

出國報告（出國類別：開會）

參加第三屆生物及永續環境技術  
國際研討會

服務機關：台灣中油煉製研究所

姓名職稱：陳宏達（化學工程師）

派赴國家：美國

出國期間：104年5月17日至104年5月23日

報告日期：104年8月12日

## 摘要

本次出國主要參加 Battelle 組織舉辦之第三屆生物及永續環境技術國際研討會 (Third International Symposium on Bioremediation and Sustainable Environmental Technologies)，會中參加大會邀請演講，由 Leonard Berry 博士說明世界環境變化對佛羅里達海平面上升之影響，另參加兩場圓桌會議，分別探討總石油碳氫化合物(Total Petroleum Hydrocarbon, TPH)清理基準及探討綠色整治架構是否能適切表達生態服務及自然資源，會中聆聽多場整治技術簡報並參觀廠商展覽進行經驗交流。

在幅員廣大的美國，土壤中的 TPH 清理基準差異甚大，但目前較為科學的方式即採用風險依據修正行動 (Risk Based Corrective Action, RBCA)方法進行制定，總石油碳氫化合物規範工作小組 (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, TPHCWG) 加入風化碳氫化合物、保留致癌指標，以低成本分析技術之階段架構持續推動 TPH 清理基準之制定。

綠色整治及綠色永續整治儼然成為顯學，加上永續整治論壇之大力推動，目前相關技術指引已齊備，綠色永續整治架構、方法和工具已納入整治中之環境影響，然而綠色整治之之碳足跡減量雖可被量化，但生態修復往往是複雜及區域性的，綠色整治對生態系統之影響如何被量化值得進一步釐清。

另世界知名的 Chevron 公司積極投入本研討會之論文發表，除進行現有整治技術剖析，並推估不同處理之土壤比例，推估原油污染土壤之離地生物處理 70%、開挖/回填/覆蓋 16%，離場熱處理 10%、現地生物處理 3%、開挖/SVE1%及開挖掩埋 0%，Chevron 公司於整治技術之研發投入及成果值得本公司作為重要參考依據，除考量污染土壤之處理成本外，未來應積極投入油品污染土壤處理後回填及資源化評估。

## 目次

壹、出國目的說明 .....	4
貳、參訪及研討會過程說明 .....	6
參、研討會演講及論文主題介紹 .....	6
3.1 邀請演講	
3.2 專題討論	
3.2.1 總石油碳氫化合物清理基準	
3.2.2 綠色整治架構對應生態服務及自然資源	
3.3 土水整治論文	
3.3.1 Chevron 公司原油汙染整治	
3.3.2 綠色整治論文	
3.3.2.1 美國聯邦綠色整治提案	
3.3.2.2 綠色整治標準指引	
3.3.2.3 綠色整治評估工具	
3.3.2.4 綠色整治重要案例	
3.3.2.5 永續整治論壇	
3.3.2.6 綠色整治國際願景	
3.3.2.7 綠色整治未來-LNAPL 回收和管理技術	
肆、心得與建議事項 .....	22
伍、參考資料 .....	25

## 壹、出國目的說明

參加 Battelle ([www.battelle.org](http://www.battelle.org)) 組織舉辦之國際性研討會(Third International Symposium on Bioremediation and Sustainable Environmental Technologies)<sup>1</sup> 如照片一~三，主要議題如下：

- 生物整治技術 (Bioremediation Technologies)
- 氣體侵入的評估及模擬(Evaluating and Mitigating Vapor Intrusion)
- 緊急應變(Munitions Response)
- 新興污染物的生物降解(Biodegradation of Emerging Contaminants)
- 石油碳氫化合物污染場址管理 (Managing Petroleum Hydrocarbon Sites)
- 原油在不同環境下的生物降解及整治 (Biodegradation and Remediation of Crude Oil in Different Environments)
- 非傳統的油品和天然氣開發的生物過程 (Biological Processes in Unconventional Oil and Natural Gas Development)
- 自然衰減的研究進展(Advances in Natural Attenuation)
- 評估生物整治技術的進階工具(Advanced Tools for Assessing Bioremediation)
- 永續場址管理策略(Sustainable Site Management Strategies)
- 綠色及永續整治(Green and Sustainable Remediation )
- 國際生物整治設置(Bioremediation in International Settings)
- 生物整治執行實務(Bioremediation Implementation Practices)
- 複雜場址的生物整治應用(Application of Bioremediation to Complex Sites)



照片一、 筆者攝於第三屆生物及永續環境技術國際研討會展覽館



**照片二、 第三屆生物及永續環境技術國際研討會開幕**



**照片三、 第三屆生物及永續環境技術國際研討會大會報告**

研討會報告內容均為當前美國及世界各發達國家所面臨的生物及永續環境科技問題，舉凡氣候變遷下之整治技術、綠色整治技術國際願景、世界各區域生物整治執行之影響因素均為其主要議題，參加該研討會可掌握環保新知並提前因應本公司未來土壤地下水整治之挑戰。

## 貳、參訪及研討會過程說明

Battelle 紀念研究所係由非營利慈善信託基金於 1929 年成立，Battelle 紀念研究所應用科學及技術致力於世界上環境問題解決，並且是全球最大研發組織，每年全球研發產出超過 60 億 USD，在世界上共有 130 據點，跨國員工超過 22000 人，大會特別感謝 API、AECOM、FRx、Surf、CDMSmith、Regenesis、O'Brien & Gere 等單位之贊助。

本次與會人員包括來自加拿大、美國、墨西哥、哥倫比亞、巴西、瑞典、丹麥、英國、法國、瑞士、葡萄牙、義大利、奈及利亞、南非、愛沙尼亞、捷克共和國、奧地利、科威特、沙烏地阿拉伯、俄羅斯聯邦、中國、印度、新加坡、澳大利亞、日本、南韓及台灣，共有 600 餘人與會，分 3 個短期課程，6 技術議場、14 個議程主題及 61 個技術場次，會中有 301 篇口頭報告、219 篇海報發表及 3 場座談會，並頒發 3 篇學生論文競賽獎項。

## 參、研討會演講及論文主題介紹

### 3.1 邀請演講

#### **Environmental Management in a Changing World: Lessons from South Florida**

Leonard Berry, Ph.D. Florida Atlantic University

大會邀請佛羅里達大西洋大學 Leonard Berry 博士針對未來世界環境變化進行專題演講如照片四，討論全球及相關海域海平面上升對美國海岸線之影響，並討論佛羅里達於海平面上升所呈現之弱點、風險、造成原因及連續衝擊，Leonard Berry 博士說明佛羅里達相關規劃及其影響、目前正進行之工作，及海平面上升對生物處理之影響等。

Leonard Berry 博士於全球性氣候變化問題研究超過 40 年，在他工作初期，他為美國國際發展處(USAID) 世界銀行和聯合國進行環境研究與代辦開發訓練計劃。他是全國氣候評估第 17 章「東南和加勒比」的主要作者，佛羅里達環境研究中心創建者和主任(1994-2014)，佛羅里達大西洋大學地球科學名譽教授和佛羅里達大西洋大學氣候變化的中心主任。另外，他參加水和氣候相關之區域性，全國性和國際性工作群組。他在 2012 年 4 月為美國參議院能源和自然資源委員會作證海平面上升對佛羅里達衝擊。在 2014 年 12 月，Leonard Berry 博士代表佛羅里達大西洋大學以瞭解氣候變化作為他的使命。Leonard Berry 博士是佛羅里達氣候學院執行委員會成員、建立一個 7 個公立和私立大學多重學科的網絡，並與各部門一起探討氣候可變性、變動衝擊和社會反應。

在南佛羅里達，水是一件高度處理的產品，海平面上升已經影響了管理系統和人民生活需求。海平面上升專案僅是計劃發展過程中的一部分，佛羅里達因海岸線長故海平面上升對其影響甚鉅，佛羅里達因海平面上升具高度敏感性且使其都市陷於高度風險，甚至影響非海岸線都市及移居者，並造成海水入侵及稻米種植損害，目前作法包括增高路基，水與公用規劃、水資源多元化及區域契約(Regional compact)等。佛羅里達具有高價值的海岸資產，高密度的海岸及海島人口、特殊的生態系統(沼澤地)、並具有極重要的經濟及基礎建設，故海岸線升高對其衝擊性大，並導致佛羅里達的弱點暴露。

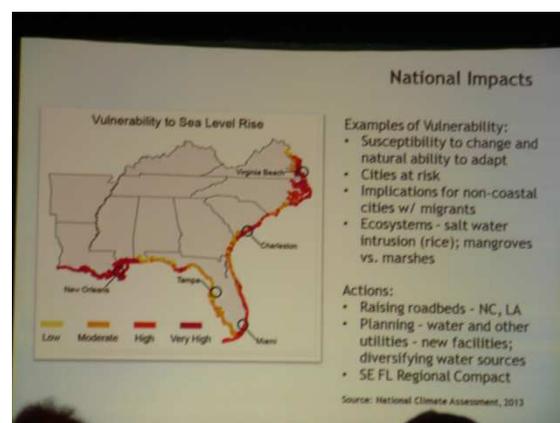
以西元 1993~2010 年統計分析可知造成海平面上升的原因包過海水熱膨脹(1.1mm/yr)、冰山融化(0.86mm/yr)及陸地水之流入(0.33mm/yr)，推估西元 2050 年上升 1.3~2.1ft，西元 2100 年則上升 4.6~6.6 ft，目前佛羅里達已著手進行立法及規範，包括訂立適合行動區域(Adaption Action Area)，如 Deerfield beach, Hillsboro beach, Pompano Beach, Lauderdale by the sea, Fort Lauderdale, Dania Beach, Hollywood, Hallandale Beach.

目前制定適合行動區域之規範為:

1. 低於、位於、或接近於平均高海水位之區域
2. 與海岸水源具有水文連接之區域
3. 暴風雨時指定疏散的區域

海平面上升對南佛羅里達財政可能影響包括 600MGD 廢水逆滲透回收(60 億 USD)、250MGD 海水逆滲透淡化處理(45 億 USD)、暴風雨抽水工程及海水牆設置，此外氣候變遷將造成海平面上升、溫度及降雨改變，進而影響生物整治計畫、相關氣候變遷資訊可參考 EPA Climate Change Adaption Technical Fact Sheets。

Leonard Berry 博士指出區域內居民和環境現在與未來之挑戰，並探討能源利用和汙染增長之因應措施。他描述持續因應方式如基礎設施再工程化，產生縣和自治市鏈結和重新考慮計劃期程，而南佛羅里達地面消失教訓可提供持續計劃和生物整治程序機會。



照片四、佛羅里達大西洋大學 Leonard Berry 博士專題演講

## 3.2 專題討論

三場圓桌會議座談會(Panel Discussion)討論主題包括:

1. TPH—What is the Right Cleanup Level?
2. Do GSR Frameworks Adequately Represent Ecosystem Services and Natural Resources?
3. Sampling Groundwater Monitoring Wells: Is What's in the Pipe Representative of the Formation?

因有聆聽其他場次需求，僅選擇第 1 及第 2 場次圓桌會議參加相關座談，主要內容如下:

### 3.2.1 總石油碳氫化合物清理基準<sup>1-2</sup>

第 1 場次圓桌會議座談座談係探討什麼才是對的總石油碳氫化合物(TPH)清理基準如照片五，內容如下:

#### **TPH—What Is The Right Cleanup Level?**

主持人:

Sara Mcmillen (Chevron)

與談人:

Deb Edwards (Exxon Mobil)

Mala Pattanayek (Integral Consulting)

Rob Scofield (GSI Consulting)

Fred Vreeman (Alaska Department of Environmental Conservation)

2011 年阿拉斯加環境保護署 (ADEC) 調查美國所有 50 州和加拿大，以確立其他州如何制定石油釋放到污染場址的法令。法令制定者以網路調查及個別電話聯繫方式確立三個基本途徑以制定石油碳氫化合物的法規清理標準。調查得知 67% 建立整治標準係基於風險依據修正行動 (RBCA) 方法，13% 整治標準則是法令直接制定、8% 建立整治標準則完全取決於個案情況，10% 其他則未被其他州採用。

美國土壤中的 TPH 清理要求之立法標準不一是顯而易見，包括下列:

1. TPH 清理濃度介於 50 毫克/公斤(奧克拉瑪州)到 4,100 毫克/公斤(亞利桑那州)。
2. 汽油範圍油品濃度(Gasoline range organics, GRO)清理濃度介於 3.1 毫克/公斤(俄亥俄州)到 1500 毫克/公斤(猶他州)。
3. 柴油範圍油品濃度 (Diesel range organics, DRO)清理濃度介於 2.7 毫克/公斤(俄亥俄州)到 5,000 毫克/公斤(猶他州)。

4. 油範圍油品濃度(Oil range organics, ORO)清理濃度從 99 毫克/公斤 (德州) 到 10000 不等毫克/公斤 (猶他州)。

土壤中的 TPH 清理基準範圍很廣，從 10 到 10,000 毫克/公斤係依位置及風險監控而定。此外，用於評估土壤中 TPH 的分析方法可以得出不同的結果，這取決於實驗室的分析。上述將使清理石油污染土壤達到可接受基準面臨挑戰。此座談會提供先前文件回顧和總石油碳氫化合物規範工作小組 (Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, TPHCWG) 的決策。該座談會討論各州之新辦法、新發展 TPH 法規和分析技術。美國環保署與各州所使用的方法的差異性亦被討論，目的是重新開啟有關管理石油場址之對話，並查明資料差距和標準化的方法以便進行石油污染場址管理。

TPHCWG 係由州立立法院(如德州、麻薩諸塞州及新墨西哥)、學術界、能源部、國防部、石油公司、電力工業、鐵路及顧問業所成立之聯盟，成立之主要原因為：

1. 40 萬座地下油槽洩漏/破產的州專案
2. 美國環保署並未制訂規範/州標準差異
3. 州標準並非皆需採風險評估
4. 不同分析技術(萃取及揮發相分析並非等同當量)

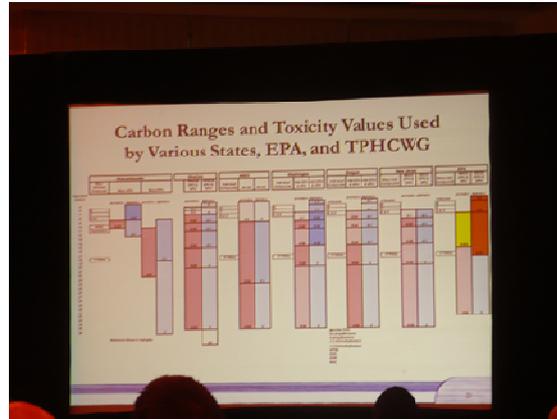
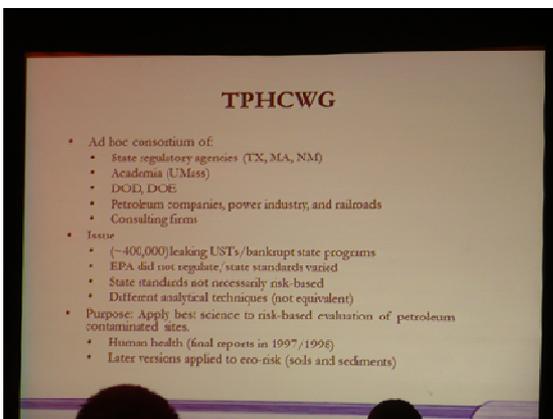
成立之主要目的主要是應用科學以風險基礎評估石油污染場址，TPHCWG 預期促進 RBCA 架構下之使用，並加入風化碳氫化合物、保留致癌指標(如苯)，較低成本分析技術及階段架構，採用基於環境移動性的沸點分級，不同最佳毒理資料分級、苯環類及飽和碳氫化合物分級、對新鮮油品及飽和碳氫化合物分級之清理目標，RBCA 目前已於世界各地展開，包括澳洲、歐洲、加拿大、南美洲及美國大部分州。

然而基於 n-hexane 之變異性，美國環保署並未發展相關法令，使用 n-hexane 作為風險計算替代方案是極度保守，其他像 C5~C8 脂肪烴的潛在風險影響是較小的，因各種產品濃度是大家所知道的，像商用 n-hexane 是同份異構物混合物，其中 n-hexane 僅佔 53%，並被測是為無毒性的，其參考劑量為 5mg/kg/day，兩成分替代方案如下：

1. 依分配部分使用 hexane 參考劑量 5mg/kg/day，及使用 n-hexane 參考劑量 2mg/kg/day
2. 假如 n-hexane <53%，則使用商業 n-hexane 參考劑量為 5mg/kg/day，假如 n-hexane >53%則使用替代方案 1
3. 測試 7 種石化產品，發現大部分的 n-hexane 介於 1~10%，其中一 C5~C8 則含 n-hexane 26%。

檢視目前美國各州 TPH 立法規定如下:其中有 7 個州規定土壤 TPH 濃度，有 20 州規範汽油範圍油品濃度、柴油範圍油品濃度及油範圍油品濃度，有 7 個州規定石油分餾成分濃度，15 州則未立法，並有 8 州並未因應。

整體而言，目前制定總石油碳氫化合物參考劑量的州有麻薩諸塞州、阿拉斯加環境保育部門、華盛頓州、俄勒岡州、紐澤西州，此外制定總石油碳氫化合物參考劑量的單位有 TPHCWG 及美國環保署(USEPA)，而 TPHCWG 則希望透過 2015 年美國州際技術及法規委員會(Interstate Technology & Regulatory Council, ITRC)專案計畫進行整合以便各界進行總石油碳氫化合物參考劑量訂定。



照片五、總石油碳氫化合物清理基準圓桌會議

### 3.2.2 綠色整治架構對應生態服務及自然資源

第 2 場次圓桌會議座座談<sup>1</sup>為探討綠色整治架構能否涵蓋生態服務及自然資源如照片六，內容如下:

#### Do GSR Frameworks Adequately Represent Ecosystem Services and Natural Resources?

主持人:

Rick Wice (TetraTech)

與談人:

Brenda Bachman (U.S. Army Corps of Engineers)

Pankaj Lal, Ph.D. (Montclair State University)

Carlos Pachon (U.S. EPA)

Harry Stone (Battelle)

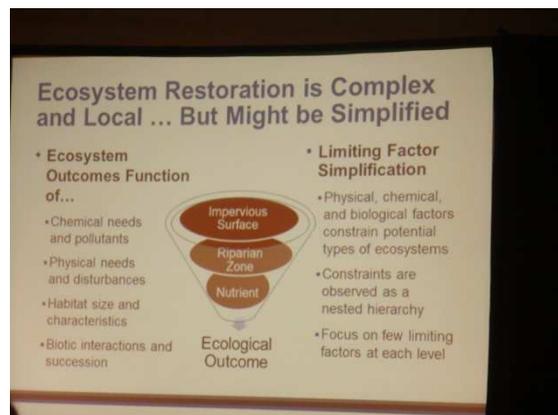
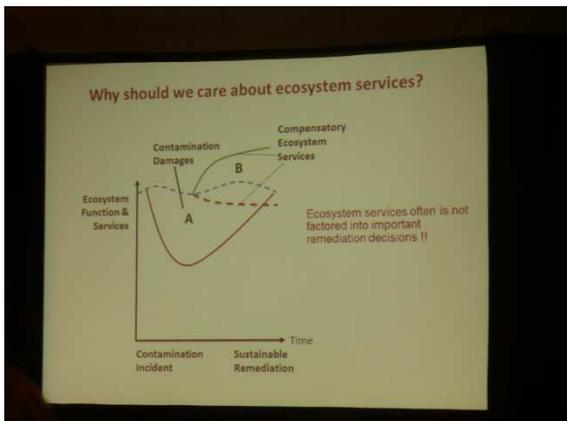
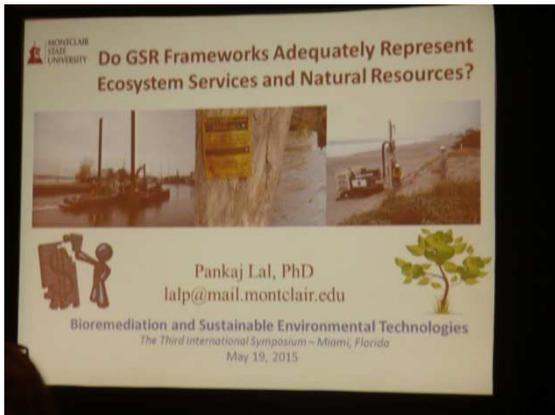
Jonathon Weier (CH2M Hill)

許多的綠色和永續整治(Green and Sustainable Remediation, GSR)架構、方法和工具已納入整治之環境影響，如溫室氣體和標準污染物的排放和資源消耗。然而，生態系統服務和自然資源往往被忽略。土地所涵蓋的如森林覆蓋的高地，草地，灌叢，和淡水與鹹水濕地提供各種天然資源，可進行洪水控制，生物多樣性加強、固碳和水淨化。在某些情況下，場址回復可能會改變這些土地表層覆蓋，造成生態系統破壞和自然資源喪失。此外，長期的維護要求可能妨礙長期或永久性的生態回復。

其他整治措施的實施可加強生態回復，圓桌會議討論下列問題:

- 1.什麼方法可評估整治行動對土地覆蓋的影響和生態系統服務，並對自然資源造成影響?
- 2.這些現有方法是整治從業人員常用方式，如果不是，為什麼不是呢?
- 3.新辦法或現有辦法修正可適用於考量這些影響? 而這些辦法是什麼?
- 4.將這些努力最終提高決策能力和整治執行，並能提高整治的淨環境效益嗎?

生態修復往往是複雜及區域性的，不受影響的表層、修復層及營養鹽皆會影響生態，但可能被簡化為生態結果是化學需求與污染物、物理需求與干擾、棲息地尺寸與特性、及生物交互作用與接替等函數，其限制因子簡化包括抑制生態之物理、化學及生物因子、被觀察限制的套疊生物等級條件、及聚焦在少數不同階層的限制因子，但圓桌會議座談會中最常被討論卻是綠色整治之生態影響如何被量化及評估。經本專題小組討論後認為 GSR 之碳足跡減量可被量化，但 GSR 對生態系統之影響如何被量化及由哪些單位( 第三公正單位執行)值得進一步釐清。



照片六 綠色整治架構對生態服務及自然資源影響圓桌會議

### 3.3 土水整治論文

Battelle 組織([www.battelle.org](http://www.battelle.org))舉辦之土水整治國際研討會舉世聞名，此次大會論文發表為期三天，主要分為下列幾個領域，並於同時間進行不同領域論文之發表，主要領域如下：

Bioremediation Technologies Sessions **A1–A10**

Evaluating and Mitigating Vapor Intrusion Sessions **B1–B4**

Munitions Response: Sessions **B5–B6**

Biodegradation of Emerging Contaminants Sessions **B7–B11**

Managing Petroleum Hydrocarbon Sites Sessions **C1–C6; Panel on Tuesday**

Biodegradation and Remediation of Crude Oil in Different Environments: Sessions **C7–C9**

Biological Processes in Unconventional Oil and Natural Gas Development Session **C10**

Advances in Natural Attenuation Sessions **D1–D3**

Advanced Tools for Assessing Bioremediation Sessions **D4–D9; Panel on Wednesday**

Sustainable Site Management Strategies Sessions **E1–E3**

Green and Sustainable Remediation (GSR) Sessions **E4–E7; Panel** on Tuesday

Bioremediation in International Settings Sessions **E8–E10**

Bioremediation Implementation Practices Sessions **F1–F5**

Application of Bioremediation to Complex Sites Sessions **F6–F11**

### 3.3 土水整治論文

#### 3.3.1 Chevron 公司原油汙染整治<sup>3</sup>

Chevron公司進行原油整治技術回顧如照片七，內容如下：

##### **State of the Practice: Remediation of Crude Oil Impacted Soils.**

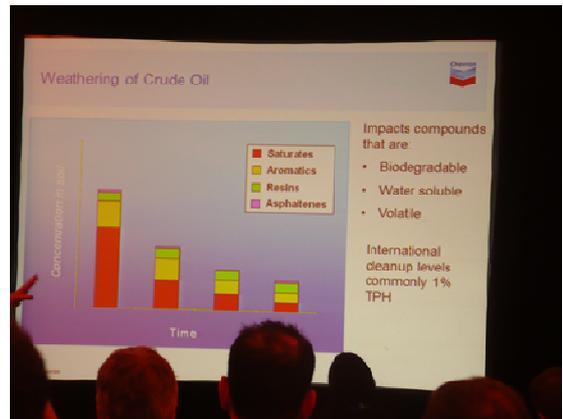
T.P. Hoelen.(Chevron/USA)

土壤整治是油公司在世界各地工業場址的一個挑戰。基於當地氣候環境管理和整治土壤最終用途，清理目標的範圍可以從>3%到< 0.1%(通常為 1%)總石油碳氫化合物 (TPH)。現地和離地土壤整治有很多技術都可用，主要基於物理去除、生物分解、再利用、化學氧化、物理分離和熱破壞。技術的選擇可以取決於各種因素，包括所需的清理目標、土壤類型、石油碳氫化合物組成、可用性資源和成本。最常用的技術是物理去除和生物處理。本論文涵蓋發展各種清理目標，現有實施技術和新穎技術發展障礙。

本論文討論原油之三相(包括飽和烴 S、芳香烴 A 及樹脂瀝青 RA,統稱 SARA)組成變化，並討論一般原油與大部分分解重油之 SARA 三相變化，並指出風化主要影響的包括分解性、水溶解性及揮發性的成分如飽和烴 S 及芳香烴 A。

通常重新安置採用固化覆蓋或掩埋處理，主要考量長期責任、安全及能源，而生物處理的主要應用技術有農耕法(landfarming)、堆肥(Composting)、生物堆(Biopile)及現地生物處理(In-situ Biodegradation)，主要考量時間耗費及 TPH 是否有效移除，另採用熱處理包括焚化、熱脫附、水泥窯及現地熱處理，主要考量因子為能源考量及處理後土壤的限制使用。其他包括有價值的再利用(路基混和、水泥及磚)、現地/離地土壤氣體抽除(SVE)，現地/離地土壤水洗、現地固化、植生復育、蚓糞整治(Vermiremediation)、原位生物整治(Mycoremediation)及現地/離地化學氧化等技術。

Chevron 公司推估不同處理之土壤體積，其中離地生物處理佔 70%、開挖/回填/覆蓋 16%，離場熱處理 10%、現地生物處理 3%、開挖/SVE1%及開挖掩埋 0%，總計採用生物處理方式為 73%。Chevron 公司整理近年來之整治技術包括生物處理前氧化(O<sub>3</sub>、過硫酸鹽、過錳酸鹽、過碳酸鹽、觸媒及 TiO<sub>2</sub>)、土壤改良(活性碳、生物焦、及注入液態活性碳)、熱處理(熱解)、現地/離地悶燒、加強式生物處理、分離(界面活性劑、植物蛋白質萃取、聚苯丙烯吸附、超臨界活性碳)及電磁輻射(電子束、射頻及微波)。



照片七 Chevron 公司原油整治實務介紹

### 3.3.2 綠色整治論文

茲將本研討會中土壤及地下水領域綠色整治之重要論文摘錄如下：

#### 3.3.2.1 美國聯邦綠色整治提案<sup>4</sup>

美國環境保護署(USEPA)、陸軍、空軍、海軍和能源部提出不同整治優化、綠色永續整治 (green and sustainable remediation, GSR) 和綠色整治 (green remediation, GR)提案等管理實務，在管理實務優化、GSR 和GR間提案評估相似點和差異，並討論其相關的政策和策略。管理實務、GSR，和GR提案組合優化被發現是相同，當管理實務跨不同的聯邦機構，整治優化、GSR和 GR相結合時，一套共同的管理實務因而產生。

#### **Synergy between Optimization, Green and Sustainable Remediation, and Green Remediation Practices across Federal Agencies.**

C.L. Dona, A. Hawkins, K. Biggs, C. Pachon, and D. Goldblum. (U.S. Army Corps of Engineers/USA)

美國聯邦機構為節省資源，減少環境足跡，一直積極主動地發展與執行各種整治優化、GSR 和 GR 提案如照片八。發展最佳管理實務(Best Management Practices,

BMPs)常常是發展過程中的重要工具。雖然每個聯邦機構提案管理實務間存在差異，而每個聯邦機構管理實務橫跨優化、GSR 和 GR 存在極大相似性。每個提案範圍的管理實務差別通常連接到目標和特定相關優化，GSR、GR、聯邦機構政策及策略。論文中總結不同的聯邦機構整治優化提案、策略、政策和與相關聯的管理實務，以提出通用的管理實務作為主體進行介紹。

當沒有正式的優化政策或提案，GSR 政策與機構管理實務，發現包括其他機構列入其優化提案的管理實務。結論是爭取一套更全面的管理實務以優化 GSR，GR 和跨領域應用，可大幅進行資源節省和碳足跡減量，本篇論文提出了實現這套更廣泛的管理實務及應用如照片八。

整治最佳化階段分為調查階段(場址評估、整治調查及可行性研究)、設計階段(整治設計)、整治階段(整治行動與長期因應行動)及長期監測階段(操作維護)，注藥最佳化，關鍵內容有整治組成、策略完成、綠色整治、資料管理、三合法(Triad Approach)及長期監測等。美國環保署著重綠色永續整治(Green and Sustainable Remediation, GSR)之最佳管理實務優化參數，包括場址概念模式、三合法，整治組成、策略完成及模擬，GSR 最佳化組成在海軍及陸軍環保署為計畫、場址特性整治及方法，GSR 最佳化組成在美國環保署則涵蓋整治循環。



照片八、美國陸軍工程隊 Carol Lee Dona 演講綠色整治提案

### 3.3.2.2 綠色整治標準指引<sup>5</sup>

美國材料試驗協會(ASTM) 2013 年11 月13日制定一個新的綠色清理標準指引 (ASTM E2893)如下:

#### **The Growing Impact of ASTM's New Standard Guide for Greener Cleanups.**

C.F. Silver, D.R. Goldblum, and J.A. Simon. (CDM Smith/USA)

聯邦和州機構接受本標準指引開始納入培訓和專案資金需求，本篇論文說明新的美國材料試驗協會(ASTM)標準指引，其綱要正在改編，並討論如何實施指引內容如照片九。自從ASTM中E 50.04國際委員會，在 2013年 11 月綠色清理標準指引任務組發展 (ASTM E2893-13)，委員會已向州和聯邦機構進行演講和培訓。美國環保署提供了超過 300 人線上培訓；此外委員會繼續加強標準指引，2015年年初推出特別擴大條列最佳管理實務(Best Management Practices, BMPs)的清單。

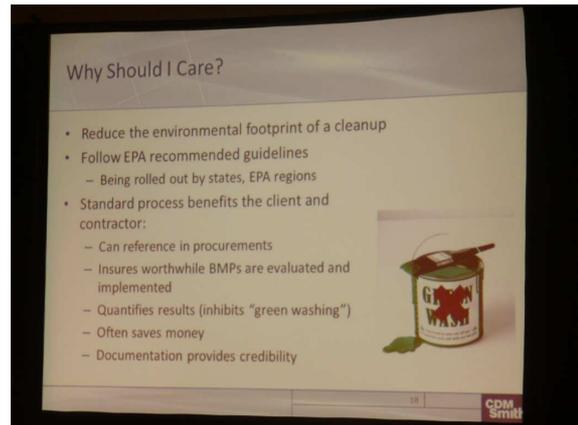
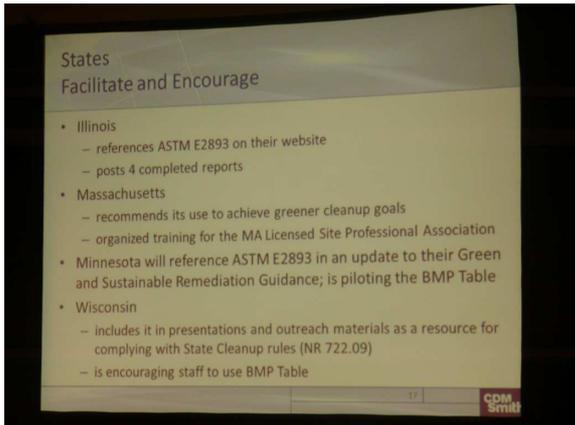
機構開始建議或要求納入 ASTM 綠色清理標準指引(E2893-13) 之獎勵專案和補助標準。麻塞諸塞州環境保護部制定了一項政策，提倡使用ASTM綠色清理標準指引 (E2893-13)，其他州和美國環保署區域正建立類似方法納入其標準於合約中。此外 ASTM已針對綠色整治公布了ASTM E2893 之標準供各界參考，美國伊利諾州、麻薩諸塞州、密尼蘇達州及威士康辛州皆參考美國材料試驗協會之ASTM E2893進行報告、訓練並作為指引，以便結合州之整治條文。本篇論文提供國家、聯邦和私人企業指引以便重新評估及實施標準。登錄上載到ASTM E2893-13 的報告量數，以及其他資料顯示接受新標準指引之整體趨勢，本篇論文總結實施標準指引的實證及好處。綠色整治可以減少整治之環境足跡，依照各州及美國環保署推動之建議指引，對於顧客及契約者而言：

1. 可以作為採購參考
2. 確保有實質價值的最佳管理實務以便評估及執行
3. 量化綠色整治結果
4. 節省整治經費
5. 可提供可信度文件

本篇論文提供幾個最佳管理實務(Best Management Practices, BMPs)的成功案例如表一：

**表一、費用節省案例**

最佳管理方案	相關內容	節省費用(美金)
相對於清理目標減少處理體積	減少目標土壤之整治處理量達3000立方碼( cubic yards)	600,000
使用先前地表材料而不使用不透水材料	取代16英畝瀝青及混凝土	300,000
回收材料再使用(如瀝青及混凝土)	獲得無害土壤及瀝青再生許可(非進入掩埋場)	1,200,000



照片九、 CDM Smith公司介紹ASTM綠色整治指引

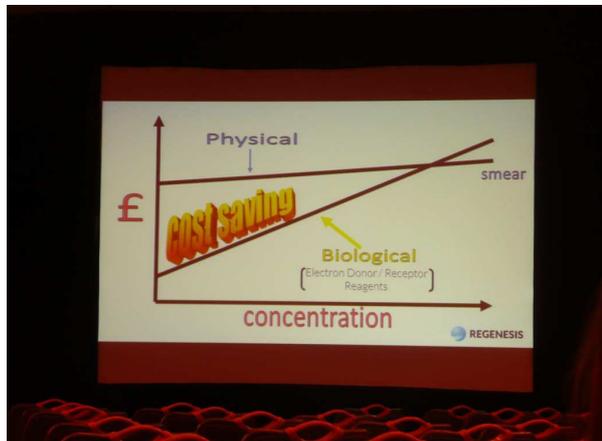
### 3.3.2.3 綠色整治評估工具<sup>6</sup>

#### Combined Remedy Synergies: Examples and Conceptual Road Map.

J. Birnstingl. (Regenesis/United Kingdom)

自永續整治推動以來，業界努力評估和開發工具用來提高場址清理的永續性如照片十。2007 年以來，一直著重多準則決策分析模型(multi-criteria decision analysis, MCDA)、 碳足跡評估工具、 最佳管理實務 (BMPs)和傳統生命週期評估(Life cycle assessment, LCA)工具來探討，所有這些工具幫助從業人員提升場址清理的永續性，只因他們是少數的工具且為專案團隊熟悉的特定使用工具。所有工具知識提供機會以便應用最佳工具解決問題，並瞭解整治專案中的永續發展機會。

本篇論文調查LCA、 碳足跡分析、 MCDA 工具及最佳管理實務等跨屬性工具以提供客觀比較的應用。將包括成本、 計畫期程執行，從業人員訓練，結果提供，決策輸入和利益攸關者瞭解屬性。使用此資訊，決策流程提供使用者透過特定工具的決策過程如何考慮何時應用以促使場址清理能更加永續。認知這些改進工具可能會促使發展更多永續的整治方式。利用一個簡單的"如果-那麼"問題決策流程圖可以幫助從業人員瞭解不同永續改進工具，並幫助他們鑑定永續發展及決策。



照片十、 Regenesis公司介紹最佳管理實務

#### 3.3.2.4.綠色整治重要案例<sup>7</sup>

本篇論文回顧永續整治理念並提供加拿大一個最大的整治專案作為案例研究，並介紹焦油池塘和焦爐場址綠色和永續整治的執行過程。

#### **Future Land Use and Sustainable Remediation at the Sydney Tar Ponds: A Case Study and Lessons Learned on Adaptive Remedial Design.**

B. Noble, D. Wilson, D. Burke, and D. MacDonald. (AECOM/Canada)

Sydney 焦油池塘整治專案在加拿大 Nova Scotia 省，是近 100 年的鋼廠留下大量重金屬、多環芳香烴、揮發性有機物、PHCs、PCBs 及多氯聯苯污染之土壤、沉泥及地下水，兩個主要污染地點包括焦油池塘(34 公頃的水域場址)及焦爐(68 公頃土地場址)。鑒於城市環境規劃，整治方案顯示有機會進行永續整治，回收工業褐地，及創建一個獨特的解決方案，並考量污染物以連結許多相關專案。整治場址願景的起源可以追溯超過 30 多年，並包含了綠色和永續整治的獎勵方案。

該專案在 2009 年完成整治工程設計，所有 12 項合約在 2013 年 8 月完成，此時永續發展社會實體為主的解決方案以褐地發展這些地點顯然成為核心任務。到目前為止這一實體，再加上強大社區支援可成功執行整治，創造了這一都市重建願景已超出整治建設階段預期。工程專案提案者(Sydney 焦油池塘機構)採用環境影響評估提出建議，制定未來場址土地使用總體規劃。社區支援參與未來土地利用總體規劃與整合設計，實現執行整治工程的任務已經展開。該專案透過未來土地利用總體規劃的實施，採納整治設計中的永續整治，可提供必要的基礎促使未來褐地開發成真。

焦油池塘場址的主要整治解決方案是固化/穩定化 (S/S)，約 70 萬噸的煤焦油污染沉泥在水域場址。整治解決方案採綠色永續整治概念支援整治回復和公園類型之未來土地使用。這包括公共區域場所，Sydney 港景觀散步小徑，和整治復原設施與整治設計協調，整合周邊地區，包括融合大西洋的未來土地使用計畫。焦爐場址整治解決方案包括地下水收集管線和垂直防滲牆等地下基礎設施。整個場址表層將土壤覆蓋。這種整治解決方案類似永續整治概念，此外在焦油池塘場址，焦爐場址分為兩個 Sydney 住宅社區，主要為連接這些地區通過地上街道和促進商業發展，同時保留部分地區為綠帶。

#### 3.3.2.5.永續整治論壇<sup>8</sup>

#### **SURF USA's Case Study Initiative Identifies Sustainable Remediation Trends.**

John A. Simon (Gnarus Advisors/USA)

永續整治論壇主動蒐集案例研究以展示成功的永續整治專案執行情形，透過研究提案，永續整治論壇從成員及國際整治組織和其他積極搜集案例，案例研究顯示永續整治專案的環境、經濟和社會方面的各種最佳管理實務。

透過永續整治論壇有效進行資訊收集，能為整治專業人員提供全球簡潔的標準化格式及訪問實際案例。有許多提案者和獎勵提供法律、公共關係和採用永續整治原則的經濟誘因。EPA 專案中記錄了在紐約州為達綠色整治政策所載明的永續發展，要求進行法令提案和清理。此外，還有社會和經濟誘因，包括降低成本、潛在的碳交易額度及濕地與天然資源減緩機會。最後，增加企業社會責任，對實施永續整治專案相關的大眾利益是主要誘因，案例研究提案目的是為了獲得這些提案者。

研究團隊正評估及彙編案例研究，以確定共同主題，將輸入資料庫包括管理的最佳實務和永續整治專案中的經濟和社會提案者的資訊。資料庫將使挑出、總結，提出了一種永續整治社會關鍵趨勢。

永續整治論壇研究推動永續整治專案的報告提供了一個一致過程。透過這一永續整治論壇推動，可從永續整治案例研究資訊資料庫積極編制。研究團隊總結案例研究評價和確定趨勢中最常見的最佳管理之實踐者和提案者。專案結果顯示環境足跡減量為改善社會經濟指標的最佳管理實務。初步評估基本實施管理最佳實務，整合永續整治的經濟和社會方面的最大機會是在專案規劃階段，而對於環境方面的最佳時期是在專案設計過程。

### 3.3.2.6. 綠色整治國際願景<sup>9</sup>

本篇論文舉例說探討全世界已建置及完成的綠色永續整治(GSR)架構及應用如照片十一所示，永續評估和管理可促進永續發展、氣候變化調適和社區回收能力，各種國際及國家資源和區域提案能支持這樣的努力。在最近的國際氣候變化協定和再生能源技術成本顯著減少情形下，此時推動 GSR 時機是適當的，論文內容如下：

#### **International Perspectives on GSR: State of the Practice, Challenges and Opportunities.**

B. Maco and A. McNally. (Wactor & Wick LLP/USA)

論文中報告永續整治在國際社會進展、永續性的國際推動和國際組織溝通。本篇論文報告褐地重建之 GSR 個案研究、可增加成本效益、環境及社會改善。本篇論文總結美國行政命令和各國發展情形，探討如何把 GSR 納入這些新生的土地管理方案計畫中。

本篇論文重點介紹的技術和財政工具，可以用於向場址擁有者和當地利害關係方表明經濟效益。論文中探討提供收入和彈性工具來幫助公私夥伴互動關係以滿足人類基本需求。論文採納世界各地建議，將如何實踐案例現況、案例研究、工具和重要進程報告作為跳板以增加應用機會。



照片十一、綠色整治論壇發展情形說明

### 3.3.2.7. 綠色整治未來-LNAPL 回收和管理技術<sup>10</sup>

一種永續 LNAPL 回收方法被應用於幾個場址，包括探索一種新的永續 LNAPL 矩陣，表示為 LNAPL 回收強度和評估 LNAPL 回收溫室氣體強度。LNAPL 回收強度表示回收一加侖 LNAPL 所需的 LNAPL 當量加侖。本篇論文這些評價和相關的經驗教訓的結果進行介紹和討論如下：

#### **Sustainable Remediation and Its Influence on “Next Generation” LNAPL Recovery and Management.**

D.S. Woodward, B. Harding, and M. Zenker. (AECOM/USA)

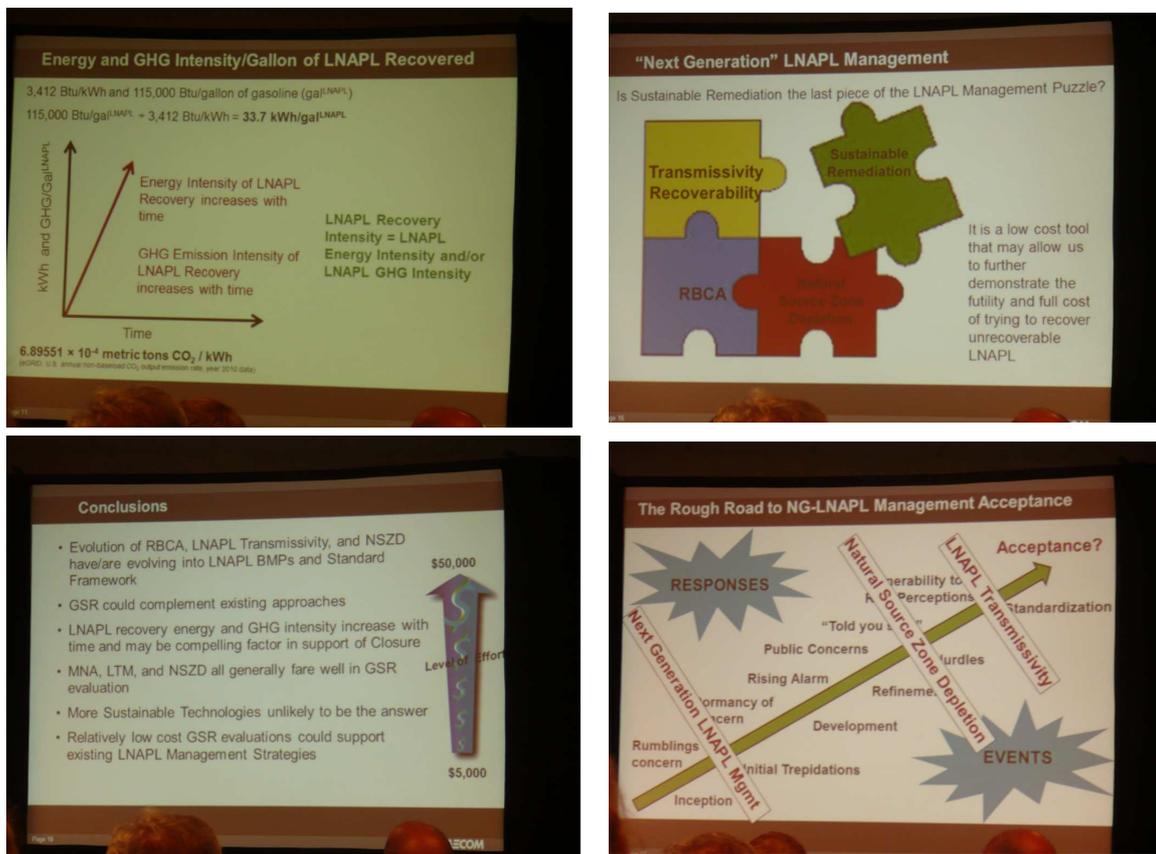
現代社會幾乎每個部門皆已開始爭取實踐永續發展。農業、製造業、建築業、運輸和甚至日常生活中，一般人看重能耗、碳足跡、分攤後之重擔，及不斷減少的天然資源。2006 年以來永續整治論壇形成，整治行業承諾並回應義務和機會進一步考慮整治決策對社會、經濟和環境之影響，進而減少環境衝擊。

美國各州和聯邦的綠色永續整治 (GSR) 條例和指引被發展起來 (例如 ITRC)。科學對輕非水相液體 (LNAPL) 移動性和回收性的理解有了顯著發展。更多科學進展取得了 LNAPL 相關的自然降解機制及速率 (即自然汙染區消除, NSDD)。值得注意的是這些 LNAPL 科學和 NSDD 的進展都符合風險依據修正行動

(RBCA)。但儘管取得了這些進展，與 LNAPL 相關風險和場址中移動和回收 LNAPL，將確保其在特定的整治條件符合 RBCA 之精神。儘管永續整治已重大演進，但它尚未明顯地影響 LNAPL 回收和管理技術。

本篇論文探討永續發展的潛在影響如照片十二，討論下一代 LNAPL 回收和管理技術：

- (1).如何以水力回收作出更永續的整治?
- (2).什麼時機該選擇回收技術扮演適當角色 (選擇更永續但速度較慢的技術取代一個快而較大的碳足跡是否合宜)?
- (3).在選擇一種永續的 LNAPL 回收方法，討論什麼永續矩陣的參數應加重?
- (4).界面活性劑加強 LNAPL 回收是否更永續?
- (5).如果 LNAPL 回收的當量能量 (以加侖 LNAPL 表示) 大大所需超過 LNAPL 回收體積?是否具永續性?



照片十二、 AECOM 公司 David S. Woodward 說明永續整治的 LNAPL 回收方法

#### 肆、心得與建議事項

感謝公司及上級長官的支持與栽培，使本人有機會參加第三屆生物及永續環境技術國際研討會，Battelle 組織舉辦之土水整治國際研討會舉世聞名，參加該研討會可掌握土水整治新技術、Battelle 組織舉辦第三屆生物及永續環境技術國際研討會議題涵蓋：生物整治技術、氣體侵入的評估及模擬、緊急應變、新興污染物的生物降解、石油碳氫化合物污染場址管理、原油在不同環境下的生物降解及整治、非傳統的油品和天然氣開發的生物過程、自然衰減的研究進展、評估生物整治技術的進階工具、永續場址管理策略、綠色及永續整治、國際生物整治設置、和生物整治執行實務及複雜場址的生物整治應用等，均與本公司油品汙染之土壤及地下水整治密切相關。

茲將參加第三屆生物及永續環境技術國際研討會之心得歸納如下：

1. 美國佛羅里達為人口密集且有臨海之優勢，海平面上升已嚴重影響其區域發展，故海平面上升對其影響甚鉅，佛羅里達因海岸線長因海平面上升具高度敏感性且使其都市陷於高度風險，積極作法包括增高路基，水及公用規劃及水資源多元化及區域契約等作法，Leonard Berry 博士推估西元 2100 年海平面上升 4.6~6.6ft，並強調氣候變遷將造成海平面上升、溫度及降雨改變，進而影響生物整治計畫。
2. 土壤中的 TPH 清理要求範圍很廣，從 10 到 10,000 毫克/公斤，西元 2011 年起阿拉斯加環境保護署 調查所有 50 個州和加拿大得知約 67% 建立整治標準係基於風險依據修正行動(RBCA)方法，13% 整治標準則是直接法令直接制定，8% 建立整治標準則完全取決於個案情況，10% 整治標準則為其他。總石油碳氫化合物規範工作小組討論訂定土壤中的 TPH 清理要求採用 RBCA，並加入風化碳氫化合物、保留致癌指標，及較低成本分析技術及階段架構，TPHCWG 希望透過 2015 年 ITRC 專案計畫進行整合以便各界訂定總石油碳氫化合物參考劑量。
3. 綠色整治及綠色永續整治儼然成為顯學，加上永續整治論壇之大力推動，目前相關技術指引已齊備，綠色永續整治架構、方法和工具已納入整治之環境影響。然而，生態系統服務和自然資源往往被忽略，而生態修復往往是複雜及區域性的，綠色整治之之碳足跡減量雖可被量化，但綠色永續整治對生態系統之影響如何被量化有待進一步釐清。
4. 土壤整治是油公司在世界各地的工業場址的一個挑戰，基於當地管理氣候環境和整治土壤的最終用途，清理目標的範圍可以從 >3% 到 < 0.1% 總石油碳氫化合物 (TPH)，Chevron 公司進行整治技術剖析並推估不同整治處理之土壤比例，其中離地生物處理 70%、開挖/回填/覆蓋 16%，離場熱處理 10%、現地生物處理 3%、開挖/SVE1% 及開挖掩埋 0%，值得本公司作為重要參考，除考量汙染土壤之處理成本外，未來應積極投入油品汙染土壤處理後回填及資源化技術評估。

此次出國獲益良多，歸結幾點建議如下：

1. Battelle 舉辦之研討會舉世聞名且舉辦已超過 20 年，本公司若要確切掌握世界上土壤及地下水整治發展趨勢之發展應擴大編列預算固定派專業人員參加。

- 2.雖然美國退出京都議定書條約，但綠色整治在美國及世界各地發展成為顯學，整治期間碳足跡計算及減量已列入整治之重要成效及最佳管理實務，故除達到整治計畫書之目標外，應將綠色整治列入方案選擇之重要依據。
- 3.美國已發展成熟之高解析場治特性評估工具(High Resolution Characterization Tools)，除可快速進行汙染水文地質判定外，亦可搭配三元法(Triad Approach)進行場址篩選降低整治成本。
- 4.2014年Chevron公司在世界500強公司排行榜中排名第12位，本次研討會共有23篇文章發表，Chevron公司除在石化本業領先各界，從本次之研討會熱烈參與更能了解其於土水整治著墨甚深，除了解世界各地石化汙染之法規外，並掌握各項整治技術之發展情形，Chevron公司積極參與各項研究工作，已充分展現其研發量能值得本公司學習。

## 伍、參考資料

- 1.Third International Symposium on Bioremediation and Sustainable Environmental Technologies, Battelle, 2015.
2. Risk Based Decision Making at Petroleum Contaminated Sites, 2014 ITRC Project Proposal.
3. State of the Practice: Remediation of Crude Oil Impacted Soils, T.P. Hoelen.(Chevron/USA)
- 4.Synergy between Optimization, Green and Sustainable Remediation, and Green Remediation Practices across Federal Agencies, C.L. Dona, A. Hawkins, K. Biggs,C. Pachon, and D. Goldblum.(U.S. Army Corps of Engineers/USA)
- 5.The Growing Impact of ASTM’s New Standard Guide for Greener Cleanups, C.F. Silver,D.R. Goldblum, and J.A. Simon. (CDM Smith/USA)
- 6.Combined Remedy Synergies: Examples and Conceptual Road Map, J. Birnstingl. (Regenesis/United Kingdom)
- 7.Future Land Use and Sustainable Remediation at the Sydney Tar Ponds: A Case Study and Lessons Learned on Adaptive Remedial Design, B. Noble, D. Wilson, D. Burke, and D. MacDonald. (AECOM/Canada)
- 8.SURF USA’s Case Study Initiative Identifies Sustainable Remediation Trends, John A. Simon (Gnarus Advisors/USA)
- 9.International Perspectives on GSR: State of the Practice, Challenges and Opportunities, B. Maco and A. McNally. (Wactor & Wick LLP/USA)
- 10.Sustainable Remediation and Its Influence on “Next Generation” LNAPL Recovery and Management, D.S. Woodward, B. Harding, and M. Zenker. (AECOM/USA)