

第六章 結論與建議

6.1 結論

- 一、本計畫自 108 年 5 月 27 日簽約後開始執行，計畫執行期程共計 12 個月，針對臺中市南屯區、大甲區之農地土壤重金屬（鉻、銅、鋅）濃度超過食用作物農地土壤管制標準之坵塊進行污染改善工作，採用之改善工法為「耕犁法」或「排客土法與耕犁法併用」改善，執行改善坵塊數量總計 19 筆，面積為 2.7762 公頃。
- 二、本計畫污染改善範圍包含南屯區埔興段及大甲區福安段，前者指標污染物超標情形主要為銅、鉻，後者為鋅。因南屯區礫石層深淺不一，稀釋土方量足夠的坵塊改善工法以耕犁法為主，部分礫石層較淺或是污染濃度較高之污染坵塊則以排客土法與耕犁法併用進行改善作業；而大甲區礫石層深度較淺，改善工法以排客土法與耕犁法併用進行改善作業。
- 三、本計畫於 108 年 7 月 30 日協助環保局及監督單位進行污染改善作業執行前農民說明會，與農民地主進行雙向溝通（簽到、照片及問題回覆請參閱附件十四）。
- 四、本計畫依契約內容針對 19 筆坵塊進行細密調查作業，共採樣 74 點，累計採樣深度 4,140 公分，並進行 X 光螢光光譜分析儀（X-Ray Fluorescence, XRF）分析 207 樣次，其中 19 樣次（每坵塊至少 1 樣次）進行六種土壤重金屬污染物（鉛、鋅、鉻、銅、鎳、鎘）全量分析，以進一步瞭解污染改善之土壤總量及範圍。除作為後續施工規劃之參考依據外，更藉此建立現場 XRF 篩測儀器之檢量線，作為現場改善成效評估之判斷依據。
- 五、本計畫進行各坵塊污染改善作業，於現場進行告示牌及警示帶設立，且視現場狀況進行二次污染防治作業（防塵帆布、灑水...等），並清潔機具進出所造成之地面髒污，以避免對周邊環境及居民生活品質造成影響。
- 六、本計畫以耕犁法或排客土搭配耕犁法為主要改善工法，開挖作業前，先確認改善區域範圍，並試挖確認犁底層及礫石層深度；改善作業機具主要以挖土機（土壤開挖、深層翻轉、排土裝載、客土回填整平）、迴轉犁（淺層翻轉）、濕式推

土機（壓實整平）及大、中型卡車（排、客土搬運、離場清運）等。

七、本計畫以排、客土後再進行耕犁法之坵塊共計 6 筆，共執行 3 天排土清運作業，排土離場依契約規定運送至合格之處理場（本計畫配合之再利用處理機構為明春窯業公司），總計排土量約為 1623.64 噸；回填之客土合計達 2,267.27 公噸（離場土壤與客土間的土壤容積比不同及大甲區有增量需求，造成離場數量與客土數量差異，請參閱 4.5 節）。

八、污染改善作業以坵塊為執行單位，每完成一筆坵塊改善作業後立即以 XRF 快篩儀器進行改善成效評估，於確認污染物濃度達改善目標後，機具再往下一坵塊施作。完成一定數量改善作業後即安排認證實驗室進行自行驗證，確認自行驗證結果皆達改善目標後，再提報環保局進行外部驗證作業申請。

九、本計畫全數坵塊皆已通過內部自行驗證及外部驗證，總計改善 19 筆坵塊，其中 2 筆坵塊未通過第一次外部驗證，統計第一次驗證通過率為 89.5%（以坵塊數量百分比），若以面積來看，第一次驗證通過率則為 83.4%。

十、針對第一次驗證未通過之坵塊，探究其原因，主要分為 2 類型：1.土層厚度不足造成翻拌不均，而產生的局部小污染團塊。2.土壤濕黏以至於翻轉稀釋混合效果不佳。後續依據驗證單位提供之點位及污染物濃度進行第二次改善規劃，並於第二次改善作業完成後依序進行改善成效評估、自行驗證、外部複驗申請。第二次改善後之坵塊複驗結果皆達改善目標，複驗通過率為 100%。

十一、污染改善作業完成後即依據十二縣市地力回復標準進行地力回復作業，本公司於此項作業執行同時，皆會聯絡告知地主商請至現場瞭解作業內容，經詢問農民地主對於地力回復作業項目關心之要點，多數表達之重點有三項：1.礫石清除、2.田埂修復、3.犁底層構築。本公司除於回復作業中對於上述重點特別自我要求外，另對於農民額外之要求，亦於合理之範圍內盡量配合。

十二、因本計畫多數地號礫石層深淺不一，故在改善施工期間亦特別注意礫石層問題，盡量避免將其翻至淺層（0~15cm）造成後續農民耕作上之困擾，所以在後續礫石清除部分，主要採取篩架過篩、人工方式撿拾方式；在犁底層構築

作業時，藉由推土機或迴轉犁等較重型機具重量，在濕地整平壓實時，將礫石壓至更深層，除可解決礫石影響耕種之問題外，亦可同時增加犁底層之強度。

十三、犁底層構築作業使用之機具包含怪手、迴轉犁及濕式推土機，先使用怪手進行初步整平，再以推土機進行濕式整平作業。

十四、驗證單位於確認通過外部驗證後，即安排進行肥力採樣分析作業，本公司依據驗證單位肥力分析數據進行肥料添加量計算，並提報環保局及監督單位核備確認後，依據計算結果，進行肥力添加作業。

十五、最後依據契約規定，提供相關資料協助環保局辦理解除列管作業，已完成 22 筆自行驗證數據上傳作業，後續將成果報告上傳至環保署土壤及地下水資訊管理系統（SGM），預計於期末報告核定後 25 日內上傳完畢。

6.2 問題與建議

一、問題說明

本計畫依據臺中市政府環境保護局公告，針對「臺中市農地污染控制場址適當措施改善計畫—南屯、大甲等 2 區農地污染改善工作」於南屯區埔興段及大甲區福安段等共 19 筆坵塊 25 筆地號進行土壤重金屬污染改善作業，改善工法分為耕犁法及排客土法與耕犁法併用等兩種方式。

經執行改善工程後，本計畫發現南屯區及大甲區因共同存在礫石層問題，而嚴重影響改善工作的進度，因此在執行過程中須不斷針對改善規畫及施作方式進行檢討與修正。統計本計畫以單一耕犁法施作的坵塊中，約有 77% 的坵塊受因礫石層而受影響，在有限的經費且無法增加排土量的前提下，為因應礫石層的問題，必須加嚴控制改善深度（增加成本），在此同時，部分的坵塊則必須進行過篩作業（增加成本），表 6.1-1 為耕犁法坵塊中受礫石影響所調整的因應做法。

表 6.1-1 本計畫耕犁法執行改善坵塊因應礫石層影響修正做法

坵塊編號	礫石問題	因應做法	備註
B0142	-	面積過小需增加翻拌土量	-
B0154	-	增加離場深度，直接減少改善深度	-
B0158	-	鉻高污染濃度出現於 40cm，需加深改善深度	-
B0159	✓	控制改善深度，避免地力回復困難	-
B0172	✓	土層厚度過淺，需加深改善深度	需過篩
B0174	✓	控制改善深度，避免地力回復困難	-
B0175	✓	控制改善深度，避免地力回復困難	需過篩
B0176	✓	土層厚度過淺，需調土及部分加深改善深度	-
B0177	✓	控制改善深度，避免地力回復困難	需過篩
B0178	✓	控制改善深度，避免地力回復困難	需過篩
B0180	✓	控制改善深度，避免地力回復困難	需過篩
B0181	✓	控制改善深度，避免地力回復困難	-

基於上述礫石層問題直接造成可供翻拌土壤量不足，也間接影響改善效率的表現，改善效率的表現包含改善工程時間及改善完成度（以自行或外部驗證未通過的次數呈現）。

本計畫統計至 109 年 5 月 26 日止，改善結果已全數通過外部驗證，亦即在契約驗證標準（低於農地重金屬管制標準 80%）為目標前提下，所評估規劃的改善工作已全數 100%完成。部分坵塊雖驗證結果高於監測標準但其仍可從事農業生產，且其植物體仍不足以危害人體健康，說明如下：

環保署在訂定「土壤及地下水污染整治法」時，針對土壤重金屬管理，設定為以下兩種基準：

- (一) 土壤污染監測標準：指基於土壤污染預防目的，所訂定須進行土壤污染監測的污染物濃度。其下訂有「食用作物農地監測值」。
- (二) 土壤污染管制標準：指為防止土壤污染惡化，所訂定之土壤污染管制限度。其下訂有「食用作物農地管制值」。

台大農化系陳尊賢教授說明其差異，主要為確認何時採取行動，因此在「監測值」以上，農地還可以生產，但必須接受主管機關監測；「管制值」則表示必須列管，農地生產不得供人食用。（資料來源：農傳媒【有機農業立法 10 年回顧】從科學研究到規範擬定，重新檢視土壤重金屬規範）

另參考美國農業部 Chaney 等人研究（1980），Cu、Zn 等重金屬容易被植物根部吸收，但其對植物體造成毒害時的濃度仍不足以危害人體健康。（資料來源：環保署土壤污染管制標準研修草案座談會，98 年 5 月 18 日）

綜上所述，農地土壤超過監測值時仍可從事農業生產，且尚不足以危害人體健康。本計畫為提供後續管理規劃執行參考，彙整外部驗證結果超過監測標準坵塊資料，如表 6.1-2 及圖 6.1-1。

表 6.1-2 本計畫外部驗證結果超過監測標準坵塊一覽表

區域	目標污染物	管制標準	監測標準	改善目標	坵塊編號	改善方式	採樣日期	點位編號	分析結果
南屯區	銅	200 mg/kg	120 mg/kg	160 mg/kg	B0175	耕犁法	108.11.04	S03	152
					B0142	耕犁法	108.10.29	S01	122
					B0174	耕犁法	108.12.02	S02	124
								S03	133
					B0178	耕犁法	108.12.02	S01	149
大甲區	鋅	600 mg/kg	260 mg/kg	480 mg/kg	DF004-B	排客土 + 耕犁法	109.02.24	S04	278
								S05	283
					DF001-B	排客土 + 耕犁法	109.02.24	S01	289
								S02	289
					DF005	排客土 + 耕犁法	109.04.10	S01	312
								S02	287
								S04	416
								S05	378
								S06	301

註：濃度單位：mg/kg。

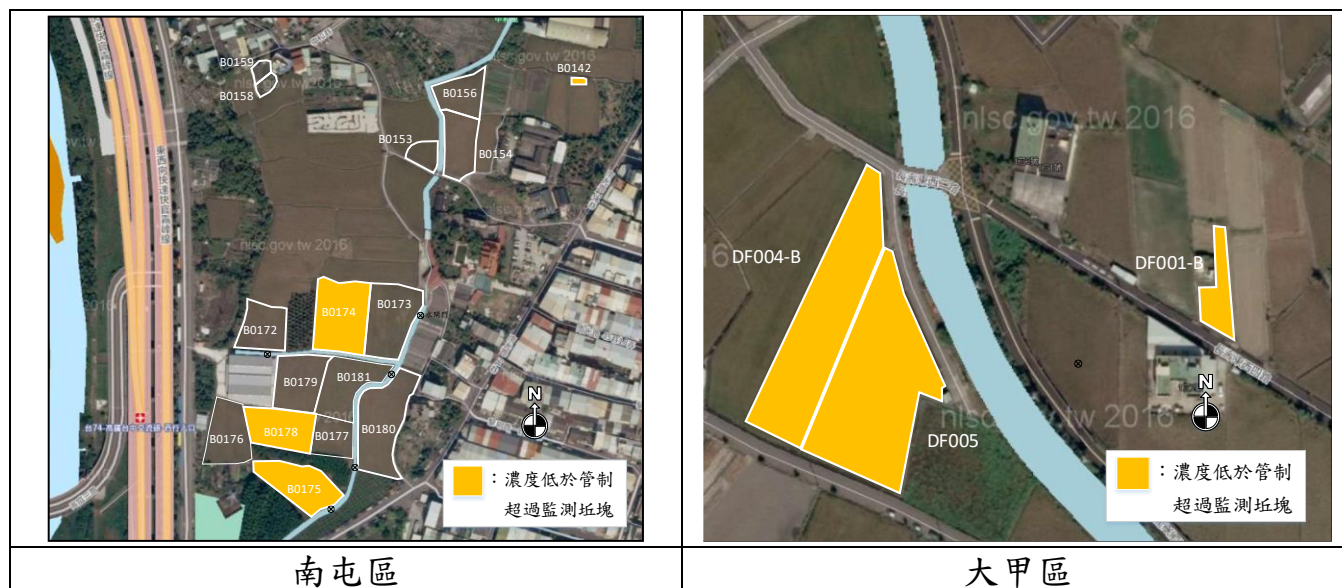


圖 6.1-1 本計畫外部驗證結果超過監測標準坵塊位置示意圖

二、建議

(一) 改善目標值設定

一般而言，土壤污染利用耕犁翻拌工法進行改善，成功與否主要取決於污染物的濃度及可供稀釋土方量是否足夠。而在可掌握並計算出稀釋成效下，改善成功關鍵則在均質化的程度。

本計畫改善目標為「低於農地重金屬管制標準 80%」，所有改善的規劃均在此目標前提下進行設計，因此就計畫執行面而言，本計畫已確實符合契約規定，但就管理面，則可能存在如：大甲區福安段 996 地號（坵塊編號：DF001-A 及 DF001-B）曾經執行過改善工程並於當時完成解除列管後，在後續的監測中，陸續又被調查發現超過管制標準而再度列管的風險。

設定「更低的改善目標（如：監測標準）」雖可降低改善完成後再度驗出超過標準的風險，但目標值的設定牽涉條件很多，若未多加考量而僅以更低的改善濃度為目標，可能造成後續更多的問題（如：為符合目標而增加開挖深度，將造成犁底層與肥力建構恢復困難及衍生的農耕問題等）。

分析及評估本計畫各項契約條件及實際執行改善過程所發生的問題，建議若後續仍需執行農地的污染改善工作且設定以「更低的改善濃度」為目標時，可以兩個方向進行考量。

- 1.經費靈活度：在大甲區的改善坵塊中，因全區約在地表下 30 公分處即出現礫石層，在可提供翻拌稀釋的土壤量不足情況下，原設定條件為全數排土離場，但因計畫經費及改善目標設定的限制下，調整為部分離場，雖在充分混拌下最終驗證結果符合改善目標，但改善後土壤重金屬濃度存在普遍高於監測標準的現象。而南屯區排土坵塊因污染濃度較高，係採全坵塊排土，在足量的客土與部分低污染土壤充分混拌下，整體的改善濃度均低於監測標準。因此，若改善坵塊存在特殊地質條件或過高污染濃度，以提高改善經費來採用全排土方式處理，將可避免後續再超出標準的風險。
- 2.坵塊掌握度：以耕犁法而言，設定「更低的改善目標」即需要更多的乾淨

土壤進行稀釋，由於農地坵塊已限制橫向範圍，只能利用增加縱向開挖深度來取得更多的土壤，在土壤厚度足夠的地區，即可達成「更低的改善目標」，惟過深的開挖，將嚴重影響後續犁底層建構及肥力的恢復，甚至影響解列後的農耕。而南屯區及大甲區的改善坵塊，因礫石層因素造成可提供利用翻拌稀釋的土壤量不足，即便適當加深開挖，亦無法滿足取得足量的土壤，加深開挖亦會翻出更多的礫石，同時造成犁底層建構的困難...等問題，事後也必須針對礫石進行過篩或處理，造成時間及成本的負擔。因此在契約訂定「更低的改善目標」前，即應「充分如實掌握各坵塊的地質與污染濃度狀況」及「考量延長復耕（或改善）的時間」，如此，可避免後續再超出標準風險前提下，設定「更低的改善目標」所產生的問題。

(二) 作業內容規劃設計

1. 污染調查深度設定：由於農地污染調查主要目的除了要了解實際污染程度及範圍外，另一個目的可以做為可供翻拌稀釋土壤厚度（數量）的確認，因此在未釐清污染現況及現地土壤層結構時，建議可先不預設採樣深度，由現場篩測結果（濃度高低判定是否增減篩測深度）或農地現況結果（如採至礫石層即停止採樣）。
2. 細密調查點數：越精細的調查，能得到更符合現況的污染結果，且有利於後續的污染範圍推估及改善工法的規劃，對整體經費運用及工程執行上更能有掌握度，因此建議可增加細密調查點數，來滿足調查的目的與結果。
3. 自行驗證數量：由於土壤的不均質性、農地的污染型態及現地土壤層結構等問題，可能在改善過程中造成局部均質性不足，或現場篩測工具因現地各項條件影響而造成判斷誤差，致現場存在未被發現的污染團塊，因此為避免外部驗證時才發現上述狀況而增長改善時間（通常第一次外部驗證未通過，啟動第二次污染改善至第二次外部驗證通過，約耗時 3-4 個月以上）及增加改善成本，建議自行驗證數量可依坵塊面積進行調整。