

環境化學與微生物類

土壤及地下水污染整治技術認證制度推動 與土水產業發展推動

簡慧貞*、陳以新**、吳雅婷***

摘 要

土壤及地下水污染整治工作的推動，迄今已經超過 20 年，在環保單位與產業共同努力下，已經完成超過 8,000 處場址污染改善工作，訓練與培養出許多專業公司與技術人才，並累積技術實力。隨著國內場址數量逐漸下降，土水產業將面臨更大的競爭。國際市場，特別是土壤及地下水污染預防、管制及整治相關法規仍待建構的東南亞國家，對臺灣土水產業而言是個新的藍海。但要進入國際市場，需要站在技術能力的基礎上，擁有核心技術才是面對國際競爭的致勝關鍵。因此，環保署研擬短、中、長期技術認證制度可行性，提出 3 階段土水技術證明核發制度，逐步推動技術認證事宜，幫助國內產業取得符合進入國際市場需求的實績證明與技術能力證明。同時也透過產業媒合平台的發展，替國內有污染整治需求的場址與優良的廠商進行媒合，以加速國內場址污染改善工作。

短期策略為建立污染場址整治技術應用案例彙編，採專家審查方式，於污染場址完成整治申請解除列管行政程序階段，對整治執行單位的總體執行能力進行綜合評價，包括執行整治過程的工法設計、操作與管理各項工作品質及報告書撰寫品質等內容確認與審核，核給「污染場址完成整治技術證明」，並透過公開資訊平台，將整治歷程與廠商資訊以污染場址整治技術應用案例彙編方式予以揭露，供大眾參考，讓污染行為人可依污染場址特性、預算與時間需求，選擇合適的廠商及整治技術。

中期策略將研訂「土壤及地下水整治技術有效性自我宣告證明作業要點（草案）」，針對國內的技術執行單位、技術擁有者或發明者所持有的技術項目之技術能力與表現，組成專家小組進行評價，並核予有條件之有效性技術自我宣告證明，進而達到提升國內技術品質的目標，屬具官方認可的證明。

而長期策略，將依據國際標準組織發布之 ISO14034「環境技術查證 (Environmental Technology Verification)」，針對技術的表現、創新性、市場性與環境友善程度規範及系統性評估方式，於國內同步推動相關技術規範與審查制度，評估與輔導可行機構，以利未來與國際認證系統銜接，讓國內整治廠商在進行海外市場競爭時，經過臺灣官方與第三公正方認可技術證明。惟國際間 ISO14034 規範與制度尚未完全成熟之際，環保署將優先推動國對國相互技術認證，透過目前「亞太土壤及地下水污染整治工作小組 (ReSAG)」12 個成員國平台及「土壤及地下水污染永續整治技術論壇 (SuRF)」平台 10 個成員國，建立認證機制，從土壤及地下水整治技術出發，未來逐步推及環境領域相關的技術。

【關鍵字】土壤及地下水污染、技術認證、環保技術認證制度、污染場址完成整治技術證明、有效性技術證明、環境技術查證、ISO-ETV、土水產業、技術媒合

* 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會

執行秘書

** 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會

組長

*** 行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會

環境技術師

一、前言

土壤及地下水污染整治法(以下簡稱土污法)施行至 2022 年已有 20 餘年的歷史,近年環保署平均每年花費新臺幣 13 億元資金辦理國內土壤及地下水品質管理工作。在前 15 年的政策推動上,環保署以完善法規與管理制度、地下水污染監測與調查、高污染潛勢場址調查、技術引進與應用、教育宣傳與國際交流為主要的目標,推動一系列調查計畫,對國內各類高污染潛勢產業與潛在受體進行系統性的調查,已完成國內 2.1 萬公頃高污染潛勢農地調查、2,700 家加油站、2,203 家運作中與停止運作工廠調查。同時也針對如工業區、軍事營區、航空站、公有土地等潛在污染類型的場址進行污染調查工作,迄今共計已列管 8,014 處土壤或地下水污染控制或整治場址(土壤及地下水污染整治網(<https://sgw.epa.gov.tw/Public/>)、2021 年 6 月 13 日下載),包含有 6,424 處農地、154 處工廠、137 處加油站、5 處儲槽、19 處非法棄置場址與 36 處其它類場址。

受到土壤及地下水污染的土地被公告為場址後,便立即會面臨土地利用的問題。對農地而言,會因為污染物對農產品的累積風險而限制其種植;對營運中的工廠或加油站,污染改善工作執行將直接或間接影響其營運;換言之,污染場址數量的累積對公私部門在行政與經濟上造成沉重的負擔。因此在近 5 年環保署對於污染場址的政策,更加著重在對污染土地加速解除列管與土地活化的推動,包含土壤資源再利用、已解列農地光電產業發展、污染土地分區解列與褐地再利用等主要行政措施,來活化土地資源的利用,並且從社會公義角度,投入資源辦理國內特定污染土地與污染農地的改善工作,期望可以從加速土地資源活化的角度,在兼顧環境品質的前提下,幫助國內整治產業的發展。

相較於空氣污染、水污染及廢棄物等可以從視覺、嗅覺發現的污染問題,土壤及地下水的污染對於一般民眾或工廠而言,仍然是相對陌生的問題,即使在過去的 20 餘年,國內已經累積許多技術與經驗,建立一套完整而成熟的土壤及地下水污染整治產業鏈,如圖 1 所示。但一般民眾或工廠,一旦面臨土壤及地下水污染問題,仍然常面臨不知如何解決的窘境,或是透過口耳相傳的方式尋商,這使得污染場址整治工作的執行品質良莠不齊,對場址整治工作產生負面影響。

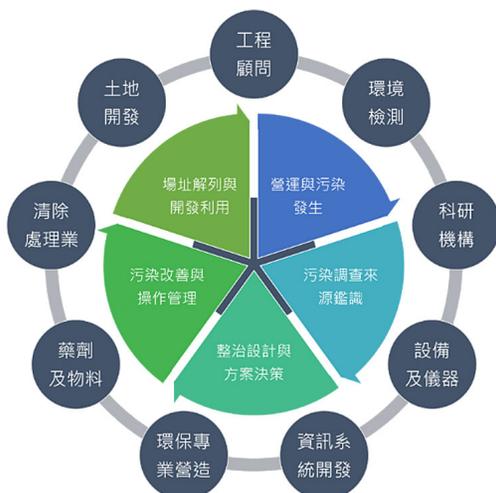


圖 1 臺灣土壤及地下水污染場址生命週期與整治產業鏈

污染整治工作的執行並不僅只是移除污染物，而是必須要在確保整治成效的前提下，同時兼顧公共安全、二次污染防治、對其他利害關係人的影響問題。因此，具有良好的工程技術且執行品質優良的整治廠商便成為污染整治成功與否的重要影響因素。

此外，有別於空、水、廢、毒的管理，需要較高頻率的定期檢測與申報（通常是每季或每半年 1 次），土壤及地下水污染事件的生命週期大多很長，污染場址完成整治後再度發生污染的情形相對較少，屬於一次性的消費市場，當污染場址數量逐漸減少後，技術與經驗很容易產生斷層，對於國內整治產業將造成不利的影響。

經過與國內各領域專家學者及整治產業長期的討論，環保署從技術品質、技術功能、工程管理品質等面向，規劃具有公信力的「認證制度」作為長期推動方向，並透過媒合平台建立，將國內污染整治寶貴經驗與廠商實績、技術適當公開，同時達到產業媒合與技術經驗傳承的目的。透過技術認證，提供國內整治廠商經環保署認可的實績證明與技術證明，幫助國內土水整治產業進入國際市場。

本文從目前臺灣的土壤及地下水管理現況、技術能力與市場現況來分析國內面臨的問題與對於認證制度的需求，並說明環保署規劃之土壤及地下水污染整治認證相關

制度，以及未來的資訊公開方式。期望藉由 3 階段技術認證制度的推動，幫助國內場址尋找優良的整治廠商，同時也幫助國內整治廠商持續提升土壤及地下水污染整治技術能力，並拓展市場上的發展機會。

二、土水整治技術發展現況與產業現況評析

2.1 土壤及地下水污染場址列管概況與趨勢評析

圖 2(a) 為至 2021 年 6 月 13 日為止我國歷年曾列管污染與解除列管的場址數量，在公私部門的共同努力下，已經有 6,775 處控制或整治場址完成污染改善工作解除列管。

不同類型污染場址累積的速度，與環保署當年度推動的主要污染調查目標有關。以農地為例，我國自 1982 年第一次以系統網格法進行全國農地污染潛勢調查污染工作，環保署於 2002 年啟動 319 公頃高污染潛勢農地調查，並於 2010 年~2016 年間起針對污染機會較高的縣市辦理污染調查工作，這使得農地污染場址在 2012 年開始大幅增加。然而，這些列管的污染農地因為食品安全問題而被禁止耕種，對於農民生計造成極大的影響；因此站在維護社會公義的角色，自 2016 年起，環保署啟動一系列污染農地污染整治計畫，幫助農民在短時間內完成污染改善，恢復農地使用 (圖 2(b))，在環保署與地方環保局的共同努力下，總計已完成 6,424 處農地污染改善工作，預計 2022 年將可全數完成，還地於民。

工廠類場址則與運作中工廠與廢棄工廠的調查工作有關，因此場址自 2006 年開始逐年增加，然而工廠類場址的整治場需要兼顧工廠的運作，整治較為困難，除了少數污染範圍與面積較小者，大部分的場址都需要較長的整治時間，隨著我國土壤及地下水污染整治工作的推進，場址解列的數量穩步提升 (圖 2(c))。

加油站場址亦有類似的情況，環保署自 2001 年啟動加油站污染調查工作，從 20 年以上老舊加油站開始盤查，逐步完成全國 2,700 家加油站調查工作，同時亦完成了「地下儲槽系統防止污染地下水體設施及監測設備設置管理辦法」的公告與修正，建立申報管理系統，推動加油站自主管理工作 (簡慧貞, 2021)。因此加油站類場址列管

數量自 2006 年起大幅增加，自從加油站自主管理工作上軌道後，每年列管的加油站類場址數量增加的速度趨緩，並從 2012 年逐漸下降 (圖 2(d))。儲槽類工廠亦為環保署關切的對象，此類型場址的污染大多難以被察覺，特別是地下管線或槽底的破損或洩漏，一旦發生污染大多難以整治，從圖 2(e) 便可以發現，場址解列的數量變動幅度較低。

非法棄置類場址與其他類場址在污染整治上的難度最高，這些場址常難以尋找污染行為人，或污染範圍較大，除了少數場址已經完成污染改善外，大多需要較長的時間進行改善，因此解列數量少且列管數量穩定 (圖 2(f)、(g))。

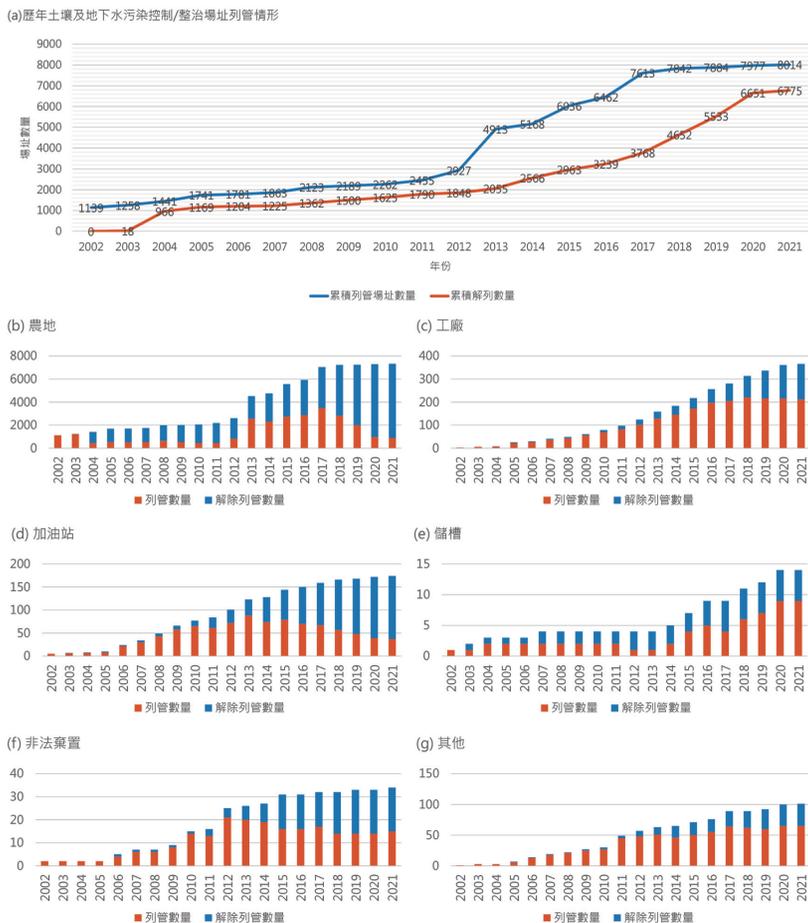


圖 2 臺灣歷年污染場址列管情形

2.2 土壤及地下水污染整治技術應用現況與國際趨勢

總體而言，在目前環保署政策的推動下，污染場址列管的數量正穩步的減少，目前僅餘 1,239 處場址尚待整治，其中有 901 處為農地類場址、212 處為工廠類場址、31 處加油站類污染場址，其他類則尚餘 65 處。在過去的 20 年間，我國已導入與應用各類污染整治技術，為了解臺灣土水整治業者近期技術應用現況，透過環保署土壤及地下水管理資訊系統彙整 2014 年以後解列之 218 處場址報告，統計我國污染場址改善技術應用情形如表 1 與表 2 所示。

表 1 2014~2017 年臺灣常用土壤污染整治技術

技術類別	技術名稱	應用次數	技術應用比例	說明
生物性處理技術				
	生物堆	25	8.4%	
	土耕法	3	1%	
	生物通氣法	3	1%	
	植物整治	1	0.3%	
化學性處理技術				
	化學氧化	13	4.3%	
	酸洗 / 淋洗	5	1.7%	
物理性處理技術				
	離場處理與客土	120	40%	離場處理與客土
	翻轉稀釋	49	16%	
	土壤氣體抽除	47	16%	包含 SVE 與 DPE
	空氣注入法	31	10%	同時處理土壤及地下水污染
熱處理技術				
	離地熱脫附	2	1%	

表 2 2014~2017 年臺灣常用地下水污染整治技術

技術類別	技術名稱	應用次數	技術應用比例	說明
生物性處理技術				
	現地生物整治	29	16.7%	包含好氧與厭氧生物整治
	生物曝氣法	4	2.3%	
	生物反應牆	2	1.1%	
化學性處理技術				
	現地化學氧化	37	21.4%	
	現地化學還原(NZVI)	3	1.7%	
	被動式反應牆	1	0.6%	
物理性處理技術				
	抽出處理	31	17.9%	
	空氣注入法	31	17.9%	同時處理土壤及地下水污染
	多相抽除	19	11%	DPE/MPE/TPE
	界面活性劑沖排	4	2.3%	
	浮油回收	3	1.7%	
	循環井	1	0.6%	
熱處理技術				
	熱處理	1	0.6%	
監測式自然衰減				
	監測式自然衰減	7	4%	包含 5 處因多次監測無超標而解列場址

由於國內控制及整治場址大多為 2 種以上污染物，且國內場址相較於歐美國家場址而言，占地面積相對較小，也因為國內土地利用特性，係屬農業、工業、住宅的土地利用難以明確區分，或距離很近的情形，而國內整治工作大多追求短時間解列，因

此污染場址內採用單一整治技術者甚少，多以整治列車方式進行規劃，甚至部分僅有單一污染物之場址亦採用 2 種以上整治技術，但由於國內法規特性與國人對於環境污染風險的認知不足，我國土壤及地下水污染整治工作對特定的整治技術應用傾向，使得國內土壤及地下水污染整治技術發展發生傾斜。

在土壤污染整治技術應用比例上，即使排除了農地場址，排客土與耕犁法（翻轉稀釋）比例仍高，總計約 56%，其次為土壤氣體抽除（soil vapor extraction, SVE）與空氣曝氣法（air sparging, AS），約占 26%，生物整治法（包含植物整治）約占 10.7%，其它如化學氧化、離地熱處理等，應用比例仍低。這顯示在土壤污染整治技術上，國內場址普遍會選擇快速移除的方式進行處理，然而土壤應視為資源，雖然使用此 2 類技術可以快速解決當下的污染問題，但長期使用離場處理工法或使用耕犁法（翻轉稀釋），並未實際移除或破壞污染物，對於資源的應用與環境是負面影響，因此未來在土壤資源的管理上，環保署亦將調整目前管理方式，來加強土壤資源的循環使用。

SVE/AS 是利用物理特性強迫揮發性有機物自土壤或地下水中遷移至土壤間隙中而被移除，因此也被應用在地下水油品類污染或揮發性有機物污染的處理上，只是在應用比例上較偏於土壤，多項抽除（multi-phase extraction, MPE）也扮演類似的角色，但 MPE 包含了地下水或污染物的抽除，因此被歸類為地下水污染整治技術。無論如何，SVE/AS 與 MPE 等物理性整治技術在國內整治技術的應用比例高，顯示這類技術在國內的應用已趨於成熟。

在地下水處理上，現地化學氧化（in-situ chemical oxidation, ISCO）應用的比例最高為 21.4%，其次現地生物整治（in-situ bioremediation）為 20.1% 與抽出處理（pump and treat, P&T）為 17.9%，而現地化學還原（in-situ chemical reduction, ISCR）、界面活性劑沖排、現地熱處理等技術，應用比例則較低。

若以污染場址類型分別區分與觀察，農地為國內數量最多、面積最大之污染場址，土壤重金屬污染為主，少數場址是總石油碳氫化合物（Total Petroleum Hydrocarbons, TPH）污染，較無地下水污染問題。在早期曾有使用土壤清洗或土壤淋洗等技術的案例，但此類技術以酸移除土壤中的重金屬，對農地土壤本身特性傷害較大，容易造成

難以回復破壞。因此目前農地類場址均以排客土(離場掩埋/再利用)或耕犁法為主要改善工法。

加油站的污染多來自汽、柴油洩漏造成，主要污染物為 BTEX 與 TPH，地下水有時可見到二氯甲烷同時存在，主要的整治技術包含排客土、耕犁法、生物堆、生物通氣法、SVE/AS、抽出處理、ISCO、現地生物整治等。

工廠類型污染場址，以重金屬與 TPH 為土壤主要污染物，而含氯有機化合物為地下水主要污染物，因此在技術上應用工法較多元，如排客土、耕犁法、SVE/AS、抽出處理、ISCO、現地/離地生物整治、界面活性劑沖排、奈米零價鐵等技術均常被利用。

2.3 美國超級基金土壤及地下水污染整治技術與國際技術發展趨勢分析

美國環保署針對超級基金(Superfund)所投入整治的污染場址，每隔3年會進行1次整治技術應用的統計與趨勢評析，筆者自2020年美國環保署出版之超級基金整治技術報告中整理2015~2017年超級基金整治技術應用情形的資料如表3及表4所示。在美國環保署出版報告中，將污染整治技術區分為污染源整治技術、底泥整治技術與地下水整治技術3類，其中污染源整治技術涵蓋了土壤、地下水與底泥的處理，而我國尚無底泥整治的案例，因此僅討論報告中土壤及地下水相關的整治技術。

由表3與表4可知，相較於臺灣，美國在土壤及地下水污染整治技術的應用上較為多元。在污染源處理的部分，美國在土壤污染整治技術上，同樣依賴物理性的整治工法，特別是離場處理；但在物理分離技術，如土壤清洗與分選，應用比例高，這可以將污染物濃縮，減少土壤資源的浪費。此外，美國以健康風險為基礎評估污染整治目標，因此與風險阻斷相關工法，如固化/穩定化、包圍技術、防漏處理等應用相對廣泛。但在其他技術上，如土壤氣體抽除、空氣曝氣法、離地生物復育、離地化學處理等，均與臺灣的狀況相似。

表 3 美國超級基金整治技術 - 污染源整治技術

技術分類與技術名稱	出現次數
現地處理 (in-situ treatment)	
生物性處理技術 (biological treatment)	
生物整治 (bioremediation)	6
化學性處理技術 (chemical treatment)	
固化 / 穩定化 (solidication/stabilization)	9
化學處理 (chemical treatment)	5
底泥藥劑添加 (amendments (sediment))	2
底泥表面覆蓋 (cap, amended, in-situ sediment)	2
土壤藥劑添加 (soil amendments)	1
物理性處理技術 (physical treatment)	
土壤氣體抽除 (soil vapor extraction)	9
多相抽除 (multi-phase extraction)	2
電動力 (electrokinetics)	1
沖排 (flushing)	1
熱處理技術 (thermal treatment)	
熱處理 (thermal treatment)	8
離地處理 (ex-situ treatment)	
生物性處理技術 (biological treatment)	
生物整治 (bioremediation)	1
人工濕地 (consturcted treatment wetland)	1
化學性處理技術 (chemical treatment)	
化學處理 (chemical treatment)	1
固化 / 穩定化 (solidication/stabilization)	3
物理性處理技術 (physical treatment)	
物理分離 (physical seperation)	22
污染源抽出處理 (source P&T)	7
循環利用 (recycling)	5

技術分類與技術名稱	出現次數
土壤氣體抽除 (soil vapor extraction)	2
曝氣 (aeration)	1
熱處理技術 (thermal treatment)	
熱處理 (thermal treatment)	4
離場焚化 (incineration (off-site))	2
露天焚燒 (open burn/open detonation)	1
無明確說明之離場處理 (unspecified ex-situ treatment (off-site))	9
無明確說明之離地處理 (unspecified ex-situ treatment (on-site))	1
包圍 / 離場掩埋 (containment/disposal)	
現場包圍 (containment (on-site))	
工程覆蓋 (cap, engineered cap)	43
疏濬 / 侵蝕控制 (drainage/erosion control)	37
土壤覆蓋 cover (soil))	24
包圍 (containment (other, onsite))	12
垂直工程阻絕牆 (vertical engineered barrier)	7
管線修復 (repair (pipe/sewer/tank/structure))	4
底部防漏處理 (bottom liner)	2
建物防漏處理 (building sealant)	2
滲出液控制 (leachate control)	2
封裝式包圍 (containment (encapsulation))	1
離場掩埋 (disposal (off-site))	79
監測式自然整治 / 加強式監測式自然整治 (MNR/EMNR)	
底泥加強式監測式自然整治 (sediment EMNR)	4
底泥監測式自然整治 (sediment MNR)	4

* 註：統計 2015-2017 年美國超級基金場址 175 份整治決策文件，其中有 75 份報告有提出執行整治工作。

表 4 美國超級基金整治技術 - 地下水整治技術

技術分類與技術名稱	出現次數
現地處理 (in situ treatment)	
生物性處理技術 (biological treatment)	
厭氧現地生物整治 (anaerobic, in-situ)	21
生物添加 (bioaugmentation, in situ)	11
好氧現地生物整治 (aerobic, in situ)	5
無特定說明之現地生物整治技術 (unspecified bioremediation, in situ)	4
植物整治 (phytoremediation)	1
化學性處理技術 (chemical treatment)	
現地化學氧化 (ISCO)	19
現地化學還原 (ISCR)	8
化學中和 (neutralization)	1
被動式反應牆 (PRB)	5
固化 / 穩定化 (solidication/stabilization)	2
物理性處理技術 (physical treatment)	
多相抽除 (multi-phase extraction)	4
空氣曝氣法 (air-sparging)	3
蒸氣抽除 (vapor extraction)	1
電動力 (electrokinetics)	1
沖排 (flushing)	1
熱處理技術 (thermal treatment)	
熱處理 (thermal treatment)	6
無明確說明之現地處理技術 (Unspecific in situ treatment)	3
離地處理 (ex-situ treatment)	
抽出處理 (P&T)	22
包圍 (containment)	
現場包圍 (containment (on-site))	
垂直工程阻絕牆 (vertical engineered barrier)	1
監測式自然衰減 (MNA)	
監測式自然衰減 (MNA)	22

* 註：統計 2015-2017 年美國超級基金場址 110 份整治決策文件，其中有 71 份報告有提出執行整治工作。

在地下水污染整治技術上，臺灣在 2014~2017 年間的整治技術中，現地化學處理技術，包含現地化學氧化與現地化學還原，應用比例較現地生物整治高。但在美國則相反，這可能是因為在美國地下水污染中，場址地下水中存在含氯有機物污染比例達 70% 以上 (USEPA, 2020)；除此之外，在美國的生物整治技術中，生物添加與厭氧生物刺激法比例約為 1:2，這顯示生物添加法在美國已被廣泛接受，但截至目前為止，臺灣尚無生物添加進行全場整治經驗。

在現地化學處理技術中，臺灣大部分採用現地化學氧化技術，僅有少數場址採用現地化學還原，但在美國，現地化學氧化與現地化學還原的比例約為 2.4:1，這也顯示臺灣在化學處理技術上，大多依賴化學氧化法，化學還原技術的應用經驗較少。此外，無論是在土壤或地下水的整治，現地熱處理技術在美國已經有一定程度的應用，但我國目前在熱處理技術上的全場應用仍然很少。

依據 Condit 等人對於 2006 年~2016 年美國 Battelle 紀念研究中心每 2 年舉辦的含氯及難分解有機物研討會將近 4,000 篇發表文件的研究，可以歸納出過去 10 年間主要的研究標的。在污染物的標的，主要探討重質非水相液體 (Dense Non-aqueous Phase Liquid, DNAPL)、輕非水相液體 (light non-aqueous phase liquids, LNAPL), 砷及 1,4-dioxane。在整治技術研究上，主要以生物整治與現地化學氧化最為熱門。污染物的生物地質化學轉化、蒸氣入侵以及綠色及永續整治則為新興的研究議題，Condit 等人預期，在整治技術發展上將有 3 項重要的發展趨勢，包含 (Condit et. al., 2017)：

1. 整治決策支援工具發展，包含綠色永續型整治、高解析度場址調查，以及可支持複雜場址的長期管理決策；
2. 著重於可能會讓場址再次被公告的潛在污染物研究，如全氟 / 多氟烷基化合物 (Per-and polyfluoroalkyl substances, PFAS) 等新興污染物、土壤氣體入侵問題；
3. 現地整治技術與診斷工具的優化與發展，包含被動式整治技術 (如緩釋型、長效型藥劑)、藥劑分散技術、分子生物診斷工具等。

Suthersan 等人回顧含氯有機溶劑生物整治發展 (Suthersan et. al, 2017a) 與現地化學技術 (Suthersan et. al, 2017b) 應用歷程時，提出類似觀點。在調查部分，高解析度場址調查或是整合各類調查技術與診斷工具「智慧調查 (smart characterization)」為下

一個階段調查技術發展方向。大數據應用與預測，亦幫助土壤及地下水污染整治發展 (Suthersan et. al, 2016)，新興污染物，如 1,4-dioxane, PFAS 等的調查、分析與整治，亦將成為未來的發展重點。在整治技術方面，跨領域技術應用及精準整治，為下一個世代整治技術發展方向。

目前環保署在綠色永續型整治、高解析度調查、分子生物診斷工具等技術，均開始投入經費進行技術導入與試驗。從 2003 年起，環保署亦持續與學術界合作，補助學術界發展適合國內應用的調查與整治技術。

2.4 從列管場址概況看待臺灣土水整治需求

本文從目前已經解除列管 159 處污染場址列管歷程進行分析，在已經完成解列 159 處場址中，有 30 處僅土壤污染、有 65 處僅地下水污染，64 處同時存在土壤與地下水污染。圖 3 整理了 159 處場址在整治過程中，計畫變更的情形與整治時間的關係。從數量來看，有 77 處場址的控制 / 整治計畫書並無變更，36 處場址變更 1 次、20 處場址變更 2 次、7 處場址變更 3 次、8 處場址變更 4 次。其中有一個有趣的趨勢：場址變更次數與列管時間呈現正相關；換言之，列管時間越長，變更次數越多。且無論是何種污染介質，場址變更 2 次以上的平均列管時間均超過 5 年，約占已解列場址數量的 24% 左右。

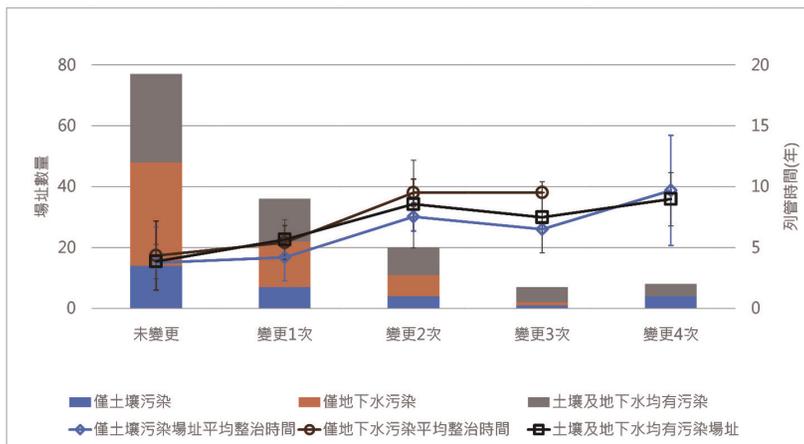


圖 3 控制 / 整治計畫書變更次數與列管時間關係

這些場址變更理由包含：(1) 驗證未通過、(2) 污染範圍、深度與預期不同、(3) 工法變更、(4) 更換整治廠商等；其中又以驗證未通過最為普遍。這些變更原因，顯示國內污染行為人在尋商過程中，缺乏對於廠商或技術的認識。因此在進行整治工作時，無法選擇合宜的整治執行單位，或無法判斷技術是否適合場址特性或污染特性所致。

從前面 2.1 節的分析當中可知，由於環保署目前土壤及地下水相關政策的推動與執行方式，在高污染潛勢場址調查力度逐漸降低，並強化污染改善管理後，國內污染場址數量將持續減少。當污染場址數量逐漸下降後，可以預期土壤及地下水污染整治技術與市場也將進入發展遲滯期。長期來說，需要協助產業維持發展動能，鼓勵技術創新，並設法將既有技術經驗傳承。

剩餘尚未整治污染場址，其整治難度大多很高，因此污染行為人或土地關係人在尋商時，需要對廠商與技術的適用性有更多的認識，才能有效掌握場址的整治工作執行品質、效果、時程與費用。而污染場址整治成功與否，最重要的是利害關係人之間的合作，其中整治執行單位扮演執行者與溝通者的重要角色，但目前國內缺乏合適方式評價整治技術或整治廠商的執行品質。

為了因應臺灣土壤及地下水污染整治市場的變動，也保持國內污染整治廠商的競爭力，環保署透過與地方主管機關、污染行為人、整治產業對話，聆聽各界需求，將從技術認證與產業媒合平台等 2 個方向進行規劃，透過對國內廠商的總體工作品質、既有整治技術能力、新穎技術查證等 3 項內容建立短中長期認證制度，期望可以透過認證制度的推動，幫助產業技術的發展與升級，並落實在污染場址整治中，加速污染場址解列，同時也幫助國內污染行為人或土地關係人能從廠商實績、整治技術能力宣告、環境技術查證等證明中，選取合適的廠商，也透過一系列的認證制度，幫助國內土壤及地下水污染整治相關業者，能夠累積實績與技術，增加市場機會，並透過國際認證方式，減低進入海外市場門檻（如圖 4 所示）。



圖 4 3 階段土壤及地下水技術認證制度推動目的

三、3 階段土壤及地下水技術認證制度推動規劃

由 2.1 節與 2.2 節回顧內容可知，過去 20 餘年中，臺灣的土壤及地下水污染整治工作已累積許多優秀從業人員、廠商與技術，行政院於 2017 年 9 月 12 日核定新南向政策推動計畫時，亦將我國土壤及地下水污染整治技術列為五大工程輸出類別團隊中的環保工程技術之一（行政院，2016 年），次年行政院公共工程委員會發表之「工程產業全球化推動方案（政策白皮書）第 2 期」中也顯示，2016 年在越南即已獲得土壤及地下水污染相關顧問與現場工作標案（行政院公共工程委員會，2017），顯見我國土壤及地下水相關技術的水平。

然而，土壤及地下水是污染物最終的受體，對一般企業體或個人來說，土水的污染問題與其改善方式大多是陌生的，一旦發現自己的土地存有污染的問題，不易判斷與選擇合適的廠商與整治技術。但如前一節所述，成功的場址整治工作，仰賴利害關係人的共同合作，但主管機關、污染行為人、整治業者，基於對場址的目標不同，對於調查與整治技術的需求與要求也不盡相同。

對於主管機關而言，污染場址整治工作執行的品質、能否在核定的時間內完成污染改善並解除列管、避免污染整治過程產生二次污染與對場址附近居民的干擾，以及加速污染土地的再利用，為主要關切的議題。污染場址整治的費用、整治過程是否能維持營運、場址整治時程、能否有效協助與主管機關溝通協調，則是污染行為人或

土地關係人關切的重點。對於整治執行單位或廠商而言，所持有的技術或服務是否能夠被應用到污染場址、整治工作是否能夠獲利、市場是否能永續經營則是他們關切的重點。

因此，為提供國內污染場址可信賴且實惠的土壤及地下水污染整治技術，同時也幫助我國土壤及地下水污染整治產業與技術能在國內與國際間推廣與深耕，環保署規劃以 3 階段方式，推動短中長期土水認證制度與產業推廣與媒合平台，從廠商的總體執行能力到技術的認證，逐步建立系統性的認證系統，如圖 5 所示。逐步強化對國內土壤及地下水調查與整治技術服務供應商資訊的統整，幫助一般民眾得以在發生土壤及地下水污染事件得以在第一時間獲得技術資訊與協助；並藉由的認證的發給，強化本土技術能力的證明，使國內廠商在進行海外市場競爭時，有一份經過臺灣官方與第三公正方認可的實績與技術能力證明。如此，在解決國內各界需求的同時，也協助國內整治技術的精進與技術推廣，推動產業永續發展。

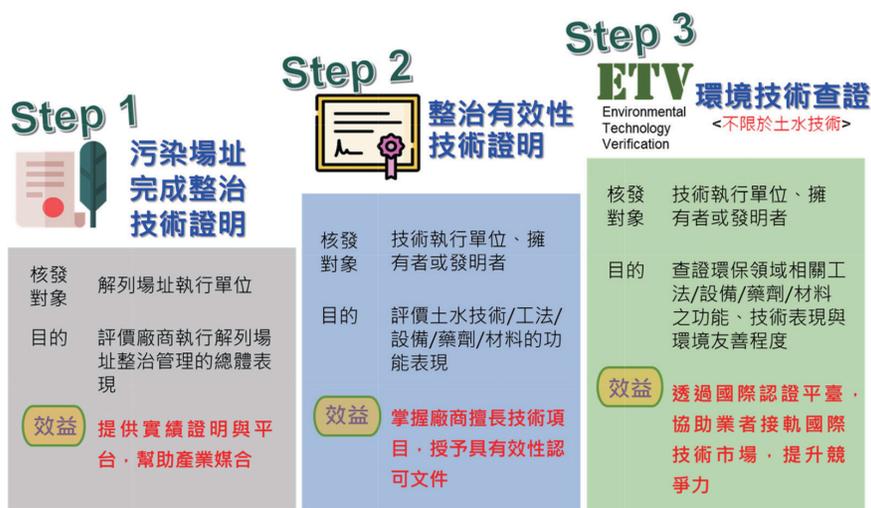


圖 5 3 階段認證制度推動內容與執行作法

3.1 污染場址完成整治技術證明核發

尋找可提供整治技術服務的供應商，是污染行為人面臨土壤及地下水場址公告後第一個問題。而技術服務的品質、整治的效果、費用，都是這些污染行為人期望可以獲得的資訊。過去環保署對於污染場址整治資訊的揭露，僅有基礎的污染場址資訊，缺乏整治成功案例與整治廠商的資訊。

因此在認證制度推動的第一個階段，環保署將整合污染場址整治工作執行現況，由參與技術審查的專家委員，對場址整治的執行單位進行整治技術服務的總體能力進行評價。圖 6 為目前污染場址完成整治技術證明申請與核發的實施程序，污染場址於場址改善完成時，一併填妥申請文件資料，併同改善完成報告提交審查，環保局將邀集土壤污染改善工作推動小組之專家委員，依據整治廠商在執行期間的報告書內容品質、整治工作執行過程的工程管理品質、是否因為整治操作問題被裁罰、最終整治成效等因子進行評核。如為整治場址改善完成並申請解列，相關文件將於環保局土壤污染改善工作推動小組審查通過後，提交至環保署申請辦理整治場址解除列管，併同核發「污染場址完成整治技術證明」。

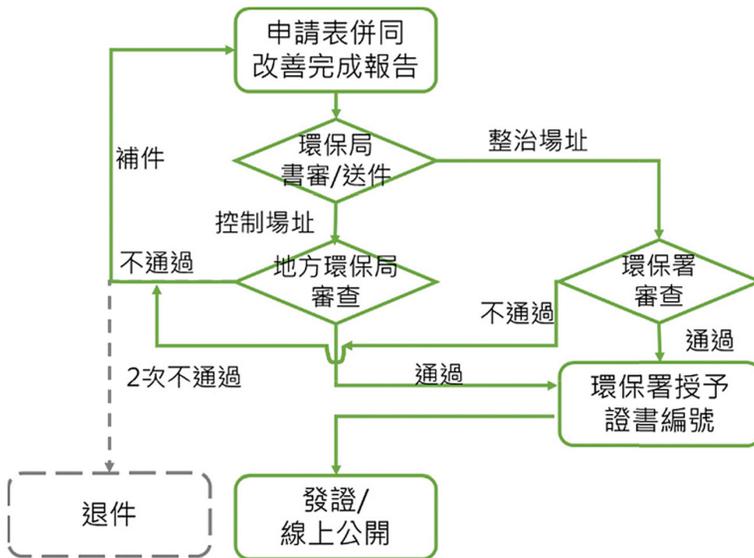


圖 6 污染場址完成整治技術證明申請審查程序

符合資格的整治執行單位與場址，將核發中英文版本「污染場址完成整治技術證明」，做為整治廠商於場址整治之實績與技術可行的佐證資料，本項工作已於 2021 年啟動，截至本文投稿前，環保署已開放「污染場址完成整治技術證明」的申請與核發工作，目前已針完成 7 處之「污染場址完成整治技術證明」的核發，圖 7 為某公司之證明書、圖 8 則為該場址公開於環保署網站的場址公開資訊。未來環保署將會把這些資料公告於媒合平台網頁上，並提供分類查詢功能，方便使用者可依據污染物種類、污染場址類型等需求進行查詢，如此未來國內污染行為人或民眾可以透過這個公開網站的資料，取得國內優良廠商執行的經驗與案例。同時，環保署亦將蒐集與篩選出經典的整治技術案例進行案例彙編，將整治技術經驗製作成參考手冊，提供未來污染場址整治的參考。

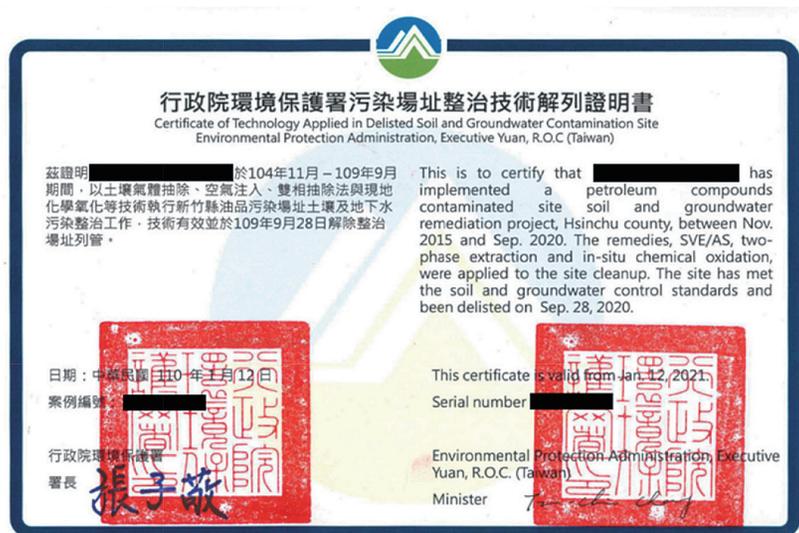


圖 7 國內某解列場址整治技術證明

場址名稱	JI0038		
場址所在地	新行鎮		
場址列管類別	整治場址		
場址類型	加油站		
場址污染介質	土壤及地下水		
場址污染物	介質	污染物與濃度	最大面積 (m ²)
	土壤	苯：102 mg/kg 甲苯：561 mg/kg 二甲苯：826 mg/kg 總石油烴氫化合物：7,920 mg/kg	336
地下水文地質特性	地下水	苯：43.0 mg/L 甲苯：72.2 mg/L 萘：0.484 mg/L 甲基第三基胺：427 mg/L 總石油烴氫化合物：75.5 mg/L	337
	平均水位 (m, bgs)		3.5 (bgs)
地質特性與分布描述	平均流速 (cm/sec)		9.11 X 10 ⁻³ (cm/sec)
	平均水力傳導係數 (cm/sec)		4.53 X 10 ⁻³ (cm/sec)
	0-0.3m 回填物 0.3-2.0m 均土夾礫石 2.0-3.0m 均土 3.0-4.5m 均土夾礫石 4.5m-10m 均土夾礫石		
整治執行時間	104年11月 - 109年9月		
場址整治費用	總計約1155萬元		
整治廠商聯絡資訊			
整治技術	雙相抽除處理法、土壤氣體抽除法、空氣注入法、化學氧化		
整治歷程與整治策略	104年12月至105年2月期間進行全場整治系統設置作業 105年2月至108年9月期間進行操作運轉土壤氣體抽除及雙相整治系統 105年9月至108年9月期間操作確空氣注入整治系統 107年5月間增設2口地下水曝氣井 108年9月間進行Fenton-Like化學氧化灌注		
整治技術執行成果概述	<p>一、雙相抽除處理法及土壤氣體抽除法 本場址於105年2月啟動抽水及抽氣系統，地下水位約控制在地表下3.8~4.35 m，抽氣初期系統尾氣均有明顯濃度，且隨系統調整呈起伏變化，抽氣系統累積污染物移除量共約266.34 kg。</p> <p>二、空氣注入法 105年7月由抽氣設備尾氣監測結果顯示，場內尾氣濃度已有明顯下降，且監測井均無浮油現象，故進行曝氣系統測試，並於105年9月全面啟動曝氣系統，將飽和層內之揮發性有機污染物驅趕出來，以加強飽和層之改善成效。</p> <p>三、化學氧化法 至108年8月場址地物理整治系統(SVE/AS)污染物移除效率已逐漸降低，考量本場址土壤質地較為鬆軟且有不均質之情形，為加強深層改善成效，於108年9月間針對深層開闢區域進行地化學氧化(Fenton-Like)灌注作業，累計灌注量約為300 L。</p>		
整治成效	土壤		
	地下水		

圖 8 某公司解列場址整治技術應用案例說明

3.2 技術有效性證明

技術本身的表現與能力，是整治成功與否的重要指標，也是環保機關或整治業者關注的另一個重點，因此第 2 階段與第 3 階段工作，將著重於土壤及地下水相關的「技術」或「工法」本身的能力與效果進行認證。

在第 2 階段認證工作中，將特別強調技術、工法、設備、藥劑或材料的能力與效果進行評價與認證。因此，技術有效性證明的申請對象將縮小至整治技術應用單位與技術擁有者或發明者。而認證標的，則是針對技術、工法、設備、藥劑或材料本身的功能與其成效與表現，由該領域的技術專家來進行審查與評核。

由於土壤及地下水污染調查或整治技術，在應用的過程中會受到污染場址特性，包含地下水文、地層構造、地質組成、水化學條件、微生物族群條件等因子的影響，同一種技術，在不同場址常會有不同的整治效率或效果，這使得土壤及地下水污染調查或整治技術的「能力」或「表現」，通常難以用單一標準評斷。

因此在第二階段認證的設計中，環保署將參考 ISO14020 的自我宣告以及對宣告內容的審核方式執行。透過申請者對於所申請的技術，在特定條件下污染改善表現的自我宣告，並提供符合基本操作參數要求下的現場執行結果做為佐證資料，由專家小組來透過書面審查的方式，來查證自我宣告內容的真實性，並確認這些申請的技術是否符合科學的原理。

技術有效性認證的行政管理架構如圖 9 所示。環保署將成立技術審議小組，依據各項技術的科學原理、水文地質適用條件、功能評估方法、操作參數與國內外應用效果等內容，建立各項技術的審查原則。未來技術有效性認證的受理申請與管理工作，將由環保署委託公正之第三方辦理。

當這些資料通過審查後，便由環保署授予中英文版本「技術有效性證明」，做為整治業者特定整治技術之技術能力與技術有效的佐證。這個證明文件可以做為整治業者在應用該技術進行污染改善時，有關技術是否適用於特定場址條件的證明文件。

但相較於第一階段認證是對於整治廠商的技術服務進行總體性的評價，第二階段是針對「技術」本身的能力進行評價，而為避免污染行為人或民眾對技術有過度的期待，證書的內容將涵蓋該項技術的適用條件、限制條件與在這個適用條件下的技術效果。

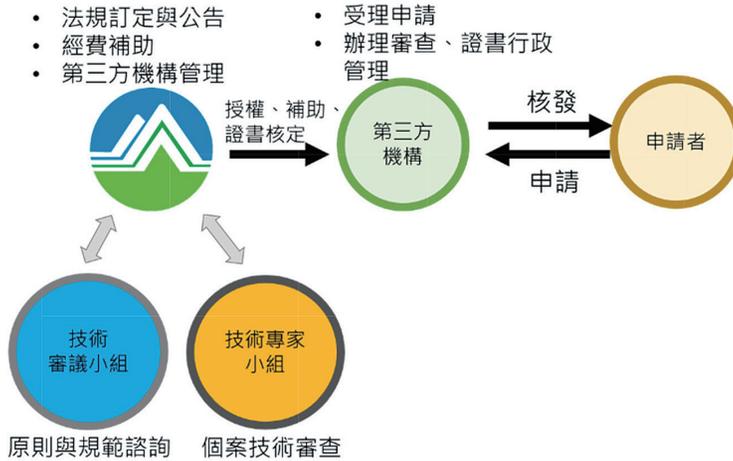


圖 9 技術有效性證明申請與審查行政管理架構

本項工作已於 2021 年啟動，環保署已參考「行政院環境保護署綠色消費暨環境保護產品推動使用作業要點」、「行政院環境保護署海洋廢棄物循環產品標章推動作業要點」及「行政院環境保護署室內空氣品質自主管理標章推動作業要點」等行政規則，就證書之授予、管理及撤銷、廢止等訂定規範，擬具「土壤及地下水污染整治技術有效性證明作業要點(草案)」(如圖 10)，以加速核發，並達落實相關技術發展之目標。

本項證明書將以「聲明書」的方式來提供技術能力的證明，內容將涵蓋說明申請之技術內容、自我宣告之技術適用條件與條件、審查結果之聲明等，土壤及地下水污染整治技術有效性證明範例如圖 11 所示，透過完整的資訊揭露，使得申請者的技術資訊、技術能力與成效可以正確的被傳達，而使得這個有效性技術證明更具有公信力。



圖 10 土壤及地下水污染整治技術有效性證明作業要點草案內容架構

行政院環保署土壤及地下水污染整治技術證明 EPA Soil and Groundwater Remediation Technology Performance Statement of Technology Name		行政院環保署土壤及地下水污染整治技術證明 EPA Soil and Groundwater Remediation Technology Performance Statement of Technology Name	
證書編號: 000001	發證日期: XXXXXXXXXX	Serial number: 000001	Date of issue: XXXXXXXXXX
技術名稱 土壤蒸餾抽除	技術提供者 OO科技股份有限公司	Technology Soil vapor extraction	Provider OO Technology Co., Ltd.
技術提供者地址 中興路與高橋路OO號OO號	技術提供者聯絡電話 +886 7 3333333	Address No. 000, OO Rd., OO Dis. Kaohsiung City, Taiwan, R.O.C.	Phone +886 7 3333333
技術提供者電子信箱 OO@OOtech.com.tw		E-mail OO@OOtech.com.tw	
技術能力表現自我宣告 Technology Performance Self Declaration:		Technology Performance Self Declaration:	
<ol style="list-style-type: none"> 技術描述: 於蒸氣室中建立負壓，排除存在於土壤空隙中的氣態揮發性有機物，並於地面以活性炭吸附法處理抽出之污氣物，使排放至大氣之揮發性有機物濃度低於100ppmV。 技術能力宣告: 在單一抽氣井中，達2.1-10cmHg之負壓，以1.5-10L/min之流量抽出濃度高於100ppmV、含甲苯、甲苯、二甲苯及乙苯等氣態揮發性有機物之蒸氣。 技術適用條件宣告: 本技術適用於地質為礫石、砂、細砂或砂質粘土之土壤蒸氣層，並適用於蒸氣壓力大於1.05 mmHg之揮發性有機物。 技術適用限制宣告: 本技術不適用於黏土、黏土質粉土等物質，且不適用於含水層中。 		<ol style="list-style-type: none"> Description: SVE can establishing negative pressure in the aeration zone of soil to remove gaseous volatile organic compounds, and treat the extracted pollutants with activated carbon adsorption on the ground. The exhaust gas of treatment system is less than 100ppmV. Capability declaration: For each extraction well, a negative pressure of 3-10cmHg would be established by SVE, and the soil gas with gas-phase volatile organic pollutants such as benzene, toluene, xylene and ethylbenzene is extracted out at a flow rate of 1.5-10L/min. Applicable conditions: This technology is suitable for soil aeration layers with gravel, sand, fine sand, and sandy silt. It is suitable for VOCs with vapor pressure greater than 1.05 mmHg. Restriction of application: This technology is not suitable for clay and silty clay. It is not applicable for aquifers. 	
技術能力表現審查結果聲明 Technology Performance Statement:		Technology Performance Statement:	
經本署及專家小組技術審查，確認OO科技股份有限公司所提之土壤蒸餾抽除技術，在符合其自發宣告之適用條件下，可以在礫石、砂、細砂與砂質粘土之蒸氣層土壤空隙中，抽除苯、甲苯、二甲苯及乙苯等蒸氣壓力大於1.05之氣態揮發性有機物，並於地上以活性炭吸附法處理抽出氣體，總處理量最大可達150m ³ /day。處理後之蒸氣揮發性有機物濃度低於100ppmV。		After the technical review of EPA and the expert team, it is confirmed that the SVE proposed by OO Technology Co., Ltd. can be used in the aeration zone with gravel, sand, fine sand and/or sandy silt under the applicable conditions of its self-declaration. The SVE can extract gas with benzene, toluene, xylene and ethylbenzene and other gas-phase VOCs with vapor pressure greater than 1.05, and treat the extracted gas with activated carbon adsorption on the ground. The total treat volume can reach up to 150m ³ /day. The total concentration of volatile organic compounds in the exhaust gas is less than 100 ppmV.	
行政院環境保護署 署長		Environmental Protection Administration, Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan) Minister	
免責聲明 No Warranty Clause 本有效性證明僅係對公司所提出申請技術文件資料科學原理與工程設計，並且在該條件下可達到宣告的技術目標。當現場條件改變時，不保證本項技術的適用性。		No Warranty Clause This statement only confirms that the technical documents submitted by OO Technology Co. Ltd. are reasonable and align with scientific principles and engineering design, and the technology can achieve the capability declaration under specific conditions. When the site conditions change, the applicability of the technology is not guaranteed.	

圖 11 中英文版本土壤及地下水污染整治技術證明 (草案)

3.3 環境技術查證

我國對於認證與驗證有相對標準的定義，依據標準法第三條之定義，認證 (accreditation) 是指主管機關對特定人或特定機關 (構) 給予正式認可，證明其有能力執行特定工作之程序，而驗證 (certification) 則是由中立之第三者出具書面證明特定產品、過程或服務能符合規定要求之程序。而依據驗證目的之不同，又可以將之區分為查證 (Verification) 與確證 (Validation)。所謂的查證，是經由客觀證據之提供，證實

業已達成規定之要求，通常是用來確認是否達成「規格」所要求的內容，查證可包括活動包含：執行交替的計算、將新的設計規格與類似經認可的設計規格做比較、從事試驗與展示。而確證經由客觀證據之提供，證實業已達成特定意圖用途或應用之要求，用以確認是否達成「目的」。

「環境技術查證」(Environmental Technology Verification, ETV) 為歐盟、美國、加拿大等國家近年來推動的環保技術規範，依據 ISO14034 的定義，ETV 期望透過嚴謹的查證程序，更制度化的針對應用於環境各領域技術的「性能」、「創新」與「環境表現」進行評估、查證與宣告，幫助技術在進入市場前，能夠確保該技術的能力與市場性 (ISO, 2017)。歐盟提出 ETV 的通常性查證程序 (General Verification Protocol, GVP) 後，國際標準組織 (International Standard Organization, ISO) 亦於 2017 年發表 ISO14034 環境技術查證指引。可預期，ETV 的認證將成為在環境產業的各項技術的技術門檻，從品質、性能、創新性到環境表現等面向來使這些技術發展與應用，能符合歐盟「綠色政綱 (Green deal)」或「美國綠色新政 (Green New Deal)」的未來發展策略。

圖 12 為 ISO14034 目前 ETV 的標準執程序，技術申請者需依據查證機構的文件與程序，填寫申請文件，並由查證機構辦理資格審查，當技術符合申請資格且文件內容足以進行申請時，才正式提出申請文件，並與查證機構簽訂合約，執行 ETV 工作。

在 ISO14034 的精神中，申請者需對申請的技術性能與規格進行宣告，並與查證組織討論該項技術的規格內容與其性能表現是否能夠相符，從而擬定查證計畫書。在 ISO14034 的程序中，是可以接受申請者提出足夠的、經過符合 ISO17025 或 ISO17020 之單位執行而提出的測試結果數據，來佐證該項技術符合其技術規格的宣告。當查證機構認為該數據內容不足以證實該項技術符合技術規格宣告時，便可要求申請者追加新的測試數據。這個測試工作，由申請者向查證單位認可的測試組織共同規劃，並由測試組織依據測試計畫書執行，直到測試結果能夠確認技術的效果符合技術規格的宣告。當確認數據符合技術規格宣告後，查證機構與申請者，對查證結果報告、查證結果聲明與 ETV 證書內容進行協商，確認可以公開之事項，最後由查證機構核發 ETV 證書。

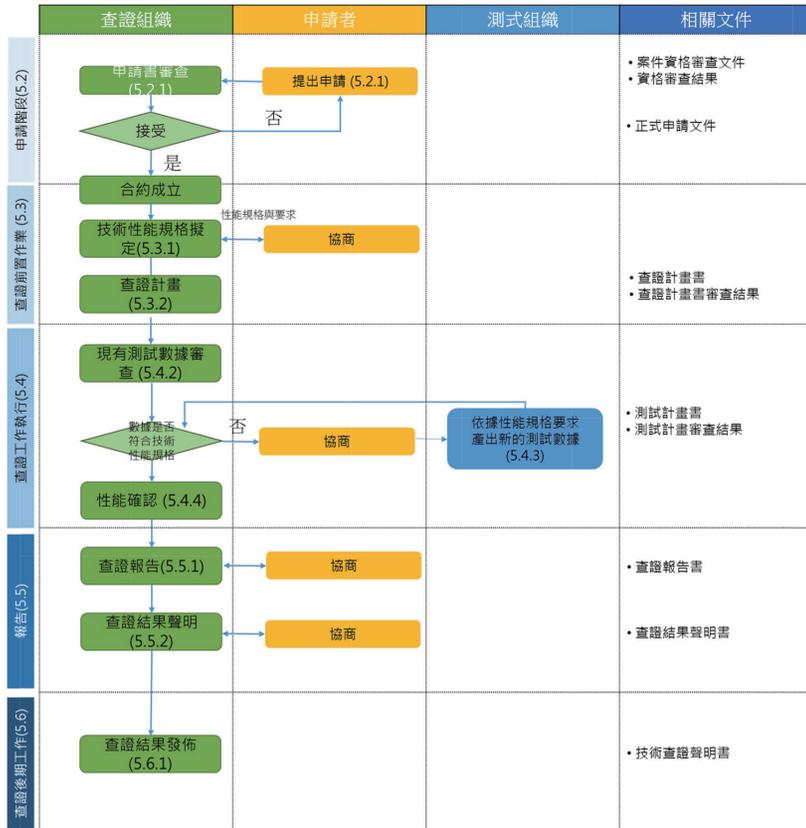


圖 12 ISO 14034 ETV 執行程序

在第三階段的認證制度中，環保署將以 ISO 14034 環境技術查證指引為架構，針對環境領域相關技術，由第三方公正單位進行系統性的查證工作，確認其新穎性、創新性以及對於環境永續性的幫助。與土壤及地下水相關的環境技術查證工作，則將以技術、工法、設備或產品（包含藥劑）為主要的標的，包含應用於土壤及地下水污染調查或整治過程的技術，透過 ISO 系統，提供國際性通用的查證結果，幫助國內廠商在推動國外技術行銷時，可以降低市場進入的門檻。

第三階段推動土壤及地下水相關技術 ETV 工作的推動規劃如圖 13 所示，截至目前為止，環保署已經依據 ISO14034 內容與歐盟 GVP 內容擬訂土壤及地下水技術相關執行程序，開始與國內第三方認證機構討論以土壤及地下水污染整治技術為出發點，擴大推動發展 ETV 並與國際認證機構相互認證的可行性。



圖 13 ETV 發展與推動架構

四、產業發展推動與未來展望

臺灣土壤及地下水污染整治工作，經過 20 餘年的發展，已經進入技術與市場的成熟期，這麼多年來土壤及地下水相關從業人員技術與經驗的累積，是這個產業的重要資產。

土壤及地下水污染整治通常需要很長的時間，但場址整治完成後再次發生污染的機會低，屬於一次性的工作。隨著環保署場址調查力度趨緩以及污染場址逐步改善解除列管，污染場址數量將逐年降低，土壤及地下水領域從業人員面臨的產業競爭將更為激烈。而目前尚待整治場址的整治難度高，在全球土水污染整治工作朝向「精準整治」的發展趨勢下，需要國內的學術界與產業持續投入技術的發展。

爰此，環保署將持續投入費用，鼓勵學術界投入人力研究與精進土壤及地下水污染調查與整治技術的開發，並透過示範場址的方式，媒合產業與學術界資源與技術，使學術研究從實驗室邁向實場，藉由示範場址測試過程克服實驗室與實場落差，在幫助技術市場化的同時，也解決國內場址問題 (圖 14)。



圖 14 土壤及地下水污染整治技術推廣策略

在技術與應用實績累積的過程，環保署亦將建構技術推廣平台，將國內場址的案例經驗、科技研究成果公開，並設計媒合平台，提供國內場址行為人查詢。環保署也會持續辦理訓練課程與國際研討會，幫助國內技術的推廣。

鼓勵技術提升、引導產業技術精進與發展，是環保署在環境領域工作的隱形任務，環保署透過 3 階段認證制度的設計，先以「污染場址完成整治技術證明」出發，對於整治廠商於該場址執行整治工程管理的能力進行評價。接著以「有效性技術證明」，針對既有技術的技術能力、成效進行書面資訊的查證，透過廠商的自我宣告、佐證資料審查等方式，進行技術有效的適用條件、使用限制等因子的確認。最後則是整合國際標準系統的查證方式，對新穎技術的新穎性、創新性、技術能力表現、環境附加價值，進行書面或實體的查證，授予符合國際標準的「環境技術查證」證明書，幫助國內創新技術進入國內外市場。最後再整合技術推廣媒合平台的功能將認證的資訊揭露，提供國內各界查詢。

環保署預計透過 3 階段認證制度，協助國內場址與主管機關對國內廠商與技術建立篩選基礎門檻，也幫助國內具有優良技術的廠商，能夠取得由主管機關或國際認證機構所認可的技術，有利於場址的污染改善工程品質的提升，間接幫助廠商的技術行銷。未來也期望透過此方式，與國際認證組織能夠接軌，透過環境技術查證的效果，降低國內技術進入國際市場的門檻。

參考文獻

- 經濟部工業局。(2014)「產業永續發展整合資訊網，新聞動態」，2014年9月10日。
- 行政院。(2016)。「新南向政策工作計畫」，2016年5月9日。
- 經濟部工業局。(2016)「國際永續發展資訊動態電子報」，2016年12月。
- 行政院公共工程委員會。(2017年)。「工程產業全球化推動方案(政策白皮書)第2期(107~110年)」，2017年9月18日。
- 簡慧貞、陳以新、張富傑。(2021)。貯存系統環境保護整合管理策略。工業污染防治，151期，1-28頁
- 環保署。2018「土壤及地下水污染整治綠色創新技術推動與技術驗證示範計畫」。
- Condit W, Hawley E, Rectanus H, Deeb R. Global trends in the environmental remediation industry. *J Environ Manage.* 2017 Dec 15;204(Pt 2):705-708.
- International Standard Organism. (2016), Environmental Management – Environmental Technology Verification (ETV), ISO14034:2016 (E).
- Suthersan, S., Gentile, M., Bell, C., Quinnan, J. and Horst, J. (2016), Big Data and Environmental Remediation: Gaining Predictive Insights. *Groundwater Monit R*, 36: 21-31.
- Suthersan, S., Schnobrich, M., Martin, J., Horst, J.F. and Gates, E. (2017), Three Decades of Solvent Bioremediation: The Evolution from Innovation to Conventional Practice. *Groundwater Monit R*, 37: 14-23.
- Suthersan, S., McDonough, J., Schnobrich, M. and Divine, C. (2017), In Situ Chemical Treatment: A Love-Hate Relationship. *Groundwater Monit R*, 37: 17-26.
- USEPA, (2020), Superfund Remedy Report 16th Edition.

