

出國報告（出國類別：考察）

## 英國污染場址再開發及整治技術考察報告



服務機關：行政院環境保護署

姓名職稱：楊鎧行組長

派赴國家：英國

出國期間：民國九十七年十一月一日至九日

報告日期：民國九十七年十二月五日

## 摘要

國內自 89 年制定土壤及地下水污染整治法以來，土壤及地下水污染整治基金會針對加油站、大型油槽、非法棄置場址、農地、廢棄工廠等場址陸續進行多項調查工作，到目前為止受限整治技術或經費尚未將污染降低或移除而仍被列管之整治場址及控制場址共約有 700 多處，對土地資源使用及環境保育有相當損害。英國為歐美國家針對褐地再開發非常積極推動的國家之一，他們結合社會經濟層面與科技發展成功的將許多荒廢土地再開發，給予土地新的生命，此外其污染場址則以風險評估結果訂定整治目標，並進行整治工作。

本次參訪行程中除安排有對英國目前土壤及地下水現階段法規發展的介紹外，並由土壤及地下水專業組織—CL:AIRE (Contaminated Land: Application in Real Environments)安排了一個大型的整治場址—London 2012 Olympics Site，該場址是一個邊開發邊整治的特殊案例場址。另外參觀一個由 AIG Engineering Group Limited 公司所承接位於 Harwell 之污染整治場址。除了場址參訪外，另也訪問了 University of Sheffield Groundwater Protection and Restoration Group (GPRG)專設之整治技術研究開發協會，其主要之技術研發領域為生物整治專長，也安排與其合作之廠商作進一步交流研討，以了解是否彼此間有否合作之機會。最後並有土壤地下水之整治技術研討會，於英國地質學院 (British Geological Survey)舉行，邀集了英國方面整治相關廠商對於其整治案例的發表，並讓台、英雙方廠商能彼此深入商談的機會，能夠有進一步展開合作的機會。透過本次交流活動，得以瞭解英國目前對污染場址政策及整治技術的發展趨勢，整理相關成果收穫冀期作為未來加速改善國內污染情形之參考依據。

# 英國污染場址再開發及整治技術考察報告

## 目次

壹、目的 .....	1
貳、參訪人員 .....	2
參、參訪行程及地點 .....	4
肆、參訪內容 .....	5
一、場址參訪 .....	5
二、座談會議 .....	14
三、實驗室參訪 .....	17
四、參與研討會 .....	20
伍、參訪心得 .....	27
一、英國褐地再開發之研究 .....	27
二、英國污染整治技術實務及發展趨勢 .....	28
陸、建議事項 .....	30
附件：	
一、簡報資料：Application of Thermally Enhanced Soil Vapour Extraction to Remediation of the Unsaturated Zone at the Western Storage Area (WSA), Harwel by AIG	
二、簡報資料：Groundwater Remediation at Harwell by UKAEA	
三、簡報資料：Sharing Experience Aids Policy to Practice by SAGTA	
四、簡報資料：An Introduction to CL:AIRE & UK Contaminated Land Issues by CL:AIRE	
五、簡報資料：A Comparison of Brownfield Regeneration Policy in England and Taiwan by Yu-Ting Tang	

## 壹、目的

國內自 89 年制定土壤及地下水污染整治法以來，經由土壤及地下水污染整治基金會針對加油站、大型油槽、非法棄置場址、農地及廢棄工廠等場址積極進行調查評估工作，已陸續公告約 22 處污染整治場址及 2,000 多處污染控制場址，其中 1,300 多處污染控制場址之污染濃度已經整治後降低於污染管制標準，並得以解除列管。然而仍有約 700 多處污染場址受限於整治技術或經費，尚未將污染降低或移除而仍被列管。因此，實有必要引進國外經濟有效之污染整治技術及靈活之土地再開發政策，以加速國內土地資源活化及環境保護的目標。

英國為歐美開發國家針對褐地再開發非常積極的國家之一，他們結合社會經濟層面與科技發展，成功的將許多荒棄土地再開發，給予土地新的生命並促進地方繁榮。由於英國國際司環境產業局（Environmental Industries Sector Unit, EISU）於今（97）年 1 月 13 日曾率領多位專精於污染整治技術與顧問的專家來台灣訪問，並與國內政府及相關單位辦理二場次之「台英經驗交流研討會-土壤污染及整治」研討會，會議中除介紹英國褐地再開發政策與污染整治技術外，同時與國內事業單位或技術顧問機構進行技術交流，總體而言該次活動非常成功，國內產官學各界參與者超過 300 人。

有鑑於此，英國貿易文化辦事處（British Trade and Cultural Office）和英國貿易暨投資署（UK Trade and Investment）為推廣英國在土壤及地下水方面經驗和技術，同時延續年初熱絡的回應及近日環保署積極推動廢棄工廠土地污染的調查與整治，特舉辦本次參訪行程，邀請國內相關單位前往英國為土壤及地下水環境管理與相關技術整合做考察，期能更進一步瞭解英國在土地政策及污染整治技術上的執行策略與發展，藉此增進雙方交流，不論是在技術或經驗上能相互分享經驗，同時作為未來加速改善國內污染場址之參考依據。

貳、參訪人員

NO	參訪人員	工作單位
1.	Kai-Hsing Yang Director 楊鎧行	Soil and Groundwater Pollution Remediation Fund, EPA 行政院環境保護署
2.	Tung-Li Huang Manager 黃冬梨	CPC Corporation Refining & Manufacturing Research Institute 台灣中油股份有限公司 煉製研究所
3.	Song Chen Department Director 陳 松	CPC Corporation Industrial Safety & Environmental Protection Dept 台灣中油股份有限公司
4.	Tse Ming Mao 毛澤民	CPC Corporation Industrial Safety & Environmental Protection Dept 台灣中油股份有限公司
5.	Li-Fen Shih Chairman 史麗芬	Apollo Technology Co., Ltd 瑞昶科技股份有限公司
6.	Ming-Hua Chen President 陳明華	Guan Cheng Enviro Tech Protection Co. Ltd 冠誠環境科技工程股份有限公司
7.	Wen-Hsien Tsai Manager 蔡文賢	Guan Cheng Enviro Tech Protection Co. Ltd 冠誠環境科技工程股份有限公司
8.	Lin Ling-Chu Project Manager 林玲珠	Darco Engineering (Taiwan) Co. Ltd 達闊環境工程股份有限公司

NO	參訪人員	工作單位
9.	Lydia Chiu Finance Manager 邱淑琴	Darco Engineering (Taiwan) Co. Ltd 達闊環境工程股份有限公司
10.	Karen Su Senior commercial officer 蘇韻如	BTCO 英國貿易文化辦事處



圖 1. 團員合照 (一)



圖 2. 團員合照 (二)

## 參、參訪行程及地點

本次考察自 97 年 11 月 1 日至 9 日，共 9 天，行程簡述如下：

97 年 11 月 1-2 日：啟程前往英國

97 年 11 月 3 日：英國倫敦 2012 年 Olympic 場址及英國原子能局  
(UKAEA) Harwell 整治場址參訪

97 年 11 月 4 日：英國褐地再開發座談會

97 年 11 月 5 日：Sheffield 大學地下水復育中心訪談

97 年 11 月 6 日：出席英國地下環境污染整治技術專業研討會

97 年 11 月 7 日：英方舉辦整體行程檢討會

97 年 11 月 8-9 日：返程回國

University of Sheffield, Groundwater  
Protection and Restoration Group

British Geological Survey  
Keyworth, Nr Nottingham



London 2012 Site,  
Stratford, East London

UK Atomic Energy Authority,  
Harwell, Nr Oxford

Department for Business Enterprise and Regulatory  
Reform, London

## 肆、參訪內容

### 一、場址參訪

#### (一) Olympic Park 場址

奧林匹克園區 (Olympic Park) 位於倫敦市區東邊，以整個都會區而言相對屬於貧困落後的區域，被稱為 Lower Lea Valley (下利亞谷區)，Lea River (利亞河) 貫穿其中，兩岸都是工廠，在 4 百年前是重工業區，眾多化工廠與煉油廠造成了嚴重的污染，其中 75% 的土地有石油、油品、重金屬 (砷/銅) 污染。直到 19 世紀，政府用大量土壤掩蓋過去的污染。

2005 年 7 月英國申辦奧運成功後，即決定在此興建 2012 London's Olympic Park (倫敦奧林匹克公園)，同時併同當地都市整體開發計畫，預計將帶來 3,300 多個住宅、新商圈、學校、公園與新市鎮開發工程工作機會。整個運動公園及附屬公共設施面積約 600 英畝 (約合 240 公頃)，建設基地範圍包括斯特拉特福德垃圾場、廢棄工廠及貧民住宅等地區，地底下幾乎可以想像到的污染物應有盡有，挖出的土壤都須經過妥善處理移除污染物，因此在興建工程展開前，英國當局必須先面對處理一個龐大複雜的污染場址整治工作。

本次參訪時，發現現場大部分整治工作仍在進行，但基礎工程及部分場址興建亦同步展開中。據瞭解負責 2012 年奧運會場館建設的機構為 Olympic Delivery Authority (奧運實現局)。該局在申辦奧運成功後隨即開始進行第一階段之規劃工作，並與當地居民溝通補償等事宜，2007 年 7 月開始進行相關工程，期程進度包括：工廠及住宅拆除工作、掩埋場垃圾分類篩選及污染整治與興建各種運動設施等工作。目前原有 250 各種設施建築物已拆除 (從老印刷廠開始)，預計將清除 140 多萬噸被污染的土壤。

我們在現場看到主要運用的整治改善措施為土壤淋洗法（約有 5 套），每套設施每週可處理約 2,000 m<sup>3</sup> 的污染土壤；另外有大型含油污染生物復育設施，以生物復育等方式進行污染土壤的整治，其工法為將污染土開挖後，先進行土方篩試，再於 on-site 的設施進行生物處理，完成改善之土方採 in-situ 的方式送回現場回填再利用，目前已完成數萬立方的污染土壤的處理工作。由於敦倫的掩埋場也有入場的使用限制，因此規劃僅有約 20% 之污染土壤進行離場處理，大部分則以現地污染改善進行整治工作。除此之外，整治工程也包括處理縱貫場址的 River Lea 的水質，提供野生生物新的綠色走廊及良好的運輸水道，大幅增加未來場址的經濟效益。

因 2012 倫敦奧林匹克園區場址為目前世界上最大的污染整治場址，同時也是整治及開發工作同時進行之特殊案例。據瞭解國內外諸多單位或組織均表達意願能夠進行參訪，每日申請不下十來件，但英方審核條件非常嚴謹，大多均予拒絕。但透過英國貿易文化辦事處積極協調安排下，全體團員方得以順利進入參訪，故本次行程實屬不易。惟英方因為反恐考量，場址參觀係以專車接駁進入繞行全區，全程有專責人員負責解說，但均須待在車上且不准拍照攝影，也讓團員們見識到該國對於安全防護嚴格的一面。

另外值得一提的事，英國舉辦奧運預估投入超過 300 億美金籌辦相關軟硬體建設工程。但是以主場館為例，主體工程規劃僅可容納 2 萬人，但另外臨時擴建 5 萬 9 千人的看台，待奧運結束後隨即拆除。詢問其原因在於英國人務實的想法態度，奧運時雖有大量人潮湧入倫敦，但僅有短短數週，如果體育場館興建過大，將來很難再有英雄用武之地，勢必造成因欠缺經費而無法持續經營的窘境，所以長久打算就是以英國本身未來長遠發展需求為設計藍圖，而以臨時擴建方式因應奧運到來。據導覽人員提到：

他們此舉非但只是經濟效益考量，同時也是愛惜地球資源，節能減碳的觀念的具體落實。



圖 3. 奧林匹克園區 (Olympic Park) 場址 (一)



圖 4. 奧林匹克園區 (Olympic Park) 場址 (二)



圖 5. 奧林匹克園區 (Olympic Park) 場址 (三)



圖 6. 場址參訪車上導覽

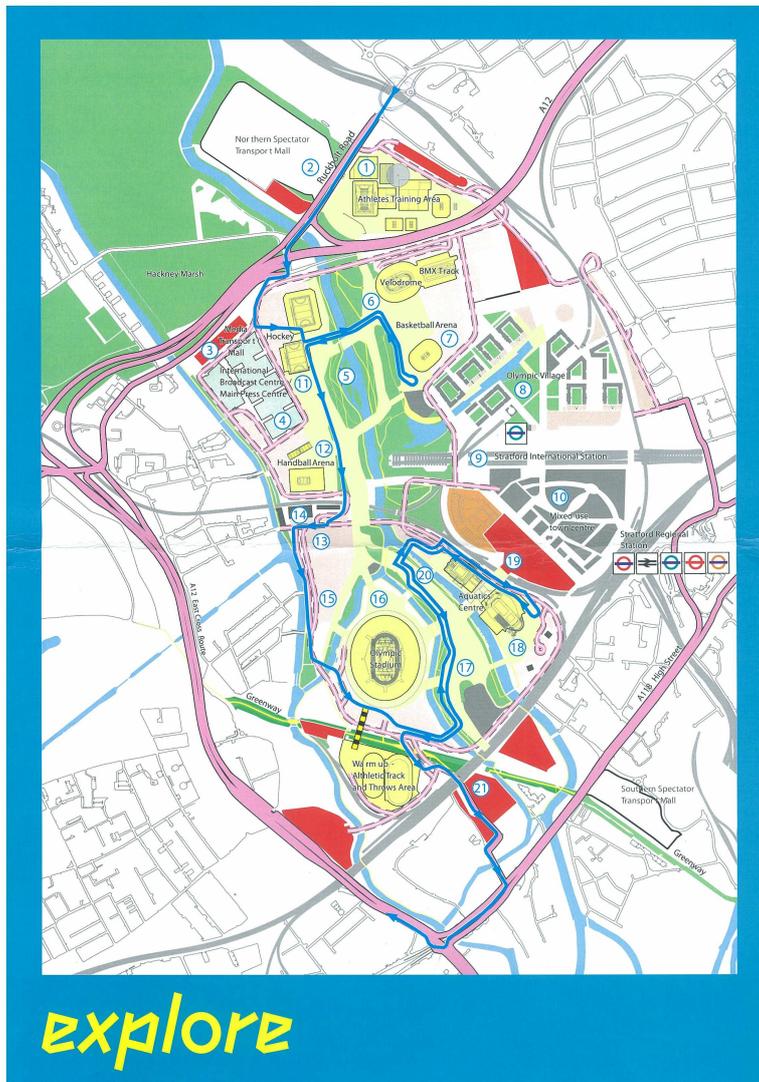


圖 5. 奧林匹克園區 (Olympic Park) 場館規劃圖

## (二) 英國原子能局 (UKAEA) Harwell 場址

本場址原來 1930 年代是做為農田及馬棚之用，在 1935 至 1946 年間是英國皇家空軍航空站，二次世界大戰結束後，將近 40 年時間英國政府將此地作為核能研究場所。本場地在 1989 年發現污染，主要污染區域位於西側儲存區 (Western Storage Area, WSA) 與南側儲存區 (Southern Storage Area, SSA)，污染物質主要為含氯有機化學品，污染原因可能與該區從事廢棄化學品處理與軍用品儲存有關，已發現部分地區曾作為化學廢棄物掩埋坑，自 1990 年代中期開始整治並規劃開發。



圖 6. 英國原子能局 (UKAEA) Harwell 場址



圖 7. Harwell 場址內研究所外觀



圖 8. Harwell 場址化學廢棄物掩埋坑

經 AIG 工程公司執行相關調查後發現：因當地地質為多孔隙的白堊岩，依結果顯示在掩埋坑下方的土壤及地下水裡含有礦油、含氯溶劑、PBCs、農藥及重金屬等污染，掩埋之廢棄物於 2004 年時皆已挖除。

在污染源移除後，為解決受污染之地下水，於 1994 年起在污染區內分別設置了地下水抽出處理廠，以氣提法及活性碳吸附方式處理受污染之地下水。之後在 2005 年 AIG 公司開始進行多種模廠試驗，經效果評估後選用加熱加強式的氣體抽除技術進行地下水整治工作，現場主要將熱傳導設備放置於超過過去掩埋坑的深度，約為地表下 6~18 m，加熱整治區溫度升高至水的沸點，污染物除經由加熱揮發隨蒸氣一起藉土壤氣體抽除系統（Soil Vapor Extraction, SVE）抽除與處理，亦加速污染物生物與化學分解反應，其整治效果遠遠超過傳統的 SVE 系統。2002 年 4 月位於 SSA 之地下水抽出處理廠功成身退，完成 SSA 之地下水污染整治工作。2007 年 1 月於 WSA 完成設置新的地下水抽出處理廠以取代舊廠，由於地下水污染濃度降低之緣故，新廠已無舊廠氣提之設計，新廠預計運轉至 2025 年，將持續進行地下水之污染整治與監測工作，目前由 AIG 持續作業中。

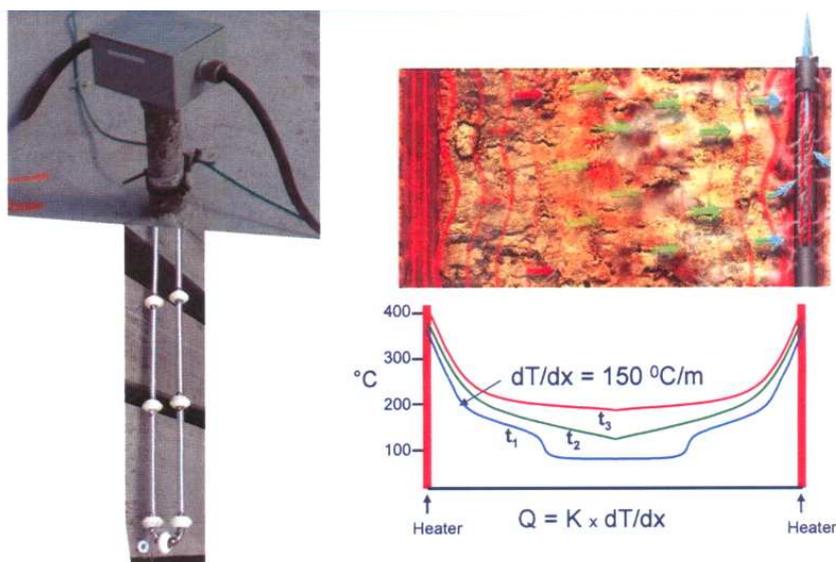


圖 9. TEVE 之熱傳導設備

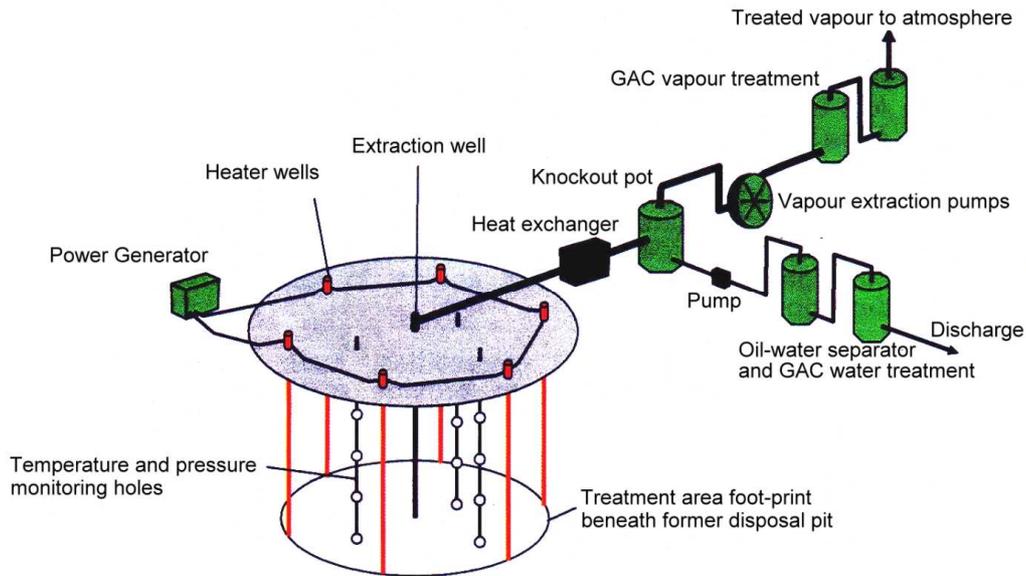


圖 10. TEVE 整治系統配置圖

廢氣部分藉由活性碳吸附塔之設置，使揮發性有機物為零排放；另藉由活性碳吸附水中經氣提後殘餘之非揮發性污染物，以位於 WSA 之處理廠為例，至今已移除超過 5.7 噸之污染物。總體而言，本場址之地下水處理方式係抽出並設置處理廠，以氣提、活性碳吸附及透水性反應牆等方式處理，廢氣部分藉由活性碳吸附塔之設置，達到揮發性有機物零排放之目標。

土壤污染部分，如同地下水污染處理方式設置 SVE 與熱加強式真空抽除（Thermally Enhanced Vacuum Extraction, TEVE）系統，至今已移除超過 640 公斤之污染物。就像許多成功的土壤及地下水污染整治案例，本場址也使用活性碳搭配整治技術進行吸附移除氣相與液相中之污染物質，其配置方式包括：在抽出處理系統

（pump-and-treat system）中，受污染的地下水藉由抽水井抽取，抽出的地下水在地表上利用活性碳吸附設備加以處理後，再經由注入井（injection well）重新注入地下水體；或是在抽水井中藉由注氣之方式，使污染物逸散到氣相中，再藉由活性碳吸附去除氣相中之污染物；或是藉由 SVE 之設置，將含污染物之土壤氣體抽出後，再由活性碳吸附

加以移除。將污染物脫附後之活性炭則可再回到原先之吸附裝置內繼續擔負污染物移除之工作。活性炭吸附之污染物經熱脫附處理後，以焚化方式處理，再生後之活性炭則回到處理廠重複使用。根據 AIG 工程人員告知，每噸土壤 TEVE 處理費用約為新台幣 3,600 元，可供國內未來針對較複雜污染場址整治之參考。

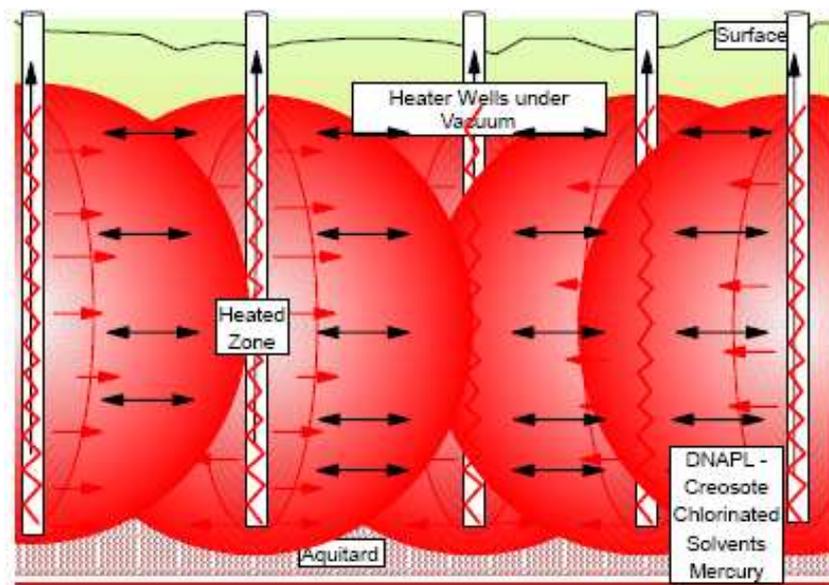


圖 11. Thermal Conduction Heating (TCH)  
Combined with Vacuum: In-Situ Thermal Desorption (ISTD)



圖 12. WSA 設置地下水抽出處理廠外觀

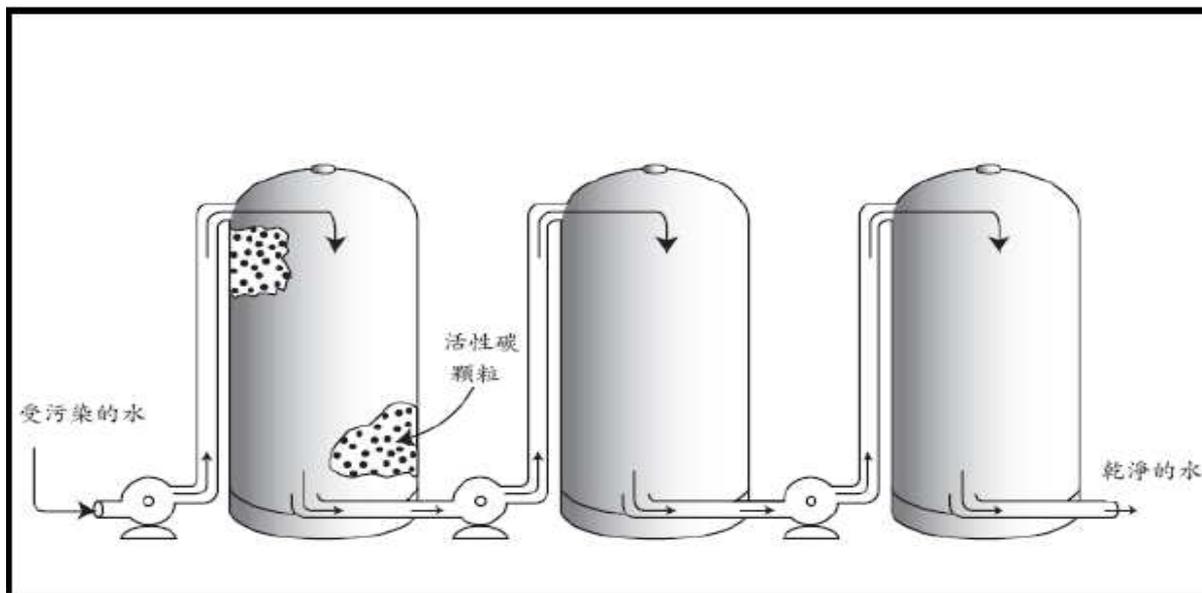


圖 13. 活性炭吸附設備

因本場址曾為英國核能研發重地，目前仍為軍事管制區，故參訪過程中保安防護工作更勝 2012 倫敦奧林匹克園區場址。團員進入管制範圍時需逐一查驗護照驗明正身，所有拍照設備及手機均需集中保管直到離開。相對外圍管制的肅殺氣氛，內部接待人員卻是十分熱情，相關技術問題有問必答。經了解目前 Harwell 場址整治完成之地區已規劃為英國倫敦奧林匹克競技場，亦將成為 2012 年倫敦奧運之使用場地之一。



圖 14. Harwell 場址未來奧運場館設計圖

### (三) Westfield 場址

本次參訪停留期間，發現當地媒體正大篇幅報導敦倫市中心過去一個工業廠房，已開發為新開幕的敦倫最大百貨公司 Westfield Shopping Mall，因屬污染場址再開發之成功案例，引起多位團員極大興趣，雖然在原本規劃行程之外，仍利用參訪空檔期間抽空前往。

因百貨公司開幕不到一周，內部人潮洶湧且買氣旺盛，很難想像數年前此地還是一片殘破不堪的廢棄廠房，而過去幾年來延著泰晤士河約 60 公里的老舊工業廠房亦已逐漸開發成良好的住宅、商業環境地區及觀光景點，這都是英國褐地再開發的耀眼案例，值得我們深思與學習。

## 二、座談會議

與英國 *Contaminated Land: Applications in Real Environments* (CL:AIRE) 組織代表及其邀請之專家於 Royal Over-Seas League 會議室進行會面座談，藉由專家的報告及介紹，以了解英國目前相關土壤地下水整治法令及推行之情形。



圖 15. 會場外觀



圖 16. 會場內部



圖 17. CL:AIRE Meeting 實況 (一)



圖 18. CL:AIRE Meeting 實況 (二)

CL:AIRE (可萊爾，網址：<http://www.claire.co.uk/>) 是一個相當專業的組織，有慈善機構登記 (第 1075611)，同時也有英國環保基金信託 (信託第 119820) 與國營事業公司登記字號 (商登第 3740059)。主要服務項目為整治與評估污染場址，對土壤地下水整治技術及相關法令提供需求者必要的專業諮詢及技術支援或指引。

根據英國環保署統計，英國有 32 萬 5 千個場址與 30 萬公頃的土壤污染。從 2000 年開始，平均每年都有 250 個新污染場址。對 CL:AIRE 而言，土壤污染整治暨污染土壤再利用是市場，也是減少污染場址機會。

另有 The Soil and Groundwater Technology Association - SAGTA 的專業協會組織，在推行整治技術專業人士的認證作業，為從事整治作業的公司提供環保專業服務，以確保整治作業的適切性。

根據 1999 年英國政府發布的都市再開發計畫中，土壤污染整治與土地再利用成為重要議題。同時英國政府開發土地現況資料中心（Specialist in Land Condition，SiLC，網址：

<http://www.silc.org.uk/home>，網站內有土地現況紀錄），提供土壤污染、土地開發、地理地質之相關人事使用保障土地買賣品質與統一土地現況資料。協助政府推動 SiLC 成立的民間單位是

Institute of Environmental Management and Assessment

（IEMA，英國環境管理暨評估協會）。SiLC 的主旨是整合與彙整土地現況資料，並成立土壤污染或大地工程之相關技術交流平台，提供土壤污染、土地開發、地理地質之相關專家學者、土地使用者與地主交流。如果有污染場址需要污染風險評估或整治，SiLC 可提風險專學者或民間團體名單供污染者參考。

以風險評估為基礎所進行的整治規劃方法，在英國已成功地被運用，單純的整治污染場址使其符合法規的要求並非環境永續方法，而以風險評估為基礎的方法是最具成本效益的，在環境永續方面可節省大筆的整治費用，並考量污染土地完成復育後的用途利益及開發價值，確保所面對的成本負擔合乎比例可控制，使其更具有經濟永續性價值。

污染土地的整治費用是昂貴的，若能採用合乎科學的風險評估方法，來決定適當的場址特定整治標準，降低整治費用是可實現的。所以英國為了促進污染土地再開發之成本效益，在土壤整治相關法令當中大量使用風險控管概念；然而風險評估在台灣則為非必要程序，兩者之間有著極大的差異性存在。

台灣土壤及地下水污染整治法已於 89 年（西元 2000）年 2 月 2 日公布，針對控制場址與整治場址有明確的土壤及地下水管制標準，至今尚未有運用風險評估來衍生場址特定整治標準的實例，然而，土壤及地下水污染整治法第 17 條確實准許可依環境衝擊與健康風險評估，來取得土壤污染及地下水污染的整治目標。

### 三、實驗室參訪

參訪英國雪菲爾德大學（University of Sheffield）所屬之 The Groundwater Protection and Restoration Group（GPRG）單位，此單位主要研究領域是土木及結構工程，包含了環境工程科學研究單位，主要對於土壤及地下水整治之研究方向則為生物整治之工法。



（GPRG 標誌）

因為抵達時已屆中午，校方準備簡單的茶點招待，參訪團成員也藉此機會與英方人員進行溝通交流，了解到雪菲爾德大學已在周圍形成一個大學城，近年來也招收許多國際學生，其中亞洲國家佔了多數。在實驗室相關人員帶領下參觀實驗室之設備及介紹場所，並且至砂箱試驗場講解及介紹目前實驗室如何模擬現場傳輸及監測設備的運作。

目前該實驗室擁有儀器設備如下：

1. Atomic Absorption Spectrophotometer（AAS）
2. 2 x High Performance Liquid Chromatographs（HPLC）
3. 4 x Gas Chromatographs（GC）
4. Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometer（ICP-MS）

5. Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS)
6. Fourier Transform Infra Red system (FT-IR)
7. Ion Chromatography system (IC)
8. Total Carbon/Inorganic Carbon system (TIC/TOC)
9. Gravimetric Analysis system

其中砂箱試驗場現正進行 Aquifer Assessment Tool (AAT) 的試驗研究，負責人熱情的引領我們參觀並解說。

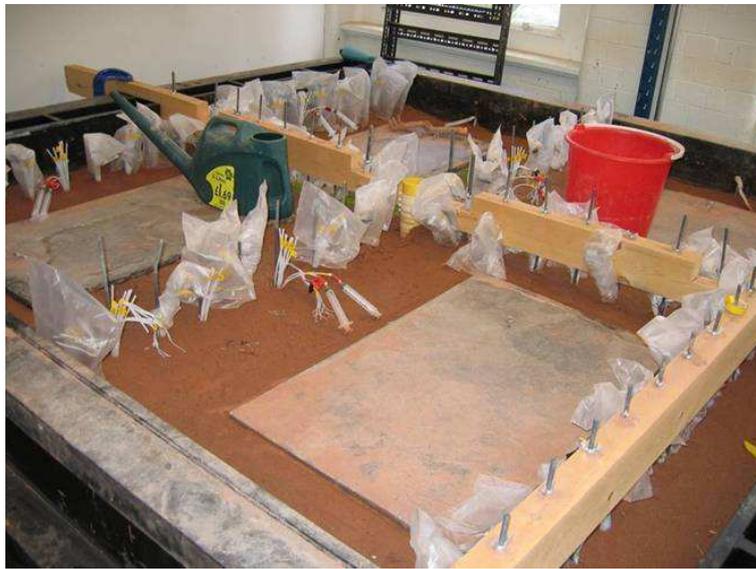


圖 19. 砂箱試驗場 (一)



圖 20. 砂箱試驗場 (二)



圖 21. 砂箱試驗場 (三)



圖 22. 砂箱試驗場 (四)

在 Professor David N. Lerner 的帶領下與 GPRG 的教授群 Dr. Wei Huang、Dr. Ryan D. Wilson、Dr. Steve Thornton... 等等以及與學校配合的廠商進行會商，了解 GPRG 研究發展的重點及互相進行相關土壤地下水工作的交流成果分享及交流討論。

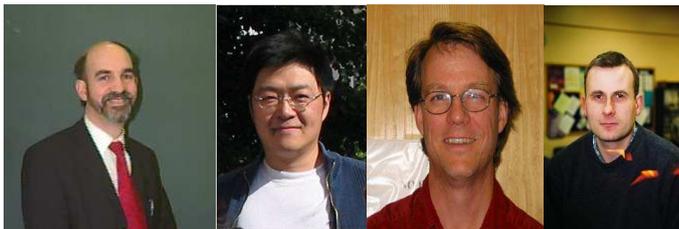


圖 23. GPRG 的教授群

#### 四、參與研討會

最後行程前往 Nottingham 附近的 British Geological Survey (BGS) 英國地質調查所，參加由 UKTI、Environmental KTN & CL:AIRE 所主辦的 Land Remediation Conference。

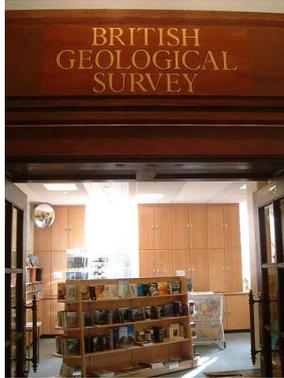


圖 24. 英國地質調查所外觀及標誌

本次研討會主要之內容在介紹目前英國在土壤地下水污染整治方面所從事的一些作為，並由一些實際從事整治作業的廠商發表介紹場址案例經驗，基於雙向的交流台灣代表團也派出代表，針對台灣的法規及環保工作於土壤地下水相關的執行面及政策面和實際發生的案場提出發表，讓英方參與人員對於台灣的土壤地下水污染防治工作能有更深入的認識。



圖 25. 研討會實況 (一)



圖 26. 研討會實況（二）



圖 27. 研討會實況（三）

不過原本在出國前，與英方代表規劃本次研討會為邀集十位英方專家學者與本團團員進行圓桌座談，藉此共同進行經驗交流與心得分享，惟抵達英國後才被告知因欲參加本次研討會之專家學者及廠商者眾，故研討會規模擴大至近百人參與，且當日到達現場才知道本人被安排以官方代表身分上台對我國土壤及地下水污染整治之政策推動現況進行演講，雖然是臨時被告知頗感壓力，但仍勉力完成任務，且獲得聽眾熱烈迴響，休息時間紛紛詢問我國目前的整治現況，並表達高度的興趣與關注。

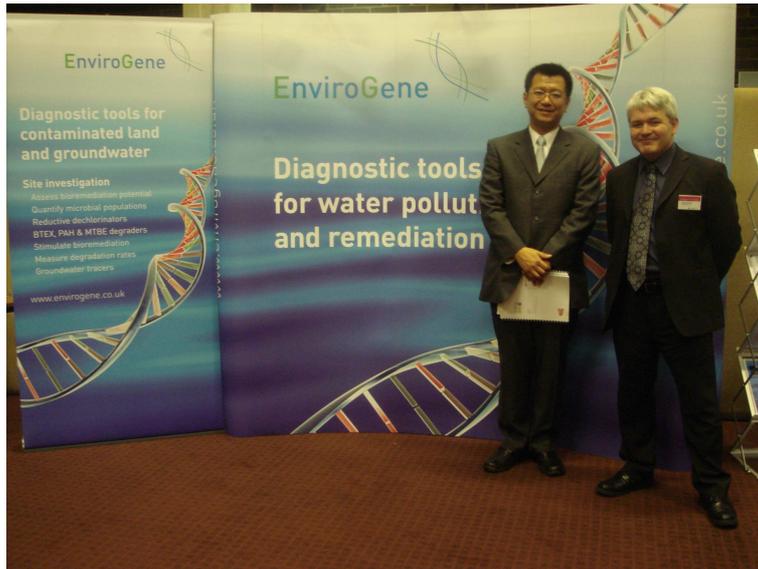


圖 28. 研討會實況（四）



圖 29. 研討會實況（五）

整個研討會中，我方除本人報告外，另外台灣中油公司煉製研究所的黃冬梨博士也發表該公司現正進行的土壤污染整治的實績案例；而英方主要發表的案例包括：生物自然降解的方法運用、電動力整治方法的運用、被動式整治方法的運用、各種現地熱加強式的整治方法運用及以旋轉爐熱脫附方式處理汞、戴奧辛之熱處理法之運用等。目前這些方法在台灣也常被用來研究及實場運

用，不過某些方法礙於設備技術的發展，台灣就不如英國擁有這些方法在實際場址發展使用的經驗。

另外在中場休息茶敘時間，台英雙方的業界代表也掌握機會進行溝通與談，本人因屬公職並未參予，但可以從旁感受到民間對於土壤及地下水污染整治技術交流的積極與熱情，個人認為公部門未來應可考慮從旁協助民間建立適當管道，以擴大彼此交流互動。



圖 30. 研討會實況（六）

以下為部份議題重點整理：

演講者	議題
Prof. Paul Nathanail 土地品質管理 Nottingham 大學	<b>Land Remediation in the UK</b> 英國土壤整治介紹  有長遠工業歷史與密集人口的海島型國家，英國了解土壤整治與再利用的重要。因此英國歸類土壤污染於土地使用計畫系統，而不是環境保護法。透過風險評估機制與土地管理原則來確保土地使用與評估用途。英國有各式各樣的整治技術整治土壤污染。英國社會較接受現地整治。便宜合理對環境影響也低。英國在現地整治有豐富實績，因此掩埋場的數量逐漸減少。

演講者	議題
<p>Dr. Gary Wealthall 英國地理分析</p>	<p>DNAPL Source Area Bioremediation: Establishing Performance Metrics DNAPL 污染源頭生物處理: 開發效能指標</p> <p>整治氯溶劑污染場址可以使用現地處理方式。在界定 DNAPL 污染源頭時，偵測與追溯是複雜工作，需要在小規模的地表土做密集監測(非均勻性)，DNAPL 的估計才能堅固偵測不確定質量。使用生物處理在 DNAPL 污染源頭的氯乙烯地下水實績很少。在英國，SABR(Source Area Bio Remediation)計畫有密集的土壤監測與控制現地示範 DNAPL 生物處理。</p>
<p>Dr. Duncan Scott Prof. Paul Nathanail 土地品質管理 Nottingham 大學</p>	<p>Operating Limits for Monitoring Natural Attenuation 監測式自然衰減法的運作極限</p> <p>自然衰減法是經濟效益的整治工法，可分解地下水中的污染物，及其健康與環境風險低。自然衰減法的唯一缺點是耗時。運作自然衰減法的極限可取決於施用劑量。自然衰減法中有 RTC(Remedial Target Concentration)方法，就是依據整治工程所容許的時間內施用定量的藥劑。例如檢測地下水中的苯含量，再決定 RTC 劑量。</p>
<p>Dr. Laurence Hopkinson Prof. Andy Cundy Brighton 大學 Churngold 公司</p>	<p>Low Energy Electro kinetics for Land Remediation and Groundwater Protection from Laboratory to Field Scale 低耗能電動力法整治污染土壤與地下水(從實驗室到現地整治)</p> <p>低耗能電動力法整治污染土壤與地下水可算是新興技術，適合黏土含量高或有底泥/污泥的污染場址。目前的技術還無法標準化，在實驗室，一般的電動力法是耗能的，但有 9 成的清除污染物之成功率。目前的目標就是在實際的場址運作低耗能電動力法。在開發低耗能電動力法的實用性中，FIRS (Ferric Iron Remediation and Stabilization: 鐵質整治與穩定化)是基於場址的地質與地緣關係所開發的(如 0.2 伏特/公分)。在土壤中發揮 FIRS 作用會產生強酸鹼值(pH)對</p>

演講者	議題
	<p>比(pH2-13)，區分土壤與污染物本身的酸鹼值。加上低耗能電動力法的電泳作用能促使土壤水分中之離子及帶電體移動，其方向視帶電極性而定。此工法適用重金屬污染之場址。</p>
<p>Mr. Craig Sillars Churngold 公司</p>	<p><b>Aggressive In-Situ Techniques: Steam Enhanced Remediation and Chemical Oxidation by Soil Mixing</b>  <b>現地整治技術: 利用蒸氣提高整治效果與化學氧化土壤混合</b></p> <p>在英國，現地處理常見灌氣或真空萃取工法，是否能在一定的時間完成清除污染還是無法掌控。在英國，也有場址運作現地熱處理，簡單的方法就是注蒸氣到土壤中，提高土壤中的溫度，可加速現地化學氧化反應。此工法只建議使用在滲透性低的地質。</p>
<p>Dr. Mike Lenn Ecologia 公司</p>	<p><b>A Novel Treatment Approach to Hydrocarbon Contamination in Difficult Soils Radio Frequency (RF) In-site Heating Coupled with SVE</b>  <b>現地無線電頻率熱處理搭配土壤氣體抽除法整治碳氫化合物</b></p> <p>英國 Ecologia 公司最近商業化現地無線電頻率熱處理整治污染土壤。  此技術是靠電介質與無線電頻率熱處理土壤，無線電波與電介質雙極循環，如同微波爐內發熱效應。英國 Ecologia 公司的無線電頻率熱處理運作於 13.56MHz (高無線電頻率)，可發射到地底，運作效果不需依據土壤濕潤度與土壤含量。無線電頻率熱處理搭配土壤氣體抽除法可整治地下水位線以上的碳氫化合物。抽除土壤中的氣體可使無線電頻率熱處理達到最佳運作效果。</p>
<p>Mr. Duncan Howie Terrsula 公司</p>	<p><b>Permeable Reactive Barriers: Developments in Groundwater Remediation</b>  <b>滲透性反應柵欄: 地下水整治</b></p>
<p>Mr. Andy Fraser Mr. Steve Gleadall</p>	<p><b>In-situ Soil and Groundwater Decontamination Using Electro Resistive Heating Technology (six-phase</b></p>

演講者	議題
Terravac 公司	<p>Heating)  現地土壤與地下水電抗力熱解法(6 段熱解)</p> <p>電抗力熱解法(6 段熱解)是有時間效率與可運作於險峻的地質的整治工法(例如，短時間內可整治 5 英畝三氯乙烯與氯乙烯污染場址)。此工法適合運作於繁忙的都市中。</p>

## 伍、參訪心得

### 一、英國褐地再開發之研究

「褐地再開發」已是英國與其他開發國家的主要政策，根據 Dixon 先生等人之著作“Sustainable Brownfield Regeneration (2007)”敘述，而其褐地之定義包括被拋棄或低度使用區域或有污染問題存在的地區。英國約有 64,000 公頃褐地需要再加以有效利用與開發，因此英國政府特制定國家褐地政策，並結合相關之政府機關、研究單位、私人企業機構等單位於 2003 年英國成立 SUBR:IM 協會 ( Sustainable Brownfield Regeneration: Integrated Management)。協會之主要四個主軸為：(一) 資產發展與投資企業、(二) 政府政策與多層次的決策、(三) 污染整治技術與環境衝擊、(四) 整合方案與都市更新，目的為將問題的地區不僅只開發為住宅區，更提昇為休閒娛樂及生態保育等永續之環境空間。

英國大多數的褐地為過去的工業場址，常具污染問題，因此將這些場址積極再開發就需要兼顧風險管理之議題。風險並不是一個可量測的事情，而是社會結構的價值，因此風險管理需要大眾的參與討論，以建立一個開放、民主的程序。尤其是英法法令定義污染土地 (contaminated land)，是基於風險評估的精神，也就是任何土地之污染物、傳輸途徑與受體三者連結方為污染土地。土地若僅存在污染物質而非明顯污染物連結 ( Significant Pollutant Linkages, SPLs)，則不會被地方主管機關定義為污染土地。至於污染土地的整治標準則依土地使用之目的及風險評估來決定，並非由統一之土壤品質標準而定。

由於英國污染土地之整治工作依風險評估訂定整治目標，每個場址可因地制宜建立持續的污染整治技術。這些整治技術並不是快速、便宜或簡單的改善有風險的污染物，而是能提供未來的地方利益超過整治費用、整治過程造成的環境衝擊低於不採取

任何整治行動的衝擊，並具長期監測與維護的時間表，因此需一套完整的方法來評估整治技術。目前在英國場址最常使用之評估方法是基於多層標準分析（Multi-Criteria Analysis, MCA）與詳細衝擊分析（Detailed Impact Analysis, DIA）結合的生命周期策略來做整治方案權重評分，以選擇最合適永續之整治技術。

褐地再開發除了污染整治外，還包括建構現代化永續的綠色空間，能夠增加社會、經濟與環境三方面的利益，確保再開發之設計能夠支持當地發展成為可持續發展的社會。當然不是所有褐地都適用綠色空間的思維，還需考量當地地理特性與經濟情勢，因此褐地的再開發需要有景觀建築師、土壤科學家、水文學及工程師、生態學家、森林學家、園藝學家及社會科學家等共同投入，考慮當地生物物種多樣性的保護計畫，及資源可採持續利用等需求，以建立一個永續的環境空間。

## 二、英國污染整治技術實務及發展趨勢

在英國雖然短短幾天，強烈感受英國政府幫助私人企業推廣海外市場的用心，行程中的訪問及研討會，提供我們最直接對英國政策與技術的深入瞭解。另外也看到英國的協會如 CL:AIRE 對學術單位及私人企業技術發展的技術與協助，新穎的現地整治技術經由協會的示範計畫得以有效執行並廣為推展，例如以生物復育或電阻加熱等方法處理未飽和層之含氯有機物污染源區。

早期未飽和層的有機物污染最常使用的整治技術為土壤氣體抽除技術（Soil Vapor Extraction, SVE），但受污染物特性如較不易揮發者，整治範圍之影響半徑有限及污染物總量去除不易等限制因素，使此技術無法有效去除各種有機污染。約 1985 年開始歐美國家進一步改良 SVE 加入注氣法（Air Sparging, AS），將空氣在壓力下注入飽和層內，讓地下水中污染物揮發，且由於地表下氧氣濃度增加加速污染物生物降解速率，當揮發性有機物移至未飽和層即經由氣體抽除系統將污染物移出。然而由於許多場

址污染物的揮發性並無顯著去除，無法達到污染整治目標，因此近年 CL:AIRE 推動許多場址使用加熱加強式的氣體抽除技術（Thermally Enhanced Vapor Extraction, TEVE）或六相電阻加熱技術（Six-Phase Heating, SPH），以加速各種有機污染物的去除效率。

## 陸、建議事項

- 一、英國並無類似我國之土壤及地下水污染管制標準，惟其透過風險危害評估結果判斷個別場址應整治之目標值，故能因地制宜彈性訂定處理程序與標準。且英國在進行土污整治過程中，將土地用途列入整治考量重點，並同時進行土地開發，增加經濟的誘因，增加整治的時效性。反觀國內污染土地再開發有許多法令的限制，例如土污法第 10 條及第 14 條所採之限制作為，未來可考慮以風險評估之決策方法，予以較多的彈性，以風險管理作為訂定整治目標的基礎。
- 二、由於污染土地再開發涉及層面很廣，投資金額亦很龐大，可考慮由政府相關單位或銀行進行協調及提供擔保，設置污染整治各種相關保險。同時與再開發有關之各級政府及部門，能共同協助解決場址可能遭遇之問題，或提供技術諮詢等服務。
- 三、英國政府對環境保護工作投入大量資金與人力資源，研發並推廣許多經濟有效之污染整治技術，國內受各種條件限制不易進行技術研發，或許評估引進國外成熟技術可促進國內整治技術提昇，並加速國內污染場址整治速度。
- 四、本次參訪行程受到英方用心的規劃與熱情的招待，在英國主辦此次活動的單位細心安排下，更深入了解英國對於土壤地下水整治保育的專業及用心，對於污染場址的整治與土地開發的並重，以及英國從事整治工作廠商的技術發展及企圖心，有很多地方是值得我們借鏡與學習的地方，特別是感受到英方民間對我國土壤及地下水污染整治工作的高度興趣，而英國官方也給予許多積極且具體的協助，建議未來應持續辦理類似行程，且應提升參訪層級和擴大交流範圍。

五、雖然台英雙方目前並無正式邦交，但是如果我國政府如果能夠擬定計畫輔導協助民間建立技術交流互動管道，或是透過民間組織建立合作互助協定等，將可有效提升台英雙方的實質邦誼，對國家整體利益將有很大助益。