

出國報告（出國類別：國際研討會）

2015 年歐洲污染場址管理研討會－  
土壤、底泥、地下水的永續管理及整治  
(2015-Contaminated Site Management  
in Europe: Sustainable Remediation  
and Management of Soil, Sediment  
and Groundwater)

服務機關：行政院環境保護署

姓名職稱：張良麗 環境技術師

派赴國家：比利時

出國期間：104 年 10 月 17 日至 23 日

報告日期：105 年 1 月 4 日

## 摘要

本次赴比利時布魯塞爾參加「2015 年歐洲污染場址管理研討會 (CSME-2015, 2015-Contaminated Site Management in Europe)」，會議主題為「土壤、底泥、地下水的永續管理及整治」(Sustainable Remediation and Management of Soil, Sediment and Groundwater)，辦理日期為民國(下同)104 年 10 月 19 日至 10 月 21 日，為期 3 天，係由 Redox Technologies, Inc. 歐洲分公司主辦，並由美、加及歐洲數個顧問公司及學術單位籌組協會共同合辦。總計共有 57 篇論文口頭發表，會場外設置有海報發表論文及廠商攤位展覽。研討會與會人員包括相關領域之專家學者、工程師及學生等約 50 人。

本次研討會議程共區分為 10 項主題，包括推動永續發展整治策略、物理及熱處理技術、現地生物處理技術、污染場址特徵與整治、現地化學氧化或還原技術、風險評估及底泥等議題。本署配合其中推動永續發展整治議題，發表 1 篇論文「臺灣工業區分級燈號預警管理制度發展現況 (Development of Early-warning Lights Classification Management System for Industrial Parks in Taiwan)」，內容為我國對於工業區等高污染潛勢區域，推動自主檢測申報備查法令及分級燈號預警管理制度之管制成果。

藉由本次研討會之參與，可得知歐盟土壤污染管制策略與法規發展，並瞭解歐盟各國於整治技術的發展及相關應用。在整治技術發展及應用上，與我國相去不遠；惟對土壤及地下水污染場址特徵調查與整治技術的選取、底泥調查及整治等探討國內仍較為欠缺，及歐盟對於污染場址之污染去除或未來場址之發展納入風險管理概念，並整合環境與土地發展之策略，亦為我國可參考之重點。此外，經由研討會參與及論文發表，宣揚我國對於工業區等高污染潛勢區域之管制成果，加強與國外學者之交流，以增加我國於國際間之能見度。

## 目錄

一、目的

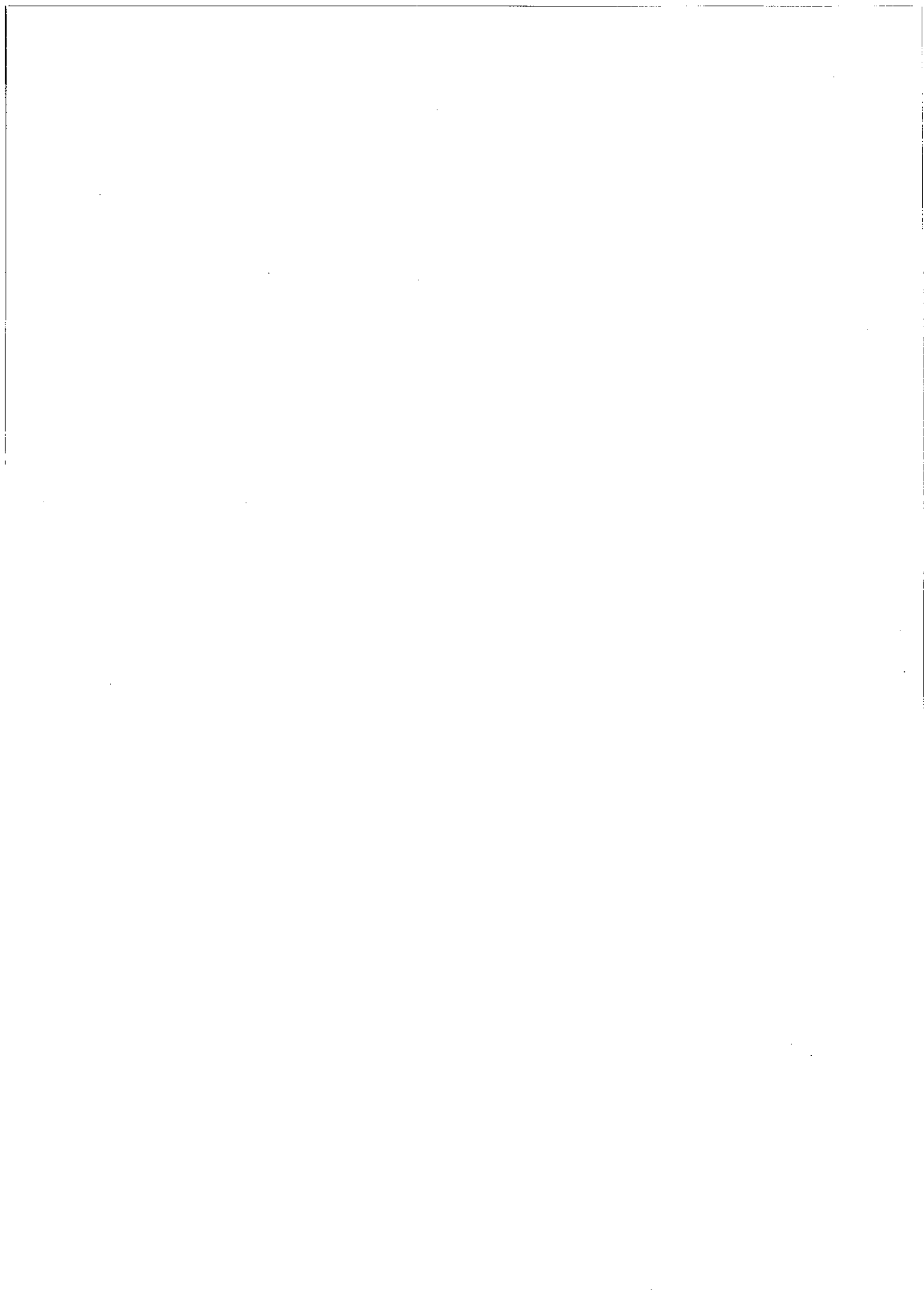
二、過程

三、心得與建議

四、附錄

附錄 1 研討會議程

附錄 2 研討會論文摘要全集



## 一、目的

近年來土壤及地下水污染已成為世界各國關注之環保議題。我國推動環境保護工作二十餘年，發展歷程與歐美先進國家相仿，在水、空氣、廢棄物、與毒化物之管制法令建置完備之際，隨著國內經濟發展與變遷，國人生活環境所面臨之污染負荷已漸趨嚴重，而在廢棄物處理設備不足與最終處理廠缺乏情況下，任意丟棄有害事業廢棄物所衍生之土壤及地下水污染問題亟需積極面對。

為掌握歐盟各國污染調查及整治技術發展趨勢，提升我國土壤及地下水污染調查及整治技術能力，以更成熟之技術辦理污染調查工作，及早發現潛在污染，完成污染改善。故藉由參與歐洲污染場址管理研討會持續汲取歐洲國家針對土壤、底泥、地下水污染場址整治管理之技術及經驗，作為我國後續研擬污染場址之管理政策、健全完備法規制度及強化行政管理體系之參考，並介紹臺灣工業區等高污染潛勢區域土壤及地下水品質管理工作推動情形，與相關學者交流執行經驗及工作心得，以掌握國際土壤及地下水污染整治技術及管理制度之趨勢及發展。

研討會議程共區分為 10 項主題（詳列如下），依不同主題內容依序發表相關議題論文，3 天研討會共包括 14 個議程及 57 篇論文口頭發表，會場外設置有海報發表論文及廠商攤位展覽。研討會與會人員包括相關領域之專家學者、工程師及學生等約 50 人。詳細議程請詳見附錄 1。

- (一) 推動永續發展整治策略  
(Sustainability Driven Approaches for Decontamination)
- (二) 物理及熱處理技術  
(Remediation via Physical and Thermal Techniques)
- (三) 現地生物處理技術  
(In-Situ Bioremediation)
- (四) 污染場址特徵與整治  
(Site Characterization and Remediation)
- (五) 現地化學氧化技術  
(In-Situ Chemical Oxidation (ISCO))
- (六) 現地化學還原技術  
(In-Situ Chemical Reduction (ISCR))

- (七) 現地處理傳輸技術  
(Delivery Techniques for In-Situ Remediation)
- (八) 風險評估  
(Risk Assessment)
- (九) 底泥  
(Sediment)
- (十) 固體廢棄物、蒸氣/氣體排放處理及植物整治技術  
(Treatment of Solid Waste, Vapor/Gas Mitigation and Phytoremediation)

本次研討會中，本署配合其中推動永續發展整治議題，發表 1 篇論文「臺灣工業區分級燈號預警管理制度發展現況 (Development of Early-warning Lights Classification Management System for Industrial Parks in Taiwan)」，內容為我國對於工業區等高污染潛勢區域，推動自主檢測申報備查法令及分級燈號預警管理制度之管制成果，參加本次研討會可達下列效益：

- (一) 藉由會議期間發表我國工業區分級燈號預警管理制度推行現況及未來發展，與各國交流相關管理方式，以瞭解國際間發展趨勢，並宣揚我國施政理念及推動成果。
- (二) 藉由會議期間專題研討土壤及地下水污染調查及整治成果，瞭解歐盟各國污染調查及整治技術發展趨勢，提升我國土壤及地下水污染調查及整治技術能力，以更成熟之技術辦理污染調查工作，及早發現潛在污染，完成污染改善。
- (三) 掌握歐盟各國對於土壤及地下水污染場址管理之最新概況，強化我國污染整治改善及行政管制之工作能力。
- (四) 汲取歐洲國家針對土壤、底泥、地下水污染場址整治管理之技術及經驗，作為我國後續研擬污染場址之管理政策、健全完備法規制度及強化行政管理體系之參考。
- (五) 透過本次研討會參與，建立我國與國外土壤與地下水相關研究單位或顧問機構定期資訊交流管道，有效蒐集與會各國對土壤及地下水污染管制策略與法規發展，以符世界潮流。

## 二、過程

### (一) 研討會

本次歐洲污染場址管理研討會 (CSME-2015, 2015-Contaminated Site Management in Europe) 於比利時布魯塞爾舉行，是由 Redox Technologies, Inc. 歐洲分公司主辦，並由美、加及歐洲數個顧問公司及學術單位籌組協會共同合辦。會議日期為 104 年 10 月 19 日至 10 月 21 日，為期 3 天，研討會議程共區分為 10 項主題，依不同主題內容依序發表相關議題論文，會場外設置有海報發表論文及廠商攤位展覽。主要探討歐盟各國土壤、底泥及地下水污染處理之物理化學生物等技術研究、污染物分布及傳輸特性、永續發展整治及推動策略等相關研究執行內容。本次參與研討會行程如表 1 所示，研討會現場相關照片如圖 1 所示。

透過會中簡報可得知歐盟各國在土壤及地下水污染整治技術發展及應用上，普遍仍以生物、化學及熱處理等三大類為主，相關整治技術於我國亦已被普遍使用，因此在技術層次方面，國內與國外應相去不遠。然研討會中針對土壤及地下水污染場址特徵調查與整治技術的選取、底泥調查及整治等所進行的專項議題討論，於國內仍較為欠缺，可為我國參考之重點。以下針對上述議題之論文重點說明如下，詳細論文摘要內容請詳見附錄 2。

1. 高分辨率數據對於評估建築物底下揮發性有機污染物之年份、位置及流布趨勢為何是必要的 (Why high-resolution data sets are necessary to assess the age, location, vapor intrusion potential of VOC sources beneath buildings) (Session 4 : p.27)

含氯有機物污染源一般多因位於商業或工業建築物地下環境，而形成持續釋放污染的秘密途徑 (Back door)，且含氯有機物的使用通常早於嚴謹的環境法令規範之前。因此隨著場址污染年代越久遠，找到第一手使用污染區域及其處置方式的資料就越困難。本篇文章利用自行發展的一種地板下 (Sub-slab) 土壤氣體採集分

析技術，成功的以少於一周，僅有兩人一組的團隊，在一處規模達 6,000 平方公尺的運作中工廠完成 160 組土壤氣體取樣工作。根據調查結果發現四氯乙烷及三氯乙烷，約自西元 1950 年代於工廠裝卸處持續滲漏，並已滲漏至地下 5 公尺處，透過進一步的地質鑽探取樣工作精確描繪污染範圍，目前該場址已利用奈米零價鐵進行整治。

2. 高分辨率地下水流診斷系統對於現地整治和環境保護的優化 (High resolution groundwater flow diagnostic system for optimization of in-situ site remediation and environmental protection) (Session 4 : p.28)

多數失敗的現地整治技術在實驗室測試及模場試驗階段都是成功的，因此失敗的原因並非整治技術本身，而是對於水文地質環境的不瞭解。一個成功的整治工作應至少具體掌握污染物分布、地下水的流速流向、地質分層及破裂及含水層的不均質性。井測技術 (Well-logging) 應用於地下環境特徵調查，不僅在探測深度上更具優勢，並增加監測井或鑽孔之利用效益，透過跨孔調查高、低滲透性地層、優勢流徑及可能污染分布，並可掃瞄評估不同時間序列之污染分布、整治溶劑分布及整治成效等，因此對於診斷地下環境為非常有效的工具，具有不可取代的資料解析優勢。本篇文章描述運用井測技術成功掌握水文地質情形的案例，並進一步優化現地整治系統的設計，包括藥劑的選擇及注藥系統的規劃。

3. 運用薄膜界面探測器 (Membrane Interface Probe, MIP) 技術整合污染偵測及處理 - 第一個大規模試驗計畫 (MIP-In-Combined detection and treatment of pollution: A first large scale pilot) (Session 11 : p.73)

MIP-in 是一個創新的整治技術，可結合污染物偵測及藥劑的同時注入整治。第一個試驗概念來自歐盟 FP7 Upsoil 計畫，並自西元 2013 年 9 月起，由歐洲之星創新研發計畫投入更進一步的研究，



由比利時、丹麥及捷克等當地顧問公司共同研究推動，以發展可即時因應實場環境的應用技術。本篇文章描述已於比利時成功推動的一項中大規模試驗計畫，在根特一個受到含氯有機污染物的化學工廠中，透過實驗室的試驗先行選定注入藥劑(3DMe)，再同時運用傳統的整治方法及 MIP-in 技術進行比較處理。在這個場址中，於 12 天內，運用 22 口 MIP-in 技術完成 21,000 公升的溶液（含 2,100 公升藥劑）注入，如以傳統的注入方法將需要再增加 75%的藥劑注入以達到同樣的整治效益。

4. 底泥傳輸：從學術理論模型到工程工具應用(Sediment transport : from academic models to industrial tools) (Session 9 : p.61)

預測底泥的傳輸模式對於預防及減輕環境風險是非常重要的。儘管現已投入大量資源發展模式工具，最新進的技術仍差強人意，且學術發展及工程應用之相互溝通及同步化亦明顯不足。本篇文章第一部分討論兩者產生隔閡的主因，主要在學術界著重於探討底泥傳輸情形背後複雜的物理理論，而工程界則以能提出夠準確的底泥傳輸模型為優先考量。第二部分介紹正於實驗室發展的新穎預測技術，相較於現存的模式工具，新的模擬套裝工具可納入多種近來發展的物理理論，並特別適用於沿海及河岸地區的底泥傳輸特性。透過模擬套裝工具的實際演示，可注意到未來可能的發展應用，包括計算現存底泥污染物的類型及其相關化學反應，可大幅提升在整治工作上的應用。

5. 重度污染河流之大規模整治方法設計(Design of a large-scale remediation approach of a heavy polluted river) (Session 9 : p.62)

近年來工廠及家庭廢水排入當地河流，已造成比利時當地長達 17 公里的污染河流區域，共計 63.5 公頃土地遭受到重金屬、含氯有機物及輻射物質污染，污染不僅影響到水質，對底泥、河岸及周邊環境亦造成衝擊。惟河流貫穿許多生態保育區域且地形變化複

雜，無法使用過於笨重的設備進行整治，需因應自然環境及可行技術方法進行分區處理。因此，採用成本低之最佳化可行技術仍為主要原則(Best available techniques not entailing excessive costs, BATNEEC)，但需因應個案情況及問題進行調整。本篇文章介紹該團隊發展的一種經過實場驗證且可整合各類情況的技術方法，包括：運用高壓管柱吸取河床底部的底泥及土壤；在河流的翻轉層將泥漿進行有效的脫水處理；河岸及周邊環境則利用被動式的整治方法(如：植生復育法或自然衰減法)進行處理，各項技術的實際應用取決於現地環境的可達成性及特定區域的生態保育價值。

6. 三丁基錫(Tributyltin, TBT)的創新化學整治技術對海洋沉積物的影響(Innovative chemical treatment of TBT- impacted marine sediments: a bench scale study) (Session 9: p.63)

三丁基錫(TBT)因價格低廉，且為有效的殺菌劑及防污劑，並可有效減少藻類等水中生物附著於船體上，因此自西元 1950 年代起開始被廣泛地使用，但自被證實水中濃度達 1ppb 即對動物及人體有害後，於西元 1980 年代起全球陸續禁止使用，但因三丁基錫(TBT)具持久性及降解性，因此在海洋底泥中仍無所不在，並持續造成健康危害。本篇文章介紹該團隊所使用的一種創新的氧化還原技術，在模場試驗中可完全分解三丁基錫(TBT)，此外針對相關化學衍生物，如二丁基錫 (DBT)及單丁基錫 (MBT)亦可完整降解。根據本篇文章的研究，已建立有效處理海洋底泥中三丁基錫(TBT)的方法論，並使經後端處理的底泥可再利用，達到環境永續發展的目標。

表 1 本次參與研討會行程

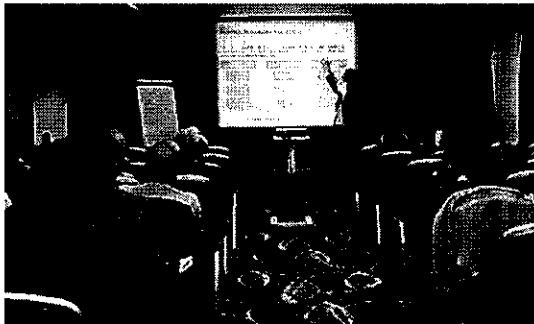
日期	工作內容概要
10月17-18日	啟程臺北－比利時布魯塞爾
10月19日	<p>參加 2015 年歐洲污染場址管理研討會</p> <p>(1) 議程一：推動永續發展整治策略- I</p> <p>(2) 本署論文發表「臺灣工業區分級燈號預警管理制度發展現況」(Development of Early-warning Lights Classification Management System for Industrial Parks in Taiwan)</p> <p>(3) 議程二：物理及熱處理技術- I</p> <p>(4) 議程三：現地生物處理技術- I</p> <p>(5) 議程四：污染場址特徵與整治- I</p>
10月20日	<p>參加 2015 年歐洲污染場址管理研討會</p> <p>(1) 議程五：現地化學氧化技術</p> <p>(2) 議程六：現地化學還原技術</p> <p>(3) 議程七：現地處理傳輸技術</p> <p>(4) 議程八：風險評估</p> <p>(5) 議程九：底泥</p> <p>(6) 議程十：推動永續發展整治策略- II</p>
10月21日	<p>參加 2015 年歐洲污染場址管理研討會</p> <p>(1) 議程十一：污染場址特徵與整治- II</p> <p>(2) 議程十二：物理及熱處理技術- II</p> <p>(3) 議程十三：現地生物處理技術- II</p> <p>(4) 議程十四：固體廢棄物、蒸氣/氣體排放處理及植物整治技術</p>
10月22-23日	返程比利時布魯塞爾－臺北



研討會報到情形



研討會會場



論文發表



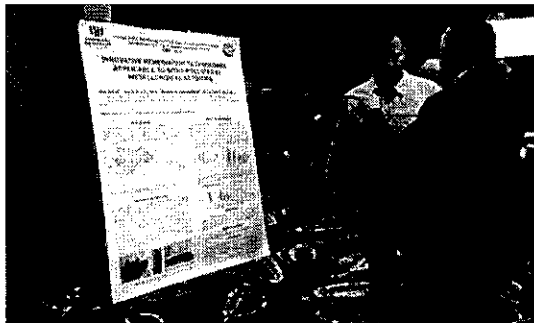
論文發表



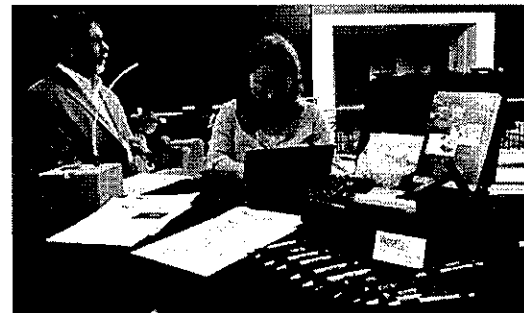
意見交流



意見交流



海報發表



參展廠商

圖 1 研討會現場相關照片

## (二) 本署論文發表

本次研討會中，本署配合其中推動永續發展整治議題，發表 1 篇論文「臺灣工業區分級燈號預警管理制度發展現況 (Development of Early-warning Lights Classification Management System for Industrial Parks in Taiwan)」，內容為我國對於工業區等高污染潛勢區域，推動自主檢測申報備查法令及分級燈號預警管理制度之管制成果，內容概述如下，論文資料如圖 2 所示。

1. 鑒於工業行為易造成土壤及地下水污染，本署為有效預防管理，自民國 100 年起，優先針對全國 7 大類、143 處編定工業區，發布實施「目的事業主管機關檢測土壤及地下水備查作業辦法」，並推動「工業區土壤及地下水品質管理四年行動方案」，透過三項計畫分工辦理整體政策推動、區外預警監測及區內調查查證等工作。
2. 四年行動方案主要管制策略為建立分級燈號預警管理制度，係以評估土壤及地下水監測現況、法令符合情形及污染場址公告列管狀況，以紅、橘、黃、綠 4 級燈號進行管理，並規範各燈號之管理目標、行動方案及各單位分工要項，除使各單位行政資源可有效地、快速地投入高污染潛勢工業區進行應變處理及調查管制工作外，透過定期發布更新機制及結合管考制度，亦有效督促各單位逐步落實各級燈號工業區管理工作。經過 4 年來各單位的持續推動，已達成工業區燈號調降目標。
3. 未來將以行政管制及風險管理工作作為燈號調升降條件，建立更具彈性的分級燈號制度，並針對個案研議推動相關法令配套措施，以有效提升工業區燈號管理制度推行成效，並以朝向建立自主管理機制為最終目標。

2015-Contaminated Site Management in Europe:  
Sustainable Remediation and Management of  
Soil, Sediment and Groundwater  
(CSME-2015)

ABSTRACTS

CSME-2015

Chang Liang-Li  
Sinotech Engineering Consultants,  
Ltd.  
Taiwan

Brussels Marriott Hotel, Belgium  
October 19-21, 2015

Development of Early-warning Lights Classification Management System for  
Industrial Parks in Taiwan

Liang-Li Chang<sup>1</sup>, Nien-Ho Ma<sup>1</sup>, Kuo-Sheng Tsai<sup>1</sup>, Chia-Hsin Li<sup>2</sup> and Yung-Ting Kuo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Soil and Groundwater Pollution Remediation Fund Management Board,  
Environmental Protection Administration, Executive Yuan, ROC

<sup>2</sup>Sinotech Engineering Consultants, Ltd.  
No. 171, Sec. 5, Nanjing E. Rd., Taipei 10570, Taiwan

The industrial behavior often leads to soil and groundwater pollution, and thus Environmental Protection Administration of R.O.C. (Taiwan EPA) has promoted the action program of soil and groundwater quality management for the industrial parks since 2011. The main tasks of this program were to formulate and promote the lights classification system of early warning and management of soil and groundwater pollution in industrial parks and to set up an online system of quality management. The monitoring resources among the government agencies was coordinated and allocated through consultation. This project also had set up a priority list for high potential polluted industrial parks and investigated their soil and groundwater qualities, and then the administrative control and transition of early warning lights were suggested based on the results. Furthermore, this project drafted the related laws and regulations, executive strategies and plans of soil and groundwater quality management for industrial parks.

In order to get a comprehensive understanding and control of nationwide industrial parks and industrial land, Taiwan EPA didn't only to collect and analyze the operating history, environmental background and monitoring information of 143 designated industrial parks, but also to broaden the region including 338 non-designated industrial parks (such as industrial parks in the urban planning area and D-class construction land).

All of the 143 industrial parks in Taiwan were classified into four early-warning lights, including red, orange, yellow and green, for carrying out respective pollution management according to the monitoring data of soil and groundwater quality, regulatory compliance, and regulatory listing of control site or remediation site. The measures of administrative control and risk management were also taken into consideration to determine the transition of early warning lights, which enhanced the active action of the government agencies. Moreover, an oversight and evaluation system was integrated to provide incentive so as to encourage the local environmental protection authorities. It has shown that the quantity of green-light industrial park with good monitoring and management increased significantly over the past 4 years. In the meantime, pollution investigation and improvement were still needed for the red/orange-light industrial parks to accomplish the purpose of adjusting down the classified lights. The work and goal of soil and groundwater quality management for industrial parks will be carried out on the basis of the inter-agency collaboration by means of the classified lights system of early warning and management as well as the announcement of the status of each industrial park on a regular time schedule.

**Keywords:** Industrial park, soil and groundwater quality management, early-warning lights classification

圖 2 本署發表論文資料

### 三、心得與建議

#### (一) 心得

1. 本次出國主要目的為參加歐洲污染場址管理研討會，透過本次會議可得知歐盟土壤污染管制策略與法規發展，並瞭解歐盟各國對於整治技術的發展及相關應用。此外，本署配合本次研討會推動永續發展整治議題，針對臺灣工業區分級燈號預警管理制度發展現況發表 1 篇論文。
2. 歐盟各國在土壤及地下水污染整治技術發展及應用上，污染整治方面執行政序依序為：調查、評估、執行整治及事後驗證等，與我國土壤及地下水污染整治法之管制流程完全相符；整治技術應用普遍仍以生物、化學及熱處理等三大類，相關整治技術於國內亦已被普遍使用，因此在技術層次方面，國內與國外應相去不遠。
3. 研討會中針對土壤及地下水污染場址特徵調查與整治技術的選取應用所進行的專項議題討論，其內容將可提供國內污染調查工作之輔助工具參考，將有助污染熱點(Hot spot)的掌握，以有效規劃相關污染整治或環境保護工作。
4. 研討會中針對底泥等新穎議題亦有專項議題的討論，由於底泥污染管理方面，我國於 99 年才納入土壤及地下水污染整治法規定，國外底泥整治經驗與國內相較之下豐富許多，相關底泥整治案例將可提供國內未來發展相關調查及整治工作之參考。

#### (二) 建議

1. 由於歐盟各國對環境保護認知較高，故各項環保政策之執行與推動多較為順利，且歐盟各國對永續發展均非常重視，污染場址之污染去除或未來場址之發展更以經濟、社會及環境等整體面向考量，因此歐盟針對污染場址處理納入風險管理之概念，並整合環境與土地發展之策略，為我國可參考之重點。

2. 歐盟對於土壤及地下水污染策略與法規的發展分別於西元 2004 年及 2006 年才有較為明確規範，但早於歐盟提出和實施立法時，大部分成員國已逐步形成各自的土壤及地下水保護法律體系，因此法令規定不一，且各國亦有習慣及風俗差異，故不同國家之土壤及地下水之污染策略及發展歷程，尚需個案研究，以利我國後續借鏡。
3. 本次研討會中，本署發表 1 篇論文，內容為國內工業區分級預警燈號管理制度推動現況，藉由與國外學者之雙向交流，宣揚我國對於工業區等高污染潛勢區域，推動自主檢測備查法令及分級燈號預警管理制度之管制成果，建議未來可持續積極參與相關國際研討會及成果發表，以立足先機，並汲取各國先進國家創新技術與工作經驗，作為我國後續研擬相關法令制度及發展整治技術之參考。