



論文集



電子問卷

106年環境科技論壇

論文集

主辦單位： 行政院環境保護署
承辦單位： 財團法人成大研究發展基金會
協辦單位： 能源科技與策略研究中心

日期：106 年 6 月 26 日（一）

地點：中國文化大學大新館圓型演講廳（二）

106 年環境科技論壇注意事項

課程

- ◎手機禮貌：為尊重講座及其他聆聽者，會場內請將您的手機關機或設定為無聲震動模式，如需使用或接聽電話，請至會場外，避免打擾他人。
- ◎論文集：可上網（<http://goo.gl/tg4Tbx>）或掃描論文集封面 QR Code 下載，引用請依智慧財產相關規定辦理。
- ◎論壇問卷：您的意見與指導將提供我們改進的方向，歡迎將您的寶貴意見回饋給我們，請掃描論文集封面 QR Code 進入網頁寫問卷，感謝您的配合。

用餐

- ◎午餐：請持餐券領取餐盒，會場內可用餐，請保持會場清潔。
- ◎用餐完畢請將餐盒、廚餘與垃圾，分別置放在分類籃（桶）內。
- ◎用餐如需交談，請降低您的音量，避免影響他人。

學習時數

- ◎全程出席論壇可獲得「公務人員終身學習時數」5 小時或「環工技師訓練時數」5 小時或「環境教育時數」5 小時。
- ◎現場報名且需認證時數者，請務必確實填寫簽到表之各項資料。
- ◎論壇上午簽到、下午簽退，課程開始前 10 分鐘進行簽到，課程結束進行簽退，未依規定簽到、退者，恕無法給予學習認證時數。
- ◎登錄時數需以簽名單上有簽到、簽退為採計依據。

一般事項

- ◎個人財物、貴重物品請隨身攜帶保管。
- ◎會場外走道置有熱水桶及茶桶、咖啡桶，請大家多加利用。
- ◎報到櫃臺備有原子筆，若有需要請於報到處向工作人員索取。
- ◎如有問題可向現場工作人員反映，工作人員將竭誠提供適切協助。

「106 年環境科技論壇」議程

主辦單位：行政院環境保護署

日期：106 年 6 月 26 日（星期一）

地點：中國文化大學大新館圓型演講廳（二）（臺北市延平南路 127 號 B1）

時 間	議程內容
09:00~09:30	報 到
09:30~09:35	開幕 & 致詞 致詞長官：環保署長官
專題演講 主持人：國立臺北科技大學材料及資源工程系 柯明賢副教授	
09:35~09:55	專題演講 1：環境科技於循環經濟之應用 演講者：國立成功大學 化學工程系 張嘉修講座教授
09:55~10:05	綜合座談
10:05~10:25	專題演講 2：環境綠能科技之挑戰與展望 演講者：工業技術研究院 綠能與環境研究所 蔡振球博士
10:25~10:35	綜合座談
10:35~10:50	茶敘
專家座談 主持人：國立交通大學資訊工程學系 王協源教授	
10:50~11:50	專家座談：物聯網與環境科技之未來發展 與談人：監資處張順欽處長、化學局許仁澤組長、國立暨南國際大學 資訊管理學系 戴榮賦副教授、中央研究院 資訊科學研究所 陳伶志博士、工業技術研究院 綠能與環境研究所 陳范倫博士
11:50~12:00	綜合座談
12:00~13:30	午餐及休息
環境檢測及監測 主持人：國立暨南國際大學 資訊管理學系 戴榮賦副教授	
13:30~13:50	• 飲用水水源及水質標準項目之調查及評估 演講人：國立成功大學 環境工程系 吳怡儒博士
13:50~14:10	• 組織溫室氣體盤查登錄表單與碳足跡盤查表單整合之可行性分析 演講人：財團法人工業技術研究院 朱志弘博士
14:10~14:30	• 高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識 演講人：環境保護署環境檢驗所 楊喜男組長
14:30~14:50	• 鹿林山背景測站技術研究及國際合作 演講人：國立中央大學大氣科學系 賈浩平專任技術人員
14:50~15:00	綜合座談
15:00~15:20	休息及茶敘
環保政策與科技研究 主持人：國立成功大學 曾庭科博士	
15:20~15:40	• 非游離輻射長期監測設備校驗技術研究 演講人：工研院量測技術發展中心 饒瑞榮主任
15:40~16:00	• 細懸浮微粒(PM _{2.5})特徵對民眾健康影響之研究 演講人：衛福部國衛院國家環境醫學研究所 陳裕政博士
16:00~16:20	• 環境害蟲綜合防治計畫 演講人：國立高雄大學 運動健康與休閒學系 白秀華教授
16:20~16:30	綜合座談
16:30	賦歸

「106 年環境科技論壇」論文海報成果展出

處室	計畫名稱	計畫主持人	執行單位
環管處	飲用水水源及水質標準項目之調查及評估	黃良銘 教授	國立成功大學 環境工程學系
管考處	組織溫室氣體盤查登錄表單與碳足跡盤查表單 整合之可行性分析	盧怡靜 博士	工業技術研究院 綠能所
環檢所	以不對稱流場場流系統進行環境水體奈米物質 之研究	張淑芬 經理	知本生技有限公司
	拉曼光譜技術應用於環境水污染物檢測	王俊凱 博士	中央研究院
	環境微生物 基因晶片之技術建立及應用(4/4)- 建立流式細胞儀之多重細胞激素微珠檢測平台	陳中庸 副教授	中原大學
	高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識	凌永健 教授	國立清華大學
	微萃取技術開發水中醫療用藥檢測方法建立	林維炤 副教授	嘉南藥理大學
	運用奈米碳管修飾電極進行水質分析-重金屬 物種分析技術研究	秦靜如 副教授	國立中央大學
	環境整治用奈米微粒之細胞毒性研究	闕斌如 教授	國立中興大學
	環境鑑識技術開發研究事業污泥鑑識技術平台 建置與應用	黃許麗娟 博士	財團法人工業技術 研究院
監資處	環境資源資料庫整合計畫(5/5)-探討交通因子 與空氣品質變動之時空環境大數據分析	張順欽 處長	行政院環境保護署
	鹿林山背景測站技術研究及國際合作	林能暉 教授	國立中央大學 大氣科學系
空保處	環境低頻噪音及振動之調查及改善措施研究	陳建維 經理	凱鉅科技實業 股份有限公司
	光污染影響之感受調查及量測指標與改善措施 研究	彭保仁 工程師	中華民國計量工程學會
	非游離輻射長期監測設備校驗技術研究	蕭振龍 總經理	千一科技股份有限公司
	航空噪音防制區低頻噪音指標與量測技術研究	劉嘉俊 總工程師	環境永續工程顧問 有限公司
空保處	104-105 年細懸浮微粒(PM _{2.5})化學成分監測	李崇德 教授	國立中央大學
	細懸浮微粒(PM _{2.5})特對民眾健康影響之研究	郭育良 所長	國家衛生研究院
化學局	臺灣重要環境害蟲對殺蟲劑及市售環境用藥之 感受性研究	白秀華 教授	國立高雄大學
永續室	環境奈米知識平台之現況	蔡春進 教授	國立交通大學

目 錄

飲用水水源及水質標準項目之調查及評估	2
組織溫室氣體盤查登錄表單與碳足跡盤查表單整合之可行性分析	11
以不對稱流場場流系統進行環境水體奈米物質之研究	20
拉曼光譜技術應用於環境水污染物檢測	23
細胞激素微珠檢測平台的建置與應用	26
高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識(4/4)－毒性鑑定評估指引	35
微萃取技術開發(4/4)-水中醫療用藥檢測方法建立	43
運用奈米碳管修飾電極進行水質分析(4/4)-重金屬物種分析技術研究	49
環境整治用奈米微粒之細胞毒性研究	56
環境鑑識技術開發研究(4/4)-事業污泥鑑識技術平台建置與應用	60
探討交通因子與空氣品質變動之時空環境大數據分析	63
鹿林山背景測站技術研究及國際合作	81
環境低頻噪音及振動之調查及改善措施研究	83
光污染影響之感受調查及量測指標與改善措施研究	91
非游離輻射長期監測設備校驗技術研究	114
航空噪音防制區低頻噪音指標與量測技術研究	122
104-105 年細懸浮微粒(PM _{2.5})化學成分監測	132
細懸浮微粒(PM _{2.5})特對民眾健康影響之研究	142
環境害蟲綜合防治計畫	144
環境奈米知識平台之現況	154

主題一、環境檢測及監測

- 飲用水水源及水質標準項目之調查及評估
- 組織溫室氣體盤查登錄表單與碳足跡盤查表單整合之可行性分析
- 新世代環境檢測發展計畫
 - 以不對稱流場場流系統進行環境水體奈米物質之研究
 - 拉曼光譜技術應用於環境水污染物檢測
 - 環境微生物 基因晶片之技術建立及應用
 - 高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識
 - 微萃取技術開發水中醫療用藥檢測方法建立
 - 運用奈米碳管修飾電極進行水質分析
 - 環境整治用奈米微粒之細胞毒性研究
 - 環境鑑識技術開發研究事業污泥鑑識技術平台建置與應用
- 環境資源資料庫整合計畫
 - 探討交通因子與空氣品質變動之時空環境大數據分析
- 長程傳輸污染物科技研究及國際監測計畫
 - 鹿林山背景測站技術研究及國際合作

飲用水水源及水質標準項目之調查及評估

吳怡儒¹ 謝淑婷² 高俊璿³ 王根樹² 邱翌竹¹ 蔡沁芳² 林財富¹ 黃良銘¹

¹ 成功大學環境工程學系

² 臺灣大學公共衛生學系

³ 行政院環境保護署環境衛生及毒物管理處

摘要

本計畫依據飲用水列管物質篩選作業原則，自初步蒐集清單中篩選優先進行調查評估之物質，選定鉍、硼、鈷、嘉磷塞、全氟辛烷酸、全氟辛烷磺酸、大腸桿菌與糞便性大腸菌群等 8 項物質，於 6 座代表性淨水場進行水質調查，結果顯示除全氟辛烷酸外之 7 項物質於我國飲用水中暫無顯著之風險。然於 6 處淨水場曾檢出微量全氟辛烷酸，建議持續監測以瞭解臺灣飲用水中全氟辛烷酸之存在情況。本計畫亦更新初步蒐集清單及蒐集清單，提出 105 年觀察清單物質砷、雙酚 A、鉍、1,2-二溴乙烷。本計畫亦針對 16 項現行飲用水水質標準中有關農藥、揮發性有機物質以外之影響健康物質之管理方式及管制限值進行檢討，建議除鎳、汞、亞氯酸鹽之外的項目，管制標準暫無修正之必要。此外亦檢討現行飲用水水質標準第四條以及酚類的管理方式。

關鍵詞：飲用水列管物質篩選作業原則、酚類、濁度、全氟辛烷酸、觀察清單物質

一、前言及研究目的

飲用水的安全為民眾健康保護中重要的一環，而飲用水品質之確保，向來為我國政府施政之重點工作之一。臺灣地區人口眾多，降雨量雖不少，但因山高水急，水資源蓄積不易，部分地區枯水季時，尚有缺水之虞，加上臺灣地小人稠，水源區與經濟活動區域不易區隔，水源集水區或保護區管理不易，致使飲用水水源有遭受污染的風險。環保署為維護國人飲用水安全，針對飲用水水源及飲用水水質分別訂定「飲用水水源水質標準」與「飲用水水質標準」。

然而隨著科技發展，產生許多新興污染物（Compounds of Emerging Concern，例如目前尚未管制之疑似環境荷爾蒙物質、部份農藥、揮發性有機物與微生物等），為保障國人飲用水安全，環保署持續執行各項新興污染物採樣監測及背景資料調查分析，並逐年檢討修訂飲用水及飲用水水源管制標準。

為促進飲用水列管物質篩選的系統化及標準化，並配合飲用水系統之物質檢測，環保署執行「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」建立一套評估系統，作為環保署新增飲用水管制項目之決策依據，以確保民眾飲用水安全。

「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」建立之篩選作業流程（如圖）。在飲用水列管物質公告之前需先經三個階段性的資料庫建置與評分機制，首先彙整國際組織與國際上較先進之國家已列管或關注（訂定指引值），但國內尚未列管之物質，以及科學文獻資料、研究報告或試驗指出存在飲用水中且可能影響人體健康或公共衛生安全之物質，納入「初步蒐集清單」。針對初步蒐集清單之物質，過去於國內曾有相關專案計畫依本土情形、重大矚目環境事件等進行調查之項目則進一步納入「蒐集清單」。「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」參考美國環保署的列管項目篩選原則[1]，將區分為化學性指標物質與生物性指標物質，制定不同的篩選評估原則，根據篩選評估原則進行每項物質的評分後，再依據篩選機制進行評估，並提供給參與學者專家諮詢會議的委員們進行篩選，評估是否納入「觀察清單」。進入觀察清單之物質，則進行一年的淨水場監測，再經過專家會議針對監測結果、處理技術及分析成本等層面討論是否應考慮列管，若應考慮列管之物質則納入「候選清單」，經專家會議綜合評估技術、成本、風險、行政、社會衝擊面及公聽審議後，由環保署制定管制值並予以公告。

蒐集清單中的項目主要可分成化學性污染物以及生物性污染物兩類，由於兩者造成人體健康危害的機制不同，在評估風險時必須分開討論。化學性污染物評估風險程度是採用四項屬性參數(Attribute)的分數作為篩選之依據，屬性參數是用來表現化學污染物之間的性質和特徵差異，包括對健康的影響(Health effect)以及存在情形(Occurrence)，將各種表達化學污染物屬性的資料加以量化比較。評分的概念參考美國環保署所建立的篩選系統[1]，在對健康的影響方面，採用健康危害潛勢(Potency)以及健康危害嚴重性(Severity)兩項參數，至於存在情形則是針對污染物出現普遍性(Prevalence)和污染物出現濃

度(Magnitude)來做評判。對於飲用水中生物性污染物，蒐集清單篩選至觀察清單則依據下列三項評分項目進行評估：(1) 水媒疾病的爆發(waterborne disease outbreaks, WBDO)，(2) 在飲用水是否存在(occurrence) (3) 對健康的影響(Health effect)。

本計畫主要目的為執行飲用水列管項目篩選作業，針對較具潛在風險之污染物於淨水場中監測其出現濃度之分析，建立毒理資料庫，探討其於國內之健康風險，並檢討現行飲用水水質標準，並提供管理建議。

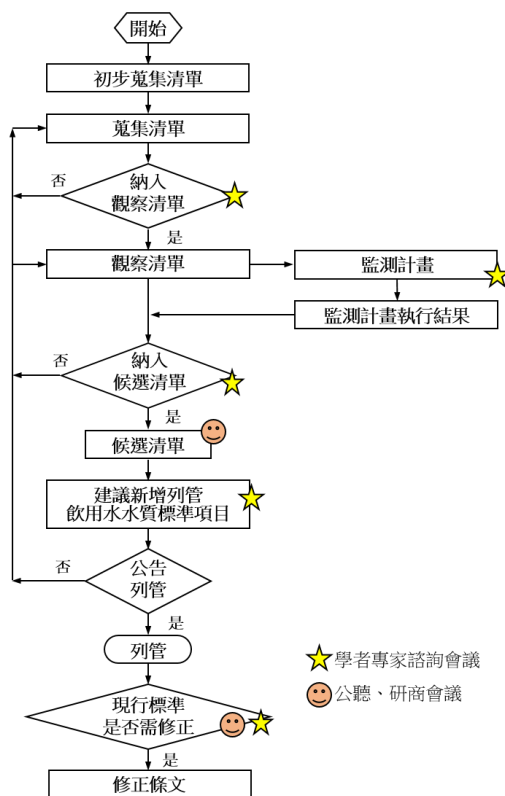


圖 飲用水列管項目篩選作業執行流程

二、研究方法

本計畫工作項目可分成三大主題，研究流程如圖 1。

- (一) 執行飲用水列管項目篩選作業，更新初步蒐集清單、蒐集清單、觀察清單等。
- (二) 自初步蒐集清單中篩選 8 項飲用水中優先評估污染物，進行監測與評估。
- (三) 檢討我國飲用水水質標準

1. 飲用水列管項目篩選作業

本計畫依據環保署於 102 年執行「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」[2]，建立之作業流程與評估系統，更新初步蒐集清單、蒐集清單，並彙整蒐集清單中各物質對健康的影響(Health effect)以及存在情形(Occurrence)之資料，並根據篩選評估原則進行每項物質的風險評分，初步排除模式建議不列入觀察清單之物質，並排除國際上尚未有國家或國際組織列管或設指引值之項目，將其他之 12 項物質於專家會議中供專家評估，進而提出 105 年觀察清單物質及其監測計畫。

2. 優先評估污染物

自初步蒐集清單中篩選未有淨水場檢測資料之物質，篩選 8 項飲用水中優先評估污染物進行採樣檢測，考量 103 年度以農藥為優先評估項目，104 年度以化學性物質一般有機化合物為優先評估項目，105 年度則自生物性及無機化合物參數中進行篩選。考量原則主要可分為四大項：

- (一) 國內普遍使用或曾使用及對健康危害性。
- (二) 國外相關標準值已有規範或建議值，即各國已列管，我國尚未列管之污染物。
- (三) 國內外（含 WHO）關切之污染物清單。
- (四) 公告之標準分析檢測方法。

於計畫執行期間針對北、中、南地區 6 個代表性淨水場進行 3 次水質檢測，分別採集各淨水場原水及清水樣品，檢測 8 種污染物。經專家諮詢會議討論，由臺灣北、中、南區各淨水場中篩

選採樣對象，淨水場選取之考量為：

- (一) 供水量及供水人口較大者。
- (二) 水源可能受到污染。

3. 檢討我國飲用水水質標準

針對飲用水水質標準中有關農藥、揮發性有機物質以外之影響健康物質、飲用水水質標準第四條針對天然災害致飲用水水源濁度升高時之濁度標準以及酚類的管理方式及管制限值進行檢討，並提出修正建議。檢討原則包括：

- (一) 彙整國際管制做法。
- (二) 過去飲用水中的濃度。
- (三) 彙整管制項目毒理、健康風險資料。
- (四) 彙整其他暴露途徑及貢獻量。
- (五) 更新檢測方法及偵測極限。

三、結果與討論

(一) 飲用水列管項目篩選作業

我國依據飲用水列管項目之篩選作業，彙整了國際組織與國際上較先進之國家已列管或關注（訂定指引值），但國內尚未列管之物質，以及科學文獻資料、研究報告或試驗指出存在飲用水中且可能影響人體健康或公共衛生安全之物質，建立「初步蒐集清單」，並持續更新。目前我國最新之「初步蒐集清單」為 104 年初步蒐集清單。本計畫執行期間僅美國於 105 年 11 月公告飲用水污染物候選清單 4(Contaminant Candidate List 4, CCL4)之物質，其餘國家並未公告或更新飲用水列管或應關注項目。本計畫比對 CCL4 之物質與我國已建立之 104 年初步蒐集清單，CCL4 之物質均已列於 104 年初步蒐集清單中。

(二) 觀察清單物質

「104 年蒐集清單」中共有 84 項物質，其中有 11 項物質已納入「103 年之觀察清單」，包含微囊藻毒 LR 型、壬基酚、鄰苯二甲酸二甲酯(DBP)、鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯、氯苯、苯乙烯、乙苯、1,1-二氯乙烷、甲醛、鎘、鎘。104 年度計畫已針對其他之 69 項物質（扣除 4 項生物性指標）根據「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」建立之篩選評估原則，蒐集彙整各物質對健康的影響(Health effect)以及存在情形(Occurrence)之資料，並根據篩選評估原則進行每項物質的風險評分，69 項物質中有 19 項物質尚無供四項參數評分之相關資訊。本計畫評估蒐集清單物質是否應納入觀察清單進行進一步監測及評估，首先根據 104 年蒐集清單物質資料彙整中模式評估之結果，初步排除模式建議不納入(NL)觀察清單之物質，並排除國際上尚未有國家或國際組織列管或設指引值之項目，將其他之 12 項物質於專家會議中供專家評估是否納入觀察清單。此 12 項物質包括碲、鉍、雙酚 A、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯、鄰苯二甲酸二丁酯、賽滅寧、甲基多保淨、1,2-二溴乙烷、1,2,3-三氯丙烷、1,2-二溴-3-氯丙烷、六氯苯。此 12 項物質中考量碲、雙酚 A、鉍、1,2-二溴乙烷等四項物質在環境水體出現甚為頻繁，淨水場中之檢出率較高，故優先納入觀察清單進行監測。

(三) 優先評估物質

根據「推動飲用水列管項目之篩選作業計畫」建立之飲用水列管物質篩選作業架構，初步蒐集清單中化學性污染物評估風險程度係採用四項屬性參數(Attribute)的分數作為篩選之依據，屬性參數是用來表現化學污染物之間的性質和特徵差異，包括對健康的影響(Health effect)以及存在情形(Occurrence)，根據篩選評估原則進行每項物質的評分後，再依據篩選機制進行評估，並提供給參與學者專家諮詢會議的委員們進行最終篩選，評估納入觀察清單(CCLs)的項目。為評估初步蒐集清單中之物質是否應盡入觀察清單，本計畫自初步蒐集清單中篩選未有淨水場檢測資料之物質作為 105 年度優先評估污染物，並進行採樣及水質檢測，以利飲用水列管項目之篩選作業計畫之推動。

考量 103 年度以農藥為優先評估項目，104 年度以化學性物質一般有機化合物為優先評估項目，105 年度則自生物性及無機化合物參數中進行篩選。考量原則主要可分為四大項：

1. 國內普遍使用或曾使用及對健康危害性。
2. 國外相關標準值已有規範或建議值，即各國已列管，我國尚未列管之污染物。
3. 國內外（含 WHO）關切之污染物清單。

4. 公告之標準分析檢測方法。

1. 原則一：國內普遍使用或曾使用

嘉磷塞為國內外使用量最大之除草劑，因分析檢測技術限制而未於 103 年度農藥項目評估時進行。且依據 2015 年 IACR 公布之報告[3]，將嘉磷塞分類為 2A，人類可能的致癌物(probably carcinogenic to humans)，因而引起各國重新評估嘉磷塞對人類健康風險之重視。經專家諮詢會議討論，建議應關切嘉磷塞於水中存在之濃度，將其納入優先評估物質。

2. 原則二：國外相關標準值已有規範或建議值

參考先進國家之飲用水相關法規之管制方式，自初步蒐集清單中篩選生物性及無機化合物參數。初步蒐集清單中之無機化合物重金屬項目包含：鎘、鈦、碲、鉍、鉍、硼、碘、鉀、矽、鈉、鈣、鋅，其中鎘、鈦、碲、鉍、鉍淨水場已有相關調查資料，而鉍在致癌物分類為 group 1（為人體的致癌物），屬於我國第二類（慢毒性物質）列管毒性化學物質，雖然 WHO 飲用水指引[4]指出飲用水中鉍之濃度一般都低於有礙健康之濃度而未針對鉍制定指引值，然考量地理位置差異，有必要針對臺灣飲用水進行調查。鉍在致癌的可能性上則為 A3（即為動物之致癌物但在人體中則證據不充分）。生物性參數參考國際微生物相關水質管制現狀與標準，考量大腸桿菌(E. coli)與糞便性大腸菌群優先評估污染物。

3. 原則三：國內外關切之污染物清單

全氟化合物廣泛使用於各種生活用品及工業製程中，包括衣服、不沾鍋、個人護理產品、日常生活用品等，歐盟化學品管理署(ECHA)已於 2008 年 10 月 28 日公佈首批 15 種高度關注物質的 REACH 法規，至今共計 168 種高度關注物質，全氟辛烷酸(Perfluorooctanoic acid, PFOA)亦列於其中；美國 2006 年初將全氟辛烷酸由過去僅屬有建議性證據的化合物改列為可能致癌物，且為美國環保署新增污染物候選清單(CCL3)中重要物質，依照毒性強度可將其分類為毒性二。斯德哥爾摩公約 2009 年新增的逐步禁止生產及使用之 9 種持久性有機污染物中，全氟辛烷磺酸(Perfluorooctanesulfonic acid, PFOS)及全氟辛烷磺醯氟(perfluorooctane sulfonyl fluoride, PFOSF)則為其中之項目，目前國際上尚無國家針對 PFOS 訂定管制標準，但加拿大於 2008/5/29 開始禁用 PFOS，且為美國環保署新增污染物候選清單(CCL3)中重要物質。而國內水質調查於民國 100 年時進行檢測淨水場原水之 PFOS 及 PFOA 濃度[5]，但清水資料則闕如，未能提供充足資料進行觀察清單之評估與篩選，綜合國際公約關注污染物與飲用水列管項目之篩選作業，PFOS 及 PFOA 進入本年度之優先評估污染物。

4. 原則四：公告之標準分析檢測方法

篩選出優先評估污染物即需進行淨水場之採樣與水質監測，因此檢測分析方法之標準化亦為篩選污染物之考量，環檢所公告之標準方法，如：水中微量元素檢測方法-感應耦合電漿質譜法(NIEA W313.53B)、全氟烷酸類化合物檢測方法-固相萃取與高效液相層析/串聯式質譜儀法(NIEA W542.50B)、水中大腸桿菌群及大腸桿菌檢測方法-酵素呈色濾膜法(NIEA E237.53B)、水中糞便性大腸桿菌群檢測方法-濾膜法(NIEA E214.00C)等方法為參考使用之分析檢測方法。

本年度優先評估物質選定鉍、硼、鈦、嘉磷塞、全氟辛烷酸、全氟辛烷磺酸、大腸桿菌(E. coli)與糞便性大腸菌群等 8 項污染物，優先評估考量原因彙整於表 1。

5. 代表性淨水場選擇

為評估待測物質在飲用水供水系統中的流布情形，本計畫執行期間針對北、中、南地區 6 個代表性淨水場進行 3 次水質檢測，分別採集各淨水場原水及清水樣品，檢測至少 8 種污染物。經專家諮詢會議討論，由臺灣北、中、南區各淨水場中篩選採樣對象，淨水場選取之考量為：

(1) 供水量及供水人口較大者

(2) 水源可能受到污染

本年度優先評估污染物分別屬於生物性指標、有機化合物，及金屬類物質，水源可能因鄰近科學園區或上游有農業活動而受到污染影響水質，因此本年度篩選之採樣淨水場，以地面水為水源之淨水場，主要供應民生用水且水源位於科學園區或農業活動區附近為考量因素。兼顧淨水場分佈區域應包含北、中、南三區，原先計畫初步選取新山淨水場、直潭淨水場、新竹第一淨水場、豐原淨水場（二期）、坪頂淨水場、澄清湖淨水場為採樣淨水場，而經專家諮詢會議討論，國內淨水場普遍以傳統處理方式進行操作，故仍以傳統處理之淨水場為採樣評估目標，因此本年度篩選淨水場為：新山淨水場、直潭淨水場、新竹第一淨水場、豐原淨水場（二期）、

南化淨水場、坪頂淨水場，六座代表性淨水場之水源、供水區域、供水量、採用之淨水處理流程及選擇該淨水場之原因詳列於表 2。

6. 監測結果與討論

6 處採樣淨水場中，原水皆可檢出大腸桿菌及糞便性大腸菌群之存在（表 3），新山淨水場原水之大腸桿菌與糞便性大腸菌群數量較同時其他 5 處淨水場為高，但檢測結果顯示大腸桿菌與糞便性大腸菌群濃度和原水濁度並無直接相關，採樣時程 3 月、6 月、9 月之溫度亦無明顯差異，新山淨水場之生物性指標相較其他淨水場高，推測可能因新山淨水場主要水源為基隆河，上游沿岸（如平溪、十分等地）至取水口有較多人類及動物活動，因而微生物檢出量較高。

目前飲用水水質標準之細菌性標準為大腸桿菌群與總菌落數，總菌落數難以代表水體是否被污染，也和水體的安全性及水質無關，而今世界各國雖均以大腸桿菌群作為指標微生物，用以判斷水體是否遭受污染，但當初以大腸桿菌群作為水質指標，為溫帶地區國家根據當地調查資料所決定，對於熱帶及亞熱帶之國家是否適用大腸桿菌群作為水質標準，許多專家學者們認為應進一步詳細評估，因此可考慮加入其他參考微生物（如大腸桿菌與糞便大腸菌群）。此外因以不同檢測方法測得之微生物數目常有極大差異，故在訂立飲用水中之生物性指標時，宜評估適宜之大腸桿菌與糞便大腸菌群檢測方法。

表 1 本年度優先評估物質選定原因

項目	優先評估考量原因
鉍	●致癌物分類為 group1（為人體的致癌物） ●我國第二類（慢毒性物質）列管毒性化學物質 ●美國、澳洲定有飲用水水質標準或指引值
硼	●美國、加拿大、歐盟、日本、澳洲、紐西蘭、WHO 等定有飲用水水質標準或指引值
鈷	●致癌物分類為 A3（即為動物之致癌物但在人體中則證據不充分）
嘉磷塞	●國內用量大之農藥 ●美國、加拿大、澳洲、中國等定有飲用水水質標準或指引值 ●國內環境水體及飲用水中嘉磷塞的調查資料闕如
全氟辛烷酸 (PFOA)	●美國 CCL3 觀察 ●斯德哥爾摩公約中附件所列之物質 ●過去研究檢測淨水場原水曾檢測出存在，但缺乏淨水場之清水調查資料
全氟辛烷磺酸 (PFOS)	●美國 CCL3 觀察 ●斯德哥爾摩公約中附件所列之物質 ●過去研究檢測淨水場原水曾檢測出存在，但缺乏淨水場之清水調查資料
大腸桿菌	●美國、加拿大、歐盟、日本、紐西蘭、澳洲、WHO 等定有飲用水水質標準或指引值
糞便性大腸菌群	●用以表示水是否遭糞便污染的指標之一 ●美國以 fecal coliform、E. coli、及 total coliforms 三者綜合檢測結果評估、澳洲定有飲用水水質指引值

表 2 本年度計畫採樣淨水場名單

採樣淨水場	淨水場水源	供水區域	供水量(CMD)	處理流程	說明
新山	基隆河 新山水庫	基隆市	158,000	傳統處理	水源（基隆河上游） 水質相對較差
直潭	新店溪 南勢溪	臺北市 新北市	1,600,000	傳統處理	下雨原水濁度升高
新竹第一	頭前溪	新竹市區	90,000	傳統處理	較近科學園區
豐原（二期）	大甲溪	臺中市	1,000,000	傳統處理	供應中部地區主要淨 水場，原水濁度高
南化	南化水庫	臺南、高雄	560,000	傳統處理	周圍有農業耕種
坪頂	高屏溪	高雄市	420,000	傳統處理	原水濁度高

農藥檢項嘉磷塞則各淨水場水樣原水及清水採樣分析皆為 ND (偵測極限為 0.1 ug/L)，故在農藥殘留對人體健康之衝擊可優先考慮飲用水以外之其他暴露途徑。

金屬元素分析結果(表 4)顯示 6 處淨水場原水中可檢出微量的鉍與鈷存在(原水鉍濃度為 ND-0.92 µg/L，檢出率 38.89%；原水鈷濃度為 0.01-16.93 µg/L，檢出率 100%)，經傳統淨水程序處理後，清水中未檢出鉍，鈷濃度亦顯示較原水為低(清水鈷濃度為 0.01-0.10 µg/L，檢出率 100%)，各淨水場之原水與清水中皆可檢出硼(原水硼濃度為 3.36-43.36 µg/L，清水濃度為 3.57-44.45 µg/L)，濃度差異主要原因可能為水源地質與土壤特性之因素，但若飲用水水源受到污水處理廠排放或海水之污染，則飲用水中硼之濃度則會增加，WHO、歐盟、澳洲、日本等其他國家或組織亦訂立飲用水中硼之限值或建議值，目前文獻未顯示硼對人體健康有致癌性證據，故暫不列入觀察清單。

全氟碳化合物之 PFOA 與 PFOS 檢測分析則顯示 6 處淨水場水樣原水與清水之 PFOS 皆為 ND (偵測極限為 6.8 ng/L)，而 PFOA 原水濃度分布為 ND-29.20 ng/L (檢出率 55.56%) (表 3)，清水 PFOA 濃度分布為 ND-30.90 ng/L (檢出率 44.44%)，新山、新竹第一、豐原與南化淨水場之 PFOA 檢出率較高；有檢出 PFOA 水樣中，新山與新竹第一淨水場濃度則較高，因全氟碳化合物在各種民生消費產品(如各種披薩盒及防油紙袋)及生產高效能氟聚合物(如鐵氟龍)製程皆可能含有 PFOA，推測可能影響新山與新竹第一淨水場檢出較高之 PFOA 濃度。因全氟碳化合物在環境中具有高持久性，能在環境中聚集，人體和動物組織中累積[6,7]，對人體健康和環境產生潛在之危害，為近年來全球關注之污染物，在 105 年度之淨水場採樣與分析結果中，原水或清水亦曾檢出 PFOA，顯示臺灣部分淨水場中可能有微量 PFOA 之存在，雖濃度為 ng/L，由保護公眾健康之角度仍應持續關注其是否在飲用水中出現。美國環保署於 2016 年 5 月時，亦提出飲用水中的 PFOA 與 PFOS 之終身暴露健康建議值(health advisory levels)為 70 ng/L (兩者濃度合併計算) [8]。因此本團隊建議將 PFOA 納入觀察清單，持續進行環境流布與飲用水相關資料蒐集。

表 3 本年度淨水場大腸桿菌、糞便性大腸菌群、嘉磷塞檢測濃度

		大腸桿菌			糞便性大腸菌群			PFOA		
單位		CFU/100 mL			CFU/100 mL			ng/L		
偵測極限		-			-			1.91		
採樣月份		3	6	9	3	6	9	3	6	9
新山	原水	6.8×10^3	8.2×10^3	5.2×10^3	1.6×10^4	1.7×10^4	4.4×10^4	29.20	13.70	ND
	沈澱	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10.50	4.24*	ND
	過濾	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2.49*	2.49*	ND
	清水	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3.46*	ND	ND
直潭	原水	86	7.3×10^2	2.4×10^2	1.0×10^2	1.1×10^3	9.6×10^2	ND	ND	ND
	清水	<1	<1	<1	<1	<1	<1	ND	ND	ND
新竹第一	原水	5.8×10^2	1.3×10^3	48	1.1×10^3	8.0×10^3	4.4×10^2	5.40*	8.38	4.74*
	清水	<1	<1	<1	<1	<1	<1	30.90	5.78*	3.22*
豐原	原水	90	1.2×10^4	30	1.5×10^2	3.3×10^3	1.3×10^2	5.40*	ND	6.16*
	清水	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2.02*	ND	3.00*
南化	原水	1	27	5	4	54	20	10.40	14.10	2.04*
	清水	<1	<1	<1	<1	<1	<1	13.50	10.70	ND
坪頂	原水	2.8×10^2	74	14	2.9×10^3	77	34	29.20	13.70	ND
	沈澱	<1	<1	<1	<1	<1	<1	10.50	4.24*	ND
	過濾	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2.49*	2.49*	ND
	清水	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3.46*	ND	ND

表 4 105 年度淨水場鉍、硼、鈷檢測濃度

		鉍			硼			鈷		
單位		μg/L			μg/L			μg/L		
偵測極限		0.016			0.186			0.006		
採樣月份		3	6	9	3	6	9	3	6	9
新山	原水	0.02	ND	ND	18.62	17.13	15.93	0.25	0.22	0.02
	沈澱	0.05	ND	ND	18.52	15.40	15.99	0.35	0.10	0.02
	過濾	ND	ND	ND	18.55	15.30	14.65	0.04	0.02	0.02
	清水	ND	ND	ND	17.93	15.29	16.04	0.03	0.02	0.02
直潭	原水	0.01	ND	ND	9.30	9.70	5.29	0.07	0.13	0.01
	清水	ND	ND	ND	8.87	9.44	4.83	0.03	0.02	0.01
新竹第一	原水	0.02	ND	ND	22.23	27.14	12.10	0.34	0.32	0.01
	清水	ND	ND	ND	22.39	27.48	11.61	0.07	0.04	0.02
豐原	原水	0.02	0.92	ND	6.81	9.27	3.36	0.48	16.93	0.02
	清水	ND	ND	ND	6.84	9.50	3.57	0.09	0.05	0.02
南化	原水	ND	ND	ND	37.56	43.36	40.41	0.09	0.27	0.03
	清水	ND	ND	ND	37.95	43.06	42.00	0.07	0.04	0.03
坪頂	原水	0.15	0.01	ND	38.15	43.05	40.59	1.85	0.42	0.02
	沈澱	ND	ND	ND	41.26	42.69	40.02	0.24	0.15	0.02
	過濾	ND	ND	ND	41.43	42.72	40.62	0.08	0.07	0.02
	清水	ND	ND	ND	41.37	44.45	41.15	0.10	0.07	0.02

(四) 現行飲用水水質標準檢討

1. 農藥、揮發性有機物質以外之影響健康物質

本計畫比較國際上針對現行飲用水水質標準中有關農藥、揮發性有機物質以外之影響健康物質的管制標準與我國管限制值，16 項物質中有 8 項物質我國的管制標準已是 13 國家/國際組織中管制標準最嚴謹者，包含砷、鉛、硒、鉻、溴酸鹽、總三鹵甲烷、鹵乙酸類、戴奧辛，此建議 8 項物質維持原管制值，暫無修正之必要。

考量美國管制標準及 WHO 和澳洲之指引值的建立均已考慮健康風險及檢測方法等因素，我國亞硝酸鹽氮、氰鹽現行飲用水水質標準低於美國管制標準、WHO 及澳洲指引值，亦低於歐盟之飲用水水質標準，本計畫建議維持原管制值，暫無修正之必要。

本計畫進一步針對鎘、鋇、銻、鎳、汞、亞氯酸鹽等六項物質進行健康風險評估，根據評估結果建議修正飲用水水質標準中鎳的最大限值為 0.02 mg/L，汞的最大限值為 0.001 mg/L，亞氯酸鹽的最大限值為 0.7 mg/L。

2. 飲用水水質標準第四條

水中濁度會影響消毒效率，高濁度會導致水中微生物或消毒副產物之危害風險增加。然而我國氣候及水文環境特殊致可用水源有限，多以地面水體為水源，暴雨或其他天災（如颱風）期間地面水源濁度將增高，而目前我國自來水、簡易自來水及社區自設公共給水均為多目標公共給水，除供飲用之外，尚有一般生活、消防用水等用途，且災後極需用水已進行各項清潔、復原工作。

因此暴雨或其他天災期間，公共給水須同時考量民眾之飲用水安全性及其他用途之需求，供水在無法符合飲用水水質標準時不宜飲用，僅可做為一般生活用水，故針對現行飲用水水質標準第四條：針對天然災害致飲用水水源濁度升高時之濁度標準有進行檢討之必要。

美國、加拿大、中國之濁度標準或指引值，已考量水源或不同處理程序以制定標準，然最大限值為 5 NTU [9,10]。考量水中濁度會影響消毒效率，高濁度會導致水中微生物或消毒副產物之危害風險增加，故現行濁度標準第四條針對天然災害致飲用水水源濁度過高時之濁度標準仍

有調整的必要，建議修正為：飲用水原水濁度超過 1,500 NTU 時，其飲用水水質濁度最大限值為 4 NTU。

「飲用水管理條例」第 14 條之 1 已明定：因天災或其他不可抗力事由，造成飲用水水源水質惡化時，自來水、簡易自來水或社區自設公共給水之供水單位應於事實發生後，立即採取應變措施及加強飲用水水質檢驗，並應透過報紙、電視、電臺、沿街廣播、張貼公告或其他方式，迅即通知民眾水質狀況及因應措施。因此，修訂飲用水水質標準第四條針對天然災害致飲用水水源濁度過高時之濁度標準不致影響飲用以外之民生用水需求及災後清理家園之用水需求。

另大多用戶為間接供水，設有水塔、水池等設施，建議自來水事業應加強宣導民眾採取適當之因應措施。

3. 酚類

國內現行飲用水水質標準基於適飲性及感觀考量管制酚類物質，管制定限為 0.001 mg/L，現有國內外方法及儀器設備（以 5 公分樣品槽檢測）之最佳偵測極限為 0.001mg/L(1 ppb)。但法規標準訂定尚須以實際可定量極限（一般常以至少 3 倍方法偵測極限值）做為參考基準。所以現行酚類樣品，即使以 10 公分光徑樣品槽執行檢測，定量極限仍大於目前管制標準(1 ppb)，故酚類管制之標準或管制方式宜考量修正。經專家會議討論，因管制總酚之考量主要為適飲性，故建議評估現行儀器偵測極限濃度之總酚是否會影響適飲性，於飲用水水質標準中指定公告分析方法，並以「不得檢出」為限值。

四、結論與建議

（一）結論

本計畫執行飲用水列管物質篩選作業，完成初步蒐集清單及蒐集清單之更新，提出 105 年觀察清單物質及其監測計畫。

針對飲用水未列管物質篩選 8 項優先評估之污染物，完成三次採樣及分析。清水中鉍、嘉磷塞、全氟辛烷磺酸、大腸桿菌(E. coli)與糞便性大腸菌群均未檢出，顯示此四項物質於我國飲用水中暫無顯著之風險。在 105 年度之淨水場採樣與分析結果中，原水或清水亦曾檢出全氟辛烷酸，顯示臺灣部分淨水場中可能有微量全氟辛烷酸之存在。鈷及硼之監測結果顯示 6 處淨水場清水中可檢出微量的鈷及硼，但對人體無顯著之風險。

現行飲用水水質標準中有關農藥、揮發性有機物質以外之 16 項影響健康物質之管理方式及管制定限值經檢討評估後，除鎳、汞及亞氯酸鹽之外的項目，管制標準暫無修正之必要。

（二）建議

考量總菌落數難以代表水體是否被污染，也和水體的安全性及水質無關，而當初以大腸桿菌群作為水質指標，為溫帶地區國家根據當地調查資料所決定，對於熱帶及亞熱帶之國家是否適用大腸桿菌群作為水質標準，許多專家學者們認為應進一步詳細評估，因此建議飲用水水質標準之生物性指標加入其他參考微生物（如大腸桿菌與糞便大腸菌群）。此外因以不同檢測方法測得之微生物數目常有極大差異，故在訂立飲用水中之生物性指標時，宜評估適宜之檢測方法。

因全氟碳化合物在環境中具有高持久性，能在環境、人體和動物組織中累積，對人體健康和環境產生潛在之危害，為近年來全球關注之污染物，在 105 年度之淨水場採樣與分析結果中，原水或清水亦曾檢出全氟辛烷酸，顯示臺灣部分淨水場中可能有微量全氟辛烷酸之存在，雖濃度為 ng/L，由保護公眾健康之角度仍應持續關注其是否在飲用水中出現。因此建議將全氟辛烷酸納入觀察清單，持續進行環境流布與飲用水相關資料蒐集。

檢討現行濁度標準第四條針對天然災害致飲用水水源濁度過高時之濁度標準，考量濁度會影響消毒效率，高濁度會導致水中微生物或消毒副產物的危害風險增加，建議修正為：飲用水原水濁度超過 1500 NTU 時，其飲用水水質濁度最大限值為 4 NTU。

建議評估現行儀器偵測極限濃度之總酚是否會影響適飲性，於飲用水水質標準中指定公告分析方法，並以「不得檢出」為限值。

建議修正飲用水水質標準中鎳的最大限值為 0.02 mg/L，汞的最大限值為 0.001 mg/L，亞氯酸鹽的最大限值為 0.7 mg/L。

參考文獻

- [1] US EPA, “Final Contaminant Candidate List 3 Chemicals: Classification of the PCCL to CCL” (2009).
- [2] 行政院環保署，推動飲用水列管項目之篩選作業計畫 (2013)
- [3] WHO IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides (March 20, 2015); Available from, as of March 23, 2015:
<http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/MonographVolume112.pdf>
- [4] WHO, “Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition” (2011)
- [5] 王根樹，蔡詩偉，陳家揚，飲用水水源與水質中新興污染物對人體健康風險評估之研究計畫(2/4)，EPA-100-U1J1-02-101。(2011)
- [6] Giesy, J.P., Mabury, S.A., Martin, J.W., Kannan, K., Jones, P.D., Newsted, J.L., Coady, K., “Persistent Organic Pollutants in the Great Lakes, 1st ed.” 5, 391-438. (2006).
- [7] Martin, J.W.; Mabury, S.A.; Solomon, K.R.; Muir, D.C.G., “Bioconcentration and tissue distribution of perfluorinated acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)” *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22, 196-204 (2003).
- [8] US EPA, “Drinking Water Health Advisory for Perfluorooctanoic Acid (PFOA)” (2016)
- [9] 中華人民共和國衛生部”生活飲用水衛生標準”(2007)
- [10] Health Canada “Guidelines for Canadian Drinking Water Quality Summary Table” (2014).

組織溫室氣體盤查登錄表單與碳足跡盤查表單整合之可行性分析

朱志弘¹ 盧怡靜¹ 王壬¹ 王俐涵¹ 沈芙慧¹ 鄭惠文² 李奇樺²

¹ 工業技術研究院 ² 行政院環保署管制考核及糾紛處理處

摘要

我國已於 104 年 7 月 1 日公布溫室氣體減量及管理法，並陸續公布須強制申報組織溫室氣體排放的產業別。考量計算與申報組織溫室氣體排放量的行業別日益增加，為能夠讓執行溫室氣體之廠家，亦有盤查計算其產品碳足跡需求時，能有效共享盤查資訊，降低反覆盤查同一活動數據之時間與人力的耗用，本研究將針對組織溫室氣體盤查計算工具與碳足跡盤查表單進行整合。

整合的方式為透過碳足跡與溫室氣體盤查表單資料格式之差異比對，研擬出一整合性表單，並透過廠商試用、技術小組建議，以及執行相近工作項目團隊的經驗交流後，修正此整合表單，並於文末提出表單使用上建議。

關鍵詞：碳足跡、生命週期盤查、溫室氣體盤查

一、前言

環保署已於 105 年發布「溫室氣體排放量盤查登錄管理辦法」，並公告「第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源」(清單如表 1)，藉此優先要求國內主要溫室氣體排放源依管理辦法之相關規定完成溫室氣體排放量的盤查、查證及登錄作業，以掌握我國溫室氣體排放情形，為下階段溫室氣體管理之預作準備。

依據管理辦法，第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源，係以能源密集及主要耗能產業等大規模排放源為主，包含電力、鋼鐵、水泥、半導體、薄膜電晶體液晶顯示器，及石油煉製等行業；另外，亦參採國際作法將溫室氣體年排放量達 2.5 萬公噸二氧化碳當量以上者進行納管。此作法約可管制 269 家排放源，並掌握 80% 以上我國工業及能源部門化石燃料燒產生溫室氣體之排放量[1]。

產品及服務的碳足跡方面，雖國內現行法令未強制要求計算與揭露，但已有多項鼓勵措施陸續展開，包含「溫室氣體排放量盤查登錄管理辦法」第 24 條已要求各級政府機關應積極協助民間團隊建置低碳產品標籤制度及推廣低碳產品，署內 105 年底也預告低碳產品獎勵辦法[2]，並將減碳標籤納入機關綠色採購評核項目之一[3]，預期產品與服務碳足跡需求將日益高漲。

由於溫室氣體與產品碳足跡兩種盤查表單的開發的目的不同，且為各自開發；對於同時需要進行組織型溫室氣體排放量申報，且又有碳足跡計算需求之業者而言，須耗費大量的人力與時間進行不同表單的數據資料填報，而增加許多的作業負擔。

因此，對政府機關政策推動而言，確有必要異中求同，透過兩份表單共用資料的整合，協助企業在符合法令規定或自願性進行溫室氣體盤查申報作業時，也能加速其產品的碳足跡的盤查過程，減低業者之負擔，此即為本工作項目之重點。

表 1 第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源

批次	溫室氣體排放源		
	行業別	製程別	條件說明
第一批	發電業	汽力機組鍋爐發電程序	指具備汽力機組鍋爐發電程序且採用化石燃料者。
		複循環機組發電程序	指具備複循環機組發電程序且採用化石燃料者。
	鋼鐵業	一貫煉鋼鋼胚生產程序	指包含煉鐵、煉鋼、熱軋、冷軋等程序，且生產鋼胚者。
		電弧爐碳鋼鋼胚生產程序	指包含電弧爐煉鋼程序、精煉爐及連續鑄造程序，且生產碳鋼鋼胚者。
		電弧爐不銹鋼鋼胚生產程序	指包含電弧爐煉鋼程序、轉爐、真空精煉爐及連續鑄造程序，且生產不銹鋼鋼胚者。
		H 型鋼生產程序	指包含加熱、軋製、噴砂及研磨程序，且生產 H 型鋼者。
		不銹鋼熱軋鋼捲（板）生產程序	指包括含加熱及軋製軋鋼程序，且生產不銹鋼熱軋鋼捲（板）者。
	石油煉製業	石油煉製程序	以礦產原油或油頁岩等為原料，從事汽油、煤油、柴油、潤滑油、石蠟、石油醚、有機溶劑或其他石油品之提煉者。
	水泥業	具備熟料生產程序	熟料生產程序包含生料研磨製程及熟料燒成製程。其中熟料係指含氧化鈣(CaO)、氧化矽(SiO ₂)、氧化鋁(Al ₂ O ₃)及氧化鐵(Fe ₂ O ₃)之原料，依適當比例並經研磨後投入於水泥窯爐中，燒至部分熔融所得以矽酸鈣為主要礦物成分之水硬性膠凝物質。
	半導體業	積體電路晶圓製造程序	指包括經由物理氣相沈積、化學氣相沈積、光阻、微影、蝕刻、擴散、離子植入、氧化與熱處理等製程；僅從事晶圓封裝、磊晶、光罩製造、導線架製造、二極體製造及發光二極體製造等作業或製程中確實未使用含氟溫室氣體者，非屬本公告之適用對象。
	薄膜電晶體液晶顯示器業	具備薄膜電晶體元件陣列基板或彩色濾光片生產程序	指薄膜電晶體液晶顯示器製造過程中，包括擴散、薄膜、黃光顯影、蝕刻或彩色濾光片等程序；製程中確實使用含氟溫室氣體，屬本公告之適用對象。
	各行業	其他設備	全廠（場）化石燃料燃燒之直接排放產生溫室氣體年排放量達二．五萬公噸二氧化碳當量。

資料來源：第一批應盤查登錄溫室氣體排放量之排放源（105.01.07.訂定）

二、研究方法

本工作之執行方式如圖 1，以下簡要說明推展方法。

（一）差異比對

在進行兩張表單內容差異分析比對之前，需要先針對兩者在計算目標、計算範疇與係數引用等進行綜合性的差異比對，以得知兩者的基本差異，藉此決定盤查工具的整合方向。

（二）表單整合

差異比對分析完畢後，為能夠整合兩種表單，需要異中求同。其一整合工作為：將表單可共享的資訊建立自動連結，減少業者重複抄錄資料的不便另一工作為：針對兩者間無法取得共享的資料進行登載欄位的補充，盡量尋求以一式表單能夠通用於兩種不同盤查用途的目的。

由於溫室氣體盤查登錄表單 2.6.2 版已經在國家溫室氣體登錄平臺公開供民眾下載使用，表單不適合大幅度異動，以免造成使用者使用上的困擾，另考量到並非執行組織型溫室氣體盤查的業者均有盤查計算其產品或服務碳足跡的需求，因此團隊以溫室氣體盤查登錄表單 2.6.2 版為基礎，透過在表單內安插碳足跡使用的盤查頁籤方式，進行表單整合。

此方式不僅能使願意同時進行組織溫室氣體盤查與碳足跡盤查者有工具可用，無意願進行碳足跡盤查作業之業者，於組織溫室氣體的盤查工作也不會受到影響。

(三) 整合表單測試

整合後之表單，仍需要透過廠家試行之方式進行實際驗證，並依據使用者意見回饋建議進行調整，以期能盡量貼近使用者之需求。

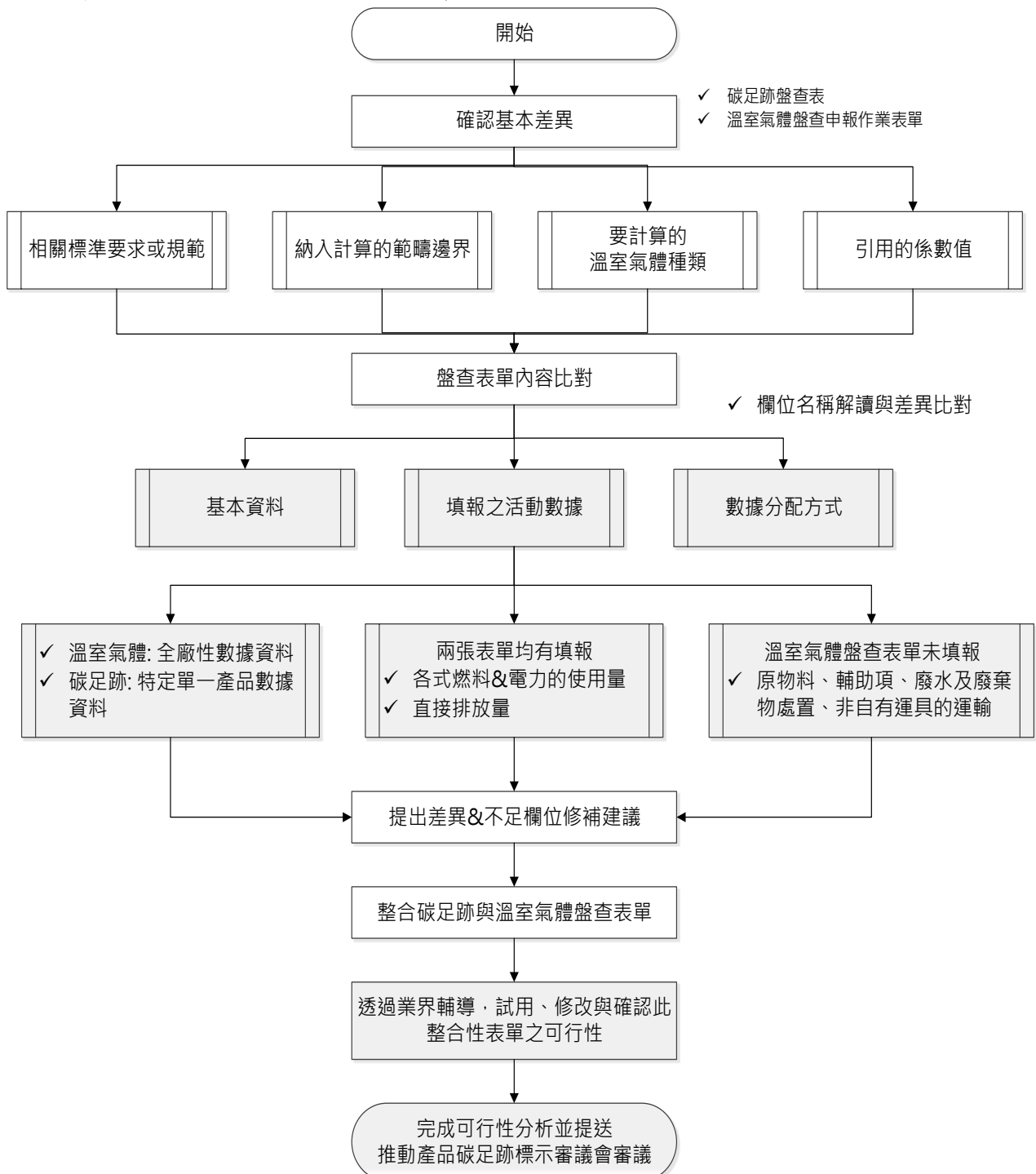


圖 1 碳足跡與組織溫室氣體盤查表單的差異比對暨表單整合推動作業流程圖

三、結果與討論

(一) 碳足跡與組織型溫室氣體基本差異分析

量化溫室氣體排放的對象一個為組織，另一為組織所生產的產品或提供的服務，故邊界設定、計算範疇、對於溫室氣體種類認知的差異，以及是否具備生命週期考量等因素，造成兩者在盤查與計算過程均有所差別，如表 2 所列。這些議題可大致分為「範疇別認定的差異」、「溫室氣體的種類差異」以及「排放係數不同」等三類。

表 2 組織型溫室氣體與碳足跡盤查之基本差異比對

項目	組織型溫室氣體盤查	碳足跡盤查
引用標準	ISO14064-1	• ISO/TS 14067 • 產品類別規則(PCR)
計算範疇（系統邊界）	• 在組織營運控制權內，產生所有特定種類溫室氣體的總排放量 • 無「範疇」的觀點，ISO14064-1 標準於第四章溫室氣體盤查之設計中，僅有提及組織與營運邊界的設定方式 • 範疇 3 (Scope 3) 屬自願性，視組織的需求決定盤查與否	• 計算產品生命週期所有活動所產生，所有會造成溫室效應的總排放量 • 作業中所包括的單元過程，與這些過程應研究的詳細程度應做成決定 • 對於研究之產品系統、功能單位、數據選擇、分配方式、假設與限制等，都需要清楚說明[4]
盤查物種	活動所產生的 CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、HFCs、HFEs、PFC _s 及 NF ₃ 等七類溫室氣體	• 各項原物料、輔助項、包裝材等，只要會產生溫室效應的活動都要列入
排放係數	• 使用階段的排放係數 • 大多為固定的數值	• 全生命週期係數（包含原物料開採、製造、包裝、運輸/配銷、使用至棄置/回收階段） • 大多為不固定的數值（因來源不同而不同）
全球暖化潛勢	國內法令要求，自 105 年（含）後之（組織型）的盤查登錄作業應採用 IPCC 2007 年第四次評估報告之溫暖化潛勢，倘 IPCC 2007 第四次評估報告並未有參考數值，則引用 IPCC 2013 之溫暖化潛勢值	國際標準要求採用 IPCC 最新公告之版本
數據品質評估	若為 表 1 規定應申報的排放源，強制要求須依指定的評估方法學，算出排放量數值的數據品質	• 無任何強制性要求 • 署內有建議之評估方法

資料來源：本計畫團隊整理

依據表 2 所列出的差異，組織型溫室氣體盤查所使用之排放係數、計算結果呈現方式以及數據品質評估方式，完全不適用於碳足跡盤查。此外，組織型溫室氣體盤查登錄表單填寫完成後即可直接呈現該組織的溫室氣體排放定量資訊與數據品質，但碳足跡盤查完畢後，僅可掌握某一產品的活動數據清冊，排放係數則需另外尋找，且若欲得知碳足跡計算結果與數據品質評估水準則需將盤查表單匯入至產品碳足跡計算服務平臺內，方能得到計算結果。

(二) 發展整合表單

依（一）之資訊，將組織型溫室氣體盤查資料引入碳足跡盤查時所需附加之頁籤的設計，將由以下三類議題進行：

1. 須補充標的產品於碳足跡計算時所需的基本資料

碳足跡盤查表單填寫的內容至少要能夠滿足產品碳足跡計算服務平台要求強制填寫的基本資料，以免填寫者因資訊提供不足，而無法使用平台的計算功能。比對碳足跡盤查必要填寫的基本資料與組織型溫室氣體盤查登載基本資料的差異，如表 3。顯示若欲由溫室氣體盤查登錄表單擴充為產品碳足跡計算時仍有多項基本資料需要被補充。

表 3 產品碳足跡計算服務平臺與溫室氣體盤查表單基本資料比對結果

資料登載欄位	產品碳足跡 計算服務平台	組織溫室氣體盤查工具 表一、表二
盤查表名稱	O	×
標的產品中/英文名稱	O	×
化學式或俗名	△	×
宣告單位 每單位數量	O	×
盤查總產量與 計量單位	O	×
生命週期範疇	O	×
技術描述	O	×
分配原則	O	×
排除項目	O	×
生產區域	O	O
計算輔導單位	O	×
建置單位	O	O
盤查起訖日期	O	O
活動數據來源	△	O
排放係數來源	△	O
備註	△	△
委託單位	O	×
查驗證與查驗證公司	△	O

O：必要填寫項目 △：志願性填寫項目 ×：無此項目

為此，需要設計能夠補充碳足跡盤查所需之基本資料的位置，以記載包括標的物中英文名稱、宣告單位、總產量、生命週期範疇、技術描述、排除項目及數據盤查起迄時間等資訊之用。安插之頁籤內欄位配置方式，如表 4，由使用者回饋意見，若鎖定頁籤內的填寫位置，在補充資料時較不便利，故該頁籤設計為不鎖定填寫欄位，以便能夠預留更多空白空間，作為補充盤查時取得佐證資料填寫之用。

廠家/公司名稱	環科工程顧問股份有限公司台北廠			
數據盤查起迄時間		-		製程技術描述
生命週期範疇				

2. 須補充於組織溫室氣體盤查不需盤查，然產品碳足跡盤查時需要的數據資訊；組織型溫室氣體與碳足跡所盤查的活動項目並未完全重疊，因此針對碳足跡計算須再另行補充其他數據資訊，包括生產時各項原物料與輔助項的投入、製造過程產生之空、水、廢，以及物料與廢棄物運輸資訊等，此部分的版面配置如表 5 與表 6。以下詳細說明此頁籤內須填寫之數據資訊：

- (1) 原物料及輔助項的名稱、使用量、對名稱的解釋（如：Cas No.、備註...）、是否涉及數據分配，及分配的方式；
- (2) 每一單位產品（或服務）的投入或產出量；
- (3) 生產過程所產生，但非組織溫室氣體要求盤查的定量排放與殘留物，其名稱、產出量及清除與處理方式；
- (4) 能資源、原物料與輔助項輸送至工廠內的運輸資訊（起訖點、運輸方式與距離）；
- (5) 生產過程所產生的殘留物，輸送至代處理業者的運輸資訊（起訖點、運輸方式與距離）。

表 5 整合性表單須增列碳足跡盤查所需之補充資訊（原物料與輔助項）

16

表 6 整合性表單須增列碳足跡盤查所需之補充資訊（與組織溫室氣體盤查無關的排放與殘留物）

三、該標的物生產製程之污染物產生與處理情形 (不含組織溫室氣體盤查範疇一排放，欄位不足，請自行擴充)										
(1) 廢氣排放										
名稱	污染物排放種類	單位/年	數量/年	備註/佐證文件說明	分配過程	每生產 1 單位 標的產品 之產出量 (kg)				
	CO ₂	公噸								
	CH ₄	公噸								
	N ₂ O	公噸								
	其他	公噸								
廢氣處理化學藥劑投入量										
名稱	數量	濃度	單位/年	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	每單位編號距離 (km)	備註/請說明	分配過程	每生產 1 單位 標的產品 之投入量
(2) 廢水處理化學藥劑排放										
名稱	數量	單位	最詳去向	備註						
廢水/化學藥劑		公噸								
廢水處理化學藥劑投入量										
名稱	數量	濃度	單位/年	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	每單位編號距離 (km)	備註/請說明	分配過程	每生產 1 單位 標的產品 之投入量
廢水排放										
名稱	數量	單位/年	備註/佐證文件說明					分配過程	每生產 1 單位 標的	
廢水量										
CO ₂										
BCD										
SS										
(3) 廢棄物、剩餘 & 非剩餘 該標的物生產製程之廢棄物										
名稱	數量	單位/年	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	每單位編號距離 (km)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	備註/請說明	分配過程	每生產 1 單位 標的產品 之產出量
非剩餘廢棄物 (剩餘性質)										
名稱	數量	單位/年	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	每單位編號距離 (km)	編號/地點 (如：地址或進口台籍)	備註/請說明	分配過程	每生產 1 單位 標的產品 之產出量

3. 將組織溫室氣體盤查與碳足跡盤查重複的資訊，彙整到標的產品上。

歸屬於範疇 1 (Scope 1) 或範疇 2 (Scope 2) 的排放源，項目多半與碳足跡需要盤查的項目重疊，但若欲將這些內容直接應用於產品碳足跡盤查時，尚有下列的困難：

- (1) 除非有特殊理由或目的，否則組織型溫室氣體盤查於數據資料填寫上並不會依照該組織所有生產的產品關聯性，將所盤查的排放源活動數據加以區分。
- (2) 各排放源對於其原燃物料或產品名稱、用途（製程與設備）均以代碼方式呈現，若填寫者不加以備註解說，於碳足跡計算時對於如何將各項活動數據加以歸類與分配，以及挑選適當之排放係數過程極易發生錯誤。
- (3) 多數的碳足跡盤查於活動數據整理時均會面臨數據的分配，其分配原則、考量理由以及分配後之結果，都需要清楚被記錄，以備日後查驗是否合理。
- (4) 尚缺乏各項物料進入與離開盤查場址的運輸方式與輸送距離。
- (5) 針對再生能源（如太陽光能、風能），因組織型溫室氣體盤查的排放係數為“0”，故而不需要被填報或記載。但，於碳足跡計算時，再生能源的排放係數“並非為 0”，因此仍須列入被盤查項目之一。

依據上述需求，本團隊以溫室氣體盤查登錄表單 2.6.2 版的「表五」為基礎，另外新增「表五之一」頁籤，如表 7，一方面維持原表五之功能，另一方面亦可兼顧碳足跡盤查所需之資訊。新增之「表五之一」頁籤內容說明如下：

- (1) 為減少使用者重複謄寫資料的不便，若已經在原盤查表單填寫過的內容，將以表單內建公式連結方式，自動謄寫入適當的欄位內。
- (2) 擴充欄位，以記載所缺漏之項目；如與標的產品的關聯性、分配到標的產品的用量與方法及運輸資訊等。

本表單在廠商試填寫時並未遭遇困難，但同新增之「二、補充組織溫室氣體盤查時未列入盤查的活動數據」頁籤，需要附上佐證資訊；若輔導單位與填表單位欲於表單內記載數據討論過程的資訊時，會使得本表單不斷向右側延伸，而增加填表人閱讀不便。此時或可考慮將數據整理過程的討論資訊另行獨立為新的頁籤。

表 7 將溫室氣體盤查登錄表單之活動數據轉為碳足跡盤查所需資訊

五、定量盤查															
灰色底色欄位表示由表單自動產生之欄位；橘色底色欄位為下拉式選項，由使用者選擇代入；白色底色欄位表示由使用者自行填寫之欄位。															
製程		設備		原燃物料或產品			排放源資料		活動數據		與標的 產品1的 關聯性?	將活動數據分配給標的產品 的方法說明	標的產品1 的分配比例 (%)	標的產品被分配到的 活動數據	原燃物料的 輸送距離 (km)
編號	代碼	編號	代碼	代碼	名稱	是否屬生質 能源	範疇別	排放型式	活動 數據	單位					

(三) 表單實際投入使用的發現

本表單已經過廠商實際使用。由使用者的反應，團隊認為此整合性表單雖可同時供某不特定組織進行溫室氣體盤查以及其產品碳足跡盤查之用。但，仍有下列使用限制存在：

1. 表單無法設計出防止填寫者發生重複盤查的功能，因此若燃料有轉換過才供產品使用的狀況（註記為汽電共生設備使用者），或綠色電力使用於產品生產的模式等，仍有賴於使用者於盤查過程中加以釐清。
2. 若有以下狀況，建議將組織的溫室氣體盤查與其產品碳足跡盤查兩個專案分開或擇一進行，會是比較理想的作法：
 - (1) 產品生產期間不足一年：考慮組織型溫室氣體盤查與產品碳足跡盤查的時間範圍不一致時，組織溫室氣體盤查登錄表單需要再另外進行盤查期間與數據資料的調整，或將盤查到的活動數據加以重新分配到生產期間，反增加盤查數據整理的難度。
 - (2) 若同一地理邊界內產出多種類產品（如：鋼鐵業、化石燃料製造業及化工業），或需要將產品依照其特性進行更詳細的區分（如：電子業及光電業）者，考量會需要將各排放源的活動數據分配到各項標的產品的多重分配，若使用此整合性表單不僅無法減少盤查者重複盤查的工作負擔，且亦無法詳細釐清各標的產品的活動數據。
 - (3) 碳足跡排放的前三大熱點均非組織型溫室氣體所盤查得的排放源時，須倚重上下游供應者提供碳足跡數值，或資料庫的係數資料，組織型溫室氣體盤查的結果對於產品碳足跡盤查的應用效益極低。

另，此整合性表單於資料填寫時尚需留意之處，如：

1. 組織型溫室氣體盤查登錄表單的表三（排放源鑑別）原物料或產品均是透過代碼挑選，無法精確陳述排放源名稱與生產流程的歸屬。因此，應用於碳足跡計算時，使用者需要註解各原燃/物料或產品之清楚名稱、並說明該項目作為哪些產品生產單元所使用或排放，以便此資訊能在後續進行碳足跡計算時可清楚進行數據分配，並降低排放係數選擇錯誤之可能。
2. 碳足跡盤查項目的完整程度，尚無法僅倚靠表單設計的質量平衡功能進行檢查，仍需要使用者詳細仔細檢視是否有所缺漏。

四、結論

團隊已完成組織型溫室氣體盤查與碳足跡盤查的差異分析，並依此差異分析結果，發展出一適用於現行組織溫室氣體盤查登錄表單的碳足跡盤查附加頁籤。

此整合後之盤查表單將可同時完成組織溫室氣體盤查計算與組織內某一產品之碳足跡盤查，且亦分別經鋼鐵業及太陽能產業試用、碳標籤技術小組審議以及與執行「105-106 年度產品碳標籤核發及推廣第 1 年（2 年計畫）專案工作計畫」之計畫團隊討論，並就上述討論所提出的意見進行調整，以期此整合性表單能盡量符合使用者之需求。

參考文獻

- [1] http://enews.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=1050105103136
- [2] http://enews.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=1051123093645
- [3] 106 年度機關綠色採購績效評核作業評分方法，下載網址：
[https://greenliving.epa.gov.tw/GreenLife/green-life/file/284/106%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E6%A9%9F%E9%97%9C%E7%B6%A0%E8%89%B2%E6%8E%A1%E8%B3%BC%E8%A9%95%E6%A0%B8%E6%96%B9%E5%BC%8F%E5%8F%8A%E6%8E%A1%E8%B3%BC%E5%AF%A6%E5%8B%99\(105.12.21%E7%89%88\).pdf](https://greenliving.epa.gov.tw/GreenLife/green-life/file/284/106%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E6%A9%9F%E9%97%9C%E7%B6%A0%E8%89%B2%E6%8E%A1%E8%B3%BC%E8%A9%95%E6%A0%B8%E6%96%B9%E5%BC%8F%E5%8F%8A%E6%8E%A1%E8%B3%BC%E5%AF%A6%E5%8B%99(105.12.21%E7%89%88).pdf)
- [4] CNS 14044:2006

以不對稱流場場流系統進行環境水體奈米物質之研究

張瑜玲¹ 黃玉真² 金孝義³ 張淑芬¹

¹知本生技有限公司

²吉偉儀器股份有限公司

³行政院環境保護署環境檢驗所第四組

摘要

本研究利用不對稱流場場流分離、多角度靜態光散射儀偵測及分液收集系統，測試共八點真實水樣。並探討五種移動相、兩種分離匣道膜（RC 膜/PES 膜）及前處理 0.45 μ m/1 μ m 濾膜條件下之差異和影響。分液收集之水樣以感應耦合電漿質譜儀進行重金屬含量分析。

奈米物質表面常帶有電荷，當移動相離子強度增強時，因表面帶電粒子與匣道濾膜間的作用力增加而產生粒子延遲釋出的現象。而五種移動相下，相同粒徑尺寸之粒子釋出順序為：水相、1mM NH₄NO₃ 移動相及 10mM NH₄NO₃/10mM NaNO₃/10mM NH₄Cl 移動相。於兩種分離匣膜條件下，粒子釋出時間，RC 膜皆早於 PES 膜，且 PES 膜吸附作用較強。兩種前處理條件下，0.45 μ m 濾膜可成功由小至大分離粒子；1 μ m 濾膜則需再調整分析設定。

研究得知 RC 分離匣膜、前處理 0.45 μ m 濾膜、水移動相為最佳分離條件；同時於此條件下進行粒徑分液收集。利用感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)分析八種重金屬，若依各水樣整體測得金屬含量之主要粒徑區間：10~100nm：淡水河口濕地、高屏溪、後勁溪、金門太湖；100~450nm：曾文溪濕地、北港溪、二仁溪。

關鍵詞：不對稱流場場流系統，多角度靜態光散射，環境奈米粒子，感應耦合電漿質譜儀

一、前言及研究目的

在自然環境中，奈米物質的大小與污染物的交互作用、自聚作用、化學傾向與流動輸送息息相關[1-2]。有關環境生物毒性研究，奈米物質的大小是毒性的重要因子；唯奈米粒子於一般液相層析及管柱系統中常會沾附並產生自聚現象，故研究不易。近年各項研究多以不對稱流場場流技術為選擇技術並獲致明確結果[3-10]。基於團隊已建立之不對稱流場場流系統設定及相關試驗條件，實際測試八種真實環境水體樣品，並結合後續重金屬成分分析，研究可行之分離分析技術，並為下一階段環境奈米物質之毒性研究測試之基礎。

二、研究方法

基於本團隊建立之不對稱流場場流分離系統設定，採取共八點真實水樣，分別為濕地：淡水河口濕地及曾文溪濕地；農牧業水域：北港溪；曾受電鍍及酸洗廢水影響之水域：二仁溪；石化工業水域：高屏溪；工業區廢水處理廠放流口周邊水域：後勁溪；環境水體：金門太湖及石門水庫。測試條件分別為前處理 0.45 μ m/1 μ m 濾膜；移動相共五種：水相/1mM NH₄NO₃/10mM NH₄NO₃/10mM NaNO₃/10mM NH₄Cl；分離匣道膜：再生纖維膜（RC 膜）及聚醚砜樹脂膜（PES 膜）。綜合以上試驗條件於最佳分離條件下進行粒徑分液收集，再利用感應耦合電漿質譜儀進行重金屬含量分析。

三、結果與討論

（一）樣品重複性

觀察各點水樣於不同前處理/移動相/分離匣道膜之結果，同一樣品瓶之水樣於光散射訊號強度及粒徑分析數據皆相當一致，表示儀器本身穩定度佳；於不同樣品瓶取得水樣之光散射訊號強度及粒徑數據，偶有些許偏差，可能來自於樣品本身的均勻性，而造成訊號強度及數據分析上的變化。

（二）移動相離子強度對於粒子釋出順序及光散射訊號強度之影響

當移動相離子強度增加時，樣品光散射訊號強度降低，推測 10mM 移動相造成粒子吸附於匣道膜上，減少粒子釋出之總數。且移動相離子強度越高，粒子延遲釋出，依序為水相、1mM

NH_4NO_3 移動相及 10mM 三種移動相。以上現象可利用雙電層理論(Double Layer Theory)探討粒子表面電荷與液體移動相及分離匣道膜表面之交互作用。

(三) 分離匣道 RC 膜及 PES 膜的差異

無論是光散射訊號主峰區段及粒徑主要分布範圍，於不同離子強度移動相下，PES 膜皆晚於 RC 膜，可見 PES 膜與粒子間之作用力較強，延遲粒子釋出時間。表 1 及表 2 中整理小於 100nm 之粒子於五種移動相下占整體水樣之比例，RC 膜條件下之最佳比例皆大於 PES 膜，意指 RC 膜分離效率較佳。前處理 1 μm 濾膜條件下，RC 膜所得之平均均方根半徑較 PES 膜大；而前處理 0.45 μm 濾膜條件下，則是 PES 膜之平均均方根半徑大於 RC 膜；兩種前處理條件下趨勢相異，而平均均方根半徑為水樣中粒子的整體顯現，可見粒子本身的性質對於不對稱流場場流分離系統之重要性。

表 1 八個水樣於五種移動相下之分析粒徑 100nm 以下之奈米物質比例(%)
(前處理 0.45 μm 濾膜，RC 分離匣道膜)

移動相 (200 ppm NaN_3)	淡水河 濕地 (關渡) (%)	曾文溪 溼地 (七股) (%)	北港溪 (%)	二仁溪 (%)	高屏溪 (%)	後勁溪 (%)	金門 太湖 (%)	石門 水庫 (%)
水	47.6	24.2	30.6	21.7	21.8	13.6	5.4	13.0
1 mM NH_4NO_3	34.3	3.7	23.9	28.2	19.5	9.2	15.1	9.1
10 mM NH_4NO_3	38.2	16.1	27.3	18.4	11.1	14.0	12.5	6.4
10 mM NaNO_3	24.2	14.2	18.3	16.1	22.3	11.9	9.5	14.9
10 mM NH_4Cl	35.6	4.8	17.1	10.2	6.7	17.0	11.9	13.5

表 2 八個水樣於五種移動相下之分析粒徑 100nm 以下之奈米物質比例(%)
(前處理 0.45 μm 濾膜，PES 分離匣道膜)

移動相 (200 ppm NaN_3)	淡水河 濕地 (關渡) (%)	曾文溪 溼地 (七股) (%)	北港溪 (%)	二仁溪 (%)	高屏溪 (%)	後勁溪 (%)	金門 太湖 (%)	石門 水庫 (%)
水	3.1	5.4	7.2	11.6	1.5	7.7	0.2	0.4
1 mM NH_4NO_3	5.2	5.0	2.1	10.5	3.9	6.0	0.3	-
10 mM NH_4NO_3	5.4	5.8	9.3	9.4	10.5	2.6	5.6	4.4
10 mM NaNO_3	5.7	5.5	0.1	4.1	7.2	5.2	2.1	3.5
10 mM NH_4Cl	3.7	3.5	4.0	15.6	9.1	7.3	4.4	4.9

(四) 前處理 0.45 μm 及 1 μm 濾膜

光散射圖譜中，前處理 1 μm 濾膜主訊號峰大多晚於 0.45 μm 濾膜，前者內含更多大尺寸粒子，故延遲分離釋出時間。於粒徑分布趨勢上，基於相同之系統分離條件及設定，0.45 μm 濾

膜大多可成功由小至大分離粒子，且粒徑分布穩定，整體平均粒徑小。而 1 μ m 濾膜分離效果仍需改善，分離前段效率不顯著，而分離後段又於特定區段（RC 膜：60 分鐘後；PES 膜：64 分鐘後）尺寸不等之粒子快速釋出，造成粒徑分布趨勢突增；且粒徑分布變化大；平均粒徑尺寸也較大。

（五）無機組成分析-重金屬含量

依據上述各數據，整體而言分析條件 RC 分離匣膜、前處理 0.45 μ m 濾膜、水移動相下為最佳分離條件，以此設定下分析各水樣之光散射圖譜及粒徑分布趨勢，決定各採樣點分液收集區段。分別為粒徑尺寸<10nm、10~100nm、100~450nm 三個區段。石門水庫水樣因絕對訊號強度弱且粒子分布趨勢不穩定，故不進行後續分液收集。

重金屬含量分析，利用感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)，依據 NIEA W313.52B 方法針對鉍(As)、鎘(Cd)、鉻(Cr)、銅(Cu)、鉛(Pb)、銀(Ag)、鋅(Zn)、鐵(Fe)八個重金屬。八種重金屬中於各水樣中僅測得鐵、銅及鋅三種重金屬。若依各水樣整體測得金屬含量之主要粒徑區間：10~100nm：淡水河口濕地、高屏溪、後勁溪、金門太湖；100~450nm：曾文溪濕地、北港溪、二仁溪。

四、結論與建議

以現階段不對稱流場場流分離系統之最佳分離條件為前處理 0.45 μ m 濾膜，RC 分離匣膜，水移動相（金門太湖除外），皆可成功由小至大分離粒子及應用於後續無機重金屬分析。

針對未來配合生物毒性試驗，各水樣不同粒徑區間之粒子含量及無機成分組成狀態不一，需經評估後選擇適當之水樣粒徑範圍進行後續毒性試驗。

參考文獻

- [1] 施養信，左致平，曾勇銘，莊承銘，蘇博信，吳先琪，陳麗華，董瑞安，水相中奈米顆粒之型態變化與沉降特性，環境奈米科技論壇，2008，92-112。
- [2] Hoon Hyung John D. Fortner Joseph B. Hughes Jae-Hong Kim, Natural Organic Matter Stabilizes Carbon Nanotubes in the Aqueous Phase, Environ. Sci. Technol., 2007, 41 (1), 179-184.
- [3] N.M. Thang, H. Geckeis, J.I. Kim, H.P. Beck, Application of the flow field flow fractionation (FFFF) to the characterization of aquatic humic colloids: evaluation and optimization of the method, Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects 181 (2001) 289.
- [4] M. Baalousha, F. Kammer, M. Motelica-Heino, M. Baborowski, C. Hofmeister, Size-Based Speciation of Natural Colloidal Particles by Flow Field Flow Fractionation, Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy, and Transmission Electron Microscopy/X-ray Energy Dispersive Spectroscopy: Colloids-Trace Element Interaction, P. Lecoustumer, Environ. Sci. Technol. 40 (2006) 2156.
- [5] M. Baalousha, J.R. Lead, Characterization of Natural Aquatic Colloids (<5 nm) by Flow-Field Flow Fractionation and Atomic Force Microscopy, Environ. Sci. Technol. 41 (2007) 1111.
- [6] E. Alasonati, V.I. Slaveykova, H. Gallard, J.P. Croue, M.F. Benedetti, Characterization of the colloidal organic matter from the Amazonian basin by asymmetrical flow field-flow fractionation and size exclusion chromatography, Water Res. 44 (2010) 223.
- [7] B. Stolpe, L. Guo, A.M. Shiller, M. Hassellöv, Size and composition of colloidal organic matter and trace elements in the Mississippi River, Pearl River and the northern Gulf of Mexico, as characterized by flow field-flow fractionation, Mar. Chem. 118 (2010) 119.
- [8] 林俊德，陳怡如，陳麗霞，翁英明，阮國棟 環境分析評論 第三期 環保署環境檢驗所。
- [9] Frank von der Kammer, et al., Separation and characterization of nanoparticles in complex food and environmental samples by field-flow fractionation, Trends in Analytical Chemistry, 2011, 30, 425-436.
- [10] M. Baalousha, et al., Flow field-flow fractionation for the analysis and characterization of natural colloids and manufactured nanoparticles in environmental systems: A critical review, Journal of Chromatography A. 2011, 1218, 4078-4103.

拉曼光譜技術應用於環境水污染物檢測

陳怡如¹ 羅仕麟¹ 郭安甫¹ 翁英明¹ 王俊凱²

¹ 行政院環境保護署環境檢驗所

² 中央研究院原子與分子科學研究所

摘要

傳統的化學分析通常需要進行繁複的前處理程序，再進行上機分析，分析時間冗長因而無法因應目前及未來及時迅速檢測需求。拉曼光譜分析技術根據拉曼散射的物理原理所發展出來的，近年來更運用奈米技術所產生的表面增強型拉曼散射效應 (Surface Enhanced Raman Scattering, SERS) 來進行 ppm 甚至是 ppb 的微量分析。本研究應用 SERS 技術分析環境水樣中的氰化物，實驗結果顯示 SERS 技術可實際運用到環境樣品中氰化物分析，並且檢量線製作與樣品定量分析從現行方法 1 天的分析時間可快速縮減至 3 小時內完成，未來會進一步將此技術發展為現場快篩方法以協助第一線稽查人員快速釐清現場污染物物種與濃度範圍，以讓民眾安心。

關鍵詞：表面增強拉曼散射 (SERS)、環境污染物分析、氰化物、綠色化學檢測

一、前言及研究目的

傳統的化學分析通常需要進行繁複的前處理程序，才能將我們想要看的污染物純化出來，分析時間長因而無法因應目前及未來及時迅速檢測的需求。另一方面，電鍍廠氰化物偷排是常見的環境污染案件，然而現行的氰化物分析方法前處理程序繁複，並且在前處理過程中會產生有毒氣體氫化氰，如果沒有完善的防護措施，可能對分析人員造成傷害。表面增強型拉曼散射光譜（以下簡稱 SERS）分析技術優點在於需要的樣品體積少（僅須 0.007 毫升）以及一次樣品分析時間短（數十秒至數分鐘）。基於前述原因，本研究嘗試以 SERS 技術分析環境污染樣品中的氰化物，比較 SERS 分析與傳統化學方法結果。

二、研究方法

（一）樣品來源

樣品為某電鍍廠之氰系第三道水洗水。

（二）SERS 與現有方法比較

1. 樣品取約 10 mL 後不調整 pH 值，直接經過離心的處理去除雜質後，取上澄清液以純水稀釋 20 倍，再取此稀釋水樣 0.007 毫升滴至 SERS 基板上，隨後以拉曼光譜系統進行分析，分析的結果如果有氰化物，將在拉曼圖譜上約 2140 cm^{-1} 位置上有一明顯波峰（如圖一 (a)）。
2. SERS 方法氰化物濃度曲線須遵守藍牟爾等溫吸附模型 (Langmuir isotherm model)，如公式 (1)， C_{CN} 為氰化物濃度， A 是代表拉曼訊號產生效率， L_{CN} 是氰化物與基板之間的吸附常數。因此以氰化鈉溶液配製範圍 0.26-7.2 (mg/L as CN^-)，所得到的各個濃度表面增強拉曼訊號以公式 (1) 擬合出濃度曲線，將前述樣品分析的表面增強拉曼訊號，來比對濃度曲線的表面增強拉曼訊號，而決定出其樣品濃度。

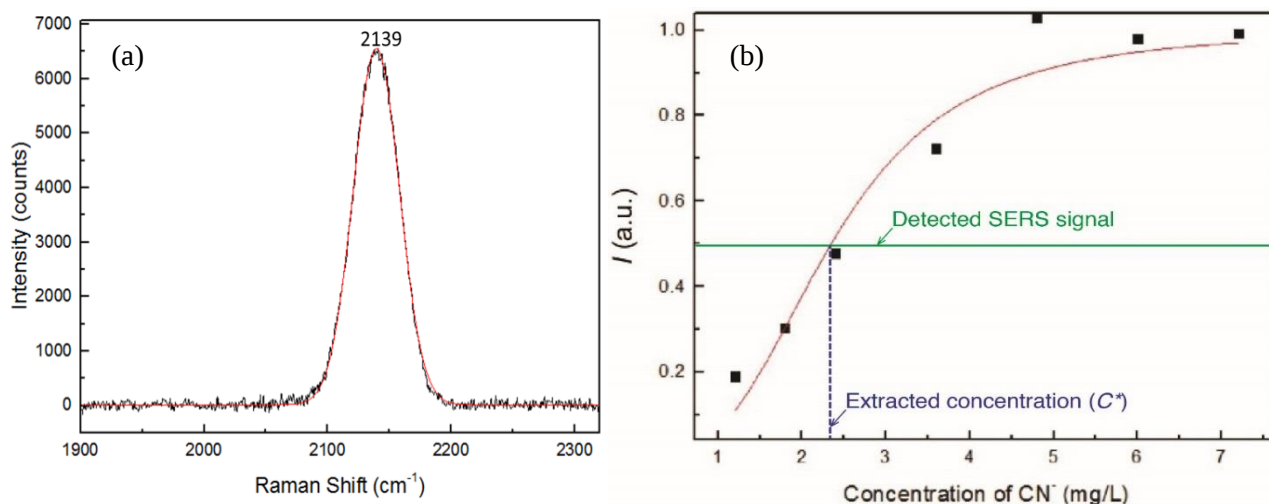
$$I = A \times L_{CN} \times C_{CN}^n / (1 + L_{CN} \times C_{CN}^n) \quad (1)$$

3. 另同樣的樣品取 1000 mL，依據環境檢驗所標準分析水中氰化物檢測方法—分光光度計法 (NIEA W410)，經酸化加熱蒸餾時，氰離子反應生成氰化氫再經氣滌方式被吸收於氫氧化鈉溶液中，在 pH 值小於 8 的情況下，氰離子會與氯胺 T (Chloramine-T) 反應形成具毒性氰化氫，且不會再進一步水解成 CNO^- ，若續在此反應溶液中加入吡啶-丙二醯脲 (Pyridine barbituric acid) 試劑即可產生紫色產物，使用分光光度計在波長 578 nm 處測其吸光度，即可求得水樣中氰化物濃度。

三、結果與討論

(一) SERS 濃度曲線與樣品濃度分析

以藍牟爾等溫吸附模型擬合所得到的 n 與 L_{CN} 分別為 3.098 與 0.0712。以直接定量的方式，先將離心過後的水洗水稀釋 20 倍（因過高濃度氰化物會傷害基板），再進行表面增強拉曼實驗，如圖一 (b) 所示所得到的訊號直接比對此濃度曲線而得到定量結果為 2.37 mg/L，回算稀釋倍數其原始濃度為 47.4 mg/L。



圖一 SERS 分析結果 (a) 氰化物濃度 4.2 mg/L 之拉曼光譜數據與其高斯函數之擬合曲線
(b) 氰化物濃度曲線訊號與直接比對此濃度曲線

(二) 現有方法水中氰化物檢測方法—分光光度計法 (NIEA W410) 分析結果

現有方法分析之結果如表一所示，在品管結果合乎方法要求下，樣品分析濃度為 35.6 mg/L。

表一 電鍍業氰系水洗水與放流水之氰離子濃度與相關品管樣品數值

項目	UV 測值濃度 (mg/L)	稀釋倍數	水樣濃度 (mg/L)	水樣添加濃度 (mg/L)	配製濃度 (mg/L)	回收率 (%)
空白樣品	0	-				
檢量線查核	0.100	-			0.10	100
查核樣品	0.117	2		0.25		94
水洗水	0.178	200	35.6			
水洗水-D	0.180	200	36.0			
水洗水 MS	0.120	400		0.25		99

(三) SERS 與現有方法比較

方法之比較如表二所示，由於 SERS 方法分析的水樣有進行稀釋，將數據回乘稀釋倍數會產生誤差，但是現有方法分析結果與 SERS 分析結果是在同一個分析數量級。以 SERS 方法分析時間與樣品體積相對現有方法節省很多時間與樣品量，達到綠色化學分析目的。

表二 SERS 方法與現有方法比較

檢測方法	水樣濃度 (mg/L)	樣品處理與檢量線製作時間 (小時)	樣品體積 (mL)
現有方法	35.6	24	1000
SERS	47.4	3	0.0007

四、結論

本研究以 SERS 方法分析環境水樣，而使用氰化物的等溫吸附模型公式擬合實驗數據，來決定出氰化物的未知濃度，分析結果與現有方法相近。綜合分析時間、分析樣品體積與分析數據結果來比較，SERS 方法可以節省分析時間與大幅降低樣品體積量，在分析數據與現有方法差距不大的結果下，在未來 SERS 做為現場快篩工具確實可以提供一個即時判斷的協助。

參考文獻

- [1] Simon Maher, Fred P. M. Jjunju and Stephen Taylor., “Colloquium: 100 years of mass spectrometry: Perspectives and future trends,” *Reviews of Modern Physics*, 87, 113 (2015).
- [2] P . G . Etchegoin and E. C. Le Ru., “A perspective on single molecule SERS: current status and future challenges,” *Physical Chemistry Chemical Physics*, 10, 6079-6089 (2008).
- [3] K. Kneipp, M. Moskovits, and H. Kneipp, *Surface-enhanced Raman scattering: Physics and Applications* (Springer-Verlag, Berlin, 2006).
- [4] 王俊凱，拉曼光譜分析，『材料分析』，第二版，中國材料科學學會，第 18 章，第 494-532 頁(2014)。
- [5] 經濟部工業局，電鍍工廠廢水污染防治，工業污染防治技術手冊之一，經濟部工業局，第 11-14 頁(1989)。

細胞激素微珠檢測平台的建置與應用

陳中庸¹ 吳宗遠¹ 王世冠²

¹ 中原大學生物科技系

² 環境保護署環境檢驗所

摘要

本「環境微生物基因晶片之技術建立及應用(4/4)- 建立流式細胞儀之多重細胞激素微珠檢測平台」計畫為一融合既有的酵母菌檢測法與新的細胞激素檢測之計畫。因此本計畫是建立酵母菌之雙表現載體系統做為環境荷爾蒙的初篩工具與細胞激素偵測平台做為專一性偵測工具。細胞激素偵測平台採用之前開發的微珠量子點檢測技術，此技術是利用量子粒的特性配合微珠嵌連之專一性單股核酸探針，來同時解決定性、定量與標定問題。於酵母菌之雙表現載體系統中，我們已完成建構雙表現質體，可表達 human estrogen receptor (hER- α)，estrogen responsive elements (EREs) 及 reporter gene -BGFP 與 β -galactosidase。以螢光偵測時，五種環境荷爾蒙於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-2} ~ 10^{-9} g/l，線性為 $R^2=0.88\sim0.98$ 。以 β -galactosidase 來偵測，酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-2} ~ 10^{-7} g/l，線性為 $R^2=0.81\sim0.99$ 。於細胞激素偵測平台，我們針對五種細胞激素完成 control RNA 的線性評估。對 IL-1 α 、IL-6、LT- β 、TNF- α 與 SPP1 的偵測極限為 6.25pg，線性可達 $R^2=0.99$ 。五種細胞激素之微珠-量子點系統之專一性達 96% 以上。以藥物刺激 A549 細胞來產生細胞激素，並以微珠-量子點系統評估，線性達 $R^2=0.92\sim0.99$ 。靈敏度高，可達至少 10^{-10} g，無偽陰性。不同濃度之藥物刺激 A549 細胞後以 QPCR 及微珠-量子點系統的檢測的相關性（除 SPP1）達 $R=0.71\sim0.99$ 。

關鍵詞：細胞激素、量子點、環境荷爾蒙

一、前言及研究目的

殺蟲劑、增塑劑和持久性污染物質被高度懷疑會干擾哺乳類動物及人類內分泌的作用，已成為社會大眾所關切的問題。本計畫建構酵母菌檢測快篩系統與適配體系統來分析環境荷爾蒙。

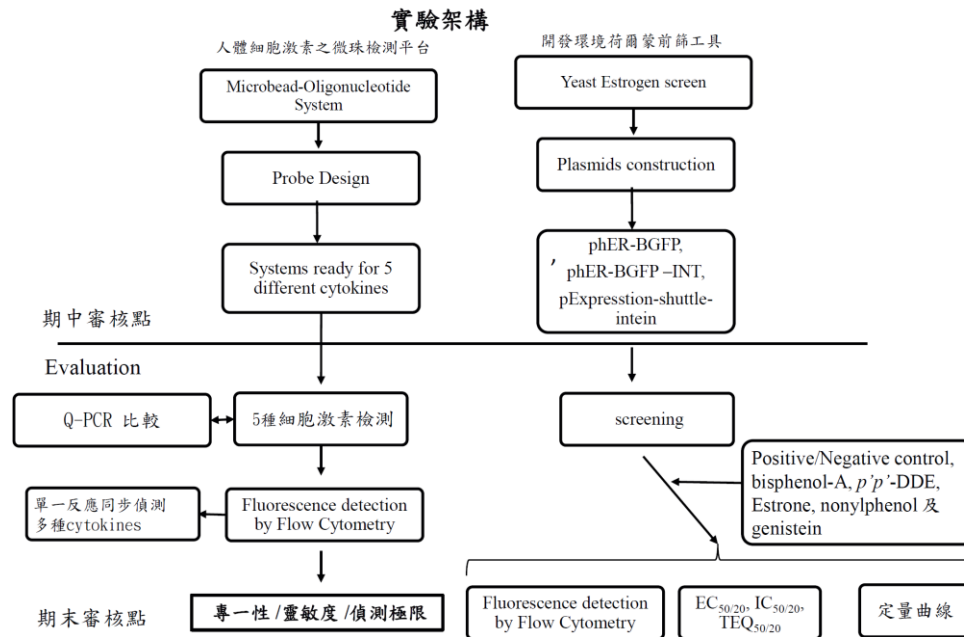
酵母菌檢驗系統來檢測環境荷爾蒙具有數個優點：（一）高通量(High throughput)，因培養簡單且螢光容易讀取與定量，故可發展成微盤(96孔)系統而可進行自動化的的建置。（二）準確，可發展成定性與定量分析。（三）效率，利用螢光偵測，有高敏感性，偵測時間短，快速取的資料。（四）經濟性，酵母菌從培養到偵測較哺乳動物細胞實驗成本略低一些。因此，建立環境荷爾蒙之酵母菌檢驗系統適合第一線大量快速的篩選。

細胞激素為一個可以產生多種類型之細胞型態的蛋白質，包含促使免疫細胞變成活化狀態，且調控和調節免疫反應的動態平衡中扮演重要角色，細胞激素可以直接或間接的涉及到多種免疫性失調的發病機制。任何有毒物質如 PM_{2.5} 會促使發炎反應，就可以用細胞激素當檢測指標。

本計畫之偵測細胞激素的探針是設計在微珠單股核酸探針的平臺，此系統是本人承接環保署 2011 及 2012 年的科技計畫所研發，文章已發表在 Biosensors & Bioelectronics 2016 (IF=7.4)。系統特性與優點：(1)無須 PCR 放大，同時定量與定性。(2)之前以 8 株退伍軍人菌株測試，敏感性達 100%，無偽陰性；專一性達 100%，無偽陽性。(3)無須純化樣品 DNA/RNA，一樣達到高專一性與高敏感性。(4)偵測極限達 0.1ng。0.1ng~1 μ g 時之標準曲線達 $R^2=0.994$ 。(5)螢光穩定達數月，節省成本。(6)單一反應管同步偵測多種目標基因，一樣達到高專一性與高敏感性。省錢省時省力。(7)檢測僅需半天即完成，省時。(8)已完成多種細菌、病毒與人類基因的檢測，應用範圍廣。本計畫提出利用此新穎系統來偵測細胞激素。優勢有：第一、採用不需要萃取、標示、與擴增核酸之較先進的微珠量子點技術；第二、採用流式細胞儀檢測，並同時定量與定性。

二、研究方法

(一) 實驗架構



(二) 重組質體製備

為擴增特定之基因片段，依次加入下列試劑：40 μ l H₂O、5 μ l 10 $\times$ PCR 反應緩衝液、1 μ l dNTP 10 μ M、1 μ l 上游引子 10 μ M（表四）、1 μ l 下游引子 10 μ M（表四）、1 μ l 模板 DNA（約 10ng）、1 μ l Taq DNA 聚合酶（1 μ l 約 2.5U）、混勻後離心 5 秒。將 PCR 混合物放入 PCR 反應器中進行反應，反應條件如下：在 94 $^{\circ}$ C 下加熱 5 分鐘，用 94 $^{\circ}$ C 變性 1 分鐘，55 $^{\circ}$ C 黏合引子 1 分鐘，72 $^{\circ}$ C 延伸 2 分鐘，重複上述三個溫度 35 次，最後一輪重複結束後，額外一步 72 $^{\circ}$ C 反應 7 分鐘，使反應產物擴增充分。取 2 μ l 擴增產物於 1% Agarose gel 進行電泳分析，確定反應產物及長度。經確認之 PCR 擴增產物將直接進行 DNA 限制酵素的酶切，用 Pipetman 分別加入 PCR 擴增之 DNA 和相應的限制酵素反應 10 $\times$ 緩衝液 2 μ l，再加入 ddH₂O 使總體積為 19 μ l，將管內溶液混勻後加入 1 μ l 酵素，用手指輕彈管壁使溶液混勻，之後用微量離心機使溶液集中在管底。混勻反應後，將 eppendorf 管插在浮板上，37 $^{\circ}$ C 水浴槽反應 2-3 小時，使限制酵素反應完全。每管加入 1 μ l 10% SDS，混勻，以停止反應。取 10-20 μ l 限制酵素反應與 2-4 μ l 6 $\times$ loading buffer 混勻，用 pipetman 小心加入 Agarose gel 的孔洞中。利用 GFX 純化套組回收膠體核酸，主要將 100 mg 膠體和 100 μ l 的 Capture Buffer 置於 GFX Column 中，在 60 $^{\circ}$ C 溶解混合後，以 500 μ l Wash Buffer 沖洗，離心 30 秒，再加入 50 μ l 的 elution buffer（10mM Tris-HCl pH 8.0，TE buffer pH8.0 或蒸餾水）於室溫一分鐘以上，離心 1 分鐘，離心液為純化之 DNA。將膠體純化後之 DNA 與同樣酶切之載體進行接合反應，以莫耳數 3:1 混合，同時加入 10 $\times$ ligation buffer 與 T4 ligase，於室溫下一小時進行接合反應。將接合後之重組 DNA 以電穿孔的方式轉入 E. coli 細胞中，經十八小時培養於固體 LB agar 上形成多個單一菌落，以 PCR 的方式確認正確的重組質體後，將 E. coli 以液體 LB 培養過夜，翌日大量萃取其質體，再將純化之質體轉入酵母菌中。

(三) 有效濃度、抑制濃度與毒性當量之測定

首先，培養酵母菌株 (*S.cerevisiae*) 於基本培養基 YPD 中，再置放培養箱 30 $^{\circ}$ C，200rpm 環境至 OD600 為 1.0。後續，做連續培養之過程為重複下列步驟：1. 固體培養基之酵母菌培養，以挑選出健康之單一酵母菌菌落。2. 將單一酵母菌菌落種植到液體培養液 YPD 中，並且震盪培養 3 天於 30 $^{\circ}$ C 中。3. 利用聚合酶鏈鎖反應確認質體存在於酵母菌之 DNA 中，用以確認質體是否在連續培養的過程中丟失。4. 進一步將液體培養之酵母菌以 100ml 之 YPD 大量培養用於高通量篩檢環境荷爾蒙。除此之外，將待測環境荷爾蒙物以甲醇做處理，如下 (1)bisphenol-A；(2)p'p'-DDE；(3)estrone，(4)17 β estradiol；(5)genistein，並將各待測荷爾蒙

以 1:2 連續稀釋於各樣品管裡(總體積:20 μ L;最小濃度:2.5X10⁻⁹;最大濃度:1.0X10³ M),同時必須將有機溶劑甲醇移除,以蒸發到乾為主,待測環境荷爾蒙物于此狀態下再加入培養的酵母菌株 (*S.cerevisiae* BLYES) 200 μ L 進行檢測。因為酵母菌表達螢光序列為 LACZ-IRES-EGFP,最後螢光測定試驗用 ELISA reader (BioTek, Synergy HTX Multi-Mode Reader),以 Excitation Filter:485/20 及 Emission Filter:530/25 檢測所散發的螢光物質。該螢光可轉換數值,以轉折曲線中點作為有效濃度 50(50% effective concentration=EC50)檢測所散發的螢光物質 OD562。該螢光可轉換數值,若高於控制組,則取中位數得有效濃度 50 (50% effective concentration=EC50, 20% effective concentration=EC20),反之,若低於控制組螢光亮度,則得中位數抑制濃度 50 (50 % inhibition concentration =IC50, 20% inhibition concentration=IC20),總論以上,最後可經下列公式得毒性當量效力數 (Toxic equivalency quotients; TEQ) 將賦予此實驗測定是否具有效驗證。

$$TEQ_{50} \text{ 公式} = \frac{\text{postive control 螢光數值}}{\text{待測樣品 EC50 螢光數值}}$$

$$TEQ_{20} \text{ 公式} = \frac{\text{postive control 螢光數值}}{\text{待測樣品 EC20 螢光數值}}$$

(四) β -galactosidase 活性測試

將酵母菌 (Y190-pYES-1+ pYES-2) 以劃盤方式劃於選擇性培養盤中生長 (YNB agar w/ glucose + Ade + His),培養於溫度為 30 $^{\circ}$ C 之培養箱(微電腦迴轉振盪培養箱,Firstek S300S)三天形成單一菌落,再將單一菌挑起,並殖入於 3 mL 培養液 (YNB w/ glucose + Ade + His) 中均勻震盪 230 rpm 培養 2 天。將液體培養液中之酵母菌細胞以 3,000 轉,10 分鐘的離心條件沉澱到養菌管底部,並使用 10 mL 的基因表現誘導培養液 (YNB w/ galactose + Ade + His) 將沉澱之酵母菌細胞打散,及再次離心沉澱酵母菌細胞以洗去殘留之葡萄糖。將酵母菌細胞以基因表現誘導培養液 (YNB w/ galactose + Ade + His) 稀釋至 ELISA 分析儀 (BioTek, Synergy HTX Multi-Mode Reader) 為 660 nm 測量等於 0.4 (約為 5.3x10⁶ cell/mL)。將含酵母菌細胞之基因表現誘導培養液 (YNB w/ galactose + Ade + His + Y190-pYES-1+ pYES-IP (pYES-2)) 震盪轉數為 230 rpm 且培養 12 小時於 30 $^{\circ}$ C 培養箱(微電腦迴轉振盪培養箱,FIRSTEK S300S)用以誘導人類 estrogen receptor alpha 的蛋白質表現。翌日,以 96 孔盤之細胞培養盤進行酵母菌雌性激素高通量測試,將 10 μ L 待測試之化合物加入孔盤中。待酒精自然揮發之後。再加入 70 μ L 懸浮於基因表現誘導培養液(YNB w/ galactose + Ade + His)之酵母菌細胞液後。以震盪器之速度為 9 (FINEPCR 震盪機) 混合均勻後,將 96 孔盤放入 30 $^{\circ}$ C 培養箱培養。待兩小時後於每個孔洞中加入 70 μ L 的 working solution (Z buffer w/ ONPG : Y-PER reagent = 1:1),以震盪器之速度為 9 混合均勻後。放置於 30 $^{\circ}$ C 培養箱。待黃色呈現在後,加入 56 μ L 的 stop solution 以停止 β -Galactosidase 之反應。最後使用 ELISA 分析儀 (BioTek, Synergy HTX Multi-Mode Reader) 為 420 nm 測量各孔洞之 β -Galactosidase 酵素活性。

(五) 細胞激素之檢測平臺

細胞激素之 Tag and anti-tag sequences 的設計如表一及表二。

表一 5 種細胞激素之專一性 Tag 的設計

Genes	Tag sequence
IL-1 α	GTAAGCGCTTAAAAGACACAACA
TNF- α	GCAGCATCGCCAAAAATCATACCAT
IL6	CTTGCCGAACGCAAATCAATCTTTTCCAGG
LT- β	GTCGGCCAGCCAGGGGATTTTAG
Spp1	CTTTGCCAGAAGCAGAGAACGACCCC

表二 5 種細胞激素之專一性 anti-Tag 的設計

Species	anti-Tag sequence
IL-1 α	AATTCACCCTGGAGCACAATCA
TNF- α	ATGGTATGATTTTTGGCGATGCTGC
IL6	CCTGGAAAAAGATTGATTGCGTTCGGCAAGG
LT- β	CTAAATCCCCTGGCTGGCCGAC
Spp1	GGGGTCGTTCTCTGCTTCTGGCAAAG

(六) 專一性、敏感度、偵測極限與定量準確性

1. 專一性實驗：針對 cytokine RNA 分別測專一性。取目標 cytokine RNA 及其他 cytokine RNA 做為非目標物，目標 cytokine RNA 與非目標 cytokine RNA 一起與我們設計的量子點-單股核酸探針進行雜合，來測試非目標 cytokine RNA 是否會結合上目標 cytokine RNA 之量子點-單股核酸探針，即是否有偽陽性，即為專一性評估。目標 cytokine RNA，各以不同濃度測試自己的量子點-單股核酸。同時測試等量混合其他非目標 cytokine RNA；混合有分別加入 1 至 4 種等其他非目標 cytokine RNA，分別進行純化雜合與偵測，來判斷非目標 cytokine RNA 之雜合能力。若量子點-單股核酸專一性不足，當檢體含有其他非目標 cytokine RNA 時，會因專一性差而讓其他非目標 cytokine RNA 可競爭結合於單股核酸專一序列，造成競爭性而訊號減弱，即有偽陽性。
2. 敏感度實驗：針對細胞激素分別測敏感性。取目標 cytokine RNA 及其他 cytokine RNA 做為非目標物，多種 cytokine RNA 一起與我們設計的量子點-單股核酸探針進行雜合，來測試目標 cytokine RNA 是否會被干擾結合上目標 cytokine RNA 之量子點-單股核酸探針，即是否有偽陰性，即為敏感性評估。
3. 偵測極限：針對候選 cytokine RNA 分別測偵測極限，分別取 cytokine RNA，做一系列稀釋後，與我們設計的量子點-單股核酸探針進行雜合，來測試目標 cytokine RNA 結合上量子點-單股核酸的極限，當稀釋到何種濃度時，無法有效量子點無法雜合而訊號太弱而偵測不到訊號，即偵測極限評估。
4. 定量準確性-standard curve: standard curve：針對待測候選 cytokine RNA 分別測偵測極限，分別做一系列稀釋後，與我們設計的量子點-單股核酸探針進行雜合，經流式細胞儀定量後畫出標準曲線，然後用統計軟體畫出標準曲線。計算回歸曲線值，是否 0.9 以上。

三、結果與討論

(一) 酵母菌雙質體之雙表現系統的建構

圖 1: 酵母菌 Y190 分別以 glucose 與 galactose 培養，然後以綠螢光來確認 pYES-IP 之基因表達。在螢光顯微鏡的觀察下，培養在 galactose 的酵母菌有螢光，而培養在 glucose 的酵母菌無螢光，white bar = 10 μ m。

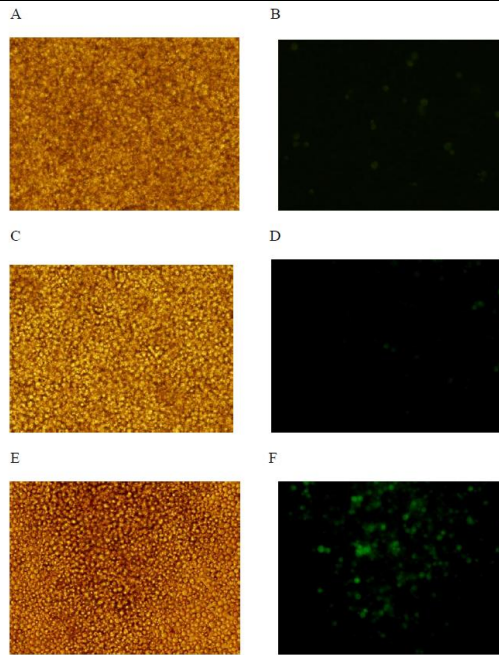


圖 1 綠螢光來確認 pYES all-in-one 的建構可表達報導基因

圖一為酵母菌以 10^{-2} g/L 17β -estradiol 處理後的情況。濾鏡 505nm, 曝光 1/3.5 秒。圖一 A 是酵母菌系統控制組(w/o reporter genes)於 Galactose-medium 及 17β -estradiol 處理後之光學顯微鏡放大 400 倍，圖一 B 是圖一 A 螢光顯微鏡放大 400 倍。圖一 C 是酵母菌系統(pYES all-in-one) 於 Glucose-medium 處理後之光學顯微鏡放大 400 倍，圖一 D 是圖一 C 螢光顯微鏡放大 400 倍。圖一 E 是酵母菌系統(pYES all-in-one) 於 Galactose-medium 及 17β -estradiol 處理後之光學顯微鏡放大 400 倍，圖一 F 是圖一 E 螢光顯微鏡放大 400 倍。

(二) 酵母菌系統對環境荷爾蒙的檢測結果

以螢光偵測， 17β -estradiol 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-7} ~ 10^{-9} g/l，線性為 $R^2=0.98$ ；Estrone 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-7} ~ 10^{-9} g/l，線性為 $R^2=0.93$ ；BPA 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-2} ~ 10^{-6} g/l，線性為 $R^2=0.94$ ；Genistein 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-2} ~ 10^{-5} g/l，線性為 $R^2=0.88$ ；p'p'-DDE 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-3} ~ 10^{-6} g/l，線性為 $R^2=0.99$ 。

以 β -galactosidase 來偵測， 17β -estradiol 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-2} ~ 10^{-7} g/l，線性為 $R^2=0.98$ ；BPA 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-2} ~ 10^{-4} g/l，線性為 $R^2=0.99$ ；p'p'-DDE 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-2} ~ 10^{-4} g/l，線性為 $R^2=0.81$ ；Estrone 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-2} ~ 10^{-6} g/l，線性為 $R^2=0.99$ ；Genistein 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 10^{-2} ~ 10^{-4} g/l，線性為 $R^2=0.99$ 。

(三) EC, IC 及 TEQ

計算 bisphenol-A、p'p'-DDE、Estrone、 17β estradiol 及 genistein 等五種環境荷爾蒙的 EC、TEQ 及 IC，如表 1。發現這五種環境荷爾蒙之濃度達 4~10g/L 時對酵母菌都還無毒性，所以 IC20 及 IC50 均無法測出，這與文獻報導符合(Sanseverino et al. 2009)。TEQ 必須跟標準品比較，而本計劃之環境荷爾蒙均標準品，經文獻查證，將 17β estradiol 當標準品與其他環境荷爾蒙相比，故於表 3 之 17β estradiol 之 TEQ 為 1(g/L)，其他環境荷爾蒙之 TEQ 是與 17β estradiol 相比。對 17β estradiol 的測試， β -Galactosidase 活性偵測的 EC20 為 6.3×10^{-11} (g/L)，EC50 為 1.4×10^{-9} (g/L)，螢光偵測的 EC20 為 8.3×10^{-11} (g/L)，EC50 為 2.1×10^{-10} (g/L)。對 BPA 的測試， β -Galactosidase 活性偵測的 EC20 為 1.7×10^{-9} (g/L)，EC50 為 5.7×10^{-8} (g/L)，TEQ20 為 3.7×10^{-2} (g/L)，TEQ50 為 0.24×10^{-1} (g/L)；螢光偵測的 EC20 為 7.2×10^{-11} (g/L)，EC50 為 1.15×10^{-10} (g/L)，TEQ20 為 1.16(g/L)，TEQ50 為 1.82(g/L)。對 Estrone 的測試， β -Galactosidase 活性偵測的 EC20 為 1.4×10^{-9} (g/L)，EC50 為 1.2×10^{-7} (g/L)，TEQ20 為 4.5×10^{-2} (g/L)，TEQ50 為 1.2×10^{-2} (g/L)；螢光

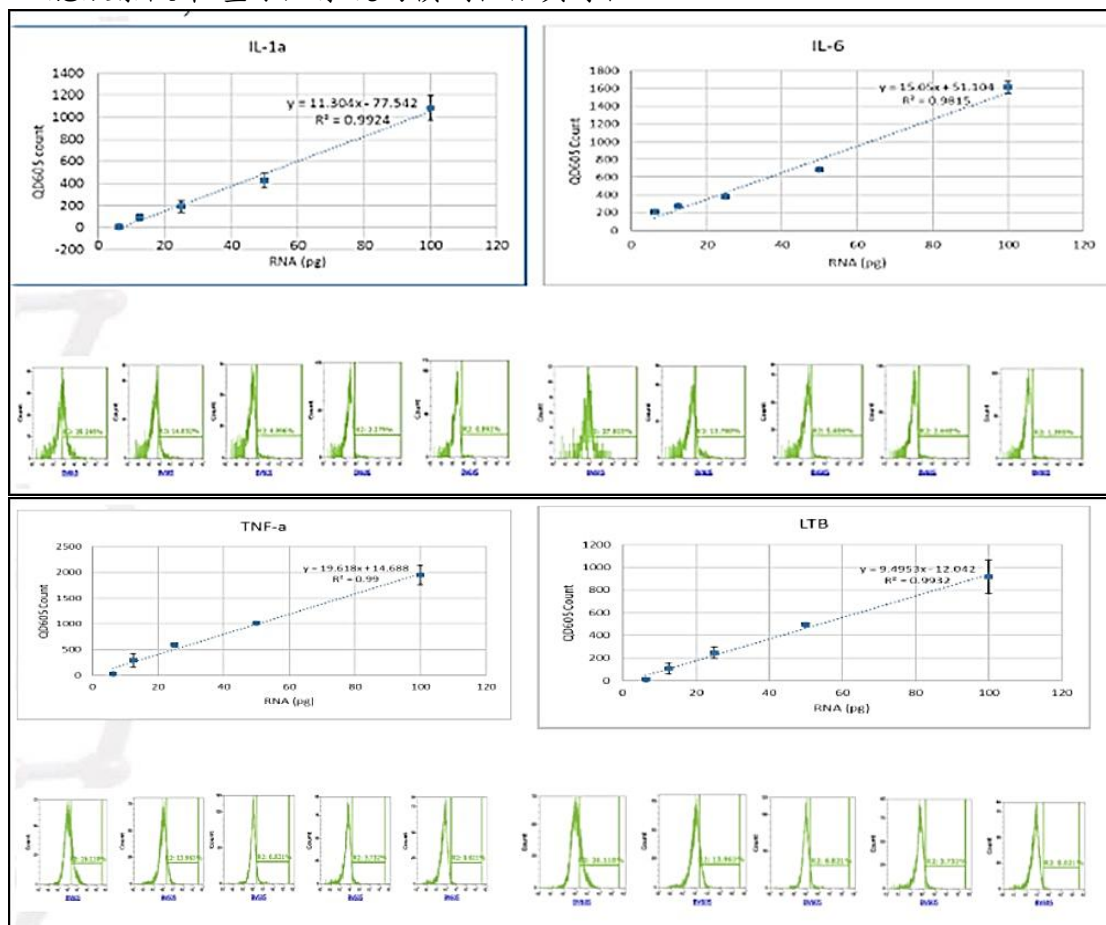
偵測的 EC₂₀ 為 6.7×10^{-10} (g/L), EC₅₀ 為 9.8×10^{-9} (g/L), TEQ₂₀ 為 1.2×10^{-1} (g/L), TEQ₅₀ 為 0.21×10^{-1} (g/L)。對 Genistein 的測試, β -Galactosidase 活性偵測的 EC₂₀ 為 8.8×10^{-8} (g/L), EC₅₀ 為 1.9×10^{-7} (g/L), TEQ₂₀ 為 0.7×10^{-3} (g/L), TEQ₅₀ 為 0.7×10^{-2} (g/L); 螢光偵測的 EC₂₀ 為 6.4×10^{-9} (g/L), EC₅₀ 為 8.2×10^{-8} (g/L), TEQ₂₀ 為 1.3×10^{-2} (g/L), TEQ₅₀ 為 0.26×10^{-2} (g/L)。對 *p,p'*-DDE 的測試, β -Galactosidase 活性偵測的 EC₂₀ 為 8.0×10^{-8} (g/L), EC₅₀ 為 1.5×10^{-6} (g/L), TEQ₂₀ 為 0.79×10^{-3} (g/L), TEQ₅₀ 為 0.93×10^{-3} (g/L); 螢光偵測的 EC₂₀ 為 5.0×10^{-8} (g/L), EC₅₀ 為 9.3×10^{-8} (g/L), TEQ₂₀ 為 1.66×10^{-3} (g/L), TEQ₅₀ 為 0.22×10^{-2} (g/L)。

表三 bisphenol-A、*p,p'*-DDE、Estrone、17 β estradiol 及 genistein 於酵母菌系統的 EC,TEQ 及偵測極限

		Detection limit	EC ₂₀	EC ₅₀	TEQ ₂₀	TEQ ₅₀	IC ₂₀
17 β estradiol (g/L)	LacZ	5×10^{-12}	6.3×10^{-11}	1.4×10^{-9}	1	1	n. d.
	EGFP	5×10^{-11}	8.3×10^{-11}	2.1×10^{-10}	1	1	n. d.
BPA(g/L)	LacZ	5×10^{-10}	1.7×10^{-9}	5.7×10^{-8}	3.7×10^{-2}	0.24×10^{-1}	n. d.
	EGFP	5×10^{-12}	7.2×10^{-11}	1.15×10^{-10}	1.16	1.82	n. d.
Estrone (g/L)	LacZ	1×10^{-10}	1.4×10^{-9}	1.2×10^{-7}	4.5×10^{-2}	1.2×10^{-2}	n. d.
	EGFP	1×10^{-10}	6.7×10^{-10}	9.8×10^{-9}	1.2×10^{-1}	0.21×10^{-1}	n. d.
Genistein (g/L)	LacZ	1×10^{-9}	8.8×10^{-8}	1.9×10^{-7}	0.72×10^{-3}	0.74×10^{-2}	n. d.
	EGFP	1×10^{-9}	6.4×10^{-9}	8.2×10^{-8}	1.3×10^{-2}	0.26×10^{-2}	n. d.
<i>p,p'</i> -DDE (g/L)	LacZ	1×10^{-8}	8×10^{-8}	1.5×10^{-6}	0.79×10^{-3}	0.93×10^{-3}	n. d.
	EGFP	1×10^{-8}	5×10^{-8}	9.3×10^{-8}	1.66×10^{-3}	0.22×10^{-2}	n. d.

n.d.: non detected

(四) 細胞激素微珠-量子點系統的偵測極限與線性



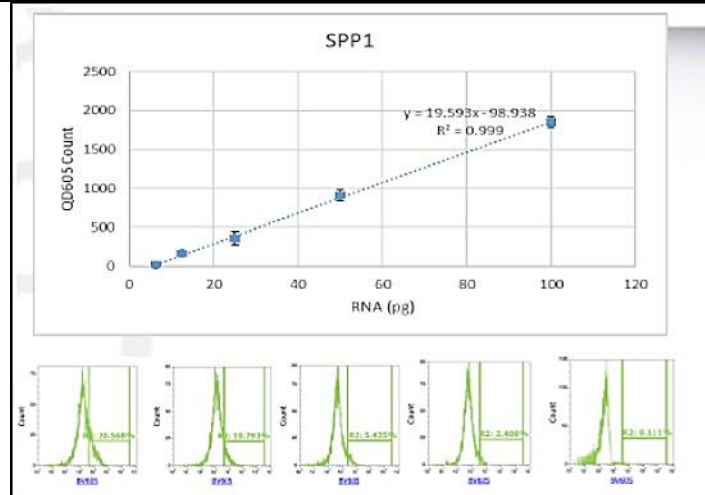
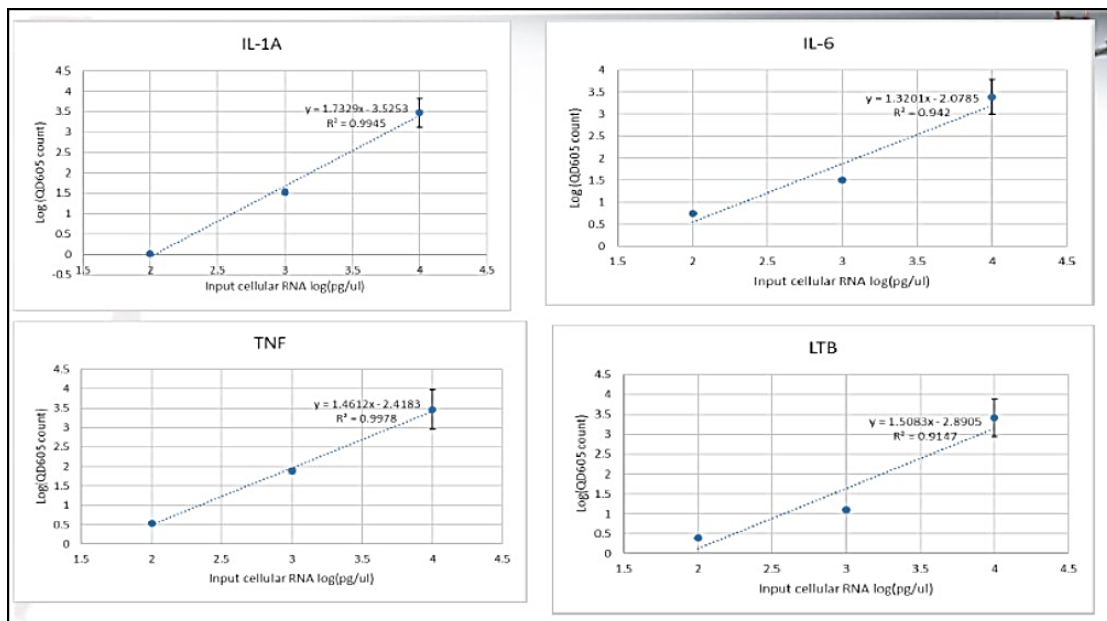


圖 3 五種細胞激素之 CONTROL RNA 之微珠-量子點檢測之流式細胞儀的結果

微珠-量子點系統對 IL-1 α 的偵測極限為 6.25pg，線性 $R^2=0.992$ ；微珠-量子點系統對 IL-6 的偵測極限為 6.25pg，線性 $R^2=0.982$ ；微珠-量子點系統對 TNF- α 的偵測極限為 6.25pg，線性 $R^2=0.990$ ；微珠-量子點系統對 LT- β 的偵測極限為 6.25pg，線性 $R^2=0.993$ ；微珠-量子點系統對 SPP1 的偵測極限為 6.25pg，線性 $R^2=0.999$ 。

(五) 藥物處理 A549 細胞後，細胞 total RNA 經細胞激素微珠-量子點系統檢測



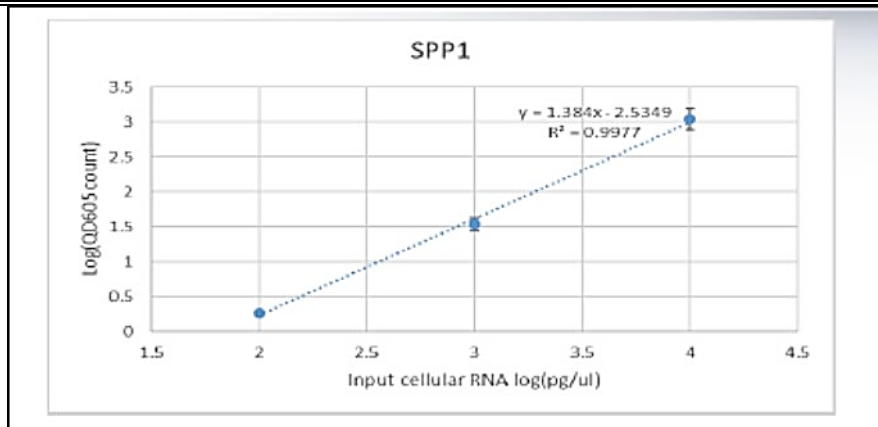


圖 4 細胞 total RNA 經細胞激素微珠-量子點系統檢測

以 silica 處理 A549 細胞後，細胞產生 IL1- α 的線性達 $R^2=0.995$ ；以 LPS 處理 A549 細胞後，細胞產生 IL6 的線性達 $R^2=0.942$ ；以 nitrotyrene 處理 A549 細胞後，細胞產生 TNF- α 的線性達 $R^2=0.998$ ；以 silica 處理 A549 細胞後，細胞產生 LT- β 的線性達 $R^2=0.915$ ；以 Gatifloxacin 處理 A549 細胞後，細胞產生 SPP1 的線性達 $R^2=0.998$ 。

經過計算，IL-1 α Cellular RNA 於細胞激素微珠-量子點系統之 Sensitivity >100pg/ul；IL-6 Cellular RNA 於細胞激素微珠-量子點系統之 Sensitivity >40pg/ul；TNF- α Cellular RNA 於細胞激素微珠-量子點系統之 Sensitivity >45pg/ul；SPP1 Cellular RNA 於細胞激素微珠-量子點系統之 Sensitivity >70pg/ul；LT- β Cellular RNA 於細胞激素微珠-量子點系統之 Sensitivity >85pg/ul。

四、結論

- (一) 針對酵母菌雙表現質體之建構，完成質體 pYES all-in-one 質體之建構，pYES all-in-one: 為 hER- α expression plasmid, 表達受 GAL1 promoter 調控。質體 pYES all-in-one 為雙報導基因的質體，此質體含有 BGFP (green fluorescent protein) 與 β -galactosidase 之雙報導基因，且受 estrogen responsive elements 的調控。
- (二) 以螢光偵測，17 β -estradiol 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ g/l，線性為 $R^2=0.98$ ；Estrone 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-7} \sim 10^{-9}$ g/l，線性為 $R^2=0.93$ ；BPA 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-2} \sim 10^{-6}$ g/l，線性為 $R^2=0.94$ ；Genistein 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-2} \sim 10^{-5}$ g/l，線性為 $R^2=0.88$ ；p'p'-DDE 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ g/l，線性為 $R^2=0.99$ 。
- (三) 以 β -galactosidase 來偵測，17 β -estradiol 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-2} \sim 10^{-7}$ g/l，線性為 $R^2=0.98$ ；BPA 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ g/l，線性為 $R^2=0.99$ ；p'p'-DDE 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ g/l，線性為 $R^2=0.81$ ；Estrone 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-2} \sim 10^{-6}$ g/l，線性為 $R^2=0.99$ ；Genistein 於酵母菌系統中最佳線性範圍為 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ g/l，線性為 $R^2=0.99$ 。
- (四) 酵母菌雙表現質體之建構已順利完成，酵母菌篩選之 IC、EC、TEQ 等評估均已完成。
- (五) 針對五種細胞激素之微珠-量子點系統之建構已完成，且針對五種細胞激素完成 control RNA 的線性評估。對 IL-1 α 、IL-6、LT- β 、TNF- α 與 SPP1 的偵測極限為 6.25pg，線性可達 $R^2=0.99$ 。五種細胞激素之微珠-量子點系統之專一性達 96% 以上。
- (六) 實驗發現細胞激素之微珠-量子點系統不適用於未純化的 RNA 檢體。
- (七) 以藥物刺激 A549 細胞來產生細胞激素，並以微珠-量子點系統評估。silica 處理 A549 細胞後，細胞產生 IL1- α 後，系統偵測線性達 $R^2=0.99$ ；以 LPS 處理 A549 細胞後，細胞產生 IL6 後，系統偵測線性達 $R^2=0.94$ ；以 nitrotyrene 處理 A549 細胞後，細胞產生 TNF- α 後，系統偵測線性達 $R^2=0.99$ ；以 silica 處理 A549 細胞後，細胞產生 LT- β 後，系統偵測線性達 $R^2=0.92$ ；以 Gatifloxacin 處理 A549 細胞後，細胞產生 SPP1 後，系統偵測線性達 $R^2=0.99$ 。靈敏度高，可達至少 10^{-10} g (total RNA)，無偽陰性。

- (八) 不同濃度之 silica 刺激 A549 細胞後以 QPCR 及微珠-量子點系統來檢測 IL-1 α ，檢測結果的相關性達 R=0.71；以 LPS 處理 A549 細胞後，以 QPCR 及微珠-量子點系統來檢測 IL-6，檢測結果的相關性達 R=0.99；以 nitrotyrene 處理 A549 細胞後，以 QPCR 及微珠-量子點系統來檢測 TNF- α ，檢測結果的相關性達 R=0.98；不同濃度之 silica 刺激 A549 細胞後以 QPCR 及微珠-量子點系統來檢測 LT- β ，檢測結果的相關性達 R=0.99；以 Gatofloxacin 處理 A549 細胞後，細胞以 QPCR 及微珠-量子點系統來檢測 SPP1，檢測結果的相關性達 R=0.33。

參考文獻

- [1] Beaune, G., Tamang, S., Bernardin, A., Bayle-Guillemaud, P., Fenel, D., Schoehn, G., Vinet, F., Reiss, P., and Texier, I., "Luminescence of polyethylene glycol coated CdSeTe/ZnS and InP/ZnS nanoparticles in the presence of copper cations." *Chemphyschem* : a European journal of chemical physics and physical chemistry, 12, 2247-2254 (2011).
- [2] Campbell, C.G., Borglin, S.E., Green, F.B., Grayson, A., Wozel, E., and Stringfellow, W.T., "Biologically directed environmental monitoring, fate, and transport of estrogenic endocrine disrupting compounds in water: A review." *Chemosphere*, 65, 1265-1280 (2006).
- [3] Chang, H.S., Choo, K.H., Lee, B., and Choi, S.J., "The methods of identification, analysis, and removal of endocrine disrupting compounds (EDCs) in water." *Journal of hazardous materials*, 172, 1-12 (2009).
- [4] Chu, W.L., Shiizaki, K., Kawanishi, M., Kondo, M., and Yagi, T., "Validation of a new yeast-based reporter assay consisting of human estrogen receptors alpha/beta and coactivator SRC-1: application for detection of estrogenic activity in environmental samples." *Environmental toxicology*, 24, 513-521 (2009).
- [5] Dai, W., Yang, C., Luo, F., Li, S., Huang, R., Xie, Y., Xue, F., and Li, X., "Establishment of recombinant Lac Z reporter gene-transformed yeast cells for bioassay of androgen-like compounds in environment." *Xi bao yu fen zi mian yi xue za zhi Chinese journal of cellular and molecular immunology*, 29, 303-309 (2013).
- [6] Graham, J.D., and Clarke, C.L., "Physiological action of progesterone in target tissues." *Endocrine reviews*, 18, 502-519 (1997).
- [7] Gross-Sorokin, M.Y., Roast, S.D., and Brighty, G.C., "Assessment of feminization of male fish in English rivers by the Environment Agency of England and Wales." *Environmental health perspectives*, 114 Suppl 1, 147-151 (2006).
- [8] Heisterkamp, I., Gandrass, J., and Ruck, W., "Bioassay-directed chemical analysis utilizing LC-MS: a tool for identifying estrogenic compounds in water samples?" *Analytical and bioanalytical chemistry*, 378, 709-715 (2004).
- [9] Jo, M., Ahn, J.Y., Lee, J., Lee, S., Hong, S.W., Yoo, J.W., Kang, J., Dua, P., Lee, D.K., Hong, S., *et al.*, "Development of single-stranded DNA aptamers for specific Bisphenol a detection." *Oligonucleotides*, 21, 85-91 (2011).
- [10] Sacher, F., Lange, F.T., Brauch, H.J., and Blankenhorn, I., "Pharmaceuticals in groundwaters analytical methods and results of a monitoring program in Baden-Wurttemberg, Germany." *Journal of chromatography A*, 938, 199-210 (2001).
- [11] Sanseverino, J., Eldridge, M.L., Layton, A.C., Easter, J.P., Yarbrough, J., Schultz, T.W., Sayler, G.S., "Screening of potentially hormonally active chemicals using bioluminescent yeast bioreporters." *Toxicological sciences*, 107, 122-134 (2009).
- [12] Soto, A.M., Sonnenschein, C., Chung, K.L., Fernandez, M.F., Olea, N., and Serrano, F.O., "The E-SCREEN assay as a tool to identify estrogens: an update on estrogenic environmental pollutants." *Environmental health perspectives*, 103 Suppl 7, 113-122 (1995).
- [13] Wu, T.Y., Su, Y.Y., Shu, W.H., Mercado, A.T., Wang, S.K., Hsu, L.Y., Tsai, Y.F., and Chen, C.Y. "A novel sensitive pathogen detection system based on Microbead Quantum Dot System." *Biosensors & bioelectronics* 78, 37-44. (2016).

高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識(4/4)－毒性鑑定評估指引

凌永健 曾新華 顏嘉良 游哲維 蔡昀軒 劉文晟
國立清華大學化學系

摘要

本研究利用建立之毒性鑑定評估程序對實際放流水（或添加方式）進行處理，並配合化學及生物毒性分析上述水樣，雙向評估鑑定毒化物，結果可有效鑑定竹科高科技廠水樣之毒性效應及成因，證實毒性鑑定評估程序具有運用於水體毒性成因鑑定及評估的潛力。另外確認建立評估細菌螢光法草案，可有效進行放流水體之毒性初篩試驗。後續依據 4 年計畫執行經驗，建議：(1)對淡（海）水中之污染物，至少要使用對污染物靈敏度有所差異之兩種測試生物進行試驗；(2)研發結合 TIE 程序和 EDA 方法，進行工業廢水急、慢毒性的鑑定評估；(3)生物毒性測定方法應與 21 世紀的國家毒理學計畫願景同步，將體內活體動物研究轉移到體外測定、用底層生物體進行體內測定，以計算模型評估毒性；(4)針對廢水研發基於環境化學和生態毒理學的新策略，以評估常規和高級處理過的廢水的總體質量；(5)研發適用於國內的「底泥生物毒性鑑定評估方法」，協助水體污染總量管制政策的推動和精進。最後提出 3 項前瞻性研究建議：(1)研發自動化和智慧化的生物毒性方法，包括急毒性和慢毒性，以提升效能和數據品質；(2)研發生物化學和細胞基礎的高通量快篩測試方法及建置相關核心技術；(3)研發計算毒理技術及建置相關軟體設備，朝向預測和預防毒理學目標邁進。

關鍵字：生物效應、毒性鑑定評估、高科技產業、費氏弧菌

一、前言

高科技及石油化學產業放流水對於水體環境污染影響，日益受到社會關注，故有必要調查放流水總毒性(Whole Effluent Toxicity, WET)，參考美國環保署發展之「TIE」作業準則[1,2,3]，將水質特性視做一整體單元，找出放流水之毒化物，建立高科技產業放流水中污染物之生物毒性鑑定評估程序，並以其作為爾後毒性減量評估(Toxicity Reduction and Evaluation, TRE)工作之依據。

環境污染對水體生物的影響，若僅針對規範化合物進行檢測，難免會有無法掌握其它可能存在污染物對環境影響之疏漏，因此實際反應放流水之生物效應的檢測方法愈發重要。國內工廠及污水處理廠之排放水，直接被排放至河川水體，最終進入海水環境體系，造成水域區域或地區性環境污染，可能引起之健康危害與生態風險，經由生物累積擴大，進而影響至整體水體生態環境。

有鑑於此，環保署環檢所於 2013 年開始藉助生物毒性檢測方法之研究，發展監測各類環境水質中污染物之生物效應評估方法。2013 年之「高科技產業放流水中生物毒性成因之探討(1/4)」專案研究計畫[1]，目標物為重金屬，完成目標包括：(1)建立魚類胚胎慢毒性檢測方法。(2)建立高科技產業放流水生物毒性鑑定程序。(3)建立適用於海水水質之生物急毒性檢測方法。2014 年之「高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識(2/4)-有機污染物」專案研究計畫[1]，目標包括：(1)建立高科技產業放流水具有機污染物之生物毒性鑑定評估程序。(2)評估以青鱗魚執行淡水及海水水質生物急毒性之可行性。(3)評估以無脊椎生物檢測海水水質生物急毒性之可行性。2015 年之「高科技產業放流水中生物效應評估及鑑識(3/4)-氧化物、高濁度、高酸鹼物質鑑定評估程序」專案研究計畫[1]，目標包括：(1)建立高科技產業放流水含氧化物、高濁度及高酸鹼物質之生物毒性鑑定評估程序。(2)以本計畫建立之毒性鑑定程序，完成 6 件以上含氧化物、高濁度及高酸鹼物質污染物放流水（可採添加使具生物毒性）之毒性鑑定評估。(3)整合本計畫建立之毒性鑑定程序與環保署環境檢驗所 102 年度「高科技產業放流水中生物毒性成因之探討(1/4)」及 103 年度「高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識(2/4)-有機污染物」專案研究計畫成果，執行具生物急毒性水樣之毒性鑑定評估（採樣點由環檢所指定）。2016 年度之「高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識(4/4)-毒性鑑定評估指引」專案研究計畫[1]，目標包括：(1)蒐集並彙整毒性鑑定評估程序相關文獻資料，並區分不同類型污染物之毒性鑑識評估程序。(2)蒐集以細菌螢光法執行生物急毒性檢測相關文獻資料，並評估應用於放流水檢測之可行性，最後依據試驗結果建立細菌螢光法檢測方法草案。(3)以「高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識」計畫成果之高科技產業放流水生物毒性鑑定評估指引，共執行 6 件以上具不同類型污染物放流水（可採添加使具

生物毒性)之生物毒性鑑識試驗,試驗生物為脊椎生物(羅漢魚)、無脊椎生物(*Daphnia magna* 水蚤)及細菌(費氏弧菌, *Vibrio fischeri*)。藉由執行實測,以驗證 TIE 程序之可行性。(4)綜整文獻資料及「高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識」計畫成果,完成高科技產業放流水生物毒性鑑定評估指引及細菌螢光法檢測方法草案。

二、研究方法

第一部分為蒐集並彙整毒性鑑定評估程序相關文獻資料,並區分不同類型污染物之毒性鑑識評估程序。建立生物毒性鑑定評估程序,參考美國 TIE 程序(圖 1),評估國內高科技產業放流水中污染物之毒性,建立適合國內放流水之生物毒性鑑定程序,並以羅漢魚(脊椎生物)[1]及水蚤(無脊椎生物)[1]為試驗生物,評估具生物毒性之放流水,其毒性成因。

第二部分為蒐集以細菌螢光法執行生物急毒性檢測相關文獻資料,並評估應用於放流水檢測之可行性,首先蒐集以細菌螢光法執行生物急毒性檢測相關文獻資料,後續選定參考毒物,並執行 5 次參考毒物試驗,驗證可行性,最後依據試驗結果建立細菌螢光法檢測方法草案。

第三部分以「高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識」計畫成果之高科技產業放流水生物毒性鑑定評估指引,共執行 6 件以上具不同類型污染物放流水(可採添加使具生物毒性)之生物毒性鑑識試驗,試驗生物為脊椎生物(羅漢魚)、無脊椎生物(*Daphnia magna* 水蚤)及細菌(費氏弧菌, *Vibrio fischeri*)。藉由執行實測,以驗證 TIE 程序之可行性。

第四部分綜整文獻資料及「高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識」計畫成果,以及細菌螢光法檢測方法草案,規劃高科技產業放流水生物毒性鑑定評估指引架構。確認毒性鑑定評估指引及細菌螢光法草案,可有效進行放流水體之毒性初篩試驗,表明其運用於水體毒性成因初篩的潛力。

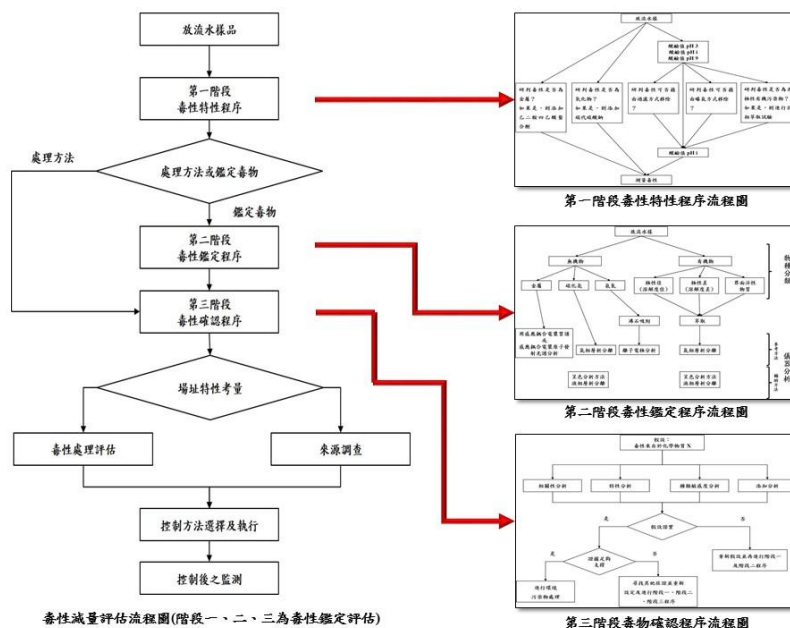


圖 1 毒性鑑定評估流程

三、結果與討論

研究結果區分四大部分,首先蒐集國內外有關毒性鑑定評估程序之文獻資料,並將文獻資料區分為 TIE 與重金屬污染物放流水相關文獻研究、與有機污染物放流水相關文獻研究、與氧化物(NaClO 、 H_2O_2)、高濁度(SiO_2 、 CaF_2)及高酸鹼物質(HCl 、 NaOH)相關文獻研究及應用案例相關文獻研究等類別,從文獻內容及案例,瞭解高科技產業放流水體之水樣背景值,並尋找各種物化處理步驟去除水體中之毒性成因,降低對環境之傷害,後續藉以作為毒性鑑定評估指引架構規劃之參考。

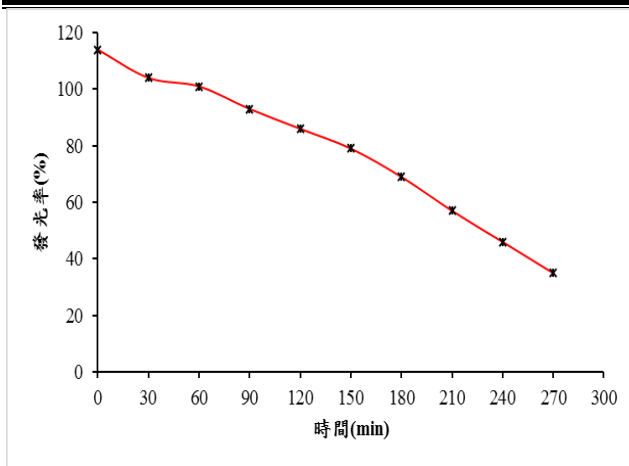
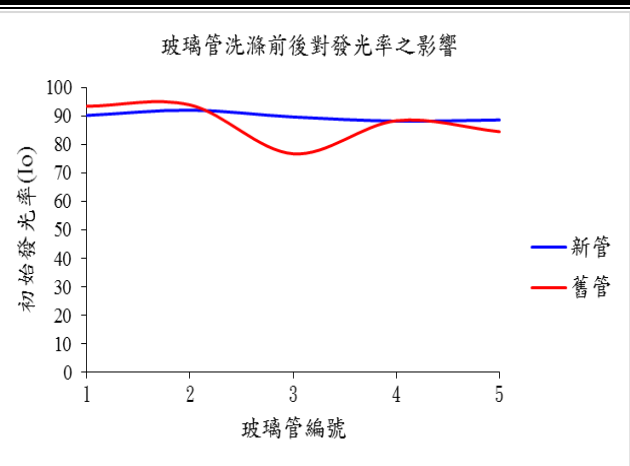
其二針對細菌螢光法執行生物急毒性檢測相關文獻資料進行蒐集[1,2,3],並評估應用於放流水檢

測之可行性。選定酚及硫酸鋅作為標準溶液，檢測次數共計 5 次，酚測得之 $EC_{50,5min}$ 平均值為 16.06 mg/L，所得之結果數據符合參考法規訂定之 $EC_{50,5min}$ 正常值為 13~26 mg/L 範圍內，且變異係數(CV)值為 21%，硫酸鋅經進行 5 次試驗後，測得之 $EC_{50,15min}$ 平均值為 5.28 mg/L，所得之結果數據符合參考法規訂定之 $EC_{50,15min}$ 正常值為 5~12 mg/L 範圍內，且變異係數值為 34.52% (表 1)。實驗結果清楚發現，細菌螢光法測試，會受有機物及重金屬等 2 種不同類型污染物而有毒性影響時間差別。

表 1 酚及硫酸鋅對 *Vibrio fischeri* 毒物試驗結果

參考毒物		Phenol (100 mg/L)		ZnSO ₄ (100 mg/L)	
時間(min)		5	15	5	15
檢測次數	1 (EC_{50} %)	21.12	56.50	56.50	4.45
	2 (EC_{50} %)	15.84	35.64	35.64	3.91
	3 (EC_{50} %)	17.32	51.52	51.52	6.16
	4 (EC_{50} %)	13.19	27.92	27.92	3.81
	5 (EC_{50} %)	13.00	47.60	47.60	8.07
平均值 $\bar{x}$ (EC_{50} %)		16.06	17.86	43.84	5.28
濃度換算(mg/L)		16.06	17.86	43.84	5.28
標準差 σ		3.39	4.56	11.77	1.82
變異係數 CV (%)		21	25	26.85	34.52

另外考量參考方法提及 *Vibrio fischeri* 活化後必須於 3 至 4 小時內完成檢測分析，否則檢測的準確率會降低，因此計畫中也針對此現象做一探討，實驗結果證實 *Vibrio fischeri* 之發光率確實會隨著時間增長而下降 (圖 2)，因此須注意 *Vibrio fischeri* 活化後之檢測時間。為探討玻璃管重複使用對 *Vibrio fischeri* 發光率之影響，因此進行試驗。將試驗玻璃管區分為全新及再次清洗 (重複使用之玻璃管採用中性清潔劑清洗) 等 2 組，並同樣進行十二烷基硫酸鈉(Sodium dodecyl sulfate, SDS)化學品毒性試驗，試驗時間區分為 5、15 及 30 分鐘，並分別進行 3 次重複試驗，結果發現 2 組差異性甚微，但如因洗滌次數增多、清潔劑殘留污染或因磨擦產生玻璃管表面損傷等因素，也可能對檢測結果產生影響 (圖 3)。滲透調節液 (高濃度平衡液, MOAS)、活化液及稀釋液等 3 種液體，主要由氯化鈉及殺菌後無污染之水體製成，各自具有 22%、0.01% 及 2% 之鹽度，分別用來活化 *Vibrio fischeri*，並做為後續調節稀釋時使用。所以為探討自製之 3 種液體是否會對實驗過程中的 *Vibrio fischeri* 產生發光率影響，而進行實驗室製備。我們於實驗室中利用氯化鈉及去氯、殺菌之水體進行製備此 3 種液體，製備完成後即刻密封冷藏，避免受到污染而影響 *Vibrio fischeri* 發光率。經由酚參考毒物試驗比對商購及自製之差異性，結果顯示仍具有差異度存在，研判自製過程之手法、器材等物品可能造成影響存在。因此，考量實驗數據之精準度，建議採用商購為主。最後針對參考毒性試驗及相關材料變數探討後，建立草案。方法概要係以 *Vibrio fischeri* 懸浮液暴露在待測樣品或經稀釋樣品中，測定其放射光的抑制度，計算在暴露前後放射光強度減少的程度。測試生物毒性分析使用之毒性指標為 EC_{50} (半數有效濃度 Effective Concentration 50%)。範圍適用於地面水體、地下水體、放流水、廢水、污水及以水稀釋的單一物質之生物急毒性檢測。另外參考 102-104 年計畫執行結果，先行選定重金屬、有機污染物進行 *Vibrio fischeri* 毒性評估試驗，藉以瞭解毒性強弱影響。在重金屬方面，選定硫酸銅及硫酸鋅進行 3 次毒物試驗，其 5 分鐘 EC_{50} 之值分別為 17.77 mg/L 及 47.89 mg/L，15 分鐘 EC_{50} 之值分別為 6.45 mg/L 及 4.84 mg/L。在有機污染物方面，選定 4 氯酚 (4-Chlorophenol, 4-CP) 及十二烷基硫酸鈉(Sodium dodecyl sulfate, SDS)進行 3 次毒物試驗，其 5 分鐘 EC_{50} 之值分別為 0.64 mg/L 及 1.81 mg/L，15 分鐘 EC_{50} 之值分別為 0.72 mg/L 及 1.00 mg/L。

圖 2 *Vibrio fischeri* 之發光率隨時間變化圖 3 玻璃管重複使用對 *Vibrio fischeri* 發光率影響

第三部份則以脊椎生物（羅漢魚）、無脊椎生物（*Daphnia magna* 水蚤）及細菌為試驗生物，共執行 6 件以上具不同類型污染物放流水（可採添加使具生物毒性）之生物毒性鑑識。首先選定新竹科學園區 6 家高科技工廠進行採樣（圖 4 至圖 9），採樣依事業放流水採樣方法(NIEA W109)[1]執行，並記錄現場執行檢測情形（包括水溫、pH、溶氧、導電度等），裝運回試驗室後，依據生物急毒性檢測方法—水蚤靜水式法(NIEA B901)、羅漢魚靜水式法(NIEA B902) 及費氏弧菌(*Vibrio fischeri*)測試法，立即實施生物急毒性檢測，採集之水樣經初始毒性試驗後，確認對水蚤、羅漢魚及費氏弧菌會產毒性現象，則進行第一階段毒性特性試驗程序，藉由 pH 值調節、過濾、C18 固相萃取、曝氣試驗、氧化還原試驗、沸石吸附試驗及 EDTA 螯合試驗等物化處理步驟，並配合化學分析，尋找出可能之毒化物質，此 6 點經生物測試結果：S1 水樣對 *D. magna* 水蚤、羅漢魚之 LC_{50} 值及費氏弧菌之 EC_{50} 值分別為 1.22 %、18.18 %及 14.11 %；S2 水樣對 *D. magna* 水蚤、羅漢魚及費氏弧菌，則不具有毒性效應存在；S3 水樣對 *D. magna* 水蚤、羅漢魚之 LC_{50} 值及費氏弧菌之 EC_{50} 值分別為 2.41 %、13.42 %及 37.54 %；S4 水樣對 *D. magna* 水蚤、羅漢魚之 LC_{50} 值分別為 32.39 %、75.33 %，對費氏弧菌則不具毒性效應；S5 水樣對 *D. magna* 水蚤之 LC_{50} 值為 56.70 %，對羅漢魚及費氏弧菌則不具毒性效應；S6 水樣對 *D. magna* 水蚤之 LC_{50} 值為 43.16 %，對羅漢魚及費氏弧菌則不具毒性效應。上述水樣透過毒性鑑定評估指引進行毒性成因鑑定，結果發現 S1 水樣之毒性因子為氧化物（過氧化氫）、S3 水樣之毒性因子為氧化物（過氧化氫）及金屬（銅離子）、S4 水樣之毒性因子為金屬（銅離子）、S5 水樣之毒性因子為氧化物（次氯酸鈉）及 S6 水樣之毒性因子為氨氮。經由實際採樣驗證規劃之毒性評估指引確實可以鑑定出水體中之毒性成因（表 2）。



圖 4 新竹科學園區 S1 採樣點



圖 5 新竹科學園區 S2 採樣點



圖 6 新竹科學園區 S3 採樣點



圖 7 新竹科學園區 S4 採樣點



圖 8 新竹科學園區 S5 採樣點



圖 9 新竹科學園區 S6 採樣點

表 2 新竹科學園區 6 家高科技工廠採集水樣對水蚤、羅漢魚及費氏弧菌之檢測情形

測試物種	毒性區分	編號					
		S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6
<i>D. magna</i> 水蚤	48 h-LC ₅₀ (%)	1.22 (1.05 - 1.47)	>100	2.41 (1.97-2.98)	32.39 (28.64-36.62)	56.70 (48.51-64.73)	43.16 (36.67-48.73)
	TUa	81.97	<1	41.49	3.09	1.76	2.32
羅漢魚	96 h-LC ₅₀ (%)	18.18 (14.18 - 23.02)	>100	13.42 (10.55-17.03)	75.33 (69.40- 81.15)	>100	>100
	TUa	5.50	<1	7.45	1.33	<1	<1
費氏弧菌	EC ₅₀ (%)	14.11 (10.78 - 18.47)	>100	37.54 (17.89 - 78.78)	>100	>100	>100
	TUa	7.09	<1	2.66	<1	<1	<1
毒性鑑定成因		氧化物 (過氧化氫)	無	氧化物 (過氧化氫) 金屬 (銅離子)	金屬 (銅離子)	氧化物 (次氯酸鈉)	氨氮

第四部份則依據經驗及驗證數據後，撰寫高科技產業放流水生物毒性鑑定評估指引，內容規劃計有：簡介、目的、適用範圍、設備與需求、採樣與保存、水生生物毒性測試、第一階段毒性特性程序、第二階段毒性鑑定程序、化學分析、第三階段毒性確認程序、品質管制、實務案例、參考資料。細菌螢光法檢測方法草案章節計有：方法概要、適用範圍、干擾、設備及材料、試劑、採樣與保存、步驟、結果處理、品質管制、精密度與準確度、參考文獻。

最後則統整四年計畫之成果及歷年採樣點毒性鑑定成因如下：

- (一) 高科技產業放流水中生物毒性成因之探討(1/4)計畫成果（102 年）
 - 1.建立重金屬放流水之毒性鑑定評估程序。
 - 2.建立生物急毒性檢測方法—斑馬魚胚胎半靜水式法(NIEA B90910C)。
 - 3.建立生物急毒性檢測方法—廣鹽性青鱗魚靜水式法(NIEA B908.10B)。
- (二) 高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識(2/4)—有機污染物計畫成果（103 年）
 - 1.建立有機污染物放流水之毒性鑑定評估程序。
 - 2.海水無脊椎生物急毒性檢測方法-水蚤靜水式法草案。
 - 3.評估以青鱗魚執行淡水及海水水質生物急毒性之可行性。
- (三) 高科技產業放流水中生物效應評估及鑑識(3/4)—氧化物、高濁度、高酸鹼物質鑑定評估程序（104 年）
 - 1.建立含氧化物、酸鹼及濁度污染物放流水之毒性鑑定評估程序。
 - 2.整合環保署環境檢驗所 102 及 103 年度專案研究計畫成果，綜整及修訂現有 TIE 程序。
 - 3.結合美國 TIE 與歐盟毒性效應導向分析（Effect-directed analysis, EDA）方法，成功用於實務案件。
- (四) 高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識(4/4)—毒性鑑定評估指引（105 年）
 - 1.建立高科技產業放流水毒性鑑定評估指引。
 - 2.建立水樣急毒性檢測方法—細菌冷光法草案。
 - 3.依據高科技產業放流水毒性鑑定評估指引，實際執行水樣採集及鑑定評估工作。
- (五) 歷年計畫採樣點毒性鑑定成因（表 3）

表 3 歷年採樣點毒性鑑定成因

年度	採樣點	產業類別	毒性成因
102	新竹科學園區	背光模組元件	金屬
		金屬加工業	金屬
103	觀音工業區	污水處理廠放流口	金屬、氨氮
	新竹科學園區	污水處理廠放流口	氨氮
	中壢工業區	污水處理廠放流口	無
	平鎮工業區	污水處理廠放流口	無
104	觀音工業區	污水處理廠放流口（污泥）	環境荷爾蒙（胚胎）
	後勁溪	上游三奶壇橋	氨氮
		中、下游	無
	新竹科學園區	太陽能、晶圓代工	金屬
		導線架	金屬
		LED 光機模組製造	金屬
105	新竹科學園區	積體電路代工	氧化物
		背光模組元件	無
		晶元代工	氧化物及金屬
		記憶體晶片製造	金屬
		電腦週邊及磁片製造	氧化物
		晶元代工	氨氮

四、結論與建議

本研究確認建立之毒性鑑定評估指引可適用於高科技產業放流水。利用 pH 值調節、C-18 固相萃取、曝氣、硫代硫酸鈉及 EDTA 添加步驟進行物化處理，可作為污染物毒性鑑定評估試驗最佳方式。分別以實際放流水進行毒性特性試驗及毒性確認試驗，水樣若無明顯污染物存在，則會進行污染物添加試驗，以模擬真實污染來源對生物毒性影響。利用化學分析及生物毒性分析上述水樣，雙向評估鑑定毒化物，鑑定結果可有效確認竹科高科技廠水樣 S1 的毒性來自氧化物（過氧化氫）、水樣 S2 不具有毒性影響效應、水樣 S3 則來自氧化物（過氧化氫）及金屬（銅離子）、水樣 S4 則來自金屬（銅離子）、水樣 S5 來自氧化物（次氯酸鈉）、水樣 S6 則來自氨氮。

建立評估細菌冷光法草案，以參考毒物試驗建立操作流程之品質管制，並配合高科技產業放流水樣品進行毒性鑑定及確認試驗流程，方法草案經實際驗證，可有效進行放流水體之毒性初篩試驗，表明其運用於水體毒性成因初篩的潛力。

綜合上述，本研究完成之結果，對環檢所之助益計有：(1)提供環檢所管制高科技產業放流水之詳細資訊；(2)建立高科技產業放流水毒性鑑定評估程序（包括毒性鑑定及確認試驗流程圖），表明其運用於水體毒性成因鑑定及評估的潛力；(3)整合及改善環檢所目前生物急毒性及化學分析方法運用方式；(4)提供細菌螢光檢測方法，改善及縮短水質檢測和作業之時間。

另外也依據計畫歷年實施之經驗，提出相關建議如下：

（一）年度計畫執行建議

- 1.高科技產業放流水背景值複雜且易受環境、溫度等因素而改變，因此依據檢測經驗，建議採集之水樣必須依環境樣品採集及保存作業指引(NIEA PA102)[1]、生物急毒性檢測方法—水蚤靜水式法(NIEA B901)及羅漢魚靜水式法(NIEA B902)、毒性鑑定評估指引完成檢測，才能呈現水體之真實數據及毒性成因。
- 2.採集之放流水樣如屬長期監測或已知排放工廠屬性及其水樣背景值者，執行毒性鑑定評估指引時，可選擇適當之毒性特性及鑑定步驟，可降低執行成本、時間及測試生物之使用。
- 3.費氏弧菌與水蚤及羅漢魚相較之下，具有測試生物有機體微小之優勢，有較快的反應度及檢測數據呈現，因此可做為水樣採集時之初篩機制。
- 4.利用費氏弧菌進行初篩，得知水樣毒性影響效應，若為首次被篩選之水樣，應再配合水蚤及羅漢魚生物急毒性檢測方法，進行更詳細之毒性影響測試，確認水體毒性成因和建立兩者之間的毒性關聯性。

（二）現行方法運用建議

- 1.慎選生物毒性試驗測試生物，靈敏度須有所差異。
- 2.研發結合毒性鑑定評估流程及效應導向分析方法，鑑定工業廢水生物毒性及毒物。
- 3.研發適用於國內的底泥生物毒性鑑定評估方法，協助推動水體污染總量管制政策。

（三）前瞻性研究建議

- 1.研發自動化和智慧化的生物毒性方法，包括急毒性和慢毒性，以提升效能和數據品質。
- 2.研發生物化學和細胞基礎的高通量快篩測試方法及建置相關核心技術。
- 3.研發計算毒理技術及建置相關軟體設備，朝向預測和預防毒理學目標邁進。

參考文獻

- [1]US EPA, Methods for Aquatic Toxicity Identification Evaluations: Phase I Toxicity Characterization Procedures. Second Edition. EPA-600-R-91-003,(1991)
- [2]US EPA, Methods for Aquatic Toxicity Identification Evaluations: Phase II Toxicity Identification Procedures for Samples Exhibiting Acute and Chronic Toxicity. EPA-600-R-92-080,(1993)
- [3]US EPA, Methods for Aquatic Toxicity Identification Evaluations: Phase III Toxicity Confirmation Procedures for Samples Exhibiting Acute and Chronic Toxicity. EPA-600-R-92-081,(1993)
- [4]行政院環境保護署，「高科技產業放流水中生物毒性成因之探討(1/4)專案研究計畫期末報告」，EPA-102-E3S5-02-01(2013)
- [5]行政院環境保護署，「高科技產業放流水之生物效應評估及鑑識(2/4)專案研究計畫期末報告」，EPA-103-E3S5-02-02(2014)

-
- [6]行政院環境保護署，「高科技產業放流水中生物效應評估及鑑識(3/4) 專案研究計畫期末報告」，EPA-104-E3S5-02-01(2015)
- [7]行政院環境保護署，「高科技產業放流水中生物效應評估及鑑識(4/4) 專案研究計畫期末報告」，EPA-105-E3S5-02-01(2016)
- [8]行政院環境保護署，「生物急毒性檢測方法－羅漢魚靜水式法（NIEA B902）」，第 1-20 頁(2013)
- [9]行政院環境保護署，「生物急毒性檢測方法－水蚤靜水式法（NIEA B901）」，第 1-18 頁(2013)
- [10]Bulich, AA ,“Use of Luminescent Bacteria for Determining Toxicity in Aquatic Environments.Aquatic Toxicology,”ASTM STP ,667, 98-106(1979)
- [11]U.S,“Environmental Protection Agency. Environmental Technology Verification Report,”(2003)
- [12]UNE EN ,“Water Quality - Determination Of The Inhibitory Effect Of Water Samples On The Light Emission Of Vibrio Fischeri (luminescent Bacteria Test) - Part 3: Method Using Freeze-dried Bacteria,”ISO 11348-3(2009)
- [13]行政院環境保護署，「事業放流水採樣方法(NIEA 109)」，第 1-15 頁(2009)
- [14]行政院環境保護署，「環境樣品採集及保存作業指引(NIEA PA102)」，第 1-11 頁(2005)

微萃取技術開發(4/4)-水中醫療用藥檢測方法建立

古宜加¹, 林維炤^{1*}, 葉錦芬², 鄧名志³, 官燦奎⁴

¹ 嘉南藥理大學化粧品應用與管理系、² 嘉南藥理大學醫藥化學系、

³ 行政院環境保護署環境檢驗所、⁴ 巨研科技股份有限公司

摘要

本研究評估攪拌子吸附萃取(Stir Bar Sorption Extraction, SBSE)與分散式液液微萃取(Dispersive Liquid-Liquid Microextraction, DLLME)等微萃取技術應用於水中醫療用藥。本研究包含: 氟希定(Fluoxetine)、氯非安明(Chlorpheniramine)、舍曲林(Sertraline)、甲基安非他命(Methamphetamine)、二苯安明(Diphenhydramine)、二苯環庚丙胺(Amitriptyline)、利度卡因(Lidocaine)、文拉法辛(Venlafaxine)、息達普林(Citalopram)、氯丙嗪(Chlorpromazine)、汎泊密(Verapamil)、普帕西芬(Propoxyphene)、普美苯噻(Promethazine)、二氮平(Diazepam)、哌替啶(Meperidine)、美沙酮(Methadone)、多西拉敏(Doxylamine)、米達沙賓(Mirtazapine)、右美沙芬(Dextromethorphan)、可待因(Codeine)共計 20 種醫療用藥與濫用藥物。

研究結果顯示, 以 SBSE 研究方法進行萃取效率評估: 以 pH 值至約 pH=9.2 鹼性環境下進行吸附萃取, 大部分待測物回收率超過 70%, 而甲基安非他命(Methamphetamine)、利度卡因(Lidocaine)仍回收率偏低, 另外對於可待因(Codeine)待測物無法以攪拌子進行吸附萃取; 以 DLLME 研究方法進行萃取效率評估: 以甲苯當萃取溶劑搭配輔助渦旋乳化且不添加鹽類具有較好的萃取回收率, 其範圍 16.7%~119.0%, 然而其中甲基安非他命(Methamphetamine)、普帕西芬(Propoxyphene)、可待因(Codeine)、二氮平(Diazepam)萃取回收率差, 其餘待測物皆有 85% 以上。

經前述兩種前處理技術進行萃取效率評估, 結果顯示, SBSE 方法對於水中醫療用藥與濫用藥物類具有良好的萃取效率。真實樣品來源於臺南市立醫院、臺南安平污水處理廠及高雄楠梓污水處理廠之放流水, 以 SBSE 優化條件進行萃取評估。在真實樣品中於臺南市立醫院採集之放流水樣品中, 檢測出 Lidocaine (利度卡因), 其濃度為 0.03215 µg/mL, 樣品重複(n=2) RSD 為 0.39%; 安平污水處理廠及楠梓污水處理廠中皆未檢出 20 項醫療用藥與濫用藥物。其基質添加回收率結果顯示本研究待測物臺南市立醫院放流水之回收率為 13.7~267.1%, 相對標準偏差為 5.5~47.1%; 於安平污水處理廠放流水之回收率為 12.0~210.5%, 相對標準偏差為 0.7~24.1%; 於楠梓污水處理廠放流水之回收率為 9.7~127.9%, 相對標準偏差為 2.0~43.0%。

關鍵詞: 微萃取技術、攪拌子吸附萃取、分散式液液微萃取、醫療用藥

一、前言及研究目的

隨著科技的進步, 新的污染物質也逐漸增加。這幾年來對於這些「新興污染物質」(Emerging Contaminants)的研究也逐漸受到重視。新興污染物質主要為「新認定或之前未確認」、「未受法規規範」、「且對人體健康及生態環境具有風險性」的化學污染物質, 此類污染物質通常經由人類活動(包括: 工商業、農業、醫療場所、製藥廠, 甚至一般家庭生活等)所產生。藉由未經處理的廢水與廢污水處理廠的放流水進入環境。可藉由生物濃縮效應進入生物體, 也可以藉由食物鏈進入其他高階的生物體內, 最後進入人體。這些物質不容易於環境中分解, 但容易經由食物鏈影響生態, 因此相關研究日益受到重視。新興污染物質所涵蓋的範圍非常廣泛, 舉凡新興的環境污染物質、食品添加物及污染物質、濫用藥物及毒品, 以及存在各式物品內之化學物種等。環境中之新興污染物質包括存在於各種環境介質(水體、土壤及空氣)中之各式內分泌干擾物質(如戴奧辛、有機氯殺蟲劑、鄰苯二甲酸酯、壬基酚等)、藥物(例如: 抗生素、類固醇)及個人保健用品(抗菌消毒劑、清潔劑、化粧品等)(Pharmaceuticals and Personal Care Products, PPCPs)。

目前國內學術研究機構對於新興污染物質之相關研究仍屬萌芽階段, 政府機關對於大多數之新興污染物質亦欠缺管制措施, 如有新興污染物質事件發生, 常感到力有未逮。因此開發快速且兼具綠色化學的分析檢測技術便顯得重要。其中慢性處方用藥隨著醫療水準的提升, 使用量越來越多, 因此挑選以氣

相層析儀進行分析的醫療用與濫用藥物之化合物進行評估。

二、研究方法

本研究所探討的醫療用藥如表一所示，共有 20 種常見且適合以氣相層析法進行分析的醫療用藥。

表 1 本研究所探討之醫療用藥

NO	英文名稱	中文名稱	NO	英文名稱	中文名稱
1	Fluoxetine	氟希定	11	Verapamil	汎泊密
2	Chlorpheniramine	氯非安明	12	Propoxyphene	普帕西芬
3	Sertraline	舍曲林	13	Promethazine	普美苯噻口井
4	Methamphetamine	甲基安非他命	14	Diazepam	二氮平
5	Diphenhydramine	二苯安明	15	Meperidine	哌替啶
6	Amitriptyline	二苯環庚丙胺	16	Methadone	美沙酮
7	Lidocaine	利度卡因	17	Doxylamine	多西拉敏
8	Venlafaxine	文拉法辛	18	Mirtazapine	米達沙賓
9	Citalopram	息達普林	19	Dextromethorphan	右美沙芬
10	Chlorpromazine	氯丙噻口井	20	Codeine	可待因

研究方法如下

1. 建立層析檢測方法：

畫建立氣相層析質譜儀(GC/MS)測定水中醫療用藥之儀器分析條件。包括找尋適當分離條件與質譜定量定性條件。

2. 前處理萃取效率評估：

評估分散式液液微萃取(DLLME)、攪拌子吸附萃取(SBSE)等兩種不同前處理方法測定水中醫療用藥之可行性。比較水中醫療用藥以這兩種前處理方式處理之優劣。在 DLLME 部分，添加 1 ng/mL 的分析物於水中，以渦旋法進行萃取，所評估的參數包含：比較不同萃取溶劑，pH 值與添加鹽類等。在 SBSE 部分，則是在水中添加 0.4 ng/mL 標準品於水中，以攪拌子萃取後，再以熱脫附串聯氣相層質譜儀進行分析。實驗過程中比較熱脫附時間、添加鹽類與調整 pH 值等參數。

3. 基質添加與真實水樣測定：

針對飲用水、放流水、河川水等水體基質添加樣品分析，探討微萃取技術於各式水體中待測物之準確度及精密度，評估於環境水體之應用性及技術改善。

三、結果與討論

(一) 氣相層析質譜條件

GC/MS 選擇Agilent Technologies之HP-5 MS 30 m×0.25 mm(I.D.)×0.25 μm(film)作為分離管柱，分離條件為70℃停留1分鐘，以每分鐘上升 10℃上升至 300℃，所得的圖譜如圖1所示，均有良好分離。質譜參數則如表2所示。

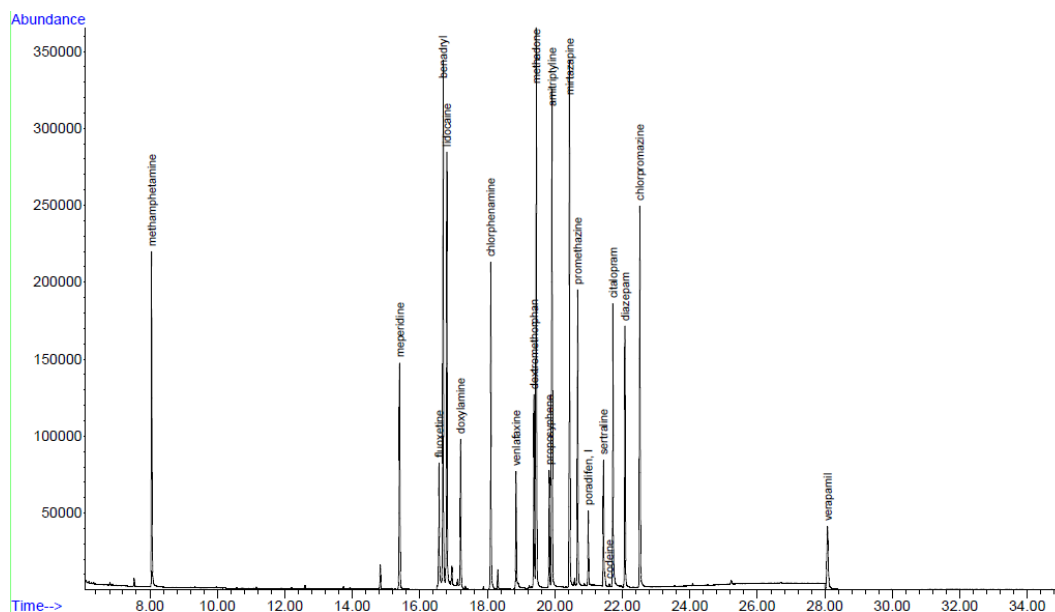


圖 1 20 種醫療用藥氣相層析圖譜

表 2 質譜參數

No	英文名稱	滯留時間 (min)	主要離子 (amu)	次要離子 (amu)		
	Poradifen * (內標)	21.10	86	99	165	91
1	Methamphetamine	8.03	58	91	56	148
2	Meperidine	15.46	71	247	172	218
3	Fluoxetine	16.62	44	104	162	309
4	Diphenhydramine	16.75	58	73	165	152
5	Lidocaine	16.86	86	58	87	234
6	Doxylamine	17.27	58	71	180	167
7	Chlorpheniramine	18.16	203	58	167	205
8	Venlafaxine	18.91	58	134	121	179
9	Dextromethorphan	19.44	59	271	150	214
10	Methadone	19.51	72	165	91	294
11	Propoxyphene	19.89	58	115	91	208
12	Amitriptyline	19.97	58	202	215	189
13	Mirtazapine	20.49	195	208	265	180
14	Promethazine	20.74	72	180	284	198
15	Sertraline	21.50	274	159	262	304
16	Codeine	21.68	299	162	229	115
17	Citalopram	21.78	58	238	208	324
18	Diazepam	22.14	256	283	221	165
19	Chlorpromazine	22.58	58	86	318	272
20	Verapamil	28.18	303	58	151	165

(二) DLLME 萃取條件探討

1. 本研究比較以環己烷、甲苯、二甲苯作為最取溶劑對醫療用藥與濫用藥物之萃取效率，其中 Methamphetamine、Propoxyphene、Codeine、Diazepam 等萃取回收率差，其餘待測物回收率皆有 50% 以上。環己烷作為萃取溶劑對於本研究待測物之濃縮因子範圍介於 6.9 ~ 67.9，回收率範圍 14.5% ~ 108.7%；甲苯對於待測物之濃縮因子範圍介於 6.1 ~ 49.8，回收率範圍

12.2% ~ 99.0%；二甲苯對於待測物之濃縮因子範圍介於 5.4 ~ 57.3、回收率範圍 10.8% ~ 114.7%。相較之下環己烷雖對本待測物濃縮因子較高，但其沉降液滴少，造成回收率不佳，最後以甲苯作為萃取溶劑進行後續探討。

2. 本研究探討四種添加不同鹽類比例(0%、10%、20%、30%)對萃取效果的影響，結果分別為：0% NaCl 濃縮因子 9.3 ~ 66.1，回收率範圍 16.7% ~ 119.0%；10% NaCl 濃縮因子 9.9 ~ 61.1，回收率範圍 18.4% ~ 113.3%；20% NaCl 之濃縮因子 9.9 ~ 62.2，回收率範圍 18.6% ~ 116.4%；30% NaCl 之濃縮因子 9.7 ~ 62.6，回收率範圍 18.2% ~ 116.8%。以目前結果顯示不添加鹽類具有較好的萃取回收率，範圍 16.7% ~ 119.0%，其中 Methamphetamine、Propoxyphene、Codeine、Diazepam 萃取回收率差，其餘待測物皆有 85% 以上

(三) SBSE 萃取條件探討

1. 在熱脫附系統中熱脫附溫度提高至 280°C 與原先的熱脫附溫度 270°C 相比較，大部分的待測物訊號值在脫附溫度 280°C 時皆明顯降低，最後仍以維持脫附溫度 270°C 做進一步探討。
2. 在熱脫附時間為 5 分鐘下，發現對於高沸點之待測物再現性(n=4)不佳，故將拉長脫附時間比較後，在脫附 10 分鐘時再現性(n=4)範圍可落在 3.1%~10.9%。
3. 添加鹽類可以降低化合物在水中的溶解度，進而提高吸附效率，本研究中添加 NaCl，評估對於醫療用藥萃取效率的影響。以未調 pH 值的超純水測試於未加鹽下 Meperidine、Fluoxetine、Lidocaine、Chlorphenamine、Venlafaxine、Dextromethorphan、Mirtazapine、Codeine、Citalopram、Verapamil 並無被萃取到。而 Verapamil、Diphenhydramine、Dextromethorphan、Methadone、Propoxyphene、Amitriptyline、Mirtazapine、Promethazine、Sertraline、Citalopram、Diazepam 在添加 30%NaCl 有明顯增長的趨勢；另外 Fluoxetine 及 Codeine 則是有無添加鹽類都無法被攪拌子吸附萃取；Chlorpromazine 在添加至 20%NaCl 時有較好的回收率。
4. 以 carbonate-bicarbonate buffer 調超純水 pH 值至約 pH=9.2 進行吸附萃取和未調 pH 值之超純水進行吸附萃取。調整至較高 pH 值時，大部分待測物回收率可超過 70%，而 Methamphetamine、Lidocaine 仍回收率偏低，而對於 Codeine 仍無法被攪拌子吸附萃取。

(四) 真實樣品分析

依照前面的研究結果，SBSE 有較低的偵測極限，適合環境樣品分析，因此以 SBSE 進行真實水樣分析，分別取臺南高雄污水處理廠與醫院排放水進行分析，真實水樣均未測得上述醫療用藥，添加回收率結果如表 3 所示。

表 3 真實水樣分析

真實水樣來源		臺南某醫院排放水		污水處理廠 1		污水處理廠 2	
NO	英文名稱	回收率 (%)	RSD (%)	回收率 (%)	RSD (%)	回收率 (%)	RSD (%)
1	Methamphetamine	35.8	8.5	49.3	0.7	26.3	6.7
2	Meperidine	102.6	19.4	117.5	12.4	127.2	2.5
3	Fluoxetine	267.1	25.2	144.9	9.4	125.1	43.0
4	Diphenhydramine	118.1	17.0	117.8	7.3	123.2	2.5
5	Lidocaine	65.4	5.5	45.8	20.9	58.0	16.9
6	Doxylamine	66.6	24.6	101.6	3.1	103.4	15.2
7	Chlorphenamine	96.7	13.9	121.1	6.1	104.7	19.6
8	Venlafaxine	83.0	21.8	124.1	24.1	125.7	29.3
9	Dextromethorphan	107.7	6.9	115.9	13.6	95.4	24.0
10	Methadone	92.7	11.1	93.9	7.0	127.9	21.2
11	Propoxyphene	120.5	20.7	92.8	9.0	118.5	23.6
12	Amitriptyline	109.8	12.1	106.1	8.3	103.0	5.4
13	Mirtazapine	101.4	29.6	116.9	8.2	113.0	10.1
14	Promethazine	120.5	7.6	127.5	7.7	117.2	12.2
15	Sertraline	111.7	7.0	210.5	10.2	126.4	7.0
16	Codeine	13.7	47.1	12.0	21.9	9.7	4.6
17	Citalopram	128.7	25.4	118.1	14.8	119.1	16.4
18	Diazepam	95.5	12.5	105.2	11.5	121.9	2.0
19	Chlorpromazine	120.3	33.3	129.5	11.4	118.6	16.7
20	Verapamil	93.1	41.8	118.9	14.7	76.0	40.7

四、結論

本研究比較 DLLME 與 SBSE 兩種微萃取技術應用於水中醫療用藥的分析。結果顯示，分析物的萃取效率受到 pH 值影響，且 SBSE 可測得有較低的水中濃度。真實樣品分析結果顯示本方法可適用於排放水等水體。

參考文獻

- [1] Anastas, P.T. and M.M. Kirchhoff, Origins, current status, and future challenges of green chemistry. *Accounts of Chemical Research* 2002, 35(9), 686-694.
- [2] de la Guardia, M., Green analytical chemistry. *Trac-Trends in Analytical Chemistry* 2010, 29(7) 577-577.
- [3] Farre, M., et al., Green analytical chemistry in the determination of organic pollutants in the aquatic environment. *Trac-Trends in Analytical Chemistry* 2010, 29(11), 1347-1362.
- [4] Tobiszewski, M., et al., Green analytical chemistry in sample preparation for determination of trace organic pollutants. *Trac-Trends in Analytical Chemistry* 2009, 28(8): p. 943-951.
- [5] Tankiewicz, M., J. Fenik, and M. Biziuk, Solventless and solvent-minimized sample preparation techniques for determining currently used pesticides in water samples: A review. *Talanta* 2011, 86, 8-22.
- [6] Rezaee, M.; Assadi, Y.; Hosseini, M. R. M.; Aghaee, E.; Ahmadi, F.; Berijani, S., Determination of organic compounds in water using dispersive liquid-liquid microextraction. *Journal of Chromatography A*. 2006, 1116(1-2), 1-9.
- [7] Farajzadeh, M.A., et al., Dispersive liquid-liquid microextraction using extraction solvent lighter than water. *Journal of Separation Science* 2009, 32(18), 3191-3200

-
- [8] Hashemi, P., et al., Development of a simple device for dispersive liquid-liquid microextraction with lighter than water organic solvents: Isolation and enrichment of glycyrrhizic acid from licorice. *Analytica Chimica Acta* 2009, 655(1-2), 60-65.
- [9] Saleh, A., et al., Ultrasound-assisted emulsification microextraction method based on applying low density organic solvents followed by gas chromatography analysis for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in water samples. *Journal of Chromatography A* 2009, 1216(39), 6673-6679.
- [10] Zhang, P.-P., et al., A new device for magnetic stirring-assisted dispersive liquid-liquid microextraction of UV filters in environmental water samples. *Talanta* 2011, 83(5), 1711-1715.
- [11] Xu, H., et al., A novel dispersive liquid-liquid microextraction based on solidification of floating organic droplet method for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in aqueous samples. *Analytica Chimica Acta* 2009, 636(1), 28-33.
- [12] Leong, M.-I. and S.-D. Huang, Dispersive liquid-liquid microextraction method based on solidification of floating organic drop for extraction of organochlorine pesticides in water samples. *Journal of Chromatography A* 2009, 1216(45), 7645-7650.
- [13] Leong, M.-I. and S.-D. Huang, Dispersive liquid-liquid microextraction method based on solidification of floating organic drop combined with gas chromatography with electron-capture or mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A* 2008, 1211(1-2), 8-12.
- [14] Chang, C.-C., S.-Y. Wei, and S.-D. Huang, Improved solvent collection system for a dispersive liquid-liquid microextraction of organochlorine pesticides from water using low-density organic solvent. *Journal of Separation Science* 2011, 34(7), 837-8.
- [15] Baltussen, E.; Sandra, P.; David, F.; Cramers, C., Stir bar sorptive extraction (SBSE), a novel extraction technique for aqueous samples: Theory and principles. *Journal of Microcolumn Separations* 1999, 11(10), 737-747.
- [16] Baltussen, E.; Cramers, C. A.; Sandra, P. J. F., Sorptive sample preparation - a review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 2002, 373(1-2), 3-22.
- [17] F.J.Camino-Sánchez, et al., Stir bar sorptive extraction: Recent applications, limitations and future trends. *Talanta* 2014, 30, 388-399.

運用奈米碳管修飾電極進行水質分析(4/4)-重金屬物種分析技術研究

秦靜如、林蓁君、吳峻華、謝曉婕、廖淑君

國立中央大學環境工程研究所

摘要

重金屬線上即時監測設備雖已發展有相當長的時間，但仍有許多重金屬離子由於本身電化學特性及偵測方法的問題而尚無快速且靈敏的檢測技術。本研究利用奈米碳管複合材料修飾電極對選定之不同價態的重金屬物種進行分析（如：Cr、As），以模擬水樣進行不同重金屬間的干擾試驗，並分析奈米碳管修飾電極在環境水體中之長效性。結果顯示，Au/SWCNT 修飾玻璃碳電極(glassy carbon electrode)對偵測放流水的 Cr(III)、Cr(VI)、As(III)為具潛力的感測器。在對環境水體多次的分析結果也顯示，電極的記憶效應與選擇性影響分析結果之穩定性，為未來以伏安法分析重金屬離子之電極開發重點。

關鍵詞：即時監測、線性掃描伏安法、金/奈米碳管修飾玻璃碳電極(Au/SWCNT/GCE)

一、前言

無論何種感測器，開發的時候都必須考量到其選擇性(selectivity)、靈敏度(sensitivity)、以及穩定性(stability)。依據待測物質在測定時所發生的反應，或是與濃度變化相關的物理性質（即真正用以分析濃度變化的量）區分，感測器可分為熱感式(thermal)、電磁學式(electromagnetic)、機械力學(mechanical)、光學(optical)和電化學(electrochemical)等[1]。污染物由於分子結構與鍵結能量的不同，對於光的吸收散射或是電化學反應具有獨特性，並且反應時間短，在電子感測零件功能精進與尺寸縮小之下，可以將微小的光訊號與電流訊號放大，因此只要少量的水樣便可達成水質分析量測之目的。此外，基於許多大型（或桌上型）儀器是以光學（如 UV 光）或是電化學（如 pH）原理進行水質分析，尤其加上具有高度的選擇性與靈敏度，光學與電化學感測器為現今水質分析市場上主要的分析方法。另一方面，廢污水中的懸浮固體物(suspended solids, SS)或是色度(color)，會對於光訊號造成干擾，使得利用電化學電極進行水質分析受到相當的重視。本研究旨在開發可運用於分析環境水體中重金屬離子之電極，並針對不同價態重金屬進行分析，最後對於水體中其他常見干擾對於伏安法分析重金屬的影響進行初步瞭解。

二、研究方法

（一）金屬/奈米碳管複合材料修飾電極製備

為增加奈米碳管之分散性，將選用 HNO_3 做為氧化劑。取適量酸化後之 SWCNT 與 Nafion 水溶液混合成 SWCNT 懸浮液，以超音波震盪分散後，取少量複合材料懸浮液滴在經拋光處理過後之玻璃碳電極(glassy carbon electrode, GCE)表面，靜置室溫待自然風乾後即製作完成 SWCNT/GCE。接下來則將 SWCNT/GCE 電極置於 HAuCl_4 與 HCl 混合液中，以定電位與時間進行電鍍，製備 SWCNT/GCE。

（二）模擬水樣干擾與環境水體長效分析

選定 Cu、Pb、Cr(III)、Cr(VI)以及 As(III)為分析的對象，配製不同濃度的模擬水樣，利用所製備的 SWCNT/GCE 與 Au/SWCNT/GCE 電極，以三電極系統進行線性伏安法(linear scanning voltammetry, LSV)分析，並進行上述不同重金屬間之干擾分析。另取自來水淨水廠之原水進行環境水體試驗，以添加標準品的方式進行電極長效性分析。

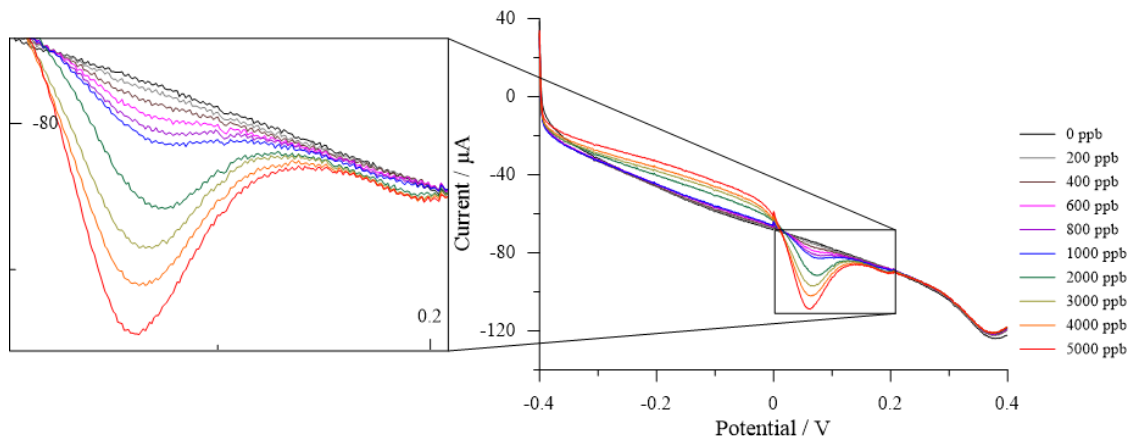
三、結果與討論

（一）Au/SWCNT/GCE 對於 As(III)的分析

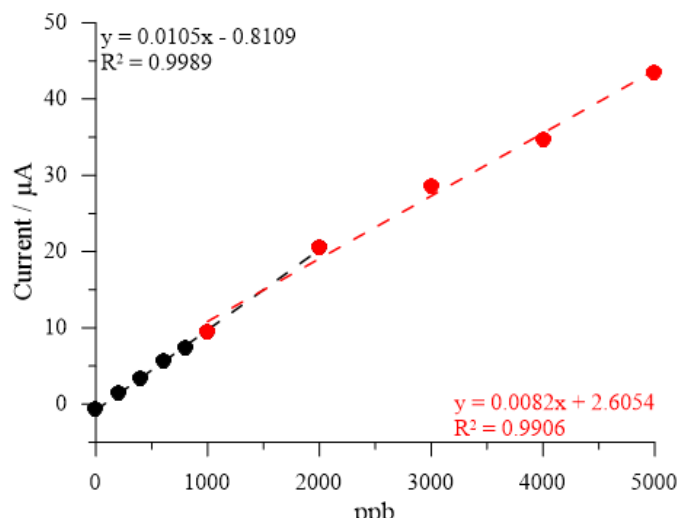
以 Au/SWCNT/GCE 修飾電極在 0.1 M HCl 中對 As(III)進行 LSV 分析，濃度範圍設定為 0, 200, 400, 600, 800, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ppb As(III)，如圖 1(a)，以利觀察在低濃度和高濃度範圍之 As(III)是否皆有良好的線性關係。由圖 1(b)的電流與濃度線性關係圖可以看

出不論在低濃度或是在高濃度範圍之 As(III)，皆有良好的線性關係，且其關係受濃度範圍影響小。發現在低濃度範圍下 R^2 高達 0.9989 比圖 1 (c) 全區段的 R^2 值為高，這也顯示不同濃度下，宜利用不同的峰電流值與濃度之線性關係進行濃度估算。

(a)



(b)



(c)

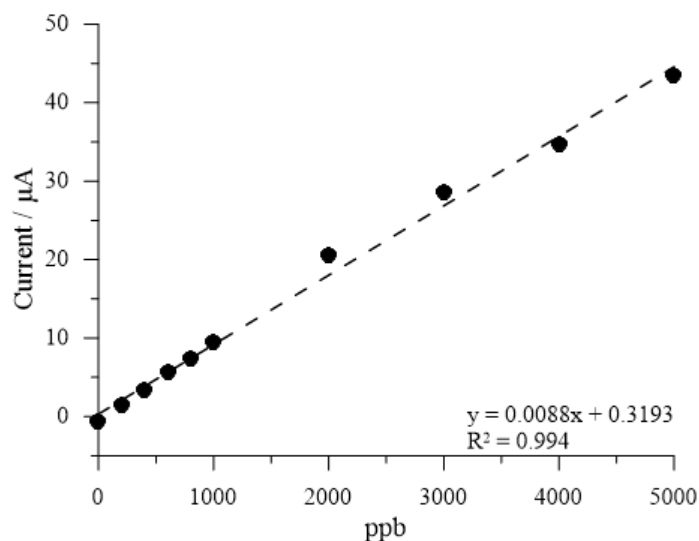


圖 1 Au/SWCNT 修飾電極對 As(III)之(a)伏安圖、(b) 峰電流值與濃度線性關係圖 (二區段)、(c)峰電流與濃度線性關係圖 (全區段) (0.1 V/s)

(二) Au/SWCNT/GCE 對於 Cr(III)與 Cr(VI)的分析

使用 Au/SWCNT 修飾 GCE 電極進行 Cr(III)伏安法分析，Cr(III)的濃度範圍為 0, 200, 400,

600, 800, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ppb。圖 2 (a)顯示分區段進行迴歸分析結果，雖然低濃時的 R^2 值略低，但仍呈良好的線性關係。所以不論是在低濃度或高濃度下分析 Cr(III) 皆有較好的線性關係。同樣以 Au/SWCNT/GCE 電極，進行 Cr(VI) 濃度範圍為 0, 200, 400, 600, 800, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ppb 之伏安法分析。從圖 2(b)可知，不論是低濃度或是高濃度下，均有良好的線性關係，並且在全區段或是分區段，峰電流值與濃度的相關性相近，即線性關係在此範圍內可能不受濃度影響。

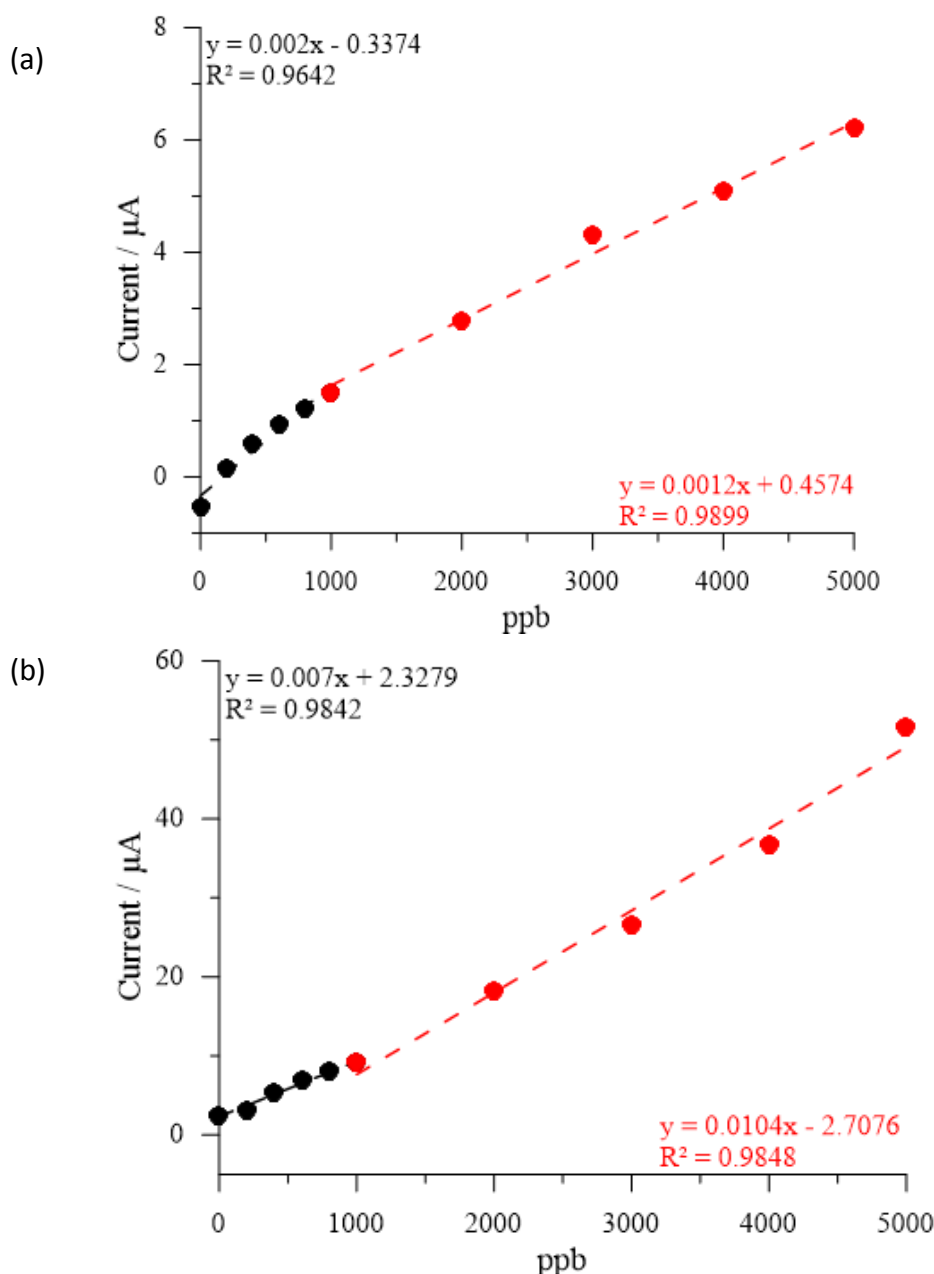


圖 2 以 Au/SWCNT/GCE 對(a) Cr(III) 與(b) Cr(VI)進行伏安法分析，峰電流值與濃度之線性關係圖

(三) 對不同重金屬的分析極限與干擾分析

其餘幾項本研究分析之重金屬，如 Cu(II)與 Pb(II)，均可以 LSV 法進行分析。本研究所製備之電極對於以上重金屬離子之分析極限均遠低於放流水標準（如表 1 所示）。雖然偵測極限不如文獻中來的低[2-4]，但利用 LSV 法，可以避免陽極析出伏安法(anodic stripping voltammetry, ASV)必須將待測重金屬富集於電極表面時，造成富集後產物非單純的待測物

而導致訊號無法判讀的問題，因此可做為快篩之工具。每一重金屬離子並且進行其他重金屬之干擾分析則整理於表 2，表格中未特別標示電極之系統乃為 Au/SWCNT/GCE 之干擾分析。

表 1 重金屬離子分析條件與分析極限

重金屬	電極	分析極限 (ppb)	放流水標準(mg/L)
Cr(III)	Au/SWCNT/GCE	400	0.5
Cr(VI)		200	
As(III)		50	
Cu(II)	SWCNT/GCE	600	3
	Au/SWCNT/GCE	300	
Pb(II)	SWCNT/GCE	600	1
	Au/SWCNT/GCE	600	

表 2 干擾分析結果

目標物種					
干擾物種	Cr(III)	Cr(VI)	As(III)	Cu(II)	Pb(II)
Cr(III)	/	X	V	SWCNT: V Au/SWCNT: X	X
Cr(VI)	V	/	X	SWCNT: X Au/SWCNT: X	X
As(III)	/	/	/	SWCNT: V Au/SWCNT: X	/
Cu(II)	X	V	X	/	X
Pb(II)	V	V	V	SWCNT: V Au/SWCNT: X	/

註 1: X: 表示干擾；V: 表示無干擾

註 2: 未特別標示即為 Au/SWCNT/GCE 之結果

(四) 環境水體的長效性分析

由於自來水淨水廠之水質佳，各類重金屬與有機質的含量應相當低或是無法測出，所以此處以 Au/SWCNT/GCE 電極分析自來水淨水廠原水水樣之 As(III) 為例，對電極長效性進行說明。由於水樣中均無法測出 As(III)，因此對於水樣添加不同濃度的 As(III)標準品，由電極訊號的變化來討論電極長效的問題。圖 3 為對某自來水水樣利用已使用多次以及新製備電極進行伏安法分析之結果。當複合材料修飾電極分析數次的環境水樣，經過清洗後直接繼續分析自來水淨水廠之原水水樣時，可以發現在連續分析的情況下，峰電流訊號較差，但是使用重新製備的複合材料修飾電極之後發現，靈敏度與線性關係高許多，表示若前一次分析的環境水樣的基質較複雜，或是有記憶效應，可能會影響下一次的分析結果。

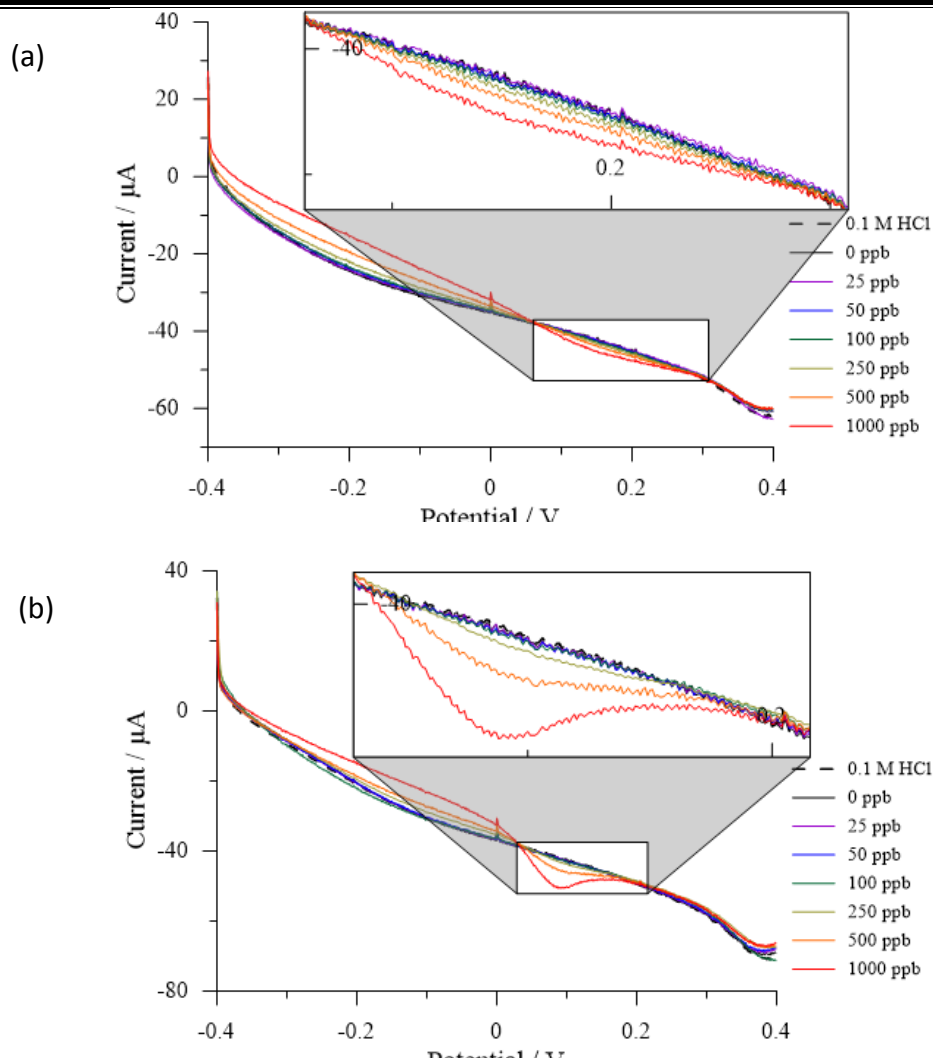


圖 3 As(III)的干擾試驗，Au/SWCNT/GCE 偵測自來水 (0.1 M HCl)。(a)連續分析，(b)重新製備

同樣以自來水淨水廠原水進行以 SWCNT/GCE 分析 Cu 之長效性試驗，也同樣因水質良好，因此以添加不同濃度的 Cu 標準品進行，結果如圖 4 所示，可以看見不論是新製備的電極或是已經使用 200 次的電極，電極對同一水樣的表現性相同，峰電流值訊號並無明顯改變或消耗，推測可能是因為 SWCNT/GCE 表面較穩定且無 Au 消耗的問題，且不會因為水質特性不同影響到電極使用壽命，代表此修飾電極長效性依舊良好，峰電流值沒有太大的偏移或改變。

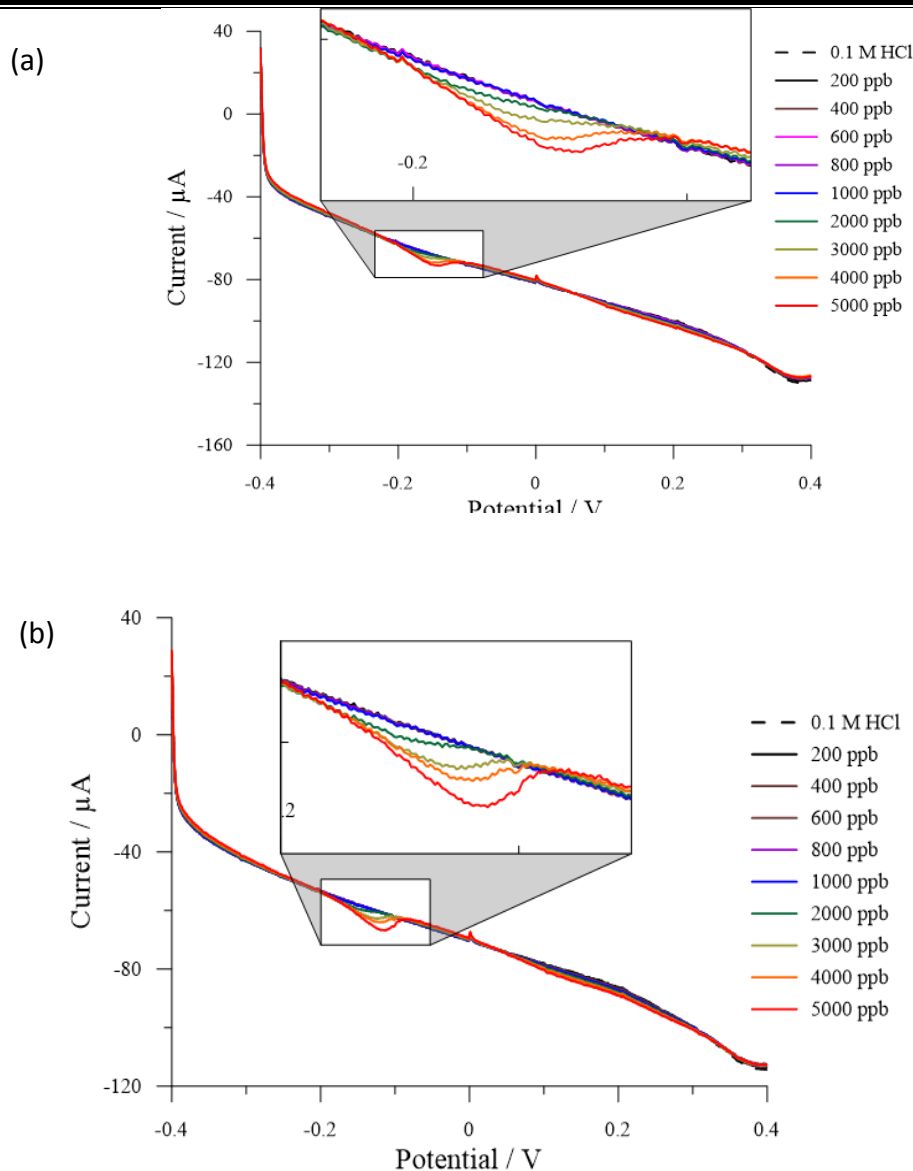


圖 4 SWCNT/GCE 與測試 200 次掃描後，以測定 Cu(II) 做比較。(a)新製備之電極，(b)電極使用約 200 次掃描後

四、結論與建議

本研究製備 SWCNT/GCE 與 Au/SWCNT 電極對具有不同價態的重金屬離子，即 Cr(III)/Cr(VI) 與 As(III)/As(V) ，以及較常見的 Cu(II) 與 Pb(II) 進行伏安法分析，並且進行交互的干擾試驗以瞭解當水樣中同時具有不同重金屬時可能發生的問題。結果顯示，本研究中所測試的其他重金屬離子以 LSV 法分析時，峰電流值與濃度均有良好的相關性，並且分析極限均遠低於放流水標準，干擾試驗也篩選出可以同時分析不同離子之電極與條件。雖然偵測極限不如文獻中來的低[2-4]，但利用 LSV 法，可以避免 ASV 法必須將待測重金屬富集於電極表面時，造成富集後產物非單純的待測物而導致訊號無法判讀的問題，因此可做為快篩之工具。電極長效性使用狀況會測試不同金屬而有不同的情況發生。測試砷會因水體的有機質造成訊號下降，需在每次使用前重新製備電極。在銅方面，以 SWCNT/GCE 試驗約 200 次之後，訊號並無減少或偏移。

參考文獻

- [1] Ahammad, A.J.S., Lee, J.-J., and Rahman, M.A., "Electrochemical sensors based on carbon nanotubes,"

-
- Sensors*, **9**, 2289-2319, (2009).
- [2] Gu T. A., Bu L. J., Huang Z., Liu Y., Tang Z. Y., Liu Y., Huang S. Y., Xie Q. J., Yao S. Z., Tu X. M., Luo X. B., and Luo S. L., "Dual-signal anodic stripping voltammetric determination of trace arsenic(III) at a glassy carbon electrode modified with internal-electrolysis deposited gold nanoparticles," *Electrochemistry Communications*, 33, 43–46, (2013).
 - [3] Kachoosangi, R. T. and Compton, R. G., "Voltammetric determination of Chromium(VI) using a gold film modified carbon composite electrode," *Sensors and Actuators B: Chemical*, 178, 555-562, (2013).
 - [4] Kefala G., Economou A., Voulgaropoulos A., and Sofoniou M., "A study of bismuth-film electrodes for the detection of trace metals by anodic stripping voltammetry and their application to the determination of Pb and Zn in tapwater and human hair," *Talanta*, 61, 603-610, (2003).

環境整治用奈米微粒之細胞毒性研究

闕斌如 莊秀美

中興大學生物醫學研究所

摘要

奈米科技是 21 世紀的主流技術之一，目前人造奈米材料已經廣泛應用到醫藥工業、染料、塗料、食品、化妝品等傳統或新興產業中。除直接用於人體日常生活用品及醫療用途外，環境污染治理，如土壤或水質淨化整治等，也應用得非常多，但在享受奈米材料對人們帶來的利益外，整體有系統的評估各種人造奈米物質的生物安全性，也是相當重要的。最近這幾年開始，研究人員已開始關注奈米材料可能產生的生物危害，希望對奈米材料自生產到產品，及在各個領域的應用所可能產生的環境風險評估，有更多的認識。本團隊自 100 年度的「奈米微粒對細胞毒性篩選技術及驗證方法」的計劃起，持續開發符合 OECD 之細胞電阻(CI)檢測技術，建立以即時電子式細胞電阻偵測分析儀，做為奈米微粒細胞毒性監測的篩選平台，並利用數種傳統細胞毒性分析法驗證奈米物質的生物毒性。在今年的規劃中，由於奈米物質通常具有高度的活性，也有高度的功能性，再加上與大分子相比有極高的表面積等特質，其吸附能力也大大提升，因此被大量應用在污水純化及環境整治上。我們認為選用未來能在現場施用的奈米物質來評估其生物影響，將更有意義。雖然奈米級施威特曼石與過氧化氫的共同使用，可催化類似 Fenton 反應，進而能被用來去除河川底泥中的化學物或藥物污染，但目前奈米級施威特曼石在環境整治上的應用仍處於實驗室中研究階段，但可預期未來在環境整治上，具有極高的應用性。為了解這些用在環境整治上的奈米物質，是否會對生物有危害影響，因此在今年度的計畫，以細胞電阻檢測技術應用在奈米級施威特曼石的生物影響探討，也利用傳統之細胞存活率試驗來佐證其結果。統合我們在細胞生長及細胞存活率的分析，並搭配氧化壓力產生量等等的結果，我們認為所測試的奈米級施威特曼石在高於 500 $\mu\text{g/mL}$ 的濃度下，才有明顯的抑制 A549 細胞生長的現象。而 NIH3T3 細胞在所測試的三種樣品濃度高於 100 $\mu\text{g/mL}$ 以上，才會有較高的細胞生長抑制效果。

關鍵詞：奈米微粒、細胞毒性、細胞電阻檢測、環境整治

一、前言及研究目的

奈米(nanometer, nm)是一種長度的單位，指十億分之一(10^{-9})公尺，而奈米微粒就是粒徑尺寸在 1-100 nm 奈米範圍內的物質。在日常生活環境中存在著許多奈米級的物質，包含人為產生的奈米粒子、生物懸浮和土壤灰塵等。由於近年奈米科技產業的快速發展，而使用奈米科技產品的領域又涵蓋日常民生用品、醫療器材、及工業用途等，目前有超過 800 種含有奈米微粒的商品在市場上，包括食品、電子元件、日常生活用品、家用器具等。而在製造及使用這些奈米科技產品的過程中，將伴隨著更多樣化的奈米懸浮物質產生，而人類暴露於奈米微粒的環境的狀況顯然已經發生，並且在未來的幾年發生的機會更是會急遽的增加。但相較於目前所存在的奈米材料產品的數量與類型，我們對其會引發對人體及環境影響的資料及訊息卻是遠遠不足的。而在過去的幾年中，奈米微粒所引發的對人體健康及環境的危害已漸漸的受到重視。因奈米微粒的小體積，加上其特殊的物理-化學性質都可能在生物體中產生不良的影響，而這些特殊小尺寸的奈米物質對人體及環境造成什麼樣的危害，以及如何產生危害，也就成為目前最重要的研究課題，然而在奈米物質的毒性檢測技術上，目前仍未有一套標準檢測方法，大部分仍然利用分析細胞毒性方法，如 MTS, trypan blue exclusion 以及 colony-forming ability 等現有細胞生物學技術作為評估奈米物質毒性分析。由於所使用之染劑與奈米物質相互干擾，或受限於操作步驟易造成人為誤差，導致各實驗室之分析結果互有爭議。

(一) 奈米物質在環境整治及污水處理之應用

由於奈米物質通常具有高度的活性，也有高度的功能性，再加上大量的表面積等特質，使其被大量應用在污水純化及整治上(1)。奈米科技也被應用在水源的純化上，如海水的去鹽化、利用奈米光催化材料來消毒和淨化污水、利用奈米感測材料來偵測污染物、利用奈米過濾等等(2)。污水處理上大量運用了奈米物質，如奈米氧化鐵、奈米磁鐵礦、奈米磁赤鐵礦，及奈米

赤鐵礦等，是因為奈米的小粒徑及高吸收度的表面積等特性，可用來做有效吸附水中的污染物(3)。若是將膨潤土(Bentonite)等黏土材料用來支撐奈米級結構的鐵，發現可有效移除污水中的銅離子與鋅離子(4)。除此，將奈米級的鐵依附在特定的聚乙烯醇-海藻酸鈉結構上，可以把污水中有毒的苯酚降解掉(5)。利用實驗室的裝置，奈米鐵可以有效的降低水中及土壤中的鉻離子濃度(6)。相同的，奈米鐵也在另一篇報導中被證實，可有效的在滲濾液中移除鉻離子(7)。早期大量使用對人體有害的殺蟲劑 DDT [1,1,1-trichloro-2,2-bis(p-chlorophenyl) ethane]，因其不會降解並累積在食物鏈中，而被生物食用，造成危害(8)；也發現 DDT 會殘存在空氣及土壤(9)。在今年的文獻中，El-Temsah 及其團隊報導了以兩中不同方法合成的奈米零價鐵，可有效的在空氣及水源中降解掉殘留的 DDT(10)。

施威特曼石 schwertmannite (SHM)，則是出現在富含鐵及硫的酸性環境中的一種礦石，但本身也是一種有效可去除砷毒物的清道夫，因此成為環境整治中的重要物質(11, 12)，而其可催化苯酚氧化的能力，也可應用在環境整治上(13)。此外，利用施威特曼石加上過氧化氫的氧化力並結合電動力學，催化類似 Fenton 氧化反應進而清除河川污泥中鄰苯二甲酸鹽類(Phthalates) 及對乙酰氨基酚 (acetaminophen) 的污染物(14)。由於奈米級施威特曼石具有的這些特質，研究學者開始重視奈米級施威特曼石不同的製備方法，及其在環境整治上的可能用途。

(二) 使用在環境整治之奈米物質所產生的環境或生態毒性

奈米物質目前已被大量應用在環境整治或污水處理上，但我們對這些應用在環境整治上的奈米物質對環境或生態的影響，如這些奈米物質應用後，這些奈米物質在環境中的命運，或其所產生的含有奈米物質的污泥或固體殘留物 (solid residues, SRs) 的生物影響，再加上所使用的奈米物質可能處在懸浮態，也會進入水環境中，更會對生物體影響的層面擴大，目前對這些資訊仍舊無法有全盤了解，而這些奈米物質的應用是不是對環境及生態都是全然安全，也有許多爭議。以動物研究模式，發現以奈米物質處理污水後，會產生奈米二氧化鈦及奈米氧化鐵等的固體殘留物，而這些固體殘留物對無脊椎動物 *Chironomus riparius* 有抑制生長的影響(15)。而在環境整治中常用到的奈米零價鐵，對環境中的微生物族群分布有不良的影響(16)。

用來在環境中移除污染物的奈米石墨酸，也以蠶豆的植物模式來探討其對環境及生態的影響，研究發現在每升中含 400 或 800 mg 的奈米石墨酸對蠶豆發芽及根的長度增加有助益，但在這些濃度外則有負面的影響(17)。但在另外一個研究中，若讓包心菜、番茄、菠菜、及萵苣等植物，暴露在每升中含 500 至 2000 mg 的奈米石墨酸 20 天後，會產生經由氧化壓力增加而導致的生長抑制(18)。這個對植物生長有負面現象的奈米物質，並不是只侷限在奈米石墨酸，如奈米氧化鋅(19)、奈米二氧化鈦(20)、奈米氧化銅(21)、奈米氧化鋇(22, 23)等，都發現在植物中會增加氧化壓力。Avanasi 及其團隊對奈米富勒烯在環境中的命運、運輸、及土壤中奈米富勒烯的生物活性做了探討，他們的結果發現，環境中釋放出的奈米富勒烯，並沒有極大的生物活性，但會在土壤中持續存在非常久的時間(24)。以銅為基底的奈米物質，主要就是奈米銅或是奈米氧化銅，因為大多用在工業及半導體產業上，也發現在廢水排放或污泥裡看到奈米銅的累積(25)。而在污水處理的過程中，有時會藉由微生物清除污染物，但奈米銅卻被發現會抑制這些微生物的生長，污水處理的效能因而大受影響，也造成另一種的環境污染(26)。

二、研究方法

本計畫的研究方法為

- (1) 利用奈米級施威特曼石為測試品，以 TEM 電子顯微鏡確認其奈米物質之結構。
- (2) 選擇不同哺乳類細胞株，再施以不同濃度奈米級施威特曼石處理，以細胞電阻分析偵測及評估細胞毒性。
- (3) 以流式細胞儀檢測細胞內吞奈米物質的含量。
- (4) 以流式細胞儀檢測細胞氧化壓力的改變。
- (5) 分析河川底泥整治前及整治後對細胞生長的影響。

三、結果與討論

在今年度的計畫執行，我們在期末報告中第一章中，分段回顧文獻有關環境奈米應用於污染整治或環境奈米污染物的現況；並以兩株細胞株完成三種不同製備法合成出來的奈米施威特曼石的細胞電阻法分析細胞毒性，並以細胞存活率分析法驗證，在細胞生理方面以流式細胞儀分析這些樣品產生氧化壓力的能力，符合計畫要求的工作內容。綜合以上結果整理以下結論：

- (一) 以流式細胞儀評估細胞內吞細微粒產生的光散射結果中，樣品編號一在 100 $\mu\text{g/mL}$ (含) 以上及編號二在 1000 $\mu\text{g/mL}$ 時，皆有明顯因處理濃度增加而增加光散射的現象。反觀編號三則在所有濃度測試下，皆無光散射增加的現象，推測編號一及二這兩個樣品較容易進入細胞內或滯留於細胞內。
- (二) 三種樣品在 A549 細胞中有氧化壓力的產生，惟在統計分析三次重覆實驗數據後，氧化壓力增加的現象在編號一樣品並不具有顯著性的差異，而樣品編號二則只在高濃度 1000 $\mu\text{g/mL}$ 時，有明顯的氧化壓力產生的增加，編號三則在所有測試濃度下，隨著處理濃度增加而氧化壓力產生有顯著的增加。反觀 NIH3T3 細胞，對於三種樣品的處理所造成的氧化壓力產生較為不明顯，推測可能與細胞特質有關，因此對奈米施威特曼石的反應在兩種細胞株不盡相同，原因則可能來自調控氧化壓力防衛系統或相關蛋白表現量不同，造成細胞對氧化壓力刺激的反應不同。
- (三) 細胞存活率的實驗顯示，A549 細胞在三種樣品的處理皆無明顯的抑制細胞存活率現象，反而在編號一濃度 250 $\mu\text{g/mL}$ (含) 以上，編號二濃度 500 $\mu\text{g/mL}$ (含) 以上，編號三濃度 1000 $\mu\text{g/mL}$ 時，有明顯增加細胞存活率的現象，推測高濃度的奈米施威特曼石，可能會影響吸光值而導致所謂的細胞存活率是增加的，未來可利用如蛋白分析等方法再加以確認。而在 NIH3T3 細胞對於樣品編號二及三濃度在 100 $\mu\text{g/mL}$ 時，有明顯抑制細胞存活率的現象；在編號一濃度 500 $\mu\text{g/mL}$ 時，有明顯增加細胞存活率的現象，推測高濃度的奈米施威特曼石，可能會影響吸光值而導致細胞存活率增加。
- (四) 在細胞電阻測試實驗中，A549 細胞對於編號一及二樣品在高濃度 1000 $\mu\text{g/mL}$ 時，才有明顯的抑制細胞生長的現象；編號三樣品則在高於 500 $\mu\text{g/mL}$ 的濃度時，才有明顯的抑制細胞生長的現象。反觀 NIH3T3 細胞在所有測試的三種樣品濃度高於 100 $\mu\text{g/mL}$ 以上，才會有較高的細胞生長抑制效果。
- (五) 在以奈米施威特曼石及過氧化氫處理過的河川底泥樣品，經過冷凍乾燥之後，可以利用細胞電阻檢測平臺檢測其對細胞生長的影響。但因河川底泥樣品成分複雜，初步分析結果並無法做出結論。

四、結論

藉由本研究計畫成功的跨領域結合兩個不同專長的實驗室，在細胞毒性監測系統評估下，針對環境整治使用的奈米級施威特曼石進行合成修飾與改良，實驗證實，這個平臺是可以用來檢測應用在環境整治使用的奈米級施威特曼石，是否有顯著的生物毒性，未來如能配合實際應用層面設計適當的操作系統，在環境水資源或土壤整治的應用會更有應用潛力並符合環保要求。

參考文獻

- [1] T. Bora, J. Dutta, Applications of Nanotechnology in Wastewater Treatment-A Review. *J Nanosci Nanotechnol* 14, 613-626 (2014).
- [2] S. Kumar *et al.*, Nanotechnology-based water treatment strategies. *J Nanosci Nanotechnol* 14, 1838-1858 (2014).
- [3] P. Saharan, G. R. Chaudhary, S. K. Mehta, A. Umar, Removal of Water Contaminants by Iron Oxide Nanomaterials. *J Nanosci Nanotechnol* 14, 627-643 (2014).
- [4] L. N. Shi, Y. Zhou, Z. L. Chen, M. Megharaj, R. Naidu, Simultaneous adsorption and degradation of Zn^{2+} and Cu^{2+} from wastewaters using nanoscale zero-valent iron impregnated with clays. *Environ Sci Pollut R* 20, 3639-3648 (2013).
- [5] A. Babuponnusami, K. Muthukumar, Treatment of phenol-containing wastewater by photoelectro-Fenton

- method using supported nanoscale zero-valent iron. *Environ Sci Pollut R* 20, 1596-1605 (2013).
- [6]Y. H. Xu, D. Y. Zhao, Reductive immobilization of chromate in water and soil using stabilized iron nanoparticles. *Water Res* 41, 2101-2108 (2007).
- [7]T. Y. Liu *et al.*, Effects of physicochemical factors on Cr(VI) removal from leachate by zero-valent iron and alpha-Fe(2)O(3) nanoparticles. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 61, 2759-2767 (2010).
- [8]X. Yang *et al.*, Dicofol application resulted in high DDTs residue in cotton fields from northern Jiangsu province, China. *Journal of hazardous materials* 150, 92-98 (2008).
- [9]G. L. Daly *et al.*, Organochlorine pesticides in the soils and atmosphere of Costa Rica. *Environ Sci Technol* 41, 1124-1130 (2007).
- [10]Y. S. El-Temsah, A. Sevcu, K. Bobcikova, M. Cernik, E. J. Joner, DDT degradation efficiency and ecotoxicological effects of two types of nano-sized zero-valent iron (nZVI) in water and soil. *Chemosphere* 144, 2221-2228 (2016).
- [11]E. D. Burton, R. T. Bush, L. A. Sullivan, Sedimentary iron geochemistry in acidic waterways associated with coastal lowland acid sulfate soils. *Geochim Cosmochim Acta* 70, 5455-5468 (2006).
- [12]E. D. Burton, S. G. Johnston, P. Kraal, R. T. Bush, S. Claff, Sulfate Availability Drives Divergent Evolution of Arsenic Speciation during Microbially Mediated Reductive Transformation of Schwertmannite. *Environmental science & technology* 47, 2221-2229 (2013).
- [13]W. M. Wang, J. Song, X. Han, Schwertmannite as a new Fenton-like catalyst in the oxidation of phenol by H₂O₂. *Journal of hazardous materials* 262, 412-419 (2013).
- [14]G. C. Yang, S. C. Huang, C. L. Wang, Y. S. Jen, Degradation of phthalate esters and acetaminophen in river sediments using the electrokinetic process integrated with a novel Fenton-like process catalyzed by nanoscale schwertmannite. *Chemosphere* 159, 282-292 (2016).
- [15]V. Nogueira, I. Lopes, T. Rocha-Santos, F. Goncalves, R. Pereira, Toxicity of solid residues resulting from wastewater treatment with nanomaterials. *Aquat Toxicol* 165, 172-178 (2015).
- [16]K. M. Zabetakis, G. T. Nino de Guzman, A. Torrents, S. Yarwood, Toxicity of zero-valent iron nanoparticles to a trichloroethylene-degrading groundwater microbial community. *Journal of environmental science and health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering* 50, 794-805 (2015).
- [17]N. A. Anjum *et al.*, Single-bilayer graphene oxide sheet tolerance and glutathione redox system significance assessment in faba bean (*Vicia faba* L.). *J Nanopart Res* 15, (2013).
- [18]P. Begum, R. Ikhtari, B. Fugetsu, Graphene phytotoxicity in the seedling stage of cabbage, tomato, red spinach, and lettuce. *Carbon* 49, 3907-3919 (2011).
- [19]D. H. Lin, B. S. Xing, Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. *Environmental science & technology* 42, 5580-5585 (2008).
- [20]S. Asli, P. M. Neumann, Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport. *Plant Cell Environ* 32, 577-584 (2009).
- [21]C. O. Dimkpa *et al.*, CuO and ZnO nanoparticles: phytotoxicity, metal speciation, and induction of oxidative stress in sand-grown wheat. *J Nanopart Res* 14, (2012).
- [22]C. M. Rico *et al.*, Effect of Cerium Oxide Nanoparticles on Rice: A Study Involving the Antioxidant Defense System and In Vivo Fluorescence Imaging. *Environmental science & technology* 47, 5635-5642 (2013).
- [23]L. J. Zhao *et al.*, Stress Response and Tolerance of Zea mays to CeO₂ Nanoparticles: Cross Talk among H₂O₂, Heat Shock Protein, and Lipid Peroxidation. *Acs Nano* 6, 9615-9622 (2012).
- [24]R. Avanas, W. A. Jackson, B. Sherwin, J. F. Mudge, T. A. Anderson, C60 fullerene soil sorption, biodegradation, and plant uptake. *Environmental science & technology* 48, 2792-2797 (2014).
- [25]A. A. Keller, A. Lazareva, Predicted Releases of Engineered Nanomaterials: From Global to Regional to Local. *Environ Sci Tech Let* 1, 65-70 (2014).
- [26]J. Gonzalez-Estrella, D. Puyol, S. Gallagher, R. Sierra-Alvarez, J. A. Field, Elemental copper nanoparticle toxicity to different trophic groups involved in anaerobic and anoxic wastewater treatment processes. *Science of the Total Environment* 512, 308-315 (2015).

環境鑑識技術開發研究(4/4)-事業污泥鑑識技術平台建置與應用

許麗娟¹ 黃靜萍¹ 曾素媛¹ 王姿惠² 郭安甫² 翁英明²

¹工研院綠能與環境研究所

²行政院環保署環境檢驗所

摘要

本研究計畫為完成計畫目標及工作內容，針對「環境鑑識採樣技術規範」草案部分是參考美國、歐盟、澳洲等國的環境採樣技術及品管規範資料，研擬「環境樣品採集品質管制措施及規範」指引，及參考各國廢棄物採樣規劃與考量各類採樣因素等相關資訊，配合實務需求編撰「事業廢棄物採樣方法草案」及「不明廢棄物採樣方法草案」。在建立事業污泥特性指標物資料檔部分，則建置了 101 年~104 年的 LED、LCD、DRAM、皮革業、石化業、印刷電路板、被動電子元件、太陽能及印染業、化學製品製造業等產業的污泥特性指標物資料檔。在污泥特性指標物再現性測試部分，則選擇印染業、染顏料業及石化業廠家來進行污泥再現性測試，並由測試結果與既有資料庫進行比對評析，由比對結果亦顯示印染業、染顏料業及石化業污泥是具有再現性。在編撰鑑識技術操作手冊部分，其撰寫內容包含樣品前處理步驟、鑑識流程圖等資料，此研究結果皆可作為棄置污泥產源追查及發展新穎鑑識技術之參考。

關鍵詞：污泥、鑑識技術、再現性

一、前言及研究目的

近年來由於非法棄置工業污泥事件層出不窮，已造成環境污染及民眾生命與健康受到威脅，因此環保署為解決及嚇阻污泥被任意傾倒事件之發生，已陸續於 101~104 年進行高污染及高風險之電子零組件製造業如 LED、LCD、DRAM、印刷電路板、被動電子元件及太陽能產業，與較常被任意棄置之皮革業污泥、石化業污泥，和高污染的印染業、化學製品製造業等產業進行污泥特性資料檔建置及鑑識技術開發研究計畫。

二、研究方法

依據計畫目標及工作內容需求，需（一）、整合環境樣品採樣技術資訊，蒐集彙整及評析相關採樣技術及文獻資料，建立「環境鑑識採樣技術規範」草案，（二）、應用鑑識技術進行河川底泥相關樣品分析，協助建立底泥特定污染物鑑識，（三）、建立事業污泥特性指標物資料檔並進行再現性測試，運用統計軟體進行數據解析，（四）、編撰鑑識技術操作手冊。為確保計畫執行品質與成效，本研究計畫工作執行架構如圖 1 所示。

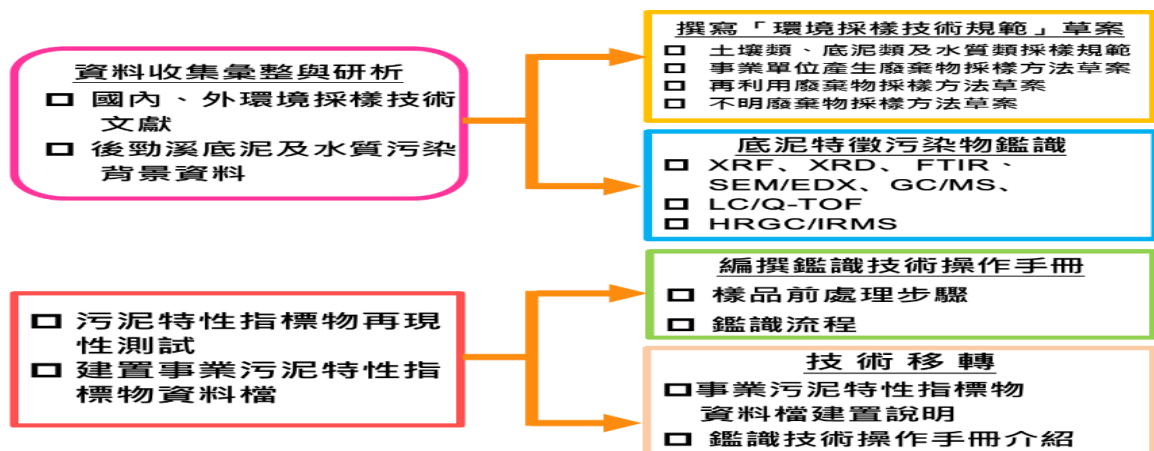


圖 1 計畫執行架構

三、研究成果

- (一) 編撰「環境樣品採集品質管制措施及規範」指引,及完成「事業單位產生廢棄物採樣方法草案」、「再利用廢棄物採樣方法草案」與「不明廢棄物採樣方法草案」研擬。
- (二) 完成污泥特性指標物再現性測試及事業污泥特性指標物資料檔建置:針對事業污泥特性指標物資料檔建置部分已完成 101~104 年的 LCD、LED、DRAM、石化業、皮革業、印刷電路板、被動電子元件、太陽能、印染業、塗料、染料及顏料製造業與其它化學製品製造業等產業之污泥特性指標物資料檔建置如表 1。在污泥特性指標物再現性測試部分,經由使用 XRF&XRD、GC/MS、LC/Q-TOFMS 等鑑識方法之鑑識結果也顯示印染業、染顏料業及石化業污泥特性具有再現性。
- (三) 完成污泥鑑識技術操作手冊撰寫:鑑識技術操作手冊內容包含場址基本資料收集、樣品採集、簡易測試及快篩方法、樣品前處理、鑑識方法、數據評析比對、鑑識報告等資料,可作為棄置污泥產源追查之參考。
- (四) 完成污泥鑑識教育訓練及技術移轉:技術移轉內容包括不明廢棄物採樣指引及案例,環境鑑識技術操作手冊介紹(樣品簡易測試、樣品前處理程序、鑑識程序)。

四、結論及應用成果

由本研究結果已完成「環境鑑識採樣技術規範」草案編撰,「事業單位產生廢棄物採樣方法草案」、「再利用廢棄物採樣方法草案」、「不明廢棄物採樣方法草案」撰寫,及建立河川底泥特定污染物鑑識技術,與建立不同事業污泥特性指標物資料檔,和編撰鑑識技術操作手冊,此研究結果皆可作為棄置污泥產源追查及發展新穎鑑識技術之參考。

表 1 各產業污泥特性指標物

產業名稱	污泥特性指標物
LCD	SiC、Si、Ce(銻)、Sr(銻)、La(銻)、EA、PGME、PGMEA、NMP、DMSO、BDG、TMAH
LED	As(砷)、Ga(鎵)、In(銻)、SiO ₂ 、CaF ₂
DRAM	SiO ₂ 、CaF ₂ 、Ce(銻)、W(鎢)、PGME、PGMEA、NMP、DMSO、BDG、TMAH
印刷電路板	銅、鎳、錳、錫、9-Octadecenamide, (Z)-(工業用防滑劑和緩蝕劑)、Benzenesulfonamide, 4-methyl-增塑劑或分散劑
被動電子元件	鈦、鋁、鋅、BaTiO ₃ 、Di-n-octyl phthalate、Bis(2-ethylhexyl) phthalate等塑化劑
太陽能	矽、鈣、氟、CaF ₂ 、SiC、9-Octadecenamide, (Z)-(工業用防滑劑和緩蝕劑)
皮革業	鎘、硫、膽固醇Cholesterol、脫脂劑(Dipropylene glycol)、殺菌劑Phenol、2-(methylthio)-Benzothiazole、氨基酸
石化業	依各廠生產產品特性而定, 特性指標如Cyclohexane、DOPs、PAHs、1,3-Dioxolane、Phthalic anhydride、可塑劑TOTM。
印染業	鋅、Ethane, 1,1-dichloro-、Chloroform、Ethane, 1,2-dichloro-、Carbon Tetrachloride、Ethene, 1,2-dichloro-, (Z)-、Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-、Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-、C14~C36 alkane&Cyclohexasiloxane、Eicosane、Tricosane、Tetracosane、等含氯有機物、矽烷類、油脂類、有機酸(酯)類化合物, Oleamide和stearamide有機物, 及C ₂₀ H ₂₃ N ₃ O(抗菌劑)與PEG聚合物, 與C ₁₇ H ₁₉ ClN ₄ O的Cyanine Dyes染料, 及C ₂₀ H ₄₁ NO ₂ (二(2-羥乙基)油胺)
塗料、染料及顏料製造業	鋅、鋁、Aniline、Benzenemethanamine, N,N-dimethyl-、Benzenamine, 2,4-dimethyl-等amine類化合物, 及1,1'-Biphenyl, 2,4'-dichloro-、1,1'-Biphenyl, 2,2',3,4-tetrachloro-、1,1'-Biphenyl, 2,2',4,4',5-pentachloro-、1,1'-Biphenyl, 2,3,3',4,5,6-hexachloro-、Dibenzo[b,e][1,4]dioxin, 1,2,3,4-tetrachloro- & isomer等多氯聯苯與戴奧辛化合物
化粧品製造業	siloxane、Tricosane C23~、1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester、2-Propenoic acid, n-tridecyl ester等矽油及酯類化合物
清潔用品製造業	D-Limonene、4-Dodecene, & isomer、Dodecanoic acid、Acetic acid, dodecyl ester、Ethanol, 2-(tetradecyloxy)-、Ethanol, 2-(eicosyloxy)-等D-檸檬烯、有機酸(酯)類及PEG類化合物
農藥及環境用藥製造業	鋅、1-Butanamine, N-butyl-、Benzene, 1,4-dichloro-、Benzene, 1,2-dichloro-、7-Benzofuranol, 2,3-dihydro-2,2-dimethyl-、Hydrazinecarboxamide, N,N-diphenyl-、Carbofuran等農藥廠所使用的原物料
其它化學製品製造業	砒、矽、SiC(處理廢切削油污泥), 氟、鈣、CaF ₂ (處理廢氟酸污泥)

參考文獻

- [1] 行政院環境保護署，環境鑑識技術開發研究(4/4)-事業污泥鑑識技術平臺建置與應用應用，105 年。
- [2] 行政院環境保護署，環境鑑識技術開發研究(3/4)- HRGC/MS/IRMS、FTIR 及拉曼光譜鑑識技術開發及應用，104 年。
- [3] 行政院環境保護署，環境鑑識技術開發研究(2/4)-IC、LC/MS/MS 及 LC/Q-TOF 鑑識技術開發與應用，103 年。
- [4] 行政院環境保護署，環境鑑識技術開發研究(1/4)-皮革業與石化業污泥行業現況調查與技術開發，102 年。
- [5] BS EN 15002:2015 Characterization of waste. Preparation of test portions from the laboratory sample.
- [6] EN 16457:2014 Characterization of waste - Framework for the preparation and application of a testing programme - Objectives, planning and report.

探討交通因子與空氣品質變動之時空環境大數據分析

—以大臺北地區為例

環境保護署監資處 崧旭資訊股份有限公司 國立中央大學土木工程學系

摘要

空氣污染一直是全球各地所關心的議題，針對環境科學方面，利用大數據分析來對環境空氣品質分析研究與預測是刻不容緩的工作。過去許多環境大數據分析方法利用不同的機器學習方法來進行分析，但卻無法得知其背後的機制與因子之間的交互作用關係。而交通工具是空氣中移動污染源的主要來源之一，移動污染源除了陸地上，亦包含空中的飛機，燃料的不同會產生不同的污染。在本研究中，我們以大臺北環境空氣品質為分析研究對象，整合包含交通車流、車速、氣象因子與各空氣污染物濃度等各種異質性巨量資料，以統計角度嘗試利用 Seasonal Decomposition by LOESS 趨勢分析方法及廣義可增式模型(Generalized Additive Model)方法來建立交通、氣象因子與空氣品質的關聯式非線性統計模型，以分析各因子之間對於空氣品質的關鍵量化數值，提供政府有效的交通與環境管理政策方針之建議。

研究結果顯示，整體趨勢上大臺北地區之空氣品質持續改善中，無論是主要的交通污染物如 NO_x 與 CO ，或是 PM_{10} 皆是如此。運用廣義可增式模型方面，分析空氣品質 NO_x 、 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 與車流量、車速之相關性，以此實驗地區道路數據為例，平均車流控制於每小時 1144 輛以內或平均車速控制於時速 38 公里以上，即可對於改善空氣品質有最大的幫助。

關鍵字：空氣品質、交通污染物、廣義可增式模型、環境大數據分析

一、前言

在現今高度資訊化的社會，電腦、智慧型手機、感測器物聯網、社群網路與雲端技術等資訊科技高度發達，巨量的資料不斷地在我們的資訊設備內流通與儲存，伴隨而來的就是所謂的大數據 (Big Data，或稱為巨量資料) 世代，或稱之為所謂的大數據革命[1]，已經顯著地改變了我們的生活、工作甚至是對事物的思考方式。而在環境保護方面上的議題也不例外，長久以來，各國政府及民間相關單位透過各種環境監測技術持續性地監測各種環境資訊並且蒐集數據，包括從宏觀尺度的環境監測如各種資源衛星與氣象衛星持續地監測我們的大氣環境資訊、到各種地面天氣觀測、環境空氣品質觀測站網資訊、海象觀測、全球網格再分析資料、甚至到近兩年開始發展的環境微型感測器監測資料，都需要透過進一步的數據分析以洞察背後潛在的資訊[2]。因此，針對環境科學方面，利用大數據分析來對環境空氣品質等環境議題進行完善的分析研究與預測將是刻不容緩的工作。我們可以以系統化角度串聯原本分布在不同時空下的環境資訊，並持續地蒐集環境大數據並利用資料探勘與時空資料分析技術，將龐大的環境監測資料萃取出有價值的資訊，提供給政府機關更精確的政策參考或進一步學術分析研究使用。早期，環境大數據的應用多集中在網際網路環境地理資訊的展現與視覺化，如 Web-GIS 或軟體開發等發展應用[3-4]，或是利用機器學習等方法進行探勘與分析，如「綠色地平線計畫」與「U-Air 計畫」等研究[5-7]。綠色地平線計畫(Green Horizon Project)為中國 IBM 公司嘗試針對社會可持續發展的三大難題—大氣污染防治、可再生能源高效利用和企業節能減排，推出全球領先的實踐範例。透過與北京市政府的合作，利用大數據分析、物聯網以及認知計算等技術，為政府和企業決策者提供準確、即時的資料，以幫助實現高精確度的大氣污染防治與預測[8]。

U-Air 計畫則是由微軟亞洲研究院利用大數據應用所開發的一套空氣品質預測系統，能提供即時空氣品質預測，無論在北京的任何一個角落，該系統都能提供即時的 $\text{PM}_{2.5}$ 推估值。U-Air 的作法是除了空氣監測站的即時監測資料外，再結合五種異質數據集一起分析，包括氣象資訊、交通流量、人群移動、城市據點（如車站、大樓、飯店、停車場、公園等等）及道路結構等資料。利用機器學習技術從中建立空氣品質 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度的分析模型，再以這個模型為基礎，就能依據即時的空氣監測數據、交通流量等數據，以及各地區的地形、地物等資訊，進行城市任一地點的空氣品質預測[7]。

然而，由於過去許多大數據分析方法利用不同的機器學習方法來進行分析，如神經網路方法

(Neural Networks)等進行監督式學習建模[9-11]，我們能夠透過一些因子輸入這些方法所建立的模型來進行預測或分析，但卻無法得知其背後的機制與因子之間的交互作用關係，然而這對於環境相關的研究發展或政策的擬定來說，卻是非常重要的環。

而空氣污染一直是全球各地所關心的議題，不僅與大氣環境、生態環境有關，最重要的是傷害人類的健康。隨著現代化工業社會快速發展，加上全球氣候變遷以及民眾環境意識的抬頭，空氣污染問題逐漸成為國人眾所矚目的焦點[12-14]。聯合國(UN)與世界衛生組織(World Health Organization, WHO)警告，全球主要大城市的空氣污染將對數百萬人的性命造成嚴重致命威脅，且持續惡化的空氣狀況使得全球的衛生醫療服務面臨更嚴峻挑戰，各國政府也將因此蒙受巨大的經濟損失。WHO 於 2014 年一份研究報告中顯示，2012 年東南亞與西太平洋地區，總計有三百三十萬人之死因與室內之空氣污染相關，兩百六十萬人之死因與室外空氣污染相關，死因包括：心血管疾病、中風、慢性阻塞性肺病、肺癌與孩童的急性下呼吸道疾病等等[15]。國際知名頂尖期刊《Nature》近期刊登的一篇文章更指出，空氣污染每年所造成的死亡案例，比瘧疾和愛滋病毒的致死人數相加更多。且在很多國家，空氣污染的致死率甚至比交通事故造成的死亡率高出 10 倍[16]。事實上，近年來許多研究更已進一步指出，空氣細懸浮微粒為直接或間接導致肺炎、氣喘、過敏、血液、心臟和心血管、癌症，甚至阿茲海默症等相關疾病的最主要有害來源[16-20]。台灣衛福部 2014 年公告十大死因之統計，其中有七項與空氣污染有關，近年來許多研究指出不論是肺癌、心血管疾病、乳癌、胃癌，甚至孩童的氣喘，皆與空氣污染有統計上顯著相關[20-22]。

此外，交通工具一直是空氣中移動污染源的主要來源之一，移動污染源除了陸地上，亦包含空中的飛機，燃料的不同會產生不同的污染，使用柴油的機動車，會產生 NO_x 、Particulate Matters、 SO_x 、 CO_2 等；而使用汽油的機動車，則主要會產生 CO 、 CO_2 、 NO_x 、HC 等，共同產生的物質則包含 NO_x 與 CO_2 。一般來說，早期的柴油引擎所造成之空氣污染比汽油引擎所造成的污染嚴重。近年來，由於交通工具的進步、全民與政府的努力，也使交通工具的空氣污染排放量逐漸減少、二行程機車逐步汰除、電力或是油電混合車的增加等，已逐步減少 CO_2 排放量達 22% [23]。

因此本研究中我們以大台北環境空氣品質為分析研究對象，整合包含交通車流、車速、氣象因子與各空氣污染物濃度等各種異質性巨量資料，以統計角度嘗試利用 Seasonal Decomposition by LOESS 趨勢分析方法，分析大台北地區空氣品質污染物的季節性變動趨勢以及季節性週期變動以外的整體長期變動主要趨勢(Big Trend)。其次，由於環境監測資料必須考量其因子之間強烈的非線性(non-linear)與非穩態(non-stationary)的特性，因而我們採用廣義可增式模型(Generalized Additive Model)[24]方法來建立交通、氣象因子與空氣品質的關聯式非線性統計模型，以分析各因子之間對於空氣品質的關鍵量化數值，提供政府有效的交通與環境管理政策方針之建議。

二、研究方法

(一) 資料蒐集與前處理

本研究蒐集整理並分析交通車輛偵測器與空品等大數據，共蒐集巨量異質性資料主要包含：(1)環保署全台各測站小時尺度 2001 年至 2017 年 2 月 17 日的各種空品污染物資料(2)台北市交通局提供之 2012 至 2016 年車輛偵測器 Vehicle Detector (VD)小時尺度資料(3)中央氣象局相關氣象資料等，其中車輛偵測器 Vehicle Detector 遍佈達 809 個測點，量測每小時車流數量、平均車速等車輛資訊，經過初步資料整理、降維度分析以及資料清理等分析，處理總資料筆數約為一億七千萬筆資料，並從中萃取有用資訊。另外，由於交通感測器車流資料量測精確度的受儀器限制，其數值可視為相對車流量大小，僅供參考非代表實際車流量。整體資料處理與分析程序如圖 1 所示，從資料蒐集與探索性分析(Exploratory Analysis)、資料前處理(Data Pre-processing)，到利用 LOESS Decomposition 分析與廣義可增式模型建模(GAM Modeling)與最後視覺化呈現(Visualization)，亦為一般大數據分析通用的標準步驟。

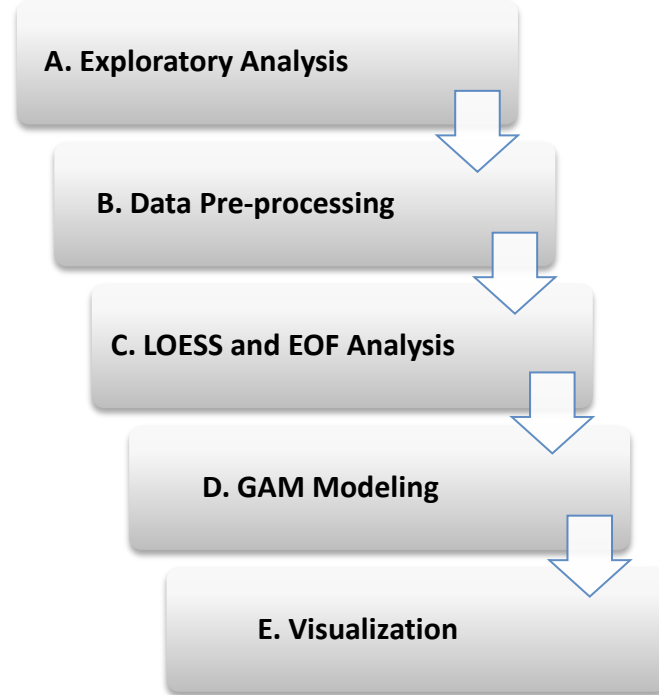


圖 1 大數據分析與建模流程

(二) Seasonal Decomposition by LOESS 趨勢分析

由於各種環境空品資料受到氣候影響非常顯著，因此其時間序列皆有強烈的季節性週期變動特徵，原始資料往往會受到強烈的週期性變動主導，而無法看到其資料背後隱含的資訊。因此本研究首先應用 Seasonal Decomposition by LOESS (Locally Weighted Scatterplot Smoothing, LOESS)技術[25]分析大台北各環保署空品測站監測資料，找出季節性變動趨勢 (Seasonal Trend)以及季節性週期變動以外的整體長期變動主要趨勢(Big Trend)。

LOESS 又稱為局部加權迴歸法（或稱小區域迴歸法），是一種嶄新的非線性統計迴歸方法，目前已開始應用在各領域的分析研究上。本研究利用 Repeated LOESS smoothing [25]的方式來計算資料的季節性趨勢。在分析不同環境因子時，長時間尺度下，整體資料大趨勢的變動往往會受到季節性因素的影響，使得在進行因子分析的時候無法觀察出因子之間的擾動關係。因此我們必須將每一個因子時間序列的季節性趨勢分離出來並移除，這樣才能顯現出資料中除了大尺度氣候、季節週期因素之外的趨勢與細微變動。

假設一個於時間 t 的單變量時間序列 Y_t ，則 Y_t 可以用以下模式表示：

$$Y_t = Trend_t + Seasonal_t + Remainder_t \quad (1)$$

或

$$Y_t = Z_t + S_t + u_t \quad (2)$$

其中， Z_t 為時間序列的整體 smoothing 後的低頻變動大趨勢，稱為 Big Trend； S_t 為週期性變動的季節性趨勢，稱為 Seasonal Trend； u_t 為最後剩餘的資訊或細微變動，稱之為 Remainder。因此，此單變量時間序列可以被分解為三部分分別為大趨勢、季節性趨勢以及剩餘資訊。我們即可很清楚地觀察分解後的時間序列的各部分變動情形。

LOESS 首先將變數依權重區分為許多獨立的小區域，接著再對每一個區域內計算小區域的平均(Local Smoothing)，或是進行一次或二次線性迴歸，因此每一個小區域皆會找到一個迴歸曲面，最後再以數值形式將每一個小區域結合成為一個完整的模式，此模式即為此變數的迴歸值。因此，LOESS 的迴歸並沒有建立傳統線性迴歸一般所得之迴歸公式，而是以大量數值資料形式來儲存模式。預測時即透過數值方法將應變數對應模式，即可找到預測的反應變數近似值。雖然此分析程序較為複雜，但可以考量到複雜的非線性問題，完整呈現非線性趨勢與我們想要知道的細微變動，是一個非常有效的分析資料方法。

(三) 廣義可增式模型(Generalized Additive Model)

廣義可增式模型(Generalized Additive Model, GAM)，或稱之為泛加成模型，最早由 Hastie & Tibshirani 等人於 1990 年所提出[24]，為一種強大且實用的非線性統計迴歸模型。廣義可增式模型的優點為沒有像其他線性模型一般，必須有一些假設（如 normal assumption 或 variance homogeneity 等），且能透過平滑函數來處理非線性因子之間的問題。

一般傳統線性模型可表示如下：

$$E(Y|X_1, X_2, \dots, X_p) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad (3)$$

而在廣義可增式模型之下，我們可以將自變數項改為平滑函數，模型可改寫如下式所示：

$$E(Y|X_1, X_2, \dots, X_p) = \alpha + f_1(X_1) + f_2(X_2) + \dots + f_p(X_p) \quad (4)$$

其中， $f_i(X_i)$ 為平滑函數(smoothing function)，其並非為特定某種方程式，而是以無母數(non-parametric)的型態去估計。平滑函數的選擇有很多種，如 B-spline、thin-plate smoothing spline 或 LOESS 等。因此，我們能透過 GAM 建立更靈活的非線性統計模型，同時可以了解在此模型擬合的條件之下，各自變數對於應變數的非線性貢獻。本研究採用開源統計程式軟體 R 之 package mgcv 實作 GAM 之模式建立。

三、結果與討論

(一) 台北市空氣品質時空變化

1. NO_x 濃度變化

透過 LOESS 趨勢分析可將 NO_x 濃度的時間序列拆解成季節性變化(Seasonal)、趨勢變化(Trend)與殘差項變化(Remainder)，圖 2 至圖 4 分別為台北市西區（萬華空品測站）、市中心（古亭空品測站）及東區（松山空品測站）分析結果，由趨勢變化(Trend)可得知台北市中心為持續下降，西區及東區在 2010 年後下降幅度明顯增加，而東區至 2012 年後變化則趨緩。整體來說，台北市各區 NO_x 濃度大多皆有穩定下降趨勢（圖 5）。

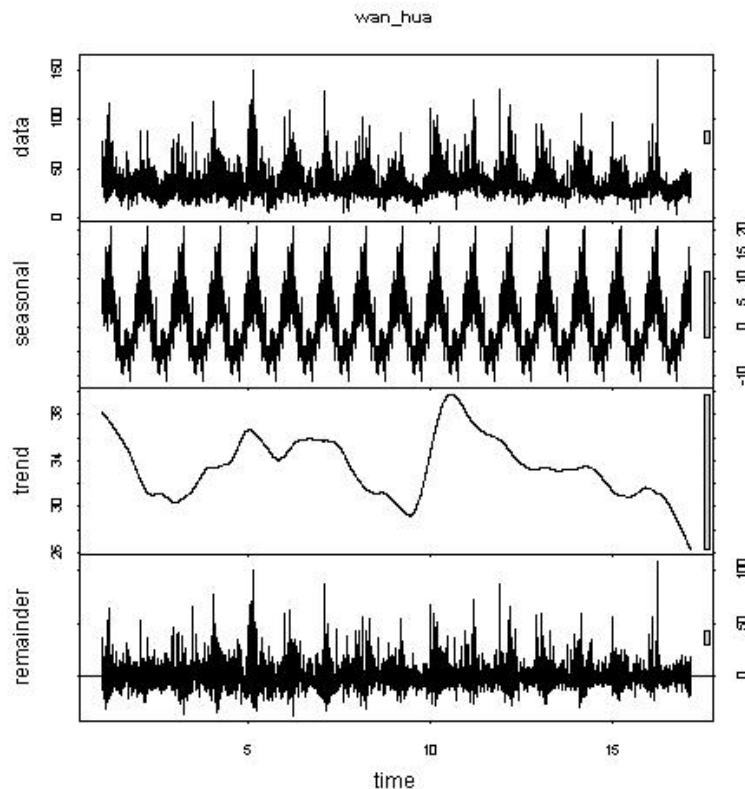


圖 2 台北市西區（萬華空品測站）NO_x 的 LOESS 趨勢分析結果

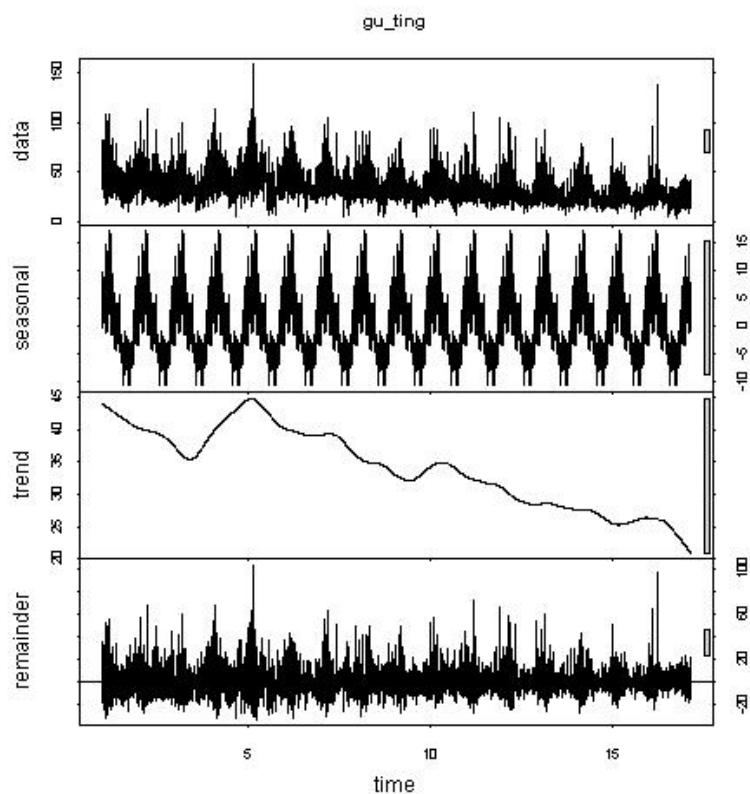


圖 3 台北市中心（古亭空品測站）NO_x 的 LOESS 趨勢分析結果

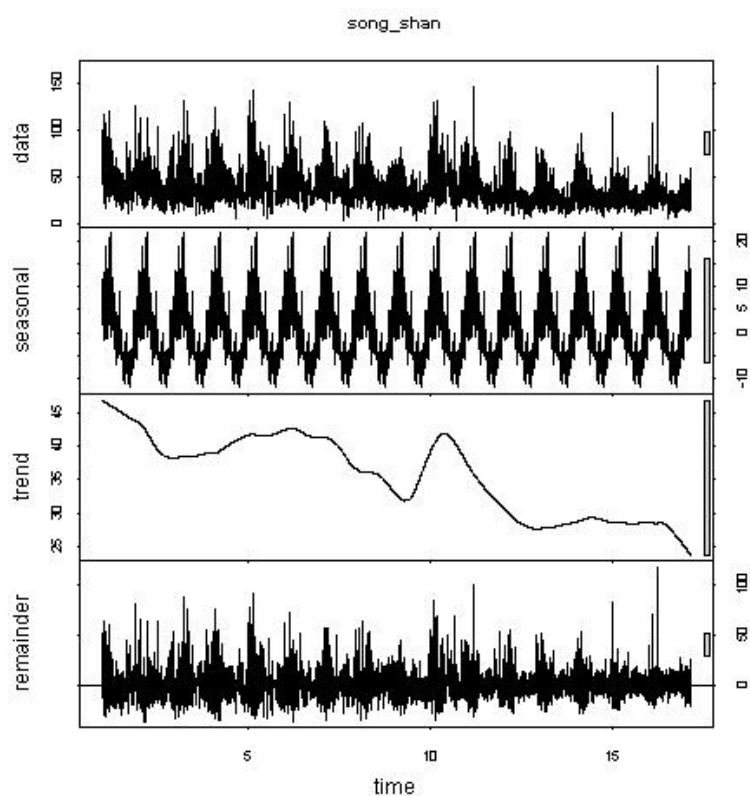


圖 4 台北市東區（松山空品測站）NO_x 的 LOESS 趨勢分析結果

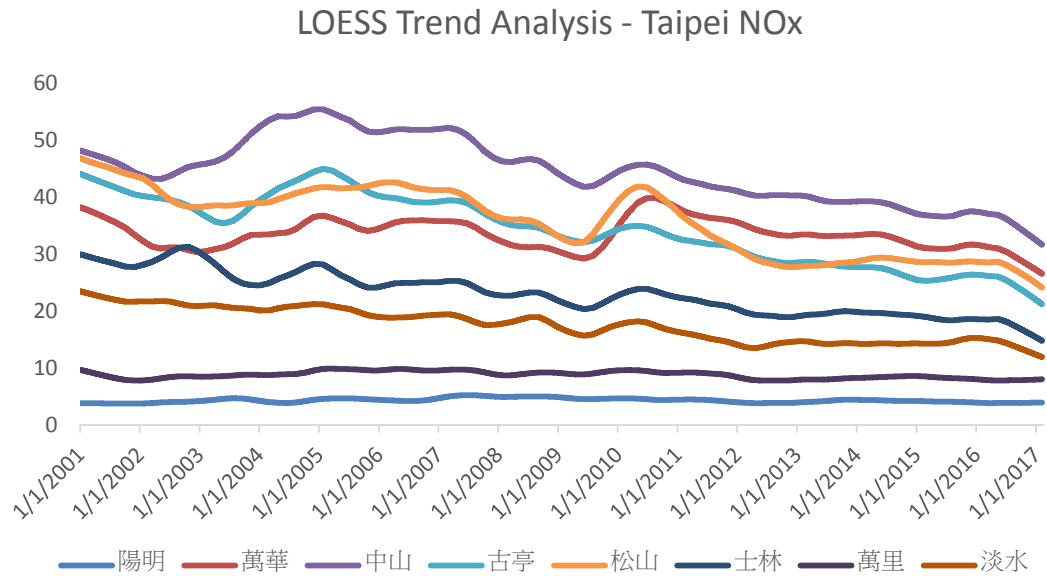


圖 5 台北市各區 NO_x 的 LOESS 趨勢分析 Trend 趨勢圖

2. CO 濃度變化

不同於 NO_x 濃度變化，在萬華及松山空品測站的 CO 濃度在 2010 年無明顯高峰值，整體來說，CO 濃度的 LOESS 趨勢分析結果在萬華、古亭及松山測站皆呈穩定下降趨勢，顯示出大台北地區各地的 CO 濃度逐年穩定下降（圖 6 至圖 8）。

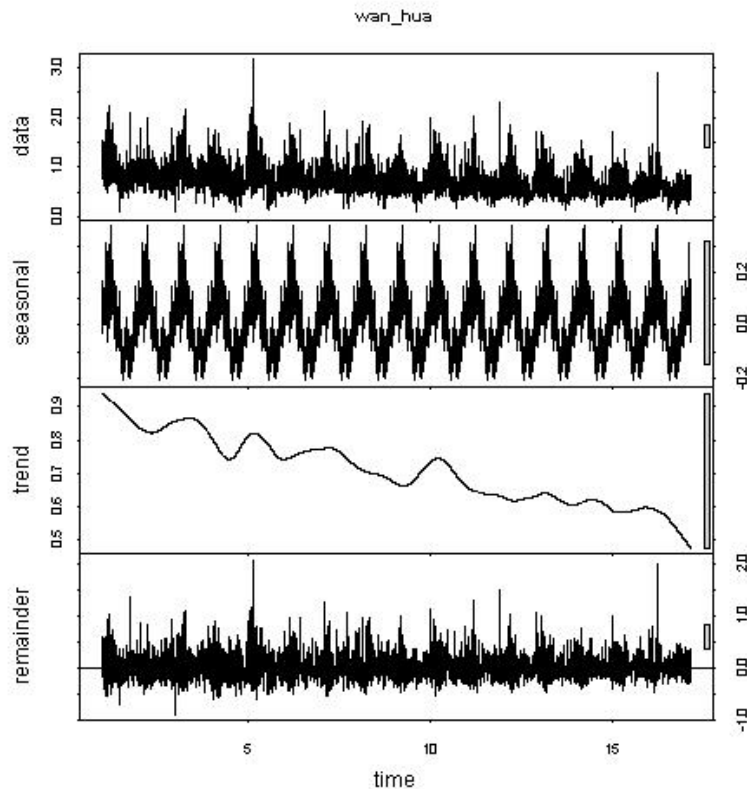


圖 6 台北市西區（萬華空品測站）CO 的 LOESS 趨勢分析結果

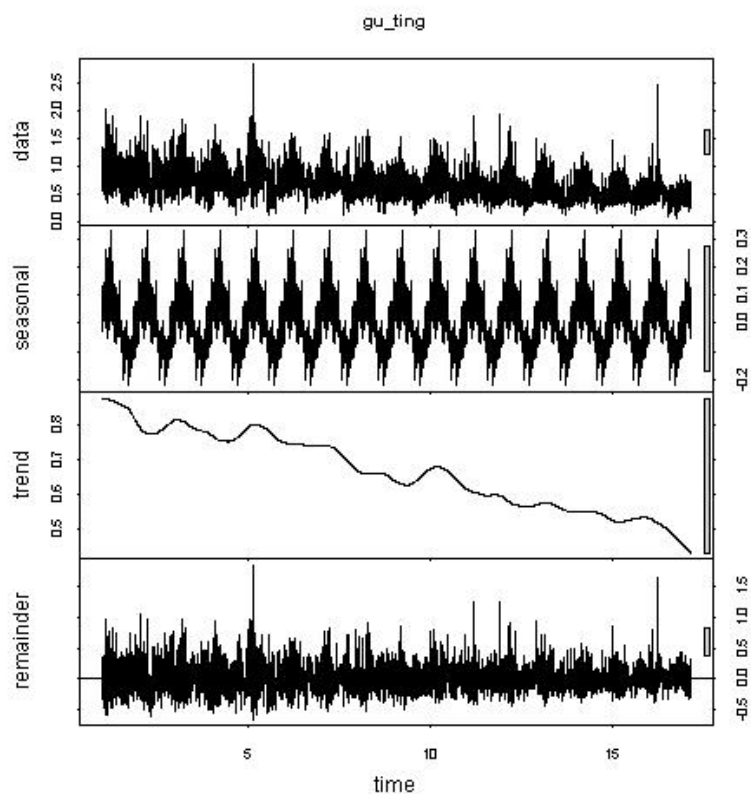


圖 7 台北市中心（古亭空品測站）CO 的 LOESS 趨勢分析結果

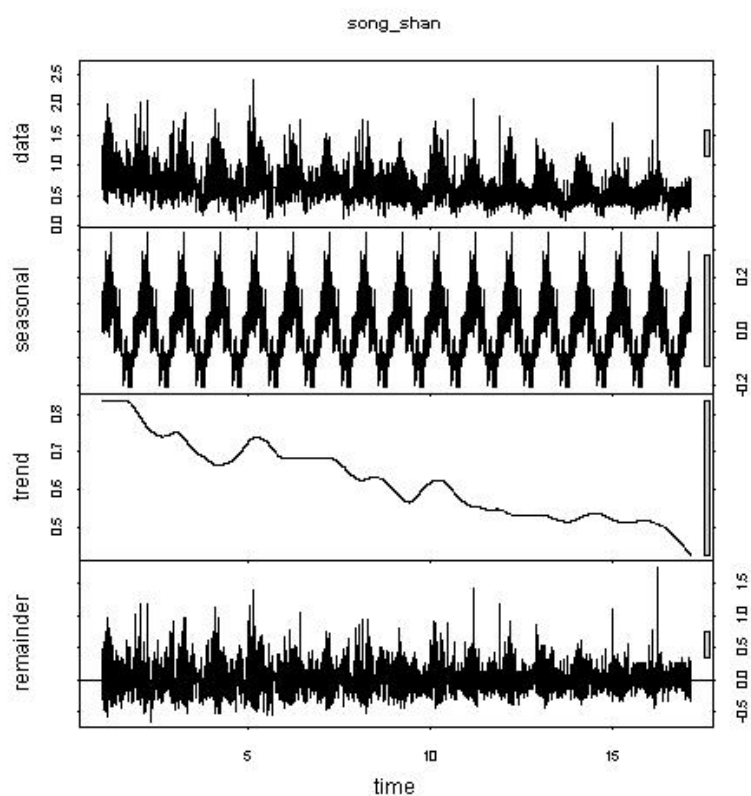


圖 8 台北市東區（松山空品測站）CO 的 LOESS 趨勢分析結果

3. PM_{10} 濃度變化

相較於 NO_x 與 CO 濃度變化， PM_{10} 濃度的改善變異性較大，LOESS 趨勢分析顯示萬華與松山的 PM_{10} 濃度為減少趨勢，表示台北市西區與東區的改善幅度較多，但古亭的 PM_{10} 濃度則無明顯下降，直至 2016 年才有大幅度的減少，顯示台北市中心改善較晚（圖 9 至圖 11），而從圖 12 可看出台北市各區 PM_{10} 濃度變化趨勢皆不相同。

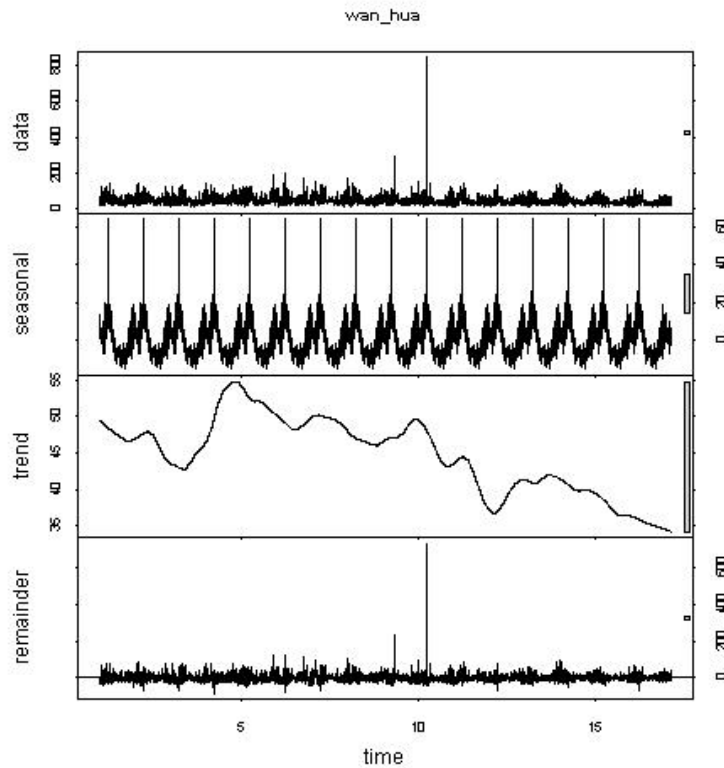


圖 9 台北市西區（萬華空品測站） PM_{10} 的 LOESS 趨勢分析結果

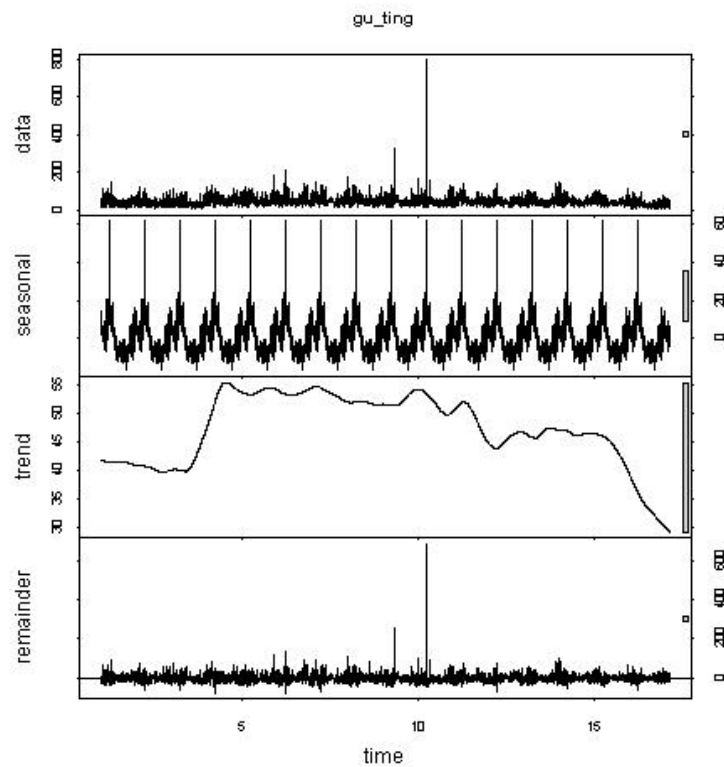


圖 10 台北市中心（古亭空品測站） PM_{10} 的 LOESS 趨勢分析結果

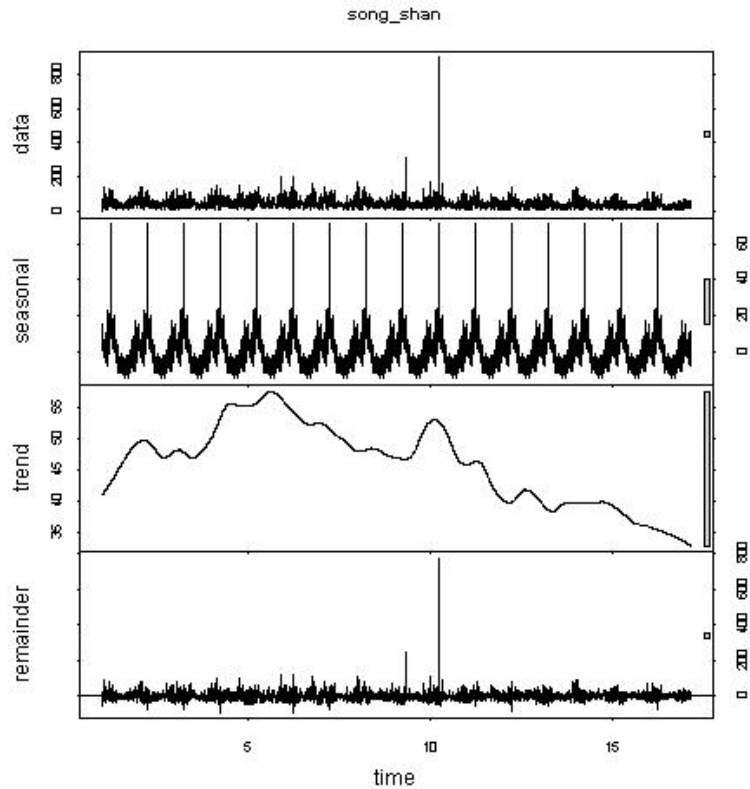


圖 11 台北市東區（松山空品測站）PM₁₀ 的 LOESS 趨勢分析結果

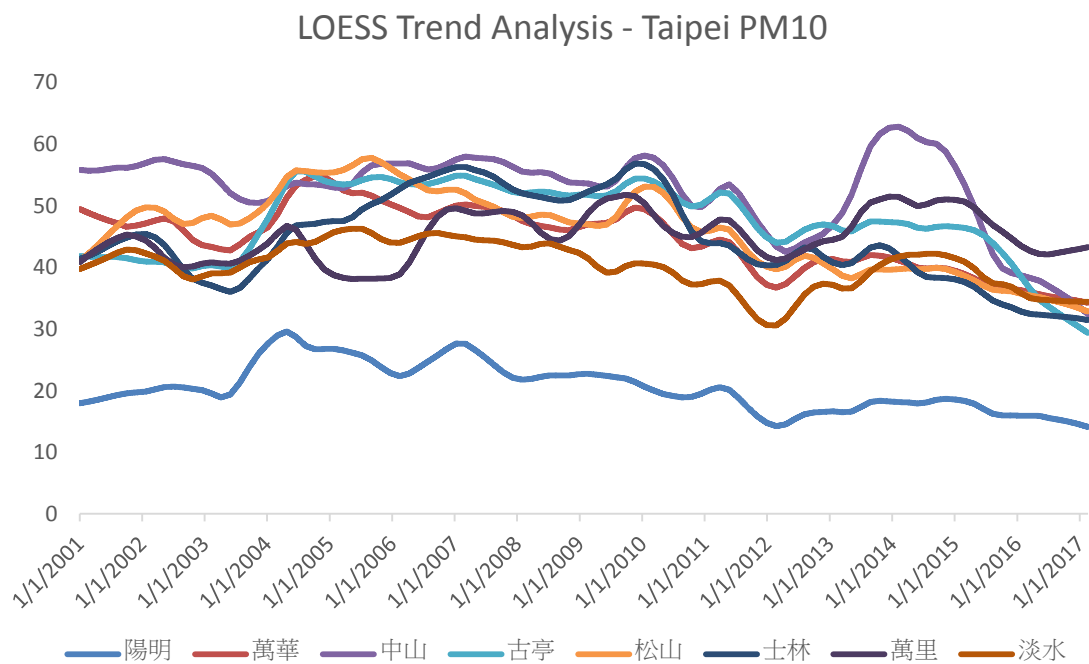


圖 12 台北市各區 PM₁₀ 的 LOESS 趨勢分析 Trend 趨勢圖

(二) 台北市交通車流量、車速與空品之關係

透過廣義可增式迴歸模型(Generalized Additive Models, GAM)，可以了解空氣品質與車流、車速的非線性關係。以古亭空品測站與古亭交通感測器(羅斯福路三段上，雙向各四線道)2012年至2016年資料為例，將推測會影響空氣品質之變數建立代入廣義可增式迴歸模型，其中變數包含交通因子(車流及車速)與氣象因子(氣溫、風速及風向)。NO_x之GAM模式結果顯

示氣壓與濕度對於 NO_x 影響較為不顯著，因此並沒有被選為 NO_x 模式建模的因子中。

1. NO_x 之 GAM 模式

圖 13 至圖 17 為 NO_x 之 GAM 分析結果之各變數偏平滑函數(Partial smoothing functions)。交通因子部分，可以明顯發現 NO_x 濃度隨車流增加而增加，而車流在大於每小時 1144 輛（參考車流值，非代表實際車流量，詳見結論）時開始對於 NO_x 有顯著不良影響（圖 13）；從上升斜率可以看出，當車流從每小時 0 至約 750 輛之間以及大於約 1400 輛，隨著車流量增加， NO_x 增加的幅度最大（快速上升期），換句話說，在這段區間內，車流量增加少許，即會對於 NO_x 有較大的影響，而介於每小時約 750 至 1400 輛之區間則上升較為平緩。因此，車流若能控制在少於每小時 1400 輛，或是更嚴苛一點控制在每小時 1144 輛以內，將會對空氣品質會有最大的幫助。車速的分析結果，除了的平均車速小於時速 15 公里因 95%信賴區間太大可信度較低之外，車速約時速 21.0 至 30.4 公里之間對 NO_x 的負面影響逐漸增加，平均時速 30.4 公里達到最高峰，對 NO_x 有最大的負面影響，而後車速增加對於 NO_x 的影響逐漸遞減，在超過時速 38 公里時對 NO_x 影響開始低於平均濃度（圖 14）。因此，以此實驗地區道路來說，平均車速盡可能控制在時速 38 公里以上，對於空氣品質將有最好的幫助。

氣象因子部分由於是自然驅動力的物理現象則相對單純，氣溫大於 23°C 時對於 NO_x 有良好影響，而對 NO_x 的負面影響最大值落在氣溫約 19 度時（圖 15）；風向為西南風時（ 140° 至 250° ）對 NO_x 的濃度不良影響最大（圖 16），可能原因為污染源之傳遞方向影響；此外，風速的影響則相對線性許多，風速越快則減少 NO_x 濃度越多，風速大於每秒 1.88 公尺時對 NO_x 有良好影響。

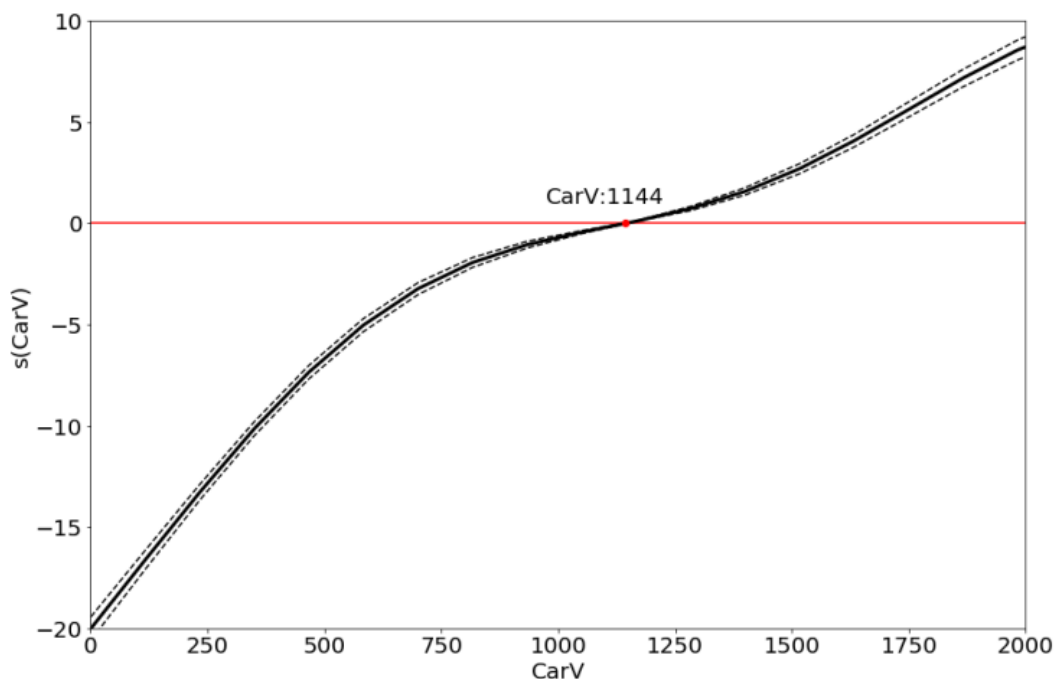


圖 13 GAM 分析結果車流（輛/小時）對 NO_x 關係圖

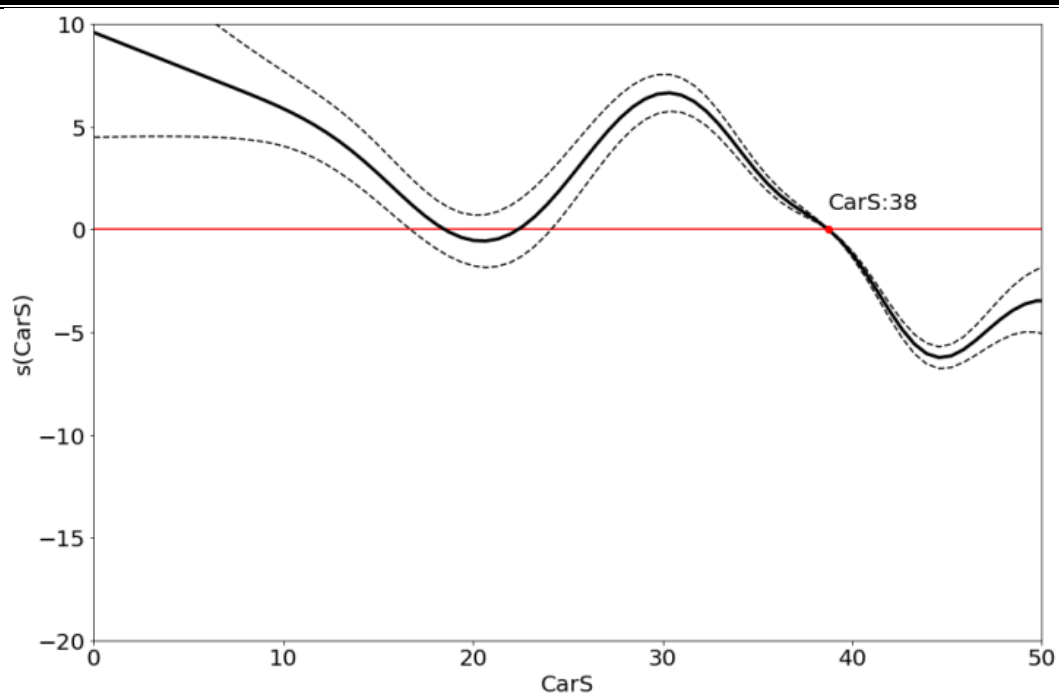


圖 14 GAM 分析結果車速（公里/小時）對 NO_x 關係圖

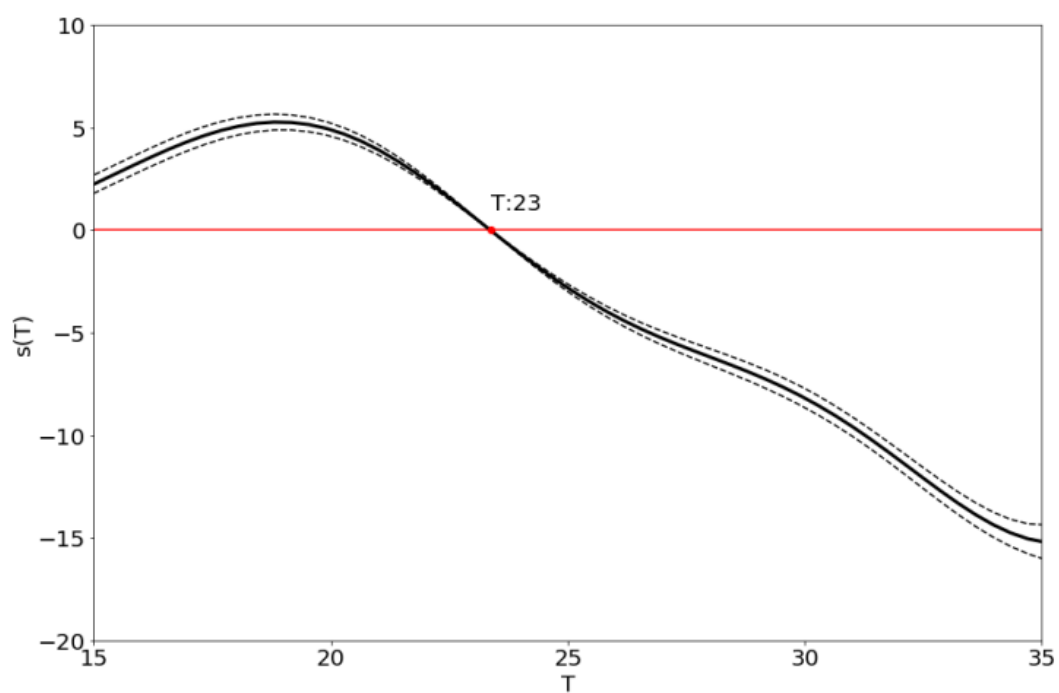
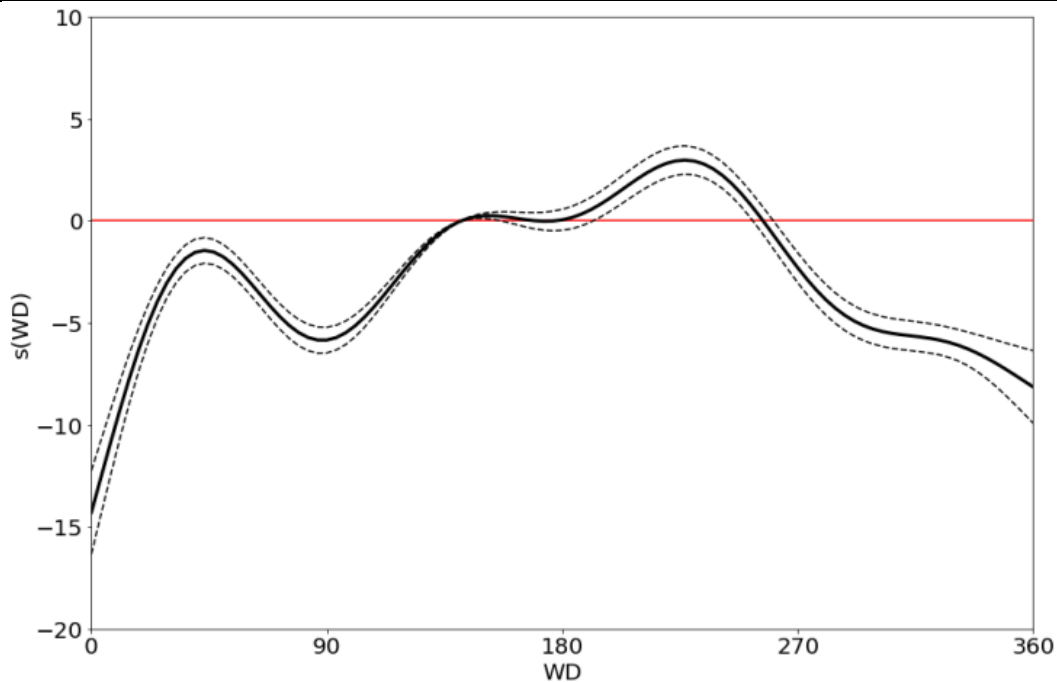
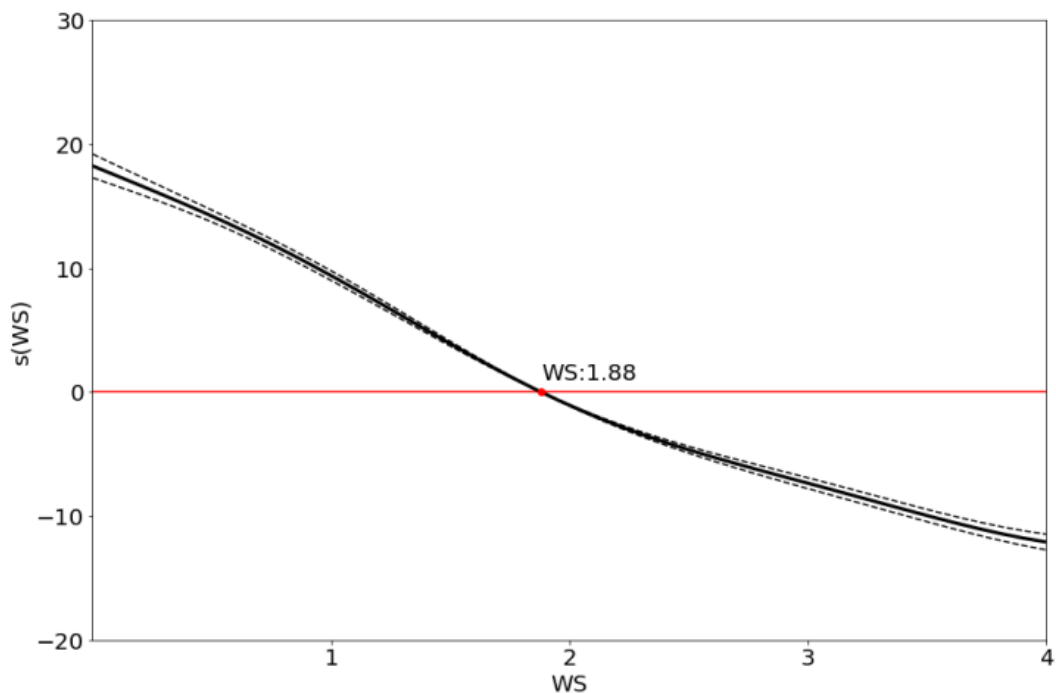


圖 15 GAM 分析結果氣溫(°C)對 NO_x 關係圖

圖 16 GAM 分析結果風向（度）對 NO_x 關係圖圖 17 GAM 分析結果風速（公尺/秒）對 NO_x 關係圖

2. $\text{PM}_{2.5}$ 之 GAM 模式

$\text{PM}_{2.5}$ 之 GAM 模式中，除上述變數外，將氣壓與濕度也納入氣象因子，其結果為圖 18 至圖 24。由各變數偏平滑函數可以知道， $\text{PM}_{2.5}$ 隨車流量增加而增加，車流量大於每小時 1143 輛對 $\text{PM}_{2.5}$ 屬不良影響，從上升斜率來看，車流量增加對於 $\text{PM}_{2.5}$ 上升皆較為平緩（圖 18）；車速的分析結果與 NO_x 的結果相近，但車速變化對於 $\text{PM}_{2.5}$ 增減幅度較 NO_x 的結果小（圖 19）。

氣象因子部分，氣溫與風速的分析結果亦與 NO_x 的結果相近（圖 20 與圖 21），風向則幾乎皆對 $\text{PM}_{2.5}$ 有負面影響（圖 22），與空品測站和道路（交通因子）的相對位置關聯性較低；氣壓的分析結果多數對 $\text{PM}_{2.5}$ 為負貢獻，僅在約 1010 Pa 有些微不良影響（圖 23）；溼度分析結果顯示，溼度小於 76.76% 對 $\text{PM}_{2.5}$ 為正貢獻，在溼度約 49.3% 達到最高峰。整體來說，所有變數都有統計上的顯著 $p\text{-value} < 0.05$ （表 1），而 $\text{PM}_{2.5}$ 受到交通因子的影響較不顯著，因車流與車速的改

變對於 $PM_{2.5}$ 變化幅度較小，以及風向分析結果道路位置對於 $PM_{2.5}$ 影響不明顯，至於溼度與氣壓等氣象因子的影響比較顯著，如溼度就很明顯在約 22%至 76%之間特別增加 $PM_{2.5}$ 濃度。

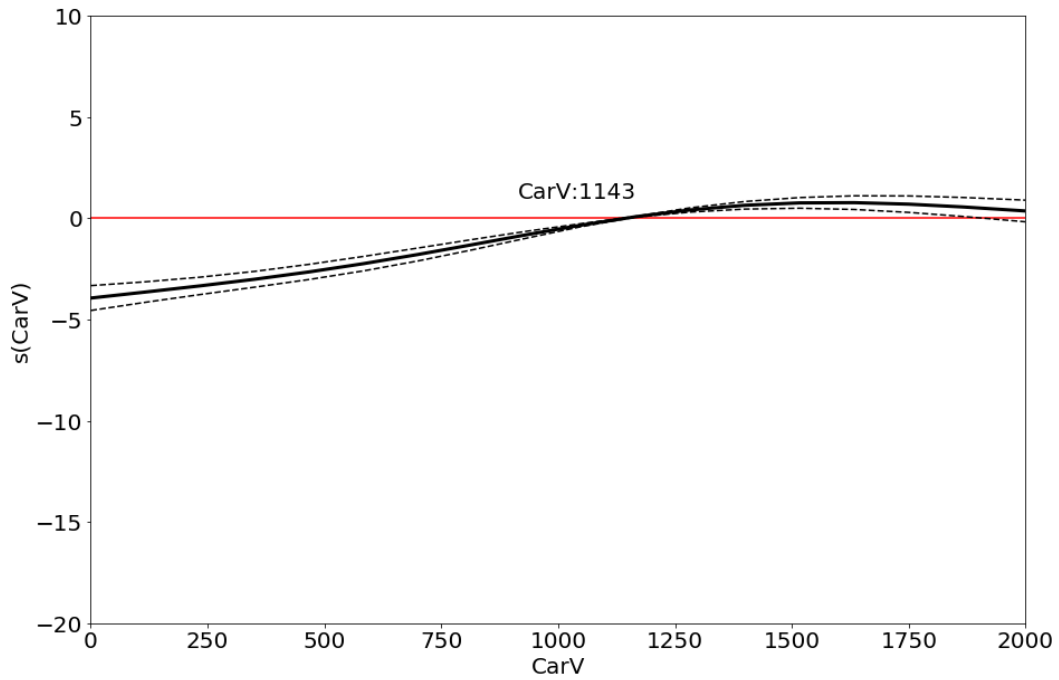


圖 18 GAM 分析結果車流對 $PM_{2.5}$ 關係圖

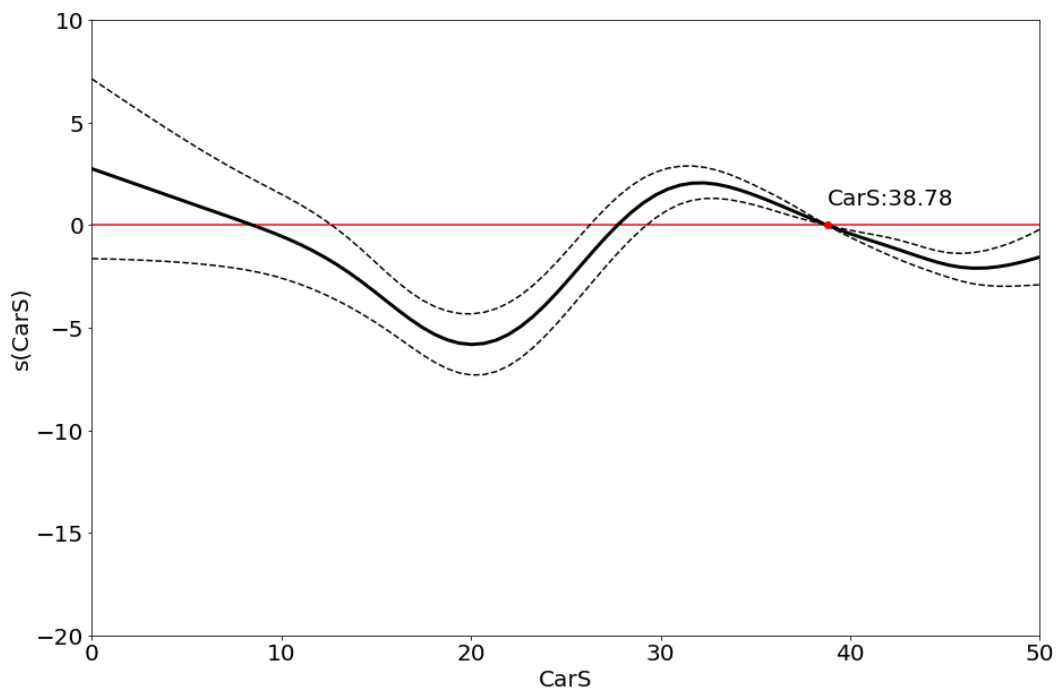


圖 19 GAM 分析結果車速對 $PM_{2.5}$ 關係圖

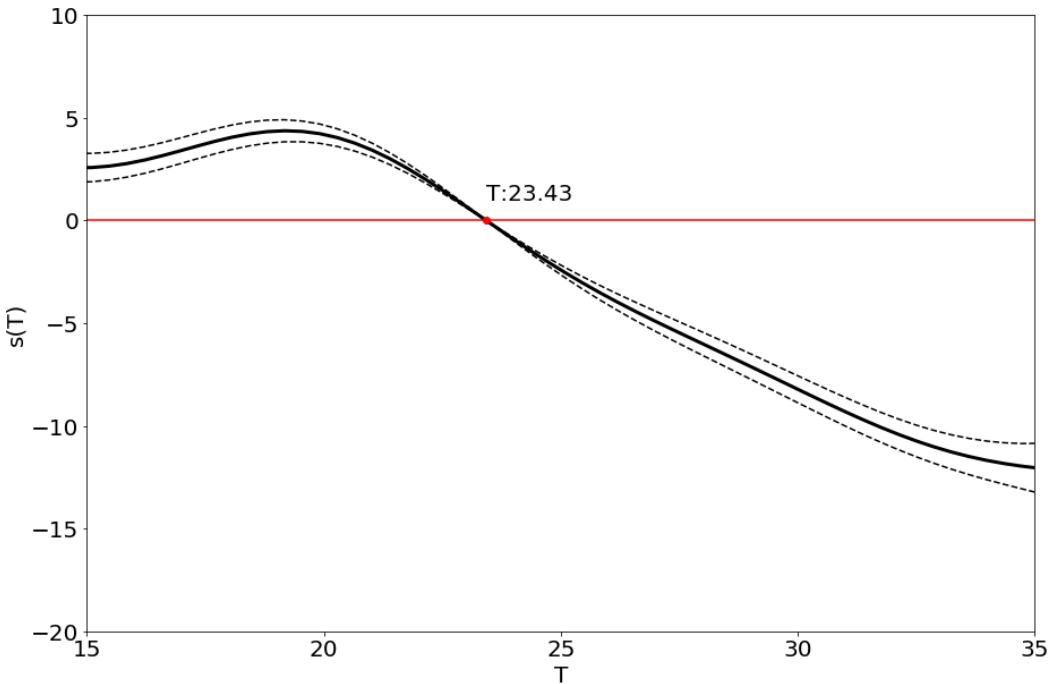


圖 20 GAM 分析結果氣溫對 PM_{2.5} 關係圖

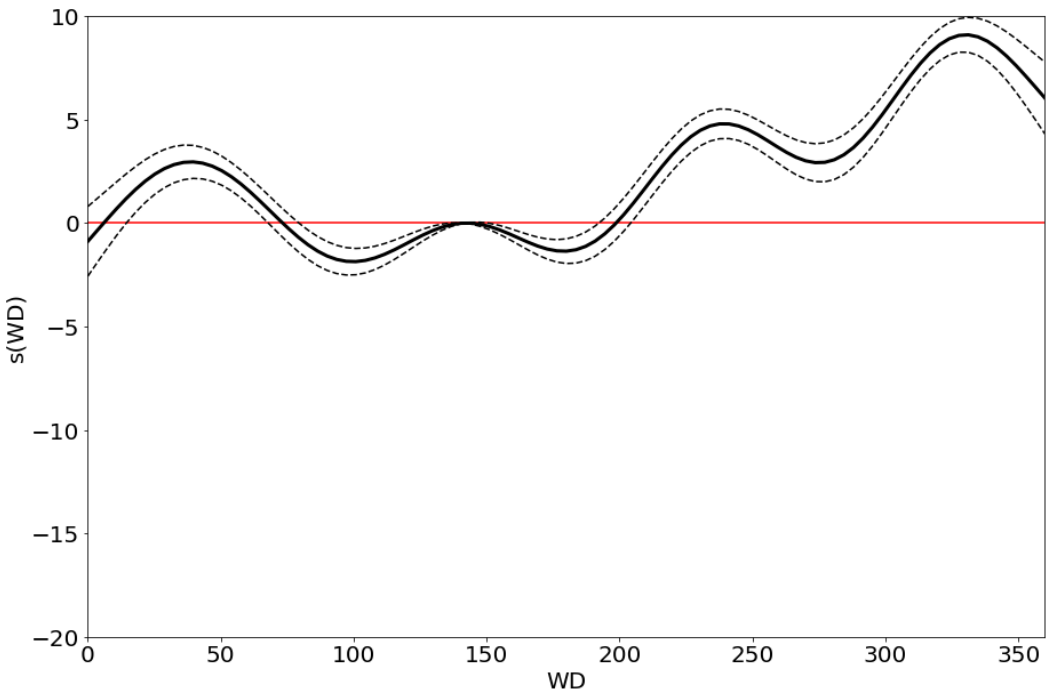


圖 21 GAM 分析結果風向對 PM_{2.5} 關係圖

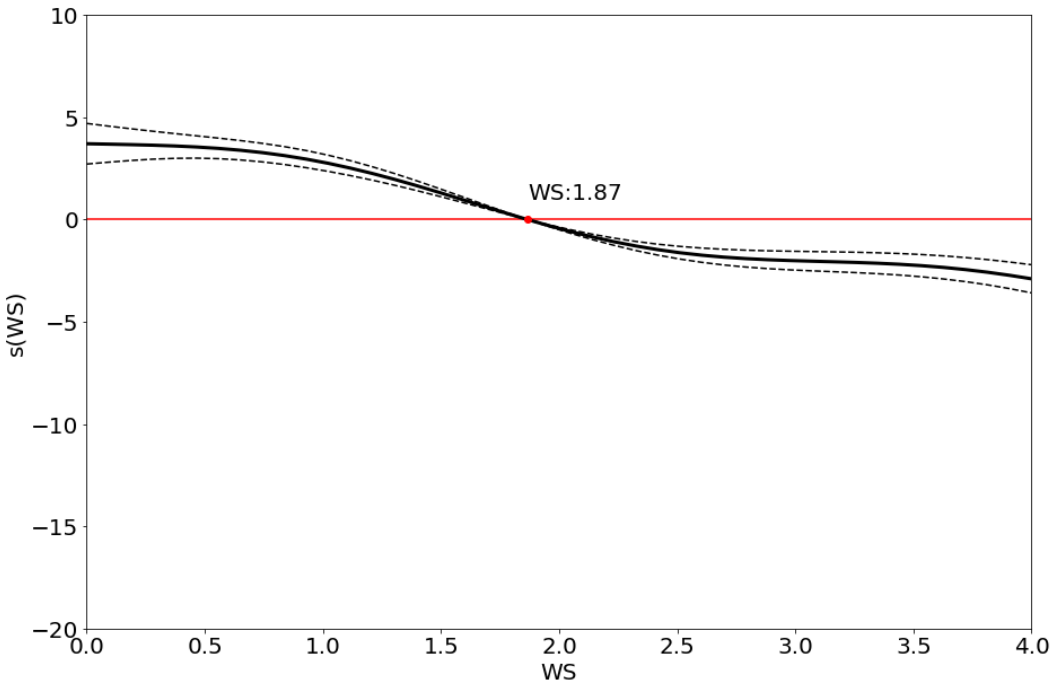


圖 22 GAM 分析結果風速對 $PM_{2.5}$ 關係圖

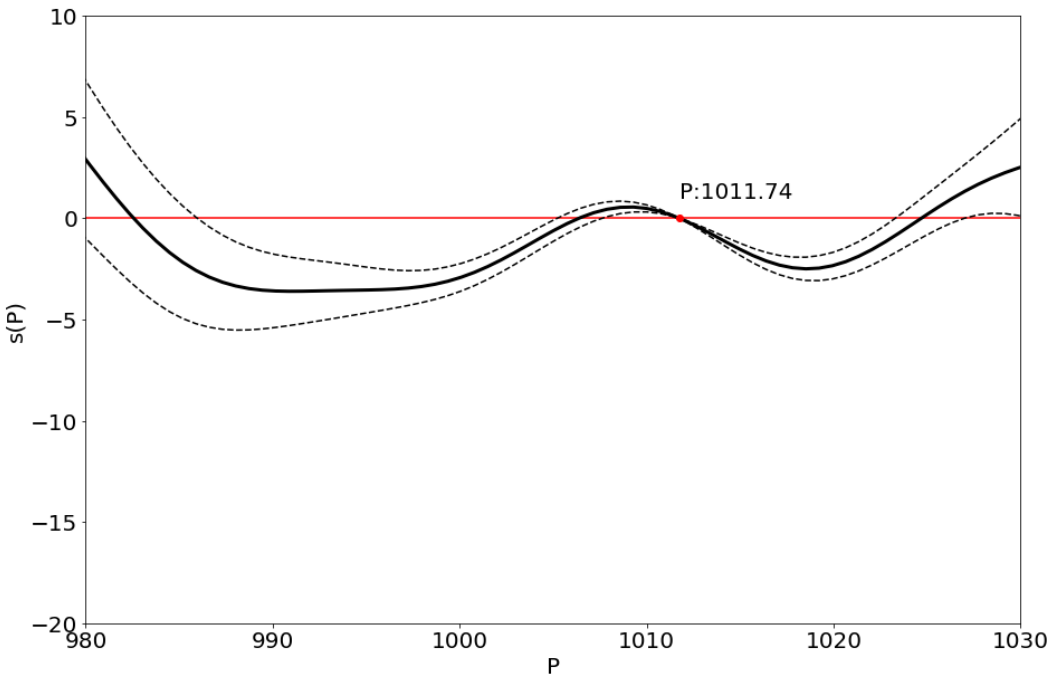


圖 23 GAM 分析結果氣壓對 $PM_{2.5}$ 關係圖

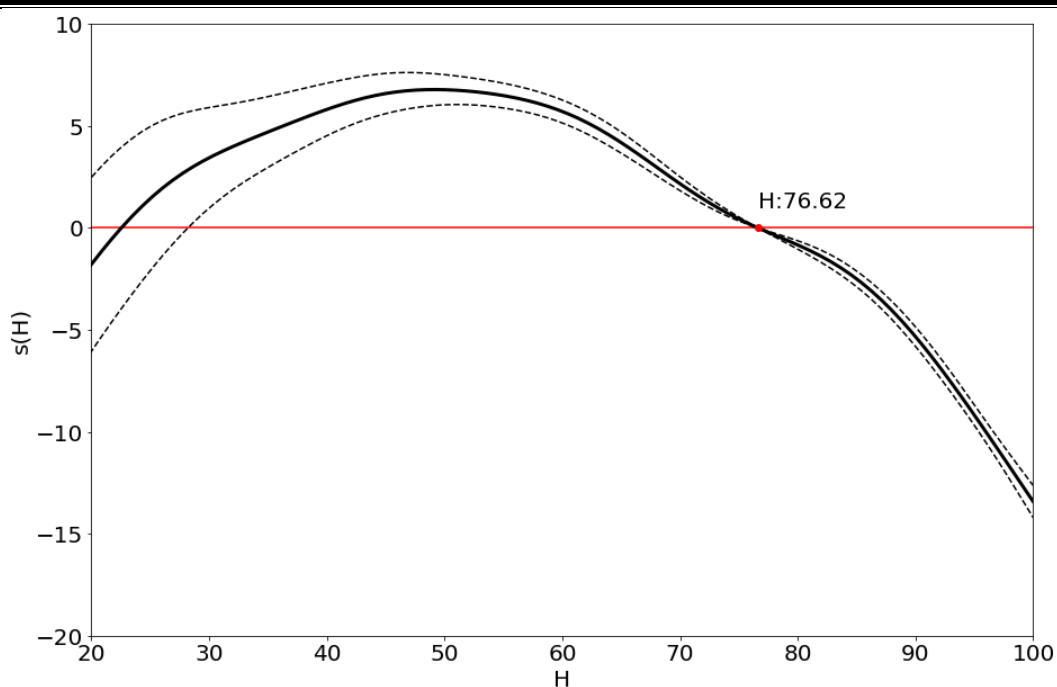


圖 24 GAM 分析結果濕度對 PM_{2.5} 關係圖

表 1 PM_{2.5} 之 GAM 分析結果

Parametric coefficients:					
	Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	21.52127	0.07168	300.3	<2e-16	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Approximate significance of smooth terms:					
	edf	Ref.df	F	p-value	
s(GutingCarV)	6.106	9	39.6	<2e-16	***
s(GutingCarS)	6.89	9	20.06	<2e-16	***
s(Temperature)	7.703	9	143.83	<2e-16	***
s(AirPressure)	6.976	9	26.24	<2e-16	***
s(Humidity)	6.584	9	298.41	<2e-16	***
s(WS)	5.265	9	53.73	<2e-16	***
s(WD)	7.883	9	128.17	<2e-16	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
R-sq.(adj) = 0.2		Deviance explained = 20.1%			
-REML = 142890		Scale est. = 182.39		n = 35500	

四、結論

研究結果顯示，大台北地區空氣品質逐年改善，在排除季節性變化的分析下，NO_x、CO 皆有明顯下降，PM₁₀ 雖有下降趨勢，但不如 NO_x 與 CO 明顯。過去國外文獻指出，科技的進步為空氣品質帶來改善，但其中 NO_x 仍為逐年增加，此為本研究與其他研究不同之處。以地區來說，大台北地區西區之 NO_x 與 CO 減少幅度越來越大，空氣品質改善力道逐年增強；東區之減少幅度至 2011 年起變小，空氣品質改善趨緩；市中心地區改善皆為穩定，並無特別升降。以上結果，與大台北地區發展相

符，近年來，台北市由西區（萬華區）向東區（松山區、信義區）發展，隨著大眾運輸發展、交通工具的進步與政策規劃，交通直接引致的污染物如 CO 與 NO_x 已顯著改善，但東區車流量的增加使得交通污染物改善的程度有限。另外，惟內湖區域缺乏環保署級空氣品質測站，不易分析其空氣品質時空變化。

透過 GAM 模型了解到空氣品質(NO_x、CO、PM_{2.5})與車流量、車速之相關性，整體而言，隨著車流量增加，各空氣污染物也隨之增加；車速方面的平滑函數則呈現非線性趨勢，約時速 21 至 38 公里之間對 NO_x 為負面影響，平均時速 30.4 公里是最高峰，大於時速 38 公里對 NO_x 的影響則低於平均濃度（圖 14）。因此，雖車流資料精確度受交通感測器量測限制，其數值非代表實際車流量，惟仍可視為相對車流量大小供參考，若控制車流量於每小時 1144 輛以內，或平均車速大於時速 38 公里，即可對於空氣品質有最大幫助。

參考文獻

- [1] Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think: Houghton Mifflin Harcourt. (2013).
- [2] Sellars, S., Nguyen, P., Chu, W., Gao, X., Hsu, K.-l., & Sorooshian, S. (2013). Computational Earth Science: Big Data Transformed Into Insight. Eos, Transactions American Geophysical Union, 94(32), 277-278. doi:10.1002/2013EO320001 (2013).
- [3] Ames, D. P., Horsburgh, J. S., Cao, Y., Kadlec, J., Whiteaker, T., & Valentine, D. HydroDesktop: Web services-based software for hydrologic data discovery, download, visualization, and analysis. Environmental Modelling & Software, 37, 146-156 (2012).
- [4] Vitolo, C., Elkhatib, Y., Reusser, D., Macleod, C. J. A., & Buytaert, W. Web technologies for environmental Big Data. Environmental Modelling & Software, 63, 185-198. (2015).
- [5] Chen, J., Chen, H., Pan, J. Z., Wu, M., Zhang, N., & Zheng, G. When big data meets big smog: a big spatio-temporal data framework for China severe smog analysis. Paper presented at the Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Analytics for Big Geospatial Data, Orlando, Florida. (2013).
- [6] Niu, Z., Chen, J., Xu, L., Yin, L., & Zhang, F. Application of the Environmental Internet of Things on monitoring PM_{2.5} at a coastal site in the urbanizing region of southeast China. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 20(3), 231-237. doi:10.1080/13504509.2013.782904 (2013).
- [7] Zheng, Y., Liu, F., & Hsieh, H.-P. U-Air: when urban air quality inference meets big data. Paper presented at the Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, Chicago, Illinois, USA. (2013)
- [8] IBM. “綠色地平線”讓地球家園更健康 <http://www-31.ibm.com/ibm/cn/cognitive/greenhorizon/>. (2016)
- [9] Elbayoumi, M., Ramli, N. A., & Yusof, N. F. F. M. Development and comparison of regression models and feedforward backpropagation neural network models to predict seasonal indoor PM_{2.5-10} and PM_{2.5} concentrations in naturally ventilated schools. Atmospheric Pollution Research, 6(6), 1013-1023. (2015).
- [10] Ong, B. T., Sugiura, K., & Zettsu, K.. Dynamically pre-trained deep recurrent neural networks using environmental monitoring data for predicting PM_{2.5}. Neural Computing & Applications, 27(6), 1553-1566. (2016)
- [11] Qiao, J. F., Cai, J., Han, H. G., & Cai, J. X. Predicting PM_{2.5} Concentrations at a Regional Background Station Using Second Order Self-Organizing Fuzzy Neural Network. Atmosphere, 8(1). (2017).
- [12] Jacob, D. J., & Winner, D. A. Effect of climate change on air quality. Atmospheric Environment, 43(1), 51-63. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.051 (2009).
- [13] Kan, H., Chen, R., & Tong, S. Ambient air pollution, climate change, and population health in China. Environment International, 42, 10-19. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2011.03.003 (2012).
- [14] 蘇慧貞、林傳堯、龍世俊、許甘霖、劉子銘、陳奕奇，台灣地區氣候變遷對空氣品質衝擊及調整策略可行性研究，99 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」期末報告(2011)。
- [15] Jasarevic, N. O. T. 7 million premature deaths annually linked to air pollution. WHO. (2014).
- [16] Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. The contribution of outdoor air

- pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367-371. doi:10.1038/nature15371 (2015).
- [17] Atkinson, R. W., Kang, S., Anderson, H. R., Mills, I. C., & Walton, H. A. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. *Thorax*. doi:10.1136/thoraxjnl-2013-204492 (2014).
- [18] Leiva G, M. A., Santibañez, D. A., Ibarra E, S., Matus C, P., & Seguel, R. A five-year study of particulate matter (PM_{2.5}) and cerebrovascular diseases. *Environmental Pollution*, 181, 1-6. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.057 (2013).
- [19] Tecer, L. H., Alagha, O., Karaca, F., Tuncel, G., & Eldes, N. Particulate Matter (PM_{2.5}, PM_{10-2.5}, and PM₁₀) and Children's Hospital Admissions for Asthma and Respiratory Diseases: A Bidirectional Case-Crossover Study. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 71(8), 512-520. doi:10.1080/15287390801907459 (2008).
- [20] Weng, H. H., Tsai, S. S., Chiu, H. F., Wu, T. N., & Yang, C. Y. Childhood Leukemia and Traffic Air Pollution in Taiwan: Petrol Station Density as an Indicator. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues*, 72(2), 83-87. (2009).
- [21] Chiu, H. F., Tsai, S. S., Chen, P. S., Liao, Y. H., Liou, S. H., Wu, T. N., & Yang, C. Y. Traffic Air Pollution and Risk of Death from Gastric Cancer in Taiwan: Petrol Station Density as an Indicator of Air Pollutant Exposure. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues*, 74(18), 1215-1224. (2011).
- [22] Hung, L. J., Chan, T. F., Wu, C. H., Chiu, H. F., & Yang, C. Y. Traffic Air Pollution and Risk of Death from Ovarian Cancer in Taiwan: Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) as a Proxy Marker. *Journal of Toxicology and Environmental Health-Part a-Current Issues*, 75(3), 174-182. (2012).
- [23] Palencia, J. C. G., Furubayashi, T., & Nakata, T. Techno-economic assessment of lightweight and zero emission vehicles deployment in the passenger car fleet of developing countries. *Applied Energy*, 123, 129-142. (2014).
- [24] Hastie, T. J., & Tibshirani, R. J. Generalized additive models (Vol. 43): CRC press. (1990).
- [25] Cleveland, W.S., Grosse, E., Shyu, W.M., Local regression models. (1993).

鹿林山背景測站技術研究及國際合作

林能暉¹ 許桂榮¹ 李崇德¹ 王家麟¹ 王聖翔¹ 蕭大智¹ 歐陽長風¹ 彭啟明¹ 賈浩平¹

張順欽² 林佳慧² 徐宏博²

¹ 國立中央大學

² 行政院環境保護署

摘要

我國上風處之亞洲大陸，包含中國及東南亞等區域，為大氣污染物主要排放源區，隨季節性盛行氣團長程傳送至臺灣。因此鹿林山背景站觀測資料可以顯現區域污染及背景大氣特徵，且因臺灣地理位置位於海陸交界、冬夏盛行季風交替帶，迥異於其他國際背景站單一特徵性，實為最佳優勢。

關鍵詞：降水化學、溫室氣體、大氣汞、大氣氣膠、大氣輻射

一、前言及研究目的

基於區域性與跨洲際大氣污染（包含酸性污染物、亞洲沙塵、生質燃燒、大氣汞等）傳送問題之釐清，及我國背景大氣基線資料之建立，環保署於鹿林山建構具國際水準之空氣品質背景測站，於 2006 年 4 月 13 日正式啟用。

二、研究方法

本團隊整合降水化學、微量氣體、大氣氣膠、大氣汞、大氣輻射、數值模擬及網頁設計等主要領域專長研究人員，進行各測站網頁建構、相關儀器維護及監測資料分析。整合各測站數據及與污染物特徵比對，並進行監測數據品質保證與品質管制工作，確保數據品質及追蹤長程傳輸污染物對我國空氣品質影響程度。另持續強化與美國環保署、太空總署及海洋大氣總署合作，進行技術交流與資料交換，積極拓展國際合作，及參與相關國際聯合監測實驗。

三、結果與討論

2016 年 1 月至 2017 年 1 月期間資料顯示，CO 平均為 113.7 ppb，O₃ 平均為 38.9 ppb，PM₁₀ 平均為 8.5 g m⁻³、雨水 pH 值平均為 5.27、元素汞(GEM)平均濃度為 1.58 ng m⁻³。各污染物月平均濃度變化趨勢顯示，鹿林山春季受境外移入之大氣污染物影響顯著，3 月份是東南亞生質燃燒好發季節，藉由氣流軌跡分析、污染物成分分析可確定高污染事件與生質燃燒有關[1][2]。估算鹿林山 CO 和 PM₁₀ 的背景值分別為 120.5 ppb 及 5.0 g m⁻³。

四、結論

亞洲大氣污染物排放源區主要位於我國上風處之亞洲大陸，包含中國及東南亞等區域，隨季節性盛行氣團傳送至臺灣。每年冬末及春季高層西風盛行時，源自中國南方、中南半島及東印度等區域之大氣污染物傳送最為顯著。當氣象條件合適時，亦可觀測到來自中國北方之沙塵暴。反之，夏季源自南方及西太平洋海域之乾淨氣團則會到達鹿林山區。因此鹿林山背景站長期觀測資料可以顯現區域污染及低層背景大氣的特徵。

參考文獻

- [1]林能暉、王家麟、李崇德、許桂榮、王聖翔、蕭大智及彭啟明，2015：鹿林山與偏遠離島背景測站科技研究及操作維護專案工作計畫，行政院環境保護署。
- [2]林能暉、王家麟、李崇德、許桂榮、王聖翔、蕭大智及彭啟明，2014：鹿林山與偏遠離島背景測站參與國際科技研究及操作維護專案工作計畫，行政院環境保護署。

主題二、環保政策與科技研究

- 噪音管制及非屬原子能游離輻射暴露評估、光污染防治管理之研究
 - 環境低頻噪音及振動之調查及改善措施研究
 - 光污染影響之感受調查及量測指標與改善措施研究
 - 非游離輻射長期監測設備校驗技術研究
 - 航空噪音防制區低頻噪音指標與量測技術研究
- 細懸浮微粒(PM_{2.5})特徵對民眾健康影響之研究
 - 104-105 年細懸浮微粒(PM_{2.5})化學成分監測
 - 細懸浮微粒(PM_{2.5})特對民眾健康影響之研究
- 環境害蟲綜合防治計畫
- 環境奈米科技知識平台維運及知識管理計畫

環境低頻噪音及振動之調查及改善措施研究

陳建維¹ 吳蕙怡¹ 劉詩云¹ 鄧雯仁¹ 謝仁碩² 王慶元²

¹ 凱鉅科技實業股份有限公司

² 行政院環境保護署空氣品質保護及噪音管制處

摘要

本研究蒐集國外與環境振動有關之法規內容、管制對象、管制標準及管制情形，並透過陳情紀錄或現地訪查結果，選定 42 處營建工地及工廠，在其周界量測該場所引致之環境振動量。將現場量測所得結果，依國外振動評估指標方式進行後處理分析，並與相關管制標準或規範進行比較。期藉由國內外資料蒐集及現場量測工作，建立相關背景資料，以瞭解國內現行環境振動現況及參酌國際上其他國家之管制或規劃情形，作為我國未來制定振動管制法規之參考。

關鍵詞：環境振動、營建工程振動、工廠振動、噪音振動

一、前言及研究目的

有些環境中所感受到的振動現象會伴隨著明顯噪音，而未有明顯噪音者可能是產生了低頻噪音，故人耳不易聽見但可能有心理壓迫感。易伴隨明顯噪音之振動源如打樁機、挖土機等開挖、敲擊作業等，但實際產生之振動值與噪音值彼此之間之關係可能隨機具、作業方式、防制措施及製程而變動。

本研究蒐集國外環境振動相關管制情形顯示，針對環境振動訂有管制法令的國家為數不多。日本自 1950 年代以後，陸續因發生如水俣病等工業型公害疾病，故持續投入研究後，並在 1970 年代大幅修訂公害對策基本法及訂定大氣污染防止等七項公害相關法令，振動管制亦為其中一環。韓國於 1990 年制定噪音・振動規則，內容包含環境噪音、建築施工噪音與振動、交通噪音與振動管制。西班牙於 2003 年發布 37/2003 法，係針對噪音及振動進行管制，惟其振動管制方向係偏向建築物內部管理。澳洲為聯邦制，對於噪音及振動法規由各州自行訂定，其中昆士蘭州對於振動管制亦以建築物內部管理為主。綜觀各國在環境振動的管制，日本及韓國係為管制環境中之污染或公害污染為出發點，故制定重點以防止公害對環境及人的影響為主。大多數歐美國家並未採管制方式處理振動問題，而係以將振動納入規劃設計考量為出發點，或是作為要求改善的參考指標。

我國目前並未制定振動管制法，本研究針對環境振動進行國內外資料蒐集及現場量測工作，期能建立相關背景資料，瞭解國內現行環境振動現況及參酌國際上其他國家之管制或規劃情形，作為我國未來制定振動管制法規之參考。

二、研究方法

(一) 資料蒐集：蒐集國內外環境振動管制相關法規及規範如日本、韓國、國際標準組織等，瞭解現行國際有關振動之現況。

(二) 實地量測：實地進行工廠及營建工程引致之環境振動量測。

1. 測點選擇：

(1) 營建工程：由各縣市回報之振動陳情案件，多集中於新北市及臺北市，因此本研究搭配陳情案件資料及訪查各重劃區施工地點，選擇正進行基礎工程且有重型機具之工地進行量測。

(2) 工廠（場）：本研究至各工業區巡查，訪查地點包括新北市、彰化縣、臺南市各主要工業區及其周圍小型工業區，經訪查後發現，大型工業區之廠房因廠區廣闊，在工廠周界通常較無法感受振動及噪音。而由環保局回報之陳情案件資料顯示，多數遭陳情工廠多半為沖壓機突發性噪音且旁邊有民宅，由於沖床使用業者廣泛如壓模、塑膠軟墊、五金零件、螺帽工廠、馬達工廠等皆有可能使用，故本研究以使用沖床機具工廠為主要量測對象。

2. 量測方法：參考我國環境振動測量方法執行振動量測調查作業。

3. 量測指標：包含 L_{eq} 平均振動位準、 L_{max} 最大振動位準以及 L_{10} 統計振動位準並同時記錄頻譜。

4. 量測歷程：於工廠（場）及營建工程運轉時段量測，並包含未運轉階段，以作為振動特性分析之用。

5.儀器架設及量測注意事項：

- (1) 拾振器是設置於平坦且堅硬水平的地面（例如：混凝土或瀝青鋪面等）。
- (2) 以測量時的拾振器之受感軸方向為原則，配合垂直及相互成直角的水平兩個方向，將垂直方向作為 Z 軸，將水平兩個方向作為 X 軸和 Y 軸，並明確表示 X 和 Y 的方向，如圖 1。

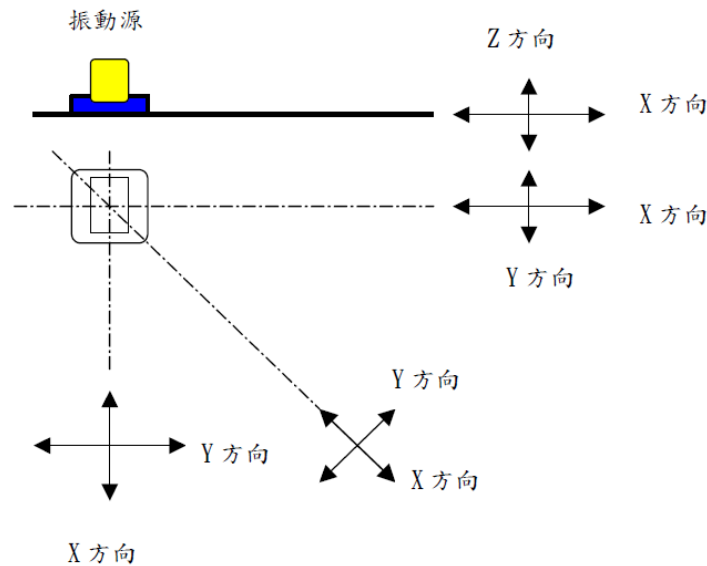


圖 1 量測點中心之座標方向選取

- (3) 背景振動修正：僅測量某振動源所產生之振動時，對所測量之對象有振動和沒有振動時的振動計之指示值最好相差 10 dB 以上。惟背景振動如為經常性的振動時，儘管上述的指示未滿 10 dB 時，仍可依表 1 修正指示值以推算振動值。指示值的差未滿 3 dB 時，則需考量現場測量條件（位置等）的改變。

表 1 對背景振動指示值的修正

對象振動源有振動與無振動時 指示值之差	3	4	5	6	7	8	9
修正值	-3	-2		-1			

(4) 測試前儀器檢查：

- I. 頻率加權與範圍設定：頻率設定採未加權，量測頻率範圍設定為 1 Hz 至 80 Hz。
- II. 動特性設定：穩定性振動源測量以慢特性(Slow)設定；變化性大的振動源設定為快特性(Fast)。
- III. 振動計動態範圍(Dynamic range)設定需可涵蓋欲測量之振動源，以避免過載容量(Overload capacity)發生。
- IV. 檢查振動量測訊號收錄無誤。

(三) 結果分析方式：

振動量測時包含背景環境振動值，以瞭解調查地點之振動影響情形，並以 JIS Z 軸加權（以下簡稱 JIS）以及 ISO 2631-2:2003 W_m （以下簡稱 ISO）加權振動量計算方式進行分析。其中 JIS 之計算係取 Z 軸之振動量，而 ISO 則係取三軸方向振動量最大之軸向。JIS 所使用之參考加速度為 10^{-5}m/s^2 ，ISO 則為 10^{-6}m/s^2 ，計算後之調查結果與國外相關振動管制標準或規範研析比較。

1. JIS 振動量與 ISO 振動量比較(Ref.= 10^{-6}m/s^2)：將量測結果以 JIS 及 ISO 振動量計算方式進行分析比較。
2. 振動量與噪音量比較(Ref. ISO 10^{-6}m/s^2)：將量測結果振動量與噪音量進行分析比較。
3. 振動源運轉時及未運轉時之振動量(Ref. ISO 10^{-6}m/s^2)：比較振動源運轉時及未運轉時之振動量差異。
4. 振動量類型：各測點歷時曲線圖將測點依振動類型分類，不規則變動性振動、變動性間歇週期振動、變動性間歇非週期振動及穩定連續性振動。

各國針對環境振動的考慮對象多為營建工程、工廠（場）及交通振動為主，而日本與韓國皆有針對特定對象進行管制，特定對象之定義則以是否裝設或使用會產生振動源之機具之場所，當欲裝設或使用須申請許可，即源頭管制。在歐美國家，振動雖未納入管制但其相關指南或建議標準皆提到，事前的施工規劃需考量使用機具所將造成的振動危害，並進行防制措施及改善策略之計畫。

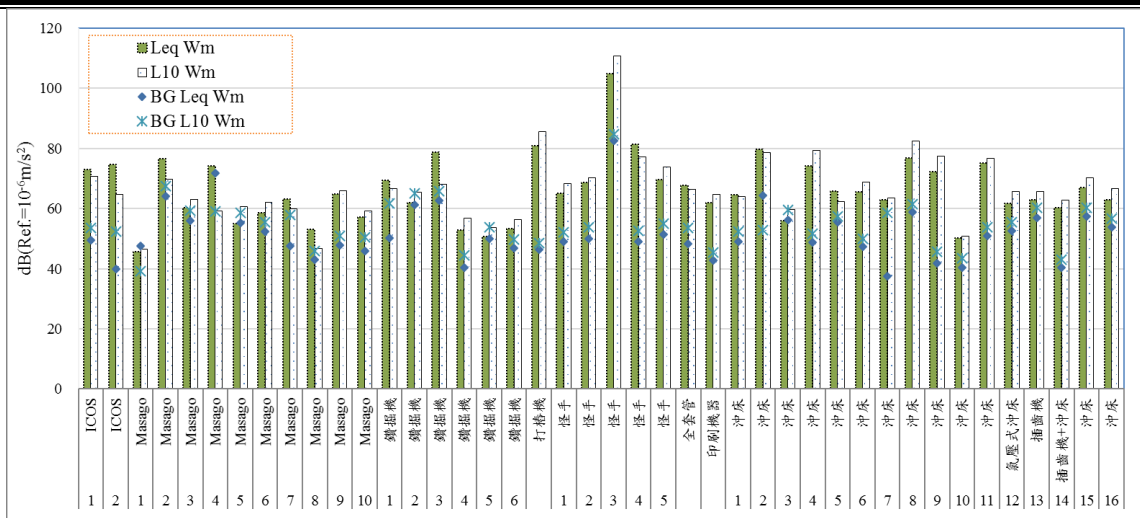
(一) 以 JIS 方式與 ISO 方式計算之振動量比較(Ref.= 10^{-6}m/s^2)

Figure 10 is a bar chart comparing sound pressure levels (dB) for various machine types. The y-axis represents dB (ref = 10⁻⁶ m/s²) from 0 to 140. The x-axis lists 16 machine types. The legend indicates: Leq Wm (blue bar), Lmax Wm (white bar), L10 Wm (blue bar with diagonal lines), Z軸Leq (black triangle), Z軸L10 (white diamond), and Z軸Lmax (green circle).

Machine Type	Leq Wm	Lmax Wm	L10 Wm	Z軸Leq	Z軸L10	Z軸Lmax
ICOS	70	100	70	70	70	120
ICOS	70	105	70	70	70	115
Masago	45	65	45	45	45	85
Masago	70	100	70	70	70	105
Masago	70	85	70	70	70	105
Masago	70	105	70	70	70	115
Masago	60	75	60	60	60	95
Masago	60	85	60	60	60	95
Masago	60	65	60	60	60	105
Masago	60	85	60	60	60	105
Masago	60	75	60	60	60	110
鋤掘機	65	95	65	65	65	105
鋤掘機	65	105	65	65	65	105
鋤掘機	80	105	80	80	80	95
鋤掘機	55	65	55	55	55	90
鋤掘機	55	65	55	55	55	90
鋤掘機	55	65	55	55	55	115
打樁機	85	85	85	85	85	115
怪手	70	105	70	70	70	105
怪手	70	110	70	70	70	120
怪手	80	110	80	80	80	120
怪手	70	85	70	70	70	105
全套管	70	95	70	70	70	95
印刷機器	65	65	65	65	65	95
沖床	65	90	65	65	65	115
沖床	80	105	80	80	80	105
沖床	80	85	80	80	80	105
沖床	70	80	70	70	70	105
沖床	70	70	70	70	70	100
沖床	70	90	70	70	70	100
沖床	65	65	65	65	65	115
沖床	85	85	85	85	85	105
沖床	75	75	75	75	75	105
沖床	50	65	50	50	50	90
沖床	75	85	75	75	75	115
氣壓式沖床	65	75	65	65	65	100
插齒機	65	75	65	65	65	95
插齒機+沖床	60	65	60	60	60	85
沖床	70	80	70	70	70	105
沖床	65	75	65	65	65	100

(二) 振動源運轉時及未運轉時之振動量(Ref. 10^{-6}m/s^2)

85



說明：W_m 為運轉中，BG W_m 為未運轉

圖 3 運轉振動量及未運轉振動量 W_m 比較

(三) 振動量與噪音量比較(Ref. ISO 10⁻⁶m/s²)

將振動量與噪音量 L_{Aeq}(20 Hz-20 kHz) 及室外低頻噪音 L_{AeqLF}(20 Hz-200 Hz)進行比對，如圖 4。我國低頻噪音量測規範係於室內量測，本研究因量測位置位於營建工程及工廠(場)周界，故噪音亦在室外量測，在此僅為探究其振動是否使該測點產生低頻噪音，與相關法規之比較僅作參考。

在營建工程噪音量測結果，營建噪音 L_{Aeq}(20 Hz -20 kHz)則有部分測點高於營建工程第三類日間法規噪音標準值 72 dB(A)。振動值與噪音值較無明顯相關趨勢，如測點 Masago 1 之 Masago 噪音量較高但振動量低，針對怪手類則屬較高噪音及高振動之營建機具，Masago 及鑽掘機則屬較低振動量之機具。

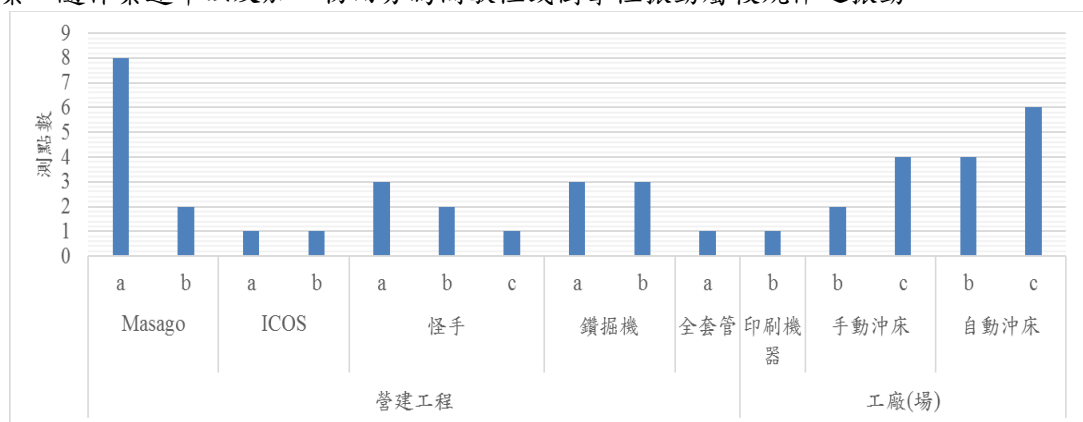
在工廠(場)部分，工廠噪音 L_{Aeq}(20 Hz-20 kHz)高於我國工廠(場)第三類日間法規標準值 67 dB(A)，而會產生振動之工廠(場)類型，其機具多為各類型之沖床，多數測點當產生振動時即產生噪音，但印刷機屬高振動機具產生之噪音量卻較低。



圖 4 本研究量測振動量與噪音量比較

(四) 振動型態分類

營建工程主要產生之振動類型為變動性振動與間歇性振動，工廠（場）則以間歇性振動與衝擊性振動為主。如圖 5，營建工程怪手類產生之振動類型較無規律性，因怪手類別係較常使用於營建工地之機具，依所需作業內容而變換工具項目，但 Masago、鑽掘機及 ICOS 作業方式較固定，以變動性振動或間歇性振動為主。工廠（場）手動沖床及自動沖床因屬較制式化作業，隨作業速率以及加工物而分為間歇性或衝擊性振動屬較規律之振動。



- 註：1. 「a」為變動性振動(不規則大幅變動)。
2. 「b」為間歇性振動(非週期)。
3. 「c」為衝擊性振動(週期)。

圖 5 本研究量測振動型態分類統計圖

(五) 與其他國家之標準值比較

本研究量測共 42 處，其中 25 處為營建工程、17 處為工廠（場）。營建工程三大類振動源中以怪手之振動量最大，平均約 90 dB 至 110 dB，Masago 及鑽掘機相似其平均約 69 dB 至 79 dB，平均之營建工程振動約 65 dB；工廠（場）振動量平均約 70 dB，最大值則約為 80 dB。

將 JIS 及 ISO 計算 L_{10} 及 L_{eq} 之振動量與各國管制值或建議值比較，因各國所定義之管制值或建議值其量測位置、量測時間、計算方式、參考軸向、參考指標等皆稍有差異，故分析結果僅作為本次研究分析之參考，略探討我國目前營建工程及工廠（場）振動之振動量現況，分別以不同管制值進行測點不符合率分析。如圖 6、圖 7 及表 2。

1. 管制值 90 dB：韓國工業區之振動標準值最為寬鬆 90 dB，怪手類機具共 1 處高於標準。
2. 管制值 85 dB：以日本第二類區之標準值 85 dB 進行比較，怪手類機具及工廠（場）共 1~3 處高於標準，約 7.1 %。
3. 管制值 80 dB：以日本及韓國日間時段寧靜區（如住宅、醫院、學校等）之標準值 80 dB 進行比對，為怪手類及工廠（場）類別高於標準，共 3~6 處佔 7.1 %~14.3 %，ICOS、鑽掘機及 Masago 則皆低於日本及韓國之規範值。
4. 管制值 75 dB：以日、韓夜間時段寧靜區及西班牙住宅區之標準值 75 dB 進行比對，共 8~9 處約 19.0 %~21.4 %高於標準，若以 L_{10} 加權計算多以怪手類及沖床振動量較高，ICOS、鑽掘機及 Masago 則皆低於標準值，而以 L_{eq} 加權計算類別均有高於標準之測點。
5. 管制值 72 dB：以西班牙文教醫院區之標準值 72 dB 進行比對，共 9~13 處約 21.4 %~31.0 %無法符合，以 L_{10} 加權計算多以怪手類及沖床振動量較高，ICOS、鑽掘機及 Masago 則皆低於標準值，而以 L_{eq} 加權計算類別均有高於標準之測點，但以 ISO L_{eq} 則有 31 % 之測點高於標準。
6. 管制值 70 dB：以中國日間居民文教區建議值 70 dB 進行比對，共 11~13 處約 26.2 %~31.0 %高於標準，以 L_{10} 加權計算多以怪手類及沖床振動量較高，鑽掘機及 Masago 則皆低於標準值，而以 L_{eq} 加權計算類別均有高於標準之測點。

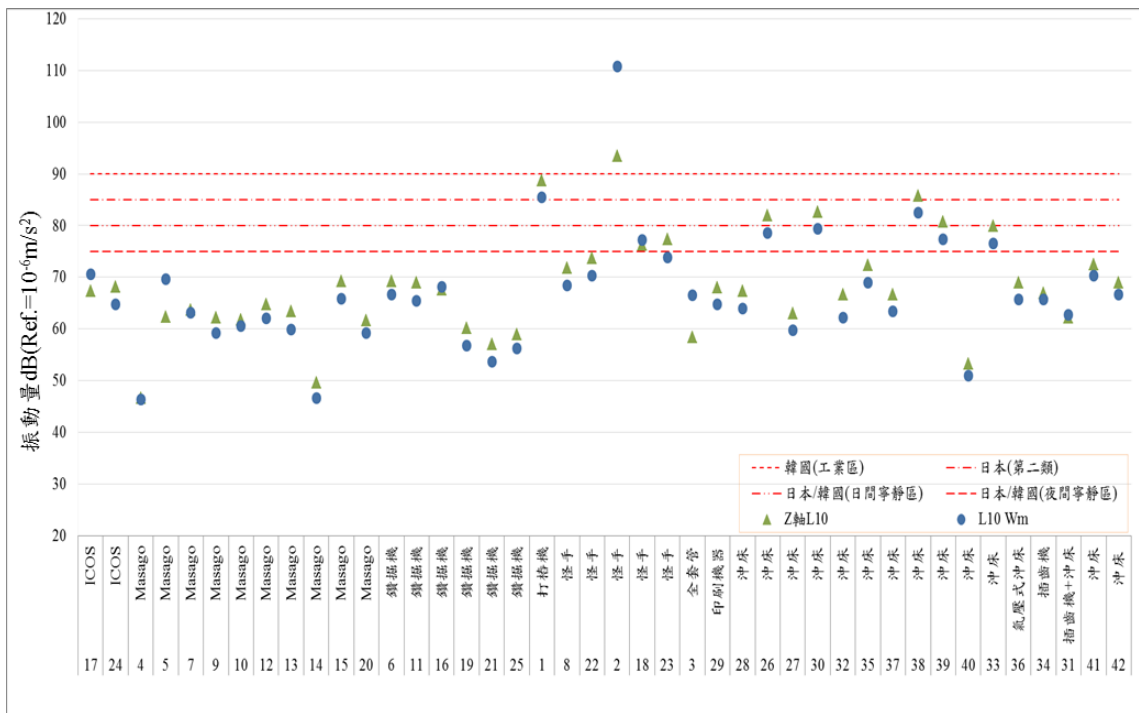


圖 6 本研究量測振動量與國外標準值比較（指標 L_{10} ）

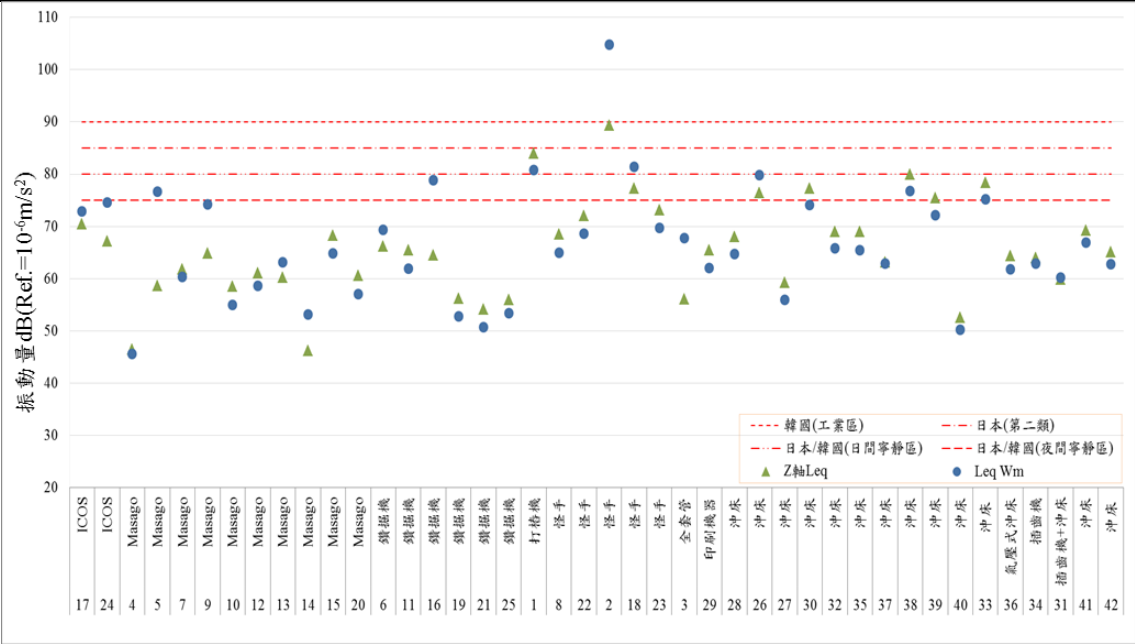


圖 7 本研究量測振動量與國外標準值比較（指標 L_{eq} ）

表 2 超過參考值測點數與百分比(Ref.10⁻⁶m/s²)

國家	參考值	計算方式	高於參考值測點數	無法符合百分比
韓國日間工業區	90	Z 軸 L_{10}	1	2.4%
		$W_m L_{10}$	1	2.4%
		Z 軸 L_{eq}	0	0.0%
		$W_m L_{eq}$	1	2.4%
日本日間第二類區	85	Z 軸 L_{10}	3	7.1%
		$W_m L_{10}$	2	4.8%
		Z 軸 L_{eq}	1	2.4%
		$W_m L_{eq}$	1	2.4%
日、韓日間寧靜區	80	Z 軸 L_{10}	6	14.3%
		$W_m L_{10}$	3	7.1%
		Z 軸 L_{eq}	3	7.1%
		$W_m L_{eq}$	3	7.1%
日、韓夜間寧靜區 西班牙住宅區	75	Z 軸 L_{10}	9	21.4%
		$W_m L_{10}$	8	19.0%
		Z 軸 L_{eq}	8	19.0%
		$W_m L_{eq}$	8	19.0%
西班牙文教醫院區	72	Z 軸 L_{10}	12	28.6%
		$W_m L_{10}$	9	21.4%
		Z 軸 L_{eq}	10	23.8%
		$W_m L_{eq}$	13	31.0%
中國日間居民文教區(建議值)	70	Z 軸 L_{10}	13	31.0%
		$W_m L_{10}$	12	28.6%
		Z 軸 L_{eq}	11	26.2%
		$W_m L_{eq}$	13	31.0%

四、結論與建議

依環保署過去振動研究人體振動感覺閾值 ISO W_m 為 52 dB，經本研究 42 處測點量測結果與各國法規比較後，當以 ISO W_m 加權 75dB(Ref.= $10^{-6}m/s^2$) 進行作為參考建議值時，約有 19 % 測點超過此值，相當於 JIS 標準約 55 dB(Ref.= $10^{-5}m/s^2$)。而探討各國管制值所使用之加權計算方式，日本及韓國係使用 Z 軸 L_{10} 加權，西班牙及 ISO W_m 加權則為最大振動軸向之 L_{eq} 。由以上分析結果，振動亦可能在水平方向較大，故考量人體對三軸向振動之感受，以及長時間振動感受，且 ISO 之加權計算係以陳情人所在處為考量，故為可朝向國際接軌的方向，建議採 ISO W_m 加權(Ref.= $10^{-6}m/s^2$) 計算方式，作為振動指標，至於建議標準值可再納入更多研究以獲得更多實測資料。

參考文獻

- [1] 振動規制法，Japan(1976)
- [2] NOISE AND VIBRATION CONTROL ACT，Korea(1997)
- [3] ISO 2631-1，Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements(1997)
- [4] CNS 15547-2，機械振動與衝擊－人體曝露於全身振動的評估－第 2 部：建築物內，Taiwan(2013)
- [5] 城市区域环境振动标准 GB 10070-88，China(1989)
- [6] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA，Spain(2007)

光污染影響之感受調查及量測指標與改善措施研究

彭保仁¹ 溫照華¹ 李宗憲¹ 林雅俐¹ 洪紹棠¹ 徐紹維¹ 何展効¹

¹ 中華民國計量工程學會

摘要

本研究之目標為依據我國國情特性，調查及研析民眾對光污染影響民眾舒適性感受與認知的程度，以提出光污染相關防制對策建議。透過相關光污染規範分析，並整理民眾陳情現況，透過室內實驗室操控 LED 組合燈和室外操控 LED 看板之設計參數，選定動態畫面之眩光及閃爍作為探討光污染源造成之人體視覺感受的 2 個主要目標變項。主要工作包括：(一) 進行民眾對組合燈等光污染源感受實驗，完成民眾對不同光污染類型之感受程度之研析；(二) 進行調查及實地驗證廣告招牌室外量測方法，完成廣告招牌室外量測程序之研提；(三) 參考國際光污染管制規範及我國現況，完成我國組合燈等光污染源管理對策及改善建議。

本研究摘譯整理 3 篇以上關於國際間光污染規範。關於室內人體視覺實驗，已針對選定的光污染源 LED 組合燈完成 204 次亮度量測，完成 144 次照度波形，合計 348 次量測；光污染源人體感受舒適界線研究的實驗，問卷設計包括最大眩光和最大閃爍等 2 種光污染源人體感受與認知，實驗因子為 LED 組合燈單一封装亮度 (13 種亮度, 447 cd/m²~168,641 cd/m²)、播放圖案幀數(Frame) (12 種, 0.125 frame/sec~1,000 frame/sec) 和 4 種常見圖案類型，召集 10 位青壯年及 10 位中老年執行 20 人次試驗，實驗總數共 6,000 次。室外人體視覺感受實驗，完成 LED 多媒體看板測試影片 9 段的編製與實驗問卷的設計，於臺中市東海大學管理學院大樓中庭完成實地光污染源最大眩光和最大閃爍人因實驗，共計 24 位受試者 (平均年齡 35.6 歲，標準差 13.0 歲) 共計完成 1,561 人次實驗。完成 102 年-104 年 22 個縣市 778 件的陳情案件之陳情資料處理方法分析及陳情類型分析。完成新北市 6 處地點 LED 看板 3 個時段的亮度與照度監測，量測實驗總次數為 198 次。完成增修光污染亮度及垂直照度量測方法草案。依據國內的光污染現況、改善的優先順序、可行性及技術完整性提出防制策略，最後提出組合燈等光源的光污染管理及管制方案。

關鍵詞：光污染、LED 組合燈、人體視覺感受、眩光、閃爍

一、前言及研究目的

當天文學家發現夜空觀測條件惡化的主因是來自於文明發展與科技成長而快速增長的照明，於是光污染(light pollution)問題首先成為在 20 世紀 70 年代的環境議題之一。隨著更多照明對其他環境衝擊事證的確認，一股國際「黑暗天空」運動正在倡導著以室外照明設計的預防方法解決此議題[1]。國內稱光污染亦稱之為光害，根據中華民國國家標準 CNS 15015 戶外景觀照明燈具標準[2]，定義光害為「干擾性或過量的光輻射 (含可見光、紫外光和紅外光輻射) 對人體健康和人類生存環境造成的負面影響的總稱」。室外照明的光污染主要是因建築物之立面照明、道路照明、廣場照明、廣告照明、標誌照明、體育場和停車場室外功能及景觀照明產生的干擾光對人、環境、天文觀測、交通運輸等造成負面影響的總稱」。

依據環保署 100 年度至 104 年度計畫的調查發現[3][5][6][7][8][9][10]，臺灣都會區閃爍光源所造成的光污染情況相當嚴重，對民眾感受認知的影響程度也尚待進一步的研究調查。100 年度的計畫調查 34 個光源亮度(luminance)[3]，其中有 5 件 LED 多媒體看板 (總共調查 15 件) 超出國際照明委員會 (The International Commission on Illumination, 簡稱 CIE) 150-2003 研究報告所提出的城市區(E4)所建議的上限值 1,000 cd/m²[4]，100 年~103 年的主要研究對象為民眾陳情案件比例較高的 LED 廣告看板 (亦稱為多媒體看板)，於實驗室內進行人體舒適度感受實驗 (人因實驗) 及相關的光量量測 (例如亮度)，105 年度新增戶外 LED 廣告看板搭配光環境監測的實地問卷方式來檢視 103 年度計畫所提出的眩光評價亮度建議表於戶外場所的適用性，104 年度研究對象增加了可能造成閃爍影響的 LED 閃爍樣式組合燈、LED 字型燈、LED 跑馬燈等類型的 LED 廣告光源。綜合上述的背景與現況調查，閃爍光源所造成的光污染情況相當嚴重，對民眾感受認知的影響程度也尚待進一步的研究調查。因此，今年度本計畫將延續去年度的研究方法與成果，研究國內最新閃爍式光源量測方法，並進行相關的人

眼舒適度實驗與分析，依據研究成果提出組合燈光源管理對策及改善的建議方案。

關於光污染之民眾感知與標準上，民國 101 年度環保署專案計畫曾對國內 15 個縣市民眾陳情案件進行分析後，選定亮度、眩光及閃爍 3 項感受，作為該計畫執行時主要探討的光污染影響因子。並於同年度環保署專案計畫，探討 LED 螢幕型看板及 LED 組合式燈之眩光及閃爍兩種量測方法及量測程序草案研擬，執行了亮度、眩光與閃爍光學物理性量測，並搭配人因視覺實驗結果，得出舒適級數 (comfort rating) 及閃爍級數 (flicker rating) 二項評價經驗公式[5][6]。

102 年度環保署「光污染影響及民眾感受認知研究」專案計畫，針對選定的光污染源 LED 看板進行色彩特性量測、動態畫面光源刺激之亮度變化分析和頻率域分析。該報告光污染源人體視覺感受不舒適界線研究的實驗結果發現重點如下：對民眾的最大眩光感知而言，光源亮度、背景亮度、影片類型、年齡層等因子對舒適評價有顯著影響，曝照時間分別與光源亮度和年齡層之間有交互作用。對民眾的最大閃爍感知而言，光源亮度、曝照時間、影片類型對舒適評價有顯著影響，影片類型分別與光源亮度和年齡層之間有交互作用。該報告亦利用發展之眩光預測模型和閃爍預測模型，提出動態畫面眩光評價亮度建議表和動態畫面閃爍頻率強度評價建議表，可作為未來訂定管制策略之參考[7][8]。

103 年度環保署的「光污染影響及民眾感受認知研究」專案研究計畫[9]，完成人體對光污染源感受不舒適界線研究實驗，問卷內容包括最大眩光和最大閃爍 2 類。實驗結果與重點如下：對民眾感知的最大眩光而言，光源亮度、影片類型、年齡層、性別等因子對眩光主觀評價有顯著影響效果，但光源亮度與影片類型的影響較大。對民眾感知的最大閃爍而言，光源亮度、曝照時間和影片類型對閃爍主觀評價有顯著性影響效果，但曝照時間的影響最小。依發展之眩光預測模型和閃爍預測模型並彙整 101 年度至 103 年度的結果，提出修訂後之眩光評價亮度建議表和動態畫面閃爍頻率強度評價建議表，並提出對應輝度亮度建議表之垂直照度建議表，可作為未來訂定亮度及垂直照度上限值之參考。同時，完成臺北市與新竹市 2 類都會區共 4 處的環境背景亮度及照度之監測與結果分析，並研擬光源亮度量測方法、垂直照度量測方法、動態光源之眩光與閃爍指數量測共 3 份草案。另參考國際規範與法案及我國現況，及依據近期可推動之優先順序、可行性與技術完備性等分階段目標，完成防制管理方案研擬。

104 年「光污染感受調查及量測指標與改善措施研究」專案研究計畫[10]，針對選定的組合燈類（孔雀燈、字型燈、八卦燈）及多媒體類（訊息跑馬燈、多媒體看板）等 2 類新型態 LED 光源進行舒適度評價募集 20 位受試者，每位執行 159 次評價試驗，共收集 3,180 筆資料。搭配 159 次靜態亮度特性量測，53 次照度動態特性量測變化分析並利用快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transformation, FFT) 來實現 5 款 LED 光源的頻率分布分析。重點成果如下：對民眾感知的眩光評價而言，光源亮度與圖騰/影片類型等因子對眩光主觀評價有較顯著影響效果。組合燈類光源之眩光主觀評價與單一 LED 封裝最大亮度呈高度相關 ($R^2=0.89$)，多媒體類光源之眩光主觀評價與平均垂直照度呈高度相關 ($R^2=0.93$)。因此分別針對此 2 類光源提出眩光評價亮度建議標準，可作為未來訂定眩光亮度上限值之參考。其中，組合燈類的閃爍評價以八卦燈型最為不舒適，建議儘速研擬其閃爍量測方法與規範，做為未來光污染管理的方案參考。

臺中市 4 處戶外 LED 看板亮度監測與主觀評價研析，蒐集 461 位受試者，計完成有效問卷 1,358 份，可信度達 0.9，4 處的眩光主觀評價平均分數範圍介於 3.68 至 4.36 之間，4 處 LED 看板最大亮度值與 103 年度計畫所建議的 LED 看板類光源亮度管制值相近。4 處閃爍主觀評價平均分數範圍介於 3.33 至 4.54 之間，代表閃爍主觀感受度屬於妨礙至恰可接受範圍，LED 看板之閃爍值分析，發現雖然 4 處地區的每分鐘第 90 百分位數的閃爍強度平均值低於 103 年度計畫的建議值 31~33 之間，但民眾對於各區之主觀閃爍評價仍低於 5 分，顯示戶外民眾可能受外部干擾因素影響，在實地閃爍感受反應會比受控制的實驗室條件下來得強烈些，103 年度計畫提出動態畫面閃爍頻率強度評價建議表，建議於可控制的戶外場域進一步實驗分析。

臺中市 2 類都會區（新光三越及一中街商圈高於 25 lx，誠品綠園道及老虎城鼎盛大樓低於 25 lx）共 4 處的環境背景亮度及照度之監測與結果分析，研擬光源亮度量測方法、垂直照度量測方法共 2 份草案。

蒐集 14 個縣市陳情案件共 560 件，這些陳情案件均無提及與交通事故有關。依照光污染來源的分析，玻璃或外牆反射 27 件占總陳情件數的比例為 5%，LED 類廣告 228 件占比為 41%、非 LED 類廣告 94 件占比為 17%、及其他（非廣告類）211 件占比 38%。依照民眾不舒適感受分析，374 件表示光源過亮占 67%，18 件表示光源閃爍占 3%，138 件表示光源過亮且閃爍占 25%，無法分類 30 件歸類於其他占 5%。依照民眾影響情境分析，75 件表示光源可能影響行車安全占 13%，285 件表示光源影響住家的生活作息或睡眠占 52%，197 件無法分類歸類於其他占 35%。如將光源分為玻璃或

外牆反射類、LED 類廣告類、非 LED 類廣告類、及其他等 4 大類，臺北市與臺南市的光污染來源比例十分不同，顯示縣市間仍存有差異。

二、研究方法

本研究的執行架構如圖 1 所示。根據歷年的計畫研究成果進行研究方法的細部規劃。實驗室及室外調查民眾對光污染類型之人眼不適性感受度量，依研究結果進而修正並驗證閃爍評價經驗模型。實驗室內布置如圖 2 所示，運用圖案控制器播放動態圖案至八卦型 LED 組合燈，受測者以坐姿的方式，固定觀看距離(500 cm)與高度(115 cm)，便於控制實驗作業與人員的差異，以進行人因實驗。室外人眼感受實驗布置如圖 3 所示，受試者以立姿於 3 個距離(10 m、20 m、40 m)對於 9 段 LED 看板影片進行最大眩光及最大閃爍的主觀評價。同時，根據不同地區類型以監測實地調查作示範，實地驗證廣告招牌量測方法，以研提廣告招牌量測程序草案。最後，參考國際規範，並檢討我國現況提出光污染源管理改善方案，後續之結果與建議將於內文中一併闡述。以下針對實驗室內及戶外民眾對光污染類型之人眼不適性感受實驗工作的研究方法敘述之。

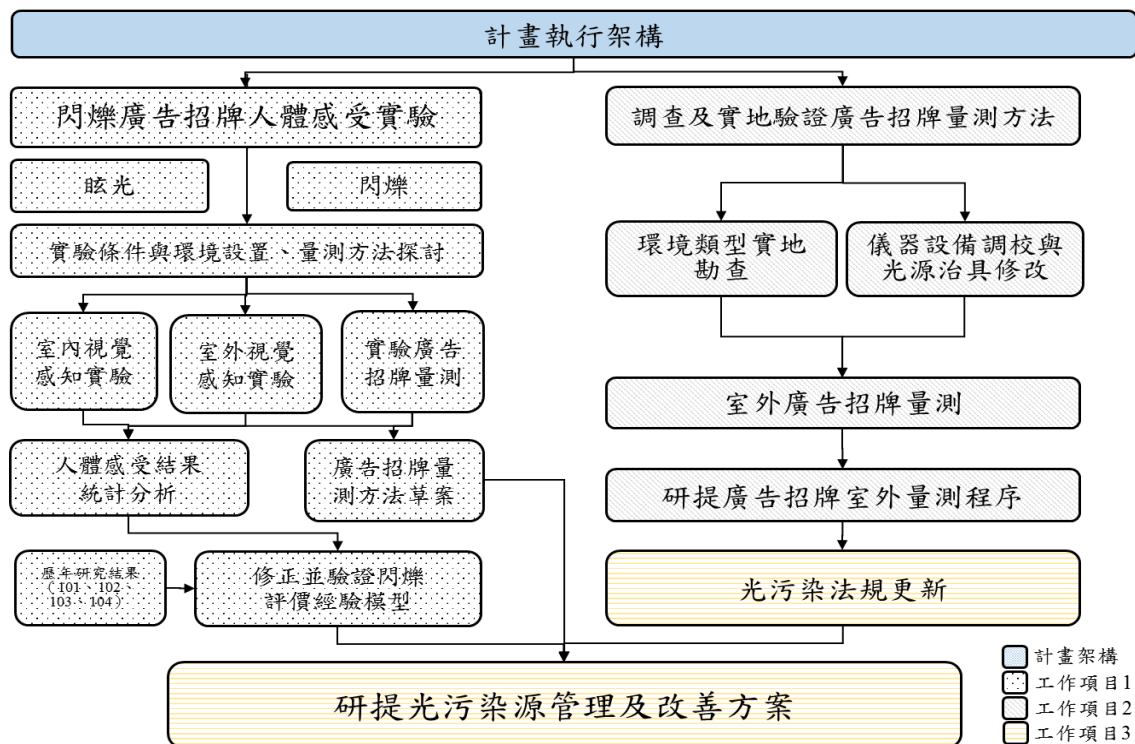


圖 1 研究架構與步驟圖

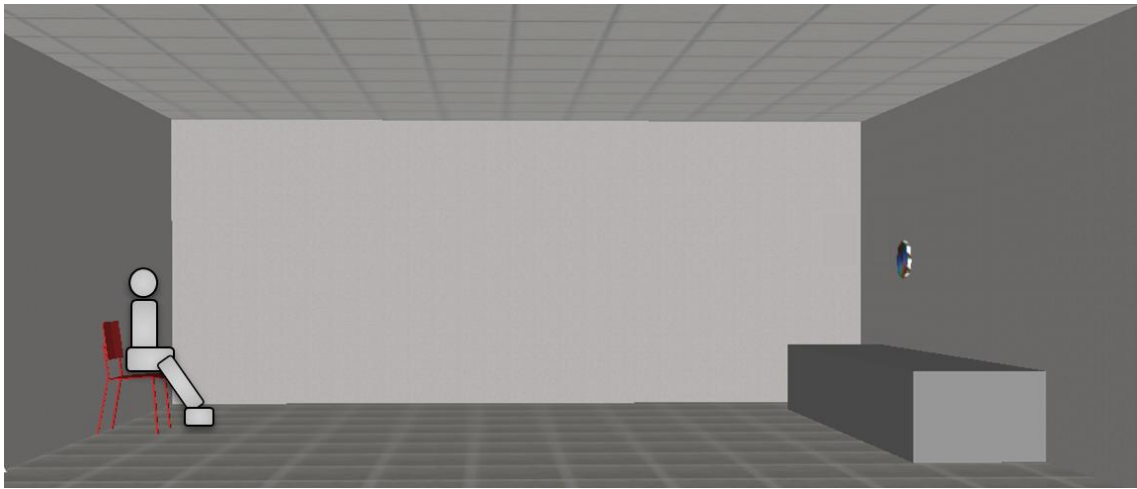


圖 2 室內人眼感受實驗布置模擬圖

9段影片

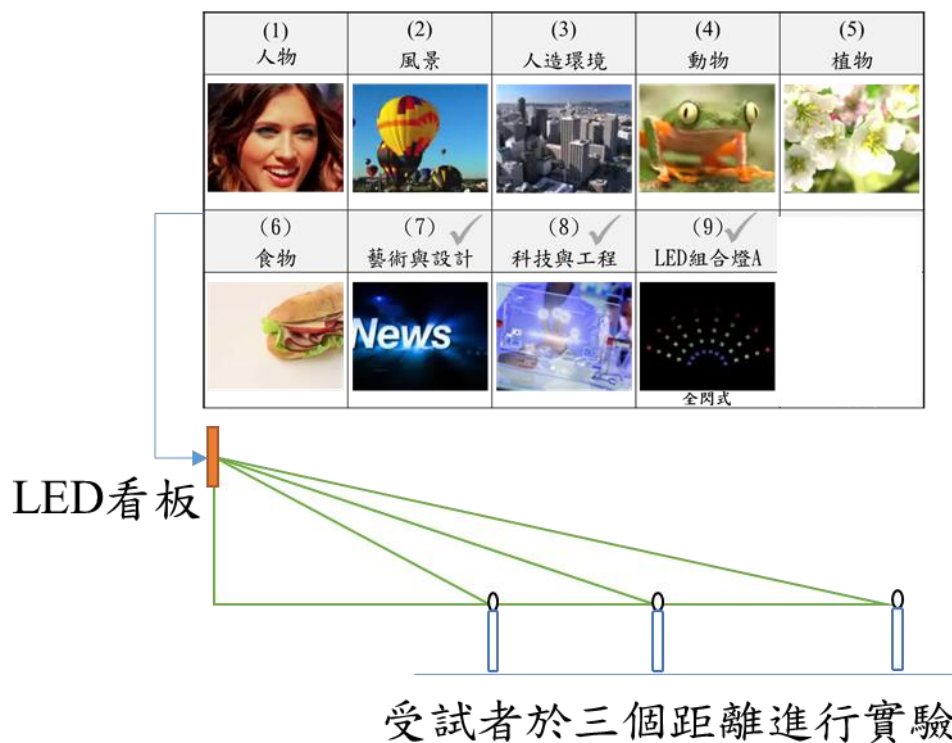


圖 3 室外人眼感受實驗布置模擬圖

(一) 廣告招牌的室內實驗及量測方法研析

1. 光污染源廣告招牌燈具的選定

104 年度 LED 組合燈中三類光源（孔雀燈型、字型燈型、八卦燈型）人眼不適性感受實驗分析，發現八卦燈型的眩光與閃爍是最不適。根據 104 年度光污染人因實驗結果所得組合燈類光源之眩光主觀評價，其中以八卦燈之眩光評價及閃爍評價平均數 4 種圖案（如圖 4 所示）皆低於不適界線 5 分，因此我們將針對去年度眩光與閃爍評價平均數最不適之 LED 組合八卦燈，作為今年度研究之重點。設計可控制操作條件之 LED 八卦燈人體感受實驗（包含亮度級數與閃爍級數），進行實驗資料的收集和分析。

2. LED 光源亮度量測方法探討

依據 104 年度的計畫成果指出 LED 組合燈的單一封装亮度與人眼的不舒適性感受趨勢較為接近，單一封装亮度的量測以 LED 八卦燈為例，如圖 5 所示，由於此量測方式必須將亮度計盡量貼近（小於 1 公尺）八卦燈，因此並不適用於戶外實地需與光源保持一段距離（數十公尺），因此今年度比較單點式亮度量測法、影像式亮度量測法、單元亮度量測推算法，說明如下：

- A. 單點式亮度量測法：使用 TOPCON-SR-UL1R 進行八卦燈綠光單一封装亮度量測以 1° 視角，量測距離 60 公分，在 30 顆 LED 綠光取樣 7 顆如圖 5 所示。
- B. 影像式亮度量測法：Topcon UA-1000 為全面式（CCD 式）亮度色度計，可以高精度的量測面發光亮度的均勻性，量測亮度範圍 0.005~100,000 cd/m²（需搭配測定角度而定），最大畫素的高解像度為 1,360×1,024，八卦燈靜態 LED 綠光單元亮度之量測範圍以綠色 LED 中心點進行量測，每一個區塊包含 20×16 個 pixel，每個區塊對應的尺寸為 4.59 mm×3.68 mm，每個 LED 的出光直徑為 5 mm，量測所得數據取最大亮度為單一發光亮度。
- C. 單元亮度量測推算法：八卦燈是以 8 個三角形區域組合而成之 LED 組合燈，其 LED 光源排列較為平均，以靜態 LED 綠光單元亮度進行量測，1° 視角量測距離 5 公尺，靜態 LED 綠光單元亮度之量測中心點及範圍為綠色中心點 7 個 LED，取樣位置不同量測 5 次如圖 7 所示，每個量測單元與其他量測單元面積範圍皆有重複涵蓋三分之一左右的 LED 燈泡，控制器調控 10%~100%，每 10% 量測一次，每一個區間量測 2 次取平均數為靜態 LED 綠光單元亮度，假設單顆 LED 發光亮度相同，出光直徑為 5 mm，1° 視角量測單元直徑為 82 mm，可推算出單顆 LED 發光亮度。

3. LED 光源閃爍量測方法探討

本計畫透過聚光型的照度計(focused illuminance meter, FILM)的方式進行量測，以 TOPCON IM-600 照度計配合光學鏡頭之裝配，所得到的照度波型可以用來分析時間頻率強度，量測架構如圖 8 所示。頻率強度分析法說明如下：

頻率域分析之主要目的為了解時間域訊號之頻率內涵，本計畫將光源刺激訊號由時間域轉換至頻率域進行討論，可初步了解光污染源中其閃爍頻率及分布特性。訊號之頻率域分析，主要基於傅立葉轉換(Fourier Transform)，而傅立葉轉換源自傅立葉級數(Fourier series)，以下依序探討頻率域分析之理論基礎及數值分析方法：

A. 離散傅立葉轉換(Discrete Fourier Transform, DFT)

由於理論之傅立葉轉換係基於無限長之基本週期，然而以數值分析或實務上之量測及信號分析，僅能取有限時間區間，因此離散傅立葉轉換之特性將個別探討。

B. 快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)

在離散傅立葉轉換之數值分析，數值運算次數及計算時間長，遂發展了快速傅立葉轉換之快速數值分析方法，惟時間域分割點數必須是 2 的冪次方個，亦即 2, 4, 8, 16, ... 256, 512, 1024, 2048 個。閃爍歷時訊號若以 $x(t)$ 表示，則 $x(t)$ 在週期 T_0 趨於無限長之連續時間，傅立葉轉換可以表示如以下公式：

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

（ f 為頻率(Hz)， $j = \sqrt{-1}$ 為一虛數）

假設取樣週期 T_0 （取樣頻率 $f = 1/T_0$ ），頻率解析度 $\Delta f = 1/(NT)$ ， N 為總取樣點數（量測之總筆數）， $f_c = 0.5f = 1/(2T_0)$ 即為傅立葉轉換後之截止頻率。

4. 室內人體視覺感受試驗設計

採用統計實驗設計中的多因子變異數分析法、主觀不舒適界線與等級類別法，進行實驗資料的收集和分析。實驗操控變項為使用 LED 八卦燈單一封装亮度（13 種亮度，447 cd/m²~168,641 cd/m²）、播放圖案幀數(Frame)（12 種，0.125 幀數~1000 幀數）和 4 種常見圖案類型，召集 10 位青壯年（平均年齡為 29.7 歲）及 10 位中老年（平均年齡為 49.1 歲）執行 20 人次試驗，實驗總數共 3,000 次。

在實驗過程中當光源出現時先請受試者觀察是否有感受到刺激量引起的反應如感受到眩光或閃爍判斷「有」或「無」填寫問卷，有感受到刺激量所引起的眩光或閃爍進一步請受試者

感知「有」眩光或閃爍的可接受程度，本實驗採用心理物理學等距量表，分數由 1 到 9 分，分別代表意義如表 1 所示，量表 5 分即是本研究不舒適界線的定義。本研究設計的主要問卷內容收集每段測試圖案的 2 項評價：最大眩光之主觀評價和最大閃爍之主觀評價。

今年度使用的 9 分閾值量表是對於光源的不舒適度進行評價，受試者不舒適度高時評價分數高，笛波爾 9 分眩光量表則是對舒適度進行評價，因此受試者舒適度高時評價分數高。因此實驗有可能會出現當受試者感受不到眩光或閃爍時，其評價分數為 0，因此今年度採用 9 分閾值量表。

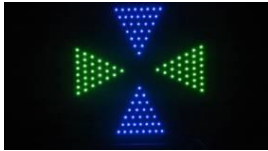
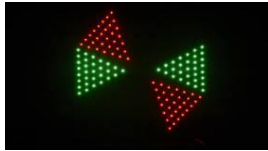
單色掃描	雙色跳變	單色堆疊	單格旋轉
			

圖 4 正式實驗使用的 LED 八卦燈 4 種圖案

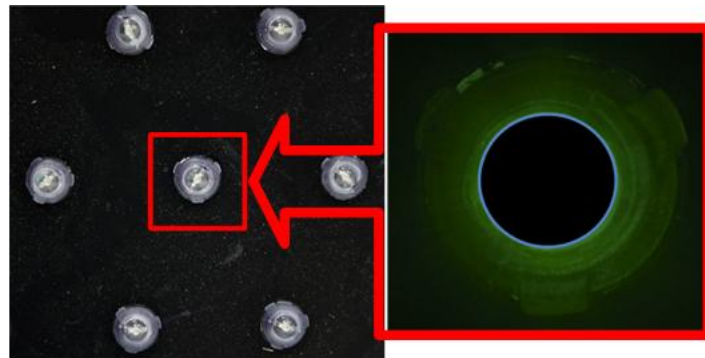


圖 5 單點式亮度量測示意圖

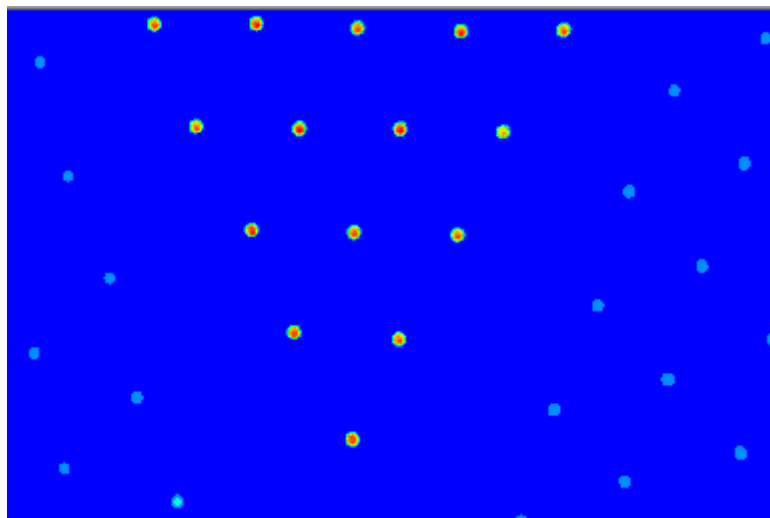


圖 6 影像式亮度量測示意圖

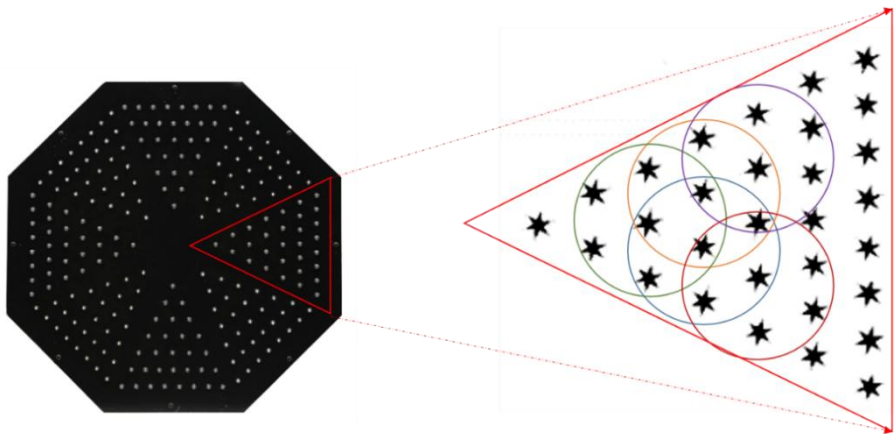


圖 7 單元亮度量測示意圖

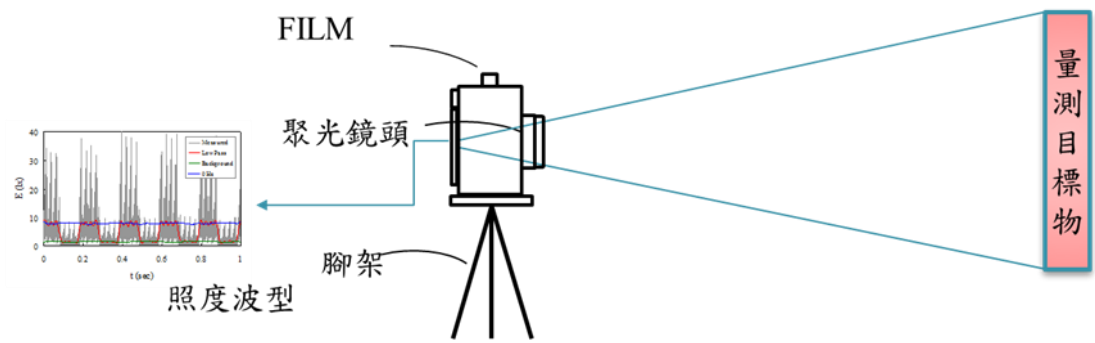


圖 8 閃爍量測示意圖

表 1 9 分閾值量表

可接受的			不可接受的		
1	3	5	7	9	
恰可辨識的	無妨礙的	恰無法接受的	有妨礙的	無法忍受的	

5. 受試者與實驗程序

本實驗共募集 20 位受試者，其中 10 位女性與 10 位男性及 2 群年齡層觀測者人數亦各半，青壯年平均年齡為 29.7 歲，中老年平均年齡為 49.1 歲，皆挑選色視覺與視力正常者，並且以畫間活動為主的民眾。

LED 八卦燈實驗設計為單一封裝亮度（13 種亮度， $447 \text{ cd/m}^2 \sim 168,641 \text{ cd/m}^2$ ）、播放圖案幀數(Frame)（12 種，0.125 幀數 $\sim$ 1000 幀數）和 4 種常見圖案類型。實驗組合條件之 LED 八卦燈動態圖案以隨機的安排來呈現，但播放順序相同，以模擬戶外 LED 八卦燈內容重複播放的情境。觀看一段測試動態圖案後，讓受試者立即填寫主觀閾值量表，故以 20 人分別觀看 300 段動態圖案（4 項播放圖案 $\times$ 3 固定亮度 $\times$ 12 階段調製圖案幀數 + 4 項播放圖案 $\times$ 3 固定播放週期 $\times$ 13 階段調製亮度），收集眩光與閃爍評價各 6,000 筆資料與 101 年度至 104 年度的資料量相當，此具有統計的代表性。

（二）室外人眼感受實驗研究方法

本計畫採用統計方法之多因子完全隨機化區集實驗設計，收集主觀不舒適界線所需之主觀感受評比分數，進行實驗資料的分析。對於國內光污染於人體不舒適性感受之研究，本計畫透過問卷設計、LED 看板影片設計、人因實驗結果與人因分析三個程序執行之，探討 LED 類廣告看板各舒適性因子對視覺舒適度之影響程度。

問卷設計如下，問卷一為民眾主觀感受評分，開始會請受測者點選影片編號，接著開始第一部分的問卷，請受測者就播放之影片觀看後的感受，點選受試者主觀舒適性感受評比，共有七個問題，第 1 個問題詢問眩光感受，第 2 個問題詢問閃爍感受，第 3 個問題詢問不舒適感受（包含眩光及閃爍），第 4 個問題確認第一個問題的眩光感受，第 5 個問題詢問該廣告是否明顯是否有吸引受試者或者造成干擾，第 6 及第 7 個問題詢問如果造成干擾是否需要改進。

民眾主觀感受評分採用笛波爾 9 分量表，例如第 1 個問題、第 2 個問題、第 3 個問題均為舒適性感受的評分量表，1 分代表無法忍受的(Unbearable)，5 分代表恰可接受的(Just acceptable)，9 分代表恰可辨識的(Just noticeable)。

問卷的第二部分調查受訪民眾背景資料，包含性別、年齡層、身份別、住所距離、請問您經過此處的頻率（以週計算）。

本次實驗在戶外實施，以租用 LED 看板方式播放自行編製影片操控光源之亮度和閃爍頻率，掌控上相對較為精確，透過實驗之監測數據，後續與歷年資料予以比對並驗證之。自製影片，共有 9 段分別為人物類、風景類、建築類、動物類、植物類、食物類、藝術類、科技類及 LED 組合燈。

三、廣告招牌室內及室外人眼感受結果與分析

（一）廣告招牌室內人眼感受結果與分析

根據本計畫 LED 八卦燈人眼感受度實驗，收集 20 位受測者數據的分析結果重點與發現如下：

1. 完成 LED 八卦燈之單一封裝亮度量測之比較，無論是採用單點式或影像式亮度量測方式皆可獲得正確之亮度資訊，兩者平均誤差在 2.3 % 以內。另外，使用單元亮度推算單一封裝亮度之方式因部分參數需要先行假設和校正，因此誤差較大，建議僅能用在初步階段量測採用。後續之眩光感知人因實驗之亮度參數主要是採用 LED 八卦燈最高亮度之單一封裝亮度。
2. LED 組合燈的單一封裝亮度，建議使用影像式亮度計量測之。
3. 完成 LED 八卦燈動態閃爍照度變化波形之量測，並利用快速傅立葉轉換 FFT 方式獲得總體閃爍頻率（包含時間和空間變化），後續之閃爍感知人因實驗之頻率參數即採用轉換後之 FFT 頻率。
4. 完成人體感受試驗並進行初步亮度與閃爍主觀評價之變異數分析，自變項因子包含 LED 單一封裝亮度、FFT 頻率、年齡層及性別。LED 單一封裝亮度和 FFT 頻率皆分別對亮度與閃爍評價有顯著影響。年齡層及性別參數雖亦有顯著影響趨勢，但實際主觀評價分數差異不大，因此後續建立亮度與閃爍閾值模型時不考慮年齡和性別因素。
5. 根據人眼感受試驗結果，整理出眩光與閃爍可接受百分比分布，分別如圖 9 及圖 10 所示，並進一步建立預測模型，依此提出建議表，表 2 八卦燈眩光亮度建議表，表 3 為低頻(<10 Hz) LED 八卦燈可接受閃爍百分比建議表，表 4 為高頻(> 10 Hz) LED 八卦燈可接受閃爍百分比建議表。我們提出以 50 % 可接受百分比做為閾值門檻，在眩光部分，眩光亮度可接受閾值為 $71,500 \text{ cd/m}^2$ ，對應去年計畫所獲得之笛波爾評價分數約為 4.2 分，介於恰可

接受與妨礙的之間；在閃爍部分，小於 3.9 Hz 和大於 22.5Hz 為閃爍可接受之頻率閾值區域，換言之，介於 3.9 Hz~22.5 Hz 之頻率範圍應盡量避免。

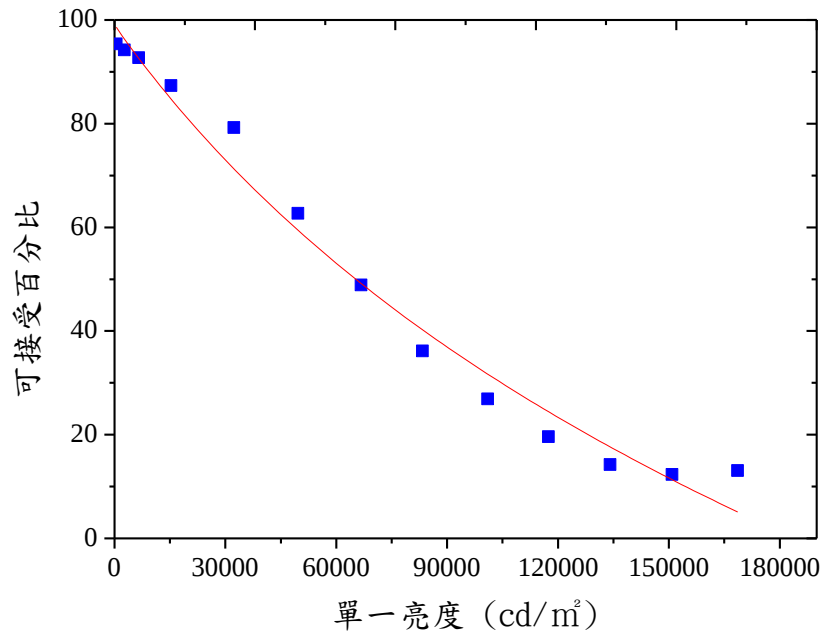


圖 9 單一封裝亮度可接受眩光百分比及擬合曲線

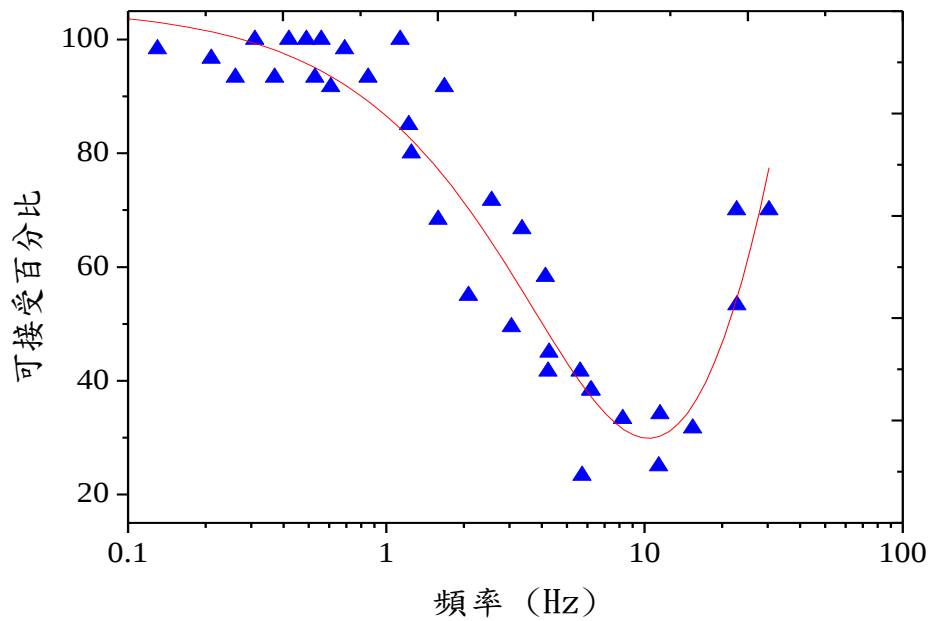


圖 10 LED 八卦燈可接受閃爍百分比及擬合曲線

表 2 LED 八卦燈可接受眩光百分比建議表

可接受眩光百分比(%)	100	95	90	85	80
單一封裝亮度(cd/m ²)	2,697	7,000	13,500	19,000	25,000
可接受眩光百分比(%)	75	70	65	60	55
單一封裝亮度(cd/m ²)	32,000	39,000	46,500	54,000	63,000
可接受眩光百分比(%)	50	45	40	35	30
單一封裝亮度(cd/m ²)	71,500	80,000	90,000	102,000	113,000
可接受眩光百分比(%)	25	20	15	10	5
單一封裝亮度(cd/m ²)	125,000	136,000	150,000	165,000	180,000

表 3 LED 八卦燈可接受閃爍百分比建議表（低頻部分）

可接受閃爍百分比(%)	100	95	90	85	80
頻率(Hz)	0.3	0.5	0.8	1.1	1.4
可接受閃爍百分比(%)	75	70	65	60	55
頻率(Hz)	1.7	2.1	2.5	2.9	3.4
可接受閃爍百分比(%)	50	45	40	35	28
頻率(Hz)	3.9	4.6	5.4	6.6	9.5

表 4 LED 八卦燈可接受閃爍百分比建議表（高頻部分）

可接受閃爍百分比(%)	28	30	35	40	45
頻率(Hz)	9.5	13.5	16.5	18.5	20.5
可接受閃爍百分比(%)	50	55	60	65	70
頻率(Hz)	22.5	24.5	26	28	29.5
可接受閃爍百分比(%)	75	80	85	90	95
頻率(Hz)	33	36.4	34.5	36.4	38
可接受閃爍百分比(%)	100				
頻率(Hz)	39.5				

（二）室外人眼感受實驗結果與分析

室外人體視覺感受實驗，完成 LED 多媒體看板測試影片 9 段的編製與實驗問卷的設計，於臺中市東海大學管理學院大樓中庭完成實地光污染源閃爍及閃爍人因實驗共計 24 人次，實驗總次數 1,536 次。

將影片依 90%閃爍頻率強度分類為低水準（介於[23.47, 32.50]）、中水準（介於[32.51, 38.50]）、和高水準（介於[38.51, 43.8]）三種水準，最大眩光評價之變異數分析檢定結果證實，亮度百分比之主效果、頻率強度分類因子之主效果、和觀測距離因子之主效果對於最大眩光平均評價亦呈現顯著性差異。隨著亮度百分比調高，最大眩光評價呈現較不舒適感；隨著閃爍頻率強度增強，最大眩光評價呈現較不舒適感；隨著觀測距離越靠近 LED 看板，

最大眩光評價呈現較不舒適感；此外，性別和年齡別交互作用對於最大眩光平均評價有明顯差異。

最大閃爍評價之變異數分析檢定結果顯示，平均而言，最大閃爍結果類似最大眩光，青年組男女差異不大，壯年及中高齡兩組男性之不舒適性均高於女性，最大眩光和最大閃爍主觀舒適性評比之相關係數 $r=0.803$ ，顯示有正向之強關聯。

民眾距離 LED 看板之觀測距離分別為 10 公尺、20 公尺、40 公尺時，三種亮度百分比下影片第 90 百分位數頻率強度所得之最大閃爍平均評價之迴歸配適，圖形一致呈現最大閃爍平均評價隨著影片頻率強度增強而下降，其中觀測距離分別為 40 公尺時，實際所測量到的影片頻率強度相較 20 公尺為低，如圖 11 所示。

依據 103 年的研究成果，如圖 12 所示，當 LED 多媒體看板亮度為 $1,000 \text{ cd/m}^2$ 時，所推估的線性迴歸模型為 $\hat{y} = -0.221x + 12.871$ ， $R^2 = 72.32\%$ ，此時閃爍舒適界線笛波爾分數 5 分的第 90 百分位數閃爍頻率強度約為 35.6；當 LED 多媒體看板亮度為 $5,000 \text{ cd/m}^2$ 時，所推估的線性迴歸模型為 $\hat{y} = -0.235x + 12.634$ ， $R^2 = 0.833$ ，此時閃爍舒適界線笛波爾分數 5 分的第 90 百分位數閃爍頻率強度約為 32.5。藉由以上 2 項公式可以推測動態畫面的閃爍評價之閃爍頻率強度建議值，詳細推測數據列於表 5。

105 年室外人因實驗與 103 年實驗室的資料蒐集，最大的差異在於 105 年室外實驗加入三種不同的觀測距離，研究成果依不同觀測距離推估閃爍舒適界線笛波爾分數^(Y)和 LED 多媒體看板所播放影片之第 90 百分位數頻率強度^(X)的線性迴歸模型，當觀測距離為 10 公尺，所得之推估模型 $\hat{y} = -0.331x + 17.161$ ，($R^2 = 61.43\%$)，此時 LED 多媒體看板亮度為 $1,490 \sim 3,003 \text{ cd/m}^2$ ，所推估的閃爍舒適界線笛波爾分數 5 分的第 90 百分位數閃爍頻率強度約為 36.7；當觀測距離為 20 公尺，所得之推估模型 $\hat{y} = -0.328x + 17.187$ ，($R^2 = 68.95\%$)，此時 LED 多媒體看板亮度為 $1,100 \sim 4,000 \text{ cd/m}^2$ ，所推估的閃爍舒適界線笛波爾分數 5 分的第 90 百分位數閃爍頻率強度約為 37.2；當觀測距離為 40 公尺，所得之推估模型 $\hat{y} = -0.237x + 13.574$ ，($R^2 = 78.09\%$)，此時 LED 多媒體看板亮度為 $1,199 \sim 4,299 \text{ cd/m}^2$ ，所推估的閃爍舒適界線笛波爾分數 5 分的第 90 百分位數閃爍頻率強度約為 36.2，請參考表 6。

將以上室外 LED 多媒體看板對人眼感受實驗的結果歸納，並與歷年結果比較分析，顯示實際於戶外觀看 LED 多媒體看板時，三種距離（10 公尺、20 公尺、40 公尺）所推估的閃爍舒適界線笛波爾分數 5 分的第 90 百分位數閃爍頻率強度落 36.2~37.2 之間相較歷年稍高，受試者於室外環境相較可接受較高的頻率強度，建議當 LED 多媒體看板亮度為 $1,100 \sim 4,299 \text{ cd/m}^2$ 時，可以不需修正表 5 之閃爍頻率強度建議表，亦即以相較嚴苛之閃爍舒適界線笛波爾分數 5 分的執行標準。

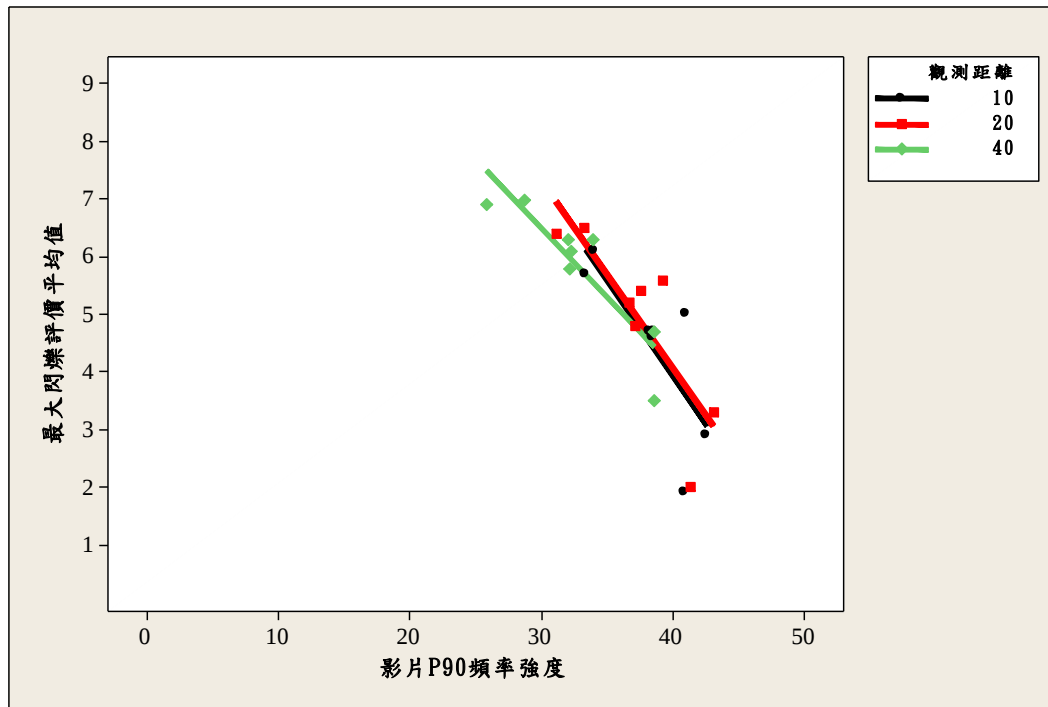


圖 11 三種觀測距離下影片頻率強度之最大閃爍評價

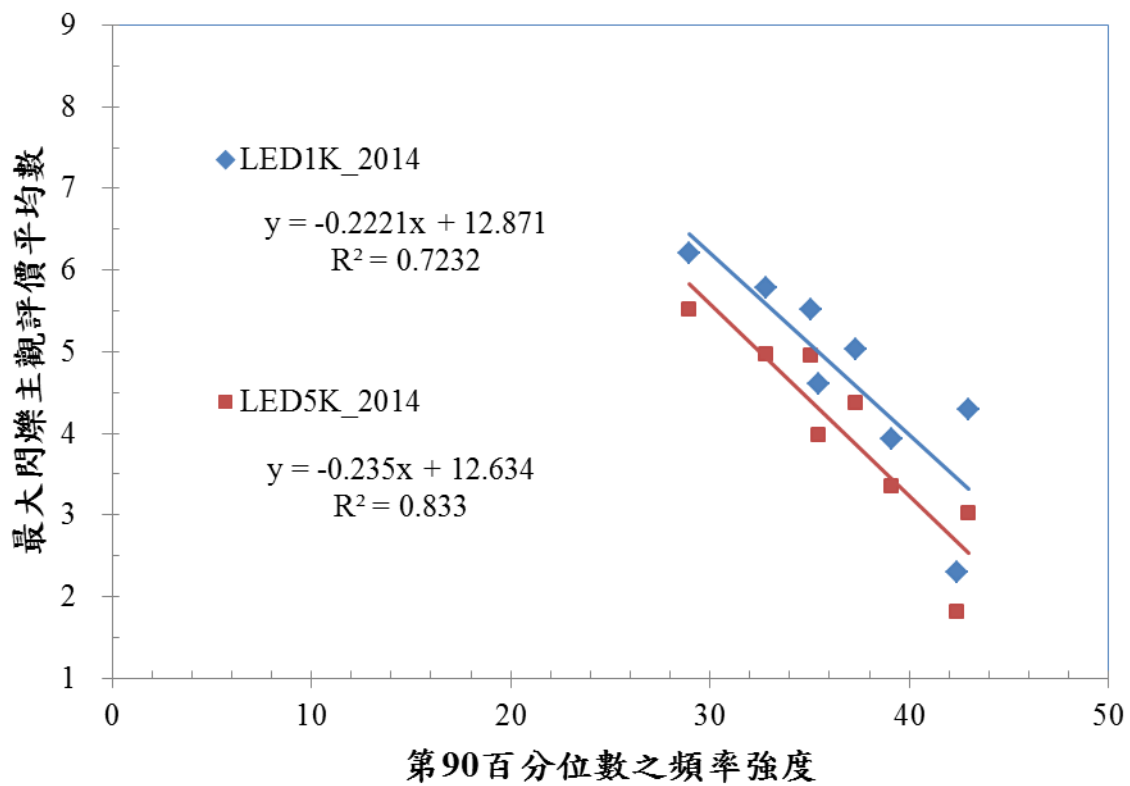


圖 12 平均笛波爾閃爍評價與 P90 畫面強度的分佈（103 年成果）

表5 動態畫面閃爍評價之閃爍頻率強度建議表（103年成果）

笛波爾 評價	閃爍頻率強度				
	亮度水準（102 年度）			亮度水準（103 年度）	
	1000	3000	5000	1000	5000
	cd/m ²	cd/m ²	cd/m ²	cd/m ²	cd/m ²
9	16.1	14.5	14.3	17.5	15.5
8	20.4	18.7	18.5	22.0	19.7
7	24.7	22.9	22.7	26.6	24.0
6	29.0	27.1	26.9	31.1	28.2
5	33.3	31.4	31.0	35.6	32.5
4	37.6	35.6	35.2	40.1	36.7
3	41.9	39.8	39.4	44.7	41.0
2	46.2	44.0	43.6	49.2	45.3
1	50.5	48.2	47.8	53.7	49.5

表6 105 年度動態畫面閃爍評價之頻率強度建議表

笛波爾主觀評價	閃爍頻率強度		
	10 公尺	20 公尺	40 公尺
9	24.7	25.0	19.3
8	27.7	28.0	23.5
7	30.7	31.1	27.7
6	33.7	34.1	32.0
5	36.7	37.2	36.2
4	39.8	40.2	40.4
3	42.8	43.3	44.6
2	45.8	46.3	48.8
1	48.8	49.4	53.1
模型預測能力	$R^2 = 61.43 \%$	$R^2 = 68.95 \%$	$R^2 = 78.09 \%$

四、102 年-104 年陳情案件分析

（一）陳情案件分析處理方法分析

全省 22 個縣市統計共有 778 件陳情案件，案件數高於 10 件的有六都、新竹市、嘉義市，如果排除臺北市，其餘縣市的陳情案件數均低於 100 件。

各縣市處理方法，可歸類為現場勘查後發文或直接勸導被陳情人進行改善、轉由光源的主管機關處理、委請村里代表協調改善、說明非該局業務但仍對被陳情人進行勸導、陳情人已自行處理等。

分析發現直轄市（六都）以外的各個地區各縣市之間的陳情案件數落差較大，例如北部地區有 54 件，其中新竹市 33 件、基隆市 7 件、宜蘭縣 2 件，新竹縣 0 件，中部地區僅有 4 件，分別是苗栗縣 2 件、彰化縣 2 件，雲林縣及南投縣均為 0 件，因此以地區來分析其代表性不高；6 都中，則以臺北市的陳情案 530 件最多，因此以下針對 6 都進行分析。

（二）光污染來源種類分析

光源種類的分析發現臺灣民眾對於廣告類光源的陳情最多，共有 467 件(60%)。

1. 6 都的光污染來源種類分析

6 都之中以臺北市 530 件及新北市的 87 件陳情案件總數最多，其餘的 4 都均少於 30 件，依序是臺南市 28 件，臺中市 13 件，高雄市 13 件，桃園市 11 件。

臺北市的陳情案件中以 LED 類廣告的最多共有 233 件($233/530 = 44.0\%$)，臺南市以 LED 類廣告的案件數最多共有 14 件($14/28 = 50\%$)，臺中市以 LED 類廣告的案件數最多共有 6 件($6/13 = 46.2\%$)。桃園市以非 LED 類廣告的案件數最多共有 6 件($6/11 = 54.5\%$)；新北市以其他類的案件數最多共有 43 件($43/87 = 49.4\%$)，高雄市以其他類的案件數最多共有 4 件($4/13 = 30.8\%$)，如圖 13 所示。

依據陳情比例來分析 LED 類廣告比例最高的有臺北市、臺南市、臺中市等 3 個都市，非 LED 類廣告比例最高的只有桃園市 1 個都市，其他類比例最高的有新北市及高雄市 2 個都市，此外桃園市及臺中市沒有反射光的陳情案件，如表 7 所示。

因此 6 都如果要進行管理或改善其優先也可以參考表 7 來進行，換言之管理的重點及方式建議要依照都市的特性來決定，例如臺北市、臺南市、臺中市、桃園市的管理重點都是廣告類光源，桃園市以非 LED 類廣告為優先，LED 類廣告次之，其他 3 個都市則恰好相反。

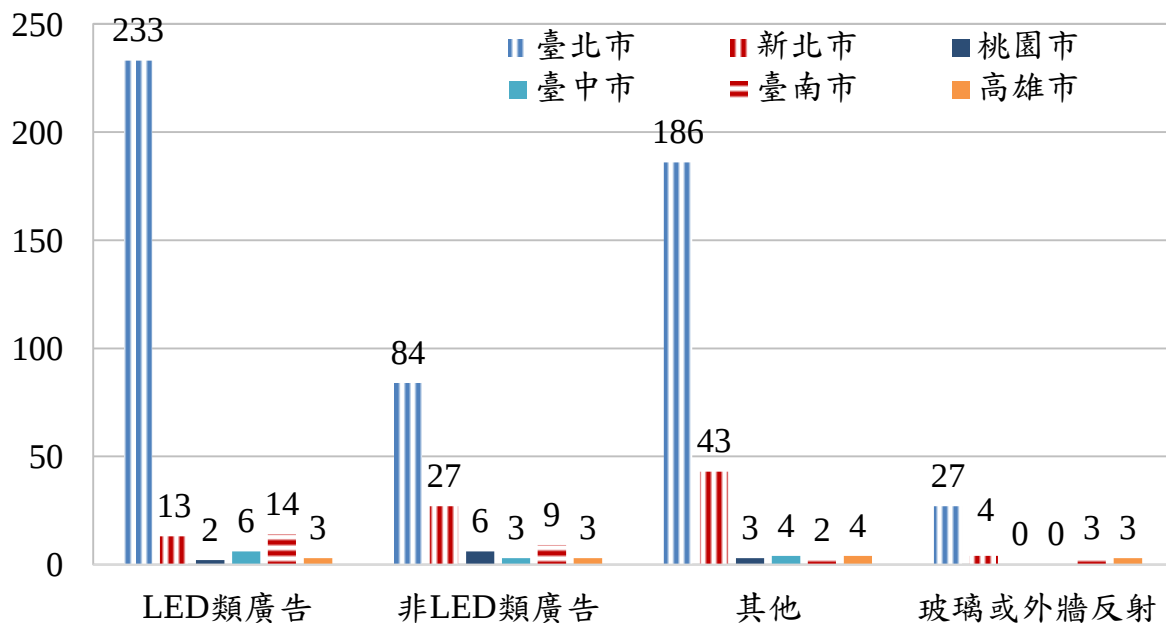


圖 13 102 年至 104 年 6 都陳情光源分類統計

表 7 6 都及其他地區陳情比例最高的光源比較

陳情案件數比例最高的光源	LED 類廣告 (件數 / 比例)	非 LED 類廣告 (件數/比例)	其他類 (件數/比例)	玻璃或外牆反射 (件數/比例)
臺北市	233/ 44%			
臺南市	14/ 50%			
臺中市	6/ 46%			0
桃園市		6/ 55%		0
新北市			43/ 49%	
高雄市			4/ 31%	

2. 臺北市的光污染來源種類分析

臺北市 102 年至 104 年的光污染陳情案件數共有 530 件，其中 5 件為陳情全臺北市的 LED 類光源（LED 看板 3 件、LED 招牌字 1 件、LED 組合燈 1 件），12 個行政區的陳情案件總數為 525 件，其中以廣告類 303 件最多（LED 類廣告為 228 件，非 LED 類廣告為 85 件），其他類光源為 186 件，玻璃或外牆反射類為 26 件。

依據行政區進行分析，12 各行政區平均的陳情案件為 43.8 件，LED 類廣告的各區平均陳情案件數為 19 件，非 LED 類廣告的各區平均陳情案件數為 7.1 件，其他類光源的各區平均陳情案件數為 15.5 件，玻璃或外牆反射類的各區平均陳情案件數為 2.2 件，如表 8 所示。

表 8 102 年~104 年臺北市光污染陳情案件光源分區統計

行政區	LED 類廣告	非 LED 類廣告	其他	玻璃或外牆反射	行政區案件總數
文山區	14	6	12	2	34
萬華區	13	7	9	2	31
中正區	21	0	9	0	30
大安區	46	15	29	5	95
信義區	20	4	21	1	46
南港區	5	5	23	4	37
大同區	11	3	7	0	21
中山區	31	14	20	3	68
松山區	16	9	16	4	45
內湖區	20	7	13	3	43
士林區	15	6	13	0	34
北投區	16	9	14	2	41
行政區平均	19.0	7.1	15.5	2.2	43.8
行政區加總	228	85	186	26	525
全市	5	0	0	0	5
總數	233	85	186	26	530

陳情案件高於平均陳情案件數的行政區依序是大安區 95 件、中山區 68 件、信義區 46 件，建議列為優先改善的行政區。

LED 類廣告高於平均數的行政區依序是大安區 46 件、中山區 31 件、中正區 21 件、信義區 20 件、內湖區 20 件，建議列為優先改善的行政區。

非 LED 類廣告高於平均數的行政區依序是大安區 15 件、中山區 14 件、松山區 9 件、北投區 9 件，建議列為優先改善的行政區。

其他類光源高於平均的行政區依序是大安區 29 件、南港區 23 件、信義區 21 件、中山區 20 件、松山區 16 件，建議列為優先改善的標的。

玻璃或外牆反射類高於平均數的行政區依序是大安區 5 件、南港區 4 件、松山區 4 件、中山區 3 件、內湖區 3 件。接近平均數且大於等於 2 件的行政區依序是文山區 2 件、萬華區 2 件、北投區 2 件。

(三) 6 都光污染不舒適訴求

不舒適的訴求的分析發現瞭解光源過亮及閃爍是造成民眾不舒適的 2 大因素。6 都光污染不舒適訴求分析如圖 14 所示，6 都均是過亮訴求比例最高，比例次高為過亮及閃爍的訴求有臺北市、臺中市、臺南市，比例次高為其他訴求的只有新北市。因此 6 都的不舒適

訴求，應優先改善的是光污染源過亮。

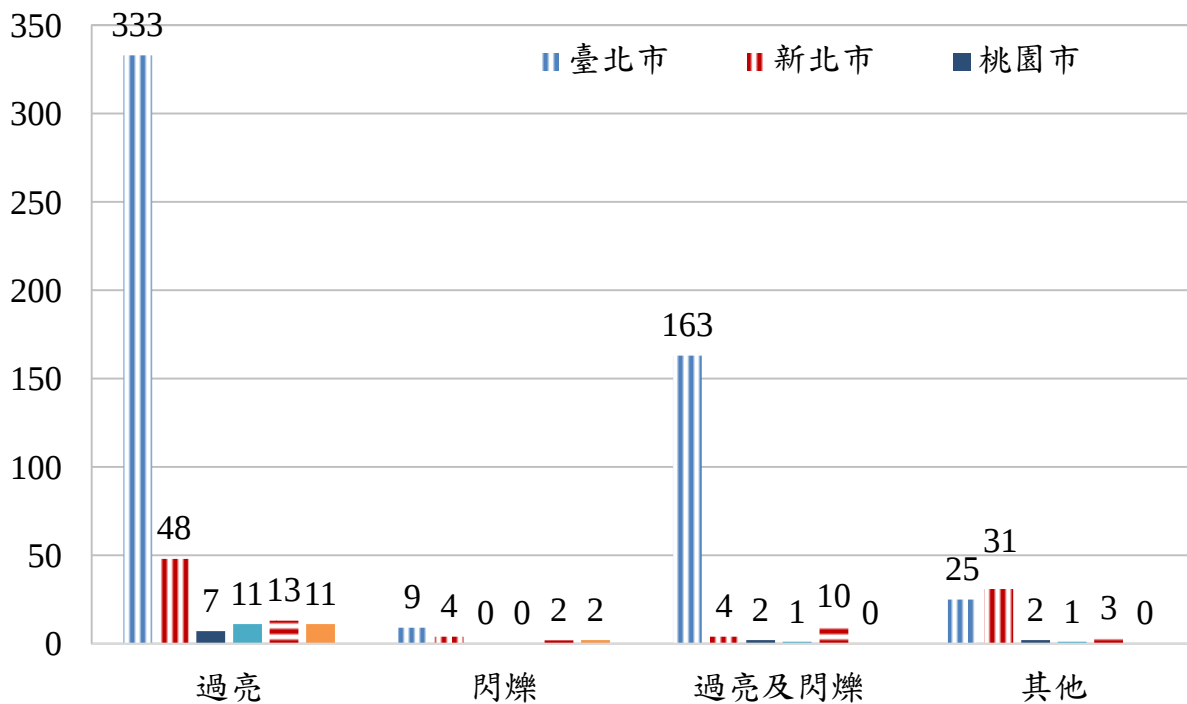


圖 14 102 年至 104 年 6 都陳情不舒適訴求統計

(四) 6 都光污染可能影響情形或對象分析

光污染可能造成的危害或干擾對象分析後發現，光污染干擾多數民眾住家甚至影響睡眠，光污染可能影響行車安全或造成用路人的干擾。6 都光污染可能影響情形或對象分析如圖 15 所示，6 都中可能影響住家比例最高的有臺北市、新北市、桃園市、臺中市及高雄市，可能影響行車安全比例最高的有臺南市。因此 6 都的可能影響情形或對象分析，應列為優先改善分別是住家的影響（臺南市以外），以及行車安全的影響（臺南市）。

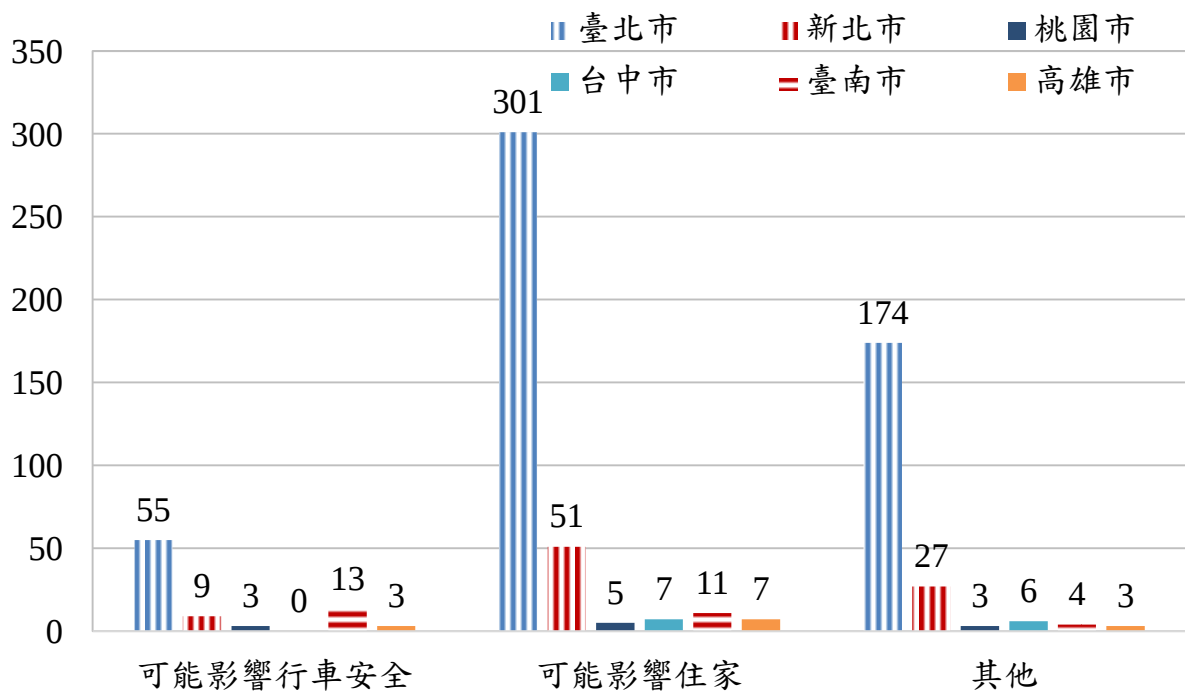


圖 15 102 年至 104 年 6 都陳情污染可能造成之影響情形或對象統計

五、環境背景亮度及照度之調查與量測程序草案

本計畫選定大型都會區（新北市）6 處動態畫面廣告招牌的光源為標的物，使用 Konica Minolta LS-100 可攜式亮度計面向 LED 看板進行亮度監測，使用二個 Konica Minolta T10A 照度計，一個照度計面向光源垂直於水平面進行垂直照度(E_v) 監測，一個照度計面向天空並平行於水平面進行水平照度(E_h) 監測，選擇量測儀器架設容易且量測人員安全無虞的場地，6 個地點的 LED 看板，尺寸大小介於 $20\text{ m}^2 \sim 53.9\text{ m}^2$ ，量測距離介於 $34.8\text{ m} \sim 68.2\text{ m}$ ，量測的 LED 看板最大亮度介於 $234\text{ cd/m}^2 \sim 2,955\text{ cd/m}^2$ ，監測量測點之環境光源變化。新北市的 6 處調查對象地點為永和路二段 26 號屬於鬧區生活圈類型；第 2 處為雄博物館位於工業區內屬於非鬧區類型；第 3 處捷運江子翠站 3 號出口屬於鬧區生活圈類型；第 4 處泰山區楓江路 110 號位於 65 快速道路旁的五股工業區出入口雖屬於非鬧區類型但來往車輛相當多；第 5 處板橋公車站旁縣民大道二段屬於鬧區生活圈類型；第 6 處板橋區中山路一段 118 號屬於鬧區生活圈類型。6 處 LED 看板的大小與量測參數如表 9 所示。

調查 6 處 LED 看板亮度及環境垂直照度極值與平均值，6 處 LED 看板的亮度最大值、最小值分別為板橋區中山路 1 段的 $2,995\text{ cd/m}^2$ 、遠雄博物館的 234 cd/m^2 ，6 處 LED 看板的亮度平均值由大到小分別為捷運江子翠站的 1588 cd/m^2 、永和路 2 段的 $1,002\text{ cd/m}^2$ 、泰山區楓江路的 947 cd/m^2 、板橋區中山路 1 段的 901 cd/m^2 、板橋公車總站的 338 cd/m^2 、汐止區遠雄博物館的 85 cd/m^2 ；5 處地點（泰山區楓江路的 LED 看板至晚間 11 點 30 分仍未關閉，最小垂直照度仍高達 59.5 lx ，因此不列入比較，如果將最大垂直照度減去最小垂直照度視為背景垂直照度，它仍高達 38.3 lx ）的背景垂直照度（指最小垂直照度）最大值及最小值分別為捷運江子翠站的 20.2 lx 、遠雄博物館的 4.2 lx ，如將泰山區楓江路列入比較，它的背景垂直照度 38.3 lx 是最大的，6 處環境垂直照度平均值由大到小分別為泰山區楓江路的 90 lx 、捷運江子翠站的 37.8 lx 、永和路二段的 34.7 lx 、板橋區中山路 1 段的 25.1 lx 、遠雄博物館的 20.9 lx 、板橋公車總站的 20.6 lx 。

表 9 新北市六個地點的 LED 看板大小及量測參數

地點	目標長度 (水平) (m)	目標寬度 (垂直) (m)	量測角度 ($^{\circ}$)	量測距離 (光源與量測儀 器的距離) (m)	最大亮度 (cd/m^2)
永和路二段 26 號	6.7	4.5	15.8	41	2,049
遠雄博物館	9.8	5.5	25.15	34.8	234
捷運江子翠站 3 號出口	9	4.5	8	52	2,845
泰山區楓江路 110 號	8.0	6.0	10.7	40.9	1,040
板橋公車站旁縣 民大道二段	5	3	13.6	68.2	926
板橋區中山路一 段 118 號	4	5	4.9	49.7	2,955

(一) 亮度及垂直照度比較

調查 6 處地點三個時段(7:00 pm~ 8:30 pm、8:30 pm~10:00 pm、10:31 pm~)的最大亮度、平均亮度、最小亮度、最大垂直照度、平均垂直照度、背景照度（最小照度）、最大水平照度、平均水平照度、最小水平照度、垂直照度對比(C_m of E_v)及水平照度對比(C_m of E_h)，如表 10 所示，其中 C_m 指的是麥克遜對比，如下式：

$$C_m = \frac{Max - Min}{Max + Min} \quad (2)$$

依據 104 年的研究成果，表 10 中的垂直照度對比(C_m of E_v)，可以用來估計量測地點的交通流量概況，依據新北市 6 個地點的量測結果可分為 3 類 C_m of E_v 高於 65 %、 C_m of E_v 介於 50 % 及 65 %、 C_m of E_v 低於 50 %，舉例而言，永和路 2 段 C_m of E_v 平均而言高於 65 % 在量測當晚屬於交通流量不高的，板橋公車總站及泰山區楓江路 110 號三個時段 C_m of E_v 低於 50 % 在量測當晚屬於交通較繁忙的地點。捷運江子翠站 7:00 pm ~ 8:30 pm 時段 (C_m of E_v 52 %) 屬於相對而言交通流量中等，8:31 pm ~ 10:00 pm 時段 (C_m of E_v 61 %) 屬於相對而言交通流量小，10:01 pm 以後時段 (C_m of E_v 22 %) 屬於交通流量大，此地點 LED 看板於量測盪晚的 10 點關閉，此時段量測的 C_m of E_v 並不會受到 LED 看板亮度變化的干擾。遠雄博物館 7:00 pm ~ 8:30 pm 時段的 C_m of E_v 為 24 %，8:31 pm ~ 10:00 pm 時段的 C_m of E_v 為 53 %，10:01 pm 以後時段的 C_m of E_v 為 61 %，因此量測地點與 LED 看板間無道路，因此 C_m of E_v 僅代表 LED 看板內容所造成的變化。依據捷運江子翠站及遠雄博物館 2 個地點的量測結果，未來如要進行驗證交通流量與垂直照度對比關係，需將照度計的測光面的面對方向避開大的面型閃爍光源。

表 10 新北市 6 處地點的光度統計資料

編號	地點	時段(pm)	最大亮度	平均亮度	最小亮度	最大垂直照度	平均垂直照度	最小垂直照度	最大水平照度	平均水平照度	最小水平照度	C_m of E_v	C_m of E_h
			cd/m ²			lx			lx			%	%
1	永和路 2 段 26 號	7:00~8:30	2,049	980.7	0.9	60.8	34.7	12.1	91	67.6	33	67%	47%
		8:31~10:00	2,017	1002.1	0.5	76.7	34.2	16	90.9	67.5	42.5	65%	36%
		10:01~	2,014	965.3	0.4	58.1	29	12.7	89.4	65.3	40.2	64%	38%
2	遠雄博物館	7:00~8:30	234	84.9	0.4	28.3	20.9	17.5	11.4	8.8	6.7	24%	26%
		8:31~10:00	233	79.8	0.4	55.6	20.6	17.2	11.3	8.4	5.8	53%	32%
		10:01~	0.4	0.1	0.1	17.4	5.6	4.2	6.8	3.3	1.9	61%	56%
3	捷運江子翠站 3 號出口	7:00~8:30	2,706	1575	0.3	55.3	37.8	17.6	42.5	37.9	35.2	52%	9%
		8:31~10:00	2,762	1588	0.5	71.3	37.3	17.5	49.4	37.8	33	61%	20%
		10:01~	257	6.3	0.1	31.4	24.4	20.2	36.2	35.2	35.0	22%	2%
4	泰山區楓江路 110 號	7:00~8:30	1,040	947.01	631.7	104	90	61.5	62.2	57.3	49.4	26%	11%
		8:31~10:00	987	946.2	799.8	108	88	54.7	62.9	60.7	54.2	33%	7%
		10:01~	839	819.6	569.6	97.8	86.5	59.5	61.6	60	55.2	24%	5%
5	板橋公車總站縣民大道二段	7:00~8:30	922	338.9	23.8	37.5	20.6	15.8	8.8	6.4	5.7	41%	21%
		8:31~10:00	926	303.3	15.7	32	20.7	15.5	8.2	6.1	5.2	35%	22%
		10:01~	390	38.6	0.2	21.9	17	15	5.9	4.6	4.4	19%	15%
6	板橋區中山路 1 段 118 號	7:00~8:30	2,955	695.8	0.8	45.6	24.7	13.8	82.7	78.1	69.7	54%	9%
		8:31~10:00	2,955	783.1	0.3	48.1	24.8	11.8	82.4	76.8	72.8	61%	6%
		10:01~	2,902	901.4	0.5	43.2	25.1	15.5	78.3	75.3	70.6	47%	5%

(二) 依背景照度之光環境分區建議

綜觀 6 處監測的環境背景照度與 LED 看板亮度的統計結果與觀察實地現場得知，垂直照度會容易受到前方 LED 看板或車輛燈光的影響而產生差異，水平照度則容易受到現場上方路燈或架設儀器地點周遭複雜光環境的干擾，例如泰山區楓江路的水平照度因受到左右方的路燈及 65 號快速道路的路燈影響，因此水平照度值偏高，例如永和路 2 段的水平照度因受到周遭的路燈、廣告招牌及騎樓的燈光影響，水平照度值偏高。故吾人假設以日落晚間 7 點至 10 點左右的最小水平照度和最小垂直照度當作是干擾最少的量測值，

以最小垂直照度而言，該量測值可能發生是因前方 LED 看板播放的黑畫面，或者是前方臨時光源出現最少的時機。相同地，就最小水平照度而言，該量測值可能發生於 LED 看板播放最暗的畫面。

再者，分析一般 10 點過後廣告看板熄燈後的平均垂直照度與平均水平照度，亦可以排除受到 LED 看板亮度的影響。以上資料彙整與分析整理，10 點後 LED 看板熄燈後 LED 看板的平均亮度（由於是周遭其他光源投射的貢獻，稱之為背景亮度）統計如表 11 所示，摘要說明如下：新北市板橋區中山路 1 段的 0.5 cd/m^2 、永和路 2 段的 0.4 cd/m^2 、板橋公車總站的 0.2 cd/m^2 、捷運江子翠的 0.1 cd/m^2 、汐止區遠雄博物館的 0.1 cd/m^2 ，表示 LED 看板亮度的量測不受背景亮度影響。泰山區楓江路的 LED 看板截至量測當晚的 11 點 30 分仍未關閉，因此表 11 中為 10 點以後的 LED 看板亮度最小值，量測地點位於新北市 65 號快速道路旁鄰近客運停車場及加油站，往來車輛相當多。

綜合 103 年至 105 年（今年）的調查，最小垂直照度分布約略可分為高於 25 lx 及低於 25 lx 兩個群組，此關係亦可作為大型都會區的鬧區與大型都會區非鬧區（包含中小型都會區）的分類參考，例如最小垂直照度高於 25 lx 以上的光環境為大型都會鬧區（如板橋區中山路 1 段及泰山區楓江路 110 號），而最小垂直照度低於 25 lx 為大型都會非鬧區或中小型都會區（如永和路 2 段、捷運江子翠站、板橋公車總站及遠雄博物館）。

表 11 新北市環境背景光度量彙整與分析

時間		7:00 pm~ 10:00 pm		10:00 pm 過後		
量測項目地點		最小水平照度 (lx)	最小垂直照度 (lx)	平均水平照度 (lx)	平均垂直照度 (lx)	LED 背景平均亮度 (cd/m^2)
1	永和路二段 26 號	33	12.1	65.3	12.7	0.4
2	遠雄博物館	5.8	17.2	3.3	4.2	0.1
3	捷運江子翠站 3 號出口	33	17.5	35.20	20.20	0.1
4	泰山區楓江路 110 號	49.4	54.7	60	86.5	569.6*
5	板橋公車站旁縣民大道二段	5.2	15.5	4.6	17	0.2
6	板橋區中山路一段 118 號	69.7	11.8	75.3	25.1	0.5

*泰山區楓江路的 LED 看板截至量測當晚的 11 點 30 分仍未關閉，此數值為 10 點以後的亮度最小值。

（三）量測方法探討與研提量測程序草案

依據 103 年度至 105 年度調查不同城市地區環境背景平均亮度或照度資訊，大致已釐清夜間環境背景亮度及照度對光污染源亮度量測結果之影響情形，于茲提出一套量測程序與其對應之量測方法草案，以做為法規訂定的參考依據。

1. 實地量測時，事前規畫與資訊蒐集的注意事項與地點選定原則。
2. 環境背景光度量測之作法與建議。
3. 光源亮度量測方法草案：利用光源亮度作為入夜後光污染管制手法時，主要針對陳情的光源目標進行測量即可，亦可避開環境場景平均亮度量測作業上的複雜與干擾等不確定性的議題。
4. 眼睛位置垂直照度量測方法草案：垂直照度量測方法上，一般以 CIE 150-2003 的建議為主要參考資料。對於侵擾光的光污染量測，因屬於光侵入居家環境時產生的不適感，亦或是非直視光源造成的困擾，CIE 150-2003 技術報告建議使用垂直照度或是光強度來評估。由於光強度量測在實地進行時有其困難度，而且該技術報告並未討論動態光源的影響，也無對應的量測方法。但是以民眾感受立場來思考，必須包括動態光源及靜態光源的干擾，因

此本計畫建議以垂直照度量測的方法，並建立光侵擾光源之光污染量測程序，作為評估此種類型光污染的影響程度。

六、研提光污染管理對策及改善建議

組合燈光源在國內通常屬於廣告用途，主要裝設於檳榔攤業者的營業場所，主要類型為八卦燈、孔雀燈，另外一類為附加於傳統燈箱式廣告的外圍的組合式光源，常見於美髮業與彩券行的營業場所。這類的光源在 LED 類廣告看板中，僅次於 LED 多媒體看板的陳情案件數。分為組合燈等光源管理對策以及組合燈等光源改善建議 2 部分，說明如下：

（一）組合燈等光源管理對策

1. 光源設施管理與行為管制

相關管理作法說明如下：

- A. 事前管理：光源設施類型由主管機關來區分，如廣告招牌可能屬於地方政府建管處，建議未來廣告招牌在設立前，請業者使用可調整亮度之廣告招牌並提供其入夜後播放時最大亮度的評估報告，最大亮度須符合光污染管制標準之晚間及夜間標準。
- B. 事後管理與追蹤：光源設施設立後，可能會有異常之情形而造成光污染，此時可要求業者修復或改善。廣告招牌則以降低亮度來進行改善。

2. 標準管制

依據 104 年的計畫成果，組合燈類光源的陳情案件中，多指出其光源過亮且閃爍，對於光源過亮可以運用 104 年及 105 年的研究成果 LED 組合燈單一封裝亮度建議表來管制組合燈類光源的亮度，但是對於光源閃爍目前並無適合的管制指標，針對此類光源設施的閃爍建議先以行為管制的方式。

3. 行為管制

依據國際法規及指引，依不同類區訂定量測指標之管制值，如此業者可配合又可避免民眾受到光污染，分時管制建議可分為日間、晚間、夜間等 3 個時段管制，特殊情況例如民俗慶典或活動、國家慶典或活動採取申請許可制，由地方行政機關負責審核。

眩光及閃爍為影響民眾的兩個主要因素，其行為管制的建議作法，說明如下：

- A. 文教區或純住宅區：禁止設置動態式廣告物、閃爍式光源及聚光式光源，如探照燈、雷射光等。
- B. 住商混合區：禁止設置類似交通號誌之光源，如禁止檳榔攤使用此類光源，減少用路人的困擾。對於閃爍式光源，必要時並可規範窗戶旁不得裝設閃爍式光源，如此可以規範孔雀燈等類的光源，減少滋擾用路人或住家居民。亦可參考日本針對特定光源訂定開啟與關閉的時間規定，如規定閃爍式光源於晚上 11 點後須關閉光源或禁止閃爍。
- C. 其它特殊場所或時段：基於民俗或國家節慶活動所使用之光源，如舞臺燈光、雷射光及投射式光源及其他光源等，使用前需經主管機關核可後方可運作。

建議的改善措施依優先順序、可行性與技術完備性等分階段目標進行規劃與研擬，分別說明於下。

（二）組合燈等光源改善建議

光源的種類，依據陳情案例來分析，約可分為廣告類光源、非廣告類光源、玻璃或外牆反射及其他等 4 大類。廣告類光源又可分為 LED 看板、LED 字型燈、LED 組合燈（三者歸類於 LED 類廣告）、霓虹燈看板、燈箱式看板、投光燈看板（三者歸類於非 LED 類廣告）。非廣告類光源，約可分為投光燈或路燈、裝飾燈、警示燈等三類。在實際執行面，依據本計畫團隊於臺北市地勘查，發現投光燈類的陳情案件有部分屬於將燈光架設於社區建築物上其燈光投射在社區的周界上屬於保全用途，有部分陳情案實際上為投光燈看板。

針對組合燈光源而言，這類光源目前除關閉燈源外無法降低亮度。但是一般市面上只要使用 LED 組合而成的招牌字型或者圖案的光源，理論上透過調整驅動電流的電子裝置，可以降低 LED 的亮度。未來的光源型態可能更多樣化，因此可要求未來的燈源需具有可調整輝度的能力，進而促進光源廠商的技術升級，提升其產業競爭力。

依據光污染影響的範圍，由近至遠分為居民、生態和天文等三方面，探討光污染改善措施以及其可行性與可實施之技術完備性，分析彙整於表 12 中。摘要說明如下：

表12 光污染改善措施之可行性與技術完備性分析表

影響範圍	主要干擾	管制標準	改善措施	可行性	技術完備性
居民	眩光	最大亮度	降低光源亮度	高	亮度量測方法可實施。 光源廠商可實施改善。
		垂直照度	降低光源亮度，調整光源的投射方向及、或加裝遮光裝置	高	照度量測方法可實施。 光源廠商可實施改善。
		UGR	降低光源亮度	中等	UGR 目前查驗有困難。
	閃爍	最大亮度	降低光源亮度	高/中等	亮度量測方法可實施，但是組合燈類光源的量測亮測方法尚需進一步探討中。 光源廠商可實施改善。
		90 百分位數之頻率強度	改變播放內容形式降低頻率強度或禁止閃爍。	中等	頻率強度量測法可實施，105 年度的實驗結果發現，可以適用於 LED 多媒體看板類的光源，對於其他的光源仍須研析準確性及可查驗性。 光源廠商或內容供應商可實施改善。
		閃爍指數	改變播放內容形式降低頻率強度或禁止閃爍。	中等	閃爍指數量測方法可實施。仍須研析準確性與便利性。 光源廠商或內容供應商可實施改善。
	持續性	平均垂直照度	以分區、分時之行為管制規範之	高	照度量測方法可實施。 光源廠商可實施改善。
生態	色彩鮮豔	最大亮度	降低光源亮度	高	色亮度量測方法可實施。 光源廠商可實施改善。
	動物遷徙	亮度	降低光源亮度或行為管制	高	亮度量測方法可實施。 光源廠商可實施改善。
	動物行為異常	照度	降低光源亮度或行為管制	高	照度量測方法可實施。 光源廠商可實施改善。
	植物生長異常	照度	降低光源亮度或行為管制	高	照度量測方法可實施。 光源廠商可實施改善。
	破壞生物鏈	照度	降低光源亮度或行為管制	高	照度量測方法可實施。 光源廠商可實施改善。
天文	觀星困難	向上光束比	降低光源亮度或改變燈具設計	高	向上光束比量測方法可實施。 光源廠商可實施改善。

對眩光而言，建議的改善方式，包括降低光源亮度、調整光源投射方向、加裝遮光裝置。後 2 者改善方式較適用於投光燈看板及投光燈與路燈等光源。

對於閃爍而言，建議改善措施有三種方式，包括降低光源亮度、改變播放內容形式降低頻率強度或禁止閃爍等，其中最大亮度、90 百分位數之頻率強度和閃爍指數 FI 可作為閃爍的管制標準，此 3 項的量測方法皆可實施，但從現場實施量測的難易度而言，以亮度量測方法較為簡易，以亮度標準配合降低光源亮度的改善措施的可行性較高，今年度對於組合燈類光

源亮度的量測方法，建議採用影像式亮度計量測 LED 單一封裝的亮度，預定明年度（106 年）進行戶外量測的可行性探討。103 年度發展的 90 百分位數之頻率強度和閃爍指數 FI 的管制標準，目前量測結果雖與人眼感受實驗有一致性，今年度（105 年）的室外 LED 看板人眼感受實驗，發現此類看板的 90 百分位數之頻率強度量測結果與人眼感受試驗有一致性，因此預計明後 2 年進一步研析其準確性、便利性及可查驗性。

七、結論

（一）進行民眾對光污染源感受試驗，研析民眾對光污染源感受程度

1. 根據人眼感受試驗結果，提出以 50 % 可接受百分比做為閾值門檻，在眩光部分，眩光可接受閾值為 71,500 cd/m²；在閃爍部分，小於 3.9 Hz 和大於 22.5Hz 為閃爍可接受之頻率閾值區域，換言之，介於 3.9 Hz~22.5 Hz 之頻率範圍應盡量避免。
2. LED 組合燈的亮度建議使用影像式亮度計進行單一封裝亮度的量測。
3. 完成室外 LED 看板實地實驗，雖然 LED 看板所播放影片之頻率強度會隨著不同觀測距離和亮度百分比而有變化，但是 10 公尺、20 公尺、40 公尺所推估的閃爍舒適界線笛波爾分數 5 分的第 90 百分位數閃爍頻率強度落 36.2~37.2 之間，對於室外動態畫面最大閃爍主觀評價所對應之頻率強度似乎不需特別考慮觀測距離和亮度百分比的差異性，建議當 LED 多媒體看板亮度為 1,100~4,299 cd/m²時，應該不需要修正 104 年提出之閃爍頻率強度建議表。
4. LED 看板建議使用影像式亮度計錄影後並經過快速傅立葉轉換(FFT)得出 90 % 閃爍頻率強度來分析其閃爍不適性。
5. 全省 22 個縣市的統計共有 778 件陳情，陳情案件數高於 10 件的有六都、新竹市、嘉義市，如果排除臺北市，其餘的縣市的陳情案件數均低於 100 件。各縣市處理方法，可歸類為現場勘查後發文或直接勸導被陳情人進行改善、轉由光源的主管機關處理、委請村里代表協調改善、說明非該局業務但仍對被情人進行勸導、陳情人已自行處理等。光源種類的分析發現臺灣民眾對於廣告類光源的陳情最多，共有 467 件(60 %)。不舒適的訴求的分析發現瞭解光源過亮及閃爍是造成民眾不舒適的 2 大因素。光污染可能造成的危害或干擾對象分析後發現，光污染干擾多數民眾住家甚至影響睡眠，光污染可能影響行車安全造成用路人的干擾。
6. 臺北市 102 年至 104 年的光污染陳情案件數共有 530 件，其中 5 件為陳情全臺北市的 LED 類光源（LED 看板 3 件、LED 招牌字 1 件、LED 組合燈 1 件），12 個行政區的陳情案件總數為 525 件，其中以廣告類 303 件最多（LED 類廣告為 228 件，非 LED 類廣告為 85 件），其他類光源為 186 件，玻璃或外牆反射類為 26 件。依據行政區進行分析，12 各行政區平均的陳情案件為 43.8 件，陳情案件高於平均陳情案件數的行政區依序是大安區 95 件、中山區 68 件、信義區 46 件，建議列為優先改善的行政區。

（二）調查及實地驗證廣告招牌室外量測方法，研提廣告招牌室外量測程序

1. 新北市 6 處地點 LED 看板 3 個時段的亮度與照度監測，建議使用亮度統計機率的大小來評估 LED 看板對附近環境的光污染影響。舉例而言，永和路 2 段的 LED 看板，位於十字路口，其 LED 看板的最大亮度 2,049 cd/m²相當高，由亮度統計資料發現亮度高於 1,000 cd/m²（CIE 城市區建議值）的機率相當高 58 %，因此由亮度統計機率的因素來判斷，此 LED 看板對附近環境的光污染影響相當大，由於其設置地點位於十字路口，因此可能會造成用路人較大的影響。
2. 廣告招牌室外亮度及垂直照度量測，亮度的量測，可分為單點式亮度計及影像式亮度計，目前單點式的亮度計方便攜帶並且較適合進行亮度監測，以往影像式的亮度計體積大重量重不方便攜帶，但是已有廠商開發可攜式的影像式亮度計，是否適用於光污染的稽查則仍需要進行相關的驗證。照度的量測，一般建議使用 AA 級（精確度在 +/- 4 % 以內）的照度計，使用前需經過光污染實地稽查的相關驗證。

（三）研析光污染管制國際規範及我國現況，研提組合燈光源管理對策及改善建議

1. 對眩光而言，建議的改善方式，包括降低光源亮度、調整光源投射方向、加裝遮光裝置，後 2 者改善方式較適用於投光燈看板及投光燈與路燈等光源。
2. 對於閃爍而言，建議改善措施有三種方式，包括降低光源亮度、改變播放內容形式降低頻率強度或禁止閃爍等。

八、建議事項

- (一) 今年度對於組合燈類光源亮度的量測方法，經過實驗室內比較單點式亮度計及影像式亮度計的量測結果，影像式亮度計也可適合於戶外量測，因此建議採用影像式亮度計量測 LED 單一封裝的亮度，建議未來進行戶外量測的可行性探討。
- (二) 今年度（105 年）的室外 LED 看板人眼感受實驗，發現此類看板的 90 百分位數之頻率強度量測結果與人眼感受試驗有一致性，未來如果要應用於環保稽查建議仍需進一步研析其準確性、便利性及可查驗性。

環境保護和產業發展一直是國家永續經營發展的重要核心價值，期待此計畫的成果可協助國內相關產業提昇 LED 看板產品功能的適切度，並兼具節能減碳及節省運作成本；計畫中所研提之量測方法草案、光污染改善措施建議與其可行性研討，可提供政府部門制訂相關管制規範時參考，及協助國內相關產業或研究單位參與國際標準制定的工作。

參考文獻

- [1] Illuminating Engineering Society (IES) Joint International Dark-Sky Association (IDA). IES Model Lighting Ordinance with User's Guide. New York: IESNA, June 15 (2011).
- [2] CNS 15015 C4500，戶外景觀照明燈具（民 95.07.10 公佈）。
- [3] 鄭森皓、彭保仁，「新興物理性公害之調查及研究」，中華民國行政院環境保護署 EPA-100-U1F1-02-106 計畫期末報告（民 100）。
- [4] CIE 150-2003 “Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations.” (2003).
- [5] 鄭森皓、彭保仁、溫照華、賴鵬宇、陳怡君、謝品萱，「新興物理性公害之調查及研究」，中華民國行政院環境保護署 EPA-101-U1F1-02-106 計畫期末報告（民 101）。
- [6] 鄭森皓、彭保仁、溫照華、陳怡君、徐紹維、鍾宗穎、廖淑君，「光污染防治策略規劃及建置」，中華民國行政院環境保護署 EPA-101-F105-02-207 計畫期末報告（民 101）。
- [7] 鄭森皓、彭保仁、溫照華、陳建宇、徐紹維、鍾宗穎、洪紹棠，「光污染防治專案工作計畫」，中華民國行政院環境保護署 EPA-102-U1F1-02-106 計畫期末報告（民 102）。
- [8] 鄭森皓、彭保仁、溫照華、徐紹維、黃育信、王韻婷，「光污染影響及民眾感受認知研究」，中華民國行政院環境保護署 EPA-102-F105-02-207 計畫期末報告（民 102）。
- [9] 鄭森皓、彭保仁、溫照華 2014。「光污染影響及民眾感受認知研究」，中華民國行政院環境保護署 EPA-103-U1F1-02-106（民 103）。
- [10] 彭保仁、溫照華、徐紹維、洪紹棠、李宗憲、林雅俐、袁惟文 2015「光污染感受調查及量測指標與改善措施研究」，中華民國行政院環境保護署 EPA-104-U1F1-02-106（民 104）。
- [11] 彭保仁、溫照華、何展劼、李宗憲、林雅俐、徐紹維、洪紹棠 2016「光污染影響之感受調查及量測指標與改善措施研究」，中華民國行政院環境保護署 EPA-105-U1F1-02-A204（民 105）。
- [12] 南韓人工照明造成的光污染防治法，2016/1/27 修訂版
<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=122674&efYd=20130202#0000>，於 2016 年 6 月登入。
- [13] 香港環保局新聞公報”《戶外燈光約章》今日啟動”，
<http://www.info.gov.hk/gia/general/201601/11/P201601110420.htm>，於 2016 年 6 月登入。
- [14] 澳門”環境保護規劃(2010-2020)近期實施及成效評估(2012)”
[http://www.dspa.gov.mo/EnvPlanningBook/up_files/%E6%BE%B3%E9%96%80%E7%92%B0%E5%A2%83%E4%BF%9D%E8%AD%B7%E8%A6%8F%E5%8A%83\(2010-2020\)%E8%BF%91%E6%9C%9F%E5%AF%A6%E6%96%BD%E5%8F%8A%E6%88%90%E6%95%88%E8%A9%95%E4%BCE%B0%E7%B9%81%E9%AB%94%E7%89%88.pdf](http://www.dspa.gov.mo/EnvPlanningBook/up_files/%E6%BE%B3%E9%96%80%E7%92%B0%E5%A2%83%E4%BF%9D%E8%AD%B7%E8%A6%8F%E5%8A%83(2010-2020)%E8%BF%91%E6%9C%9F%E5%AF%A6%E6%96%BD%E5%8F%8A%E6%88%90%E6%95%88%E8%A9%95%E4%BCE%B0%E7%B9%81%E9%AB%94%E7%89%88.pdf)，於 2016 年 6 月登入。
- [15] 澳門”廣告招牌、建築物裝飾燈和戶外電子顯示屏光污染控制指引”，2011 年版，
<http://www.dspa.gov.mo/pdf/guide6-tc.pdf>，於 2016 年 6 月登入。
- [16] 澳門日報”招牌光污染嚴重促檢討審批”2014/2/13，
http://www.macaodaily.com/html/2014-02/13/content_878441.htm，於 2016 年 6 月登入。

非游離輻射長期監測設備校驗技術研究

饒瑞榮¹ 蕭振龍²

¹工業技術研究院

²千一科技股份有限公司

摘要

近十幾年來，隨著生活品質的提昇以及對環保意識的抬頭，民眾對於生活周遭的電力供應設施與無線通訊系統所產生的電磁波是否會對人體有不良的影響，一直是廣受關注的議題。早年的高壓電塔及電力變電設施向來是民眾特別關注的特殊環境設施。隨著民生用電需求的不斷增加以及新市鎮的開發，相關電力設施的建置依舊不可或缺。另一方面，行動通訊的迅速發展也為一般民眾的聯繫與溝通上帶來相當大的便利，大大改變了民眾的生活習性，成為民眾日常生活不可或缺的工具。雖然大部分民眾由這些科技得到生活上的便利，但同時也因為各類電力設施與行動電話基地臺林立於生活周遭，而擔憂這些設施所產生的電磁波輻射是否會影響到人體。為改善此一問題，環保署乃規劃進行非游離輻射長期監測站的建置，期望透過監測資訊的透明與公開，來降低民眾對相關設施的輻射疑慮。

為能確保長期監測數據的準確性與可靠度，本研究針對執行射頻非游離輻射長期監測的設備進行校驗方法的研究與研擬，同時提出監測系統建置的相關配套措施。研究成果除可引以作為環保署對環保相關單位所使用射頻非游離輻射量測設備定期校驗的執行依據與允收參考外，對於後續非游離輻射長期監測系統的建置與相關工作的落實，亦可作為作業規範擬訂的參考依據。

關鍵詞：非游離輻射、極低頻、射頻、電磁波

一、前言及研究目的

近十幾年來，隨著生活品質的提昇以及對環保意識的抬頭，民眾對於生活周遭的電力供應設施與無線通訊系統所產生的電磁波是否會對人體有不良的影響，一直是廣受關注的議題。早年的高壓電塔及電力變電設施向來是民眾特別關注的特殊環境設施。隨著民生用電需求的不斷增加以及新市鎮的開發，這些電力設施的建置依舊不可或缺。另一方面，行動通訊的迅速發展，也為一般民眾的聯繫與溝通上帶來相當大的便利，大大改變了民眾的生活習性，成為民眾日常生活中不可缺少的工具。雖然大部分民眾由這些科技得到各項應用所帶來的好處，但同時也因為各類電力設施與行動電話基地臺林立於生活周遭，而擔憂這些設施所產生的電磁波輻射是否會影響到人體。

對於環境電磁波輻射的量測與監測，環保署除了引用國際非游離輻射防護委員會 ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) 規範[1]而訂定的「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」[2]作為國內電磁場曝露量的安全規範外，也依實際的量測技術與需求，分別於民國 92 年、102 年、及 104 年制定、修訂了「環境中極低頻電場與磁場檢測方法(NIEA P202.92C)」[3]作為電力設施所產生極低頻磁場的量測作業規範，以及「環境中射頻電磁波檢測方法(NIEA P203.91B)」[4]，做為國內廣播電臺與基地臺等射頻輻射設施所產生電磁波的量測參考依據。自 92 年公告上述檢測方法至今，已陸續完成超過數千座基地臺的量測工作，所量測的數據也都公佈於環保署的網站上，民眾可以很方便地查詢量測的結果。這些施政措施對於解決基地臺紛爭與降低民眾的疑慮提供了相當大的幫助。但這些量測工作主要是在固定發射源（高壓電線、基地臺或廣播電臺）附近，針對該電磁輻射源所產生的電磁場，於特定的平均時間（如 6 分鐘）內進行電磁場的量測，並以該時段內的量測值，代表量測結果。然而，環境中的電磁場有多種來源，電磁場強度也會隨著時間而變化，因此短時間的量測結果並不能代表實際民眾日常所接受的電磁場曝露量。針對這項問題，部分先進國家乃在其國內建構電磁波長期監測網，隨時監測其國內環境的電磁波強度，以進一步確保其國民的安全，同時也將監測結果公開在網站上，提供人民一個透明的資訊，可以大大降低該國民對電磁波安全的疑慮。在臺灣，由於地狹人稠，為能提供民眾便利的用電與通訊環境，導致變電站與基地臺林立。且現今無線通訊已成為絕大多數國人的生活必需品，使用頻率極高。因此國內電磁波環境的複雜度，相較於大多數先進國家實有過之而無不及。因此，對於電磁波長期監測網的建置誠屬必要。有鑑於此，環保署於民國 100 年即逐步開始展開電磁波長期監測作業與監測網建置的相關先期研究，積極了解國際有關

環境電磁場長期監測的技術，並於民國 102、103 年在北、中、南等多個都會區進行多項極低頻與射頻電磁場的長期監測實驗，同時搭配所蒐集之國際相關研究資料與實施辦法，於民國 103 至 104 年著手擬訂我國環境非游離輻射長期監測設備規格、監測辦法與監測網的建構方向，以作為後續進行國內非游離輻射長期監測網建置的參考。目的在能以更客觀、即時的將環境非游離輻射電磁波的實際資訊提供給一般大眾，讓民眾可隨時瞭解生活週遭相關設施附近非游離輻射的長期變化，降低民眾的疑慮。期望透過監測資訊的透明與公開，一方面使各類電力建設及廣播通訊業者以合法、適當的設施提供各項服務，一方面降低民眾對相關設施的輻射疑慮，安心的享用各種科技為日常生活所帶來的便利性。

為能完善非游離輻射長期監測網的建置，同時確保監測數據的準確性與可靠度，本研究除針對環保署 104 年科技計畫「電磁波發射源之特性與長期量測技術研究」[5]中所提出的射頻非游離輻射長期監測設備進行校驗方法的研究與研擬外，同時規劃監測系統建置的相關配套措施，以完備長期監測建置的相關作業辦法。

二、研究方法

本研究目標在於進行射頻非游離輻射長期監測設備校驗方法的研究與作業程序研擬，同時規劃監測系統建置的相關配套措施。主要研究內容包括：

（一）彙整研析射頻非游離輻射長期監測設備校驗方法相關資料，並研擬適用我國長期監測設備校驗方法

研究過程中蒐集並研析了國際有關射頻非游離輻射量測設備特性與校正之相關技術與研究資料，並予以分析。包括由歐美電磁場量測儀器大廠 Narda 及 EMCO 等公司所發表的技術論文與資料、由英國國家標準實驗室（國家物理研究院）所發表的電磁波量測指引、以及由歐美相關標準組織與聯盟 IEC（國際電工委員會，International Electro-technical Commission）、IEEE（美國電機電子工程師學會，Institute of Electrical and Electronics Engineers）及 ITU（國際通信聯盟，International Telecommunication Union）所制訂之量測標準規範[6-11]。內容涵蓋對各種不同量測應用場域的電磁場強度量測設備所提出之相關校正技術、不同場強度校正設備的研究、經相關國家標準實驗室或國際領導廠商驗證之校正方法，以及國際相關機構所擬訂的設備參數規格要求、校驗規範等。由此彙整分析國際上所採用射頻非游離輻射長期監測設備之關鍵參數與規格，同時考量國內實際狀況，研擬出適用於我國射頻非游離輻射長期監測設備之校驗方法。

依據 104 年研究計畫[5]所提出射頻非游離輻射長期監測所使用全向性電磁波監測系統應具備之功能與規格如表 1 所示，其中即明訂長期監測設備須定期進行校正。

表 1 射頻非游離輻射長期監測設備應具備規格

項 目	應具備規格
1 量測頻段	為能涵蓋國內各類廣播及無線通訊應用頻段，量測頻率範圍至少須涵蓋 526.5 kHz 至 5.8 GHz，其頻率響應平坦度應不超過 ± 3 dB。
2 場強量測範圍	應至少涵蓋 0.5 V/m 至 87 V/m；顯示單位包括 V/m、mW/cm ² 或 W/m ² 。
3 感測天線 方向特性	需具備三軸全向性的電磁場感測頭，其方向均勻性應不超過 3.5 dB。
4 量測模式	應具備均方根值(RMS)與最大值量測模式，並可設定量測值平均時間，量測值平均時間至少須包含 6 分鐘平均值之設定。
5 數據量測與儲存	具備自動定時持續量取電磁場值，並自動儲存量測值之功能。
6 量測數據傳輸	應具備量測資料有線手動下載及自動無線傳輸的功能。 自動無線傳輸功能應可自動定時傳送量測數據封包至伺服器端，供後端軟體進行數據處理、運算與資料呈現。
7 電力需求	須以自主供電為主，並同時具備市電供電功能。自主供電時，其電量應能滿足至少一個長期連續監測週期持續量測所需。若以太陽能板集電裝置搭配蓄電池供電，應確保其太陽能板之保固及保修年限。以市電供電時，若遇斷電，應立即轉由自主供電系統維持運作，並應可於斷電復電時自動重新啟動。
8 操作環境與 防護功能	須至少能在攝氏 -10 度至 40 度 環境溫度中正常運作。防護等級應至少符合 IP54 等級。
9 警示功能	設備有異常現象時，應能自動透過無線傳輸傳送警告訊息，例如量測值超出限制、記憶體已滿、斷電、電力不足、或探頭異常等。
10 設備品保	量測設備須具備經相關國際認證組織認可之實驗室所出具可追溯至國家計量標準之校正報告，並應定期校正。

研析國際各相關標準規範與技術資料對於射頻非游離輻射量測設備所列舉的相關參數，可綜整出射頻非游離輻射量測設備應校正之關鍵參數項目。至於對各個參數的規格要求，則可參考 ITU 規範[11]中所建議的相關規格。依此綜整射頻非游離輻射長期監測設備的關鍵參數與規格如表 2 所示。

表 2 射頻非游離輻射長期監測設備之關鍵參數與規格

參 數	提出之標準機構	ITU-T K.83 建議規格
1 頻率響應	ITU、NPL、NIST、IEC、IEEE	頻率響應平坦度應不超過 ± 3 dB。
2 場強量測動態範圍	ITU、NIST、IEC、IEEE	量測範圍應滿足量測所需，且可涵蓋相關的曝露指引值。
3 感測天線全向性	ITU、IEEE	電磁場感測頭的方向均勻性應不超過 3.5 dB。

由表 2 所示參數與規格，再與表 1 所列我國對相關長期監測設備所應具備的規格相融合，可歸納出適用於我國對射頻非游離輻射長期監測設備所應定期校驗的關鍵參數，主要包括：頻率響應、場強量測動態範圍、以及感測天線的全向性等三項參數。而各參數應符合的規格除可參考國際相關規範要求外，同時也須符合國內射頻非游離輻射的應用面與環境安全的要求現況。說明如下：

- (1) 頻率響應(Frequency response): 對於一個寬頻的電磁場感測頭，其感測元件對同一電磁場強度、但不同頻率電磁波信號的輸出訊號振幅變化，即為其頻率響應。通常是以量測其不同頻率的校正因子，得出其涵蓋該等頻率範圍的頻率響應。對於電磁場強度計頻率響應的量測，可視受校電磁場強度計實際的應用場域決定量測的頻率範圍。例如，若該電磁場強度計主要是用以檢測微波爐的電磁波洩漏量，只要針對微波爐的工作頻率(2.45 GHz)進行校正量測即可。若該電磁場強度計是用於電磁相容測試之用，則須依相關的電磁相容測試規範對不同頻率範圍的電磁場進行校正。對於量測環境非游離輻射電磁場的電磁場強度計，其校正頻率範圍應涵蓋環境中主要的電磁輻射信號。以國內而言，至少應能涵蓋各類廣播及無線通訊應用頻段，即 526.5 kHz 至

5.8 GHz，因此，建議校正頻率點應至少包含 500 kHz、100 MHz、900 MHz、1.8 GHz、2.4 GHz、5.8 GHz 等 6 個頻率點，以分別涵蓋我國現有射頻電磁波於 AM/FM 廣播、行動通訊與無線網路之應用頻段。至於執行校正的電磁場強度值，依據環保署 103 年科技計畫「非屬原子能游離輻射檢測技術暨室內外長期環境監測之研究」[12]於國內臺北、臺中及高雄等三個都會區、共六個位置的長期監測結果，所測得的環境電磁場強度最大值均在 1 V/m 至 10 V/m 範圍內，因此建議以 10 V/m 為校正場強值。至於規格的訂定，則建議依 ITU-T K.83 規範，其頻率響應平坦度應不超過 ± 3 dB。

- (2) 動態範圍(Dynamic range)：即為電磁場強度計在特定頻率範圍內所能感測到最大與最小的電磁場強度範圍。對於電磁場強度計動態範圍的量測，可視受校電磁場強度計實際的應用情形決定量測的場強位準範圍。例如，若該電磁場強度計主要是用以檢測微波爐的電磁波洩漏量，則只要針對微波爐電磁波洩漏的標準規範值位準進行校正即可。若該電磁場強度計是用於電磁相容測試之用，則須依相關的電磁相容測試標準針對不同位準進行校正，部分標準（例如 IEC 標準）同時也會要求電磁場強度計在其動態範圍內的線性度表現。對於量測環境電磁輻射場的電磁場強度計，其電場校正範圍應涵蓋相關規範所訂定的曝露指引值。以國內而言，至少應能涵蓋行政院環境保護署公告「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」[2]所訂定之最大電場強度值(87 V/m)，以及表 1 所要求的最低 0.5 V/m 的強度值。此外，針對可能較常測得的環境電磁場範圍（10 V/m 以下）以及該範圍至最大規範建議值 87 V/m（取 90 V/m 整數）間也應於適當場值進行校驗，因此建議校正場強值至少應包含 0.5 V/m、5 V/m、10 V/m、20 V/m、40 V/m、90 V/m 等 6 個場強度，校正頻率則訂於 100 MHz。
- (3) 全向性(Isotropy)：為一個電磁場感測頭對同樣電磁場強度，但不同極化、不同入射方向電磁波的反應差異程度。對於一個全向性佳的電磁場強感測頭，其反應應不易受到電磁波的極化或入射方向所影響。依 IEEE 1309 建議，在執行此項特性量測時，需讓受測的電磁場感測頭在一個穩定的電磁場中作 360 度的旋轉，並記錄旋轉過程中所觀察到的最大電磁場值與最小電磁場值，再以相關公式計算其異向性(Anisotropy)。在執行此項特性校驗時，建議與前兩項參數的設定一致，於 100 MHz 頻率點、10 V/m 場強度的條件下，進行 360 度的全向性量測。依 ITU-T K.83 建議，一個全向性電磁場感測頭的方向均勻性應不超過 3.5 dB。

由以上各項資訊，歸納擬訂我國對射頻非游離輻射長期監測設備所應定期校正的關鍵參數與規格如表 3 所示。

表 3 射頻非游離輻射長期監測設備之關鍵參數與規格

	參 數	校正點與規格	說明
1	頻率 響應	- 校正頻率點：至少包含 500 kHz、100 MHz、900 MHz、1.8 GHz、2.4 GHz、5.8 GHz 等 6 個頻率點，校正場強為 10 V/m。 - 頻率響應平坦度：不超過 ± 3 dB。	符合我國射頻電磁波於 AM/FM 廣播、行動通訊與無線網路之應用頻段，以及 ITU-T K.83 之建議規格。
2	場強量測 動態範圍	校正場強點：至少包含 0.5 V/m、5 V/m、10 V/m、20 V/m、40 V/m、90 V/m 等 6 個場強度，校正頻率為 100 MHz。	符合我國環保署「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」安全規範之場強範圍。
3	感測 天線 全向性	- 於 100 MHz 頻率點、10 V/m 場強度的條件下，進行 360 度的全向性量測。 - 方向均勻性不超過 3.5 dB。	符合 ITU-T K.83 建議規格。

執行校正的方法則是分別以橫電磁波室電磁場強度校正法及電波暗室電磁場強度校正法進行較低頻段(500 kHz、100 MHz)與較高頻段(900 MHz、1.8 GHz、2.4 GHz、5.8 GHz)的校正工作，以涵蓋 500 kHz 至 5.8 GHz 的頻率範圍，提供對頻率響應、場強量測動態範圍、以及感測天線全向性等參數的校正，如表 4 所示。

表 4 校正範圍與參數

校正法	校正範圍	校正參數	校正方式
橫電磁波室 電磁場強度 校正法	頻 率：500 kHz 至 100 MHz 電場強度：0.5 V/m 至 90 V/m	頻率響應、場強範圍、 全向性	利用經追溯校正之電磁場 強計標準件以比較校正方 式執行校正作業。
電波暗室電 磁場強度校 正法	頻 率：900 MHz 至 5800 MHz 電場強度：10 V/m	頻率響應	

橫電磁波室電磁場強度校正法是利用橫電磁波室來產生一均勻的平面波電磁場，並以具追溯性的電磁場強標準件來定出此電磁場的位準，以比較式的方式校正待校的電磁場強度量測設備。其系統架構圖如圖 1 所示。

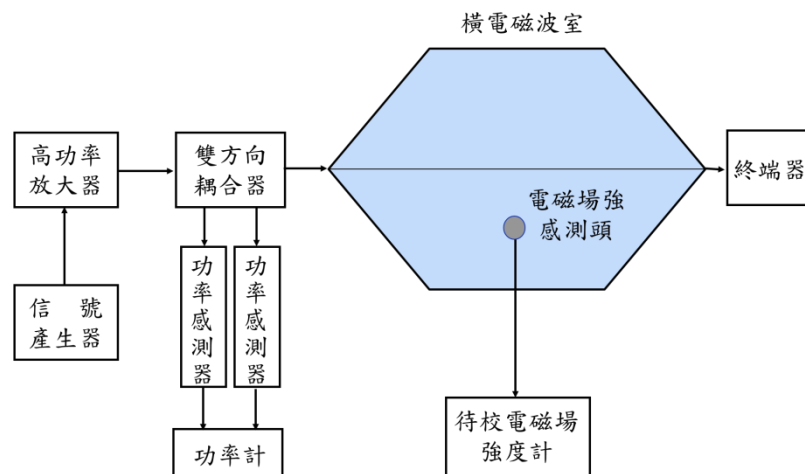


圖 1 橫電磁波室場強度量測系統架構圖

電波暗室電磁場強度校正法則是以發射天線在電波暗室內產生一均勻的平面波電磁場，同樣以具追溯性的電磁場強標準件來定出此電磁場的位準，用比較式的方式校正待校的電磁場強度量測設備。其系統架構圖如圖 2 所示。

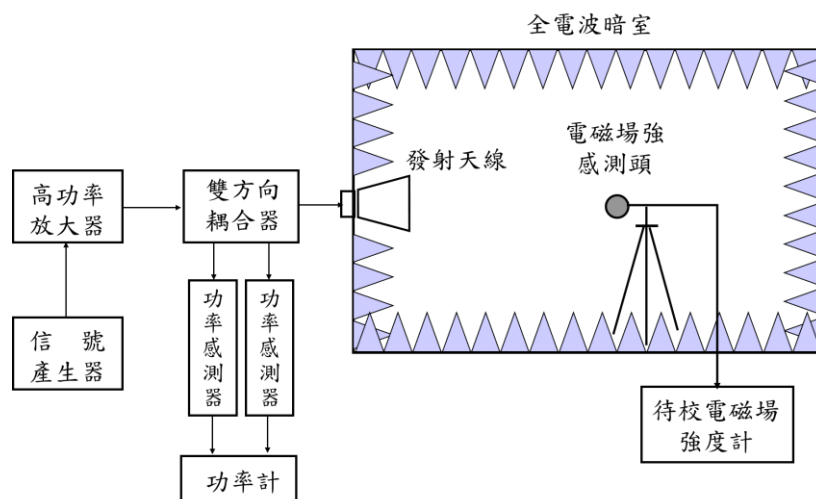


圖 2 電波暗室場強度量測系統架構圖

（二）因應射頻非游離輻射長期監測規劃，建置相關配套措施

「非屬原子能游離輻射長期監測網」之建置，可對環境非游離輻射長期監測系統進行資料整合並提供資訊公開平臺，它將架設於各地之監測設備測得之監測資料，經由資料介接及處理，結合地理資訊及統計分析，最後提供給一般民眾進行瀏覽與查詢。

本研究以環保署 103 年「非屬原子能游離輻射檢測技術暨室內外長期環境監測之研究」[12] 的 6 站次示範性長期監測工作及所蒐集數據，爰以開發資料介接及處理功能，亦即長期監測網中之監測系統控制軟體，包含「接收監測資料」、「監測資料格式轉換」與「監測資料儲存」功能。此外也同時整合地理位置資訊進行統計相關處理及變化趨勢分析，亦即長期監測網中之監測資料分析軟體，包含「監測資料分析」、「監測結果表與圖形處理」與「監測結果網站顯示」功能。整體架構如圖 3 所示。

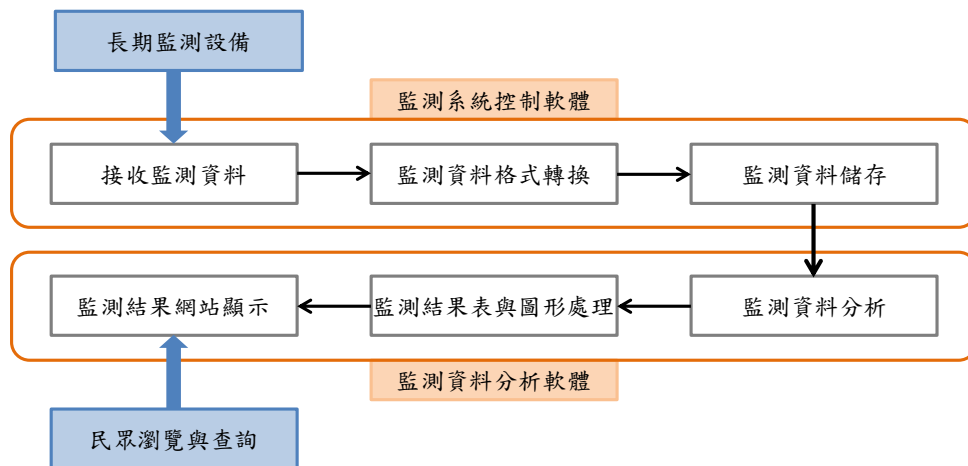


圖 3 非屬原子能游離長期監測網架構圖

對於長期監測數據資料的介接作業，本研究規劃設置單一主機專作為 FTP Server，該主機設置有 GSM 通訊模組與可通訊之 SIM 卡，長期監測設備將監測數值撥號回傳至此主機，進行資料回傳下載作業。同時規劃設置另一主機作為長期監測資料庫(data base)之用，於此主機放置開發之排程程式，以內部網路與 FTP server 連接，透過排程程式定期至 FTP server 擷取回傳資料並寫入資料庫。此外，已開發完成之長期監測網站亦架設於本主機上。上述二臺主機擬建議架設於環保署機房內，以便利監測資料管理及保護。所研擬規劃之長期監測網作業流程如圖 4 所示。

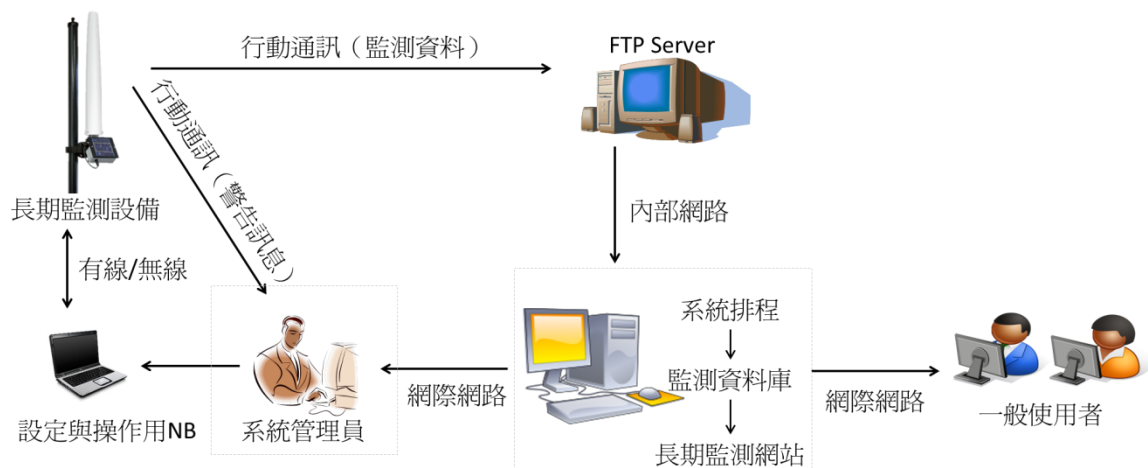


圖 4 非游離輻射長期監測網作業流程

由於目前尚未有長期監測設備在線上運行，為確認本研究開發之排程程式可正常執行作業，進而提供已開發完成之長期監測網站之線上測站所需之監測資料，測試網站各項功能能否正常運行，因此研究中乃以 103 年示範性量測所得資料為基礎，透過亂數的增減來產生並模擬線上測站所測得並回傳之監測資料，進而達到模擬線上測站運行之效果。本研究開發之排程

程式於 2016 年 11 月 21 日凌晨開始運行，圖 5 所示為於 11 月 21 日至 11 月 26 日期間由線上查詢所模擬長期監測站設備測得之監測數據變化趨勢圖，確認了程式的功能。



圖 5 線上模擬測站之監測數據變化趨勢圖

三、結果與討論

根據以上所述，經由本研究的執行，完成了下列各項成果，包括：

- (一) 在彙整研析射頻非游離輻射長期監測設備校驗方法相關資料，以及研擬適用我國長期監測設備校驗方法方面，蒐集了近年國際間有關射頻非游離輻射量測設備特性與校正之相關技術與研究資料約 20 篇，並針對其中 5 篇相關性較高的資料完成摘譯與彙整研析。彙整重點包括射頻非游離輻射長期監測設備主要的關鍵參數與規格，以及其校驗方法。經分析比較與評估後，訂出射頻長期監測設備的關鍵參數項目以及其應符合的規格。此外，也由所蒐集國際射頻量測設備校正相關資料分析歸納適用於我國擬採用射頻輻射監測設備之校驗方法，並完成校驗方法與作業程序之研擬。
- (二) 在因應射頻非游離輻射長期監測規劃，並建置相關配套措施方面，沿環保署 103 年「非屬原子能游離輻射檢測技術暨室內外長期環境監測之研究」執行 6 站次示範性長期監測資料，研析資料回傳方式及資料型態，以完成資料介接與處理之排程開發，並結合地理資訊系統及統計分析功能，建置完成「非屬原子能游離輻射長期監測網」。

四、結論與建議

在本研究中，依據原定目標完成了各項工作的進行，包括：

在長期監測設備校驗方法的擬訂上，蒐集並分析了國際間有關射頻非游離輻射量測設備特性與校正之相關技術與研究資料，其中包括由英國與美國等國家標準研究院所研發提出的校正技術，也包括了國際標準組織如 IEC 國際電工委員會、IEEE 美國電機電子工程師學會等權威機構所制定的相關標準規範，同時在實務面上也納入了目前國際最具規模的電磁波長期監測儀器製造廠商對其所生產電磁波長期監測設備的校正報告。彙整重點包括射頻非游離輻射長期監測設備主要的關鍵參數、規格、以及其校驗方法。經分析評估後，除訂出射頻長期監測設備的關鍵參數項目以及其應符合的規格外，也由所蒐集國際射頻量測設備校正相關資料分析歸納適用於我國擬採用射頻輻射監測設備之校驗方法，並完成校驗方法與作業程序之研擬。

在射頻非游離輻射長期監測相關配套措施的建置上，沿環保署 103 年「非屬原子能游離輻射檢測技術暨室內外長期環境監測之研究」執行 6 站次示範性長期監測採用之 Narda AMB-8057 及其所蒐集

之數據資料，經由原廠文件之研析與諮詢，確立資料回傳方式及資料型態，開發排程程式，完成資料介接與處理，再透過亂數的增減產生所要回傳之監測資料，模擬線上測站運行之效果，並結合地理資訊系統及統計分析功能，建置完成「非屬原子能游離輻射長期監測網」，將監測設備測得之監測資料，進行資料整合並提供資訊查詢平臺。

本研究所完成之上述成果，後續可以作為國內建置長期監測系統及相關作業規範的參考與依據。對於後續對非游離輻射長期監測工作的落實，建議可以朝下列方向規劃執行：

1. 在相關校驗方法的完備上，倘若除了射頻非游離輻射電磁波外，未來也可能將極低頻磁場納入長期監測的範疇，則應接續另行針對極低頻磁場長期監測設備的校驗，擬訂相關的參數規格與校驗方法。
2. 應運用適當的資源，採購至少一套適用的長期監測設備，並參考近年本計畫團隊所綜整研擬之方案，於國內適當地點進行長期監測作業的試行，並蒐集相關的量測數據，以評估於國內進行電磁波長期監測作業的可行性
3. 為落實國內電磁波長期監測作業與機制，宜進一步規劃電磁波長期監測網之建置方案，朝向非游離輻射長期監測數據蒐集與環境電磁輻射資訊公開、透明化的目標邁進。
4. 讓非游離輻射長期監測作業普遍化、常態化，除可隨時提供民眾查詢各監測地點的非游離輻射資訊外，所蒐集數據並可適當提供給學術單位或研究機構，做為相關環境研究或新世代通訊技術發展對環境影響之參考。

參考文獻

- [1] *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic fields (up to 300 GHz)*, ICNIRP, 1998.
- [2] 限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引，行政院環境保護署，中華民國 101 年 11 月 30 日環署空字第 1010108068 號令。
- [3] NIEA P203.91B 環境中射頻電磁波檢測方法，行政院環境保護署，中華民國 102 年 10 月 29 日環署檢字第 1020093105 號公告。
- [4] NIEA P202.92C 環境中極低頻電場與磁場檢測方法，行政院環境保護署，中華民國 104 年 7 月 8 日環署檢字第 1040054408 號公告。
- [5] 電磁波發射源之特性與長期量測技術研究計畫期末報告，行政院環境保護署，計畫編號 EPA-104-U1F1-02-105，104 年 12 月。
- [6] K. Matloubi, "A method for calibration of isotropic E-field probes," *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, New Jersey, USA, Aug. 12-16, 1991.
- [7] Philip Merewood, *A guide to power flux density and field strength measurement*, Institute of Measurement and Control / NPL, UK, 2004.
- [8] IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – part 4-3: testing and measurement techniques – radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*, Edition 3.2, 2010.
- [9] IEEE Std. 1309, *Standard for calibration of electromagnetic field sensors and probes (excluding antennas) from 9 kHz to 40 GHz, Electromagnetic Field Immunity Test*, 2013.
- [10] F. Calcagno, *Certificate of calibration of electric field probe*, Narda Safety Test Solution, Oct. 2013.
- [11] *Monitoring of electromagnetic field levels*, ITU-T K.83, 2011.
- [12] 非屬原子能游離輻射檢測技術暨室內外長期環境監測之研究計畫期末報告，行政院環境保護署，計畫編號 EPA-103-U1F1-02-105，103 年 12 月。

航空噪音防制區低頻噪音指標與量測技術研究

劉嘉俊 李岳謙

環境永續工程顧問有限公司

摘要

現行「機場周圍地區航空噪音防制辦法(98.06.08.修正)」第4條：航空噪音防制區分為三級，噴射飛機、螺旋槳飛機與直昇機之航空噪音日夜音量(Day-Night Level, DNL)的差值為8分貝。本計畫針對國內引進新式之“阿帕契直昇機 AH-64E 型”及“黑鷹直昇機 UH-60M 型”進行噪音測量，新型機種之測量結果：A 加權與 C 加權的「全頻音量」平均相差 6.0 分貝~7.3 分貝，與現行差值為 8 分貝並未差距太多。而直昇機因具有較顯著之「低頻噪音」特性，故須採用不同之加權或進行噪音量的修正才能符合現行法規及監測設備之局限，亦才能更符合人及機場周圍附近居民對低頻噪音的感受。爰此，透過 A 加權及 C 加權之全頻 20 Hz~20k Hz 的音量差異，以現行法規之全頻 A 加權方式將直昇機之低頻特性呈現出來。考量多方面因素，如：地方環保局要求、地方發展需要、實際符合民意及減低執行困難等之意見，故就航空噪音防制區劃定檢討及噪音量檢討修正，初步建議仍維持噴射飛機、螺旋槳飛機與直昇機之航空噪音日夜音量(Day-Night Level, DNL)的差值為 8 分貝。

關鍵詞：阿帕契直昇機、黑鷹直昇機、A 加權、C 加權、全頻音量、低頻噪音

一、前言及研究目的

現行噪音法規之音量的聽感修正回路或稱頻率加權(Frequency-weighting)係以 A 加權為表示方式。而 A 加權在低頻噪音值之修正量較大，故針對直昇機（低頻）噪音須進行噪音量的修正，才能更符合民眾對直昇機（低頻）噪音的實際感受。行政院環境保護署 96 年度「航空噪音管制」專案工作計畫，曾執行陸軍 AH-1W、OH-58D、UH-1H 等三種機型之直昇機噪音測量，頻率範圍在 20 Hz~20k Hz 之 A 加權與 C 加權的音量平均相差約 8 分貝~10 分貝。另參考民眾實際煩惱感受度調查、綜整地方環保局要求、地方發展需要、符合實際民意及減低執行困難等之意見，初期之直昇機航空噪音防制區不宜修正太多，故建議修正 8 分貝。

因為戰演訓、國防或救護等之需求，直昇機飛行運輸有其必要性之存在。直昇機有滯空飛行、待機時間長、飛行速率較慢及高度較低的飛航特性，且目前國內引進新式之“阿帕契直昇機 AH-64E 型”及“黑鷹直昇機 UH-60M 型”，其衍生之噪音量是否相似既有之機型？加以考量防制區劃定原則已行之多年，遂值得去測量與檢討修正之，俾作為未來修訂相關直昇機航空噪音法規與法制作業之參考。

二、研究方法

（一）行政配合說明會

本計畫邀集：(1)國防部資源規劃司；(2)國防部陸軍司令部；(3)陸軍航空 601 旅（桃園龍潭基地）；(4)陸軍航空 602 旅（臺中新社基地）；及(5)陸軍飛行訓練指揮部（臺南歸仁基地），共同召開「直昇機低頻噪音量測研商會議」。本次行政配合旨在說明預劃之測量機種、日期、地點、方式及所需軍方支援事項，惠請各相關單位協助安排測量等事宜，相關資料詳如表 1 所示。

表 1 行政配合說明會一覽表

會議名稱	日期	地點	出(列)席單位	目的
直昇機低頻噪音量測研商會議	民國 105 年 7 月 12 日 (星期二) 上午 10:30	行政院環境保護署第二辦公室 13 樓第 1 會議室	1.國防部資源規劃司 2.國防部陸軍司令部 3.陸軍航空 601 旅（桃園龍潭基地） 4.陸軍航空 602 旅（臺中新社基地） 5.陸軍飛行訓練指揮部（臺南歸仁基地） 6.環保署空保處 7.環境永續工程顧問有限公司	說明預劃之測量機種、日期、地點、方式及所需軍方支援事項，惠請各相關單位協助安排測量等事宜

(二) 測量規劃

1. 測量地點

國內現有 3 座直昇機機場分別為：桃園龍潭、臺中新社及臺南歸仁。經前述行政配合會議及與軍方單位之溝通協調，考量機種的任務分配，規劃以「桃園龍潭」及「臺中新社」作為測量地點，該二基地有新型機種供此次測量之所需。

2. 測量對象

(1) 臺中新社基地

黑鷹直昇機，UH-60M 機型，屬通用直昇機類型。

(2) 桃園龍潭基地

阿帕契直昇機，AH-64E 機型，屬攻擊直昇機類型。

3. 測量流程

請分別詳表 2 及表 3 所示，於測量前須先與軍方辦理協調會議，確認整體測量鏈及所需軍方協助事項，視為實際戰演訓進行「任務提示」，以確保所有測量作業能順利進行（如：安全及配套措施、儀器與人員間通訊聯繫...等）。

表 2 臺中新社基地直昇機低頻噪音測量流程表

工作項目名稱		日期（民國 105 年）	地點	參與單位
臺中新社直昇機低頻噪音測量	1. 測量說明協調會議	9 月 5 日（週一）上午 10:00	新社基地	1. 陸軍航空 602 旅（臺中新社基地）
	2. 任務提示	9 月 8 日（週四）下午 15:00	新社基地	2. 環保署空保處
	3. 實地測量	9 月 9 日（週五）上午 08:00	新社基地	3. 環境永續工程顧問有限公司

表 3 桃園龍潭基地直昇機低頻噪音測量流程表

工作項目名稱		日期（民國 105 年）	地點	參與單位
桃園龍潭直昇機低頻噪音測量	1. 測量說明協調會議	9 月 19 日（週一）上午 11:30	龍潭基地	1. 陸軍航空 601 旅（桃園龍潭基地）
	2. 任務提示	9 月 22 日（週四）上午 07:30	龍潭基地	2. 環保署空保處
	3. 實地測量	9 月 22 日（週四）上午 11:00	龍潭基地	3. 環境永續工程顧問有限公司

4. 測量方法

因環保署 96 年度「航空噪音管制」專案工作計畫[1]中已有相關執行經驗，故相關測量方法之測量位置及方位...等科目，過往係經軍方執行單位之確認，另飛行員對此測量方式亦較易於掌控飛行。相關測量方法簡述如下。

(1) 前置作業與支援

a. 於正式架設測量儀器前一日，須先行於欲架設儀器之點位做標定。

b. 測量前一日，相關人員，做任務提示。

c. 支援 1：無線電，借用 4 組無線電與監測人員通訊以下達同步測量紀錄之訊息，軍方支援 4 員士官協助無線電通聯。其中 1 員，充當飛行員與地面測量人員間聯繫，與監測人員通訊以下達同步測量紀錄之訊息。

d. 支援 2：安全帽（鋼盔）、反光背心...等維護安全之配備。

e. 支援 3：沙（袋）包。

(2) 噪音計設定

a. 加權：本測量以“不加權”方式測量。

b. 動特性：使用快(FAST)特性。

c. 測量時間：定點測量，各測點約 60 秒。

本研究採用日本廠牌 RION、型號 NL-32 之噪音計進行測量。

(3) 定點測量（請參考圖 1）

以直昇機為圓心，升空後，分別於：

- a. 不同離地高度(75m、150m、300m)滯空懸停。
- b. 不同方位角(0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315°)定點飛行。
- c. 不同距離(0m、100m、200m、400m)地面測量。

為瞭解直昇機音量差異及呈現周圍居民居住活動範圍，俾探討對鄰近區域（航空噪音防制區）實際影響現況之意義，故設計不同加倍距離之佈點。因於基地內進行測量，受限於基地面積，故佈點距離無法再延伸。

- d. 於 4 處標定位置架設噪音計，噪音計以穩固之三角架架設（必要時以沙包穩固），測量 1/3 八音階頻帶全頻域之 L_{eq} 。
- e. 原點(0m)之噪音計以 100m 延長線銜接，避免測量作業時產生危險。
- f. 人員穿戴安全帽、背心...等維護安全之基本配備及無線電等通聯器材，於噪音計旁進行同步測量。
- g. 直昇機升空後先以離地高度 75m 於原點上方滯空懸停。
- h. 直昇機就定位後，同步進行各測點之測量作業，各測點測量時間約為 1 分鐘，並記錄數值。
- i. 直昇機於同樣高度及位置，沿順時鐘方向每次旋轉 45° 後做約 1 分鐘滯空懸停。
- j. 當直昇機轉至定位後即統一下達測量指令進行同步測量，並記錄每次之測量值，直昇機共需於同樣高度做八次 45° 之轉向。
- k. 當完成同一高度之所有轉向後，直昇機依序升高至離地 150m 及 300m 重複前述定點轉向測量作業，以求得直昇機不同高度及周圍不同距離之噪音測量值。

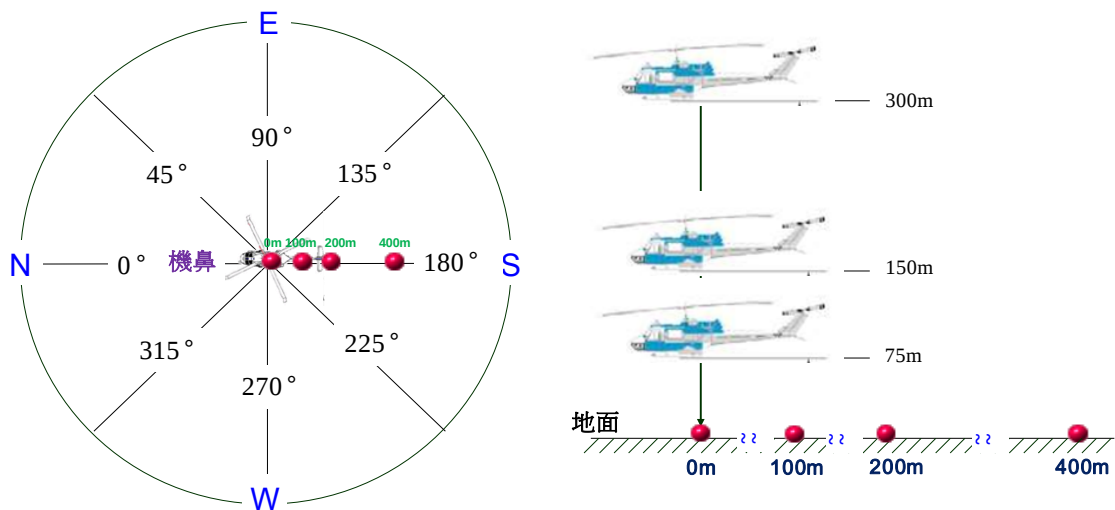


圖 1 定點測量之相關配置示意圖

註：●表示噪音計位置，分別位於 0m、100m、200m 及 400m。

補充說明靜態飛行的定義如下：為「定點」測量，以直昇機為圓心，升空後，分別於不同離地高度(75m、150m、300m)滯空懸停。不同方位角(0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315°)定點飛行。

三、結果與討論

為進行航空噪音防制區劃定檢討、等噪音線加權（含 A、C 加權）評估與噪音量檢討修正等工作，本計畫共進行 372 點次直昇機航空噪音測定，並將結果整理說明如後。

（一）直昇機全頻 20 Hz～20k Hz 等噪音線加權（含 A、C 加權）評估（請分別參閱表 4～表 7）

1. 臺中新社基地（黑鷹直昇機，UH-60M 機型，屬通用直昇機類型）

（1）直昇機不同離地高（A 加權及 C 加權的差值）

- a. 離地 75m：不同距離測點之差值約 5.3 dB～6.9 dB，平均差值約 6.0 dB。
- b. 離地 150m：不同距離測點之差值約 5.7 dB～6.4 dB，平均差值約 6.0 dB。
- c. 離地 300m：不同距離測點之差值約 5.8 dB～6.3 dB，平均差值約 6.0 dB。

(2) 測點與直昇機不同距離 (A 加權及 C 加權的差值)

- a. 距離 0m：不同高度之差值約 6.0 dB~6.4 dB，平均差值約 6.2 dB。
- b. 距離 100m：不同高度之差值約 5.3 dB~5.9 dB，平均差值約 5.7 dB。
- c. 距離 200m：不同高度之差值約 5.7 dB~5.8 dB，平均差值約 5.7 dB。
- d. 距離 400m：不同高度之差值約 6.0 dB~6.9 dB，平均差值約 6.4 dB。

(3) 整體平均差值

經分析：(1)直昇機不同離地高；及(2)測點與直昇機不同距離之結果，A 加權及 C 加權的差值約 5.7 dB~6.4 dB，平均差值約 6.0 dB。

2. 桃園龍潭基地 (阿帕契直昇機，AH-64E 機型，屬攻擊直昇機類型)

(1) 直昇機不同離地高 (A 加權及 C 加權的差值)

- a. 離地 75m：不同距離測點之差值約 6.0 dB~8.1 dB，平均差值約 6.9 dB。
- b. 離地 150m：不同距離測點之差值約 7.0 dB~7.8 dB，平均差值約 7.3 dB。
- c. 離地 300m：不同距離測點之差值約 6.5 dB~8.8 dB，平均差值約 7.5 dB。

(2) 測點與直昇機不同距離 (A 加權及 C 加權的差值)

- a. 距離 0m：不同高度之差值約 7.2 dB~7.7 dB，平均差值約 7.4 dB。
- b. 距離 100m：不同高度之差值約 6.0 dB~7.0 dB，平均差值約 6.5 dB。
- c. 距離 200m：不同高度之差值約 6.3 dB~7.2 dB，平均差值約 6.9 dB。
- d. 距離 400m：不同高度之差值約 7.8 dB~8.8 dB，平均差值約 8.2 dB。

(3) 整體平均差值

經分析：(1)直昇機不同離地高；及(2)測點與直昇機不同距離之結果，A 加權及 C 加權的差值約 6.5 dB~8.2 dB，平均差值約 7.3 dB。

3. 小結

依據表 3~表 7 之黑鷹直昇機 UH-60M 及阿帕契直昇機 AH-64E 等二種機型，頻率範圍於「全頻 20 Hz~20k Hz」時，A 加權與 C 加權的音量平均相差約 6.0 dB~7.3 dB。

(二) 直昇機低頻 20 Hz~200 Hz 等噪音線加權 (含 A、C 加權) 評估 (請分別參閱表 8~表 11)

1. 臺中新社基地 (黑鷹直昇機，UH-60M 機型，屬通用直昇機類型)

(1) 直昇機不同離地高 (A 加權及 C 加權的差值)

- a. 離地 75m：不同距離測點之差值約 13.8 dB~20.4 dB，平均差值約 17.2 dB。
- b. 離地 150m：不同距離測點之差值約 14.5 dB~20.6 dB，平均差值約 16.5 dB。
- c. 離地 300m：不同距離測點之差值約 13.8 dB~15.6 dB，平均差值約 14.8 dB。

(2) 測點與直昇機不同距離 (A 加權及 C 加權的差值)

- a. 距離 0m：不同高度之差值約 15.2 dB~15.9 dB，平均差值約 15.5 dB。
- b. 距離 100m：不同高度之差值約 13.8 dB~15.6 dB，平均差值約 14.6 dB。
- c. 距離 200m：不同高度之差值約 13.8 dB~20.4 dB，平均差值約 16.3 dB。
- d. 距離 400m：不同高度之差值約 14.4 dB~20.6 dB，平均差值約 18.1 dB。

(3) 整體平均差值

經分析：(1)直昇機不同離地高；及(2)測點與直昇機不同距離之結果，A 加權及 C 加權的差值約 14.6 dB~18.1 dB，平均差值約 16.1 dB。

2. 桃園龍潭基地 (阿帕契直昇機，AH-64E 機型，屬攻擊直昇機類型)

(1) 直昇機不同離地高 (A 加權及 C 加權的差值)

- a. 離地 75m：不同距離測點之差值約 15.4 dB~20.1 dB，平均差值約 17.1 dB。
- b. 離地 150m：不同距離測點之差值約 14.6 dB~21.1 dB，平均差值約 16.7 dB。
- c. 離地 300m：不同距離測點之差值約 14.0 dB~17.2 dB，平均差值約 15.5 dB。

(2) 測點與直昇機不同距離 (A 加權及 C 加權的差值)

- a. 距離 0m：不同高度之差值約 15.3 dB~15.7 dB，平均差值約 15.5 dB。

- b.距離 100m：不同高度之差值約 14.6 dB~15.4 dB，平均差值約 15.1 dB。
 c.距離 200m：不同高度之差值約 14.0 dB~20.1 dB，平均差值約 16.7 dB。
 d.距離 400m：不同高度之差值約 17.2 dB~21.1 dB，平均差值約 18.5 dB。

(3) 整體平均差值

經分析：(1)直昇機不同離地高；及(2)測點與直昇機不同距離之結果，A 加權及 C 加權的差值約 15.1 dB~18.5 dB，平均差值約 16.4 dB。

3.小結

依據表 8~表 11 之黑鷹直昇機 UH-60M 及阿帕契直昇機 AH-64E 等二種機型，頻率範圍於「低頻 20 Hz~200 Hz」時，A 加權與 C 加權的音量平均相差約 16.1 dB~16.4 dB。

表 4 黑鷹通用直昇機 UH-60M 全頻 20 Hz~20k Hz 測量結果表

與原點距離加權值 離地高度及機頭角度		0m		100m		200m		400m	
		A	C	A	C	A	C	A	C
75m	0° (朝北)	92.5	99.5	91.6	98.3	84.1	90.6	79.4	86.6
	45°	94.2	101.7	92.8	100.1	84.6	91.4	79.6	87.8
	90°	95.6	102.4	91.3	97.4	83.9	89.1	79.2	85.2
	135°	93.3	98.1	87.6	92.9	80.1	86.4	74.4	83.4
	180°	92.6	97.0	88.4	91.7	78.6	83.9	75.0	81.3
	225°	91.7	95.8	86.6	90.3	79.2	83.3	76.8	81.2
	270°	92.2	98.1	87.6	92.4	78.1	84.7	74.8	83.3
	315°	92.4	99.9	90.9	96.4	84.3	88.9	78.8	84.6
150m	0° (朝北)	87.9	96.1	88.5	96.4	84.0	91.2	80.6	87.9
	45°	88.6	96.0	88.6	96.1	84.8	91.9	81.2	88.1
	90°	89.2	95.8	88.3	94.3	82.7	87.9	79.1	84.0
	135°	86.0	91.4	83.7	90.0	78.7	85.7	74.6	81.9
	180°	88.0	93.0	85.9	90.4	79.5	84.8	76.0	83.2
	225°	86.6	91.3	85.1	89.0	78.7	82.8	77.2	82.3
	270°	85.2	90.9	85.4	89.7	79.5	84.6	77.1	83.4
	315°	86.4	94.4	86.7	92.0	82.4	87.2	79.6	84.7
300m	0° (朝北)	82.3	90.5	83.2	91.0	80.7	89.1	79.4	87.1
	45°	83.8	91.1	84.4	92.0	82.1	90.1	80.2	87.8
	90°	82.8	88.9	82.6	88.5	78.9	84.7	76.6	82.4
	135°	80.7	85.7	80.4	85.1	77.0	82.1	75.0	80.4
	180°	80.8	86.2	80.4	85.1	77.6	81.7	74.6	79.6
	225°	79.6	84.7	79.8	84.7	77.0	80.8	74.4	79.0
	270°	81.3	86.6	82.1	86.8	78.5	83.2	75.9	81.2
	315°	81.7	89.8	82.0	89.2	79.4	86.0	78.2	84.6

資料來源：本計畫測量。

表 5 黑鷹通用直昇機 UH-60M 飛行於不同高度之全頻 20 Hz~20k Hz 的 A 加權與 C 加權差值分析表

與原點距離 離地高度		音量單位：dB			
		0m	100m	200m	400m
75m		6.0	5.3	5.7	6.9
150m		6.4	5.7	5.7	6.3
300m		6.3	5.9	5.8	6.0
平均差值		6.2	5.7	5.7	6.4
		6.0			

資料來源：本計畫測量。

表 6 阿帕契攻擊直昇機 AH-64E 全頻 20 Hz～20k Hz 測量結果表

音量單位：dB

與原點距離加權值 離地高度及機頭角度		0m		100m		200m		400m	
		A	C	A	C	A	C	A	C
75m	0° (朝北)	89.0	96.6	85.6	91.6	80.5	86.9	74.4	82.8
	45°	90.1	96.1	85.7	89.6	80.3	84.7	72.8	78.8
	90°	92.4	99.7	89.8	96.1	87.5	94.5	75.2	84.6
	135°	92.8	100.1	86.3	92.4	87.5	93.3	79.6	87.6
	180°	93.0	100.6	83.4	90.8	79.7	87.2	74.7	83.0
	225°	92.1	100.7	83.8	90.3	78.6	85.6	72.3	81.0
	270°	92.3	99.9	81.7	88.7	78.3	84.2	72.2	80.0
	315°	90.2	97.1	82.9	88.0	76.9	82.9	71.9	80.1
150m	0° (朝北)	86.1	93.5	77.2	84.8	77.1	85.3	73.5	82.1
	45°	87.1	93.7	79.2	84.6	76.2	81.5	73.2	78.9
	90°	88.1	94.1	83.8	89.9	81.0	87.6	79.5	86.0
	135°	87.7	94.7	82.4	88.5	76.6	83.0	77.1	84.4
	180°	88.5	96.1	81.0	88.2	73.5	82.4	72.3	81.6
	225°	89.2	97.5	80.4	88.9	76.0	83.3	69.1	78.3
	270°	88.3	96.0	80.9	88.3	75.5	83.0	71.2	78.5
	315°	86.6	93.4	80.3	87.7	74.0	81.0	69.0	77.5
300m	0° (朝北)	81.3	88.8	79.4	85.9	72.3	80.2	68.6	79.0
	45°	80.7	88.1	79.4	84.7	72.2	78.1	69.3	77.1
	90°	81.1	87.8	81.6	87.2	78.4	84.9	72.2	80.0
	135°	82.2	89.4	82.5	88.9	77.0	84.0	69.4	77.3
	180°	81.5	89.3	81.5	88.2	78.9	86.1	67.6	78.0
	225°	83.5	92.0	82.0	89.7	76.5	84.7	68.9	77.6
	270°	82.5	90.7	80.4	87.6	75.3	83.0	68.5	78.3
	315°	80.9	88.9	80.3	87.2	76.7	83.6	71.6	79.4

資料來源：本計畫測量。

表 7 阿帕契攻擊直昇機 AH-64E 飛行於不同高度之全頻 20 Hz～20k Hz 的 A 加權與 C 加權差值表

音量單位：dB

與原點距離 離地高度	0m	100m	200m	400m	平均差值
75m	7.4	6.0	6.3	8.1	6.9
150m	7.2	7.0	7.2	7.8	7.3
300m	7.7	6.5	7.2	8.8	7.5
平均差值	7.4	6.5	6.9	8.2	7.3

資料來源：本計畫測量。

表 8 黑鷹通用直昇機 UH-60M 低頻 20 Hz~200 Hz 測量結果表

音量單位：dB

與原點距離加權值 離地高度及機頭角度		0m		100m		200m		400m	
		A	C	A	C	A	C	A	C
75m	0° (朝北)	81.4	96.9	81.7	95.3	68.7	87.8	67.7	85.0
	45°	84.1	99.0	84.6	97.4	70.1	88.7	69.1	86.4
	90°	84.2	98.8	80.6	93.5	65.8	84.5	65.3	82.9
	135°	76.5	91.6	74.9	89.2	62.6	84.1	60.0	82.5
	180°	75.7	90.8	72.0	85.2	59.4	81.7	58.6	79.9
	225°	74.8	89.9	70.2	84.6	57.7	79.5	57.3	78.4
	270°	79.8	95.0	73.7	88.4	61.0	82.9	62.2	82.4
150m	315°	81.2	98.0	78.8	92.9	65.5	84.8	64.4	82.5
	0° (朝北)	76.5	93.6	78.9	94.1	74.2	88.5	66.2	85.0
	45°	77.2	92.3	79.6	93.5	76.0	88.9	67.7	84.8
	90°	76.1	89.8	75.8	89.5	70.8	83.6	60.7	78.2
	135°	70.1	85.6	71.9	86.7	67.6	83.0	58.6	79.3
	180°	70.5	84.5	71.0	84.1	65.2	81.4	57.7	81.3
	225°	68.1	83.6	67.8	83.0	62.4	78.3	54.2	79.2
300m	270°	68.8	86.7	70.7	85.0	65.0	80.9	58.5	80.4
	315°	73.9	92.4	73.3	88.8	68.0	83.5	61.0	81.2
	0° (朝北)	71.4	87.6	72.4	88.2	73.5	87.7	71.1	84.9
	45°	72.7	86.9	74.0	88.6	75.6	88.3	72.9	85.5
	90°	68.3	82.2	67.4	82.3	68.5	81.5	66.0	79.0
	135°	63.1	77.8	63.6	78.5	65.3	78.9	63.0	77.3
	180°	63.8	78.3	62.9	78.1	64.3	77.2	61.4	76.2
	225°	62.1	77.4	61.0	79.4	61.6	76.3	58.7	75.1
	270°	63.8	80.0	65.3	80.7	65.7	79.9	62.8	77.9
	315°	70.3	87.2	70.7	86.5	69.2	84.0	67.2	82.2

資料來源：本計畫測量。

表 9 黑鷹通用直昇機 UH-60M 飛行於不同高度之低頻 20 Hz~200 Hz 的 A 加權與 C 加權差值分析表

音量單位：dB

與原點距離 離地高度	0m	100m	200m	400m	平均差值
75m	15.3	13.8	20.4	19.4	17.2
150m	15.9	14.5	14.9	20.6	16.5
300m	15.2	15.6	13.8	14.4	14.8
平均差值	15.5	14.6	16.3	18.1	16.1

資料來源：本計畫測量。

表 10 阿帕契攻擊直昇機 AH-64E 低頻 20 Hz~200 Hz 測量結果表

音量單位：dB

與原點距離加權值 離地高度及機頭角度		0m		100m		200m		400m	
		A	C	A	C	A	C	A	C
75m	0° (朝北)	77.4	93.6	72.5	89.1	62.7	84.5	63.9	81.8
	45°	75.6	90.6	69.5	84.8	59.6	80.3	58.1	77.1
	90°	79.7	95.6	78.7	93.4	73.7	91.7	67.0	83.7
	135°	80.6	96.3	74.8	89.8	71.0	89.2	71.3	86.5
	180°	81.2	96.8	73.1	88.6	64.7	85.1	65.2	82.0
	225°	82.0	97.9	71.8	87.7	62.5	83.4	61.9	80.2
	270°	80.9	96.3	71.2	86.8	60.9	81.2	60.4	78.9
150m	315°	77.0	92.9	70.6	84.9	60.1	80.4	62.5	79.2
	0° (朝北)	74.2	89.7	68.0	83.3	66.8	83.7	59.4	80.6
	45°	73.5	88.6	66.7	81.9	62.5	78.2	55.9	76.0
	90°	73.4	88.3	72.9	87.1	70.4	85.0	62.7	82.9
	135°	75.4	91.1	71.9	86.0	64.8	80.5	62.2	82.1
	180°	77.1	92.4	72.1	86.3	64.3	80.9	58.6	80.1
	225°	78.7	94.2	71.6	87.5	64.7	80.9	53.9	77.0
300m	270°	77.0	92.1	72.3	86.4	65.2	80.6	54.6	76.3
	315°	73.4	88.8	72.3	86.1	61.9	78.6	55.1	76.0
	0° (朝北)	69.6	84.9	67.7	82.4	64.1	78.8	58.9	78.0
	45°	68.3	83.8	63.9	79.3	61.2	75.5	58.0	75.3
	90°	67.9	82.4	67.1	81.9	69.6	82.8	62.1	78.0
	135°	69.7	85.6	70.3	85.5	68.1	81.6	58.2	75.6
	180°	70.1	86.1	69.8	85.0	70.3	84.2	56.7	77.0
	225°	73.3	88.8	71.4	86.9	69.1	83.2	58.6	75.8
	270°	71.9	87.3	69.3	84.5	66.8	81.3	61.1	76.9
	315°	69.3	85.0	67.6	83.4	67.3	81.4	63.0	77.3

資料來源：本計畫測量。

表 11 阿帕契攻擊直昇機 AH-64E 飛行於不同高度之低頻 20 Hz~200 Hz 的 A 加權與 C 加權差值表

音量單位：dB

與原點距離 離地高度	0m	100m	200m	400m	平均差值
75m	15.7	15.4	20.1	17.4	17.1
150m	15.3	14.6	16.0	21.1	16.7
300m	15.5	15.2	14.0	17.2	15.5
平均差值	15.5	15.1	16.7	18.5	16.4

資料來源：本計畫測量。

(三) 本計畫與環保署 96 年度「航空噪音管制」專案工作計畫之比較[1]

行政院環境保護署 96 年度「航空噪音管制」專案曾執行 3 種機型(AH-1W、OH-58D、UH-1H)之「靜態」飛行之噪音測量，其與本計畫 2 種機型(黑鷹 UH-60M、阿帕契 AH-64E)之「靜態」飛行之結果比較詳如表 12 及表 13 所示。二次測量之直昇機離地高度相同，地面的測點距離有所不同，惟彼此的測值相近。

1. 全頻 20 Hz~20k Hz 的 A 加權與 C 加權差值

96 年之平均差值約 9 dB；本計畫之平均差值約 6.0 dB~7.3 dB，若以 400m 內之距離的結果來看，彼此的測值更接近。

2. 低頻 20 Hz~200 Hz 的 A 加權與 C 加權差值

96 年之平均差值約 18 dB；本計畫之平均差值約 16.1.0 dB~16.4 dB，若以 400m 內之

距離的結果來看，彼此的測值更接近。

表 12 96 年度「航空噪音管制」專案工作計畫與本計畫之直昇機靜態飛行之全頻 20 Hz~20k Hz 的 A 加權與 C 加權差值比較分析表

音量單位：dB

行政院環境保護署 96 年度「航空噪音管制」專案工作計畫										
與原點距離 離地高度	直昇機靜態飛行，3 種機型(AH-1W、OH-58D、UH-1H)的平均值									
	0m	150m	300m	600m	1200m	平均差值				
75m	7	7	8	9	14	9				
150m	6	7	8	10	14	9				
300m	8	8	9	9	13	9				
平均差值	7	7	8	10	13	9				
本計畫直昇機靜態飛行之測量結果（黑鷹 UH-60M、阿帕契 AH-64E）										
原點距離 離地高度	0m		100m		200m		400m		平均差值	
	黑鷹	阿帕契	黑鷹	阿帕契	黑鷹	阿帕契	黑鷹	阿帕契	黑鷹	阿帕契
75m	6.0	7.4	5.3	6.0	5.7	6.3	6.9	8.1	6.0	6.9
150m	6.4	7.2	5.7	7.0	5.7	7.2	6.3	7.8	6.0	7.3
300m	6.3	7.7	5.9	6.5	5.8	7.2	6.0	8.8	6.0	7.5
平均差值	6.2	7.4	5.7	6.5	5.7	6.9	6.4	8.2	6.0	7.3

表 13 96 年度「航空噪音管制」專案工作計畫與本計畫之直昇機靜態飛行之低頻 20 Hz~200 Hz 的 A 加權與 C 加權差值比較分析表

音量單位：dB

行政院環境保護署 96 年度「航空噪音管制」專案工作計畫											
與原點距離		直昇機靜態飛行，3 種機型(AH-1W、OH-58D、UH-1H)的平均值									
離地高度		0m	150m	300m	600m	1200m	平均差值				
75m		15	17	20	19	20	18				
150m		15	15	17	20	20	18				
300m		15	16	16	20	21	18				
平均差值		15	16	18	20	21	18				
本計畫直昇機靜態飛行之測量結果（黑鷹，UH-60M；阿帕契，AH-64E）											
原點距離		0m		100m		200m		400m		平均差值	
離地高度		黑鷹	阿帕契	黑鷹	阿帕契	黑鷹	阿帕契	黑鷹	阿帕契	黑鷹	阿帕契
75m		15.3	15.7	13.8	15.4	20.4	20.1	19.4	17.4	17.2	17.1
150m		15.9	15.3	14.5	14.6	14.9	16.0	20.6	21.1	16.5	16.7
300m		15.2	15.5	15.6	15.2	13.8	14.0	14.4	17.2	14.8	15.5
平均差值		15.5	15.5	14.6	15.1	16.3	16.7	18.1	18.5	16.1	16.4

四、結論與建議

（一）結論

一般環境噪音評估最常用之 A 加權修正測量係根據人耳的敏感度而訂定，而人耳對於 1k Hz ~4k Hz 頻率範圍的聲音較為敏感，因此，A 加權在低頻率及超高頻率之噪音位準修正量較大（降低此部分的重要性係因為人耳較為遲鈍），但在多數的中頻率頻帶內有較少的影響。因使用 A 加權修正測量的問題為忽視了噪音中大量的低頻成分，而此低頻成分會煩擾人們，造成生心理感受不舒服。

因直昇機低頻噪音之特性，其頻譜主要集中在 250 Hz 以下的低頻部份，這和通常使用的噪音標準和規定之 A 加權不同，因 A 加權對低頻噪音有很大的「削減」（在 100 Hz 時削減了 20 dB）。A 加權在低頻噪音表現上可能不能很好實際地描述人對低頻之噪音事件真正的反應，在國外如德國和丹麥在評估低頻噪音時係利用 1/3 八音階聲能量的方法；瑞典推薦了根據噪音的 C 加權

及 A 加權之噪音差值辨別低頻噪音的方法[2]。所以要真正表示直昇機之低頻噪音特性，須採用不同之加權或噪音量的修正，使居民對直昇機噪音的反應更能貼切描述。

目前我國法規中僅以「全頻 A 加權」為表示方式，加上多數機場之監測設備尚未逐步更新汰換之前，監測結果亦僅能以「全頻 A 加權」表示。另因 A 加權忽視較多低頻噪音成分，故 A 加權在低頻噪音表現上可能不能很好實際地描述人對低頻之噪音事件真正的反應。

而直昇機因具有較顯著之「低頻噪音」特性，故須採用不同之加權或進行噪音量的修正才能符合現行法規及監測設備之局限，亦才能更符合人及機場周圍附近居民對低頻噪音的感受。爰此，透過 A 加權及 C 加權之全頻 20 Hz~20k Hz 的音量差異，以現行法規之全頻 A 加權方式將直昇機之低頻特性呈現出來。

依據 96 年度「航空噪音管制」專案之研究成果，AH-1W、OH-58D、UH-1H 三種機型，頻率範圍在 20 Hz~20k Hz 時之 A 加權與 C 加權的音量平均相差 10 dB（含靜態及動態飛行），旨揭計畫建議初期航空噪音防制區之修正量為 8 dB(A)。

現行「機場周圍地區航空噪音防制辦法（98.06.08.修正）」第 4 條：航空噪音防制區分為三級，噴射飛機、螺旋槳飛機與直昇機之航空噪音日夜音量(Day-Night Level, DNL)的差值為 8 分貝，其劃定原則如表 14 所示。

表 14 航空噪音防制區之劃定原則表

級別	噴射飛機及螺旋槳飛機(DNL)	直昇機(DNL)
第一級	60分貝以上與未達65分貝	52分貝以上與未達57分貝
第二級	65分貝以上與未達75分貝	57分貝以上與未達67分貝
第三級	75分貝以上	67分貝以上

本計畫針對新型機種之測量結果，A 加權與 C 加權的「全頻音量」平均相差 6.0 分貝~7.3 分貝，與現行差值為 8 分貝並未差距太多，考量多方面因素，如：地方環保局要求、地方發展需要、實際符合民意及減低執行困難等之意見，故就航空噪音防制區劃定檢討及噪音量檢討修正，初步建議仍維持噴射飛機、螺旋槳飛機與直昇機之航空噪音日夜音量(Day-Night Level, DNL)的差值為 8 分貝。另本年度測量「黑鷹直昇機及阿帕契直昇機」之 A 加權及 C 加權之低頻 20 Hz~200 Hz 的音量差異約為 16 分貝。若未來法規採用「低頻 A 加權」，此結果亦可作為音量修正之參考。

（二）建議

未來直昇機專用機場可直接採用 C 加權或其他評估指標為表示方式，以反應民眾實際的感受。惟須考量幾點：

1. 法規須有 C 加權之管制指標或須另規範管制指標；
2. 法規須有 C 加權之相關音量標準或須另規範相關之音量標準；
3. 法規須有 C 加權之相關航空噪音防制區劃定法令或另規範相關劃定方式；
4. 俟機場的監測設備逐步更新汰換後。

參考文獻

- [1] 行政院環境保護署 96 年度「航空噪音管制專案工作計畫」。
- [2] A. Kjellberg, M. Tesarz, K. Holmberg, U. Landström, "Evaluation of frequency-weighted sound level measurements for prediction of low-frequency noise annoyance", Environmental International, 23(4), 519-527, 1997.

104-105 年細懸浮微粒(PM_{2.5})化學成分監測

李崇德¹ 周崇光² 張士昱³ 蕭大智¹ 王偉¹ 林乃芸¹ 黃秋華¹ 孫紹恩¹ 黃譯樺²

張順欽⁴ 黃健瑋⁴

¹ 國立中央大學環境工程研究所

² 中央研究院環境變遷中心

³ 中山醫學大學公共衛生學系

⁴ 行政院環境保護署環境監測及資訊處

摘要

本研究於 2015 年 7 月至 2016 年 11 月在臺灣北、中、南部環保署空氣品質監測站（簡稱監測站）執行 PM_{2.5} 化學成分季節及月份檢測，所檢測的 PM_{2.5} 質量濃度與監測站連續監測濃度季節變化趨勢一致，顯示採樣結果具有季節代表性。

PM_{2.5} 化學成分在濾紙採樣過程會有揮發及吸附，若僅使用單張濾紙，NH₄⁺、NO₃⁻、Cl⁻ 濃度將因揮發分別低估 11~37%、21~91%、41~90%；碳成分則在吸附及揮發修正下高估 0~19%。以 35 μg m⁻³ 區分高、低濃度，採樣期間 PM_{2.5} 低濃度(19 μg m⁻³, n=154)相對於高濃度(52 μg m⁻³, n=59)樣本，在 PM_{2.5} NO₃⁻ 占比增大(7% vs. 16%)許多，其他成分則變化較小，顯示 PM_{2.5} NO₃⁻ 前驅物 NO_x 排放源的管制應該加強。彙整各次採樣 PM_{2.5} 濃度大於 35 μg m⁻³ 事件污染來源，指出大部分事件是跨區域污染傳輸、本地擴散不佳或發生光化學反應所造成。

關鍵字：PM_{2.5} 化學成分監測、PM_{2.5} 化學成分分布特徵

一、前言及研究目的

近年來，大陸持續發生霧霾事件，我國民眾也因為 PM_{2.5} 在氣象條件不佳發生「紫爆」引起媒體報導而關注，人人期待各地 PM_{2.5} 能早日達到空氣品質標準。對於 PM_{2.5} 空氣品質改善，污染來源解析可以提供重要指引訂定污染源管制策略，以減少 PM_{2.5} 產生。然而，大氣環境中 PM_{2.5} 來源廣泛，各種不同來源的匯集使 PM_{2.5} 有不同化學成分，因此，剖析 PM_{2.5} 化學成分為污染來源解析前必要的工作。為能確實監測大氣 PM_{2.5} 化學成分，考量有些成分在量測時容易揮發或是受到前驅氣體干擾，必須審慎地進行採樣與實驗分析方能釐清其濃度。因此，進行微粒採樣及成分分析，需選擇能矯正 PM_{2.5} 某些易揮發化學成分及去除其前驅氣體干擾的方法，而且還要能偵測出大部份 PM_{2.5} 質量的化學成分。在過去，本研究已使用能矯正各項成分干擾量測方法來監測大氣 PM_{2.5} 化學成分[1-3]，並獲有相當成果，惟大氣 PM_{2.5} 化學成分監測必須持續進行方能有效評估大氣環境變遷、國民健康效應、管制策略成效。本研究辦理 PM_{2.5} 化學成分採樣與檢測作業，解析其時間與空間分布特徵及影響因素；推估各監測地區 PM_{2.5} 污染來源與影響能見度之 PM_{2.5} 化學成分和氣象因子，提供污染源管制策略評估之參考。

二、研究方法

(一) 採樣地點與頻率

本研究於 2015 年 7 月至 2016 年 11 月在北、中、南部環保署空氣品質監測站（簡稱監測站）執行 PM_{2.5} 化學成分檢測，共有三種採樣類型，分別是每季在板橋、忠明、小港三站同步採樣 7 天次的「季節採樣」；每個月 1 次在板橋、忠明、前金站和環保署常規採樣進行同步比對的「常規採樣」；選擇在臺東、斗六、嘉義站受到當地污染源影響的「任務型採樣」。各採樣地點的地理位置如圖 1 所示。

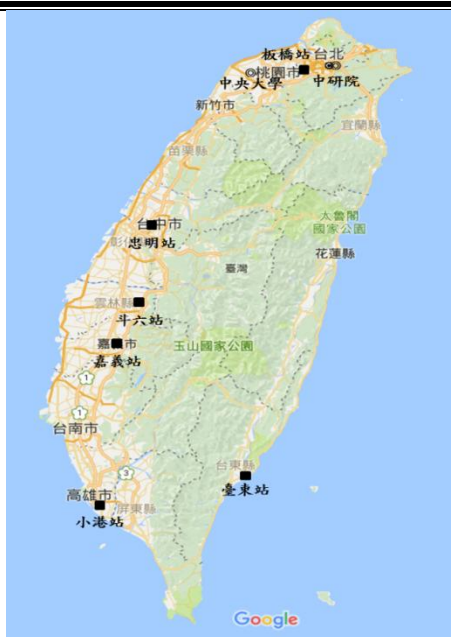


圖 1 採樣監測站地理位置 (■代表採樣地點，⊙為成分分析實驗室)

(地圖資料：<https://www.google.com.tw/maps>)

(二) PM_{2.5} 化學成分分析方法

PM_{2.5} 水溶性離子是使用離子層析儀 (陽離子使用 Dionex DX-120, 陰離子使用 Dionex DX-100) 分析, 離子層析儀是利用離子交換原理, 當待測樣本通過分析管柱時, 離子會與管柱中的樹脂產生交換作用, 此時加入流洗液沖提, 帶出不同導電度的離子, 再使用導電度偵測器測定移動相中導電度的變化。

氣膠碳成分分析是使用美國 DRI 碳分析儀 (Thermal/Optical Carbon Analyzer, Model 2001A, Atmoslytic Inc., Calabasas, CA) 進行分析, 碳分析儀是以電腦程式設定不同溫度來解析氣膠各種碳成分, 得到不同揮發程度有機碳成分 (Organic Carbon, OC) 及不同耐火程度元素碳 (Elemental Carbon, EC), 並且以雷射光矯正 OC 分解過程的裂解碳 (Pyrolyzed OC, 簡稱 OP), 整個分析方法稱為 TOR (Thermal Optical Reflectance), 每個碳成分的加熱階段與溫度範圍如表 1 所示。

表 1 DRI 2001A 碳分析儀各加熱階段與溫度範圍

Fraction	Pyrolyzed fraction	Temperature range	Setup condition
OC1		Ambient to 140 °C	100% He
OC2		141~280 °C	
OC3		281~480 °C	
OC4		481~580 °C	
EC1	OP	580 °C	98% He、2% O ₂
EC2		581~740 °C	
EC3		741~840 °C	

PM_{2.5} 金屬元素成分定量分析, 是使用 Perkin-Elmer 公司出產型號為 NexIon 300X 感應耦合電漿質譜儀 (Induced Couple Plasma Mass Spectrograph, ICP-MS) 進行分析, 本儀器具有可同時分析多元素濃度及靈敏度高的優點, NexIon 300X 具有動力反應腔, 利用甲烷氣解除氬氣干擾, 可將元素濃度解析度推至 ppt 等級。ICP-MS 的分析流程, 係先以霧化器將待測消化液霧化處理, 再以載送氣體輸送, 將含待分析元素的霧珠輸送至電漿中, 樣品受熱後, 經由一系列去溶劑、分解、原子化/離子化等反應, 使電漿中待分析元素形成單價正離子, 再透過真空界面傳

輸進入質譜儀，配合質量分析器將各特定質荷比的離子予以解析後，再以電子倍增器加以檢測，並進行多元素的定性及定量。

三、結果與討論

(一) 手動採樣 $PM_{2.5}$ 季節平均值的變化趨勢與代表性

本研究各季節採樣時程為連續採樣 7 天，但取每季中間月份進行連續 7 天的採樣是否對於季節特性能有代表性？比較採樣期間，同址監測站 $PM_{2.5}$ 連續監測數據，結果如圖 2 所示，季節 S1 為 2015 年夏季，S2 為 2015 年秋季，S3 為 2015 年冬季，S4 為 2016 年春季，S5 為 2016 年夏季，S6 為 2016 年秋季。手動採樣季節平均值完全符合前述環保署連續監測數據變化趨勢，只是前三季濃度變化較平緩，板橋監測站 2016 年春季數值較高，推測這項差異是受到採樣期間境外傳輸的污染事件影響使整體濃度拉高。忠明監測站 2015 年秋季手動採樣濃度較高，是受到 10 月 20 日本地污染事件所影響，從右側盒鬚圖中也可發現有較大的標準偏差（忠明站 NCU S2）。小港與前金監測站幾乎是完全與環保署 $PM_{2.5}$ 連續監測數據有相同的變化趨勢；斗六測站與嘉義測站是任務採樣，期間雖橫跨兩季，但因為採樣規劃是儘量篩選高濃度時間進行觀測，對比環保署監測站是手動採樣季節平均值高出許多。

前述比對結果顯示本研究手動採樣季節平均值具有採樣地點季節變化趨勢代表性，可能是本研究選擇每季中間月份進行連續 7 天的採樣，每個樣本採樣 24 小時可以抵銷短時間的濃度變化。

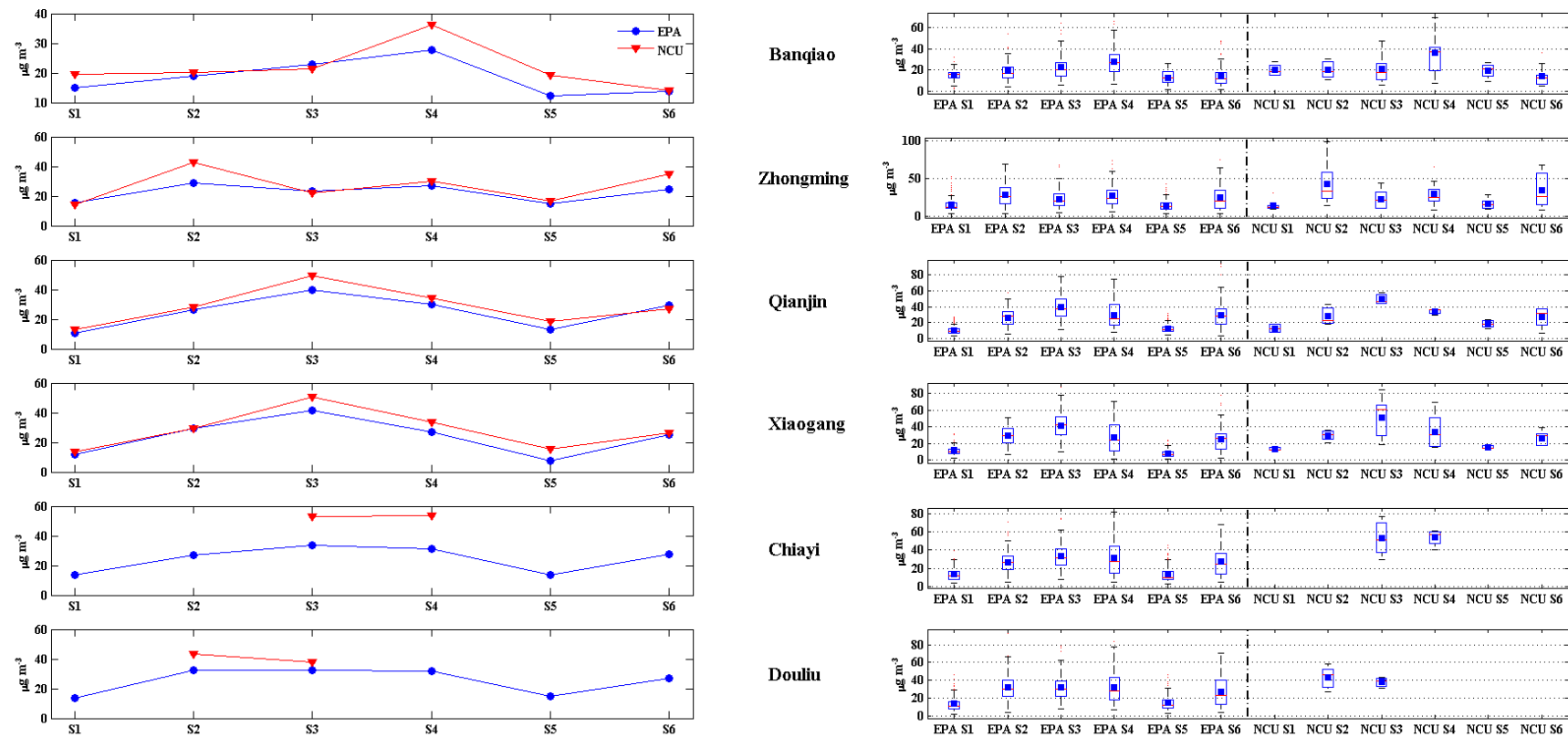


圖 2 本研究採樣數據與環保署空氣品質監測站各季季節 PM_{2.5} 質量濃度比較

(二) PM_{2.5} 質量濃度與主要化學成分區域及季節變化1. PM_{2.5} 質量濃度區域及季節變化

圖 3 為北、中、南監測站各季 PM_{2.5} 質量濃度變化，2015 年夏季各站受本地污染源影響環境擴散又好，各地濃度差異不大，雖然板橋站濃度略高，臺東還是臺灣空氣品質最好的地方。2015 年秋季中部忠明站平均濃度突然高出其他兩站，原因是秋季忠明站風速低擴散不佳及有光化學反應造成污染累積，斗六站也有接近的濃度。2015 年冬季最高濃度為南部小港站，主要成因為低風速擴散不佳及來自北、中部區域污染傳輸；相同季節的前金和嘉義站，PM_{2.5} 濃度也很接近。2016 年春季板橋站又有較高平均濃度，原因是採樣期間受到中國華北和上海長程傳輸、當地風速低及有光化學反應造成污染累積影響；南部小港站 2016 年春季因為有一天（2016 年 4 月 30 日）受到來自中國上海長程傳輸以及低風速和光化學反應影響造成濃度高值，使得各數值變動程度增大。2016 年夏季臺灣普遍受本地污染源影響，大氣環境有利污染擴散，各站濃度差異不大，但北部板橋站如同 2015 年，在三站中有較高平均濃度。2016 年秋季板橋站濃度較其他兩站低許多，採樣期間天氣型態為高壓迴流及颱風，氣流多來自臺灣附近海域，PM_{2.5} 前三天濃度均為個位數，平均風速都是 2.7 m s^{-1} ，使板橋站 PM_{2.5} 濃度降低；2016 年秋季忠明站濃度是三站中最高，主要成因為當地擴散不佳以及光化學反應影響。

表 2 為各站各季節 PM_{2.5} 修正後質量濃度($\mu\text{g m}^{-3}$)及標準偏差($\mu\text{g m}^{-3}$)，各站四季 PM_{2.5} 質量濃度變化，大致呈現夏季最低，秋季升高，冬、春季和秋季比較，互有高低。任務型採樣中，斗六站採樣時間為秋季，PM_{2.5} 平均濃度為 $42 \mu\text{g m}^{-3}$ 和忠明站秋季的 $43 \mu\text{g m}^{-3}$ 相當接近；嘉義站採樣時間為冬季，PM_{2.5} 平均濃度為 $53 \mu\text{g m}^{-3}$ 和小港及前金站冬季的 51 及 $49 \mu\text{g m}^{-3}$ 也很接近。以六季平均值來看，從北到南，板橋、忠明、小港、前金站的平均值分別為 $22, 27, 28, 29 \mu\text{g m}^{-3}$ ，呈現出逐漸升高情形。北部的板橋站於春、夏季相對有較高 PM_{2.5} 平均濃度，分別為 36 和 $19 \mu\text{g m}^{-3}$ ，中部的忠明和斗六站在 2015 年秋季 PM_{2.5} 平均濃度($42 \mu\text{g m}^{-3}$)遠高於其他地區各站，南部的小港和前金站在 2015 年冬季 PM_{2.5} 平均濃度($50 \mu\text{g m}^{-3}$)則是各站六季平均值最高，這顯示各地區互有季節特性。

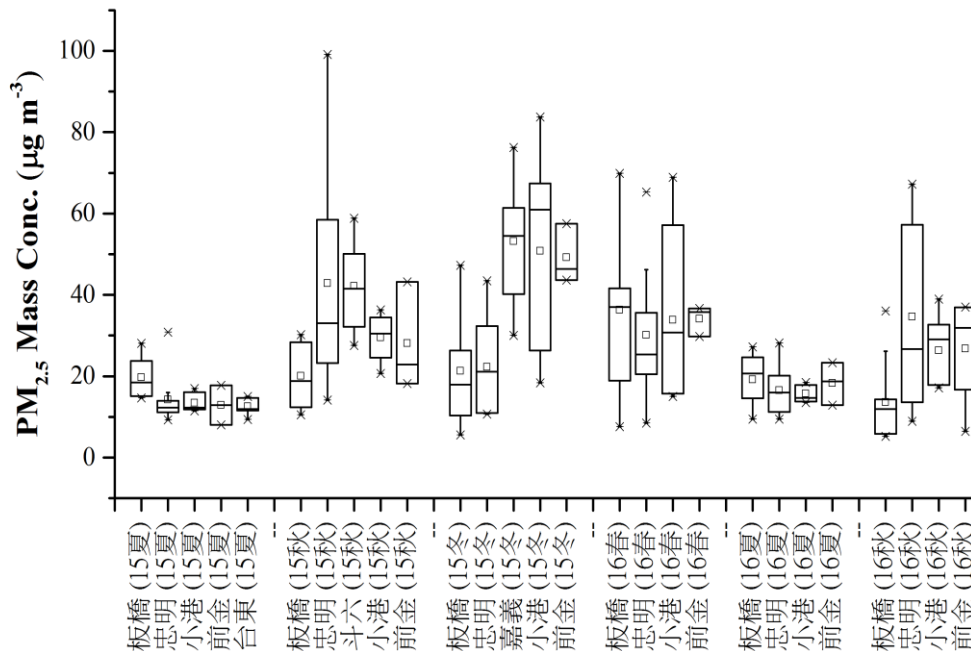


圖 3 臺灣北、中、南部各監測站六季質量濃度變化（採樣時間，15 夏：2015 年 7 月，15 秋：2015 年 10 月，15 冬：2016 年 1 月，16 春：2016 年 4~5 月，16 夏：2016 年 7 月，16 秋：2016 年 10 月）

表 2 各站各季節 PM_{2.5} 修正後質量濃度($\mu\text{g m}^{-3}$)及標準偏差($\mu\text{g m}^{-3}$)

		板橋	忠明	小港	前金	斗六	嘉義	臺東
2015	平均值	20	14	13	13			13
夏季	標準偏差	5	7	2	7			2
2015	平均值	20	43	30	28	42		
秋季	標準偏差	8	27	6	13	10		
2015	平均值	21	22	51	49		53	
冬季	標準偏差	15	11	24	7		15	
2016	平均值	36	30	34	34			
春季	標準偏差	19	16	21	4			
2016	平均值	19	17	16	18			
夏季	標準偏差	7	6	2	5			
2016	平均值	14	35	26	27			
秋季	標準偏差	10	22	9	14			
六季	平均值	22	27	28	29			

註：板橋和忠明站均包含常規採樣數據，南部小港站只包含季採樣數據，前金站只進行常規採樣，小港和前金兩站採樣時間不同。

2. PM_{2.5} 主要化學成分區域及季節變化

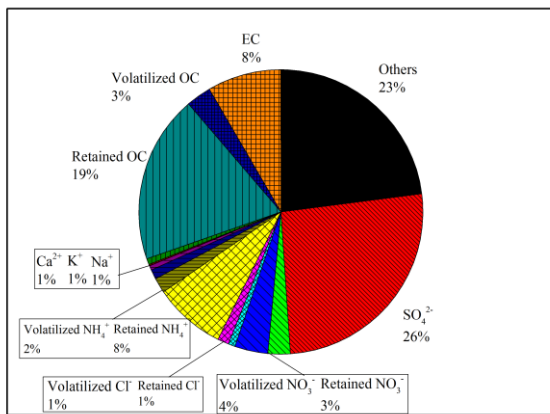
從各站 PM_{2.5} 化學成分各季平均濃度，也可看出影響各站 PM_{2.5} 濃度污染特性。夏季主要污染源來自當地，表 3 指出 2015 年夏季板橋、忠明、小港、前金、臺東各站 SO_4^{2-} 濃度平均值分別是 4.88, 4.15, 4.12, 4.13, 3.87 $\mu\text{g m}^{-3}$ ；2016 年夏季板橋、忠明、小港、前金各站 SO_4^{2-} 濃度平均值分別是 6.13, 5.11, 6.16, 5.15 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，雖然普遍較 2015 年高，但相同年度北、中、南各站差異並不大，印證 PM_{2.5} SO_4^{2-} 是區域分布污染物。 SO_4^{2-} 季節最高濃度發生在小港站 2016 年春季，平均濃度為 9.83 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，如果取 2015 年夏季 4.12 $\mu\text{g m}^{-3}$ 為背景值，則有 5.71 $\mu\text{g m}^{-3}$ 濃度（夏季的 139%）來自大陸或區域傳輸或本地污染增益。 NO_3^- 濃度在南部監測站冬季濃度比 SO_4^{2-} 濃度高，2015 年冬季小港站有 11.18 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，前金站更達 11.61 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，嘉義站冬季也有 10.28 $\mu\text{g m}^{-3}$ 。由於揮發 NO_3^- 濃度相當可觀，表示 NO_3^- 在大氣環境中雖為氣膠態，夏季環境溫度較高，採樣在濾紙後因溫度仍高，揮發成為氣體，可能附著在粗微粒上，使 PM_{2.5} NO_3^- 濃度較低。由於南部高濃度主要成因多為本地排放或區域傳輸所造成， NO_3^- 為本地排放源指標物，顯示南部地區如果能針對本地 NO_x 排放源進行較嚴格管制，有望降低 PM_{2.5} 大氣濃度。2015 年夏季 OC 平均濃度從北到南略微降低，板橋、忠明、小港、前金、臺東各站 OC 濃度平均值分別是 4.72, 3.77, 2.91, 2.51, 2.17 $\mu\text{g m}^{-3}$ 。2015 年秋季斗六站、2015 年冬季忠明站、2016 年秋季忠明站 OC 是各該站季最高值，比較 2015 年和 2016 年忠明站秋季和夏季平均值差異有 3.1 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，是夏季的 79%。

表 3 各站 PM_{2.5} 主要化學成分濃度($\mu\text{g m}^{-3}$)及 PM_{2.5} 占比(%, 括弧內數字)

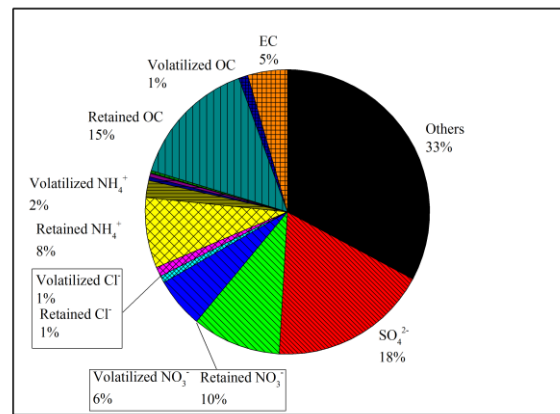
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	OC	EC
板橋 15 夏	4.88 (24)	0.84 (4)	1.77 (8)	4.72 (25)	1.81 (10)
板橋 15 秋	6.82 (32)	0.58 (3)	2.13 (10)	3.26 (17)	1.37 (7)
板橋 15 冬	5.46 (22)	1.42 (6)	2.10 (9)	4.26 (26)	1.23 (8)
板橋 16 春	9.26 (25)	3.76 (9)	4.32 (11)	5.79 (18)	1.90 (6)
板橋 16 夏	6.13 (29)	0.66 (3)	1.97 (9)	4.43 (24)	1.57 (9)
板橋 16 秋	2.08 (16)	0.70 (6)	0.82 (6)	2.87 (23)	1.23 (10)
忠明 15 夏	4.15 (27)	0.73 (5)	1.45 (9)	3.77 (29)	1.10 (8)
忠明 15 秋	9.49 (23)	6.59 (12)	4.25 (10)	7.04 (19)	1.96 (5)
忠明 15 冬	4.57 (21)	2.80 (12)	2.43 (11)	4.67 (22)	1.39 (7)
忠明 16 春	7.57 (25)	3.15 (10)	3.75 (12)	4.75 (17)	1.58 (6)
忠明 16 夏	5.11 (31)	1.08 (6)	1.95 (11)	4.10 (25)	1.22 (8)
忠明 16 秋	6.30 (20)	4.71 (11)	3.30 (10)	7.07 (19)	2.00 (6)
小港 15 夏	4.12 (31)	0.42 (3)	1.25 (9)	2.91 (22)	1.65 (12)
小港 15 秋	8.43 (28)	2.60 (9)	3.32 (11)	3.59 (12)	2.52 (9)
小港 15 冬	7.27 (16)	11.18 (20)	4.51 (9)	7.71 (16)	2.52 (5)
小港 16 春	9.83 (30)	3.33 (7)	4.14 (12)	4.81 (16)	2.27 (8)
小港 16 夏	6.16 (39)	0.71 (4)	2.14 (14)	3.09 (20)	1.73 (11)
小港 16 秋	6.70 (26)	2.78 (9)	2.57 (10)	4.30 (17)	2.09 (8)
前金 15 夏	4.13 (28)	0.43 (4)	1.25 (8)	2.51 (23)	1.16 (9)
前金 15 秋	7.19 (28)	2.76 (8)	3.16 (12)	4.88 (17)	1.53 (6)
前金 15 冬	6.45 (13)	11.61 (23)	5.10 (10)	6.18 (13)	1.76 (4)
前金 16 春	5.96 (18)	6.62 (19)	3.80 (11)	5.44 (16)	1.71 (5)
前金 16 夏	5.15 (27)	1.06 (5)	2.04 (10)	4.06 (23)	1.34 (8)
前金 16 秋	6.11 (22)	2.67 (9)	2.42 (8)	5.45 (22)	1.34 (7)
嘉義 15 冬	6.86 (13)	10.28 (19)	5.49 (10)	7.20 (14)	2.10 (4)
斗六 15 秋	6.27 (15)	5.83 (14)	3.63 (9)	8.55 (20)	1.86 (5)
臺東 15 夏	3.87 (30)	0.25 (2)	1.18 (9)	2.17 (18)	0.85 (7)

(三) $\text{PM}_{2.5}$ 低濃度與高濃度化學成分占比

上一年度計畫[4]彙整比較採樣期間 $\text{PM}_{2.5}$ 低濃度($<35 \mu\text{g m}^{-3}$)和高濃度($\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$)樣本檢測的化學成分佔 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度比例，發現： $\text{PM}_{2.5}$ 低濃度族群比起高濃度族群，各化學成分佔 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度比例只有 NO_3^- 增大(7% vs. 15%)、 SO_4^{2-} 縮小(24% vs. 17%)、 NH_4^+ 縮小(10% vs. 9%)、OC 縮小(28% vs. 16%)、EC 縮小(7% vs. 4%)，本次報告有六季數據，而且低濃度樣本較多，圖 4 顯示 $\text{PM}_{2.5}$ 低濃度族群($<35 \mu\text{g m}^{-3}$)比起高濃度族群($\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$)檢測的化學成分佔 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度比例： NO_3^- 增大(7% vs. 16%)、 SO_4^{2-} 縮小(26% vs. 18%)、 NH_4^+ 不變(10% vs. 10%)、OC 縮小(21% vs. 17%)、EC 縮小(8% vs. 5%)，和上一年度的結果類似， NO_3^- 占比增大相當明顯。圖 5 為 SO_4^{2-} 濃度、修正後 NO_3^- 濃度、修正後 NH_4^+ 濃度分別和修正後 $\text{PM}_{2.5}$ 質量濃度關係，可明確看出 NO_3^- 濃度在 $\text{PM}_{2.5}$ 低濃度群斜率小於高濃度群，但 SO_4^{2-} 濃度和修正後 NH_4^+ 濃度在 $\text{PM}_{2.5}$ 低濃度群斜率都大於高濃度群，這表示在高 $\text{PM}_{2.5}$ 質量濃度事件中， NO_3^- 濃度增加不是依照 $\text{PM}_{2.5}$ 低濃度($<35 \mu\text{g m}^{-3}$)時的占比放大，而是更擴增其濃度及在 $\text{PM}_{2.5}$ 所占比例，這確認 $\text{PM}_{2.5}$ 硝酸根離子前驅氮氧化物排放源的管制應該加強。



$\text{PM}_{2.5}$ ($=19 \mu\text{g m}^{-3}$, $n=154$)



$\text{PM}_{2.5}$ ($=52 \mu\text{g m}^{-3}$, $n=59$)

圖 4 採樣期間低濃度 $\text{PM}_{2.5}$ ($<35 \mu\text{g m}^{-3}$) (左圖) 和高濃度 ($\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$) (右圖) 樣本檢測的化學成分佔 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度比例 (Retained NH_4^+ 係指第一張濾紙量測的銨根離子，其餘類推；Volatilized NH_4^+ 係指揮發銨根離子，其餘類推)

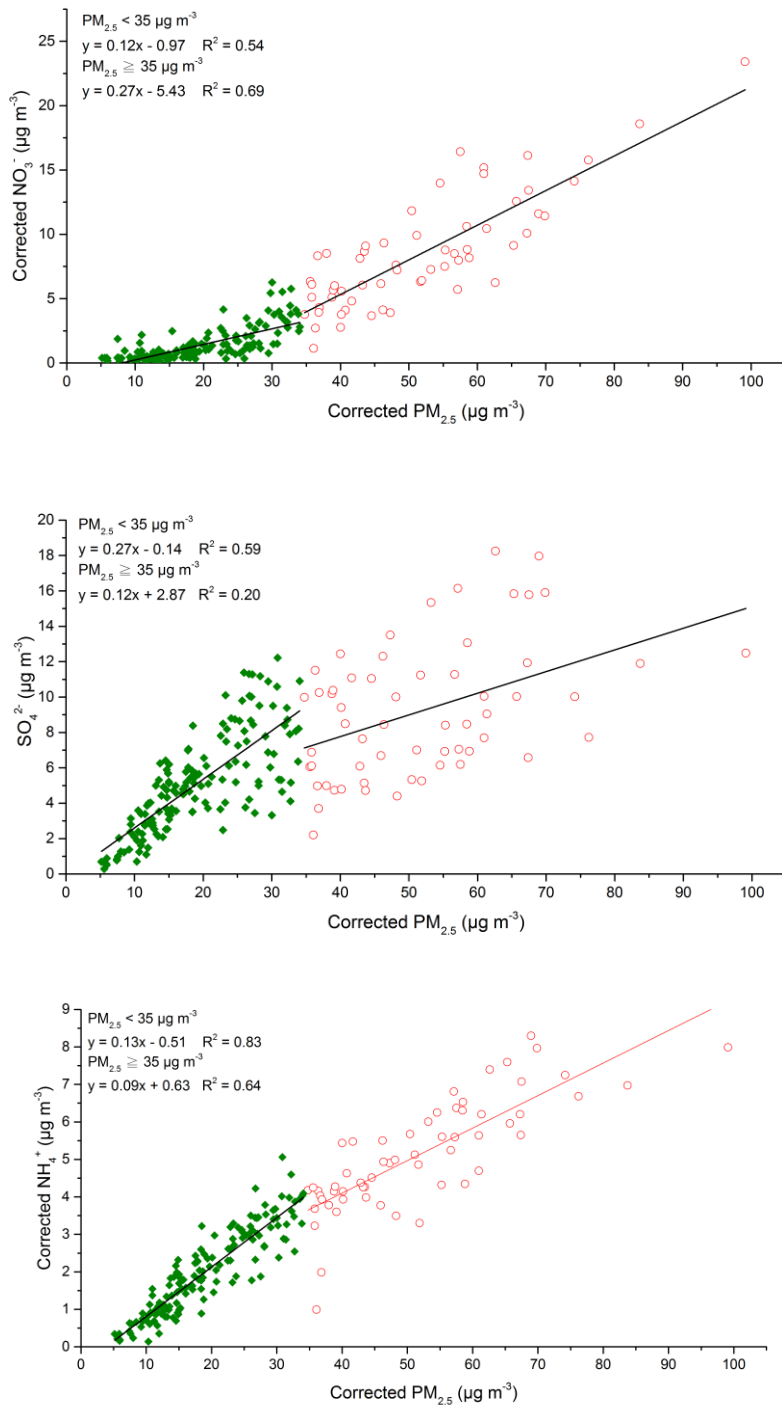


圖 5 採樣期間低濃度 $PM_{2.5}$ ($< 35 \mu g m^{-3}$) (左圖) 和高濃度 ($\geq 35 \mu g m^{-3}$) (右圖) 樣本檢測的修正後硝酸根離子、硫酸根離子、修正後銨根離子和修正後 $PM_{2.5}$ 濃度相關性

四、結論

本研究完成 2015-2016 年六季臺灣北、中、南部三站同步每季 7 次連續的季節採樣，北、中、南部三站同步每月 1 次的常規採樣，臺東背景地區採樣 5 站次，斗六高污染地區 16 站次，嘉義高污染地區 11 站次，總計 32 次的任務型採樣，這些樣本 PM_{2.5} 化學成分經分析後主要的成果彙整如下：

1. 比對本研究各監測站與環保署空氣品質監測站 PM_{2.5} 質量濃度季節變化趨勢，發現：本研究每季雖然只採樣 9 至 11 次不等（含季節採樣與常規採樣），但樣本 PM_{2.5} 質量濃度季節平均值與環保署監測站連續監測 PM_{2.5} 質量濃度季節平均值變化趨勢相當一致，顯示本研究所採樣結果具有季節代表性。
2. 無論是季節採樣、常規採樣、任務型採樣，PM_{2.5} 質量濃度和環保署自動儀器換算過監測濃度都有一致變化趨勢。各站四季 PM_{2.5} 質量濃度變化，大致呈現夏季最低，秋季升高，冬、春季和秋季比較，互有高低。任務型採樣中，斗六站採樣時間為秋季，PM_{2.5} 平均濃度和忠明站秋季的濃度相當接近；嘉義站採樣時間為冬季，PM_{2.5} 平均濃度和小港及前金站冬季的濃度也很接近。以六季平均值來看，從北到南，板橋、忠明、小港、前金站的平均值分別為 22, 27, 28, 29 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，呈現出逐漸升高情形。忠明站在 2015 年 10 月 20 日修正後 PM_{2.5} 質量濃度 99 $\mu\text{g m}^{-3}$ 為採樣期間最高濃度。
3. 在採樣過程，各樣本 PM_{2.5} 水溶性離子和有機碳成分有不等程度的揮發與吸收，水溶性無機離子僅使用單張濾紙將會低估 11%~37% NH_4^+ 濃度，低估 21%~91% NO_3^- 濃度， Cl^- 也會有 41%~90% 的濃度被低估。碳成分若不透過第二張與第三張濾紙修正採樣過程中微粒揮發與濾紙有機氣體吸附，在六個觀測地區發現，將高估 0~19% 碳成分濃度。
4. 各站各季節 PM_{2.5} 化學成分中，質量濃度占比最高者在夏季為 SO_4^{2-} ，秋季為 SO_4^{2-} 或 OC，春季為 SO_4^{2-} ；冬季較為分歧，板橋站為 SO_4^{2-} ，忠明站為 OC，南部地區冬季嘉義、小港和前金站質量濃度占比最高成分為 NO_3^- 。由於 NO_3^- 為本地排放源指標物種，因此，南部地區如果能針對當地 NOx 排放源進行較嚴格管制，可望降低 PM_{2.5} 大氣濃度。
5. 在任務型採樣中，冬季的嘉義站 PM_{2.5} 化學成分占比以 NO_3^- 最高，秋季的斗六站則以 OC 為最高，斗六站 OC 更是所有各站各季節 PM_{2.5} OC 濃度最高 (8.55 $\mu\text{g m}^{-3}$) 者，值得注意。
6. 六個季節採樣期間將樣本分成 PM_{2.5} 低 (<35 $\mu\text{g m}^{-3}$) 和高濃度 ($\geq 35 \mu\text{g m}^{-3}$)， NO_3^- 佔 PM_{2.5} 質量濃度比例從低濃度 (19 $\mu\text{g m}^{-3}$, n=154) 樣本的 7% 提高到高濃度 (52 $\mu\text{g m}^{-3}$, n=59) 樣本的 16%，其他成分則縮小或不變，與上年度有類似結果，顯示 PM_{2.5} NO_3^- 前驅 NOx 排放源的管制應該加強。

五、參考文獻

- [1] 李崇德、吳義林、周崇光、張士昱，「細懸浮微粒(PM_{2.5})質量濃度與成分人工採樣分析先驅計畫（暨後續擴充）」，總結報告，環保署EPA-100-FA11-03-A088，臺北，101年6月 (2012)
- [2] 李崇德、周崇光、張士昱，「細懸浮微粒(PM_{2.5})儀器比對及化學成分觀測網規劃作業計畫」，期末報告（定稿本），環保署EPA-101-FA11-03-A262，臺北，102年11月 (2013)
- [3] 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智，「細懸浮微粒(PM_{2.5})化學成分監測計畫」，期末報告（定稿本），環保署EPA-103-FA11-03-A119，臺北，104年3月 (2015)
- [4] 李崇德、周崇光、張士昱、蕭大智，「104-105年細懸浮微粒(PM_{2.5})化學成分監測專案工作計畫」，期末報告（定稿本），環保署EPA-104-L102-02-103，臺北，105年12月 (2016)。

細懸浮微粒(PM_{2.5})特對民眾健康影響之研究

陳裕政¹ 陳啟信² 龍世俊³ 吳治達⁴ 潘文驥⁵ 陳秉鈺¹ 江宏哲¹ 郭育良¹

¹ 國家衛生研究院國家環境醫學研究所 ² 臺大醫院環境及職業醫學部 ³ 中央研究院環境變遷研究中心

⁴ 國立嘉義大學森林暨自然資源學系 ⁵ 國立陽明大學環境與職業衛生研究所

摘要

本計畫評估國人 PM_{2.5} 暴露情形與建立本土 PM_{2.5} 濃度-健康劑量反應關係；並考量國人在 PM_{2.5} 與其他空氣污染物同時暴露情境下對健康衝擊，發展具健康危害警示的空氣品質指標(Air Quality Health Index, AQHI)。同時藉由跨部會合作方式，由環保署提供長期 PM_{2.5} 成分監測資料，探討各地不同污染源組成對健康影響；現階段已完成國人 PM_{2.5} 最低可偵測的效應濃度與評估 PM_{2.5} 暴露對老年人健康影響、提出 PM_{2.5} 個人防護建議以及開發老年人敏群族群 AQHI，未來將開發其他敏感族群 AQHI 與提出更符合健康保護需求之污染管制策略與標準值。

關鍵詞：細懸浮微粒、成份、污染源鑑定、新式空氣品質健康指標(AQHI)、管制策略

一、前言及研究目的

世界衛生組織(WHO)指出，各國訂定空氣品質標準應考量當地空氣品質對於人體健康風險、確實可行技術、社會及經濟發展等相關因素。然而臺灣空氣品質標準之設立是為參考歐美國家之規範，並未立足於國人本土健康實證基礎，其除未考量因中西文化差異致國人特有之暴露源(如餐廳、廟宇)，也未考量臺灣在高濃度 NO_x、O₃ 與高溫環境下，PM_{2.5} 與之交互作用致國人健康危害程度。該標準之設立亦是根據歐美國家依據當地 PM_{2.5} 普遍濃度低於 25μg/m³ 所得之劑量反應關係，然而臺灣實際情形並非如此。再者，新推行之空品指標(Air Quality index, AQI)目前亦無實證顯示其分級具有本地健康危害警示功能。因此，本計畫藉由環保署與衛福部合作，由環保署提供長期 PM_{2.5} 成分監測資料，探討各地不同污染源之組成對健康影響，亦利用「精確暴露評估」準確推估空污對各項疾病的貢獻量，以及考量國人健康於 PM_{2.5} 與其他空氣污染物同時暴露之衝擊，發展新式品質空氣指標(Air Quality Health Index, AQHI)，期能提出更符合健康保護需求之污染管制策略與標準值，與提供具本土實證基礎之健康危害警示

二、研究方法

本研究首先以國家二手資料庫空品測站空污資料與全國健保抽樣及死亡全檔，利用 case-crossover design 評估 PM_{2.5} 暴露對全臺灣 353 鄉/鎮/市/區之全病因、心血管疾病與呼吸道疾病死亡及就醫影響。此外，本研究亦建立醫院基礎(hospital-based)之前瞻性世代追蹤研究，調查都會區(臺北)、次都會區(嘉義)、工業區(高雄)及鄉村區(花蓮)老年族群健康與 PM_{2.5} 暴露之相關性，在暴露評估部分，環保署提供上述地區長期 PM_{2.5} 成分監測資料並解析貢獻來源，國家衛生研究院亦採用「精確暴露評估」方法學(自克利金(Kring) → 土地利用迴歸(Land Use Regression, LUR) → 個人化時間活動模式暴露評估)來降低暴露錯誤分類，估計老年族群個人 PM_{2.5} 濃度；上述暴露資料亦提供流行病學團隊連結老人族群健康資料(如心血管、肺功能、肌肉量、標準化記憶空間廣度)，建立 PM_{2.5} 暴露與劑量效應關係。在發展 AQHI 部分，利用加拿大方法學理論，以 2006-2011 年臺灣全老年人口(65 歲以上)全死因與環保署空品測站 6 種空氣污染物(PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂、CO 及 O₃)每小時移動平均或最大值，作為最終健康指標運算，模式在考量共同暴露效應下，發展具本土實證基礎之健康危害警示空氣品質指標。

三、現階段成果與討論

暴露評估研究成果中，已完成建立 2006-2011 年北部空品區及臺灣全島區域之土地利用迴歸模式，並利用交叉驗證比較 Kring 及 LUR 之推估成果，結果發現當測站數目不足或需要較細部的污染物空

間分布變異資訊時，LUR 的推估結果將較準確。目前正進行臺灣中南部 LUR 之建立，在 10-fold 交叉驗證中，各模式所推估出來的 R^2 介於 0.65-0.73 之間，顯示推估結果具有穩定性與準確性。在實際個人 $PM_{2.5}$ 暴露結果，各地區老年族群平均 $PM_{2.5}$ 的暴露濃度以花蓮最低($13.9\mu g/m^3$)，高雄與嘉義最高($20.5-25.3\mu g/m^3$)；而當室外濃度高時，適當關閉門窗能有效降低室內場所 $PM_{2.5}$ 約 20%；有燒香習慣的住家應適時開啟門窗，在烹煮或是燒開水時應開啟抽油煙機，以增加通風與減少暴露於 $PM_{2.5}$ 機會。另，相較於空品測站 $PM_{2.5}$ 濃度，各微環境在室內場所的 $PM_{2.5}$ 濃度以「寺廟」、「餐廳」及「其他室內場所（車站、停車場等）」有潛在的 $PM_{2.5}$ 來源；而室外場所則是以「傳統市場」及「流動夜市」有較高的 $PM_{2.5}$ 濃度；通勤族群以「公車」、「走路」及「騎乘機車」會暴露到較高的濃度；不同餐廳類型以「中式快炒餐廳」、「韓式燒烤餐廳」、「早餐店」、「鐵板燒餐廳」及「牛排館」 $PM_{2.5}$ 濃度較高。此資訊未來可應用於個人 $PM_{2.5}$ 的防範上，使民眾瞭解不同微環境 $PM_{2.5}$ 濃度的高低，並可建議民眾降低於高濃度環境所處時間，以達自我防護的效果。

健康效應成果部分， $PM_{2.5}$ 濃度相較基準值 $0-15\mu g/m^3$ ，在濃度 $>15\mu g/m^3$ 時，每增加 $10\mu g/m^3$ 之暴露全疾病死亡、心血管疾病死亡、全疾病急診的風險分別顯著增加 0.5%、1.4% 及 0.5%；濃度 $>25\mu g/m^3$ 時，呼吸道疾病急診的風險亦顯著增加 2.5%。在前瞻性老人世代追蹤結果，初步發現 $PM_{2.5}$ 每增加 $10\mu g/m^3$ 會顯著增加收縮壓 3.8 mmHg 與心跳 2.4 beat/min（相當於老化 4.5 歲所造成的血壓變化）；下降用力吐氣肺活量約 4.3% 與第一秒吐氣量 2.5%（相當於老化 2.7 歲所造成的肺活量變化）；下降全身肌肉量 12.1%，增加全身脂肪量 21.0%，及下降空間短期記憶力 2.9%（相當於 IQ 降低 2 分）。未來結合各地區 $PM_{2.5}$ 污染源鑑定資料後，可研擬因地制宜具健康實證研究之污染源管控策略，供政策參採。

新式品質空氣指標成果，共完成 1,260 種濃度反應方程式建立以及 324 項統合分析，並建構二情境的 AQHI 指標值，分別為「情境一：不分區不分季節」以及「情境二：不分區分冷暖二季」，結果發現指標污染物貢獻在情境一為 $O_3 > PM_{2.5} > NO_2$ ，在情境二的冷季為 $PM_{2.5} > NO_2 > O_3 > SO_2 > CO$ ，暖季為 $PM_{2.5} > SO_2 > O_3 > CO$ ，二情境對死亡解釋力分別為 39% 及 24%，皆高於現行指標 AQI 僅有 3% 的解釋力。

四、結論

- （一）、在現行標準 $PM_{2.5}$ 每日 $35\mu g/m^3$ 之下，死亡及急診率仍會受到 $PM_{2.5}$ 之影響，表示此標準仍有下降之空間。
- （二）、當戶外空氣不良時，適當關閉門窗可減少個人 $PM_{2.5}$ 暴露量約 20%。
- （三）、完成建構具本土實證基礎之健康危害警示的 AQHI，基於 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 、 O_3 、 SO_2 、 CO 共同考量，其模式對健康之解釋力較現行 AQI 為高。但對於其他敏感族群及其疾病之影響仍須進一步分析。

環境害蟲綜合防治計畫

臺灣重要環境害蟲對殺蟲劑及市售環境用藥之感受性研究

白秀華¹ 林楷宸¹ 葉雅琪¹ 徐爾烈²

¹ 國立高雄大學運動健康與休閒學系

² 國立臺灣大學

摘要

本研究依據環境保護政策目標及工作要項，因應社會發展之需要，偵測居家環境害蟲之抗藥性，健全綜合防治體系，避免不當用藥造成環境及人體的危害，進行臺灣重要環境害蟲對殺蟲劑及市售環境用藥之感受性研究，以 104 年建立之殺蟲劑鑑識劑量（濃度）(discrimination dose or diagnostic dose) 進行感藥性之研究，結果蟑螂之感藥性檢測，顯示岡山區品系德國蟑螂同時對百滅寧及第滅寧呈現抗藥性，表示有交互抗性。高雄地區 3 個野外品系（岡山區、大社區及鳳山區）普通家蠅對賽滅寧、百滅寧及第滅寧除蟲菊酯類殺蟲劑，同時呈現抗藥性，表示有交互抗性；大頭金蠅大社區品系對陶斯松呈現抗藥性。

由藥效試驗結果得知，抽測市售環境用藥 8 種乳劑及 4 種高壓噴霧劑，對德國蟑螂及美洲蟑螂測試結果，符合環保署環境用藥藥效檢測審查基準。市售 5 種液劑、3 種油劑及 2 種高壓噴霧劑，對普通家蠅、大頭金蠅及果蠅進行藥效檢測，結果亦符合環保署環境用藥藥效檢測蠅類審查基準。市售 5 種液劑及 2 種高壓噴霧劑對臭蟲之藥效檢測，殘效防治在第 3 天、第 5 天及第 7 天 24 小時死亡率均未達 70% 殘效防治基準（殘效防治 24 小時致死率大於 70%），未符合殘效防治基準。

綜合以上，建立環境害蟲各品系之感藥性資料，提供病媒防治業者、環境用藥製造業者、環保單位及民眾作為環境用藥製造或選用之科學參考依據。

關鍵字：殺蟲劑、鑑識劑量（濃度）、抗藥性、生物檢定、交互抗性、環境衛生害蟲

一、前言及研究目的

臺灣住家中最常見的蟑螂種類，根據過去多位學者研究有 7 種：德國蟑螂(*Blattella germanica*)、美洲蟑螂(*Periplaneta americana*)、澳洲蟑螂(*Periplaneta australasiae*)、棕色蟑螂(*Periplaneta brunnea*)、花斑蟑螂(*Neostylopyga rhombifolia*)、灰色蟑螂(*Nauphoeta cinerea*)及潛伏蟑螂(*Pycnoscelus surinamensis*)等 [1]，以前面四種較常見 [2-4]。有機合成殺蟲劑大量商品化之後，由於初期之防治效果卓越，人們依賴日深，尤其殘效期較長之有機氯殺蟲劑如 DDT、 γ -BHC、可氣丹等廣為使用。但隨即因抗藥性之日益嚴重及造成環境污染，取而代之的有機磷殺蟲劑倍受青睞，如二氯松、撲滅松、大利松、亞特松及陶斯松等，氨基甲酸鹽殺蟲劑如安丹(propoxur)、免敵克(Bendiocarb)等，但於我們過去研究得知無論是醫院中之蟑螂或居家中之蟑螂均已呈現抗藥性 [5]，另有殘毒性及環境污染等原因，在蟑螂的防治作業上倍受困擾。

臺灣常見蠅類進行調查，主要以普通家蠅、果蠅及大頭金蠅為研究對象。學者曾研究臺灣普通家蠅之抗藥性，發現許多地區之普通家蠅都對有機磷及氨基甲酸鹽發生抗藥性 [6-10]；成蠅之防治在臺灣 [9-10] 及國外 [11-13] 皆有許多研究資料，但隨用藥選擇之改變，蠅類對藥劑感受性亦因而有變化，必須適時再偵測，才能正確推薦防治藥劑，而防治滅蠅時之用藥，亦必須謹慎評估。1956 年在旗山、東港附近發現普通家蠅對 DDT 有耐受性 [14]。劉肅壅 [15] 指出普通家蠅對 DDT 產生約 30 倍的抗藥性；林口晃史 [16] 調查臺北等地蒼蠅對馬拉松產生抗藥性。饒連財、徐爾烈 [7-8,17,18] 報告普通家蠅對加保利、馬拉松產生強烈抗藥性。高慧蓮 [19] 研究指出，臺中地區蒼蠅對拜耳具極高的抗藥性；陳錦生、張森和 [14] 饒連財 [6]、徐爾烈 [18] 等學者曾報導臺中、臺南地區之普通家蠅對馬拉松及安丹具相當高之抗藥性；陳錦生、張森和 [14] 報告垃圾場蒼蠅對安丹、馬拉松抗藥性達三百倍以上、大利松在 24~36 倍之間、亞特松在 10 倍、撲滅松抗藥性自 4~73 倍不等，而合成除蟲菊精則尚無抗藥性，顯示仍有良好之感藥性。

大頭金蠅為大型蠅類，體長 9-10mm，複眼鮮紅色，體色藍綠色，日行性，會訪花，喜歡吮食

動物排遺、腐果或腐食動物屍體，容易成為病菌的傳媒，但一般甚少侵室內，除重災區外很少進行大規模防治。Mihara and Kurahashi [20] 在牙雅加達、香港、馬尼拉及東京的調查，大頭金蠅對撲滅松、大利松、二氯松、 γ -HCH, 及百滅寧有不同的感受性；一般來說荒野的種類較都市的品系有 5-6 倍的感受性；而蠅類對殺蟲劑的敏感性或抗藥性高低判定乃依 Keiding(1986) 之研究 [21]。

利用果蠅作為基因科學的研究非常多，亦有研究抗藥性基因 [22]，但研究以殺蟲劑防治果蠅的文獻非常少，也許果蠅對殺蟲劑太敏感，任何殺蟲劑都有效，所以很少學者研究此議題，為使之推薦防治用藥有所依據 [23]，果蠅對殺蟲劑感受性的研究仍有進行之必要。

臭蟲是半翅目昆蟲、床蝨科(Cimicidae)，與人類生活相關的臭蟲有二種即溫帶臭蟲(*Cimex lectularius*)和熱帶臭蟲(*C. hemipterus*)，目前肆虐臺灣的以溫帶臭蟲為主。臭蟲曾經在 1940 年代早期開始在已開發國家間蔓延，1952 年臺灣在防瘧計畫開始前即發現臭蟲在臺灣廣泛分佈，1953 年在臺東的調查 322 受檢戶有 112 戶有臭蟲，發現臭蟲對 DDT 有抗藥性 [24]。2014 年本研究調查病媒防治業者，結果顯示臭蟲已在多處發生如臺北市、新北市、新竹市、臺中市、高雄市等處，曾現場檢測確認是溫帶臭蟲危害。

本研究依據環境保護政策目標及工作要項，因應社會發展之需要，偵測居家環境害蟲之抗藥性，健全綜合防治體系，避免不當用藥造成環境及人體的危害，進行臺灣重要環境害蟲對殺蟲劑及市售環境用藥之感受性研究。

二、研究方法

(一) 建立供試昆蟲族群

1. 昆蟲品系建立：感藥性及交互抗性調查：蟑螂（德國蟑螂及美洲蟑螂），以 104 年感藥性試驗結果抗藥性比最高品系（南部品系 B），進行 5 個地點取樣，取樣點為高雄地區（南部品系 B）的東、西、南、北邊及中間地區均勻取樣，定期採集，進行感藥性試驗。蠅類（普通家蠅、大頭金蠅及果蠅），以 104 年感藥性試驗抗藥性比最高品系（南部品系 A），進行地點取樣，取樣點為高雄市岡山區、鳳山區及大社區，定期採集，以進行感藥性試驗。臭蟲，進行臺灣 3 個地點採樣，取樣點為高雄市梓官區、鳳山區及臺南市北區，定期採集，以進行感藥性試驗。

抽測市售環境用藥之藥效測試，以 2014 年建立之德國蟑螂及美洲蟑螂各 5 品系族群（北部品系 A、北部品系 B、中部品系 A、南部品系 A 及南部品系 B）；普通家蠅 5 品系族群（北部品系 A、中部品系 A、南部品系 A、南部品系 B 及東部品系 A）；大頭金蠅 6 品系族群（北部品系 A、北部品系 B、中部品系 A、南部品系 A、東部品系 A 及東部品系 B）；果蠅 6 品系族群（北部品系 A、北部品系 B、中部品系 A、南部品系 A、南部品系 B 及東部品系 A）及溫帶臭蟲 3 品系族群（漁船 A 品系、漁船 B 品系、漁船 C 品系），持續飼養繁殖以進行後續相關試驗，實驗時以感性品系及 104 年研究結果顯示最高抗藥性品系為供試昆蟲

2. 昆蟲飼養：

- (1) 蟑螂飼養方法：飼養室以自動溫度、光照控制，維持 12 小時光照及 12 小時黑暗，溫度 $27 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對濕度 $50 \pm 10\%$ ，飼養箱上緣塗抹十公分寬之凡士林防止蟑螂逃逸，凡逃出箱外之蟑螂一律殺死不回收，感性品系與野外品系之蟑螂分室飼養，避免污染，蟑螂成、若蟲食物只提供足量狗飼料（福壽實業股份有限公司）及去離子水。
- (2) 蠅類飼養方法：普通家蠅及大頭金蠅飼養室以自動溫度、光照控制，維持 12 小時光照及 12 小時黑暗，溫度 $27 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對濕度 $60 \pm 10\%$ 。成蠅飼養於昆蟲飼養箱中（ $30\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ ，BugDorm 公司製造），凡逃出箱外之蠅類一律殺死不回收，感性品系與野外品系之蠅類分室飼養，避免污染。成蠅食物供以奶粉、魚粉及糖。果蠅於培養箱內飼養，並於恆溫箱內培育，維持 12 小時光照及 12 小時黑暗，溫度 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相對濕度 $60 \pm 10\%$ ，幼蟲飼料配方如下：

A. 普通家蠅：幼蟲培養基使用鼠飼料（福壽實業股份有限公司）及熱水以 1:1 之比例置入燒杯（飼養罐）靜置並攪拌均勻做成培養基。卵之收集：飼育過幼蟲的舊培養基上方放置黑濕布供蠅產卵。幼蟲飼養：卵放入新的培養基罐中，當幼蟲老熟時於培養基上層鋪上木屑（約 1 cm 厚）。蛹期：幼蟲大多數化蛹後，將蛹篩出放入培養皿中，置入新蠅籠。成蠅飼養：蛹約 5-7 日後羽化成蠅，蛹羽化成蠅後，放置砂糖與奶粉及盛有 10% 糖水之水瓶，供成蠅取食。

B. 大頭金蠅：幼蟲培養基：使用大豆粉加水(1:1)煮沸再加魚粉(9:1)攪拌即可為大頭金蠅之幼蟲飼料。卵之收集：飼育過幼蟲的舊培養基上方鋪黑濕布供蠅產卵。幼蟲飼養：卵放入新的培養基罐中，當幼蟲老熟時於培養基上層鋪上木屑(約 1 cm 厚)。蛹期：幼蟲大多數化蛹後，將蛹篩出放入培養皿中，置入新蠅籠。成蠅飼養：蛹約 5-7 日後羽化成蠅，蛹羽化成蠅後，放置豬肝、砂糖與奶粉及盛有 10% 糖水之水瓶，供成蠅取食。

C. 果蠅：飼料配製：將洋菜粉 10 g 與逆滲透水 300 ml，使用加熱器煮熟至透明。將玉米粉 50 g、酵母粉 15 g、紅糖 20 g 溶於 300 ml 冷水，持續攪拌並放入透明之洋菜粉與水混合液中，利用玻棒持續攪拌至完全溶解。沸騰後待冷卻至 80 °C，置入 1 ml 丙酸以製成培養基。幼蟲飼養：將培養基倒入玻璃罐或玻璃管中，冷卻後可供幼蟲生長及果蠅產卵取食。

(3) 臭蟲飼養方法：臭蟲族群建立之試驗室條件，室溫(25±2°C)，臭蟲養於透明有蓋之塑膠盒內(長 20cm 寬 10cm 高 11cm)，內鋪濾紙，塑膠盒邊緣塗有 Fluon 防止脫逃，臭蟲會在濾紙上產卵，將固定於鐵籠內之小白鼠放入飼養盒內供臭蟲吸血，每次供血半小時至一小時，含臭蟲卵之濾紙依產期分別飼養即可得較一致之臭蟲齡期，為維持臭蟲抗性，將持續採集野外品系之臭蟲混入，以避免影響臭蟲之感受性。

(二) 殺蟲劑感受性測定

1. 感藥性及交互抗性調查：

(1) 檢測藥劑：以常用的除蟲菊酯類及有機磷類殺蟲劑為選擇。除蟲菊酯類(賽滅寧、百滅寧及第滅寧)；有機磷類(陶斯松及撲滅松)，環保署已登記之 5 種藥劑，除蟲菊酯類：賽滅寧(原體 92%，昆言公司)、百滅寧(原體 92%，昆言公司)及第滅寧(原體 98%，昆言公司)及有機磷類：陶斯松(原體 98%，薇蘭登公司)及撲滅松(原體 95%，澄朗興業公司)。

(2) 試驗設備：局部滴定器 KM No232 (Kiya Seisakusho,LTD)及滴定針 Type MSN-100 (TERUMO MICRO SYRINGE)。

(3) 供試藥劑之稀釋：以 104 年已建立之鑑識劑量(濃度)測試。

(4) 檢測方法：取適量殺蟲劑以丙酮稀釋成 1% 為母液，再以試驗需求配製為鑑識劑量(濃度)。

A. 蟑螂試驗步驟：蟑螂以二氧化碳麻醉，以微量注射器將藥液，以局部滴定法(topical application)滴於蟑螂腹部腹面的第 1-2 腹節，每隻供試雄性成蟲以滴 2 ul 藥劑，每次試驗 10 隻雄性蟑螂，處理後置於壁上塗有 fluon 高度 15 公分的壓克力桶中觀察，並供給食物及 10% 糖水，24 小時後並記錄蟑螂死亡隻數，每供試昆蟲進行三重複生物檢定試驗 [25]。

B. 普通家蠅及大頭金蠅試驗步驟：普通家蠅以二氧化碳麻醉，以微量注射器將藥液，以局部滴定法，滴於普通家蠅胸背板上，每隻供試雌性成蟲以滴 1 ul 藥劑，每次試驗 20 隻雌性成蟲，處理後置於高度 10 公分的塑膠桶中，兩端以紗網封住，於上方放置 10% 糖水棉花，觀察 24 小時後並記錄普通家蠅死亡隻數，每供試昆蟲進行三重複生物檢定試驗 [26]。

C. 果蠅試驗步驟：用微量吸管取 100 ul 藥劑至乾淨的 20 ml 玻璃瓶中，於滾動裝置上滾動，使藥膜均勻沾附於瓶壁，待藥劑乾後即可旋緊蓋子作為藥膜瓶備用。果蠅以二氧化碳麻醉，旋開蓋子，放入 20 隻成蟲至已處理的藥膜瓶中，用紗布及橡皮筋將開口封緊觀察，並供給 10% 糖水，24 小時後並記錄死亡隻數，每供試昆蟲進行三重複生物檢定試驗 [26]。

D. 臭蟲試驗步驟：用微量吸管取 100 ul 藥劑至乾淨的 20 ml 玻璃瓶中，於滾動裝置上滾動，使藥膜均勻沾附於瓶壁，待藥劑乾後即可旋緊蓋子作為藥膜瓶備用。臭蟲以二氧化碳麻醉，旋開蓋子，放入 20 隻成蟲至已處理的藥膜瓶中，用紗布及橡皮筋將開口封緊觀察，並供給 10% 糖水，24 小時後並記錄死亡隻數，每供試昆蟲進行三重複生物檢定試驗 [26]。

5. 資料分析：

(1) 抗藥性判定：以 104 年建立之鑑識劑量(濃度)進行感藥性試驗，死亡率為 98% - 100% 為無抗藥性；死亡率 90% - 97% 為可能有抗藥性；死亡率低於 90% 為發生抗藥性 (W.H.O, 2013) [27]。

(2) 交互抗藥性調查：具對某種殺蟲劑有抗藥性之昆蟲，對其他殺蟲劑也發生抗藥性。

交互抗性：例如德國蟑螂對於除蟲菊脂類(賽滅寧、百滅寧及第滅寧)的殺蟲劑進行感藥性試驗，只對賽滅寧有抗藥性，表示無交互抗藥性；若對賽滅寧及百滅寧皆有抗藥性，表示有交互抗藥性。

(三) 抽測市售環境用藥之藥效測試:

1. 檢測藥劑：抽測市售環境用藥（含單一或複方有效成分：除蟲菊脂類、有機磷類、氨基甲酸鹽類、芬普尼及益達胺等）之藥效測試，蟑螂各品系藥效測試之藥劑包括 8 種乳劑及 4 種高壓噴霧劑；蠅類各品系藥效測試之藥劑包括 5 種液劑、3 種油劑、2 種高壓噴霧劑；臭蟲藥效測試之藥劑包括 5 種液劑及 2 種高壓噴霧劑。
2. 檢測方法：依環檢所公告之環境衛生用藥藥效檢測規範檢測。
3. 檢測結果判定：依環檢所公告環境用藥許可證申請核發作業準則。

三、結果與討論

(一) 結果

1. 感藥性及交互抗性調查

以鑑識劑量進行高雄地區傳統市場 5 個野外品系（大寮區、小港區、鼓山區、岡山區及三民區品系）蟑螂之感藥性檢測，結果顯示高雄地區 5 個野外品系德國蟑螂（小港區及岡山區品系）及美洲蟑螂（大寮區及三民區品系）對百滅寧有呈現抗藥性；德國蟑螂（岡山區品系）及美洲蟑螂（鼓山區品系）對第滅寧有呈現抗藥性。岡山區品系德國蟑螂同時對百滅寧及第滅寧除蟲菊酯類殺蟲劑呈現抗藥性，表示有交互抗性（表 1）。

表 1 以 104 年建立 5 種殺蟲劑抗藥性鑑識劑量對蟑螂感藥性試驗結果

供試昆蟲 品系族群	賽滅寧	百滅寧	第滅寧	陶斯松	撲滅松
德國蟑螂					
感性	-	-	-	-	-
大寮區（東邊）	-	-	-	-	-
鼓山區（西邊）	-	+	-	-	-
小港區（南邊）	-	+	-	-	-
岡山區（北邊） ^{CR}	-	+	+	-	-
三民區（中間）	-	-	-	-	-
美洲蟑螂					
感性	-	-	-	-	-
大寮區（東邊）	-	+	±	-	-
鼓山區（西邊）	-	-	+	-	-
小港區（南邊）	-	-	-	-	-
岡山區（北邊）	-	-	-	-	-
三民區（中間）	-	+	-	-	-

註 1：抗藥性判定：依據(W.H.O, 2013)見識劑量分析判定

-：24 小時死亡率為 98-100%，表示無抗藥性；±：24 小時死亡率為 90-97%，表示可能有抗藥性。

+: 24 小時死亡率低於 90%，表示有抗藥性。

CR：(Cross Resistant)，表示有交互抗性。

以鑑識劑量（濃度）進行高雄地區 3 個野外品系（岡山區、鳳山區及大社區）之感藥性檢測，結果顯示高雄地區 3 個野外品系普通家蠅對賽滅寧、百滅寧及第滅寧皆有呈現抗藥性；大頭金蠅大社區品系對陶斯松有呈現抗藥性；高雄地區 3 個野外品系果蠅，皆未呈現抗藥性。普通家蠅中岡山區、鳳山區及大社區對賽滅寧、百滅寧及第滅寧除蟲菊酯類殺蟲劑，同時呈現抗藥性，表示有交互抗性（表 2）。

表 2 以 104 年建立 5 種殺蟲劑抗藥性鑑識劑量（濃度）對蠅類感藥性試驗結果

供試昆蟲 品系族群	賽滅寧	百滅寧	第滅寧	陶斯松	撲滅松
普通家蠅					
感性	-	-	-	-	-
岡山區 ^{CR}	+	+	+	-	±
鳳山區 ^{CR}	+	+	+	-	±
大社區 ^{CR}	+	+	+	-	-
大頭金蠅					
感性	-	-	-	-	-
岡山區	-	-	-	-	-
鳳山區	-	±	-	±	-
大社區	-	-	-	+	-
果蠅					
感性	-	-	-	-	-
岡山區	-	-	-	-	-
鳳山區	-	-	-	-	-
大社區	-	-	-	-	-

註 1：抗藥性判定：依據(W.H.O,2013)鑑識劑量分析判定

-：24 小時死亡率為 98-100%，表示無抗藥性；±：24 小時死亡率為 90-97%，表示可能有抗藥性；

+：24 小時死亡率低於 90%，表示有抗藥性。

CR：(Cross Resistant)，表示有交互抗性。

以 104 年建立之抗藥性鑑識濃度，進行臺灣地區 3 個野外品系（高雄市梓官區、高雄市鳳山區及臺南市北區）臭蟲，皆未呈現抗藥性（表 3）。

表 3 以 104 年建立 5 種殺蟲劑抗藥性鑑識濃度對臭蟲感藥性試驗結果

供試昆蟲 品系族群	賽滅寧	百滅寧	第滅寧	陶斯松	撲滅松
--------------	-----	-----	-----	-----	-----

感性	-	-	-	-	-
高雄市梓官區	-	-	-	-	-
高雄市鳳山區	-	-	-	-	-
臺南市北區	-	-	-	-	-

註 1：抗藥性判定：依據(W.H.O, 2013) 鑑識劑量分析判定：24 小時死亡率為 98-100%，表示無抗藥性

2. 抽測市售環境用藥之藥效測試

藥效試驗結果得知，抽測市售環境用藥 8 種乳劑：賽飛寧 5.1% 乳劑、陶斯松 40.8% 乳劑、亞特松 25% 乳劑、撲滅松 30% 乳劑、第滅寧 2.8% 乳劑、(異治滅寧 0.75%、賽酚寧 5.5%、協力精 8%) 乳劑、安丹 20% 乳劑、益達胺 10.6% 乳劑 及 4 種高壓噴霧劑：(賽滅寧 0.09%、依普寧 0.10%、鄰-苯基苯酚 0.15%) 高壓噴霧劑、(賽滅寧 0.3%、治滅寧 0.5%) 高壓噴霧劑、(治滅寧 0.30%、第滅寧 0.10%) 高壓噴霧劑、(異治滅寧 0.243%、酚丁滅寧 0.135%) 高壓噴霧劑，使用殘效法對德國蟑螂及美洲蟑螂，24 小時死亡率皆達 100%，在第 7 天及第 14 天 24 小時死亡率皆大於 70%，符合環保署環境用藥藥效檢測審查基準（殘效防治 24 小時致死率大於 70%）。

普通家蠅、大頭金蠅及果蠅對抽市售 5 種液劑藥效試驗結果，普通家蠅對市售液劑 A、B、C，皆大於 KT_{50} 8 分鐘（ KT_{50} 小於 8 分鐘，具擊昏效果），5 種液劑 24 小時之死亡率皆為 100%；大頭金蠅對市售液劑 B（含第滅寧 2.5%）半數擊昏時間為 5.79 分，具擊昏效果，5 種液劑 24 小時死亡率皆為 100%；果蠅對市售液劑 A（含陶斯松 0.56%）半數擊昏時間為 7.16 分，具擊昏效果，5 種液劑 24 小時之死亡率皆為 100%。抽測市售 3 種油劑對普通家蠅、大頭金蠅及果蠅藥效試驗結果，半數擊昏率皆小於 8 分鐘，具擊昏效果，及 24 小時死亡率皆為 100%具防治效果。在市售油劑結果發現，有添加協力精市售油劑的 KT_{50} ，相較於無添加協力精市售油劑的 KT_{50} ，擊昏時間更短，更具擊昏效果。抽測市售 2 種高壓噴霧劑對普通家蠅、大頭金蠅及果蠅藥效試驗結果，半數擊昏率皆具擊昏效果，24 小時之死亡率皆為 100%，皆達防治基準。

臭蟲對測市售 5 種液劑藥效試驗結果，市售液劑 A、B、C、D、E 對臭蟲 24 小時之死亡率皆為 100%，在殘效防治試驗第 3 天死亡率分別為 60.0%、66.7%、30.0%、46.7% 及 43.3%，皆未達殘效防治基準（殘效防治 24 小時致死率為大於 70%）。抽測市售 2 種高壓噴霧劑中，市售高壓噴霧劑 A（含治滅寧 0.3%及第滅寧 0.1%）對臭蟲 24 小時死亡率為 100%，第 3 天後未達殘效防治基準；市售高壓噴霧劑 B（含賽滅寧 0.3%及治滅寧 0.5%）對臭蟲 24 小時死亡率為 100%，在殘效試驗第 7 天內，皆達殘效防治基準。（表 4 和表 5）。

表 4 臭蟲對抽測 5 種市售液劑之藥效試驗

藥劑成分 藥劑濃度	品系	24 小時死亡率 (%)			
		第 1 天	第 3 天	第 5 天	第 7 天
陶斯松 0.56%	感性品系	100.0±0.0	73.3±5.8	30.0±10.0	0.0±0.0
	漁船 A 品系 ^a	100.0±0.0	60.0±10.0	13.3±5.8	0.0±0.0
第滅寧 2.5%	感性品系	100.0±0.0	73.3±5.8	33.3±5.8	10.0±10.0
	漁船 A 品系 ^b	100.0±0.0	66.7±5.8	30.0±0.0	3.3±5.8
亞特松 12.5%	感性品系	100.0±0.0	46.7±5.8	13.3±5.8	3.3±5.8
	漁船 A 品系 ^c	100.0±0.0	30.0±10.0	10.0±10.0	0.0±0.0
賽滅寧 2.8%	感性品系	100.0±0.0	56.7±5.8	10.0±10.0	0.0±0.0
	漁船 A 品系 ^d	100.0±0.0	46.7±5.8	3.3±5.8	0.0±0.0
益達胺 0.5%	感性品系	100.0±0.0	56.7±15.3	23.3±5.8	6.7±5.8
	漁船 A 品系 ^e	100.0±0.0	43.3±15.3	6.7±5.8	0.0±0.0

註 1：依 104 年殺蟲劑感藥性試驗，a 陶斯松 RR：22.00；b 第滅寧 RR：8.29；c 亞特松 RR：27.33；d 賽滅寧 RR：30.48；

e 益達胺 RR：46.49。

註 2：實驗稀釋倍數（安定 0.56%液劑為原液、安息樂為 5 倍、艾克特 12.5%液劑為 50 倍、總來 2.8%液劑 100 倍及立誘蚊為原液）；實驗劑量皆為 0.32 ml。

註 3：依環保署環境衛生用藥藥效檢測審查基準：殘效防治 24 小時致死率>70%。

表 5 臭蟲對抽測 2 種市售高壓噴霧劑之藥效試驗

藥劑成分 藥劑濃度	品系	24 小時死亡率 (%)			
		第 1 天	第 3 天	第 5 天	第 7 天
治滅寧 0.30%	感性品系	100.0±0.0	56.7±11.5	6.7±5.8	0.0±0.0
第滅寧 0.10%	漁船 A 品系 ^a	100.0±0.0	30.0±10.0	0.0±0.0	0.0±0.0
賽滅寧 0.30%	感性品系	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0
治滅寧 0.50%	漁船 A 品系 ^b	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0

註 1：依 104 年殺蟲劑感藥性試驗結果，^a治滅寧 RR：47.50、第滅寧 RR：4.07；

^b賽滅寧 RR：30.48、治滅寧 RR：47.50。

註 2：實驗稀釋倍數皆為原液；實驗劑量皆為 0.32 ml。

註 3：依環保署環境衛生用藥藥效檢測審查基準：殘效防治 24 小時致死率>70%。

（二）討論

高雄市地區德國蟑螂 5 個野外品系（大寮區、鼓山區、小港區、岡山區及三民區）對 104 年建立殺蟲劑之抗藥性鑑識劑量，進行感藥性試驗之結果得知，百滅寧對高雄市地區德國蟑螂（小港區及岡山區）有呈現抗藥性，第滅寧對高雄市地區德國蟑螂（岡山區）有呈現抗藥性，岡山區品系德國蟑螂同時對百滅寧及第滅寧除蟲菊脂類殺蟲劑，皆有抗藥性，表示有交互抗藥性。陶斯松及撲滅松對高雄市地區德國蟑螂 5 個野外品系，未呈現抗藥性。Pai et al. (2005) 研究指出在高雄家戶內所採集的德國蟑螂對賽滅寧的抗藥性係數範圍為 2.80-27.35 倍[28]。Pai et al. (2005) 在高雄地區家戶內所採集的德國蟑螂對陶斯松產生抗藥性比最高為 17.72 倍[28]。顯示因不同年代及採集的地區品系不同，各地區殺蟲劑用藥不同，德國蟑螂對殺蟲劑之感藥性亦呈現不同結果。

高雄市地區普通家蠅 3 個野外品系（岡山區、鳳山區及大社區）以殺蟲劑之抗藥性鑑識劑量，進行感藥性試驗之結果，賽滅寧、百滅寧及第滅寧對 3 個野外品系，皆呈現抗藥性，表示

同時呈現交互抗性；陶斯松及撲滅松對 3 個野外品系，未呈現抗藥性。Acevedo et al (2009) 在阿根廷的研究，對百滅寧在不同地區的抗性比(RR)分別是 94.38 倍、117.34 倍及 65.52 倍為高度抗藥性[29]。李 (2006) 指出高雄品系普通家蠅對第滅寧抗藥性為 773 倍，顯示普通家蠅抗藥性之呈現[30]，至今仍是需關切之問題。

高雄市地區大頭金蠅 3 個野外品系（岡山區、鳳山區及大社區）以殺蟲劑之抗藥性鑑識劑量，進行感藥性試驗之結果，賽滅寧、百滅寧、第滅寧及陶斯松對高雄市地區 3 個野外品系，皆未呈現抗藥性；撲滅松對大社區品系，呈現抗藥性。劉等人(2013)的研究顯示中國深圳地區大頭金蠅對第滅寧、百滅寧及治滅寧的抗性系數分別為 4.05 倍、1.86 倍及 2.42 倍，皆為低抗藥性[31]，與本研究結果相似。

高雄市地區果蠅 3 個野外品系（岡山區、鳳山區及大社區）以殺蟲劑之抗藥性鑑識濃度，進行感藥性試驗之結果，5 種殺蟲劑賽滅寧、百滅寧、第滅寧、陶斯松及撲滅松對高雄市地區 3 個野外品系，皆未呈現抗藥性。但與 104 年本研究結果，高雄市（南部品系 B）果蠅對殺蟲劑之感藥性試驗，抗藥性比(RR)賽滅寧 57.91 倍、百滅寧 14.05 倍、第滅寧 25.50 倍、陶斯松 19.33 倍及撲滅松 13.43 倍，為中抗藥性程度略不同，因採集的地區不同，用藥習慣不同，對殺蟲劑之感藥性亦呈現不同結果。

臺灣地區臭蟲 3 個野外品系（高雄市梓官區、高雄市鳳山區及臺南市北區）以殺蟲劑之抗藥性鑑識濃度，進行感藥性試驗之結果，5 種殺蟲劑賽滅寧、百滅寧、第滅寧、陶斯松及撲滅松對臺灣地區 3 個野外品系，皆未呈現抗藥性。但與 104 年高雄市梓官區蚵仔寮漁港（漁船 A 品系）對殺蟲劑之感藥性試驗，與抗藥性比(RR)百滅寧 1.68 倍、陶斯松 4.07 倍及撲滅松 1.67 倍，皆為低抗藥性程度相似。

德國蟑螂及美洲蟑螂對測市售 8 種乳劑藥效試驗，皆達到殘效防治基準（殘效防治 24 小時致死率大於 70%）。

市售 5 種液劑：賽滅寧 2.8% 液劑、亞特松 12.5% 液劑、益達胺 0.5% 液劑、陶斯松 0.56% 液劑、第滅寧 2.5% 液劑；3 種油劑：賽酚寧 0.5% 油劑、百滅寧 0.5% 油劑、（百滅寧 0.3%、協力精 0.9%）油劑及 2 種高壓噴霧劑：（治滅寧 0.3%、第滅寧 0.1%）2 種高壓噴霧劑、（賽滅寧 0.3%、治滅寧 0.5%）。2 種高壓噴霧劑，對普通家蠅、大頭金蠅及果蠅 24 小時死亡率皆達 100%，其 3 種油劑及 2 種高壓噴霧劑 KT_{50} 皆小於 8 分鐘，符合環保署環境用藥藥效檢測蠅類審查基準（ KT_{50} 小於 8 分鐘，具有擊昏效果，24 小時致死率大於 80%）。

市售 5 種液劑：賽滅寧 2.8% 液劑、亞特松 12.5% 液劑、益達胺 0.5% 液劑、陶斯松 0.56% 液劑、第滅寧 2.5% 液劑及 2 種高壓噴霧劑：（治滅寧 0.3%、第滅寧 0.1%）高壓噴霧劑、（賽滅寧 0.3%、治滅寧 0.5%）高壓噴霧劑，對臭蟲 24 小時死亡率皆達 100%，但 5 種液劑及 1 種高壓噴霧劑，殘效防治在第 3 天、第 5 天及第 7 天 24 小時死亡率未達 70%殘效防治基準

環境害蟲（蟑螂、蠅類及臭蟲）等，以諸多殺蟲劑實施化學防治，固可收致速效，但殺蟲劑不當使用，會衍生產生抗藥性問題，故近年來環境害蟲綜合管理 (Integrate Pest Management, IPM)，受到重視，目的在於結合數種治本及治標的方法，視害蟲種類其生態、環境等，做最合理的選用與配合（王，2004）。因此，殺蟲劑的效用延長需效益評估，除正確使用殺蟲劑化學防治外，加強環境衛生、髒亂整頓、預防措施（如：門窗加紗窗、排水孔加慮網、去除害蟲之食物、水及棲所等）、環境管理等，以期達到有效的綜合防治。

四、結論與建議

- （一）以 104 年建立之抗藥性鑑識劑量（濃度），進行蟑螂、蠅類及臭蟲感藥性試驗結果得知，德國蟑螂（小港區及岡山區品系）及美洲蟑螂（大寮區及三民區品系）對百滅寧有呈現抗藥性；德國蟑螂（岡山區品系）及美洲蟑螂（鼓山區品系）對第滅寧有呈現抗藥性。高雄市德國蟑螂（岡山區品系）對於除蟲菊脂類（百滅寧及第滅寧）的殺蟲劑進行感藥性試驗，有呈現交互抗藥性。普通家蠅對賽滅寧、百滅寧及第滅寧皆有呈現抗藥性。高雄市普通家蠅（岡山區、大社區及鳳山區品系）對於除蟲菊脂類（賽滅寧、百滅寧及第滅寧）也呈現交互抗性；大頭金蠅（大社區品系）對陶斯松有呈現抗藥性。因此，不同地區對於已呈現抗藥性之殺蟲劑應暫停使用，改使用其他不具交互抗藥性之殺蟲劑。
- （二）抽測市售環境用藥，由藥效試驗結果得知，蟑螂、蠅類及臭蟲對大多數市售環境用藥之藥效，皆符合環保署環境用藥藥效檢測審查基準，只有 5 種液劑及 1 種高壓噴霧劑對於殺臭蟲之藥效，

殘效防治在第 3 天、第 5 天及第 7 天 24 小時死亡率未達環保署環境用藥藥效檢測審查基準（>70%殘效防治基準）。因此，對臭蟲防治之環境用藥其有效成分及劑型，需更進一步研究開發。

（三）不同採樣地區之昆蟲，其種類不同之抗藥性呈現亦各異，在防治作業不理想時，可以參考本研究科學數據，選用其他殺蟲劑。

（四）綜合以上研究結果，對環境害蟲當採用化學防治時，應思考同時採用其他綜合防治法（如：環境衛生改善、物理防治等）。

參考文獻

- [1] 徐爾烈，「臺灣常見蟑螂的生態及防治，病媒管制研討會論文集」，臺灣省環境衛生協會，第 45-46 頁 (1990)。
- [2] 王正雄，「常見的幾種住家蟑螂」，環境衛生報導，第 117 期，第 14 頁 (1985)。
- [3] 賴振棋、王正雄、蕭東銘，「臺北市蟑螂生態及防治試驗報告」，臺北市政府衛生局 (1975)。
- [4] 魏登賢、李鐘祥、賴振棋、王正雄，「臺北市住家蟑螂研究報告」，臺北市政府衛生局 (1980)。
- [5] Fierobe, L., Lucet, J. C., Decré, D., Claudette, M. S., Deleuze, M., Joly-Guillou, M. L., and Mantz, J., "An outbreak of imipenem-resistant *Acinetobacter baumannii* in critically ill surgical patients," *Infect Control Hosp Epidemiol*, 22, 35-40 (2001).
- [6] 饒連財、許士蘭，「臺灣地區蒼蠅抗藥性之研究—有機磷及氨基甲酸鹽殺蟲劑對臺中市區蒼蠅之藥效研究」，臺灣環境衛生，第 12 期，第 57-64 頁 (1980)。
- [7] 饒連財，「臺灣地區衛生蠅類之發生環境及其防除法」，昆蟲生態與防治研討會講稿集，第 71-79 頁 (1978)。
- [8] 饒連財，「臺灣地區蒼蠅抗藥性之研究-有機磷及氨基甲酸鹽殺蟲劑對臺南市區蒼蠅之藥效研究」，臺灣環境衛生，第 13 期，第 76-82 頁 (1981)。
- [9] 饒連財，「臺灣地區蒼蠅抗藥性 III-有機磷及氨基甲酸鹽殺蟲劑對東部地區普通家蠅之藥效」，東海學報，第 26 期，第 725-731 頁 (1985a)。
- [10] 饒連財，「有機磷及氨基甲酸鹽殺蟲劑對臺灣地區普通家蠅之毒效」，環境保護，第 8 期，第 15-23 頁 (1985b)。
- [11] Chapman, P. A., Webb, D. P. and Walker, S. J., "The potential of some newer photostable pyrethroids to select for resistance in the housefly *Musca domestica* (Diptera: Muscidae)," *Bul Entomological Res.*, 52, 981-985 (1993).
- [12] W.H.O., "The housefly," *Training and information guide* (1987).
- [13] Renn N., "Mortality of immature houseflies (*Musca domestica*) in artificial diet and Chicken manure after exposure to encapsulated entomopathogenic nematodes (Rhabditida, Steinernematidae, Heterorhabditidae)," *Bio control Science. And Technology.*, 5, 349-359 (1995).
- [14] 陳錦生、張森和，「本省普通家蠅抗藥性之研究」，臺灣環境衛，第 18 期，第 2 卷，第 96-100 頁 (1986)。
- [15] 劉肅壅，「簡介臺灣常見之蠅類」，臺灣撲瘧，第 1 期，第 8 卷，第 6-13 頁 (1962)。
- [16] 林口晃史、井日出正美，「數種殺蟲劑對臺灣普通家蠅感受性」，防蟲科學，第 39 期，第 63-65 頁 (1974)。
- [17] 饒連財，「臺灣地區衛生蠅類之發生環境及其防除法」，昆蟲生態與防治研討會講稿集，第 71-79 頁 (1978)。
- [18] 徐爾烈，「蠅類的綜合防治」，第八屆病媒防治技術研討論文集，第 45-52 頁 (1996)。
- [19] 高慧蓮，「臺中地區家蠅對 propoxur 的抗藥性」，國立中興大學碩士論文 (1983)。
- [20] Mihara, M., and Kurahashi, H., "Base-line susceptibility of the oriental latrine fly, *Chrysomya megacephala* (Diptera: Calliphoridae), to five insecticides," *Medical and Veterinary Entomology.*, Wiley Online Library (1991).
- [21] Keiding, J., "The house fly - biology and control," *World Health Organization W.H.O. VBC*, 86, 937, 63 (1986).
- [22] Daborn, P. J., Yen, J. L., Bogwitz, M. R., Goff, G. L., Feil, E., Jeffers, S., Tijet, N., Perry, T., Heckel, D.,

- Batterham, P., Feyereisen R., Wilson, T. G. and ffrench-Constant, R. H., "A Single P450 Allele Associated with Insecticide Resistance in *Drosophila*," *Science*, 27, 297, 2253-2256 (2002).
- [23] Brogdon, W. G. and McAllister, J. C., "Insecticide resistance and vector control," *Emerg Infect Dis.*, 4, 4, 605-613 (1998).
- [24] Chen, C. T., Lien J. C., and Tseng P. T., "Comparative effect of house cleaning and antimalaria residula spray for bedbug, fleas, and cockroaches in Taiwan," *J. Formosan Med. Assoc.*, 55, 11, 562-567 (1956).
- [25] Kiyofumi, Y., and Yoshitoshi, O. "A study on the insecticidal activity of *d*-tetramthrin," *Jap J Sanit Zool.*, 32, 3, 221-228 (1981).
- [26] Paula, C. R. G., Gustave, M. A. R., Thomas, D., Blair, D. and Campbelu, B. J., "Susceptibility of Stable Flies (Diptera: Muscidae) from Southeastern Nebraska Beef Cattle Feedlots to Selected Insecticides and Comparison of 3 Bioassay Techniques," *J Econ Entomol.*, 90, 2, 293-298 (1997).
- [27] World Health Organization. "Test procedures for insecticide resistance monitoring in malaria vector mosquitoes," *Who Tech Rep Ser.* 26-27 (2013).
- [28] Pai, H. H., Wu, S.H., and Hsu. E. L. "Insecticide resistance in German cockroaches (*Blattella germanica*) from hospitals and househods in Taiwan," *Int J Environ Health Res.* 15,1:33-40 (2005).
- [29] Acevedo, G. R., M. Zapater. A. C. Toloza. "Insecticide resistance of housefly, *Musca domestica* (L.) from Argentina," *Parasitol Res.* 105:489-493 (2009).
- [30] 李沛龍，「感性品系與野外品系族群家蠅抗藥性比較與酯酶分析」，臺灣大學昆蟲學研究所碩士論文。
- [31] 劉陽、梁焯男、賈鳳龍、張韶華，「深圳市家蠅和大頭金蠅抗藥性監測研究」，中國媒介生物學及控制雜誌，第24期，第3卷 (2013)。

環境奈米知識平台之現況

翁愷邑 蔡春進

國立交通大學環境工程研究所

摘要

環保署、衛福部與勞動部三個政府部門共同建置了環境奈米科技知識平台(<http://ehs.epa.gov.tw>)，平台內容以中英文方式呈現，提供產官學研各界奈米技術 EHS 議題的研究進展與即時資訊，並與國內外不同利益相關者進行溝通及交流，加強國內奈米技術 EHS 研究計畫成果的展現，進而促進國際交流與合作。平台並自 2011 年起每年皆發行電子報，以電子郵件方式通知訂閱者最新的奈米技術 EHS 消息及知識，創刊至今共發行 24 期電子報。為了加強與國內互動及介紹臺灣奈米 EHS 研究現況，本知識平台每年皆訪問 2 位奈米 EHS 的專家學者，截至目前為止共訪問了 16 位專家學者，分享了奈米 EHS 相關研究的成果以及最新發展，訪問稿以中、英文方式呈現在平台內。已整理並完成上傳的國內的研究報告及出版文獻篇數為：中文版網站--研究報告全文 212 篇、出版文獻連結 929 篇；英文版網站--研究報告摘要 173 篇、SCI 論文連結 707 篇，顯見國內對奈米 EHS 的研究成果豐碩。目前環境奈米科技知識平台的電子報訂閱人數為 696 人，2011 年至今瀏覽人數已大幅增加至 273,281 次。

關鍵詞：奈米技術、奈米物質、環境健康安全、EHS、知識平台

一、前言及研究目的

環保署、衛福部與勞動部長期合作，持續關注奈米技術環境健康安全(Environmental, Health and Safety, EHS)的議題，發展相關的技術及制訂管理法規，以確保負責任的奈米技術之永續發展。環保署、衛福部與勞動部三個政府部門共同建置了環境奈米科技知識平台(<http://ehs.epa.gov.tw>)，平台內容以中英文方式呈現，提供產官學研各界奈米技術 EHS 議題的研究進展與即時資訊，並與國內外不同利益相關者進行溝通及交流，加強國內奈米技術 EHS 研究計畫成果的展現，進而促進國際交流與合作。環境奈米科技知識平台的目標為：

- (一) 建立環保署、衛福部及勞動部共同的奈米技術 EHS 資訊及知識交流平台。
- (二) 以國內研究報告、期刊論文、會議論文、專利及技轉為主體，加強英文內容，以增加本國奈米技術 EHS 的研究成果與國際交流的機會。
- (三) 定期擷取奈米相關知識源，使國人獲得最新的國內外奈米技術 EHS 相關資訊，並建立產官學研各界進行奈米技術 EHS 知識交流之平台。
- (四) 提供電子報訂閱機制，定期發行電子報並主動通知訂閱者，以分享奈米知識。

二、國內外奈米技術 EHS 的參考知識源及平台架構

環境奈米科技知識平台參考的國外奈米科技 EHS 相關團體之奈米知識源目前有 42 個，如表 1 所示。在國外的知識源中，美國環保署 USEPA 網站(USEPA, National Center for Environmental Research: Nanotechnology, <http://www.epa.gov/ncer/nano/>)、美國職業安全衛生研究所 NIOSH 網站(NIOSH Safety and Health Topic: Nanotechnology, <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/default.html>)、經濟合作發展組織 OECD 網站(Safety of Manufactured Nanomaterials, <http://www.oecd.org/env/ehs/nanosafety/>)、ISO TC 229 網站(<https://www.iso.org/committee/381983.html>)及 PEN 網站(The Project on Environmental Nanotechnologies, <http://www.nanotechproject.org/>)等內容豐富且經常更新，為重要的環境奈米科技知識源。ICON 的虛擬期刊(The Virtual Journal)收錄全世界最完整的奈米技術 EHS 的期刊摘要(含作者名稱及期刊名稱)，所以一直皆為本團隊的重要參考源之一，但 ICON 網站已公告於 2014 年 9 月 30 日後不再更新網頁資訊。OECD 網站提供各會員國的研究活動、研究報告及指引，全文收錄完整且均可免費閱覽，具有非常高的參考價值。

表 1 奈米科技 EHS 議題相關之知識源

分類	知識源名稱	特色	議題屬性	潛在受惠者
國際組織	OECD-Working Party on Nanotechnology (經濟合作發展組織-奈米科技工作小組) (http://www.oecd.org)	- 具跨國性奈米科技工作小組 - 發展長期具延續性之奈米科技 EHS 議題之研究	EHS	官
	EU NanoSafety Cluster (http://www.nanosafetycluster.eu/)	具跨國性奈米科技工作小組	EHS	官、產
	FP7-Framing Nano (歐盟第七期架構) (http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html)	- 統整全歐盟區奈米科技政策之機構 - 發展長期具延續性之奈米科技 EHS 議題之研究	EHS	官
	IRGC-International Risk Governance Council (國際風險控管委員會) (http://www.irgc.org/)	國際奈米科技應用風險控管政策	EHS	官、產
	ISO TC 229 Nanotechnologies (國際標準組織/技術委員會 229 奈米技術) (http://www.iso.org/iso/home/standards_development/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983)	制訂國際奈米科技 EHS 相關標準的國際組織	EHS	官
	EC-Environment Directorate General (歐盟執委會環境總署) (http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm)	歐盟執委會專責環境政策的部門	EHS	官、產
政府組織	BfR-Bundesinstitut für Risikobewertung (聯邦風險評估研究所) (http://www.bfr.bund.de/en/home.html)	德國負責奈米安全的三大機構之一	S	官
	AIST-National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (日本先進產業技術綜合研究所) (https://en.aist-riss.jp/research/assessment/)	提供日本奈米碳管永續發展與安全評估的相關資訊	HS	官、產
	USEPA-United States Environmental Protection Agency (美國環保署) (http://www.epa.gov/)	- 提供美國具體奈米科技 EHS 議題相關之政策及研究成果 - 白皮書極具參考價值	E	官
	NNI-The National Nanotechnology Initiative (美國奈米科技辦公室) (http://www.nano.gov/)	統整美國所有有關奈米科技的相關研究及政策	EHS	官
	SafeNano (http://www.safenano.org/)	英國收錄資料最豐富的奈米科技 EHS 議題網站	EHS	官
	奈米國家型科技計畫辦公室 (http://www.twnpnt.org/)	我國奈米計畫主管機關	EHS	官
	NIOSH-The National Institute for Occupational Safety and Health (美國職業衛生安全研究所) (http://www.cdc.gov/niosh/)	提供詳細的與奈米科技有關的美國職業安全政策及報告	SH	官、產
	NIEHS-National Institute of Environmental Health Sciences (美國國家環境健康科學研究所) (http://www.niehs.nih.gov/)	美國環境健康安全報導	H	官

分類	知識源名稱	特色	議題屬性	潛在受患者
學術研究單位	NIA-Nanotechnology Industries Association (奈米技術產業協會) (http://www.nanotechia.org/)	● 負責工業的奈米技術的供應鏈	EHS	官、產
	CNS-UCSB-The Center for Nanotechnology in Society-University of California, Santa Barbara (社會奈米科技中心-加州大學聖塔芭芭拉分校) (http://www.cns.ucsb.edu/)	● 跨學科的研究群 將社會科學之研究法應用在奈米科技 EHS 相關議題的研究上	EHS	學
	National Institute of Occupational Safety and Health, Japan (JNIOH) (http://www.jniosh.go.jp/en/)	● 日本工作場所奈米安全衛生研究	HS	官
	CEIN-UC-The Center for Environmental Implications of Nanotechnology- The University of California, Los Angeles (奈米環境中心-加州大學) (http://www.cein.ucla.edu/)	● USEPA 及 NSF 最新贊助之研究中心 ● 以奈米物質應用對環境之影響為研究重心	EHS	學
	DaNa ^{2.0} (德國聯邦教育及研究部(BMBF)贊助的奈米物質知識庫) (http://www.nanopartikel.info/)	● 具有科學深度並易於了解的奈米物質對人體和環境之影響的知識庫	EHS	官、學、研
	CEINT-The Center for Environmental Implications of Nanotechnology (奈米環境中心) (http://ceint.duke.edu/)	● USEPA 及 NSF 最新贊助之研究中心 ● 跨領域研究群	EHS	學
	ICON-International Council on Nanotechnology	● 全球第一個奈米科技 EHS 議題資料庫 ● 產官學研資源同步整合 ● NNI 支持	EHS	產、官、學
	LCN-London Centre for Nanotechnology (奈米科技倫敦中心) (http://www.london-nano.com/)	● 英國新成立的奈米科技研究中心	EHS	產、學
	綠色化學網路資源共享網 (http://gc.chem.sinica.edu.tw/)	● 科技部及中研院支持 ● 具綠色化學資料庫及毒理資料庫	EH	學
	PEN-The Project on Emerging Nanotechnologies (http://www.nanotechproject.org/)	● 美國權威智庫組織 ● 聯合國奈米科技永續發展顧問	EHS	產、官、學
	Research Institute of Science for Safety and Sustainability National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (http://www.aist-riss.jp/projects/nedo-nanorisk/index_e.html)	● 奈米微粒特性量測的方法研究發展	HS	研

分類	知識源名稱	特色	議題屬性	潛在受患者
民間機構	Public Engagement with Nano-based Emerging Technologies Newsletter Nanosystem Research Institute National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (http://unit.aist.go.jp/nri/nano-plan/index.html)	● 奈米新興技術的公共參與	HS	研
	National Institute for Environmental Studie, Japan (http://www.nies.go.jp/index.html)	● 日本國家環境研究所 ● 研究奈米物質之應用對環境的影響	EHS	研、學
	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, French National Institute for Industrial Environment and Risks (INERIS) (法國國家工業環境及風險研究所) (www.ineris.fr)	● 奈米的工業環境與風險研究	EHS	研
	Chemical & Engineering News (化學化工新聞) (http://cen.acs.org/index.html)	● 美國化學學會發行的一份周刊，報導與化學相關的科研、工業、教育等各方面的動態	EHS	官、產、學
	奈米風險咖啡館 (http://nanome.jimdo.com/)	● 科技部支持 ● 具奈米科技環境、健康與安全之研究成果	EHS	產、學、環保團體
	Foresight Institute (http://www.foresight.org/)	● 提供奈米科技 EHS 議題的藍圖	EHS	官、學
	NanoWerk (http://www.nanowerk.com/)	● 「Spotlight」專區提供最新最即時的奈米科技相關報導	EHS	學
	Nanotechnology Now (http://www.nanotech-now.com/)	● 奈米科技新聞報導	EHS	學
	Nanotechweb.org/IOP (http://nanotechweb.org/)	● 奈米科技新聞報導	EHS	學
	Nano Today (http://www.journals.elsevier.com/nano-today/)	● 奈米科技新聞報導	EHS	學
	Nanotechnology Law Report (http://www.nanolawreport.com/)	● 提供奈米科技相關議題之法律文獻、報導及服務	EHS	產、學
	NanoReg News (http://www.nanoregnews.com/)	● 奈米科技新聞報導	EHS	產、學
	Nanotechnology Law Blog (http://nanotech.lawbc.com/)	● 奈米科技新聞報導	EHS	產、學
	International Center for Technology Assessment (ICTA) (http://www.icta.org/)	● 協助大眾了解奈米技術對社會造成的影響	EHS	官、產、環保團體
	Natural Resource Defense Council (NRDC) (http://www.nrdc.org/about/)	● 美國自然資源保護委員會 ● 關注奈米產品的健康、暴露及安全性議題	HS	產、學、環保團體
	Observatory for Micro and NanoTechnologies (OMNT) (http://www.omnt.fr/index.php/en)	● 法國微奈米科技觀察網站 ● 傳遞奈米科技風險的相關資訊	HS	產、學

知識平台並參考國外的知名期刊發行電子報，如 Environmental Science and Technology (ES&T), Nano Letters, Nanotoxicology, Toxicology, Journal of Nanoparticle Research, Environmental Health Perspectives, Journal of American Chemical Society, Particle and Fibre Toxicology, Toxicology Letters, Journal of Applied Toxicology 等。表 2 為環境奈米科技知識平台與國外重要的奈米科技 EHS 知識源的架構比較表。

表 2 環境奈米科技知識平台與國外重要知識源的架構比較表

ICON 網站	美國環保署網站	美國職業安全衛生研究所網站	環境奈米科技知識平台
1. 加入我們 ➢ 為什麼要加入我們	1. 委外科技研究計畫的首頁	1. 指引和出版文獻 2. 10 項重要的研究领域	1. 首頁 2. 關於資料庫 ➢ 任務 ➢ 奈米科技白皮書 ➢ 組織架構 ➢ 聯絡我們
2. 關於資料庫 ➢ 任務和策略 ➢ 背景 ➢ 組織架構 ➢ 贊助單位 ➢ 參與人士 ➢ 聯絡我們	2. 奈米技術和奈米物質的研究 ➢ 暴露和奈米物質的特性 ➢ 風險評估 ➢ 生命週期評估 ➢ 永續發展 ➢ 合作的研究成果 ➢ 委外研究經費的申請	3. 常見問題 4. 合作夥伴 5. 現場研究的成果 6. 最新消息和活動 7. 相關連結	3. 最新消息 ➢ 最新消息 ➢ 國外最新消息 ➢ 電子報 ➢ 奈米風險快訊
3. 最新消息 ➢ ICON 發佈 ➢ 最新消息 ➢ 媒體通知 ➢ RSS 訂閱	3. 委外奈米科技研究計畫		4. 研究計畫 ➢ 委辦機關 ➢ 研究領域 ➢ 暴露途徑 ➢ 微粒種類 ➢ 暴露或危害之標的 ➢ 文章種類 ➢ 風險暴露群 ➢ 讀者分類 ➢ 產生方法
4. 工作小組 ➢ 管理組 ➢ 知識組 ➢ 最佳實務組 ➢ 溝通組	4. 徵求計畫書 5. 計畫清單 6. 出版文獻 7. 會議訊息		5. 出版文獻 ➢ 委辦機關 ➢ 研究領域 ➢ 暴露途徑 ➢ 微粒種類 ➢ 暴露或危害之標的 ➢ 文章種類 ➢ 風險暴露群
5. 計畫 ➢ GoodNanoGuide ➢ 奈米 EHS 的研究需求 ➢ 現行實務的調查			
6. 線上資源 ➢ 虛擬期刊 ➢ 資料庫分析 ➢ GoodNanoGuide ➢ ICON 報告 ➢ ICON 背景 ➢ 名詞解釋			

-
- 政策報告
 - 相關連結
 - 7. 虛擬期刊
 - 虛擬期刊
 - 資料庫分析
 - 8. 活動訊息
 - 協會活動
 - 其他活動
 - 讀者分類
 - 產生方法
 - 6. 公告
 - 法規
 - 政策
 - 7. 活動訊息
 - 研討會
 - 問卷調查
 - 環境奈米科技展
 - 環境奈米科技論壇活動花絮
 - 8. 奈米 EHS 知識
 - 科普知識
 - 最佳控制實務
 - 名詞解釋
 - 專家專訪
 - 常見問題
 - 9. 相關連結
 - 國際組織
 - 政府機構
 - 法人組織
 - 學術研究
 - 10. 社群討論
-

環境奈米科技知識平台持續更新國內環保署、衛福部、勞動部及科技部等單位發表的奈米 EHS 研究報告及 SCI 期刊論文，改善知識平台網站的實用性並提高國際化的程度。臺灣奈米技術的環境健康安全資料庫以國內的研究成果為主，含研究報告、期刊論文、會議論文、專利及技轉，資料庫的主要分類如下：(1) 委辦機關；(2) 研究領域；(3) 暴露途徑；(4) 微粒種類；(5) 暴露或危害之標的；(6) 文章種類；(7) 風險暴露群；(8) 讀者分類；(9) 產生方法。平台詳細的資料庫分類細項如下：

- (1) 委辦機關 (Sponsor) :
 - a. 環保署 (Taiwan EPA)
 - b. 勞安所 (Taiwan ILOSH)
 - c. 衛福部 (Taiwan MOHW)
 - d. 科技部 (Taiwan MOST)
 - e. 奈米國家型計畫辦公室 (National Nanoscience and Nanotechnology Program)
 - f. 工研院 (ITRI)
 - g. 其他委辦機關 (Other Sponsor)
 - h. 環檢所 (Taiwan EAL)
- (2) 研究領域 (Research Area) :
 - a. 奈米科技應用 (Nanotechnology Applications)
 - a1. 整治 (Remediation)
 - a2. 感測 (Sensors)
 - a3. 處理 (Treatment)
 - a4. 綠色生產 (Green Manufacturing)

- a5. 綠色能源 (Green Energy)
- a6. 其他奈米科技應用 (Other Nanotechnology Applications)
- b. 奈米科技對環境的影響 (Nanotechnology Implications in Environments)
 - b1. 氣膠 (Aerosol)
 - b2. 生命週期評估 (Life Cycle Assessment)
 - b3. 生態 (Ecology)
 - b4. 毒性 (Toxicity)
 - b5. 宿命與傳輸 (Fate and Transport)
 - b6. 環境暴露及控制 (Environmental Exposure and Control)
- c. 奈米物質職業安全衛生 (Nanomaterial Occupational Health and Safety)
 - c1. 職業暴露評估 (Occupational Exposure Assessment)
 - c2. 職業暴露控制 (Occupational Exposure Control)
 - c3. 最佳控制實務與風險管理 (Good Practices and Risk Management)
 - c4. 火災與爆炸 (Fire and Explosion)
 - c5. 個人防護器具 (Personal Protective Equipment)
- d. 奈米物質毒性 (Nanomaterial Toxicity)
 - d1. 體外實驗 (In Vitro)
 - d2. 體內實驗 (In Vivo)
 - d3. 生物標誌 (Biomarkers)
 - d4. 藥物動力學與藥效學 (Pharmacokinetics and Pharmacodynamics)
 - d5. 劑量選擇與特徵 (Dose Selection and Characterization)
- e. 負責任的發展 (Responsible Development)
 - e1. 倫理法律與社會影響 (Ethical, Legal and Societal Implications)
 - e2. 法規與監督 (Regulations and Oversight)
 - e3. 風險認知與溝通 (Risk Perception and Communication)
- f. 風險評估與健康檢查 (Risk Assessment and Medical Surveillance)
 - f1. 風險評估方法 (Risk Assessment Methods)
 - f2. 風險管理 (Risk Management)
 - f3. 流行病學研究 (Epidemiological Research)
 - f4. 醫療篩檢與檢查 (Medical Screening and Surveillance)
 - f5. 暴露登記 (Exposure Registries)
- g. 評論 (Commentaries)
- (3) 暴露途徑 (Exposure Pathway) :
 - a. 皮膚/黏膜 (Dermal/Mucous Membrane)
 - b. 吸入 (Inhalation)
 - c. 注射 (Injection)
 - d. 多重途徑 (Multiple)
 - e. 口服/攝取 (Oral/Ingestion)
 - f. 其他暴露途徑 (Other Exposure Pathway)
- (4) 微粒種類 (Particle Type) :
 - a. 碳 (Carbon)
 - b. 金屬 (Metal)
 - c. 多重奈米物質 (Multiple)
 - d. 有機/聚合物 (Organic/Polymers)
 - e. 環境奈米物質 (Environmental Nanomaterial)
 - f. 氧化物 (Oxide)
 - g. 半導體 (Semiconductor)
 - h. 其他微粒種類 (Other Particle Type)
- (5) 暴露或危害之標的 (Exposure or Hazard Target) :

- a. 水生生態系統 (Aquatic Ecosystem)
- b. 大氣生態系統 (Atmospheric Ecosystem)
- c. 哺乳動物 (Mammalian)
- d. 多重系統 (Multiple)
- e. 土壤生態系統 (Soil Ecosystem)
- f. 工作場所 (Workplaces)
- g. 其他暴露或危害之標的 (Other Exposure or Hazard Target)
- (6) 文章種類 (Article Type) :
 - a. SCI / SSCI 期刊文章 (SCI / SSCI Journal Article)
 - b. 非 SCI / SSCI 期刊文章 (Non-SCI / SSCI Journal Article)
 - c. 會議論文 (Conference Article)
 - d. 回顧文章 (Review Article)
 - e. 專利及技轉 (Patent and Technical Transfer)
 - f. 報告 (Report)
 - g. 政策 (Policy)
 - h. 其他文章種類 (Other Article Type)
- (7) 風險暴露群 (Risk Exposure Group) :
 - a. 消費者 (Consumers)
 - b. 生態環境 (Ecosystem)
 - c. 一般居民 (General Population)
 - d. 工業/研究作業員 (Industrial/Research Worker)
 - e. 其他風險暴露群 (Other Risk Exposure Group)
- (8) 讀者分類 (Target Audience) :
 - a. 技術研究者 (Technical Research)
 - b. 一般民眾 (General Public)
 - c. 公共政策 (Public Policy)
 - d. 其他讀者分類 (Other Target Audience)
- (9) 產生方法 (Generation Method) :
 - a. 工程/人造 (Engineered)
 - b. 非故意發生的 (Inadvertent)
 - c. 兩者皆是 (Both)

在搜尋結果的展示方面，平台提供國內奈米技術 EHS 研究機構的研究計畫(Projects)的資訊如下：

1. 計畫年度 (Project year)
2. 出版日期 (Published date)
3. 委辦機關 (Sponsor institute)
4. 計畫經費屬性或來源 (Grant source)
5. 計畫經費編號 (Project number)
6. 計畫經費名稱 (Project name)
7. 計畫主持人 (PI)
8. 共同計畫主持人 (Co-PI)
9. 執行機構 (Executive institute)
10. 計畫摘要 (Project abstract)
11. 計畫報告連結 (Link of full report)
12. 資料庫分類 (Database category)
13. 發表的文獻及專利 (Published articles and patents)

平台提供國內奈米技術 EHS 研究機構的出版文獻(Papers)的資訊如下：

1. 文章標題 (Article title)
2. 出版年月 (Published year/month)

3. 文獻摘要超連結 (Link of abstract)
4. 摘要 (Abstract)
5. 資料庫分類 (Database category)
6. 文章出處 (Source)
7. 作者 (Author)
8. 卷號 (Volume)
9. 頁碼 (Pages)
10. 全文超連結 (Link of full article)
11. 委辦機關 (Sponsor institute)

三、環境奈米科技知識平台

環境奈米科技知識平台的首頁如圖 1 所示，目前本團隊的工作重點為網站管理、資訊提供及整合國內之研究成果，含研究報告、期刊論文、會議論文、專利及技轉，並公開於平台上。平台並自 2011 年起每年皆發行電子報，以電子郵件方式通知訂閱者最新的奈米技術 EHS 消息及知識，創刊至今共發行 24 期電子報，使用者可在最新消息的電子報專區瀏覽電子報的歷史資料（如圖 2）。圖 3 為電子報的圖樣，訂閱者可收到電子報發佈的奈米技術 EHS 新知、奈米技術 EHS 知識、活動快訊及下期內容預告等，或連結至平台上閱覽全文，也能至平台的電子報專區下載 PDF 檔的全文（如圖 4）。目前環境奈米科技知識平台的電子報訂閱人數為 696 人，且瀏覽人數已大幅增加至 273,281 次（統計日期：105 年 11 月 23 日）。

行政院環境保護署
環境奈米科技知識平台

站內搜尋 搜尋 English 網站地圖

管理登入

首頁 關於資料庫 最新消息 研究計畫 出版文獻 公告 活動訊息 奈米EHS知識 相關連結 社群討論 HELP

公告

2016/05/17 衛生福利部發布「含奈米物質食品器具...」

2015/09/24 奈米醫療器材品質管理系統注意事項已...

2015/07/07 含奈米成分化粧品風險評估指引已於2...

2015/01/30 勞動部令：訂定「新化學物質登記及管...

更多公告

最新消息

2016/11/07 環境奈米科技知識平台知識庫及電子報問卷調查

2016/09/12 歐盟執委會徵求奈米銀膠的科學意見

2016/09/01 闡明奈米紡織品老化的複雜問題—日光照射與清洗對奈米銀微粒釋...

2016/08/28 奈米銀微粒的職業暴露限值—推導適用的健康限值的考量

2016/08/24 歐洲標準委員會尋求有關廢棄物中人造奈米體(manufact...

2016/08/16 歐洲食品安全局更新奈米指引並發展新的農業奈米指引

2016/08/02 歐洲化學總署發布奈米物質的REACH草案指引

訂閱/取消電子報

最新知識文件 熱門知識文件

- 奈米科技之風險感知及政策研究
- 奈米微粒對帶電濾材之過濾特性研究
- 建構奈米化藥品法規審查國際協定與安全性評估機制
- 大氣奈米懸浮微粒及其污染物(重金屬、陰陽離子)陸海傳輸軌跡...
- 利用奈米金屬-活性碳處理含有機物與重金屬廢水研究
- 奈米微粒作業環境控制技術性能評估

更多知識文件

本知識平台介紹

本平台為環保署提供環管學研各界進行奈米科技環境健康安全(EHS)議題即時資訊及知識交流之平台。本平台之言論發表純屬個別意見，僅供環保署施政參考，並不代表本署之立場。

圖 1 環境奈米科技知識平台首頁



行政院環境保護署
環境奈米科技知識平台

站內搜尋 搜尋
管理者登入

English
網站地圖

首頁 關於資料庫 最新消息 研究計畫 出版文獻 公告 活動訊息 奈米EHS知識 相關連結 社群討論 HELP

您目前的位置： 首頁 / 電子報

電子報

日期	標題
2016/11/05	環境奈米科技知識平台電子報第二十四期
2016/08/05	環境奈米科技知識平台電子報第二十三期
2016/05/12	環境奈米科技知識平台電子報第二十二期
2016/03/23	環境奈米科技知識平台電子報第二十一期
2015/11/16	環境奈米科技知識平台電子報第二十期
2015/09/23	環境奈米科技知識平台電子報第十九期
2015/06/25	環境奈米科技知識平台電子報第十八期
2015/04/20	環境奈米科技知識平台電子報第十七期
2014/11/21	環境奈米科技知識平台電子報第十六期
2014/10/08	環境奈米科技知識平台電子報第十五期

< 1 2 3 >

圖 2 電子報專區



行政院環境保護署
環境奈米科技知識平台電子報

第二十四期 | 出報日：2016/11/5

訂閱電子報

平台網址：<http://ehs.epa.gov.tw/>
發行單位：行政院環境保護署
執行單位：國立交通大學環境工程研究所

前言

近年來先進國家與國際組織在奈米技術環境、健康與安全(Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies, EHS)的議題上已有顯著的進展，出現許多奈米技術相關的法規及標準，奈米物質的監測、控制及安全防護技術也已漸趨完備。為因應國際發展趨勢，我國環保署、衛福部與勞動部長期合作，持續關注奈米EHS的議題，發展相關的技術及制訂管理法規，以確保負責任的奈米技術之永續發展。環保署、衛福部與勞動部三個政府部門共同建置了環境奈米科技知識平台(ehs.epa.gov.tw)，並自2011年開始定期發行電子報，以提供產、官、學研各界奈米EHS議題的即時資訊及研究進展，並與國內外不同利益相關者進行溝通及交流。

本期為第24期電子報，內容包括奈米科技的法規與政策與奈米物質對環境、健康與安全的影響之最新進展。首先在奈米科技的法規與政策方面，本期介紹奈米銀在美國環保署的註冊歷程、德國環保署對奈米物質特定環境風險的建議措施、奈米二氧化鈦被列入歐盟化妝品內抗UV材料的允用清單、歐盟執委會徵求奈米銀膠的科學意見、歐洲化學總署發布奈米物質的REACH草案指引、歐洲食品安全局更新奈米指引並發展新的農業奈米指引、歐洲食品安全局的科學委員會對發展風險評估指引的優先主題、歐洲標準委員會尋求有關廢棄物中人造奈米體(manufactured nano-objects, MNOs)處理實務的資訊。在奈米物質對環境、健康與安全的影響方面，本期報導奈米銀微粒的職業暴露限值—推導通用的健康限值的考量以及闡明奈米紡織品老化的複雜問題—日光照射與清洗對奈米銀微粒釋出的系列研究。在奈米物質的應用方面，本期介紹奈米物質在農業、飼料和食品的應用與產品。

本期專訪台灣大學食品科技研究所葉安義教授，葉教授對於奈米食品的特性、安全性評估與管理等研究有相當豐富的研究經驗，同時執行了許多奈米食品相關的計畫並獲得豐碩的成果，103年至105年間，執行計畫包括奈米/次微米紅藻懸浮液之製備及對免疫調節之影響、奈米/次微米紅藻懸浮液之製備及對免疫調節之影響、奈米/次微米靈芝懸浮液多醣體分物之分離與鑑定、奈米/次微米幾丁質懸浮液之製備與形成薄膜之機制。本研究團隊藉由此次機會訪問葉教授關於奈米食品在安全衛生管理與奈米食材的物化特性的最新研究成果，以了解國內外關於奈米食品發展趨勢的看法與建議。

未來國內外的活動訊息：Fifth Nanosafe International Conference - Nanosafe 2016 (2016/11/07~2016/11/10)、中華民國環境工程學會第二十八屆(2016)年會暨各專門學術研討會(2016/11/18~2016/11/19)、以及 NanoThailand 2016 (2016/11/27~2016/11/29)相關資訊。更多EHS精彩報導都在「環境奈米科技知識平台電子報」。



圖 3 環境奈米知識平台電子報圖樣



圖 4 環境奈米知識平台電子報之全文圖樣

平台的公告專區提供環保署、衛福部與勞動部發佈的奈米技術 EHS 相關的法規（如圖 5）及政策（如圖 6），如環保署的「新化學物質及既有化學物質資料登錄辦法」、衛福部的「含奈米物質食品器具容器包裝申請作業指引」草案及「奈米醫療器材品質管理系統注意事項」，與勞動部的「新化學物質登記管理辦法」及「危害性化學品評估及分級管理辦法」等。

行政院環境保護署 環境奈米科技知識平台

站內搜尋 搜尋 管理者登入 English 網站地圖

首頁 關於資料庫 最新消息 研究計畫 出版文獻 公告 活動訊息 奈米EHS知識 相關連結 社群討論 HELP

您目前的位置： 首頁 / 公告

公告分類：法規 公告單位：全部 查詢日期： ~ 查詢

共 9 筆相關資料

日期	分類	標題	公告單位
2015/01/30	[法規]	勞動部令：訂定「新化學物質登記及管制性化學品許可申請收費標準」	勞安所
2014/12/31	[法規]	勞動部令：訂定「危害性化學品評估及分級管理辦法」	勞安所
2014/12/31	[法規]	勞動部令：訂定「新化學物質登記管理辦法」	勞安所
2014/12/31	[法規]	勞動部令：訂定「管制性化學品之指定及運作許可管理辦法」	勞安所
2014/12/31	[法規]	化學品管理新制上路 職安保護更周延	勞安所
2014/12/30	[法規]	勞動部令：訂定「優先管理化學品之指定及運作管理辦法」	勞安所
2014/12/05	[法規]	環保署發布化學物質登錄辦法，啟動我國化學物質登錄制度	環保署
2013/11/22	[法規]	立法院三讀通過毒性化學物質管理法部分條文修正草案 明年起製造及輸入的化學物質都要登錄	環保署
2013/07/03	[法規]	「職業安全衛生法」(原名：勞工安全衛生法)第十條、第十一條與第十三條增修條文	勞安所

圖 5 法規專區

行政院環境保護署 環境奈米科技知識平台

站內搜尋 搜尋 管理者登入 English 網站地圖

首頁 關於資料庫 最新消息 研究計畫 出版文獻 公告 活動訊息 奈米EHS知識 相關連結 社群討論 HELP

您目前的位置： 首頁 / 公告

公告分類：政策 公告單位：全部 查詢日期： ~ 查詢

共 9 筆相關資料

日期	分類	標題	公告單位
2016/05/17	[政策]	衛生福利部發布「含奈米物質食品器具容器包裝申請作業指引」草案	衛福部
2015/09/24	[政策]	奈米醫療器材品質管理系統注意事項已於2015年9月24日公開	衛福部
2015/07/07	[政策]	含奈米成分化粧品風險評估指引已於2015年7月7日公開	衛福部
2014/11/24	[政策]	奈米食品申請作業指引已於2014年11月24日公開	衛福部
2014/10/22	[政策]	鑑別奈米醫療器材參考指引草案已於2014年10月22日公開	衛福部
2011/08/16	[政策]	現行奈米藥品管理政策說明	衛福部
2011/08/16	[政策]	現行奈米化粧品管理政策說明	衛福部
2011/08/16	[政策]	現行奈米醫療器材管理政策說明	衛福部
2011/08/16	[政策]	現行奈米食品管理政策說明	衛福部

圖 6 政策專區

目前已整理並完成上傳的國內的研究報告及出版文獻篇數統計表如表 3 所示，中文版網站收錄研究報告全文 212 篇、出版文獻連結 929 篇，及英文版網站收錄研究報告摘要 173 篇、SCI 論文連結 707 篇（統計日期：2016 年 11 月 23 日），顯見國內對奈米技術 EHS 的研究成果豐碩。平台規劃有搜尋引擎，使用者可根據關鍵字、分類、作者等項目進行查詢，圖 7 及圖 8 分別為英文版網站研究報告及出版文獻的搜尋結果。

表 3 已上傳知識平台的研究報告及出版文獻篇數統計表

委辦機關	中文版網站 研究報告全文	英文版網站 研究報告摘要	中文版網站 出版文獻連結	英文版網站 SCI 論文連結
環保署	65	65	214	23
勞安所	55	53	15	26
衛生福利部	19	4	66	73
科技部	65	47	520	511
奈米國家型計畫辦公室	0	0	0	1
工研院	0	0	36	2
環檢所	1	0	7	2
其他委辦機關	7	4	71	69
總計	212	173	929	707



The screenshot displays the 'Taiwan Nanotechnology EHS Database' website. The header includes navigation links like Home, About, Newsroom, Projects, Papers, Policy, Events, Knowledge, Resources, and HELP. The main content area shows details for a specific project:

- Project name:** The Promotion of Taiwan Nanotechnology EHS Database and the integration of knowledge
- Project number:** EPA-104-U101-02-101
- Published Year/Month:** 2015/12
- Sponsor:** Taiwan EPA
- Institute:** Chuen-Jinn Tsai
- Co-PI:** National Chiao Tung University
- Executive Institute:**
- Project abstract:** The goal of this project is to maintain the website of "Taiwan nanotechnology EHS database" (http://ehs.epa.gov.tw/) and provide data and information by integrating the international and domestic research achievements on nano-EHS related issues. Up to now, 197 full articles for research reports (increased 15 articles this year) and 880 research papers in abstract (increased 139 papers) have been uploaded in the Chinese website. In addition, 163 abstracts for research reports (increased 6 articles) and 663 SCI papers (increased 101 papers) with the links to the publishers' websites have been uploaded in the English website, which demonstrates fruitful results in the nanotechnology EHS area in Taiwan. The main sponsor of SCI papers in the database is the Ministry of Science and Technology, while the main research area if these papers is treatment. The analysis of the comparison of database between Taiwan nanotechnology EHS database and ICON can be used a basis to develop nano-EHS related studies in Taiwan. Finally, to promote the international interactions and introduce the domestic nano-EHS research achievements, two experts in the nano-EHS field were interviewed, including Professor Chen-Chi Ma from the department of chemical engineering of the National Tsing Hua University and Peng-Jy Tsai from the department of environmental and occupational health medical college of the National Cheng kung University. The interview reports were prepared in both Chinese and English. This year, the PI represented our country to attend the Asia Nano Safe Forum (ANF) held simultaneously at 7th NanOEh, International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, 2015/10/18-22. The forum was chaired by Prof. Paul Wright of RMIT University in Australia, representatives of Japan, Korea and our country also joined the forum to share the latest development of nanosafety research of their own country. The PI introduced the inter-agency nano-EHS research achievements in Taiwan EPA, MOHW, MOL, NHRI, BSMI and ITRI. The scholars and officials attending the forum were all impressed by our nation's achievements in nano-EHS research.
- Database categories:** Taiwan EPA • Risk Perception and Communication • Other Exposure Pathway • Report • Other Particle Type • Other Exposure or Hazard Target • Other Risk Exposure Group • Technical Research • General Public • Engineered/Inadvertent
- Share the article to:** Facebook, Twitter, LinkedIn, etc.

The footer contains copyright information: © 2017 Environmental Protection Administration, R.O.C. (Taiwan). All rights reserved. Address: B3, Zhonghua Rd., Sec. 1, Zhongzheng District, Taipei City 105, Taiwan (R.O.C.). TEL: 886-2-23117722. Best viewed with higher at 1024x768.

圖 7 英文版網站提供研究報告摘要

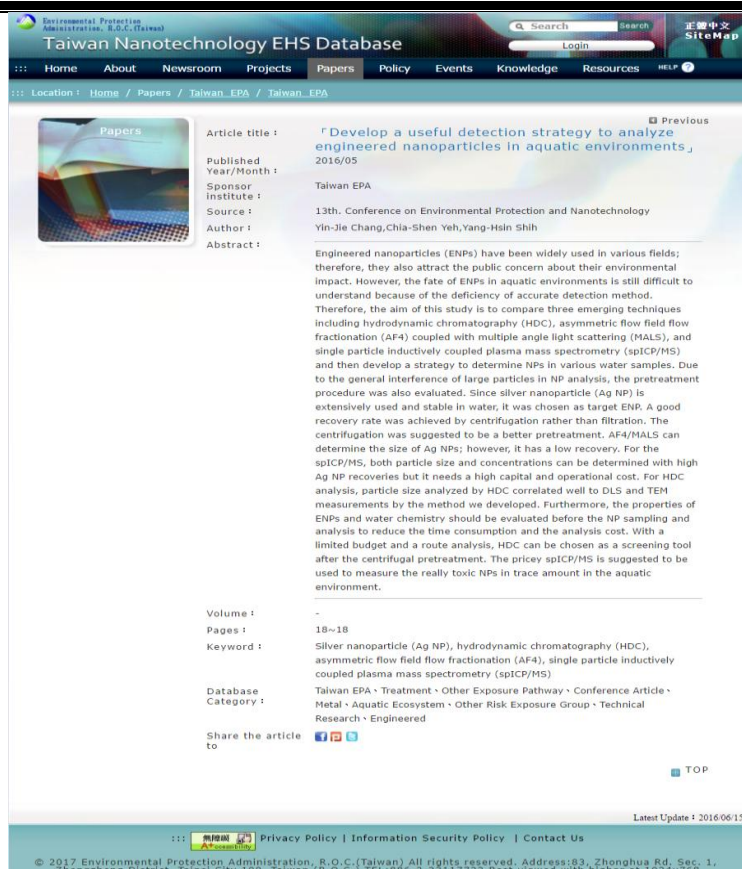


圖 8 英文版網站提供出版文獻的 SCI 論文連結

平台的活動訊息專區可發佈國際及國內研討會、論壇等活動訊息，如圖 9 所示。另外，活動訊息專區也有奈米科技展（如圖 10）與環境奈米科技論壇活動花絮（如圖 11）等兩個專區供使用者瀏覽。在奈米 EHS 知識專區則有可供一般民眾瀏覽的科普知識、最佳控制實務、名詞解釋、專家專訪及常見問等專區，其中為了推廣我國相關奈米 EHS 研究成果，本團隊目前已訪問了 16 位的國內專家學者，分別為交大環工所蔡春進教授、清大生醫系董瑞安教授、清大化學系凌永健教授、國衛院奈米醫學研究中心楊重熙主任、臺大職醫所鄭尊仁教授、環檢所阮國棟所長、國衛院環醫組劉紹興組主任、工研院奈米中心宋清潭研究員、成大環工系王鴻博教授、清大動機系李國賓教授、成大環醫所張志欽教授、財團法人安全衛生技術中心余榮彬總經理、清華大學化學工程系馬振基教授、成功大學環境醫學研究所蔡朋枝教授、成功大學環境醫學研究所王應然教授與臺灣大學食品科技研究所葉安義，介紹他們的優異研究成果及針對奈米 EHS 各議題的看法，訪問內容以中英文方式在專家專訪專區具名發表。最後，為了使網站使用者能精確取得所需之研究報告或出版文獻的資訊，平台規劃有簡易版（如圖 12）及進階版（如圖 13）的搜尋引擎，使用者可以根據關鍵字、分類、作者及出版年月等項目進行查詢。

行政院環境保護署
環境奈米科技知識平台

站內搜尋 搜尋
管理者登入

English
網站地圖

首頁 關於資料庫 最新消息 研究計畫 出版文獻 公告 活動訊息 奈米EHS知識 相關連結 社群討論 HELP

您目前的位置：首頁 / 活動訊息 / 研討會

活動訊息

共62筆相關資料

研討會舉行時間	研討會名稱
2016/11/27	NanoThailand 2016 報名已截止 與會地點：Nakhon Ratchasima, Thailand 主辦單位：Nanotechnology Association of Thailand and Suranaree University of Technology
2016/11/18	中華民國環境工程學會第二十八屆(2016)年會暨各專門學術研討會 報名已截止 與會地點：嘉南護理大學 主辦單位：中華民國環境工程學會
2016/11/07	Fifth Nanosafe International Conference - Nanosafe 2016 報名已截止 與會地點：MINATEC, Grenoble, France 主辦單位：The NANOSAFETY PLATFORM PNS
2016/09/23	2016 Conference on Fine Particulate Matter (PM2.5) & Healthcare 報名已截止 與會地點：國立陽明大學 (活動中心) 主辦單位：台灣氣膠研究學會
2016/09/04	2016 European Aerosol Conference 報名已截止 與會地點：Tours, France 主辦單位：French Aerosol Society (ASFERA)

< 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 >

圖 9 活動訊息專區-研討會訊息

行政院環境保護署
環境奈米科技知識平台

站內搜尋 搜尋
管理者登入

English
網站地圖

首頁 關於資料庫 最新消息 研究計畫 出版文獻 公告 活動訊息 奈米EHS知識 相關連結 社群討論 HELP

您目前的位置：首頁 / 活動訊息 / 環境奈米科技展

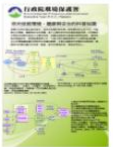
環境奈米科技展

請選擇年份 2014 ▼

環境保護署



103年推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫



奈米技術環境、健康與安全的科普知識



奈米技術環境、健康與安全的科普知識2



奈米國家型計畫辦公室頒發的績優部會獎

圖 10 活動訊息專區-環境奈米科技展

行政院環境保護署
環境奈米科技知識平台

站內搜尋 搜尋 管理員登入 English 網站地圖

首頁 關於資料庫 最新消息 研究計畫 出版文獻 公告 活動訊息 奈米EHS知識 相關連結 社群討論 HELP

您目前的位置： 首頁 / 活動訊息 / 環境奈米科技論壇活動花絮 / 活動簡介

請選擇年份 2016 請選擇主題 活動簡介

環境奈米科技論壇活動花絮

行政院環境保護署
Environmental Protection Administration
Executive Yuan R.O.C. (Taiwan)

105年 環境奈米科技論壇議程

時間	議題/主講人
08:50-09:20	報到
09:20-09:25	開幕致詞
09:25-09:55	主持人：交通大學環境工程研究所 蘇春遠 教授 奈米標準產品驗證與現況 主講人：工業技術研究院材料與化工研究所 蘇一哲 主任
09:55-10:25	奈米食品及奈米物質食品器具包裝管理規範之研究 主講人：臺北醫藥大學 醫學系 李青鴻 助理教授
10:25-10:40	茶歇 Tea break
10:40-12:10	專家座談-化學品與奈米物質登錄及管理現況與展望 與談人(依姓名筆畫排序)： 財團法人安全衛生技術中心 余榮彬 總經理 勞動部職業安全衛生署 陳淑芬 副署長 環保署環境衛生及毒物管理處 陳淑玲 副處長 臺灣大學食品科技研究所 葉安義 教授 交通大學環境工程研究所 蘇春遠 教授 工業技術研究院材料與化工研究所 蘇一哲 主任 會議綜合討論

圖 11 活動訊息專區-環境奈米科技論壇（含活動簡介、照片總覽、論文精華）

行政院環境保護署
環境奈米科技知識平台

站內搜尋 搜尋 註冊 登入 管理員登入 English 網站地圖

首頁 關於資料庫 最新消息 研究計畫 出版文獻 公告 活動訊息 奈米EHS知識 相關連結 HELP

您目前的位置： 首頁 / 資料庫搜尋

資料庫搜尋

請輸入以下欄位

查詢字串

知識類型

分類

作者

出版年月

排序結果

相似度

送出 重填

進階查詢模式

AND AND 不限欄位

研究計畫

要辦機關

包含子分類

相似度

送出 重填

TOP

無障礙 隱私權政策 | 資訊安全政策 | 資訊安全規範 | 著作權聲明 | 聯絡我們

© 2012 行政院環境保護署 10042台北市中正區中環路一段83號 總機：886-2-23117722 業務聯繫窗口：請使用IE7.0/Firefox3.0以上版本，網際網1024x768螢幕解析度獲得最佳網頁瀏覽體驗

Environmental Protection Administration, R.O.C. (Taiwan)
Taiwan Nanotechnology EHS Database

Search Search 正體中文 SiteMap

Register Login

Location: Home / Database Search

Please Enter The Following Fields

Advanced Search Mode

Database Search

Keyword

Open fields

Type

Category

Author

Published Date

Sort By

Submit Reset

TOP

Latest Update : 2013/05/02

無障礙 隱私權政策 | Information Security Policy | Contact Us

© 2013 Environmental Protection Administration, R.O.C. (Taiwan) All rights reserved. Address: 83, Zhonghua Rd. Sec. 1, Zhongzheng District, Taipei City 100, Taiwan (R.O.C.) TEL: 886-2-23117722 Best viewed with higher at 1024x768

圖 12 搜尋引擎-簡易版（中英文版）

行政院環境保護署
環境奈米科技知識平台

English
網站地圖

首頁 關於資料庫 最新消息 研究計畫 出版文獻 公告 活動訊息 奈米EHS知識 相關連結 HELP

您目前的位置： 首頁 / 資料庫搜尋

請輸入以下欄位 簡易查詢模式

知識類型	研究計畫	不限欄位	AND
查詢字串		不限欄位	+
分類	委辦機關		
計畫名稱		AND	
計畫編號		AND	
計畫主持人/ 共同主持人		AND	
委辦機關/ 執行機關		AND	
出版年月			
排序結果	相似度		

送出 重填

無障礙 A+ accessibility 隱私權政策 | 資訊安全政策 | 資訊安全政策 | 著作權聲明 | 聯絡我們

© 2012 行政院環境保護署 10042台北市中正區中興路一段83號 總機：886-2-23117722 聯絡聯繫窗口
請使用IE7.0/Firefox3.0以上版本，解析度1024x768螢幕分辨率獲得最佳網頁瀏覽體驗

Environmental Protection Administration, R.O.C. (Taiwan)
Taiwan Nanotechnology EHS Database

Search Search 正體中文 SiteMap

My Account Logout

Home About Newsroom Projects Papers Policy Events Knowledge Resources HELP

Location: Home / Database Search

Please Enter The Following Fields Simple Search Mode

Type	Projects		
Keyword	Word(s) in the Title		AND
Authors	ex.Tsai C or Chuen-Jinn Tsai		+
Category	Sponsor		
Project name	All	All	+
Project number		AND	
PI/CO-PI		AND	
Sponsor institute/ Executive institute		AND	
Published Date			
Sort By	Similarity		

Submit Reset

TOP

Latest Update: 2013/05/02

圖 13 搜尋引擎-進階版（中英文版）

在知識平台的國際推廣方面，本團隊已於 2014 年初發出如圖 14 所示的環境奈米科技知識平台的推廣電子郵件給 7,574 位國外奈米技術 EHS 相關人士，並且經由 ICON 及 EU SAFENANO 網站的公佈，獲得國際人士很大的迴響及好評。圖 15 及圖 16 分別為上述兩個網站介紹知識平台的網頁。

Taiwan Nanotechnology EHS Database (TaiNED)

http://ehs.epa.gov.tw/Home/EN_F_Home_Index

Taiwan EPA has established the "Taiwan Nanotechnology EHS Database (TaiNED)" jointly with Taiwan IOSH, CLA (Institute of Occupational Safety and Health, Council of Labor Affairs) and Taiwan MHW (Ministry of Health and Welfare) since the first phase of the National Nanotechnology Project (2003-2008). This platform is served as the database for environmental nanotechnology and occupational safety and health to foster the communication among different domestic stakeholders. The achievements of the Taiwan nanotechnology EHS projects are presented in the platform to promote domestic as well as international exchanges and collaborations. Any individuals from the industry, government, academia and research institutions are welcome to visit the TaiNED.

For more information, please contact

Mr. Neng-Jiun Zeng (vic.ev99g@nctu.edu.tw) or Prof. Chuen-Jinn Tsai

(cjtsai@mail.nctu.edu.tw) at National Chiao Tung University, Taiwan.



圖 14 環境奈米科技知識平台的國際推廣網頁頁面



圖 15 ICON 網站介紹環境奈米科技知識平台的頁面



圖 16 EU SAFENANO 網站介紹環境奈米科技知識平台的頁面

四、環境奈米科技知識平台及電子報問卷調查

為了瞭解訂閱者及相關人士對環境奈米科技知識平台及電子報內容的看法與建議，本團隊使用電子郵件配合 google form 系統對訂閱者及相關人士進行問卷調查，問卷一共回收 110 份。使用者職業類別主要為學術單位（占整體的 30%）、學生（占整體的 22.7%）、產業界（占整體的 20.9%）及其他（占整體的 0.9%），多數使用者的訂閱動機為學習成長（68.2%使用者勾選）、對奈米環境安全衛生有興趣（60.9%使用者勾選）與對工作及業務相關（46.4%使用者勾選）。在電子報內容方面，68.2%的民眾滿意出刊頻率、85.5%的使用者認為內容淺度適中、80.0%的使用者認為份量恰當、58.2%使用者滿意電子報的排版且無使用者感到不滿。64.5%的使用者認為電子報對學習有幫助且有 98.2%的使用者願意繼續訂閱，顯示電子報之內容備受肯定，充分達到了奈米 EHS 知識傳播及溝通的目的。

在環境奈米科技知識平台的部份，大多數的使用者透過電腦來瀏覽本站（98.2%使用者勾選），其次為使用手機（20.9%使用者勾選）。87.3%的使用者滿意知識平台提供的訊息，但在介面的部分整體僅有 37.3%的使用者認為無需改版，表示沒意見及需要改版的使用者分別占了整體的 41.8%及 20.0%，顯示知識平台介面的部分仍有改善空間。意見回饋的部分，多數使用者希望了解更多關於奈米物質對人體健康的影響（88.2%使用者勾選）及奈米物質對環境與生態之影響（77.3%使用者勾選）的相關資訊，其次為奈米物質之應用（62.7%使用者勾選）與奈米物質的管理法規與政策（54.5%使用者勾選）。

五、社群討論

本團隊已於臉書(Facebook)成立粉絲團(page)，粉絲團名稱為「臺灣奈米技術在環境健康安全上之應用」，如圖 17 所示，作為提供奈米科技 EHS 議題、即時資訊及知識交流之網路社群。目前粉絲團已可同步更新平台的最新消息，並提供奈米技術 EHS 的科普知識、名詞解釋及常見問題等資訊，未來可透過此粉絲團加強對不同利益相關者對奈米技術的認知與溝通。



圖 17 「臺灣奈米技術在環境健康安全上之應用」粉絲團首頁

六、結論

環境奈米科技知識平台建置完成後，著重於資料庫的推廣及維護工作，持續增加中英文的研究報告及文獻等內容，加強國內奈米技術 EHS 研究計畫成果的展現，進而促進國際交流與合作。知識平台至今已發行 24 期電子報，內容深受訂閱者的肯定，充分達到奈米 EHS 知識傳播及溝通的目的。未來工作重點為增加網站的使用率、提升讀者閱讀與加入討論的意願、鼓勵國內研究學者上傳自己的研究成果、使用情形的統計及分析、吸引國際專家參與等，將該知識平台推向國際，促成奈米技術 EHS 資訊的國際交流。

參考文獻

- [1]ICON 網站，International Council on Nanotechnology, <http://icon.rice.edu>
- [2]ISO TC 229 網站，International Organization for Standardization, Technical Committee 229, accessed on April 22, 2010, <https://www.iso.org/committee/381983.html>
- [3]NIOSH 網站，NIOSH Safety and Health Topic: Nanotechnology, <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/default.html>
- [4]OECD 網站，Safety of Manufactured Nanomaterials, <http://www.oecd.org/env/ehs/nanosafety>
- [5]PEN 網站，The Project on Environmental Nanotechnologies, <http://www.nanotechproject.org>
- [6]USEPA 網站，National Center for Environmental Research: Nanotechnology, <http://www.epa.gov/ncer/nano>
- [7]環境奈米科技知識平台，<http://ehs.epa.gov.tw>
- [8]蔡春進，99 年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」，期末報告，EPA-99-U1U1-02-105，民國 100 年。

-
- [9]蔡春進，100 年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」，期末報告，EPA-100-U1U1-02-105，民國 100 年。
- [10]蔡春進，101 年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」，期末報告，EPA-101-U1U1-02-105，民國 101 年。
- [11] 蔡春進，102 年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」，期末報告，EPA-102-U1U1-02-101，民國 102 年。
- [12] 蔡春進，103 年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」，期末報告，EPA-103-U1U1-02-101，民國 103 年。
- [13] 蔡春進，104 年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」，期末報告，EPA-104-U1U1-02-101，民國 104 年。
- [14] 蔡春進，105 年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」，期末報告，EPA-105-U1U1-02-101，民國 105 年。