

讓地下水浴「菌」重生

# 地下水三氯乙烯汙染之精準整治技術

三氯乙烯（TCE）曾廣泛作為溶劑以及工業上化學品的製造原料，但因不當儲存、使用或任意棄置，導致環境汙染，危害人體健康。工研院研發「地下水三氯乙烯汙染之精準整治技術」，培養出可促進厭氧脫氯作用的菌群，搭配獨步全球的精準注藥系統，有效整治汙染地下水，入圍2021年「全球百大科技研發獎」。

撰文／唐祖湘

伴隨工商業快速發展，衍生出許多土壤及地下水汙染的環境議題，其中三氯乙烯（TCE）的汙染處理難度高且需要耗費龐大經費與時間，因此研發整治技術的重要關鍵點，便是找出有效率且環境友善的方式來達到汙染改善效果。

工研院綠能與環境研究所專案經理卓坤慶表示，三氯乙烯是一種無色、略帶甜味的含氯有機溶劑，被電子、機械製造行業廣泛應用於清除金屬零件上的潤滑油脂，或塑膠廠與製衣廠的去汙劑，早已被國際癌症研究中心（IARC）證實為人類致癌

物質，若不當儲存、使用或任意棄置，一旦滲至土壤及地下水中，將嚴重汙染環境、危害人體健康，「在美國國家環境保護局超級基金列管的上千個場址中，有超過一半深受三氯乙烯毒害，臺灣也有多個列管場址。」

綜觀常見針對含氯有機物主要整治的方式有2種：一是採取物理性方式抽取地下水進行吸附有機物或利用採取熱處理方式去除，但因三氯乙烯比重大於水，沉入水底後仍會持續釋出汙染物，很難完全抽除清除，且過度抽水還可能引發地層下陷危



工研院研發「地下水三氯乙烯汙染之精準整治技術」，培養出可促進厭氧脫氯作用的菌群，搭配精準注藥系統，有效整治汙染地下水。

機；另一種採取投放化學藥劑法，採取化學反應將含氯有機物進行去除，雖有一定成效，對環境仍是一種傷害。著眼現行整治技術痛點，工研院首創「地下水三氯乙烯汙染之精準整治技術」，利用微生物復育法將汙染物逐步轉化為無毒乙烯，可望成為對環境最友善的創新解方。

### 微生物復育法 扮演土地清道夫

「自然界中，能在受到毒物汙染的土地和水源中存活下來的菌群，往往具備消化分解汙染物的能力，」工研院綠能所副研究員胡芳瑜說明，團隊以此概念發想，從不同受汙染場址中取得許多水源樣本，進行菌相分析，逐步在實驗室培養有效脫氯菌與相關輔助菌群。耗費數年，團隊從多達300至700種菌群的混合狀態中抽絲剝繭，最終找到3種脫氯菌，配合輔助菌群的幫助，可分工合作將三氯乙烯中的氯一個一個地「吃」掉，最後降解成對人體無害的乙烯，讓水質浴「菌」重生。

為了讓脫氯菌群注入受汙染的地下水源中，還能不斷繁殖成長，團隊研發出適合菌群生長的基因賦活藥劑，既可提供其生長養份，還能促進菌群活化脫氯酵素，「就像照顧Baby一樣，不只要提供

營養食物、還要營造合適生長環境，讓菌群健康生長為驍勇戰士，才能在最短時間降解三氯乙烯，」胡芳瑜說。

### 首創精準注藥系統 有效分解脫氯

整治地下水汙染，往往曠日耗時，除了尋找汙染源頭十分困難外，還需出動實驗人員自場址採樣，再帶回實驗室進行檢測，快則2週、慢則1個月才會結果，再以此數據調配藥物，返回場址注藥，一來一往相當耗時費力。

有鑑於此，團隊首創「智能化精準注藥系統」，透過系統布建的感測器回饋水質參數，可即時監測汙染場址地下水質與汙染物濃度的變化趨勢，判斷脫氯菌群是否發揮降解功能，自動調整注藥量與頻率。卓坤慶表示，自從建置這套智能化精準注藥系統後，團隊只要看參數就能即時針對現場狀況進行調整投藥量，「施加的藥劑不會過量或過少，整治成本至少降低3成以上！」

國際上不乏針對三氯乙烯的整治技術，但整治過程中三氯乙烯降解效果不完全，往往會衍生出致癌性更高的中間產物「氯乙烯」（VC）。由工研院培育的脫氯菌群與創新研發的基因賦活藥劑，搭配智能化精準注藥系統，可使受汙染場址完全脫氯，平均效率優於國際相關技術的1.4倍，甚至7倍。

創新說起來簡單，實際執行卻異常艱難。回憶一路以來反覆研發驗證的艱辛，卓坤慶透露，在注藥系統建立前，團隊得先翻閱海量文獻，了解脫氯微生物的最佳生長環境，再跑到場址蹲點實地記錄與測試，隨著數據逐步累積，這才一點一滴建立出最佳調劑劑量模式。

走過漫長研究路，如今這項效率高、成本低的綠色整治技術已在國內管制場址內展開整治試驗，藉此累積實戰經驗，為更多亟需整治的汙染區樹立標竿，團隊接下來也將持續培育更厲害的新菌種，期待能有效解決工業革命後帶來的環境挑戰，還給世人乾淨美好的永續家園。■



團隊研發出適合菌群生長的基因賦活藥劑，既可提供其生長養份，還能促進菌群活化脫氯酵素。