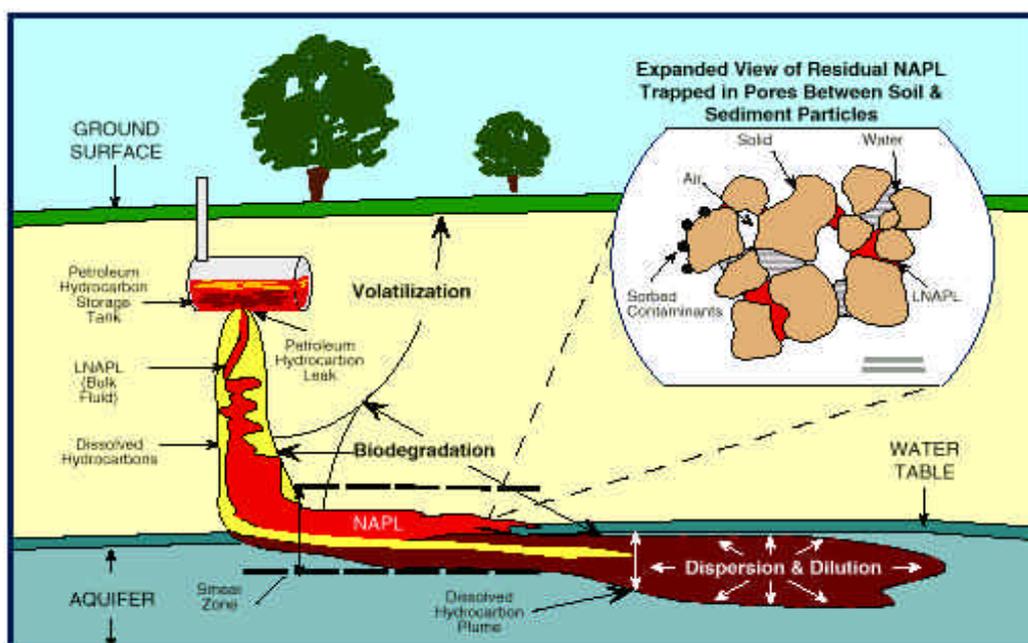


地下環境污染防制技術之應用及發展趨勢

裝
訂
線



服務機關：中國石油股份有限公司

油品行銷事業部 執行長室

出國人職 稱：執行長

姓 名：戴文淵

出國地區：美國

出國期間：民國九十一年五月二十一日至三十日

報告日期：中華民國九十一年六月二十九日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：地下環境污染防治技術之應用及發展趨勢

頁數 _____ 含附件： 是 ~ 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：中國石油股份有限公司

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

戴文淵/中國石油股份有限公司/油品行銷事業部 執行長室/執行長/02-87259200

出國類別： ~ 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：民國九十一年五月二十一日至三十日 出國地區：美國

報告日期：中華民國九十一年六月二十九日

分類號/目：

關鍵詞：污染防治、地下水、土壤、整治技術、石油碳氫化合物、現地整治、生物復育。

內容摘要：油品市場開放以來，民營煉油廠、外國油商及加油站紛紛加入油品市場的競爭行列，除了藉由行銷策略之應用及通路保衛來鞏固油品市場的佔有率，順應日趨嚴格之環保法令及日漸高漲之環保意識，如何提昇本公司環保技術，建立優良企業形象，亦是面對激烈競爭及急遽社會變遷形勢時，所必須兼顧之重要議題。本考察行程所獲得的資訊，歸納出目前美國及我國地下環境污染整治技術應用之比較分析，並整理出今後美國地下環境污染整治技術實務及發展趨勢，供本公司作為研擬未來環保策略之參考依據。

行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：地下環境污染防治技術之應用及發展趨勢													
出國計畫主辦機關名稱：中國石油股份有限公司													
出國人姓名/職稱/服務單位：戴文淵/執行長/油品行銷事業部 執行長室													
出國計畫 主辦機關 審核意見	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依限繳交出國報告 2. 格式完整 3. 內容充實完備 4. 建議具參考價值 5. 送本機關參考或研辦 6. 送上級機關參考 7. 退回補正，原因：（1）不符原核定出國計畫 （2）以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 （3）內容空洞簡略 （4）未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 （5）未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 8. 其他處理意見： 												
層轉機關 審核意見	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 40%; border: none;">同意主辦機關審核意見</td> <td style="width: 10%; border: none; text-align: center;">全部</td> <td style="width: 10%; border: none; text-align: center;">部分</td> <td style="width: 40%; border: none; text-align: right;">（寫審核意見編號）</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">退回補正、原因：</td> <td colspan="3" style="border: none; text-align: right;">（填寫審核意見編號）</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">其他處理意見：</td> <td colspan="3" style="border: none;"></td> </tr> </table>	同意主辦機關審核意見	全部	部分	（寫審核意見編號）	退回補正、原因：	（填寫審核意見編號）			其他處理意見：			
同意主辦機關審核意見	全部	部分	（寫審核意見編號）										
退回補正、原因：	（填寫審核意見編號）												
其他處理意見：													

說明：

- 一：出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二：各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三：審核作業應於出國報告提出後二個月內完成。

摘要

油品市場開放以來，民營煉油廠、外國油商及加油站紛紛加入油品市場的競爭行列，除了藉由行銷策略之應用及通路保衛來鞏固油品市場的佔有率，順應日趨嚴格之環保法令及日漸高漲之環保意識，如何提昇本公司環保技術，建立優良企業形象，亦是面對激烈競爭及急遽社會變遷形勢時，所必須兼顧之重要議題。本考察行程所獲得的資訊，歸納出目前美國及我國地下環境污染整治技術應用之比較分析，並整理出今後美國地下環境污染整治技術實務及發展趨勢，供本公司作為研擬未來環保策略之參考依據。

地下環境污染防治技術之應用及發展趨勢

目次

壹、目的	1
貳、過程	2
參、心得	3
一、美國及我國地下環境污染整治技術應用之比較	3
二、美國地下環境污染整治技術實務及發展趨勢	10
肆、建議	15

壹、目的

人類工業技術發展及民生科技日新月異，對石化能源之需求量亦與日俱增，目前全球原油需求量已高達每年 35 億公噸，如此數量龐大之原油、成品油及石化原料必需藉由管線、槽車、油輪等工具，運送至煉油廠、石化工業區、及加油站等設施及場所，供再製造或銷售予使用者。油槽及管線在油料輸儲過程中扮演著非常重要的一環，然而不論是油庫的大油槽、長途輸油管線或是加油站的地下油槽（USTs）及管線常因腐蝕、施工品質不良、地震、外力影響等因素產生洩漏，成為地下環境的污染源。

自從我國油品市場開放以來，民營煉油廠、外國油商及加油站紛紛加入油品市場的競爭行列，除了藉由行銷策略之應用及通路保衛來鞏固油品市場的佔有率，順應日趨嚴格之環保法令及日漸高漲之環保意識，如何提昇本公司環保技術，建立優良企業形象，亦是面對激烈競爭及急遽社會變遷形勢時，所必須兼顧之重要議題。

此行主要之目的是在於藉由參加在美國加州所舉行的國際地下環境汙染整治技術專業研討會（The Third International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds）的機會，與各先進技術發明人/公司實地研討學習美國先進地下環境汙染防制技術。

此外並赴休士頓地區，參訪當地專業環保技術公司，藉由現場觀摩及實習，學習地下環境汙染整治技術之應用實例，期能引進具有潛力且已成熟之環境汙染整治技術，供本公司應用、參考，藉以提昇中油公司環保技術水準，進而達到建立優良企業形象、鞏固油品市場優勢之目標，以確保公司永續經營之利基。

貳、過程

本次考察自民國九十一年五月二十一日至三十日共十天，過程如下：

九十一年五月二十一日：啟程前往美國

九十一年五月二十二 五日：出席國際地下環境汙染整治技術專業研

討會 (The Third International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds)，與各先進技術發明人/公司實地研討。

拜訪Battle機構，考察並研討油庫、加油站漏油事件緊急應變與地下環境汙染整治技術

及實務，並與Battle機構專家研討地下
環境汙染整治技術之發展趨勢。

九十一年五月二十六 八日：拜訪TCM Corporation、Project

Performance Corp.、Caldon, Inc.及
Teppco公司，實地考察、學習油庫、加油
站漏油事件緊急應變與地下環境汙染整治
技術及應用實務，並赴實際汙染整治場
址，學習相關工程技術實務。

九十一年五月二十九、三十日：返程

？、心得

一、美國及我國地下環境汙染整治技術應用之比較

在出席國際地下環境汙染整治技術專業研討會（The Third International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds）及相關參訪行程之中，來自美國及世界各地的專家學者提出了數百篇有關地下環境汙染整治技術研發成果、最佳化操作管理方案、新技術實驗以及現有汙染整治技術應用成效的專業論文，從中加以歸納、分析，可以得知，雖然美國汙染整治技術發展如雨後春筍般，琳瑯滿目，但經過市場競爭及篩選後較具經濟性及

實用性者，才能在實際污染整治場址應用上，被普遍接受並大量採用。

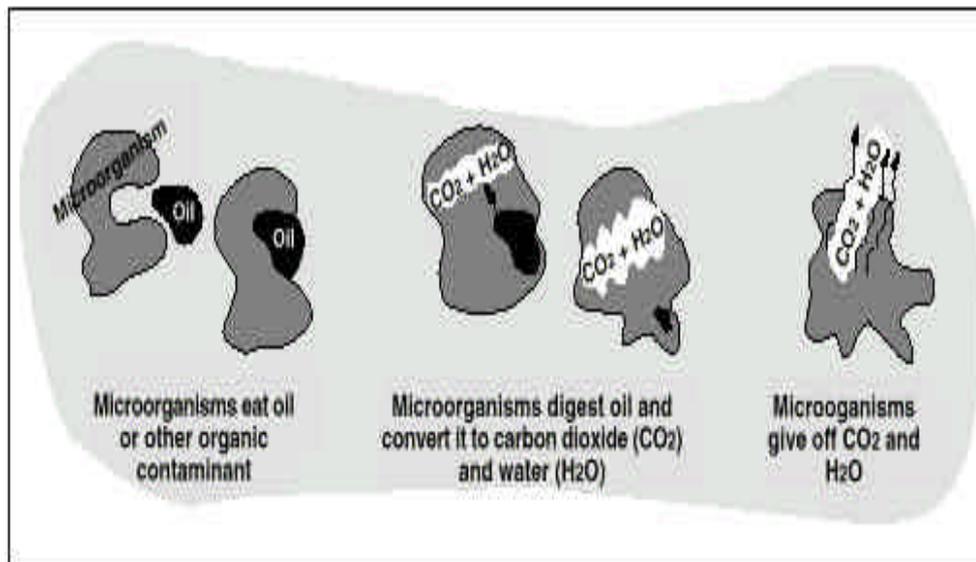
我國近年來，因環保意識抬頭，環保法令日趨完善、嚴謹，在環境污染整治技術上，亦因市場需求及政府與企業界合作帶動下，有了較長足的進步，然而受限於市場規模與研發經費之限制，大多以直接引進國外技術與設備，逕行應用於各污染整治場址，相較於美國，國內整治技術之種類及其成熟度，仍存有些許差距，綜合本考察行程所獲得的資訊，將兩者之現狀比較，彙整如下表一。

表一：各種地下環境污染整治技術在美國及我國應用情形

污染整治技術	美國應用情形	我國應用情形
生物復育技術 (Bioremediation)	普遍且成熟	常用但不成熟
抽除處理 (Pump & Treat)	普遍且成熟	普遍但不成熟
土壤氣體抽除技術 (Soil Vapor Extraction)	普遍且成熟	普遍且漸趨於成熟
熱脫附及焚化技術 (Thermal Desorption & Incineration)	普遍且成熟	甚少被使用
生物通氣法 (Bioventing)	普遍且成熟	常用但不成熟
注氣法 (Air Sparging)	普遍且成熟	普遍但不成熟
化學氧化法 (Chemical Oxidation)	普遍且成熟	普遍但不成熟

生物復育技術 (Bioremediation)

生物復育是一利用天然微生物其分解者的角色降解或打斷有害物使其形成低毒性或無毒產物的處理方法。微生物的作用就如人類吃食物消化有機物為營養及能量。某些微生物可消化對人類有害的有機物，如石化燃料及有機溶劑。這些微生物有能力將有機污染物分解產生無害的二氧化碳和水。一旦污染物大部分分解完，受到食物來源的限制，微生物族群數就減低，而殘留死的微生物及殘留的污染物風險遠低於原污染物。

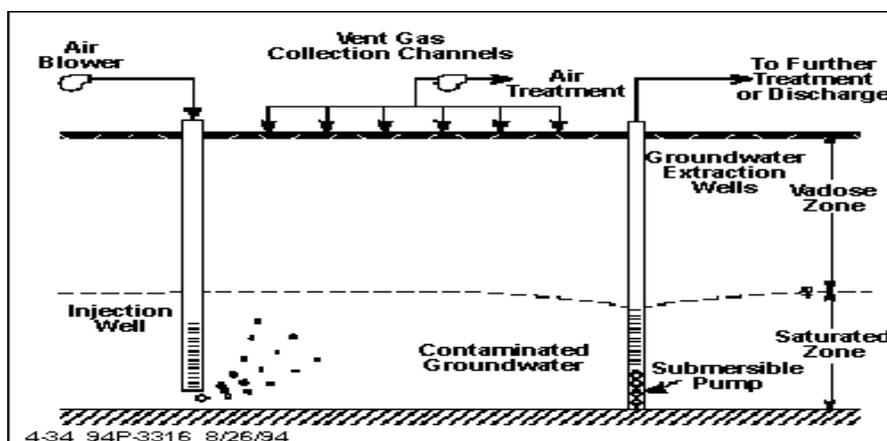


圖一：微生物分解油污染機制、流程

抽除處理 (Pump & Treat)

抽出處理法為最常用之地下水污染整治技術，屬於傳統之整治技術，其原理即設置一個或多個抽水井將受污染之地下水抽至地面，再經由

地面上之處理（或回收）系統去除污染物，處理達到整治目標後，再排放至地面承受水體或進行地下水補注。

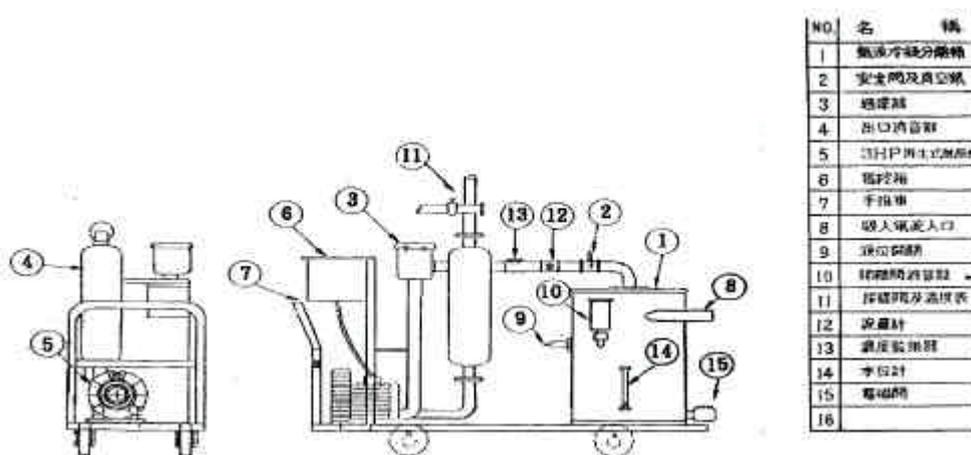


圖二：抽除處理（Pump & Treat）及注氣法（Air Sparging）

土壤氣體抽除技術（Soil Vapor Extraction）

土壤抽氣法(Soil Vapor Extraction, SVE)主要係於在不飽和土壤中經由抽氣產生揮發作用，將存在於土壤中之有機碳氫化合物由固相或液相轉移為氣相，其原理與地下水之空氣注入法(Air Sparging, AS)類似，主要藉污染物揮發性之特質，予以揮發抽除，而達整治目的。一般污染物之揮發程度與其亨利定律常數有關，因此對於揮發性有機物(VOCs)及石油碳氫化合物等污染物而言，SVE屬於低成本且有效之土壤現地整治技術。基本上SVE應屬土壤整治技術，其目的並非針對地下水之整治，但在地下水整治技術上仍扮演重要角色，除了因土壤與地下水整治相輔相成外，SVE可配合其他地下水整治技術如空氣注入法並用，以處理在地下水位以下之飽和層土壤污染物，提高土壤及地下水之整治成效。

SVE 系統主要包括二個機制：一、質量轉化，先將新鮮乾淨空氣引入不飽和土壤區（地下水位線以上），將存在於此區域之溶解相、液相及吸附相之碳氫化合物經由質量轉化為揮發性氣體相；二、抽氣，經由抽氣井將這些揮發性氣體加以抽出處理。



圖三：土壤氣體抽除 (Soil Vapor Extraction, SVE) 系統

熱脫附及焚化技術 (Thermal Desorption & Incineration)

熱脫附及焚化技術，利用高溫（高熱）下，將介質中既存之污染物加以破壞、或令其離開介質，以利進一步之處理。破壞除去效率

(Destruction and Removal Efficiency, DRE) 常被用來評估焚化

處理之效益。一般而言，針對含氯、非含氯、脂肪族、芳香族及多環芳香族化合物，其破壞除去效率可達 99.99% 以上。

生物通氣法 (Bioventing)

柴油、燃料油等油料之污染，一般多採用生物通氣法。生物通氣法是以生物處理方式搭配土壤抽氣的手段，改善土壤中之空氣滲透速率及氧化還原勢能等環境限制因子，促進土壤自淨能力，使現地天然的微生物將有機污染物分解成最終產物。

注氣法 (Air Sparging)

注氣法係針對土壤抽氣法(Soil Vapor Extraction)加以進一步改良之新穎處理技術，SVE法之一項處理限制為無法針對位於地下水層之污染物或位於含水層邊緣受毛細現象污染土層進行有效之整治，因此空氣注入法係乃針對較深層之土壤及地下水進行整治，近年來歐美各國已廣泛用於多處之污染場址整治。本法為現地處理整治技術之一種，係利用壓力將氣體(一般為空氣或氧氣)經過注入井至地下水飽和層，增加土層之含氧量，促使於飽和層及不飽和層之地下水污染物(包括含鹵素或不含鹵素)之可好氧分解揮發性有機物從地下水中溶出揮發至氣相中或增加現地生物分解作用，被抽出之受污染氣體視需要經由處理(如活性碳吸附、氣提塔等)後再予以排放。

化學氧化法(Chemical Oxidation)

化學氧化處理技術係將化學氧化劑注入地下污染區，經由破壞污染物

或將污染物轉化為自然界存在之無害化合物，一般常用的氧化劑有過氧化氫(H_2O_2)、高錳酸鉀($KMnO_4$)及臭氧(O_3)等，氧化劑之選擇及用量基本上需依據污染程度、污染區範圍、地表下特性及實驗室先期試驗結果而定，氧化劑可經由注入井或採直接注入地下，亦可加入觸媒劑或配合使用萃取井。其中如使用過氧化氫需添加穩定劑，因為過氧化氫揮發性高。現場化學氧化處理技術可應用在處理地下水中之揮發性有機物(VOCs)，如二氯乙烯(DCE)、三氯乙烯(TCE)、四氯乙烯(PCE)、苯、甲苯、乙基苯及二甲苯(BTEX)等及半揮發性有機物(SVOCs)包括農藥、多環芳香碳氫化合物(PAHs)及多氯聯苯(PCBs)等。

由於上述各項下環境污染整治技術在美國已被廣泛地應用，且已累積非常可觀之實務經驗，然而我國雖早已嘗試引進，卻一直無法將成熟的技術經驗本土化，若能儘速將上述各技術經驗在我國生根、落實，必能大幅提升污染整治之成效。

二、美國地下環境污染整治技術實務及發展趨勢

美國地下環境污染整治技術實務及發展可歸納出下列二大趨勢：

- 被動/消極式污染整治技術（如自然衰減法- Natural Attenuation 及植物復育法-Phytoremediation）將逐漸被接受、採用，並取代部分傳統積極式整治技術與方法。
- 甲基第三丁基醚(Methyl-tert-butyl ether, MTBE)之污染及處理問題，逐漸受各界重視，相關技術之研發亦在歐美各國積極進行之中。

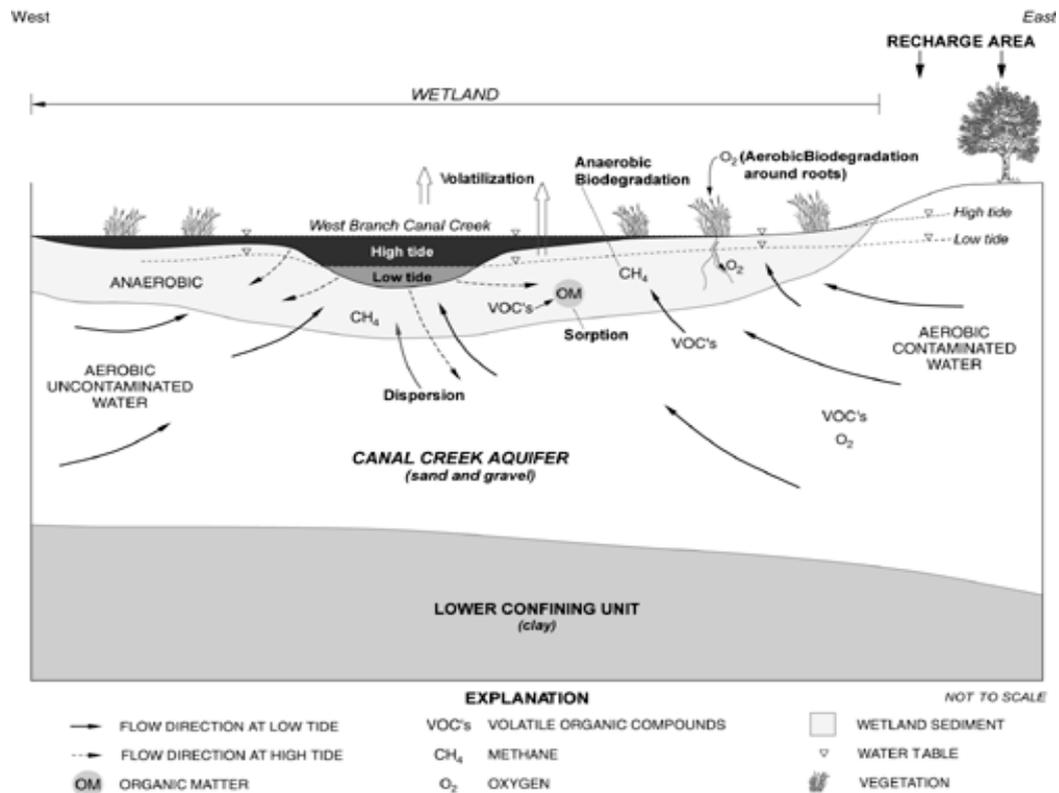
自然衰減法(Natural Attenuation)

自然衰減為環境中自然發生的一種過程，此過程可減少環境污染物之重量、毒性、移動性、體積、或濃度等。以土壤及地下水污染為例，這些過程可能包含：生物分解 (biodegradation)、擴散 (dispersion)、稀釋 (dilution)、吸附 (adsorption)、及揮發 (volatilization) 等作用。因此，自然衰減處理是指利用土壤及地下水中的生物、物理、化學等機制將污染物去除。

油品中之主要組成均可被生物分解去除，生物分解作用是油污染場址中造成污染物降解之最主要機制。因此，以生物分解法處理油污染之土壤及地下水是最經濟可行的方式。在大部分的地區，地下水中的微生物，其數目大都在 10^3 到 10^7 cells per ml of groundwater。但是微生物的存在並不能代表生物分解能很有效率的進行，許多其他因素 [例如地下

水的酸鹼度及溫度、營養鹽的濃度、污染物的特性、土壤的結構及特性、有機質的含量、電子接受者的多寡及利用性等]均影響了污染物自然生物分解的可行性及速率。因此如何能經濟有效的計算出現地自然生物分解速率，將有助於決定污染整治之方式和時程。另外,以自然衰減為整治手段,必需建立一套嚴密的現場監測及追蹤計劃，來確認自然衰減確實發生，並提供萬一自然衰減無法達成整治目標時，可行的替代方案。

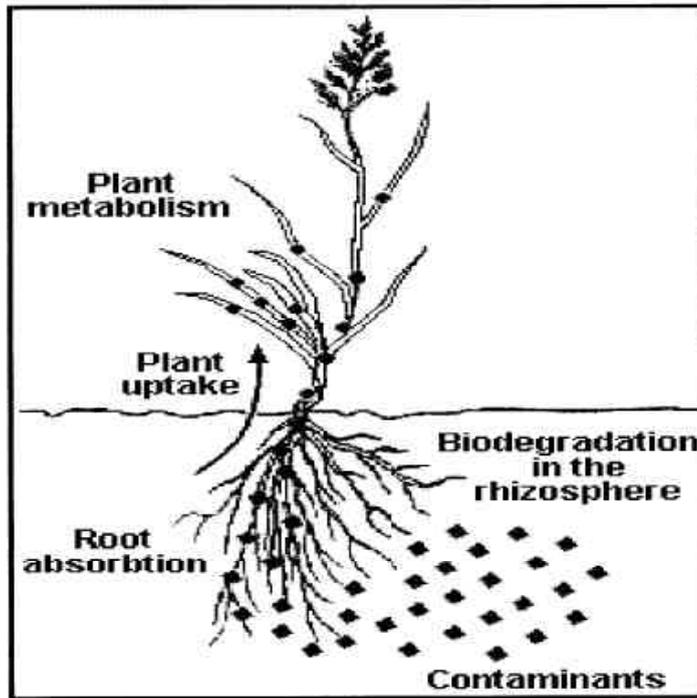
美國環保署及許多州均以自然生物處理當作整治污染場址的重要選擇之一。和傳統之地下水整治技術(抽取處理法及土壤抽氣/空氣氣化法)相比，自然生物處理法可以省下大筆的整治費用。有時，為了加速生物分解的速率，我們可以使用現地加強式整治，以提供生物分解之有利條件來加速處理之速率。例如，以氧氣及空氣之注入以增加好氧污染物分解效率。不論是自然或加強式的生物處理均可在極具經濟效益之前提下達到去除污染物之整治目的。



圖四：溼地自然衰減法 NA 復育系統

植物復育法 (Phytoremediation)

植物復育法 (Phytoremediation) 是一種結合了陽光、植物及自然界微生物的特性，成本低廉、自然景觀與環境污染整治兼顧並存，並且能讓政府主管機關與社會大眾皆具高度意願接納、採用的污染整治技術，歐美各國稱此技術為 phytoremediation。就其字義與功能特性以“綠色植生污染整治技術”或“植生復育法”稱之。



圖五：植物復育法 (Phytoremediation)

甲基第三丁基醚(Methyl-tert-butyl ether, MTBE)污染及處理

近年來 MTBE 在國內、外使用量有逐年增加的趨勢，因儲油槽、輸油管線之滲漏所引起之土壤及水污染問題，逐漸受到重視與討論。因為 MTBE 容易在土壤及水中迅速擴散，只要少量滲漏就能污染大量的土壤及水，加上 MTBE 在自然環境中不易被分解、移除之特性，更使得 MTBE 污染問題變得複雜化。

有鑑於此，歐美各國紛紛針對其作為飲用水源之地下水進行 MTBE 污染監測與調查。根據去年(1999年)六月之一項統計數字顯示：美國加州地區飲用水，有百分之三七可測出含有 MTBE 成分；而威斯康辛

州則針對九個油料外洩場址進行地下水 MTBE 污染檢測，分析結果顯示各污染場址之地下水樣皆含 MTBE 成分，其濃度介於 0.47 至 1.1ppb 間。地下水含有較高濃度 MTBE 成分者亦曾被發現，位於美國紐澤西州 South Brunswick 小鎮的一座工廠下的地下水，就曾測出含 50ppb 的 MTBE。英國環保署自 1996 年起也開始留意地下水 MTBE 污染問題，並著手進行全國性監測、調查計畫，由於以往 MTBE 並不是經常性地下水監測項目之一，經初步研判受 MTBE 污染之地下水層之範圍將遠超過目前調查所知的範圍。

雖然 MTBE 對人體而言屬於較低毒性化學物質，但由於其容易在土壤及水中迅速擴散造成大量的土壤及水污染，加上只要極低的濃度（5 - 15ppb）即可造成飲用水之臭味問題，目前已有加州等地將其列入飲用水標準（數值詳如下表），我國飲用水標準目前雖未將 MTBE 納入，未來是否會跟隨國際趨勢，將 MTBE 列入管制項目，值得我們關心並預作準備。

本次國際地下環境汙染整治技術專業研討會（The Third International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds）中，有關於上述各項技術及應用實例之論文篇數有十分明顯的成長，不論政府單位、專業研究機構或環保工程顧問業者，都已將焦點移轉至如何有效利用微生物及植物之消極式整

治技術上，MTBE 污染整治計畫更是在美國許多州被列入超級基金 (Superfund) 整治重點，由此可預見美國未來污染整治計之趨勢走向。

肆、建議

1. 建立本公司自有地下環境污染整治技術，並積極提升技術水準，除可解決本公司油庫、加油站之環境污染，有效地降低操作維護及營運成本外，更可以間接地幫助提升國內環保產業技術之水平，應在兼顧市場競爭及營運成本考量下，積極進行。
2. 美國對環境保護工作已由政府帶頭，投入大量資金與人力，研發並將許多經濟有效污染整治技術與方法，國內受各種條件限制，無法以對等之模式進行技術開發，應積極評估並引用已在美國廣泛使用之技術與方法（如本報告所列各項），方為上策。
3. 我國環保法規，一向跟隨歐美等國腳步，對於本次考察所獲得之各項未來發展趨勢，本公司應未雨綢繆，預先採取妥善因應措施及計畫。