



行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別： 訓練)

土壤及地下水污染整治訓練出國報告

陳世偉、洪淑幸、周淑婉、呂漢岳
服務機關：林茂原、顏伶珍、吳冬齡、劉廣尉
出國人職稱：劉明全、林書泓、林志勇、陳俊哲
姓名：李明恕、陳宏仁、徐 婷、邱芳貞
陳益智

出國地點：英國
出國期間：民國九十二年五月二十六日至六月六日
報告日期：民國九十二年九月

行政院研考會/省(市)研考會 編號欄
15 / 009202669

行政院環境保護署環境保護人員訓練所出國報告提要

報告名稱：土壤及地下水污染整治訓練計畫

頁數 81 頁函附件：否

主辦機關/聯絡人/電話： 環保署訓練所/陳益智/034020789

出國人員/服務機關/職稱： 台中縣環保局陳世偉副局長等十七人
，詳如內文名冊

出國類別：訓練 出國地點：英國

出國期間：九十二年五月二十六日至六月六日

報告日期：九十二年九月

分類號/目：I5 化學與環境科學

內容摘要：

本次訓練由環保署訓練所透過英國貿易文化辦事處（BTCO）及英國 Cranfield 大學協助，針對英國土壤及地下水污染整治技術及現況，規劃辦理是項訓練。成員包含環保署土污基管會、環境督察總隊及地方環保局相關業務承辦單位等一行 17 人，於五月二十五日至六月六日赴英國英格蘭之 Cranfield 大學針對土壤及地下水污染風險評估、受污染廠址整治、復育技術、受污染土地再利用評估及政策、土壤及地下水污染相關管理組織架構與法令、整治中場址與復育後再利用場址現場觀摩等課程，透過中央與地方環保機關共同參與，除加強各權責單位間之溝通聯繫機制，並有助於提昇國內土壤及地下水污染整治技術與管制能力。

目 錄

壹、前言.....	3
貳、土壤及地下水污染整治訓練訓練參訓人員名冊.....	4
參、訓練課程表.....	5
肆、專題內容紀要	6
專題一、土壤及地下水管理綜論.....	6
專題二、政策與法規.....	11
專題三、英國鋼鐵廠整治案例.....	18
專題四、觀摩英國原子能協會核污染整治模廠.....	21
專題五、風險評估與風險管理.....	26
專題六、土壤及地下水污染整治目標之設定與分析.....	31
專題七、英國環保署執行土壤污染整治工作現況.....	42
專題八、地下水污染之風險評估與管理之整合.....	50
專題九、觀摩 Stratford Box 生物整治場址.....	59
專題十、觀摩 St. Mary's Island Regeneration 現場整治再 利用場址.....	63
專題十一、案例分析：溴酸鹽污染整治計畫.....	68
專題十二、案例分析：焦油基殺蟲劑工廠地下水污染調查及 整治計畫.....	78
伍、建議.....	81

壹、前言

近年土壤與地下水污染已成為世界各先進國家關注的環保問題，鑑於我國自八十九年發布實施土壤及地下水污染整治法及陸續完成相關法規、標準建制後，藉由擷取先進國家土壤及地下水污染整治相關政策，法令、技術與經驗供國內執行業務之參考，以提昇我國土壤及地下水污染整治工作之成效。本次訓練由環保署訓練所透過英國貿易文化辦事處（BTCO）及英國 Cranfield 大學協助，針對英國土壤及地下水污染整治技術及現況，於今年五月二十五日至六月六日共同規劃辦理是項訓練。參訓學員包含環保署土污基管會、環境督察總隊及地方環保局等相關業務主管及承辦人，訓練重點包括土壤及地下水污染風險評估、受污染廠址整治、復育技術、受污染土地再利用評估及政策、土壤及地下水污染相關管理組織架構與法令、整治中場址與復育後再利用場址現場觀摩等課程，透過中央與地方環保機關共同參與，除加強各權責單位間之溝通聯繫機制，並有助於提昇國內土壤及地下水污染整治技術與管制能力。

貳、環保署九十二年度英國土壤及地下水污染整治訓練

參訓人員名冊

編號	單位	職稱	姓名
1	台中縣環保局	副局長	陳世偉
2	環保署土污基管會	組長	洪淑幸
3	環保署土污基管會	組長	周淑婉
4	嘉義市環保局	技正	呂漢岳
5	環保署環境督察總隊	技正	林茂原
6	基隆市環保局	課長	顏伶珍
7	苗栗縣環保局	課長	吳冬齡
8	新竹市環保局	課長	劉廣尉
9	嘉義縣環保局	課長	劉明全
10	高雄市政府環保局	技士	林書泓
11	桃園縣環保局	稽查員	林志勇
12	台中市環保局	技佐	陳俊哲
13	南投縣政府環保局	技士	李明恕
14	屏東縣環保局	稽查員	陳宏仁
15	宜蘭縣環保局	技士	徐婷
16	環保署土污染基管會	技士	邱芳貞
17	環保署環境保護人員訓練所	專員	陳益智

參、環保署九十二年度英國土壤及地下水污染整治訓練

訓練課程表

日期	課(行)程內容
5/25(日)	台灣→英國
5/27(二)	課程介紹與土壤及地下水污染管理之「永續科技」概論
5/28(三)	土壤及地下水污染整治政策、法規與組織
	案例分析：英國鋼鐵廠整治案例
5/29(四)	觀摩英國原子能協會核污染整治模場
5/30(五)	風險評估與風險管理
	土壤及地下水污染整治目標之設定與分析
6/02(一)	英國環保署執行土壤污染整治工作現況與座談
	地下水污染之風險評估與管理之整合
6/03(二)	觀摩 Stratford Box 生物整治場址
	觀摩 St. Mary's Island Regeneration 現場整治再利用場址
6/04(三)	案例分析：溴酸鹽污染整治計畫
	案例分析：焦油基殺蟲劑工廠污染調查及地下水整治計畫
6/05(四)	英國→台灣

肆、專題內容紀要

專題一、土壤及地下水管理之「永續科技」概論

歐洲近年來因煤礦、鋼鐵等工廠陸續倒閉，其廠址之土地再開發利用成為相當重要之議題，由 52 個歐盟成員及 8 個企業團體成立“褐地及經濟重整聯合行動小組”目的為整合各國及地區之研究成果，協助提供實際可行的方法及工具，相關資訊可於其網站“laq.co.uk”中取得參考。

「永續發展」之定義主要為在不影響後代需求下，又能針對現在的需求適度的開發，其中包含經濟、環境、資源及社會的要素等不同面相。永續發展是每個策略研擬過程均需妥善考量，但依每個個案不同，考量的因素亦有不同。但其必須考量開發可能產生之成本效益、經濟問題影響等，亦即「永續整治」係在經濟、社會、環境三者間取得平衡。許多例子告訴我們過度的經濟發展，可能對環境產生相當大的衝擊，如六年前廣州深圳僅有 2,500 人，但目前成長至 600 萬人，其人口數增加造成環境負荷量加大，環境因子顯著改變勢必可預見。

如何才可稱為「真正整治完成」係見仁見智，但至少必須考量四個因素：一、解決無法接受的風險，二、復育，三、再開發，四、降低企業者之責任，不致令其無法承擔。國際間整治成功之案例，包括：雪梨奧運場地、法國世足賽場地，均為污染場址再利用之實例。

永續整治工作首先需設定計畫的中心目標，中心目標之設定考

量：(一) 風險管理：降至可接受之程度，(二) 再利用／開發之規劃，(三) 責任降至企業者可接受之程度，而中心目標相對之限制亦應一併考量，包括：法規面、技術面之技術限制、廠商及立法之限制及經濟資金之來源。

計畫廣義或非中心目標，則需考量四項外部成本因素，包括環境、資源、經濟及社會等因素，上述中心目標和非中心目標之總合即為計畫之總目標。

但不同個案，其考量因素亦不相同，即不同污染物有不同之處理方式，如苯污染之處理運輸至場外處理風險較大，主要係由非中心目標推論得知如此的處理方式不適當，而蘇格蘭核能電廠核廢料，則以運輸至場外處理場持續處理為佳。

土地管理之風險評估需考量之問題，包括一、場址特性：土地不同開發用途及價值，考量不同場址之處理方式，二、風險評估，三、如何整治：技術及成本為何。風險評估需取得污染源 (Sources)、傳輸途徑 (Pathways) 及受體間 (Receptors) 之平衡點。

英國風險評估之工具，包括：CLEA, SNIFFER Methodology, Intergrated Methodology, Risk Assessment, CONSIM, Gassim, LANDSIM, RBCA derivatives 等，其中 CLEA, SNIFFER 及 Gassim 三者主要以人體危害評估為主。

即使風險評估之方式如此多，但仍有許多明顯的資訊可能被忽略

而影響其評估成果，亦即僅由數字並不能完全展現其評估之全貌，仍需藉由許多有用資訊之提供方能提出有效符合實際之政策。因每個人對風險評估之認知並不相同，所以必須藉由訪談不同人，以了解其對風險之感受，才能進一步作風險之溝通。也僅有在科學家、業者、政府及大眾能作有效的風險溝通才能順利解決問題。企業者的參與是目前之趨勢，如果未作好將使計畫受阻甚至停頓。

整治之目的並不在於降低污染物濃度而已，主要應為降低風險，亦即阻斷污染源、污染途徑及受體三者之連續關係。

「整治工作」大概為計畫中成本最高之部分，且必須有法令之支持，其主要工作包括：去除、減少或破壞污染源，阻斷污染途徑及改變受體（行為）等。傳統的整治技術，包括：挖出污染物質並運至合法處理廠處理、抽出處理、阻隔污染物質之移動、使用覆蓋系統限制受體接受污染物之暴露，但目前僅約 70% 使用傳統的方法，新方法仍日益改善發展中。

離場處理技術，包括將污染物挖出後於現址或將其運至處理中心或廢棄物處理工廠，而就地處理技術，係以直接在污染物所在位置進行整治者，將其對污染場址之改變降至最低，此技術將污染物於其所在位置直接處理。尤其當污染場址因污染深度、經濟效益或有建築物於其上者，無法進行挖出處理時，本項技術可說是最合適的。

處理技術之型態大致可分為：

一、以處理過程為主之技術：生物性、物理性、化學性及固化／安定化。

二、非處理過程為主的技術：市政工程方法。

傳統方法對於廢棄物大都以挖除方式，再運至掩埋場掩埋為主，此外也用阻隔牆方式將污染物侷限於一定區域內，但又受限於阻隔牆會有使用年限，30~40年後就必須尋求其他的處理技術。

「自然衰減」係指透過物理、化學及生物反應過程，使污染物的量、濃度或毒性減少的技術。本項方法必須建立在持續的監督，建立最基本之限制去發現其變化狀態，可作為評估最適永續發展之方法。

生物處理技術建立在四項基本過程：一、生物衰減，二、生物傳遞，三、生物累積，四、污染物的移動等，同時可用於離場處理或就地處理均可。而生物處理最基本的原理，就是維持現地原有菌種的生存，並給予大量的水、空氣及食物等，以增加其反應及分解作用。

土壤淋洗法：利用機械及化學方式，將污染物與無污染介質分開，其分為六個階段：一、將土壤結塊弄散，二、High intensity attrition，三、依大小分類，四、分離，五、脫水，六、廢水處理。

土壤氣體抽出處理方法，主要為去除土壤中所含的揮發性物質為主，適用於平原，且處理前必須先找出最適合的抽水地下層深度。

熱解技術主要用於離場處理，分為兩階段處理，先將土壤中的揮

發性污染物趕成出氣體狀態，再將其處理。

適當整治策略之選擇及執行，需以風險為基礎去執行及設計，找出最有效率的方法、技術，一般而言以個案特性不同選擇不同的方法，但必須記得要以破壞污染物、污染途徑及受體三者間的關連性為考量。

選擇整治技術的六項程序：一、審視現有資料，二、建立核心目標，三、建立非核心目標，四、確認潛在整治方案，五、就各項整治方案進行仔細評估，六、找出最佳的整治方案。

土壤整治之成效不易展現，但如何說服大眾或後續接管該場址土地者，土壤已整治完成，必須藉由記錄建立模式及監測才是最佳之方法。整治工作是一件複雜且困難的挑戰，目前已有許多既存的整治技術，但永遠必須以降低所有風險為主，且須在有限技術下，審慎考量成本效益及永續發展的目標。

專題二、政策與法規

一、前言

英國中央政府的環保政策係由家庭、食物和道路事務部 (Defra) 統籌，英國因民族及地域特性的差異，環保政策的訂定與執行標準差異甚大，其中英格蘭與威爾斯合組為一環境保護署，蘇格蘭與北愛爾蘭則各自成立其環保權責機關，分別制定個別的環保法規與政策，並無全國一致的標準，此外土壤與地下水污染整治方面則由中央及地方政府、民間之學者、專家、污染區域住民及工程顧問公司合組一評估委員會，透過公眾參與及污染評估機制，決定各污染場址整治方式、標準及再利用用途，各場址並無統一的管制與整治標準。

二、組織與架構

英國環境保護主管機關可分為英格蘭和威爾斯之「環境保護署」- (The Environment Agency, EA)，蘇格蘭之「蘇格蘭環境保護署」(The Scottish Environment Protection Agency, SEPA) 與北愛爾蘭之環境和遺產處 (The Environment Heritage Service, EHS) 三個中央主管機關，及各地方之環保衛生部門 (EHOS)。其中以英格蘭與威爾斯之環境保護署為主要之環保部門，EA 於 1995 年依環境法設立，現約有 10,500 工作人員，年度預算 6 億 5 千萬英鎊，是歐洲最大的環保機構。總部設於必治妥 (Bristol) 和倫敦，共有

8 個區域級及 26 個地區級的單位及執掌廢棄物、防洪、國防、水資源之專責部門（辦公室），而統籌地下水和土壤污染、洪水預警及有害物質之防治與管理則由國家環境中心（於 Defra 架構內）負責，故英國政府之環保部門並非如我國由環保署統籌各類污染防治與管理工作，其組織較為鬆散，著重橫向機關之聯繫與區域特性之管理。

EA 的組織融合（一）水管理單位由國家河川總署（NRIA）

（二）工業管理單位：女王陛下之污染稽查處
（HMP）

（三）廢棄物的管理單位：各郡依議會立法差異所設立之 84 個廢棄物管理權責機關
（WRAS）。

目標乃為英格蘭、威爾斯的目前及子孫創造更美好的環境，改善生活品質和野生動物生存環境並希望給予每個人較乾淨的空氣，並保護內陸與海岸的水資源、保護土地並復育更健康的土壤，也尋求一個自然資源永續利用的綠色世界。

三、土壤及地下水污染整治政策

英國為一工業長期發展的國家，有很嚴重的土壤及地下水污染問題，依據 1993 年 EA 之估計目前約有 5-10 萬個場址約 10-20 萬公頃受污染區域及潛在約 30 萬公頃的工業和自然污染區域

尚未被發現，然而並非每個場址均對人類健康有立即的威脅，因此英國採取集中資源針對立即及潛在性之污染場址優先處置，無立即為害者則採監測及自然環境自淨的方式處置。其土壤地下水污染整治之策略目標係以「適合我們使用」(Suitable for use)觀念為中心策略，以風險評估之方式針對於各個土壤及地下水污染場址之特殊的條件做個別之評估，當污染場址對人體健康或環境有無法接受的危害時，即啟動整個風險評估及公眾參與之機制，決定整治之方式、程度及負責整治之單位與未來土地利用方向。英國土壤及地下水污染整治計畫和發展的控制機制為地方環保機關責任，EA 則可影響計畫的策略，依法提供某些形式考量的諮詢，來影響整個機制以保護環境，並藉由針對廢棄物和工業訂定有效的 (PPC permit) 法規及嚴格執行來避免新的污染，並經由 (一) 地方計畫法 (Town & Country Planning Act 1990) 來改變土地用途 (二) 以目前污染場址的使用狀態做計畫 (Environmental Protection Act 1990: Part II A) 及 (三) 對工業廠商做水污染之工作通告 (Water Resources Act 1991) 等法令規定來整治存在的污染，已達其土壤及地下水污染整治及防治的目標。

此外亦納入污染者付費的原則 (PPP)：依污染者付費的原則污染者須負起整治的責任，包括實際污染者、使用者或土地的所有者 (當無法查明造成污染之嫌疑者，即將該場址公告為所謂的

孤兒場址，由 EA 負責整治)。

四、土壤及地下水污染整治法規

英國有關土壤和地下水污染整治之多數的法規源自於歐陸的環保法律，或由歐洲共同體 (EU) 制訂共同法規，英國再參考擬訂適合該國之法律經各區議會通過發布實施。

英國土壤及地下水污染整治及管理最重要法規為 2000 年 4 月完成立法之 Part II A 法案 (此部份為英格蘭之立法，蘇格蘭亦規劃類似法案但尚未立法)，其主要精神係規範當污染土地現行利用與狀況對人類健康和野生動物產生無法接受的危害時之鑑定與復育整治步驟與措施之依據，包含針對特殊污染場址、整治之公告通知、救濟程序與紀錄...等，Part II A 的立法賦予地方政府主要執行權，EA 則支援地方政法執法。

(一) Part II A 法案之特性與污染土地之定義：

1. 納入風險評估之觀念：Part II A 法規基於風險理論援引發布「環境風險評估與管理指引」之精神，針對土壤污染的評估 (1) 對人體的曝露程度 (2) 化學性質 (3) 毒物學上的特性 (4) 相關環境物理學 (如水文學) (5) 污染物對環境的影響 (6) 污染物 (來源)-途徑-接受者之連結關係等，其中對於人體健康風險評估指引包括 (1) 受污染土地報告 (CLR) 和 (2) 受污染土壤曝露評估模式和結合報告

(CLEA) 為指引，以認定何種化學物品傷害人體健康或因每天之日常活動於居住的土壤曝露該化學品的程度來估算其危害的程度，並以 CLEA2002Model 來推估，在英國以評估來限定污染場址的特殊功能性，其特性為 A.基於土壤利用的基礎上 B.以合併達 10 個曝露途徑 C.評估的標準並非法規的標準。

英國政府監管的水包括領土水域（延伸至外海 3 英里）海面，內陸的水塘、湖水、河水或任何小水管之新鮮水和地下水，面對於地下水污染管制僅限於對地下水污染的監測並繪製地下水污染地圖，以瞭解污染的走向，並且繪製水源保護區域地圖，對於大型取水井及水文、水量均須明確的掌握，並且用電腦模式 Con Sin 來地水水的風險評估。

2.受污染場址之定義：Part II A 法案規定地方政府於（1）明顯有污染或有被污染之虞的場址（2）水源被污染或有可能被污染之情況下可定義為受污染場址。

（二）Part II A 法案中與地方政府之分工：

1.地方主管機關角色：（1）操擬和公布稽查策略（2）稽查和鑑定轄內似受污染的土地（3）劃定受污染土地的場址（4）對所有污染土地執法，責令污染者整治等（但特別場址除外）。（5）定期公布列管名冊。

2.中央主管機關角色(EA):其中地方政府的角色為EA的角色為(1)協助地方政府鑑定污染的土地尤其與水污染有關者(2)對特殊場址(special site)提供必要的諮詢。(3)對特殊場址公告與整治(4)對全國的污染土地定期公告週知(5)公告整治技術使用(6)受污染場址之國際報告。

(三) 整治之工作步驟：包含事前風險危害評估、整治行為與事後之持續監測三大步驟，重點如下：

- 1.確認需負責整治之人或單位(appropriate persons)。
- 2.確認每個個案整治方式。
- 3.確認整治行為被執行：不論由 appropriate persons 自願執行或者皆或警告單再執行整治工作，必要時主管機關亦需投入整治。
- 4.整治費用由負責整治之人員或單位，依警告單所載應負擔之比例分擔費用。
- 5.依法詳細記載各項整治事宜

五、結語

目前國內土壤污染的管理與法規以清除污染物為主來訂定管制標準和政策制定。如有發現即朝公告控制場址與整治場址方向發展，引用美國的「How clean is clean」之想法，也可能因民

意要求速效，然此方針卻浪費龐大的金錢，也導致土壤的特性改變等缺點，決策的過程中較欠缺人文的關懷與土壤的再利用、水文、地質學、公共衛生等相關規劃與社區住民、專家學者之參與，而偏重於環工的整治，英國的「Suitable for use」及「Risk based approach」值得我們訂定政策時的省思。

專題三、英國鋼鐵廠整治案例

一、前言

英鋼公司封廠後，相關的管理作業是另外成立一廠址管理團隊，由英鋼、COURS、ASPINWALL 環境部門，三者共同來處理設備移轉、廢棄廠房處置、安全維護、保全及水管理與污染整治等。該團隊於 1994 年提出一整體的整治計畫，包括檢查、監測、設計及改善等工作項目，首先針對既有受污染的土壤、地下水、排水及被挖空的礦坑，進行檢查或監測。此一整治計畫後來證明獲得很大的好處，主要歸功於相關資料的收集是在工廠封閉前就已進行，另外一開始就與周圍民眾進行充分的溝通並完全呈現工廠真實現況等關鍵因素。

二、環境問題檢視及策略研究

Ravensraig 鋼廠占地超過 400 英畝，其中 80% 以上屬已開發之用地，在該廠運轉將近 40 年的時間，留下大量的污染物，所以該團隊將環境問題擺在土壤、地下水及廢棄物的污染問題上，像對穿過本區域的 Todhole 的河川污染，煉鋼留下的煤焦、塔泥、殘留土壤及水塘的重金屬、清洗作業所留下的苯、油泥非法棄置及部分的市鎮垃圾等，都是需要解決的問題。

因此首先要先確定最主要污染物的影響，其次是估算污染程度、面積及數量等，另需訂定廢棄物管理策略及水質（量）管理

策略，最後再以長遠角度做考量，由多選擇方案中，選出最佳的解決途徑。本計畫檢視前述各項污染問題後，在考量工程技術，環境接受度及最終用途與發展及計畫時間的限制等因素再利用基本風險分析方法（Risk-BASED APPROACH）決定了本廠址各項污染物及區域的危害程度。

再針對各項可選擇方案，決定本廠址廢棄物管理策略，應就現址改善環境問題及進行復育是最適合的選擇方案。並於 1994 年將前述共 10 億英鎊的整治計畫提供地方政府及公布給社會大眾，另委請公正客觀的單位進行了兩年的監督及評估，並在 1996 年得到地方政府的審核通過。

三、計畫執行及成果檢討

依審核通過的整治計畫，自 1996 年 7 月開始進行整治及復育，全部計畫於 1999 前完成，並依原計畫進行各項必要的監測、維護。檢視本計畫的成果在形成決策過程中使用科學的方法，並考量了下列各項因素：

- （一） 進行整廠環境問題考量：包括廢棄物的廠房、水質（量）的管理、排水系統及其他環境事項，使本廠址復育（Re-developed）可以在最小的限制下進行。
- （二） 妥處特殊問題：截流住已受污染的地下水，所以整治過程中的所滲出水量就變得很少。截流水的處理設施包括以物

理、化學、生物及最終蘆葦床的改良系統。本計畫的成果已交給蘇格蘭發展署（Scottish Enterprise Lanarkshire）進行推廣。

（三）有限度的發展策略：本計畫承認 Ravenscraig 廠址的發展限制，並納入整個整治計畫中考量。而計畫執行中僅須進行簡單的監測，就能符合一般進行褐地（Brown Field）發展的要求，使計畫順利推動。

（四）有效阻絕污染：將受污染的土壤以層層的粘土層進行阻絕，並實施有效的地下構造物監測作業。

Ravenscraig 廠址經過整治復育後，目前已得到社會大眾的肯定，並成為蘇格蘭 North Lanarkshire 推動新社區開發的主要目標地。

專題四、觀摩英國原子能委員會核污染整治模廠

一、前言

英國原子能委員會 (United Kingdom Atomic Energy Authority, UKAEA) 於 1994 年在處理除役核工業所產生之土壤及地下水污染的削減上，於業界展露頭角、建立起口碑。因此 UKAEA 即以處理核工業所產生的核廢料及核輻射等對環境的污染為主要的技術服務。

基於核工業廢料之輻射影響及考量現場操作人員之安全，UKAEA 研發了減少操作人員與核廢料接觸機會的整治處理技術，以自動化密閉式之程序處理，並以儀控中心代替現場量測。

核廢料在處理前，依據其性質之不同，必需在模廠先行測試適合的整治技術，而整治技術若在短時間內成效不明顯，依據核廢料物質的半衰期而言，或許會將整治時間延長至 300 年也不一定。

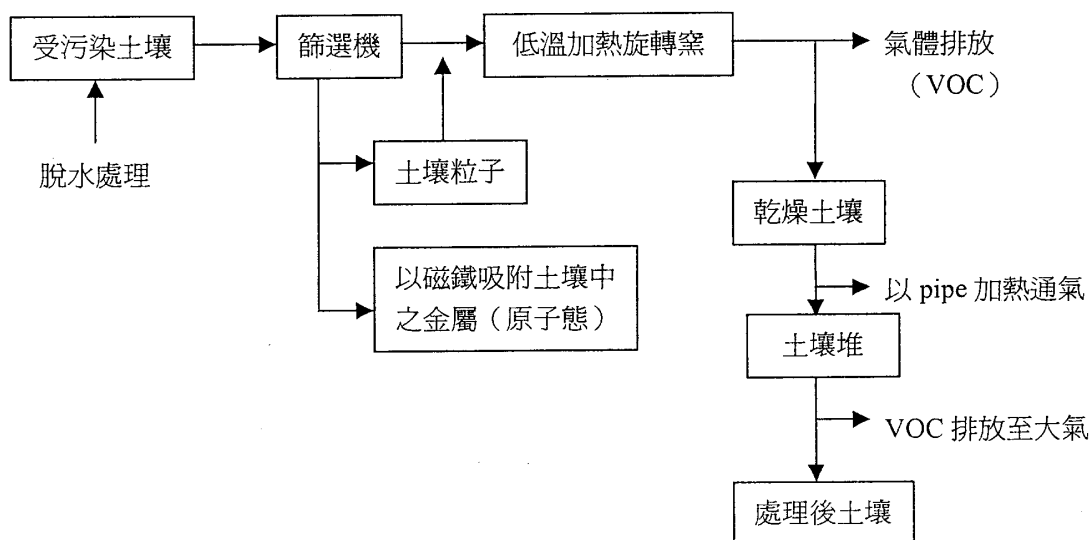
二、整治技術

UKAEA 與英國其他研究技術顧問機構合作交流，由於資訊與技術在土壤及地下水整治過程中占有十分重要的角色，所以英國環工業界；包括政府部門，都傾向於成立 partnership 的關係，不僅能擴大技術交流、提升技術效能、還能廣籌資金，畢竟土壤及地下水的整治是一項十分具挑戰性的技術領域。

UKAEA 在參訪過程中，提供了以下的整治技術，並以其整台場址之效能，提出說明：

(一) Low Temperature Thermal Treatment (低溫熱處理)：

一般而言，利用溫度的方式處理，其原理為脫附作用，通常可分為低溫熱脫附（溫度範圍 90~320°C）及高溫熱脫附（溫度範圍 320~560°C）兩種；視污染物之揮發性來決定使用的方法，愈容易揮發的物質，則採用低溫熱脫附法，反之，採用高溫熱脫附法。由於受污染之土壤一般來說，含水率高，所以在處理前必須先進行脫水程序，再利用篩選方式，將土壤中高黏性土粒、大顆粒或高濃度有機物土壤分類，分別處理，則可提高處理效率。低溫熱脫附法較適用在有機物含量低、含水量低及黏性低的土壤，且其污染物多為揮發性有機物。其處理流程如下：

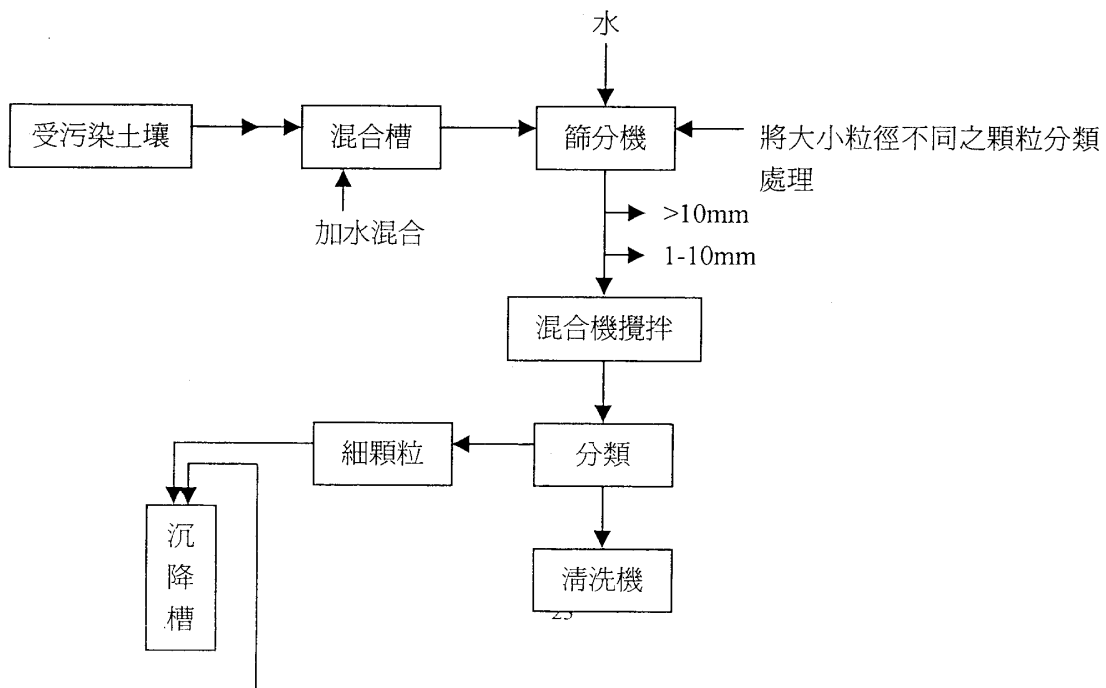


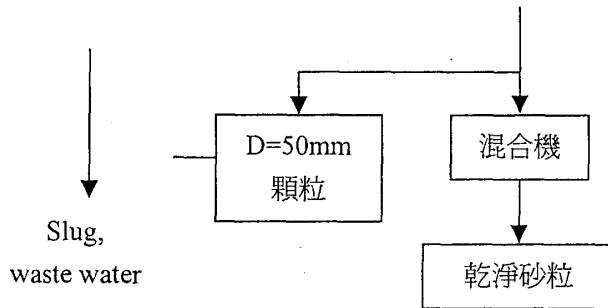
Flowchart 1.

(二) Soil washing (土壤清洗)

土壤清洗是將污染物從土壤轉移至水溶液的移轉過程，是屬於物理作用的一種機制；如果污染物大部分是吸附在土壤表面，即可經由清洗的過程將污染物清洗出來，而被較細小顆粒土壤所吸附的污染物，則利用篩分法將之與粗顆粒分開，以達到分別處理的效能，一則可以提高處理效率，另方面亦可達到減少體積的目的。

使用 Soil washing 必須看污染物吸附在何種形狀的土壤分子上，以及是否容易自土壤粒子中分離，如圖一所示，第一到三種土壤分子即適用 Soil washing，第四及第五種較不適合，但第五種土壤分子若能將之切分至更細，亦可適用。Soil washing 之處理程序如下：





Flowchart 2.

Soil washing 適用於污染物的水溶性佳（親水性），容易隨水分移動之物質或是細粒吸附性較佳者。一般而言，物理反應之整治技術較容易被採用，原因是操作成本較低，但必須要將污泥處理及後續廢水處理的成本考量進去。

三、結語

土壤及地下水如何界定是否已經遭受污染，可以由污染源、傳輸途徑及受體三者之間的連結關係來判定，所以，必須先確定何者是受體，其經由傳輸的途徑種類有多少？才可以判定其連續網絡。在英國，判定污染土壤及地下水場址的優先順序，係經由四階段判定技術作為評估，簡述如下：

第一階段：一、進行簡單的分析，如果污染源濃度（Remedial target,

RT）低於受體濃度，（target concentration, C_T ）則

不必進行任何整治。

二、如果污染源濃度高於受體濃度（ $RT > C_T$ ），以稀釋

方式減輕。

三、再經分析， $RT > C_T$ ，進入第二階段。

第二階段：一、進行稀釋，若 $RT < C_T$ ，即完成整治。

二、若 $RT > C_T$ ，進入第三階段。

第三階段：一、包括任何使污染物衰減的工法，若 $RT < C_T$ ，即完成整治。

二、若 $RT > C_T$ ，則進入第四階段。

第四階段：一、在此階段則作比較特別或複雜的分析。

二、使用風險評估或特別的模式來評量受污染的場址。

三、包括水文地質、土壤、污染物及微生物等項目都必須進行分析，並研判其間的關連性，以研究最適合的整治方式。

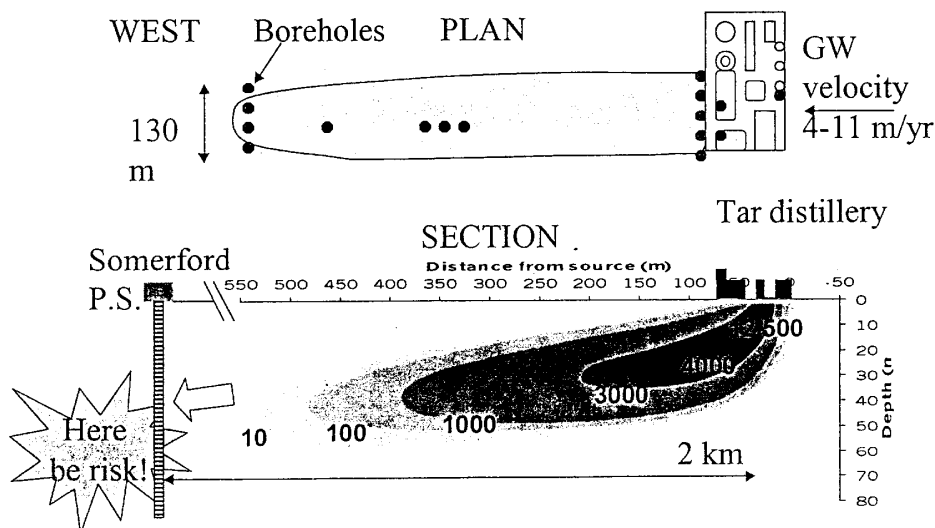
相對於台灣、英國在評判優先整治場址的考量上，顯然比台灣有更寬廣的決策空間，英國以受體為目標，因此同樣的污染源，由於受體選擇的不同（例如住家或河川），在污染整治上會有截然不同的執行政策，在人體健康與環境承受污染負荷為整治的優先考量下，英國的執行策略的決定，可以供台灣作為參考及借鏡。

專題五、風險評估與風險管理

英國是工業革命的搖籃，大約有 250 年的工業發展歷史，也可以說遺留了 250 年的工業污染，但是一直以來並沒有全國性的污染調查工作。以英格蘭和威爾斯地區的土地調查，經過粗略的估算，數據顯示約有十萬個受污染的場址，涵蓋面積約有 5 萬~30 萬公頃之多。有 5~20% 的比例被認為是問題場址（嚴重污染區域）需要被整治，也就是說這些地區對人類健康或是對環境的危害風險是不可被接受的。

以 4A 焦油提煉工廠為例，原先是一座焦油提煉工廠，生產酚、苯氫、苯、甲苯、二甲苯、乙苯等，已經生產 50 年了，有大面積的地下水污染，現在編列 2 千萬英鎊做受污場址的整治工作，而飲用水中酚的濃度限值為 $1 \mu\text{g/L}$ 。

焦油提煉工廠的傳輸路徑如下圖，這是污染場址五個污染擴散團



圖、焦油提煉工廠的傳輸路徑 (David Lerner University of Sheffield)

的其中一個，圖示在其下游 2 公里處會產生危害風險。

大部分製造、貯存、處理或使用化學物品的地方，多會跟土壤及地下水污染有關，所有使用有機化學溶劑的地方，在它的下方都會有地下水污染問題，只是問題的嚴重程度不同而已，但真的需要花費如此龐大的經費去防止土地持續被污染或整治土地嗎？這是個值得被討論的議題。

例如在一個複雜的都市環境中，也許有 1,000 家從事化學物品行為的公司，也許有 100 口受污染的井，事物無時無刻在改變，我們真的能夠期望去監測每件事件嗎？這就是為什麼英國會利用風險評估的背景原因，因為你不可能有如此龐大的經費去做所有受污染整治的工作。

以風險評估為基礎的方式是需要的，因為：

一、在非常多的潛在性問題

(一) 有很多的人類活動會潛在的影響土壤及地下水。

(二) 許多已存在污染的地點。

二、缺乏資源 (金錢或人)，因為必須在同一時間去處理所有事情。

三、英國的立法機構要求

(一) 必須從可能會發生顯著危害的地方著手。

(二) 必須考量永續發展及成本效益。

四、技術及科學方法對於地表層仍存在著許多不確定因素。

英國在 2000 年制定土壤整治法後，其目的在改變企業主對土地使用的觀念，以前是讓企業主自願整治受污染場址，但立法後，可以強制要求企業主整治受污染的土地。但立法後，執法人員同樣會面臨一些挑戰，比如說執法者要去分析評估造成污染的因素（由水、空氣或廢棄物所引起等），這取決於執法者對科學領域的熟悉程度。

在英國英格蘭中央政府下有九個區域政府，但要做到中央政府與區域政府的一致性是不容易的，有些大企業並不只在一個區域設廠，可能會跨區域設有數個工廠，企業就會利用不同區域的法令來規避某些問題。

要以風險評估來當策略使用時，必須考量幾個部分：

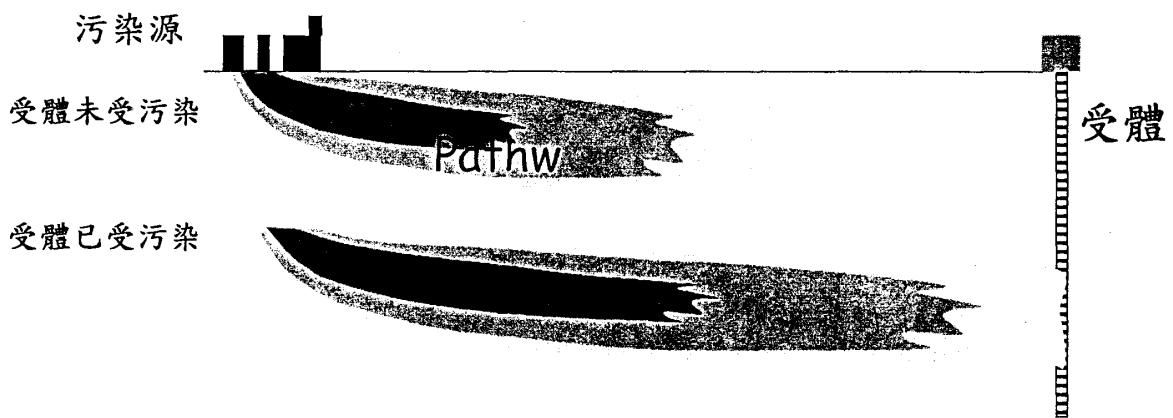
- 一、場址本身的特性。
- 二、所有可能涉及的污染連續關係。
- 三、實際可行的方法及持久性。
- 四、成本效益。
- 五、顧及對廣義環境的影響。

當要做決策時，必需要有清楚的文件歸檔作業，因為整治需要花很長的時間，你可能必須要找到十年前的數據資料來跟現在的做比較，以判斷你的處理方式是否正確。

風險評估有下列幾個準則：

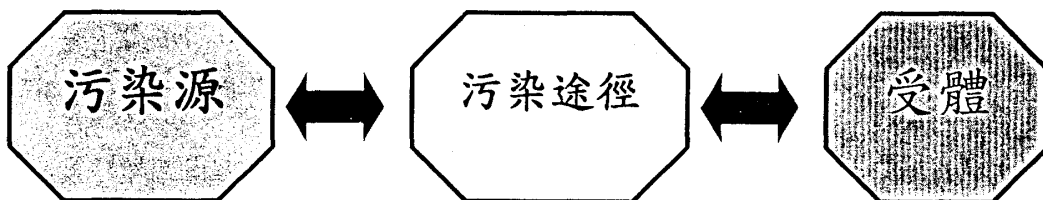
- 一、找出污染源、污染途徑及受體間的關連性。
- 二、切斷這些關連性。
- 三、找出污染物衰減方式。
- 四、簡單的層次分析。
- 五、多元化的分析評估。

污染源、污染途徑及受體之間的關連性就如下圖所示，下圖上方



的污染源沒有跟受體相關連，所以對受體現無污染行為發生，而下方污染源會擴散到受體，所以有污染行為發生，如果三者彼此間沒有關連性的話，就不會產生污染行為。

而整治的方式就是切斷三者間的連續，如下圖所示，你可以從污



染源去整治，如降低污染濃度、移除污染毒性等，或是截斷它的污染途徑，再不然就是保護受體，不讓受體曝露在污染物下，或是改變受

體的行為。

清除污染源是最簡單而且直接的整治方法，但也是最花金錢的方法，因此我們可以找出一些降低污染物濃度的方法，如自然衰減方式。

自然衰減方式，嚴格來說並不是一種整治的方法，而是風險評估的方法，傳輸途徑可能產生的作用有污染物的稀釋、擴散、吸附和非生物反應及生物分解等作用。

如果可以利用自然衰減的話，我們就可以不用整治，只需要做一些監測，如此可以節省許多金錢。

利用簡單的層次分析方法，當我們有緊急事件需要立即整治時，我們不用花金錢在資料蒐集和研究上，但是所花費的整治費用也最高，相對的，我們花愈多時間在資料蒐集上及投入更多的研究費用，我們就能節省更多的整治費用。重點是，整治費用相對於研究費用而言，高出很多。

風險評估對於受污染場址的整治而言，是相當重要的，因為整治受污染場址是需要投入相當多的人力、時間與金錢，荷蘭曾經認為他們可以整治所有的受污染場址，但最後失敗了，後來也採用風險評估方式來決策。原先荷蘭政府認為他們只需整治 100 個受污染場址，最後發現可能多達一萬個受污染場址，沒有任何一個政府可以投入這麼多的金錢與人力做整治的工作，所以風險評估的重要性就顯現出來了，善用風險評估就能夠節省整治成本。

專題六、土壤及地下水整治目標之設定與分析

一、英國現行所使用之方法

英格蘭環保署 (EA) 於 1999 年 10 月發表以保護水資源為目的所設定之土壤及地下水整治目標所獲得之方法論 (Methodology for the derivation of remedial targets for soil and groundwater to protect water resources)，該方法論是由 Aspinwall & Co. Ltd 公司所發展出來的，相關文件可由 WRC 文件供應中心獲得 (the WRC document supply center 網址為 www.eareports.com)，該方法論簡稱為 R & D publication 20 或 R & D 20。何時我們應當使用 R & D 20？，係當我們考慮污染源應被清理至何種程度，方不致對受體造成威脅，這是我們所關心的。

二、定義

(一) 折衷點 (The compliance point)

係考量污染源對受體所造成之影響，而選擇一適當位置進行評估、監測之地點。

(二) 目標濃度 (The target concentration)

1. 在折衷點所監測到的濃度不得高於目標濃度。
2. 該濃度係考量人體健康或環境標準 (health or environmental standards)。

(三) 整治目標 (The remedial target)

1. 考量被污染區的地下水或土壤濃度。
2. 係由階層化風險分析方法 (the tiered risk analysis) 所計算而得。
3. 當實際濃度超過整治目標時，是必須進行整治工作。

三、目標濃度的決定 (Determination of target concentration)

(一) 目標濃度係考量下列三大項目而決定：

1. 背景水質。
2. 英國水源供應之法令規章 (UK water supply regulations)。
3. 英國境內提供魚類等水生物生存所需之新鮮水質標準 (UK quality standards for freshwaters required to support fish etc.)。

(二) 在下列五種條件之一成立時，較不嚴苛的目標是可以被接受的：

1. 背景品質 (Background quality) 已經超過標準值。
2. 評定應整治的等級 (Degree of remediation) 是無法達到的。
3. 所訂定之標準對未來之應用是較無關聯的。
4. 整個系統和被預測的衝擊 (The system and predicted impact) 是可以適當定義的。

5. 污染情況似乎是短期內可以控制的。

(三) 相關資料可由下列兩個網站獲得：

1. www.defra.gov.uk
2. www.environment-agency.gov.uk

四、土壤及地下水的分析

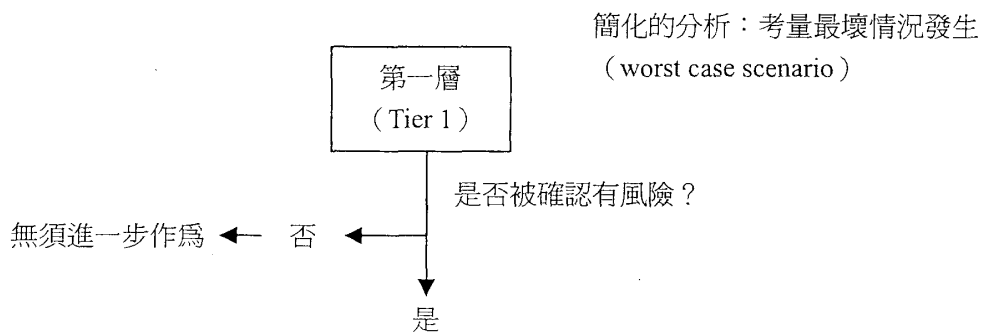
(一) 土壤及地下水是以：

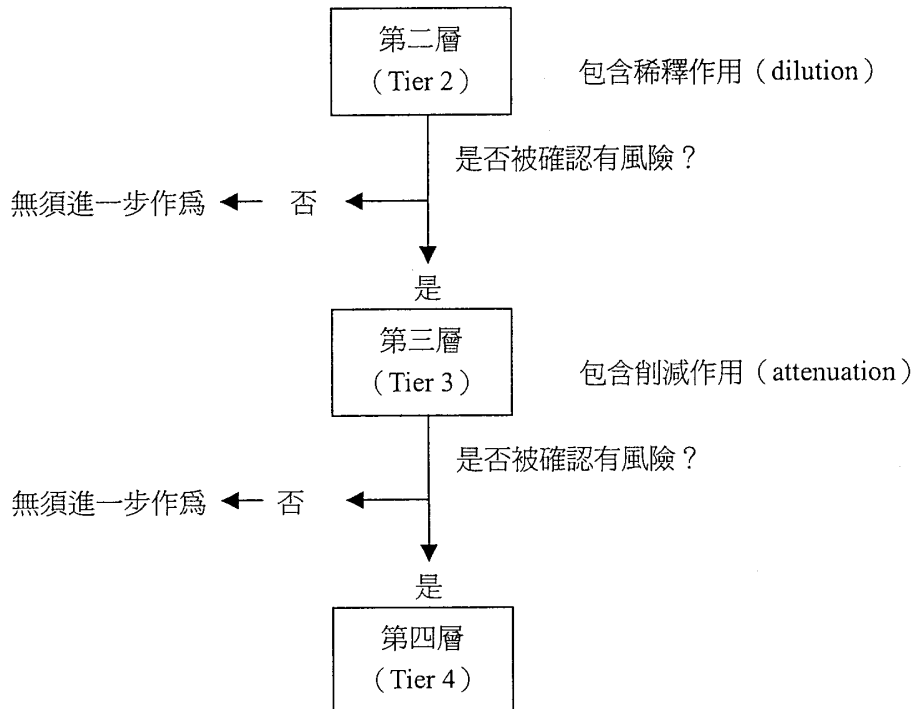
1. 歐盟地下水的指導性政策說明，表列 I 的物體 (List I substances) 不可以直接排放至水體；而表列 II 的物質 (List II substances) 任何排放均不能造成污染。
2. 地下水是被視為土壤中之污染源的受體。

(二) 土壤及地下水均應設定整治目標：

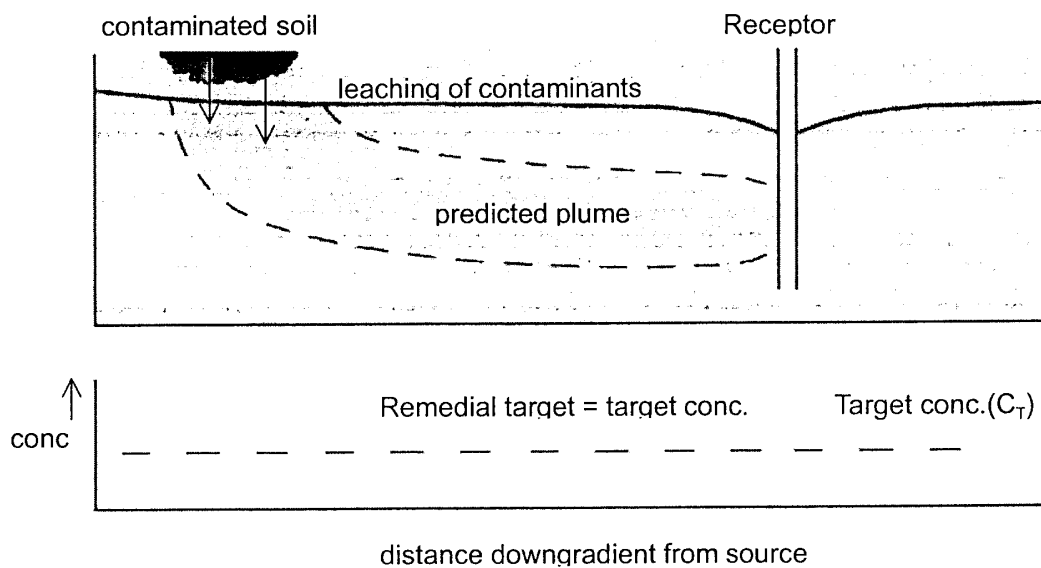
1. 就土壤而言，係考量水平面上的折衷點 (Water table as compliance point)。
2. 就地下水而言，係考量下游的折衷點 (Downstream compliance point)。

(三) 階層化分析技術 (The tiered technique)：





(四) 第一層概念：如下圖示 (David Leme University of Sheffield)



第一層程序：

1. 無稀釋或衰減作用。
2. 整治目標 = 目標濃度。

3. 程序：

- (1) 設定目標濃度， C_T 。
- (2) 整治目標 $RT=C_T$ (RT_P 或 RT_S)。
- (3) 試驗濃度 (Test concentration) = 孔隙水濃度 (Porewater concentration) 或總土壤濃度。
- (4) 考量測試孔隙水或土壤濃度與 RT 之關係。
- (5) 假如該場址失敗，則進行整治或進入第二層步驟。

4. 孔隙水及土壤之濃度：

- (1) 在污染區域之孔隙水濃度 C_p 係由下列方法求得：
 - A. 直接分析 (Direct analysis)。
 - B. 溶出試驗 (Leaching tests)。
 - C. 由土壤濃度計算而得。
- (2) 在污染區域之總土壤濃度 C_s 係由下列方法求得：
 - A. 直接分析。
 - B. 由孔隙水濃度計算：

$$C_s = C_p \left[Kd + \frac{\theta_w + \theta_a H}{\rho} \right]$$

Kd：分配係數

θ_w ：充滿水之孔隙率

θ_a ：充滿空氣之孔隙率

H：亨利常數

ρ ：乾容積密度 (dry bulk density)

5. 個案研究：來自 Mansfield 煤坑的污染團

(五) 第一層：目標濃度

1. 以 NH_4^+ 作說明：

(1) 背景水質：0.2 mg/L。

(2) 飲用水標準：0.5 mg/L。

(3) 當地工廠的最大可接受濃度 (MAC)：1 mg/L。

(4) 目標濃度 $C_T=0.2$ mg/L。

2. 以 Phenol 作說明：

(1) 背景水質：N.D.。

(2) 飲用水標準：0.5 μ g/L。

(3) 當地工廠的 MAC：無適當值 (not applicable)。

(4) 目標濃度 $C_T=0.5$ μ g/L。

(六) 第一層：摘要

1. 以 NH_4^+ 作說明：

(1) 所測得之土壤濃度介於 0~10 mg/kg。

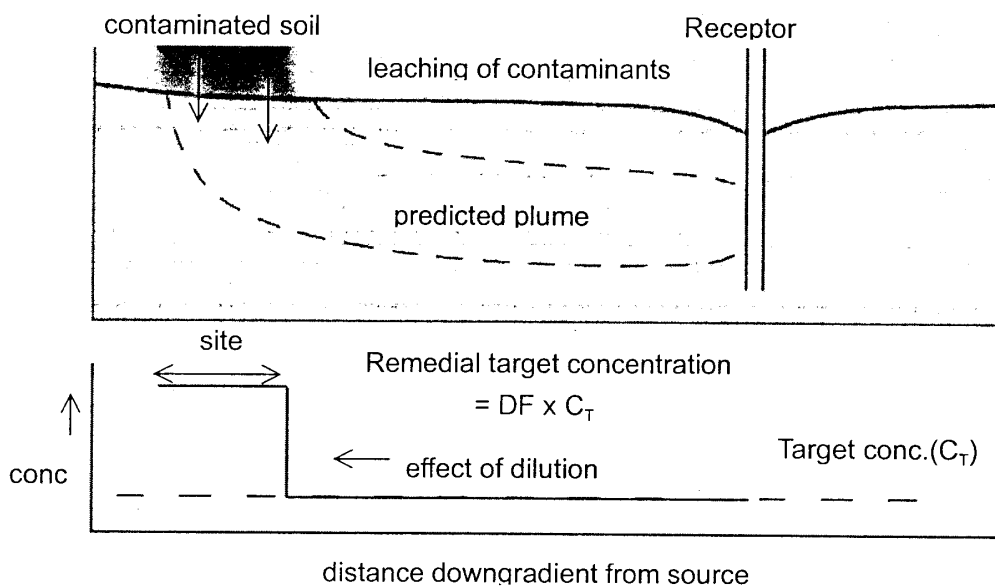
(2) 土壤整治目標值（由第一層所得）介於 0.06~0.3 mg/kg。

(3) 當所測得之土壤濃度 \gg 土壤整治目標值時，則進行第二層分析，或需要直接進行整治工作。

2. 另以 Phenol 作說明，亦得到相同的結果。

(七) 第二層，土壤：概念

如下圖。



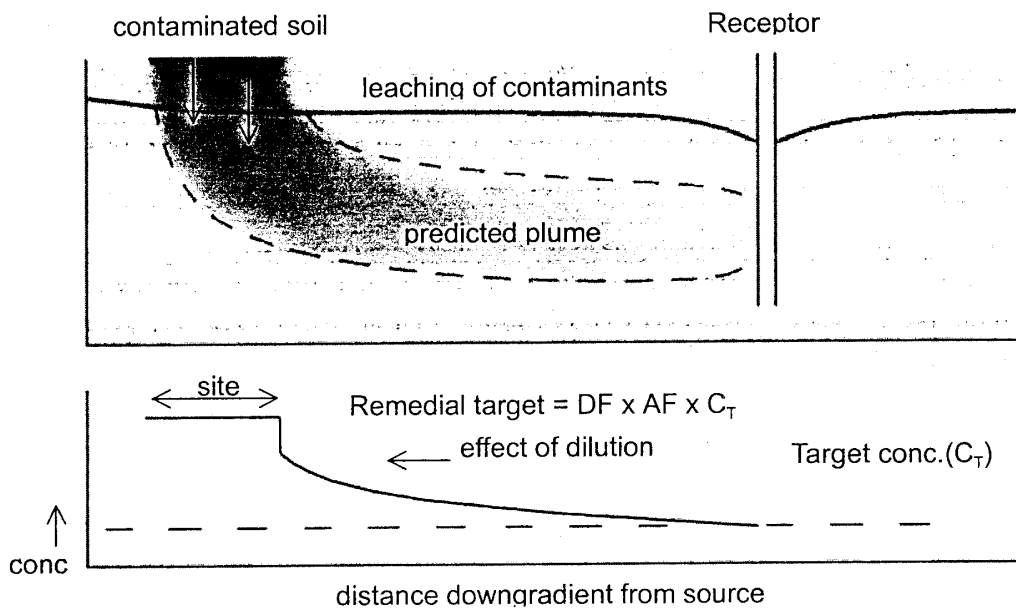
(八) 第二層，土壤：程序

1. 稀釋但不包含衰減作用 (Dilution but no attenuation)。
2. 整治目標 = (稀釋因子) × (目標濃度)
3. 程序：
 - (1) 設定目標濃度， C_T 。

- (2) 整治目標 $RT = DF \times C_T$ 。
- (3) DF 包含延散度 (dispersivity)、移動距離等。
- (4) 試驗濃度 = 孔隙水濃度或總土壤濃度。
- (5) 考量試驗孔隙水 (或土壤) 濃度與 RT 之關係。
- (6) 假如該場址失敗，則進行整治或進入第三層階段。

4. 以 NH_4^+ 及 Phenol 作說明，均得到類似的結果 → 進行第三層分析，或需要直接進行整治工作。

(九) 第三層，土壤：概念



如下圖。

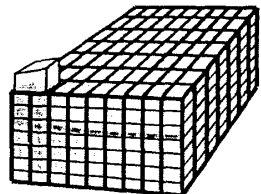
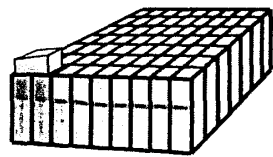
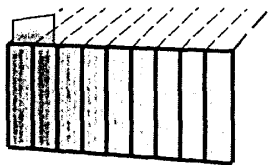
(十) 第三層，土壤：程序

1. 包含稀釋及衰減作用。
2. 整治目標 = (稀釋因子) × (衰減因子) × (目標濃度)

$$\text{RT} = (\text{DF}) \times (\text{AF}) \times C_T$$
3. 程序：
 - (1) 設定目標濃度， C_T 。
 - (2) 整治目標 $\text{RT} = \text{DF} \times \text{AF} \times C_T$ 。
 - (3) AF 包括吸收 (sorption) 及降解 (degradation)。
 - (4) 試驗濃度 = 孔隙水濃度或總土壤濃度。
 - (5) 考量試驗孔隙水 (或土壤) 濃度與 RT 之關係。
 - (6) 假如該場址失敗，則進行整治或進入第四層階段。

(十一) 第四層，土壤或水：概念

如下圖。



- ◆ Site specific modelling
- ◆ 1, 2 or 3 dimensional
- ◆ High data requirements
 - Soil
 - Hydrogeology

1. 場址之特性模式 (Site specific modeling)。
2. 一、二或三維的模式。
3. 需要很多資料，包括土壤、污染物、微生物及水文資料。

(十二) 可使用之工具 (Available tools)

1. 簡化的表格 (Simple spreadsheets) → R & D publication 20。
2. 可能的風險模式 (Probabilistic risk models)。
3. 數值模式：包括 MT3D、Modflow。

(十三) 結語：當欲設定污染物之整治目標值時，首先依第一層模式考量既存之濃度是否已超過目標值，如果否，即無需進一步作為，如果超過目標值則進一步採用第二層模式，考量污染物濃度受含水層/孔穴/溪流等稀釋作用之影響，當觀測值之濃度未超過目標濃度即無需採下一層模式，如果超過濃度則採第三層模式估算，考慮衰減作用之因子對污染物之影響，如經前述稀釋及衰減作用後濃度仍超過目標值，則採用第四層之估算繼續納入其他因子，考量污染物受各項因子作用後之濃度，是以藉由階層化分析整治之目標值與考量因子，即可計算出對受體不產生危害下，污染物所應整治之目標值及所需之經費，雖然愈多層次之分

析所需經費愈高，但相較於不作任何影響因子（稀釋、衰減作用等）分析而以污染源初始濃度逕以整治所需之經費而言仍然划算，故於整治前如何建立各項污染物傳輸或污染途徑之多層次分析應為重要工作之一。

專題七、英國環保署執行土壤污染整治工作現況

一、處理土地污染之法規架構 (Regulatory Framework for Dealing with Land Contamination)

在英格蘭及威爾斯約有相當十萬個污染場址，污染土地面積約五萬至三十萬公頃；基於對人體健康或環境可承受的風險，初步評估約有 5 千至 2 萬個場址可能須予以整治或監控。

對於污染場址管理的立法推動，於 1990 年由 EPA 推動 Part IIA 環境立法，並配合整合願意投入相關污染整治個案之社會團體，形成執行團體，以推行法規政策；目前，Part IIA 主要處理歷史上遺留下來的污染場址，其中環保署主導法規架構形成、資訊彙整、評估，而主要由地方政府負責執行；於 2000 年 4 月正式實施。目前基本上每年編列 2 千 1 百萬英鎊投入污染場址整治，預計於 2007 年前完成 80 個優先場址調查與整治，這 80 個場址中，有 9 至 10 個屬核污染或生化污染場址，特別列為優先列管，且有關核生化污染場址，並配合另外的法規管制機制，原則非由 EPA 主導。上開 2 千 1 百萬英鎊費用，其中大部分約 1 千 8 百至 1 千 9 百萬撥給地方政府，用途包括對自願整治之業者補貼費用及對所謂的孤兒場址 (Orphan site) 進行整治，剩下約 2 百萬英鎊則投入嚴重的如核廢料場址之污染整治。

污染場址之定義，依照 Part IIA 說明，主要為可能會對人體

產生明顯的傷害或者對水質有明顯的污染情形。

Part IIA 目前主要成果，以英格蘭及威爾斯場址評估為例，有 55 個被認定為污染場址，60 個為有潛在危害的污染場址，14 個為嚴重污染場址；相關研究報告並於 2002 年出版並於官方網站公布。

目前 UK (United Kingdom) 對於環境風險評估的架構如下：

問題陳述與分析 (Problem Formulation)



第一層 (Tier 1) 風險審查 (Risk Screening)



第二層 (Tier 2) 一般量化風險評估 (Generic Quantitative R.A.)



第三層 (Tier 3) 詳細量化風險評估 (Detailed Quantitative R.A.)

藉由上開三層評估，並考量經濟、社會、技術、管理策略四個面向分析，選擇符合特定目標之方案，以達風險、控管之目的。而每一階段 (或層) 評估、原則皆依據

危害鑑定 (Hazard Identification)



暴露途徑評估 (Exposure Assessment)



風險判定 (Risk Estimation)



風險描述 (Risk Characterisation)

當然，風險評估原則上須由一部評估得出的結果，依據特定的目標及假設狀況進行評估，再修正目標及參數，得出最後的結果。

風險評估必須針對污染土地之使用目的，以確定污染整治目標及整治決策，並影響特定因子、參數的代入與輸出；得出的結果連結於污染整治方案的選擇，並配合可行性評估、目標彈性與方案修正，最後得出整合性解決途徑與方案。

污染場址特定整治策略需要考慮下列五點：

- (一) 如何打破特定污染物質的傳輸途徑或減少污染質。
- (二) 場址的污染情況與自然條件。
- (三) 特定時間須達成之整治標準。
- (四) 處理整治技術的可行性。
- (五) 整治方式的費用及效益評估。

目前整治方案實施過程，主要由業主自願性的與委託的顧問公司提出整治草案，經由地方政府（除特殊案例由中央政府）審核後，期間對若干問題，則由雙方協議解決，正式的方案則對外公告。過程中，並由地方人士協議督促方案執行，並對日後監控

維護，提供關鍵性之角色扮演。

Part IIA 基本上由場址業主提供資金作自願性的整治，如配合程度不高，政府評估後再介入執行，並求償相當之執行費用。

二、人體健康之風評估關於土地污染 (Assessment of Risks to Human Health from Land Contamination)

大綱：1.背景資料／歷史

2.土壤基準值 (Soil Guideline Values, SGVs)

3.污染地暴露評估模式 (Contaminated Land Exposure Assessment, CLEA)

4.關於 CLEA 及 CLR (Contaminated Land Report)

目前有關土地污染之 Part IIA 法案架構下，發展出四篇與風險評估相關的重要正式報告，分別為 CLR7，CLR8，CLR9，CLR10。

簡述如下：

CLR7 為有關土壤基準值和相關研究的發展描述。

CLR8 為對於特定污染物質對人體健康的危害。

CLR9 為毒性攝取量對人體健康影響。

報告並以 UK 特性與世界各國數值相比較，得出符合本地代表性資料。

毒性評估一達閾限值的物質 (Threshold Substances)。

可接受的每日攝取量 (Tolerance Daily Intake, TDI)。

平均每日攝取量 (Mean Daily Intake, MDI) — 空氣、食物或水曝露於環境的背景值。

可接受的每日土壤攝取值 (Tolerance Daily Soil Intake, TDSI)。

$$\text{TDSI} = \text{TDI} - \text{MDI}$$

$$\text{TDSI} = 0.2 \times \text{TDI} \quad (\text{if MDI} \geq 80\% \text{ TDI})$$

毒性評估 — 未達閾限值效應 (Now Threshold Effect)

- 遺傳性致癌物質 — 化合物與 DNA 作用導致癌症的。
- 基於指引劑量評估。
- 儘可能保持於低的暴露風險。
- SGV 值不考慮背景暴露。

CLR10 報告為目前法制架構下，為得到 CLEA 模式重要參數及整體運作之重要方法；在推論 SGVs 值仍有困難情況下，藉助能掌握的特定因子，如可能暴露途徑評估、特定物質定量，後由特定模式或方程式為平台代入後得出運作模式。

資訊整合：藉助 CLR9、CLR10 執行危害性評估及暴露途徑評估，

推論 CLEA 風險評估模式，並據以執行風險控管。

CLEA 於 1993 年有第一個版本問世，歷經 1997 年修正，最新的版本於 2002 年提供於網站下載。CLR 報告並對砷 (Arsenic)、

苯環衍生物 (Benzopyrene)、鎘 (Cadmium)、鉻 (Chromium)、無機氰化物 (Inorganic Cyanide)、鉛 (Lead)、汞 (Mercury)、鎳 (Nickel)、酚 (Phenol) 和硒 (Selenium) 等十種元素或化合物提供毒性試驗結果，其中除苯環衍生物、酚、無機氰化物尚未正式公告，其餘已正式上網公告供下載結果。

CLR 並對上述十種物質 (其中汞修正為無機汞) 得出其 SGV 值。

SGVs (Soil Guideline Values)：在 Part IIA 及相關計畫內容，SGVs 提供特定物質之整治基準值 (Intervention Values)，惟 SGVs 對 Part IIA 不可能被單獨的運用，對相關計畫，SGVs 值不可能是被限定、毫無彈性的標準。

CLEA 模式功能效用為何？

- (一) 依據選定的暴露模式，評估經由若干暴露途徑對成人或者小孩污染物質攝取量的影響。
- (二) 與相關健康基準值比較，得出為避免危害人體健康的土壤整治基準值。

CLEA 模式如何執行運用？

Step 1：了解及預測污染物質在不同環境介質，如空氣、水、土壤之移動、傳輸特性。

Step 2：預測不同團體 (成人或小孩) 在污染土地活動，可能導致

之影響（並考慮不同土地用途）。

Step 3：判斷在污染條件下對健康之潛在風險及設定適當的整治基準值。

CLEA 模式並應考慮下列三點：

- （一） 土地使用目的。
- （二） 污染傳輸危害（蒸氣吸入、皮膚吸收或有機化合物之植物吸收）。
- （三） 污染物質所含毒性。

通常土地使用的目的分為住宅區（Residential）、廢棄區（Allotments）、商業區（Commercial）三類；並根據不同使用用途，以細分證明臨界接受者、設定無法遞行之暴露途徑、建立活動模式等，以定義不同使用用途概念的暴露模式。

CLEA 在研究發展過程中，另得出 TOX 報告。

TOX 報告主要針對 Dioxins 戴奧辛及結構類似戴奧辛之多氯聯苯（Dioxin-like PCBs）。在 2003/2004 年更發展對愈多不同種類化學物質，如三氯乙烯、二甲苯、 等之研究報告。

CLEA 模式之發展：經由不同的研究實用、修正 CLEA 及 SGVs，最後須由 Defra（中央統合機關）之公共衛生部門來共同審核訂定。

其他 CLR 報告：

CLR1：評估對水質的影響。

CLR2：場址初步調查。

CLR3：工業場址研究。

CLR4：採樣方法。

CLR5：資訊整合系統。

CLR6：優先順序及分類。

CLR12：對諮詢者之定性方法。

專題八、地下水污染風險評估與管理之整合

一、地下水保護－防止污染

地下水整治英國立法在 1980 年，在歐盟主要指導方向製定法規。

立法三方向：1. 土地使用規則

2. 環境允許條件下

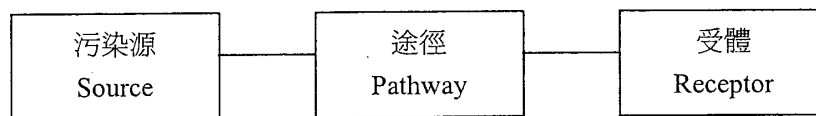
3. 執法部門執行重點方向

二、地下水整治－風險管理

英國立法如何整治具體架構指引：

- (一) 堅持經由環境容許作法。
- (二) 自願的行動，如土地使用規劃系統。
- (三) Part IIA (污染土地整治法規)。
- (四) 1991 年通過 WRA (水資源管理法規)。

整治的風險管理



截斷 S-P-R 污染連結關係

- (一) 移除／處理污染源
- (二) 截斷途徑與受體關係
- (三) 限制受體行為模式

風險管理

- (一) 概念性模式風險評估程序使用在風險管理—模式基礎架構在評定 MNA (監測自然減法) 和 PRBs (透水性反應牆) 使用。
- (二) 整個整治場址目標—需有效的、持續性的、實際可行的、合理的成本及效益。
- (三) 永續發展目標。
- (四) 最佳“環境平衡”。
- (五) 花費社會成本效益。

風險評估三步驟

步驟 1—風險篩選

- (一) 問題公式化—最初形成
 - 概念模式—1.地下水敏感點(弱點)地形圖
 - 2.污染源管制區域和地下水用途
- (二) 反覆的概念性模式發展

步驟 2—一般性風險評估

整治的目標研究方法：

- 初期評估水準—1.滲出水測試
- 2.對照有關聯性的水質標準

步驟 3—詳細的量化風險評估

- (一) 整治的目標研究方法。
- (二) 經由 Com Sim (電腦軟體) 輔助。
- (三) 量化模式方法—考量污染行為在污染源—途徑—受體之間連續關係。

- 總括：
- 1.英國立法模式是以風險評估為基準。
 - 2.分步驟排序達到風險評估。
 - 3.提倡以知識基礎—以模式推估決定如何整治。
 - 4.S-P-R 架構不同於地下水保護與地下水整治風險評估。
 - 5.整治需要風險基礎目標和致力於足以支持佐證，達到最佳“環境平衡”狀態。

風險整治目標和選擇方法

以風險基礎整治—

污染源 ↔ 途徑 ↔ 受體，整治方式

污染源可採 → 降低污染濃度、流動性、毒性的方式

途徑 → 打破或截斷污染源移動路徑

受體 → 將接受者移開、隔離或加以保護

風險基礎不同場址有不同策略(1)但需考量有效性、持續性、成本合理化、成本有效化。(2)成果影響考量。(3)考慮廣泛環境因素、生態環境、本地居民生活方式。(4)有效科學及

數據支持下做出決策進行整治歸檔。

整治方法

- (一) 傳統方式土木工程方法—挖掘和處理。
- (二) 現代化新方式採—生物的、化學的、物理的、固化／安定化、熱處理。
- (三) 行政管理角度—1.改變土地使用、場址重新規劃。
2.移除關鍵點。

模式運作過程是對於整治方式，評估過程進行篩選風險管理評定與選擇方式：

- (一) 評估整合場址管理的角度。
- (二) 評估現有的場址資料。
- (三) 所提出的整治目標是否可接受。
- (四) 篩選和凝聚整治方案。
- (五) 從事方案詳細分析。
- (六) 選擇最佳整治方案。

評估場址管理

- (一) 考慮原場址當時營運行業別，所生產產品對土壤、水源可能造成污染狀況。
- (二) 釐清管理目標角度分析場址。
- (三) 確認整治場址所承受阻力為何。

評估場址具體數據資料

- (一) 確認數據是否足夠，考量污染狀況以利研究污染風險時數據資料佐證。
- (二) 當數據足夠時，即實施評估篩選整治方案。

場址資料需考量

- (一) 地點和用途。
- (二) 所有人或使用人。
- (三) 鄰近土地用途。

污染源資料考量

- (一) 污染物分佈狀況。
- (二) 污染濃度。
- (三) 溶解度。
- (四) 狀態 (如 DNAPL/LNAPL)。
- (五) 蒸發壓力。

物理特性考量

- (一) 岩石學。
- (二) 水文學。

分析簡報資料

- (一) 每份資料有二個或更多方案，每一個方案都有分析優點和缺點。

- (二) 決策需透明化或平衡化，有效用的方案之間相互關係。
- (三) 各場址特有特殊性，評估整治方案結果。
- (四) 資料需從管理的角度、技術的角度觀察。
- (五) 假設狀況的合理性。
- (六) 需補強的數據資料。
- (七) 選擇最佳方案。

故，整治策略是基於不同場址特殊性決定，相關評估數值之間篩選取得具代表性數值，有效適當的整治方案，需多方的單位合作，且各單位對整治工作需有興趣且積極參與。

透水性反應牆 (PRBs) 是以工程的角度劃分處理區域，受污染液體經由反應材料進行降解，即將反應牆設置於污染團通過之前緣，係污染團通過時與反應牆內填充之反應材質發生降解反應。

英國 Agency 主要工作項目 (對 PRBs 工作)

- (一) 西元 2002 年出版對公眾指導文件一對整治工作建立具體架構。
- (二) 與 Queens 大學建立研究合作項目如下：
 1. 持續 PRBs 網站維護。
 2. 更新研究成果。
 3. 提出研究計畫。

4. 技術支援。
5. 提出技術指導。

四、結語：

- (一) 風險評估與管理在英國是以污染源、途徑、受體三者間聯結關係如何切斷連接途徑以達成整治目標。
- (二) 受污染土壤在英國係由業者主動提出整治計畫經由民眾、政府、顧問機構共同參與，經由風險評估過程達成共識，以達均可接受整治目標。
- (三) 英國無主地即所謂“孤兒地”才由政府單位主動介入進行土壤及地下水整治工作。
- (四) 常用地下水污染整治技術—
 - 物理性—1.灌氣／氣體萃取 (Air sparring/SVE)
 - 2.蒸氣注入／氣提 (Steam)
 - 3.介面活性劑淋洗 (Surface/Co-solvent flushing)化學性—化學氧化／還原 (Chemical Oxidation/Reduction)
物理／化學—1.透水性反應牆 (Permeable Reactive Barriers)
2.抽出再處理 (Pump-and-treat)
生物—增強性生物復育 (Enhanced Bioremediation)
生物／物化—增強性／監測自然減法 (Enhanced /

Monitored- Natural Attention)

(五) 常用土壤污染整治技術

物理／化學－1.土壤淋洗 (Soil Flushing)

2.電動力 (Electro kinetics)

物理－土壤氣體萃取 (Soil Vapor Extraction, SVE)

化學－化學氧化／還原 (Chemical Oxidation/Reduction)

生物－1.生物通氣 (Bioventing)

2.加強生物復育 (Enhanced Bioremediation)

3.植生復育 (Phytoremediation)

高溫熱破壞處理－熱脫附 (Thermal Desorption)

(六) 污染整治場址選擇合適整治技術原則

1.可否進行污染源控制。

2.污染物種類 (LNAPL 或 DNAPL)。

3.整治流程污染量去除到低濃度污染物之清除整治技術。

4.成本效益分析與短期效果。

5.時間因素考量。

(七) 我國土壤及地下水污染整治立法採雙門檻制度設計達污

染管制標準者，公告為控制場址；經初步評估後有危害國

民健康及生活環境之虞者，公告為整治場址，而英國並無

強制性立法規範具體化需整治之數值，而採用風險評估方

式將污染源、途徑、受體間連續關係進行考量如何截斷相互間傳播途徑以降低危害風險，進行評估達到共識，在有限資源下以有效的、合理的成本進行整治方案達成目標。

專題九、觀摩 “Stratford Box” 生物整治場址

一、前言

本場址主要是建設英國到巴黎連通英吉利海峽的海底隧道工程所發現的污染物，由加拿大 Biogenin 公司承包，總經費高達 520 億英鎊，為歐洲最大的整治場址，預計整治完成後，將會有企業投資 32 億在商業區，大約有 6,000 個住戶會在此居住。

二、內容

(一) 本場址背景介紹

1800 年開始商業活動。

1950 年代初期有煤礦業及瓦斯工廠設立，提供廚房用及火車頭的能源使用。

1950-1960 年代改以柴油燃燒。

1960-2000 年改變為原油即目前使用的一般汽油。

本場址在 1990 年開始進行研究調查污染狀況，90 年代末期找出了生物整治方法來處理污染的土壤。

(二) 土壤整治方法介紹

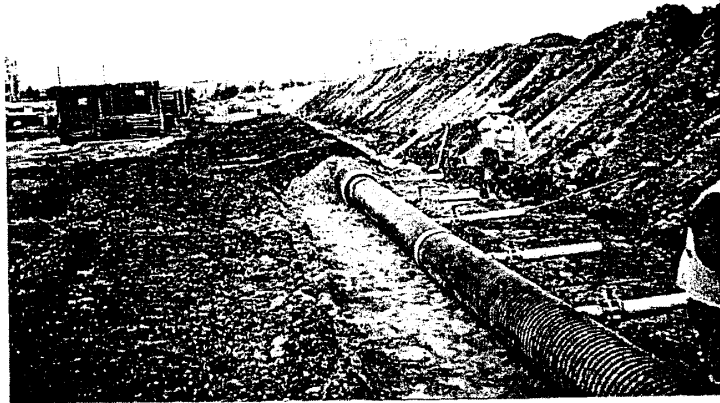
1. 本場址經過風險評估調查，發現土壤已遭受瓦斯廠及原油的污染，地下水亦有污染的危險，在 2001 年正式與加拿大 Biogenin 公司簽約，該公司即積極展開嚴密的研究，並利用生物處理方式進行整治工作。本場

址的污染物主要為碳氫化合物、Benzene、PAH、BTEX 等。

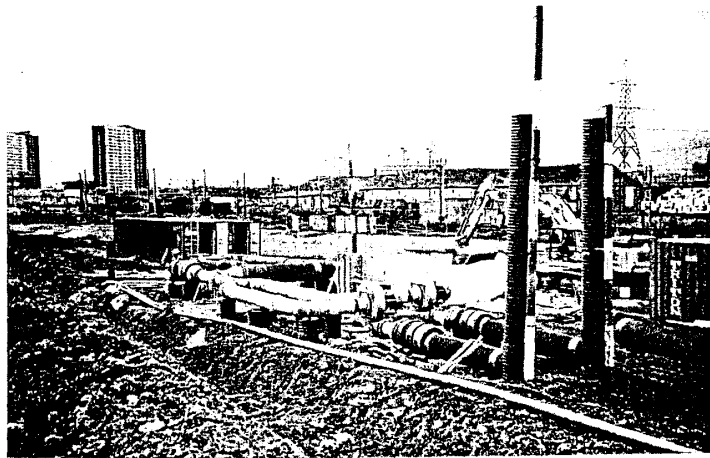
2. 在 2002 年 9 月開始進行第一階段整治工作，總計挖出 1200 噸的土壤，2002 年 1 月至 2003 年 1 月整治的污染物主要為碳氫化合物，處理率高達 90%。據該公司表示，因當地氣候關係，現場整治效果比室內進行更為有效，預計 16 週可完成整治工作，將碳氫化合物的濃度降至 2000ppm，污染物的整治目標可達 70-85%。
3. 在 2003 年 3 月進行第二階段整治前實驗，主要處理 80% 瓦斯廠遺留下來的問題，研究發現將污染物碾碎的更細，才可利用生物堆 (Biopile) 方式進行整治，主要使焦油的含量降低，以減少地下水的污染。
4. 為使生物處理效率增快，除利用翻堆方式添加營養物外，還必須提供足夠的氧氣、水分，以促進細菌的生長。而細菌來源為大自然的菌種，並無添加特殊菌種。
5. 在 Biopile 中最重要的是維持土壤中的溫度，因為溫度太低，會降低生物處理效率，但溫度太高也會破壞整個生物堆 (Biopile) 處理過程，原則上溫度應控制在

38°C，不要超過 55°C-60°C。

6. 大致上來說影響溫度的因素有三：(1)營養物的濃度。
(2)污染物的濃度。(3)壓縮與否。



圖：整治場址之抽氣管裝設工程



圖：整治場址之抽氣設備

7. Biopile 處理流程：

在 Biopile (生物堆) 中，每 3 米高就於土壤中插入導管進行抽氣，要控制土壤內的溫度不要偏高或太低，以促進生

物反應速率，並於導管外連接一條大型的排氣管，將抽出的氣體排到外面。因英國的環保法令對此排氣沒有特別管制，因此在排氣過程中，沒有任何過濾裝置，而是直接排放，所以現場會有瀰漫一股臭味。

三、結語： Biopile 工程技術可符合成本效益及有效處理污染物。(在 16 週內可減少 90%的碳氫化合物)，其以現地處理及土壤再利用方式可節省相關運輸及最終處置費用。

專題十、觀摩 “St. Mary’s Island Regeneration”

一、前言

本工程係要整治舊有英國海軍基地 St. Mary’s Island 700 公尺長，25 萬立方公尺之污染土壤，自 1994 年開始進行整治工作，計畫原預估經費為 1500 萬英鎊，包含 1200 萬英鎊移置他處處理經費，300 萬英鎊之現場處置處理費用，惟最後英國之 Partnership 組織決定採用現場整治方式處理污染物，足足節省 1000 萬英鎊以上經費。

二、內容

(一) 場址背景

本場址數世紀以來皆由英國官方當作海軍基地使用，直至 1985 年海軍離開此地後，才由英 Partnership 進行污染調查、設計及規劃等工作，1994 年政府建造了 Medway Tunnel 隧道，使交通較為便利，居民才有意願移居島上生活，1998 年 Partnership 開始進行土壤污染整治工作，預計 2007 年將完成 2000unit 住宅，目前已完成進度約達 50%。

(二) 設計目標

1. 降低對人體危害。
2. 讓本地居民達可接受之結果。

3. 使污染物維持穩定，對土壤及地下水不會產生任何影響。
4. 建立休閒娛樂設施提高生活環境品質。

(三) 研究工作 (第一階段)

1. 土壤中污染物為何。
2. 影響地下水程度。
3. 整治後有否生物降解產物釋放有毒氣體。
4. 覆土高度。

(四) 分析土壤及地下水樣品

土壤污染物：銅、鋅、鉛、鎘、石棉及砷等。

(五) 第二階段研究

1. 固化污染物，使能長久保持穩定。
2. 黏土層使滲漏水不易穿透。

(六) 評估結果

1. 進行固化試驗，確認土壤中污染物重金屬之溶解度。
結果顯示：銅、鋅、鉛等重金屬溶解度偏低，總濃度分佈則在 100-1000mg/kg 間。
2. 針對有粘性的土壤進行有害氣體試驗，結果未發現任何污染物，證明無空氣污染問題。
3. 為評估覆土高度，進行穩定度試驗，結果得知：要達

10 公尺高覆土，方使污染物濃度降至最低。

(七) 整治方式設計

1. Slurry Wall Barrier (泥漿牆)

為確保地下水的污染物在土壤中不會污染地下水，所以利用此方式並使用 1mm HDPE 阻隔污染物的滲出水繼續流動。

2. Perimeter Drainage System (邊緣排水系統)

利用此系統將含有污染物之土壤隔絕，如有滲出水或雨水皆可經由此系統排出，而不會污染地下水)。

3. Capping System (覆土系統)

考量現地整治的經濟效益，以覆土法進行整治，在污染土壤上覆蓋 10 公尺高之土壤，為確保污染物能夠完全阻絕，再利用 0.5m LDPE 進行覆蓋，並加一塊布。最後再覆蓋 4 公尺粘土保護層，即可美化種樹。

4. 本場址約有 20° ~30° 之傾斜度，由於覆蓋之布無法依此傾斜度製作，所以規劃採由階梯方式進行覆蓋工作。

(八) 監控方式

1. 針對不同種類的覆蓋物進行摩擦力之試驗結果，以探

討是否造成地層下陷。

2. 進行穩定度測試，以明瞭本場址污染物水平移位情形，結果顯示非常穩定，且其污染物有逐漸下降趨勢，代表此防護牆工程已充分發揮功能。
3. 持續進行地下水品質監測工作。
4. 空氣品質的監控。
5. Capping System（覆土系統）執行狀況。
6. Perimeter Drainage System（邊緣排水系統）執行情形。



圖、整治完成並已再利用開發為住宅區之區域

（九）結語

1. 本場址從開發至結束，結合許多專業技術，如土木、化學、環境科學及土壤整治工程等，才能順利完成此

工作。

2. 為確保當地居民生活無慮，所以持續監控之工作是非常重要的，掌控影響地下水質、空氣、土壤等環境品質的因子是否產生變化，才能維持最佳休閒娛樂的生活環境。

專題十一、案例分析：溴酸鹽污染整治計畫

Case study 1-Bromate in-situ remediation project-Jon Newton, Environment Agency
(Wednesday 4th June 2003-Groundwater remediation&monitoring)

英國 Sandridge 鄰近有三家自來水公司，主要以抽取地下水提供民眾使用。惟該三家自來水公司於 2000 年 5 月發現地下水溴酸鹽濃度含量超出飲用水標準甚多，遂立即停止採用該地下水源（溴酸鹽污染物尚無法以飲用水處理技術處理）。並由環保單位、衛生單位、廠商、建築商、住宅管理委員會、住家、借貸銀行等多單位共同組成協商委員會，針對地下水遭受污染提出解決方案並定期監測水質。經調查地下水受溴酸鹽污染影響範圍達 10 平方公里，流經長度達 20 公里，由於該污染發生地有一化學工廠建於 Sandridge，於此 1980 年關廠，該廠址並於 1987 年建立許多住宅。在污染者尚未確認前，工廠、建築商、住宅社區管理單位、住家、借貸銀行等皆有共同責任，政府並已對其發出通告，責令其負責整治，惟目前尚於法律階段中。

一、內容：溴酸鹽為透明白色之晶體可溶於水，主要用於髮膠、麵粉製程。經老鼠實驗發現該物質可致癌。對於人類危害主要來自於溴酸鹽與臭氧結合成溴化物（英國自來水以臭氧消毒）其 2003 年飲用水溴酸鹽標準為 10ug/l。

（一）、參與工作組織

三家自來水公司（公共用水供應商）、地方政府、環保署、衛

生部等。

(二)、背景介紹

污染源來自於 Sandridge 地區，該地區地下水由西北方流向東南方，鄰近有 Colne 河（自東北向西南方流）與 Lee 河（自西北向東南方流），該兩條河約於倫敦之南方匯流入泰晤士河。自來水公司主要取用於 Lee 河河水及 Colne 河鄰近之地下水為飲用水水源。自來水公司取水井中主要有兩個水井（Bishops Rise 與 Essendon）發現受污染，該污染發源地質屬石頭與石灰岩，污染滲透達地下水層下 5-20 公尺。研究發現，地下水往東南方流，流速緩慢，水向東北向流，流速快，受污染區域，其溴酸鹽已高達 350ug/l（飲用水標準 10ug/l）。

(三)、St. Leonards Court 污染事件經過：

1955-1980：製造溴化物之化學工廠於 1980 年關廠。

1980-1983：對於生產溴化物之場址進行水污染調查，溴酸鹽污染於該時期並未受重視。

1987：原場址建造 66 間住宅，地面以鋼筋水泥打造，無花園，以降低地下水污染之風險。

2000 年 5 月下旬：三家自來水公司發現地下水井之水質溴酸鹽含量超過飲用水標準極高。

2000 年 6 月：地方政府、三家自來水水公司、環保署對水

井進行取樣檢驗。衛生部針對民眾健康進行評估。

2000年7月24日：地方政府、衛生部、自來水公司等十一個單位介入並將污染公告，自來水公司亦將受污染水井封閉。

2000年8月下旬：St. Albans District Council 與 Konex 顧問公司針對 St. Leonards 水井水質進行溴酸鹽濃度含量調查。

2000年11月上旬：調查結果送交環保署，報告中說明溴酸鹽濃度含量並不高，少量的溴酸鹽被發現集中在土壤中。

2000年9月：環保署與地方政府針對該地區是否規範為污染場址進行討論。

2001年6月：環保署針對該污染區域進行較深入調查。

2001年7月24日：環保署與地方政府召開公聽會召集污染關係人，其主要目的是將污染調查結果通知污染關係人及其該負整治之責任。

2001年7月25日：衛生署報告沒有證據顯示受溴化鹽污染之飲用水對人體健康造成危害。

2001年11月1日：環保署公布溴酸鹽污染事件。

2001 年 11 月：WS Atkins 顧問公司參與地下水調查工作，
查證 Sr. Leonards Court 與溴酸鹽重大污染事件
之關聯性。

2002 年 5 月 24 日：環保署與顧問公司研究調查發現污染源
溴酸鹽與溴化物局限於污染地下水。

2002 年 6 月 12 日：St. Albans District Council 認為該地區為
受污染區域。

2002 年 6 月 25 日：環保署召開公聽會告知該地區居民住處
受到嚴重污染。

2002 年 7 月 17 日：St. Albans District Council St. Leonards
Court 被定義為特別場址。

2002 年 10 月 4 日：環保署界定污染關係人。

(四)、環保法令對於污染者之規範：污染者或污染關係人應明確
提供污染範圍。

1. 污染者或污染關係人必須組成重大污染聯合處理小組
(SPL)。
2. 重大污染聯合處理小組必須將造成污染三要素：污染
源、途徑、受體三者關係釐清。
3. 污染源必須在地下水層之上者。
4. 確實無法找到污染者，應標明為特別場址。

5. 特別場址由環保署負責整治。

(五)、監測計畫

1. 自發現污染開始至 2002 年 10 月：受污染地區鄰近 70 口井及 Colne 與 Lee 兩條河流 10 處監測點每月進行監測。
2. 現階段：受污染地區鄰近 25 口井每二個月進行一次監測。5 處地表水每月進行一次監測。
3. 整體性考量：150 口井及 30 處地面水應進行監測。
4. 公共用水：8 口取水井每週定期採樣監測。

(六)、監測項目

Routine determinands	At selected locations
• PH	• Total organic carbon
• Electrical conductivity	• Dissolved organic
• Bromate	• Total phosphorous
• Bromide	
• Chloride	
• Sodium	
• Nitrate	
• Groundwater level	

(七)、地下水監測結果

1. 地下水質穩定。
2. 在 Hatfield 污染物存在地下水位 40 公尺以下。
3. 污染物動向：
 - (1) 在 Orchard 停車場地點，因季節因素變化大。

(2) 在 Essendon 自來水公司水井監測發現，溴酸鹽及溴化物污染物增加的速度極為緩慢。冬季雨量多，監測溴酸鹽濃度低，夏季雨量少，則監測溴酸鹽濃度高。

(3) 在 Bishops Rise 自來水公司水井中發現污染物有明顯減少情形。

4. Lee 河附近監測井：污染物濃度不明顯，持續監測中。

5. 溴酸鹽最大集中處位於 Lee 河中游處，其鄰近地區。

(八)、Colne 河監測結果

1. 河水中溴化鹽非自然因素造成。

2. 溴酸鹽含量自稀散的~80ug/l，其可能因素：

(1) Bishops Rise 自來水公司於抽水過程造成污染。

(2) Hatfield Quarry 有一工業區，可能為工業區排放。

(3) 用以澆灌 Hatfield Business Park 水質含有溴酸鹽。

(4) Bishops Square 辦公室門口噴泉水溴酸鹽含量高。

3. 污染可能來自於河川，於河川鄰近地區增設監測井。

(九)、Lee 河監測結果

1. Arkley Hole 溴酸鹽含量 25ug/l，為自然因素。

2. Hertford 溴酸鹽含量 3 ug/l。

3. Essendon 自來水公司水井，溴酸鹽含量有時達 25ug/l。

4. 可能造成之影響：Thames Water 自來水公司引自 Ware 與

Chingford 水源，可能有潛在性影響，除了 Arkley Hole 地區為自然因素外，其他皆是人為因素。

(十)、場區調查

Komex 顧問公司,200 年 8 月
對五口井採樣分析。

採取土壤氣體分析。
土壤氣體分析僅有微量的溴
酸鹽與溴化物。

地下水含有高濃度的溴酸鹽與
溴化物。

Atkins 顧問公司,2001 年 11 月
對十二口井進行監測(十口井於
場區，二口井於區外)。

土壤及地下水皆含有高濃度的
溴酸鹽及溴化物。

由於使用高精密度儀器與採用
高科技技術進行採樣分析，故與
Komex 顧問公司監測結果有極
大差異。

(十一)、調查結果

1. 溴酸鹽與溴化物造成重大的污染案件。

2. 污染物平均分布。

3. 地質學觀：

(1) 三公尺黏土/砂礫。

(2) 五公尺油灰與高多孔性石灰岩/低滲透性，以致於地
下水流速緩慢

(3) 類似石膏之硬質層，溴酸鹽無法滲透。

4. 溴酸鹽/溴化物污染物滯留在類似石膏之硬質層上，部分
污染物存在於地下水層上方，極少量的污染物發現存
在於地下水中。

(十二)、整治

1. 確定污染物存在於土壤且位於地下水層之上，該處屬法

令規範之嚴重污染場址 (SPL)。

2. 嚴重污染場址須具備污染三要件，例如：

要件	實例
污染源	土壤內含有溴酸鹽或溴化物
受體	地下水
途徑	雨水沖刷 地下水移動

3. ConSim 方式用以評估溴酸鹽與溴化物對於土壤造成之污

染程度：

Input	Output
<ul style="list-style-type: none">• Infiltration• Pollutant concentration• Soil porosity• Soil density• Hydraulic conductivity• Hydraulic gradient	<ul style="list-style-type: none">• Probable concentration in groundwater

4. 污染因應

溴酸鹽 > 10ug/l (飲用水標準)

溴化物 > 3000ug/l (專家學者建議)

5. 調查結果污染三要件其相關性如下

Source	Pathway	Receptor
A Bromate soil and unsaturated zone	in → Unsaturated ground	→ Groundwater
B Bromate soil and unsaturated zone	in → Unsaturated ground & groundwater	→ Potable abstraction boreholes
C Bromide soil and unsaturated zone	in → Unsaturated ground	→ Groundwater
D Bromite in soil and unsaturated zone	→ Unsaturated ground & groundwater	→ Potable abstraction boreholes

(十二)、環保單位職責

找出真正污染者並與其討論如何整治，促使污染者主動整治，倘污染者拒絕，則開具警告通知單，不服者可依法提出上訴。由於本案尚無法確定污染者，故曾經使用過及現行使用者（如工廠、建商、住戶、社區管理者、借貸銀行、自來水公司等）皆被列為關係人，須共同負責。無法確定污染者或污染者不願負責整治，則由環保署負責整治，並向污染者索取整治相關費用。

(十三) 整治方式

1. 將地下水抽出處理。

(1) 地下水於原地處理。

(2) 阻絕污染物滲透到地下水。

(3) 自來水公司於處理用水時將污染物去除。

(4) 自來水公司將水井封閉。

二、結語：

(一)、本案尚無法確定污染者，曾經或現行使用該土地者皆被列為污染關係人，須共同負責整治，惟關係人目前尚無整治共識，環保署已向關係人開據整治通知單，關係人依法提出上訴中。

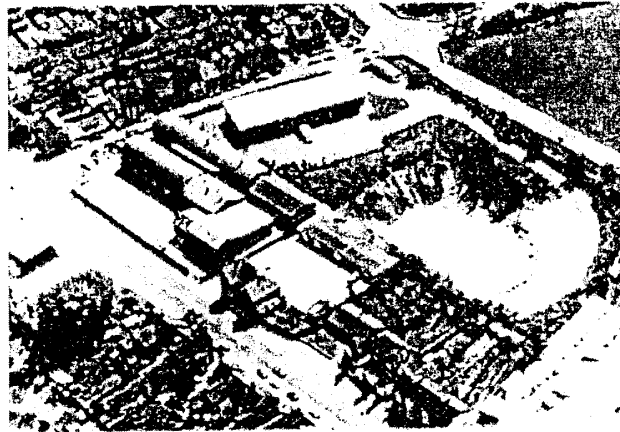
(二)、「事前防範重於事後整治」，完備的法令、嚴謹的執法態度、環境背景資料的建立、污染三要件（污染源、途徑、受體）之阻絕，污染得以預防。環境得以永續經營。

專題十二、案例分析：

焦油基殺蟲劑工廠地下水污染調查及整治計畫

一、前言：

2002年6月在sittingbourne Cryalls Lane地方，展開英國有史以來最嚴重之地下水污染之整治工作，本計畫為第一個由英國環境部 Supplementary Credit Approval (SCA) 經費所資助，為了達成整治目的，將抽取嚴重污染之地下水加以整治並移除 Chalk 地下水層中的污染物，整治單位基於整治費用龐大、污染情形嚴重、整治目標不易決定，一共花了3至4年時間與當地地下水使用者及土地所有人達成初步協議。



圖：1987年之場址全圖

二、廠址歷史沿革：

- 1920~1977 殺蟲劑製造及廢棄物棄置
- 1978~1988 廠房重整為黏著劑製造廠
- 1988~1995 進行私人調查工作
- 1997~2001 政府環境部及 Entec 公司介入調查

2001~2002 廠址整治之設計與評估

2002.4~2002.8 開始整治工作

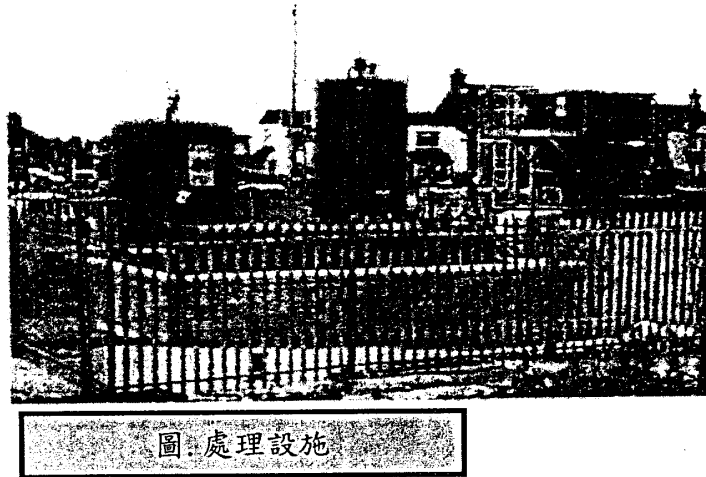
2002.6~目前 地下水抽取整治

三、 內容：

該廠址在 80 年代末期及 90 年代初期由於該場址之重新開發而發現在 25 米以下之地下水遭受到 Light non-aqueous phase liquid (LNAPL) 的嚴重污染，該地下水主要供給當地居家及工業用水，雖然最近之民眾用水距離污染廠址在二公里外，似乎未受到影響，但是有三口工業用水井距離污染場址下游不到 0.6 公里，當地工業用水主要用於造紙工廠，雖然當地工業用水量每天高達 4500 萬公升，惟在 1990 年前並未發現任何問題，一直到 1994 年 8 月一場豪大雨過後，工業用水抽出發現水上漂浮一層油膜，伴隨著焦油臭味，分析結果顯示，該污染物包括 PAHS、Pherd、Pesticide(含 DDT)，在當地居民要求下，由於整治經費龐大，並非當時之地主所能負擔，且地主對該場址之污染物並不知情，無法課以地主整治之責任，一直到 1998 年，環境部成立 SCA 組織專門處理無主之污染場址

在 1998 年，顧問公司受邀開始進行場址之污染調查及整治之可行性評估，發現最大問題為漂浮可移動之 LNAPL 污染物，若再逢暴雨，將會嚴重影響當地之造紙業，因此，計畫鑿 2 個以上之回收

井，利用沉水式幫浦將地下水抽出，並用活性碳處理後，排入下水道，移除之 LNAPL 可經由焚化處理，預計全部移除之污染物，共有 12~16 公噸，約須時 1 至 4 年。



四、結語：

從 1994 年發現污染到 2002 年開始整治，經約一年之整治，共處理含焦油廢棄物共 2000 公噸，污水處理量共 4000 立方公尺，回收污染物質 2 立方公尺；至於整治到何種程度才算成功，還有待評審，但至少開始進行污染物之整治工作及回收了污染物質，本身即是一項成就，到今年年底，本場址將再做進一步之評估，到時將會有更多之數據，更好之立場來評估所花費的 100 萬英鎊之經費，是否值得。

伍、結論與建議

- 一、英國政府相當重視風險評估與管理之機制在土壤及地下水污染整治工作上所扮演的功能，按照風險評估的標準作業程序，依次完成相關作業及調查工作，確實掌握污染源、污染途徑及受污染者三項因素的連動性，做出合理的判斷及選擇適當的整治方法，以達到節省經費及永續發展之目的。
- 二、英國政府於執行污染場址整治案件時遵循 Part IIA 所規範之風險評估程序，透過專家學者、工程顧問公司與社區住民公眾參與之機制，決定污染整治之目標值、方式與整治之公司、最終土地再利用方向，並藉由土地再利用之利益分享，導入民間資金進行整治以降低政府負擔方式。
- 三、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各別場址應整治之目標值，故能因地制宜彈性定訂處理程序與標準。
- 四、英國風險評估與土地重新開發之機制，國內土壤及地下水污染整治法已有類似規定，於國內土壤及地下水污染整治工作似可朝向著重受體風險危害評估及增加經濟誘因吸引民間資金參與整治工作。