0	立境環境科技公司 (2013)	
國外	中國深圳	32.0	41.7	47.4	5.0	Su et al. (2020)
	中國北京	79.4	48.3	18.4	-	Zheng et al. (2016)
	中國廣州	54.0	29.7	17.9	-	
	中國深圳	45.9	28.3	18.2	-	
	中國香港	68.0	47.0	40.0	-	Kuang (2015)
	日本橫濱	20.6	34.1	31.2	-	Khan et al. (2010)
	歐洲中部城區	/	33.0	36.0	-	Putaud et al. (2010)
	墨西哥 Escobedo	37.8	37.0	50.0	1.0	Martinez et al. (2012)
	墨西哥 Santa Catarina	36.2	51.0	48.0	1.0	
	美國紐約 (Queens)	<10.0	39.6	56.8	4.6	Rattigan et al. (2016)
	阿根廷 Cordoba	48.1	4.2	54.8	6.1	Lanzaco et al. (2017)
	西班牙 Barcelona	18.6	27.4	22.6	2.9	Salameh et al. (2015)
	法國 Marseille	19.6	28.6	40.3	9.2	
	捷克 Košetice	15.7	42.9	29.9	8.7	Schwarz et al. (2016)
希臘 Thessaloniki	37.7	33.1	21.0	13.0	Tolis et al. (2015)	

1、歐美地區

Lewandowski et al. (2007) 調查美國北卡羅萊納州 (North Carolina) 2003 年夏季 PM_{2.5} 之組成，此地區 PM_{2.5} 濃度範圍為 6.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~31.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質佔 41% 為最多，硫酸鹽 37% 次之，銨鹽約為 12%。

Rattigan et al. (2016) 調查 2012 年~2013 年美國紐約 PM_{2.5} 組成，此地區 PM_{2.5} 濃度 <10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質約佔 49.5% 為最多，硫酸鹽 17.5% 次之，硝酸鹽為 14.7%，元素碳 7.3%，金屬元素 4.6%。

Glavas et al. (2008) 於歐洲東南部之希臘雅典地區，調查半農村地區 PM_{2.5} 質量及化學組成與季節差異、自然因素或人為污染傳輸與區域污染來源，PM_{2.5} 平均濃度為 13.9 \pm 6.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，溫暖乾燥的夏季其 PM_{2.5} 濃度高於冬季。水溶性離子約佔 PM_{2.5} 之 45%，其中以 SO₄²⁻ 為主，約佔 PM_{2.5} 質量 23.3%，NO₃⁻ 與 Cl⁻ 分別佔 3.3%、1.2%。陽離子則以 NH₄⁺、Na⁺、Ca²⁺ 為主，各佔 PM_{2.5} 的 11.2%、3.1%、2.7%。氣團軌跡模擬結果顯示，PM 是經由長距離傳輸所致。PM_{2.5} 的污染估計貢獻來源，人為污染約佔 40%、地殼物質 25% 及海鹽 4.3%。瑞士地區都會區 (Bern) 碳組成高於鄉村 (Chanmont)，水溶性離子則以鄉村 (Chanmont) 高於都會區 (Bern) (Hueglin et al., 2005)。

Martinez et al. (2012) 調查墨西哥兩大城市 PM_{2.5} 組成，平均而言，PM_{2.5} 濃度介於 25.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~50.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質約佔 42% 為最多，硫酸鹽 23% 次之，硝酸鹽約為 13%，元素碳 7%。

Lee et al. (2003) 調查加拿大多倫多 PM_{2.5} 組成，PM_{2.5} 濃度約 12.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質約佔 34.6% 為最多，硫酸鹽 17.9% 次之，硝酸鹽約為 14.5%，元素碳 3.6%。

Querol et al. (2004) 調查西班牙巴塞隆納 PM_{2.5} 組成，PM_{2.5} 濃度約 27.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質約佔 44.3% 為最多，硫酸鹽 15.2% 次之，硝酸鹽約為 8.3%，元素碳無檢出。

Lonati et al. (2008) 調查義大利米蘭 PM_{2.5} 組成，PM_{2.5} 濃度約 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質約佔 38.7% 為最多，硝酸鹽 21.8% 次之，硫酸鹽約為 11.8%，元素碳 3.5%。

2、亞洲地區

Cao et al. (2012) 調查中國各大都市 PM_{2.5} 組成，上海 PM_{2.5} 濃度約 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質約佔 28% 為最多，硫酸鹽 18% 次之，硝酸鹽約 14%，元素

碳 5%；北京 PM_{2.5} 濃度約 132 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質約占 33%為最多，硫酸鹽 18%次之，硝酸鹽約 12%，元素碳 5%；西安 PM_{2.5} 濃度約 103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質約占 45%為最多，硫酸鹽 15%次之，硝酸鹽約 8%，元素碳 6%。

Zhao et al. (2013) 探討中國北京地區整年度 PM_{2.5} 之化學組成，包括碳成分、水溶性離子、微量元素，其中以水溶性離子為主，約占 46%；碳成分為次，約占 24.5%，水溶性離子則以 SO₄²⁻、NO₃⁻ 及 NH₄⁺ 為主。碳成分則具顯著季節變化，以春夏兩季明顯低於秋冬兩季，地殼元素 (Al、Ca、Fe、Mg、Ti、Ba 及 Sr)，因受沙塵暴之影響，於春秋兩季含量較多。

Kim et al. (2007) 調查韓國首爾 PM_{2.5} 濃度及組成，研究期間 PM_{2.5} 平均濃度約 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM_{2.5} 中以 OC 為主，約占 24%。SO₄²⁻、NO₃⁻、EC 及微量元素，分別約占 PM_{2.5} 之 18%、17%、10%及 11%；硫酸鹽 (SO₄²⁻) 濃度於夏季最高，可能與夏季光化反應增強相關。

Heo et al. (2009) 調查韓國首爾 PM_{2.5} 組成，PM_{2.5} 濃度範圍為 37.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，微粒組成以有機物質約占 30.2%為最多，硫酸鹽 15.3%次之，硝酸鹽約為 13.8%，元素碳 7.7%。

Takahashi et al. (2008) 調查日本交通源及都會區微粒組成，顯示交通源 (Noge) 之碳組成比例高於都會區 (Kudan)，元素碳 (EC) 之情況亦相同。

二、PM_{2.5} 管制策略

1、臺灣

對於國內 PM_{2.5} 的改善，行政院提出空氣污染防制擴大行動方案，訂出數項具體政策及目標，整體方案內容著重在細懸浮微粒貢獻度較大者，含：國營事業達到超低排放（全球最嚴標準）、全面禁止烏賊車上路、加強餐飲業油煙、道路、營建工程及河川揚塵的管理……等，詳表 7.1.2 所列。

表7.1.2、臺灣空氣污染防制擴大行動方案一覽表 (1/2)

管制策略	說明及作法
1、國營事業管制 (中龍、中鋼、中油、台電)	1、優先推動四大國營事業（台電、中鋼、中油與中龍）空污減量。 (1) 電廠：加裝污染減量設備、更新超超臨界機組、增設天然氣機組，達超低排放。 (2) 電力環保調度：因應空污季節（10月中至隔年2月）進行最大彈性調度及降載。 2、加強電力業管制標準。

續表7.1.2、臺灣空氣污染防治擴大行動方案一覽表 (2/2)

管制策略	說明及作法
2、強化港區空污防治	強化港區空氣污染防治行動：推動船舶進港減速、使用低硫油、全面使用岸電及港區施工機具減污。
3、交通管制新作為	1、空污法新法通過後，加嚴移動源管制。 (1) 加嚴出廠 10 年以上交通工具排放標準。 (2) 地方政府劃定空品維護區，禁止或限制高污染車輛進入。 2、禁售燃油車輛目標年 (1) 2030 年 (119 年) 新購公務車、公車全面電動化。 (2) 2035 年 (124 年) 新售機車全面電動化。 (3) 2040 年 (129 年) 新售汽車全面電動化。
4、持續強化作為	1、鍋爐汰換：補助汰換 5,000 座工業鍋爐。 2、餐飲業：108 年底前推動 7,000 家加裝排油煙防制設備。 3、加強管制力道，修正空氣污染防治法。 4、針對民營電廠及前 30 大 PM _{2.5} 排放固定源之防治設備進行減量盤點。 5、108 年底前，全面汰除 150 萬輛二行程機車，以及 8 萬輛一二期老舊柴油車，3.8 萬輛三期柴油車加裝濾煙器、提升軌道貨運運能、推動電動蔬果運輸車。 6、農廢露天燃燒防治：透過經濟誘因補助、增加農廢去化管道及行為管制、減少農廢燃燒。 7、營建工地：加強稽查處分及限期改善。 8、河川揚塵、道路揚塵：強化源頭管理及洗掃街環境清理。 9、補助及推廣空氣牆設置。

資料來源：<https://www.ey.gov.tw/Page/448DE008087A1971/5638596f-c460-4a12-9e62-d623d34f67d1>

除了中央政策性的目標之外，學者李崇德等人 (2020) 對臺灣各地 PM_{2.5} 成分調查結果，提出管制策略。該計畫調查發現移動污染源正轉變為各季節主要污染因子，移動污染源對於 NO₃ 與 OC 具一定程度貢獻，因此，建議持續推廣大眾運輸、調整交通管制策略、推廣電動車或改善機動車輛排放是主要污染管制方向，該計畫相關管制策略摘要於表 7.1.3 中。

表7.1.3、臺灣PM_{2.5}成分特徵之管制策略建議

管制策略	說明及作法
1、移動污染源管制	調查顯示移動污染源正轉變為各季節主要污染因子，說明移動污染源對於 NO ₃ 與 OC 有一定程度貢獻，應持續推廣大眾運輸、調整交通管制策略、推廣電動車或改善機動車輛排放，助於減少移動污染源衍生的污染。
2、分區訂定管制策略	臺灣中部以北加強移動源管制，以南著重工業鍋爐管制。
3、高污染期管制策略	PM _{2.5} 濃度 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上時，NO ₃ 占比開始倍增。建議 PM _{2.5} 中濃度期間，對 NO ₃ 前驅污染物管制，有助於改善 PM _{2.5} 污染。

2、美國聯邦

美國聯邦有關大氣 PM_{2.5} 防制政策及措施詳表 7.1.4，各州政府再依地方污染貢獻源擬定管制措施，美國加州 PM_{2.5} 管制策略詳表 7.1.5。

表7.1.4、美國聯邦環保署之PM_{2.5}主要防制政策

管制策略	說明及作法
1、定期審查空氣品質標準和監測標準方法	<ol style="list-style-type: none"> 1、進行全國性 PM_{2.5} 監測並公開資訊 2、將各地空氣品質分類，對未達標區域要求地方政府三年內制定計畫及具體措施減少微粒排放，以達到標準 3、聯邦環保署負責各區改善計畫審核、監督及落實推動
2、推動空氣污染區域防制	PM _{2.5} 具傳輸影響，美國聯邦環保署建立協調區域大氣污染防制工作機制，依據地理和社會經濟水準，將全美劃分成十個區域，設立區域辦公室，協助推動懸浮微粒污染防制
3、推動空氣污染物控制和低碳能源協同效應策略	<ol style="list-style-type: none"> 1、同時實施減少各種污染物排放政策 2、同步考量改變能源結構，供應清潔能源
4、強化交通運輸部門污染減排責任	<p>鑒於 PM_{2.5} 污染在都會區的改善急切性，對車輛尾氣排放管制極重要。針對美國城市交通特性規劃措施如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1、減少汽車使用量 2、提高油品品質、提高燃油效率、減少汽車尾氣排放 3、發展電動汽車以及混合動力汽車 4、發展公共交通等措施皆為重要策略

資料來源：蔡俊鴻、林鼎鈞、盧彥廷（2013），美國大氣細懸浮微粒管制策略簡析，環境工程會刊

3、美國加州

表7.1.5、美國加州PM_{2.5}管制策略（1/2）

管制策略	說明及作法
1、訂定嚴格空氣質量標準	加州空氣質量標準往往比聯邦政府還要嚴，其授權州和地區空氣品質管理機構以嚴格的法規和政策來改善空氣污染。
2、跨區域治理	空氣污染是跨界的，受地理環境、上下游關係的影響，一座城市無法獨立做好空氣污染治理，必須打破行政區域限制，建立跨區域的空氣質量管理機構，並給予強有力的行政執法和監管權利。利用空氣污染監測數據 24 小時網上發布，公眾隨時可查看。污染檢測數據的及時、公開的發布與公眾環保意識和參與程度，對排污企業構成強大壓力，可推動空氣污染的管制，增強監管機構的權威。
3、調整產業結構	洛杉磯將傳統製造業轉移到發展中國家，近年來，洛杉磯鼓勵新興產業如電子、通訊、軟件、生物技術、互聯網和多媒體產業，其逐步替代傳統機械制造、能源和化工產品生產，大量降低空氣污染物的排放量。
4、發展公共交通，減少汽車用量	汽車、港口船舶和貨物運輸是洛杉磯最大的空氣污染源。洛杉磯地區大力提倡公共交通，擴建區內輕軌系統和洛杉磯市地鐵系統，在高速公路上設立兩人以上車輛專用通道，並允許單人駕駛新能源汽車使用專用通道，在市區增設自行車車道；要求船舶進入洛杉磯港口后使用岸上電源，設立過境運輸車輛專用通道，淘汰高污染柴油車輛等
5、鼓勵清潔能源和可再生能源開發利用	美國環保署經針對發電站、汽車等小顆粒物排放源規範，其中包括對公共汽車和輕型卡車使用清潔能源，減少排，對柴油發動機執行多層次的廢氣排放標準，要求發動機生產商制造符合先進排放控制標準的產品，使廢氣排放減少 90%以上。洛杉磯地區要求使用天然氣代替燃油或燃煤發電，鼓勵使用風能、太陽能等能源使用，加強可再生能源和提高能源使用效率研發，制定減少溫室氣體和臭氧排放政策，提高建築節能標準，並提供購買新能源汽車和安裝太陽能設備家庭的補助等。

續表7.1.5、美國加州PM_{2.5}管制策略 (2/2)

管制策略	說明及作法
6、城市規劃提倡居家節能	做好城市規劃，增加主要交通干道、輕軌和地鐵沿線的住宅密度，控制郊區的無限制性擴展；鼓勵民眾在工作地點附近購房，縮減上下班的距離；大力發展節能住房，修建更加密閉的屋頂和窗戶；更新家用供暖系統，提倡使用節能燈，支持節能家電銷售等

資料來源：<http://scitech.people.com.cn/BIG5/n/2014/0303/c376843-24514288.html>

4、日本

日本東京都政府於 2002 年加強垃圾焚燒爐管制、2003 年治理柴油車、2005 年推動 VOC 的治理，近十年 PM_{2.5} 濃度減少 55%。目前主要空氣品質管理的重點在境外移入及移動源管理為主，PM_{2.5} 管制策略詳表 7.1.6 所列（林錫旗，2017）。

表7.1.6、日本PM_{2.5}管制策略及作法

管制策略	說明及作法
1、尋求國際合作	日本冬季受到來自亞洲大陸地區境外氣流影響，較靠近亞洲大陸的九州地區約 7 成空污來自境外，持續分析 PM _{2.5} 污染來源與境外移入狀況，並模擬分析污染移轉狀況，與國際交流合作。
2、管制移動污染源	境內產生的 PM _{2.5} 發生源雖尚無法正確掌握，官方將於 2020 年規範小型車排放濃度、結合加油站等業者加強宣導
3、管制固定污染源等	加強對大型排放源事業的聯繫合作，法令禁止露天焚燒，較無農廢燃燒問題，且因文化風俗不同，無因宗教活動引起空氣污染之情況

多數國家對 PM_{2.5} 與其前驅物的管制策略之思考重點有二：一、對原生性 PM_{2.5} 管制，如：有機碳、元素碳及金屬等應予直接減量；二、對衍生性 PM_{2.5} 前驅物 SO₂、NO_x、VOCs 與 NH₃ 等管制，則需掌握其對 PM_{2.5} 的貢獻度。統整世界各地對 PM_{2.5} 的減量管制作法，除美國東岸因工廠密度高、大型電廠林立，以管制工廠及電廠為主外，其他皆以管制交通為主：

1、美國

- (1) 東岸：工廠密度高且大型電廠林立。

管制做法：以電廠、石化廠等重工業的硫氧化物減量為主。

- (2) 西岸：人口密集，車輛活動頻繁及港口運輸活絡。

管制做法：以柴油車、飛機、大型船隻及長途火車等移動源的氮氧化物減量為主。

- (3) 加州聖華金河谷區 (San Joaquin Valley)：汽車和卡車排放約佔空氣中 PM_{2.5} 的一半，本地源 (木煙和灰塵) 則佔另一半。上述燃燒過程中，產生的 NO_x 是微粒污染的重要前驅物，因此重要課題是減少原生性 PM_{2.5} 和 NO_x 排放。

管制做法：

- i. 針對重型卡車排放的新法規，包括檢查和維護計劃，低 NO_x 發動機標準和使用低污染柴油。
- ii. 加強對家用燃木火爐和壁爐的控制，鼓勵使用更清潔的替代燃料。
- iii. 鼓勵購買更清潔的農業設備和商業非燃油加熱爐的獎勵措施。
- iv. 管制廢氣塔燃燒之 NO_x 排放，包括煉油廠，油田和垃圾填埋場，內燃機和鍋爐等的廢氣燃燒。

(資料來源：<https://ww2.arb.ca.gov/news/clean-air-plan-san-joaquin-valley-first-meet-all-federal-standards-fine-particle-pollution>)

2、新加坡

全國：PM_{2.5} 的一半來自柴油車排放。

管制做法：採行運輸控制策略。

- (1) 提高柴油車排放標準減少污染。
- (2) 限制車輛年增率 (擁車證制度)，控制長期的車輛數的增加，促使民眾選擇大眾運輸工具。
- (3) 對高耗能汽車徵收懲罰性稅賦，對購買混合動力車者，退40%汽車價格的稅給車主。

3、香港

全區：PM_{2.5} 主要來自車輛排放。

管制做法：採行運輸控制策略。

- (1) 政府提供資助，將柴油營業小客車及公共小巴士更換為石油氣車輛。
- (2) 長怠速重型柴油車輛（包括重逾四公噸，登記車身類型為機動式起重吊車、混凝土車、溝渠清潔車或壓縮缸車）必須安裝認可之減排器。

4、歐洲

- (1) 瑞典斯德哥爾摩市中心：PM_{2.5} 主要來自車輛排放。

管制做法：對市中心交通擁堵區的通行車輛，徵收交通擁堵稅，每天最高6歐元。

- (2) 英國倫敦市區（Zone1- Zone2）：PM_{2.5} 主要來自車輛排放。

管制做法：星期一至星期五7時至18時期間駕車進入須繳付「擁塞稅」（Congestion Charge，週末則免繳費），每日11.5英鎊。

三、PM₁ 成分

PM₁ 成分分析文獻可分為手動採樣法分析，或以在線性的連續自動監測儀器（Aerosol Chemical Speciation Monitor，簡稱 ACSM）監測，ACSM 的原理是讓粒徑約為 40 μ m~1000 μ m 的粒子彙聚成非常窄的粒子束，粒子束經過真空腔室到達檢測室後，非耐火性顆粒物化學組分（有機物、硫酸鹽、硝酸鹽、銨鹽和氯化物）在 600 $^{\circ}$ C 高溫條件下瞬間氣化，並通過 70 eV 的（鎢絲）發射電子進行離子化，產生的帶正電荷的碎片離子，隨後進入到分析儀進行非耐火性顆粒物化學成分的定性與定量。受到熱氣化溫度的限制，該設備無法對大氣中的非揮發性組分，如黑碳和沙塵等進行檢測。表 7.1.7 彙整關於 PM₁ 成分資料，可知多數地區以有機碳占比最高。表 7.1.8 為國內外次微米微粒（PM₁）化學組成占比彙整表，香港與捷克俄斯特拉發的優勢物種為含碳物質。

表7.1.7、國內外次微米微粒 (PM₁) 化學組成特徵

地點	研究說明	參考文獻
臺灣臺中 (大里)	PM ₁ 中有機碳含量 (19.8%~65.4%)，硫酸根含量 (17.8%~20.7%)，硝酸根 (3.0%~4.0%)，元素碳含量 (9.1%~30.5%)。	程萬里等人 (2020)
臺灣臺北 (新莊)	PM ₁ 以下氣膠中多以水溶性離子 SO ₄ ²⁻ 、NH ₄ ⁺ 、K ⁺ 等存在；PM ₁ 主要來源以交通和光化反應為主。碳成分除了裂解碳 (OP) 和扣除裂解碳的低溫元素碳 (EC1-OP) 外，其餘碳成分物種以 PM ₁ 為主。在高污染事件下期間主要的氣膠污染物都存在於小於 1 μm。	陳邦偉 (2005)
中國武漢	霧霾天 PM ₁ 中水溶性離子中約 92.5% 及 89.1% 屬於 SO ₄ ²⁻ 、NO ₃ ⁻ 及 NH ₄ ⁺ 三種成分。PM ₁ 中水溶性離子分析結果含量顯示 SO ₄ ²⁻ > NO ₃ ⁻ > NH ₄ ⁺ > Cl ⁻ > K ⁺ > Na ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺ (註：有機碳及元素碳未測)。	Cheng et al. (2014)
中國上海	中國上海 PM ₁ > 50 μg/m ³ ，成分顯示硫酸根占 26.0±10.8%，硝酸根 14.4±12.8%，銨根 13.7±4.6%，氯根 4.0±2.4% (註：有機碳、元素碳未測)。	Shi et al. (2014)
中國蘭州	PM ₁ 中以有機碳最高，次為硫酸根，再次為硝酸根。有機碳為硫酸根 2.7 倍，硝酸根的 3.3 倍。	Zhang et al. (2017)
印度 恰地斯加爾邦	PM ₁ 平均濃度為 64.7 μg/m ³ ，水溶性離子占 16.98%，SO ₄ ²⁻ > NO ₃ ⁻ > Cl ⁻ > NH ₄ ⁺ > Na ⁺ > K ⁺ > Ca ²⁺ > Mg ²⁺ (註：有機碳及元素碳未測)。	Deshmukh et al. (2011)
墨西哥 墨西哥城	乾冷季節 PM ₁ 中有機碳含量最高，硫酸根次之。	Salcedo et al. (2018)
愛爾蘭都柏林	都柏林污染嚴重，2016 年 12 月 PM ₁ 平均濃度 8.6 μg/m ³ ，範圍 <0.5 μg/m ³ ~146.8 μg/m ³ 。PM ₁ 中含碳氣溶膠 (有機氣溶膠 (OA) + 黑碳 (BC)) 佔總質量的 80%。	Lin et al. (2019)
愛爾蘭	黑碳 (BC) 是路邊位置 PM ₁ 的最主要成分 (44%~59%)，而有機氣溶膠 (OA) 是住宅區最重要的物種 (PM ₁ 的 43%~61%)，住宅區 OA 的較大貢獻來自烹飪和固體燃料的燃燒。	Lin et al. (2020)
捷克 俄斯特拉發 (拉德瓦尼斯)	PM ₁ 中 OC 佔 29.2%，EC 佔 6.2%，SO ₄ ²⁻ 佔 7.9%，NO ₃ ⁻ 佔 7.5% NH ₄ ⁺ 佔 5.0%，主要來源是工業。	Kozáková et al. (2018)

表7.1.8、國內外次微米微粒（PM₁）化學組成占比彙整表

地點 \ 項目	PM _{1.0}	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	OC	BC	參考文獻
中國香港	44	24.3%	4.3%	5.7%	21.8%	35.9%	Cheng et al. (2011)
中國西安	150	18.1%	9.1%	4.7%	24.5%	3.0%	Shen et al. (2009)
	127	14.9%	9.8%	5.7%	1.3%	/	Sheng et al. (2010)
中國廣州	524	2.2%	0.9%	0.6%	1.3%	1.0%	Taog et al. (2012)
中國北京	86	8.6%	12.8%	5.2%	24.6%	/	Shaog et al. (2018)
	78	19.9%	19.8%	14.3%	28.2%	6.1%	Zhang, et al. (2018)
臺灣高雄	68	21.0%	16.6%	11.6%	/	/	Lin & Li (2004)
印度坎普爾	123	8.9%	13.0%	10.7%	/	/	Guptag et al. (2013)
越南河內	30	21.1%	0.3%	7.4%	/	20.9%	Hien et al. (2021)
捷克俄斯特拉發	/	7.9%	7.5%	5.0%	29.2%	6.2%	Kozáková et al. (2018)

四、PM₁ 管制策略

原理上，小於 PM₁ 之微粒是影響能見度的真正原因。這些粒子是由幾個奈米慢慢核化集結長大懸浮在大氣中，使得大氣一片霧茫茫。至於這些 PM₁ 以下至奈米級的細小微粒一部分從柴油車、機車排放、露天燃燒等的直接排放，一部分為光化形成二次污染物而來。過去管制懸浮微粒主要在清掉大粒徑的 PM₁₀、PM_{2.5} 粒子，而小顆粒 PM₁ 甚至奈米級並未被有效控制與清除，其數目累積可能越來越多。PM₁ 管制策略需依據 PM₁ 的特點及形成原理有針對性地進行才具成效。

表 7.1.9 為蒐集之研究報告，在中國杭州 70% PM₁ 大多由二次衍生性物質（如硫酸鹽有機碳、硝酸鹽及二次有機碳）及車輛排放所貢獻，Yu et al. (2018) 在杭州舉辦 G20 高峰會議期間，於政府管制主要污染源排放時進行調查，發現燃煤電廠減少 50% 發電，可抑制 40%~58% 的 PM₁ 增長，PM₁ 減少 16±6.2μg/m³。研究指出，電廠減排期間粒子數並無減少，但粒子生長度減緩，意即氣體轉化成二次衍生性氣膠生長速度較慢；而減少 50% 交通與 100% VOC（煉油廠及化工廠）排放期間，PM₁ 並未明顯變化，故歸結管制燃煤電廠可抑制 PM₁ 產生。

表7.1.9、PM₁管制策略綜整說明

國家/區域	管制原因說明	參考文獻
臺灣臺北	<p>說明：</p> <p>以絕對主成分分析 PM₁ 主要的污染來源乃交通和光化反應為主。在碳成分方面，除了裂解碳（OP）和低溫元素碳（EC1-OP）以 PM_{2.5-1} 含量較多外，其餘碳成分物種以 PM₁ 為主。</p> <p>在高污染事件下氣膠監測特性探討，發現不論是 PM_{2.5} 高污染事件日、大陸沙塵前緣 PM_{2.5} 高濃度事件或大陸沙塵過後高壓迴流，主要氣膠污染物存在於小於 1 μm，顯示以 PM₁ 氣膠為主。</p> <p>管制作法：管制交通車輛污染。</p>	陳邦偉 (2005)
中國杭州	<p>說明：</p> <p>於舉辦 G20 高峰會管制期間進行實驗調查，發現管制燃煤電廠前後，減少 50% 發電，可抑制 40%~58% 的 PM₁ 增長，控制排放期間 PM₁ 減少 16±6.2 μg/m³，而交通及 VOC 排放管制前後 PM₁ 並未變化，可見管制燃煤電廠主要效益在抑制 PM₁ 產生。調查發現在電廠減排期間，粒子數並無減少，但粒子生長度減緩，意即氣體轉化成二次衍生性氣膠生長速度較慢。</p> <p>管制作法：管制燃煤電廠。</p>	Yu et al. (2018)
日本	<p>說明：</p> <p>煤種和反應溫度對 PM₁ 的形成影響極大，燃燒煙煤產生之 PM₁ 比無煙煤多，原煤中硫的含量是決定 PM₁ 產量關鍵因素之一，溫度升高也會產生更多的 PM₁。</p> <p>管制作法：管制燃煤電廠使用煤種與燃燒溫度控制。</p>	Zhang (2006)
中國西安	<p>說明：</p> <p>平均 PM₁ 為 149.7 μg/m³，水溶性離子占 PM₁ 質量的 46%，含碳氣溶膠占 PM₁ 質量的 27.5%，燃煤和汽油車尾氣、柴油車尾氣和生質燃燒是含碳氣溶膠主要貢獻源。</p> <p>管制作法：管制燃煤電廠、交通車輛、生質燃燒。</p>	Shen et al. (2009)
越南河內	<p>說明：</p> <p>PM₁ 主要來自燃煤飛灰以及車輛排放。</p> <p>管制作法：管制燃煤電廠飛灰、交通車輛。</p>	Hien et al. (2021)

五、差異分析及建議

綜整上述（一）～（四）特徵，管制 PM_{2.5} 與管制 PM₁₀ 之措施大部分相似，依據各國發表之文獻，PM₁₀ 相關貢獻源主要在電廠及交通，據此，建議本市應以電廠及交通排放減量為管制要務。

7.2、過去三年各縣市微粒監測結果

一、PM_{2.5}

有關 PM_{2.5} 熱區，多數縣市採用環保署監測資料，並未另行採樣分析，表 7.2.1 彙整近年縣市專案研究報告共三個，分別為南投縣、臺中市及金門縣；竹山鎮為南投縣 PM_{2.5} 熱區，高污染特性與地理位置易受鄰近縣市污染傳入有關。臺中市 PM_{2.5} 熱區為南屯區，金門縣主要受境外傳輸影響，微弱西南風向時易出現 PM_{2.5} 高值

表7.2.1、彙整近3年各縣市及本市PM_{2.5}監測地點及結果

縣市	監測結果及分析	參考文獻
南投縣	PM _{2.5} 熱區為竹山鎮，高污染特性與地理位置易受鄰近縣市污染傳入有關。竹山 PM _{2.5} 事件日之逆軌跡分析指出，當風向吹向內陸時，臺中電力業貢獻程度為 0.00%~7.08%。 整體而言，交通排放為各鄉鎮 PM _{2.5} 的主要來源，污染貢獻介於 12.6%~45.4%；硫酸銨及硝酸銨等二次衍生性污染物則介於 16.3%~32.0%及 14.0%~29.8%。	國立中興大學 (2020)
臺中市	PM _{2.5} 熱區主要在南屯區（忠明站），冬季 NO ₃ 占比為 23%，是冬季主要成分；春、夏、秋季都以 OC 為主要化學成分，濃度占比分別 22%、28%與 25%。與過去三年度比對，各季節主要成分由 SO ₄ ²⁻ 分別轉變為 NO ₃ 與 OC，冬季成分轉變可能是 2020 年高濃度的在地污染事件所致，其餘季節的變化歸因於 SO ₄ ²⁻ 濃度減少。	李崇德等 (2020)
金門縣	PM _{2.5} 高濃度主要發生在低風速時，來自西南西方，為本縣（電廠或航道船舶影響）抑或中國沿岸地區的貢獻比例則尚待釐清。	祥威環境科技公司 (2019)

二、PM₁

全臺縣市中僅臺中市進行環境中 PM₁ 質量濃度及成分監測，而環保署則是針對交通道路監測 PM₁ 質量濃度（無成分分析），107 年起環保署以行動站在各縣市巡迴監測，本節彙整該資料供參，目前已有嘉義縣市與臺南縣市監測結果，詳表 7.2.2 與表 7.2.3。

嘉義縣市 107 年 10 月~12 月 PM₁ 濃度平均 27.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，熱區為嘉義市北港路；臺南縣市 2 月~11 月 PM₁ 濃度平均 14.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，春季（2 月~4 月）PM₁ 濃度最高，夏季（6 月~8 月）最低，熱區是新營區民生路一帶。

表 7.2.4 為臺中市 108 年夏季到秋季 PM₁ 質量及成分析結果，PM₁ 平均濃度 17.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中以硫酸根含量最高，次為有機碳。

表7.2.2、107年嘉義縣市交通道路旁PM₁監測結果

測點		時間	107 年			10 月~12 月 月平均
			10 月	11 月	12 月	
嘉義 縣市	嘉義市垂楊路（嘉義女中）		31	31	23	28.4
	嘉義市北港路（中華電信）		33	33	28	31.4
	竹崎鄉鹿鳴路（鹿滿國小）		28	26	24	26.3
	太保市高鐵大道（2.5K）		27	26	25	25.7
	水上鄉中山路二段（水上派出所）		26	25	20	23.6
	中埔鄉金蘭村（客家文化園區）		28	26	26	26.8
月平均			28.7	27.9	24.5	27.0

單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

資料來源：行政院環保署空氣品質監測網

表7.2.3、108年臺南縣市交通道路旁PM₁監測結果

測點		時間	108 年									2 月~11 月 月平均	
			2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月		11 月
臺 南 縣 市	新營區民治路		25	25	21	17	7	7	9	15	19	17	16.2
	北區公園路		22	24	21	16	6	5	7	12	17	17	14.7
	新市區中興路		23	24	23	16	6	6	7	10	18	16	14.7
	東區林森路(衛生局)		22	22	16	13	6	5	7	12	18	17	13.7
月平均			22.9	23.9	20.1	15.4	5.9	5.8	7.5	12.3	17.9	16.7	14.8

單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

資料來源：行政院環保署空氣品質監測網

表7.2.4、108年臺中市大氣PM₁質量濃度及組成分析結果單位：μg/m³

測點	日期	成分					
		PM ₁	硝酸根	硫酸根	銨根	元素碳	有機碳
臺中市大里區 大里區公所	108/07/11	7	0.20	1.90	0.57	0.96	2.81
	108/07/14	11	0.26	3.70	1.29	0.75	3.55
	108/07/17	30	0.43	8.45	3.06	2.09	7.31
	108/07/20	4	0.00	1.54	0.48	0.43	1.91
	108/07/23	7	0.02	1.34	0.58	0.24	1.43
	108/07/26	8	0.00	2.56	0.80	0.17	1.36
	108/08/01	10	1.80	2.55	1.03	1.46	2.66
	108/09/03	22	1.18	7.18	2.85	2.15	3.49
	108/09/06	10	0.27	2.47	0.77	1.31	2.84
	108/09/12	30	0.58	9.75	3.73	3.04	5.55
	108/09/18	8	0.65	3.69	1.21	0.79	1.71
	108/09/21	9	0.04	2.74	0.99	0.21	1.92
	108/09/24	17	0.07	4.25	1.80	0.41	2.36
	108/09/27	15	0.12	3.45	1.06	0.83	3.04
	108/10/03	38	4.16	14.88	4.81	1.07	4.69
	108/10/27	20	0.26	7.13	1.94	4.78	1.89
	108/10/30	13	0.48	3.56	1.23	1.68	3.46
	108/11/02	12	0.42	2.73	0.91	1.85	3.24
	108/11/05	8	0.33	3.01	0.94	0.96	1.75
	108/11/14	23	0.74	6.20	2.31	2.73	5.60
	108/11/17	25	1.28	4.42	1.82	3.06	5.98
108/11/26	10	0.19	2.01	0.66	1.60	3.32	
平均值		17.3	0.7	5.2	1.8	1.8	3.4
標準差		9.1	0.9	3.3	1.1	1.1	1.6

資料來源：108 年臺中市重點污染源對能見度之影響評估計畫

第八章 研析發現

一、本市PM_{2.5}成分變化與前驅物減量分析

本市大里 PM_{2.5} 成分監測站統計結果如表 8.1，可知 105 年~108 年間 PM_{2.5} 減少 5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，此量為原生性 PM_{2.5} 及衍生性 PM_{2.5} 減量總和。比對表 8.2，本市原生性 PM_{2.5} 減量 2,786 公噸，衍生性 PM_{2.5} 的前驅物 NO_x 減量 18,592 公噸，SO₂ 減量 10,914 公噸，THC 減量 4,775 公噸，可見這三年管制措施已具成效。

以成分而言，硝酸根 (NO₃⁻) 成分改善最多 (2.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，NO_x 減量也最大，但硫酸根減量 (10,914 公噸) 不少，硫酸根 (SO₄²⁻) 改善卻較少，有機碳 (OC) 改善不低 (1.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，但減量噸數卻遠低於 SO_x 與 NO_x，因為 PM_{2.5} 成因複雜，不僅與污染物排放量有關，排放高度、排放特性、轉化效率及氣象條件皆有關連，並非線性關係所能表述。

表8.1、近年臺中市大里站手動PM_{2.5}濃度與成分變化

項目 \ 年度	105 年	106 年	107 年	108 年	105 年-108 年 (改善量)
樣品數 (N)	56	21	16	16	
手動 PM _{2.5} 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23.21	20.03	22.56	17.81	5.40
NO ₃ 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2.72	1.08	1.99	0.62	2.10
SO ₄ ²⁻ 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4.48	4.99	5.62	3.73	0.75
NH ₄ ⁺ 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2.01	1.67	2.20	1.07	0.94
OC 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6.07	5.03	4.91	4.23	1.84
EC 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.43	1.16	1.3	1.61	-0.18

在 105 年至 108 年期間，空氣污染物管制對策中，有助大量 PM_{2.5}、SO_x、NO_x 及 VOC 減量措施陸續推動；固定源方面有管制生煤自治條例推動、臺中市電力設施加嚴標準、臺中市鋼鐵業加嚴標準及固定污染源許可審查指定削減廠家實施；移動污染源方面則主要是老舊車輛汰換。

表8.2、臺中市TEDS污染物減量表

單位：公噸/年

年份	105 年				108 年				105 年-108 年			
	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	THC	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	THC	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	THC
工業	2,756	19,390	27,975	25,337	1,482	11,196	14,971	21,566	1,273	8,194	13,003	3,771
車輛	2,003	18	21,520	14,134	1,739	14	17,155	12,511	263	4	4,364	1,623
非公路運輸	276	3,460	2,573	110	144	956	1,743	132	132	2,503	831	-22
商業	287	287	473	22,666	131	160	283	24,294	156	126	190	-1,628
營建/道路揚塵	2,026	0	0	4,830	1,284	0	0	3,971	743	0	0	859
露天燃燒	288	78	251	12	20	1	14	19	268	77	237	-7
其他	77	125	1,122	4,416	126	116	1,135	4,236	-49	9	-14	180
總排放量	7,713	23,357	53,894	71,504	4,927	12,444	35,302	66,729	2,786	10,914	18,592	4,775

資料來源：TEDS10.1 與 TEDS11.0

二、本市PM₁監測比較

彙整本市 PM₁ 採樣結果如表 8.3 所示，可知 PM₁ 中以硫酸根和有機碳為優勢物種，圖 8.1 為占比，硝酸根占比相對最低。因採樣時程、採樣地點有所不同，難以進一步分析。

表 8.3、近 3 年臺中市手動 PM₁ 濃度與成分統計表

項目	年度 (採樣月份)	108 年 (7 月~11 月)	109 年 (4 月、7 月~11 月)	110 年 (4 月~11 月)
	樣品數 (N)		26	42
採樣地點		大里		龍井
手動 PM ₁ 濃度 (μg/m ³)		14.43	10.43	9.48
NO ₃ 濃度 (μg/m ³)		0.60	0.72	0.23
SO ₄ ²⁻ 濃度 (μg/m ³)		4.23	1.84	2.23
NH ₄ ⁺ 濃度 (μg/m ³)		1.48	0.79	0.83
OC 濃度 (μg/m ³)		3.29	3.50	1.80
EC 濃度 (μg/m ³)		1.28	1.57	0.82

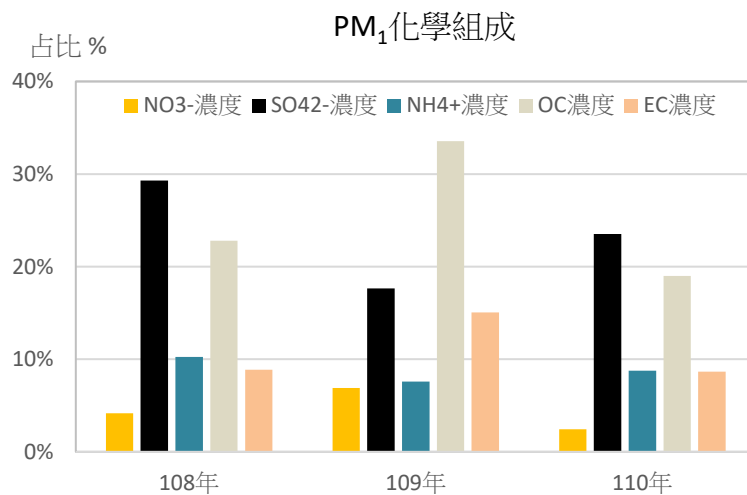


圖8.1、近三年PM₁化學成分占比分析

三、龍井大氣消光特性調查

1. 本年度調查臺中市海區龍井大氣能見度，數據顯示，消光係數（散光係數+消光係數）多介於 $3 \text{ Mm}^{-1} \sim 115 \text{ Mm}^{-1}$ 間，造成能見度差（消光係數高）主要以散光效應為主，平均而言，散光貢獻占 69%，吸光貢獻占 31%。
2. 龍井站粒徑大小與消光性結果顯示，粒徑 $0.3 \mu\text{m} \sim 0.4 \mu\text{m}$ 粒子數是影響能見度的最大區間，減少粒徑 $0.3 \mu\text{m} \sim 0.4 \mu\text{m}$ 粒子數可以提高能見度改善效率。控制原生性微粒粒徑 $1 \mu\text{m}$ 微粒生成，可以將管制電廠列為首要，管制原生性更小顆粒應該則應以交通或 VOC 工廠為主。
3. 消光特性與 PM_{10} 化學成分分析顯示，物種中以硝酸根之散光效率最高 $15.8 \text{ m}^2/\text{g}$ ，其次為硫酸根 $4.6 \text{ m}^2/\text{g}$ ，有機碳為 $4.2 \text{ m}^2/\text{g}$ ，因此，抑制硝酸根的增長有助於能見度的提升。

第九章 結論與建議

9.1、結論

一、管道PM_{2.5}採樣分析

1. 后里垃圾焚化爐及祥祐資源排放管道PM_{2.5}檢測FPM為0.60 mg/Nm³、2.06 mg/Nm³，CPM為1.50 mg/Nm³、18.1 mg/Nm³，管道總PM_{2.5}為2.10 mg/Nm³、20.16 mg/Nm³，后里焚化爐與其他焚化爐檢測結果比較，濃度並未較高，由歷年資料可知CPM變異相對大。后里焚化爐FPM成分析結果以氯離子占比最高，此與塑膠垃圾有關，而祥祐資源以硫酸根占比最高，查其廢溶劑來源為半導體晶圓廠，具含硫物質。
2. 與歷史數據比較，后里焚化爐及烏日焚化爐FPM金屬成分占比以鐵（Fe）1.08%及7.65%、鋅（Zn）0.60%及3.77%占比較高，文山焚化爐之FPM化金屬成分占比以鎘（Cd）8.54%、鐵（Fe）2.46%較高。
3. 電弧爐以廢鋼為原料，用來熔解廢鋼、冶煉鋼鐵的設備。本市電弧爐排放管道PM_{2.5}檢測結果如表3.2.3，FPM介於0.06 mg/Nm³~1.23 mg/Nm³，CPM介於0.09 mg/Nm³~2.00 mg/Nm³，管道總PM_{2.5}介於0.43 mg/Nm³~2.94 mg/Nm³。變異程度大，與進料品質、操作條件、防制設備……等不同有關。
4. 電弧爐FPM化學成分以鐵（Fe）跟鋅（Zn）占比較高，此受廢鋼中以鍍鋅鋼板類為最大宗原料來源有關。以重金屬管制標準而言，FPM中所含鎘（Cd）、鉛（Pb）、砷（As）濃度皆低於管制標準。
5. 彙整豐興鋼鐵及中龍鋼鐵電弧爐歷年FPM檢測結果，本次濃度未超過歷史高值，介於歷年最高及最低範圍內，濃度與成分變異大的主因，與廢鐵來源複雜，加上每批次進料需依照客戶需求調整有關。

二、微粒粒徑、成分調查與管制

1. 臺中市海區龍井微粒監測結果統計，消光係數介於3 Mm⁻¹~115Mm⁻¹間，平均而言，散光貢獻占69%，吸光貢獻占31%。依季節變化統計消光係數為春季最高（46.87 Mm⁻¹），代表能見度再春季較差；消光中的散光及吸光占比，散光係數於春季時較高（39.70 Mm⁻¹），次為秋季，夏季散光係數最低，能見度相對較好。吸光係數則在秋季時最高（13.50 Mm⁻¹），為其他季節的2倍。

2. 消光係數與顆粒數之日變化，可知為單峰型態，峰值在上午發生，消光效應強，顆粒數亦有上升趨勢，此與日間污染源較多及陽光所催化的二次微粒生成，在數目濃度上遠大於夜間的濃度，因此，相對地能見度是一日當中最差的時段。
3. 以實際量測的散光係數與 PM_{10} 化學成分建立多元線性迴歸式，各化學物種中以硝酸根之散光效率最高 $15.8 \text{ m}^2/\text{g}$ ，其次為硫酸根 $4.6 \text{ m}^2/\text{g}$ ，有機碳為 $4.2 \text{ m}^2/\text{g}$ 。

三、應用數位影像技術解析能見度

1. 本章是以攝影機擷取影像換算能見度公里數，以每天中午能見度情況統計，可知北屯站能見度最差，能見度大於 20 km 的機率約 13.6%，其次為弘光站 32.8%，烏日站能見度最佳，能見度大於 20 km 的機率約 56.6%。北屯站及弘光站影像亮度差值與能見度呈現線性相關，而烏日站則呈現指數相關。
2. 參考美國亞利桑那州能見度分階類別，分析每日三個時段能見度平均結果，可以看出北屯站及弘光站以「差」等級居多，出現機率分別為 41.3% 及 27.7%，烏日站以「普通」等級機率最高 29.3%。「良好」等級以上出現機率以弘光最高，為 33.3%，北屯最低 11.6%
3. 為瞭解海區霧、霾、靄發生情況，以台電龍井空品站及環保署沙鹿空品站資料分類，在 4/15 日～11/30 日間，分析顯示海區多屬於靄情況，「霾」及「霧霾」發生頻率低。

四、每日空品預報及播送

1. 本計畫每月 $AQI=101\sim150$ 以上的預報準確率介於 82%~94%，每月 $AQI>150$ 預報準確率介於 88%~96%。
2. 臺中市提供分區空品預報短片，臺中市政府 LINE 截至 2021 年 11 月 30 日點擊瀏覽次數達 416,793 次。空氣品質惡化事件提供圖卡，共計 26 次。
3. 有關 110 年 9 月開始之臺中空品報報 LINE 營運，已完成帳號申請、大頭貼樣式及內容規劃，目前已將臺中市政府官方 LINE 之「空品報報」連結換為「臺中空品報報」進行導流，每週分享空品相關知識或政策，不定時發布即時空品變化，好友人數持續增加中。

9.2、建議

1. 祥祐資源主要是燃燒廢溶劑，無論 FPM 或 CPM 的排放濃度皆較一般垃圾焚化爐高（后里焚化爐、烏日焚化爐、文山焚化爐），建議未來應持續關注。
2. PM₁ 中硫酸鹽、硝酸鹽及有機碳占比最高，是消光的主要三大物種，對臺中市而言，硝酸鹽對能見度影響效應最大，而多數硝酸鹽屬於二次污染物，前驅物為氮氧化物（NO_x），因此欲有效快速地改善能見度，管制應以減少工業及交通氮氧化物的排放為主。有效管制措施包含：1.使用低氮燃燒器，調控空氣與燃料配比使燃燒達最佳化，抑制鍋爐 NO_x 產生；2.使用廢氣脫硝防制設備；3.開發綠能；4.推廣電動車。下表為具體減量策略之建議。

管制措施	減量策略
1. 使用低氮燃燒器	2 噸規模以上鍋爐加裝低氮燒器。
2. 使用廢氣脫硝防制設備	5 年內有 NO _x 排煙管道之工廠皆須加裝脫硝防治設備。
3. 開發綠能	以折抵空污費方式，鼓勵工廠使用一定比例的綠能。
4. 推廣電動車	3 年內將公務車輛全數更換為電動車，以補助及獎勵誘因加速民眾使用電動汽機車，訂定每年電動車 5~10% 成長率為推動目標。

3. 龍井站粒徑大小與消光性結果顯示，粒徑 0.3 μ m~0.4 μ m 粒子數是影響臺中能見度的最大區間，減少粒徑 0.3 μ m~0.4 μ m 粒子數可以提高能見度改善效率。
4. 由蒐集的文獻中可知，控制原生性微粒粒徑 1 μ m 微粒以下粒子的生成，可以將管制電廠列為首要，管制更小原生性顆粒，應以交通或 VOC 工廠為主。

參考文獻

1. Andreae, M. O., Schmid, O., Yang, H., Chand, D., Zhen Yu, J., Zeng, L.-M., & Zhang, Y.-H. (2008). Optical properties and chemical composition of the atmospheric aerosol in urban Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*, *42*(25), 6335-6350.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.01.030>
2. Atkinson, R. W., Mills, I. C., Walton, H. A., & Anderson, H. R. (2015). Fine particle components and health—a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, *25*(2), 208-214. <https://doi.org/10.1038/jes.2014.63>
3. Babari, R., Hautière, N., Dumont, É., Paparoditis, N., & Misener, J. (2012). Visibility monitoring using conventional roadside cameras - Emerging applications. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *22*, 17-28.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.11.012>
4. Buhr, M., Cummins, P. (1998). Development of an Observation Based Model for Assessment of the Effect of Pollutant Control Strategies on Visibility in the Denver Region. *Visual Air Quality: Aerosols and Global Radiation Balance*, 570-581.
5. Cabada, J. C., Rees, S., Takahama, S., Khlystov, A., Pandis, S. N., Davidson, C. I., & Robinson, A. L. (2004). Mass size distributions and size resolved chemical composition of fine particulate matter at the Pittsburgh supersite. *Atmospheric Environment*, *38*(20), 3127-3141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.004>
6. Cao, J.-J., Shen, Z.-X., Chow, J. C., Watson, J. G., Lee, S.-C., Tie, X.-X., Ho, K.-F., Wang, G.-H., & Han, Y.-M. (2012). Winter and Summer PM_{2.5} Chemical Compositions in Fourteen Chinese Cities. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *62*(10), 1214-1226. <https://doi.org/10.1080/10962247.2012.701193>
7. Cao, J.-j., Wang, Q.-y., Chow, J. C., Watson, J. G., Tie, X.-x., Shen, Z.-x., Wang, P., & An, Z.-s. (2012). Impacts of aerosol compositions on visibility impairment in Xi'an, China. *Atmospheric Environment*, *59*, 559-566.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.036>
8. Cass, G. R. (1979). On the relationship between sulfate air quality and visibility with examples in Los Angeles. *Atmospheric Environment (1967)*, *13*(8), 1069-1084.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981\(79\)90031-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981(79)90031-3)
9. Chan, C.-C., Chuang, K. J., Su, T.-C., & Lin, L.-Y. (2006). Association between nitrogen

- dioxide and heart rate variability in a susceptible population. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation : official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 12, 580-586.
<https://doi.org/10.1097/01.hjr.0000185975.44265.2e>
10. Chan, Y. C., Simpson, R. W., McTainsh, G. H., Vowles, P. D., Cohen, D. D., & Bailey, G. M. (1999). Source apportionment of visibility degradation problems in Brisbane (Australia) using the multiple linear regression techniques. *Atmospheric Environment*, 33(19), 3237-3250. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00091-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00091-6)
 11. Charron, A., & Harrison, R. M. (2003). Primary particle formation from vehicle emissions during exhaust dilution in the roadside atmosphere. *Atmospheric Environment*, 37(29), 4109-4119. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00510-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00510-7)
 12. Chen, S.-J., Liao, S.-H., Jian, W.-J., & Chiu, S.-C. (1996). *Characteristics of Organic and Elemental Carbon in the Ambient Air of Traffic-Intersection*. Proceedings of 1996 International Conference on Aerosol Science and Technology, Taipei, Taiwan.
 13. Cheng, H., Gong, W., Wang, Z., Zhang, F., Wang, X., Lv, X., Liu, J., Fu, X., & Zhang, G. (2014). Ionic composition of submicron particles (PM_{1.0}) during the long-lasting haze period in January 2013 in Wuhan, central China. *Journal of Environmental Sciences*, 26(4), 810-817. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60503-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60503-3)
 14. Cheng, M. T., & Tsai, Y. I. (2000). Characterization of visibility and atmospheric aerosols in urban, suburban, and remote areas. *Science of The Total Environment*, 263(1), 101-114. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00670-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00670-7)
 15. Cheng, Y., Zou, S. C., Lee, S. C., Chow, J. C., Ho, K. F., Watson, J. G., Han, Y. M., Zhang, R. J., Zhang, F., Yau, P. S., Huang, Y., Bai, Y., & Wu, W. J. (2011). Characteristics and source apportionment of PM₁ emissions at a roadside station. *Journal of Hazardous Materials*, 195, 82-91. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.005>
 16. Chow, J. C., Watson, J. G., Houck, J. E., Pritchett, L. C., Fred Rogers, C., Frazier, C. A., Egami, R. T., & Ball, B. M. (1994). A laboratory resuspension chamber to measure fugitive dust size distributions and chemical compositions. *Atmospheric Environment*, 28(21), 3463-3481. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)90005-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)90005-1)
 17. Chuang, K. J., Chan, C.-C., Chen, N.-T., Su, T.-C., & Lin, L.-Y. (2006). Effects of Particle Size Fractions on Reducing Heart Rate Variability in Cardiac and Hypertensive Patients. *Environmental health perspectives*, 113, 1693-1697.

- <https://doi.org/10.1289/ehp.8145>
18. Chuang, K. J., Chan, C.-C., Guang Ming, S., & Su, T.-C. (2005). Associations Between Submicrometer Particles Exposures and Blood Pressure and Heart Rate in Patients With Lung Function Impairments. *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*, 47, 1093-1098. <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000181749.03652.f9>
 19. Chuang, K. J., Chan, C.-C., Su, T.-C., Lee, C.-T., & Tang, C. (2007). The Effect of Urban Air Pollution on Inflammation, Oxidative Stress, Coagulation, and Autonomic Dysfunction in Young Adults. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 176, 370-376. <https://doi.org/10.1164/rccm.200611-1627OC>
 20. *Clean-air plan for San Joaquin Valley first to meet all federal standards for fine particle pollution* (2019, January 24). Retrieved from <https://ww2.arb.ca.gov/news/clean-air-plan-san-joaquin-valley-first-meet-all-federal-standards-fine-particle-pollution>
 21. Deng, X., Tie, X., Wu, D., Zhou, X., Bi, X., Tan, H., Li, F., & Jiang, C. (2008). Long-term trend of visibility and its characterizations in the Pearl River Delta (PRD) region, China. *Atmospheric Environment*, 42(7), 1424-1435. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.11.025>
 22. Deshmukh, D. K., Deb, M. K., Tsai, Y. I., & Mkoma, S. L. (2011). Water Soluble Ions in PM_{2.5} and PM₁ Aerosols in Durg City, Chhattisgarh, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 11(6), 696-708. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.03.0023>
 23. Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G., & Speizer, F. E. (1993). An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *New England Journal of Medicine*, 329(24), 1753-1759. <https://doi.org/10.1056/nejm199312093292401>
 24. Eidels-Dubovoi, S. (2002). Aerosol impacts on visible light extinction in the atmosphere of Mexico City. *Science of The Total Environment*, 287(3), 213-220. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00983-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00983-4)
 25. Farber, R. J., Welsing, P. R., & Rozzi, C. (1994). PM₁₀ and ozone control strategy to improve visibility in the Los Angeles basin. *Atmospheric Environment*, 28(20), 3277-3283. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00160-M](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00160-M)
 26. Friedlander, S. (2000). *Smoke, Dust, and Haze: Fundamentals of Aerosol Dynamics*. Oxford University Press.
 27. Glavas, S. D., Nikolakis, P., Ambatzoglou, D., & Mihalopoulos, N. (2008). Factors

- affecting the seasonal variation of mass and ionic composition of PM_{2.5} at a central Mediterranean coastal site. *Atmospheric Environment*, 42(21), 5365-5373.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.055>
28. Graves, N., & Newsam, S. (2014). Camera-based visibility estimation: Incorporating multiple regions and unlabeled observations. *Ecological Informatics*, 23, 62-68.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.08.005>
29. Groblicki, P. J., Wolff, G. T., & Countess, R. J. (1981). Visibility-reducing species in the denver “brown cloud” -I. Relationships between extinction and chemical composition. *Atmospheric Environment (1967)*, 15(12), 2473-2484.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981\(81\)90063-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981(81)90063-9)
30. Gupta, T., & Mandariya, A. (2013). Sources of submicron aerosol during fog-dominated wintertime at Kanpur. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(8), 5615-5629.
<https://doi.org/10.1007/s11356-013-1580-6>
31. Han, J. S., Moon, K. J., Lee, S. J., Kim, Y. J., Ryu, S. Y., Cliff, S. S., & Yi, S. M. (2006). Size-resolved source apportionment of ambient particles by positive matrix factorization at Gosan background site in East Asia. *Atmos. Chem. Phys.*, 6(1), 211-223.
<https://doi.org/10.5194/acp-6-211-2006>
32. Heo, J. B., Hopke, P. K., & Yi, S. M. (2009). Source apportionment of PM_{2.5} in Seoul, Korea. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(14), 4957-4971.
<https://doi.org/10.5194/acp-9-4957-2009>
33. Hien, P. D., Bac, V. T., Thinh, N. T. H., Anh, H. L., Thang, D. D., & Nghia, N. T. (2021). A Comparison Study of Chemical Compositions and Sources of PM_{1.0} and PM_{2.5} in Hanoi. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(10), 210056.
<https://doi.org/10.4209/aaqr.210056>
34. Hwang, I., & Hopke, P. K. (2007). Estimation of source apportionment and potential source locations of PM_{2.5} at a west coastal IMPROVE site. *Atmospheric Environment*, 41(3), 506-518. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.08.043>
35. Jaoui, M., Lewandowski, M., Kleindienst, T. E., Offenber, J. H., & Edney, E. O. (2007). β -caryophyllinic acid: An atmospheric tracer for β -caryophyllene secondary organic aerosol. *Geophysical Research Letters*, 34(5). <https://doi.org/10.1029/2006GL028827>
36. Jin, S., Kim, W., & Jeong, J. (2008). Fine directional de-interlacing algorithm using modified Sobel operation. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(2), 587-862.
<https://doi.org/10.1109/TCE.2008.4560171>

-
37. John, W., Wall, S. M., Ondo, J. L., & Winklmayr, W. (1990). Modes in the size distributions of atmospheric inorganic aerosol. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 24(9), 2349-2359. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(90\)90327-J](https://doi.org/10.1016/0960-1686(90)90327-J)
38. Jung, J., Lee, H., Kim, Y. J., Liu, X., Zhang, Y., Gu, J., & Fan, S. (2009). Aerosol chemistry and the effect of aerosol water content on visibility impairment and radiative forcing in Guangzhou during the 2006 Pearl River Delta campaign. *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3231-3244.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.021>
39. Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151(2), 362-367. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>
40. Kang, H., Zhu, B., Su, J., Wang, H., Zhang, Q., & Wang, F. (2013). Analysis of a long-lasting haze episode in Nanjing, China. *Atmospheric Research*, s 120 – 121, 78 – 87. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.08.004>
41. Khan, M. F., Hirano, K., & Masunaga, S. (2010). Quantifying the sources of hazardous elements of suspended particulate matter aerosol collected in Yokohama, Japan. *Atmospheric Environment*, 44(21), 2646-2657.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.03.040>
42. Kim, H.-S., Huh, J.-B., Hopke, P. K., Holsen, T. M., & Yi, S.-M. (2007). Characteristics of the major chemical constituents of PM_{2.5} and smog events in Seoul, Korea in 2003 and 2004. *Atmospheric Environment*, 41(32), 6762-6770.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.04.060>
43. Kim, K. (2018). The comparison of visibility measurement between image-based visual range, human eye-based visual range, and meteorological optical range. *Atmospheric Environment*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.07.020>
44. Kong, L., Xin, J., Gao, W., Tang, G., Wang, X., Wang, Y., Zhang, W., Chen, W., & Jia, S. (2021). A comprehensive evaluation of aerosol extinction apportionment in Beijing using a high-resolution time-of-flight aerosol mass spectrometer. *Science of The Total Environment*, 783, 146976.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146976>
45. Kozáková, J., Pokorná, P., Vodička, P., Ondráčková, L., Ondráček, J., Křůmal, K., Mikuška, P., Hovorka, J., Moravec, P., & Schwarz, J. (2019). The influence of local emissions and regional air pollution transport on a European air pollution hot spot. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2), 1675-1692. <https://doi.org/10.1007/s11356-018->
-

3670-y

46. Kuang, B. Y., Lin, P., Huang, X. H. H., & Yu, J. Z. (2015). Sources of humic-like substances in the Pearl River Delta, China: positive matrix factorization analysis of PM_{2.5} major components and source markers. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(4), 1995-2008. <https://doi.org/10.5194/acp-15-1995-2015>
47. Lanzaco, B. L., Olcese, L. E., Querol, X., & Toselli, B. M. (2017). Analysis of PM_{2.5} in Córdoba, Argentina under the effects of the El Niño Southern Oscillation. *Atmospheric Environment*, 171, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.10.001>
48. Lee, C. G., Yuan, C. S., Chang, J. C., & Yuan, C. (2005). Effects of aerosol species on atmospheric visibility in Kaohsiung City, Taiwan. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 55(7), 1031 – 1041. <https://doi.org/10.1080/10473289.2005.10464683>
49. Lee, C.-T., Hsu, W.-C., Lin, N.-H. (1995). *The chemical contents and source apportionment of Taichung aerosols*. 1995 International Conference on Aerosol Science and Technology, Taipei, Taiwan.
50. Lee, E., Chan, C. K., & Paatero, P. (1999). Application of positive matrix factorization in source apportionment of particulate pollutants in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 33(19), 3201-3212. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00113-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00113-2)
51. Lee, P. K. H., Brook, J. R., Dabek-Zlotorzynska, E., & Mabury, S. A. (2003). Identification of the Major Sources Contributing to PM_{2.5} Observed in Toronto. *Environmental Science & Technology*, 37(21), 4831-4840. <https://doi.org/10.1021/es026473i>
52. Liaw, J.-J., Huang, Y.-F., Hsieh, C.-H., Lin, D.-C., & Luo, C.-H. (2020). PM_{2.5} Concentration Estimation Based on Image Processing Schemes and Simple Linear Regression. *Sensors*, 20(8), 2423. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/8/2423>
53. Lin, C., Ceburnis, D., Huang, R. J., Xu, W., Spohn, T., Martin, D., Buckley, P., Wenger, J., Hellebust, S., Rinaldi, M., Facchini, M. C., O'Dowd, C., & Ovadnevaite, J. (2019). Wintertime aerosol dominated by solid-fuel-burning emissions across Ireland: insight into the spatial and chemical variation in submicron aerosol. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(22), 14091-14106. <https://doi.org/10.5194/acp-19-14091-2019>
54. Lin, C., Ceburnis, D., Xu, W., Heffernan, E., Hellebust, S., Gallagher, J., Huang, R. J., O'Dowd, C., & Ovadnevaite, J. (2020). The impact of traffic on air quality in Ireland:

- insights from the simultaneous kerbside and suburban monitoring of submicron aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(17), 10513-10529. <https://doi.org/10.5194/acp-20-10513-2020>
55. Lin, J. J. (2002). Characterization of the major chemical species in PM_{2.5} in the Kaohsiung City, Taiwan. *Atmospheric Environment*, 36(12), 1911-1920. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00193-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00193-0)
56. Lin, J. J., & Lee, L.-C. (2004). Characterization of the concentration and distribution of urban submicron (PM₁) aerosol particles. *Atmospheric Environment*, 38(3), 469-475. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.09.056>
57. Lin, Y. C., Tsai, C. J., Wu, Y. C., Zhang, R., Chi, K. H., Huang, Y. T., Lin, S. H., & Hsu, S. C. (2015). Characteristics of trace metals in traffic-derived particles in Hsuehshan Tunnel, Taiwan: size distribution, potential source, and fingerprinting metal ratio. *Atmos. Chem. Phys.*, 15(8), 4117-4130. <https://doi.org/10.5194/acp-15-4117-2015>
58. Lonati, G., Giugliano, M., & Ozgen, S. (2008). Primary and secondary components of PM_{2.5} in Milan (Italy). *Environment International*, 34(5), 665-670. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.12.009>
59. Luo, C.-H., Liu, S.-H., & Yuan, C.-S. (2002). Measuring Atmospheric Visibility by Digital Image Processing. *Aerosol and Air Quality Research*, 2(1), 23-29. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2002.06.0003>
60. Lyamani, H., Olmo, F. J., & Alados-Arboledas, L. (2008). Light scattering and absorption properties of aerosol particles in the urban environment of Granada, Spain. *Atmospheric Environment*, 42(11), 2630-2642. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.070>
61. Mangelson, N. F., Lewis, L., Joseph, J. M., Cui, W., Machir, J., Eatough, D. J., Rees, L. B., Wilkerson, T., & Jensen, D. T. (1997). The Contribution of Sulfate and Nitrate to Atmospheric Fine Particles During Winter Inversion Fogs in Cache Valley, Utah. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 47(2), 167-175. <https://doi.org/10.1080/10473289.1997.10464429>
62. Martinez, M. A., Caballero, P., Carrillo, O., Mendoza, A., & Mejia, G. M. (2012). Chemical characterization and factor analysis of PM_{2.5} in two sites of Monterrey, Mexico. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(7), 817-827. <https://doi.org/10.1080/10962247.2012.681421>
63. Mehlmann, A., & Warneck, P. (1995). Atmospheric gaseous HNO₃, particulate nitrate,

- and aerosol size distributions of major ionic species at a rural site in western Germany. *Atmospheric Environment*, 29, 2359. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00056-5](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00056-5)
64. Miller, K. A., Siscovick, D. S., Sheppard, L., Shepherd, K., Sullivan, J. H., Anderson, G. L., & Kaufman, J. D. (2007). Long-Term Exposure to Air Pollution and Incidence of Cardiovascular Events in Women. *New England Journal of Medicine*, 356(5), 447-458. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa054409>
65. Ogulei, D., Hopke, P. K., Zhou, L., Paatero, P., Park, S. S., & Ondov, J. M. (2005). Receptor modeling for multiple time resolved species: The Baltimore supersite. *Atmospheric Environment*, 39, 3751. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.03.012>
66. Pio, C., Mirante, F., Oliveira, C., Matos, M., Caseiro, A., Oliveira, C., Querol, X., Alves, C., Martins, N., Cerqueira, M., Camões, F., Silva, H., & Plana, F. (2013). Size-segregated chemical composition of aerosol emissions in an urban road tunnel in Portugal. *Atmospheric Environment*, 71, 15-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.037>
67. Pokorná, P., Hovorka, J., & Hopke, P. K. (2016). Elemental composition and source identification of very fine aerosol particles in a European air pollution hot-spot. *Atmospheric Pollution Research*, 7(4), 671-679. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.03.001>
68. Pokorná, P., Hovorka, J., Klán, M., & Hopke, P. K. (2015). Source apportionment of size resolved particulate matter at a European air pollution hot spot. *Science of The Total Environment*, 502, 172-183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.021>
69. Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*, 287(9), 1132-1141. <https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132>
70. Putaud, J. P., Van Dingenen, R., Alastuey, A., Bauer, H., Birmili, W., Cyrys, J., Flentje, H., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hansson, H. C., Harrison, R. M., Herrmann, H., Hitzenberger, R., Hüglin, C., Jones, A. M., Kasper-Giebl, A., Kiss, G., Kousa, A., Kuhlbusch, T. A. J., Raes, F. (2010). A European aerosol phenomenology – 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe. *Atmospheric Environment*, 44(10), 1308-1320. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.12.011>

-
71. Querol, X., Alastuey, A., Viana, M. M., Rodriguez, S., Artiñano, B., Salvador, P., Garcia do Santos, S., Fernandez Patier, R., Ruiz, C. R., de la Rosa, J., Sanchez de la Campa, A., Menendez, M., & Gil, J. I. (2004). Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in Spain. *Journal of Aerosol Science*, *35*(9), 1151-1172. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2004.04.002>
 72. Rattigan, O. V., Civerolo, K. L., Felton, H. D., Schwab, J. J., & Demerjian, K. L. (2016). Long Term Trends in New York: PM_{2.5} Mass and Particle Components. *Aerosol and Air Quality Research*, *16*(5), 1191-1205. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.05.0319>
 73. Salameh, D., Detournay, A., Pey, J., Pérez, N., Liguori, F., Saraga, D., Bove, M. C., Brotto, P., Cassola, F., Massabò, D., Latella, A., Pillon, S., Formenton, G., Patti, S., Armengaud, A., Piga, D., Jaffrezo, J. L., Bartzis, J., Tolis, E., Marchand, N. (2015). PM_{2.5} chemical composition in five European Mediterranean cities: A 1-year study. *Atmospheric Research*, *155*, 102-117. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.001>
 74. Salcedo, D., Alvarez-Ospina, H., Peralta, O., & Castro, T. (2018). PM₁ Chemical Characterization during the ACU15 Campaign, South of Mexico City. *Atmosphere*, *9*(6), 232. <https://www.mdpi.com/2073-4433/9/6/232>
 75. Samet, J. M., Dominici, F., Curriero, F. C., Coursac, I., & Zeger, S. L. (2000). Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987 – 1994. *New England Journal of Medicine*, *343*(24), 1742-1749. <https://doi.org/10.1056/nejm200012143432401>
 76. Schwartz, J., Dockery, D. W., & Neas, L. M. (1996). Is Daily Mortality Associated Specifically with Fine Particles? *Journal of the Air & Waste Management Association*, *46*(10), 927-939. <https://doi.org/10.1080/10473289.1996.10467528>
 77. Schwarz, J., Cusack, M., Karban, J., Chalupníčková, E., Havránek, V., Smolík, J., & Ždímal, V. (2016). PM_{2.5} chemical composition at a rural background site in Central Europe, including correlation and air mass back trajectory analysis. *Atmospheric Research*, *176-177*, 108-120. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.017>
 78. Seinfeld, J. H. (1986). *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution (Vol. 20)*. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/es00151a602>
 79. Shao, P., Tian, H., Sun, Y., Liu, H., Wu, B., Liu, S., Liu, X., Wu, Y., Liang, W., Wang, Y., Gao, J., Xue, Y., Bai, X., Liu, W., Lin, S., & Hu, G. (2018). Characterizing remarkable changes of severe haze events and chemical compositions in multi-size airborne particles (PM₁, PM_{2.5} and PM₁₀) from January 2013 to 2016 – 2017 winter in
-

- Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 189, 133-144.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.038>
80. Shen, J., Jiao, L., Chang, X.-U., Xi, H.-E., Ying, F. & Hong, S. (2014). Source apportionment of size-resolved ambient fine particulate matter in Hangzhou. *J. Univ. Chin. Acad. Sci.* 31, 367 – 373.
81. Shen, Z., Cao, J., Arimoto, R., Han, Y., Zhu, C., Tian, J., & Liu, S. (2010). Chemical Characteristics of Fine Particles (PM₁) from Xi'an, China. *Aerosol Science and Technology*, 44(6), 461-472. <https://doi.org/10.1080/02786821003738908>
82. Shen, Z., Cao, J., Tong, Z., Liu, S., Reddy, L. S. S., Han, Y., Zhang, T., & Zhou, J. (2009). Chemical Characteristics of Submicron Particles in Winter in Xi' an. *Aerosol and Air Quality Research*, 9(1), 80-93. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2008.10.0050>
83. Shi, Y., Chen, J., Hu, D., Wang, L., Yang, X., & Wang, X. (2014). Airborne submicron particulate (PM₁) pollution in Shanghai, China: Chemical variability, formation/dissociation of associated semi-volatile components and the impacts on visibility. *Science of The Total Environment*, 473-474, 199-206.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.024>
84. Sisler, J. F., & Malm, W. C. (2000). Interpretation of Trends of PM_{2.5} and Reconstructed Visibility from the IMPROVE Network. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(5), 775-789. <https://doi.org/10.1080/10473289.2000.10464127>
85. Su, C. P., Peng, X., Huang, X. F., Zeng, L. W., Cao, L. M., Tang, M. X., Chen, Y., Zhu, B., Wang, Y., & He, L. Y. (2020). Development and application of a mass closure PM_{2.5} composition online monitoring system. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(10), 5407-5422. <https://doi.org/10.5194/amt-13-5407-2020>
86. Su, T.-C., Chan, C.-C., Liao, C.-S., Lin, L.-Y., Kao, H.-L., & Chuang, K.-J. (2006). Urban air pollution increases plasma fibrinogen and plasminogen activator inhibitor-1 levels in susceptible patients. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation*, 13(5), 849-852. <https://doi.org/10.1097/01.hjr.0000219116.25415.c4>
87. Takahashi, K., Minoura, H., & Sakamoto, K. (2008). Chemical composition of atmospheric aerosols in the general environment and around a trunk road in the Tokyo metropolitan area. *Atmospheric Environment*, 42(1), 113-125.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.009>
88. Tao, J., Ho, K.-F., Chen, L., Zhu, L., Han, J., & Xu, Z. (2009). Effect of chemical composition of PM_{2.5} on visibility in Guangzhou, China, 2007 spring. *Particuology*, 7(1),

- 68-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.partic.2008.11.002>
89. Tao, J., Shen, Z., Zhu, C., Yue, J., Cao, J., Liu, S., Zhu, L., & Zhang, R. (2012). Seasonal variations and chemical characteristics of sub-micrometer particles (PM₁) in Guangzhou, China. *Atmospheric Research*, *118*, 222-231.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.06.025>
90. Tao, J., Zhang, L., Cao, J., Hsu, S.-C., Xia, X., Zhang, Z., Lin, Z., Cheng, T., & Zhang, R. (2014). Characterization and source apportionment of aerosol light extinction in Chengdu, southwest China. *Atmospheric Environment*, *95*, 552-562.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.017>
91. Tsai, Y.I., Cheng, M.T., (1998). *Visual degradation and aerosol characteristics of ambient high-polluted events in Taichung metropolitan basin*. 1998 International Conference on Aerosol Science and Technology, Pingdong, Taiwan.
92. Tiwari, S., Srivastava, A. K., Chate, D. M., Safai, P. D., Bisht, D. S., Srivastava, M. K., & Beig, G. (2014). Impacts of the high loadings of primary and secondary aerosols on light extinction at Delhi during wintertime. *Atmospheric Environment*, *92*, 60-68.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.064>
93. Tolis, E. I., Saraga, D. E., Lytra, M. K., Papathanasiou, A. C., Bougaidis, P. N., Prekas-Patronakis, O. E., Ioannidis, I. I., & Bartzis, J. G. (2015). Concentration and chemical composition of PM_{2.5} for a one-year period at Thessaloniki, Greece: A comparison between city and port area. *Atmospheric Environment*, *113*, 197-207.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.05.014>
94. Watson, J. G. (2002). Visibility: Science and regulation. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *52*(6), 628-713.
95. Watson, J. G., & Chow, J. C. (2001). Source characterization of major emission sources in the Imperial and Mexicali Valleys along the US/Mexico border. *Science of The Total Environment*, *276*(1), 33-47.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00770-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00770-7)
96. Wei, C.-C., Chen, W.-C., Li, C.-S., & Wang, C.-S. (1993). *Application of Chemical Mass Balance to the Mailiao Aerosols*. International Conference on Aerosol Science and Technology, Taichung, Taiwan. <http://140.112.114.62/handle/246246/81712>
97. Wu, L., Shen, J. D., Feng, Y.-C., Bi, X.-H., Jiao, L., & Liu, S. X. (2014). Source apportionment of particulate matters in different size bins during hazy and non-hazy episodes in Hangzhou City. *Research of Environmental Sciences*, *27*(4), 373-381.

- <https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2014.04.05>
98. Wu, Y.L. (1997). The diurnal variations of mode diameters for nitrate and sulfate in the ambient atmosphere, 1997 International Conference on Aerosol Science and Technology, Tainan, Taiwan.
99. Xi, H., Shengmao, H., Li, J., Jiandong, S., Chang, X., & Fang, Y. (2014). Source apportionment of size-resolved ambient fine particulate matter in Hangzhou. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 31(3), 367-373.
<https://doi.org/10.7523/j.issn.2095-6134.2014.03.011>
100. Yan, R., Lu, X., & Zeng, H. (1999). Trace elements in Chinese coals and their partitioning during coal combustion. *Combustion science and technology*, 145(1-6), 57-81.
101. Yu, H., Dai, W., Ren, L., Liu, D., Yan, X., Xiao, H., He, J., & Xu, H. (2018). The Effect of Emission Control on the Submicron Particulate Matter Size Distribution in Hangzhou during the 2016 G20 Summit. *Aerosol and Air Quality Research*, 18(8), 2038-2046.
<https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.01.0014>
102. Zhang, L., Ninomiya, Y., & Yamashita, T. (2006). Formation of submicron particulate matter (PM₁) during coal combustion and influence of reaction temperature. *Fuel*, 85(10), 1446-1457. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.151>
103. Zhang, M., Mueller, N. T., Wang, H., Hong, X., Appel, L. J., & Wang, X. (2018). Maternal Exposure to Ambient Particulate Matter $\leq 2.5 \mu\text{m}$ During Pregnancy and the Risk for High Blood Pressure in Childhood. *Hypertension (Dallas, Tex. : 1979)*, 72(1), 194 - 201. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.117.10944>
104. Zhang, X., Zhang, Y., Sun, J., Yu, Y., Canonaco, F., Prévôt, A. S. H., & Li, G. (2017). Chemical characterization of submicron aerosol particles during wintertime in a northwest city of China using an Aerodyne aerosol mass spectrometry. *Environmental Pollution*, 222, 567-582. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.012>
105. Zhang, Y., Lang, J., Cheng, S., Li, S., Zhou, Y., Chen, D., Zhang, H., & Wang, H. (2018). Chemical composition and sources of PM₁ and PM_{2.5} in Beijing in autumn. *Science of The Total Environment*, 630, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.151>
106. Zhao, P. S., Dong, F., He, D., Zhao, X. J., Zhang, X. L., Zhang, W. Z., Yao, Q., & Liu, H. Y. (2013). Characteristics of concentrations and chemical compositions for PM_{2.5} in the region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China. *Atmos. Chem. Phys.*, 13(9), 4631-4644.
<https://doi.org/10.5194/acp-13-4631-2013>
107. Zhao, Y., Yang, J., Ma, S., Zhang, S., Liu, H., Gong, B., Zhang, J., & Zheng, C. (2018).
-

- Emission controls of mercury and other trace elements during coal combustion in China: a review. *International Geology Review*, 60(5-6), 638-670.
<https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1362671>
108. Zheng, J., Hu, M., Peng, J., Wu, Z., Kumar, P., Li, M., Wang, Y., & Guo, S. (2016). Spatial distributions and chemical properties of PM_{2.5} based on 21 field campaigns at 17 sites in China. *Chemosphere*, 159, 480-487.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.06.032>
109. Zhu, Y., Hinds, W. C., Kim, S., Shen, S., & Sioutas, C. (2002). Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. *Atmospheric Environment*, 36(27), 4323-4335. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00354-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00354-0)
110. 上境科技股份有限公司(2016)。105 年臺中市空氣品質暨細懸浮微粒(PM_{2.5})綜合管理計畫。臺中市政府環境保護局。
111. 中興工程顧問股份有限公司(2012)。101 年度新北市空氣品質維護改善規劃整合計畫。新北市政府環保局。
112. 王文正(2008)。以空氣品質模式及受體模式解析懸浮微粒排放源之貢獻量。位出版之博士論文。國立中山大學。<https://hdl.handle.net/11296/pj2dpx>
113. 王俊凱(2000)。台灣地區大氣氣膠特性之研究-高雄、台北都會區氣膠特性與污染來源推估。未出版之碩士論文。國立中央大學。
<https://hdl.handle.net/11296/re792a>
114. 古金霞、董海燕、白志鵬、霍光耀、劉愛霞、吳麗萍、解以揚(2012)。天津市顆粒物散射消光特徵及化學組分貢獻研究。中國環境科學, 32(1), 17-22。
115. 立境環境科技股份有限公司(2013)。空氣中細懸浮微粒監測及分析計畫。金門縣政府環境保護局。
116. 立境環境科技股份有限公司(2014)。103 年度臺南市空氣品質考核及管理計畫。臺南市政府環境保護局。
117. 台灣曼寧工程顧問股份有限公司(2019)。109 年臺中市固定污染源許可、空污費管制查核暨空氣品質維護綜合管理計畫。臺中市政府環境保護局。
118. 台灣綠仕科技有限公司(2017)。106 年臺中市細懸浮微粒(PM_{2.5})採樣分析計畫。臺中市政府環境保護局。
119. 台灣綠仕科技有限公司(2018)。107 年臺中市細懸浮微粒(PM_{2.5})成分分析及空品預報計畫。臺中市政府環境保護局。
120. 台灣綠仕科技有限公司(2019)。108 年臺中市重點污染源對能見度之影響評估計畫。臺中市政府環境保護局。

121. 台灣綠仕科技有限公司(2019)。108 年臺中市細懸浮微粒(PM_{2.5})成分分析及空品預報計畫。臺中市政府環境保護局。
122. 台灣綠仕科技有限公司(2020)。109 年臺中市細懸浮微粒(PM_{2.5})成分分析及空品預報計畫。臺中市市政府環境保護局。
123. 台灣綠基科技股份有限公司(2013)。102 年臺中市細懸浮微粒(PM_{2.5})管制計畫。臺中市政府環境保護局。
124. 台灣綠基科技股份有限公司(2015)。104 年臺中市細懸浮微粒(PM_{2.5})管制計畫。臺中市政府環境保護局。
125. 台灣綠基科技股份有限公司(2016)。105 年臺中市細懸浮微粒(PM_{2.5})採樣分析計畫。臺中市政府環境保護局。
126. 交通環境資源處(2017)。空氣污染防制行動方案(紅害減半大作戰)。Retrieved 2017/12/21 from <https://www.ey.gov.tw/Page/448DE008087A1971/5638596f-c460-4a12-9e62-d623d34f67d1>
127. 吳沛愉(2014)。鋼鐵業煙道排放粒狀物之物化指紋特徵分析。未出版之碩士論文。國立中山大學。
128. 吳家安(2013)。高雄地區大氣中細懸浮微粒之監測分析及管制策略。未出版之碩士論文。國立中山大學。
129. 吳啟文(1996)。台灣中部都會區氣懸浮微粒粒徑分佈之污染物特性分析。未出版之碩士論文。國立中央大學。
130. 吳義林、張致瑋(2005)。交通隧道中機動車輛排放懸浮微粒粒徑分佈研究。中華民國國際氣膠科技研討會，臺北，臺灣。
131. 吳義林(2014)。細懸浮微粒(PM_{2.5})管制策略研擬及減量成效分析(EPA-102-FA11-03-A082)。行政院環境保護署。
132. 吳義林(2015)。臺灣細懸浮微粒(PM_{2.5})成分與形成速率分析(EPA-103-FA11-03-A321)。行政院環境保護署。
133. 李奎廷(2014)。固定污染源細懸浮微粒排放特徵與化學成份分析研究。未出版之碩士論文。朝陽科技大學。
134. 李崇德(2003)。空氣污染涵容量研究-子計畫二：PM_{2.5} 氣膠碳成分之生成機制、監測技術及對於空氣品質之影響(91-EPA-Z-008-003)。行政院環境保護署。
135. 李崇德(2016)。104-105 年細懸浮微粒(PM_{2.5})化學成分監測專案工作計畫(EPA-104-L102-02-103)。行政院環境保護署。
136. 李崇德(2018)。107 年度細懸浮微粒(PM_{2.5})化學成分監測及分析計畫(EPA-107-L101-02-A024)。行政院環境保護署。

137. 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智、莊銘棟、許文昌(2020)。109 年度細懸浮微粒(PM_{2.5})化學成分監測及分析計畫。行政院環境保護署。
138. 呂理德(2003)。台北都會區外圍城市大氣氣膠光學效應。未出版之碩士論文。國立中央大學。
139. 邱宏城、蔡協宏、劉乙琦、袁中新(2008)。大氣光學係數量測及影響因素探討。第七屆全國顆粒測試學術會議，湖南，中國。
140. 林文印、蔡瀛逸、莊銘棟、林唐煌、陳律言(2018)。大氣懸浮微粒對能見度影響之研究(EPA-106-FA18-03-A182)。行政院環境保護署。
141. 林立偉、李崇德、宋鎮宇(1999)。墾丁地區大氣氣膠粒徑分布及氣象因子對散光係數之影響。1999 年氣膠科技國際研討會，臺北，臺灣。
142. 林能暉、吳承翰、彭啟明(2000)。2000 年亞洲沙暴侵襲台灣。2000 年氣膠科技研討會，新竹，臺灣。
143. 林唐煌、蕭大智、楊禮豪(2018)。台中地區細懸浮微粒氣膠物化特性時空變化與能見度劣化之關係(MOST 106-EPA-F-005-004)。行政院環境保護署。
144. 林錫旗(2017)。赴日研習空氣品質監測系統預警策略及管理制度。行政院環境保護署。
145. 周崇光(2014)。懸浮微粒污染源特徵指標技術之建置與評析研究案(EPA-103-1602-02-06)。行政院環境保護署。
146. 周崇光(2017)。細懸浮微粒碳及鉛同位素分析技術發展與應用計畫(EPA-105-U101-02-A272)。行政院環境保護署。
147. 南台灣環境科技股份有限公司(2016)。104 年度臺南市細懸浮微粒固定污染源排放特徵與管制措施研擬計畫。臺南市政府環境保護局。
148. 美國洛杉磯治理霧霾措施與啟示(2014/03/04)。Retrieved from <http://scitech.people.com.cn/BIG5/n/2014/0303/c376843-24514288.html>
149. 袁中新、張章堂、員景嵩、黃明和(1998)。高屏地區氣膠物化特徵探討。1998 年氣膠研討會，屏東，臺灣。
150. 祥威環境科技股份有限公司(2018)。金門縣 107 年度「在線式(online)儀器檢測 PM_{2.5} 成分及貢獻來源計畫」。金門縣政府環境保護局。
151. 徐薇、修光利、陶俊、王麗娜、朱夢雅、黃眾思、蔡婧、喬婷、張大年(2015)。上海市大氣散射消光特徵及其與顆粒物化學組成關係研究。環境科學學報，35(2)，379-385。
152. 郭崇義(2017)。105 年臺中市后里區、西屯區、大雅區及港區(大肚、清水、沙鹿、梧棲、龍井)居民空氣污染物暴露評估計畫。臺中市政府環境保護局。
153. 陳邦偉(2005)。從台北都會區細氣膠特性評估 PM₁ 及 PM_{2.5} 對環境影響的顯著性。未出版之碩士論文。國立中央大學。<https://hdl.handle.net/11296/95588n>

154. 陳康興、陳瑞仁、林銳敏、黃國林(2005)。高屏地區大氣細微粒(PM_{2.5})特徵及來源分析研究子計畫一：高屏地區大氣細微粒(PM_{2.5})化學組成特性時空變化調查分析、來源模擬及成因探討研究(NSC 94-EPA-Z-110-001)。行政院環境保護署。
155. 陳雯廷、黃曉鋒、田旭東、朱喬、藍紫娟、何凌燕(2017)。浙江金華秋季乾氣溶膠中主要化學組分的消光貢獻解析。**環境科學學報**，第 37 卷，第 11 期。
156. 許文昌、李崇德(1992)。台北都會區氣懸微粒污染來源推估。第九屆空氣污染控制技術研討會，臺南，臺灣。
157. 許美華(2008)。應用 CMB 受體模式解析中台灣沿海與都會區空氣懸浮微粒污染來源。未出版之碩士論文。國立中興大學。
158. 許翔璽(2006)。四行程機車引擎排放粒狀污染物特徵研究。未出版之碩士論文。台北科技大學。
159. 國立中興大學(2020)。108 年度南投縣 PM_{2.5} 污染源鑑別及來源推估計畫。南投縣政府環境保護局。
160. 張士昱、李崇德、周崇光、張軒昂、蔡旻諺、陳威任、林建皓、江庭瑜、張惠瑄(2018)。空氣能見度監測規劃及應用服務(EPA-107-FA11-03-A032)。行政院環境保護署。
161. 張良輝(2013)。102 年竹竹苗空品區細懸浮微粒(PM_{2.5})管制策略交流暨低碳永續家園推動座談會議。
162. 張國忠、吳岳倫、羅卓卿、袁中新、袁菁、楊宏宇(2005)。台北及高雄都會區能見度觀測及時空變化趨勢探討。2005 年中華民國氣膠年會暨第十二屆中華民國國際氣膠科技研討會論文集，臺南，臺灣。
163. 黃建達、林宗毅、林銳敏(1999)。不同空氣品質測站粗細微粒碳成分分佈分析。1999 年氣膠科技國際研討會，臺北市，臺灣。
164. 黃俊彥(2001)。固定污染源煙道排放之 TSP、PM₁₀ 及 PM_{2.5} 微粒成份組成分析。未出版之碩士論文。國立中興大學。
165. 彭爽、康平、張小玲、Klaus Schaefer、袁亮、向衛國、雷雨(2020)。成都市大氣顆粒物粒徑分佈及其對能見度的影響。**環境科學學報**，40(12)，4432-4441。
166. 勤智興業有限公司(2016)。雲林縣細懸浮微粒(PM_{2.5})污染來源調查分析暨空品預警應變計畫。雲林縣政府環境保護局。
167. 葉青峯(2015)。宜蘭縣細懸浮微粒空氣品質檢測與成因分析計畫。宜蘭縣政府環境保護局。
168. 董海燕、韓暘、蔡斌彬、古金霞、白志鵬(2009)。天津市氣溶膠折射指數及消光特徵。**環境污染與防治**，31(4)，28-32。

-
169. 楊錫賢、陳俐禎、陳恩諭、蕭亦辰、徐嘉佑(2014)。工業鍋爐細懸浮微粒排放特性與化學成份分析研究。朝陽科技大學。
170. 詹長權(1997)。微粒空氣污染特性、毒性和健康風險之研究/計畫一：微粒空氣污染物人體心血管毒性研究(NSC 95-EPA-Z-002-010)。行政院環境保護署。
171. 劉山豪(2000)。高雄都會區消光係數與能見度量測及細微粒污染源貢獻量解析。未出版之碩士論文。國立中山大學。
172. 蔡岱玲(2014)。評估數位影像技術量測大氣能見度指標之實驗方法。未出版之碩士論文。朝陽科技大學。
173. 蔡俊鴻、林鼎鈞、盧彥廷(2013)。美國大氣細懸浮微粒管制策略簡析。環境工程會刊。
174. 蔡榮秋(2020)。台中地區能見度與消光係數、質量散光效率及物化特性之關係：硝酸鹽生成對能見度劣化之影響。未出版之碩士論文。國立中央大學。
175. 蔡瀛逸、鄭曼婷(1998)。高污染狀態下大氣二次氣膠組成研究。第十五屆空氣污染控制技術研討會，高雄市，臺灣。
176. 蔡瀛逸(1999)。台灣中部都會及沿海地區能見度與大氣氣膠化學特性關係之研究。未出版之博士論文。國立中興大學。
177. 鄭尊仁(1998)。微粒空氣污染特性、毒性和健康風險之研究(NSC 96-EPA-Z-002-002)。行政院環境保護署。
178. 環科工程顧問股份有限公司(2011)。推動總量管制及細懸浮微粒管制策略(EPA-98-FA11-03-A176)。行政院環境保護署。
179. 羅金翔、溫哲彥、廖俊鑑(2014)。應用數位圖像頻譜篩分法研發大氣能見度新指標(NSC 93-2211-E-241-002)。國科會。
180. 羅金翔、楊心豪、黃艾羚、黃佩瑜(2019)。應用環境圖像深度學習建立大氣能見度數位分析監測技術。科技部。