


行政院環境保護署

105 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

強化土壤氣體現場篩測方法調查石油 碳氫化合物儲槽設施及污染場址

期末報告(定稿)

主辦單位：  行政院環境保護署
專案執行單位： 國立高雄師範大學/生物科技系(所)
專案主持人： 陳士賢 教授
專案執行期間： 104 年 11 月 17 日起至
105 年 11 月 16 日止

中華民國 105 年 12 月 印製

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期末報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
委員審查意見		計畫單位回覆	
1. 研究結果討論均詳盡，對土壤氣體場篩測比較具體說明，研究具參考價值。 2. 對於不同場址的不同條件，建議未來應提出更明確的影響界定或量化影響數值，以明確說明場址因素造成吸附質吸附的影響差異。		1. 敬悉。 2. 本計畫目的為應用土壤氣體採樣吸附管，置入儲槽設施及污染場址的土壤氣體監測井管中，作為土壤氣體被動式採樣工具，以評估取代地下儲槽土壤氣體監測井功能測試與直接貫入式土壤氣體採樣工作之可行性。並進行幾種現行商用不同吸附材質：包括 Solid phase microextraction (SPME)、Sorbent Tubes Anasorb CSC®及ULTRA sampler sorbe®的測試，來比較不同材質吸附管其效能及適用性。由於吸附管屬於土壤氣體被動式採樣工具，影響被動式吸附管的界定或量化因素，如不同油品之不同揮發程度(如汽油揮發程度大於柴油)，偵測點離洩漏源之距離遠近，污染場址的水文及地質條件對現地快篩準確性及污染物辨識能力可能是未來研究方向規劃之重點。	

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期末報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
委員審查意見		計畫單位回覆	
<p>1. 本專案研究目的為提升地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)污染預防措施之功能性，及強化土壤氣體現場篩測方法。研究主要分為實驗室試驗以及加油站實場測試調查。</p> <p>2. 可說明本技術在實場應用時，如何進行 QA/QC 的控制以及準確度的提升。</p>		<p>1. 敬悉。</p> <p>2. 本研究的品保及品管措施詳細說明於 3.2.6 節，實場應用時 QA/QC 的控制如下說明；其中吸附管的品保品管係依照各製造商的說明進行必要之品質管制措施，使用前須密封保存於常溫環境下，避免日光直接照射及與污染空氣直接接觸，SPME 由於可重複使用，使用前需進行必要之除污措施。執行每一採樣行程應製備一運送空白樣品，因此進行現場測試時，所評估之吸附管需有運送空白 (trip blank)，將不含待測物之吸附管於實驗室裝入密封套管後，攜至加油站現場再與其他採集之吸附管送回檢驗室檢測，過程中均不打開，可用於判知運送過程之污染情形。加油站現場於測漏管中吊掛吸附管時需有現場空白 (field blanks)，將不含待測物的吸附管攜至採樣地點，曝露於採樣狀況下，於未受污染時之土壤氣體監測井中吊掛吸附管，可用於判知整個採樣、運送過程之污染情形。同時於同一測漏管中吊掛兩枝吸附管以製備現場重複樣品 (field replicates)。準確度的提升則在於減少測漏管中的干擾因子如過強的降雨及過高</p>	

<p>3. 請進行成本分析，比較本技術和其他技術是否具成本上的優勢。</p> <p>4. 請說明環境條件對現場篩測方法的影響。</p>	<p>的地下水位與測漏管本身功能不彰等干擾因子。</p> <p>3. 本技術之成本分析詳見 4.5 節綜合評析，各種吸附材質極佳化操作條件及成本分析如表 4-13 所示。本技術和其他技術之優劣討論詳如 4.5 節綜合評析。</p> <p>4. 於實場試驗中環境條件因素對現場篩測方法的影響因素包括：(1)測漏管功能不彰及阻塞，加油站管理單位缺乏定期檢測，造成土壤氣體通透性不佳，(2)為降雨後導致地下水位上升，造成土壤氣體監測井水位過高，有效深度不達標準，無法進行吸附管吊掛試驗，或吸附管受大雨影響吸附效能，(3)對現場篩測方法的另一影響因素為降雨造成現場 TOF-MS 及 PID/FID 作業困難。</p>
---	---

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期末報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
委員審查意見		計畫單位回覆	
1. 建議應針對土壤氣體篩測之標準作業程序，說明於期末報告。依據實場測試結果，部分吸附材質似乎吸附效果不佳，亦應可加以比較說明，以供後續技術之參採。		1. 目前環保署已有公告之「地下儲槽系統土壤氣體監測標準作業程序」，但本研究與該作業程序最大不同在於需吊掛吸附管於土壤氣體監測井中，懸吊長度為 1 公尺進行土壤氣體被動式採樣，其對吸附管之保存方式及分析方式均已詳述於報告中，但由於尚屬測試階段，目前僅測試四座加油站，標準作業程序應俟以後較多實場經驗時建立較適宜。	
2. 成本效益分析似僅針對吸附材質之價格進行比較，然就未來何種材質可有效應用之比較，似可從各項成本分析(如初設成本、操作維護成本等)，提出較為具體之建議。		2. 本技術成本分析詳見 4.5 節綜合評析，本技術和其他技術之優劣討論及具體建議詳如 4.5 節綜合評析，各種吸附材質極佳化操作條件及成本分析如表 4-13 所示。	
3. 平衡時間之測定似依據實驗室結果，應用於實際場址，然似未考量不同場址之水文、地質等傳輸特性，建議應有具體之說明。		3. 建立吸附管之平衡時間需在良好控制條件下，在有限經費及時間限制下，本計畫已完成四個加油站實場測試，各場址不同之水文地質條件、土壤通透性、地下水位高度、洩漏時間、油品種類及距離污染源遠近均會影響吸附管效能，這些因子有待後續研究之探討。	

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期末報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
委員審查意見		計畫單位回覆	
1. 研究內容與計畫目的相符，且整體研究成果符合預期。 2. 建議應提出較具參考性經濟效益分析。 3. 請提出建議後續應用研究內容及可實場應用之評估。		1. 敬悉。 2. 具體經濟效益分析詳見 4.5 節綜合評析，各種吸附材質極佳化操作條件及耗材成本分析如表 4-13 所示，各方法之優劣討論詳如 4.5 節綜合評析。 3. 在有限經費及時間限制下，本計畫已完成四個加油站實場測試，後續實場研究方向可考量下列：(1)不同油品(如汽油、柴油、航空用油)對吸附管吸附能力之影響，(2)各場址不同之水文地質條件對吸附管吸附能力之影響，(3)土壤通透性對吸附管吸附能力之影響，(4)地下水位高程對吸附管吸附能力之影響，(5)洩漏時間，(6)距離污染源遠近均會影響吸附管效能，這些因子有待後續研究之探討。	

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期末報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
委員審查意見		計畫單位回覆	
1. 執行現況、流程及方法說明具體。 2. 計畫執行進度與預定進度相符。 3. 整體研究成果符合預期。 4. 根據研究內容所提出之討論與建議合理，但部分成果的解讀與應用條件建議進一步討論。 5. 研究內容與計畫目的相符。 6. 研究成果具體：主要為論文發表。 7. 研究成果的說明建議以實務操作參數加以探討，例如：報告中說明本技術可於現地操作(如p.92的說明)，仍建議具體討論現地應用的條件(例如：水分的影響、其他物質的干擾(CH ₄ ...) ...等)。 8. 本技術的適用條件(例如：MtBE的吸附優勢成因...等)建議討論。		1. 敬悉。 2. 敬悉。 3. 敬悉。 4. 成果的解讀與應用條件及各方法之優劣比較詳如 4.5 節綜合評析所述。 5. 敬悉。 6. 敬悉，除研究成果已投稿國際期刊外，實場測驗之分析成果已與中油及台亞兩大石油公司管理單位分享。 7. 本研究與「地下儲槽系統土壤氣體監測標準作業程序」規範最大不同在於屬土壤氣體被動式採樣，需吊掛吸附管於土壤氣體監測井中，其中懸吊長度為地表以下1公尺，而對吸附管之保存方式、最佳懸吊時間及分析方式，均已詳述於報告中，但由於尚屬測試階段，目前僅測試四座加油站，現地應用的條件實務操作參數應俟以後累積較多實場經驗時建立較適宜。特別是甲烷對吸附管可能之干擾可能有待後續之研究加以釐清。 8. 在有限經費及時間限制下，本計畫完成四個加油站實場測試，加油站實場試驗中，以手持式PID與FID進行土壤氣體監測井篩測，然後以TOF-MS進行土壤氣體分析，再進行各種吸附材質吸附效能試驗。雖然TOF-MS靈敏度很高，可辨識土壤氣體監測井中多種氣體，但由於TOF-MS只要有水氣，就會受到干擾，就不能	

<p>9. 吸附管採樣後到分析前的保存條件?建議說明。</p> <p>10. 本計畫已有具體的研究成果，但是土污基金模場計畫應是以應用性為主，本研究的成果如何應用?應用的條件為何?…等等，建議說明。</p>	<p>進行分析，所以在操作上較無法便捷，同時儀器費用昂貴，因此不建議加油站業者使用。在吸附材質吸附試驗中，SPME於實場試驗中，大多的測試點都能夠檢測出污染物，尤其是MTBE是最容易檢測到的目標化合物，而Sorbent Tubes則只有檢測到MTBE，但其含量均遠大於SPME之吸附量，因此建議使用Sorbent Tubes及SPME。</p> <p>9. 感謝委員意見，實驗所用之吸附材質Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]於採樣後，放於頂空瓶中並放於夾鏈袋中，並保存於4°C冰桶中。</p> <p>10. 本計畫為實場應用計畫性質，在有限經費及時間限制下，本計畫完成四個加油站實場測試，實場測驗之分析成果已與中油及台亞兩大石油公司管理單位分享。本研究的成果顯示就成本考量而言SPME單價較高但可重複使用，根據便利性及經濟效益考量，SPME及Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]是目前建議作為土壤氣體監測井被動式採樣之最佳吸附材質。綜合本研究的成果建議加油站管理者若採行被動式土壤氣體監測方式，可於土壤氣體監測井中懸掛吸附管，吊掛深度需考量土壤氣體監測井深度，避免觸及水面，若是使用SPME須於9小時後收樣，若是使用Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]須於72小時後收樣，將吸附管地送至實驗室進行土壤氣體分析，加油站從業人員只需基礎訓練即可自行操作，因此使用吸附管對站方管理者會較節省時間，且不須儀器操作專業人員。</p>
---	---

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期中報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
委員審查意見		計畫單位回覆	
1. 已完成預定之工作項目和目標。 2. 建議在期末報告能撰寫所研發之土壤氣體篩測方法草案，後續可供環保署公告為標準方法。		1. 敬悉。 2. 感謝委員建議，期末報告中將討論加油站場址的實地試驗結果，並依照結果撰寫石油碳氫化合物儲槽設施的土壤氣體現場篩測作業方法與條件限制。	

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期中報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
委員審查意見		計畫單位回覆	
1. 本專案為提升地下儲槽土壤氣體監測井污染預防措施之功能性，及強化土壤氣體現場篩測方法，以精進石化業者管理者及環保人員的污染防治與監測設施勘查流程。本研究分為實驗室試驗以及加油站實場測試調查。未來將延長吸附時間以推測其飽和濃度與飽和時間點等參數供後續的加油站場址實場驗證之進行。建議在期末報告能撰寫所研發之土壤氣體篩測方法草案，後續可供環保署公告為標準方法。		1. 感謝委員建議，期末報告會進行討論加油站場址實場驗證的結果，並綜合篩測步驟與方法，建立土壤氣體篩測方法之標準作業方法，提供環保署參考使用。	
2. 本專案後續將選取加油站進行土壤氣體採樣分析與應用吸附管採樣分析之結果比較，評估此項技術是否可協助快速判斷加油站地下環境污染潛勢及其效益。		2. 感謝委員意見，進行加油站土壤氣體監測井實測比較後本專案於期末報告將對土壤氣體與吸附管採樣分析之結果進行比較，並評估吸附管採樣方法之可行性與效益，以利強化土壤氣體現場篩測方法。	
3. 後續需彙整吸附管採樣分析之準確度、使用時機及使用條件和限制。		3. 感謝委員建議，後續將針對不同種類吸附管比較分析之準確度，並建議使用時機及適用範圍，並了解其限制性以供參考。	
4. 後續須評估此技術在實場應用之可行性。		4. 感謝委員建議，實場應用之應用及限制性將於期末報告中呈現。	
5. 計畫執行良好，文獻及方法說明具體詳盡。		5. 感謝委員肯定。	
6. 本報告已有初步具體成果，執行成效佳。		6. 敬悉。	

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期中報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
委員審查意見		計畫單位回覆	
1. 研究方法建議可再增加實驗室與加油站的實驗操作參數設計流程，可更具體說明控制參數的目的與方法。 2. 吸附時間的控制為主要參數，不同石油碳氫化合的特性與參數的關係，能否彙整比較，未來作為操作參數選擇對照表。		1. 感謝委員建議，實驗操作設計流程可參照第三章研究方法與流程中之計畫流程架構圖與相關內容，並依照建議增加說明參數的目的與方法於第 25 頁。 2. 感謝委員建議，本專案針對汽油中的苯、甲苯、乙苯及二甲苯等化合物進行探討，而後續將依照委員建議於期末報告中彙整目標化合物之特性與吸附時間的關係進行對照，以供實場操作參數之選項。	

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期中報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
委員審查意見		計畫單位回覆	
1. 已依進度及項目確實執行。 2. 未提供成果自評表期中進度，請補充。 3. 已附上初步成果及後續工作，應可完成計畫目標。		1. 敬悉。 2. 已補充於成果自評表。 3. 感謝委員肯定。	

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期中報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		

委員審查意見	計畫單位回覆
1. 執行現況、流程及方法已說明。	1. 敬悉。
2. 計畫後續執行工作項目已說明。	2. 敬悉。
3. 計畫執行進度與預定進度相符，本計畫至期中報告時執行進度並無落後。	3. 敬悉。
4. 已有初步成果，初步成果與原計畫目標符合。	4. 敬悉。
5. 至期中報告時，整體研究成果符合預期。	5. 敬悉。
6. 已有初步研究成果，且已有初步討論。但對於成果的實務應用與潛在應用性仍待於期末報告時有更進一步的討論。	6. 感謝委員意見，本計畫成果的實務應用與方法，將於實場測試結果後進行討論及剖析，希冀能建立實場應用之標準作業方法，以利未來調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址氣體篩測時使用。
7. 研究內容與計畫目的相符，但研究成果的實務應用性仍待期末時具體討論。	7. 感謝委員肯定，將持續執行本專案，以期瞭解實務應用性的方法與限制，建立石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址之土壤氣體現場篩測方法。
8. SPME已是商業化產品，關鍵是操作參數的選定（如：接觸時間（萃取），吸附材質，脫附時間&溫度...等）與適用條件評估，本研究若擬採SPME測試，則在污染場址是TPH _g 、TPH _d 、或其他油品污染均未知的條件下，如何選定SPME的操作參數，建議討論（例如：TPH _g 與TPH _d 的萃取平衡時間並不一樣...等等）。	8. 感謝委員意見，在加油站常見之汽油及柴油污染中SPME會因塗覆層與目標化合物之物化特性不同，導致萃取平衡時間會有差異。本計畫以SPME針對汽油污染的土壤氣體之目標化合物(苯、甲苯、乙苯與二甲苯等...)進行萃取，以模擬試驗之結果收集平衡時間之等參數，再以此參數進行實場測試，以期得到實務應用之最佳條件。實場應用之討論與土壤篩測應用性將於期末報告進行探討。
9. 實場測試時，環境條件的影響建議評估（例如：濕度或溫度、積水...等）。	9. 感謝委員意見，實場測試時將以現場環境條件與實驗結果進行討論，並以此調

10. 本計畫的目的是精進土壤氣體現場篩測，
期末時宜將此目的具體說明。

整篩測方法於實場之應用方式。

10. 感謝委員意見，本計畫目的為提升地下
儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)污染
預防措施之功能性，及強化土壤氣體現
場篩測方法，以精進石化業者管理者及
環保人員的污染防治與監測設施勘查流
程，實務結果之應用性將於期末報告進
行討論。

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」
期中報告初審意見對照表**

專案年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
專案主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	主持人：陳士賢 NO：03	
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
本署審查意見		計畫單位回覆	
1. 專案基本資料表請更正填表日期。 2. 專案成果績效自評表請更正填表日期、查核點、填寫期中達成數。		1. 遵照辦理，已更正填表日期。 2. 遵照辦理，已更正填表日期、查核點、填寫期中達成數。	

「105 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☒修正計畫書 ☐期中報告 ☐期末報告 審查意見回覆對照表

計畫年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗	
計畫主持人	陳士賢	研究類別	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂	
計畫名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址			
專案連絡人	何致好	連絡專線	07-7172930 ext 7312	
政策性審查意見		計畫單位回覆		
1. 請依專案計畫書標準格式撰寫，勿刪除表單及格式，各項次說明或表格勿跨頁。		1. 遵照辦理，已修改。		
2. 「專兼任助理學經歷說明」之兼任助理欄位，請依規定填妥。		2. 遵照辦理。		
3. 「主要研究人力」之類別欄，請依表上方「主持人」等四類別名稱填寫。		3. 遵照辦理。		
4. 研究經費之兼任助理欄位，請依規定編列其費用。		4. 遵照辦理。		
5. 差旅費（大眾交通工具／雜費）之項目名稱「雜費」請刪除備註欄之說明。		5. 遵照辦理。		
6. （四）其他研究相關費用之差旅費（住宿），請於備註欄補充說明人數及天數。		6. 遵照辦理。		
7. 差旅費請依據行政院 103 年 7 月 7 日公告之「國內出差旅費報支要點」編列。		7. 遵照辦理，依「國內出差旅費報支要點」編列差旅費。		
8. 依本屆管考報告書提送需求，報告印刷數量應為 60 本，請更正。		8. 遵照辦理，修改報告印刷數量為 60 本。		
9. 如編列參加成果發表會之相關費用，單據日期需於計畫執行期程內，始得核銷。		9. 敬悉。		
10. 本計畫經費編列如有浮編不實之虞，期末檢具核銷審查未通過，將扣除該編列款項，不予以補助（或追繳）。		10. 敬悉。		

「105 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

■修正計畫書

□期中報告

□期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	105 年度	專案類型	■ 研究專案 □ 模場試驗	
計畫主持人	陳士賢	研究類別	□ 整治 ■ 評估 □ 預防 □ 自訂	
計畫名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址			
專案連絡人	何致好	連絡專線	07-7172930 ext 7312	
技術性審查意見		計畫單位回覆		
委員 1				
1. 請比較評估本計畫開發之土壤氣體吸附管被動式採樣和傳統使用之土壤氣體監測井功能測試與直接貫入式土壤氣體採樣，能節省之採樣時間與流程。		1. 感謝建議，石化污染場址土壤氣體監測井的土壤氣體現場數據取得及判釋是作為預防儲槽可能洩漏之第一道調防線，土壤氣體監測井中土壤氣體之檢測時間、成本花費、準確性及污染物判釋為本計畫關切及探討主軸。本計畫將透過現場實測比較擬開發不同材質土壤氣體吸附管之被動式採樣效率和傳統使用之土壤氣體監測井功能測試與直接貫入式土壤氣體採樣之檢測相容性，及兩種方法在檢測時間、費用及數據準確性，期望所開發方法可作為加油站業者自主管理及檢測準確度之改進。		
2. 建議能將建立開發之技術撰寫成一加油站地下環境污染之篩選方法草案，以利環保署公告成篩選方法，以供使用。		2. 遵照辦理，期望由本計畫執行之具體成果，依所開發之可行性及經濟性之被動式檢測方式(吸附管)及現場篩測技術，撰寫成地下儲槽土壤氣體污染之篩選方法，以供加油站及儲槽業者自主管理及檢測技術建議之用，並能提供環保單位作為污染判釋及儲槽地下環境管理使用。		
委員 2				
1. 本研究目的為提升地下儲槽土壤氣體監測井污染預防措施之功能性，強化土壤氣體現場篩測方法，以精進石化業者管理者及環保人員的污染防治與監測設施勘查流程。研究主要分為實驗室試驗以及污染場址實際污染調查，實驗室評估進行吸附材		1. 敬悉。		

「105 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

■修正計畫書 □期中報告

□期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	105 年度	專案類型	■ 研究專案 □ 模場試驗	
計畫主持人	陳士賢	研究類別	□ 整治 ■ 評估 □ 預防 □ 自訂	
計畫名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址			
專案連絡人	何致好	連絡專線	07-7172930 ext 7312	
技術性審查意見		計畫單位回覆		
<p>質測試研究工作，加油站實場實際土壤氣體與測漏管油氣測試，依據實驗室測試操作參數條件進行實場測試，並配合進行土壤氣體與測漏管中油氣採樣與分析。</p> <p>2. 主持人近年在土壤調查及環境法醫相關領域有不錯的研究成果，具相當之土壤及污染分析研究經驗，可勝任本計畫之執行。</p> <p>3. 本專案具應用性，對未來土壤污染調查工作之執行應有貢獻。</p>		<p>2. 敬悉，感謝肯定。</p> <p>3. 敬悉。</p>		
委員 3				
<p>1. 提升研究調查鑑定方法。</p> <p>2. 應說明加油場址實測驗證的工作確實內容。</p>		<p>1. 國內石化儲槽及加油站調查已執行十餘年，許多現階段使用方法有精進空間，石化污染場址中土壤氣體監測井(測漏管)的土壤氣體檢測，及數據判釋了解洩漏源是作為預防儲槽洩漏之第一道調防線，本計畫擬提升傳統測漏管檢測採用測爆器(LEL)之方式，擬評估現場土壤氣體之檢測參數，如分析時間、成本花費、數據準確性及即時污染物種類判釋等，作為本計畫主要執行要點。</p> <p>2. 透過加油站及儲槽現場實測，本計畫擬進行比較不同材質的土壤氣體吸附管(被動式採樣)其土壤氣體吸附效率，並搭配現場攜帶式氣相層析儀(PID/FID)及時間飛行質譜儀(TOF-MS)即時分析土壤氣體，同時將比較傳統方法使用土壤氣體監測井與直接貫入式土壤氣體採樣(主動式採樣)方式，結合現場 PID/FID 及 TOF-MS 分析土壤氣體，</p>		

「105 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☒修正計畫書 ☐期中報告

☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
計畫主持人	陳士賢	研究類別	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂
計畫名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
專案連絡人	何致好	連絡專線	07-7172930 ext 7312
技術性審查意見		計畫單位回覆	
3. 經濟效益?		<p>藉此評估土壤氣體監測井(測漏管)主動式土壤氣體檢測及被動式土壤氣體檢測方法，在檢測所需時間、費用、數據準確性、數據相容性之差異，以作為加油站及儲槽業者自主管理及緊急應變之用，並能提供環保單位作為儲槽及加油站地下環境管理使用。</p> <p>3. 經濟效益評估之進行將由加油站及儲槽現場實測結果來進行探討，藉由比較被動式採樣(吸附管)與主動式採樣，並結合現場PID/FID及TOF-MS分析土壤氣體，經濟效益評估將考量樣品採樣費用、分析費用、時間花費及數據準確性，以作為加油站及儲槽業者及環境管理者參考。</p>	
委員 4			
1. 本計畫擬使用各種土壤氣體採樣吸附管，置入儲槽、設施及測漏管中，作為土壤氣體測漏工具。其結果可與傳統測漏工具並比較其優劣特性，值得一試。		1. 感謝建議，本計畫將比較不同材質土壤氣體吸附管(被動式採樣)其對土壤氣體吸附效率，並結合現場PID/FID及TOF-MS分析土壤氣體，比較被動式採樣方式與傳統使用土壤氣體監測井與直接貫入式土壤氣體採樣(主動式採樣)，藉此評估主動式土壤氣體檢測及被動式土壤氣體檢測方法，在檢測時間、費用及數據準確性、相容性之差異，以作為加油站及儲槽業者自主管理及緊急應變之用，並能提供環保單位作為儲槽地下環境管理使用。	

「105 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

■修正計畫書 □期中報告

□期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	105 年度	專案類型	■ 研究專案 □ 模場試驗	
計畫主持人	陳士賢	研究類別	□ 整治 ■ 評估 □ 預防 □ 自訂	
計畫名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址			
專案連絡人	何致好	連絡專線	07-7172930 ext 7312	
技術性審查意見		計畫單位回覆		
2. 本研究確實具實用性，如可成功則具實場應用價值。		2. 本計畫將透過現場實測來評估擬開發之土壤氣體吸附管被動式採樣方式，以比較傳統之土壤氣體監測井功能測試及直接貫入式土壤氣體其兩者採樣時間、費用及數據準確性。		
3. 建議加入成本與經濟效益評估。		3. 遵照辦理，將由加油站及儲槽現場實測結果，比較被動式採樣(吸附管)與主動式採樣，結合現場攜帶式氣相層析儀PID/FID及時間飛行質譜儀 TOF-MS 分析土壤氣體，計畫將考量樣品採樣費用、分析費用、時間花費及數據準確性，以作為加油站及儲槽業者、工程顧問公司、環境管理者參考。		
4. 建議消耗性器材費及人事費共酌減 50 萬元。		4. 敬悉。		
委員 5				
1. 建議先彙整商業化產品的適用條件與限制。		1. 遵照辦理，將先彙整及熟悉目前使用之商業化產品的適用條件及限制性，以作為本計畫實驗設計之依據，同時對於自行修改及改良之吸附管將測試其適用範圍及限制性，對於攜帶式儀器PID/FID及TOF-MS其適用線性濃度範圍將進行彙整及歸納。		
2. 平衡時間與脫附條件建議參考既有文獻（SPME 已有許多實務測試結果）		2. 感謝建議，平衡時間與脫附條件除參考既有文獻外，同時將會依照本計畫之實驗設計，進行了解場置性(site specific)不同水文地質條件下，對平衡時間與脫附條件可能之變異與影響因子。		

「105 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

■修正計畫書

□期中報告

□期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	105 年度	專案類型	■ 研究專案 □ 模場試驗	
計畫主持人	陳士賢	研究類別	□ 整治 ■ 評估 □ 預防 □ 自訂	
計畫名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址			
專案連絡人	何致好	連絡專線	07-7172930 ext 7312	
技術性審查意見		計畫單位回覆		
3. 本系統的設置意義（與規範或自我檢查管理…等等間的關係）與成本，建議評估。		3. 感謝建議，透過現場實測可比較本計畫擬使用之不同材質土壤氣體吸附管以進行被動式採樣效率評估，同時可對照傳統之土壤氣體監測井功能測試與直接貫入式土壤氣體採樣之檢測，比較其數據之定性與定量相容性，以評估主動式與被動式採樣在樣品檢測時間、費用、數據判釋及準確性之優劣，以作為加油站業者自主管理及洩漏緊急應變之用，並能提供能源局及環保單位作為儲槽地下環境管理使用。		
4. 本系統與既有系統間的關係與競合建議說明。		4. 國內對於加油站及儲槽污染潛勢調查，在第一階段包括(1)傳統測漏管之偵測: 測漏管管蓋能否開啟、管內有無浮油、測爆器 LEL 初檢測、測漏管是否積水量、測漏管深度、觀察測漏管是否淤積，(2)土壤氣體檢測: 確認無任何地下管線通過，進行 RC/PC 保護層銑孔作業，直接貫入式土壤氣體採樣，以 PID/FID 量測土壤氣體。本計畫擬研究之系統係使用被動式採樣方式，使用各種土壤氣體採樣吸附管，置入儲槽、設施及測漏管中，作為土壤氣體測漏工具，並結合現場攜帶式之 PID/FID 及 TOF-MS 進行現地土壤氣體污染物即時分析，期望能透過現地偵測提供即時判釋之依據，可比較與現有方法之優劣點。		

「105 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

■修正計畫書 □期中報告

□期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	105 年度	專案類型	■ 研究專案 □ 模場試驗	
計畫主持人	陳士賢	研究類別	□ 整治 ■ 評估 □ 預防 □ 自訂	
計畫名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址			
專案連絡人	何致好	連絡專線	07-7172930 ext 7312	
技術性審查意見		計畫單位回覆		
5. 執行 EPA 類似計畫，部分設備已購置。		5. 本研究團隊長期進行有機污染物之宿命傳輸、復育、健康及生態風險評估研究，近十年執行許多與石化相關議題計畫，並長期累積及發表許多研究成果。如 2014 年迄今正執行「污染場址環境鑑識中心規劃與柴油污染衰變因子分析計畫」，協助土污基管會規劃環境鑑識中心，同時探討風化作用對柴油特徵化合物之影響，以作為柴油污染判釋之參數。2013-2014 年完成「汽油污染場址之化學指紋鑑定研究」，探討在實驗室設計之不同程度風化作用下，影響土壤及地下水環境中汽油組成分及歸納判釋因子。2012-2013 年完成「發展環境法醫技術於油品污染場址污染源鑑定」，彙整柴油及航空燃油組成成分，評析柴油油品污染場址的可行性鑑識流程，建立航空燃油及柴油污染鑑識指標化合物及參數，以及評估柴油污染場址指紋及資料鑑識分析技術之適切性。2008-2011 年完成科技部「酒精汽油與生質柴油在環境中宿命及傳輸研究」，上述這些計畫內容與本計畫擬探討土壤氣體監測井的土壤氣體現場數據取得並無任何工作內容重疊或雷同之處，特別是本計畫目的為改進土壤氣體現場篩測方法，同時本計畫並無編列儀器設備經費，係以研究團隊既有之儀器設備經費，係以研究團隊既有之儀器設備進行研究。		

「105 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☒修正計畫書 ☐期中報告

☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	105 年度	專案類型	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
計畫主持人	陳士賢	研究類別	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂
計畫名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
專案連絡人	何致好	連絡專線	07-7172930 ext 7312
技術性審查意見		計畫單位回覆	
6. 聘請專任助理較不具培育學生參與土水計畫的意義。		6. 本計畫除研究團隊中執行環保署「污染場址環境鑑識中心規劃與柴油污染衰變因子分析計畫」具經驗之研究助理參與外，並有數名研究生參與計畫執行，相信對於研究生人力培訓與經驗傳承有助益。	
綜合性審查意見		計畫單位回覆	
原則同意所送計畫，請依審查意見提送修正計畫書。		遵照辦理。	

專案基本資料表

專案性質		<input checked="" type="checkbox"/> 實驗性質 <input type="checkbox"/> 非實驗性質		專案類別(單選)		<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗	
研究主題		<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂					
申請機構系所		國立高雄師範大學生物科技系(所)					
機構地址		高雄市燕巢區深中路 62 號 生物科技系(所)					
專案主持人		陳士賢		職等／職稱		教授	
協同主持人				職等／職稱			
專案 名稱	中文	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址					
	英文	Enhance Field screening methods of soil gas in petroleum hydrocarbon storage facilities and contaminated sites					
	關鍵字	揮發性有機物、現場篩測工具、攜帶型質譜儀 Volatile organic compounds; Field-screening device; Portable gas chromatograph/mass spectrometer					
執行期程		<input checked="" type="checkbox"/> 1 年期 <input type="checkbox"/> 2 年期 <input type="checkbox"/> 3 年期 自 民 國 104 年 11 月 17 日 起 至 民 國 105 年 11 月 16 日 止					
專案主持人		姓名：陳士賢 E-mail：cschen@nkn.edu.tw 專線：07-7172930 #7312 手機：0935236622					
專任助理		姓名：何致好 E-mail：mpf894@gmail.com 專線：07-7172930 #7312 手機：0928357605					
經費 分 析 總 表	專 案 預 估 總 經 費		金 額		編列說明		
	1.	人事費用		503,899		(1~5 項相加之 50%為限)	
	2.	貴重儀器使用含維護費		0		(與計畫實驗相關)	
	3.	消耗性器材與主要費用		466,267		(與計畫主體相關)	
	4.	其它研究相關費用		66,380		(差旅與租賃費用)	
	5.	雜項費用		18,000		(1~6 項相加之 5%為限)	
	6.	行政管理費		105,454		(1~5 項相加之 10%為限)	
專案計畫申請總金額			1,160,000		(多年期計畫請列全程經費)		

說明：

1. 本署以部份補助為原則，得指定不補助項目，不補助項目應為自籌款項，應自行核銷不得申請。
2. 非實驗性質之專案，若第一項費用編列金額超出比率，須於申請時向本署專簽說明，俾利審查。
3. 補助專案經費編列自申請起經專案核准後，經費編列中各項費用單價與需求只可減少與下修。

專案主持人：   (簽名及蓋章) 日期： 11/16/2016

一、多年期計畫各年度經費分析

第 1 年申請經費：			
專 案 預 估 經 費		金 額	編列說明
1.	人事費用		(1~5 項相加之 50%為限)
2.	貴重儀器使用含維護費		(與計畫實驗相關)
3.	消耗性器材與主要費用		(與計畫主體相關)
4.	其它研究相關費用		(差旅與租賃費用)
5.	雜項費用		(1~6 項相加之 5%為限)
6.	行政管理費		(1~5 項相加之 10%為限)
申請總金額			
第 2 年申請經費：			
專 案 預 估 經 費		金 額	編列說明
1.	人事費用		(1~5 項相加之 50%為限)
2.	貴重儀器使用含維護費		(與計畫實驗相關)
3.	消耗性器材與主要費用		(與計畫主體相關)
4.	其它研究相關費用		(差旅與租賃費用)
5.	雜項費用		(1~6 項相加之 5%為限)
6.	行政管理費		(1~5 項相加之 10%為限)
申請總金額			
第 3 年申請經費：			
專 案 預 估 經 費		金 額	編列說明
1.	人事費用		(1~5 項相加之 50%為限)
2.	貴重儀器使用含維護費		(與計畫實驗相關)
3.	消耗性器材與主要費用		(與計畫主體相關)
4.	其它研究相關費用		(差旅與租賃費用)
5.	雜項費用		(1~6 項相加之 5%為限)
6.	行政管理費		(1~5 項相加之 10%為限)
申請總金額			

行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會
土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

105 年度專案成果績效自評表

一、專案基本資料

填表日期：2016 年 11 月 16 日

專案性質	<input checked="" type="checkbox"/> 實驗性質 <input type="checkbox"/> 非實驗性質	專案類別	<input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗
研究主題	<input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂		
申請機構系所	國立高雄師範大學	計畫主持人	陳士賢
專案名稱	強化土壤氣體現場篩測方法調查石油碳氫化合物儲槽設施及污染場址		
專案執行期程	<input checked="" type="checkbox"/> 1 年期 <input type="checkbox"/> 2 年期 <input type="checkbox"/> 3 年期	查核點	<input type="checkbox"/> 申請 <input type="checkbox"/> 期中 <input checked="" type="checkbox"/> 期末

二、成果績效自評

「計畫總預估數」應與計畫審查核定值相符，請執行單位依實際達成之量化成果填寫於「結案達成數」欄位中。

(一) 學術面

項目		目標達成程度	申請 預估數	期中 達成 數	期末 達成數	結案 達成率	備註 (說明未達成原因或學術 產出發表日期、發表處、 發表名稱、影響指數等)
A 學術 產出 及 活動	1.國內投稿 (篇數)	(1)論文	1	0	1	100%	撰寫及投稿中
		(2)研討會論文	1	0	0		國內研討會論文改發表於美國舊金山舉行之第十八屆環境科學研討會18th International Conference on Environmental Sciences
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文	1	0	1	100%	已投稿 SCI 國際期刊
		(2)研討會論文			1	100%	發表於美國舊金山舉行之第十八屆環境科學研討會 18th International Conference on Environmental Sciences
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告					
		(2)研究報告					
	4.專著(本數)						
	5.辦理學術 會議(場數)	(1)研討/說明會					
		(2)成果發表會					
		(3)論壇					
B 人才 培育	6.研發改良 技術(項數)	(1)已開發技術					
		(2)技術平台					
	7.研發人員 (人數)	(1)碩士	2	2	2	100%	
		(2)博士					
	8.研究團隊 (個數)	(1)跨領域團隊					
		(2)跨機構團隊					
		(3)形成研究中心					
		(4)形成實驗室					

項目 \ 目標達成程度		申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案 達成率	備註 (說明未達成原因或學術 產出發表日期、發表處、 發表名稱、影響指數等)
9.其他指標 (請自行命名)	(請自填)					

(二) 產業面

項目 \ 目標達成程度			申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案 達成率	備註 (說明未達成原因或專 利、技術轉移相關詳細資 料)
A 智慧 財 產 權	1.專利 (件數)	已核准	發明				
			新型/設計				
			合計				
		申請中	發明				
			新型/設計				
			合計				
B 研 發 技 術 轉 移	2.先期技術 成果移轉	件數					
		授權金(仟元)					
		衍生利益金(仟元)					
	3.技術移轉 (專利)	件數					
		授權金(仟元)					
		衍生利益金 (仟元)					
	4.技術移轉 (應用技 術)	件數					
		授權金(仟元)					
		衍生利益金(仟元)					
	5.可移轉 產業技術	(1)技術(件數)					
		(2)品種/系(件數)					
C 產 學 研 合 作	6.促成合作 研究	件數					
		金額(仟元)					
	7.促成投資	件數					
		投資金額 (仟元)					
	8.促成取得 業界科專	件數					
		業界投資金額 (仟元)					

項目 \ 目標達成程度		申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案 達成率	備註 (說明未達成原因或專 利、技術轉移相關詳細資 料)
9.其他指標 (請自行命名)						

(三) 政策面

項目 \ 目標達成程度			申請預 估數	期中 達成數	期末 達成數	結案 達成率	備註 (說明未達成原因或 其他詳細資料)
A 服 務 便 民	1.技術服務	次數					
		收入(仟元)					
	2.諮詢服務	次數					
		收入(仟元)					
B 支 援 合 作	3.協助政府制定 (件數)	(1)政策					
		(2)法規					
		(3)規範					
		(4)標準					
D 社 會 效 益	4.獲得認證(件數)						
	5.獲得獎項(件數)						
	6.提升能源效率(%)						
	7.節能減碳效率(%)						
8.其他指標 (請自行命名)		(請自填)					

三、請依學術成就、技術創新、經濟效益、社會影響等方面，評估研究成果對現況或本署之學術或應用價值。（簡述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，500 字為限

本專案研究目的為提升地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)污染預防措施之功能性化土壤氣體現場篩測方法，以精進石化業者管理者及環保人員的污染防治與監測設施。本研究主要分為實驗室試驗以及污染場址實際污染調查，實驗室評估進行吸附材質研究工作，主要先蒐集目前國內外土壤氣體吸附採樣試劑，進而彙整相關操作參數，進行吸附平衡時間測試，並依據各種採樣方式執行脫附分析。加油站實場實際土壤氣體與測氣測試，依據實驗室測試操作參數條件進行實場測試，並配合進行土壤氣體與測漏管中樣與分析，分析目前國內加油站油氣與土壤氣體監測方式與用已吸附材成效比對，分析樣監測方式優缺點，進行技術替代可行性評估工作。針對提升測漏管之功能性，本專案各種土壤氣體採樣吸附管，置入儲槽設施及污染場址的測漏管中，作為土壤氣體被動式具，以其取代地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)功能測試與直接貫入式土壤氣體採樣並評估不同材質吸附管其效能及適用性。在強化土壤氣體現場篩測方法上，將利用商業微萃取(Solid phase microextraction)的吸附靜相，配合自行研發之進樣裝置，搭配具有熱樣系統的攜帶式質譜儀，以提升儲槽設施及污染場址的現地快篩準確性及污染物判識能合節能、省水及減廢之綠色化學及永續整治(sustainable remediation)精神。

中文摘要

造成石化污染事件的污染來源多以加油站之地下儲槽及地面上之大型儲槽為多，而油槽之洩漏對環境之衝擊以地面上之大型儲槽最直接及嚴重，因其造成之空氣、土壤甚至地下水之污染是直接快速的，故需立即反應並處理，否則後果及處理費用難以估計，另外在地下儲槽方面，例如加油站必須在地面下構築密閉油槽，然而台灣地區地震頻繁和地下管線鏽蝕等潛在問題，均可能在加油站油品儲存和輸送過程中污染土壤及地下水。

隨著分析儀器的進步與發展，偵測油品洩漏所使用之分析技術與儀器設備也日趨成熟，但其需借重站方工作人員平時對測漏管等測漏設備，以測爆器進行土壤氣體與油氣篩測，而環保人員在污染查察上，對所選定加油站進行勘查污染防治與監測設施，了解地下水使用情形，進行浮油量測，分別進行測漏管檢測、土壤氣體採樣、土壤氣體氣相層析分析、地下水位確認、及污染潛勢篩選。

本專案研究目的為提升地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)污染預防措施之功能性，及強化土壤氣體現場篩測方法，以精石化業者管理者及環保人員的污染防治與監測設施勘查流程。本研究主要分為實驗室試驗以及加油站實場測試調查。

實驗室評估進行吸附材質Solid phase microextraction(SPME)、Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]及ULTRA sampler sorbe[®]的測試。脫附條件實驗設計主要探討各種吸附材質與目標化合物之間的脫附效益，藉以評估吸附材質之最佳脫附條件。試驗係以50 mL中油95無鉛油品進行模擬洩漏於土壤中，再以吸附材質進行吸附1小時(SPME)及24小時(Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®])，待吸附時間結束後再分別以不同的脫附條件進行脫附。其中SPME適用最佳吸附時間為9小時，最佳脫附條件為在200°C下脫附0.5min；而Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]最佳吸附時間為72小時，最佳脫附條件則是150°C，進行平衡頂空裝置的前處理流程可達到最佳脫附效果。

吸附時間實驗設計主要探討汽油洩漏至土壤中再揮發至空氣中被不同的吸附材質吸附的時間差異與濃度變化，藉以評估吸附材質之被動性採樣之可行性。試驗同樣以50 mL中油95無鉛汽油進行模擬洩漏，模擬情境分別為:剛洩漏的情況及

洩漏後已擴散後兩種情境。結果發現SPME在汽油剛洩漏之環境下吸附9小時內即可對目標化合物達到吸附之最大量，Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]及ULTRA sampler sorbe[®]在汽油剛洩漏之環境與汽油已洩漏後已擴散之環境皆於72小時達到吸附最大量。

第二階段工作則是利用實驗室試驗之數據，以此為基準使用於實際加油站污染場址進行技術之評估。本計畫場址選定4站分別為南部場址A、北部場址B與北部場址C、南部場址D共4站，皆為汽油洩漏污染場址，實驗結果首先係以加油站標準採樣流程進行，後再將進行本試驗之吸附材質進行吸附分析。以手持式PID與FID進行土壤氣體監測井篩測，然後以TOF-MS進行土壤氣體分析，再進行各種吸附材質吸附效能試驗。每一加油站共進行五座土壤氣體監測井之測試，由於TOF-MS因為只要有水氣就不能進行分析受場地限制較大，所以在操作上較無法便捷。在進行吸附材質吸附試驗中，SPME於實場試驗中，大多的測試點都能夠檢測出污染物，尤其是MTBE是最容易檢測到的目標化合物，而Sorbent Tubes則只有檢測到MTBE，但其含量均遠大於SPME之吸附量，在四個污染場址之檢測數據較低。在測試結果中依據測得目標污染物之種類，可以發現測試之靈敏度為：在Sample Bag中以TOF-MS分析(在表格中標示為TOF-MS) > SPME > Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] > Tedlar[®] Sample Bag 經由GC-MS分析(在表格中標示為Tedlar[®] Sample Bag) > ULTRA sampler sorbe[®]。

Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]在實驗室中皆為可控條件(如無日照、濕度干擾等)，故測值會相對較高，加油站實場測試中，因日照、溫度與測漏管中濕度皆不相同，場址污染現況、水文地質條件及場址是否進行整治均會影響被動式吸附作用，但其成本較低，可建議業者多使用。就成本考量而言SPME較貴但可重複使用，根據便利性及經濟效益考量，SPME及Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]是目前建議作為土壤氣體監測井被動式採樣之最佳吸附材質。

英文摘要

To unambiguously characterize spilled fuel products and to link them to the known sources are extremely important for environmental damage assessment, understanding the fate and behavior and predicting the potential long-term impact of spilled fuels on the environment, selecting appropriate spill response and taking effective clean-up measures. These data, in combination with historic, geological, environmental, and any other related information on the contaminated site can, in many cases, help to support pollution control and remediation design. Thus, design and development of fast, sensitive, economic and accurate analytical methods for screening of target pollutants (i.e., volatile organic compounds, VOCs) in soil gas monitoring wells become very important.

The objective of this research was to develop a fast and reliable method for quantification of concentrations of soil gas in gas stations and storage tank facilities to assess potential subsurface contamination. Specific objectives were to test the efficacy of retracted solid phase microextraction (SPME) fiber, commercial available sorbents such as Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] and ULTRA sampler sorbe[®]. Commonly detected VOCs such as methyl tert butyl ether (MTBE), benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, substituted benzenes, and diaromatics were selected as the target compounds in gas stations and above/underground storage facilities.

Passive sampling of air and soil gas involves the deployment of an adsorbent that collecting compounds in the vapor state over time. Conventionally discussions of passive sampling in procedural documents are often limited in scope and fail to recognize the quantitative capabilities and benefits of passive sampling. It is proposed that passive sampling method can provide samples of soil gas, sub-slab soil gas, and air for volatile and semivolatile organic compounds under varied conditions of contaminated sites.

Gasoline contaminated soil was prepared to verify desorption efficiency of different sorbents while sorbing target compounds. The effects of sampling time, temperature, concentration levels, retraction depth, and the contribution of extraction of SPME needle assembly was tested. Sorption of gasoline contaminated vapor was allowed to contact SPME for one hour. Contact time of 24 hours was set for Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] and ULTRA sampler sorbe[®]. The ultimate desorption condition for SPME was found to be 30 seconds at 200°C prior to gas chromatograph/mass spectrometer (GC-MS) analysis.

The suitable desorption temperature for Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] and ULTRA sampler sorbe[®] was 150°C.

Gasoline contaminated soil was prepared for verifying sorption efficiency of different sorbents. SPME reached highest sorption capacity after 9 hour in the newly spilled soils. However, longer time of 12 hour was required to reach the highest sorption capacity for extended contaminated soil. Sorption onto Tubes Anasorb CSC[®] and ULTRA sampler sorbe[®] will require contact time of 72 hour to reach highest capacity.

Field study was conducted to evaluate the performance and applicability of passive soil gas absorbent kits under different hydrogeological conditions in gas stations and storage tank facilities. Four gasoline contaminated stations were selected for field test. Two of them were operated by Formosa Petroleum Company and two operated by Chinese Petroleum Company. Prior to evaluate the efficacy of retracted SPME fiber, commercial available sorbents such as Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] and ULTRA sampler sorbe[®], soil gas in all of the soil monitoring wells in each station were analyzed by portable gas chromatograph/photo ionization detector (GC/PID) and gas chromatograph/flame ionization detector (GC/FID). Five soil gas monitoring wells were selected in each gas station for further study. The results indicated that SPME can sorb more gas components in soil monitoring wells than other sorbents applied. Time of flight mass spectrometer (TOF-MS) did offer precise analysis of soil gas components. However interference such as humidity and other contaminants from the contaminated sites and relative high cost of the instrument may limit its applicability. In terms of time, data accuracy, and cost, it is recommended that SPME and Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] may serve as the better choice in passive sorption of soil gas in the field. In particular, SPME and Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] serve as precaution tools for contamination prevention in gas stations.

目錄

第一章	計畫緣起與目的.....	1
1.1	計畫緣起.....	1
1.2	研究目的.....	3
第二章	土壤氣體測定與調查.....	5
2.1	傳統土壤氣體偵測原理與應用範圍.....	5
2.1.1	土壤氣體偵測原理.....	5
2.1.2	土壤氣體偵測應用範圍.....	5
2.1.3	土壤氣體偵測之適用場址條件.....	7
2.1.4	土壤氣體採樣方法.....	7
2.1.5	土壤氣體之攜帶式分析儀器.....	11
2.2	吸附材質選取.....	14
2.2.1	固相微萃取起源.....	14
2.2.2	固相微萃取技術原理.....	15
2.3	土壤氣體採樣吸附管.....	17
2.3.1	GORE-SORBER	17
2.3.2	Beacon.....	18
2.4	土壤氣體現場檢測.....	21
2.4.1	地下儲槽系統土壤氣體監測井中油氣檢測方法.....	21
2.4.2	土壤氣體採樣調查工作.....	23
第三章	研究方法與過程.....	25
3.1	實驗樣品及設備.....	27
3.2	實驗方法.....	32
3.2.1	土壤基本性質分析.....	32
3.2.2	目標污染物.....	32
3.2.3	實驗室測試.....	33
3.2.3.1	SPME 吸附材質分析方式.....	34
3.2.3.2	商用吸附管分析方式.....	35
3.2.3.3	土壤氣體中污染物吸附至吸附材之平衡時間.....	35
3.2.4	加油站場址實場驗證.....	36
3.2.5	GC/MS 分析石化揮發性有機污染物.....	36
3.2.6	實驗品保/品管.....	36
3.3	汽油組成成份分析.....	39

3.4 加油站實場測試.....	39
第四章 結果與討論.....	43
4.1 汽油組成成分分析.....	43
4.2 脫附條件試驗.....	46
4.2.1 SPME 的脫附條件測試	46
4.2.2 Sorbent Tubes Anasorb CSC®的脫附條件測試.....	49
4.2.3 ULTRA sampler sorbe®的脫附條件測試.....	51
4.3 吸附時間試驗.....	52
4.3.1 SPME 的吸附時間測試	52
4.3.2 Sorbent Tubes Anasorb CSC®的吸附時間測試.....	57
4.3.3 ULTRA sampler sorbe®的吸附時間測試.....	65
4.4 加油站實場驗證.....	75
4.4.1 場址 A.....	76
4.4.2 場址 B.....	82
4.4.3 場址 C.....	87
4.4.4 場址 D.....	92
4.5 綜合評析.....	98
第五章 結論與建議.....	103
參考文獻.....	105

圖目錄

圖2-1	不同地下環境之揮發性有機物(VOC)濃度梯度.....	6
圖2-2	主動式土壤氣體探測管類型.....	9
圖2-3	土壤氣體監測井類型.....	9
圖2-4	各類型之探測管與土壤氣體監測井井篩.....	10
圖2-5	被動式土壤氣體採樣器.....	11
圖2-6	各式攜帶式土壤氣體分析儀器.....	12
圖2-7	商業化之固相微萃取法裝置圖.....	15
圖2-8	固相微萃取之萃取脫附步驟圖.....	16
圖2-9	GORE-SORBER.....	18
圖2-10	GORE-SORBER 原理.....	18
圖2-11	Beacon 採樣器設置示意圖.....	20
圖2-12	加油站測漏管功能測試及油氣檢測流程	22
圖2-13	土壤氣體採樣示意圖	24
圖3-1	計畫執行架構.....	26
圖3-2	GORE-SORBER 商品及原理圖.....	28
圖3-3	BESURE Sample Collection Kit.....	28
圖3-4	Sorbent Tube Anasorb CSC®.....	28
圖3-5	ULTRA sample sorbe®	29
圖3-6	Tedlar® Sample Bag.....	29
圖3-7	飛行時間質譜儀施作情形.....	30
圖3-8	本實驗使用之 Headspace 平衡頂空裝置.....	31
圖3-9	實驗室操作測試實驗示意圖.....	33
圖3-10	固相微萃取之萃取模式: (a)直接萃取(b)頂空萃取(c)薄膜萃取.....	34
圖3-11	研究進度及預期完成之工作項目(甘特圖)	41
圖4-1	SPME 在不同溫度下進行脫附 0.5 分鐘之目標化合物濃度變化.....	47
圖4-2	SPME 在不同溫度下進行脫附 1 分鐘之目標化合物濃度變化.....	47
圖4-3	SPME 在不同溫度下進行脫附 3 分鐘之目標化合物濃度變化.....	48
圖4-4	SPME 在不同溫度下進行脫附 5 分鐘之目標化合物濃度變化.....	48
圖4-5	Sorbent Tubes Anasorb CSC®在不同溫度下進行脫附之 MTBE 濃度變化....	50
圖4-6	Sorbent Tubes Anasorb CSC®在不同溫度下進行脫附之目標化合物濃度變化.....	50

圖4-7	ULTRA sampler sorbe [®] 在不同溫度下進行脫附之 MTBE 濃度變化.....	51
圖4-8	ULTRA sampler sorbe [®] 在不同溫度下進行脫附之 Benzene 及 Toluene 濃度變化.....	51
圖4-9	ULTRA sampler sorbe [®] 在不同溫度下進行脫附之目標化合物濃度變化.....	52
圖4-10	SPME 於剛洩漏之情境下進行吸附之結果.....	55
圖4-11	SPME 於洩漏後擴散後之情境下進行吸附之結果.....	57
圖4-12	Sorbent Tubes Anasorb CSC [®] 於剛洩漏之情境下進行吸附之結果.....	59
圖4-13	Sorbent Tubes Anasorb CSC [®] 於洩漏擴散後之情境下進行吸附之結果.....	61
圖4-14	Sorbent Tubes Anasorb CSC [®] 於剛洩漏吸附時間延長之結果.....	63
圖4-15	Sorbent Tubes Anasorb CSC [®] 於洩漏擴散後吸附時間延長之結果.....	65
圖4-16	ULTRA sampler sorbe [®] 於剛洩漏之情境下進行吸附之結果.....	67
圖4-17	ULTRA sampler sorbe [®] 於洩漏擴散後之情境下進行吸附之結果.....	69
圖4-18	ULTRA sampler sorbe [®] 於剛洩漏吸附時間延長之結果.....	71
圖4-19	ULTRA sampler sorbe [®] 於洩漏擴散後吸附時間延長之結果.....	73
圖4-20	中油公司南部場址 A.....	76
圖4-21	中油公司南部場址 A.....	77
圖4-22	中油公司南部場址 A 示意圖.....	77
圖4-23	台塑公司北部場址 B.....	83
圖4-24	台塑公司北部場址 B 示意圖.....	84
圖4-25	台塑公司北部場址 C.....	88
圖4-26	台塑公司北部場址 C 示意圖.....	89
圖4-27	中油公司南部場址 D.....	94
圖4-28	中油公司南部場址 D 示意圖.....	95

表目錄

表 2-1 PSG 適用化合物資料.....	19
表 4-1 CPC 與 FOR 各級汽油油品中之目標化合物含量.....	44
表 4-2 CPC 與 FOR 各級油品中之重量百分比.....	45
表 4-3 CPC 與 FOR 各級汽油油品目標化合物之體積百分比.....	45
表 4-4 目標化合物在 CPC95 中之重量百分比.....	49
表 4-5 場址 A 之基本監測數據.....	78
表 4-6 場址 A 土壤氣體監測井不同分析方式結果.....	79
表 4-7 場址 B 之基本監測數據.....	84
表 4-8 場址 B 土壤氣體監測井不同分析方式結果.....	85
表 4-9 場址 C 之基本監測數據.....	89
表 4-10 場址 C 土壤氣體監測井不同分析方式結果.....	91
表 4-11 場址 D 之基本監測數據.....	95
表 4-12 場址 D 土壤氣體監測井不同分析方式結果.....	97
表 4-13 各種吸附材質極佳化操作條件及費用.....	100

第一章、計畫緣起與目的

1.1 計畫緣起

石化產品污染(contamination of petroleum products)之主要來源包括地下儲槽(underground storage tanks, USTs)洩漏、管線破裂、及地面石化產品意外洩漏等，土壤與地下水環境受汽油、柴油、航空燃油及其他石化產品所污染，是台灣普遍且嚴重的問題。其中造成石化污染事件的污染來源，多以加油站之地下儲槽及地面上之大型儲槽為多，而油槽之洩漏對環境之衝擊，以地面上之大型儲槽最為直接及嚴重，因其造成之空氣、土壤甚至地下水之污染是直接快速的，故需立即反應並處理，否則後果及處理費用難以估計。

以工業化國家的美國為例，有三百萬座以上的儲油槽，據估計有 35%的儲油槽可能有洩漏發生。在地下儲槽方面，以加油站為例，必須在地面下構築密閉油槽，然而台灣地區地震頻繁和地下管線鏽蝕等潛在問題，均可能在加油站油品儲存和輸送過程中污染土壤及地下水。

台灣的油品污染是土壤及地下水污染主要來源之一，在污染潛勢方面以設置十年以上的加油站和超過百公秉的大型儲槽屬發生滲漏的高危險群，依據經濟部能源局統計資料顯示，截至 2015 年 7 月份底，全國公民營加油站共計 2499 座，以台中市 307 座分布最多，其次為台南市(278 座)及高雄市(265 座)。若以 1 個加油站平均有 4 座地下儲油槽估算，全國至少約有 10,000 餘座地下儲油槽，其數量相當可觀，倘該等地下儲槽系統發生油品滲漏導致土壤及地下水污染時，由於隱藏於地下環境，當發生污染時往往不易察覺，而任何污染持續與惡化，終將達到危害人類環境與破壞生態的程度。

加油站的普及化對經濟活動與人們生活帶來很大便利，但也因為趨於便民考量，台灣許多加油站設立於人口密集都會區，隨著環保意識高漲以及環保法規關注下，加油站是否會影響附近居民生活品質，逐漸受到關切。當油品洩漏發生時，大部分洩漏之石油碳氫化合物會藉由吸附作用附著於油管或儲槽及附近之淺層土壤，直接污染土壤及附近水源，繼續洩漏時，污染物會向四周土壤擴散造成土壤及地下水之污染。石化污染物在地表下環境的傳輸包括以下機制:橫向擴散和縱向滲漏、土壤顆粒的吸附與脫附、揮發、溶解、及分解作用。

因多數石化污染物密度比水輕，在地下環境不飽和層有 5 種停滯型態：(1) 污染物吸附在土壤礦質粒子上，(2) 污染物吸附在土壤中有機碳上，(3) 污染物經脫附溶解在土壤表面所吸附的水當中，(4) 污染物吸附於土壤孔隙之氣-液相交接面，及(5) 污染物停留於土壤孔隙中。其中油品中 methyl tert butyl ether (MTBE)、benzene、toluene、ethylbenzene、m/p-xylene、o-xylene (BTEX) 及其他單苯環芳香族，皆屬具有部分水溶性及對土壤吸附性低之特性，因此當其洩漏至土壤後，會迅速的滲漏至地下水中，影響附近飲用地下水的品質和安全，並形成一範圍廣大之污染團，進而增加整治上之困難，直接威脅人類健康。

對於地下環境中的揮發性有機物(volatile organic compound, VOC)，如石油碳氫化合物及含氯化有機物污染，高蒸氣壓、低溶解度之揮發性有機物，因其物化特性之不同，對土壤及地下水造成不同程度的污染，存於土壤孔隙間的氣相揮發性有機物含量，亦有所不同。土壤氣體調查為快速及具成本效益的篩測技術，藉由採集、檢測污染場址內淺層(約地下 1-7 公尺內)土壤孔隙間的氣體，有助於瞭解污染物的存在、成分、洩漏的形式、與污染團範圍。土壤氣體調查的優點，是可對場址進行較全面性的採樣，以較低精密的即時偵測儀器降低分析費用，及於短時間內取得大量分析數據，以達到污染場址調查的不確定性。適當地運用土壤氣體調查結果，有利於後續調查土壤採樣點與地下水監測井位置的選取。

1.2 研究目的

本專案研究目的為提升地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)污染預防措施之功能性，及強化土壤氣體現場篩測方法，以精進石化業者管理者及環保人員的污染防治與監測設施勘查流程。針對提升測漏管之功能性，本專案使用土壤氣體採樣吸附管，置入儲槽設施及污染場址的測漏管中，作為土壤氣體被動式採樣工具，以其取代地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)功能測試與直接貫入式土壤氣體採樣工作，並評估不同材質吸附管其效能及適用性。在強化土壤氣體現場篩測方法上，將利用商業化固相微萃取(solid phase microextraction)的吸附靜相，配合自行研發之進樣裝置，搭配具有熱脫附進樣系統的攜帶式質譜儀，以提升儲槽設施及污染場址的現地快篩準確性及污染物辨識能力，符合節能、省水及減廢之綠色化學及永續整治(sustainable remediation)精神。

第二章、土壤氣體測定與調查

2.1 傳統土壤氣體偵測原理與應用範圍

2.1.1 土壤氣體偵測基本原理

地下環境中的揮發性有機污染物，能形成由主要污染源的濃度高區域、往外擴散為濃度低的濃度梯度(concentration gradient)。此外含水層(飽和層)中的揮發性有機物，須具有經毛細管邊緣層(capillary fringe)，向上傳輸至透氣層(不飽和層)土壤中，其氣相可存在於土壤孔隙中，而被檢測出來之特性。土壤氣體中的揮發性有機物濃度，與其在地下水中的濃度、水溶解度、土壤、地質及蒸氣壓等因素有關。理想上，由污染地下水或土壤向上傳輸至地面的揮發性有機物，在土壤氣體中的濃度，其垂直向濃度梯度，向上濃度愈低；水平向濃度梯度，則形成由污染源濃度高、水平往外濃度低的情形。在許多案例中，透氣層內的土壤氣體濃度梯度，會因水文及地質的變異性(如暫棲水、不透水層)而改變，且在水文或地質障礙物周圍發現揮發性有機物氣體。此外，地下環境的化學與生物降解性，亦會影響揮發性有機物在土壤孔隙中的分布及移動狀況。有關土壤氣體在不同地下環境的濃度分布狀況，如圖 2-1 所示(Connecticut DEP, 2006)。

2.1.2 土壤氣體偵測應用範圍

適用土壤氣體調查之情形如下，(1)評估揮發性有機性污染物是否存在；(2)提供污染物三度空間的分布情形；(3)描述土壤及地下水中揮發性有機物的污染範圍；(4)提供揮發性有機物的化學特性；(5)確認不同揮發性有機物之污染源；(6)評估地下水揮發性有機污染物的傳輸形態；(7)監測污染物經化學或生物降解之副產物產生情形；(8)比較分析污染是單次洩漏或持續中的洩漏；(9)收集設計土壤氣體抽除(Soil vapor extraction, SVE)系統所需之資料；(10)整治(如 SVE、生物整治)監測；(11)地下儲槽系統測漏與二次阻隔系統測漏；(12)土壤採樣點與地下水監測井位置最佳化 (USEPA, 1998; 2007)。

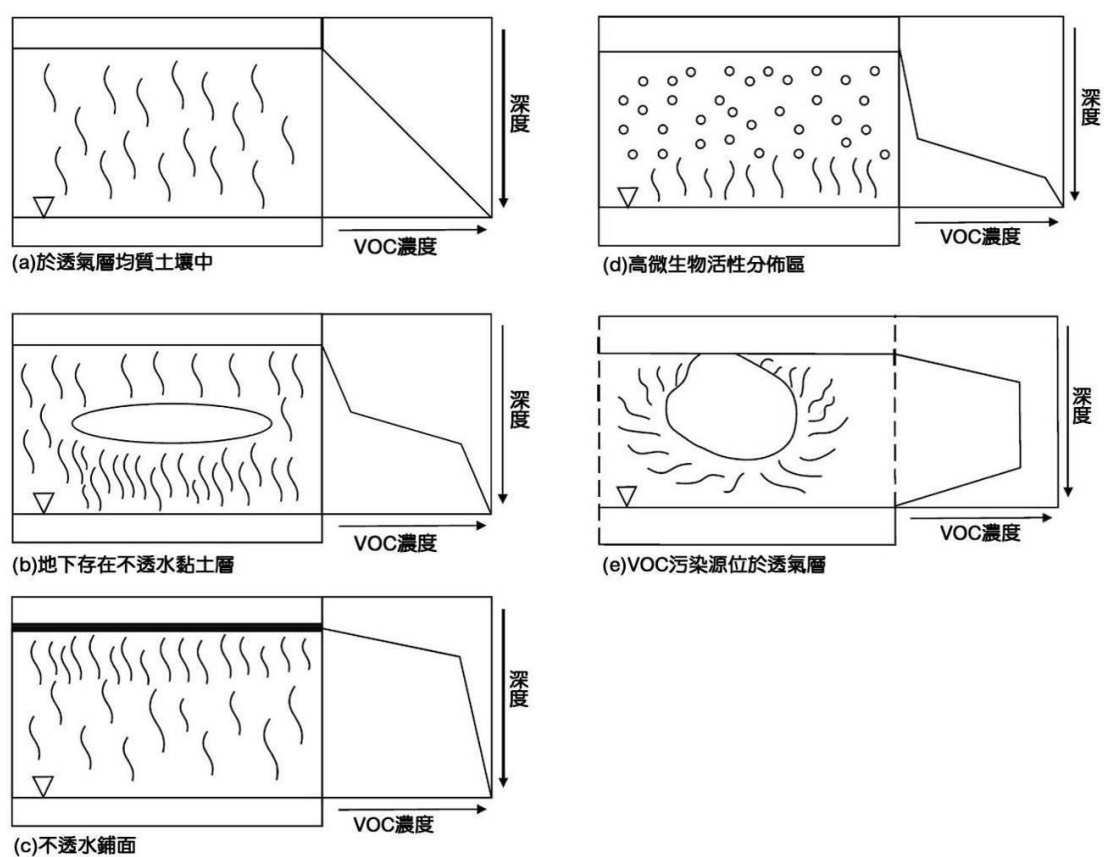


圖 2-1 不同地下環境之揮發性有機物(VOC)濃度梯度

2.1.3 土壤氣體偵測之適用場址條件

(一) 一般適用條件

一般適用被動式土壤氣體採樣之場址條件為蒸氣壓 $>1\text{ mmHg}@20^{\circ}\text{C}$ ，亨利常數 >1 或 $0.05\text{ kPa M}^3/\text{mole}$ ，且土壤水分或飽和度 $<80\%$ ，並採樣區域地質非屬黏土特性 (USEPA, 2007)。

(二) 水文地質條件

土壤氣體調查最適用於乾燥、粗粒徑、均質土壤及少量有機物所構成之透氣層中；較不適用緊密土壤構造、水分含量高的粉砂及黏土的場址條件。透氣層厚度亦會影響土壤氣體調查，透氣層厚度愈大，地質構造不均質性變化的機會愈大，採樣深度愈深；而透氣層厚度愈小，受環境空氣的影響愈顯著，土壤氣體濃度梯度改變愈明顯，急劇升降的氣體濃度，採樣深度些微的變化，則可能造成對數據錯誤的解讀。此外，地下水豐枯水位變化，使污染物隨著上下移動，形成油漬區 (smear zone)，豐枯水位變化愈大，使揮發性有機物進入透氣層的影響愈明顯。

(三) 氣候條件

降雨、氣壓與風速等氣候條件，對於土壤氣體濃度與傳輸會有不同程度的影響。降雨對於土壤氣體檢測有短期的影響，土壤平時即呈未飽和狀況，暴雨只會造成土壤間隙呈現短暫的飽和狀況；場址地質由粉土與黏土構成且高地下水位(<2 公尺)，則會造成土壤氣體檢測上的問題，降雨時則不建議進行採樣。低氣壓與高風速則會造成表土孔隙中的土壤氣體被帶出，但不會影響深層(>0.6 公尺)土壤氣體的採樣；當地下環境存在空氣通道，氣壓的變化則會響影土壤氣體的排放速率與土壤氣體探測成效。因此，為避免氣候影響調查的結果，採樣工作儘可能在相同的氣候條件下進行 (Connecticut DEP, 2006; USEPA, 2007)。

2.1.4 土壤氣體採樣方法

洩漏至土壤中的有機污染物，會有部份揮發後以氣體的形態殘留在土壤間孔隙內，這些有機氣體最後會與大氣壓力間維持一個平衡，並由洩漏中心向四週擴散。因此，我們可以在地表鑽鑿一個小孔（或利用現有的測漏管裝置），使用抽氣裝備，配合化學分析儀器，分析土壤間氣體含油氣的濃度，有助於協助瞭解

或評估加油站油氣滲漏的情形。必要時也可以利用所鑽鑿的孔洞，抽取土壤氣體攜回實驗室進行更精密的分析。進行土壤氣體偵測時，必需在適當地點局部地鑽鑿一小孔，為避免鑽鑿時誤毀損地下輸油管線，最好能搭配以透地雷達法確認管線的位置後再進行鑽鑿。

土壤氣體採樣分為主動式與被動式等 2 種方法，茲分別說明如下：

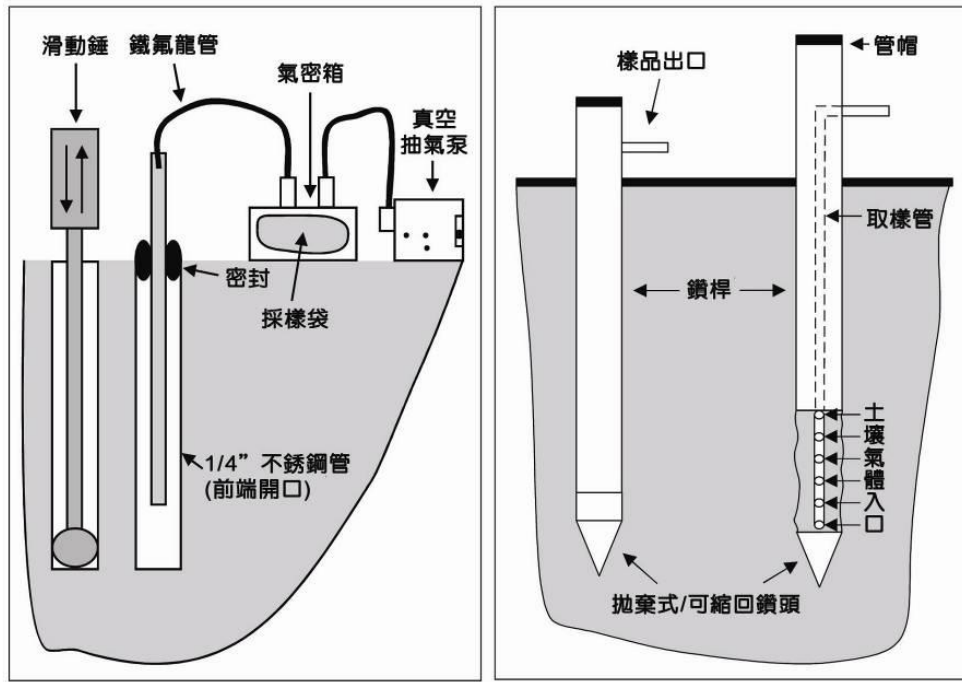
(一) 主動式土壤氣體採樣

主動式採樣方法係將土壤氣體由探測管或土壤氣體監測井中抽出，直接以偵測器進行檢測，或抽至採樣袋(如 Tedlar[®] Sample Bag)送實驗室分析。探測管的型式可分為 2 種，一為被動設置探測管(passive placed probe)，如圖 2-2(a)所示，另一為貫入式探測管(drive ground probe)，如圖 2-2(b) 所示。

被動設置探測管的設置先以短管螺旋鑽具(bucket auger)或滑動鉋鑽洞，再將探測管置入鑽洞中，管口以不透水材質密封，採樣時再將採樣管插入，國內較少採用。貫入式探測管則是先將鐵氟龍管或可拋式 PE 材質管與開孔的鑽桿連接，以滑動鉋、電動鉋或鑽機將採樣鑽桿 貫入至預定採樣深度後，再將鑽桿往上拉約 3~5 公分，拋棄式鑽頭會 與鑽桿脫離，而使鑽桿下方開孔外露，可縮回鑽頭則會露出土壤氣體入口，為國內較常採用的土壤氣體採樣方式。

國內設置永久性土壤氣體監測井(簡稱測漏管)的事業單位為加油站與石化業，其功能為透過定期的檢測，即早發現土壤中油氣濃度的異常變化，以研判儲槽系統 是否有滲漏的可能，進而採取必要的因應措施。

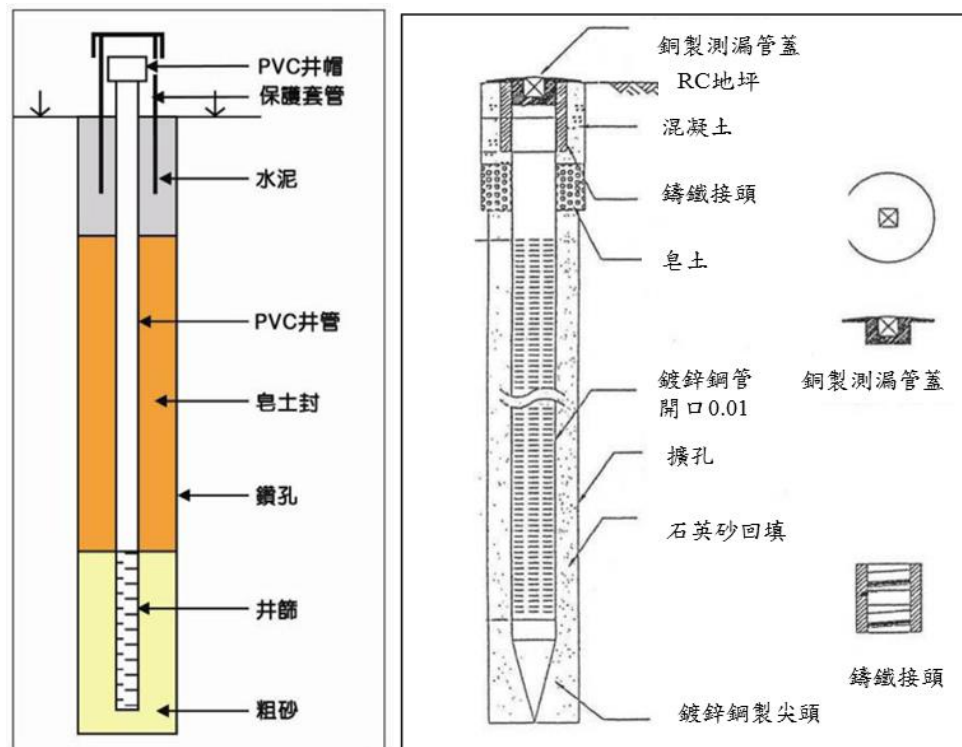
不同類型的土壤氣體監測井，如圖 2-3 所示，其中圖 2-3(b)為國內加油站土壤氣體監測井。不同型式探測管與土壤氣體監測井井篩實物照片，如圖 2-4 所示(行政院環境保護署，2012)。



(a) 被動設置探測管

(b) 貫入式探測管

圖 2-2 主動式土壤氣體探測管類型



(a) 土壤氣體監測井

(b) 加油站測漏管

圖 2-3 土壤氣體監測井類型

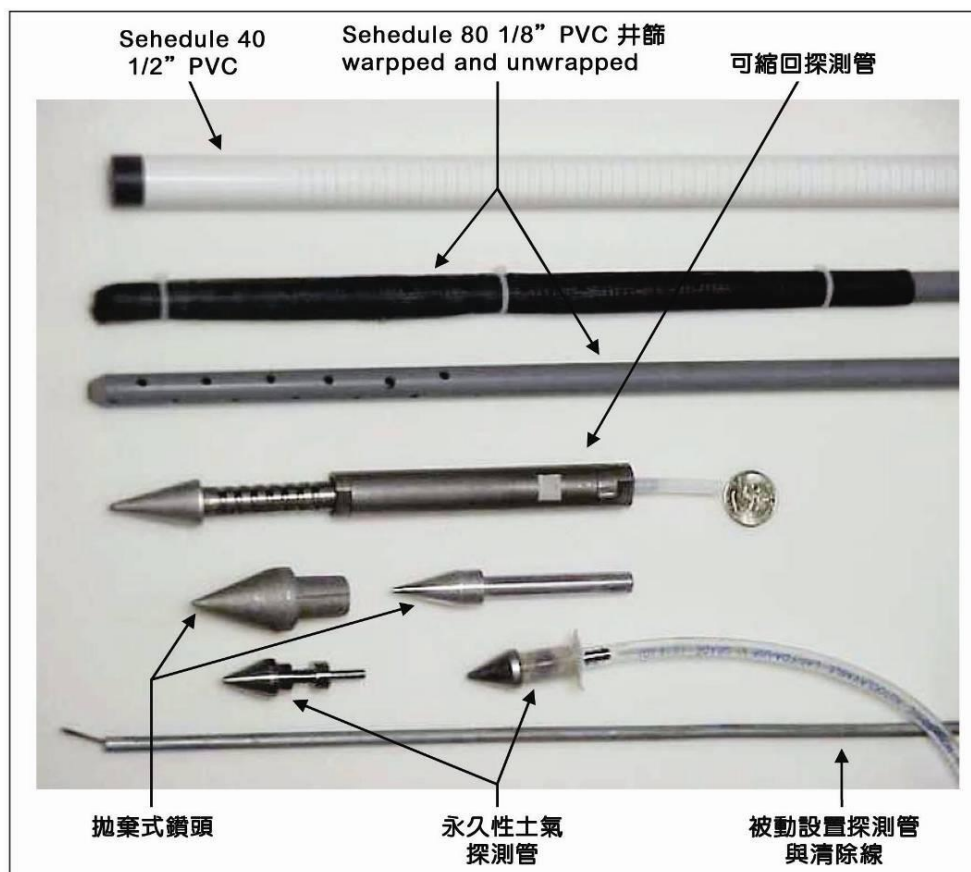


圖 2-4 各類型之探測管與土壤氣體監測井井篩

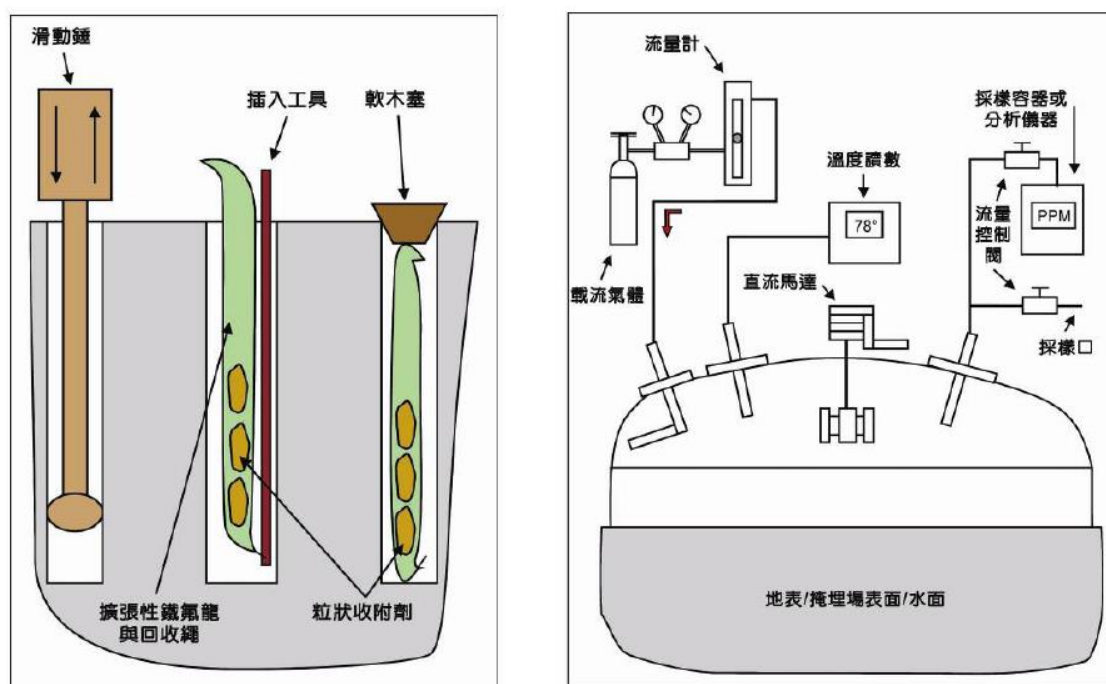
(二) 被動式土壤氣體採樣

被動式採樣方法有 2 種技術，一為土壤氣體在自然壓力下，吸附於預先置於透氣層中的疏水性材質上，應用不同材質的吸附劑，可採集揮發性或半揮發性有機物的樣品，吸附式被動採樣器的設置方法如圖 2-5(a)所示；另一為全空氣被動採樣(whole-air passive collection)技術，利用置於地面上之逸散隔離通量箱(emission isolation flux chamber)，收集逸散至地表的土壤氣體，如圖 2-5(b)所示，此方法在人體健康風險評估上的應用較多。

分析儀器與主動式採樣方法類似，惟吸附式被動採樣在將吸附濃縮的污染物導入分析儀器前，須採用適當的方法(如溶劑萃取或加熱脫附)，讓污染物自吸附劑上脫附。由於吸附劑材質是疏水性的，可以防止水氣的干擾，且可利用控制吸附時間之長短，強化半揮發性有機化合物及化合物濃度很低時的檢測。

分析儀器與主動式採樣方法類似，惟吸附式被動採樣在將吸附濃縮的污染物

導入分析儀器前，須採用適當的方法(如溶劑萃取或加熱脫附)，讓污染物自吸附劑上脫附。由於吸附劑材質是疏水性的，可以防止水氣的干擾，且可利用控制吸附時間之長短，強化半揮發性有機化合物及化合物濃度很低時的檢測。



(a) 吸附式被動採樣器

(b) 全空氣被動採樣器(逸散隔離通量箱)

圖 2-5 被動式土壤氣體採樣器

2.1.5 土壤氣體之攜帶式分析儀器

土壤及地下水污染調查常用的攜帶式分析儀器有光離子化偵測器(Photoionization Detector, PID)、火焰離子偵測器(Flame Ionization Detector, FID)與攜帶式氣相分析儀(Portable Gas Chromatographs)，常見各式儀器如圖 2-6 所示。

(一) 光離子偵測器與火焰離子偵測器

1. 光離子化偵測器(PID)

光離子化偵測器以紫外光將有機氣體分子游離並產生離子，利用不同氣體特定的游離能和游離效率，偵測化合物游離後所產生的電流大小，可加以定量。不同氣體的游離能不同，可更換紫外光燈以獲得對氣體之選擇性，但鑑別力有限，亦無法確實定性。以光離子偵測器HNU為例，該型光離子偵測器可提供 9.5 eV、

10.2 eV 與 11.7 eV 之光源，該等光源均可偵測出許多芳香族化合物與大分子量碳氫化合物，其中 10.2 eV 與 11.7 eV 的偵測器可以偵測出較小分子的有機物與含鹵素碳氫化合物。而在環境調查工作上，以 10.2 eV 光源較為有用，因較 11.7 eV 光源耐用，而較 9.5 eV 光源可偵測出較多的有機氣體分子。其缺點是不易偵測出低分子量的氣體(如甲烷、乙烷)，且易受溼度影響 (ASTM 2003; 2008)。

光離子化偵測器對芳香族有機化合物反應較靈敏，對油品類碳氫化合物，感應值隨不飽和度增加而增加，對甲烷、乙烷、無機氣體和水蒸氣較不敏感，也偵測不到輕質烷類。高離子化電位(如脂肪族)的化合物需要較高的能量才能離子化，因此這種儀器對於芳香族碳氫化合物 (如 BTEX)最敏感，但部分的脂肪族也可以利用能量較高紫外光燈予以離子化並偵測。



參考資料：Thermo Electron Corporation, Photovac, Inc. 與 PID Analyzer, LLC。

(a) 光離子偵測器(PID)與火焰離子偵測器(FID)



參考資料：Varian, Inc., Electron Sensor Technology, Photovac, Inc. 與 Inficon。

(b) 可攜式氣相層析儀

圖 2-6 各式攜帶式土壤氣體分析儀器

2. 火焰離子化偵測器(FID)

火焰離子化偵測器是採用氫火燄將有機氣體離子化，藉由自由離子所造成的電流(稱為儀器反應或 instrument response)與樣品中的揮發性化合物濃度成正比的

相對關係加以量測。火焰離子化偵測器一般是利用甲烷進行校正。火焰離子偵測器對大多數的有機蒸氣均能產生明顯的反應，且對於脂肪族或直鏈碳氫化合物特別敏感，因為這些化合物比芳香族(或環狀)碳氫化合物的燃燒效率高。手提式 FID 可以檢測土壤、地下水、土壤氣體甚至空氣中 VOCs 及 SVOCs 污染化合物，檢測費用低廉，又可以立即獲得檢測結果，執行現場篩選，可有效協助採樣佈點。亦可以應用於緊急洩漏檢測、有毒廢物現場檢測、地下儲槽洩漏檢測、石化煉油安全衛生檢測、微量有機有毒氣體污染檢測、健康安全檢測、室內空氣質量監測等。

3. 注意事項

使用光離子化偵測器與火焰離子化偵測器時，宜注意下列事項：(1)當偵測器流速低於適當操作流速時，偵測器讀值會有偏低的現象。(2)多成分有機氣體樣品，使得偵測器讀值產生變動，此種讀值的變動現象，會因場址位置不同而有所不同。(3)土壤氣體濃度高過儀器本身的線性範圍(linear range)。(4)樣品的相對溼度。(5)土壤氣體含氧量低時，會造成火焰離子偵測器(FID)熄火。(6)樣品中含高濃度甲烷或烷類氣體會凍結(quench)光離子偵測器(PID)的讀值，使得偵測器的讀值異常偏低。(7)樣品中含高濃度的二氧化碳與氮氣會提高火焰離子偵測器 (FID)的靈敏度(sensitivity)。

(二) 可攜式氣相層析儀

氣相層析是一種物理分離的技術，樣品由載流氣體(carrier gas，如氮、氫、氬)帶動，通過一個分離用的管柱(柱為一長薄且纏繞成線圈狀的管路)，可將污染物分離開來，氣流離開管柱後，進入可產生反應訊號的偵測器(如 FID、PID 或電子捕捉偵測器(electron capture detector, ECD))，偵測器反應訊號經由記錄器與電腦予以記錄與顯示，建構一組層析圖譜(亦即偵測器反應對樣品的滯留時間)，圖譜中每個反應波峯(response peak)的積分面積與該污染物的濃度成正比，污染物組成的鑑別，係利用與標準品之滯留時間比對加以判斷。藉由管柱與偵測器的選擇，可針對特定的關切污染物進行分析，其靈敏度較光離子偵測器與火焰離子偵測器高，但成本與分析費用亦相對較高。

2.2 吸附材質選取

吸附材質選擇主要係因應分析技術進行之考量，其中分析技術之前處理設備多含吸附 VOC 原理，再經由熱脫附模式將化合物濃縮分析，因應此原則而選擇使用固相微萃取法(solid-phase microextraction, SPME)中的吸附纖維(fiber)，固相微萃取是集進樣、萃取和濃縮功能於一體的新萃取技術，主要是基於萃取塗覆層與樣品之間的吸附/吸收-脫附平衡的原理，為一種具有方便、快捷、不需使用有機溶劑、靈敏和價廉等優點之樣品前處理技術。

固相微萃取法具有儀器裝置簡單、攜帶容易、使用方便、採樣時間短、偵測極限佳、以及完全無需使用任何有機溶劑等優點，除此之外，固相微萃取法將取樣、萃取、濃縮及樣品注入等步驟整合，不僅減少分析時間亦可提高樣品分析速度與降低人為誤差，因而廣受分析化學家之重視，目前國內亦有多人探討應用此技術。

2.2.1 固相微萃取起源

第一套固相微萃取裝置於 1990 年，由加拿大 Waterloo 大學 Janusz Pawliszyn 教授實驗室所設計，其組成元件包含一不鏽鋼管，此鋼管以可耐高溫之環氧樹脂連結一段纖維，並於纖維上塗覆(coating) 一層固體靜相，不鏽鋼管通過一 Hamilton 7000 型注射針針頭，並突出於注射針之外，然後將不鏽鋼之另一端再以環氧樹脂接合，此為固相微萃取的最初裝置。至於商業化之產品則是於 1993 年始由 Supelco 公司所出品，如圖 2-7 所示，其原理與 Pawliszyn 等人所提出的裝置相同。由於此裝置經過改良因此使得操作更為方便準確，並有手動萃取裝置與自動化萃取裝置兩種。商業化之萃取裝置主要包含兩個部分，其一為固定器部份(holder)，其功能是用來固定、支撐熔融纖維及控制纖維伸縮；一為塗覆高分子吸附物質的熔融矽纖維(fused silica fiber)部分，可依分析物質之不同替換使用塗覆不同吸附物質之纖維進行萃取 (Farhadi et al., 2008; Matin et al., 2013; Maruya et al., 2015)。

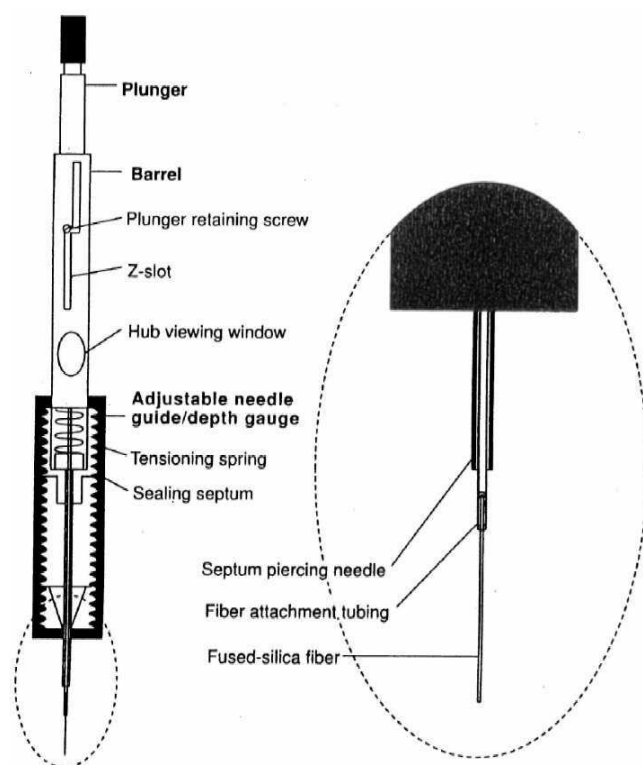


圖 2-7 商業化之固相微萃取法裝置圖

2.2.2 固相微萃取技術原理

固相微萃取技術除了儀器裝置設計簡單外，萃取步驟亦十分方便，首先將固相萃取裝置之不鏽鋼針管插入樣品瓶中，伸出塗覆纖維以直接進入萃取或頂空之萃取方式，待一段時間使分析物於塗覆纖維與樣品間達分配平衡後，縮回纖維，取出固相微萃取裝置，即完成吸附之步驟（圖 2-8）。而目前固相微萃取分析方法大多配合氣相層析儀或是氣相層析質譜儀進行分析，將已吸附分析物之萃取纖維直接置於氣相層析儀之注射口進行熱脫附，將分析物自塗覆纖維上脫附至氣相層析儀以進行分離與偵測，萃取分析步驟如圖 8 所示。若以高效能液相層析儀分析，則需要特製之溶劑脫附腔 (solvent desorption chamber)，利用移動相(mobile phase)沖提塗覆纖維，使分析物由塗覆纖維上脫附進入高效能液相層析儀進行分離偵測。以高效能液相層析儀分析，可依照分析物之性質選擇適當的溶劑來進行動態脫附 (dynamic desorption)或是以靜態脫附(static desorption)後再注入進行分析 (Matin et al., 2013; Maruya et al., 2015)。

不過利用溶劑脫附方法所使用纖維的塗覆物質有其限制，例如所使用的纖維種類最好以鍵結 (bonded) 塗覆纖維為佳，這是由於溶劑易造成纖維膨脹或溶解脫落的現象，此外所使用的溶劑不可含有氯成分，否則會使纖維溶解脫落不能再使用，這些因素不但會影響吸附效果也可能造成管線的堵塞，因此目前應用固相微萃取法仍以氣相層析儀進行熱脫附較為簡單普遍。

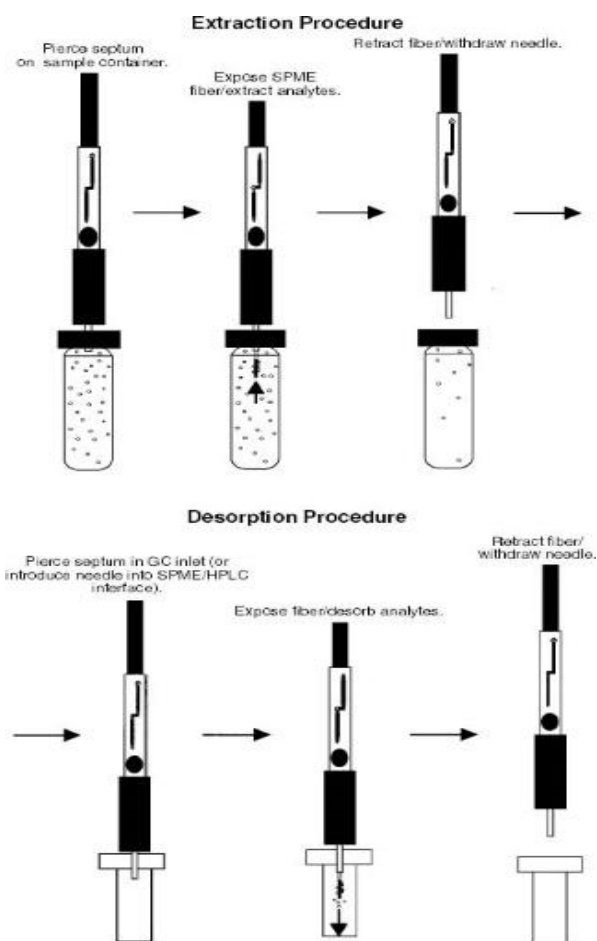


圖 2-8 固相微萃取之萃取及脫附步驟圖

2.3 土壤氣體採樣吸附管

本研究最初構想引進兩種常用之土壤氣體採樣吸附管(Passive Soil Gas Sampling)，包含 GORE-SORBER®與 Beacon Environmental Services, Inc.兩個廠商之土壤氣體採樣吸附管。

2.3.1 GORE-SORBER 採樣吸附管

GORE-SORBER 係由美國 GORE 公司研發之被動式土壤氣體吸附劑，其外觀為長約 50 公分，直徑 0.6 公分的長條狀套管(如圖 2-9 所示)，其外層為 GORE-TEX 材質之 ePTFE(Expanded Polytetrafluoroethylene)膜，內層為吸附劑，由活性碳與聚合樹脂所組成。ePTFE 膜為疏水性材質，可將水氣隔絕於外，但不會阻擋有機氣體進入，因此，此種材質可避免水氣與有機氣體造成的競爭，避免吸附劑吸收大量水氣而造成分析結果低估，其原理示意圖如圖 10 所示(Robbins et al., 1990a; 1990b; Hodny et al., 2009)。

使用 GORE-SORBER 前需於欲採樣點以手持式土壤挖掘器挖取一個直徑約 1 公分、深約 50 公分的洞，並將 GORE-SORBER 前端套還以繩索固定，並將吸附劑所在位置置入欲採樣深度，最後使用橡膠軟塞將洞口封實，最後以 GPS 定位，紀錄採樣位置。依場址情形放置 2 至 3 周後再將樣本取出，裝於瓶中密封後送至實驗室以 GC/MS 進行分析，分析方法為美國環保署 EPA method 8260 (Hodny et al., 2009)。



圖 2-9 GORE-SORBER

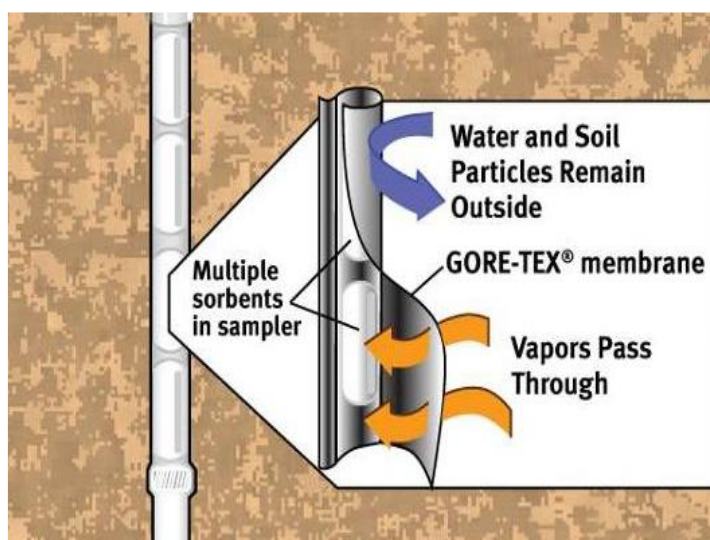


圖 2-10 GORE-SORBER 原理

2.3.2 Beacon 採樣吸附管

美國 Beacon Environmental 公司所研發的被動式土壤採樣(passive soil gas, PSG), 是利用吸附原理吸附土壤中的揮發性與半揮發性有機物質, 從氯乙烯到多環芳香族碳氫化合物(polynuclear aromatic hydrocarbons, PAHs)都在適用範圍, 適用的化合物資料如表 2-1 所示。PSG 採樣器外觀為一玻璃瓶, 瓶內裝有吸附劑, 瓶蓋為疏水性材質。實驗證實即使位於飽和潮濕的環境下進行採樣也不會對樣本造成影響, 採樣器附有鐵絲, 可固定於地表上。

表 2-1 PSG 適用化合物資料

TPH C ₅ -C ₉	p & m-Xylene
TPH C ₁₀ -C ₁₅	Bromoform
Vinyl Chloride	1,1,2,2-Tetrachloroethane
1,1-Dichloroethene	o-Xylene
trans-1,2-Dichloroethene	1,2,3-Trichloropropane
Methyl-t-butyl ether (MTBE)	Isopropylbenzene
1,1-Dichloroethane	1,3,5-Trimethylbenzene
cis-1,2-Dichloroethene	1,2,4-Trimethylbenzene
Chloroform	1,3-Dichlorobenzene
2,2-Dichloropropane	1,4-Dichlorobenzene
1,2-Dichloroethane	1,2-Dichlorobenzene
1,1,1-Trichloroethane	n-Butylbenzene
1,1-Dichloropropene	1,2,4-Trichlorobenzene
Carbon Tetrachloride	Naphthalene
Benzene	Hexachlorobutadiene
1,2-Dichloropropane	Trichlorobenzenes
Trichloroethene	2-Methylnaphthalene
1,1,2-Trichloroethane	Tetrachlorobenzenes
Toluene	Acenaphthylene
1,3-Dichloropropane	Acenaphthene
1,2-Dibromoethane (EDB)	Pentachlorobenzene
Tetrachloroethene	Heptadecane
1,1,1,2-Tetrachloroethane	Hexachlorobenzene
Chlorobenzene	Phenanthrene
Ethylbenzene	Anthracene

採樣方法係先以手持式鑽桿挖出一個直徑 2.5 公分、深約 30 公分的洞，並將採樣器置入適當深度，並利用採樣器所附之鐵絲固定於地表，並利用鋁箔覆蓋於洞口，採樣後設置一明顯標記於採樣位置，採樣方式示意圖如圖 2-11 所示。放置 3 至 14 天後回收，並送至實驗室利用熱託付進行前處理，再以 GC-MS 分析，分析方法為美國環保署 USEPA method 8260C。

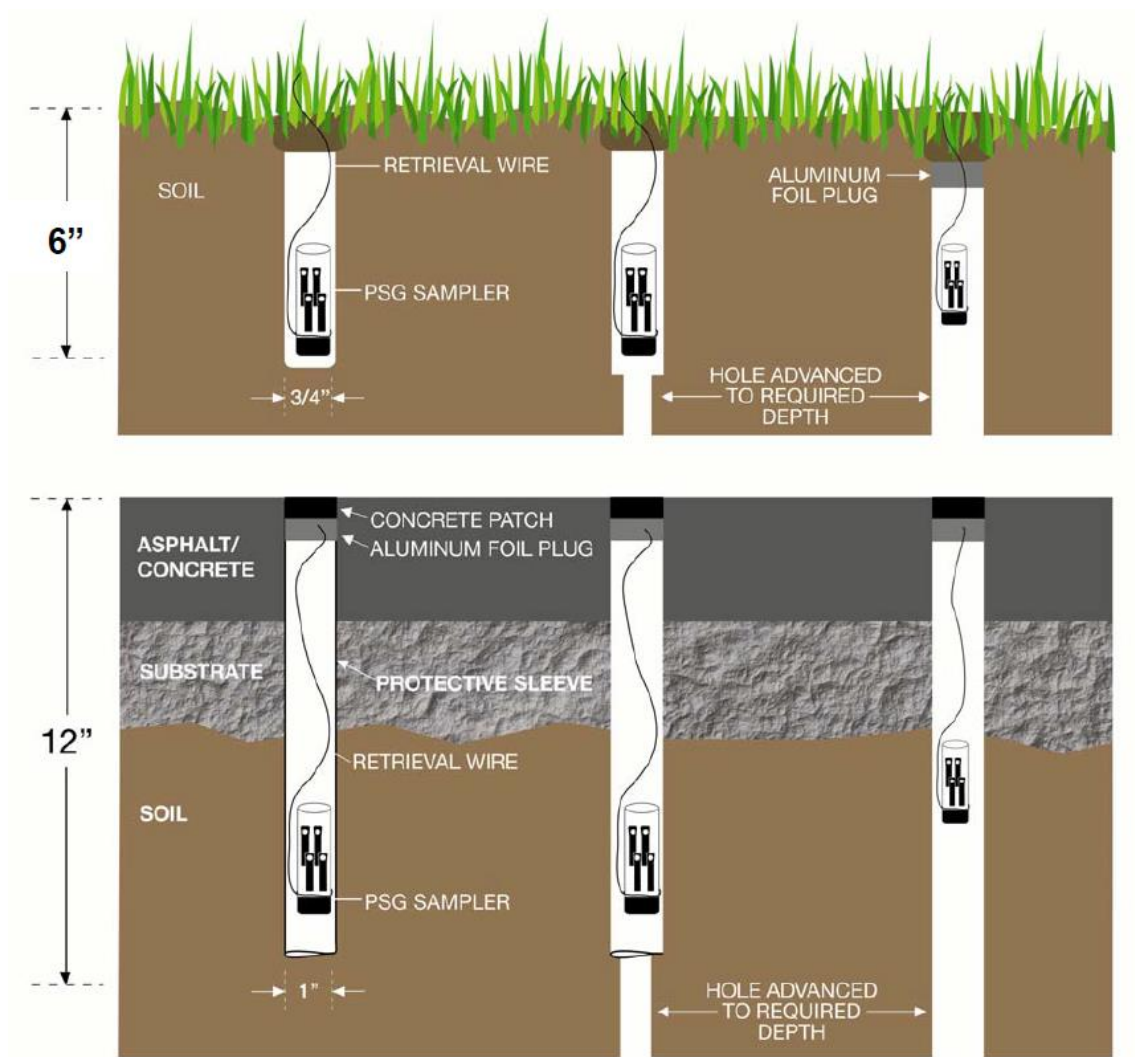


圖 2-11 Beacon 採樣器設置示意圖

2.4 土壤氣體現場檢測

土壤氣體現場檢測依據民國 101 年 5 月 11 日環檢所公告「地下儲槽系統土壤氣體監測井中油氣檢測方法」執行方式，以配備火焰離子偵測器(Flame ionization detector, FID)或光離子偵測器 (Photo ionization detector, PID)之分析儀，量測設置於地下儲槽系統土壤氣體監測井（簡稱監測井）中油氣濃度，藉以判斷地下儲槽或管線是否發生滲漏(行政院環境保護署，2012)。其執行方法如以下說明。

2.4.1 地下儲槽系統土壤氣體監測井中油氣檢測方法

地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)功能測試及油氣檢測，流程如圖 2-12 所示，相關說明如下：

1. 功能檢測作業程序

- (1) 以適當之開啟工具打開測漏管蓋，若有不能開啟者將其記錄於表單中，改善後再做後續追蹤。
- (2) 將量尺緩慢伸入測漏管內，碰觸測漏管底部後，記錄測漏管之深度。油槽區測漏管深度應大於 240 公分，管線區與泵島區則應大於管線埋設深度。
- (3) 取出量尺檢視表面受水或油浸濕的痕跡，記錄積水之水位深度及是否有積油。如有積油應將量尺確實清洗乾淨以利後續檢測使用。
- (4) 若有積水或積油現象時，則應先予抽除後再進行檢測作業。
- (5) 透氣度(透氣真空度)檢測為使用附有真空/壓力錶之 1/8Hp 真空泵，配合塑膠管、濾水瓶和圓錐形橡皮塞，使真空泵與測漏管間形成密閉系統後開始進行抽氣，抽氣期間需達 15 秒以上，觀察真空錶之真空度變化，並將結果記錄於表上。

2. 油氣檢測作業程序

- (1) 作業前依偵測器之操作手冊，確實進行儀器校正。
- (2) 使用偵測器量測油氣初始濃度值。
- (3) 測漏管自然通氣 15 分鐘。
- (4) 以中間開孔之錐形橡皮塞塞住測漏管管口。
- (5) 將偵測器之集氣管插入開孔之橡皮塞內約 15 至 30 公分深，應注意集氣管頭

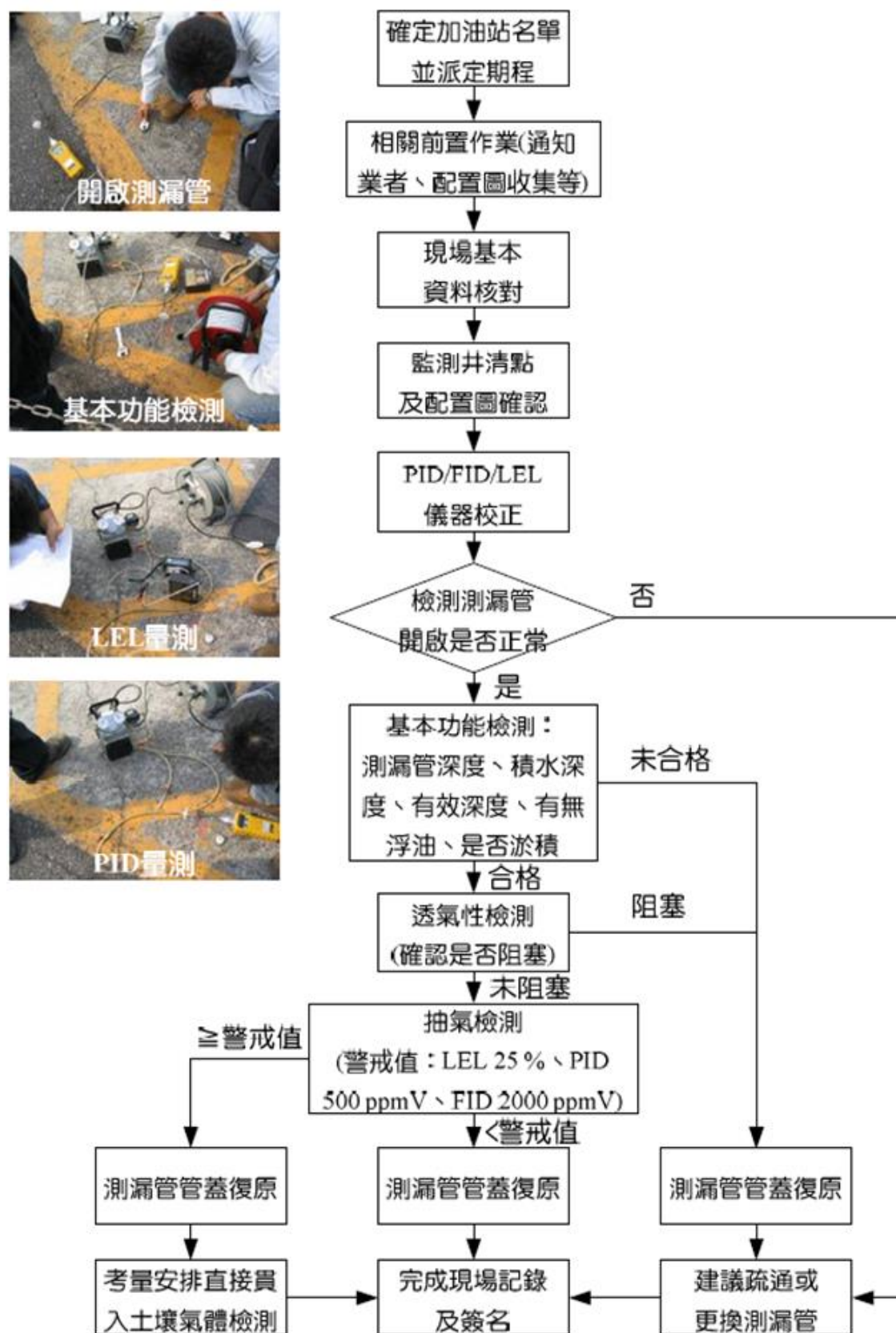


圖 2-12 加油站測漏管功能測試及油氣檢測流程

不可接觸油或水，測定油氣濃度值記錄之。

(6) 取出集氣管，待偵測器讀值歸零後再繼續量測其他測漏管。

2.4.2 土壤氣體採樣調查工作

篩選加油站進行現場查核，評估加油站污染潛勢程度，針對污染潛勢較高之加油站進行土壤氣體採樣，規劃方式如下：

1. 現場佈點原則

- (1) 現場佈點則依據加油站調查原因、現場稽查及測漏管油氣檢測成果。
- (2) 主觀判斷方式佈點，佈點位置應盡量靠近高污染潛勢區。
- (3) 採樣前會同加油站站方人員確認採樣點下方無管線經過，若仍有施工風險則適當調整佈點位置。

2. 採樣深度

採樣深度應以該站地下油槽埋設深度進行規劃，例如地下油槽埋設深度為地下 5 m，則規劃土壤氣體採樣至地下 5 m。

3. 現場氣體篩測

土壤氣體採樣設備裝置現場執行方式如圖 2-13 所示，本計畫擬於採樣過程中，於每點位往下深度 0.5 m 即利用 PID/FID 進行現場篩測，參考「地下儲槽系統土壤氣體監測井中油氣檢測方式(NIEA M203.11C)」，挑選該點位 PID、FID 檢測值大於 500 ppmV 者，且兩者合計最高值之深度，另採集土壤氣體於集器袋於實驗室分析相關驗證項目。

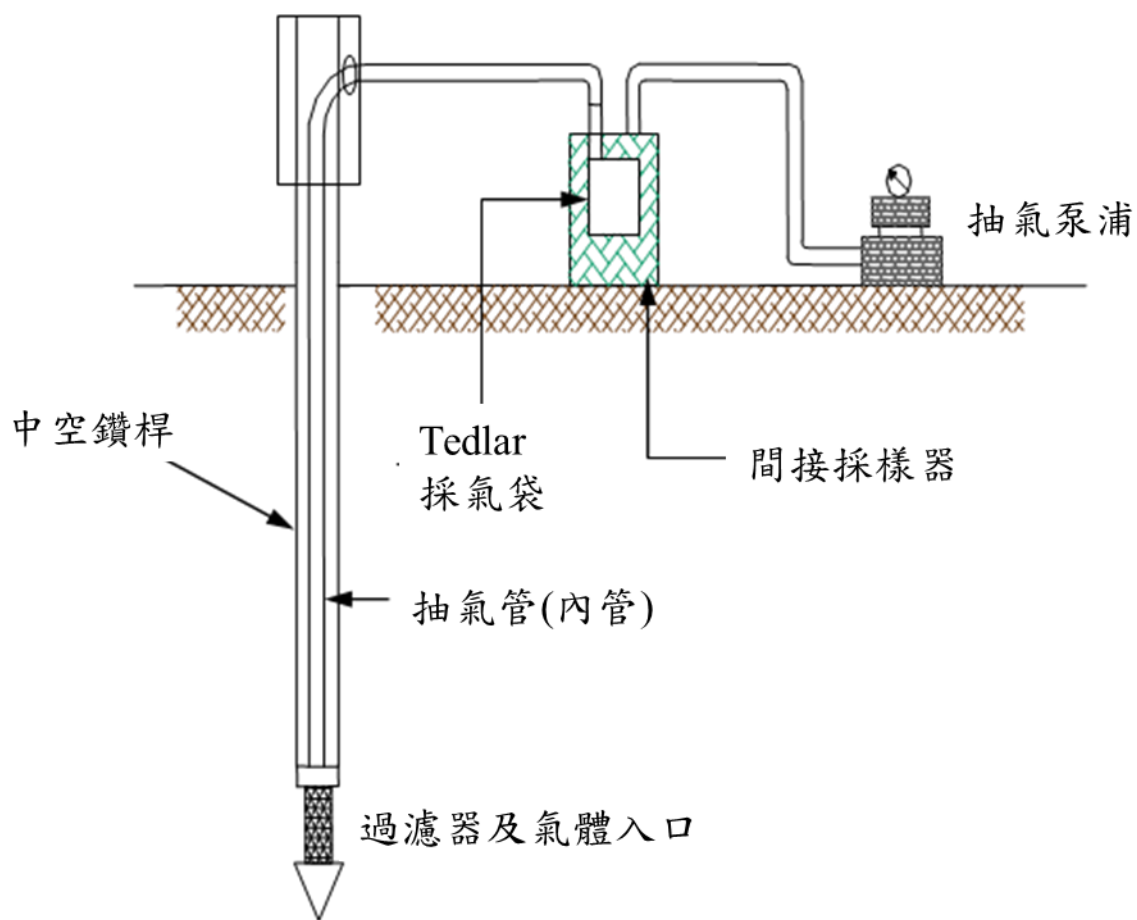


圖 2-13 土壤氣體採樣示意圖

第三章、研究方法與過程

加油站依目前法規須定期執行地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)功能測試及油氣檢測，引入被動式採樣概念，進行土壤氣體採樣吸附管吸附油氣，將其放置於測漏管中，將能快速且縮短每口監測井分析時間，且樣品可以直接透過實驗室氣相層析質譜儀或攜帶型質譜儀進行定性與定量分析，可優於測漏管檢測常使用的火焰離子化偵測器(Flame ionization detector, FID) 或光離子化偵測器 (Photo ionization detector, PID)之分析限制與干擾。除可改進過去冗長的污染防治與監測設施勘查流程，對於整治中場址亦可提供判識之工具。因此本研究主要工作分為兩個部分，分別進行實驗室試驗以及加油站實場測試調查，實驗架構如圖 3-1 所示。

一、實驗室試驗

實驗室評估進行吸附材質測試研究工作，主要先蒐集目前國內外土壤氣體吸附採樣試劑，進而彙整相關操作參數，進行實驗室吸附平衡時間測試，並依據各種採樣方式執行脫附分析，藉以瞭解吸脫附的控制方法以利後續實場應用之測試。吸附與脫附試驗皆以 50 mL 中油 95 無鉛汽油進行模擬洩漏於土壤中，再以吸附材質進行吸附 1hr(SPME)及 24hr(Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與 ULTRA sampler sorbe[®])，待吸附時間結束後再分別以不同的脫附條件進行脫附，由試驗結果提供後續之試驗時所需之參數。

二、加油站實場測試

加油站實場實際土壤氣體與測漏管油氣測試，依據實驗室測試操作參數條件(吸、脫附條件與吸附管採樣方法)進行實場測試，並配合進行土壤氣體與測漏管中油氣採樣與分析，分析目前國內加油站油氣與土壤氣體監測方式與商用吸附管成效比對，分析其各自採樣監測方式優缺點，進行技術替代可行性評估工作。

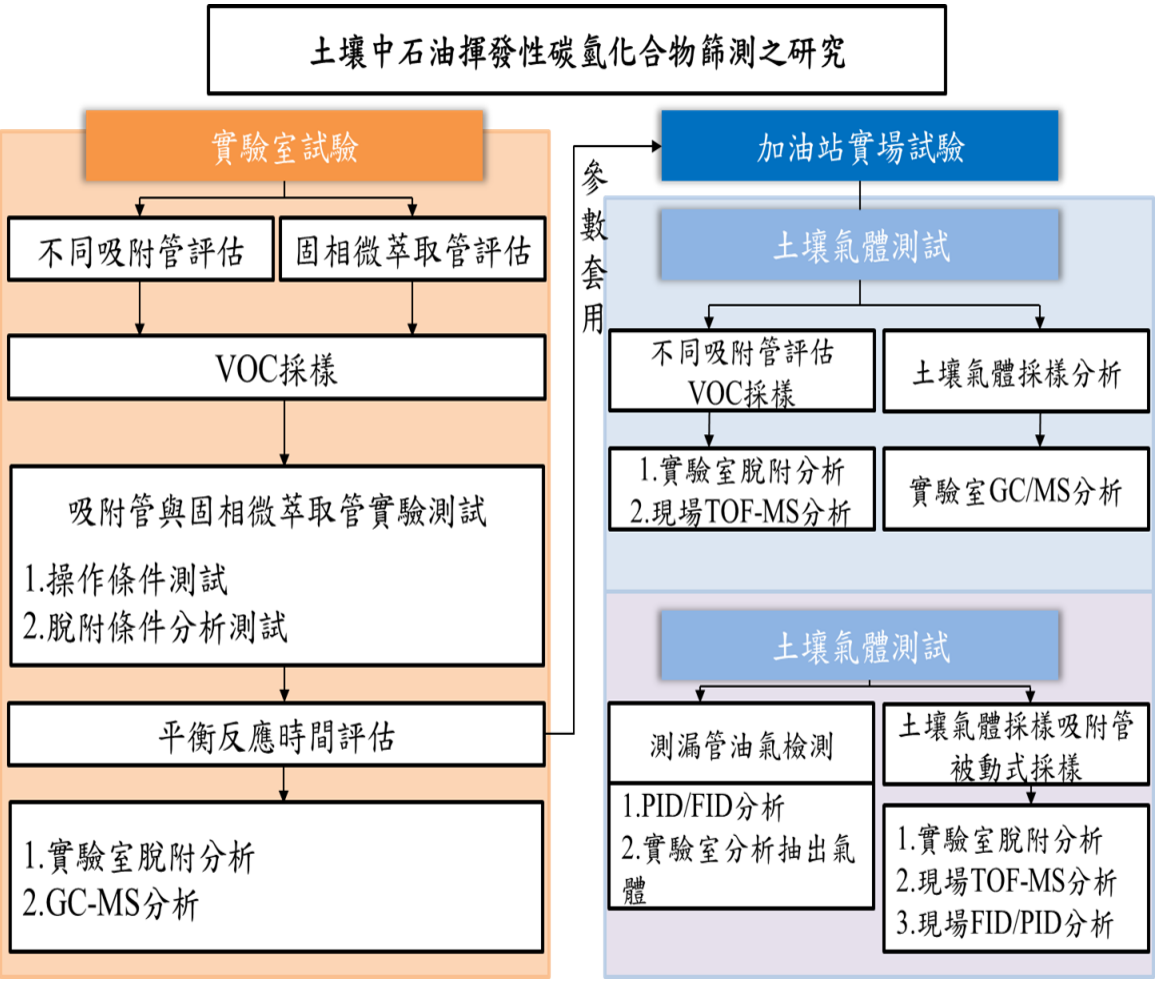


圖 3-1 計畫執行架構

3.1 實驗藥品及設備

1. 實驗藥品

(1) 標準品

本研究所使用之標準品為分析石化揮發性有機物所使用，標準品為 Supelco USA 公司出品，其中包含甲基第三丁基醚、苯、甲苯、乙苯與二甲苯等相關常見加油站目標污染物，濃度為 2000 mg/L。

(2) 實驗用藥品

本研究所使用之藥品(試藥級)皆用於配置污染土壤及地下水試驗，多為純度 98%，由 Alfa Aesar 出品(Alfa Johnson Matthey Company)，配置標準品/污染物以及萃取時所使用的藥品包含甲醇(HPLC grade)，由 J.T. Baker(USA)公司出品。

(3) SPME 吸附材質

本研究所選用之吸附材質採用固相微萃取之纖維吸附材，為 Supelco 公司(USA)出品，SPME 的萃取介質的形成主要是在矽纖維上塗覆一層高分子膜，如聚二甲基矽氧烷 (poly dimethyl siloxane, PDMS)等聚合物，利用凡得瓦力或其他分子間作用力萃取在樣品水樣中的微量有機物。

(4) 土壤氣體採樣吸附管

本研究原擬評估國外大量使用之商業化土壤氣體吸附材質，包含 GORE-SORBER[®] (圖 3-2)與 Beacon Environmental Services, Inc.(圖 3-3)兩個廠商之土壤氣體採樣吸附管(Passive Soil Gas Sampling)，但因為這兩種吸附材質廠商無法授權自行分析使用，必須將樣品寄送回美國分析，如此除增加分析成本，對於提升國內土壤及地下水檢測技術並無實質助益，再因本研究乃希冀提升地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)污染預防措施之功能性，及強化土壤氣體現場篩測方法，因此經評估後改採用 SKC 廠牌的 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®](圖 3-4)與 ULTRA sampler sorbe[®] (圖 3-5)兩種吸附材質，進行後續吸附材質評估實驗使用。

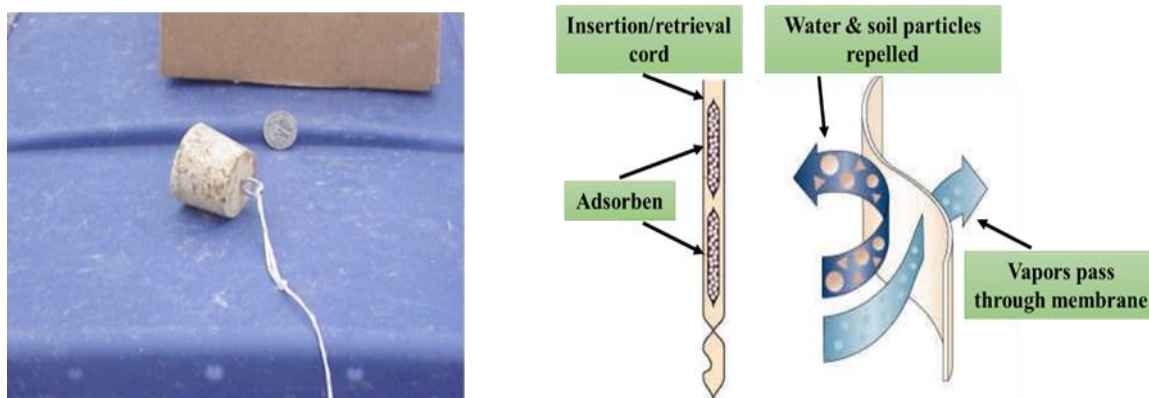


圖 3-2 GORE-SORBER 商品及原理圖



圖 3-3 BESURE Sample Collection Kit



圖 3-4 Sorbent Tubes Anasorb CSC®



圖 3-5 ULTRA sampler sorbe[®]

(5) Tedlar[®] Sample Bag

本研究選用之空氣採樣袋，採用聚丙烯材質，為 SKC 公司 (USA) 出品，此採樣袋之容量為一升，將採樣之氣體存放於此採樣袋中以便進行後續分析，如圖 3-6 所示。



圖 3-6 Tedlar[®] Sample Bag

(6) 試驗土壤

試驗土壤取自國立高雄師範大學燕巢校區，屬於砂質壤土，其土壤 pH 屬於中性，含水率約為 16%，有機碳含量為 1.8%，並經過日曬乾燥後以直徑 2mm 的 70 號篩過篩，放置室溫下儲存備用。

2. 實驗設備

(1) 氣相層析/質譜儀

本研究使用氣相層析/質譜儀(gas chromatograph/mass spectrometer, GC/MS) (HP 6890/5973, Agilent, USA)進行定性及定量分析，所使用的分離管柱 (capillary column DB-624, Agilent J&W, USA)，長 60 m，管柱內徑 0.32mm，薄膜厚度 1.8 μm ，材質 6% Cyanopropyl-phenyl，94% dimethyl polysiloxane，可使用的溫度範圍從-20°C 到 260°C，攜帶氣體為高純度氦氣。

(2) 飛行時間質譜儀(time-of-flight mass spectrometry, TOFMS)

飛行時間質譜儀目前可應用於野外，作為攜帶式的質譜儀。攜帶式質譜儀 (TOF MS)其原理為 EI 電子撞擊式離子源，產生離子碎片，離子碎片進入飛行腔，利用飛行的時間鑑定其質量，經由飛行分離之離子碎片由 Ion Detector 轉換為電子訊號，由電腦進行定性及定量，攜帶式質譜儀主要是利用分子飛行時間差計算分子量，分析時離子無損失，且具高解析度及高感度。圖 3-7 為某場址使用攜帶式質譜儀(TOF-MS)進行分析及其分析結果，未來可考慮發展前端加裝加熱脫附裝置，能讓吸附管於現場即時脫附進行分析。

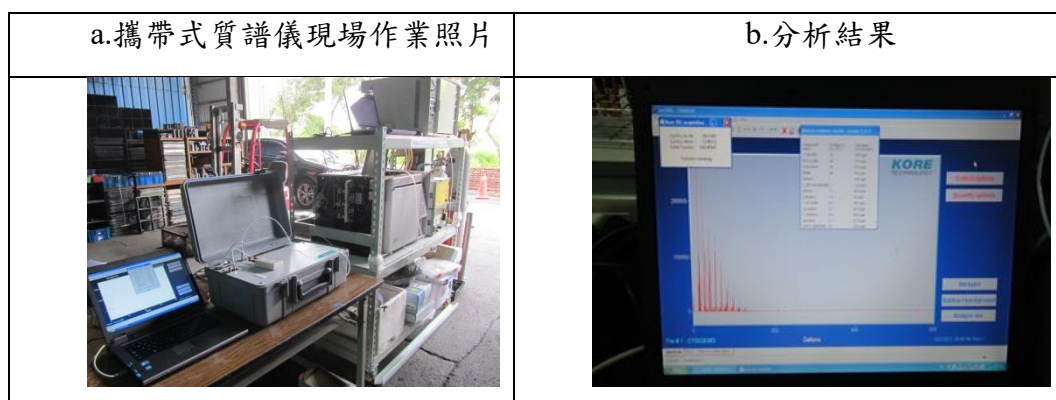


圖 3-7 飛行時間質譜儀施作情形

(3) 平衡頂空裝置

本實驗使用的平衡頂空裝置(Static/Dynamic Headspace System) 是 Teledyne Tekmar 公司製造，見圖 3-8，設計檢測固體基質樣品製備揮發性有機待測物前處理。其原理為：土壤樣品由系統加熱平衡後，其中內含之揮發性物質由土壤樣品中揮發成氣體狀態，在揮發性有機待測物於土壤及氣體中達到一平衡狀態，儀器利用加壓將樣品送入氣相層析儀中(行政院環保署，2002)。本實驗利用平衡頂空裝置來分析吸附材質中之目標污染物。



圖 3-8 本實驗使用之 Headspace 平衡頂空裝置

平衡頂空裝置之設定條件參數為 oven 溫度設定 150°C；platen 平衡溫度設定 85°C 停留 45 分鐘，樣品混合時間 5 分鐘；transfer line 溫度設定 150°C，使用高純度氮氣流速設定每分鐘 40 mL，以免樣品殘留在管線中；G. C. cycle 時間設定 75 分鐘；pressurize 平衡時間 2 分鐘加上 loop fill pressurize、pressurize 與 stabilize 等之時間，平衡頂空裝置處理一個樣品時間約為 75 分鐘。

3.2 工作方法

3.2.1 土壤基本性質分析

(1) 含水量

先將坩鍋以微量天秤秤重並記錄其重量，再秤取 10 g 之土壤樣品置於其中，放入 105°C 之烘箱中，持續烘乾 24 小時後，將土壤樣品移至乾燥箱中，讓土壤樣品自然冷卻後以微量天秤秤重，計算烘乾前後重量差，求得含水率。

(2) 有機碳含量

利用重鉻酸鉀與濃硫酸之共同作用將有機質中之碳氧化，由氧化劑之耗用量計算其有機碳含量。首先秤取 1 g 土壤樣品，置於 500 ml 三角錐形瓶中，使用定量吸管加入過量之 $K_2Cr_2O_7$ 溶液再加入濃硫酸 10 ml，輕晃 1 分鐘使其充分反應後，放置冷卻後加 100mL H_2O 、 H_3PO_4 5mL、Diphenylamine 指示劑 5 滴，以 $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 溶液滴定之，直至其顏色由灰藍色變成綠色為止，記錄 $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 溶液所消耗的體積。將無土壤樣品之空白組(Feblank)依上述相同步驟進行，所得結果為空白實驗所消耗的 $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 溶液體積。

$$\text{有機碳(\%)} = \frac{(Fe_{blank} - Fe_{soil}) \times N \times 3 \times f \times 100}{\text{土壤重量}} \dots\dots\dots(3)$$

N： $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 之當量濃度

3：C 之當量或毫當量

f： $K_2Cr_2O_7$ 氧化有機碳之比例

亦可用燃燒法取 10 g 土壤樣品置於秤重並記錄之坩鍋內，放入 105°C 的烘箱中烘乾 24 小時後，取出樣品，再放入 550°C 之高溫烘箱中連續烘 24 小時，待其冷卻後，取出樣品並稱重，計算前後的重量差即可得土壤中有機碳含量。此法雖為直接與簡便之測定法，然而土壤在高溫下所逸失之 C，除有機質中之有機碳外，尚包括無機礦物中之無機碳及水分。因此，若直接以燃燒前後之重量做為有機質含量之依據，將造成相當之誤差。

3.2.2 確立目標污染物

目標污染物以汽油系常見之揮發性有機化合物為主，包括 MTBE、BTEX、1,3,5 trimethylbenzene、1,2,4 trimethylbenzene 及 naphthalene 等目標污染物。

3.2.3 實驗室測試

本研究中使用不同吸附材質，執行土壤氣體(石化污染物)吸附實驗，規畫使用 SPME 吸附材質，及商業化土壤氣體吸附材質 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與 ULTRA sampler sorbe[®]之採樣吸附材質，實驗室試驗規劃如圖 3-9 所示，依據不同吸附材質及吸附管之操作參數，進行不同吸附材質測試，同時收集土壤氣體進行定性定量分析，以瞭解各廠牌吸附操作流程與限制性，綜合實驗室測試結果，探討最佳平衡吸附時間，同時對適合現場快篩使用之吸附管提出建議。

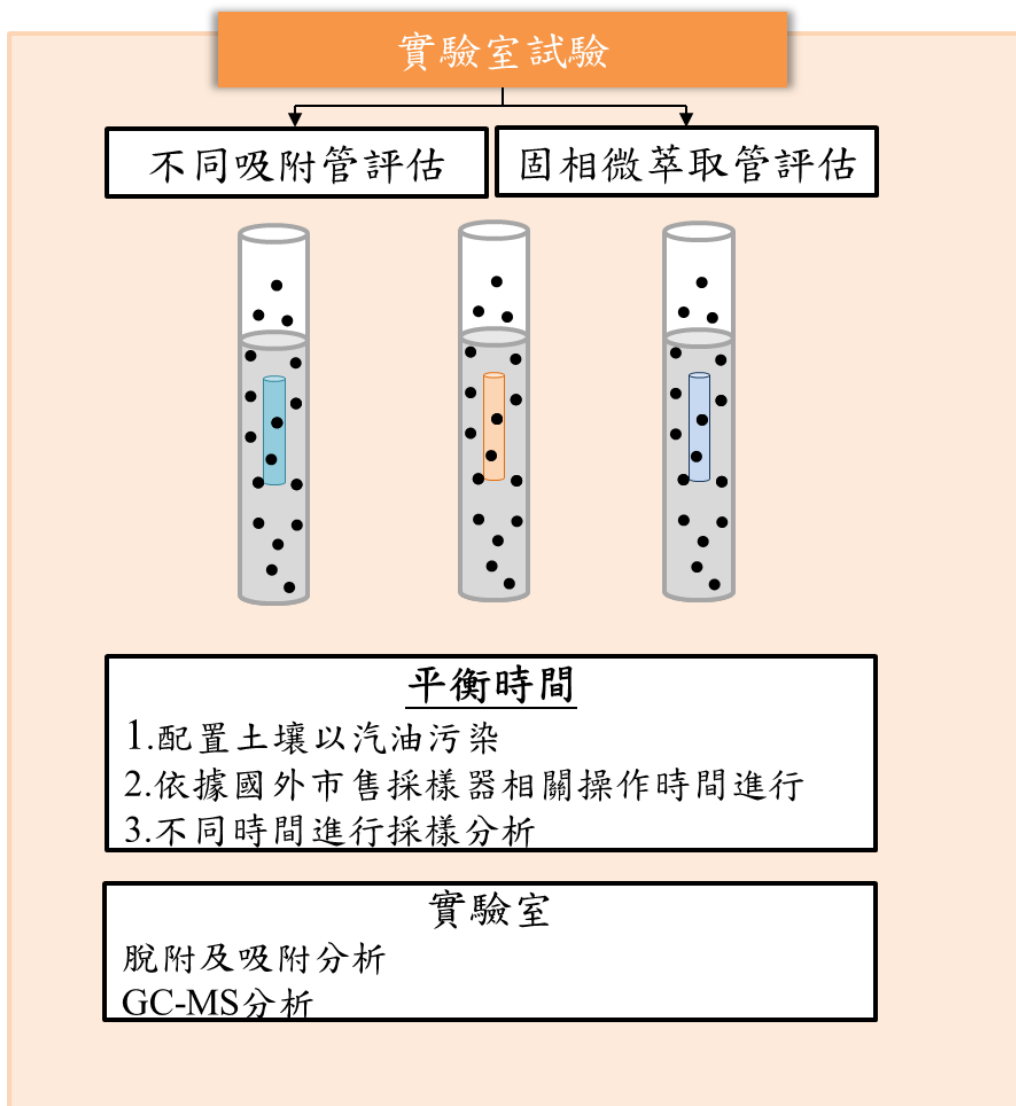


圖 3-9 實驗室操作測試實驗示意圖

3.2.3.1 SPME 吸附材質分析方式

採用 SPME 之 Fiber 作為吸附劑使用，依據 SPME 的三種萃取模式進行分析，評估直接萃取(direct extraction)、頂空萃取(headspace mode)、及薄膜保護萃取(membrane protection)效能之差異。直接萃取模式如圖(3-10a)所示，將 SPME 塗佈纖維直接置入樣品中，分析物將直接從基質傳送至萃取相，通常為了加快萃取縮短平衡時間，減少基質和萃取相間之耗乏體積(depletion zone)，可以使用磁石加速對流傳遞效應，以達到快速平衡。

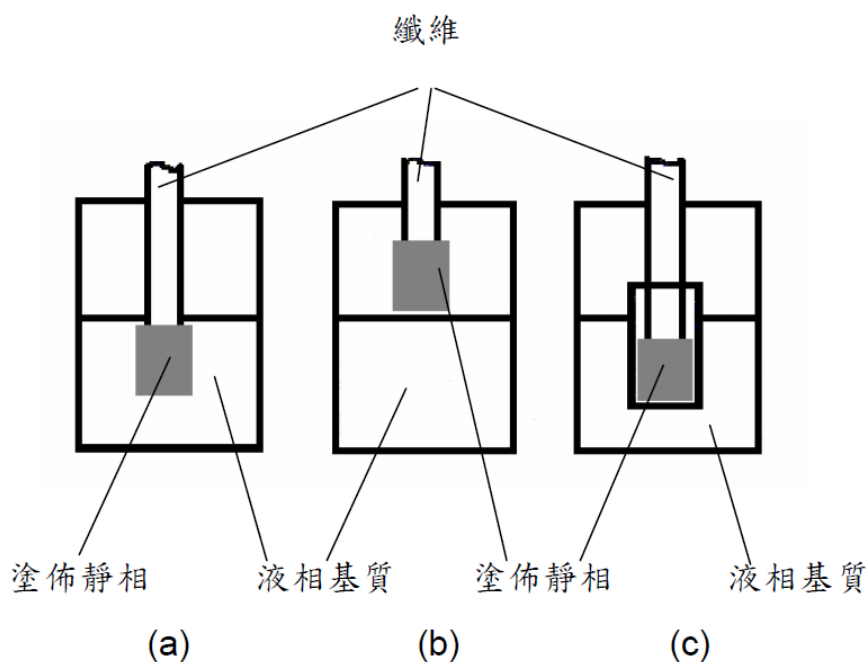


圖 3-10 固相微萃取之萃取模式: (a)直接萃取(b)頂空萃取(c)薄膜萃取

頂空萃取模式如圖(3-10b)所示，分析物萃取主要是藉由氣體的帶動至靜相上，使樣品中的分析物揮發至上方的頂空空間，主要的目的為避免靜相受到基質中的非揮發性或高分子量物質的損害。在同時含有液相及頂空相系統內，塗佈靜相所萃取到分析物的量，並不會因為靜相置入於液相或頂空相而有所不同。只要在直接萃取或頂空萃取模式中的氣相和液相體積為相等的，則兩種模式的靈敏度也是相同的。然而，萃取模式的選擇對於萃取的動力學有很大的影響，使用頂空模式時，在頂空之分析物首先會被萃取，接著才從基質擴散揮發至頂空被萃取，

所以揮發性分析物的萃取速率快於半揮發性物質。此外溫度決定分析物之蒸氣壓，所以對於萃取的動力學也有很大的影響。

一般而言使用頂空 SPME，揮發性物質達到平衡所需的時間會比直接萃取時間短，主要有三個原因；其一，在剛開始萃取時分析物的位置，揮發性物質就佔了優勢；其二，氣相之擴散係數一般高於液相擴散係數有 104 倍之多；其三，在室溫下半揮發性的物質在氣相中的濃度很低，對於這些物質頂空的萃取效率低。

然而本實驗採用頂空萃取模式作採樣，分析土壤氣體中普遍存在的污染物大部分屬於 VOCs，針對揮發性物質如上述所言，使用頂空萃取效果較佳；希望利用頂空模式用以模擬空氣中污染物分佈擴散的情形，同時又能兼具固定空氣中其他變因，避免干擾，作為被動式空氣採樣器之測試；再者，利用頂空模式提供標準氣體，配置標準溶液，揮發到頂空區域，產生固定濃度之標準氣體，作為標準品之測試；最後，當進行暴露實驗時，求得最佳化參數以供後續加油站實場試驗時使用。

3.2.3.2 商用吸附管分析方式

本研究評估之商業化氣體吸附材質，包含 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與 ULTRA sampler sorbe[®]之採樣吸附材質進行實驗室試驗，主要採用直接上機分析，比照直接萃取模式將吸附材質放置分析瓶中，分析物將直接從基質脫附至萃取相(氣相)，而依照目標污染物之物化特性與吸附材質之差異，以不同熱脫附方式進行測試，再以 GC/MS 分析其濃度變化，選定適當脫附條件，以供後續測試之參考。

3.2.3.3 土壤氣體中污染物吸附至吸附材質之平衡時間

本實驗目的為評估石油碳氫化合物於自污染土壤氣體中吸附至不同吸附材質之平衡時間。測試吸附平衡時間分別設定為 0.5、1、3、5、9 及 24 小時。於每個測試吸附平衡時間分析其吸附材質與土壤氣體，主要利用平衡狀態頂空(Headspace)方式，使用 GC/MS 分析其濃度，並選定適當吸附平衡時間以供後續現場吸附材質放置實驗所用。

3.2.4 加油站場址實場驗證

加油站的選址將涵蓋中油及台塑石油兩大體系，實場實驗區分為兩個部分，一為土壤氣體直接分析與吸附分析比較，二為進行測漏管中油氣分析技術比較。主要依據從第一階段實驗室檢測結果建立土壤氣體平衡時間，進行實場土壤氣體吸附採樣實驗，確認現場直接貫入式採樣與吸附材質採樣分析結果，並評估其效益。測漏管將考量地下水深度安置吸附材質，進行油氣檢測分析與吸附材質分析，評估新吸附材質分析方式取代傳統檢測方式之優缺點，以提升未來加油站測漏管分析效率。

3.2.5 GC/MS 分析揮發性有機污染物

GC/MS 儀器設定，使用分流進樣，分流比為 20:1，管柱流速 1 mL/min，注射口溫度為 200°C，掃描範圍 50-550 amu，倍增器電壓 1953 eV。起始的溫度為 40°C 維持 1 分鐘，接著每分鐘上升 7°C 到達 210°C，於該溫度維持 15 分鐘，依此升溫模式，樣品分析共需 20.29 分鐘。

3.2.6 實驗品保/品管

(1) 吸附管品保/品管措施

吸附管的品保品管依照各製造商的說明進行必要之品質管制措施，使用前須密封保存於常溫環境下，避免日光直接照射及與污染空氣直接接觸，SPME 由於可重複使用，使用前需進行必要之除污措施。

執行每一採樣行程應製備一運送空白樣品，因此進行現場測試時，所評估之吸附管需有運送空白(trip blank)，將不含待測物之吸附管於實驗室裝入密封套管後，攜至加油站現場再與其他採集之吸附管送回檢驗室檢測，過程中均不打開，可用於判知運送過程之污染情形。

加油站現場於測漏管中吊掛吸附管時需有現場空白(field blanks)，將不含待測物的吸附管攜至採樣地點，曝露於採樣狀況下，於未受污染時之土壤氣體監測井中吊掛吸附管，可用於判知整個採樣、運送過程之污染情形。同時於同一測漏管中吊掛兩枝吸附管以製備現場重複樣品(field replicates)。

(2) VOCs 檢量線製備

VOCs 標準混合液 1 mL 中，每種化合物之濃度皆為 2000 mg/L。將 2000 mg/L 之標準液以甲醇稀釋為高濃度儲備溶液後，儲存於-20°C 的冰箱中，待測時自冰箱中取出，以去離子水將之稀釋成 0.030 mg/L、0.040 mg/L、0.050 mg/L、0.080 mg/L、0.100 mg/L、0.200 mg/L、0.400 mg/L 及 0.500 mg/L 等八種濃度，以 GC/MS 進行定性及定量分析。

(3) 方法偵測極限

首先以實驗室標準品製作標準濃度檢量線，之後配置七個標準品，經過完整分析步驟，將此分析值經過運算，可得到標準偏差(standard deviation, SD)，3.14 倍標準差即為此研究之初步方法偵測極限。確認 MDL 之計算為將各個最低濃度之標準品進行第二次分析，計算其變異度(S^2)，與前次分析之 S^2 值比較，將較大值記為 S_A^2 為分子，較小值為 S_B^2 ，若 $S_A^2/S_B^2 < 3.05$ ，則利用下述公式(1)計算共同標準偏差 (Pooled standard deviation, S_{pooled})。最後以公式(2)將 S_{pooled} 之值代入，即可求出 MDL。

$$S_{pooled} = \left[\frac{6S_A^2 + 6S_B^2}{12} \right]^{1/2} \text{----- (1)}$$

$$MDL = 2.681 \times S_{pooled} \text{----- (2)}$$

(4) 精密度(Precision)

精密度為一批次重複分析所得到測量值之間的差異性，一般而言會重複分析相同濃度的標準溶液七次，計算所得結果的平均值與標準偏差，再將標準偏差值除以平均值，所得之值稱為相對標準偏差(RSD)，以此表示分析系統的精密度，其值必須低於 25%。

$$\text{相對標準偏差(RSD, \%)} = (\text{標準偏差} / \text{平均值}) \times 100\%$$

本研究分析校正曲線最低濃度七次，將所得結果依照上式計算本方法之精密度。

(4) 準確度(Accuracy)

為一批次所得之分析平均值與真值的差異程度，以百分比表示，需低於30%，計算公式如下：

$$\text{準確度(Accuracy)} = \left| \frac{\text{分析平均濃度} - \text{配置理論濃度}}{\text{配置理論濃度}} \right| \times 100\%$$

本研究取校正曲線的最低濃度並分析七次，並將所得結果依照上式計算之。

3.3 汽油組成成份分析

本研究進行國內汽油組成成分分析，以了解其貢獻油氣之主要成分，使用台灣中油(CPC)與台塑(FOR)石油兩家直營加油站不同辛烷值的 92、95 及 98 汽油，油品以 500 毫升附鐵氟龍墊片之暗色玻璃瓶盛裝，若未能立即分析，先存放於 4°C 冰箱，並於 48 小時內分析，當待分析物油冰箱取出時，須在室溫下回溫 30 分鐘。

本實驗為確保實驗數值符合品管要求，樣品將以分段方式稀釋汽油，實驗流程為先取 1 mL 油品，加入至 100 mL 定量瓶中，再以甲醇加至定量，完成一百倍之稀釋汽油樣品，再取一百倍之稀釋汽油樣品 1 mL，倒入 20 mL 定量瓶中，以甲醇加至定量至，完成稀釋後取適量樣品至 2 mL 樣品瓶中，加蓋後以 GC/MS 直接注射方式分析，依照層析圖譜得出汽油中 VOCs 濃度值。針對國內兩大汽油供應商中油(CPC)與台塑(FOR)各級汽油之主要污染物如甲基第三丁基醚(methyl tertiary butyl ether, MTBE)、苯(benzene)、甲苯(toluene)、乙苯(ethylbenzene)、二甲苯(xylene) (合稱 BTEX)、1,3,5-trimethylbenzene、1,2,4-trimethylbenzene 及 naphthalene 之濃度進行分析，以了解汽油中目標化合物含量濃度。

GC/MS 的設定使用非分流進樣，管柱流速 1mL/min，注射口 200 °C，掃描範圍 50-550 amu，倍增器電壓 2082eV。GC/MS 儀器設定，起始溫度 35°C 以每分鐘上升 2°C 到達 70°C，接著每分鐘上升 4°C 到達 100°C，再以每分鐘上升 8°C 的升溫條件到達 170°C，最後以每分鐘上升 6°C 到達 220°C 並維持 2 分鐘，依此升溫模式，樣品分析共需 44 分鐘。

3.4 加油站實場測試

本計畫選取加油站進行測試各種吸附管效能，加油站選址優先考量具污染及洩漏潛勢，但尚未被公告為控制場址者，經過冗長篩選過程中進入加油站測試共有 3 站，分別於 2016 年 6 月 23 日於中油台灣南部場址 A 站進行為期 5 天之試驗；2016 年 7 月 14 日於台塑台灣北部場址 B 及 C 站進行為期 5 天之試驗。

加油站首先進行測漏管之位置調查，然後以 PID 及 FID 進行污染物濃度測定作業。同時並以 TOF-MS 進行分析污染物，因 TOF-MS 於水氣重之環境易造成真空度上升而導致無法檢測，故先抽取管中氣體存放於 Tedlar[®] Sample Bag(後稱空氣採樣袋)中，再以 TOF-MS 分析袋中氣體並讀取數據。

檢測完畢後，選取讀值最高的 5 個採樣點，以便後續進行吊掛 SPME 及不同吸附材質至土壤氣體監測井中，再依照前階段實驗室測試求得之最適吸附時間，放入 SPME 於測漏管中進行吸附實驗(9 小時)，當 SPME 取出後再放入 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]及 ULTRA sampler sorbe[®]進行吸附(72 小時)分別至土壤氣體監測井收樣，在實驗室進行分析土壤氣體。

工作項目	年月												備註
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
(一) 篩測工具及儀器條件測試													
(二) 實驗室試驗													
1.吸附材質吸附平衡時間探討													
2.SPME 吸附材質吸附實驗													
3.土壤氣體採樣吸附管吸附實驗													
(三) 加油站場址實場驗證													
1.SPME 吸附材質吸附實驗及評估													
2.土壤氣體採樣吸附管實驗及評估													
3.土壤氣體檢測													
4.測漏管檢測													
(四) 成果報告書													
工作進度估計百分比（累積數）	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	65 %	70 %	80 %	90 %	100 %	
預定查核點	期中		1.完成吸附材質吸附平衡時間探討 2.完成 SPME 吸附材質吸附實驗 3.完成土壤氣體吸附管吸附實驗 4.完成期中報告										
	期末		1.完成加油站 SPME 吸附材質吸附實驗及評估 2.完成加油站土壤氣體吸附管吸附實驗及評估 3.完成加油站土壤氣體檢測 4.完成加油站測漏管檢測 5.完成期末報告										
說明：													
1、工作項目請視專案性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起迄日期。													
2、「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：(1) 工作天數，(2) 經費之分配，(3) 工作量之比重，(4) 擬達成目標之具體數字。													
3、「預定查核點」，請在條形圖上標明※符號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。													
4、多年期計畫應分年說明各年度工作項目及期程規劃。													

圖 3-11 研究進度及預期完成之工作項目(甘特圖)

第四章、結果與討論

本專案研究目的為提升地下儲槽土壤氣體監測井(或稱測漏管)污染預防措施之功能性，及強化土壤氣體現場篩測方法，以精進石化業者管理者及環保人員的污染防治與監測設施勘查流程。主要工作架構分為實驗室試驗以及加油站場址實際調查。

實驗室試驗進行吸附材質測試研究工作，主要先蒐集目前國內外土壤氣體吸附採樣試劑，進而彙整相關操作參數，進行實驗室吸附平衡時間測試，並依據各種採樣方式執行脫附分析。加油站場址實場驗證實際進行加油站土壤氣體與測漏管油氣測試，依據實驗室測試操作參數條件進行實場測試，並配合進行土壤氣體與測漏管中油氣採樣與分析，分析目前國內加油站油氣與土壤氣體監測方式，與吸附材質吸附後之成效比對，分析各自採樣監測方式優缺點，進行技術替代可行性評估工作。以下就各項工作成果進行敘述。

4.1 汽油組成成份分析

本研究進行國內汽油油品組成成份分析，以了解各及汽油貢獻油氣之主要揮發性有機物成份，如表 4-1 所示，針對國內兩大汽油供應商中油(CPC)與台塑(FOR)石油，分析各級汽油之主要 VOC 污染物如甲基第三丁基醚、苯、甲苯、乙苯、二甲苯、1,3,5-trimethylbenzene、1,2,4-trimethylbenzene 及 naphthalene 之濃度，以了解汽油中目標化合物含量濃度。由表 4-2 中可發現中油的汽油中這些目標污染物重量百分比比較高，約占重量百分比 18.34%到 21.19%，台塑汽油中這些目標污染物約占重量百分比 11.45%到 17.55%，各項目標污染物中 MTBE 占重量百分比均最高(3.07-6.83%)，而以辛烷值較高之 CPC 98 及 FOR 98 所占 MTBE 均為最高，分別為 5.09%及 6.83%。其次則為 Toluene (2.69-4.58%)，而中油的各級汽油 toluene 含量普遍高於台塑。台塑的各級汽油中則 naphthalene 含量普遍高於中油。

表 4-1 CPC 與 FOR 各級汽油油品中之目標化合物含量

	Concentration (mg/L)[min-max, (average)]					
	CPC 92	CPC 95	CPC 98	FOR 92	FOR 95 ⁺	FOR 98
MTBE	27980-30125 (29053)	33814-34846 (34330)	37162-39236 (38199)	18082-26297 (22190)	32019-36993 (34506)	46819-55048 (50934)
Benzene	4057-4259 (4158)	4371-4849 (4610)	3125-3787 (3456)	3478-4955 (4217)	4634-6247 (5441)	4367-4640 (4504)
Toluene	29274-30988 (30131)	33785-33816 (33801)	31599-34986 (33293)	18563-20393 (19478)	24863-29360 (27112)	28576-29986 (29279)
Ethylbenzene	11830-12201 (12016)	14180-14363 (14272)	11854-14440 (13147)	5185-5392 (5289)	7080-9627 (8354)	6899-7338 (7119)
m,p-Xylene	17047-18019 (17533)	19244-19867 (19556)	17516-19580 (18548)	7226-7285 (7256)	9514-12775 (11145)	9015-9620 (9318)
o-Xylene	17890-18470 (18180)	21458-21575 (21517)	17870-20039 (18955)	7628- 7681(7655)	9451-13343 (11397)	11585-12432 (12009)
1,3,5-Trimethylbenzene	4169-4198 (4183)	5196-5300 (5248)	3932-4004 (3968)	2689-3134 (2912)	3387-3456 (3422)	3066-3345 (3206)
1,2,4-Trimethylbenzene	16288-16710 (16499)	20136-20278 (20207)	16242-16311 (16277)	9401-11010 (10206)	12595-13305 (12950)	10721-11533 (11127)
Naphthalene	2409-2525 (2467)	2659-3050 (2855)	1677-2815 (2246)	3287-3885 (3586)	2643-4342 (3493)	3402-3471 (3437)

表 4-2 CPC 與 FOR 各級汽油油品目標化合物之重量百分比

	Composition (wt %)					
	CPC 92	CPC 95	CPC 98	FOR 92	FOR 95 ⁺	FOR 98
MTBE	3.93	4.63	5.11	3.03	4.65	6.76
Benzene	0.56	0.62	0.46	0.58	0.73	0.60
Toluene	4.07	4.56	4.45	2.66	3.65	3.88
Ethylbenzene	1.62	1.93	1.76	0.72	1.13	0.94
m,p-Xylene	2.37	2.64	2.48	0.99	1.50	1.24
o-Xylene	2.46	2.90	2.53	1.04	1.54	1.59
1,3,5-Trimethylbenzene	0.57	0.71	0.53	0.40	0.46	0.43
1,2,4-Trimethylbenzene	2.23	2.73	2.18	1.39	1.75	1.48
Naphthalene	0.33	0.39	0.30	0.49	0.47	0.46
Total	18.1	21.1	19.8	11.3	15.9	17.4

表 4-3 CPC 與 FOR 各級汽油油品目標化合物之體積百分比

	Composition (v/v %)					
	CPC 92	CPC 95	CPC 98	FOR 92	FOR 95 ⁺	FOR 98
MTBE	3.93	4.64	5.16	3.00	4.66	6.88
Benzene	0.47	0.53	0.39	0.48	0.62	0.51
Toluene	3.48	3.90	3.84	2.25	3.13	3.38
Ethylbenzene	1.39	1.65	1.52	0.61	0.96	0.82
m,p-Xylene	2.04	2.27	2.16	0.84	1.30	1.08
o-Xylene	2.07	2.45	2.15	0.87	1.30	1.36
1,3,5-Trimethylbenzene	0.48	0.61	0.46	0.34	0.40	0.37
1,2,4-Trimethylbenzene	1.88	2.31	1.86	1.17	1.48	1.27
Naphthalene	0.22	0.25	0.20	0.31	0.31	0.30
Total	15.95	18.60	17.74	9.87	14.15	15.99

4.2 脫附條件試驗

脫附條件實驗設計主要在探討各種吸附材質與目標化合物之間的脫附效益，藉以評估吸附材質之最佳脫附條件。試驗係以50 mL中油95無鉛汽油加入5公斤過篩後之土壤進行模擬洩漏於土壤中，再以吸附材質進行吸附1hr至24hr (SPME、Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®])，待吸附時間結束後再分別以不同的脫附條件進行目標污染物之脫附，由試驗結果提供後續之試驗所需之參數。

4.2.1 SPME的脫附條件測試

有關SPME的脫附條件測試，在本試驗SPME以熱脫附處理後再以GC-MS進行定量分析。因為目標化合物的物化特性之差異以及SPME之吸附材質PDMS之特性影響下，需進行不同脫附條件的測試。而參考以相同吸附材質之SPME進行脫附之前人研究結果，得知SPME對目標化合物之脫附溫度為100°C-280°C，脫附時間為0.5 分鐘至30分鐘 (Arthur et al., 1992；Li et al., 2001； Cheng and Lai, 2014)；而SPME的建議脫附方法係以200°C-280°C進行脫附分析，因此本試驗設計分別以150°C、200°C及250°C進行不同溫度之條件測試，並且以0.5 min、1 min、3 min及5 min分別測試不同的脫附時間，而其結果可見圖4-1、圖4-2、圖4-3及圖4-4。

在150°C、200°C及250°C分別進行脫附0.5 min之結果(圖4-1)可發現以200°C的脫附溫度為最佳，其目標化合物之濃度(除了benzene)皆顯著性大於在150°C及250°C下。由圖4-2可見在脫附1 min之結果，同樣的以200°C的脫附溫度為最佳，其中之Toluene、Ethylbenzene及Xylene之濃度顯著性大於150°C及250°C下。在3 min的脫附時間進行試驗，其結果仍可發現以200°C的脫附溫度為最佳，但相較其他溫度之差異性已逐漸降低。而在三種溫度下進行5 min的熱脫附(圖4-4)則已經無差異性，各種溫度下，如圖4-3所示，脫附出的目標化合物之濃度皆已趨近。綜合四種脫附時間下的試驗結果可發現以0.5 min下脫附的濃度高於其他組，而脫附時間0.5 min下以200°C的脫附溫度較佳。

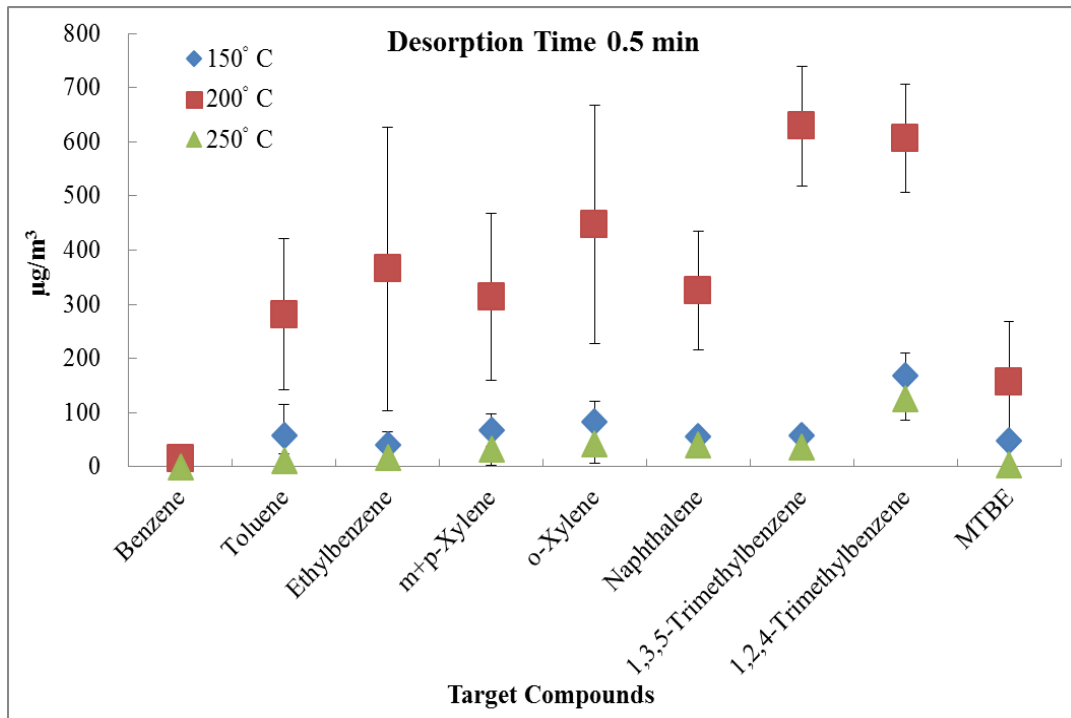


圖 4-1 SPME在不同溫度下進行脫附0.5分鐘之目標化合物濃度變化

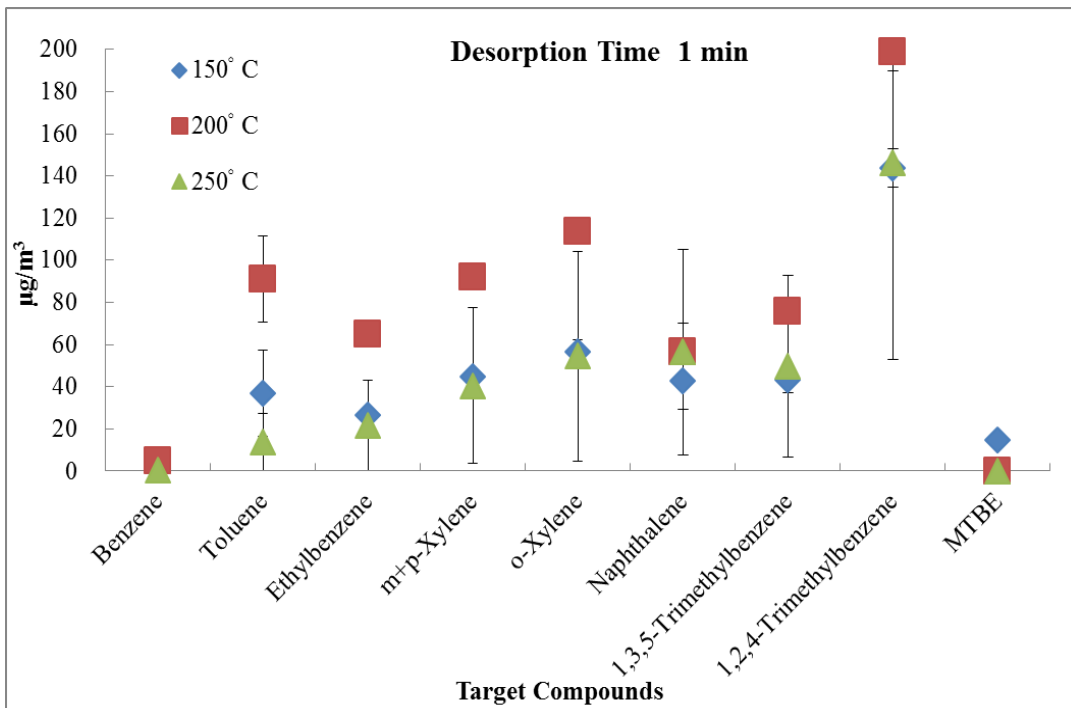


圖 4-2 SPME在不同溫度下進行脫附1分鐘之目標化合物濃度變化

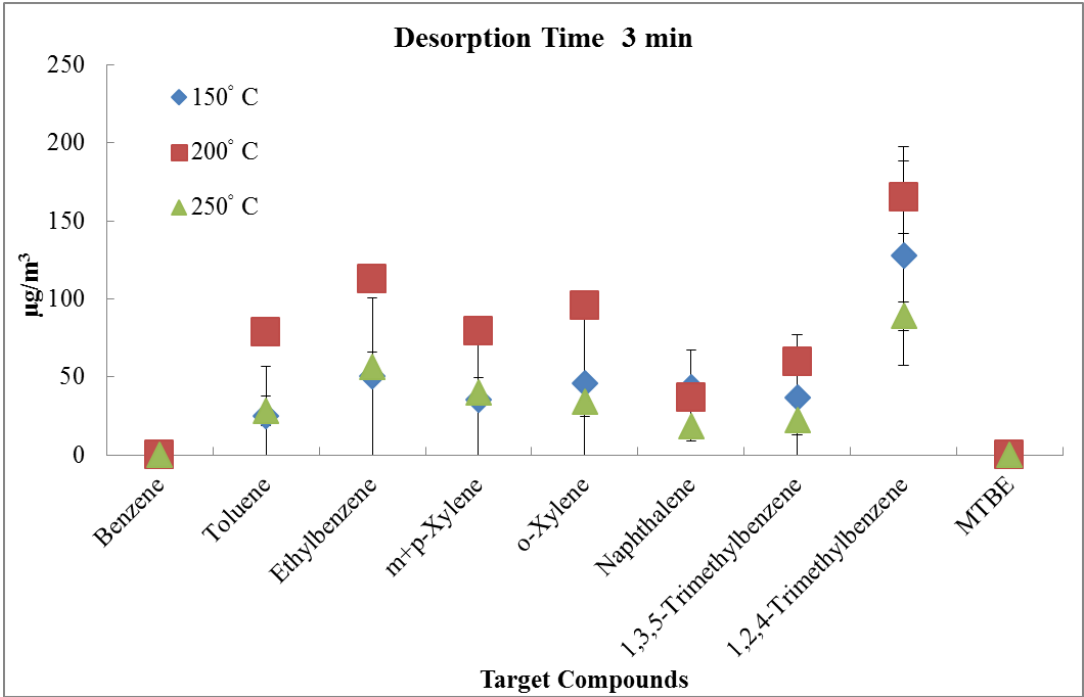


圖 4-3 SPME在不同溫度下進行脫附3分鐘之目標化合物濃度變化

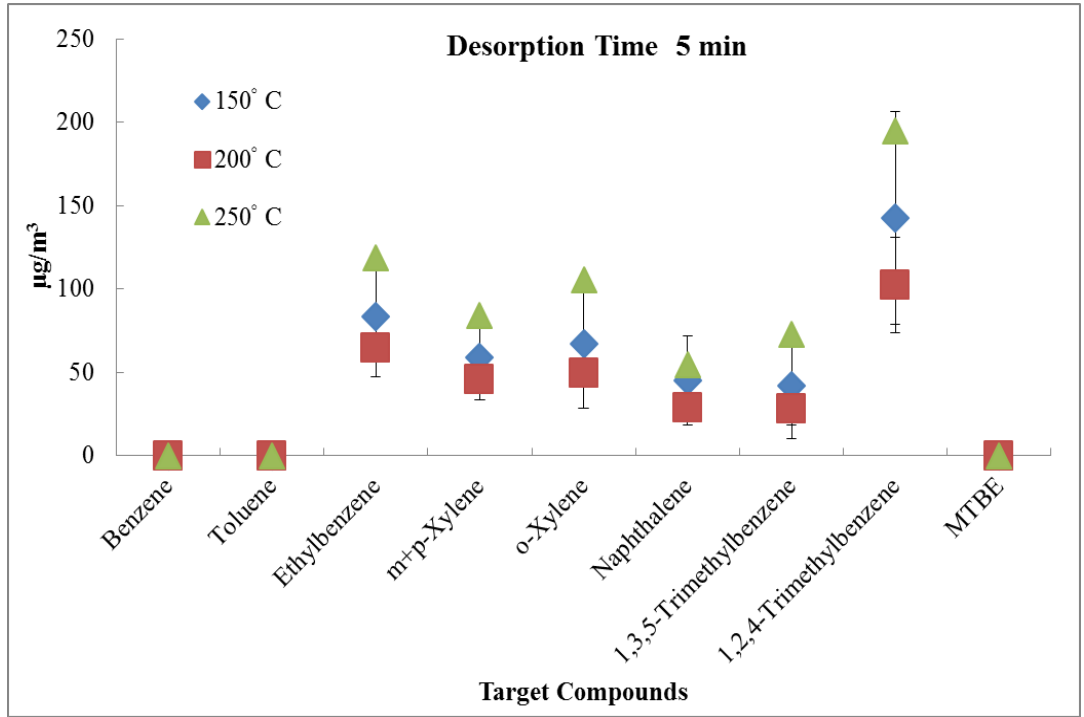


圖 4-4 SPME在不同溫度下進行脫附5分鐘之目標化合物濃度變化

由本實驗觀察脫附時間較長可能造成揮發性高的目標化合物逸散，特別是揮發性高的benzene，因此其偵測到的揮發性高的目標化合物濃度相對較低。本實驗進行時，亦同步分析所使用的CPC95汽油成份，其與表4-1汽油油品獲得時間不同，因此在組成份上有些微差異，一般而言SPME的脫附條件測試使用之CPC95汽油中以Toluene及MTBE含量較高(如表4-4所示)，在最佳溫度下其目標化合物偵測濃度並未與在汽油中含量成正比。

表4-4 目標化合物在CPC95中之重量百分比

Compounds	CPC-95 (wt %)
MTBE	3.04
Benzene	0.35
Toluene	4.71
Ethylbenzene	1.38
m+p-Xylene	2.01
o-Xylene	1.63
n-Propylbenzene	0.21
1,2,3-Trimethylbenzene	0.34
1,2,4-Trimethylbenzene	1.36
1,3,5-Trimethylbenzene	0.18
1,3-Diethylbenzene	0.18
1,2,4,5-Tetramethylbenzene	0.07
1,2,3,5-Tetramethylbenzene	0.09

4.2.2 Sorbent Tubes Anasorb CSC®的脫附條件測試

Sorbent Tubes Anasorb CSC®係以平衡頂空裝置進行前處理，而前處理之脫附溫度分別以150°C、175°C及200°C進行測試，其測試結果可見圖 4-5與圖 4-6。由結果可發現MTBE之脫附量最高，中油95汽油中MTBE重量百分比可達3.04%，Toluene重量百分比可達4.71%(如表4-4)，此兩種化合物在Sorbent Tubes Anasorb CSC®中脫附濃度相對較高，其中以MTBE最顯著。就脫附條件而言，可發現以150°C之脫附溫度的脫附量為最高 $> 3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯著性優於其他脫附溫度，而

觀察其他目標化合物則可發現以Benzene、Toluene、Ethylbenzene及Xylene之不同溫度下的脫附量有差異性，其脫附量分別以 $150^{\circ}\text{C} > 175^{\circ}\text{C} > 200^{\circ}\text{C}$ ，因此Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]之最佳脫附溫度為 150°C 。

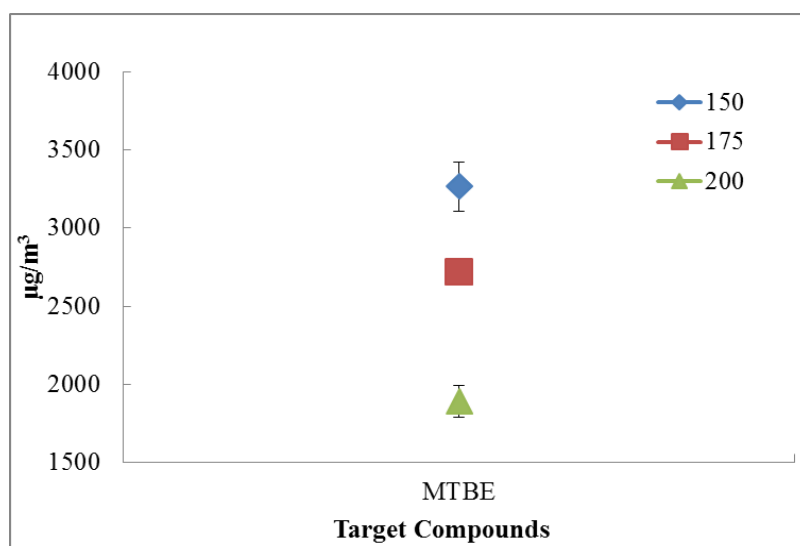


圖 4-5 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]在不同溫度下進行脫附之MTBE濃度變化

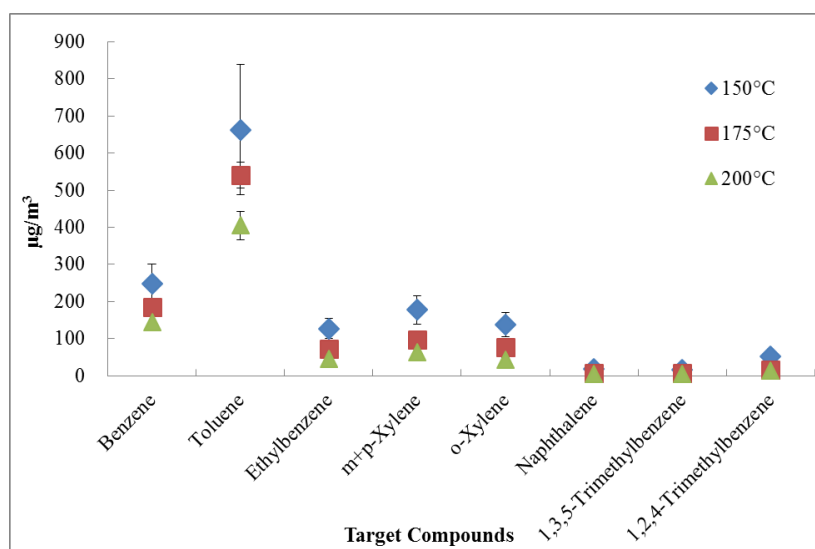


圖 4-6 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]在不同溫度下進行脫附之目標化合物濃度變化

4.2.3 ULTRA sampler sorbe[®]的脫附條件測試

ULTRA sampler sorbe[®]同樣以平衡頂空裝置進行前處理，而前處理之脫附溫度分別以150°C、175°C及200°C進行測試，其測試結果可見圖 4-7、圖 4-8與圖4-9。由結果可發現MTBE之脫附量最高，而其中以150°C之脫附溫度為最高約1900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，顯著優於200°C之脫附結果，觀察其他目標化合物的脫附結果則可發現無顯著的差異性。以SPSS Statistics 20進行Mann Whitnet U test比較150°C與175°C之差異性，其結果為無顯著性差異($p > 0.73$)。在這樣結果下則以機器效益為考量而選擇150°C為ULTRA sampler sorbe[®]之脫附溫度。

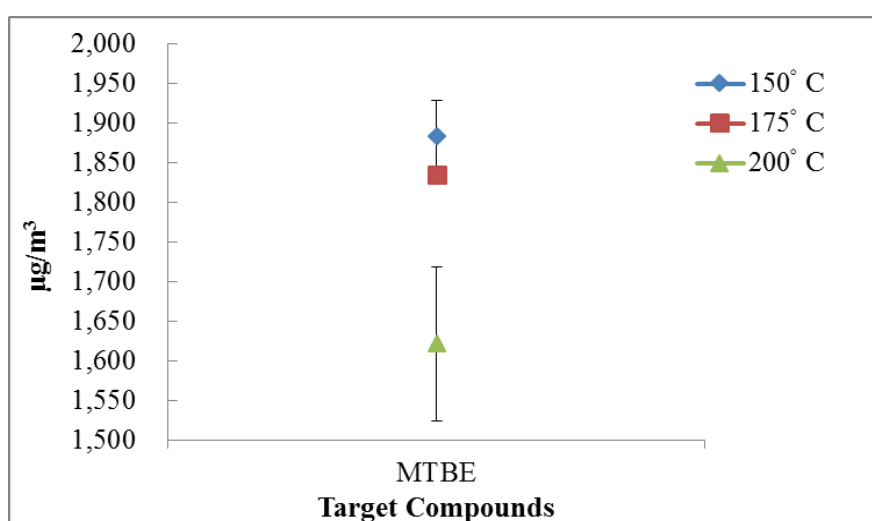


圖 4-7 ULTRA sampler sorbe[®]在不同溫度下進行脫附之MTBE濃度變化

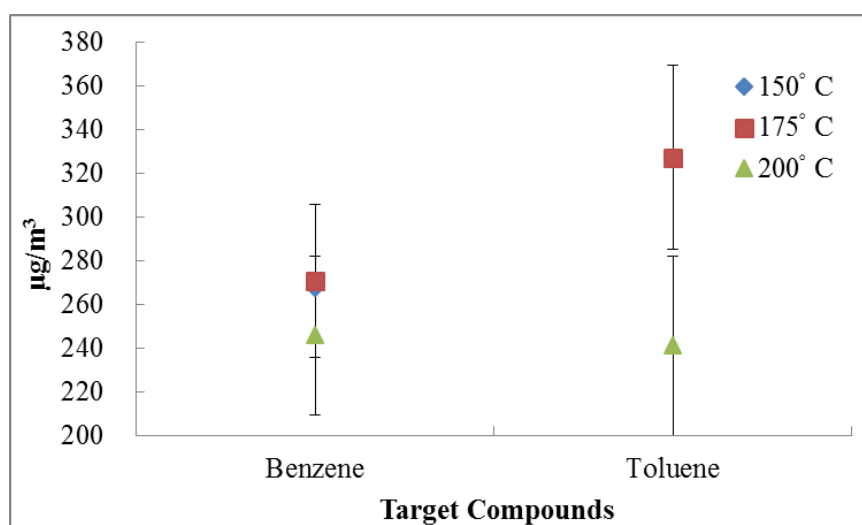


圖 4-8 ULTRA sampler sorbe[®]在不同溫度下進行脫附之Benzene及Toluene濃度變化

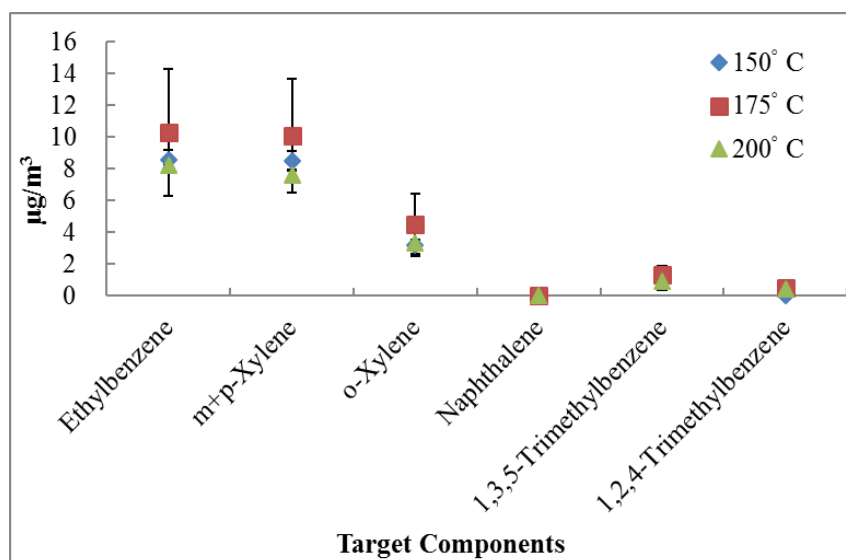


圖 4-9 ULTRA sampler sorbe[®]在不同溫度下進行脫附之目標化合物濃度變化

4.3 吸附時間試驗

吸附時間實驗設計主要探討汽油洩漏至土壤中再揮發至空氣中被不同的吸附材質吸附的時間差異與濃度變化，藉以評估吸附材質之被動性採樣之可行性。試驗係以50 mL中油95無鉛油品進行模擬洩漏，模擬情境分別為：剛洩漏的情況及洩漏後已擴散後兩種情境，各吸附材質進行吸附後之結果可見下列之詳述。

4.3.1 SPME的吸附時間測試

將SPME懸吊於模擬汽油剛洩漏之環境中，進行吸附24小時內不同時間點的結果如圖4-10所示，SPME進行吸附新近洩漏之汽油油氣中之目標化合物(MTBE、Benzene、Toluene、Ethylbenzene、m+p-Xylene及o-Xylene)濃度與時間呈正相關，隨著時間增加其吸附的濃度亦隨之增加，且可明顯的發現目標化合物中之濃度MTBE為83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Benzene為5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Toluene為101 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ethylbenzene為72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、m+p-Xylene為101 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、及o-Xylene為130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，皆於吸附時間第9個小時之濃度為最高，而後12小時到24小時之吸附時間則隨時間增加而明顯減少；1,3,5-Trimethylbenzene、1,2,4-Trimethylbenzene及Naphthalene之吸附量則呈現較不明顯的變化，由此可發現汽油洩漏至土壤中再揮發至空氣中時，SPME在9小時內即可對目標化合物之MTBE、Benzene、Toluene、Ethylbenzene、m+p-Xylene、o-Xylene達到吸附之最大量，而後隨著時間增加不會增加SPME對油氣之吸附量並且會造成損失。

將SPME懸吊於模擬汽油洩漏已擴散後之環境中，進行吸附24小時內的不同時間點的測試結果如圖4-11所示，SPME進行吸附汽油洩漏已擴散之油氣情境與汽油剛洩漏之情境類似，目標化合物濃度皆與時間呈正相關，隨著時間增加其吸附的濃度亦隨之增加。目標化合物於吸附時間第12小時之濃度為最高，分別為MTBE為32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Benzene為3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Toluene為54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ethylbenzene為31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、m+p-Xylene為49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及o-Xylene為52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而後到24小時之吸附時間則隨時間增加而明顯減少；1,3,5-Trimethylbenzene、1,2,4-Trimethylbenzene及Naphthalene之吸附量雖較無明顯的變化，但可能因為此模擬情境之汽油已均質分布於土壤間，油氣逸散過程較為穩定，以至於1,3,5-Trimethylbenzene及1,2,4-Trimethylbenzene亦有隨時間增加而略增加的趨勢，但Naphthalene的蒸氣

壓為目標化合物中最低者，因此Naphthalene洩散至被SPME吸附時仍沒有顯著隨時間增加而增加。

結果發現當汽油洩漏於土壤中擴散後再揮發至空氣中時，在12小時內SPME對MTBE、Benzene、Toluene、Ethylbenzene、m+P-Xylene、o-Xylene、1,3,5-Trimethylbenzene及1,2,4-Trimethylbenzene可達到吸附之最大量，而後隨著時間增加並不會增加SPME對油氣之吸附量，並且會造成損失。

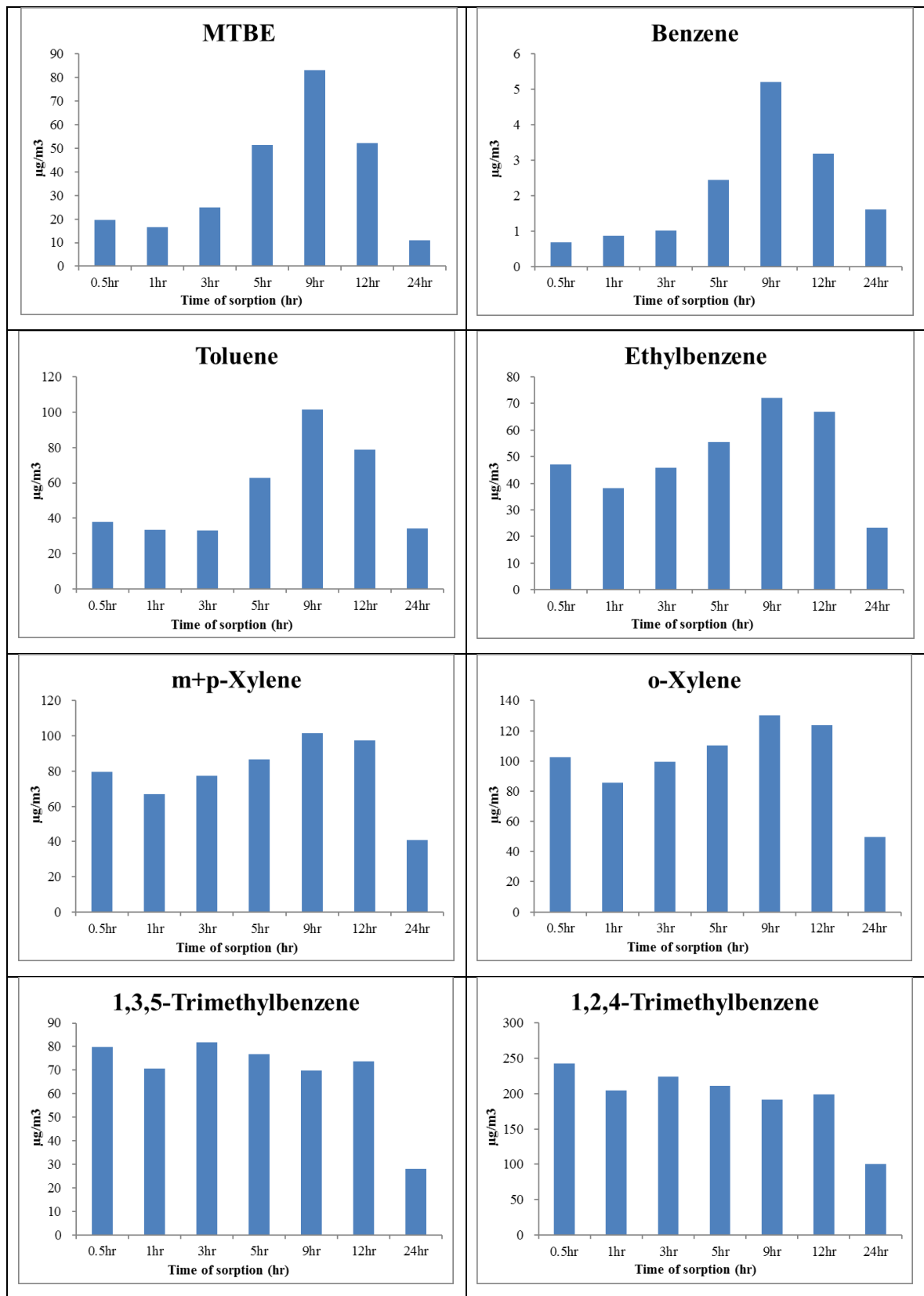


圖 4-10 SPME於剛洩漏之情境下進行吸附之結果

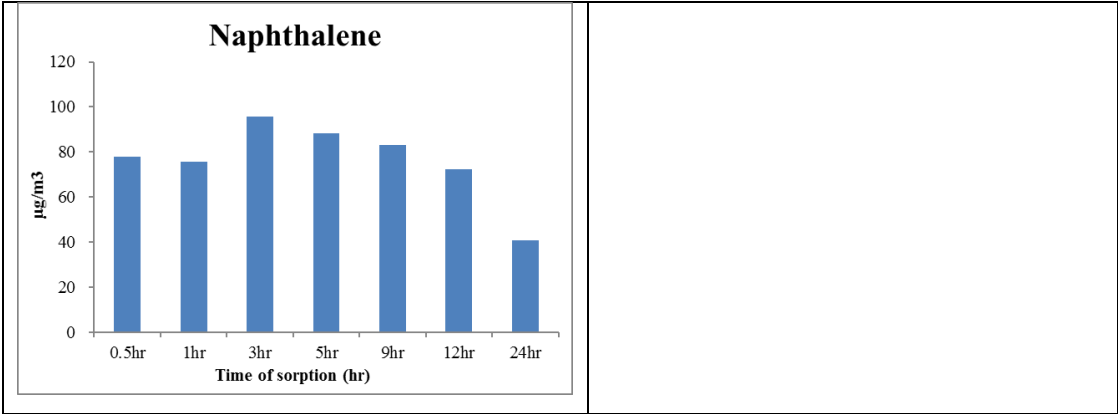


圖 4-10 (續)

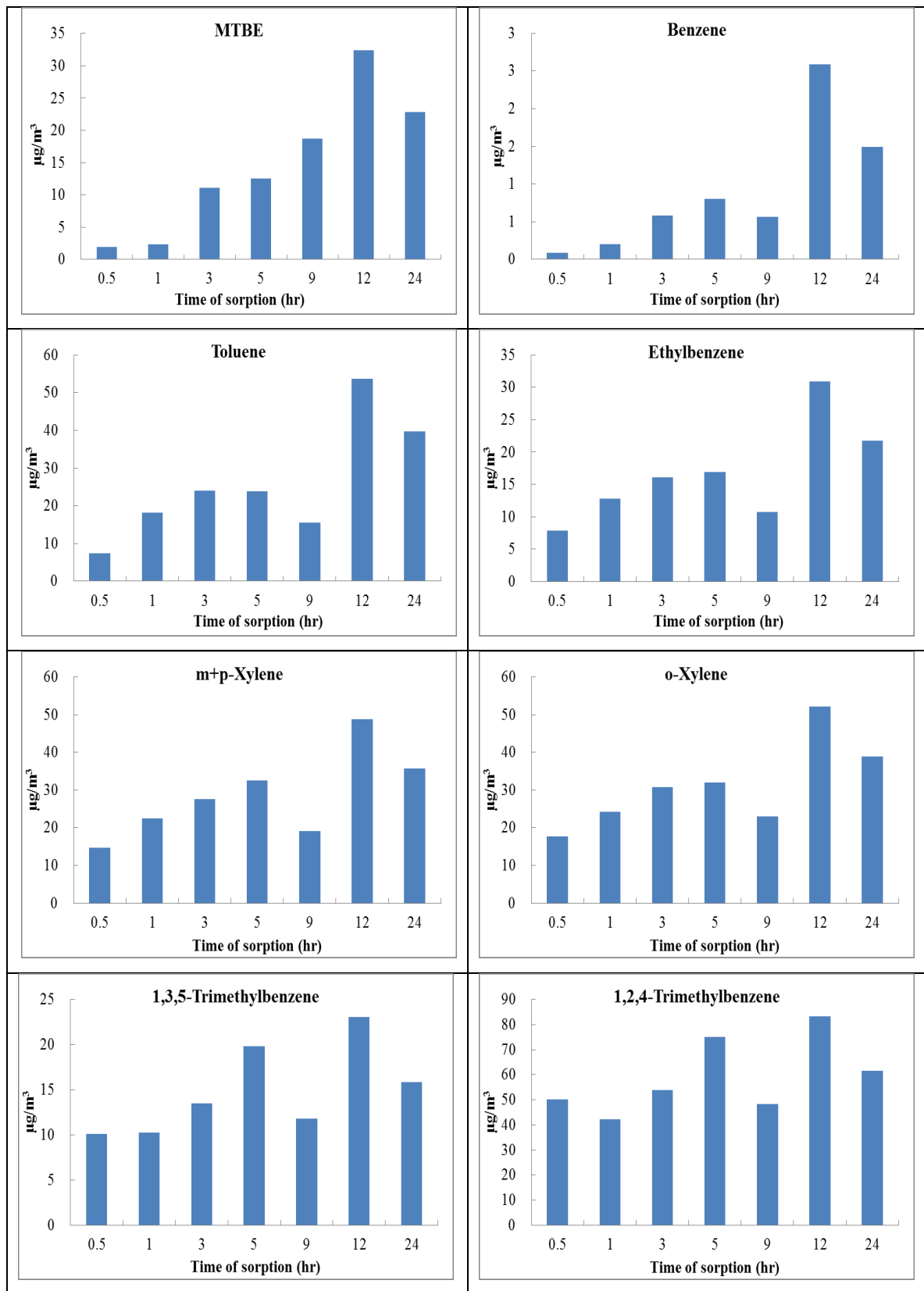


圖 4-11 SPME於汽油洩漏擴散後之情境下進行吸附之結果

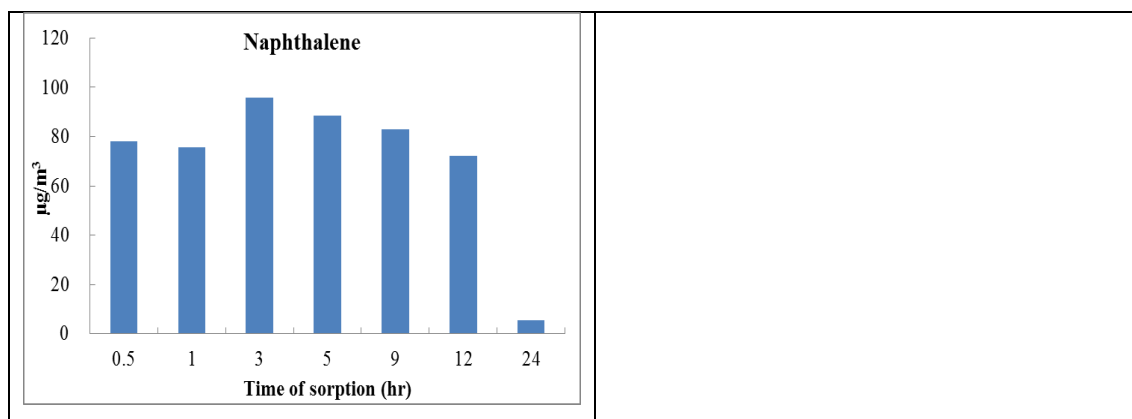


圖 4-11 (續)

綜合兩種模擬環境的SPME吸附量的變化，可發現SPME對於目標化合物中的Toluene、Ethylbenzene、m+p-Xylene、o-Xylene、1,3,5-Trimethylbenzene、1,2,4-Trimethylbenzene及Naphthalene吸附效率優於MTBE及Benzene，而SPME於實場之應用可依據試驗結果，以8-12小時內的吸附時間為最佳參考依據。

4.3.2 Sorbent Tubes Anasorb CSC®的吸附時間測試

將Sorbent Tubes Anasorb CSC®懸吊於模擬剛洩漏之環境中，進行吸附24小時內的結果如圖4-12所示，Sorbent Tubes Anasorb CSC®進行吸附剛洩漏之汽油油氣中之目標化合物濃度皆隨著時間增加而增加，並且明顯的發現目標化合物吸附24小時之濃度為最高，MTBE為661 µg/m³、Benzene為90 µg/m³、Toluene為247 µg/m³、Ethylbenzene為35 µg/m³、m+p-Xylene為47 µg/m³、o-Xylene為35 µg/m³、1,3,5-Trimethylbenzene為5 µg/m³、1,2,4-Trimethylbenzene為15 µg/m³及Naphthalene為7 µg/m³。

另外目標化合物的蒸氣壓以MTBE > Benzene > Toluene > Ethylbenzene > Xylene > 1,3,5-Trimethylbenzene > 1,2,4-Trimethylbenzene > Naphthalene，而汽油中之重量百分比含量則以MTBE > Toluene > Benzene > Ethylbenzene > Xylene，因此發現汽油洩漏至土壤中再揮發至空氣中時，Sorbent Tubes Anasorb CSC®對目標化合物的吸附量與目標化合物之蒸氣壓與汽油油品含量具有相關性；在吸附試驗中24小時內對目標化合物之均可達到最大量，而依照此試驗結果觀察Sorbent Tubes Anasorb CSC®會隨著時間增加而持續增加吸附量。

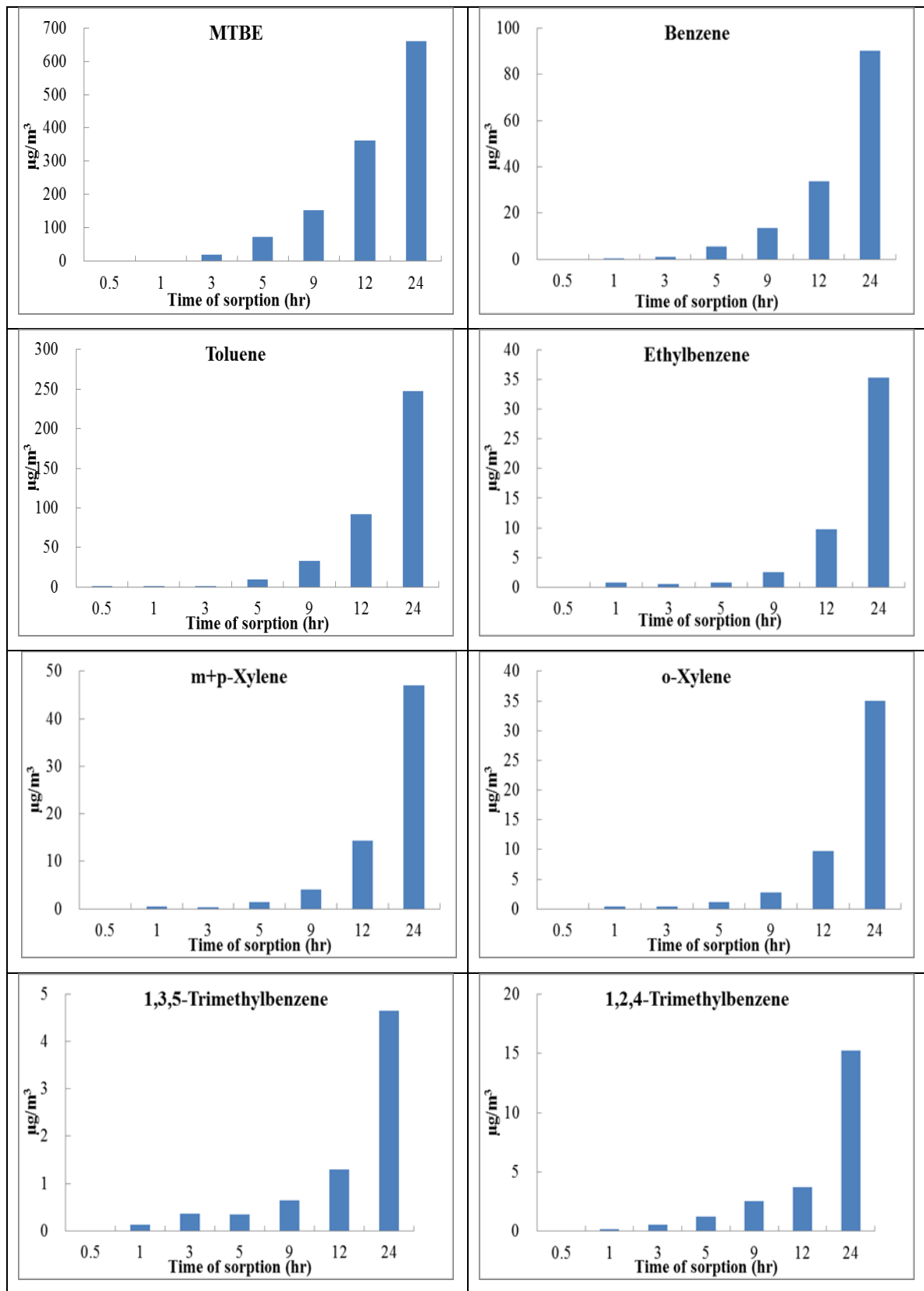


圖 4-12 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]於剛洩漏之情境下進行吸附24小時內之結果

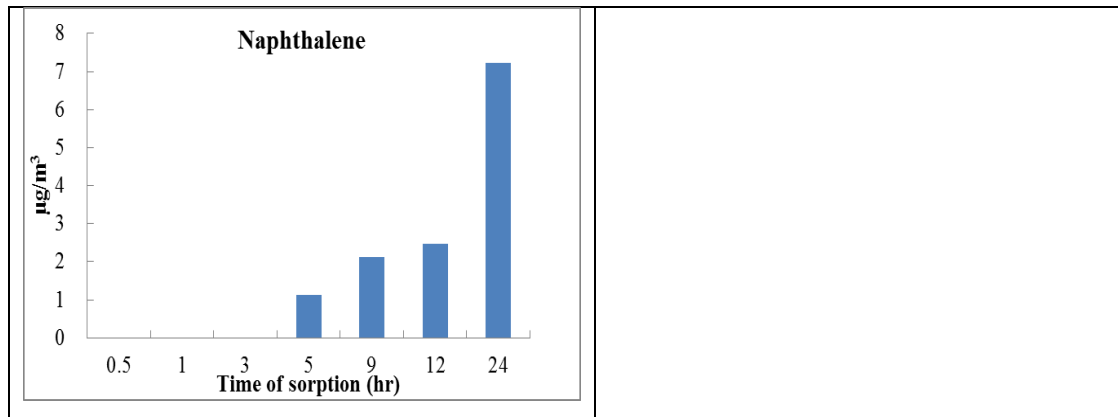


圖 4-12 (續)

將Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]懸吊於模擬洩漏已擴散後之環境中進行吸附24小時內的結果如圖4-13所示，Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]進行吸附洩漏並擴散後之汽油油氣情境與剛洩漏之情境時類似，吸附的目標化合物濃度皆與隨著時間增加而增加。目標化合物吸附24小時之濃度為最高，濃度分別MTBE為276 µg/m³、Benzene為39 µg/m³、Toluene為198 µg/m³、Ethybenzene為35 µg/m³、m+p-Xylene為47 µg/m³、o-Xylene為36 µg/m³、1,3,5-Trimethylbenzene為4 µg/m³及1,2,4-Trimethylbenzene為2 µg/m³。而Naphthalene可能在汽油中之所占比例相較低且蒸氣壓較低之影響下，以Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]進行吸附測試下其濃度變化沒有顯著性變化。結果發現當汽油洩漏於土壤中擴散後再揮發至空氣中時，在24小時內Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]對MTBE、Benzene、Toluene、Ethybenzene、m+p-Xylene、o-Xylene、1,3,5-Trimethylbenzene及1,2,4-Trimethylbenzene可達到吸附之最大量，且吸附量與時間呈正相關。

綜合兩種模擬環境的Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]附量的變化，可發現Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]對於目標化合物的吸附能力皆隨著時間增加而增加，懸吊時間有待下一階段實驗釐清。

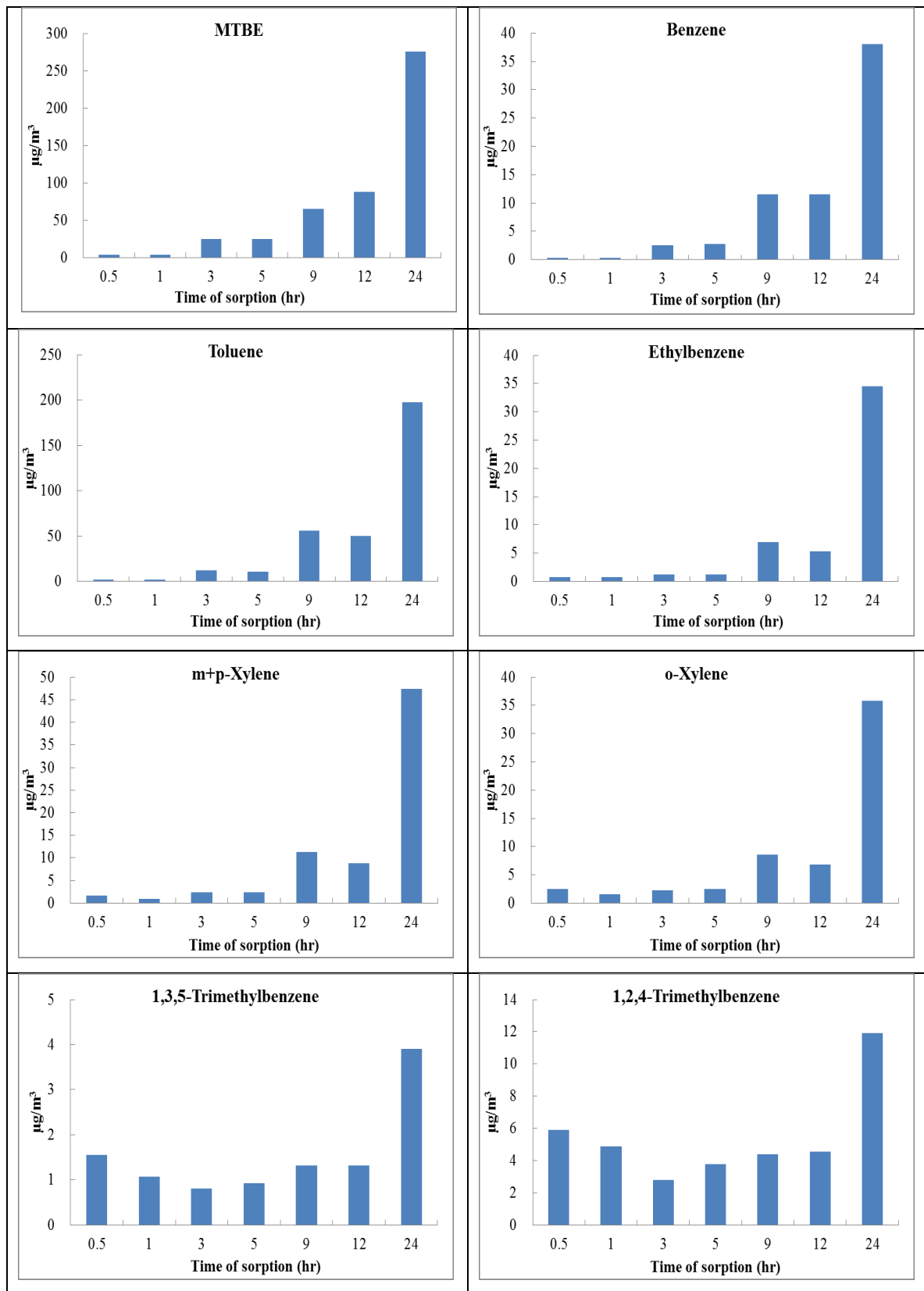


圖 4-13 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]於洩漏擴散後之情境下進行吸附24小時內之結果

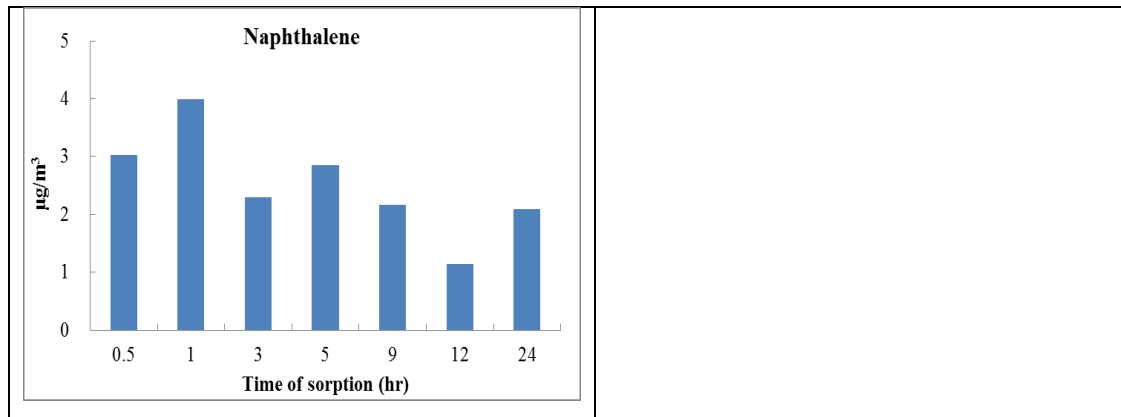


圖 4-13 (續)

綜合以上吸附時間設計，無法在數據中發現其吸附的最大濃度，故進行下一階段實驗將吸附時間實驗延長至120小時，採樣時間為每24小時一次，以期更精確得到吸附最佳時間使數據更具準確度。

將Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]懸吊於模擬剛洩漏之環境中進行吸附120小時的結果如圖4-14所示，Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]對於目標化合物之吸附亦有增加趨勢，由圖中可得知目標化合物於72小時皆達到最大濃度，MTBE濃度為698 µg/m³、Benzene為72.8 µg/m³、Toluene為189.7 µg/m³、Ethylbenzene為45.7 µg/m³、m+p-Xylene為62.5 µg/m³、o-Xylene為58.6 µg/m³、1,3,5-Trimethylbenzene為8.35 µg/m³、1,2,4-Trimethylbenzene為24.3 µg/m³及Naphthalene為0.12 µg/m³。

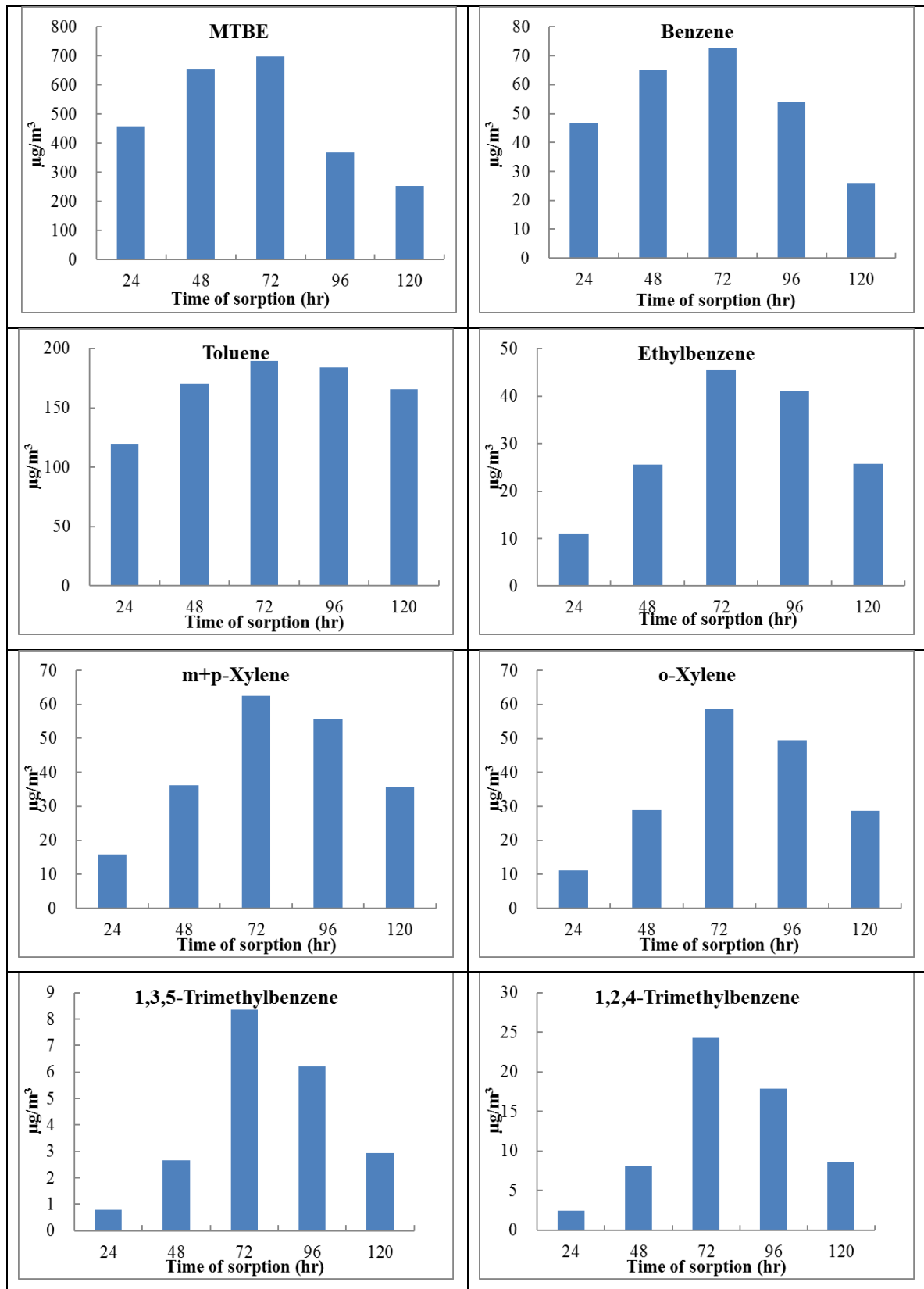


圖 4-14 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]於剛洩漏之情境吸附時間120小時之結果

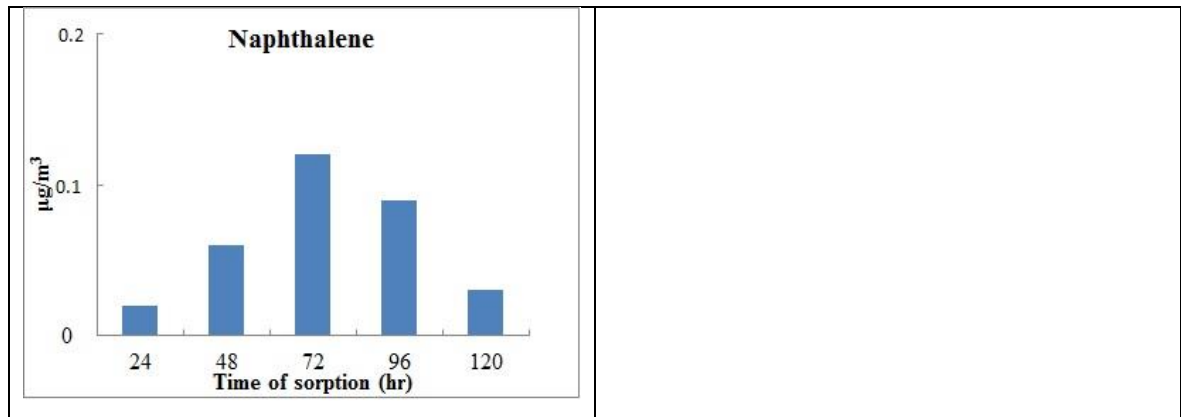


圖 4-14 (續)

將 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]懸吊於模擬洩漏已擴散後之環境中進行吸附 120 小時的結果如圖 4-15 所示，吸附情境與剛洩漏時相似，達到最大吸附量時間為 72 小時。目標化合物如剛洩漏情境之結果相同，MTBE 濃度為 677 µg/m³、Benzene 為 68.6 µg/m³、Toluene 為 215 µg/m³、Ethylbenzene 為 48.3 µg/m³、m+p-Xylene 為 62.3 µg/m³、o-Xylene 為 56.7 µg/m³、1,3,5-Trimethylbenzene 為 7.09 µg/m³、1,2,4-Trimethylbenzene 為 20.5 µg/m³ 及 Naphthalene 為 0.05 µg/m³。

結合上述兩種延長吸附時間後之模擬環境的 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] 吸附量的變化，依實驗結果可從研究發現 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] 在 72 小時達到吸附之最大量，此結果將應用於實場試驗。

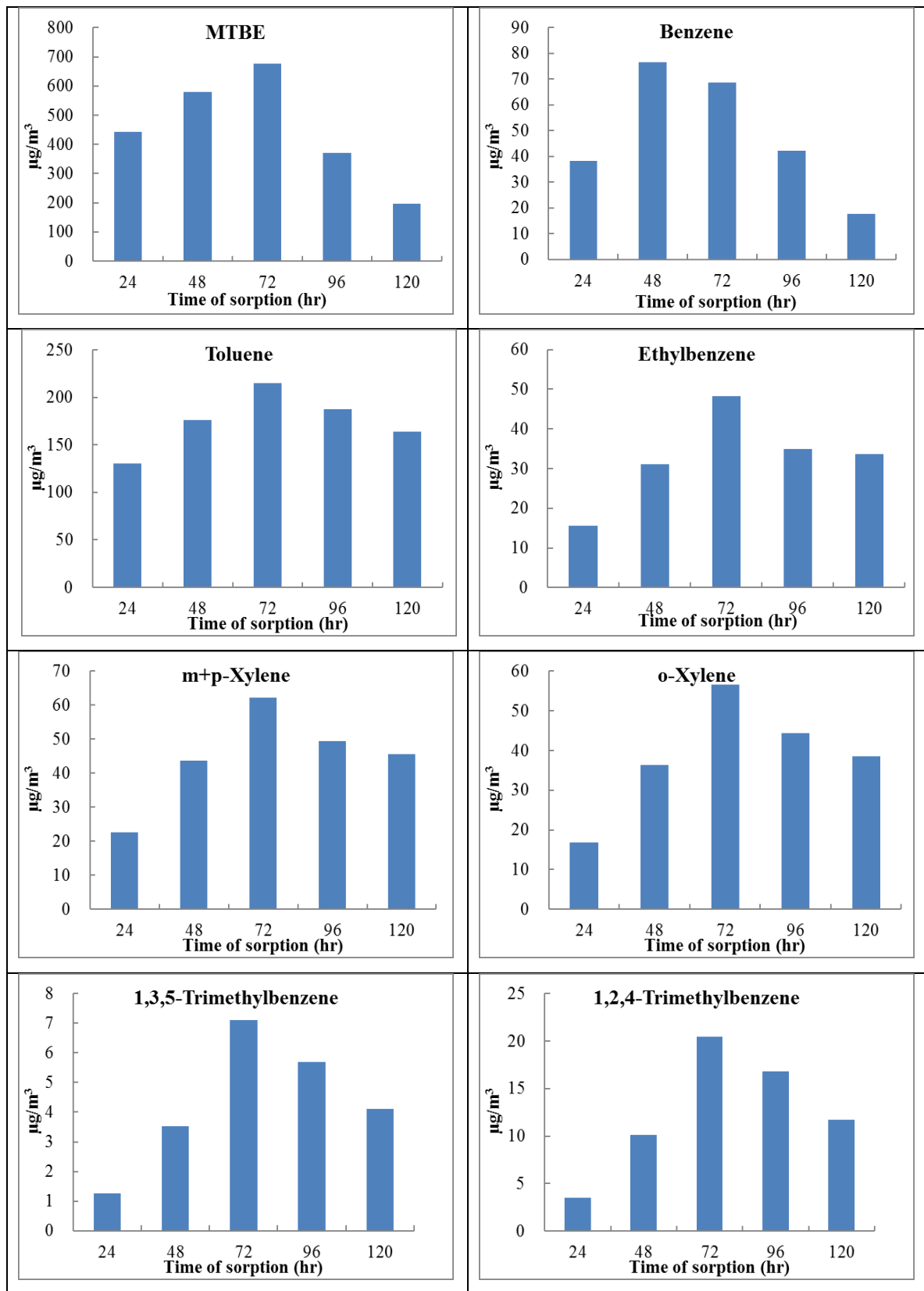


圖 4-15 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]於洩漏擴散後吸附時間120小時之結果

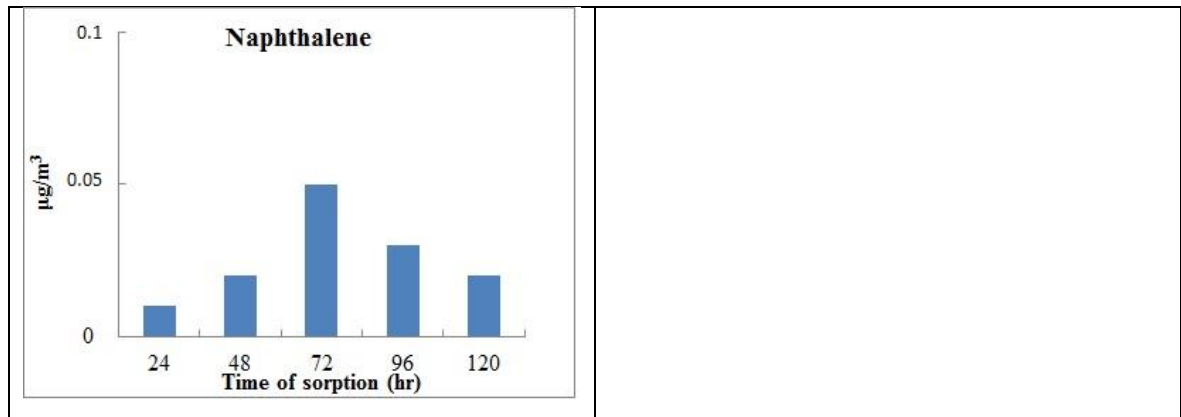


圖 4-15 (續)

4.3.3 ULTRA sampler sorbe[®]的吸附時間測試

以ULTRA sampler sorbe[®]懸吊於模擬剛洩漏之土壤環境中，進行吸附24小時內的結果如圖4-16所示，Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]進行吸附剛洩漏之汽油油氣中之目標化合物濃度於初始之9小時前皆無明顯的吸附量，而後目標化合物(除1,2,4-Trimethylbenzene 及Naphthalene之外)的濃度才隨著時間增加而增加，目標化合物皆於吸附24小時達到最高濃度，MTBE濃度為1295 µg/m³、Benzene為158 µg/m³、Toluene為223 µg/m³、Ethylbenzene為16 µg/m³、m+p-Xylene為13 µg/m³、o-Xylene為5 µg/m³、1,3,5-Trimethylbenzene為2 µg/m³及1,2,4-Trimethylbenzene為1 µg/m³，而Naphthalene在24小時內的吸附量則低於MDL(0.005 µg/m³)。依照此試驗結果觀察ULTRA sampler sorbe[®]吸附量於12小時後才有明顯的吸附量。

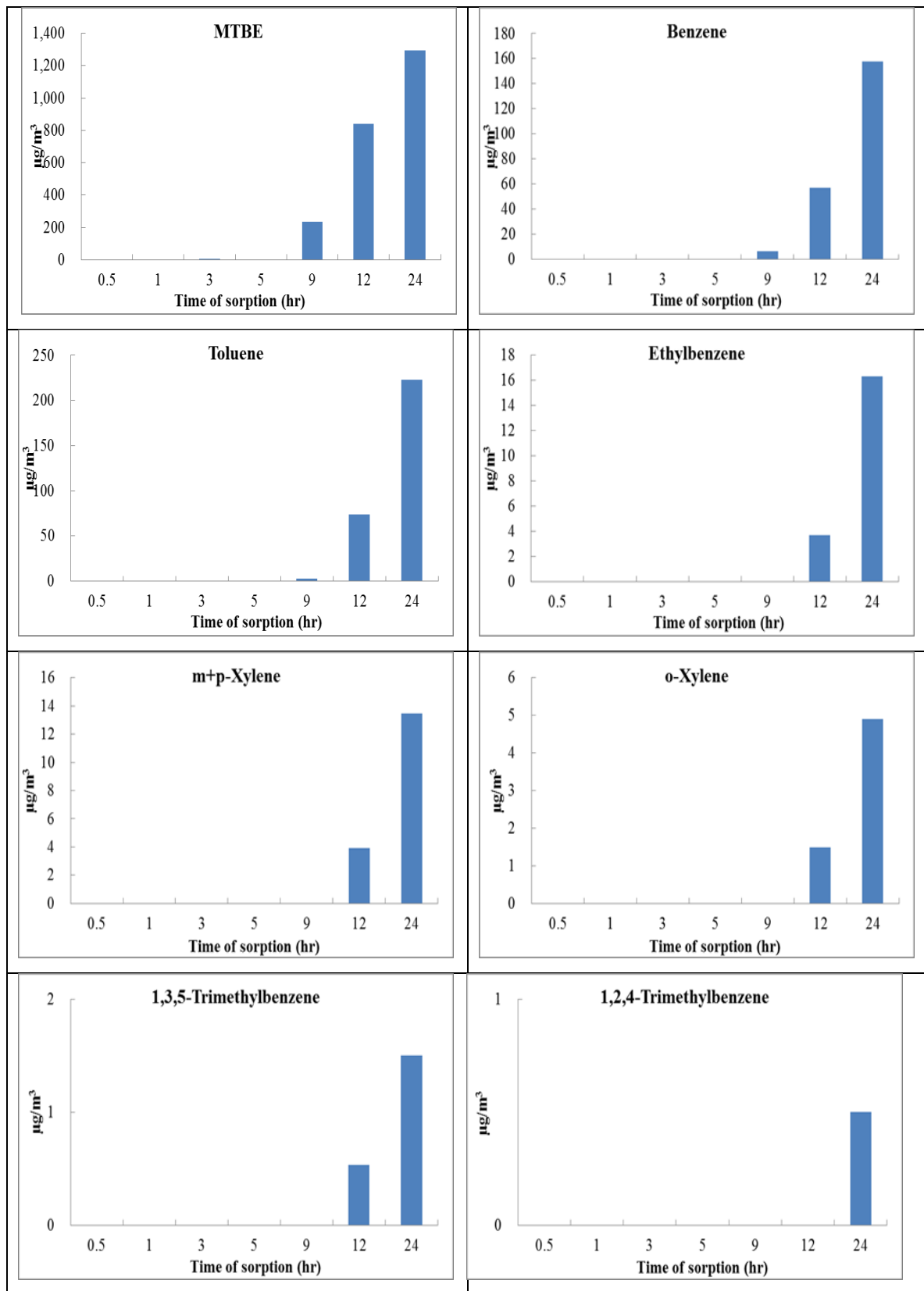


圖 4-16 ULTRA sampler sorbe[®]於剛洩漏之情境下進行吸附24小時之結果

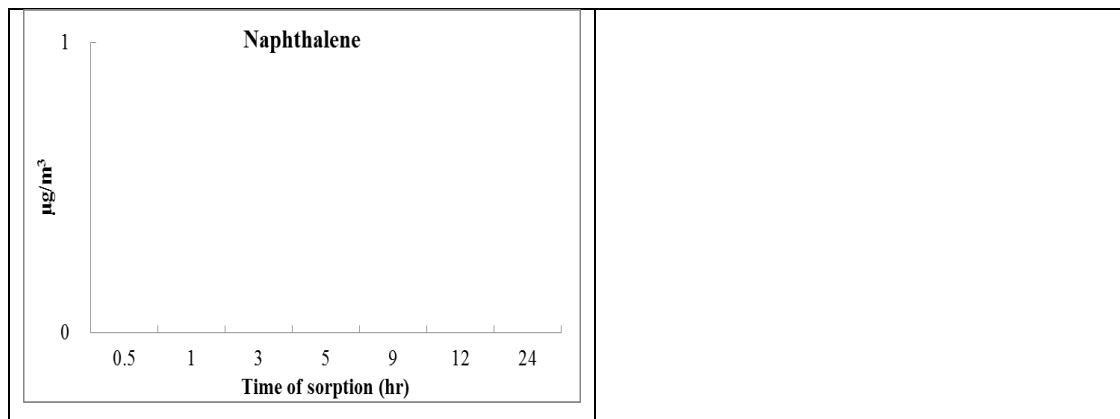


圖 4-16 (續)

將ULTRA sampler sorbe[®]懸吊於模擬汽油洩漏已擴散後之土壤環境中，進行吸附24小時內的結果如圖4-17所示，ULTRA sampler sorbe[®]進行吸附洩漏並擴散後之汽油油氣情境與剛洩漏之情境時類似，但目標化合物的濃度於第12小時候才有明顯上升，然後再隨著時間增加而逐漸增加。目標化合物於吸附24小時候達到最大濃度，MTBE濃度為699 µg/m³、Benzene為58 µg/m³、Toluene為115 µg/m³、Ethylbenzene為7 µg/m³、m+p-Xylene為8 µg/m³、o-Xylene為3 µg/m³、1,3,5-Trimethylbenzene為0.5 µg/m³及1,2,4-Trimethylbenzene為0.3 µg/m³，而吸附24小時後Naphthalene的濃度仍低於偵測極限。結果發現當汽油洩漏於土壤中擴散後再揮發至空氣中時，在24小時內ULTRA sampler sorbe[®]對MTBE、Benzene、Toluene、Ethylbenzene、m+p-Xylene、o-Xylene、1,3,5-Trimethylbenzene及1,2,4-Trimethylbenzene可達到吸附之最大量，但其化合物之間的濃度差異較大，可見此種吸附材質對於MTBE、Benzene及Toluene吸附能力較其他目標化合物佳。

綜合兩種模擬環境的ULTRA sampler sorbe[®]吸附量變化，可發現ULTRA sampler sorbe[®]對於目標化合物以MTBE、Benzene及Toluene的吸附能力較佳，依據試驗結果，需再進一步拉大時間期程以再了解最佳化吸附時間。

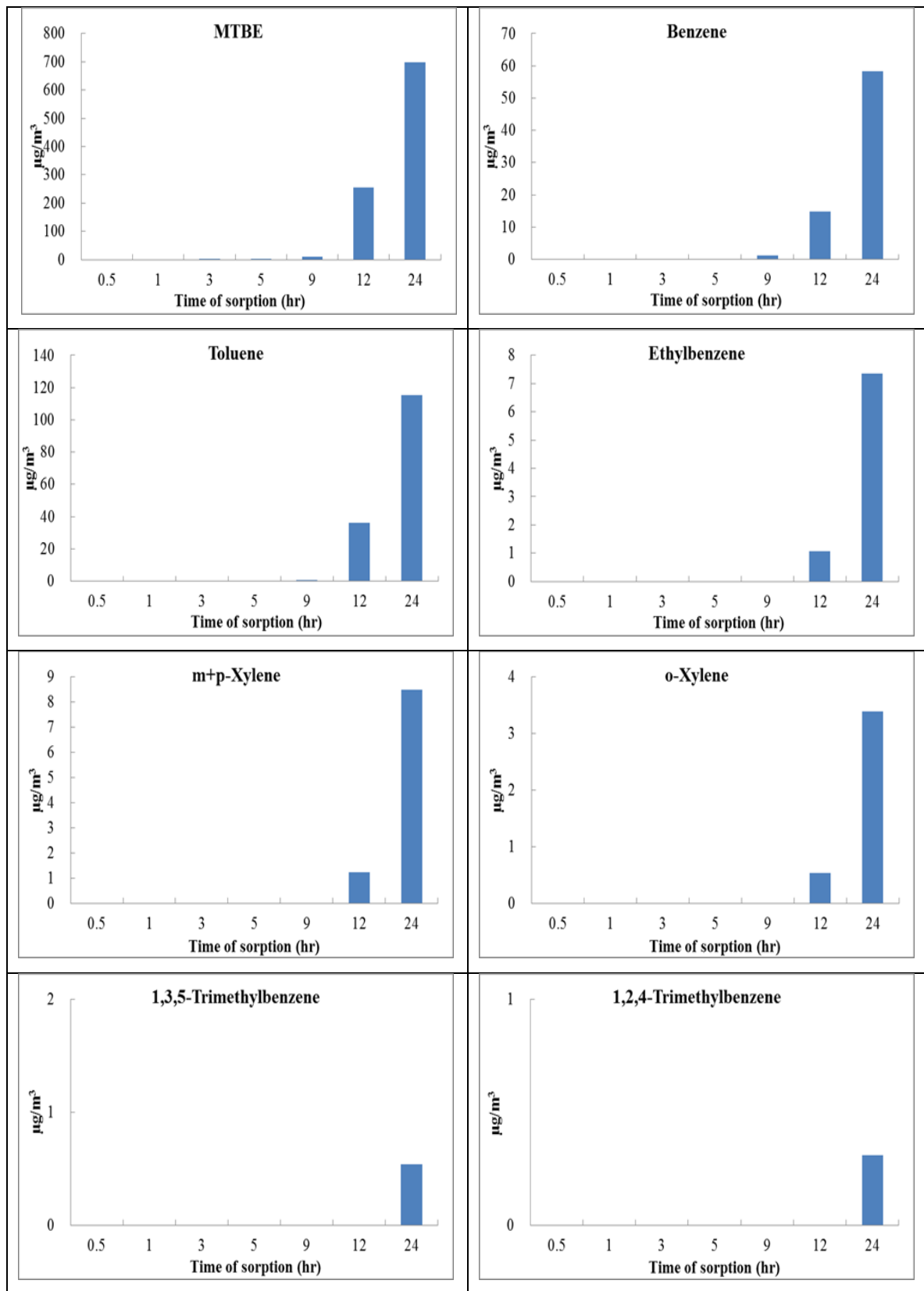


圖 4-17 ULTRA sampler sorbe[®]於洩漏擴散後之情境下進行吸附24小時之結果

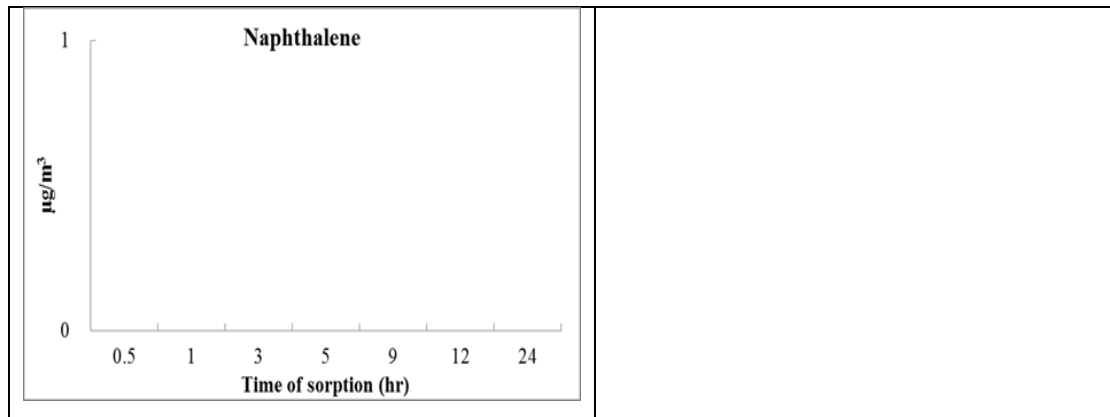


圖 4-17 (續)

依據上述實驗結果，本實驗以相同條件延長吸附時間，以達更精確了解本材質能進行最大吸附量與最佳吸附時間。

實驗以ULTRA sampler sorbe[®]懸吊於模擬剛洩漏之土壤環境中，進行吸附120小時內的結果如圖4-18所示，ULTRA sampler sorbe[®]吸附剛洩漏汽油油氣之目標化合物濃度隨時間增加而上升，直到第72小時達到最大吸附濃度後開始減少，目標化合物吸附72小時之MTBE濃度為783 µg/m³、Benzene為103 µg/m³、Toluene為219 µg/m³、Ethylbenzene為38.9 µg/m³、m+p-Xylene為40.3 µg/m³、o-Xylene 為 26.7 µg/m³、1,3,5-Trimethylbenzene 為 1.69 µg/m³ 及 1,2,4-Trimethylbenzene為3.93 µg/m³，而Naphthalene在120小時內的吸附量皆低於偵測極限(0.005 µg/m³)，依照此試驗結果觀察ULTRA sampler sorbe[®]對Naphthalene的吸附性較低，造成不易觀察其吸附性。

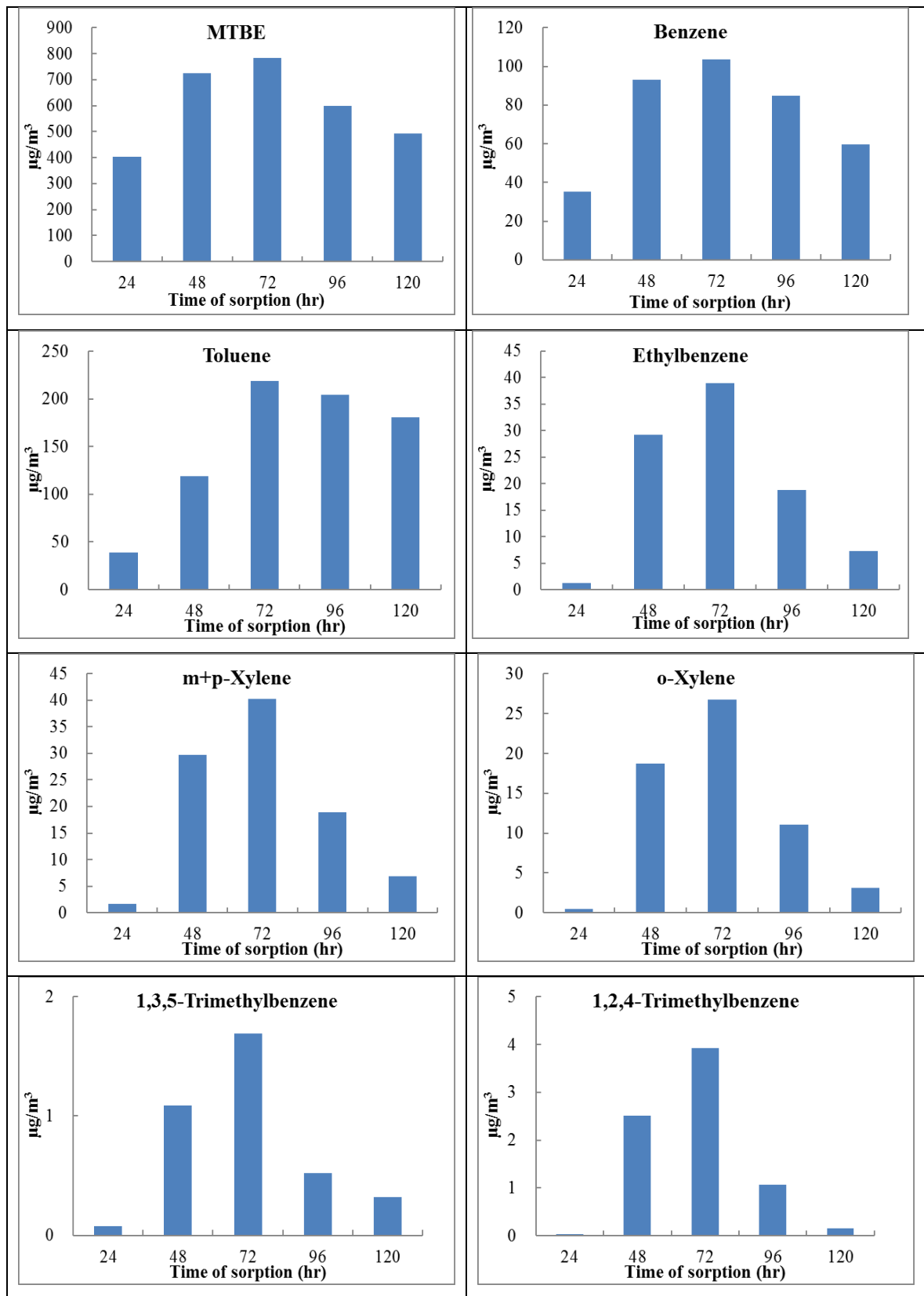


圖 4-18 ULTRA sampler sorbe®於剛洩漏之情境吸附時間120小時之結果

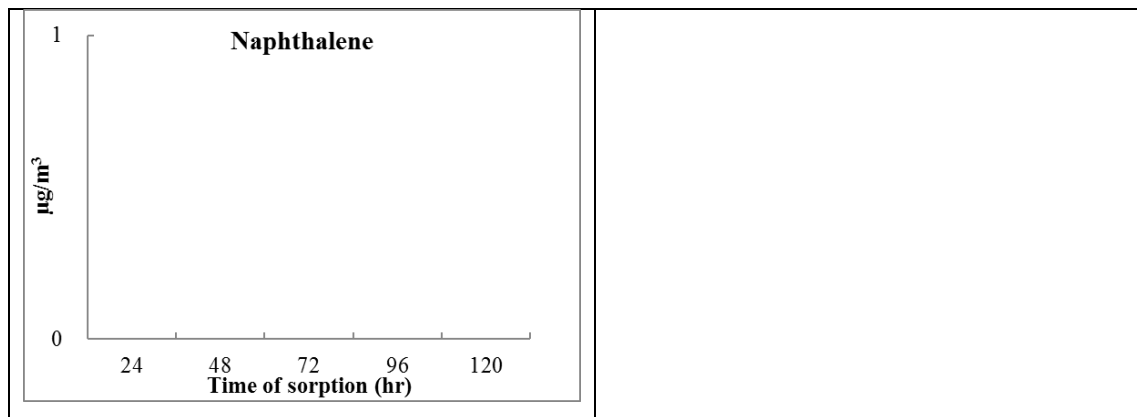


圖 4-18 (續)

另一實驗以ULTRA sampler sorbe[®]懸吊於模擬洩漏擴散之土壤環境中，進行吸附120小時內的結果如圖4-19所示，ULTRA sampler sorbe[®]吸附情境與剛洩漏之情應相仿。目標化合物皆於第72小時達到最大濃度後開始下降，目標化合物於72小時MTBE濃度為691 µg/m³、Benzene為92.5 µg/m³、Toluene為237 µg/m³、Ethylbenzene為51.9 µg/m³、m+p-Xylene為53.7 µg/m³、o-Xylene為37.8 µg/m³、1,3,5-Trimethylbenzene為2.42 µg/m³及1,2,4-Trimethylbenzene為5.56 µg/m³，而吸附時間到120小時後Naphthalene濃度仍然低於偵測極限(0.005 µg/m³)。

綜合以上實驗，可以探討在使用ULTRA sampler sorbe[®]時最大吸附濃度的時間為72小時，所以若應用於實場中進行吸附，應以72小時為限，方能達到最佳吸附效果，使氣體監測井數據能反映污染現狀。

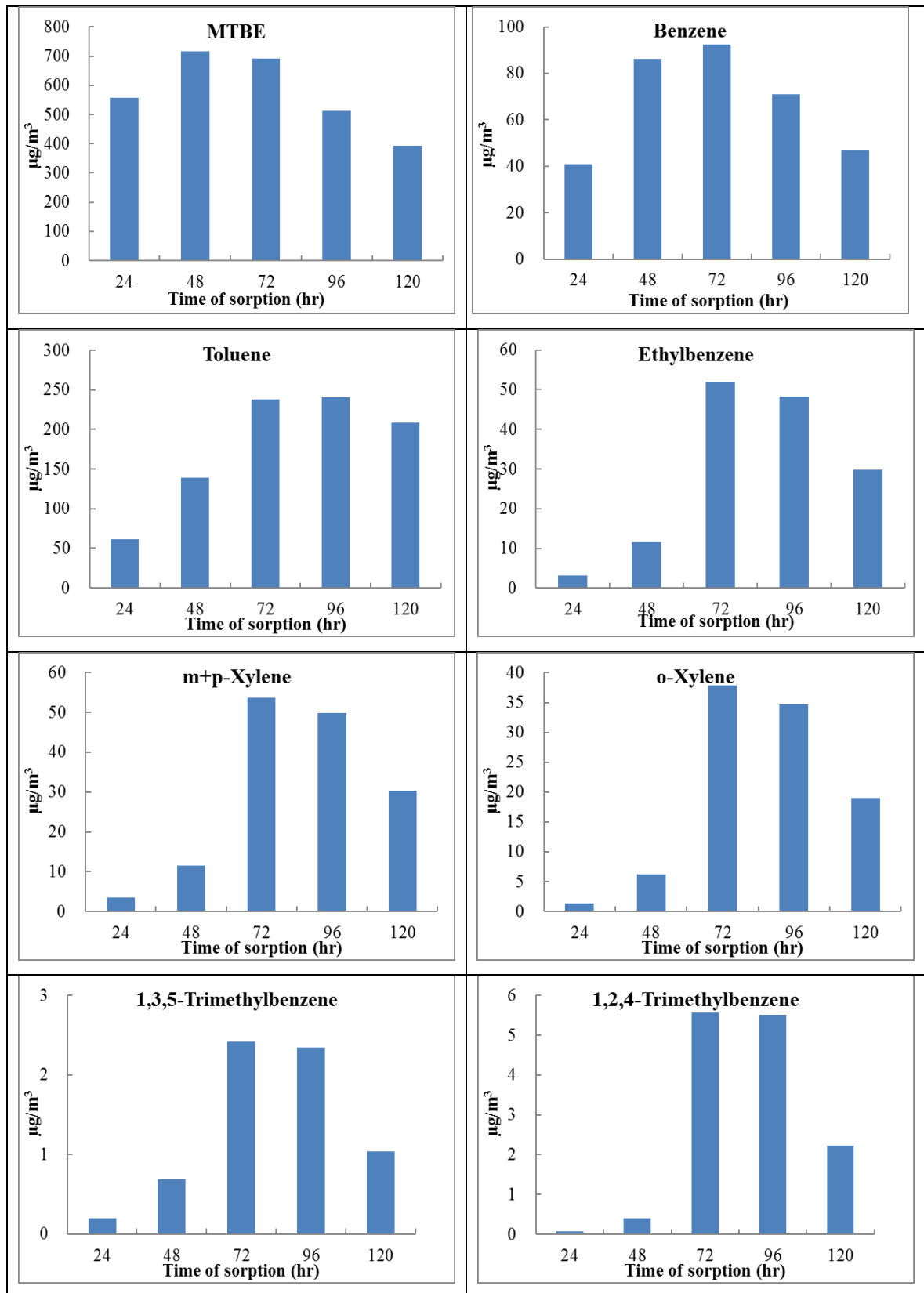


圖4-19 ULTRA sampler sorbe[®]於洩漏擴散情境之吸附時間120小時之結果

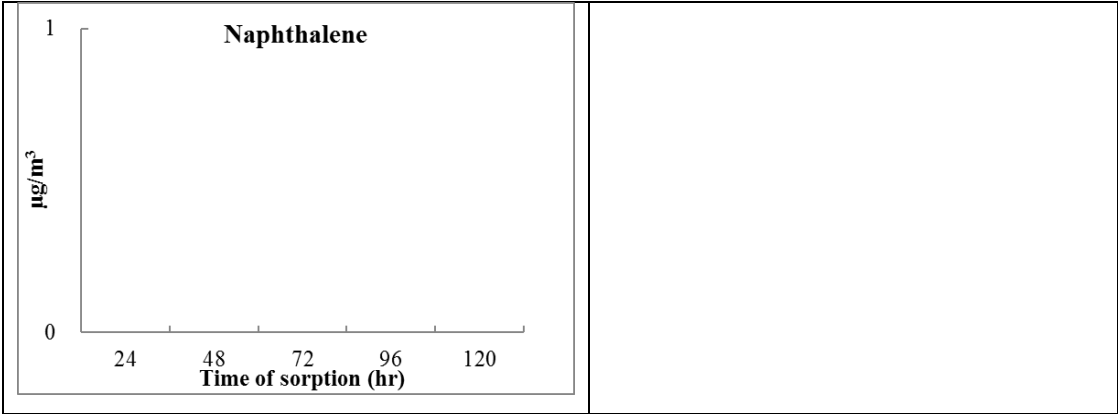


圖 4-19 (續)

4.4 加油站實場驗證

本計畫選取加油站進行測試各種吸附管效能，加油站選址優先考量具污染及洩漏潛勢，但尚未被公告為控制場址者，如第三章所述，經過冗長篩選過程中進入加油站測試共有4站，本研究總共於A、B、C、D四個汽油污染場址進行測採樣測試，分別於於2016年6月23日於台灣南部A站進行為期5天之試驗；2016年7月14日於台灣北部B及C站進行為期5天之試驗；2016年10月20日於南部D站進行為期5天之實場試驗。

加油站首先進行測漏管之位置調查，然後以 PID 及 FID 進行污染物濃度測定作業，決定 5 處測出讀值最高為測試點，再以抽氣馬達抽取試樣點之空氣進行 TOF/MS 分析，因 TOF-MS 於水氣重之環境易造成真空度上升而導致無法檢測，故先抽取管中氣體存放於 Tedlar[®] Sample Bag(後稱空氣採樣袋)中，再以 TOF-MS 分析袋中氣體並讀取數據，同時亦分樣抽取管中氣體存放於 Tedlar[®] Sample Bag 中以實驗室 GC/MS 分析。

於各站選擇讀值最高的5個採樣點，後續進行吊掛SPME及不同吸附材質至土壤氣體監測井中，懸吊深度約一公尺，依照前階段實驗室測試求得之最適吸附時間，放入SPME於測漏管中進行吸附實驗9小時，當SPME取出後再放入 Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]及ULTRA sampler sorbe[®]進行吸附72小時，分別至土壤氣體監測井收樣，在實驗室進行分析土壤氣體。

4.4.1 場址A

場址A為中油公司南部某地區鄰海之加油站，如圖4-20及4-21所示，此場址污染範圍、深度目前均尚不明確，無法明確知道具體污染現況，該場址鄰近民宅與學校，故有居民與學生使用地下水之風險，使本區污染潛勢形成之健康風險提高。該場址於站方定期查驗結果發現漏油情況，已改善漏油情況，但站方仍持續觀察是否還再次發生洩漏情況。

場址A首先以PID及FID測出各土壤氣體監測井土壤氣體讀值，經研判後決定使用土壤氣體監測井編號P1、P4、A4、A7與A9共5個點，如圖4-22，進行後續實場研究。該場址之土壤氣體監測井深度約在130~300公分左右，各土壤氣體監測井以FID測出最大測值為930 ppmv，其基本監測數據如表4-5所示。



圖 4-20 中油公司南部場址 A



圖 4-21 中油公司南部場址 A

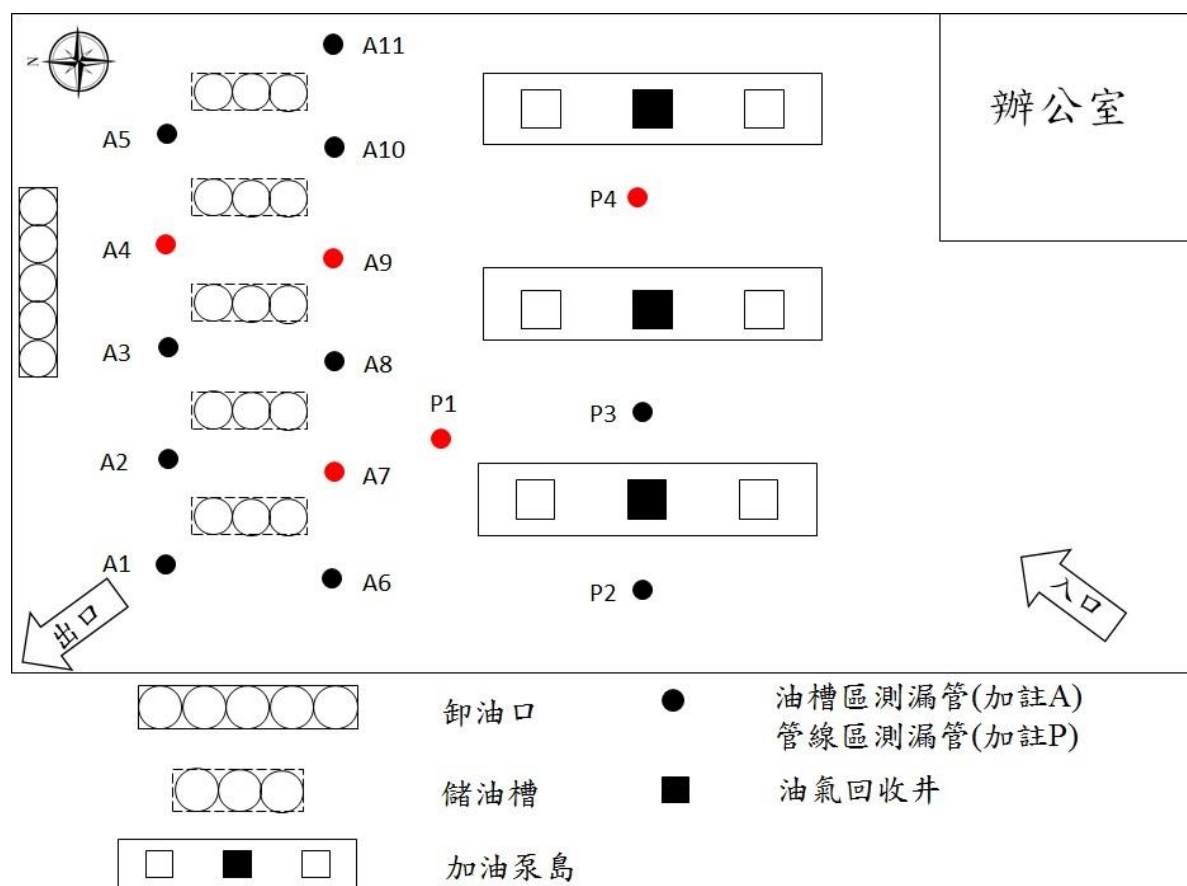


表 4-5 場址A之基本監測數據

測漏管 編號	PID (ppmv)	FID (ppmv)	土壤氣體監測 井井深 (cm)	有效深度 (cm)		濕度(%)		溫度(°C)	
				Day0	Day5	Day0	Day5	Day0	Day5
P4	275	930	139	74.1	80.2	63.2	62.6	31.8	35.1
A7	213	787	256	90.7	95.6	76.1	58.7	36.2	42.3
A4	114	730	255	91.7	97.1	70.4	65.8	34.4	35.4
P1	30.0	81.0	168	67.9	72.7	72.1	56.3	37.5	44.1
A9	31.2	22.0	277	88.4	94.3	64.5	54.4	32.4	39.3

以PID及FID測試結果可發現編號P4之土壤氣體監測井洩漏情況最為嚴重，其次則是A7與A4。參考示意圖4-22可發現編號P4位置於第一、二泵島之間，其洩漏來源可能為輸送至第一、二泵島之輸油管有破裂導致油品洩漏。而A4及A9則在第二、三儲油槽之間，是否兩個油槽均有洩漏情形發生或單一油槽發生洩漏必須仰賴後續細密調查。

儀器讀值顯示出土壤氣體監測井A4之值明顯高過於A9，此情形有可能A4較接近污染源，亦或A4點位曾發生漏油情形並且擴散至A9，推斷另一可能為A9並無洩漏，污染來自A4傳輸造成。A7與P1可能推測為輸至第二或第三泵島之輸油管破裂導致儀器讀出測值，亦可能為A7洩漏並擴散至P1，導致P1亦可讀出測值。至於A4與A7是否為同一污染源，則有待土壤及地下水的細密調查藉以釐清。

本研究於實驗室試驗階段已確認出三種吸附材質最佳吸附之時間，其中SPME吸附時間為9小時，而Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]吸附時間則為72小時，故實驗首先以SPME吸附9小時後自測漏管中取出冷藏保存並同時放入Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]進行吸附。

場址A採用之測漏管編號為P1、P4、A4、A7與A9等5個採樣點，使用三種不同吸附材質再加上採集土壤氣體監測井中之氣體於Tedlar[®] Sample Bag中以TOF-MS進行分析，分析結果如表4-6。在測試結果中依據測得目標污染物之種類，可以發現測試之靈敏度為：在Sample Bag中以TOF-MS分析(在表格中標示為TOF-MS) > SPME > Sorbent Tubes Anasorb CSC[®] > Tedlar[®] Sample Bag 經由GC-MS分析(在表格中標示為Tedlar[®] Sample Bag) > ULTRA sampler sorbe[®]。

表 4-6 場址 A 土壤氣體監測井不同分析方式結果

測漏管 編號	分析方式	Target compound (mg/m ³)								
		MTBE	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m+p-Xylene	o-Xylene	1,3,5- Trimethybenzene	1,2,4- Trimethybenzene	Naphthalene
P4	TOF-MS	12.19	0.581	0.621	ND	0.968	ND	ND	ND	ND
	SPME	11.88	ND	0.183	0.210	0.158	0.105	0.179	0.357	0.127
	Tedlar [®] Sample Bag	57.92	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	107.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	16.99	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A7	TOF-MS	3.014	6.579	11.82	ND	16.83	ND	ND	5.622	11.558
	SPME	1.485	ND	0.365	0.526	0.368	4.735	0.715	0.476	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	6.639	0.039	0.091	ND	ND	0.105	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	11.62	ND	ND	ND	ND	0.210	ND	ND	ND
	ULTRA	0.611	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A4	TOF-MS	0.874	0.461	0.694	ND	1.168	0.000	ND	0.151	ND
	SPME	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	0.830	ND	0.046	ND	ND	0.053	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

表 4-6 (續)

測漏管 編號	分析方式	Target compound(mg/m ³)								
		MTBE	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m+p-Xylene	o-Xylene	1,3,5- Trimethybenzene	1,2,4- Trimethybenzene	Naphthalene
P1	TOF-MS	0.406	0.844	2.105	ND	1.683	ND	ND	ND	ND
	SPME	ND	ND	ND	0.158	0.105	ND	0.119	0.179	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	0.786	ND	0.320	0.158	0.316	0.316	0.298	0.476	0.064
	Sorbent Tubes	0.568	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	0.087	<MDL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A9	TOF-MS	0.214	0.144	0.137	ND	0.251	ND	ND	ND	ND
	SPME	ND	ND	<MDL	ND	ND	ND	ND	ND	0.127
	Tedlar [®] Sample Bag	1.179	ND	<MDL	ND	ND	0.105	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	2.021	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	0.087	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

若單純比較吸附材質優劣，從數據中可以發現SPME較能吸附土壤中微量氣體，而Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]則只能夠吸附到MTBE。數據上顯示，Sorbent Tubes能夠吸附量均大於ULTRA，但是以兩種材質之內容物比較，Sorbent Tubes吸附劑內容物為100 mg之活性碳，而ULTRA吸附劑為500 mg之木炭，若單純以吸附劑內含量比較ULTRA吸附之濃度應大於Sorbent Tubes，但實場數據呈現則不然，值得探討ULTRA效果是否較差。

比較各種分析方式，所有數據中濃度呈現最為明顯之化合物為MTBE，推測可能原因為MTBE在汽油中重量百分比較大，且MTBE之蒸氣壓較大較容易從土壤中揮發，導致檢測值較高。由表4-6中可發現MTBE濃度在5種測試方法之濃度高低為P4>A7>A4>P1>A9，同時發現將此數據對比表4-5中P4的PID讀值最大，A7的PID讀值其次，A4的PID讀值又再其次，為類似之高低趨勢。

TOF-MS由於其靈敏度高，一般可於現場偵測多種化合物，且對於化合物具甄別性，在現場即時監測可提供完整之資訊，但其缺點為靈敏度過高，容易受環境中介質干擾，同時檢測時需要常進行除污，儀器成本費用昂貴，非一般加油站業者可自行負擔。評估不同材質吸附管，SPME可吸附多種化合物，顯示其極佳之吸附特性，特別是當其他吸附材質僅吸附少數幾種化合物時，SPME提供較佳之效能。

4.4.2 場址B

本計畫場址B為北部地區某交流道旁之台塑公司加油站，如圖4-23所示。該場址B在發現污染後已陸續進行污染改善工程，因此先前土壤採樣檢測結果中發現總石油碳氫化合物(TPH)值為145 mg/kg，已低於TPH標準1000 mg/kg。

因為場址B在先前報告中檢測出污染濃度並不高，地下水流向為由西北向東南流向，故開始以PID與FID檢測土壤氣體監測井有無油氣存在時，數據皆相當低，PID檢測之讀值皆為0 ppmv，而FID檢測之讀值則皆小於5 ppmv，因手持式儀器檢測不到漏油點，故從先前報告中得知污染位置大約位置，並且採用其可能洩漏之位置，最終決定用土壤氣體監測井編號P14、P15、A10、A5與A6進行實驗，如圖4-24所示，該場址之土壤氣體監測井深度大約為200~300公分左右，基礎數據如表4-7所示。

場址B採用之土壤氣體監測井編號為P14、P15、A10、A5與A6等5個採樣點，使用TOF-MS與三種不同吸附材質，再加上採集土壤氣體監測井中之氣體於Tedlar® Sample Bag中再使用儀器進行分析，分析結果如表4-8所示。回顧場址A中TOF-MS能夠檢測出目標污染物種類較多且偵測濃度最高，但在場址B中以SPME檢測出目標污染物種類較多，且濃度為最高，推測可能原因為SPME為超微量萃取之技術，因此能夠吸附土壤氣體中微量污染物並濃縮，SPME可吸附多種化合物，顯示其極佳之吸附特性，因此檢測污染物種類多，特別是當其他吸附材質僅吸附少數幾種化合物時，SPME提供較佳之效能。至於TOF-MS有時會受土壤水氣及其他干擾因子影響，可能在場址B干擾因子較多。

依檢測結果所示，編號 A10 所測出濃度最高，其次為 P14 及 P15，其過去洩漏已發生一段時間因此相對土壤氣體中目標污染物濃度較低，在場址 B 中，Sorbent Tubes Anasorb CSC®與 ULTRA sampler sorbe®無法檢測出土壤氣體，這也凸顯當土壤氣體監測井污染物濃度很低時此兩種吸附管可能有其限制性，因此吸附管的應用對老舊汽油洩漏場址及整治中汽油洩漏場址可能有其侷限性。



台塑公司北部場址B (1)



台塑公司北部場址B (2)

圖4-23 台塑公司北部場址B

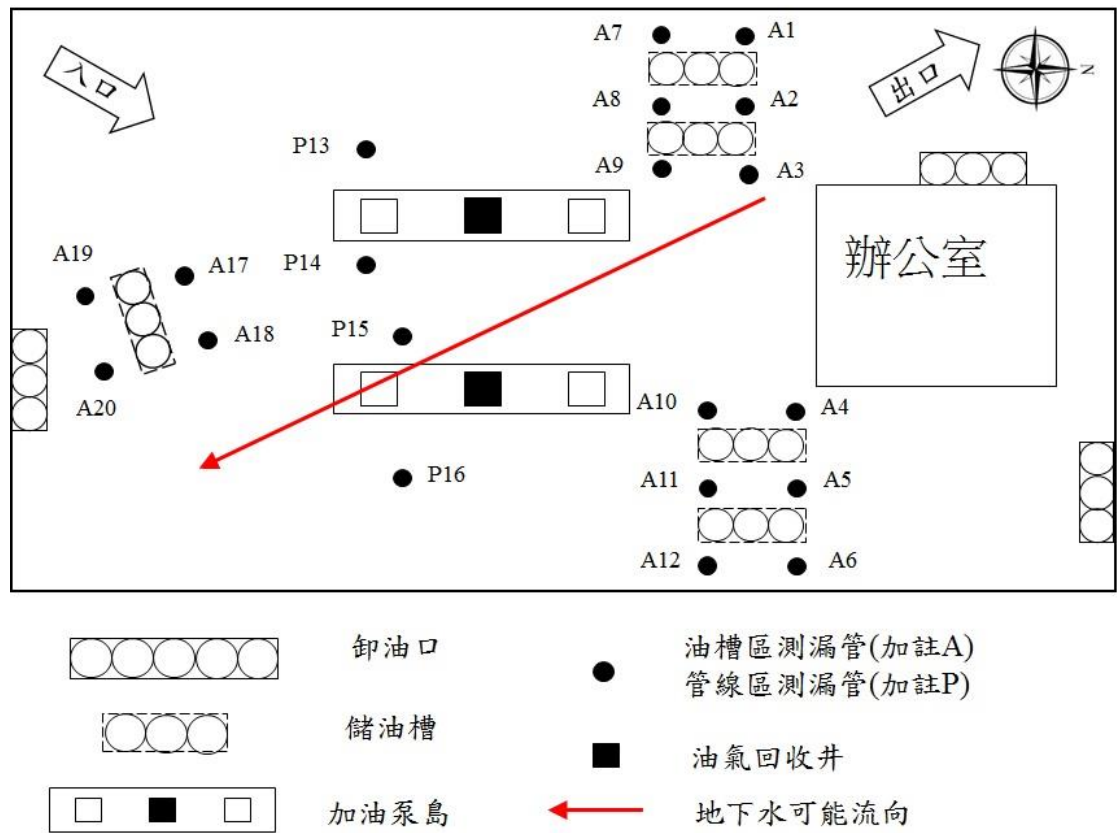


圖4-24 台塑公司北部場址B示意圖

表 4-7 場址B之基本監測數據

測漏管編號	PID (ppmv)	FID (ppmv)	土壤氣體 監測井 井深 (cm)	有效深度 (cm)		濕度(%)		溫度(°C)	
				Day0	Day5	Day0	Day5	Day0	Day5
P14	0	<5	196	196	196	52.0	51.4	31.0	28.6
P15	0	<5	207	197	197	68.1	51.6	31.1	30.0
A10	0	<5	312	224	303	58.0	44.9	33.5	32.4
A5	0	<5	310	275	282	36.7	31.2	37.9	39.8
A6	0	<5	312	275	292	37.1	24.7	44.2	44.2

表 4-8 場址 B 土壤氣體監測井不同分析方式結果

測漏管 編號	分析項目	Target compound(mg/m ³)								
		MTBE	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m+p-Xylene	o-Xylene	1,3,5- Trimethybenzene	1,2,4- Trimethybenzene	Naphthalene
P14	TOF-MS	ND	0.05	0.33	ND	0.07	ND	ND	ND	ND
	SPME	0.74	ND	1.19	0.53	0.89	0.68	0.6	0.71	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	<MDL	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
P15	TOF-MS	0.01	0.07	0.66	ND	0.07	ND	ND	ND	ND
	SPME	0.44	ND	1.28	0.42	0.74	0.53	0.42	0.54	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	2.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A10	TOF-MS	0.00	0.05	0.31	ND	0.05	ND	ND	ND	ND
	SPME	0.79	0.15	2.05	0.95	1.95	1.53	0.77	1.61	0.13
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	<MDL	ND	<MDL	<MDL	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

表 4-8 (續)

測漏管 編號	分析項目	Target compound(mg/m ³)								
		MTBE	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m+p-Xylene	o-Xylene	1,3,5- Trimethybenzene	1,2,4- Trimethybenzene	Naphthalene
A5	TOF-MS	ND	0.05	0.31	ND	0.05	ND	ND	ND	ND
	SPME	ND	<MDL	1.00	0.53	0.37	0.26	ND	0.24	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	0.09	0.11	0.05	ND	ND	0.12	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A6	TOF-MS	0.01	0.05	0.25	ND	0.07	ND	ND	0.05	ND
	SPME	ND	ND	0.37	0.21	0.37	0.37	0.42	0.54	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	<MDL	ND	<MDL	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

4.4.3 場址C

本計畫場址C為台塑公司北部某地區鄰近民宅與大樓住宅旁之加油站，如圖4-25所示。經既有經營者調查報告顯示污染深度約介於2~7公尺，TPH濃度測值為1577~7900 mg/kg，超過土壤污染管制標準(1000 mg/kg)。

該站地下水流向為東向西流，由於場址C在本計畫進行實場驗證時已開始進行整治，在圖4-26中顯示P17、P18及P19等土壤氣體監測井位在污染源熱區區域中，但該區域已進行開挖，故只能沿地下水流向選擇土壤氣體監測井進行測試，而現場因有許多大型機具進出，同時器具置於土壤氣體監測井孔蓋上方造成許多土壤氣體監測井無法開啟進行試驗，最後在有限並且可開啟的土壤氣體監測井中選出T1、T2、T3、T4、P16共5個點，這5個點使用手持式PID、FID測出最高濃度為412 ppmv，監測數據如表4-9所示。在表4-9中土壤氣體監測井編號T3第五天並無數據表示，因為該土壤氣體監測井孔蓋遭大型機具壓壞導致無法開啟。

在場址C中僅TOF-MS可偵測出土壤氣體，分析結果如表4-10所示。三種吸附材質如SPME、Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]均無法有目標污染物吸附而有監測測值，測試期間場址C正在進行整治作業，必須考量如安全性及實驗器材之使用與維護，在表4-10中可以發現採樣點T4及P16並無呈現SPME之數據，因為SPME fiber比起其他材質較為昂貴，並且採樣點之位置在機具路徑，基於考量沒有將SPME放入測漏管中進行土壤氣體吸附。而編號T3則是遭大型機具行經時壓實導致無法旋開，故資料無法呈現Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]之數據。

由本站之經驗得知在積極整治的加油站中，吸附管的應用可能較不具成效，因為吸附管本身已多不具功能性，其涉及目標污染物存在的土壤氣體可能已因開挖或整治工法而大量逸散，或揮發性有機污染物已因整治工法如(SVE或AS)而被移除，未來也許可思考只在一般正常營運及剛開始進行整治之汽油洩漏場址使用，以評估吸附管之現場效能。



台塑公司北部場址C (1)



台塑公司北部場址C (2)

圖4-25 台塑公司北部場址C

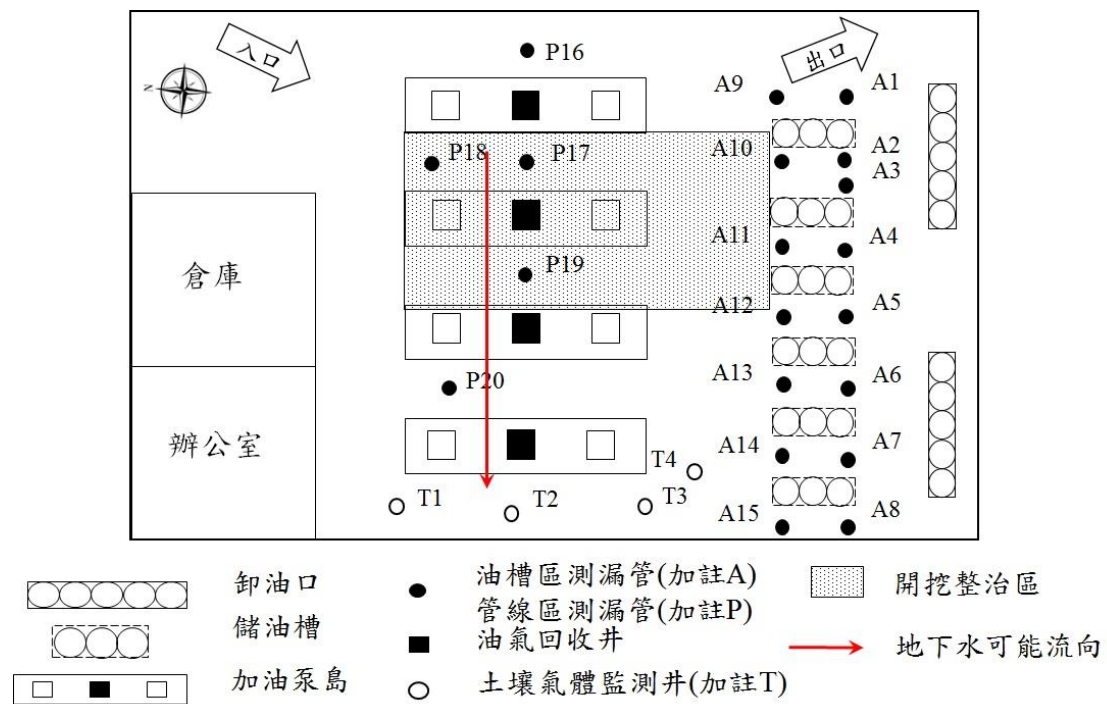


圖4-26 台塑公司北部場址C示意圖

表 4-9 場址C之基本監測數據

測漏管 編號	PID (ppmv)	FID (ppmv)	測漏管 井深 (cm)	有效深度 (cm)		濕度(%)		溫度(°C)	
				Day0	Day5	Day0	Day5	Day0	Day5
T1	64.50	253.0	779.0	382.0	400.0	29.00	39.00	43.10	36.10
T2	77.00	412.0	790.0	390.0	410.0	32.00	40.00	42.20	35.90
T3	0.900	11.90	700.0	385.0	-	30.00	-	45.10	-
T4	0.000	0.840	1077	385.0	415.0	42.00	35.00	42.10	37.40
P16	2.500	16.62	1220	315.0	332.0	32.00	39.00	40.20	35.80

表 4-10 場址C土壤氣體監測井不同分析方式結果

測漏管 編號	分析項目	Target compound (mg/m ³)								
		MTBE	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m+p-Xylene	o-Xylene	1,3,5- Trimethybenzene	1,2,4- Trimethybenzene	Naphthalene
T1	TOF-MS	2.96	14.28	89.48	0.00	15.94	0.00	0.00	15.31	15.81
	SPME	ND	<MDL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T2	TOF-MS	1.19	2.49	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.71
	SPME	ND	<MDL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
T3	TOF-MS	0.00	0.03	0.04	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
	SPME	ND	<MDL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ULTRA	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 4-10 (續)

測漏管 編號	分析項目	Target compound (mg/m ³)								
		MTBE	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m+p-Xylene	o-Xylene	1,3,5- Trimethybenzene	1,2,4- Trimethybenzene	Naphthalene
T4	TOF-MS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SPME	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
P16	TOF-MS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SPME	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

4.4.4 場址D

本計畫場址D為中油公司南部某地區鄰近國小及民宅之加油站，如圖4-27所示。此地場址污染範圍、深度目前均不明確，無法明確得知具體污染樣態，該場址因鄰近住宅區及學校，並且場址旁即有民眾抽取地下水澆溉蔬果，故使本區之污染形成之健康風險提高。該場址於站方定期查驗中發現漏油情況，已進行土壤氣體抽除法 (Soil Vapor Extraction, SVE) 進行整治，並且持續觀察是否存在洩漏情況。

本場址共有13處土壤氣體監測井，首先均以PID及FID進行土壤氣體監測井土壤氣體讀值篩測，經檢測後決定使用土壤氣體監測井編號A1、A2、A3、A4、P4共五個點，如圖4-28，進行後續實場研究。該場址之土壤氣體監測井深度約在366~398公分左右，各土壤氣體監測井以FID測出最大值為3043 ppmv，其基本監測數據如表4-10所示。



中油公司南部場址 D(1)



中油公司南部場址 D(1)

圖 4-27 中油公司南部場址 D

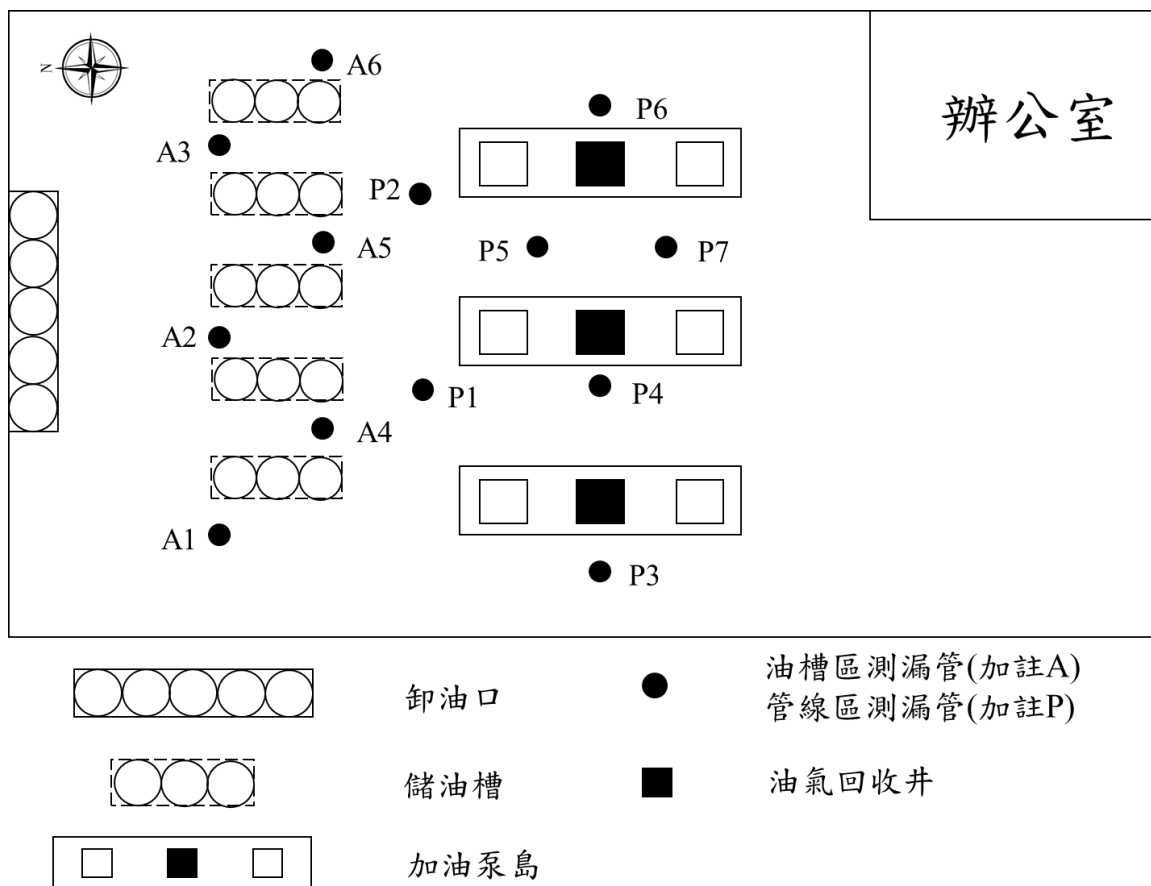


圖 4-28 中油公司南部場址 D 示意圖

表 4-11 場址 D 之基本監測數據

測漏管 編號	PID(ppmv)	FID (ppmv)	監測井深 (cm)	有效深度(cm)		濕度(%)		溫度(°C)	
				Day0	Day5	Day0	Day5	Day0	Day5
A1	0.000	7.180	398.0	62.0	67.0	45.20	48.30	27.60	29.50
A2	85.00	3043	382.0	75.0	77.0	51.60	57.50	28.10	30.00
A3	0.000	<5	392.5	73.0	79.0	36.70	41.20	27.30	28.80
A4	0.000	<5	376	71.0	80.0	35.00	42.00	28.50	30.30
P4	3.200	634.0	366	74.0	76.0	37.10	39.00	28.60	27.80

在場址 D 採用之土壤氣體採樣監測井編號為 A1、A2、A3、A4 及 P4 等 5 個採樣點，使用 TOF-MS、三種不同吸附材質及 Tedlar® Sample Bag 中再使用儀器進行分析，分析結果如表 4-12。在先前基本監測資料中可發現監測數據最高為編號 A2，其次則為編號 P4 在次則為 A1。據加油站方表示，在自行檢測中有檢測出編號 A2 有發生洩漏情形，所以在實驗進行前測時於編號 A2 測得讀值是正常的，並且由於加油站東邊為一座小丘陵故地下水流向最有可能為東向西流，而在編號 A1 測得讀值小於編號 A2 是可能發生的。

而 P4 點則可能是輸油管線有洩漏，而可測得讀值。根據表 4-12 所示在土壤氣體監測井中 SPME 能夠吸附到污染物，而 Sorbent Tubes Anasorb CSC®與 ULTRA sampler sorbe®則無法吸附到。依照數據可發現在編號 A2 處確實存在洩漏情形，而在前面也有提到編號 A1 能測得污染值，可能為編號 A2 隨地下水流向而擴散，在 TOF-MS 及 SPME 分析之數據可證明此推論之可信度。而編號 P4 根據表 4-12 亦能發現確實存在洩漏情形，但是洩漏情況可能剛洩漏或是漏油的量非常微量所以濃度並不高。

表 4-12 場址 D 土壤氣體監測井不同分析方式結果

測漏管 編號	分析項目	Target compound(mg/m ³)								
		MTBE	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m+p-Xylene	o-Xylene	1,3,5- Trimethybenzene	1,2,4- Trimethybenzene	Naphthalene
A1	TOF-MS	ND	0.22	0.30	ND	0.40	0.37	ND	0.30	ND
	SPME	1.75	0.13	1.92	0.70	1.31	1.14	0.39	0.79	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	0.48	0.44	ND	ND	ND	4.67
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.53
A2	TOF-MS	6.88	15.74	22.97	ND	12.65	ND	ND	17.69	19.72
	SPME	ND	0.19	1.75	1.09	2.23	2.27	1.00	4.11	0.26
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.97
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.40
A3	TOF-MS	ND	0.05	0.05	ND	0.07	0.08	ND	ND	ND
	SPME	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

表 4-12 (續)

測漏管 編號	分析項目	Target compound(mg/m ³)								
		MTBE	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m+p-Xylene	o-Xylene	1,3,5- Trimethybenzene	1,2,4- Trimethybenzene	Naphthalene
A4	TOF-MS	0.00	0.12	0.14	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	SPME	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
P4	TOF-MS	ND	0.27	3.19	ND	5.00	5.14	ND	0.19	ND
	SPME	1.05	ND	0.26	0.17	0.13	0.13	0.13	0.22	0.09
	Tedlar [®] Sample Bag	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Sorbent Tubes	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.96
	ULTRA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

4.5 綜合評析

綜合本計畫所獲得實驗室及加油站污染場址實測經驗，在第一階段規劃實驗室試驗，所進行SPME、Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]三種吸附材質之吸附與脫附條件測試，得出各項材質最佳吸附時間，與脫附溫度，各種分析費用如表4-11彙整所示。實驗室測試顯示SPME適用最佳吸附時間為9小時，最佳脫附條件為在200°C下脫附0.5min，而Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]最佳吸附時間均為72小時，最佳脫附條件則是150°C，進行平衡頂空裝置的前處理流程可達到最佳脫附效果。

第二階段加油站實場試驗中，以手持式PID與FID進行土壤氣體監測井篩測，然後以TOF-MS進行土壤氣體分析，再進行各種吸附材質吸附效能試驗。雖然TOF-MS靈敏度很高，可辨識土壤氣體監測井中多種氣體，但由於TOF-MS只要有水氣，就會受到干擾，就不能進行分析，受場地限制較大，所以在操作上較無法便捷，同時儀器費用昂貴，因此不建議加油站業者使用，但對於整治業者現場污染情況及污染範圍之研判，可提供較完整資訊。

在加油站進行吸附材質吸附試驗中，SPME於實場試驗中，大多的測試點都能夠檢測出污染物，尤其是MTBE是最容易檢測到的目標化合物，而Sorbent Tubes則只有檢測到MTBE，但其含量均遠大於SPME之吸附量，在四個污染場址之檢測數據較低。SPME在實驗過程因吸附時間較短，相較於另兩種材質能夠更快速得到數據，得知該測點有無油品VOC污染情況，但因為其塗層表面積關係，無法正確得知該地污染嚴重程度，同時SPME雖然可重複使用但單價較高；而Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]則為三種材質裡吸附性能最佳之材質，其能夠吸附VOC量亦為最多；而ULTRA sampler sorbe[®]雖然吸附劑含量最多，但ULTRA對土壤氣體VOC之吸附量少於Sorbent Tubes的，並且ULTRA在實驗室測試時均無法檢測出Naphthalene，顯見其對揮發性較低之化合物吸附性較差，故相對而言Sorbent Tubes效益明顯高於ULTRA。

表4-13 各種吸附材質極佳化操作條件及費用

	SPME	Sorbent Tubes Anasorb CSC®	ULTRA sampler sorbe®	Tedlar® Sample Bag	Tedlar® Sample Bag
吸附時間(小時)	9	72	72	立即採樣	立即採樣
脫附條件	200°C, 0.5min	150°C	150°C	NA	NA
吸附管成本	NT 8000/支，進行 除污後可重複使用 多次	NT 38/支，每袋50 支1900元，單次使 用	NT 290/支，每袋2 支580元，單次使 用	—	—
篩測成本	PID、FID 或四用 氣體偵測每點 NT 500	PID、FID 或四用 氣體偵測每點 NT 500	PID、FID 或四用 氣體偵測每點 NT 500	—	—
空氣採樣袋成本	—	—	—	Tedlar® Sample Bag 及TOF/MS 分析 NT 6000	Tedlar® Sample Bag NT 4100
分析成本	GC/MS分析 NT 6000-8000	GC/MS 分析 NT 6000-8000	GC/MS 分析 NT 6000-8000		GC/MS 分析 NT 6000-8000
	實驗室分析	實驗室分析	實驗室分析	現場分析	實驗室分析

Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]在實驗室測試中皆為良好控制條件(如無日照、濕度干擾等)，故測值會相對較高，但在加油站實場測試中，因日照、溫度與測漏管中濕度皆不相同，場址污染現況、水文地質條件及場址是否進行整治等因素，均會影響被動式吸附作用，但其成本較低，可建議業者多使用。就成本考量而言SPME單價較高但可重複使用，根據便利性及經濟效益考量，SPME及Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]是目前建議作為土壤氣體監測井被動式採樣之最佳吸附材質。

綜合以上結果，建議加油站管理者若採行被動式土壤氣體監測方式，可於土壤氣體監測井中懸掛吸附管，吊掛深度需考量土壤氣體監測井深度，避免觸及水面，若是使用SPME須於9小時後收樣，若是使用Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]須於72小時後收樣，將吸附管地送至實驗室進行土壤氣體分析，加油站從業人員只需基礎訓練即可自行操作，加上國內物流業之方便性，所收樣之吸附管可藉快地傳送至分析實驗室，對於偏遠地區之加油站可節省檢驗人員之往返，比較逐一土壤氣體監測井(測漏管)使用測爆器搭配PID或FID偵測，因加油站動輒十個以上土壤氣體監測井(測漏管)，且PID或FID僅提供總濃度，並無法得知污染物種類，因此使用吸附管對站方管理者會較節省時間，且不須儀器操作專業人員，但其缺點為無法立即知道土壤氣體濃度。

第五章、結論與建議

本計畫第一階段規劃實驗室試驗，進行SPME、Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]三種吸附材質之吸附與脫附條件測試，得出該材質最佳吸附時間，與脫附溫度。其中SPME適用最佳吸附時間為9小時，最佳脫附條件為在200°C下脫附0.5min；而Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]最佳吸附時間為72小時，最佳脫附條件則是150°C，進行平衡頂空裝置的前處理流程可達到最佳脫附效果。不論何項材質均有其優缺點，SPME在實驗過程，因吸附時間較短，相較於另兩種材質能夠更快速得到數據，得知該測點有無油氣污染情況，但因為其塗層表面積關係，無法正確得知該地污染嚴重程度；而Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]則為三種材質裡吸附性能最佳之材質，其能夠吸附量亦為最多；而ULTRA sampler sorbe[®]雖然吸附劑含量最多，但ULTRA對土壤氣體VOC之吸附量少於Sorbent Tubes的，並且ULTRA在實驗室測試時均無法檢測出Naphthalene，顯見其對揮發性較低之化合物吸附性較差，故相對而言Sorbent Tubes效益明顯高於ULTRA。

本計畫第二階段加油站實場試驗中，測試之靈敏度為TOF-MS 直接分析> SPME> Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]> Tedlar[®] Sample Bag 經由TOF-MS分析> ULTRA sampler sorbe[®]。由於TOF-MS因為只要有水氣就不能進行分析受場地限制較大，所以在操作上較無法便捷。在進行吸附材質吸附試驗中，SPME於實場試驗中，大多的測試點都能夠檢測出污染物，尤其是MTBE是最容易檢測到的目標化合物，而Sorbent Tubes則只有檢測到MTBE，但其含量均遠大於SPME之吸附量，在三個污染場址之檢測數據較低。

Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]與ULTRA sampler sorbe[®]在實驗室中皆為可控條件(如無日照、濕度干擾等)，故測值會相對較高，加油站實場測試中，因日照、溫度與測漏管中濕度皆不相同，場址污染現況、水文地質條件及場址是否進行整治均會影響被動式吸附作用，但其成本較低，可建議業者多使用。就成本考量而言SPME較貴但可重複使用，根據便利性及經濟效益考量，SPME及Sorbent Tubes Anasorb CSC[®]是目前建議作為土壤氣體監測井被動式採樣之最佳吸附材質。

參考文獻

- 行政院環境保護署 2012，地下儲槽系統土壤氣體監測井中油氣檢測方法，NIEA M203.11C，2012。
- Arthur, C. L., Killam, L. M., Buchholz, K. D., Pawliszyn, J., Berg, J. R., 1992. Automation and optimization of solid-phase microextraction. *Analytical Chemistry*, 64(17), 1960-1966.
- ASTM(American Society for Testing and Materials), 2003. *Standard Practice for Sampling Workplace Atmospheres to Collect Gases or Vapors with Solid Sorbent Diffusive Samplers*, ASTM D 4597-03.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2008. *Standard Practice for Assessment of Vapor Intrusion into Structures on Property Involved in Real Estate Transactions*.
- Brar, S.K., Verma, M.R., Surampalli, Y., Misra, K., Tyagi, R.D., Meunier, N., Blais, J.F., 2006. Bioremediation of hazardous wastes-a review, *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 10, 59-72.
- Chen, C.S., Lai, Y.-W., Tien, C.-J., 2008a. Partitioning of Aromatic and Oxygenated Constituents into Water from Regular and Ethanol-blended Gasolines, *Environmental Pollution*, 156, 988-996.
- Chen, C.S., Lai, Y.-W., Tien, C.-J., 2008b. Partitioning of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons into Water from Biodiesel Fuel Mixtures, *Environmental Chemistry*, 5, 435-444.
- Cheng, W. H., & Lai, C. H., 2014. Sampling gaseous compounds from essential oils evaporation by solid phase microextraction devices. *Atmospheric Environment*, 99, 124-129.
- Connecticut Department of Environmental Protection, 2006. *Guidance for Collecting and Preserving Soil and Sediment Samples for Laboratory Determination of Volatile Organic Compounds*, Hartford, CT.
- Farhadi, K., Mamaghanian, M., Maleki, R., 2008. A sol-gel based solid phase microextraction fiber for analysis of aromatic hydrocarbons, *Journal of Hazardous Materials*, 152, 677-682.

- Hodny, J.W., Whetzel, Jr., J.E., Anderson, H.S., 2009. Quantitative Passive Soil Gas and Air Sampling in Vapor Intrusion Investigations, Proceedings of Vapor Intrusion 2009, Air & Waste Management Association, San Diego, CA; January.
- Interstate Technology Regulatory Council, 2007. *Vapor Intrusion Pathway: A Practical Guideline*.
- Interstate Technology Regulatory Council, 2007 *Vapor Intrusion Pathway: Investigative Approaches for Typical Scenarios*.
- Johnson, P.C., Ettinger, R.A., 1991. Heuristic Model for Predicting the Intrusion Rate of Contaminant Vapors into Buildings, *Environmental Science and Technology*, 25, 1445-1452.
- Li, K., Santilli, A., Goldthorp, M., Whiticar, S., Lambert, P., Fingas, M., 2001. Solvent vapour monitoring in work space by solid phase micro extraction. *Journal of hazardous materials*, 83(1), 83-91.
- Maruya , K.A., Lao, W., Tsukada, D., Diehl, D.W., 2015. A passive sampler based on solid phase microextraction (SPME) for sediment-associated organic pollutants: Comparing freely-dissolved concentration with bioaccumulation, *Chemosphere*, 137, 192-197.
- Matin, A.A., Biparva, P., Gheshlaghi, M., Farhadi, K., Gheshlaghi, A., 2013. Environmental monitoring of complex hydrocarbon mixtures in water and soil samples after solid phase microextraction using PVC/MWCNTs nanocomposite fiber, *Chemosphere*, 93, 1926-1929.
- Nadim, F., Hoag, G.E., Liu, S., Carley, R.J., Zack, P., 2000. Detection and remediation of soil and aquifer systems contaminated with petroleum products: an overview, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 26, 169-178.
- Potter, T.L., and Simmons, K.E., 1998 *Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Volume 1: Analysis of Petroleum Hydrocarbons in Environmental Media*, Amherst Scientific Press, Amherst, MA.
- Robbins, G.A., Deyo, B.G., Temple, M.R., Stuart, J.D., Lacy, M.J., 1990a. Soil gas surveying for subsurface gasoline contamination using total organic vapor detection instruments Part I. theory and laboratory experimentation, *Ground Water Monitoring & Remediation*, 10(3):122-131.

- Robbins, G.A., Deyo, B.G., Temple, M.R., Stuart, J.D., Lacy, M.J., 1990b. Soil gas surveying for subsurface contamination using total organic vapor detection instruments Part II. field experimentation, *Ground Water Monitoring & Remediation*, 10(4):110-117.
- Robbins, G. A., McAninch, B.E., Gavas, F. M., Ellis, P. M., *An Evaluation of Soil Gas Surveying for H₂S for Locating Subsurface Hydrocarbon Contamination*, Ground Water Monitoring Review, Vol. 15, No. 1.
- Marrin, D., Kerfoot, H.B. 1988. Soil Gas Surveying Techniques, *Environmental Science and Technology*, 22, 740-45.
- Squillace, P.J., Zogorski, J.S., Wilber, W.G., Prince, R.C., 1996. Preliminary assessment of the occurrence and possible sources of MTBE in ground water in the United States, *Environmental Science & Technology*. 30, 1721-1730.
- Squillace, P.J., Pankow, J.F., Korte, N.E., Zogorski, J.S., 1997. Review of the environmental behavior and fate of methyl tert-butyl ether. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 16, 1836-1844.
- Stout, S.A., Uhler, A.D., McCarthy, K.J., 2005. Middle distillate fuel fingerprinting using drimane-based bicyclic sesquiterpanes, *Environmental Forensics*, 6:241-251.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), *Determination of VOCs in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes*, Compendium Method TO-17, <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/to-17.pdf>
- United States Environmental Protection Agency, 1998. *Soil Gas Sampling Technology*, W. L. Gore & Associates, Inc., GORESORBER Screening Survey. USEPA Environmental Technology Verification Report, EPA/600/R-98/095, August 1998 -http://www.epa.gov/etv/pdfs/vrvs/01_vr_goresorber.pdf
- United States Environmental Protection Agency, 2007. Underground Storage Tank Program Directory, Office of Solid Waste and Emergency Response, EPA 510-B-07-001, Washington, DC.