

「108 年臺中市重點污染源對能見度之影響評估計畫」
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	108	計畫編號	1080328003	
丁、專案性質	應用研究			
戊、專案領域	大氣空氣			
己、計畫屬性	☒ 科技類		☐ 非科技類	
庚、全程期間	108 年 4 月～108 年 12 月			
辛、本期經費	2,680 千元			
	資本支出		經常支出	
	土地建築 千元		人事費 672.482 千元	
	儀器設備 千元		業務費 1,757.882 千元	
	其 他 千元		材料費 0 千元	
			其 他 249.636 千元	
壬、摘要關鍵詞				
能見度、PM _{2.5} 化學成分，硝酸鹽、硫酸鹽、消光效率				
參與計畫人力資料：				
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
程萬里	1. 工作要項 ■計畫執行架構訂定與工作分派 ■報告審閱 2. 撰寫章節 ■計畫摘要	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. 台灣綠仕科技公司董事長	2 人/月	04-22994633 wlcheng@greentaiwan.com.tw
白珏玲	1. 工作要項 ■協助計畫執行架構訂定與工作分派 ■協助報告審閱 2. 撰寫章節 ■微粒採樣分析(第三章) ■研析發現(第四章) ■結論與建議(第五章)	東海大學環境科學所碩士 1. 國立台灣大學專案助理 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	8 人/月	04-22911616#36 lynn@greentaiwan.com.tw

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
邱慶萱	1. 工作要項 ■採樣規劃 ■工作品質督導 ■蒐集國內外文獻 ■執掌PM採樣工作報告撰寫 2. 撰寫章節 ■前言(第一章) ■背景說明(第二章) ■參考文獻	國立高雄師範大學 國文學系應用中文組學士 1. 台灣綠仕科技公司專案工程師	4 人/月	04-22911616#37 chinghsuanchiu@gmail.com
楊中明	1. 工作要項 ■儀器設備之品保品管 ■擬訂本計畫各作業準則 ■採樣監測工作規劃	亞東工專電機科副學士 1. 利得儀器公司技術工程師 2. 金輝企業公司工程部副課長 3. 台灣綠基科技公司中區經理 4. 台灣綠仕科技公司經理	4 人/月	04-22911616#32 young@greentaiwan.com.tw
顧長軒	1. 工作要項 ■執掌PM採樣工作 ■能見度儀監測維護	修平技術學院化學工程科系副學士 1. 宏瀨科技公司工程師 2. 台灣綠基科技公司技術工程師 3. 台灣綠仕科技公司技術工程師	4 人/月	04-22911616#37 kive@greentaiwan.com.tw

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：

108 年臺中市重點污染源對能見度之影響評估計畫

二、英文計畫名稱：

Assess the Impact of major Pollution Sources on Visibility for Taichung City in 2019

三、計畫編號：

1080328003

四、執行單位：

台灣綠仕科技有限公司

五、計畫主持人：

程萬里

六、執行開始時間：

108/04/30

七、執行結束時間：

108/12/31

八、報告完成日期：

108/11/27

九、報告總頁數：

126 頁

十、使用語文：

中文，英文

十一、報告電子檔名稱：

1080328003.DOCX

十二、報告電子檔格式：

WORD 2007

十三、中文摘要關鍵詞：

能見度、PM_{2.5} 化學成分，硝酸鹽、硫酸鹽、消光效率

十四、英文摘要關鍵詞：

Visibility、Composition of PM₁，Sulfate、Nitrate、Extinction efficiency

十五、中文摘要

為瞭解臺中能見度不佳的原因，在大里進行能見度觀測以及微粒(PM_{2.5}與 PM₁)採樣分析。研究結果顯示，夏季能見度高，秋季能見度低。夏秋兩季能見度日變化

不同，夏季夜間與清晨能見度較佳，中午能見度下降；秋季則相反。

PM₁ 濃度與能見度相關性高於 PM_{2.5}，PM₁ 濃度增加 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，能見度下 10 km。PM₁ 組成中以硫酸銨含量最高，其次為有機物，再次為元素碳。能見度劣化時 PM₁ 成分占比產生變化，其中硝酸銨含量比例增幅最大（1 %升為 6 %），硫酸銨及元素碳含量比例變化不大，有機物則降低（40 %降至 25 %）。

欲改善臺中市能見度問題，應優先管制硫酸銨，透過 SO₂ 污染源的減排，對原生性硫酸銨或衍生性硫酸銨的減少都有效益。臺中市已推動燃油燃煤工廠改燃氣，建議未來推動台中港漁船使用 0.3%低硫重油。能見度劣化前夕，空品預警期間，應限制 1~3 期柴油大貨車行駛區域，對於能見度容易劣化的大里地區，應該要求進入該區須使用 5 期或 6 期柴油大貨車，政府以稅務優惠及補助作為獎勵。

十六、英文摘要：

Observation on visibility as well as sampling and analysis of particulate matters, including PM_{2.5} and PM₁, are carried out at Dali in this study to investigate the reason for poor visibility in Taichung. The result shows that the visibility in summer is usually good while that in autumn is relatively poor. The diurnal variations of visibility in the two seasons, summer and autumn, are quite different. In summer, the visibility is better at night and at dawn while that at noon is reduced. The conditions are reversed in autumn.

The correlation of visibility with the mass concentration of PM₁ is higher than that of PM_{2.5}. The visibility reduces 10 km with the increase of 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in PM₁ mass concentration. For the chemical composition of PM₁, ammonium sulfate is the major component followed by organic matters and elemental carbon. The chemical composition of PM₁ changes when the visibility is impaired. Ammonium nitrate increases from 1% to 6 %, and organic matters reduce from 40% to 25 % while ammonium sulfate and elemental carbon remain approximately the same relative amount.

In order to tackle with the problem of visibility impairment in Taichung, Primary sulfate and secondary sulfate are the first to be considered and can be cut down through the reduction of SO₂ emissions from major pollution sources. Policy rewards factories to use gas boilers to replace oil-fired boilers and coal-fired boilers in Taichung, it is recommended to limit ships and fishing boats to use the 0.3 % low-sulfur heavy oil as their fuels in the future. During the warning period of poor air quality before the visibility impairment, the travelling areas of Phase 1 to Phase 3 diesel trucks should be limited. For the areas of visibility prone to be impaired, such as Dali, diesel trucks of only Phase 5 or Phase 6 should be allowed to enter. The government can provide exemptions of tax or subsidy purchase as the encouragement.

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	
第一章 前言	1-1
1.1、計畫目標.....	1-1
1.2、預期效益.....	1-1
1.3、工作項目.....	1-2
1.4、工作執行流程.....	1-4
1.5、經費、工作進度與報告章節對照	1-5
第二章 背景說明.....	2-1
2.1、本市環境特性	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	2-5
2.1.4、空氣品質	2-7
2.2、微粒特性說明	2-12
2.2.1、生成機制.....	2-13
2.2.2、粒徑分佈.....	2-17
2.3、大氣能見度說明	2-21
2.3.1、能見度與微粒組成關係.....	2-22
2.3.2、能見度與微粒大小關係.....	2-24

2.3.3、美國能見度監測歷史.....	2-28
2.3.4、臺中市能見度變化.....	2-29
第三章 微粒採樣與能見度觀測	3-1
3.1、儀器地點與原理說明.....	3-2
3.2、PM _{2.5} 與 PM ₁ 分析方法	3-5
3.2.1、質量分析.....	3-5
3.2.2、陰陽離子分析	3-6
3.2.3、碳成分分析	3-8
3.3、能見度儀量測方法.....	3-10
3.4、能見度觀測結果	3-13
3.5、能見度與 PM _{2.5} 濃度分析	3-15
3.5.1、能見度不同觀測法之比較.....	3-15
3.5.2、大里能見度自動觀測結果分析	3-16
3.6、大里 PM _{2.5} 與 PM ₁ 調查結果.....	3-20
3.7、能見度與微粒成分關係式建立	3-24
3.7.1、國內外能見度文獻彙整.....	3-24
3.7.2、微粒成分與能見度關係式說明	3-27
3.8、管制策略研擬	3-31
第四章 研析發現.....	4-1
4.1、研析發現	4-1
4.2、執行困難之處.....	4-3
4.3、建議事項.....	4-3
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1、結論	5-1
5.2、建議	5-2
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 能見度儀監測月報表

附錄四 配合局端交辦事項報告

圖目錄

	頁次
圖 1.1、工作執行流程概要圖	1-4
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	2-1
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.....	2-3
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	2-4
圖 2.1.6、臺中市月日照時數統計圖.....	2-5
圖 2.1.7、臺中市自動監測站分佈圖.....	2-8
圖 2.1.8、臺中市 AQI 等級分佈統計.....	2-10
圖 2.1.9、97 年~108 年臺中市環保署 PM _{2.5} 自動監測年平均變化.....	2-11
圖 2.2.1、衍生性細懸浮微粒生成機制.....	2-16
圖 2.2.2、環境中細懸浮微粒化學組成特性示意圖.....	2-17
圖 2.2.3、懸浮微粒主要來源及粒徑分佈	2-19
圖 2.3.1、各波段光之波長圖	2-22
圖 2.3.2、各階微粒散光係數百分比.....	2-25
圖 2.3.3、各階微粒散光係數累積百分比.....	2-25
圖 2.3.4、臺中市硝酸鹽及硫酸鹽之粒徑分佈調查結果.....	2-27
圖 2.3.5、六都能見度觀測結果	2-29
圖 2.3.6、臺中氣象站長期能見度觀測結果	2-30
圖 2.3.7、臺中環保署西屯站能見度觀測結果	2-30
圖 3.1.1、採樣地點示意圖	3-2
圖 3.1.2、Thermo 2000i 手動採樣器採樣設備	3-3
圖 3.1.3、PM _{2.5} 及 PM ₁ 手動採樣分析工作執行流程圖	3-4
圖 3.2.1、陰陽離子層析儀.....	3-7
圖 3.2.2、水溶性陰陽離子分析作業流程.....	3-7
圖 3.2.3、碳成分分析儀.....	3-9
圖 3.3.1、微粒成分與水氣在波長 550nm 之散光效率.....	3-10

圖 3.4.1、能見度自動觀測資料	3-13
圖 3.4.2、能見度人工觀測資料	3-13
圖 3.4.3、不同地點能見度之統計.....	3-14
圖 3.5.1、不同地點能見度與 $PM_{2.5}$ 相關分析	3-15
圖 3.5.2、大里站能見度與 $PM_{2.5}$ 自動測值趨勢圖.....	3-16
圖 3.5.3、大里能見度與 $PM_{2.5}$ 之日變化特徵	3-17
圖 3.5.4、大里能見度日平均與 $PM_{2.5}$ 關係	3-18
圖 3.5.5、大里能見度逐時資料與風向關係	3-18
圖 3.5.6、大里能見度逐時資料與氣象之散佈圖	3-19

表目錄

頁次

表 1.1、本計畫執行進度與查核點.....	1-5
表 1.2、工作實際進度及考核點	1-7
表 1.3、各項工作成果概要與報告章節對照	1-9
表 2.1.1、臺中市各行政區面積與人口數一覽表	2-2
表 2.1.2、臺中市 TEDS10 各污染物排放量一覽表.....	2-6
表 2.1.3、臺中市 TEDS10 各污染物排放量百分比.....	2-6
表 2.1.4、臺中市原生性 PM _{2.5} 排放量前十大行業別一覽表	2-7
表 2.1.5、臺中市空氣品質自動監測站監測項目現況表	2-8
表 2.1.6、臺中市固定式 PM _{2.5} 手動監測站資訊一覽表	2-9
表 2.1.7、臺中市空氣污染物年平均濃度一覽表	2-9
表 2.1.8、臺中市空氣污染物不符合標準統計表	2-10
表 2.1.9、102 年~108 年臺中市環保署 PM _{2.5} 手動年平均值	2-11
表 2.2.1、PM _{2.5} 對生態環境危害摘要	2-12
表 2.2.2、大氣中常見微粒無機物種於 25°C 時之潮解點.....	2-20
表 3.1.1、本計畫 PM _{2.5} 及 PM ₁ 採樣之設備規格與採樣資訊.....	3-3
表 3.2.1、PM _{2.5} 及 PM ₁ 成分檢測項目數據品保目標	3-6
表 3.2.2、碳分析儀分階加熱及量測說明	3-9
表 3.3.1、臺中市能見度觀測資訊一覽表	3-11
表 3.3.2、OPTEC LPV-4 規格與架設資訊一覽表	3-11
表 3.3.3、臺中市適合架設能見度監測設備之地點評估表	3-12
表 3.4.1、不同地點能見度相關性之分析	3-14
表 3.6.1、大里 PM _{2.5} 及 PM ₁ 組成分析結果.....	3-21
表 3.6.2、不同能見度下 PM _{2.5} 與 PM ₁ 組成百分比	3-21
表 3.7.1、國內、外懸浮微粒特性與能見度相關研究.....	3-25
表 3.7.2、消光效率公式數據來源一覽表	3-28
表 3.7.3、進階版消光效率公式數據採用之規劃	3-29
表 3.8.1、柴油車之獎勵優惠暨行措施與建議	3-32

報告大綱

章節	內容主題	內涵
第一章 前言	1.計畫緣起及具體目標 2.計畫內容、時程及經費 3.執行流程及進度說明	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.本市環境特性說明 2.微粒特性說明 3.大氣能見度說明	彙整微粒重要的基本資訊，提供非環工人士瞭解本市微粒來源及生成機制，以及本市微粒污染現況。
第三章 微粒採樣與能見度觀測分析	1.儀器地點與原理說明 2. PM _{2.5} 及 PM ₁ 分析方法 3.能見度儀器量測 4.能見度觀測結果 5.能見度與 PM _{2.5} 濃度分析 6.大里 PM _{2.5} 與 PM ₁ 調查結果 7.能見度及微粒成分關係式建立 8.管制策略研擬	簡介儀器原理與架設點，將年度觀測及分析結果綜整呈現，包括能見度變化特徵、PM ₁ 比例組成特性，依據兩者的相關結果，提出本市能見度改善的管制策略。
第四章 研析發現		說明研究結果、計畫執行困難之處以及分析說明管制建議。
第五章 結論與建議		摘錄重要執行成果並提供管制建議。

計畫期末成果報告摘要（詳細版）

計畫名稱：108 年臺中市重點污染源對能見度之影響評估計畫

計畫編號：1080328003

計畫執行單位：台灣綠仕科技有限公司

計畫主持人：程萬里

計畫期程：108 年 4 月 30 日起 108 年 12 月 31 日止

計畫經費：2,680 仟元

摘要

為瞭解臺中能見度不佳的原因，在大里進行能見度觀測以及微粒($PM_{2.5}$ 與 PM_{10})採樣分析。研究結果顯示，夏季能見度高，秋季能見度低。夏秋兩季能見度日變化不同，夏季夜間與清晨能見度較佳，中午能見度下降；秋季則相反。

PM_{10} 濃度與能見度相關性高於 $PM_{2.5}$ ， PM_{10} 濃度增加 $20 \mu g/m^3$ ，能見度下 10 km。 PM_{10} 組成中以硫酸銨含量最高，其次為有機物，再次為元素碳。能見度劣化時 PM_{10} 成分占比產生變化，其中硝酸銨含量比例增幅最大（1 %升為 6 %），硫酸銨及元素碳含量比例變化不大，有機物則降低（40 %降至 25 %）。

欲改善臺中市能見度問題，應優先管制硫酸銨，透過 SO_2 污染源的減排，對原生性硫酸銨或衍生性硫酸銨的減少都有效益。臺中市已推動燃油燃煤工廠改燃氣，建議未來推動台中港漁船使用 0.3%低硫重油。能見度劣化前夕，空品預警期間，應限制 1~3 期柴油大貨車行駛區域，對於能見度容易劣化的大里地區，應該要求進入該區須使用 5 期或 6 期柴油大貨車，政府以稅務優惠及補助作為獎勵。

Observation on visibility as well as sampling and analysis of particulate matters, including $PM_{2.5}$ and PM_{10} , are carried out at Dali in this study to investigate the reason for poor visibility in Taichung. The result shows that the visibility in summer is usually good while that in autumn is relatively poor. The diurnal variations of visibility in the two seasons, summer and autumn, are quite different. In summer, the visibility is better at night and at dawn while that at noon is reduced. The conditions are reversed in autumn.

The correlation of visibility with the mass concentration of PM_{10} is higher than that of $PM_{2.5}$. The visibility reduces 10 km with the increase of $20 \mu g/m^3$ in PM_{10} mass concentration.

For the chemical composition of PM_{10} , ammonium sulfate is the major component followed by organic matters and elemental carbon. The chemical composition of PM_{10} changes when the visibility is impaired. Ammonium nitrate increases from 1% to 6 %, and organic matters reduce from 40% to 25 % while ammonium sulfate and elemental carbon remain approximately the same relative amount.

In order to tackle with the problem of visibility impairment in Taichung, Primary sulfate and secondary sulfate are the first to be considered and can be cut down through the reduction of SO_2 emissions from major pollution sources. Policy rewards factories to use gas boilers to replace oil-fired boilers and coal-fired boilers in Taichung, it is recommended to limit ships and fishing boats to use the 0.3 % low-sulfur heavy oil as their fuels in the future. During the warning period of poor air quality before the visibility impairment, the travelling areas of Phase 1 to Phase 3 diesel trucks should be limited. For the areas of visibility prone to be impaired, such as Dali, diesel trucks of only Phase 5 or Phase 6 should be allowed to enter. The government can provide exemptions of tax or subsidy purchase as the encouragement.

前言

細微粒（ $PM_{2.5}$ ，即細懸浮微粒）可穿透肺部肺泡進入血管，隨血液循環全身危害人體健康，增加患病率並減少壽命，是目前民眾最重視之指標污染物之一，也是導致能見度降低的因素。次微米微粒（ PM_1 ）比細微粒（ $PM_{2.5}$ ）粒徑更小， PM_1 是對空氣中直徑小於或等於1微米的固體顆粒或液滴的總稱，也稱為可入肺顆粒物。

近年中央及地方致力於 $PM_{2.5}$ 的改善， $PM_{2.5}$ 濃度已逐年下降，但民眾認為能見度並未隨 $PM_{2.5}$ 降低而明顯好轉。本市因有火力發電廠、鋼鐵廠等大型工業，民眾普遍認為台中火力發電廠是造成能見度差的主因，雖近年來台中火力發電廠已減少年燃煤量，排放量也逐年降低，然而民眾對臺中市能見度提升依舊無感。

鑒於許多國外的能見度相關研究，發現降低能見度主要因 PM_1 遮光能力高，能見度若降低， PM_1 之貢獻約 7 成，而 $PM_{2.5}$ 中大部分是由 PM_1 組成。因此，持續對 $PM_{2.5}$ 進行整治，卻不特別針對 PM_1 的形成機制加以防制，即使空品指數顯示已大幅改善，天空依舊灰濛不清。

本計畫參考國外大型能見度調查計畫之經驗，以研究霧霾的能見度的消光儀進行監測，配合 $PM_{2.5}$ 與 PM_1 的組成調查，研析本市能見度不佳的原因，並據以提出改善策略，希冀能加速本市能見度改善，達成民眾的期待。

執行方法

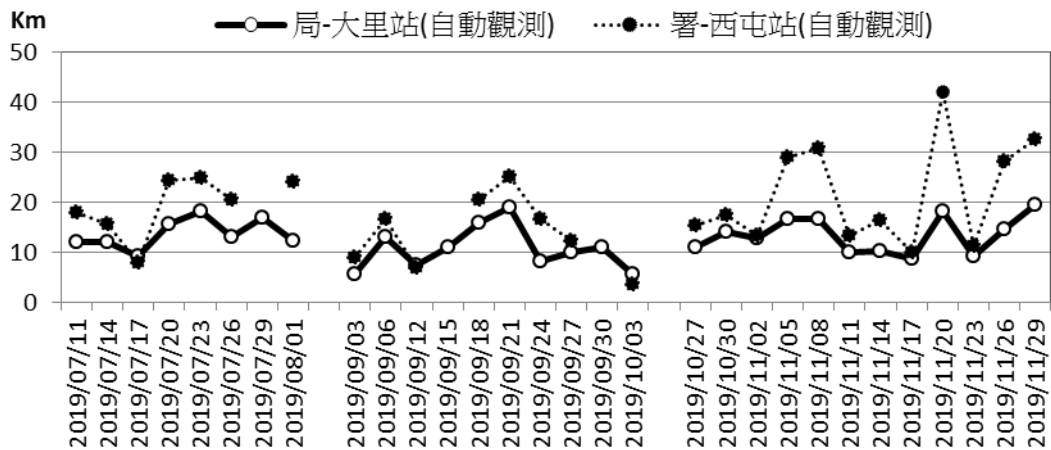
研析本市 $PM_{2.5}$ 與 PM_1 比例組成特徵，採樣位置在大里，分季採樣並分析微粒化學組成。採樣依環檢所NIEA A205.11C方法執行，陰陽離子採環檢所公告之NIEA A451.10C方法進行， $PM_{2.5}$ 碳組成以TOR分析。目的在藉由成分解析找出影響能見度的成分，加以管制。

能見度儀之發射端架設在中興大學，接收端架設在大里國小，兩地相差2.5公里， $PM_{2.5}$ 及 PM_1 採樣位置在大里區公所，能見度接收端相距僅0.15公里。藉由能見度與微粒大小、成分關係，探討微粒對能見度之影響，並期能建立能見度與微粒之關係式，提供本市改善能見度之策略參考。

結 果

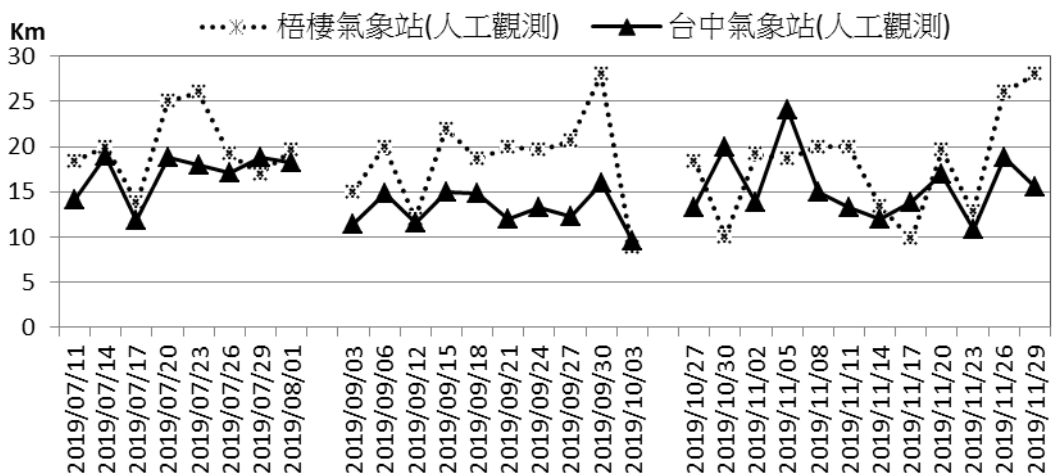
1. 能見度觀測結果

今年度大里能見度觀測分三期，分別為 7 月、9 月及 11 月，圖 1 為大里自動觀測結果與環保署西屯站比較，可看出大里能見度比西屯低，主要是能見度高低會受觀測地點的微粒成分及粒徑大小所影響。另外，同步蒐集氣象局人工觀測結果，比較同時段人工觀測結果，顯示梧棲能見度高於臺中氣象站（詳圖 2），由兩組資料可知，能見度高低可能因觀測方法以及地點不同，而有所差異。



備註：日均值採逐 24 小時（24 筆）平均計算

圖1、能見度自動觀測資料



備註：日均值採8:00、9:00、11:00、14:00、17:00（共5筆）平均計算

圖2、能見度人工觀測資料

進一步以線性迴歸分析彼此相關性，取相關係數平方 (R^2) 列於表 1。結果顯示自動觀測之間，資料相關性較高 (0.77)，兩者有較好的趨勢一致性；自動觀測與人工觀測 R^2 值在 0.31~0.45 之間；人工觀測站之間相關性差 (0.13)；若刪除異常值後線性迴歸，以人工觀測站間相關性提升最多 (0.42)。

表1、不同地點能見度相關性之分析

觀測地點	大里站 (自動)	西屯站 (自動)	梧棲氣象站 (人工)	臺中站氣象 (人工)
大里站 (自動)	1.00			
西屯站 (自動)	0.77(0.80)	1.00		
梧棲氣象站 (人工)	0.31	0.44(0.55)	1.00	
臺中站氣象 (人工)	0.33(0.38)	0.45(0.46)	0.13(0.42)	1.00

備註：() 者為剔除異常值之迴歸結果，臺中氣象站刪除4筆，西屯站刪除1筆。

圖 3 為臺中市 4 個地點能見度觀測結果分類比較，能見度在 15 km 以上發生比率，以西屯站 71% 最高，其次為梧棲站 70%，再次為臺中氣象站 47%，大里站最低 30%。雖觀測方式不同，仍可推知大里地區能見度不佳較其他三區嚴重，有必要優先探究成因並改善。

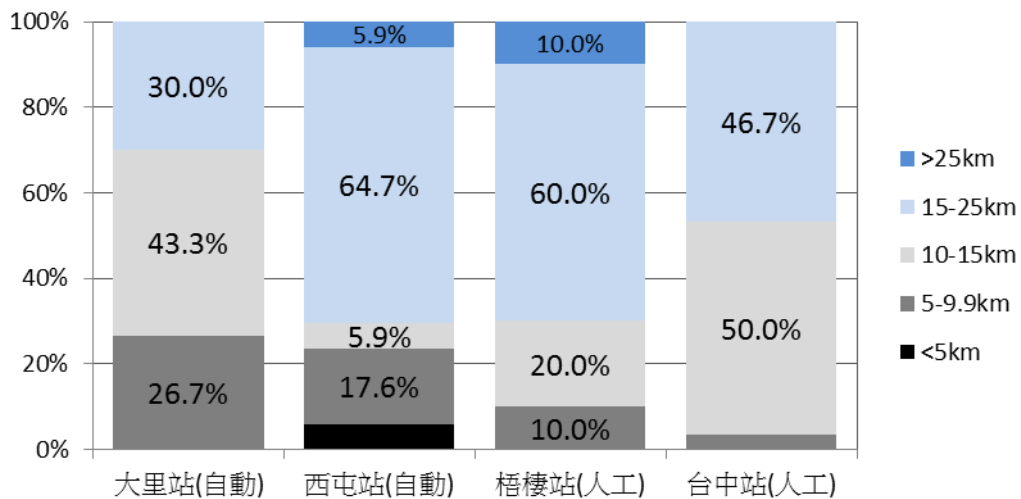
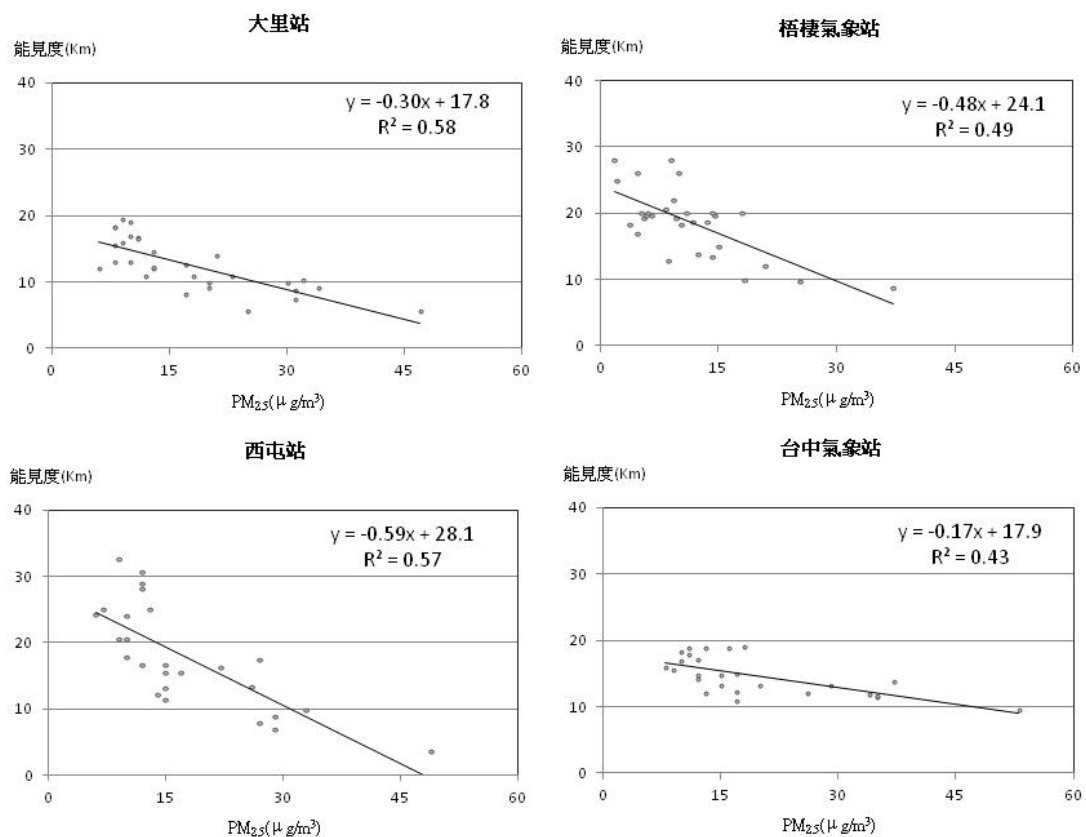


圖3、不同地點能見度之統計

2. 能見度與 PM_{2.5} 濃度分析

民眾直覺地以能見度作為空氣品質好壞的指標，尤其是 PM_{2.5}。至於能見度與 PM_{2.5} 相關性如何，以圖 4 呈現。由圖可知相關性 (R^2) 介於 0.43~0.58 之間，以目前有限資料比對下，能見度自動觀測結果與 PM_{2.5} 相關性略優於人工觀測。



PM_{2.5} 資料來源：大里站採用環保署大里空品站 PM_{2.5} 自動測值
 西屯站採用環保署大里空品站 PM_{2.5} 自動測值
 梧棲氣象站採用台電公司梧棲空品站 PM_{2.5} 自動測值
 臺中氣象站採用環保署忠明空品站 PM_{2.5} 自動測值

圖4、不同地點能見度與PM_{2.5}相關分析

大里能見度與環保署大里 PM_{2.5} 自動測值進行比較，如圖 5 所示。能見度下降 PM_{2.5} 濃度上升，兩者存在相當程度關聯性；降雨期間能見度下降，但下降程度則與降雨時間點以及雨勢有關。

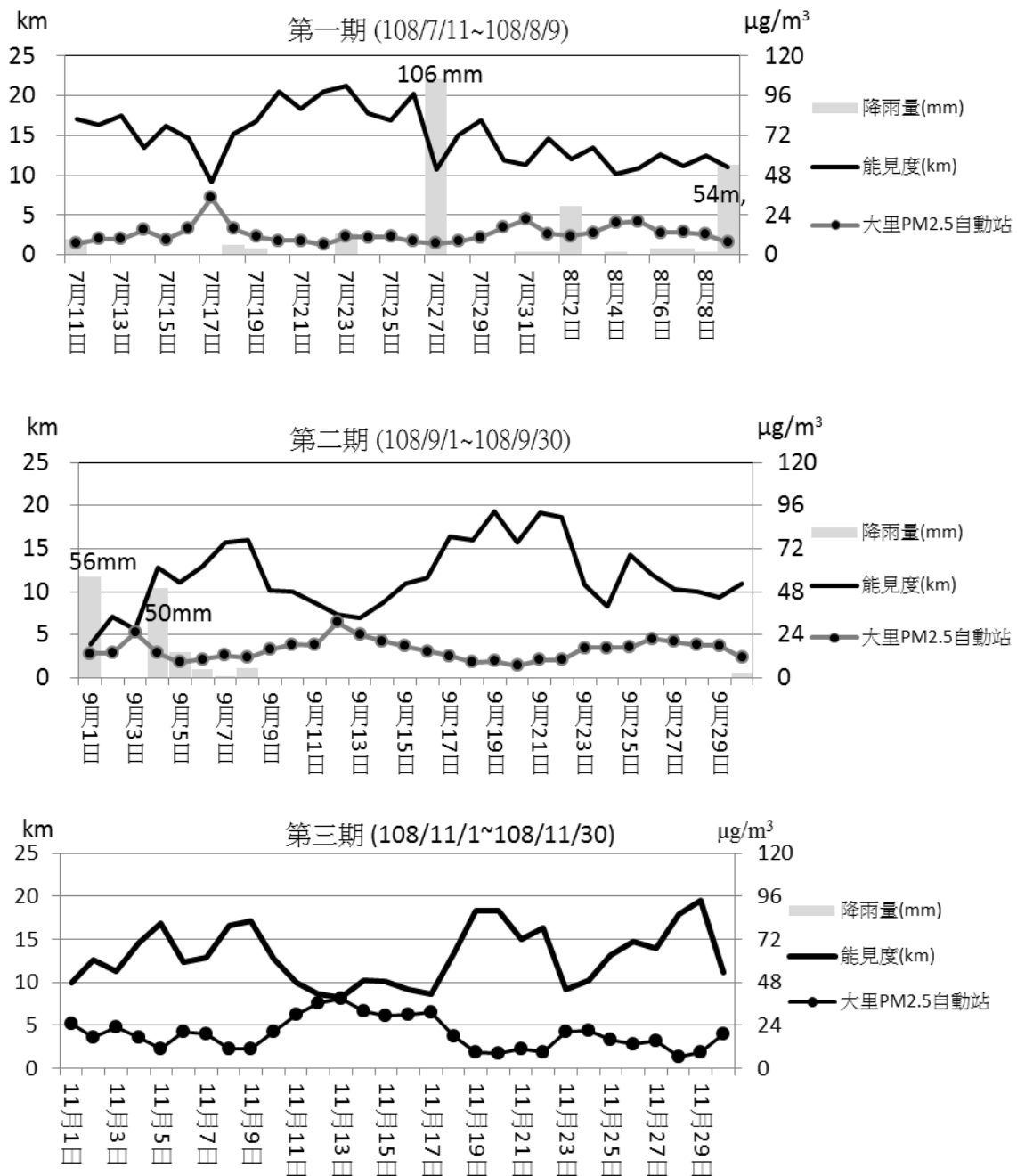
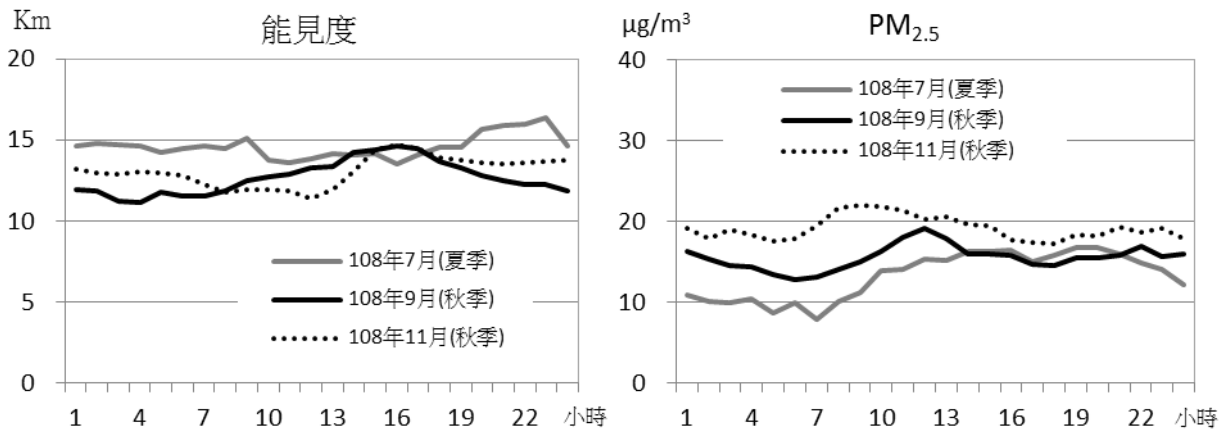


圖5、大里站能見度與PM_{2.5}自動測值趨勢圖

大里能見度日夜變化如圖 6，與國內、外研究結果相似：夏季能見度高，秋季能見度低。大在夏、秋季能見度日變化特徵不同，9 月、11 月秋季期間，中午能見度上升，此與中午混合層發展較高，稀釋微粒濃度有關；夜間及清晨能見度下降，此與夜間異相反應增加微粒生成有關。然而，夏季 7 月份，能見度變化卻相反，能見度在夜間與清晨能見度較佳，中午能見度下降。

圖 6、大里能見度與 PM_{2.5} 之日變化特徵

3. 大里 PM_{2.5} 與 PM₁ 調查結果

能見度高低分類如表 1，統計結果顯示，平均而言，能見度減少 10km，PM₁ 濃度增加 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，硝酸銨含量比例增幅最大（1%升為 6%），硫酸銨及元素碳含量比例變化不大，有機物則降低（40%降至 25%）。

表2、不同能見度下PM_{2.5}與PM₁組成百分比

類別	樣本數	平均視程 (km)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	硝酸銨	硫酸銨	元素碳	有機物	PM ₁ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	硝酸銨	硫酸銨	元素碳	有機物
高能見度 (>15km)	5	17.4	10	3%	7%	7%	32%	7	1%	43%	12%	40%
低能見度 (<10km)	6	7.4	32	5%	12%	8%	27%	27	6%	41%	10%	25%

統計 PM_{2.5} 與 PM₁ 質量重組後之成分占比(詳圖 7 與圖 8)。結果可知 PM_{2.5} 的硫酸銨、硝酸銨、元素碳與有機物成分總和約占 5 成，在 PM₁ 中這些成分總和占約 8 成，可見這些成分的主要粒徑以 PM₁ 為主。

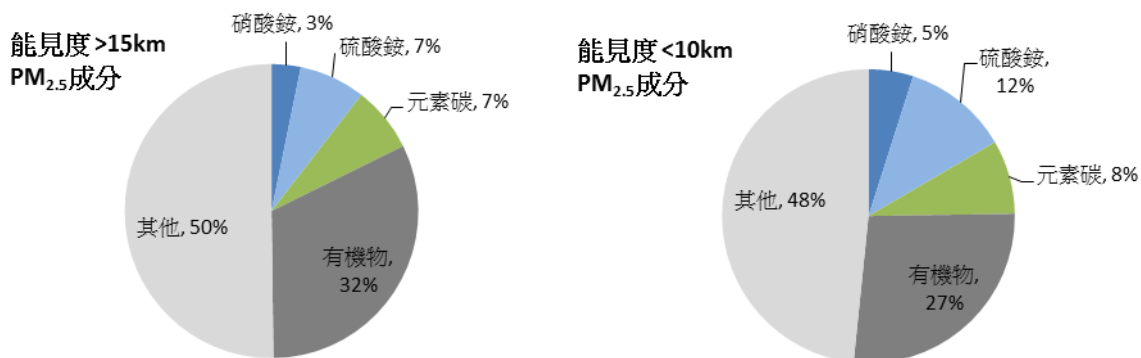


圖7、不同能見度之PM_{2.5}組成比例

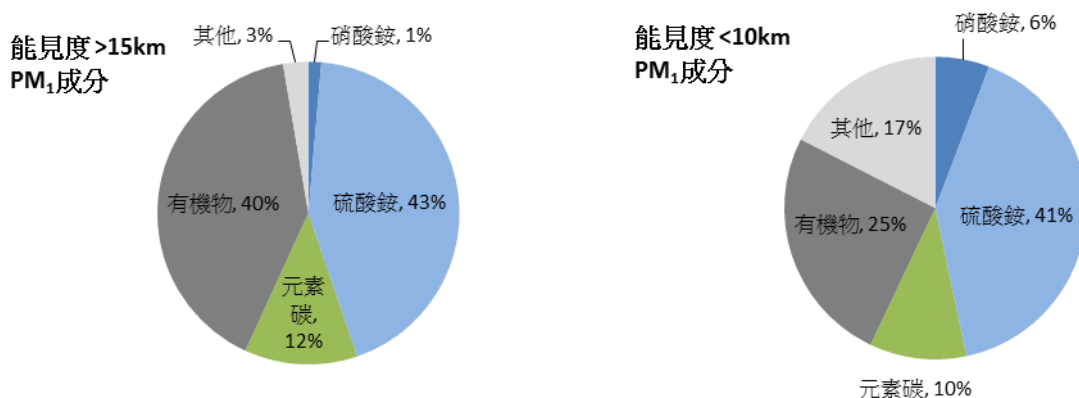


圖8、不同能見度之PM₁組成比例

線性迴歸分析顯示，能見度與 PM₁ 相關性略優於 PM_{2.5}。由此可推知 PM₁ 與能見度關係較密切，能見度劣化期間，PM₁ 中硝酸銨有明顯增加現象。

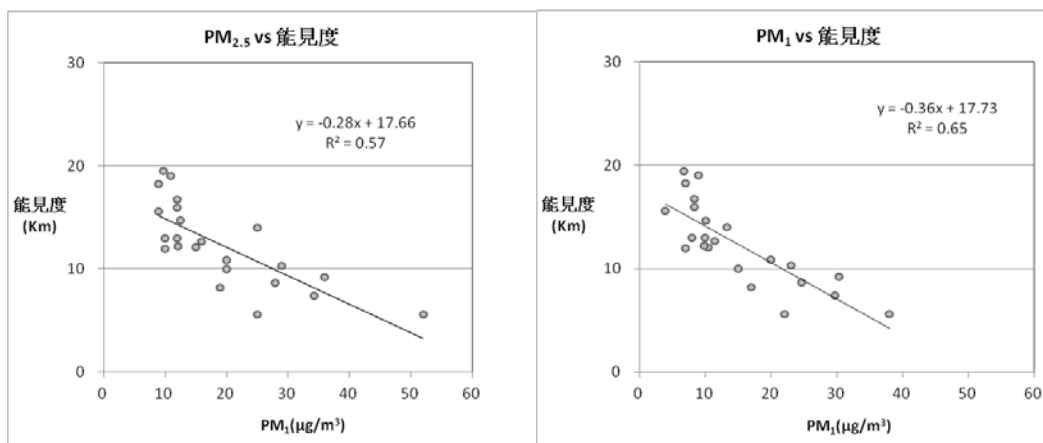


圖9、大里地區PM_{2.5}、PM₁與能見度相關分析

結 論

一、能見度觀測結果

1. 統計氣象局人工觀測結果，梧棲能見度高於北區；自動觀測結果，西屯能見度高於大里。四區的觀測結果比較，大里能見度最差，梧棲能見度最好。四站能見度與PM_{2.5}相關性（R²）介於0.34~0.56之間。能見度自動觀測值與PM_{2.5}相關性略優於人工觀測。
2. 大里在夏、秋季能見度日變化特徵不同；9月、10月秋季期間，中午能見度上升，夜間及清晨能見度下降，此與中午混合層發展較高，稀釋空氣污染物能見度上升，夜間異相反應增加微粒生成有關。然而，夏季7月份，能見度變化卻相反，能見度在夜間與清晨能見度較佳，中午能見度下降，原因則有待未來獲致更多數據後研析。

二、PM組成分析

1. PM₁組成中以硫酸銨含量最高，其次為有機物，再次為元素碳。比較能見度好、壞時PM₁的成分變化，其中硝酸銨含量比例增幅最大（1 %升為 6 %），硫酸銨及元素碳含量比例變化不大，有機物則降低（40 %降至 25 %）。
2. PM₁濃度與能見度相關性高於 PM_{2.5}，能見度減少 10 km，PM₁濃度增加 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
3. 以 20 點次的 PM₁ 以及 PM_{2.5} 成分資料，嘗試建立消光效率公式困難，未來應持續採樣分析，作為未來建置的基礎。

建議事項

1. 能見度受PM₁影響高於PM_{2.5}，PM₁成分以硫酸銨占比43~44%最高，且無論能見度劣不劣化，其占比固定，代表其貢獻量高且穩定，應優先管制硫酸銨的生成。臺中市固定污染源近年推動燃煤、燃油工廠改燃氣，政策持續推動中。移動污染源以船舶使用重油量最大，臺中市有台中港，其漁船用油硫含量上限值1%及3.5%，環保署雖推動漁船用油全面降低為0.5%，但仍產生大量SO₂。船舶若朝改以0.3%低硫重油，可減少原生性硫酸鹽或衍生性硫酸鹽產生。建議推動台中港漁船使用0.3%低硫重油。
2. 能見度與PM₁分析顯示，能見度劣化時，PM₁中硝酸銨占比增幅最大。由此可推知，在不良氣象條件下，要阻止能見度快速劣化，必須抑制硝酸鹽的形成，就是加強管制NO_x。臺中市NO_x排放以柴油車排放占39 %最大。建議空品預警期間，限制1~3期柴油大貨車行駛區域。對於空氣擴散不良的地區，應該要求該區進出須使用5期或6期柴油大貨車，中央在稅務上提供優惠作

為獎勵，地方汰舊換新加碼補助以及油資補貼。

3. 能見度觀測結果統計，與西屯、梧棲、北區比較，大里能見度最差。民眾直覺以能見度當成空氣品質好壞的指標，透過行政區即時的能見度數據發布，可讓民眾瞭解同樣的空品，也會有不一樣的能見度。建議大里建立能見度觀測常規測站持續監測，並與環保署西屯能見度觀測站資料相互為用。

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	PM 採樣及質量分析	24 點次	24 點次	100	
2	PM 採樣及碳成分分析	24 點次	24 點次	100	
3	PM 陰陽離子成分分析	24 點次	24 點次	100	
4	PM 採樣器維護及場租、電費	1 站	1 站	100	
5	能見度監測	3 個月	3 個月	100	
6	資料彙整及分析	1 式	1 式	100	
7	配合執行與業務相關之臨時交辦、突發事件、政策指定之工作或配合機關及環保署相關之行政業務	1 式	1 式	100	
計畫整體達成率				100%	

統計期間：108 年 4 月 30 日~108 年 12 月 31 日

臺中市政府環境保護局 108 年臺中市重點污染源對能見度之影響評估
計畫

期末報告計畫執行成果摘要

計畫名稱：108 年臺中市重點污染源對能見度之影響評估計畫

計畫執行期程：108 年 4 月 30 日至 108 年 12 月 31 日

執行單位：台灣綠仕科技有限公司

計畫主持人：程萬里

計畫經費：貳佰陸拾捌萬元整

執行摘要：

本計畫於 108 年 4 月 30 日至 108 年 12 月 31 日止各項工作執行成果如下：

- 一、PM 採樣及質量分析累計完成 24 點次
- 二、PM 採樣及碳成分分析累計完成 24 點次
- 三、PM 陰陽離子成分分析累計完成 24 點次
- 四、PM 採樣器維護及場租、電費 1 站
- 五、能見度監測累計完成 2 個月
- 六、資料彙整及分析累計完成 1 式
- 七、配合執行與業務相關之臨時交辦、突發事件、政策指定之工作或配合機關及環保署相關之行政業務

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：108 年臺中市至重點污染源對能見度之影響評估計畫

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

王崇邦 委員	
審查意見	回覆
一、目前民眾均以能見度好或不好來判定是否空品不良?工作項目中有一項以檢測數據與能見度建立關係式。以上建立之關係式能否於能見度不佳時，即時提出佐證，能見度不佳係屬氣象因素非空氣污染物?	本計畫成果雖可建立能見度與 PM _{2.5} 組成關係，但要用於能見度不佳的即時佐證有困難，因本市並無成分即時監測資訊可提供應用。
二、本計畫以能見度儀觀測出來數值和氣象局的能見度關連性為何?對外如何說明?	已知本計畫能見度自動觀測與氣象局人工觀測原理不同，關聯性好壞目前尚無數據可供討論，仍有待本計畫成果產出後，才有辦法評估與對應。
吳婉玲 委員	
審查意見	回覆
二、P3-25:本案表 3.3.3 臺中市適合架設能見度監測設備之地點評估，主要依本市與環保署空品監測站優先評估，經查龍井測站為台電所設置，本局設置為文山站位於南屯區。	已修正龍井站為文山測站。(詳 P3-25)
三、另有關初步評估規劃於大里及后里，請再補充篩選條件及地點除微粒組成監測外，和其他監測站之差異。	不考量微粒組成監測的條件下，表列 11 座測站(詳 P3-25)的優選條件則是測站的高度。高度越高，發射光受建築物或樹木的阻擋機率越低，此條件以西屯站和文山站最佳。
四、P6-1 工作進度配置為 8 個月，和經費欄預估 9 個月及經費配置請補充說明。	經費欄為招標文件公告，其編列 9 個月。查本案已流標過 2 次，本次為第 3 標，故時程上已延遲 1 個月。
五、本案 107 年有無類似評估計畫，請補充說明。	查環保署有能見度觀測計劃，但缺少成分分析工作。

黃政恒 委員	
審查意見	回覆
一、能見度測值受成分、粒徑、相對溼度、氣候、採樣地點等因素所影響，請補充說明如何依據計畫執行的 20 點次 PM ₁ 及 4 點次 PM _{2.5} 採樣分析，受限於只能設置在后里及大里站，如何能有效分析本市微粒成分分析，並進一步作為改善台中市能見度的依據？	影響能見度重要因子的微粒成分，由本計畫執行，粒徑則概分為 PM ₁ 及 PM _{2.5} 分別採樣，其他因子如相對溼度及 NO _x 濃度引用自動監測站的數據。 本團隊在微粒採樣及成分分析上，將致力於讓無效樣品數降至 0，並規劃於契約數量外增加採樣與分析次數，以期有良好成果的呈現，據以提出能見度的改善建議。
二、能見度分析受天候及地點影響甚鉅，在採樣點數不多的限制下，如何建立污染源與能見度的關係？所用的統計方法為何？請補充說明。	本計畫工作內容僅能建立微粒成分與能見度之關聯，與污染源的關係無法建立。統計方法採複回歸。
三、對於受委託的認證公司有無進行實驗室查核，以確認分析品質？	雖然本案無編列實驗室查核費用，分析品質方面近年環檢所對認證公司之查核極嚴謹，本團隊將視第一批採樣結果進行評估有無增加實驗室查核的必要。
四、PM _{2.5} 所欠缺的 16 點次，建議由 108 年台中市細懸浮微粒(PM _{2.5})成分分析及空品預報計畫的數據提供，如何確認兩計畫間分析數據的可比較性。	可比較性可先由質量濃度的合理性予以評估，如手動採樣測值不應高於自動測值。其次為成分占比評估，包含硫酸鹽應高於硝酸鹽，主要成分解析率總和應在 5 成以上。
五、消光效率公式規劃作取代為創新做法，其依據的證據會很薄弱。	感謝委員提點。本案工作為第一年執行，過去亦無類似專案結果可供參考，僅能就國外消光效率公式架構在 PM _{10-2.5} 以及 PM _{2.5} 成分上，嘗試比較以 PM _{2.5} 及 PM ₁ 取代後的適用性。
李書安 委員	
審查意見	回覆
一、P-1-1 何謂次微粒？	次微米微粒之簡稱，已修正為”次微米微粒”。
二、若採樣站有 PM _{2.5} 的採樣數據，為何還要採 4 點 PM _{2.5} ？	PM _{2.5} 計畫於大里測站年採 16 點次，本計畫 PM ₁ 採樣年採 20 點次，為讓 PM _{2.5} 與 PM ₁ 採樣點數相同，故由本計畫加採 PM _{2.5} 4 點次。
三、P-2-2 台中人口目前已是台灣第二大。	已修正為第二大。(詳 P2-2)
四、P2-8 表 2.1.5 與 2.1.6 PM _{2.5} 手動測站資訊對	已修正表 2.1.5。(詳 P2-8)

不起來?	
五、P2-24 既然研究指出粒徑在 0.1um-1um 微粒對能見度影響最大，為何採樣粒徑不再細分，如用 MOUDI 採樣。另外，也可以用 SMPS 來看粒徑分布，以及數目濃度對能見度的影響。	要採集不同粒徑使用 MOUDI 及 SMPS 設備確實較恰當，但在有限的經費下，先瞭解探討 PM _{2.5} 與 PM ₁ 跟能見度的關係，再就成果評估未來臺中市是否有粒徑分階監測的必要。
六、有些測站有能見度量測儀器，為何還要另外再架設，請說明原因。	目前全台僅 3 台霧霾用的能見度監測設備，中部設在臺中市西屯區西屯測站，但鄰近區域並無微粒成分監測數據。另外設置的效益有二，1. 微粒成分採樣分析成本最高，本市已有 PM _{2.5} 成分監測站，故架設能見度儀就能有取得關係數的必要數據。2. 未來也可相互比對，不同區域能見度是否大同小異，做為未來設置能見度儀的評估參考。
七、P3-7 表 3.2.5 PM _{2.5} 預計採樣點數非 20 點，只有 16 點?	未列入預計採樣之 4 點次將由”機動採樣”日期中選出。
八、3-12 樣品保存是針對稱重的規範，針對成分分析是否也一樣。	P3-12 表 3.2.9 為環檢所樣品質量秤重的保存規範，因微粒成分會有揮發問題，本團隊長期以來均是收樣當日樣品直送至實驗室調理及後續分析。
林秋國 委員	
審查意見	回覆
一、創新作法 可行性如何?	投標前已評估可行。
二、CSR 指標，請說明。	依公司能力對應 CSR 環境、社會及治理此三項指標因子，訂定分年目標並逐年檢討達標情況。 本公司秉小眾之力服小眾之福為理念，環境方面以辦公室節電節水及減少廢棄物優先做起，社會服務方面則從社區、社團服務及扶弱著手，治理方面則由提升員工福利開始。
三、能見度之改善如何?(不是策略)(大方向)	能見度改善方向只有一條路就是污染減量。但是污染減量牽涉範圍極廣，層面牽涉經濟與發展。在縣市能力範圍內，就是研析導致能見度不良的原因，提出污染源類別管制優先順序，與中央共同協力治理。

四、如何使民眾了解與體驗環品有改善?!	台灣空品逐年改善是肯定的，民眾認為空品惡化，一部分是媒體及激進環保人士對惡化事件過度的渲染與報導所致。台灣空品仍有待提升，改善也必須無止境，但必須集結眾人之力，共同努力，改善之路必須理性面對逐步向前。 目前中央及縣市皆著力在正確資訊的公開，並透過科普知識的傳遞，讓民眾理解空污成因與政府的作為，在這基礎上做出理性判斷與要求。
五、經費為可能有落差(預算 100 元參與請少於 100 元)	謹遵辦理。
六、報告書結論與建議請依口語化容易了解及有感的敘述。	謹遵辦理。
七、1 月~4 月未測定，請於摘要陳述	已加入陳述說明。(詳 P3-7)
王進崇 委員	
審查意見	回覆
一、局招標規範要求採測 PM ₁₀ 20 點次，PM _{2.5} 4 點次，應依署訂標準檢測方法及設備，至於其 QA/QC 數據品質與驗證如何?	委託檢測業採樣及分析的部分由環檢所一方法要求把關。委託成功大學之樣品將透過同地同時採樣，方送兩實驗室(佳美/成大)比測分析結果之方式來確認數據品質。
二、依 P9.3-2 執行工作流程及(P-3.22)架設能見度儀器觀測作業，已初步規劃大里、后里為架設地點:1.代表性 2.空品站附近測微粒濃度測值，所提供污染氣體污染物質及成分，是否足以作交叉比對與驗證。	限於經費，無法兩點同時監測，比對及驗證有困難。
三、P2-28 常見霧霾與污染源圖表說明，例舉出現台中地區如台中港特區、市區內盆地，另目前了解之燃煤黑碳、金屬煙、交通車輛排煙、露天燃燒等對照其造成能見度之重要(主要)因子為何，進而追溯其污染來源。	過去污染源調查經驗顯示，不同污染源所排放微粒大小與組成都有部分雷同，僅比例不同。本案執行所獲得的數據資訊極有限，無法藉其追溯污染來源。
四、P2-30 署西屯測站每小時能見度逐年提收近 3 倍，惟當地居民及市民感受及觀測能見度似有落差?如何由本計畫現行設站監	西屯測站能見度歷史資料使用氣象能見度儀，本計畫使用能見度專用能見度儀，霧霾專用能見度儀較貼近民眾視覺感受，本團隊擬於成果報告中比對兩者的差異。

測設備及數據品質等與中央機關等作比對，檢討或修正，以取得建立準確監測數據品質與務實之能見度相互因果關係。俾據以研擬其管制策略(措施)。另由空污防制設備；個單元濾帶式、活性碳吸附及水洗等單元進一步評估查證其能見度(散射性微粒 0.2μm-0.7，0.9μm 之去除率最佳，據以增設，或加強其去除設備單元。	目前市售粒狀物的去除設備主要在去除大顆粒(粒徑>100μm)，去除直徑 0.2μm-0.7，0.9μm 顆粒之防制設備將利用計畫執行期間蒐集資料後說明。
莊永松 委員	
一、環保局提供 Thermo 2000i，替代設備 PQ200 兩者間的採樣參數差異？	兩者均符合環檢所公告方法，採樣重要參數如流量、溫度、濕度等之監控及採樣起訖時間設定等均相同
二、能見度遙測儀是租賃或貴公司合作廠商所有，其操作的熟悉度為何？	能見度遙測儀為合作廠商所有，該廠商目前負責環保署能見度遙測儀器，操作保養及維修技術能力無虞，今年操作維護技術亦將轉移本公司。
三、能見度遙測儀兩端面板對濕度折光敏感，採樣時如何排除敏感因子，請說明其 QA/QC，架設地點可考量廣闊的地區與 PM_{2.5} 及 PM₁ 採樣點配合。	儀器接收與發射端鏡頭為密封式，且外部有保護罩遮蔽日曬雨淋，加上本身儀器運作時有光源會發熱，儀器內部與鏡頭處濕度不高，不容易在鏡片有凝結水氣的現象，每周會有工程師到現場執行數據接收也會目視鏡頭處有無受灰塵或水氣的汙染干擾，如有汙染會以試鏡紙加以清潔來排除這些敏感因子。本身儀器原廠建議一年調教一次，所以採樣期間不需特別校正，採樣期間會依數據變化加以判斷儀器是否正常運作。 架設地點因要配合採樣器設置位置，目前選定大里測站附近的路線，原廠建議在市區路徑以 0~4 公里範圍內為優。

計畫名稱：108 年臺中市重點污染源對能見度之影響評估計畫

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

陳忠義 委員	
審查意見	回覆
一、數據請補至 12/31 日的數據。	謹遵辦理。
二、西屯/大里的能見度本來就會不同，本計畫所使用的儀器比較 vs 環保署、氣象局？	97 年環保署在西屯站架設能見度儀為 VAISALA PWD22，該儀器為氣象領域所使用之設備，今年 108 年環保署新設 OPTEC LPV-4，該儀器與造成能見度霧霾研究用能見度儀器。 VAISALA PWD22 以紅外線光源為主，對水氣反應較強，因細微粒不及水珠大，能見度評估上誤差偏大。本專案採用 OPTEC LPV-4 能見度儀以綠光為主，與氣象領與使用的能見度儀不同，綠光波長較短，細小微粒對該波長反應強（如圖 3.3.1），美國 IMPROVE 長期計畫已使用多年，對微粒成分含量與能見度間能有量化關係呈現。至於氣象局是採人工觀測，沒有使用儀器。
三、關係式的建立如何去驗證？如何去運用？利用大里觀測站的數據建立的關係式有沒有去驗證西屯站值？	目前數據量過低，關係是代表性仍需提升，提升後才能進入所謂驗證。大里測站建立的關係式無法應用到西屯站，因西屯站無成分監測資料。
四、關係式、文章內容的代碼符號需要說明。	已說明。
五、能見度請補與測站的溫度、濕度相互比較一下。	能見度儀架於中興大學，該點無溫度、濕度量測，以鄰近之環保署大里測站之溫濕度與能見度作相關圖比較，詳 P3-19。
六、簡報 P.12 其他項佔了 50%以上，對能見度影響為何？	成分未解析包括約 1 成的金屬元素以及氧、矽等，雖占 50%，但這些對能見度影響極小，影響能見度主要物種為硫酸根、

	硝酸根、有機物、黑碳、氯等皆已分析。
趙重周 委員	
審查意見	回覆
一、圖 3.5.6 (P.3-19) 溫度 vs 能見度，有出現>45°C之氣溫，請確認。	經確認後大里站溫度記錄確實>45°C，並未被當異常值註記，經研議後，將>45°C值視為異常值刪除，並重新繪製該圖。
二、P.3-30 管制策略、P.4-3 建議事項二、P.5-2 建議二，請於局裡討論可行性後再提出。	謹遵辦理。
三、請再增加 PM _{2.5} 、濕度與能見度之關係及 PM _{2.5} 風速與能見度之關係分析。	謹遵辦理，詳 P3-19。
四、請再增加分析能見度高及低時，PM _{2.5} 、PM ₁ 、濕度、溫度及風速之關係。	如 P3-19，分組結果相關性低，不再贅敘。
莊永松 委員	
審查意見	回覆
一、大里地區能見度較其他點低，除了管制 1-3 期柴油車以外，河海口移入的污染物也有相關性（西南方），如何加以區分其污染源？	以本期計畫工作內容，無法區分是否為海口工業污染物的傳入。
二、P.x 臺中市幾乎沒有使用 0.5%重油工廠，可明確？	經與固定污染源計畫確認，本市尚有 181 家工廠使用重油鍋爐，報告內容已修正。
三、請教計畫經理人費用扣新台幣 46,056 元的原因及如何改善。	起始編列人事費為 10 個月，因計畫流標兩次，得標後執行月份僅 9 個月，故扣除約 1 個月的人事費用。
四、遙測過程中雨天和晴天在數據上的差異？與有效數據佔採樣數的百分比？	3 季遙測共 82 天，其中 18 天降雨，降雨主要集中在第一季，詳 P3-16。人工 PM ₁ 採樣樣本數量 20，有效數據占比 90%，2 筆未納入迴歸式的原因，一筆為境外污染，一筆為解析率太低。
盧重興 委員	
審查意見	回覆
一、進行大氣能見度評估除了使用能見度分析儀外，應搭配環境影像圖（視覺感受）。	未來環保局若持續此工項，當建議納入影像攝影。
二、大氣能見度量測使用方法與不同廠牌型號分析儀，建議不要進行比較。	感謝委員提點，報告中是否要將比較去掉，將依環保局意見辦理。

三、圖 3.5.6 不易看清楚趨勢，建議能見度放在縱軸，PM _{2.5} 放在橫軸，不同相對溼度、氣溫與風速範圍使用不同顏色來區分。	謹遵辦理，將能見度與氣象因子關係改以日平均值作圖，詳 P3-19。
四、使用 PM _{2.5} 微型感測器監測數據來評估大氣能見度會比環保署（局）測站 PM _{2.5} 數據好。	謝謝委員寶貴意見的提供。
五、探討 PM 粒徑與能見度相關性應會比探討 PM ₁ 成分與能見度相關性來得佳。	感謝委員提點。學理上微粒粒徑及成分是影響能見度的關鍵因素，且粒徑上對可見光的影響 PM ₁ 遠大於 PM _{2.5} ，這部分說明在本報告第二章。 本計畫研究目的在調查造成本市能見度不良的化學成分，再對其相關污染源進行管制，如此，改善臺中市能見度工作才有著力點。 國外針對國家公園的能見度改善研究是以 PM ₁₀ 以及 PM _{10-2.5} 探討，除借用國外經驗外，考量臺中市細懸浮微粒以衍生性 PM _{2.5} 為大宗，因此，嘗試以 PM _{2.5-1} 以及 PM ₁ 為研究對象。因此，對應計畫目的探討管制何種污染源有助於能見度提升，非著重在粒徑大小與對見度關係之探討。
六、SOR 與 NOR 分析應更適合大氣能見度評估。	謝謝委員寶貴意見的分享。
七、管制策略應針對與能見度有直接關係策略來訂定。	本計畫目標與委員的期許一致，本計畫亦努力朝目標邁進。
八、建議未來能夠另找大氣能見度較佳觀測地點。	謝謝委員寶貴意見，本工作項未來如果繼續執行，將評估是否有更適當的觀測地點。
方國權 委員	
審查意見	回覆
一、P.7（簡報中）之 PM ₁ 及 PM _{2.5} 採樣器間之距離是否會太近？	每台採樣器間距皆依照環保署設置規範採樣頭之間應相距 1.5 公尺，設備間格符合該規範。
二、簡報 P.9 何以臺中氣象站與忠明空品站之相關性 R ² 值為 0.27？	經補入第三季資料以及將能見度異常值刪除後，相關提升至 0.43，與其他站相當。

三、簡報 P.14 之多元迴歸結果，其係數是否有其顯著性？目前 N 為 16，當若是 N 值不同，其係數即不同。	以目前不到 20 個樣品迴歸結果，其顯著性仍不足，有待未來更多數據的挹注後，能有較好的顯著性呈現。
四、簡報中多元迴歸之 Small 及 Large 如何界定之？	Large 指粒徑 $PM_{2.5-1}$ ，Small 指粒徑 PM_1 。
五、P.4-2 之執行困難之處，之二提及以 20 點次的 PM_1 及 $PM_{2.5}$ 成分資料嘗試建立消光效率公式困難，未來應持續採樣……那麼建立消光效率公式之最低點次應為多少，才能有效建置？	有待未來納入更多數據後，才能評估。
六、P.3-21 之表 3.6.2 之樣本數有 4、6、7 及 27，其中 4、6、7 之樣本數是否會偏低？是否能平均分配樣本數？	4、6 為樣本數，年度總樣本數為 20，已占半數，另 7 與 27 該值為濃度。
七、請補充說明夏季能見度高，秋季能見度低之可能原因為何？	謹遵辦理，詳 P3-17。
八、請補充說明何以秋季之夜間與清晨能見度較不佳之可能原因？何以秋季中午能見度會上升？	依目前有限數據尚難判斷及推測可能原因，請委員見諒。
席行正 委員	
審查意見	回覆
一、期末報告內容充實，工項均達預期目標，對於協助局內理解 PM 與能見度相關性已具有初步進展，值得肯定。	感謝委員肯定。
二、能見度與微粒成分關係，在樣品數偏低情形下，仍屬 site-specific，所以本次研究所得結果宜僅限於採樣地區，不做過度解讀。P.3-26~3-29 內容建議重新再整理，由內之無法判別那條方程式為主 empirical 公式。	感謝委員指導，內容已重新編寫並詳加註解。
三、承上，不論 P.3-26 或 P.3-28 為主方程式，硝酸鹽與硫酸鹽對 light extinction 之權重均極接近，故文中結論提高能見度要由降低硫氧化物排放為主可能有誤，因為硫酸鹽所造成之不透光為基線，能見度不佳日多有硝酸鹽濃度大幅上升情形。	感謝委員提點及指導，已重新審視重下結論。

四、此外，PM 成分分析時，「其他」為何種物質？能見度不佳時「其他」占比亦提高(Y mass balance $\neq$ 100%)	「其他」包括約 1 成的金屬元素以及氧、矽等，雖占 50%，但這些對能見度影響極小，影響能見度主要物種為硫酸根、硝酸根、有機物、黑碳、氯等皆已分析。對於能見度不佳時「其他」占比亦提高的現象，本團隊尚無法歸納出原因，請委員見諒。
五、人工觀測部分，如能將第三期觀測數據拿掉，一致性應可提高，可嘗試執行看看。而署自動觀測於 10/30 後之數據如果能補齊，便能了解第三段一致性與否。	感謝委員提點，人工觀測將第三期數據差距較大的部分視為異常值剔除，並補入第三期數據，重新計算相關性。
空噪科審查意見：	
一、計畫摘要缺字及 PM 污染物表示下標，請修正。	已修正，詳計畫摘要。
二、能見度可否做全國比較？可得知臺中市能見度與其它地區之差異程度。	謹遵辦理，詳 P2-29。
三、P.3-30 請確認硫酸「氨」是否有誤？	已修正，詳 P3-30。
四、P.3-31 小結二 3.消光效率公式建立困難，持續採樣分析可分年度執行嗎？是否會有年度分析差異性？做多少的分析數量才夠？	可分年執行，國外亦是累積長期數據，不斷修正該公式增加其代表性。
五、P.4-3 有關硫酸銨改善建議臺中市「幾乎沒有」使用 0.5%重油的工廠，請確認有多少？建議推動漁船用油，因用油規定屬中央權責，請提供相關具體做法及本市漁船用油背景資料等。	經與固定污染源計畫確認，本市尚有 181 家工廠使用重油鍋爐，報告內容已修正。
六、P.4-3 二、NO _x 建議政府於稅務上提供優惠作為獎勵，此建議之具體做法為何？本市可自行提供稅務優惠？目前環保署推行低率貸款及本市提供之柴油車補助是否有可加強之處？	文中已再納入本市可行之稅務優惠建議供參，詳 P4-3。
七、P.4-3 三、大里地區能見度觀測常規站設立，監測值如何告知民眾？	若經費許可，建議比照空品監測站，每小時數據可連線收回，並在臺中市環保局網

	頁呈現。
--	------

第一章 前言

細微粒（PM_{2.5}，即細懸浮微粒）可穿透肺部肺泡進入血管，隨血液循環全身危害人體健康，增加患病率並減少壽命，是目前民眾最重視之指標污染物之一，也是導致能見度降低的因素。次微米微粒（PM₁）比細微粒（PM_{2.5}）粒徑更小，PM₁是對空氣中直徑小於或等於1微米的固體顆粒或液滴的總稱，也稱為可入肺顆粒物。

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}納入空氣品質標準項目之一。

近年中央及地方致力於PM_{2.5}的改善，PM_{2.5}濃度已逐年下降，但民眾認為能見度並未隨PM_{2.5}降低而明顯好轉。本市因有火力發電廠、鋼鐵廠等大型工業，民眾普遍認為台中火力發電廠是造成能見度差的主因，雖近年來台中火力發電廠已減少年燃煤量，排放量也逐年降低，然而民眾對臺中市能見度提升依舊無感。

鑒於許多國外的能見度相關研究，發現降低能見度主要因PM₁遮光能力高，能見度若降低，PM₁之貢獻約7成，而PM_{2.5}中大部分是由PM₁組成。因此，持續對PM_{2.5}進行整治，卻不特別針對PM₁的形成機制加以防制，即使空品指數顯示已大幅改善，天空依舊灰濛不清。

本計畫參考國外大型能見度調查計畫之經驗，以研究霧霾的能見度的消光儀進行監測，配合PM_{2.5}與PM₁的組成調查，研析本市能見度不佳的原因，並據以提出改善策略，希冀能加速本市能見度改善，達成民眾的期待。

1.1、計畫目標

- 一、 本市空污熱區執行 PM₁採樣及能見度觀測作業。
- 二、 評估空污熱區之細微粒及次微米微粒對能見度之影響程度。
- 三、 建立微粒成分與能見度關係，提供本市能見度改善之策略。

1.2、預期效益

- 一、 研析本市 PM_{2.5}與 PM₁比例組成特徵。
- 二、 瞭解細微粒及次微米微粒對本市能見度之影響程度。

三、提出改善能見度之管制策略。

1.3、工作項目

1. 本市空污熱區執行 20 點次 PM₁ 及 4 點次 PM_{2.5} 採樣分析作業

- (一) 採樣設備：使用本局提供之採樣器（每台儀器含採樣所需濾紙匣配備 2 份，如不敷使用得標廠商應自備），PM₁ 分徑器由廠商自備，其他採樣所需零件、耗材（如採樣濾紙、墊片等）、流量計、壓力計及溫度計等設備，廠商須自行準備，本局不另提供，各項設備品質須符合標準檢驗方法規定。
- (二) 採樣時間：日期需與環保署 PM_{2.5} 採樣同步，每次採樣日期為凌晨零時至 24 時。
- (三) 分析項目：包含質量濃度分析、碳組成（EC、OC）、硝酸鹽、硫酸鹽及銨鹽分析。碳組成分析方法：須以加熱光學反射法（Thermal Optical Reflectance, TOR）分析樣品中有機碳（OC）和元素碳（EC）含量。陰陽離子分析方法：以離子層析儀（Ion Chromatography, IC）進行陰陽離子成分分析，項目包括硫酸根、硝酸根、銨根。
- (四) 採樣及分析方法均需依環檢所公告之檢測方法執行。若特殊情況報經本局同意後，得採用非環保署公告檢測方法。
- (五) 於本局指定地點執行共 4 點次 PM_{2.5} 採樣，分析項目同 PM₁。

2. 本市空污熱區架設能見度儀執行自動觀測作業

- (一) 計畫開始 1 個月內進行現勘作業，提交安裝地點、能見度儀規格資料，經本局同意後始得安裝運轉。
- (二) 能見度觀測需與 PM 採樣期一致，觀測時程設定為 3 個月（備註：觀測日至少 60 天且平均分配於 3 個月內，另每個月沒有觀測之日數應提出原因，例如：監測儀定期維護…等。），原則上需有三季之觀測。
- (三) 能見度監測儀經本局同意安裝地點及能見度儀規格資料後始得安裝運轉，惟其擇定觀測之月份須於三季（夏、秋、冬）之中每季各擇 1 個月，且須於安裝前 15 日提送相關文件本局備查，始得執行相關作業。
- (四) 另有關能見度觀測日至少 60 天且平均分配於 3 個月內，須於本計畫完成 3 個月之觀測期後 10 日內，整理一式關於能見度監測儀於此 3 個月觀測日數統計表並提報本局備查。

3. 能見度儀設備應比照美國環保署能見度監測網（The Interagency Monitoring of Protected Visual Environments, IMPROVE）使用之最新設備功能或為其同

等品質

- (一) 符合量測原理採用透射式。
- (二) 最小可量測視程範圍須小於 1 km，最大可量測視程範圍須大於 20 km，且視程量測解析度須小於 0.5 km。
- (三) 光源波長為 530 ~ 550 nm 之間且量測光徑長度至少大於 1.5 km。
- (四) 消光係數量測需涵蓋 0.0100 to 6.5535 km^{-1} 範圍。
- (五) 每筆訊號輸出週期小於 5 min，輸出界面為 RS 232 或規格更佳之界面。須設置可將輸出訊號收集、處理、顯示與傳輸功能的硬體設備與連線軟體，並可進行遠端監控。
- (六) 有關能見度儀光源發射端所須雨遮及設備安裝於穩固的支撐施工、保養維護、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。

4. 建立本計畫微粒成分與能見度關係，據以作為本市能見度改善之參考

- (一) 蒐集彙整國內外有關能見度之研究報告以及影響能見度成因及改善相關文獻，提出對本局能見度改善之建議。
- (二) 運用本計畫及本局相關 $\text{PM}_{2.5}$ 採樣計畫之檢測數據，與能見度建立數值關係式，作為本局能見度改善策略之評估依據。

1.4、工作執行流程

本計畫範疇涵蓋微粒（ PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ ）採樣分析以及建立微粒成分與能見度之關係，工作類別概分三大項：一、微粒採樣分析，二、架設能見度儀執行自動觀測作業，三、建立本市微粒成分與能見度關係，據以作為能見度改善策略之參考。工作執行流程如圖1.1所示。

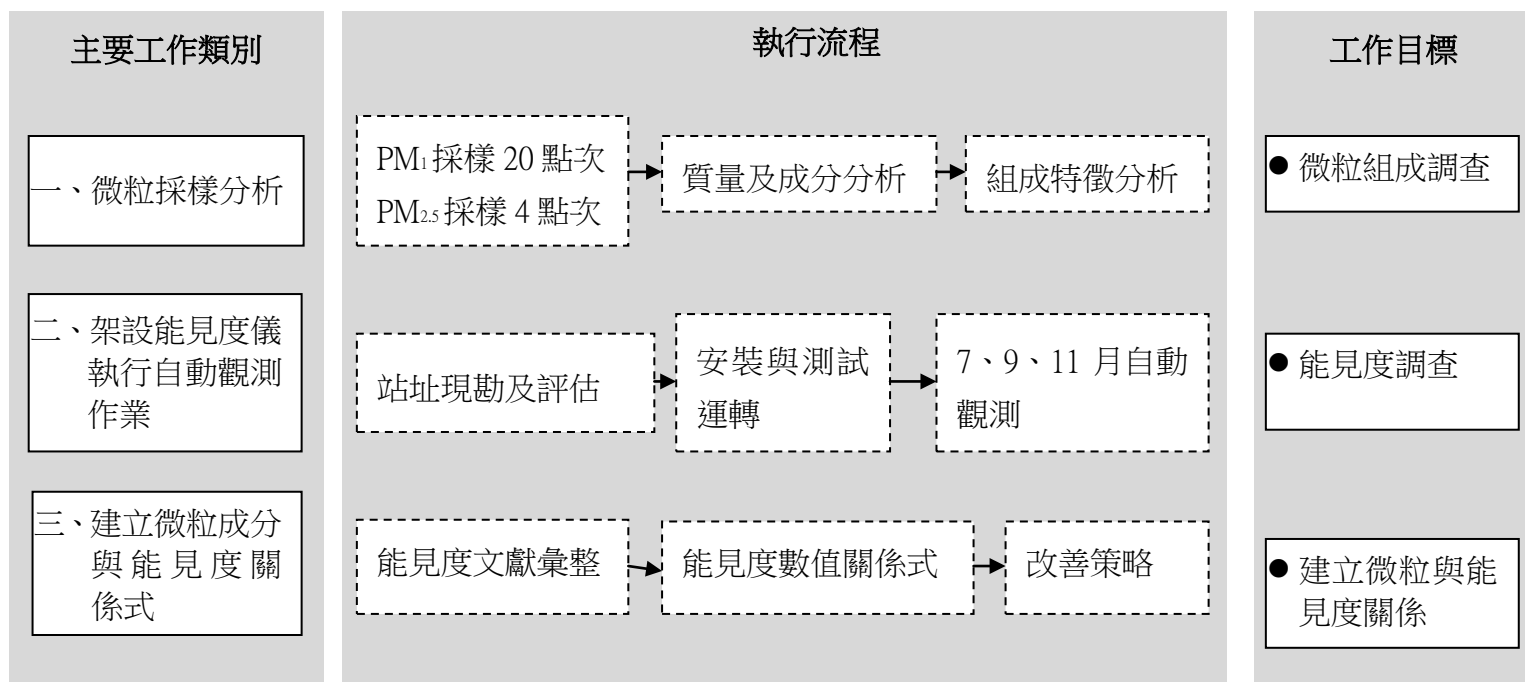


圖 1.1、工作執行流程概要圖

1.5、經費、工作進度與報告章節對照

計畫經費268萬元，計畫期程自108年4月30日~108年12月31日。表1.1為本計畫預定進度及查核點，表1.2為工作的實際進度及考核點一覽表，計畫執行進度已達合約要求。各項工作成果概要與報告章節對照如表1.3。

表 1.1、本計畫執行進度與查核點（1/2）

預定進度										
工作內容項目	年別	108								
	月份	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. PM 採樣及質量分析					■	■	■	■	■	
2. PM 採樣及碳成分分析					■	■	■	■	■	
3. PM 陰陽離子成分分析					■	■	■	■	■	
4. PM 採樣器維護及場租、電費			■	■	■	■	■	■	■	■
5. 能見度儀架設			■	■						
6. 能見度監測					■	■	■	■	■	
7. 資料彙整及分析			■	■	■	■	■	■	■	■
8. 配合本局交辦工作及環保署相關行政業務			■	■	■	■	■	■	■	■
9. 期末報告									■	■
預定進度累積百分比（%）		1	2	5	25	35	55	65	85	100

續表 1.1、本計畫執行進度與查核點 (2/2)

查核點	查核項目
第一期款 108/09/20	1. PM 採樣及質量分析 9 點次 (檢測報告) 2. PM 採樣及碳成分分析 9 點次 (檢測報告) 3. PM 陰陽離子成分分析 9 點次 (檢測報告) 4. PM 採樣器維護及場租、電費 1 站 (維護報告) 5. 能見度監測 1 個月 (數據報告) 6. 資料彙整及分析
期末報告 108/11/27	提送期末報告初稿
第二期款 108/12/31	1. PM 採樣及質量分析 24 點次 (檢測報告) 2. PM 採樣及碳成分分析 24 點次 (檢測報告) 3. PM 陰陽離子成分分析 24 點次 (檢測報告) 4. PM 採樣器維護及場租、電費 1 站 (維護報告) 5. 能見度監測 3 個月 (數據報告) 6. 資料彙整及分析

表 1.2、工作實際進度及考核點 (1/2)

契約書之預定進度累積百分比 (%)					實際執行 進度 (%)		
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. PM 採樣及質量分析	目標數共 24 點次，達成率 100%	✓			無		
2. PM 採樣及碳成分分析	目標數共 24 點次，達成率 100%	✓			無		
3. PM 陰陽離子成分分析	目標數共 24 點次，達成率 100%	✓			無		
4. PM 採樣器維護及場租、電費	目標數 1 站 (維持設備正常運作)， 達成率 100%	✓			無		
5. 能見度監測	目標數共 3 個月，達成率 100%	✓			無		
6. 資料彙整及分析	目標數共 1 式，達成率 100%	✓			無		
7. 配合執行與業務相關之臨時交辦、突發 事件、政策指定之工作或配合機關及環 保署相關之行政業務	目標數共 1 式，達成率 100%	✓			無		

續表 1.2、工作實際進度及考核點 (2/2)

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	108 年 9 月 20 日	完成 PM 採樣及質量分析 9 點次、完成 PM 採樣及碳成分分析 9 點次、完成 PM 陰陽離子分析 9 點次、完成 PM 採樣器維護及場租、電費共 1 站（維持設備正常運作）、完成能見度監測 1 個月、完成資料彙整及分析（依實際量）、配合執行與業務相關之臨時交辦、突發事件、政策指定之工作或配合機關及環保署相關之行政業務（依實際量）、提送成果摘要、成果報告及成果光碟。
查核點二	108 年 11 月 27 日	提送期末報告
查核點三	108 年 12 月 31 日	完成 PM 採樣及質量分析 24 點次、完成 PM 採樣及碳成分分析 24 點次、完成 PM 陰陽離子分析 24 點次、完成 PM 採樣器維護及場租、電費共 1 站（維持設備正常運作）、完成能見度監測 3 個月、完成資料彙整及分析 1 式、配合執行與業務相關之臨時交辦、突發事件、政策指定之工作或配合機關及環保署相關之行政業務 1 式、提送成果摘要、成果報告及成果光碟。

表 1.3、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. PM 採樣及質量分析	1.儀器地點與原理說明 2.PM _{2.5} 及 PM ₁ 分析方法 3.能見度儀器量測 4.能見度觀測結果 5.能見度與 PM _{2.5} 濃度分析 6.大里 PM _{2.5} 與 PM ₁ 調查結果 7 能見度及微粒成分關係式建立 8.管制策略研擬	第三章
2. PM 採樣及碳成分分析		
3. PM 陰陽離子成分分析		
4. PM 採樣器維護及場租、電費		
5. 能見度監測		
6. 資料彙整及分析		
7. 配合本局交辦工作及環保署相關行政業務	1.環保署考評提交資料	附錄四 配合局端交辦事項報告

第二章 背景說明

彙整對臺中市PM_{2.5}濃度對能見度具有影響的資訊，包括地理特性、氣象、空氣品質、污染源以及微粒物化特性等基礎資料，圖2.1為本章背景資料之架構。

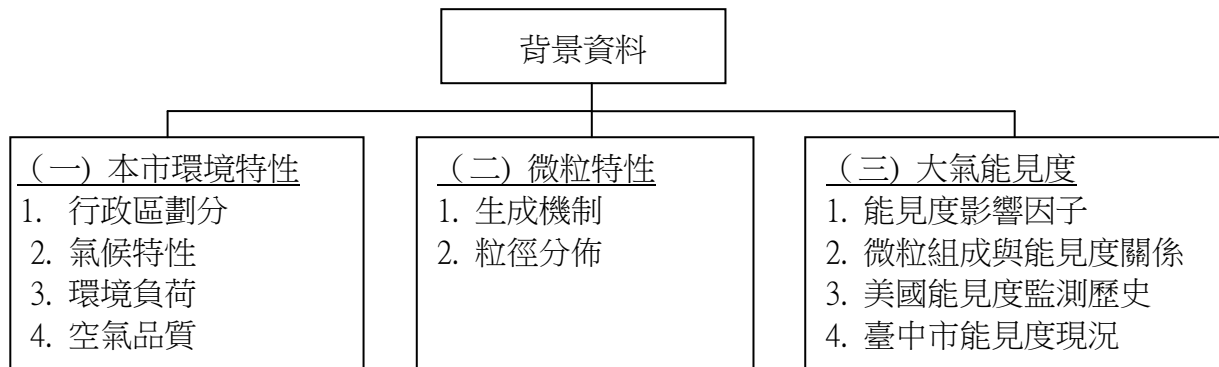


圖2.1、背景資料架構說明

2.1、本市環境特性

臺中市位於臺灣西部中段偏北，介於大安溪與大肚溪之間。面積東西狹長，最寬可達99公里；而南北短，最短只有15.75公里。如圖2.1.1所示，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）。

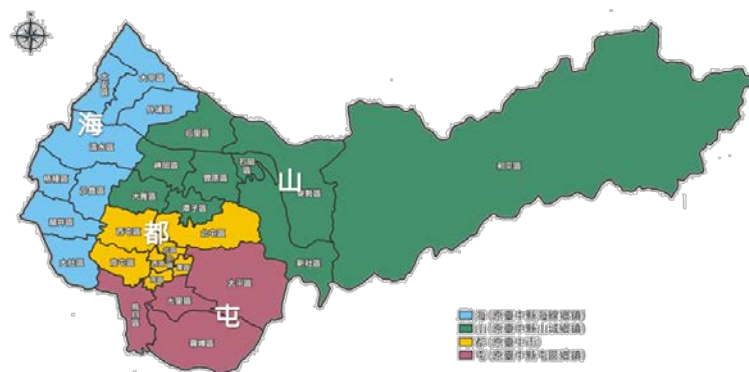
全市面積約為2214.9km²。地形變化大體由東向西漸緩，由西向東大體上可分成西部沿海平原、西部臺地、臺中盆地、丘陵地及山地五個地區。



圖2.1.1、臺中市地理位置圖

2.1.1、行政區劃分

臺中市共區分為29個行政區（詳圖2.1.2），人口數約274萬人，是臺灣人口第二大的直轄市。表2.1.1為行政區面積與人口數一覽表，其中以和平區面積1037.82平方公里最大，中區面積0.88平方公里最小。人口密度以北區每平方公里達21,269人最高，和平區每平方公里僅11人最低。



圖片引用：<http://tp.longi.tw/plan.php>

圖2.1.2、臺中市行政區劃分圖

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	18,334	20,827	神岡區	35.0445	65,635	1,873
東區	9.2855	76,025	8,187	潭子區	25.8497	109,352	4,230
南區	6.8101	126,551	18,583	大雅區	32.4109	95,694	2,953
西區	5.7042	115,295	20,212	新社區	68.8874	24,326	353
北區	6.9376	147,440	21,252	石岡區	18.2105	14,793	812
西屯區	39.8467	230,006	5,772	外埔區	42.4098	32,261	761
南屯區	31.2578	172,648	5,523	大安區	27.4045	19,110	697
北屯區	62.7034	282,804	4,510	烏日區	43.4032	75,500	1,740
豐原區	41.1845	166,880	4,052	大肚區	37.0024	57,192	1,546
東勢區	117.407	49,850	425	龍井區	38.0377	77,901	2,048
大甲區	58.5192	76,923	1,314	霧峰區	98.0779	65,363	666
清水區	64.1709	87,469	1,363	太平區	120.747	193,366	1,601
沙鹿區	40.4604	94,629	2,339	大里區	28.8759	212,713	7,366
梧棲區	16.6049	58,860	3,545	和平區	1037.82	10,921	11
后里區	58.9439	54,666	927				

資料來源：臺中市政府民政局網站（108年09月全部各區人口結構）

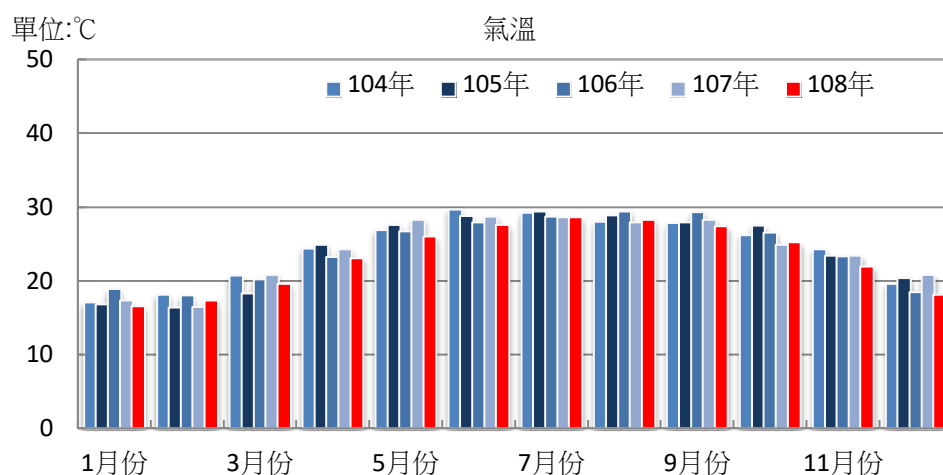
2.1.2、氣候特性

臺中市氣候受地形影響甚大，高山、海岸、丘陵及臺地各有差異。大體而言，本市氣溫及濕度均高，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；東部丘陵山地區，夏冬有雨。西海岸及中部盆地在冬季常有長期的乾旱，尤以西海岸為甚。

冬季雨源受地形阻擋，雨量較少；夏季則因雨源受地形阻擋不多，且多颱風來襲，故夏雨豐沛。夏雨冬乾，每年年雨量集中在5~9月。年平均颱風發生頻率為5.6次，9月至翌年5月的冬季季風，常被地形約束成北風；每年6月至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年臺中市年平均溫度攝氏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1.5m/s。

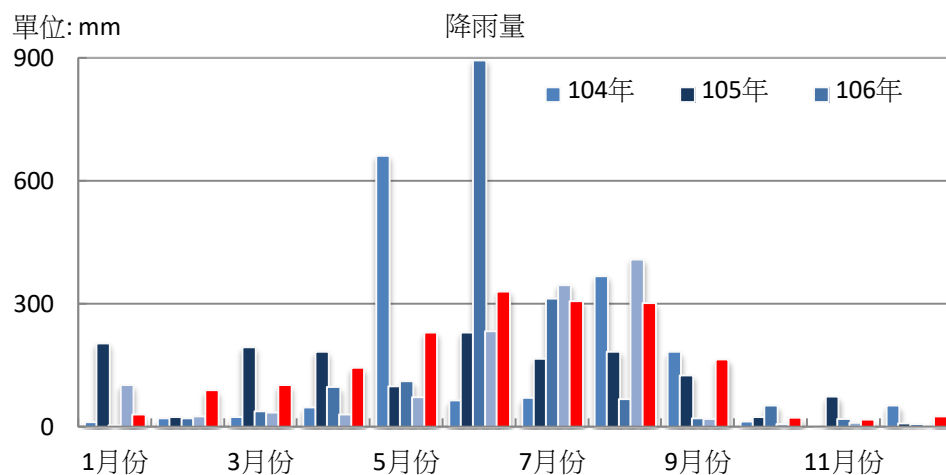
統計臺中氣象站近年監測結果，圖2.1.3為每月平均氣溫統計，最冷月在1月，最熱月在7月。圖2.1.4為每月累計降雨量統計，5~8月總雨量，占全年總降雨量約7成；反之，9月至翌年4月為乾季，8個月的總降雨量，約占年降雨量的3成。降雨集中、乾溼分明、乾季綿長，是本市主要降雨特性。

圖2.1.5為相對濕度統計，每月平均相對濕度在70%以上月份至少10個月，加上最高、最低之間的變化幅度不大。圖2.1.6為日照時數統計，以4月日照小時數較少，8~12月日照小時數較高。



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

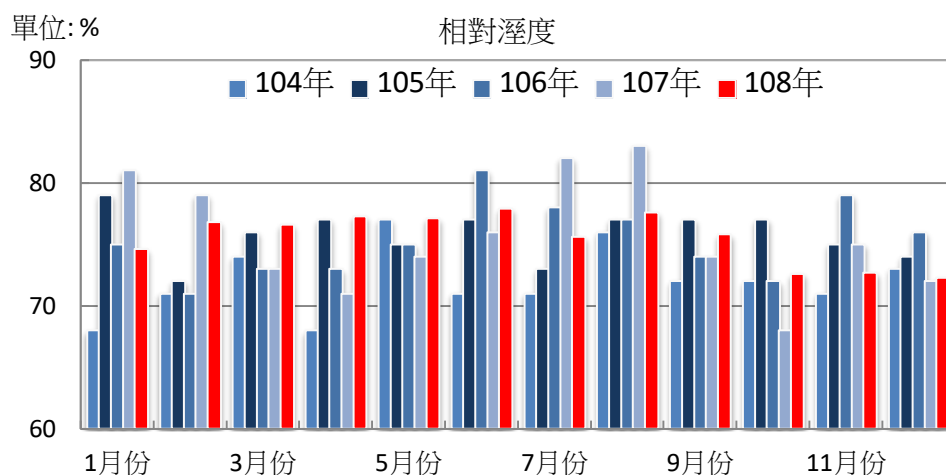
圖2.1.3、臺中市月平均氣溫統計圖



說明：1.數據來源：中央氣象局網站<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>

2.計算方式：採臺中氣象站月觀測資料統計

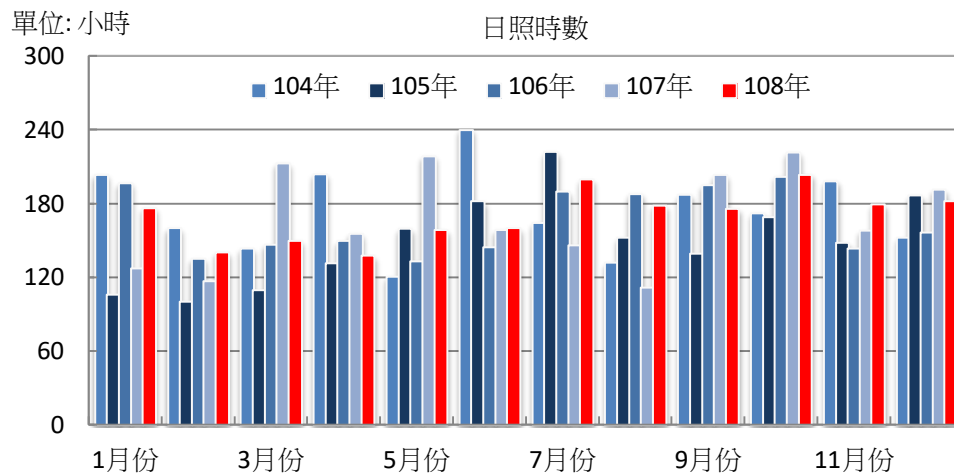
圖2.1.4、臺中市月降雨量統計圖



說明：1.數據來源：中央氣象局網站<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>

2.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.數據來源：中央氣象局網站<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
 2.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

依TEDS10（105年為基準年）資料顯示，TSP年總排放量357,446公噸，主要來源為營建/道路揚塵占78%，次為工業排放占9.7%；PM₁₀年總排放量144,579公噸，主要來源為營建/道路揚塵占62%，次為工業排放占15%；PM_{2.5}年總排放量63,402公噸，主要來源為營建/道路揚塵占33%，次為工業及車輛排放各占26%。（詳表2.1.2與表2.1.3）。

硫氧化物SO_x年總排放量108,618公噸，主要來源為工業，其中又以電力業排放占43%最大；氮氧化物NO_x年總排放量366,874公噸，主要來源為車輛，其中以柴油車排放占39%最大，汽油車排放占7.9%次之；非甲烷碳氫化合物NMHC年總排放量518,811公噸，以一般消費占30%最大，次為其他工業表面塗裝業及汽油車排放各占9.9%及8.9%。

表2.1.4為臺中市原生性PM_{2.5}不同行業別的排放量排序，以製造業占22.68%（1,749公噸/年）最高，次為家庭18.32%（1,413公噸/年），再次為陸上運輸業占17.55%（1,353公噸/年），營造業11.82%（912公噸/年）名列第四，第五大排放源為電力及燃氣供應業占11.09%（855公噸/年）。

表2.1.2、臺中市TEDS10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
固定源	工業	34,812.80	22,290.70	16,577.04	82,440.24	145,354.46	173,394.01
移動源	車輛	30,146.58	20,912.83	16,792.26	140.73	183,542.80	109,340.00
	非公路運輸	2,088.19	2,088.14	1,701.02	20,829.68	20,866.55	1,168.93
逸散源	商業	3,409.44	3,189.10	2,210.69	2,583.53	3,564.35	184,431.02
	營建/道路揚塵	281,240.59	90,837.26	21,117.22	0.00	0.00	47,989.76
	露天燃燒	4,618.35	4,297.59	4,140.27	1,496.60	3,667.71	1,422.55
其他	其他	1,130.14	963.90	863.51	1,127.34	9,878.99	1,065.15
總排放量		357,446.10	144,579.52	63,402.01	108,618.13	366,874.86	518,811.42

備註：資料統計自 TEDS 10.0（108/09/06 公告），為臺灣地區（不含金門馬祖）

表2.1.3、臺中市TEDS10各污染物排放量百分比

單位：%

類別		TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	NMHC
固定源	工業	9.74	15.42	26.15	75.90	39.62	33.42
移動源	車輛	8.43	14.46	26.49	0.13	50.03	21.08
	非公路運輸	0.58	1.44	2.68	19.18	5.69	0.23
逸散源	商業	0.95	2.21	3.49	2.38	0.97	35.55
	營建/道路揚塵	78.68	62.83	33.31	0.00	0.00	9.25
	露天燃燒	1.29	2.97	6.53	1.38	1.00	0.27
其他	其他	0.32	0.67	1.36	1.04	2.69	0.21
總排放量		100	100	100	100	100	100

備註：資料統計自 TEDS 10.0（108/09/06 公告），為臺灣地區（不含金門馬祖）

表2.1.4、臺中市原生性PM_{2.5}排放量前十大行業別一覽表

序號	種類	公噸/年	百分比(%)
1	製造業	1749	22.68
2	家庭	1413	18.32
3	陸上運輸業	1353	17.55
4	營造業	912	11.82
5	電力及燃氣供應業	855	11.09
6	農、林、魚、牧業	471	6.12
7	住宿及餐飲業	286	3.72
8	水上運輸業	272	3.53
9	裸露地表風蝕	245	3.18
10	礦石及土石採取業	92	1.19

備註：資料統計自 TEDS 10

2.1.4、空氣品質

民國 101 年 5 月 14 日環保署發佈 PM_{2.5} 空氣品質標準，24 小時值標準 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，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。

如圖 2.1.7 所示，環保署設置於本市之空氣品質自動監測站共有 5 站，臺中市環保局自設之空氣品質自動監測站有 6 站。表 2.1.5 為自動測站位址及污染物監測項目，臺中市 11 座自動監測站中，均裝設有「貝他射線衰減法」之監測設備，可每小時自動監測 PM_{2.5} 濃度，該檢測值稱為小時值，此值須經手動迴歸式修正才能與空氣品質標準比較。

臺中市以「貝他射線衰減法」連續自動監測 PM_{2.5} 小時值以忠明測站最早，在民國 94 年之前即開始監測，豐原、沙鹿、西屯與大里自民國 94 起開始監測，大甲、后里、文山、太平、霧峰及烏日則自 102 年 10 月起加入監測。

表 2.1.6 為本市 PM_{2.5} 手動站說明，PM_{2.5} 手動站架設有 PM_{2.5} 採樣器，以「手動採樣法」連續 24 小時採集空氣中 PM_{2.5}，再送至實驗室秤重分析，該檢測值稱為 24 小時值，可直接與空氣品質標準比較。

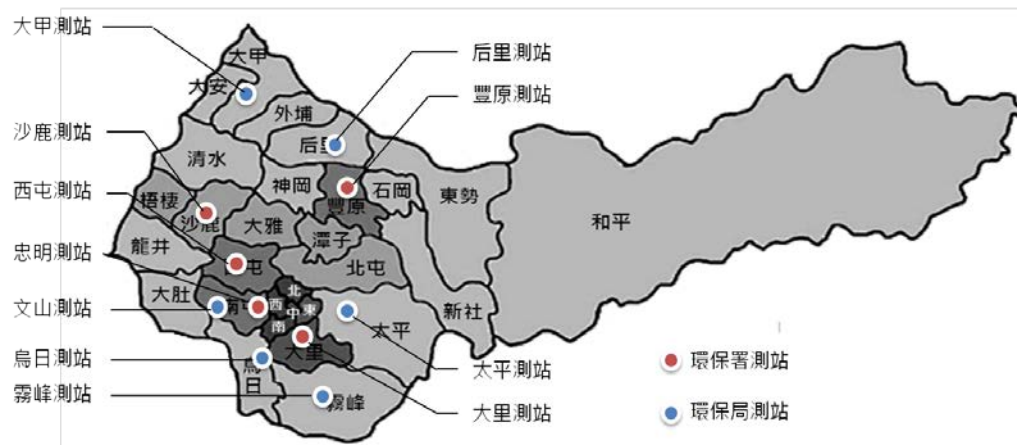


圖2.1.7、臺中市自動監測站分佈圖

表2.1.5、臺中市空氣品質自動監測站監測項目現況表

基本資料					測站監測項目													
分類		分區	設置單位	測站名稱	SO ₂	CO	O ₃	NO _x	HC	PM ₁₀	PM _{2.5} 自動	PM _{2.5} 手動	酸雨	雨量	風向	風速	溫度	紫外線
都區	1	西屯區	署	西屯	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
	2		局	東大交通	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓局		✓	✓	✓	✓	
	3	南屯區	署	忠明	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓署		✓	✓	✓	✓	
	4		局	文山	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	
海區	5	大甲區	局	大甲	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	
	6	沙鹿區	署	沙鹿	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
山區	7	后里區	局	后里	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓局		✓	✓	✓	✓	
	8	豐原區	署	豐原	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓署		✓	✓	✓	✓	
	9	東勢區	局	東勢							✓				✓	✓		
	10	和平區	局	和平							✓				✓	✓		
屯區	11	烏日區	局	烏日	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	
	12	霧峰區	局	霧峰	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	
	13	太平區	局	太平	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	
	14	大里區	署	大里	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓局		✓	✓	✓	✓	

備註：臺中市政府環境保護局文山、大甲、后里、烏日、霧峰、太平PM_{2.5}自動監測（小時值）於102年10月始，東勢及和平PM_{2.5}自動監測（小時值）於107年4月開始監測。

表 2.1.6、臺中市固定式 PM_{2.5} 手動監測站資訊一覽表

分類		分區	設置單位	測站名稱	地址	監測時間
都區	1	西屯區	局	西屯	臺中市西屯區安和路 1 號	105 年 01 月~106 年 12 月
	2		局	東大	臺中市西屯區臺灣大道四段 1727 號	107 年 03 月~迄今
	3	南屯區	署	忠明	臺中市南屯區公益路二段 296 號	101 年 11 月~迄今
海區	4	梧棲區	局	梧棲	臺中市龍井區南堤路三段 300 號	105 年 01 月~106 年 12 月
山區	5	后里區	局	后里	臺中市后里區文化路 30 號	105 年 01 月~迄今
	6	豐原區	署	豐原	臺中市豐原市水源路 150 號	101 年 11 月~迄今
屯區	7	大里區	局	大里	臺中市大里區大里路 289 號	105 年 01 月~106 年 01 月
					臺中市大里區大新街 36 號	106 年 03 月~迄今

備註：大里PM_{2.5}手動監測站因大里路消防分隊大樓重建工程，故移機大新街大里區公所監測。

統計臺中市100年至107年之空氣污染物濃度變化，由表2.1.7可知僅O₃之8小時最大值未改善，其他污染物皆有所改善。依據空氣品質管制標準而言，目前臺中市空氣污染物種在PM_{2.5}、O₃與PM₁₀仍有不符合的情形，如表2.1.8所示，107年PM_{2.5}日平均未達標準比例仍有8.4%，O₃小時值不符合比例達0.3%，O₃ 8小時值不符合比例達23.0%，其他污染物濃度均符合空氣品質標準。

圖2.1.8為近年臺中市AQI等級分佈統計，AQI良好等級逐年提升，已由100年的11.1%上升至107年的42.1%，可見本市空氣品質逐漸提升。

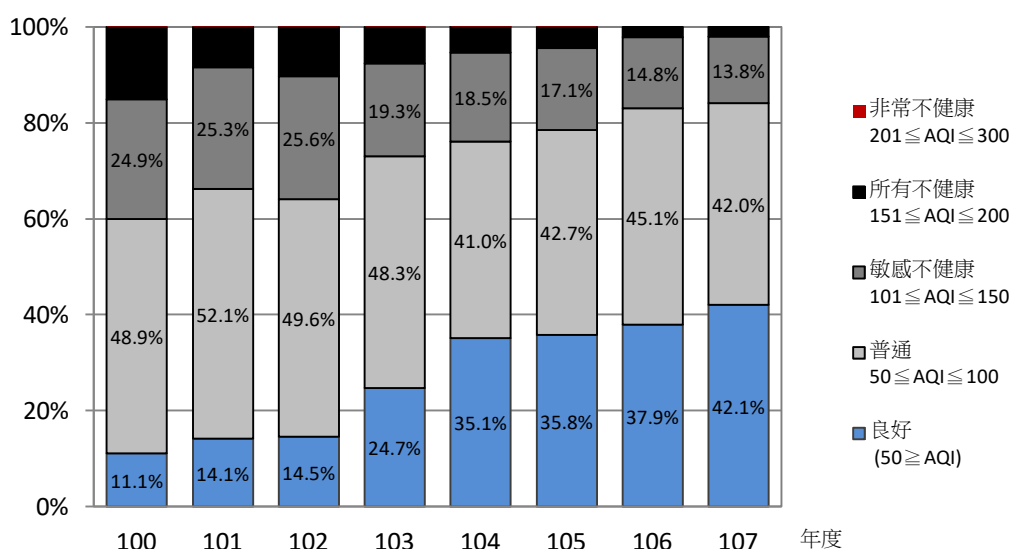
表 2.1.7、臺中市空氣污染物年平均濃度一覽表

污染物 (單位)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ 最大小時 (ppb)	O ₃ 最大 8 小時 (ppb)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)	CO (ppm)
100 年	34.7	59.6	47.7	55.6	3.3	17.6	0.5
101 年	30.6	59.8	47.9	51.4	2.9	16.7	0.5
102 年	30.6	60.7	48.4	51.8	3.2	15.9	0.4
103 年	27.0	59.6	47.9	52.1	3.1	15.6	0.4
104 年	23.5	58.0	46.7	46.5	2.9	15.4	0.4
105 年	22.8	56.6	45.2	42.1	2.6	15.3	0.4
106 年	20.2	58.9	47.8	41.0	2.6	14.4	0.4
107 年	18.8	58.8	48.4	40.4	2.5	14.0	0.4

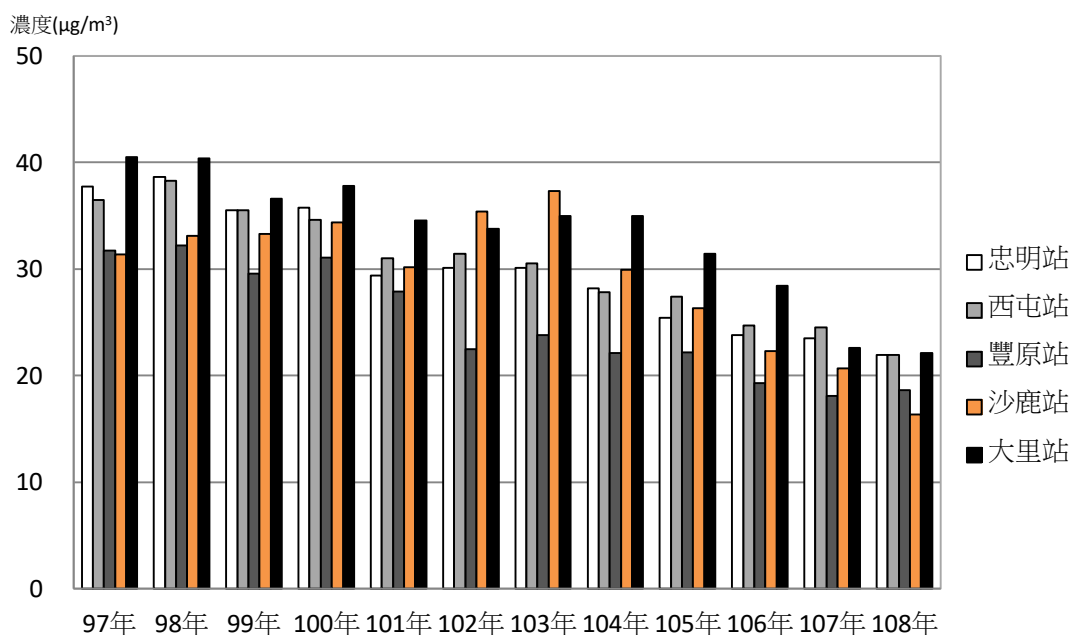
表 2.1.8、臺中市空氣污染物不符合標準統計表

年度	PM _{2.5}		O ₃		PM ₁₀	
	日平均 (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年平均 (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	小時平均 (0.12ppm)	8 小時平均 (0.06ppm)	日平均 (125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年平均 (65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
100	39.3%	100%	0.5%	23.4%	2.0%	0.0%
101	32.5%	100%	0.6%	26.1%	0.3%	0.0%
102	33.4%	100%	0.9%	24.0%	1.4%	0.0%
103	24.3%	100%	0.3%	20.6%	0.9%	0.0%
104	20.8%	100%	0.9%	19.7%	0.2%	0.0%
105	17.5%	100%	0.7%	19.5%	0.3%	0.0%
106	9.7%	100%	0.4%	21.7%	0.0%	0.0%
107	8.4%	100%	0.3%	23.0%	0.0%	0.0%

圖2.1.8、臺中市AQI等級分佈統計



環保署PM_{2.5}自動測值年變化趨勢如圖2.1.9所示，PM_{2.5}污染近三年明顯下降。大體而言，大里站是5站中PM_{2.5}污染最高測站。表2.1.9為本市PM_{2.5}手動監測年平均值，107年PM_{2.5}手動監測年平均值為19.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。本市無論5座自動站測值（原始值）或經手動迴歸式換算（手動迴歸值），年平均值均高於15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 空氣品質標準。顯示本市仍須加強PM_{2.5}改善。



說明：1.統計期間：97年1月1日~108年11月30日

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

3.計算方式：採忠明、西屯、大里、沙鹿、豐原5座環保署自動站PM_{2.5}日平均原始值（未經手動迴歸式換算）計算，年平均值為本計畫自行統計。

4.豐原測站102年2月自臺中市衛生局搬遷至豐原高中。忠明測站100年8月自忠明國小搬遷至臺中特殊教育學校（搬遷資訊來源：環保署空氣品質監測年報）。

圖2.1.9、97年~108年臺中市環保署PM_{2.5}自動監測年平均濃度變化

表 2.1.9、102 年~108 年臺中市環保署 PM_{2.5}手動年平均濃度

單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

年度 手動站 名稱	102	103	104	105	106	107	108 (1/1~11/29 平均)
忠明	27.4	27.0	25.6	23.5	19.7	20.1	18.2
豐原	24.0	23.8	23.5	20.1	18.7	18.0	16.7
平均值	25.7	25.4	24.6	21.8	19.2	19.0	17.4

備註：測值引用環保署空氣品質監測年報數據。

2.2、微粒特性說明

近年空氣品質議題主要在粒狀污染物，尤其是細懸浮微粒（Fine Particulate Matters），細懸浮微粒係指懸浮在空氣中氣動粒徑小於 2.5 μ m 以下的粒子（簡稱 PM_{2.5} 或微粒）。

PM_{2.5} 對整個環境造成很大的影響，其影響的範圍包括能見度的降低、氣象的改變、大氣溫度的改變及人體健康的影響，表 2.2.1 為 PM_{2.5} 對生態環境危害摘要。

表2.2.1、PM_{2.5}對生態環境危害摘要

類別	說明
健康	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及心律不整等
環境	能見度差
生態	粒子沈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

PM_{2.5} 對健康的影響，近幾年在報章媒體的報導下，多數民眾已有相當的認識，當 PM_{2.5} 污染高時，相對也有一些基本的防護措施。當環境能見度不佳時，一般民眾直觀認為是 PM_{2.5} 濃度增加，傷害健康的想法與壓力油然而生，近來能見度好壞已成為大多數人判定空污好壞的直接指標，因此改善能見度成為臺中市政府環保局空氣污染防治及管理上的重要工作之一。

然而，能見度好壞與 PM_{2.5} 污染濃度並非直線相關，近年環境 PM_{2.5} 濃度逐年下降，能見度提升卻不顯著，此與能見度受 PM_{2.5} 的化學組成、粒徑分佈、型態差異有關，粒徑及化學組成會影響光於環境中之傳輸。因此，改善見度首重瞭解微粒如何影響能見度，以及解析其影響的機制，才能有效改善能見度的問題，以下就 PM_{2.5} 生成機制與對能見度的關係說明。

2.2.1、生成機制

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2.5 μm 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）。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：營建工地以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揚塵，經由此一作用所揚起的微粒含有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成為微粒，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，因煤中含有比汽油更多的 S、N 以及微量金屬，因此排放出原生性 PM_{2.5} 組成中會有較多的硫酸鹽、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，因此海鹽微粒會含有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（ $\text{SO}_x = \text{SO}_2 + \text{SO}_3$ ），經由氣相或液相反應而成。因為液相反應速率高於氣相反應，因此，在相對濕度高的地區如臺灣，液相反應機制尤為重要。
 - （1）氣相反應：SO₂經由氣相氧化劑反應形成酸性 H₂SO₄再進行中和反應而形成 SO₄²⁻。氣相反應將 S（IV）轉化成 S（VI）之反應相當複雜。這些機制包括 S（IV）與激態 O₂間反應，或與 O、O₃、NO₂、NO₃、N₂O₅、OH、HO₂、CH₃O₂，或過氧基 CH₃C(O)O₂及其它由 O₃與烯類反應的中間產物所進行反應。比較各反應式之速率常數 k 值可知，當

中最重要的反應是 SO_2 與 OH 自由基的反應。Seinfeld (1986; 2016) 指出當 OH 自由基濃度只有其它自由基 (例如 HO_2 、 CH_3O_2) 濃度之 1% 時，其對於 S (IV) 氧化的貢獻量已超過其它自由基的一萬倍。S (IV) 氧化速率夏季高於冬季，原因於冬季 OH 自由基濃度較低，轉化速率隨之下降 (Calvert and Stockwell, 1983)。

- (2) 液相反應： SO_2 溶於粒狀物的水滴中或晨霧液滴當中，經液相氧化劑反應而形成 SO_4^{2-} ，這些液相氧化劑包含了 O_3 及 H_2O_2 等。此外，液相反應較氣相反應迅速，主要是由於 H_2O_2 氧化劑易溶於水，且 H_2O_2 可快速與 SO_2 起氧化作用，因此在高相對濕度的地區，此反應機制至為重要。

一般而言，白天 SO_2 轉化 SO_4^{2-} 主要來自氣相反應，夜間則由液相反應所主導，其中又以 H_2O_2 影響最大。因為在氣相反應中， SO_2 由 OH 自由基氧化形成 H_2SO_4 ，OH 自由基之來源為光化反應所產生；而在液相反應中， SO_2 主要的氧化劑為 H_2O_2 與 O_3 ，而且當液滴 pH 值低於 5.5 時，轉化 SO_2 之氧化劑主要為 H_2O_2 ，若 pH 高於 5.5 時，則主要由 O_3 氧化劑轉化 SO_2 (Middleton et al., 1980; Sakugawa and Kaplan, 1989; Sakugawa et al., 1990)。

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 ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$)，再經過反應所形成。其反應機制亦分為氣相與液相。大氣硝酸鹽微粒主要來自於硝酸 (HNO_3) 與大氣鹼性物質如 NH_3 、 Na^+ 、 K^+ 及其它地殼元素等的中和作用。

- (1) 氣相反應：發生於日間，硝酸的來源主要來自 NO_2 的光化學反應所生成。(Lin et al., 2006)

- (2) 液相反應：發生於夜間，硝酸主要來源為 NO_2 經由液相反應而生成。(Pitts and Pitts, 1986)

硝酸鹽可因其鹼性中和物種的不同而分別存在於不同粒徑的懸浮微粒中，細微粒的硝酸鹽主要為 HNO_3 與 NH_3 在濕性海鹽表面反應形成 NH_4NO_3 ；而當 HNO_3 與 NH_3 反應過剩時， HNO_3 轉而與海鹽微粒 (NaCl) 或土壤揚塵或微粒 (如 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 等) 反應形成 NaNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 或 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 等粗粒徑微粒。

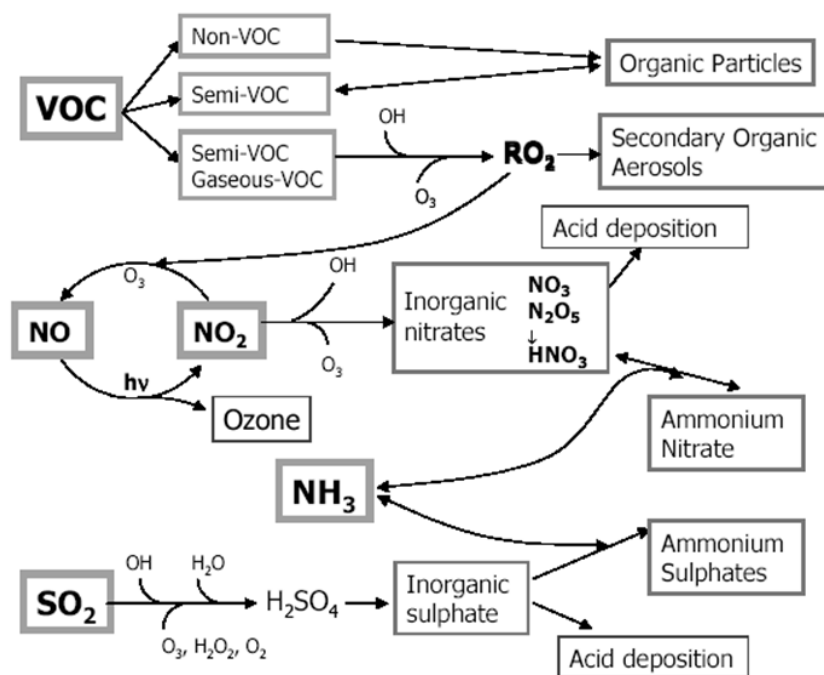
3. 銨鹽：其前驅物為氨氣 (NH_3)。主要來源為農牧業的動植物殘體或排泄物分解所產生，其次為工業人為活動所排放。 NH_3 在大氣環境角色甚為重要，

其為大氣酸性物質的主要中和物種，例如硫酸與硝酸均主要與 NH_3 進行中和反應而形成微粒。

由於銨鹽必須要有酸性成分的中和方可形成於微粒中，而大氣主要的酸性氣膠為硫酸鹽與硝酸鹽，因而銨鹽的濃度除了需要考慮氨氣外，亦會由於酸性氣膠的濃度而改變。當大氣含有過量的 NH_3 時，則當發生較強烈的光化學反應時，其產生的酸性氣體將會與氨氣反應形成酸性氣膠與鹽，將導致懸浮微粒濃度的增加；然而若大氣缺乏 NH_3 與其它鹼性物種，理論上，將可抑制衍生性微粒之生成。

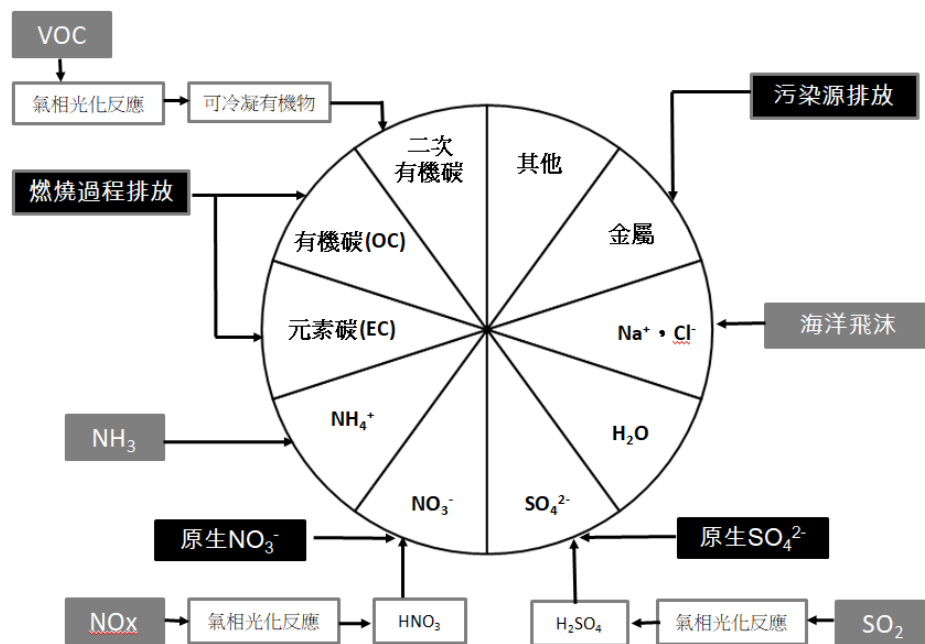
4. 二次有機氣膠：大氣中有機氣體經過光化學作用，與 O_3 及 OH 自由基反應產生半揮發性有機物，可與大氣中既存之微粒形成有機氣膠，或凝核直接產生有機氣膠。當氣體傳輸緩慢，氣相中半揮發性成分會因此增加。這些成分會氣固分配（Gas-particle Partition）至大氣既存的微粒上，或溶入微粒中所含的水分而產生二次有機氣膠（Secondary Organic Aerosol, SOA）（Odum et al., 1996）。

總之，衍生性 $\text{PM}_{2.5}$ 是 SO_2 、 NO_x 、VOCs 與 NH_3 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 2.2.1（Mangelson et al., 1997），也因為 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度與前驅物排放量之間存在非線性關係，才使得 $\text{PM}_{2.5}$ 的管制工作相對困難。圖 2.2.2 圖示細懸浮微粒的化學組成特性，包括有機碳、二次有機碳、元素碳、硫酸鹽、硝酸鹽、金屬成分及其他離子性物質。



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

圖2.2.1、衍生性細懸浮微粒生成機制



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

圖2.2.2、環境中細懸浮微粒化學組成特性示意圖

2.2.2、粒徑分佈

大氣中懸浮微粒之粒徑分佈及來源如圖2.2.3所示（Seinfeld, 1986），其粒徑分佈特徵可分為：核凝波峰（ $D_p < 0.1 \mu m$ ）、積聚波峰（ $0.1 \mu m < D_p < 2.5 \mu m$ ）與粗波峰（ $D_p > 2.5 \mu m$ ）。各波峰的粒徑分佈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 $0.1 \mu m$ 。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。其來源有工業燃燒過程（如金屬燻煙）及森林火災等。

2. 積聚粒徑（Accumulation Mode）：

積聚粒徑分佈約為 $0.1 \sim 2.5 \mu m$ 之間。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（ $(NH_4)_2SO_4$ ）或者硫酸氫銨（ NH_4HSO_4 ），此粒徑之微粒很容易經由凝結作用成長至 $0.1 \sim 2.5 \mu m$ 。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 $0.1 \sim 2.5 \mu m$ 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)。

$0.1\sim 1\ \mu\text{m}$ 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，微粒粒徑分佈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佈，大陸地區則多為雙峰分佈，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 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上。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，比較容易經由重力沈降作用而下沈至地表。

一般而言，原生性污染物具較大的粒徑，而衍生性微粒則因其來自氣固相轉換反應所生成，因此其存在於較小的粒徑之微粒中。至於在各化學成分所佔懸浮微粒之比重關係中，由於不同區域具有不同的排放特徵、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有不一樣的組成比例發生。

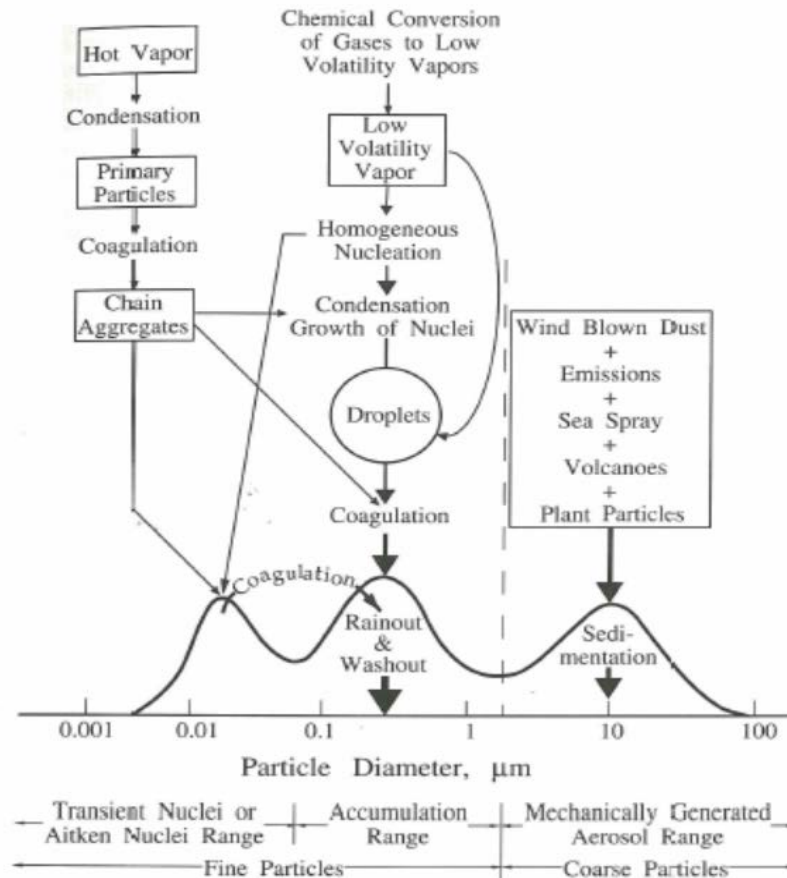


圖2.2.3、懸浮微粒主要來源及粒徑分佈

John(1990)歸納認為所有粒徑分佈均可分為二個次微米波峰(Submicron Mode)及一粗粒徑波峰(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)。Condensation Mode 會藉由水分或硫酸鹽成長為 Droplet Mode。

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佈於 Droplet Mode，而 Whitby 將 $0.1 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 之間的 Condensation mode 和 Droplet mode 統稱為 Accumulation mode，在 SCAQS 研究中指出硝酸鹽及硫酸鹽會在 Droplet mode 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。

硝酸鹽及硫酸鹽之粒徑分佈決定於 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佈，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，主要分佈於細微粒上；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佈，硫酸鹽呈現雙峰分佈 (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 and 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。

許與李 (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 分佈於粗微粒上，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 主要分佈於氣動粒徑 0.32 至 $1.0 \mu\text{m}$ 之間，其它粒徑範圍內 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。

另外，大氣微粒質量濃度調查上，常會分為無水及含水兩類討論，主要是因為大氣微粒質量濃度會受環境濕度變動而產生變化，因微粒組成物種可分為可吸濕性 (Hygroscopic) 物質及不可吸濕性 (Nonhygroscopic) 物質兩種，而微粒中無機鹽類屬於可吸濕特性物質，當週遭環境相對濕度大於微粒中鹽類微粒水解為離子狀態的臨界點 (稱為潮解點 (Deliquescence relative humidity, DRH)) 時，微粒會在瞬間吸收大量水氣，此微粒含水量及質量濃大幅增加，表 2.2.2 為大氣中常見微粒中無機物種於 25°C 時之潮解點 (Tang, 1980；Tang and Mukelwitz, 1994)。

表2.2.2、大氣中常見微粒無機物種於 25°C 時之潮解點

無機物質	DRH(%)
KCl	84.2±0.3
Na_2SO_4	84.2±0.4
NH_4Cl	80.0
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	79.9±0.5
NaCl	75.3±0.1
NaNO_3	74.3±0.4
$(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$	69.0
NH_4NO_3	61.8
NaHSO_4	52.0

2.3、大氣能見度說明

能見度 (Visibility) 又稱為視程 (Visual Range)，一般指觀察者離物體多遠時仍然可以清楚看見該物體，世界氣象組織 (World Meteorological Organization, WMO) 定義為觀測者於白天時以天空為背景沿水平方向觀測，在正常肉眼下所能分辨位於地面上黑色物體之最大距離 (WMO, 2015)。學理上在絕對乾燥和無污染情況下，大氣中最大能見度約 296km，能見度 10km 以下通常被認定是粒狀污染物引起的中度或重度空氣污染事件 (De Visscher 2013)。

雖然能見度與空氣污染有關，但是空氣污染未必會出現低能見度天氣，同樣低能見度並不意味著空氣污染嚴重，當然空氣污染加重會在一定程度降低能見度。低能見度發生時，多為下雨中或大氣擴散條件不好的情況下。因空氣污染導致的能見度不佳時，通常是大氣中微粒以及氣狀污染物有累積情況，或伴隨光化污染生成，而在天空上方形成污染層所導致。

能見度高低與大氣中微粒顆粒濃度具有複雜的關係，與粒子化學組成、形狀、物理性質以及空氣濕度等氣象條件有關，當微粒顆粒數量不變時，空氣濕度增大，微粒會吸濕增長 (詳 2.2 節)，而導致能見度下降。

光在空氣中遇到微粒時，可能會造成行徑方向的改變或者是光強度的減弱，前者謂之散射 (Scattering)，而後者則謂之吸光 (Absorption)。圖 2.3.1 可知可見光的波長約在 $0.4\ \mu\text{m}$ ~ $0.7\ \mu\text{m}$ ，因此，與可見光波長非常接近的微粒直徑最有效地散射光子。以自然界雲霧為例，當早晨氣溫降至露點以下時，空氣中的水汽或在水面附近凝結成的小水滴 (通常稱為白霧)，也會造成光行徑方向改變或光強度減弱之現象，使得能見度變得差。除了自然界，人為如汽機車及工廠污染源所排放的微粒也會造成光線強度減弱。

大氣中所有的氣膠微粒都會散射光線，當中少數金屬或碳的微粒會吸收光線，兩種作用合併稱之為消光。一般而言，大氣中氣膠微粒散射能力遠超過吸光能力。

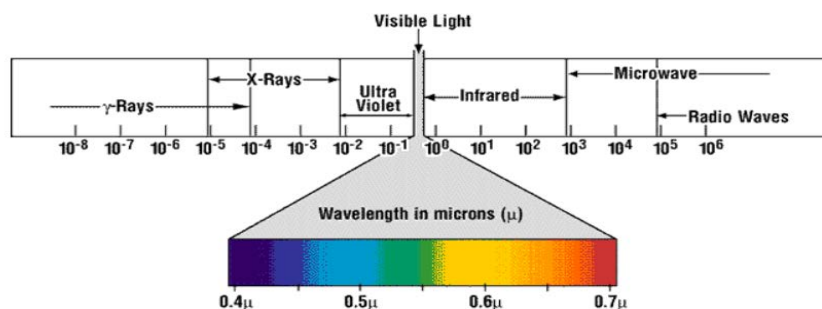


圖2.3.1、各波段光之波長圖

2.3.1、能見度與微粒組成關係

影響能見度的直接因素為大氣組分的消光性，而微粒對於光源傳輸之干擾主要有散光(scattering)與吸光(absorption)兩種，散光和吸光合稱為消光(extinction)。經典的 Koschmieder 公式能代表大氣能見度與消光係數之間的關係，即

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

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)

一般而言，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，意即消光係數(b_{ext})為吸光(b_{abs})與散光(b_{scat})之總和，即：

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

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)：

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

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

因此，能見度由大氣消光係數代入 Koschmieder 公式推估如下：

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

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

大氣環境中 b_{ag} 與 b_{sg} 可較準確的推估，因為 b_{ag} 主要為 NO_2 的影響，而 b_{sg} 可藉雷利散射理論描述與推估，而微粒之 b_{ap} 與 b_{sp} 相對複雜許多。但是，微粒光散射效應卻是引起大氣能見度降低的最主要因素。 b_{ap} 最主要貢獻自微粒中元素碳（Elemental Carbon, EC）成分或吸光含碳化合物（Light Absorbing Carbon）， b_{sp} 雖由米氏散射理論（Mie Scattering Theory）可以推估，但還須考量其粒徑、數量及環境濕度等因素，加上大氣中微粒多混合多種成分，其折射率估計不易。

米氏散射理論認為當微粒尺寸越接近入射光的波長時，可貢獻較強的米氏散射。因此粒徑範圍在 0.1 至 1 微米（ μm ）的氣膠微粒對於降低大氣能見度最為明顯，而大多數的衍生性微粒粒徑是介於此範圍的。

美國 EPA IMPROVE 監測網利用 $\text{PM}_{2.5}$ 之化學組成來推估 b_{sp} ，再加上 b_{ap} 與定值之 b_{sg} 即獲得 b_{ext} 。IMPROVE 之化學消光效率（Chemical Extinction Efficiency）演算法，係利用濾紙採樣與分析所獲得之化學組成進行 b_{ext} 之推估。由於濾紙須經過乾燥調理與秤重，無水 $\text{PM}_{2.5}$ 之化學組成主要包括硫酸鹽（ SO_4^{2-} ）、硝酸鹽（ NO_3^- ）、有機物（Organic matter, OM）、EC 與地殼元素等，另外，粗微粒質量濃度（coarse mass, CM； $\text{PM}_{2.5-10}$ ）也納入其中成為考量因素之一。

IMPROVE 之化學消光效率演算法說明如下， $b_{ext}=b_{ag}+b_{ap}+b_{sg}+b_{sp}$ 其中 b_{ag} 可由以下方式推估：

$$b_{ag}=330[\text{NO}_2], [\text{NO}_2]\text{單位：ppm}$$

$$b_{sg}=10, \text{取氣體的瑞利散射係數 } 10$$

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

$$\begin{aligned} b_{sp}= & 2.2 (RH) ["Small" \text{SO}_4^{2-}] + 4.8 fL (RH) ["Large" \text{SO}_4^{2-}] \\ & + 2.4 (RH) ["Small" \text{NO}_3^-] + 5.1 fL (RH) ["Large" \text{NO}_3^-] \\ & + 2.8 ["Small" \text{OM}] + 6.1 ["Large" \text{OM}] + 1.7 fss (RH) ["Sea Salt"] \\ & + 1.0 [\text{Soil}] + 0.6 [\text{CM}] \end{aligned}$$

備註：OC、OM、EC、Soil 由以下方式推估

$$(1) [\text{OC}] = [\text{OC1}] + [\text{OC2}] + [\text{OC3}] + [\text{OC4}] + [\text{OP}]$$

$$(2) [\text{OM}] = 1.8[\text{OC}]$$

$$(3) [EC]=[EC1]+[EC2]+[EC3]-[OP]$$

$$(4) [Soil]=2.2[Al]+2.49[Si]+1.94[Ti]+1.63[Ca]+2.42[Fe]$$

$$(5) [Sea\ Salt]=1.8[Cl-]$$

$$(6) [CM]=Coarse\ Mass=PM_{10-2.5}$$

以上括號中的物種濃度單位皆為 $\mu g/m^3$ 。此演算法有數個重要前提與假設：

1. 所有的 SO_4^{2-} 與 NO_3^- 皆完全被中和，而分別以 $(NH_4)_2SO_4$ 與 NH_4NO_3 之型式存在
2. 所有 Al、Si、Ti、Ca 與 Fe 僅來自地殼來源，且以相同的氧化態存在
3. OC 與 EC 分析方法是採用熱反射比法（TOR）
4. 以上所有化學物種均來自 $PM_{2.5}$ 。

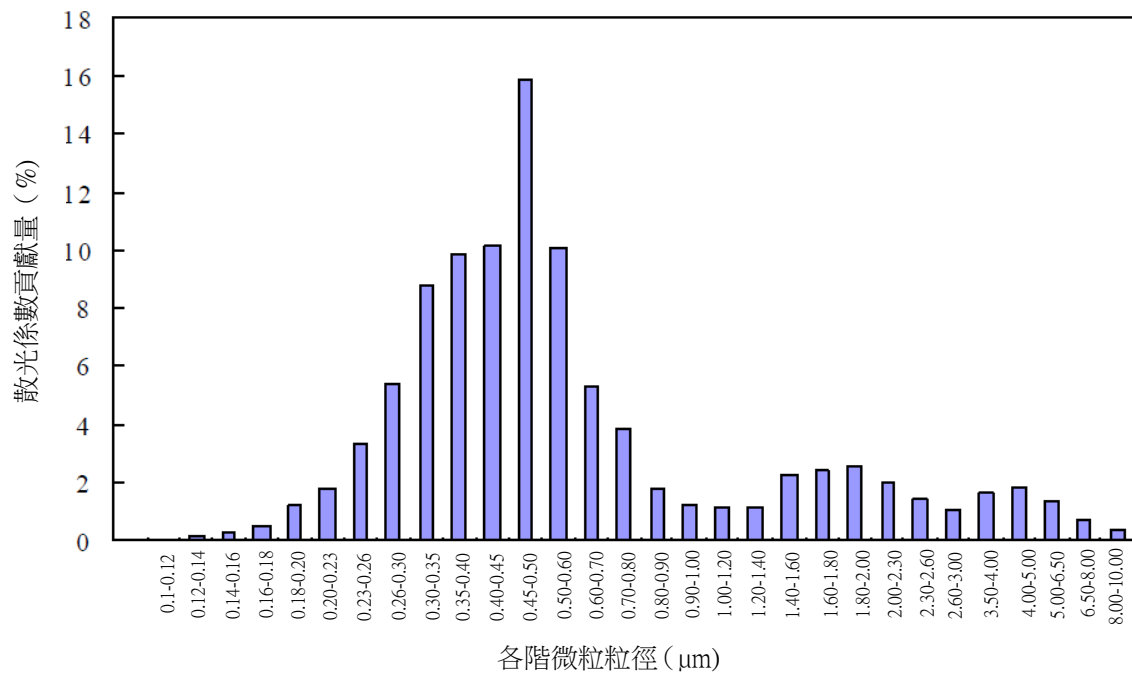
早期國內曾對臺北新莊地區進行相關研究，以短期 3-9 月的監測結果得到散光係數與微粒的化學組成關係，其多元線性迴歸式為 $16[SO_4^{2-}]+16[NO_3^-]+6[OC]-14$ ，可解釋新莊地區 80% 散光係數的變化（呂理德，2003）。

2.3.2、能見度與微粒大小關係

能見度受大氣中微粒的濃度和粒徑分佈、化學組成和大氣環境中的相對溼度所影響（Park et al., 2006；Tiwari et al., 2011；Cao et al., 2012；Founda et al., 2016），尤其粒徑在 $0.1\mu m$ 至 $1\mu m$ 的範圍內微粒對於降低大氣能見度最為顯著。

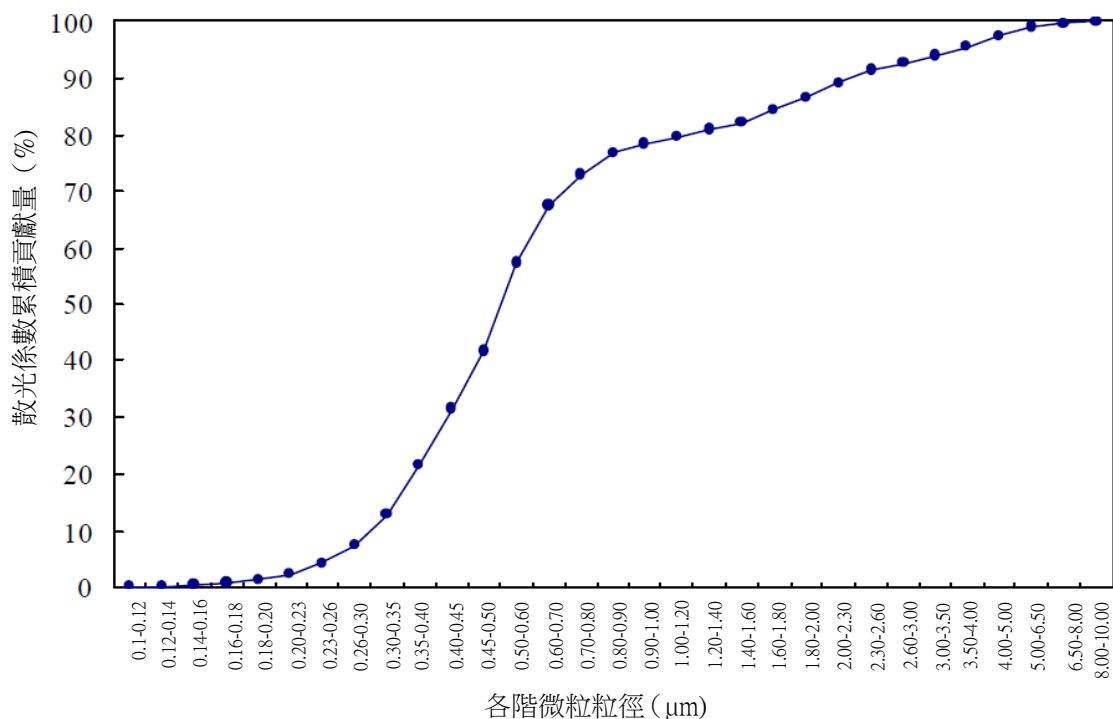
國外學者研究指出粒徑為 $0.4\mu m \sim 0.7\mu m$ 的微粒散射強度最大，而不介於這範圍的粒徑之微粒散射強度皆不高，粒徑較大的微粒散射強度則不到全部的 5%（Gebhart et al., 1994；Quinn et al., 1995）。

圖 2.2.2 與圖 2.2.3 為高雄地區監測結果，微粒之粒徑範圍介於 $0.26\mu m \sim 0.90\mu m$ 之懸浮微粒對散光係數之貢獻量最為明顯，約佔總散光係數之 71.6%；而 $PM_{2.5}$ 所佔的比例則高達 91.3%（袁中新，2000），可見 $PM_{2.5}$ 對光線的散射效應比粗微粒（ $PM_{2.5-10}$ ）為大，其中微粒粒徑接近可見光波長影響最大，約為 $0.3\mu m \sim 0.7\mu m$ 。



圖片來源：劉山豪，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，中山大學環境工程研究所，碩士論文

圖2.3.2、各階微粒散光係數百分比



圖片來源：劉山豪，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，中山大學環境工程研究所，碩士論文

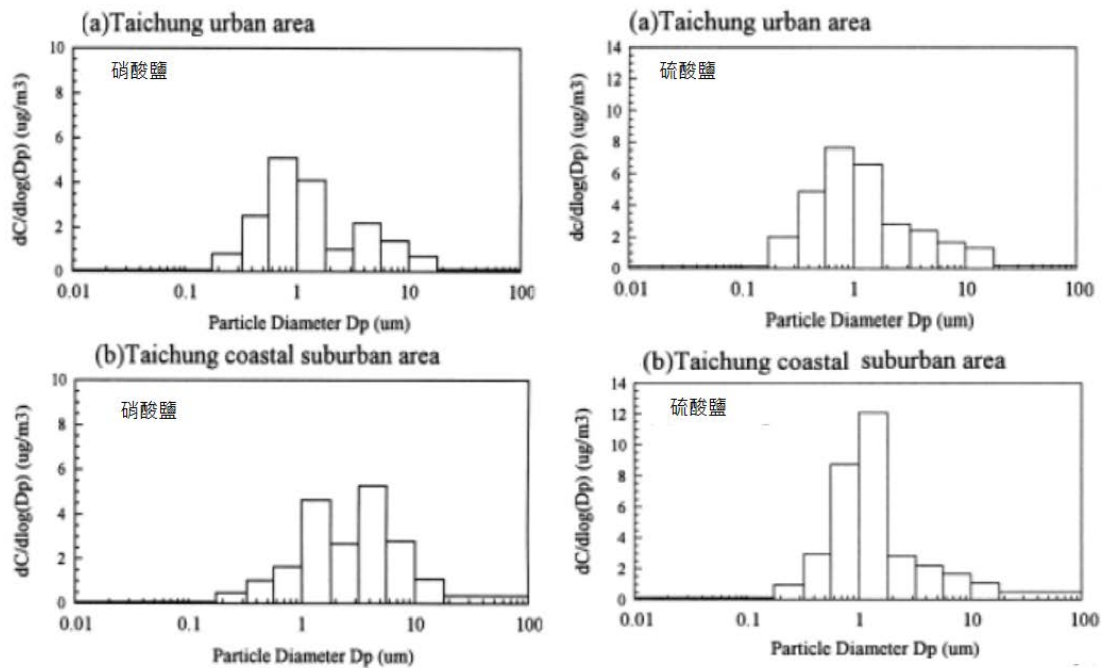
圖2.3.3、各階微粒散光係數累積百分比

不同粒徑為粒其化學組成會不同，但大部分微粒主要成分為硫酸鹽、硝酸鹽、有機碳、元素碳及土壤揚塵等，當微粒保持相對穩定之情況下，大氣濕度增加，根據大氣氣膠組成物種大致分類為可吸濕性（Hygroscopic）及非吸濕性（Nohygroscopic）。其中可吸濕性部分主要為無機鹽類（如硫酸鹽和硝酸鹽），例如硫酸凝結至含碳氣膠表面時，會增加對光的散射和吸光特性，並增加吸濕性（Khalizov et al., 2008），或是本身具有潮解性（Hygroscopicity），不同化學物種之潮解點如表 2.2.5 所示。

當相對濕度增加，具吸濕性之微粒將通過吸收和吸附獲取水分，使得粒徑變大，折射率受到改變，導致微粒散光係數的增加（Covert et al., 1972；Hand and Kreidenweis, 2002），也顯示氣膠濃度不高時，能見度亦可能非常低。氣膠中含水量具有兩種可能的影響：微粒吸濕生長及驅動在液態水存在下的多相化學反應（Li et al., 2017）。Wang 等人（2016）研究顯示，隨著 NO_2 濃度的增加，液相中的 SO_2 氧化可更有效地進行，然而在酸性條件下此反應會降低 SO_2 被溶解度和反應速率。因此在高相對濕度及高 NH_3 和 NO_2 濃度的環境下，吸濕性氣膠微粒上的 SO_2 易受 NO_2 氧化形成硫酸鹽。另外，增加濕度有利於硝酸分配到氣膠上，亦可能導致硝酸鹽氣膠濃度的增加（Galindo et al., 2011）。

非吸濕性部分主要為元素碳於高相對濕度下其表面易聚光，例如：微粒中硫酸鹽為影響散光效應（Lowenthal et al., 2000），元素碳則為吸光效應，另細微粒粒徑中的有機碳也對散光有較大之影響（Han et al., 2012）。

Cheng 等（2000）於 1997 年以微孔均勻沈積衝擊器（MOUDI）於臺中市調查微粒中硫酸鹽與硝酸鹽粒徑分佈，如圖 2.3.4 所示，硝酸鹽於都會區之主要粒徑集中於 $0.1\sim 2.5\ \mu\text{m}$ ，此物種為硝酸銨；而臨海區於 $2.5\sim 10\ \mu\text{m}$ 亦出一峰值，此為海鹽與硝酸鹽反應形成之硝酸鈉（ NaNO_3 ）。而觀察硫酸鹽之粒徑分佈，無論於都會區或臨海地區，其粒徑分佈顯示主要峰值皆集中於 $0.1\sim 2.5\ \mu\text{m}$ 此物種為硫酸銨。



圖片來源：Cheng, M.T., Tsai, Y.I. (2000) Characterization of visibility and atmospheric aerosols in urban, suburban, and remote areas. The Science of the Total Environment 263: 101-114.

t

圖2.3.4、臺中市硝酸鹽及硫酸鹽之粒徑分佈調查結果

2.3.3、美國能見度監測歷史

美國環保署於 1997 年 7 月 31 日提出區域性霾（haze）法規草案，以改善國家公園能見度問題，並要求各州提出各自協調策略、執行計畫及訂定改善目標，以改善 20%霾害最嚴重的日子，並確保全年 20%霾害最少的日子不會產生惡化現象，各州必須在 60 年內回到原有無霾的自然狀況。

美國環保署預估，第一個 10 年，每年花費 10-40 億美元，而效益估計則是投入每年 35-108 億美元之間。2005 年 6 月 15 日頒布 BART（Best Available Retrofit Technology）修正案，對排放會降低能見度的空氣污染物的工業設施予以規範。污染物包括 PM_{2.5}，及形成 PM_{2.5}的前驅物，如氮氧化物、二氧化硫、揮發性有機物和氨等。

1985 年開始，由聯邦與區域、州組織合作進行 IMPROVE 計畫（The Interagency Monitoring of Protected Visual Environment Program），並於 1998 年開始設置監測站，到 2002 年為止共設有 165 個監測站，其中 IMPROVE Sites 110 處、Protocol Sites 63 處、QA Sites 2 處。

每個測站均監測氣溶膠（aerosol）、測量消光係數（light extinction coefficient）和大氣分散係數（atmospheric scattering coefficient）。110 個 IMPROVE 監測站除了 PM₁₀，也提供 PM_{2.5}及硫酸鹽、硝酸鹽、有機碳、元素碳等成分分析數據。

由 IMPROVE 所收集的資料顯示，美國東部最低能見度的距離約為 24~30 公里，最佳能見度的距離約為 105~117 公里。美國西部最低能見度約為 93~103 公里，最佳能見度約為 211~234 公里。

細粒子中的一些化學組分，如硫酸鹽，它會比其他細粒子成分對能見度造成更顯著的惡化；而在高相對濕度環境下，這些細粒子成分對能見度的破壞會表現得尤為突出。類似的結論也在 Trijonis 和 Yuan（1978）的相關研究中得到了證實。

Malm 等（2005、2007）以美國 IMPROVE 監測網之能見度和微粒成分資料分析，顯示顯示，在硫酸鹽、硝酸鹽、有機物、光吸收性碳以及沙塵這幾種造成能見度破壞的主要成分中，硫酸鹽和有機物是美國大部分地區消光的主要貢獻物種，唯加州南部的消光則是由硝酸鹽主導的。在美國東部地區，硫酸鹽對消光的貢獻幾乎占了 2/3。這也代表著此區管制應以控制硫酸鹽這個主要消光貢獻成分，才可以有效提高當地能見度水準。

美國長期調查能見度的結果，其東部能見度約 15-30 英哩（備註：1 英哩=1.609 公里），西部可以到 30-90 英哩，有人為污染的地方能見度只有未受污染地區的 1/3。

造成能見度下降與微粒的成分有關，主要是：硫酸鹽，硝酸鹽，有機碳，元素碳和地殼物質。成分比例會隨著污染源型態及季節而變化（United States Environmental Protection Agency, 1999）。

2.3.4、臺中市能見度變化

近年因 PM_{2.5} 空污問題受到大眾關注，當大氣能見度不佳，民眾直接與空氣品質惡化畫上等號。圖 2.5.5 為六都能見度觀測資料，夏季能見度高而冬季能見度低；北部能見度較高，越往南部能見度越差。臺中市(臺中氣象站人工觀測資料)長期之能見度變化統計如圖 2.3.6，結果顯示夏季能見度較佳，冬春季能見度差，本市能見度確實逐年提升。

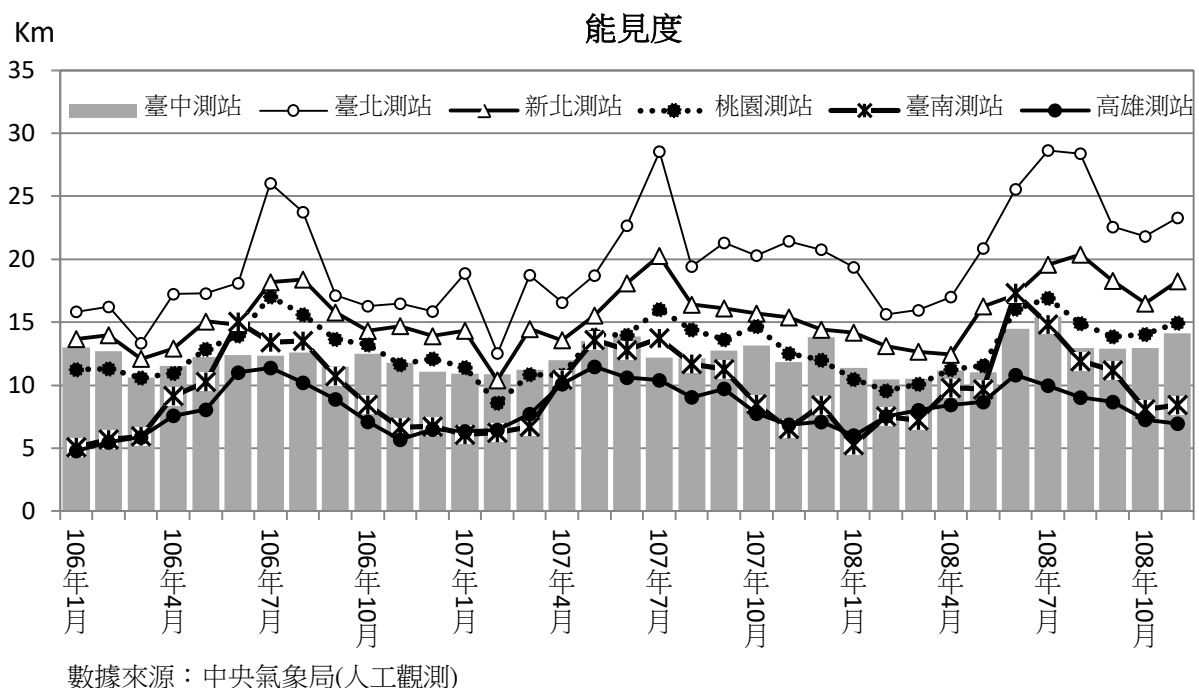
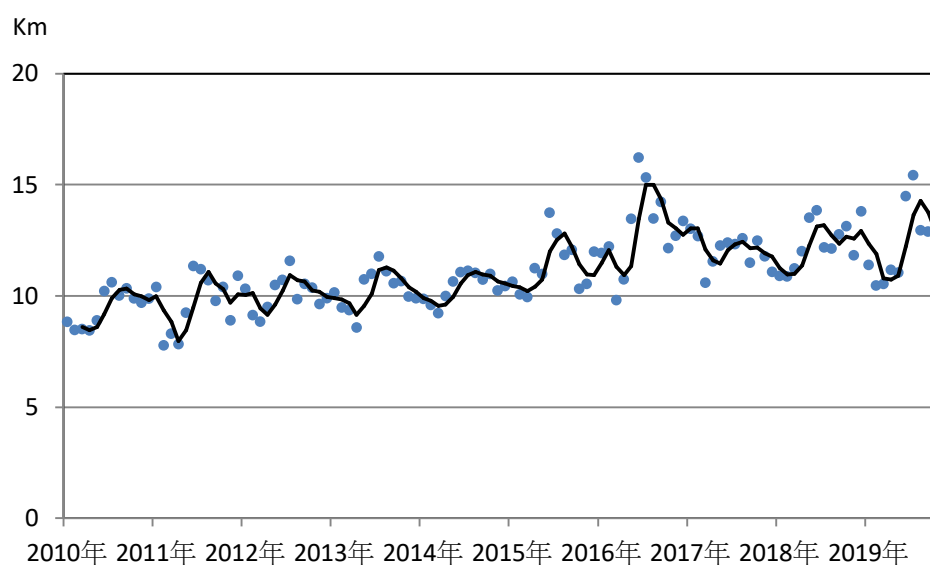


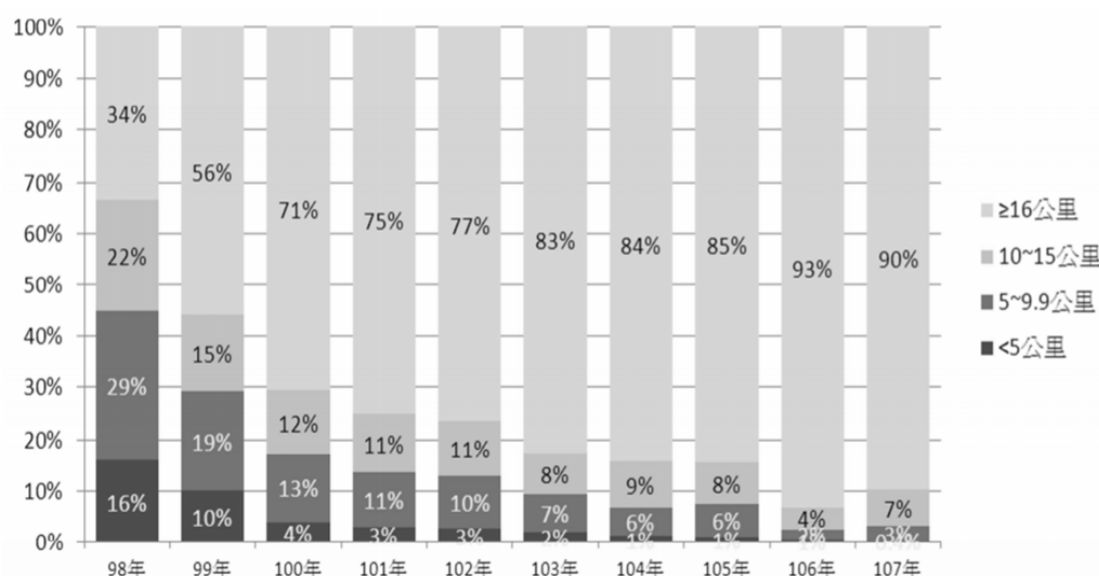
圖2.3.5、六都能見度觀測結果

環保署於 97 年起於全國設置 8 座能見度監測站，採氣象領域常見之能見度自動監測儀器(廠牌型號：VAISALA PWD22)，圖 2.3.7 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 34% 上升至 107 年的 90%，無論是中央氣象局人工觀測亦或還環保署自動監測結果，本市能見度確實逐年提升。



數據來源：中央氣象局(人工觀測)

圖2.3.6、臺中氣象站長期能見度觀測結果



數據來源：環保署 (廠牌: VAISALA PWD22)

圖片來源：台灣曼寧工程顧問股份有限公司，2018，107 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

圖2.3.7、臺中環保署西屯站能見度觀測結果

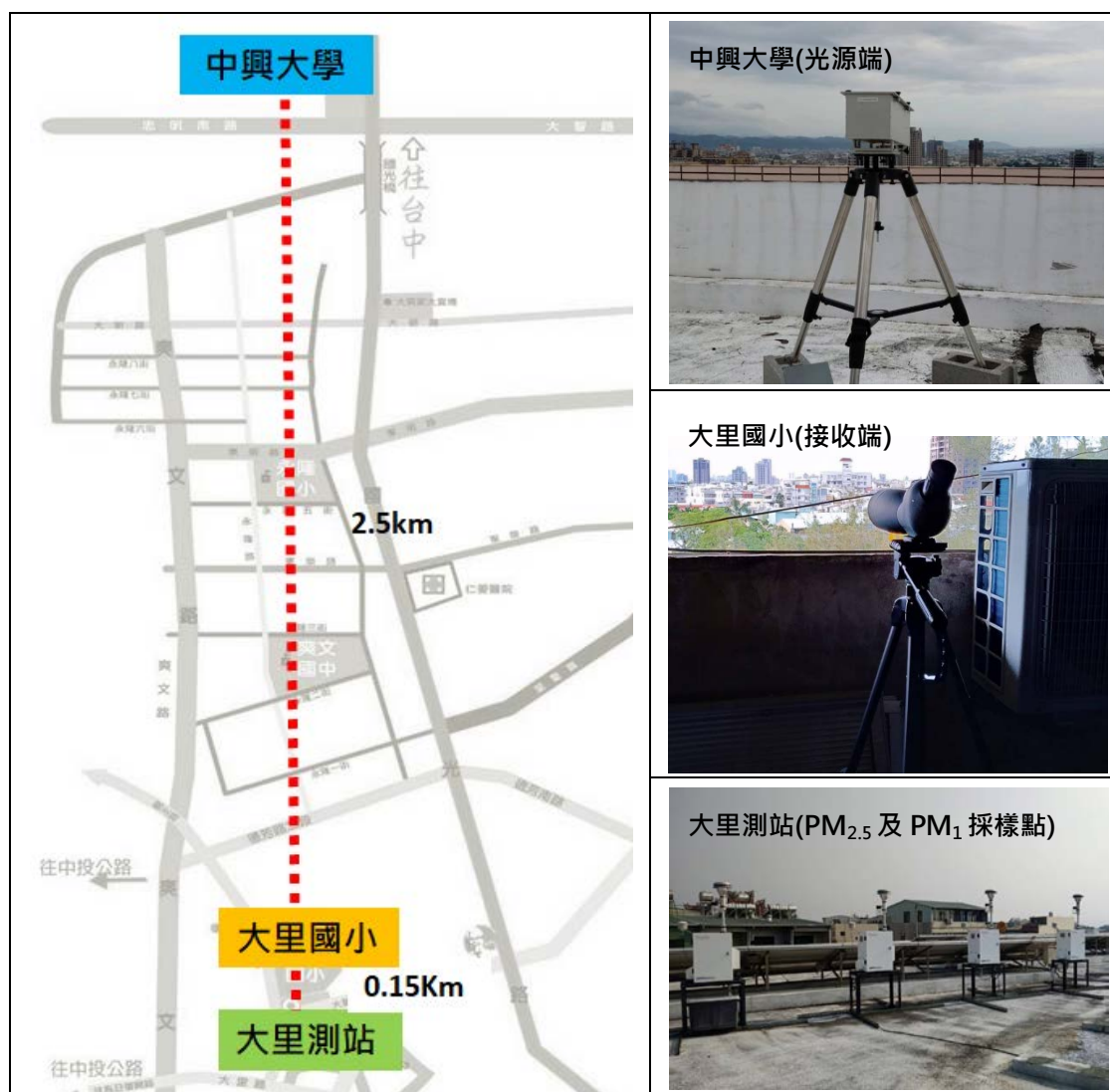
第三章 微粒採樣與能見度觀測

— 章節摘要 —

本計畫在臺中市環保局自設之大里手動成分監測站，定期採樣PM_{2.5}及PM₁，分析其化學組成，並觀測能見度，建立兩者之關係式，作為本市提升能見度之參考。圖3.1為工作之架構圖，工作包含PM_{2.5}和PM₁採樣分析以及能見度觀測。因計畫啟動時間較慢，故採樣時間僅能分配在7月、9月及11月，能見度觀測亦從7月開始。圖3.1為計畫工作架構與資料分析說明。

3.1、儀器地點與原理說明

本計畫使用設備包括PM_{2.5}和PM₁手動採樣器以及能見度自動觀測儀，圖3.1.1為各設備設置情況與設置。PM_{2.5}及PM₁手動採樣器為Thermo 2000i（圖3.1.2），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PM_{2.5}及PM₁旋風分徑器分離，氣動粒徑小於或等於2.5及1微米（ μm ）的微粒（PM_{2.5}）被蒐集於濾紙上。蒐集之PM_{2.5}或PM₁微粒淨重，除以採氣總體積即為PM_{2.5}或PM₁質量濃度。



備註：大里測站為 PM_{2.5} 與 PM₁ 採樣點，大里國小及中興大學為能見度儀架設點。

圖 3.1.1、採樣地點示意圖

採樣月份為7、9、11月，每次採樣24小時（凌晨0時至24時）。採樣濾紙為聚四氟乙烯（或鐵氟龍），符合環檢所公告之規範，表3.1.1為PM_{2.5}採樣採用之儀器規範及採樣資訊規範，圖3.1.3為PM_{2.5}手動採樣分析工作執行流程。



圖 3.1.2、Thermo 2000i 手動採樣器採樣設備

表 3.1.1、本計畫 PM_{2.5} 及 PM₁ 採樣之設備規格與採樣資訊

項目	設備規格與內容
採樣設備	PM _{2.5} 及 PM ₁ 手動採樣器
型號	Thermo 2000i
抽氣量	16.7LPM±5%
微粒分徑器	Cyclone
濾紙材質	聚四氟乙烯（提供秤重及陰陽離子分析使用） 石英濾紙（提供碳成分分析使用）
濾紙大小	46.2±0.25mm
採樣零件耗材	墊片、流量計、壓力計及溫度計
採樣時間	指定日凌晨 0 時至 24 時，24 小時連續採樣
採樣認證公司	☒ 是（佳美檢驗科技公司） ☐ 否
成分分析單位	佳美檢驗科技公司、成功大學

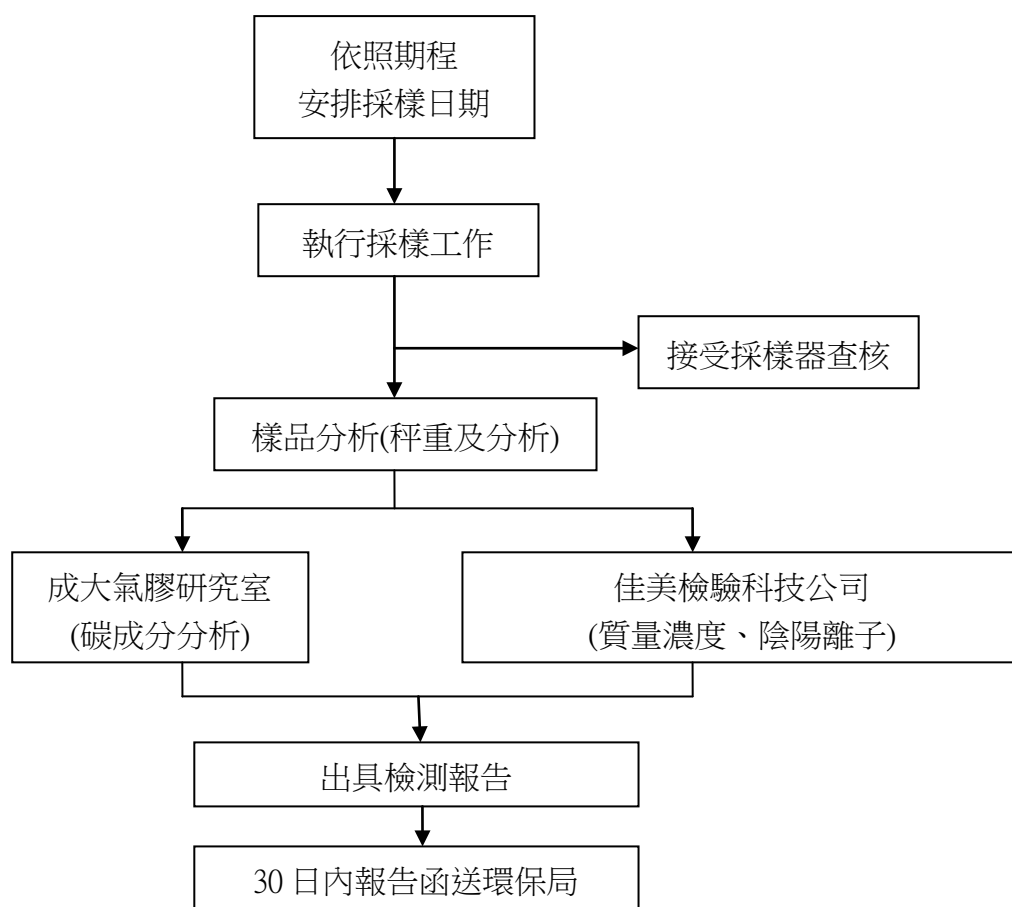


圖 3.1.3、PM_{2.5} 及 PM₁ 手動採樣分析工作執行流程圖

3.2、PM_{2.5}與 PM₁ 分析方法

3.2.1、質量分析

濾紙以六位數天平秤重，處理環境在等級1000（Class1000）無塵室中進行，無塵室溫度控制在20~23℃，24小時平均溫度變化 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，溼度介於30~40%，24小時平均溼度變化在 $\pm 5\%$ 。

天平品保品管包括：定期進行維護與校正。濾紙前、後秤重及每10個樣品均須以可追溯至國家或國際標準之100mg及200mg標準砝碼進行天平準確度檢查，其測值與標準砝碼之報告不得超過 $3\mu\text{g}$ 。每批次或每十個樣品至少執行一個樣品重複秤重，兩次重量差值須小於或等於 $10\mu\text{g}$ 。

採樣前濾紙須先進行外觀審視，確認濾紙無破損、污染，再將每張濾紙編號予以識別。濾紙採樣前後皆須進行24小時調理，調理溫溼度與無塵室內環境相同。採樣前濾紙須重複調理及精稱至前後兩次相差小於或等於 $5\mu\text{g}$ 視為恆重，兩次重量值之平均值為採樣前濾紙重量值，濾紙前後兩次稱重前之調理時間至少12小時。

採樣後濾紙應先進行調理與稱重，於無塵室內環境（溫度20~23℃及溼度30~40%）相同條件下進行調理24小時後再精稱，重複調理及精稱步驟至前後兩重量值相差小於或等於 $15\mu\text{g}$ 視為恆重，濾紙前後兩次稱重前之調理時間至少12小時，兩次重量值之平均值為採樣後濾紙重量值。

稱重結果與採樣期間之流量進行PM_{2.5}質量濃度運算式如下：

$$\text{PM}_{2.5} = (W_f - W_i) / V_a$$

式中：PM_{2.5}=PM_{2.5}質量濃度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

W_f =採樣後濾紙樣品重量（ μg ）

W_i =採樣前濾紙樣品重量（ μg ）

V_a =採樣總體積（ m^3 ）

3.2.2、陰陽離子分析

陰陽離子分析由佳美檢驗科技公司之認證實驗室負責，表3.2.1為PM_{2.5}及PM₁成分檢測項目之數據品保目標。

表 3.2.1、PM_{2.5}及PM₁成分檢測項目數據品保目標

類別	分析項目	檢測方法	單位	精密性 (%)	品管樣品 (%)	添加標準品 (%)	完整性
陰陽離子	氯離子	NIEA A451.10C	ppm	15	85~115	75~125	≥95
	硫酸根		ppm	15	85~115	75~125	≥95
	硝酸根		ppm	15	85~115	75~125	≥95
	銨離子		ppm	15	85~115	75~125	≥95

陰陽離子分析依環檢所公告之NIEA A451.10C方法進行，採樣濾紙以試劑水加熱回流萃取陰離子後，成為水溶液樣品。水樣中之待測陰離子，隨碳酸鈉－碳酸氫鈉移動相溶液經一系列之低容薄層離子交換層析管時，因其與樹脂間親和力不同而分離。分離後之待測陰離子再流經一高容量之陽離子交換樹脂之抑制裝置，被轉換成具高導電度酸之形態，而移動相溶液則轉換成低導電度之碳酸。經轉換後之待測陰離子再流經電導度偵測器，即可依其滯留時間和波峰面積、高度或感應強度予以定性及定量。

利用離子層析儀 (Ion Chromatography; IC) (圖3.2.1) 分析陰陽離子成分，成分包括Cl⁻、NO₂⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺等離子。分析原理是利用各離子在固定相及移動相間之平衡常數不同，且對於移動相之親和力不同，使得不同離子在管柱中的滯留時間不同，進而達到分離之目的。

圖3.2.2為水溶性陰陽離子分析流程，在陰離子成分分析上，以1.8mM Na₂CO₃/1.7mM NaHCO₃做為陰離子流洗液來帶動樣品，設定流量為1.0ml/min，在分離管柱中移動，並於抑制管中形成H₂CO₃、低解離性酸，把沖提液所引起的導電度干擾降到最低，以提高偵測極限。陽離子成分分析上則以20mM甲磺酸 (Methane Sulfonic Acid) 做為流洗液，設定流量為1.0ml/min。其分離原理是利用各離子在固定相及移動相間之平衡常數不同，且對於移動相之親和力亦不同，使得不同離子在管柱中的滯留時間不同，而達到分離之目的。



圖 3.2.1、陰陽離子層析儀

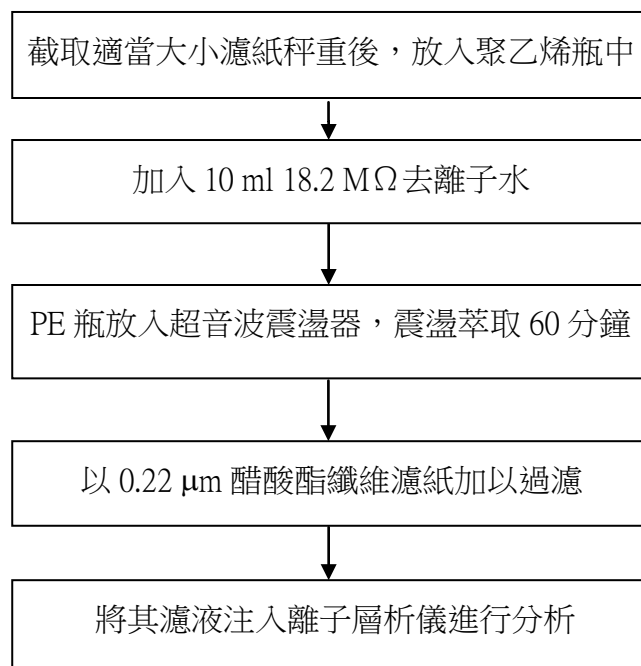


圖 3.2.2、水溶性陰陽離子分析作業流程

3.2.3、碳成分分析

PM_{2.5}碳成分分析由國立成功大學環境工程學系氣膠研究室協助，該研究室已執行各縣市專案計畫達3年以上經驗，採TOR分析方法。採樣濾紙須為石英材質，不能使用鐵氟龍材質濾紙，因鐵氟龍濾紙為含碳化合物，會影響分析結果。

石英濾紙因背景成分較為複雜，故採樣前濾紙須以高溫爐900℃烘烤2小時，去除濾紙上有機碳化合物之干擾，降低濾紙含碳之空白值。每次採樣時間為24小時（凌晨0時至24時連續採樣）。

碳成分分析採熱光反射法（Thermal Optical Reflectance，TOR），是在無氧的純氮氣環境中逐步（溫度梯度）加熱，有機碳元素碳分析儀如圖3.2.3。將0.53cm²的濾紙上微粒碳轉化為二氧化碳（CO₂）；然後再將樣品在含2%氧氣的氮氣環境下逐步（溫度梯度）加熱，此時樣品中的元素碳釋放出來。上述各個溫度梯度下產生的CO₂，經氧化爐（MnO₂）催化，於還原環境下轉化為可通過火焰離子化檢測器（FID）檢測的甲烷（CH₄）。

樣品在加熱過程中，部分有機碳可能發生裂解現象而形成黑碳，使濾膜變黑，導致圖譜上的有機碳和元素碳峰不易區分。因此，在測量過程中採用633nm的氦-氖激光監測濾紙的反射光強度變化，明確指示出元素碳氧化的起始點。有機碳裂解過程中形成的碳化物稱之為裂解碳（OPC）。當一個樣品完成測試時，同時獲得有機碳和元素碳的8個組分（OC1、OC2、OC3、OC4、EC1、EC2、EC3、OPC）。

分析過程總碳（Total Carbon）被分成七個部份（詳表3.2.2），每階段的碳成分為溫度與氧化環境的函數。在純He環境下，溫度從25℃升溫至140℃（OC1），141℃~280℃（OC2），281℃~480℃（OC3），以及481℃~580℃（OC4），OC1和OC2所花的時間不少於80秒，不大於580秒，（EC1則不大於850秒），當此條件到達OC4部份時，接著進入10%O₂/90%He的環境下，峰值分別在580℃、740℃、840℃下積分，直到每一個條件下FID的反應回到基線或零斜率。分析儀中光學部分主要的功能是校正熱解時的OC，避免被歸類為EC而導致OC低估。

此方法採用波長632.8nm的氦氖雷射作為光源，分析過程中，雷射光垂直照射在樣品濾紙上，並且持續監測自濾紙反射的光強度。光反射程度主要是由元素碳和吸光性質的有機物質所主導，熱解發生時光反射降低，而吸光的碳被燒掉時則增加。假設每單位質量熱解產生碳的消光，與每單位質量去除碳的消光效率相同，則經由偵測反射程度回到起始值的時間可分辨因OC熱解增加的EC濃度。

熱光反射法（TOR）為美國環保署Interagency Monitoring of Protected Visual Environment（IMPROVE）監測網使用，是目前最被支持的碳分析法（Birch, 1996；Cao et al., 2003；Chou et al., 2010；Ammerlaan et al., 2015）。



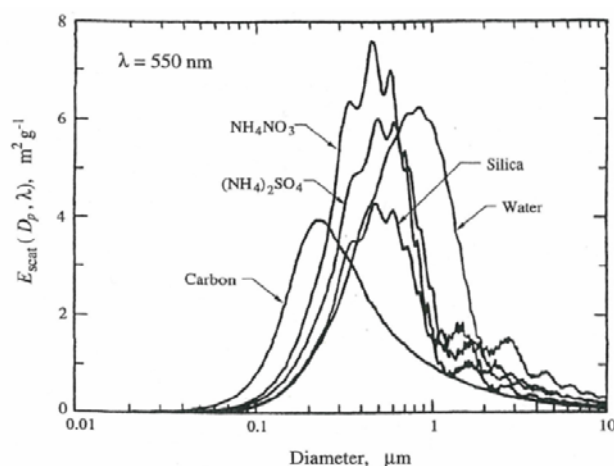
圖 3.2.3、碳成分分析儀

表 3.2.2、碳分析儀分階加熱及量測說明

成分	溫度	導入氣體
OC1	~140°C	100%He
OC2	141~280°C	
OC3	281~480°C	
OC4	481~580°C	
EC1 OPC	580°C	90%He、10%O ₂
EC2	581~740°C	
EC3	741~840°C	

3.3、能見度儀量測方法

氣象領域使用之能見度儀以紅外線光源為主，對水氣反應較強，因細微粒不及水珠大，能見度評估上誤差偏大。本專案提供之能見度儀以綠光為主，與氣象領與使用的能見度儀不同，綠光波長較短，細小微粒對該波長反應強（如圖3.3.1），美國IMPROVE長期計畫已使用多年，對微粒成分含量與能見度間能有量化關係呈現。



圖片來源：Seinfeld and Pandis, 2016

圖 3.3.1、微粒成分與水氣在波長 550nm 之散光效率

目前臺中市能見度觀測資料來自兩個單位，分別為中央氣象局及環保署。中央氣象局採人工觀測，環保署採自動觀測，表3.3.1摘列兩個單位能見度觀測資訊供參。

近年學者蕭大智等人（2018）在臺中地區調查能見度劣化與氣膠物化特性之研究，乃利用衛星觀測之AOD（氣膠光學厚度）與地面微粒物化特性做關聯分析。該研究是以發射527奈米波長之綠光雷射脈衝波到大氣中，藉由偵測背向散射光評估大氣散射程度，再應用中央氣象局能見度觀測資料進行相關分析，探討微粒物理化學對散射影響程度。

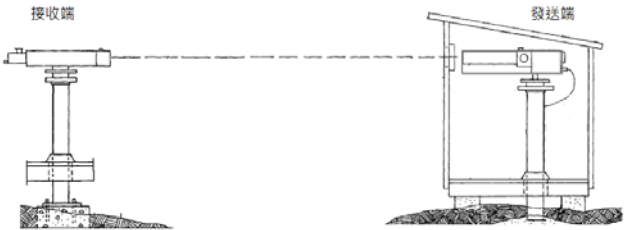
研究顯示AOD與氣膠濃度呈正相關，但相關性在0.19~0.40。其代表性不佳的原因為衛星觀測之空間解析度為10公里，且時間解析度僅一天一筆；另外，衛星觀測不穩定性高（一整年中有接近一半以上的日期無法觀測）。因此，現階段以MODIS（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer，中級解析度成像分光輻射度計）搭載於Terra以及Aqua衛星上之氣膠光學特性觀測仍有其限制（葉弘毅，2019）。

表 3.3.1、臺中市能見度觀測資訊一覽表

單位	中央氣象局	環保署
站名	梧棲氣象站/臺中氣象站	西屯測站
觀測方式	人工觀測： 以 360 度空間內有超過 180 度的空間可觀測到之距離，視為當時能見度距離。	儀器觀測： 使用 550nm 之雷射光源到大氣中，藉由偵測散射及吸光程度評估能見度距離。
觀測頻率	臺中氣象站： 每日 2:00、5:00、8:00、9:00、11:00、14:00、17:00、20:00、21:00、23:00（共 10 筆） 梧棲氣象站： 每日 8:00、9:00、11:00、14:00、17:00（共 5 筆）	連續觀測，每十分鐘一筆
觀測方向	水平向	水平向
資料回報	人工回報中央氣象局資料處理科	自動回傳接收中心

本計畫能見度觀測設備採用美國OPTEC公司LPV-4長距式能見度監測系統，該設備光源波長550nm，消光偵測範圍 $0.0001 \sim 6.5535 \text{ km}^{-1}$ ，適用於20km距離內之能見度量測。該設備規格與性能符合美國環保署能見度監測規範（詳表3.3.2），整體設備包含一發射端及一接收端。其發射端可發射光波至接收端，利用接收到光的散光及吸光量測值，再由內建軟體直接計算消光係數，進而換算成能見度。

表 3.3.2、OPTEC LPV-4 規格與架設資訊一覽表

設備說明	
1. 量測原理：透射	
2. 最小量測視程：小於1km	
3. 最大量測視程：大於20km	
4. 視程解析度：須小於0.5km	
5. 光源：波長530~550nm且量測光徑長度至少大於1.5km	
6. 消光係數： $0.0100 \text{ to } 6.5535 \text{ km}^{-1}$	

LPV-4之能見度與消光係數之計算原理說明如下：

$$\text{消光係數} = \frac{\ln\left(\frac{\text{LPV讀值}}{\text{光源校正值}}\right)}{\text{發送端至接收端之距離}}$$

$$\text{能見度} = \frac{3.912}{\text{消光係數}}$$

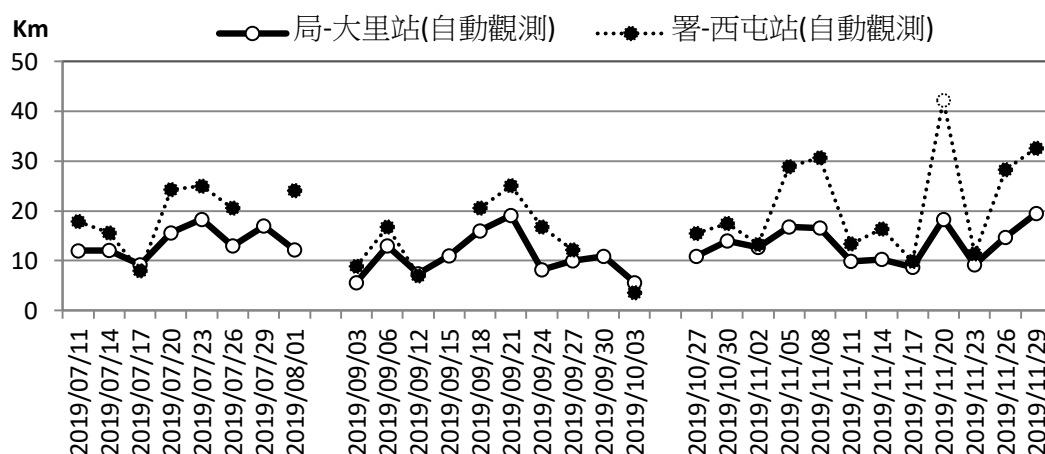
能見度儀觀測點選擇考量有二：第一，必須鄰近空品測站，提供後續數值分析所需的風速、風向、溫度、濕度及NO₂資料；第二，有PM_{2.5}成分資料。表3.3.3為綜整本市空氣品質監測站概況，適合設點位置為大里站及后里站，經現勘及場地協調，大里測站為優選。

表 3.3.3、臺中市適合架設能見度監測設備之地點評估表

測站 初步篩選條件	環保署					環保局					
	大里	沙鹿	豐原	忠明	西屯	文山	后里	烏日	太平	大甲	霧峰
足以代表當地之空氣品質	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
具 PM _{2.5} 成分監測	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×
具一般空品監測	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
氣象監測	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
能提供電源	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
具門禁管制	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

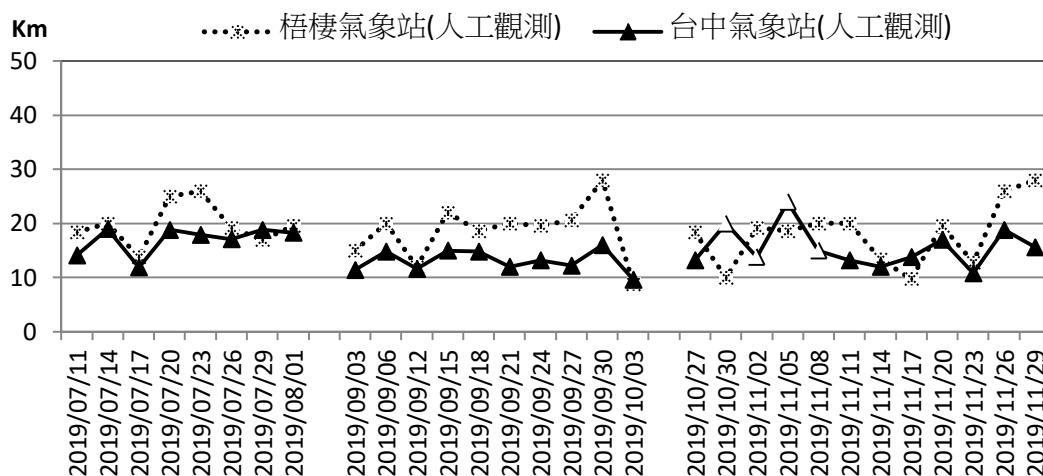
3.4、能見度觀測結果

今年度大里能見度觀測分三期，分別為7月、9月及11月，圖3.4.1為大里自動觀測結果與環保署西屯站比較，可看出大里能見度比西屯低，主要是能見度高低會受觀測地點的微粒成分及粒徑大小所影響。另外，同步蒐集氣象局人工觀測結果，比較同時段人工觀測結果，顯示梧棲能見度高於臺中氣象站（詳圖3.4.2），由兩組資料可知，能見度高低可能因觀測方法以及地點不同，而有所差異。



備註：1. 日均值採逐 24 小時（24 筆）平均計算
2. 西屯站 2019/11/20 後續迴歸式視為異常值剔除

圖 3.4.1、能見度自動觀測資料



備註：1. 日均值採 8:00、9:00、11:00、14:00、17:00（共 5 筆）平均計算
2. 2019/10/30、2019/11/02、2019/11/05、2019/11/08 後續迴歸式視為異常值剔除

圖 3.4.2、能見度人工觀測資料

進一步以線性迴歸分析彼此相關性，取相關係數平方（ R^2 ）列於表3.4.1。結果顯示自動觀測之間，資料相關性較高（0.77），兩者有較好的趨勢一致性；自動觀測與人工觀測 R^2 值在0.31~0.45之間；人工觀測站之間相關性差（0.13）；若刪除異常值後線性迴歸，以人工觀測站間相關性提升最多(0.42)。

表 3.4.1、不同地點能見度相關性之分析

觀測地點	大里站 (自動)	西屯站 (自動)	梧棲氣象站 (人工)	臺中站氣象 (人工)
大里站(自動)	1.00			
西屯站(自動)	0.77(0.80)	1.00		
梧棲氣象站(人工)	0.31	0.44(0.55)	1.00	
臺中氣象站(人工)	0.33(0.38)	0.45(0.46)	0.13(0.42)	1.00

備註：本表圖3.4.1及圖3.4.2搭配，()者為剔除異常值之迴歸結果，臺中氣象站刪除4筆，西屯站刪除1筆。

圖3.4.3為臺中市4個地點能見度觀測結果分類比較，能見度在15km以上發生比率，以梧棲站70%最高，其次為西屯站66%，再次為臺中氣象站47%，大里站最低30%。雖觀測方式不同，仍具參考價值，可知大里地區能見度不佳較其他三區嚴重，有必要優先探究成因加以改善。

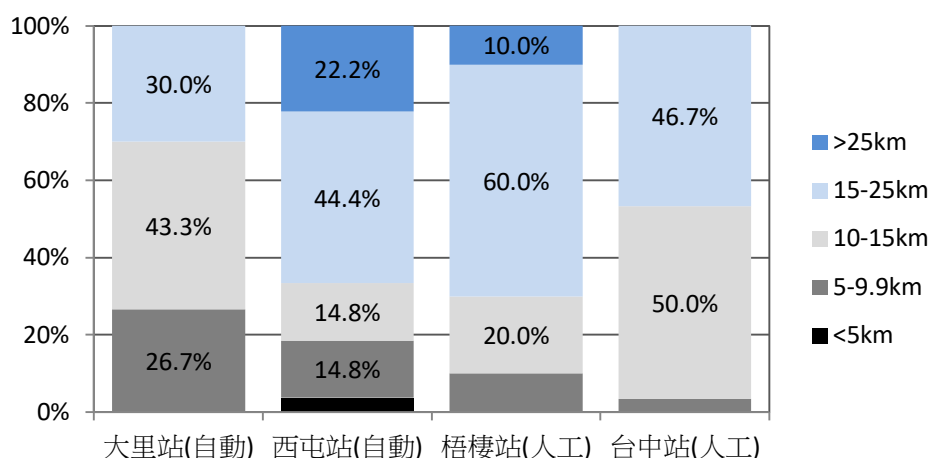
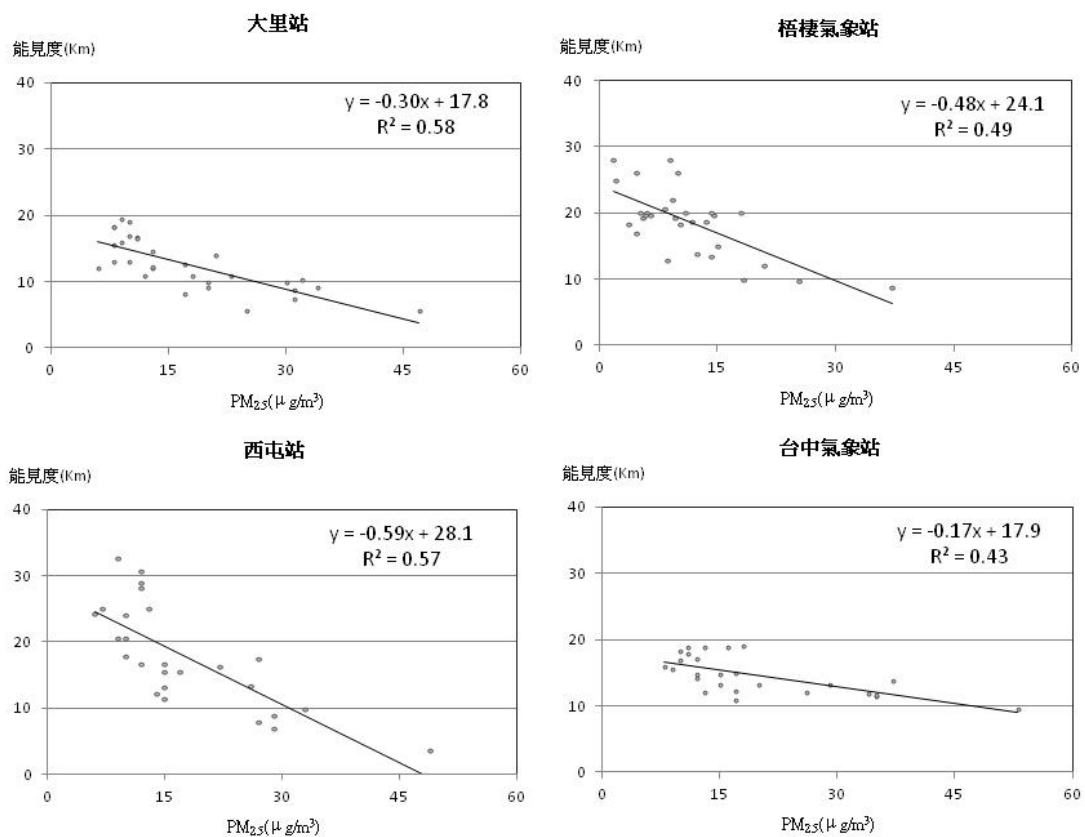


圖 3.4.3、不同地點能見度之統計

3.5、能見度與 PM_{2.5} 濃度分析

3.5.1、能見度不同觀測法之比較

民眾直覺地以能見度作為空氣品質好壞的指標，尤其是PM_{2.5}。至於能見度與PM_{2.5}相關性如何，以圖3.5.1呈現。由圖可知相關性（R²）介於0.43~0.58之間，以目前有限資料比對下，能見度自動觀測與PM_{2.5}相關性略優於人工觀測。（備註：因西屯站能見度自動觀測資料無法取得每日觀測結果，僅就能取得部分時間，其他三站取同時段資料比對，時段如圖3.4.2）



PM_{2.5} 資料來源：大里站採用環保署大里空品站 PM_{2.5} 自動測值
 西屯站採用環保署大里空品站 PM_{2.5} 自動測值
 梧棲氣象站採用台電公司梧棲空品站 PM_{2.5} 自動測值
 臺中氣象站採用環保署忠明空品站 PM_{2.5} 自動測值

圖 3.5.1、不同地點能見度與 PM_{2.5} 相關分析

3.5.2、大里能見度自動觀測結果分析

本計畫於大里觀測能見度，與鄰近的環保署大里PM_{2.5}自動測值進行比較，如圖3.5.2所示。3季觀測共82天其中18天降雨，能見度下降與PM_{2.5}濃度上升存在部分關聯；降雨時能見度下降，但非線性相關，下降程度與降雨時間點及雨勢有關。

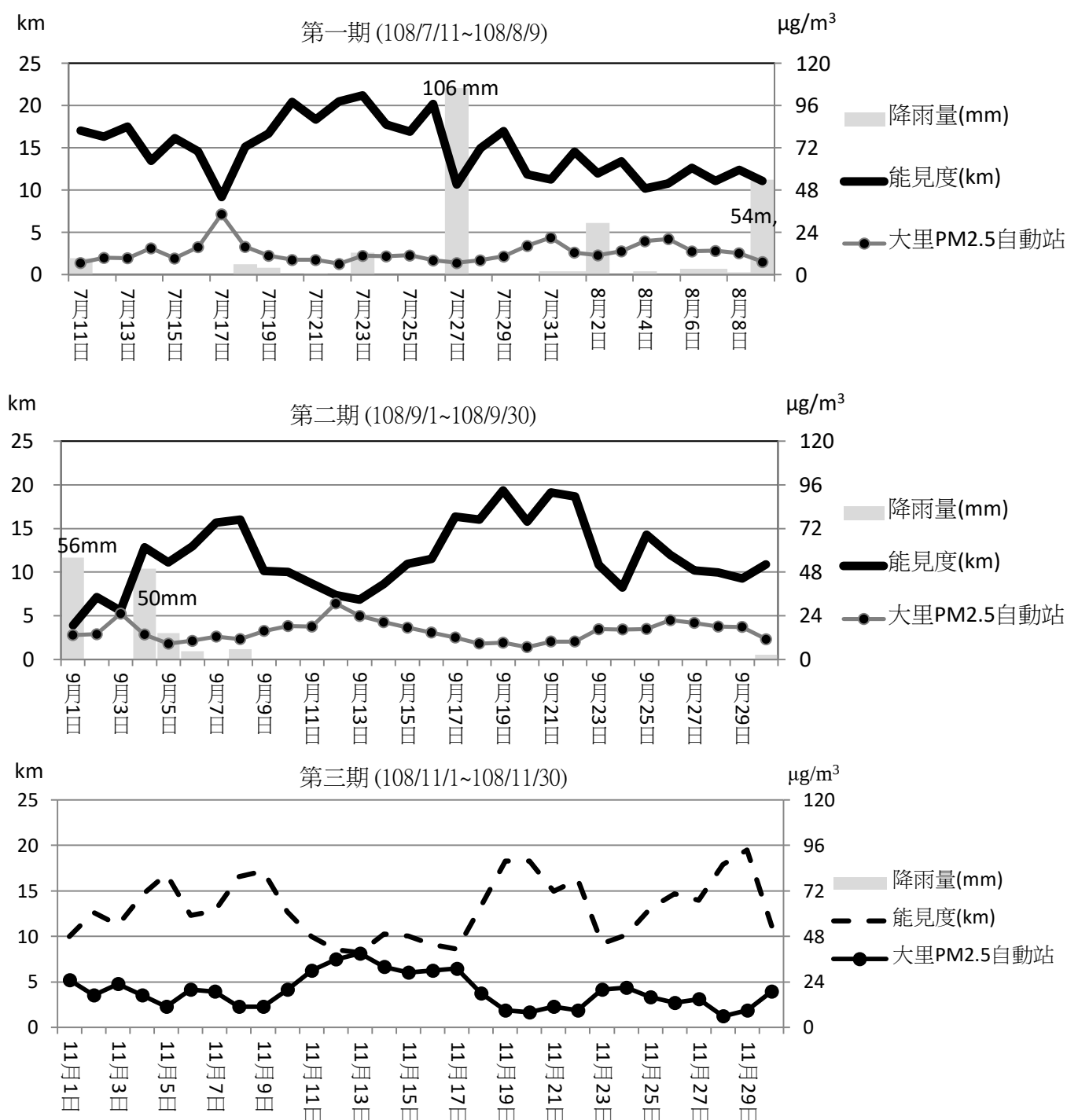


圖 3.5.2、大里站能見度與 PM_{2.5} 自動測值趨勢圖

本年度大里能見度觀測時間僅3個月，數據無法呈現完整的季節特徵。圖3.5.3為大里能見度日夜變化，與國內、外研究結果相似：夏季能見度高，秋季能見度低，與夏日垂直對流旺盛，有助空氣污染物的擴散，相對微粒濃度較低，能見度提升；此次春、冬季無觀測資料，無法比較。

大里在夏、秋季能見度日變化特徵不同；9月、10月秋季期間，中午能見度上升，夜間及清晨能見度下降，此與中午混合層發展較高，稀釋空氣污染物能見度上升，夜間異相反應增加微粒生成有關（蕭大智等人，2018）。然而，夏季7月份，能見度變化卻相反，能見度在夜間與清晨能見度較佳，中午能見度下降，原因則有待未來獲致更多數據後研析。

在中國東北的瀋陽，當地能見度日變化顯示，早上7:00最高，隨交通尖峰期開始，能見度下降，午後14:00最低（Zhao et al., 2013）。中國南方的南京則是14:00能見度最好，8:00最差（侯等人，2014）。韓國首爾早上能見度低，主要受到低混合層以及高濕度的影響，中午混合層上升能見度變好，傍晚再度下降（Ghim et al., 2005）。大里在夏季、秋季日變化的差異原因有待進一步探究，未來環保署公開西屯站觀測結果後，亦可進一步比較。

圖3.5.4為能見度觀測結果與PM_{2.5}自動測值關係，相關係數可達0.79。另，由圖可知大里PM_{2.5}達40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，能見度降至5km；PM_{2.5}降至10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，能見度可達20km以上。Deng等人（2008）研究珠江三角洲PM濃度與能見度關係，亦呈現非線性關係；但當PM濃度高於120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，能見度變化和濃度的關係已不顯著。

圖3.5.5可知大里地區能見度在風向上無規律性存在；由圖3.5.6的散佈圖可知，濕度、溫度、風速與能見度相關不明顯。一般而言，其他區域研究能見度與氣象因子關係，多呈現與風向、濕度有關，與溫度相關性較差。本計畫因觀測時間短故採用逐時資料分析，與多數採用日平均統計不同，可能是相關差的原因之一。

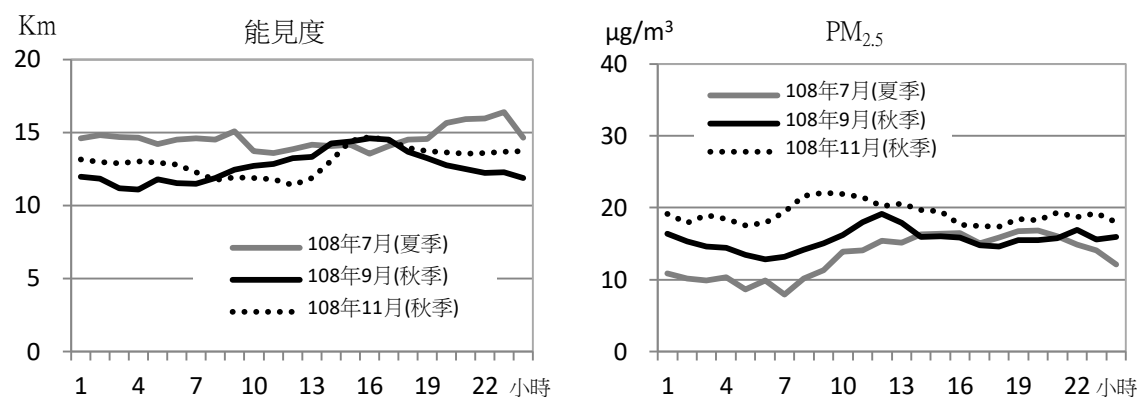


圖 3.5.3、大里能見度與 PM_{2.5} 之日變化特徵

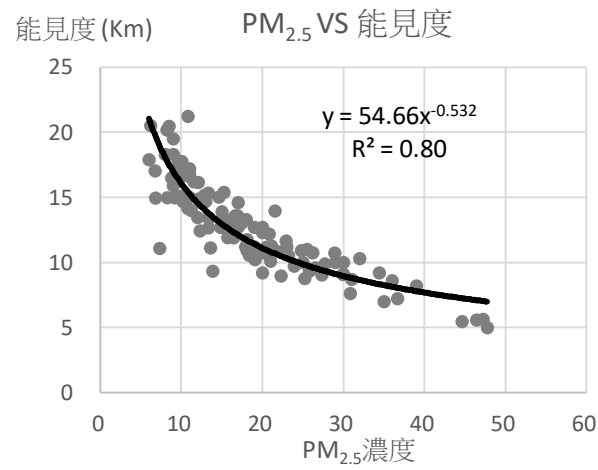


圖 3.5.4、大里能見度日平均與 PM_{2.5} 關係

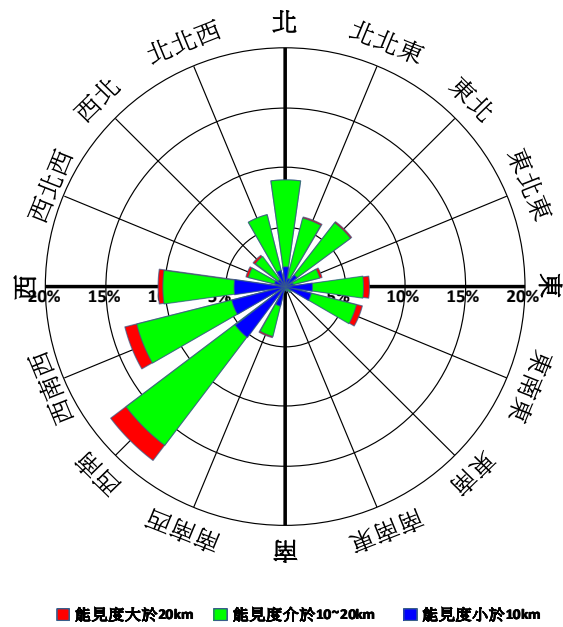


圖 3.5.5、大里能見度逐時資料與風向關係

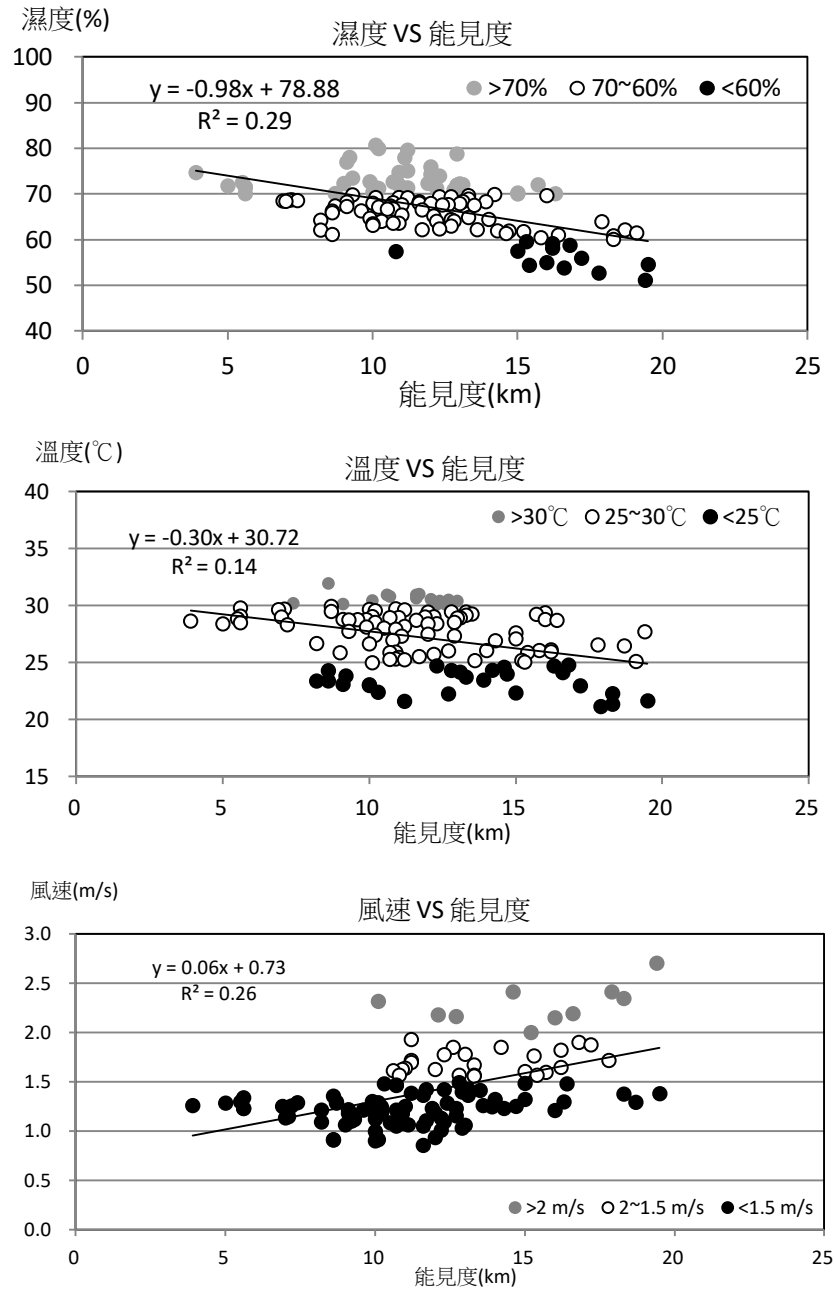


圖 3.5.6、大里能見度逐時資料與氣象之散佈圖

3.6、大里 PM_{2.5}與 PM₁ 調查結果

108年於大里地區進行20次採樣分析，PM_{2.5}與PM₁為同步採樣。期間在7/17日與10/3日出現PM_{2.5}超標（日平均 $>35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。7/17日受颱風外圍環流影響東風增強、下沉增溫，空氣因為氣流停滯使局地污染累積；10/3日則是受到西南風、西風帶入境內（華南沿岸、南海）污染，導致PM_{2.5}上升，再加上本地污染，導致空品快速惡化。

表3.6.1為歷次採樣分析結果，PM_{2.5}與PM₁成分皆以硫酸根與有機碳含量較高，硝酸鹽含量最低。夏、秋兩季濃度比較，秋季五種成分含量均較夏季高，因秋季為本地空污季，各組成濃度隨之上升。

表3.6.2將硫酸根、硝酸根以質量重組方式以硫酸銨及硝酸銨呈現，有機碳則以有機物呈現，藉此比較能見度劣化與成分對應關係。分類統計結果顯示，平均而言，能見度減少10km，PM₁濃度約增加 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，硝酸銨含量比例增加（1%升為6%），硫酸銨及元素碳含量比例變化不大，有機物則降低（40%降至25%）。

圖3.6.1與圖3.6.2以能見度高低分類，統計PM_{2.5}與PM₁質量重組後之成分占比。結果可知PM_{2.5}的硫酸銨、硝酸銨、元素碳與有機物成分總和約占5成，在PM₁中這些成分總和占約8成，可見PM₁粒徑主要仍來自硫酸銨、硝酸銨、元素碳與有機物貢獻。

為瞭解能見度受到何種粒徑影響較大，將PM_{2.5}與PM₁濃度與能見度進行比較，圖3.6.3線性迴歸分析顯示，能見度與PM₁相關性略優於PM_{2.5}。由此可推知PM₁與能見度關係較密切。能見度劣化期間，PM_{2.5}中硫酸銨（7%增為12%）與硝酸銨（3%增為5%）增加，而PM₁中則是硝酸銨（1%增為6%）增加，可見抑制硝酸銨生成，對防止能見度劣化有幫助。

Ghim等人（2003）在韓國首爾研究能見度與PM₁₀、PM₃、PM₁與能見度關係，以PM₁與能見度關最相關，PM₁₀相關最差。Deng等人（2008）研究廣州地區能見度，指出對見度的劣化有70%來自PM₁的散射，受到大顆粒影響相對較低。本研究在PM₁與能見度關係上略優於PM_{2.5}。

表 3.6.1、大里 PM_{2.5} 及 PM₁ 組成分析結果

季節	日期	能見度 (Km)	PM _{2.5}	硝酸根	硫酸根	銨根	元素碳	有機碳	PM ₁	硝酸根	硫酸根	銨根	元素碳	有機碳
夏季	2019/07/11	12.0	10	0.21	1.20	0.08	0.70	3.71	7	0.20	1.90	0.57	0.96	2.81
	2019/07/14	12.1	15	0.50	3.53	0.62	0.61	3.97	11	0.26	3.70	1.29	0.75	3.55
	2019/07/17	9.2	36	0.75	9.92	2.41	1.89	9.51	30	0.43	8.45	3.06	2.09	7.31
	2019/07/20	15.6	9	0.14	1.49	0.51	0.30	2.11	4	0.00	1.54	0.48	0.43	1.91
	2019/07/23	18.3	9	0.16	1.63	0.47	0.34	1.86	7	0.02	1.34	0.58	0.24	1.43
	2019/07/26	13.0	10	0.10	2.86	0.75	0.32	1.85	8	0.00	2.56	0.80	0.17	1.36
	2019/08/01	12.2	12	0.36	3.07	0.96	1.50	3.02	10	1.80	2.55	1.03	1.46	2.66
	平均值	13.2	14	0.32	3.39	0.83	0.81	3.72	11	0.39	3.15	1.12	0.87	3.00
	標準差	2.9	10	0.24	3.02	0.75	0.63	2.70	9	0.64	2.47	0.90	0.70	2.06
秋季	2019/09/03	5.6	25	0.54	7.47	1.54	2.36	3.94	22	1.18	7.18	2.85	2.15	3.49
	2019/09/06	13.0	12	0.25	2.12	0.79	1.51	3.33	10	0.27	2.47	0.77	1.31	2.84
	2019/09/12	7.4	34	0.78	10.98	3.96	3.34	5.96	30	0.58	9.75	3.73	3.04	5.55
	2019/09/18	16.0	12	0.54	3.32	1.04	0.70	1.63	8	0.65	3.69	1.21	0.79	1.71
	2019/09/21	19.1	11	0.29	1.95	0.41	1.17	2.84	9	0.04	2.74	0.99	0.21	1.92
	2019/09/24	8.2	19	0.29	3.15	1.24	2.10	4.43	17	0.07	4.25	1.80	0.41	2.36
	2019/09/27	10.0	20	0.12	3.81	0.83	0.88	3.90	15	0.12	3.45	1.06	0.83	3.04
	2019/10/03	5.6	52	5.54	16.49	6.83	1.03	4.42	38	4.16	14.88	4.81	1.07	4.69
	2019/10/27	10.9	20	1.04	3.86	1.20	2.56	5.31	20	0.26	7.13	1.94	4.78	1.89
	2019/10/30	14.0	25	1.04	3.53	1.04	1.88	4.06	13	0.48	3.56	1.23	1.68	3.46
	2019/11/02	12.7	16	1.00	2.78	0.25	2.13	4.71	12	0.42	2.73	0.91	1.85	3.24
	2019/11/05	16.8	12	0.54	2.57	0.79	0.90	2.03	8	0.33	3.01	0.94	0.96	1.75
	2019/11/14	10.3	29	0.87	6.02	2.2	3.05	5.86	23	0.74	6.2	2.31	2.73	5.6
	2019/11/17	8.7	28	1.54	5.31	1.91	3.15	6.67	25	1.28	4.42	1.82	3.06	5.98
	2019/11/26	14.7	13	0.76	1.97	0.62	1.82	4.09	10	0.19	2.01	0.66	1.6	3.32
	2019/11/29	19.5	10	/	/	/	1.05	2.69	7	/	/	/	1.04	2.32
	平均值	12.0	21.1	1.0	5.0	1.6	1.9	4.1	16.7	0.7	5.2	1.8	1.7	3.3
	標準差	4.4	11.1	1.3	4.0	1.7	0.9	1.4	8.9	1.0	3.5	1.2	1.2	1.4

表 3.6.2、不同能見度下 PM_{2.5} 與 PM₁ 組成百分比

類別	樣本數	平均視程 (km)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	硝酸銨	硫酸銨	元素碳	有機物	PM ₁ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	硝酸銨	硫酸銨	元素碳	有機物
高能見度 (>15km)	5	17.4	10	3%	7%	7%	32%	7	1%	43%	12%	40%
低能見度 (<10km)	6	7.4	32	5%	12%	8%	27%	27	6%	41%	10%	25%

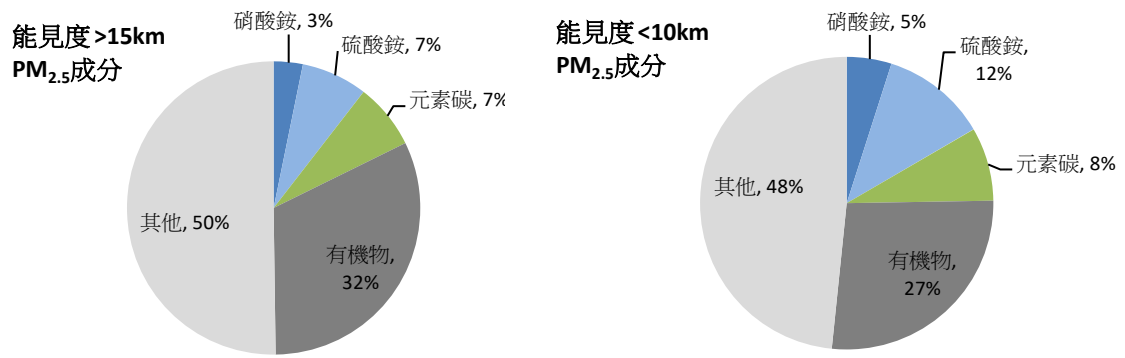


圖 3.6.1、不同能見度之 $PM_{2.5}$ 組成比例

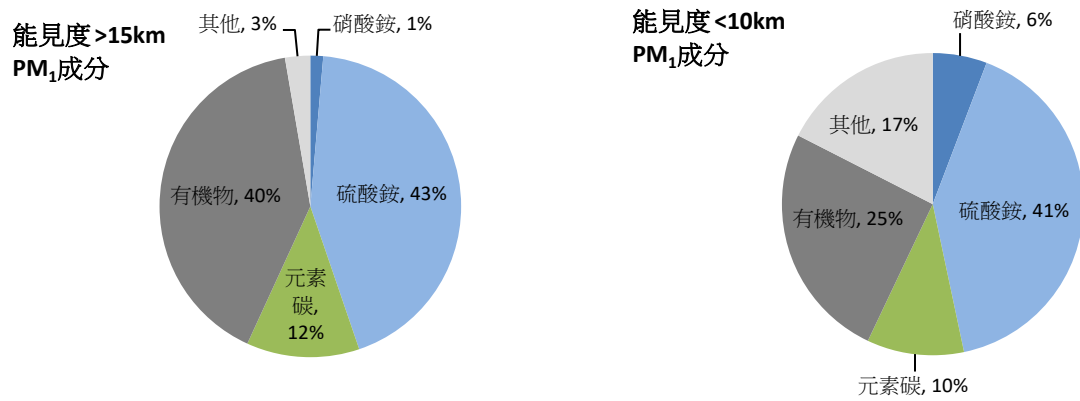


圖 3.6.2、不同能見度之 PM_1 組成比例

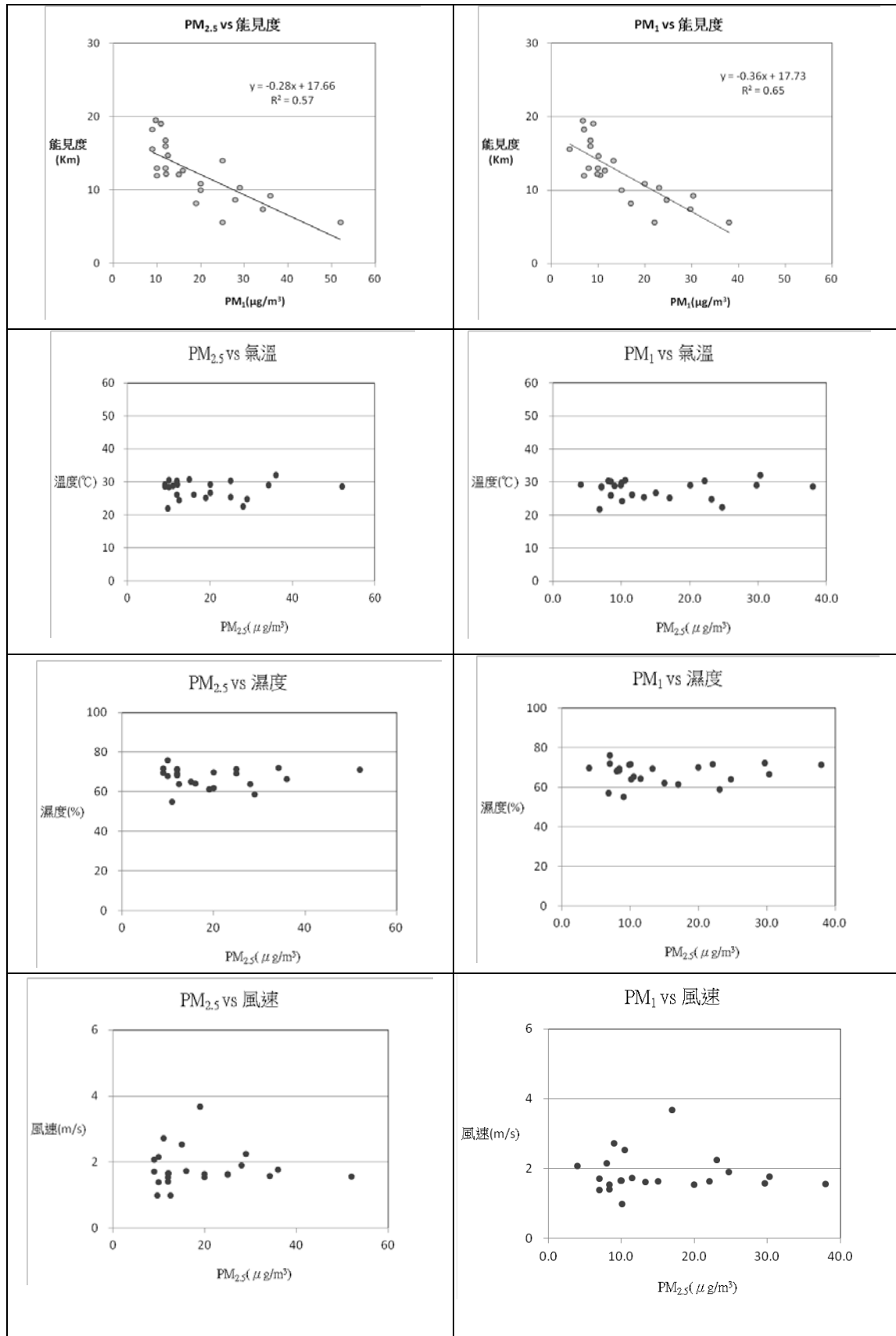


圖 3.6.3、大里 PM_{2.5}、PM₁與能見度、氣象相關分析

3.7、能見度及微粒成分關係式建立

大氣能見度好壞主要受到微粒消光程度的影響，因此，對微粒消光性質的調查是改善能見度的基本課題，能見度受到微粒質量濃度、微粒成分差異、微粒大小、含碳物質以及相對濕度等多重的影響，提升能見度是一種空氣品質管理工作，其核心就是科學根據。臺中市能見度改善應該在有科學的根據下研擬管制措施，以求其效益。

3.7.1、國內外能見度文獻彙整

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 $22\sim 105\text{Mm}^{-1}$ 。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。

中國廣州市調查結果顯示微粒化學組分消光係數在 $373\sim 548\text{Mm}^{-1}$ ， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 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 冬季最大(29%)，POM夏季最大(23%)。相對於 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 和POM而言，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3.7.1彙整國內外懸浮微粒特性與能見度相關研究結果，可以得知環境中水溶性離子和碳成分皆對微粒光學特性有極大關聯性，間接影響大氣能見度。因此，影響能見度者，包括微粒組成、粒徑、吸濕性等物理及化學性質與氣候條件。換言之，需釐清當地微粒的貢獻來源、微粒物化性質以及光學特性，從關鍵因子著手，以求在短期內改善能見度的目的。

表 3.7.1、國內、外懸浮微粒特性與能見度相關研究 (1/2)

研究結果	參考資料
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有大幅增加的現象。	蕭大智等人 (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。另，關於消光係數，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。結果顯示前金消光係數粒徑分佈為 0.46μm-0.7μm；橋頭則為 0.3μm-0.45μm。	林文印等人 (2018)
探討臺中地區2013-2017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，亦顯示能見度惡化，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。	林唐煌等人 (2018)
探討臺中市能見度與微粒組成及氣象關係，建置之多元迴歸模式為Visibility (km) = 13.99 - 0.48 SO ₄ ²⁻ + 0.38 WS + 0.37 T - 0.44 RH，建置之多元海鹽（6%）與地殼塵土（6%）。此迴歸式之PM _{2.5} 化學成分及天氣因子為臺中市忠明測站採樣及監測資料；能見度為梧棲氣象站觀測資料，採樣期間最低能見度約為5公里，最高為24公里。（備註：修正NH ₄ ⁺ 表示已將鐵氟龍濾紙上之微粒揮發出來的鹼氣回補）	李崇德等人 (2016)
探討中國南京霧霾事件，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加至0.6-1.4μm有很大關係。	Kang et al. (2013)
探討中國廣州並針對大氣濕度、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 ⁺ ）進行探討，其結果顯示當地（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)
探討臺南地區之懸浮微粒與能見度的關係，結果顯示1960年的臺南地區，天氣晴朗時的能見度尚有20公里以上，而在1961-2003年卻只剩下12.4±4.2公里，指出空氣中懸浮微粒及氮氧化物濃度的增加，導致臺南地區能見度的降低。	Tsai et al. (2005)

續表 3.7.1、國內、外微粒特性與能見度相關研究 (2/2)

研究結果	作者
探討高雄能見度下降與微粒粒徑介於0.26-0.90 μm 有很大相關，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1995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。	張國忠等人 (2005)
研究臺北新莊地區2002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})= $16[\text{Sulfate}(\text{總散}/\text{m}^3)] + 16[\text{Nitrate}(\text{總散}/\text{m}^3)] + 6[\text{Organic carbon}(\text{化學組成}^3)] - 14$ ，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為8.4 m^2/g ，其次為硝酸銨的5.3 m^2/g ；在臺北地區，整體採樣期間以硫酸銨散光效率最高為4.9 m^2/g ，其次為硝酸銨的3.2 m^2/g 。	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1996年12月至1998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，約佔消光係數之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%。水汽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佔40%。	Groblicki et al. (1981)

3.7.2、微粒成分與能見度關係式說明

文獻上最常見的是將能見度與氣狀污染物、PM_{2.5}化學成分、氣象因子間以多元線性迴歸式表示。由3.7.1節之文獻資料彙整可知，近期學者李崇德等人（2016）利用PM_{2.5}化學成分、天氣因子（包括風速、環境溫度、環境相對濕度）、NO₂……等因子，建立能見度多元迴歸模式，結果為 $\text{Visibility (km)} = 13.99 - 0.48 \text{SO}_4^{2-} + 0.38 \text{WS} + 0.37 \text{T} - 0.44 \text{RH}$ ，判定係數 R^2 為0.71。此結果顯示能見度與氣象、PM_{2.5}中硫酸根(SO₄²⁻)相關性，但氣象屬於不可控制的因素，因此，在管制策略上就會以硫酸鹽管制為主。

本計畫在探討能見度與微粒各種成分關係式方面，參考IMPROVE之化學消光效率公式推估，即 $b_{ext}=b_{ag}+b_{ap}+b_{sg}+b_{sp}$ (詳P2-22)，其中：

$$b_{ag}=330[\text{NO}_2], [\text{NO}_2]\text{單位：ppm}$$

$$b_{sg}=10, \text{取氣體的瑞利散射係數 } 10$$

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

$$b_{sp}=3f(RH)[\text{SO}_4^{2-}]+3f(RH)[\text{NO}_3^-]+4[\text{OC}]+1[\text{Soil}]+0.6[\text{CM}]$$

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

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

(5) [CM]：粗粒，即PM_{10-2.5}

代入消光公式中得到下式：

$$b_{ext}=330[\text{NO}_2]+3f(RH)[\text{SO}_4^{2-}]+3f(RH)[\text{NO}_3^-]+4[\text{OC}]+1[\text{Soil}]+0.6[\text{CM}] \\ +10[\text{EC}]+10$$

有學者指出在微粒消光探討中，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（Watson, 2002；Tao et al., 2014），故可該兩項將忽略不列入。有關本計畫之消光效率公式各項數據來源說明於表3.7.2。

表 3.7.2、消光效率公式數據來源一覽表

項目	單位	資料來源	備註
EC(元素碳)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測	$[EC1]+[EC2]+[EC3]-[OP]$
SO_4^{2-} (硫酸根)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
NO_3^- (硝酸根)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
OC (有機碳)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		$[OC]=[OC1]+[OC2]+[OC3]+[OC4]+[OP]$
Soil (土壤)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測+文獻推估	$[Soil]=2.2[Al]+2.49[Si]+1.94[Ti]+1.63[Ca]+2.42[Fe]$
CM (粗粒)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	大里空品自動站	$[CM]=\text{Coarse Mass}=\text{PM}_{10-2.5}$
NO_2 (二氧化氮)	ppm		
RH (濕度)	%		
f (RH) (吸濕係數)	無因次	文獻 (Liu et al., 2013)	$f(RH) = \frac{b_{scat}(RH)}{b_{scat}(RH=0\%)}$ $f(RH)$ 氣溶膠散射係數的吸濕係數 b_{scat} $(RH=0\%)$: 乾 $\text{PM}_{2.5}$ 之散光係數 $b_{scat}(RH)$: 在任何相對溼度下 $\text{PM}_{2.5}$ 之散光係數 一般而言, 相對溼度 $<40\%$, $f(RH)$ 為一定值, 當RH大於 40% 時, $f(RH)$ 漸漸產生變化

IMPROVE考量硫酸鹽、硝酸鹽在相對濕度逐漸提升時，這些物質會因接觸水分產生吸濕現象，使得微粒粒徑變大，折射率受到改變，導致微粒散光係數的增加 (Covert et al., 1972)。有機物質雖然沒有吸濕性，但在高相對濕度時會增加其表面聚光，尤其在次微米 (PM_{10}) 粒徑大時，可吸濕性成分佔較大比例，以重量估計約佔 $70\% \sim 80\%$ (Zhang et al., 1993)。同時，考量沿海地區易受到海鹽影響造成能見度不佳，因此，Pitchford等人 (2007) 對消光效率公式予以強化，改良後之進階版之消光效率公式如下：

$$\begin{aligned}
 b_{sp} = & 2.2 f_s(RH) ["Small" \text{SO}_4^{2-}] + 4.8 f_L(RH) ["Large" \text{SO}_4^{2-}] \\
 & + 2.4 f_s(RH) ["Small" \text{NO}_3^-] + 5.1 f_L(RH) ["Large" \text{NO}_3^-] \\
 & + 2.8 ["Small" \text{OM}] + 6.1 ["Large" \text{OM}] + 1.7 f_{ss}(RH) ["Sea Salt"] \\
 & + 1.0 [\text{Soil}] + 0.6 [\text{CM}]
 \end{aligned}$$

備註：CM、Sea Salt 由以下方式推估

- (1) $[OM]$: 有機物，一般以 $1.8[OC]$ 推估而得
- (2) $[\text{Sea Salt}]$: 海鹽，一般以 $1.8[Cl^-]$ 推估而得

- (3) ["Small" SO_4^{2-}] = ["PM_{2.5}" SO_4^{2-}]
 (4) ["Large" SO_4^{2-}] = ["PM_{10-2.5}" SO_4^{2-}]
 (5) ["Small" NO_3^-] = ["PM_{2.5}" NO_3^-]
 (6) ["Large" NO_3^-] = ["PM_{10-2.5}" NO_3^-]
 (7) ["Small" OM] = ["PM_{2.5}" OM]
 (8) ["Large" OM] = ["PM_{10-2.5}" OM]

將能見度 ($\text{Vis}=3.912/b_{\text{ext}}$) 與上述 b_{sp} 、 b_{ag} 、 b_{ap} 、 b_{sg} 合併，可得公式如下：

$$\begin{aligned}
 3.912/\text{能見度} = & 0.33[\text{NO}_2 \text{ (ppb)}] + 10 + 10[\text{EC}] \\
 & + 2.2 fs(RH) ["Small" \text{SO}_4^{2-}] + 4.8 fL(RH) ["Large" \text{SO}_4^{2-}] \\
 & + 2.4 fs(RH) ["Small" \text{NO}_3^-] + 5.1 fL(RH) ["Large" \text{NO}_3^-] \\
 & + 2.8["Small" \text{OM}] + 6.1["Large" \text{OM}] + 1.7 fs(RH) ["Sea Salt"] \\
 & + 1.0[\text{Soil}] + 0.6[\text{CM}]
 \end{aligned}$$

本計畫因為無PM_{10-2.5}之採樣與分析，鑒於臺中市PM_{2.5}主要以衍生物種為主，加上引起消光的主要粒徑在PM₁，因此，在進階版消光效率公式的參數本土化建置上，"Large"部分以PM_{2.5-1}取代，"Small"以PM₁取代。有關進階版消光效率公式之各項數據來源規劃詳表3.7.3：

表 3.7.3、進階版消光效率公式數據採用之規劃

項目	單位	資料來源	備註
"Small" SO_4^{2-}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測	[PM ₁ 中 SO_4^{2-}]
"Large" SO_4^{2-}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測	[PM _{2.5} 中 SO_4^{2-}] - [PM ₁ 中 SO_4^{2-}]
"Small" NO_3^-	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測	[PM ₁ 中 NO_3^-]
"Large" NO_3^-	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測	[PM _{2.5} 中 NO_3^-] - [PM ₁ 中 NO_3^-]
"Small" OM	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測	[PM ₁ 中OM]
"Large" OM	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測	[PM _{2.5} 中OM] - [PM ₁ 中OM]
"Sea Salt"	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測	1.8[Cl]
CM	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測	[CM]=PM _{2.5-1}
Soil	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	實測+文獻推估	[Soil]=2.2[Al]+2.49[Si]+1.94[Ti]+1.63[Ca]+2.42[Fe]
RH	%	大里空品自動站	
fs (RH)	無因次	文獻	(Liu et al., 2013)
fL (RH)			

散光效率公式中，對每個依變項而言，都應該有一正係數值產生，然經多元迴歸結果，無法獲得預期中的結果，主要是樣本數不多，加上剔除異常數據2筆後，現階段獲得以下之結果，此結果代表微粒中的硫酸根以及有機碳對大里地區散光有所貢獻，且硫酸根對能見度的影響高於有機物。

$$3.912/\text{能見度} = 0.33[\text{NO}_2(\text{ppb})] + 10 + 10[\text{EC}] \\ + 2.3["\textit{Small}"] \text{SO}_4^{2-} + 1.3["\textit{Large}"] \text{OM} + 1.8[\text{CM}]$$

備註：

- (1) "*Small*" SO_4^{2-} ：PM₁ 中硫酸根
- (2) "*Large*" OM：PM_{2.5} 中有機物-PM₁ 中有機物
- (3) [CM]：PM_{2.5} 質量濃度-PM₁ 質量濃度

3.8、管制策略研擬

能見度好壞與PM_{2.5}有關，近年臺中市PM_{2.5}濃度改善幅度不小，但是，能見度改善程度不如預期。透過大里地區能見度自動與微粒調查，研究顯示PM₁濃度與能見度的線性關係比PM_{2.5}更高，PM₁中成分以硫酸銨最高，其次為有機物，再次為元素碳，且無論能見度劣不劣化，其占比固定，代表其貢獻量高且穩定，因此，優先管制硫酸鹽的生成。

一、中央與地方共同推動漁船使用0.3%低硫重油

臺中市固定污染源近年推動燃煤、燃油工廠改燃氣，政策持續推動中。移動污染源以船舶使用重油量最大，臺中市有台中港，其漁船用油硫含量上限值1.1%及3.5%，環保署雖推動漁船用油全面降低為0.5%，但仍產生大量SO₂。船舶若朝改以0.3%低硫重油，依吳等人(2014)研究指出，中部空品區改用0.3%低硫重油，一年可減少SO₂排放量977公噸，無論在原生性硫酸鹽或衍生性硫酸鹽都能減少。

能見度與PM₁分析顯示，能見度劣化時，PM₁中硝酸鹽占比增幅最大。由此可推知，在不良氣象條件下，要阻止能見度快速劣化，必須抑制硝酸鹽的形成。且學者蕭大智等人(2018)研究台中東海大學空污問題，指出能見度劣化時，當地微粒濃度增加，尤其以粒徑0.01 μm (100nm)以及0.3~1 μm (300~1000nm)有顯著增長。

大里地區能見度下降與硝酸鹽增生有關，文獻上表示硝酸鹽粒徑介於0.3~1 μm 粒徑，此粒徑恰為可見光(0.4~0.7 μm)之波段。大氣中硝酸鹽生成與溫度、濕度、NO_x與氨氣有關，氣象無法控制，重點必須在硝酸鹽前驅物NO_x污染控制。

二、大貨車排放管制以及限區行駛

能見度劣化前夕，空品預警期間，限制1~3期柴油大貨車行駛區域。目前重型柴油車第5期排放管制標準，氮氧化物（NO_x）管制標準為2.0g/kWh，而1~3期柴油大貨車仍會排放高量的NO_x，對於能見度容易劣化的行政區如大里地區，應該要求該區進出須使用5期或6期柴油大貨車，中央在稅務上提供優惠作為獎勵，地方汰舊換新加碼補助以及油資補貼。

環保署專案(吳等人，2014)研究顯示，各行業排放NO_x生成硝酸銨，反應PM_{2.5}的濃度貢獻，比率最大者為大貨車之5.79%，電力業及自用小客車則分居第二及第三大，其值分別為2.79%及1.74%。表3.8.1摘列針對柴油車之獎勵優惠暨

行措施與建議。

表 3.8.1、柴油車之獎勵優惠暨行措施與建議

機關	暨行措施	建議措施
中央	1. 柴油貨車車輛貸款優惠 2. 減免新車的貨物稅 3. 汰舊換新補助(最高65萬)	1. 五、六期柴油車高速公路過路費半價 2. 六期柴油車牌照稅優惠3年免繳 3. 企業汰換1~3期柴油車輛為六期車，達一定量數者，營利稅再減免5%。
地方	/	1. 落籍臺中市之六期柴油車每年補助油費2萬元 2. 中央柴油貨車汰舊換新補助通過，臺中市政府加碼1/2補助金額

小結

一、能見度觀測

1. 統計氣象局人工觀測結果，梧棲能見度高於北區；自動觀測結果，西屯能見度高於大里。四區的觀測結果比較，大里能見度最差，梧棲能見度最好。四站能見度與PM_{2.5}相關性（R²）介於0.43~0.58之間。能見度自動觀測值與PM_{2.5}相關性略優於人工觀測。
2. 大里在夏、秋季能見度日變化特徵不同；9月、10月秋季期間，中午能見度上升，夜間及清晨能見度下降，此與中午混合層發展較高，稀釋空氣污染物使能見度上升，夜間異相反應增加微粒生成有關。然而，夏季7月份，能見度變化卻相反，能見度在夜間與清晨能見度較佳，中午能見度下降，原因則有待未來獲致更多數據後研析。

二、PM₁組成分析

1. PM₁組成中以硫酸銨含量最高，其次為有機物，再次為元素碳。比較能見度好、壞時PM₁的成分變化，其中硝酸銨含量比例增幅最大（1%升為6%）。PM_{2.5}中硫酸銨（7%增為12%）與硝酸銨（3%增為5%）增加，可見抑制硝酸銨生成，對防止能見度劣化有幫助。
2. PM₁濃度與能見度相關性高於PM_{2.5}，能見度減少10km，PM₁濃度增加20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
3. 以20點次的PM₁以及PM_{2.5}成分資料，嘗試建立消光效率公式困難，未

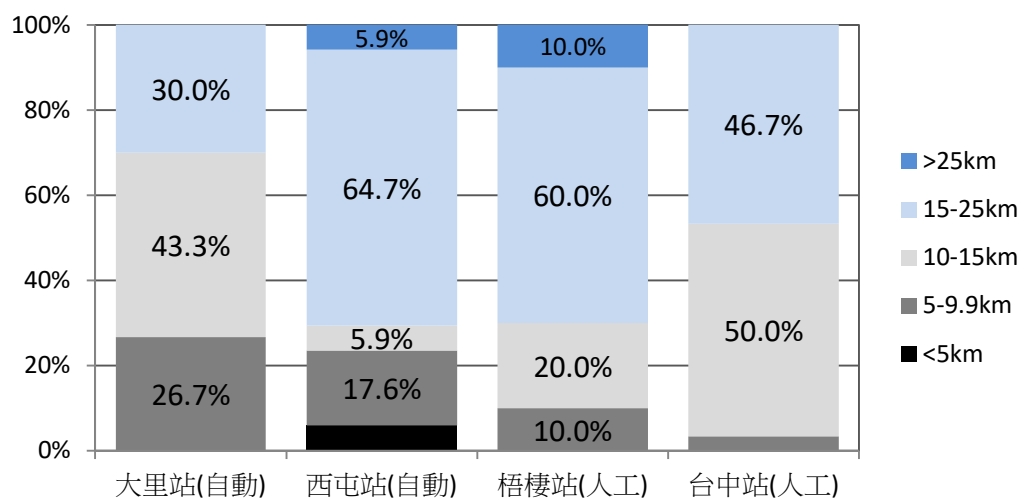
來應持續採樣分析，作為未來建置的基礎。

第四章 研析發現

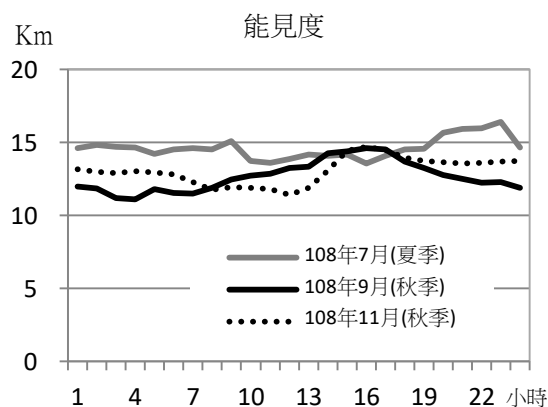
4.1、研析發現

一、能見度觀測

1. 統計氣象局人工觀測結果，梧棲能見度高於北區；自動觀測結果，西屯能見度高於大里。四區的觀測結果比較，大里能見度最差，梧棲能見度最好。四站能見度與PM_{2.5}相關性（R²）介於0.43~0.58之間，能見度自動觀與PM_{2.5}濃度相關性略優於人工觀測。

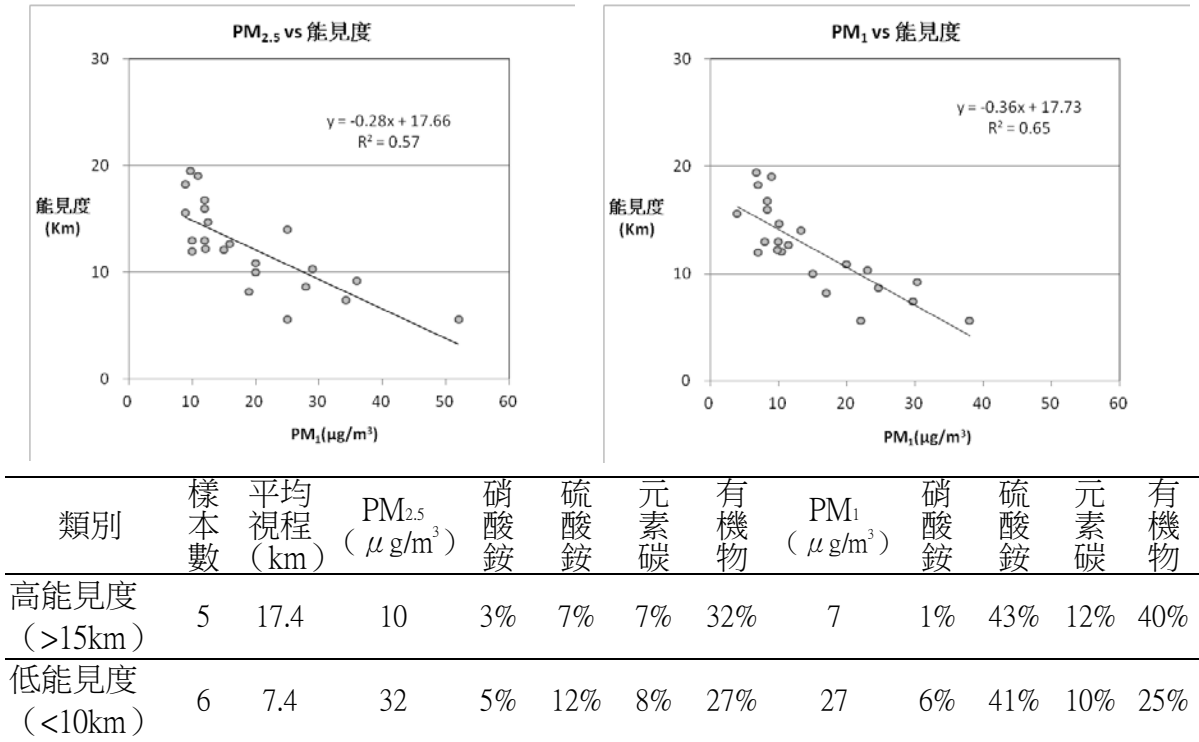


2. 大里在夏、秋季能見度日變化特徵不同；9月份、11月份期間，中午能見度上升，夜間及清晨能見度下降，此與中午混合層發展較高，稀釋空氣污染物能見度上升，夜間異相反應增加微粒生成有關。然而，夏季7月份，能見度變化卻相反，能見度在夜間與清晨能見度較佳，中午能見度下降，原因則有待未來獲致更多數據後研析。

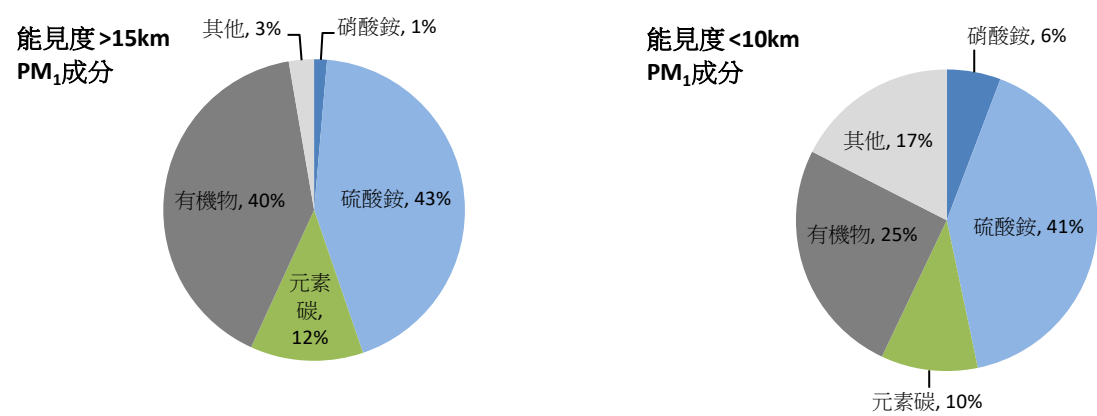


二、PM₁濃度與成分析

1. PM₁濃度與能見度相關性（0.65）高於PM_{2.5}（0.57），當能見度減少10 km，PM₁濃度增加20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。



2. PM₁組成中以硫酸銨含量最高，其次為有機物，再次為元素碳。比較能見度好、壞時PM₁的成分變化，其中硝酸銨含量比例增幅最大（1 %升為6 %），硫酸銨及元素碳含量比例變化不大，有機物則降低（40 %降至25 %）。



4.2、執行困難之處

- 一、能見度自動觀測期間，10 月份中午時段出現缺值，11 月份頻率更高，儀器訊號紀錄顯示光徑受到干擾，推測受到民宅白鐵水塔反射太陽光的影響。因太陽光入射角度受隨季節變化，上半年無此干擾現象發生，未來如要繼續監測，必須考慮移點。
- 二、以 20 點次的 PM_{10} 以及 $PM_{2.5}$ 成分資料，嘗試建立消光效率公式困難，未來應持續採樣分析，作為未來建置的基礎。

4.3、建議事項

- 一、中央與地方共同推動漁船使用 0.3 % 低硫重油

依據： PM_{10} 影響能見度高於 $PM_{2.5}$ ， PM_{10} 成分以硫酸銨占比 43~44 % 最高，且無論能見度劣不劣化，其占比固定，代表其貢獻量高且穩定，應優先管制硫酸鹽的生成。

說明：臺中市燃油工廠，近幾年已陸續改為燃氣，臺中市幾乎沒有使用 0.5 % 重油的工廠，但臺中市有台中港，其漁船用油硫含量上限值 1. % 及 3.5 %，環保署雖推動漁船用油全面降低為 0.5 %，但仍產生大量 SO_2 。船舶若朝改以 0.3 % 低硫重油，依吳等人（2014）研究指出，中部空品區改用 0.3 % 低硫重油，一年可減少 SO_2 排放量 977 公噸，無論在原生性硫酸鹽或衍生性硫酸鹽都能減少。

作法：推動台中港漁船使用 0.3 % 低硫重油。

- 二、空品達預警階段前夕，執行柴油大貨車排放管制以及限區行駛

依據：能見度與 PM_{10} 分析顯示，能見度劣化時， PM_{10} 中硝酸銨占比增幅最大。由此可推知，在不良氣象條件下，要阻止能見度快速劣化，必須抑制硝酸鹽的形成。

說明：依據 TEDS10 資料，臺中市 NO_x 年總排放量 366,874 公噸，主要來源為車輛，其中以柴油車排放占 39 % 最大，汽油車排放占 7.9 % 次之。環保署專案（吳等人，2014）研究顯示，各行業排放 NO_x 生成硝酸鹽，反應 $PM_{2.5}$ 的濃度貢獻，比率最大者為大貨車之 5.79 %，電力業及自用小客車則分居第二及第三大，其值分別為 2.79 % 及 1.74 %。

作法：

1. 空品預警期間，限制1~3期柴油大貨車行駛區域。
2. 對於能見度容易劣化的行政區如大里地區，應該要求該區進出須使用5期或6期柴油大貨車，中央在稅務上提供優惠作為獎勵，地方汰舊換新加碼補助以及油資補貼。

機關	暨行措施	建議措施
中央	1. 柴油貨車車輛貸款優惠 2. 減免新車的貨物稅 3. 汰舊換新補助（最高65萬）	1. 五、六期柴油車高速公路過路費半價 2. 六期柴油車牌照稅優惠3年免繳 3. 企業汰換1~3期柴油車輛為六期車，達一定量數者，營利稅再減免5%。
地方	/	1. 落籍臺中市之六期柴油車每年補助油費2萬元 2. 中央柴油貨車汰舊換新補助通過，臺中市政府加碼1/2補助金額

三、大里地區能見度持續監測

依據：與西屯、梧棲、北區比較，大里能見度最差。

說明：民眾直覺以能見度當成空氣品質好壞的指標，透過行政區即時的能見度數據發布，可讓民眾瞭解同樣的空品，也會有不一樣的能見度。

作法：至少建立一處臺中市能見度觀測常規站，與環保署能見度觀測站數據互相比對及公布（備註：環保署108年在本市西屯區建立能見度觀測站）

第五章 結論與建議

5.1、結論

一、能見度觀測

1. 統計氣象局人工觀測結果，梧棲能見度高於北區；自動觀測結果，西屯能見度高於大里。四區的觀測結果比較，大里能見度最差，梧棲能見度最好。
2. 統計氣象局人工觀測結果，梧棲能見度高於北區；自動觀測結果，西屯能見度高於大里。四區的觀測結果比較，大里能見度最差，梧棲能見度最好。四站能見度與PM_{2.5}相關性（R²）介於0.43~0.58之間。能見度自動觀測值與PM_{2.5}相關性略優於人工觀測。
3. 大里在夏、秋季能見度日變化特徵不同；9月、10月秋季期間，中午能見度上升，夜間及清晨能見度下降，此與中午混合層發展較高，稀釋空氣污染物能見度上升，夜間異相反應增加微粒生成有關。然而，夏季7月份，能見度變化卻相反，能見度在夜間與清晨能見度較佳，中午能見度下降，原因則有待未來獲致更多數據後研析。
4. 能見度自動觀測期間，10月份中午時段出現缺值，11月份頻率更高，儀器訊號紀錄顯示光徑受到干擾，推測受到民宅白鐵水塔反射太陽光的影響。因太陽光入射角度受隨季節變化，上半年無此干擾現象發生，未來如要繼續監測，必須考慮移點。

二、PM₁組成分析

1. PM₁組成中以硫酸銨含量最高，其次為有機物，再次為元素碳。比較能見度好、壞時PM₁的成分變化，其中硝酸銨含量比例增幅最大（1%升為6%）。PM_{2.5}中硫酸銨（7%增為12%）與硝酸銨（3%增為5%）增加，可見抑制硝酸銨生成，對防止能見度劣化有幫助。
2. PM₁濃度與能見度相關性高於PM_{2.5}，PM₁濃度增加20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，能見度減少10 km。
3. 以20點次的PM₁以及PM_{2.5}成分資料，嘗試建立消光效率公式困難，未來應持續採樣分析，作為未來建置的基礎。

5.2、建議

- 一、 能見度受 PM_{10} 影響高於 $PM_{2.5}$ ， PM_{10} 成分以硫酸銨占比41~43%最高，且無論能見度劣不劣化，其占比固定，代表其貢獻量高且穩定，應優先管制硫酸銨的生成。臺中市燃油工廠，近幾年已鼓勵陸續改為燃氣，然而仍有181家工廠鍋爐使用重油，推動燃氣工作仍需持續。另外，台中港漁船用油硫含量偏高，仍產生大量 SO_2 。船舶若朝改用0.3 %低硫重油，可減少原生性硫酸鹽或衍生性硫酸鹽產生。建議推動台中港漁船使用0.3%低硫重油。
- 二、 能見度與 PM_{10} 分析顯示，能見度劣化時， PM_{10} 中硝酸銨占比增幅最大。由此可推知，在不良氣象條件下，要阻止能見度快速劣化，必須抑制硝酸鹽的形成，就是加強管制 NO_x 。臺中市 NO_x 排放以柴油車排放占39 %最大。建議空品預警期間，限制1~3期柴油大貨車行駛區域。對於能見度容易劣化的行政區如大里地區，以及空氣擴散不良地區，要求該區進出須使用5期或6期柴油大貨車，中央則在稅務上提供優惠作為獎勵，地方可以加碼補助汰舊換新或者補助油資作為獎勵。
- 三、 能見度觀測結果統計，與西屯、梧棲、北區比較，大里能見度最差。民眾直覺以能見度當成空氣品質好壞的指標，透過行政區即時的能見度數據發布，可讓民眾瞭解同樣的空品，也會有不一樣的能見度。建議大里建立能見度觀測常規測站持續監測，並與環保署西屯能見度觀測站資料相互為用。

參考文獻

1. Ammerlaan, B.A.J., Jedynska, A.D., Henzing, J.S., Holzinger, R. (2015) On a possible bias in elemental carbon measurements with the Sunset thermal/optical carbon analyser caused by unstable laser signal. *Atmospheric Environment*, 122, 571-576.
2. Birch, M. E., Cary, R. A., (1996) Elemental carbon-based method for monitoring occupational exposures to particulate diesel exhaust. *Aerosol Science. Technol*, 25, 221 - 241.
3. Cabada, J. C., Rees, S., Takahama, S., Khlystov, A., Pandis, S. N., Davidson, C.I. (2004) Mass size distributions and size resolved chemical composition of fine particulate matter at the Pittsburgh supersite. *Atmospheric Environment* 38: 3127-3141.
4. Calvert, J. G., Stockwell, W. R. (1983) Acid generation in the troposphere by gas-phase chemistry. *Environmental Science and Technology* 17: 428-443.
5. Cao J. J., Leea S. C., Hoa K. F., Zhangb X. Y., Zouc S. C., Kochy Fungd, Chowe J. C., Watsone, John G. (2003) Characteristics of carbonaceous aerosol in Pearl River Delta Region, China during 2001 winter period. *Atmospheric Environment*, 37, 11, 1451 - 1460.
6. Cao, J. J., Wang, Q. Y., Chow, J. C., Watson, J. G., Tie, X. X., Shen, Z. X., An, Z. S. (2012) Impacts of aerosol compositions on visibility impairment in Xi'an, China. *Atmospheric Environment* 59: 559-566.
7. Chan, Y., Simpson, R., Mctainsh, G.H. et al. (1999) Source apportionment of visibility degradation problem in Brisbane (Australia) using the multiple liner regression techniques. *Atmospheric Environment* 33:3237-3250.
8. Cheng, M.T., Tsai, Y.I. (2000) Characterization of visibility and atmospheric aerosols in urban, suburban, and remote areas. *The Science of the Total Environment* 263: 101-114.
9. Chou C. C.-K., Lee C. T., Cheng M. T., Yuan C. S., Chen S. J., Wu Y. L., Hsu W. C., Lung S. C., Hsu1 S. C., Lin C. Y., Liu S. C. (2010) Seasonal variation and spatial distribution of carbonaceous aerosols in Taiwan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 9563 - 9578.
10. Covert, D. S., Charlson, R. J., and Ahlquist, N.C. (1972) A study of the relationship of chemical composition and humidity to the light scattering by aerosols. *J. Appl. Meteorol.* 11: 968 - 976.

11. 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.
12. Eidels-Dubovoi, S. (2002) Aerosol impacts on visible light extinction in the atmosphere of Mexico City. *Science of the Total Environment* 287: 213-220.
13. Founda, D., Kazadzis, S., Mihalopoulos, N., Gerasopoulos, E., Lianou, M., Raptis, P. I. (2016) Long-term visibility variation in Athens (1931-2013): a proxy for local and regional atmospheric aerosol loads. *Atmospheric Chemistry & Physics*, 16: 11219-11236.
14. Galindo, N, Varea, M, Gil-Moltó, J. (2011) The influence of meteorology on particulate matter concentrations at an urban mediterranean location. *Water Air Soil Pollut* 215:365 – 372.
15. Gebhart, K. A., Malm, W. C., Day, D. (1994) Examination of the effects of sulfate acidity and relative humidity on light scattering at Shenandoah National Park. *Atmospheric Environment* 28: 841-849.
16. Ghim, Young Sung , Moon, Kil-Choo , Lee, Sihye & Kim, Yong Pyo (2005) Visibility Trends in Korea during the Past Two Decades, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55:1, 73-82, DOI: 10.1080/10473289.2005.10464599.
17. Groblicki, P. J., Wolff, G. T. and Countess, R. J. (1981) Visibility reducing species in the denver brown cloud relationships between extinction and chemical composition. *Atmospheric Environment* 15: 2473-2484.
18. Han, S., Bian, H., Zhang, Y., Wu, J., Wang, Y., Tie, X., Li, Y., Li, X., and Yao, Q. (2012) Effect of aerosols on visibility and radiation in spring 2009 in Tianjin, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 12: 211~217.
19. Hand, J., Kreidenweis S. (2002) A new method for retrieving particle refractive index and effective density from aerosol size distribution data,. *Aerosol Sci. Technol.* 36: 1012 – 1026.
20. Jung, J., Lee, H., Kim, Y. J., Liu, X., Zhang, Y., Gu, J., and 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.
21. John, W., Wall, S. M., Ondo, J. L., Winklmayr, W. (1990) Modes in the size distributions of atmospheric inorganic aerosol. *Atmospheric Environment* 24A : 2349-2359.

22. Khalizov, A. F., Zhang, R. Y., Zhang, D., Xue, H. X., Pagels, J. and McMurry, P. H. (2008) Formation of highly hygroscopic soot aerosols upon internal mixing with sulfuric acid vapor. *J. Geophys. Res.*114: D05208.
23. Lee, C. G., Yuan, C. S., Chang, J. C.g & Yuan, C. (2005) Effects of aerosol species on atmospheric visibility in Kaohsiung City, Taiwan. *Journal of the Air & Waste Management Association* 55: 1031-1041.
24. Li, Y., Zhanga, F., Li, Z., Sund, L., Wang, Z., Li, P., Sunf, Y., Ren, J. , Wang, Y., Crib, M., Yuan, C. (2017) Influences of aerosol physiochemical properties and new particle formation on CCN activity from observation at a suburban site of China, *Atmospheric Research* 188, 80-89
25. Liu, X., Gu, J., Li, Y., Cheng, Y., Qu, Y., Hana, T., Wang, J., Tian, H., Chen, J., Zhang, Y. (2013) Increase of aerosol scattering by hygroscopic growth: Observation, modeling, and implications on visibility, *Atmospheric Research*, Vol. 132 – 133 : 91-101.
26. Lyamani, H., Olmo, F., Alados-Arboledas, L. (2008) Light scattering and absorption properties of aerosol particles in the urban environment of Granada, Spain. *Atmospheric Environment* 42: 2630-2642.
27. Lin, Y.C., Cheng, M.T., Ting, W.Y., Yeh, C.R. (2006) Characteristics of gaseous HNO_2 , HNO_3 , NH_3 and particulate ammonium nitrate in an urban city of Central Taiwan. *Atmospheric Environment* 40: 4725-4733.
28. Lowenthal, D.H., Chow, J.C. and Saxena, P., 2000. Contributions to light extinction during project MOHAVE. *Atmospheric Environment* 34: 2351-2359.
29. Malm, W.C., Day, D.E., Carrico, C., Kreidenweis, S.M., Collett, J.L.Jr., McMeeking, G., Lee, C.J. (2005) Intercomparison and closure calculations using measurements of aerosol species and optical properties during the Yosemite aerosol characterization study. *J. Geophys. Res.* 110, D14302.
30. Malm, W.C., Hand, J.L. (2007) An examination of the Physical and optical Properties of Aerosols collected in the IMPROVE program. *Atmospheric Environment* 41: 3404-3427.
31. Mangelson, N. F., Lewis, L., Joseph, J. M., Cui, W. X., Machir, J., Williams, N. W., Eatough, D. J., Rees, L. B., Wilkerson, T. and 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: 167 – 175.
32. Mehlmann, A., Warneck, P. (1995) Atmospheric gaseous HNO_3 , particulate nitrate, and aerosol size distributions of major ionic species at a rural site in western Germany.

- Atmospheric Environment 29: 2359-2373.
33. Middleton, P., Kiang, C.S., Mohnen, V.A. (1980) Theoretical estimates of the relative importance of various urban sulfate aerosol production mechanisms. *Atmospheric Environment* 14: 463-472.
34. Odum, J.R., Hoffmann, T., Bowman, F., Collins, D., Flagan, R.C., Seinfeld, J.H. (1996) Gas/particle partitioning and secondary organic aerosol yields. *Environmental Science and Technology* 30: 2580 -2585.
35. Park, R. J., Jacob, D. J., Kumar, N., & Yantosca, R. M. (2006) Regional visibility statistics in the United States: Natural and transboundary pollution influences, and implications for the Regional Haze Rule. *Atmospheric Environment*, 40(28): 5405-5423
36. Pitchford, M., Malm, W., Schichtel, B., Kumar, N., Lowenthal, D. & Hand, J. (2007) Revised algorithm for estimating light extinction from IMPROVE particle speciation data. *Journal of the Air & Waste Management Association* 57:1326-1336.
37. Pitts, B.J., Pitts. J.N. (1986) *Atmospheric Chemistry, Fundamentals and Experimental Techniques*. Wiley, New York.
38. Quinn, P.K., Marshall, S.F., Bates, T.S., Covert, D.S., Kapustin, V.N. (1995) Comparison of measured and calculated aerosol properties relevant to the direct radiative forcing of tropospheric sulfate aerosol on climate. *Journal Geophysical Research* 1: 8977-8991.
39. Sakugawa, H., Kaplan, I.R. (1989) H_2O_2 and O_3 in the atmosphere of Los Angeles and its vicinity: Factors controlling their formation and their role as oxidants of SO_2 . *Journal of Geophysical Research* 94: 12957-12974.
40. Sakugawa, H., Kaplan, I.R., Tsai, W., Cohen, Y. (1990) Atmospheric hydrogen peroxide: Does it share a role with ozone in degrading air quality. *Environmental Science and Technology* 24: 1452-1462.
41. Seinfeld, J.H. (1986) *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. Wiley-Interscience, New York.
42. Seinfeld, J.H. Pandis, S. N. (2016) *Atmospheric chemistry and physics*. Wiley-Interscience, New York.
43. Sisler, J.F. & Malm, W.C. (2000) Interpretation of trends of $\text{PM}_{2.5}$ and reconstructed visibility from the IMPROVE network. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50: 775-789.
44. Tang, I. N. (1980) Deliquescence properties and particle size change of hygroscopic
-

-
- aerosols. In *Generation of Aerosols and Facilities for Exposure Experiments* (edited by Willeke K.). Ann Arbor Science Publishers, Michigan.
45. Tang, I.N., Munkelwitz, H.R. (1994) Water activities, densities, and refractive indices of aqueous sulfates and sodium nitrate droplets of atmospheric importance. *Journal of Geophysical Research* 99: 18801-18808.
 46. Tao, J., Ho, K.F. et al. (2009) Effect of chemical composition of PM_{2.5} on visibility in Guangzhou, China, 2007. *Particuology* 7:68-75.
 47. Tao, J., Zhang, L. et al. (2014) Characterization and source apportionment of aerosol light extinction in Chengdu, southwest China. *Atmospheric Environment* 95: 552-562.
 48. Trijonis, J., Yuan, K. (1978) Visibility in the Northeast : long-term visibility trends and visibility/pollutant relationships, Environmental Sciences Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency.
 49. Tiwari, S., Payra, S., Mohan, M., Verma, S., & Bisht, D. S. (2011) Visibility degradation during foggy period due to anthropogenic urban aerosol at Delhi, India. *Atmospheric Pollution Research*, 2(1): 116-120.
 50. Tsai, Y.I. (2005) Atmospheric visibility trends in an urban area in Taiwan 1961-2003. *Atmospheric Environment* 39: 5555-5567.
 51. United States Environmental Protection Agency (1999) Visibility monitoring guidance , EPA-454/R-99-003.
 52. Wang, Q., Zhao, J., Du, W., Ana, G., Wang, Z., Sun, L., Wang, Y., Zhang, F., Li, Z., Ye, X., Sun, Y. (2016) Characterization of submicron aerosols at a suburban site in central China. *Atmospheric Environment* 131: 115-123.
 53. Watson, J.G. (2002) Visibility: Science and regulation. *Air & Waste Management Association* 52: 628-713.
 54. Zhang, X. Q., McMurray, P. H., Hering, S. V., & Casuccio, G. S. (1993) Mixing characteristics and water content of submicron aerosols measured in Los Angeles and at the Grand Canyon. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27(10): 1593-1607.
 55. Hujia Zhao, Huizheng Che, Xiaoye Zhang, Yanjun Ma, Yangfeng Wang, Hong Wang, Yaqiang Wang (2013) Characteristics of visibility and particulate matter (PM) in an urban area of Northeast China, *Atmospheric Pollution Research*.pp427-434.
 56. 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 , 國立中央大學環境工程研究所 , 碩士論文。
-

57. 台灣曼寧工程顧問股份有限公司 (2018)，107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。
58. 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智 (2016)，104-105年細懸浮微粒(PM_{2.5})化學成分監測專案工作計畫，國立中央大學，行政院環境保護署，計畫編號：EPA-104-L102-02-103。
59. 呂理德 (2003)，台北都會區外圍城市大氣氣膠光學效應，國立中央大學，碩士論文。
60. 吳義林、蔡德明、王息豐 (2014)，細懸浮微粒(PM_{2.5})管制策略研擬及減量成效分析，行政院環境保護署，計畫編號：EPA-102-FA11-03-A082
61. 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，國立臺北科技大學，計畫編號：EPA-106-FA18-03-A182。
62. 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，計畫編號：MOST 106-EPA-F-005-004。
63. 袁中新、張瑞正、楊宏宇、林文印、袁菁、李崇垓、李崇德 (2000)，能見度與懸浮微粒物化特徵之相關性探討，1999年氣膠科技國際研討會論文集，pp.67-75。
64. 侯靈，安俊琳，朱彬等 (2014)，南京大氣能見度變化規律及影響因子分析，大氣科學學報，37 (1)：91-98。
65. 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，第189-202頁。
66. 葉弘毅 (2019)，結合衛星與地面觀測資料在台中地區能見度與氣膠參數變化之分析，國立中央大學，碩士論文。
67. 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，pp.9。
68. 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，國立中興大學，博士論文。
69. 劉山豪 (2000)，高雄都會區消光係數與能見度量測及細懸浮微粒污染源貢獻量解析，國立中山大學環境工程研究所，碩士論文。