


行政院環境保護署

「99 年度土壤及地下水污染研究與技術提昇計畫」

超臨界二氧化碳萃取土壤中戴奧辛之研究

期末報告

EPA-99-GA103-03-A236-11

主 辦 單 位 :  行政院環境保護署
受 託 單 位 : 國立成功大學
計 畫 主 持 人 : 陳彥旻
共 同 主 持 人 : 林高弘
協 同 主 持 人 : 梁明在
計 畫 執 行 人 員 : 梁克源、林智雄、郭子禎
計 畫 執 行 期 間 : 99/12 ~ 100/12

中 華 民 國 100 年 12 月

計畫成果中英文摘要（簡要版）

一、中文計畫名稱：

超臨界二氧化碳萃取土壤中戴奧辛之研究

二、英文計畫名稱：

Remediation of soil contaminated with dioxins by supercritical fluid extraction

三、計畫編號：

EPA-99-GA103-03-A236-11

四、執行單位：

國立成功大學環境研究中心

五、計畫主持人（包括共同主持人）：

陳彥旻、林高弘、梁明在

六、執行開始時間：

99 年 12 月 29 日

七、執行結束時間：

100 年 12 月 28 日

八、報告完成日期：

100 年 12 月 21 日

九、報告總頁數：

150 頁

十、使用語文：

中文、英文

十一、報告電子檔名稱：

超臨界二氧化碳萃取土壤中戴奧辛之研究.DOC

十二、報告電子檔格式：

WORD 2003

十三、中文摘要關鍵詞：

超臨界萃取，污染土壤、戴奧辛

十四、英文摘要關鍵詞：

Supercritical extraction, contaminated soil, dioxins

十五、中文摘要（約三百至五百字）

本計畫已完成超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計，超臨界流體萃取裝置主要包括流體來源、高壓幫浦、萃取槽、控溫設備、壓力調控裝置、分離收集裝置等，相關系統組裝與試運轉業已完成。超臨界二氧化碳萃取實驗結果得知，本超臨界萃取技術確為可行之技術，在溫度 120℃、甲醇濃度 10%、壓力 350bar 下，超臨界萃取即可達約 98% 之去除效率。不同壓力超臨界萃取實驗結果顯示 350 bar 壓力下之萃

取效果(97%)高於 200 bar 壓力下之萃取效果(90%)。不同輔溶劑比例萃取實驗結果顯示在高壓(350 bar)與高溫(120°C)下，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提升高。在偏低溫度與較低輔溶劑比例下，溫度與輔溶劑比例對萃取效率之影響皆相當顯著，但溫度上升後對萃取效率之影響比輔溶劑比例增加更趨明顯。最後，本研究以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³之成本，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力。

十六、英文摘要：

In this studying, we have designed a pilot CO₂ supercritical fluid extraction (SFE) system, which is composed with gas source, high pressure pump, extraction tank, temperature controller, pressure controller and separation device. The SFE results revealed the treatment efficiency reach about 98% under 120°C, 350bar, 30g/min CO₂ and 5% methanol. It is worth to mention that pressure, co-solvent ration (v/w) and temperature play important roles in SFE system. Moreover, the high-chloride dioxins are hard to extraction than lower ones. However, co-solvent ration and chloride number of dioxin will not be critical factors under higher temperature (120 °C). Finally, the cost of SFE system is about 5,000 NTD/m³, which is full of potential compare with other remediation technologies.

報告大綱

本報告共計分六章，第一章說明計畫緣起、執行目標，第二章針對計畫之目的，以計畫之背景、污染物特性、土壤污染整治技術、超臨界流體與類戴奧辛污染土壤超臨界流體萃取分別陳述。第三章研究方法則介紹採樣方法與原因、預計可能遭遇之困難及解決途徑、貴重儀器使用情形、執行方法與環安衛相關之配套措施。第四章陳述目前工作內容與重要成果，分別回顧安順場址戴奧辛土壤污染調查分析，完成超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計與系統之組裝與試運作。第五章、第六章則針對目前之成果與結論予以粗略建議。

第一章 計畫緣起

有鑒於環保署土污基管會鼓勵國內土壤及地下水污染整治相關機構及學術研究單位進行土壤及地下水之政策研究、調查評估及整治復育等工作，以落實提昇本土化之土壤及地下水污染整治業務發展與推動，本計畫結合化學工程(義守大學)、環境工程科學(成功大學)、機械工程(金屬工業研究中心)等專業人員組成研發團隊，投入該土壤及地下水污染研究計畫，計畫執行期程為 1 年限，針對安順場址戴奧辛毒性物質，進行超臨界二氧化碳萃取技術研發。

第二章 計畫目的

針對論述場址背景(2.1 計畫之背景)與污染物特性(2.2 污染物特性)，簡述本場址之鹼氯與五氯酚製程所產生的廢污物與副產物、以及關廠後留置的原料產生的物質未妥善處理，使廠內土地受有高毒性的汞、戴奧辛(及五氯酚)毒性物質污染。中石化公司自 2009 年 5 月開始執行安順廠場址的整治計劃。遂導入目前常見之土壤整治技術(2.3 土壤污染整治技術)。隨後針對本計畫之超臨界流體萃取技術 (2.4 超臨界流體)作一概述說明，最後回顧類戴奧辛污染土壤超臨界流體萃取技術(2.5 類戴奧辛污染土壤超臨界流體萃取)，以為本計畫之參考。

第三章 研究方法

研發安順廠超臨界二氧化碳萃取戴奧辛技術時，必須考慮以下幾項會影響萃取效率的重要因素，包括壓力與溫度之調節、修飾劑之添加、含水量、土壤型態等。相關採樣方法(3.1 採樣方法與原因)與可能遭遇之困難及解決途徑(3.2 預計可能遭遇之困難及解決途徑)於本章節加以描述。後續執行過程，如貴重儀器

使用情形(3.3 貴重儀器使用情形)與實驗流程與設計、實驗設備等執行方法(3.4 執行方法)，包括場址內人員因工作性質不同，其污染物暴露風險亦不同，因此針對不同工作性質人員，須有對應之安全防護設備要求(3.5 相關配套措施)，亦於本章節詳以描述。

第四章 工作內容及重要成果

本計畫場址過去曾進行多項調查工作，為獲瞭解場址污染特性以獲得具代表性土壤，遂回顧安順場址戴奧辛土壤污染調查結果(4.1 安順場址戴奧辛土壤污染調查分析回顧)。另本計畫已完成超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計(4.2 超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計)與相關系統組裝與試運轉亦已完成(4.3 系統之組裝與試運作)。五氯酚工廠區之土壤戴奧辛為本污染場址代表性土壤，因此本研究以此地區為目標，深入討論其污染特性與應用超臨界流體萃取之可行性評估(4.4 代表性土壤特性分析)。超臨界萃取結果顯示本技術確為可行之技術，在溫度 120 度西與壓力 350bar、甲醇濃度 10% 下，總戴奧辛 I-Teq 即可達約 98% 之去除效率(4.5 超臨界流體萃取實驗)。最後，本研究以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³ 之成本，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣 (4.6 經濟評估)。

第五章 目前成果與結論

由目前實驗結果得知，不同壓力超臨界萃取實驗結果顯示 350 bar 壓力下之萃取效果(97%)高於 200 bar 壓力下之萃取效果(90%)。不同輔溶劑比例萃取實驗結果顯示在高壓(350 bar)與高溫(120℃)下，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提升。在偏低溫度與較低輔溶劑比例下，溫度與輔溶劑比例對萃取效率之影響皆相當顯著，但溫度上升後對萃取效率之影響比輔溶劑比例增加更趨明顯。本研究以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³ 之成本，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力。

第六章 後續執行建議

針對技術關鍵問題持續深入探討，方得使本技術具實際應用於受污土壤之整治。後續可能面臨之關鍵問題包括(a)最適萃取時間為何；(b)未來放大設計所需考量之因子為何；(c)如何達到最佳化系統操作；(d)不同污染介質(如爐渣)是否適用；(e)土壤經萃取後，可否再利用等。

計畫成果摘要（詳細版）

計畫名稱：超臨界二氧化碳萃取土壤中戴奧辛之研究

計畫編號：EPA-99-GA103-03-A236-11

計畫執行單位：國立成功大學環境研究中心

計畫主持人(包括協同主持人)：陳彥旻、林高弘、梁明在

計畫期程：99 年 12 月 29 日起 100 年 12 月 28 日止

計畫經費：新台幣 玖拾捌萬元整

摘要

本計畫已完成超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計，超臨界流體萃取裝置主要包括流體來源、高壓幫浦、萃取槽、控溫設備、壓力調控裝置、分離收集裝置等，相關系統組裝與試運轉業已完成。超臨界二氧化碳萃取實驗結果得知，本超臨界萃取技術確為可行之技術，在溫度 120°C、甲醇濃度 10%、壓力 350bar 下，超臨界萃取即可達約 98% 之去除效率。不同壓力超臨界萃取實驗結果顯示 350 bar 壓力下之萃取效果(97%)高於 200 bar 壓力下之萃取效果(90%)。不同輔溶劑比例萃取實驗結果顯示在高壓(350 bar)與高溫(120°C)下，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提升高。在偏低溫度與較低輔溶劑比例下，溫度與輔溶劑比例對萃取效率之影響皆相當顯著，但溫度上升後對萃取效率之影響比輔溶劑比例增加更趨明顯。最後，本研究以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³ 之成本，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力。

In this studying, we have designed a pilot CO₂ supercritical fluid extraction (SFE) system, which is composed with gas source, high pressure pump, extraction tank, temperature controller, pressure controller and separation device. The SFE results revealed the treatment efficiency reach about 98% under 120°C, 350bar, 30g/min CO₂ and 5% methanol. It is worth to mention that pressure, co-solvent ration (v/w) and temperature play important roles in SFE system. Moreover, the high-chloride dioxins are hard to extraction than lower ones. However, co-solvent ration and chloride number of dioxin will not be critical factors under higher temperature (120°C). Finally, the cost of SFE system is about 5,000 NTD/m³, which is full of potential compare with other remediation technologies.

前 言

本計畫目的在於設計製作一組超臨界二氧化碳萃取系統，針對戴奧辛萃取效率進行討論，研究操作壓力、溫度與萃取時間對超臨界二氧化碳萃取系統萃取率之影響，經由一系列實驗，所得之數據加以分析討論。相關研發成果、技術、知識、經驗首先將提供未來安順場址進行整治復育第一手的技術資料及後續規劃工程實作之重要依據，以因應未來整治技術的實廠應用，並樹立污染國土整治復育的參考範例，提升台灣環保產業國際競爭力。

研究方法

本計畫結合化學工程(義守大學)、環境工程科學(成功大學)、機械工程(金屬工業研究中心)等專業人員組成研發團隊，針對中石化安順場址戴奧辛毒性物質，進行超臨界二氧化碳萃取技術研發。本計畫目的在於設計製作一超臨界二氧化碳萃取系統，針對戴奧辛萃取效率進行討論，研究操作壓力、溫度對超臨界二氧化碳萃取系統萃取率之影響，經由一系列實驗，所得之數據加以分析討論。

結 果

本計畫目前已完成超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計，超臨界流體萃取裝置主要包括流體來源、高壓幫浦、萃取槽、控溫設備、壓力調控裝置、分離收集裝置等六部分。由目前實驗結果得知，不同壓力超臨界萃取實驗結果顯示 350 bar 壓力下之萃取效果(97%)高於 200 bar 壓力下之萃取效果(90%)。不同輔溶劑比例萃取實驗結果顯示在高壓(350 bar)與高溫(120°C)下，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提升。在偏低溫度與較低輔溶劑比例下，溫度與輔溶劑比例對萃取效率之影響皆相當顯著，但溫度上升後對萃取效率之影響比輔溶劑比例增加更趨明顯。本研究以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³ 之成本，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力。

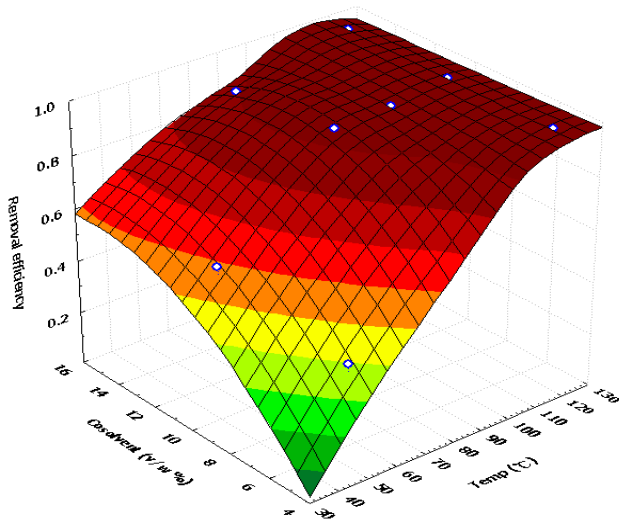
結 論

1. 不同輔溶劑比例萃取實驗結果顯示在高壓(350 bar)與高溫(120°C)下，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提升高。在偏低溫度與較低輔溶劑比例下，溫度與輔溶劑比例對萃取效率之影響皆相當顯著，但溫度上升後對萃取效率之影響比輔溶劑比例增加更趨明顯。
2. 分析 17 種戴奧辛之同源物質之去除效率，低溫時 HxCDF、OCDF、OCDD 等高氯數之戴奧辛污染物萃取效率相較於其他氯數戴奧辛偏低，但在 120 度西時不同氯數間則無顯著差異。
3. 不同土壤粒徑萃取實驗結果顯示較細土壤粒徑之萃取效率略高於原土壤樣本。可能因為均質性較高之土壤有較少之短流現象，可較均勻萃取土壤中之戴奧辛。
4. 不同土壤含水率萃取實驗結果可知在偏低輔溶劑比例萃取下(5%)，土壤含水率高低會影響萃取最終效率，但提高輔溶劑比例後，土壤含水率高低對於土壤中戴奧辛之萃取效率幾無顯著變化。
5. 本超臨界萃取技術確為可行之技術，在溫度 120 度西下、甲醇濃度 10%、壓力 350 bar 即可達約 98% 之去除效率。
6. 以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³ 之成本，其設計條件為設置 3 碳鋼萃取槽(每套 0.5 m³)，每天操作 24 小時，每年操作 330 天，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力。

建議事項

超臨界流體技術國內金屬工業發展中心與相關設備廠商已多所投入，超臨界流體技術研究與工業化應用上並不落後於開發國家，一旦國內完成應用於污染整治之範例，將可大大降低初設與操作成本。後續執行建議可持續投入相關研發經費，並針對其他許多親油性且極難去除之污染物質。

針對技術關鍵問題持續深入探討，方得使本技術具實際應用於受污土壤之整治。後續可能面臨之關鍵問題包括(a)最適萃取時間為何；(b)未來放大設計所需考量之因子為何；(c)如何達到最佳化系統操作；(d)不同污染介質(如爐渣)是否適用；(e)土壤經萃取後，可否再利用等。



| |
|--|
| 處理量/年： 10,000 m ³ |
| Cycle time/Batch： 3 hr |
| 萃取槽數量： 3 unit |
| 操作時數/天： 24 hr |
| 操作日數/年： 330 day |
| 萃取槽體積： 1,578 L |
| 分離槽體積： 395 L |
| CO ₂ 流量： 3,157 LPH |
| Co-solvent 流量： 316 LPH |
| CO ₂ 儲槽： 5,327 L |
| 總設備投資： 200 M NTD 槽體材質：碳鋼 |
| 折舊年數： 10 YR |
| 平均設備成本： 2,000 NTD/ m ³ |
| CO ₂ 成本： 1,585 NTD/DAY CO ₂ ： 5 元/kg |
| 能源成本： 56,818 NTD/DAY |
| 人事成本： 13,800 NTD/DAY 人數： 4 人/班(1 名班長, 2 名現場, 1 名監控室) |
| 維護成本： 5,556 NTD/DAY |
| 平均操作成本： 2,566 NTD/ m ³ |
| 平均處理成本： 4,566 NTD/ m ³ |

第一章 計畫緣起

章節摘要

有鑒於環保署土污基管會鼓勵國內土壤及地下水污染整治相關機構及學術研究單位進行土壤及地下水之政策研究、調查評估及整治復育等工作，以落實提昇本土化之土壤及地下水污染整治業務發展與推動，本計畫結合化學工程(義守大學)、環境工程科學(成功大學)、機械工程(金屬工業研究中心)等專業人員組成研發團隊，投入該土壤及地下水污染研究計畫，計畫執行期程為 1 年限，針對安順場址戴奧辛毒性物質，進行超臨界二氧化碳萃取技術研發。

本計畫目的在於設計製作一組超臨界二氧化碳萃取系統，針對戴奧辛萃取效率進行討論，研究操作壓力、溫度與萃取時間對超臨界二氧化碳萃取系統萃取率之影響，經由一系列實驗，所得之數據加以分析討論。相關研發成果、技術、知識、經驗首先將提供未來安順場址進行整治復育第一手的技術資料及後續規劃工程實作之重要依據，以因應未來整治技術的實廠應用，並樹立污染國土整治復育的參考範例，提升台灣環保產業國際競爭力。

配合環保署土污基管會鼓勵國內土壤及地下水污染整治相關機構及學術研究單位進行土壤及地下水之政策研究、調查評估及整治復育等工作，以落實提昇本土化之土壤及地下水污染整治業務發展與推動，加以成功大學環境研究中心地點鄰近安順場址且對於整治技術已多所投入，特參與該土壤及地下水污染研究計畫，計畫執行期程為1年限。

根據估算，廠內陸域總土方共約176,770 m³，水域土方約118,289 m³，其他區域（暫存區）土方約51,133 m³。總體而言，主要以戴奧辛污染面積範圍較廣。然依中石化公司估計，整治場址內屬中低濃度(戴奧辛濃度低於50,000 ng I-TEQ/kg；汞濃度低於1,000 mg/kg)的污染土方約為49 萬公噸，若持續採用熱處理方式，總處理成本將非企業主所能負擔，因此研發一具經濟可行之處理/減量技術為首要之務。

許多文獻指出超臨界流體萃取技術成本僅熱處理成本1/4~1/2 (Tavlarides 等人, 2000; Zhou et al., 2004; Saldaña et al., 2005)。其中二氧化碳為超臨界流體最常使用的流體，其無毒性易被環境所接受，而且不會造成二次污染，性質安定不易燃燒且無自燃性，故不須添加額外防爆裝置且無洩漏時危險之疑慮，來源充裕，價格便宜，沒有溶劑殘留的問題存在，低黏度、低表面張力、易處理微孔隙物質以及萃取效率快等優點，而二氧化碳帶有高質傳效率，使其成為一個有效率的溶劑。二氧化碳使用後亦容易壓縮回收，不致於造成溫室效應等問題。

有鑒於此，本計畫結合化學工程(義守大學)、環境工程科學(成功大學)、機械工程(金屬工業研究中心)等專業人員組成研發團隊，針對安順場址戴奧辛毒性物質，進行超臨界二氧化碳萃取技術研發。本計畫目的在於設計製作一組超臨界二氧化碳萃取系統，針對戴奧辛萃取效率進行討論，研究操作壓力、溫度與萃取時間對超臨界二氧化碳萃取系統萃取率之影響，經由一系列實驗，所得之數據加以分析討論。相關研發成果、技術、知識、經驗首先將提供未來安順場址進行整治復育第一手的技術資料及後續規劃工程實作之重要依據，以因應未來整治技術的實廠應用，並樹立污染國土整治復育的參考範例，提升台灣環保產業國際競爭力。

第二章 計畫目的

章節摘要

本計畫組成研發團隊，目的即在針對安順場址戴奧辛毒性物質，進行超臨界二氧化碳萃取技術研發。本章首先針對論述場址背景(2.1 計畫之背景)與污染物特性(2.2 污染物特性)，簡述本場址之鹼氯與五氯酚製程所產生的廢污物與副產物、以及關廠後留置的原料產生的物質未妥善處理，使廠內土地受有高毒性的汞、戴奧辛(及五氯酚)毒性物質污染。中石化公司遂自 2009 年 5 月開始執行安順廠場址的整治計劃。進而導入目前常見之土壤整治技術(2.3 土壤污染整治技術)。隨後針對本計畫之超臨界流體萃取技術 (2.4 超臨界流體)作一概述說明，最後回顧類戴奧辛污染土壤超臨界流體萃取技術(2.5 類戴奧辛污染土壤超臨界流體萃取)，以為本計畫之參考。

2.1 計畫之背景

本場址位於台南市安南區鹿耳里北汕尾二路（原顯草街二段）421 號。場址附近主要囊括鹿耳里、顯宮里及四草里等三里，北鄰台鹼員工宿舍區與台南鹿耳門天后宮地區，中有海水貯水池相隔，東鄰台南科技工業區，場址南方 900 公尺為台南四草地區，中有魚塭相隔，西鄰鹿耳門溪。場址距離鹿耳門溪出海口約 1.5 公里，對外聯絡之主要道路為廠區東側之北汕尾二路(原二等九號道路)。由地籍資料統計，廠區共 6 筆地號土地面積約為 15.4 公頃；單一植被區計有 2 筆地號面積約 4.7 公頃（部份為水塘）；草叢區依公告範圍面積約 1.5 公頃（但依現場實際圍籬範圍估算約為 2.7 公頃）；海水貯水池範圍共計 23 筆地號，土地面積約 15.5 公頃（依實際面積估算）。上述範圍之土地除海水貯水池北邊約 11 公頃屬國有土地外，其餘土地均為中石化公司所有，目前公告為「整治場址」之廠區及草叢區土地已遭禁止處分登記。二等九號道路 1K+800 至 2K+815 範圍共計 38 筆地號，土地面積約 3 公頃，污染土壤已移除，並填回乾淨客土，台南市政府並於 94 年 5 月 26 日已公告解除二等九號道路控制場址。

中國石油化學工業開發股份有限公司(以下簡稱中石化公司)安順廠之前身為日本鐘淵曹達株式會社。該廠設立於 31 年，開闢安順鹽灘 1400 甲以自給原料，以水銀電解槽製造燒鹼，供應提溴工場提製溴素。當時除生產燒鹼外，亦生產漂白粉、鹽酸與液氯。35 年台灣光復後更名為台灣製鹼公司台南廠，40 年又更名為台灣製鹼公司安順廠(以下簡稱台鹼安順廠)，並應用所生產之氯氣於 53 年增設五氯酚 (pentachlorophenol, PCP) 生產工廠。在 35 至 55 年間台鹼安順廠為經濟部及省政府擁有，56 至 71 年轉至中油公司。71 年 6 月，台鹼安順廠因為經濟因素停工關廠，關廠後次年則併入中石化公司，並成立中石化安順廠保管工作處。

中石化前台鹼安順廠之鹼氯與五氯酚製程所產生的廢污物與副產物、以及關廠後留置的原料產生的物質未妥善處理，使廠內土地受有高毒性的汞、戴奧辛(及五氯酚)毒性物質污染。中石化公司自 2009 年 5 月開始執行安順廠場址的整治計畫，擬以整治序列概念將整治計畫分成二階段進行，第一階段整治時程規劃五年，將先針對高污染濃度（戴奧辛濃高於 50,000 ng I-TEQ/kg; 汞高於 1000 mg/kg）之

土壤，以熱處理、熱脫附為主的技術處理污染土壤。第二階段規劃 10 年以上整治期，以其他有效、成本可負擔且環境友善的技術處理中低濃度污染物。台南市環保局今年(2011)2 月針對中石化（台鹼）安順廠污染場址的草叢區、樹林區及單一植被區進行污染移除後的 3 次驗證，通過驗證面積為 8.66 公頃，佔污染場址總面積 37.1 公頃的 23.34%，已達成整治計畫規劃的第一年目標整治面積 20%。

2.2 污染物特性

台鹼安順廠當年廠址為台南市安南區鹿耳里媽祖宮320號，主要產品為燒鹼、液氯及鹽酸。自36～66年之間，大約估計共生產30萬公噸燒鹼、30萬公噸液氯及12萬公噸鹽酸。除鹼氯製程外，台鹼安順廠並於47年開始銷售五氯酚類，本類產品包括五氯酚、五氯酚鈉、五氯酚鈉溶液等。58年實施五氯酚增產計畫並興建可日產4公噸之五氯酚鈉工廠。68年因環保及經濟等多方面考量之下，於當年6月關廠停工，並封存約5,000公斤五氯酚鈉於廠區內。

台鹼安順廠停工後，設備皆已拆除，多數廠房也已經推平。廠區及鄰近區域主要污染物質為汞、五氯酚（原產品為五氯酚鈉）及戴奧辛，以下針對三種污染物質說明其物化特性及毒性等基本資料，污染物之主要物化性質如表 2-1 所示。

2.2.1 汞

汞(Mercury)是常溫下唯一之液態金屬，沸點為 356.72 °C，熔點為-38.87 °C，為所有金屬中最低者，具有金屬銀白色光澤。汞是毒性極強之重金屬污染物，當人體吸入元素汞蒸氣會造成急性中毒，特有的症狀有肺炎、嗜睡、失眠、發燒、呼吸急迫、咳嗽、胸痛、發紺、下痢、嘔吐、肺膨脹不全、氣腫、出血、肋腔積氣等症狀。慢性元素汞中毒，則會對中樞神經系統產生神經性和精神性病變。汞散佈在環境介質中易被土壤所吸附/吸收，不易在土壤中傳輸。汞存在於底泥時不易釋出到水體環境中，卻可藉由微生物作用轉換成有機汞(甲基汞)。甲基汞之毒性及生物有效性（Bioavailability）均高於元素態或離子化合物形態之汞。汞轉換成甲基汞之影響因素包含 pH、氧化還原電位、硫及溶解性有機碳、底泥有機物含量、鐵含量等，其轉換機制甚為複雜，尚未確切明瞭。

表 2-1 舊安順廠主要污染物之物化性質

| 項 目 | 汞 | 五氯酚 | 五氯酚鈉 | 戴奧辛 ¹ |
|---------------------|------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---|
| 分子式 | Hg | C ₆ Cl ₅ OH | C ₆ Cl ₅ OHNa | C ₁₂ H ₄ C ₁₄ O ₂ |
| CAS.NO | 07439-97-6 | 00087-86-5 | 00131-52-2 | 1746-01-06 |
| 分子量 | 200.6 | 266.35 | 288.30 | 322 |
| 物質狀態 | 液態 | 固體 | 固體 | 固體 |
| 顏色 | 銀白色 | 白色 | 白色、棕色 | 無色 |
| 形狀 | 流動性液體 | 晶狀固體 | 粉末 | 針狀 |
| 熔點(°C) | -38.87 | 190 | - | 305~306 |
| 沸點(°C) | 356.72 | 310 | - | 446.5 |
| 氣味 | 無 | 刺激味 | 甜味 | - |
| 溶解度(mg/L) | 56 | 20(30°C) | 29%(10°C) | 1.93E-06 |
| 比重 | 13.534 | 1.987 | - | - |
| 蒸氣密度 | 7.0 | 9.20 | - | - |
| log K _{ow} | - | 5.01 | - | 6.8 |
| 物品危害分類 | 腐蝕性 | 毒性 | 毒性 | - |

註：1.戴奧辛為 2 百多種不同衍生物之總稱，此處以 2,3,7,8-TCDD 為代表。

資料來源：行政院環保署毒性化學物質災害防救查詢系統

2.2.2 五氯酚

五氯酚一般認為大部分是由人類行為活動所產生，天然產生的五氯酚可能是黴菌的代謝產物所形成。五氯酚一般呈暗灰色粉末或薄結晶片，於常溫時比重為 1.98，其比重大水但小於土壤，廣泛使用於木材防腐劑及除草劑等用途。常溫下五氯酚不易溶於水中，溶解度約為 20 mg/L，且易被土壤中有機物吸附/吸收。當五氯酚粉末濃度大於 1 mg/m³ 時，會對眼睛及鼻子產生刺激，但有時濃度在 0.3 mg/m³ 時，即可對鼻子產生刺激。由於人類數十年的廣泛使用，五氯酚已經普遍存在於大自然中，並在人體中發現過，是可疑致癌物之一。五氯酚主要的影響是會對循環系統產生急性毒性，造成心臟衰竭。

2.2.3 戴奧辛

戴奧辛 (Dioxin) 是兩個氧原子聯結一對苯環類化合物之統稱，為平面狀的三環芳香族化合物。戴奧辛約有 210 種不同的化合物，包括 75 種多氯二聯苯戴奧辛 (Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, 簡稱 PCDDs) 及 135 種多氯二聯苯呋喃 (Polychlorinated dibenzofurans, 簡稱 PCDFs)，它們有相似的物性、化性及生化反應機制。戴奧辛異構物中在 2,3,7,8 位置有被氯原子取代者，其毒性均相對較高，其中 PCDDs 有 7 種，PCDFs 有 10 種，而以 2,3,7,8-TCDD 之毒性最強。戴奧辛毒性大小通常以對等毒性因數 (Toxic Equivalency Factor, TEF) 表示，即將每一種 2,3,7,8 位置有氯取代之 PCDDs 及 PCDFs 毒性與 2,3,7,8-TCDD 相比得到之比值。

戴奧辛 (以毒性最強的 2,3,7,8-TCDD 為例) 是無色針狀結晶物，分子量為 322。戴奧辛在平常狀態下非常穩定，即便是在熱、酸、鹼中亦是非常穩定，僅少數微生物對其有分解能力，且在水中不會水解或與單氧或超氧自由基反應。戴奧辛水中溶解度與亨利常數甚低，分別為 1.93×10^{-6} mg/L 與 1.62×10^{-5} atm-m³/mole，很容易分配或是吸附在土壤環境介質中。在土壤中移動性很慢，移動 10 cm 通常需要大於 10 年的時間。由於戴奧辛之辛醇分配係數極高 ($\log K_{ow} = 6.8$)，導致很容易透過肉乳類食物鏈轉移而累積與儲存於人體脂肪組織內。人類受戴奧辛暴露超過 90 % 以上的環境暴露來源，係經由日常飲食中的食物攝取而來。主要的暴露途徑，包含(1)經由呼吸進入：燃燒行為、焚化爐氣體排放及機動車輛排煙；(2)經由食物進入：含戴奧辛的殺蟲劑、除草劑經由農作物吸收，再食入人體，或由空氣傳輸到蔬菜、穀物、牧草，再經由食物鏈傳到人體，或由水中戴奧辛經由生物濃縮，再經由食物鏈進入人體；(3)水源：因戴奧辛於水中的溶解性極低，故大部分均由水中底泥吸附，水中含量通常極為微量。

2.3 土壤污染整治技術

目前常見之土壤污染整治技術，包括固化/穩定化、玻璃化法、分離濃縮及植生復育法等處理技術。其中分離濃縮處理技術，涵蓋物理分離、土壤淋洗法、溶液萃取法、熱脫附法及電動力法等(經濟部工業局，2006)。

- a. 固化/穩定化處理技術：利用固化劑或添加劑，加入在廢棄物裡與有害物質相混合，使其有害物質受到限制不會四處擴散，或使有害物質產生化學變化，而降低或去除其毒性之處理技術。固化/穩定化處理技術無法破壞污染物，僅能儘量使污染物無法移動，降低其對環境的危害。
- b. 玻璃化法：為將廢棄物於高溫下處理之技術(高於1000°C)，是以電能轉變成熟能的物理方法，將土壤中污染物質破壞分解或固定於成玻璃狀的矽酸鹽物質中，而降低污染物的移動性。
- c. 分離濃縮處理技術：分離濃縮處理技術之離地處理方法，包括物理分離、高溫分離與溼式分離等，其中，高溫分離技術如熱脫附法，利用高溫將污染土壤中的汞分離出來；溼式分離技術如土壤淋洗、溶液萃取、超臨界流體萃取，利用液相或有機溶劑對土壤、污泥進行化學性萃取，將所欲處理之汞重金屬溶出，並加以回收、再生。分離濃縮處理技術之現地處理方法，則有電動力法。
- d. 植生復育法：植生復育法即利用環境中自然存在或額外添加大量功能性微生物菌群，或栽種具有去除環境污染物功能的植物，以降解、吸收或改變有害物質成為無害或低毒性產物的方法。其優點主要有符合環保方法、成本低、無二次污染、可在現地進行、較具經濟性、對場址的擾動較小、大眾接受度較高並可美化環境等種種功能。植生復育法於重金屬污染土壤整治之同時，仍可兼顧土壤品質之維持，近年來已被廣泛的研究與應用。

2.4 超臨界流體

純物質通常具有眾所熟知的固、液、氣三相，在一個大氣壓力下，沸點以下的流體稱為液體，沸點以上稱為氣體。當系統的溫度與壓力增加到某一特定點，其液-氣兩相的密度趨於相同，以致於兩相合併為一均勻相，此時呈現為一均勻態亦無法分辨氣相或是液相，則稱之為超臨界相，如圖2-1 所示。而此特定點即為該物質的臨界點(Critical Point)，臨界點所對應的溫度、壓力和密度則分別成為該純物質的臨界溫度(Critical Temperature, T_c)、臨界壓力(Critical Pressure, P_c)與臨界密度(Critical Density, ρ_c)。超過臨界點，無論壓力如何變化，無法使該物質液化，溫度如何升高也無法返回氣相，因此我們稱高於臨界溫度與壓力的均勻相為超臨界流體 (Supercritical Fluid, SCF)。物質在超臨界流體的溶解度，主要受到溶質的活性、溶質和溶劑特性所影響。混合物的分離可藉由調整溶劑特性和改變溫度、壓力而達到分離之目的(桂椿雄，1998; Maitin, 1991)。

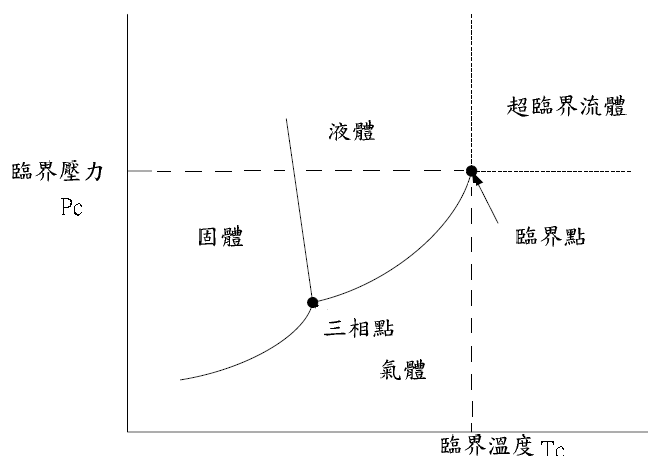


圖2-1 物質三相圖

超臨界流體之物性均在氣體與液體之間，具有類似氣體的擴散性及液體的溶解能力，同時兼具低黏度及低表面張力的特性，使得超臨界流體能夠滲入微孔隙的物質。因此，用於萃取時其萃取速率比液體快而有效，尤其是其溶解能力可隨溫度、壓力及極性而變化，此外部份流體如二氧化碳還有其他的優點，例如惰性、

非毒性特徵和低成本，增加其在樣品上的預先處理之簡便性，而最常使用的超臨界流體有二氧化碳、水、丙烷及甲醇等。

表2-2 超臨界流體特性比較

| 相 | 密度 (kg/m ³) | 黏度 (g/cm.s) | 擴散係數 (cm ² /s) |
|------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 氣相 | 1 | (0.5-3.5) ×10 ⁻⁴ | 0.01-1.0 |
| 液相 | 103 | (0.3-2.4) ×10 ⁻² | (0.5-2.0) ×10 ⁻⁵ |
| 超臨界相 | (2-9)×10 ² | (2.0-9.9) ×10 ⁻⁴ | (0.5-3.3) ×10 ⁻⁴ |

2.4.1 超臨界流體之演進與應用

超臨界流體萃取技術是近三十年來發展迅速之新興化工分離技術，已廣泛應用於醫藥、食品、生化、環保、能源等諸多領域。主要原因為其相較於傳統化工製程可大幅減低對環境之污染及能源使用，且由於環保意識抬頭對於環境品質的要求越來愈嚴格，使得超臨界流體在永續的觀點上可以稱做為綠色化學(green chemistry)。而超臨界二氧化碳或其他超臨界流體相較於傳統工業溶劑，其應用上是對環境友善的。

1978 年在德國出現了第一套用於去除咖啡豆中咖啡因之商業運轉設備後，對於超臨界流體萃取技術之應用即蓬勃發展。超臨界流體萃取被應用於土壤污染、環境分析、核能廢棄物清除和生活飲用水處理，最早是由Hawthorne和Miller 將超臨界流體萃取 應用在萃取多氯聯苯、PAHs 等環境分析上(Hawthorne et al., 1989)。此外超臨界流體萃取 也被運用於萃取土壤中微量之有機金屬分析。早期超臨界流體萃取在歐洲工業發展過程中是處於領先的地位，美國則到了1970年中期，才開始進行相關的研究，直到1988 年才在工業上開始發展，因而促使工業界轉而使用SFE 方式(王少芬等人，1999)。

自 1990 年開始，美國能源部推動 IWP 計畫 (Industrial Waste Program)，贊助研發超臨界流體技術及促進商業化，以取代傳統的溶劑清洗製程。研究方向為

運用成熟的超臨界流體萃取技術，開發實用之超臨界流體洗淨製程(Project (9/90-9/96))。1992 年 6 月 Edward Bok et al.等人首先發表利用超臨界二氧化碳清洗單片晶圓，利用特殊的設計的萃取裝置，將二氧化碳加壓進入晶圓的渠溝和縫隙結構中，藉由操作壓力的循環調整，使得表面顆粒隨流體移動，達到晶圓表面清洗的效果(Edward et al., 1992)。1996 年美國 North Carolina 大學 DeSimone 教授研究，超臨界二氧化碳的非離子型界面活性劑，(polystyrene)PS-b-PFOA (1, 1 - dihydroperfluorooctyl acrylate)(McClain, 1996)。美國 Idaho 大學化學系魏建謨教授研究不同的螯合劑(β -diketones)萃取重金屬(Cd、Pb、Hg)，操作溫度 45~60°C，操作壓力 200~250 atm，添加 5%的甲醇當做共溶劑，萃取效率 95%(Smart, 1997; Wai, 1996)。2000 年美國 Pittsburgh 大學化工系 Beckman 教授，研究矽官能基、醚-碳酸聚合物 poly(ether-carbonate)s 及具乙酸官能基的醚類聚合物，發現醚-碳酸聚合物在二氧化碳中混溶壓力比全氟醚類聚合物還低，因而找出使用非氟化的親二氧化碳界面活性劑(Traian et al., 2000)。

往後的 10 年，大量的研究專注在半導體產業的應用，其中主要以晶圓清洗以及光阻劑的去除為主(郭氏，2003; Biberger, 2000; Ober, 2003)。在此期間使用液態二氧化碳為主的清洗製程也陸續被開發出來，如 Hughes 公司(美)於 1999 年推出的 sueprScrub™ 液態 CO₂ 工件清洗設備，SEPREX 公司(法)的 CarbonetR 液態 CO₂ 工件清洗設備，Micell 公司(美)的 Miclean™ 液態 CO₂ 工件清洗設備。

國內除了在清洗技術的產業發展領先之外，其它學界與法人單位近年的研究主要有：

1. 1998/06 清大原子楊末雄教授「利用超臨界流體萃取配合放射性示蹤技術進行矽晶圓表面超潔淨清」(詹氏，1998)。
2. 1999/06 清大材料陳建瑞教授「矽晶圓微量金屬超潔淨研究」(吳氏，1999)。
3. 2000/02 義美出好米大量商業化生產，設計量 30,000T/Y。
4. 2000/06 聯華電子公司廖俊雄、姜元昇先生申請中華民國專利「利用超臨界流體清洗半導體晶片的方法與其設備」。(廖俊雄、姜元昇，2000)
5. 2000/12 金工中心郭子禎申請中華民國專利「低成本可液化氣體洗淨系統」。

6. 2003/05 金工中心超臨界二氧化碳洗淨設備技術引進成果發表會。
7. 2008/02 弘光大學環安系周偉龍教授利用超臨界二氧化碳與萃取劑萃取廢水中的銻與鎂。
8. 2010/06 台電委託義守大學進行以二氧化碳清除受輻射污染土壤之技術開發。

另國內台灣超臨界流體協會民國93年8月1日經內政部核准正式成立，為推動超臨界流體產業應用發展與促進相關技術整合，2002至2010年國內每年亦會舉辦超臨界流體技術應用與發展研討會，去年第九屆2010年超臨界流體技術應用與發展研討會於2010年10月15 ~16日兩天假彰化 建國科技大學舉行。在在顯示本國的超臨界流體技術研究與工業化應用上並不落後於開發國家。

至於在超臨界流體與土壤復育之應用，Saldaña et al., (2005)曾回顧 1994 年到 2004 年利用超臨界流體萃取技術整治污染土壤(如表 2-3 所示)，超臨界流體萃取技術已被應用於土壤與底泥中有機與無機污染物之萃取，如 PHCs、PAHs、PCBs、農藥、酚類/氯酚類、戴奧辛/呋喃、鎳/銅系元素與重金屬等。然關於戴奧辛萃取之文獻近年才廣為被研究，且在添加與實場之污染土壤上已被證實具有相當成效。

表2-3 超臨界流體萃取技術整治污染土壤案例 (Saldaña et al., 2005)

| Soil type (Spiked/field-contaminated) | Contaminant | Extraction mode | Modifier | Extraction conditions | |
|--|---|--------------------|--------------------------------|-----------------------|---------|
| | | | | P (MPa) | T (°C) |
| Field-contaminated soils (loam, sand, loamy sand, sandy loam, silt loam) | PAHs | d ^r | Methanol | 7.7-34 | 40-120 |
| Spiked sandy loam | PAHs | nr | Hexane, methanol, toluene | 23-60 | 50,80 |
| Field-contaminated soil (sandy clay loam, clay loam) | PCBs | d | Methanol | 8-26 | 40-60 |
| Field-contaminated soil ^{&} | PAHs | d ^r | Pentane | 40 | 90 |
| Spiked and aged spiked soils ^{&} | Pesticides | d | Methanol | 29.4 | 60 |
| Spiked soil (sandy and sandy-clay) | PAH | d | No | 7.5-25 | 40-60 |
| Field-contaminated soils ^{&} | PAHs, diesel oil, phenol, cresols, PCBs (Aroclor 1260) | c | Acetone, methanol | 10-15 | 150 |
| Field-contaminated soil CRM 481 ^{&} | PAHs, PCBs | c | No | 35-35.5 | 100,150 |
| Field-contaminated sediment | PCBs, PCDDs, PCDFs | c | Toluene (as internal standard) | 40 | 100 |
| Field-contaminated soil ^{&} | Phenol | d | Methanol | 8.3-13.8 | 45-125 |
| Field-contaminated soil ^{&} | PCBs | c | No | 30, 25 | 80-100 |
| Field-contaminated soil ^{&} | PAHs | d | Methanol | 12, 40 | 50-150 |
| Field-contaminated soils (CRM 529 and others ^{&}) | PCDD, PCDF | d ^r | Toluene | 26-50 | 60-120 |
| Field-contaminated soil (sandy silt) | Pesticides | c | Methanol | 38 | 60 |
| Field-contaminated soil (clay loam, sandy clay loam) | PAHs, PCBs | d | Methanol | 11-14 | 50 |
| Field-contaminated soils (sand) | P,p-DDD, p,p-DDT, p,p-DDE, dieldrin, aldrin, toxaphene | d | Methanol | 20, 30 | 40, 80 |
| Field-contaminated sediments SRM 1939 and industrial soil CRM 481 ^{&} | PCBs | d ^r | No | 12, 40 | 40-150 |
| Spiked soils (clay, clay sand) | Aroclor 1254, PHCs | c | Acetone | 21.8-37.9 | 60-80 |
| Field-contaminated soil ^{&} | PCBs | c | Methanol | 37.9 | 100 |
| Field-contaminated soils (clay soil, sandy) | Chlorophenols, chlorobenzene, chlorinated pesticide, chlorinated dibenzo-p dioxins and furans | c | Methanol | 20-45 | 50-100 |
| Field-contaminated soil ^{&} | PAHs | d ^r | Methanol | 10-40 | 90 |

s= static mode, d=dynamic mode, c= pseudo-dynamic mode (static + dynamic mode), [&]= soil type not available.

d^r= dynamic mode with pressure and/or temperature ramping, PCDDs= Polychlorinated dibenzodioxins, PCDFs= Polychlorinated dibenzofurans, p,p-DDT= Dichlorodiphenyltrichlorethane, p,p-DDD= Dichlorodiphenyldichloroethane, p,p-DDE= Dichlorodiphenyldichloroethylene, nr= not reported, DCM= dichloromethane.

表2-3(續) 超臨界流體萃取技術整治污染土壤案例 (Saldaña et al., 2005)

| Soil type (Spiked/ field- contaminated) | Contaminant | Extraction mode | Modifier | Extraction conditions | |
|---|---|--------------------|--|-----------------------|---------|
| | | | | P (MPa) | T (°C) |
| Spiked soils (clay, clay loam, sandy loam) | Planer and mono-ortho PCBs | c | Methanol | 7.7-38.3 | 40-100 |
| Spiked soils (loams and silts) | 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid | c | Methanol, benzoic acid/ methanol | 35.5 | 80 |
| Field-contaminated soil (sand, silt, clay) | PAHs | d | Methanol | 7.6-27.3 | 33-77 |
| Field-contaminated and spiked sediments; spiked soils (loamy sand, sand, clay) | PCBs | c | Methanol, acetone, toluene n-propanol, n-butanol, hexanes | 10-20 | 40-50 |
| Spiked soil (sandy silt) | Pesticides | c | Methanol, n-hexane, acetone | 38 | 60 |
| Field-contaminated soil [Ⓢ] | PAHs | d | Methanol, n-hexane, cyclohexane, toluene, ether, DCM, pyridine | 34 | 90 |
| Field-contaminated soil [Ⓢ] and sediments | PAHs, PCDDs, PCDFs | c | TFA, Toluene | 6.5-40 | 90-120 |
| Field-contaminated sediment | PAHs, PCBs | d | Methanol | 8.1-34.5 | 50-150 |
| Spiked soil (sand, sediment and top soil) | Pesticides | c | Acetone | 24.5 | 50 |
| Soil-water slurries [Ⓢ] | Phenol, PAHs | d | No | 10.1-22.1 | 35-45 |
| Spiked and field-contaminated silt | PAHs | d | Methanol, ethanol, water | 28-33 | 80, 130 |
| Spiked and field-contaminated rail road bed soil [Ⓢ] and marine sediments (SRM 1940 [Ⓢ]) | PCDDs, PCDFs, PAHs | d | No | 10.5-65 | 40-200 |
| Field-contaminated soils [Ⓢ] | PAHs, N- and S-heterocyclics, chlorinated phenols, pesticides | d | No | 40 | 50-350 |
| Spiked soils (sand and other soils [Ⓢ]) | Organochlorine pesticides | c | DCM, methanol, acetone | 30 | 50 |

s= static mode, d=dynamic mode, c= pseudo-dynamic mode (static + dynamic mode), [Ⓢ]= soil type not available.

d^r= dynamic mode with pressure and/or temperature ramping, PCDDs= Polychlorinated dibenzodioxins, PCDFs= Polychlorinated dibenzofurans, p,p-DDT= Dichlorodiphenyltrichlorethane, p,p-DDD= Dichlorodiphenyldichloroethane, p,p-DDE= Dichlorodiphenyldichloroethylene, nr= not reported, DCM= dichloromethane.

2.4.2 溶解度預測與狀態方程式應用

應用超臨界流體萃取技術，最關鍵的基本資料係溶解度。一般計算溶解度的方法可分成兩種：實驗統計校正與狀態方程式模式。溶質的溶解度一般接近以下的校正式，

$$\ln y_2 = A\rho + BT + C \quad (1)$$

式中 y_2 為溶質在超臨界二氧化碳中的莫耳分率， ρ 為超臨界二氧化碳的密度， T 為溫度，而 A 、 B 、 C 則為模式的三個參數。本式使用簡單，唯欠缺理論基礎，而且文獻上已知的參數並不完整。雖然研究日多，資料也愈來愈豐富，但普遍性不足是實驗校正式最大的缺點。

由於二氧化碳不具極性，因此在超臨界流體萃取的應用上，最經常被利用的狀態方程式係 Peng-Robinson 狀態方程式。該式可被寫成

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha(\omega, T)}{V(V+b) + b(V-b)} \quad (2)$$

式中各符號的意義定義如下：

$$a = 0.45724R^2T_c^2 / P_c \quad (3)$$

$$b = 0.07780RT_c / P_c \quad (4)$$

$$\alpha(\omega, T) = \left[1 + (0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2)(1 - \sqrt{T_r}) \right]^2 \quad (5)$$

上述狀態方程式陳述單一物質流體的PVT關係。然而對於兩成份以上的系統，在兩相平衡時，任一成分在各相的化學勢(chemical potential)相同，因此導出在相平衡時，純固體的逸壓和溶質在超臨界溶液的逸壓相等：

$$\hat{f}^v = f^s \quad (6)$$

其中如果固體為低揮發性且不可壓縮的，則逸壓可寫成

$$f_2^s = P_2^{sat} \phi_2^{sat} \exp \left\{ \frac{V_2^s (P - P_2^{sat})}{RT} \right\} \quad (7)$$

而溶質在超臨界溶液的逸壓可寫成

$$\hat{f}_2^v = y_2 \hat{\phi}_2^v P \quad (8)$$

低揮發性固體在超臨界溶液中的溶解度為

$$y_2 = \frac{P_2^{sat}}{\hat{\phi}_2^v P} \exp\left\{\frac{V_2^v(P - P_2^{sat})}{RT}\right\} \quad (9)$$

在計算上式的過程，必須引用適當的混合律。一般常用的混合律為凡得瓦混合律：

$$b = \sum y_i b_i \quad (10)$$

$$(a\alpha)_{ij} = (1 - k_{ij})\sqrt{(a\alpha)_i(a\alpha)_j} ; k_{ii} = 0 \quad (11)$$

$$a\alpha = \sum \sum y_i y_j (a\alpha)_{ij} \quad (12)$$

式(6)中溶質在超臨界二氧化碳中的偏分逸壓係數(partial fugacity coefficient)，若以搭配凡得瓦混合律的PR狀態方程式而言，該偏分逸壓係數寫成

$$\ln \phi_2^v = \frac{b_2}{b} (Z - 1) - \ln\left(\frac{P}{RT} (V - b)\right) + \frac{a}{2\sqrt{2}bRT} \left\{ \frac{2\sum_k y_k (a\alpha)_{2k}}{a} - \frac{b_2}{b} \right\} \ln \frac{V + b(1 - \sqrt{2})}{V + b(1 + \sqrt{2})} \quad (13)$$

以狀態方程式進行溶解度的計算具有較高的準確性，以及適用的普遍性，然而其計算與使用必須經過訓練方能有效行之。雖然多成份的萃取，狀態方程式也能預測，但其計算更行複雜，計算過程更是經常不易收斂。然而一般工業化的製程所需要的不僅是溶解度而已，更必須知道萃取曲線以及各種輸送性質以決定最佳的萃取時間與溶劑流速等操作參數。

2.4.3 萃取曲線模擬與輸送性質計算

在超臨界流體萃取的研究領域當中，已經有為數不少的研究者建立了溶質萃取的數學模式(Sovova, 1994; Reverchon, 1996)。Reverchon 所建立的模式主要是將質量平衡的微分式進行積分而模擬出萃取曲線，而 Sovova 的模式則嘗試將萃取的階段分成兩部份，然後導出三個可解析的萃取方程式(analytical equations)進而模擬出萃取曲線。本計畫協同主持人也曾成功以該模式，進行芝麻油、薏苡油、花生油、酸棗仁油、奇異果仔油等天然物的萃取研究。本計畫也將仿照以 Sovova 所導出的解析式進行模擬進而探討出各種操作條件對萃取效率的影響。

根據 Sovova 所作的假設(Sovova, 1994)，萃取過程主要可區分成三個階段：第一階段為較易萃取階段、第二階段為過渡階段、第三階段則為不易萃取的階段。這三個階段的質傳阻力與萃取曲線模式已經成功地應用在多種不同天然物的萃取上(Sovova et al., 1994; Stastova et al., 1996)。根據 Sovova 所導出的公式，其第一階段的萃取曲線可以表示成

$$E = qy_r[1 - \exp(-Z)] \quad (14)$$

式中 E 代表萃出物與載入試樣的重量比， q 係指所流過的二氧化碳之總重量與載入試樣的重量比， y_r 為溶質在超臨界二氧化碳中的平衡溶解度，而 Z 係代表以下各參數的組合；

$$Z = \frac{k_f a_o \rho}{\dot{q}(1 - \varepsilon)\rho_s} \quad (15)$$

上式中各符號的意義分別為：

k_f ：溶質在超臨界二氧化碳中的質傳係數(mass transfer coefficient)；

a_o ：萃取槽中單位體積內油相與超臨界二氧化碳之間的總界面之面積；

：超臨界二氧化碳的密度；

\dot{q} ：超臨界二氧化碳的重量流速與載入酸棗仁的重量比；

：試樣粉末在填充床中的孔隙度；

S ：待萃取試樣的密度。

當萃取量達到某一個程度時，溶質的萃取曲線便進入第二階段。Sovova 定義一個 q_m 當成是第一階段的結束而第二階段的開始；

$$q_m = \frac{x_o - x_k}{Zy_r} \quad (16)$$

式中 x_o 為所載入的待萃取試樣中所溶質的總重量百分比，而 x_k 則為較不容易被萃出的油溶性物質之重量百分比。當進入過渡階段之後其萃取曲線的公式可以表示成

$$E = qy_r \left\{ 1 - \frac{q_m}{q} \exp \left[Z \left(\frac{Z_w}{Z} - 1 \right) \right] \right\} \quad (17)$$

式中 Z_w 的定義如下：

$$\frac{Z_w}{Z} = \frac{y_r}{Wx_o} \ln \left(\frac{x_o \exp \left[Wq \left(1 - \frac{q_m}{q} \right) \right] - x_k}{x_o - x_k} \right) \quad (18)$$

式中的 W 與油溶性物質在固體結構內的質傳阻力有關，其被定義為

$$W = \frac{k_s a_o}{\dot{q}(1 - \varepsilon)} \quad (19)$$

其中 k_s 為溶質在固體試樣粉粒結構內的質傳係數。

當所流經的二氧化碳達到另一個程度時，油溶性物質的萃取曲線便進入第三階段。Sovova 另外再定義一個 q_n 當成是第二階段的結束而為第三階段的開始；

$$q_n = q_m + \frac{1}{W} \ln \left\{ \frac{x_k + (x_o - x_k) \exp \left(\frac{Wx_o}{y_r} \right)}{x_o - x_k} \right\} \quad (20)$$

第三階段的萃取曲線則以以下的公式代表：

$$E = x_o - \frac{y_r}{W} \ln \left\{ 1 + \frac{x_k}{x_o} \left[\exp \left(\frac{Wx_o}{y_r} \right) - 1 \right] \exp [W(q_m - q)] \right\} \quad (21)$$

由式(14)可以發現如果不考慮質傳阻力，則溶質的溶解度即為 E 對 q 作圖的斜率。然而在無法預知其 $k_f a_o$ 的影響情況之前，以斜率所計算的溶解度並不精確。此外由於溶質組成複雜，並無有效的熱力學模式可供其計算溶解度，因此實驗的經驗公式便成為較被大家所接受的估算方法。依據 del Valle 和 Aguilera 對大部份的油性物質在超臨界二氧化碳中的溶解度所校正之公式可以表示成 (Mukhopadhyay, 2000)：

$$y_r = \frac{1}{\rho} \exp \left\{ \left(40.361 - \frac{18708}{T} + \frac{2186840}{T^2} \right) (0.001\rho)^{10.724} \pm 2.7 \right\} \quad (22)$$

式中 T 代表以 Kelvin 所表示的溫度。

對於 Sovova 的萃取曲線公式而言共計有五個參數， y_r 、 x_o 、 x_k 、 $k_f a_o$ 、與 $k_s a_o$ 。爲了減低參數間的交互影響，本計畫將採用以下的方法進行萃取曲線的模擬：

1. 以 del Valle 和 Aguilera 的溶解度校正式計算油溶性物質在超臨界二氧化碳中的溶解度，計算時忽略(22)式指數內的 2.7 之誤差值；
2. 假定試樣中所含的總油量，因此其 x_o 爲已知；
3. 以實驗剛開始時所得的萃取數據估算 $k_f a_o$ ；
4. 同時調整 x_k 與 $k_s a_o$ 以獲得可被接受的模擬曲線。

圖2-2與圖2-3表示了酸棗仁的萃取受到萃取溫度與壓力的影響，圖中的實線即爲模擬計算結果(Liang et al., 2002)。如果實驗調查的範圍與樣本足夠，則所回歸的5個參數更可能利用Colburn j-factor建立各參數間彼此的關聯。對於花生油的萃取便具有這樣的特性，如圖2-4所示(梁氏等人，1997)。

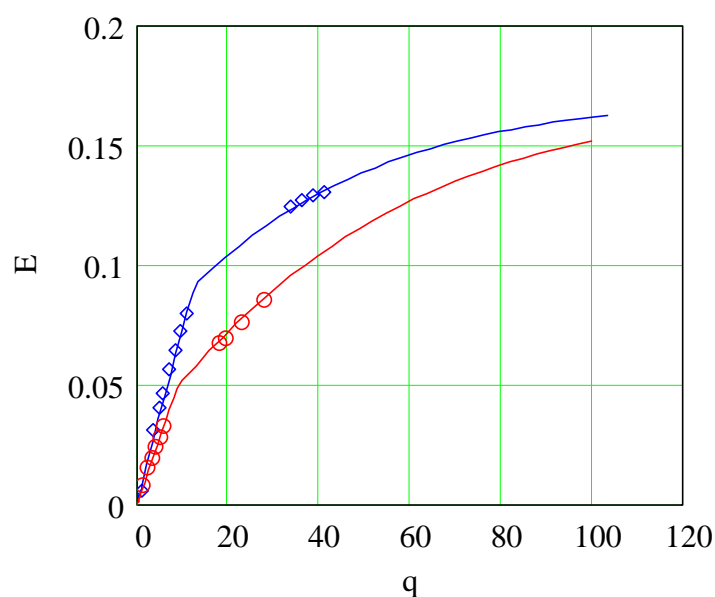


圖2-2 在30MPa下溫度對萃取的影響；菱形：45°C；圓形：55°C

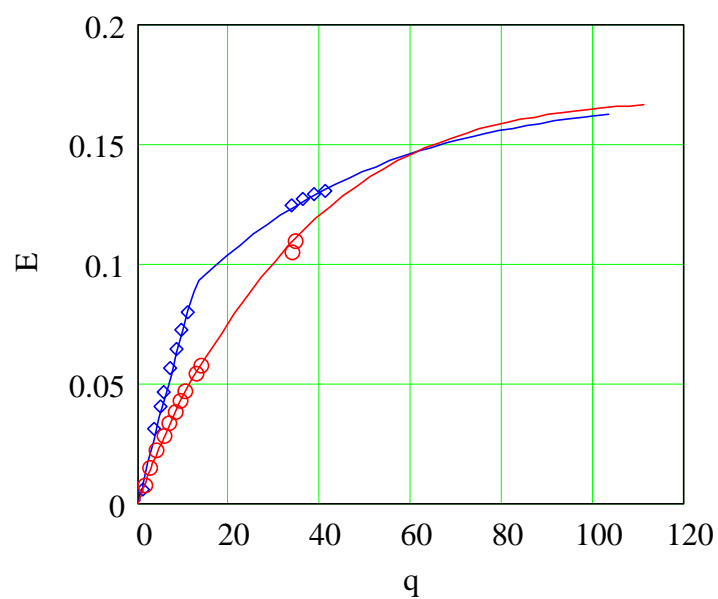


圖2-3 在45°C下壓力對萃取的影響；菱形：30MPa；圓形：20MPa

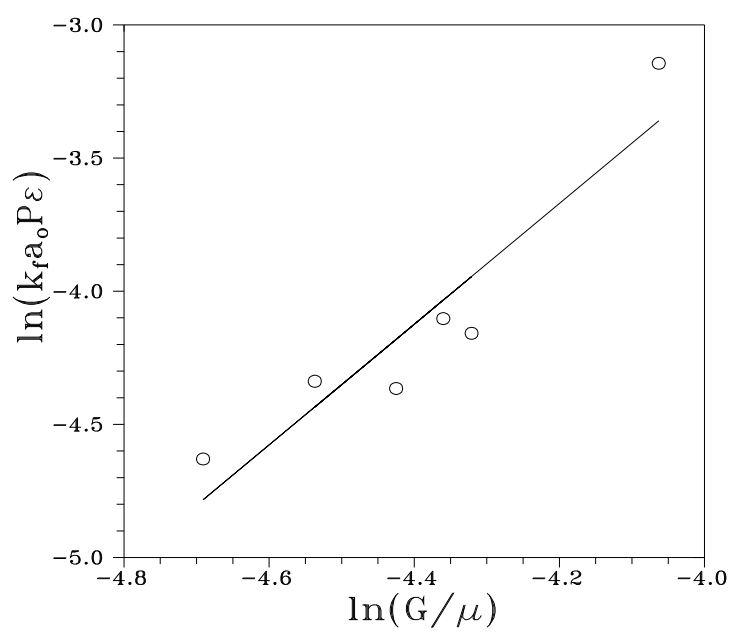


圖2-4 花生油萃取的外質傳阻力與各參數間的關係圖

2.5 類戴奧辛污染土壤超臨界流體萃取

劉氏等人(2008)曾結合超臨界流體萃取及fenton法去除土壤與地下水之五氯酚，土壤研究結果在未添加修飾劑甲醇情況下，以壓力100 bar，溫度70°C的狀態下，土壤及沖積土皆可達萃取效率60%以上，而添加5%(v/v)甲醇修飾劑在壓力100 bar，溫度40°C的狀態下兩種土樣之五氯酚的萃取效率皆可達70%以上。Wang and Chiu (2009)曾利用超臨界二氧化碳萃取結合奈米鈹破壞2,2',4,5,5'-PCB，結果顯示當壓力達200atm下，萃取時間為60~120分鐘時，不同萃取溫度(40~150°C)皆可有效萃取2,2',4,5,5'-PCB。Tavlarides 等人(2000)針對PCBs/PAHs污染土壤與底泥進行超臨界二氧化碳萃取，研究指出添加5% 甲醇、萃取時間為45~60分鐘、壓力80~650bar、溫度50°C下，去除率可達99.8%以上。Mannila et al., (2002)利用超臨界二氧化碳萃取鋸木廠污染土壤中之PCDD/PCDF，研究結果顯示在不添加修飾劑、萃取時間60min、壓力400atm與溫度100°C下，土壤中之PCDD/PCDF回收率達62~97%。Langenfeld et al.,(1995)即利用超臨界二氧化碳萃取土壤與底泥中之PCDD/PCDF，研究顯示在壓力650atm與溫度40~200°C下，土壤中之PCDD/PCDF可在萃取時間60min、回收率達90%，且研究指出現地長年受污染土壤所需時間與溫度略高於以添加污染物試驗之土壤。Zhou et al., (2004)曾整理受PCBs污染土壤整治技術之經濟分析（如表2-4所示），結果顯示超臨界萃取/氧化技術為經濟可行方案之一。

表2-4 PCBs污染土壤整治技術之經濟分析(Zhou et al., 2004)

| 整治方法 | 成本分析 (\$ /m3) |
|--------------|---------------|
| 超臨界萃取+超臨界水氧化 | 142 - 174 |
| 焚化 | 370 - 1300 |
| 熱脫附 | 120 - 500 |
| 化學脫氯 | 300 - 770 |
| 溶劑萃取 | 145 - 715 |
| 土壤水洗 | 80 - 300 |
| 固化/穩定化 | 66 - 410 |
| 融熔法 | 130 - 1300 |
| 生物分解 | 194 - 310 |

第三章 研究方法

章節摘要

本研究目標污染物為戴奧辛，因其水中溶解度與亨利常數甚低，很容易分配或是吸附在土壤環境介質中，加以戴奧辛之辛醇分配係數極高，適合非極性的超臨界二氧化碳萃取。研發安順廠超臨界二氧化碳萃取戴奧辛技術時，必須考慮以下幾項會影響萃取效率的重要因素，包括壓力與溫度之調節、修飾劑之添加、含水量、土壤型態等。相關採樣方法（3.1 採樣方法與原因）與可能遭遇之困難及解決途徑（3.2 預計可能遭遇之困難及解決途徑）於本章節加以描述。後續執行過程，如貴重儀器使用情形（3.3 貴重儀器使用情形）與實驗流程與設計、實驗設備等執行方法（3.4 執行方法），包括場址內人員因工作性質不同，其污染物暴露風險亦不同，因此針對不同工作性質人員，須有對應之安全防護設備要求（3.5 相關配套措施），亦於本章節詳以描述。

超臨界流體萃取(Supercritical Fluid Extraction, SFE)技術是近三十年來發展迅速之新興化工分離技術，且已廣泛應用於醫藥、食品、生化、環保、能源等諸多領域。超臨界流體萃取被應用於土壤污染、環境分析、核能廢棄物清除和生活飲用水處理，最早是由Hawthorne和Miller (1987) 將SFE 應用在環境分析上，以不同修飾劑比例的超臨界流體萃取飛灰、都市灰塵和海洋沉澱物之研究。以目前所蒐集的國內外文獻結果分析，以超臨界二氧化碳萃取技術直接處理類戴奧辛的相關基礎研究於近年開始興起，部分研究已進入現地模場整治試驗的階段。目前收集到的文獻都是在實驗室中配製特定濃度戴奧辛化合物進行研究，到目前為止，對於以實際污染土壤為研究對象的相關研究數據仍非常有限。事實上，研發安順廠超臨界二氧化碳萃取戴奧辛技術時，必須考慮以下幾項會影響萃取效率的重要因素：

- a. **壓力與溫度之調節：**關於萃取土壤中戴奧辛最佳壓力與溫度之選取之文獻鮮少有研究，直到近年才有部分研究指出針對添加污染物之土壤，在壓力 68MPa、溫度150℃下，可能為最佳為操作條件，然一旦溫度低於80℃，2,3,7,8-TCDD回收率將低於30%(Saldaña et al., 2005)。
- b. **修飾劑之添加：**一般而言，添加修飾劑可增加超臨界流體萃取土壤與底泥時之萃取效率(Laitinen et al., 1994)，但亦有學者指出不添加修飾劑仍可有效萃取 (Mannila et al., 2002)。Wiater-Protas等人(2002)指出添加甲醇可增進高氯數PCDFs的萃取效率，但對於低氯數PCDFs之萃取效率較無影響或可能降低萃取效率。
- c. **含水量：**Miyawaki等人(2003)曾在壓力30MPa、溫度70℃下，探討土壤中水分由1.6%增加到9.8%對於PCDDs/PCDFs回收率之影響。研究指出，水分可能扮演修飾劑角色，水分增加將可增加PCDDs/PCDFs回收率。
- d. **土壤型態：**土壤中之砂土(sand)、粉土(silt)與粘土(clay)之比例、表面積、顆粒大小、有機質含量與含水率將會影響超臨界萃取之效率。一般而言，如果污染物與土壤有機質形成結合態或在土壤內部，去除效率將減少，

且粘土含量越高，去除效率亦將減少(Laitinen et al., 1994)。

3.1 採樣方法與原因

本研究目標污染物為戴奧辛，因其水中溶解度與亨利常數甚低，很容易分配或是吸附在土壤環境介質中，加以戴奧辛之辛醇分配係數極高 (2.3.7.8 TCDD 為例， $\log K_{ow} = 6.8$)，適合非極性的超臨界二氧化碳萃取。

前台碱安順廠五氯酚 (pentachlorophenol，簡稱 PCP) 工廠區污染土壤即為本研究標的。前台碱安順廠五氯酚的商業製造方法為將酚類 (phenols) 直接氯化。製造過程當中，除了產生五氯酚外，各種氯化副產物也會一併產生；由於氯化未完全反應，因此生成大量的四氯酚 (4 - 12%)，此外，製造五氯酚的過程會產生不同的副產物，如：氯化醚、多氯二聯苯呋喃 (polychlorinated dibenzofurans，簡稱 PCDFs)、和多氯二聯苯戴奧辛 (polychlorinated dibenzo-p-dioxins，簡稱 PCDDs) 等。五氯酚工廠區之土壤戴奧辛污染為一普遍現象，深度 45 公分以內之土壤幾乎全部超過土壤污染管制標準，而東側也發現有掩埋廢棄物。在污染程度方面，汞污染幾乎皆在 20 倍標準值內，戴奧辛污染遠甚於汞污染，可視為該區污染指標，尤其於五氯酚工廠區之排水溝內堆積大量各式污泥，污泥含極高濃度之戴奧辛，歷次調查結果濃度最高分別為 64,100,000 ng-TEQ/kg。總體而言，主要以戴奧辛污染面積範圍較廣。

污染土壤採樣方法依中華民國94年11月30日環署檢字第0940097070號公告土壤採樣方法 (NIEA S102.61B)，與94年環保署委託工研院執行「台南市中石化安順廠整治場址土壤及地下水污染範圍調查及整治工作建議計畫」、98年委由傑明公司執行「安順場址污染補充調查計畫」之污染物濃度與分佈調查結果選取適當濃度之樣品進行實驗分析。

3.2 預計可能遭遇之困難及解決途徑

預計本計畫可能遭遇的幾個主要問題，以及本計畫所採取的相應對策說明如下：

1. 土壤特性各異，因此本計畫將首先針對單一土壤型態進行研究，一旦溫

度、壓力、以及輔溶劑效應確認以後，將再以最佳萃取條件進行土壤種類的影響研究。

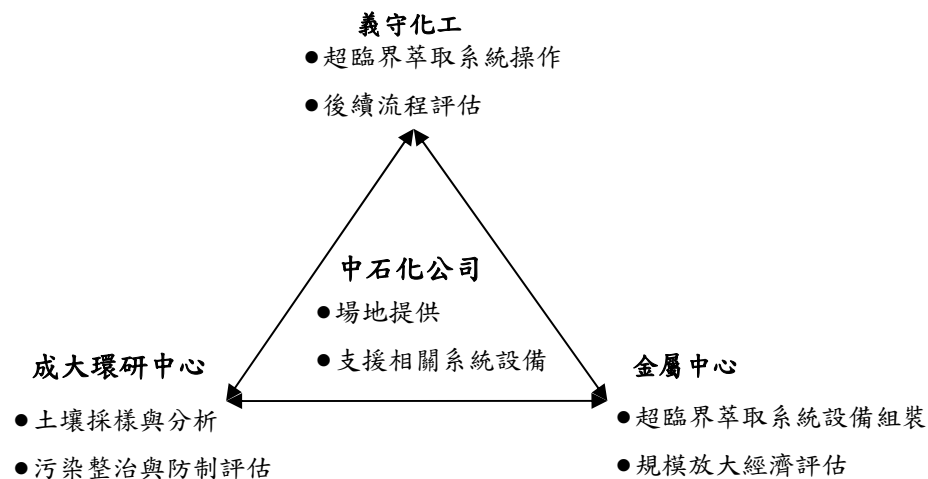
2. 土壤中含水量不同將對萃取造成程度不同的影響，除可預先使用離心機以外，也將同時採用二步驟的萃取方式進行清除：(1)先以純二氧化碳進行水份的移除後，(2)再進行輔溶劑的進料，以釐清水份的影響。
3. 土壤顆粒的大小將可能對萃取效率造成影響，本計畫借助調整二氧化碳流量來避免溝流(channeling)，或形成流體化床方式進行萃取。
4. 比較於傳統油脂的萃取，土壤中的污染物濃度偏低，因此不易於分離槽中完全收集，所以本計畫將於分離槽中預先載入捕捉劑，如 Toluene 或其他與污染物相容的液體溶劑，以捕捉所萃取出來的污染物，再進行後需的移除效率分析。

3.3 貴重儀器使用情形

本計畫研究群(義守/成大/金屬中心研究群)已擁有相當完善之研究工具以利計畫進行，不論在原料提供、儀器設備、場地配置、空間取得均極完備。

3.4 執行方法

本計畫結合化學工程(義守大學)、環境工程科學(成功大學)、機械工程(金屬工業研究中心)等專業人員組成研發團隊，針對中石化安順場址戴奧辛毒性物質，進行超臨界二氧化碳萃取技術研發。本計畫目的在於設計製作一超臨界二氧化碳萃取系統，針對戴奧辛萃取效率進行討論，研究操作壓力、溫度對超臨界二氧化碳萃取系統萃取率之影響，經由一系列實驗，所得之數據加以分析討論。相關研發成果、技術、知識、經驗首先將提供未來安順場址進行整治復育第一手的技術資料及後續規劃工程實作之重要依據，以因應未來整治技術的實廠應用，並樹立污染國土整治復育的參考範例，提升台灣環保產業國際競爭力。



3.4.1 實驗流程與設計

鑒於天然物萃取曲線的有效性，本研究將仿照該模式進行萃取曲線的調查。唯在天然物萃取中一般習慣使用萃取率 E 來表示，然而因為污染物含量一般偏低，所以本計畫將以移除率來建立萃取曲線，但仍以慣用的符號 E 來代表移除率。其中移除率的定義如下：

$$E = \left(1 - \frac{\text{萃取後污染物含量}}{\text{萃取前污染物含量}} \right) \times 100\%$$

本計畫將首先針對溫度、壓力兩三種因子進行萃取效率的調查，依據實驗所得的萃取效率，進行溫度、壓力影響的評估，一旦溫度、壓力、以及輔溶劑效應確認以後，將再以最佳萃取條件進行土壤種類、土壤水含量、以及土壤顆粒大小的影響研究。所擬探討的操作條件如下：

1. 溫度：60 °C、120 °C；
2. 壓力：20 MPa、35 MPa；
3. 輔溶劑(5.0 wt%)：甲醇、異丙醇、甲苯；
4. 顆粒均勻度：原砂土、細砂土(60~140 mesh)；
5. 含水率(%)：原砂土(23%)、乾燥後砂土(3%)；

本研究計畫之實驗架構如圖 3-1 所示。經一系列文獻收集與整理後，加強國內外實廠之實際經驗。採集土樣經前處理後以標準方法分析各項基本物理化學性質，並設計製作一組超臨界二氧化碳萃取系統，針對戴奧辛萃取效率進行討論，研究操作參數對超臨界二氧化碳萃取系統之影響以因應未來整治技術的實際應用。

將所採集之土壤，經過風乾、研磨及過篩(20 mesh)等程序後，以容器密封保存以備後續測試使用。土壤基本性質分析及項目分述如下：

- (1) 土壤含水率 (NIEA S280.61C)。
- (2) 土壤酸鹼值 (NIEA S410.60T)。
- (3) 土壤質地(Gee et al., 1986)：經實驗求得之砂粒、粉粒與黏粒百分比，再依美國農業部土壤質地三角圖求得土壤質地種類。
- (4) 陽離子交換容量 (CEC) (NIEA S201.60T)
- (5) 有機質含量: 依據Walkley-Black之濕式氧化法進行分析。
- (6) 粒徑分析：依據 CNS 486 「粗細粒料篩析法」之規定進行，選取篩網由網徑大至小依序為 # 20、# 30、# 40、# 50、# 100、# 200 及底盤。

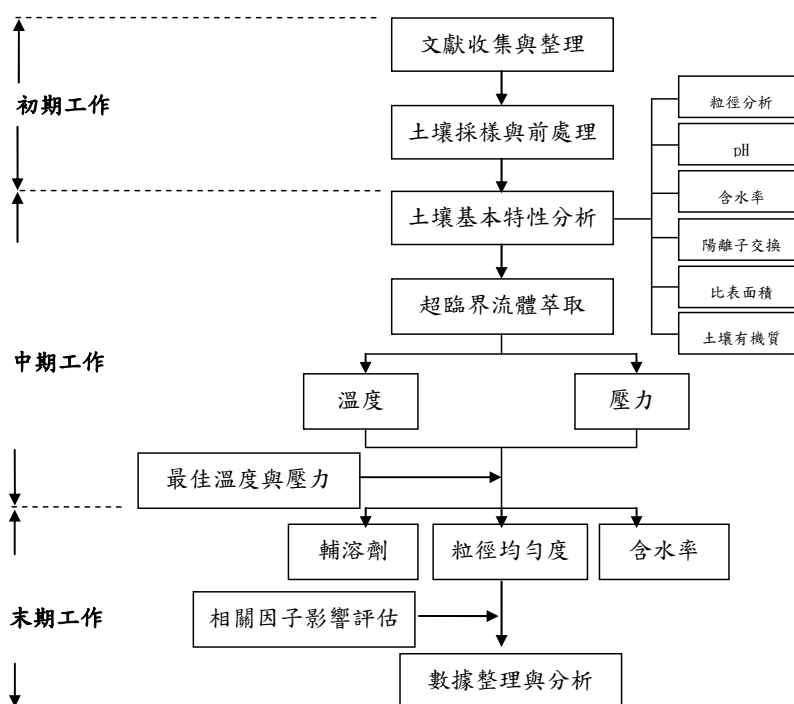


圖3-1 實驗流程圖

本計畫預定完成之進度如下：

初期工作(1-3 計畫年月)

- 相關文獻回顧與整理: 5%(累積進度)
- 土壤採樣工作與前處理: 15%(累積進度)

中期工作(3-9 計畫年月)

- 試驗土壤基本性質分析: 30%(累積進度)
- 超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計: 40%(累積進度)
- 系統之組裝與試運作: 50%(累積進度)
- 探討不同操作參數對超臨界二氧化碳萃取系統之影響: 75%(累積進度)

後期工作(9-12 計畫年月)

- 超臨界二氧化碳萃取系統最佳操作參數評估: 90%(累積進度)
- 實廠規格設計與應用經濟評估: 100%(累積進度)

3.4.2 實驗設備

超臨界流體萃取乃藉由溶質與溶劑間之凡得瓦爾力，使溶質從溶液或固體中萃出，與兩者之間是否具有極性或極性大小有關。溶質與溶劑之分離則利用二者蒸氣壓差異而達成分離之目的，經由減壓或增溫操作可達到分離之目的，此時，溶劑回復為氣態，密度劇降，喪失親合力而釋出溶質。同時溶質因蒸氣壓低，減壓後回復成液體或固體。超臨界流體萃取裝置主要包括流體來源、高壓幫浦、萃取槽、控溫設備、壓力調控裝置、分離收集裝置等六部分。經由高壓幫浦加壓流體至臨界壓力之上，再經由加熱器將流體升溫到臨界溫度之上，並將流體導入萃取槽中，控溫裝置控制萃取時的溫度(臨界溫度以上)，限流器(或背壓閥)於收集萃取物時能維持系統的壓力、分離收集裝置收集萃取物並回收二氧化碳。

本計畫所擬採用的超臨界流體清除設備，其一般操作步驟如下：

1. 將受污染物載入清除槽中；
2. 由工作儲槽流出的溶媒經過預冷、加壓、加熱，並選擇性地與界面活性劑或萃取劑混合後進入清除槽中；

3. 溶有輔溶劑的超臨界流體首先將吸附在土壤表面的有機物溶解；
4. 被超臨界流體所清除出來的污染物，經過超臨界流體的洩壓降低溶質溶解度後沉澱收集在分離槽之中；
5. 從分離槽中氣化回收的溶媒經過簡單過濾後，再次液化回收於工作儲槽中回收使用，並於分離槽中收集少量含有輔溶劑的污染物；
6. 清除完畢後的固體粉粒則以吊掛方式或真空攜帶方式離開清洗槽，再加以適當處理。

3.5 相關配套措施

場址內人員因工作性質不同，其污染物暴露風險亦不同，因此針對不同工作性質人員，須有對應之安全防護設備要求。原則上進場挖掘、施工或取樣時，安全防護設備要求須依循 D 級防護裝備(如高污染濃度區作業時，依循 C 級防護裝備)。若有人員進場參訪，則要求配帶安全帽、活性碳口罩及橡膠雨鞋。場址內各級工作人員之實際安全防護裝備如表 3-1 所示。

工區出口處設置除污區，除密閉空間作業人員（如車輛駕駛）外，進入工區之人員（含工作及參訪人員）及相關器具，如防護裝備、採樣器、施工機具等需經除污區除污後，方得離開工區。大型機具及運輸車輛則應通過洗車台除污後方得駛離工區。

b. 人員除污作業標準程序：

(1) C 級防護設備：

- i. 以清水沖洗化學防護外手套與防護靴。
- ii. 以長柄軟刷沾無磷中性清潔劑刷洗外手套與防護靴（若清水可有效沖洗，本項程序可不需執行）。
- iii. 再以清水刷洗外手套與防護靴。
- iv. 脫除外手套丟棄至指定地點。
- v. 脫除防護衣丟棄至指定地點。
- vi. 脫除防護靴（如著一般橡膠雨鞋可不脫除，但須確認鞋底、面之污染物已清除）。

- vii. 脫除內手套並丟棄至指定地點。
- viii. 以清潔劑清洗雙手。
- ix. 如有需要，人員應進行淋浴。

(2) D 級防護設備：

- i. 脫除工作手套丟棄至指定地點。
- ii. 以清水沖洗防護靴。
- iii. 以長柄軟刷沾無磷中性清潔劑刷洗防護靴（若清水可有效沖洗，本項程序可不需執行）。
- iv. 再以清水刷洗防護靴。脫除防護衣丟棄至指定地點。
- v. 脫除防護靴（如著一般橡膠雨鞋可不脫除，但須確認鞋底、面之污染物已清除）。
- vi. 以清潔劑清洗雙手。

c. 器具除污作業標準程序：

- (1) 以清水沖洗器具表面。
- (2) 以無磷中性清潔劑刷洗（若清水可有效沖洗，本項程序可不需執行）。
- (3) 再以清水刷洗。
- (4) 使用可丟棄式紙巾擦拭，擦拭後紙巾丟至指定地點。
- (5) 除污完之器具以乾淨之箱子收集，與污染之器具分開置放。

d. 監測儀器除污：

- (1) 監測儀器進入污染區前，應先以透明塑膠布袋將其包好，只將偵測入口暴露於大氣中。
- (2) 各種監測儀器其延長軟管應每日使用完更換之。
- (3) 以清潔片擦拭監測儀器將污染物去除。

e. 過濾式防毒面具除污作業標準程序：

- (1) 將濾毒罐取下，以軟布沾清潔劑來回擦拭。
- (2) 將面具浸入清水中。

- (3) 以乾軟紙將面具上水分吸乾。
- (4) 用清潔片(Wipe Pads)擦拭面具內側與皮膚接觸之處。
- (5) 濾毒罐每日工作結束後即丟棄， 不必保存。

f. 除污區施工機具除污作業標準程序：

- (1) 施工機具至除污區後先於洗車平台進行除污。
- (2) 以高壓水沖洗施工機具。
- (3) 除污人員使用清洗劑和清洗水及長柄刷刷洗施工機具、輪胎等沾染污染物之處（視需要辦理）。
- (4) 最後使用乾淨之清洗水沖洗清理施工機具，沖洗後施工機具方可離開工區。

表3-1 場址內各級工作人員之實際安全防護裝備

| 工作情境 | 防護裝備 參考等級 | 實際防護裝備 |
|----------------------------|--------------|---|
| 一般現場作業 (進場挖掘、施工 或取樣) | C | (1)安全帽 (2)活性碳口罩 (3)工作手套 (4)連身化學品防衛衣 (5)橡膠雨鞋 |
| 高濃度區作業 | B | (1)安全帽 (2)過濾式防毒面具 (3)安全眼鏡 (4)內外化學品防衛手套 (5)連身化學品防衛衣 (6)橡膠雨鞋 |
| 參訪人員 | D | (1)安全帽 (2)活性碳口罩 (3)橡膠雨鞋 |

第四章 工作內容及重要成果

章節摘要

本計畫場址過去曾進行多項調查工作，為獲瞭解場址污染特性以獲得具代表性土壤，遂回顧安順場址戴奧辛土壤污染調查結果(4.1 安順場址戴奧辛土壤污染調查分析回顧)。另本計畫已完成超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計(4.2 超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計)，超臨界流體萃取裝置主要包括流體來源、高壓幫浦、萃取槽、控溫設備、壓力調控裝置、分離收集裝置等六部分。相關系統組裝與試運轉亦已完成(4.3 系統之組裝與試運作)。五氯酚工廠區之土壤戴奧辛為本污染場址代表性土壤，因此本研究以此地區為目標，深入討論其污染特性與應用超臨界流體萃取之可行性評估(4.4 代表性土壤特性分析)。總體而言，污染場址土壤中 17 種戴奧辛同源物主要為 OCDF (Octa-chlorodibenzofuran) 與 OCDD (octa-chlorinateddioxin)，其次戴奧辛同源物主要化物為 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDF (3%) 與 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDD (3%)。超臨界萃取結果顯示本技術確為可行之技術，在溫度 120 度與壓力 350bar、甲醇濃度 10% 下，總戴奧辛 I-Teq 即可達約 98% 之去除效率(4.5 超臨界流體萃取實驗)。最後，本研究以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³ 之成本，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力(4.6 經濟評估)。

4.1 安順場址戴奧辛土壤污染調查分析回顧

本計畫場址過去曾進行多項調查工作，包括公告污染區內、外圍之土壤調查結果及地下水調查等。其中，近期最具規模且最完整之調查為環保署於 94 年委託工研院所執行之「台南市中石化安順廠整治場址土壤及地下水污染範圍調查及整治工作建議計畫」。該計畫於 94 年 3 月底及 5 月底分別完成「公告污染管制區內」以及「公告污染管制區外」之調查報告，已初步掌握本計畫場址及周界區域的污染現況，並且在調查成果出爐後，發現尚有須更進一步調查，如污染深度確認、範圍界定及所發現之污染源釐清等。另外，中石化公司於 87 年 5 月底完成「台南市安順廠區汞及五氯酚污染調查評估報告」並於同年 11 月底完成「台南市安順廠區汞及五氯酚污染補充調查報告」；而後為了解安順廠內之戴奧辛濃度狀況，於 90 年 3 月完成「台南市安順廠區戴奧辛污染調查報告」；為順利完成整治計畫之進行，中石化公司亦於 99 年委託美商傑明工程顧問公司完成「前台碱安順場址補充調查計畫」報告。

前台碱安順場址可概分為「海水貯水池 A/B 區」、「鹼氯工廠」、「鹼氯工廠-樹林區」、「五氯酚工廠」、「草叢區」與「單一植被區」，如圖 4-1 所示。海水貯水池底泥之污染尤以位於廢水沈積池之排放口附近，底泥汞濃度最高為 1,410 mg/kg，戴奧辛濃度最高為 6,560 ng-TEQ/kg。整體而言，若以土壤污染管制標準為基準（汞 20mg/kg；戴奧辛 1,000ng-TEQ/kg），汞濃度最高為管制標準 70 倍，戴奧辛濃度為 6.5 倍，可將汞視為海水貯水池之指標污染物。鹼氯工廠汞污染主要位於操作區（電解工廠）及工廠區之西南側，污染濃度也最高，達 3,370 mg/kg。而在深層土壤方面（汙染深度達地表下 105cm），其污染分佈與表層土壤相似，但分佈面積較小、污染濃度較低。鹼氯工廠區亦受戴奧辛污染，主要污染區位於操作區西側及鄰近區域，濃度大多低於 10,000 ng-TEQ/kg，其污染程度明顯低於五氯酚工廠區。



圖 4-1 安順場址污染區地圖

五氯酚工廠區之土壤戴奧辛污染為一普遍現象，深度 45 公分以上之土壤幾乎全部超過土壤污染管制標準，而東側也發現有掩埋廢棄物，故可視五氯酚工廠區 45 公分以上之土壤均已受戴奧辛污染。在污染程度方面，汞污染幾乎皆在 20 倍標準值內，戴奧辛則約有 30% 之樣品數超過標準值百倍以上，最高達 1 萬倍。故就污染程度或範圍而言，戴奧辛污染甚於汞污染，可視為本區污染指標。戴奧辛表、裡、深層之污染等濃度圖相當相似，均以原工廠操作區（水塘附近）為熱區（hot spot）。該區除原為工廠操作區外，也疑似為關廠時廢棄成品（五氯酚鈉）之堆置區，故有可能因此造成高濃度之污染。而以平均濃度來看，污染情況似有因深度遞增而減輕之趨勢。單一植被區之污染應僅侷限於北側靠近五氯酚工廠之區域，且污染程度與其他地區比較屬輕微。此區域戴奧辛之深層檢測值均低於表層，推

測戴奧辛主要是由關廠前後之廢水排放，或經由地表水或揚塵帶入。草叢區域早期為魚塭或窪地，經調查發現地底下均有一層類似魚塭塭底之黑色沈泥，深度約在地表下 1.5 公尺左右，其上即為回填廢棄物、級配、表土，草叢區 3/4 以上之地區均埋有廢棄物，廢棄物戴奧辛濃度最高達 507,000 ng-TEQ/kg，而汞最高為 475 mg/kg。

由相關文獻可知，五氯酚工廠區之土壤戴奧辛為本污染場址代表性土壤，因此本研究以此地區為目標，深入討論其污染特性。過去調查報告指出，五氯酚工廠區深度至 250cm 時，西南側仍有零星點位超過管制標準，推估西南側局部污染深度可能達到 450cm，污染分佈圖如圖 4-2 所示(中石化公司，2010)。本區因存在高濃度戴奧辛，土方推估(表 4-1)結果顯示，本區戴奧辛超過管制標準 1,000 ng-TEQ/kg 之土方量為 50,131m³，超過管制標準 50,000 ng-TEQ/kg 之土方量為 14,887m³。

安順廠場址中 17 種戴奧辛同源物組成如圖 4-3 所示，主要為 OCDF (Octa-chlorodibenzofuran)與 OCDD (octa-chlorinateddioxin)，OCDF 佔所有組成約 31.6%，OCDD 佔所有組成約 62.5%，二者合計共佔所有組成 94%，此一結果顯示土壤污染物以帶 8 個氯原子的戴奧辛同源物為主，而此類戴奧辛同源物的 Log K_{ow} 值皆為 8 以上，屬高脂溶性，對水的溶解性極低，且該兩物質之毒性當量皆為 0.001，在自然界中具微生物不易分解及長半衰期的特性。其次戴奧辛同源物主要化物為 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDF (3%)與 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDD (6%)，雖 HpCDF 與 HpCDD 重量合計僅占約 9%，但由於該兩物質之毒性當量皆為 OCDF 與 OCDD 之 10 倍 (毒性當量為 0.01)，使得 HpCDF 與 HpCDD 在總毒性當量之貢獻度仍高達 40%。一般而言，添加修飾劑可增加超臨界流體萃取土壤與底泥時之萃取效率 (Laitinen et al., 1994)，但亦有學者指出不添加修飾劑仍可有效萃取 (Mannila et al., 2002)。Wiater-Protas 等人(2002)指出添加甲醇可增進高氯數 PCDFs 的萃取效率，但對於低氯數 PCDFs 之萃取效率較無影響或可能降低萃取效率。因此本研究後續將嘗試以甲醇等輔溶劑，以增加超臨界二氧化碳萃取之功效。

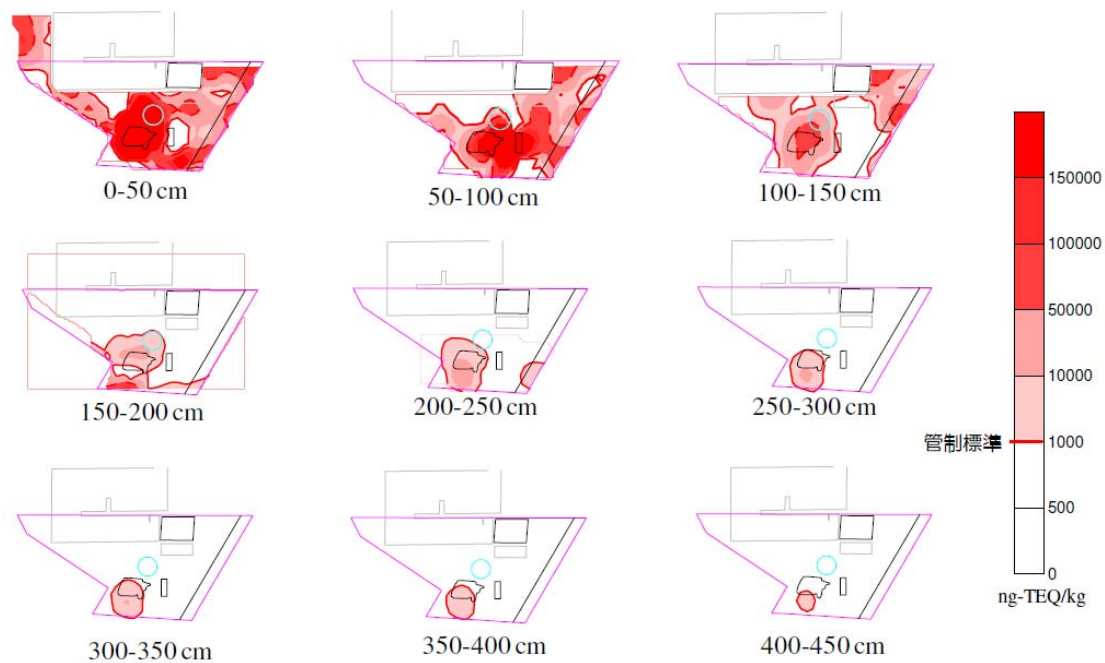


圖 4-2 五氯酚工廠區戴奧辛污染分佈圖 (中石化公司，2010)

表 4-1 五氯酚區戴奧辛污染土壤土方量估算(中石化公司，2010)

| 戴奧辛濃度閾值 (ng-TEQ/kg) | 土方量預估 (m ³) |
|------------------------|-------------------------|
| 1,000 | 50,131 |
| 10,000 | 30,884 |
| 20,000 | 24,121 |
| 50,000 | 14,887 |
| 100,000 | 7,561 |
| 500,000 | 3,605 |

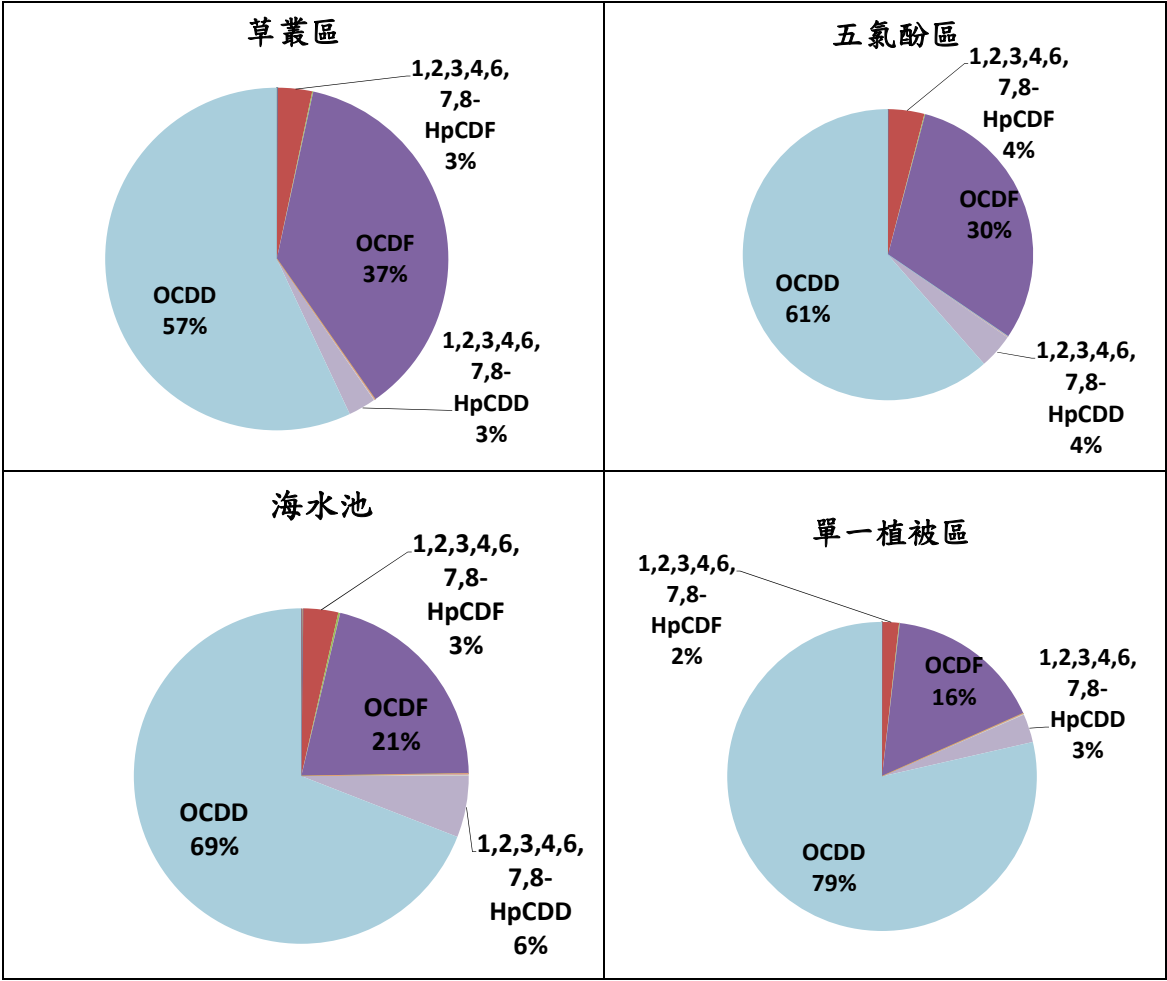


圖 4-3 安順廠場址中戴奧辛同源物組成

4.2 超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計

本計畫已完成設備 Process Instrumentation Diagram (PID)規劃，如圖 4-4 所示。主要零組件如下，設備規格見表 4-2。超臨界流體萃取裝置主要包括流體來源、高壓幫浦、萃取槽、控溫設備、壓力調控裝置、分離收集裝置等六部分。經由高壓幫浦加壓流體至臨界壓力之上，再經由加熱器將流體升溫到臨界溫度之上，並將流體導入萃取槽中，控溫裝置控制萃取時的溫度(臨界溫度以上)，限流器(或背壓閥)於收集萃取物時能維持系統的壓力、分離收集裝置收集萃取物並回收二氧化碳。本計畫所擬採用的超臨界流體清除設備，其一般操作步驟如下：

1. 將受污染物載入清除槽中；
2. 由工作儲槽流出的溶媒經過預冷、加壓、加熱，並選擇性地與界面活性劑或萃取劑混合後進入清除槽中；
3. 溶有輔溶劑的超臨界流體首先將吸附在土壤表面的有機物溶解；
4. 被超臨界流體所清除出來的污染物，經過超臨界流體的洩壓降低溶質溶解度後沉澱收集在分離槽之中；
5. 從分離槽中氣化回收的溶媒經過簡單過濾後，再次液化回收於工作儲槽中回收使用，並於分離槽中收集少量含有輔溶劑的污染物；
6. 清除完畢後的固體粉粒則以吊掛方式或真空攜帶方式離開清洗槽，再加以適當處理。

4.3 系統之組裝與試運作

完成系統組裝與試運轉，設備外觀如圖 4-5；系統試運轉條件如下：

1. 系統耐壓測試:
系統壓力 350bar，持壓 2hrs，壓力變化在 $\pm 3\%$ 內
2. 系統升溫試運轉測試
系統壓力 310bar，CO₂ 流量為 15g/min，高溫爐溫度設定 150℃，反應器溫度設定 200℃，30mins 後反應器內溫度達 167℃。

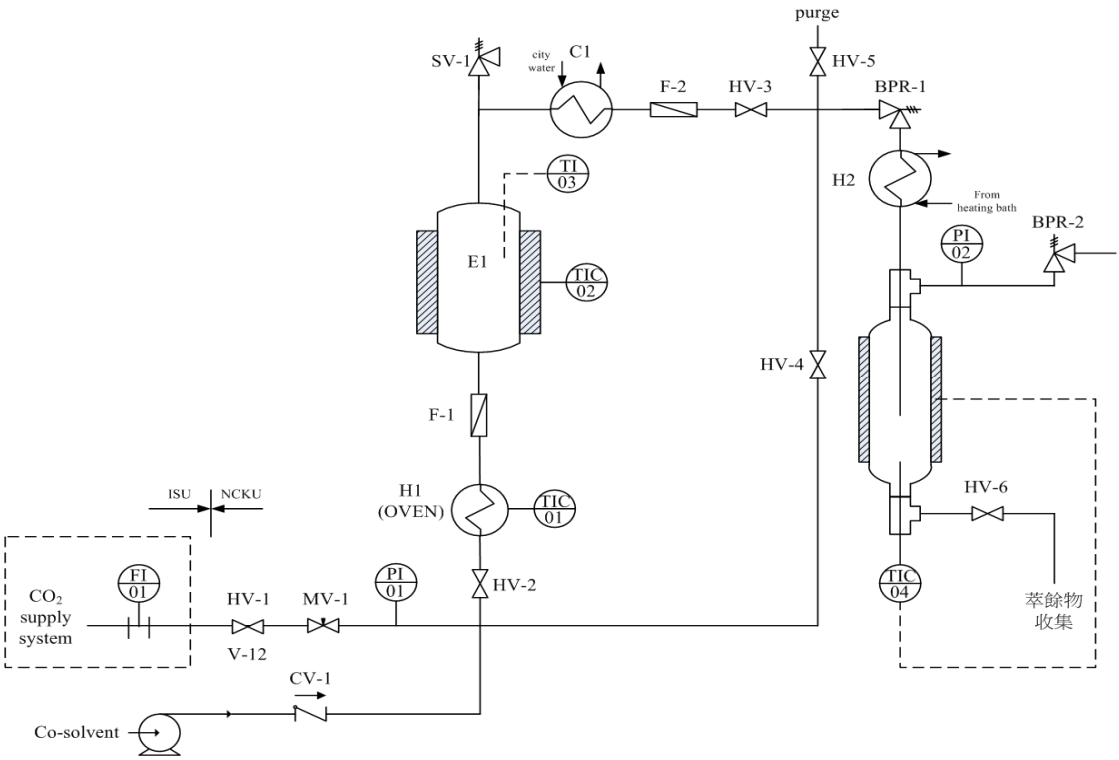


圖 4-4 超臨界二氧化碳萃取系統 PID 圖

表 4-2 超臨界二氧化碳萃取裝置設備規格表

| 設備組件名稱 | 規格及廠牌 | 數量 | 說明 |
|----------------------|---|----|--|
| CO ₂ 增壓裝置 | 自組設備 最大操作壓力 5000PSI 最大流速 3L/hr | 1 | 提供系統 CO ₂ 來源以及增壓 |
| 萃取槽 | 容量 0.8L 最大操作壓力 350bar 最大操作溫度 400°C | 1 | 放置萃取樣品 |
| 高溫爐 | 育輝電熱 7700W | 1 | 預熱萃取流體 |
| 冷卻水循環系統 | 自組設備 | 1 | 冷卻萃取後之流體 |
| 熱水循環系統 | 自組設備 550W | 1 | 加熱降壓後之萃取流體 |
| 背壓閥 | TESCON 6000PSI | 1 | 調整系統壓力 |
| 流量計 | EXPERT 6000PSI | 1 | 提供 CO ₂ 流速讀值 |
| 氣液分離槽 | Swagelok 300ml 5000psi | 1 | 萃取後流體進行降壓，CO ₂ 氣化與萃出之戴奧辛/共萃取劑分離，分離槽底部進行萃餘液取樣。 |
| 高壓定量泵 | HITACHI 最大操作壓力 5960PSI 最大流量 9.999ml / min Constant pressure:290~5600PSI at 0~5ml / min | 1 | 系統共萃取劑進料用。 |



(a) 超臨界二氧化碳系統



(b) 超臨界二氧化碳萃取槽(0.8L)

圖 4-5 超臨界二氧化碳萃取系統

(a) 臨界二氧化碳系統; (b) 超臨界二氧化碳萃取槽(0.8L)

4.4 代表性土壤特性分析

本研究初步進行土壤基本性質分析。首先將土壤於不同篩號過篩後，依其於不同篩號中之重量百分比計算累積分佈，如圖 4-6 所示。總體而言，本土壤屬砂土，部分土壤為小顆粒礫石，大部分則分佈於 1~0.06 mm 之砂土範圍。分析土壤有機質，總有機碳約 0.34%，其中以腐植質(Humic matter, HM)佔 34%為最高，其他依次為輕質有機物(light organic matter, LOM)、腐植酸鈉(soda humic acids, SHA)、腐植酸焦磷鹽 (pyrophosphate humic acids, PHA)、游離態黃腐酸 (Free fulvic acids, FFA)、黃腐酸焦磷鹽 (pyrophosphate fulvic acids, PFA)、黃腐酸鈉(soda fulvic acids, SFA)主要有機質來源，如圖 4-7 所示。

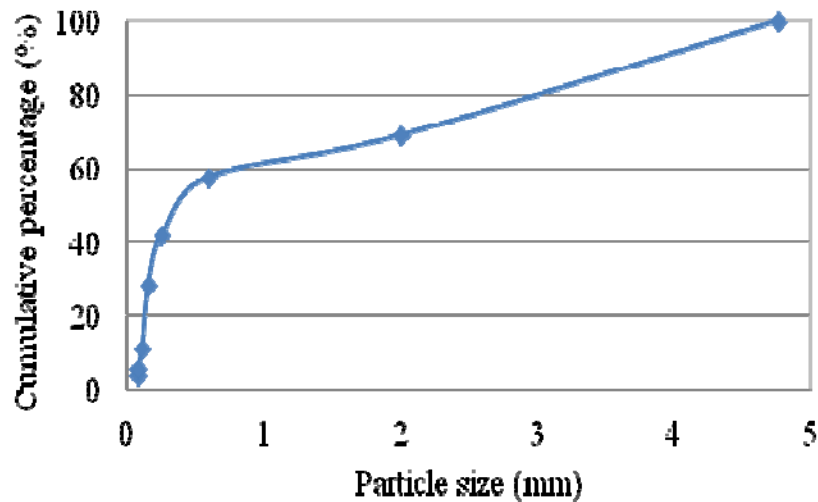


圖 4-6 土壤粒徑分析

土壤有機質 (0.34% TOC)

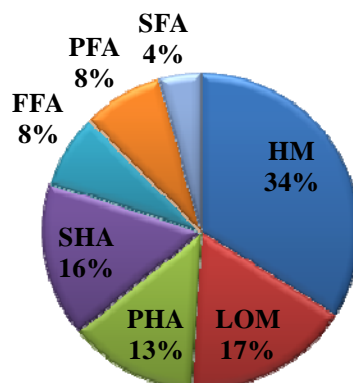


圖 4-7 土壤有機質含量分析

表 4-3 土壤性質分析結果

| 檢測項目 | 分析結果 |
|--------------|--------------|
| 土壤顆粒性質 | 砂土 |
| < 200 mesh | 4.03 % |
| 150~200 mesh | 1.68 % |
| 100~150 mesh | 5.33 % |
| 60~100 mesh | 17.33 % |
| 30~60 mesh | 13.76 % |
| 10~30 mesh | 15.54 % |
| 4~10 mesh | 11.38 % |
| >4 mesh | 30.96v |
| 總有機碳 | 0.34 % |
| 腐植質 | 34% |
| 輕質有機物 | 17% |
| 腐植酸鈉 | 16% |
| 腐植酸焦磷鹽 | 13% |
| 游離態黃腐酸 | 8% |
| 黃腐酸焦磷鹽 | 8% |
| 黃腐酸鈉 | 4% |
| 陽離子交換能力 | 16.6 cmol/kg |
| pH | 7.8 |
| 含水率 | 23% |

五氯酚工廠區之土壤戴奧辛為本污染場址代表性土壤，因此本研究以此地區為目標，深入討論其污染特性與應用超臨界流體萃取之可行性評估。採集之樣品濃度如表 4-4 所示。本樣品濃度高達管制標準(1,000 ng I-Teq/kg)之 500 倍左右 (511,807 ng I-Teq/kg)，其樣品特性與 4.1 節之回顧具相同特性。

污染場址土壤中 17 種戴奧辛同源物組成如圖 4-8 所示，主要為 OCDF (Octa-chlorodibenzofuran)與 OCDD (octa-chlorinateddioxin)，OCDF 佔所有組成約 34%，OCDD 佔所有組成約 61%，二者合計共佔所有組成 95%，此一結果顯示土壤污染物以帶 8 個氯原子的戴奧辛同源物為主。其次戴奧辛同源物主要化物為

1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDF (3%)與 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDD (3%)，雖 HpCDF 與 HpCDD 重量合計僅占約 6%，但由於該兩物質之毒性當量皆為 OCDF 與 OCDD 之 10 倍 (毒性當量為 0.01)，使得 HpCDF 與 HpCDD 在總毒性當量之貢獻度仍高達 34%。

表 4-4 試驗用污染場址土壤分析結果

| | ng/kg | ng I-Teq/kg |
|---------------------------|--------------------|----------------|
| Total TEQ(PCDDs/PCDFs) | 312,129,026 | 511,807 |
| 2,3,7,8-TeCDF | 3793 | 379 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 1815 | 91 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 3953 | 1977 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 30377 | 3038 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 17567 | 1757 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 26062 | 2606 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 980 | 98 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 8071865 | 80719 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 155493 | 1555 |
| OCDF | 104748682 | 104749 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 1219 | 1219 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 10436 | 5218 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 17365 | 1737 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 179856 | 17986 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 53264 | 5326 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 9394186 | 93942 |

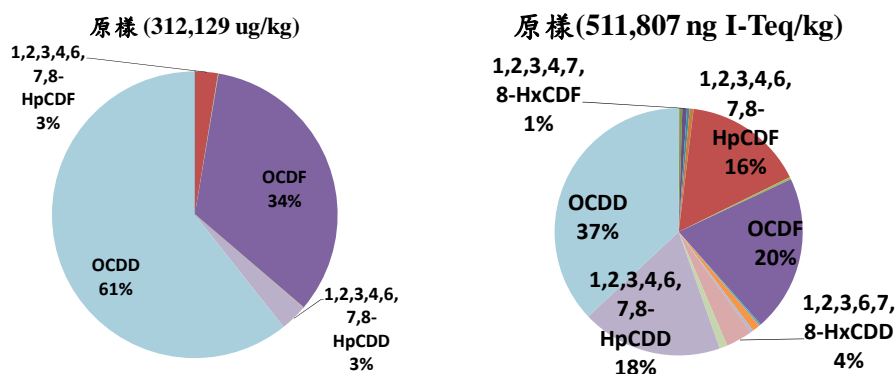


圖 4-8 戴奧辛污染土壤濃度特性分析

4.5 超臨界流體萃取實驗

首先進行不同壓力超臨界萃取實驗，如圖 4-9 所示。結果顯示 350 bar 壓力下之萃取效果(97%)高於 200 bar 壓力下之萃取效果(90%)。由圖 4-9 可看出 HxCDF、OCDF、OCDD 等高氯數之戴奧辛污染物萃取效率相較於其他氯數戴奧辛偏低。

不同萃取溫度實驗如圖 4-10 所示。結果顯示如溫度低於 80 °C 以下，則總體萃取效率僅約 40%。溫度高於 80 °C 以上，則萃取效率越高，可達 94~98%。由圖亦可看出 HxCDF、OCDF、OCDD 等高氯數之戴奧辛污染物萃取效率相較於其他氯數戴奧辛偏低。

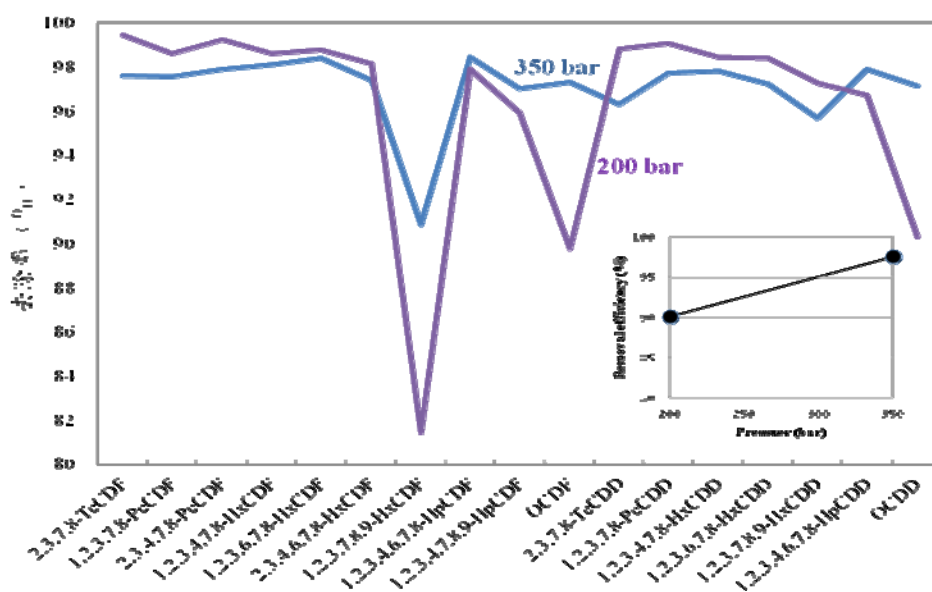


圖 4-9 不同萃取壓力實驗 (MeOH:10% v/w; 120°C)

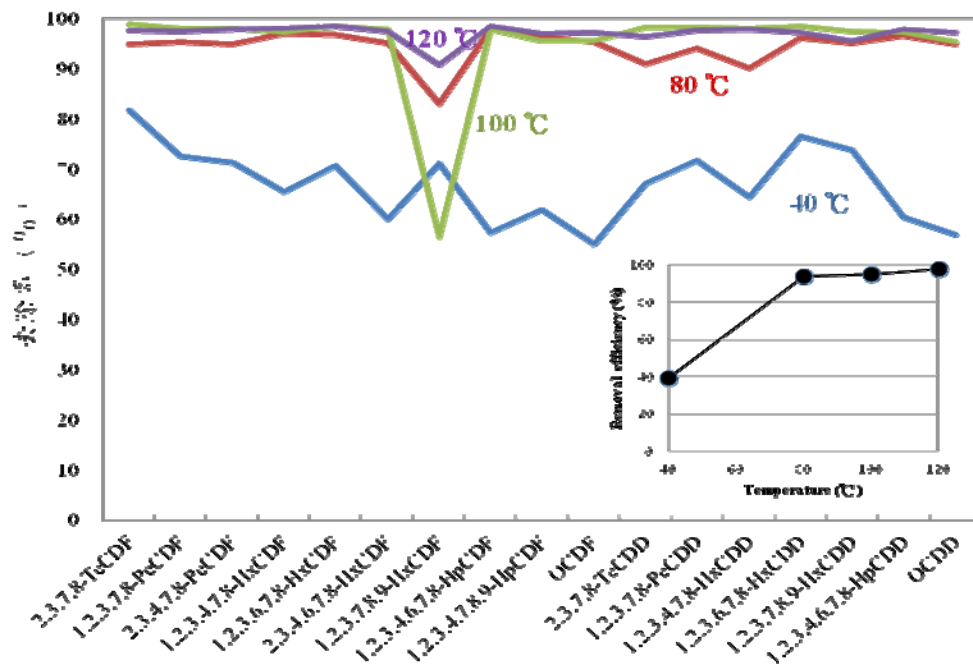


圖 4-10 不同萃取溫度實驗 (MeOH:10% v/w; 350 bar)

不同輔溶劑比例萃取實驗如圖 4-11 所示。結果顯示在高壓(350 bar)與高溫(120 °C)下，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提升高。整理不同溫度及輔溶劑比例之萃取效率，如圖 4-12 所示。分析可推估得知，在偏低溫度與較低輔溶劑比例下，溫度與輔溶劑比例對萃取效率之影響皆相當顯著，但溫度上升後對萃取效率之影響比輔溶劑比例增加更趨明顯，如圖 4-11 所示之結果，高溫(120 °C)下輔溶劑比例增加萃取效率僅有些微增長，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提升高。

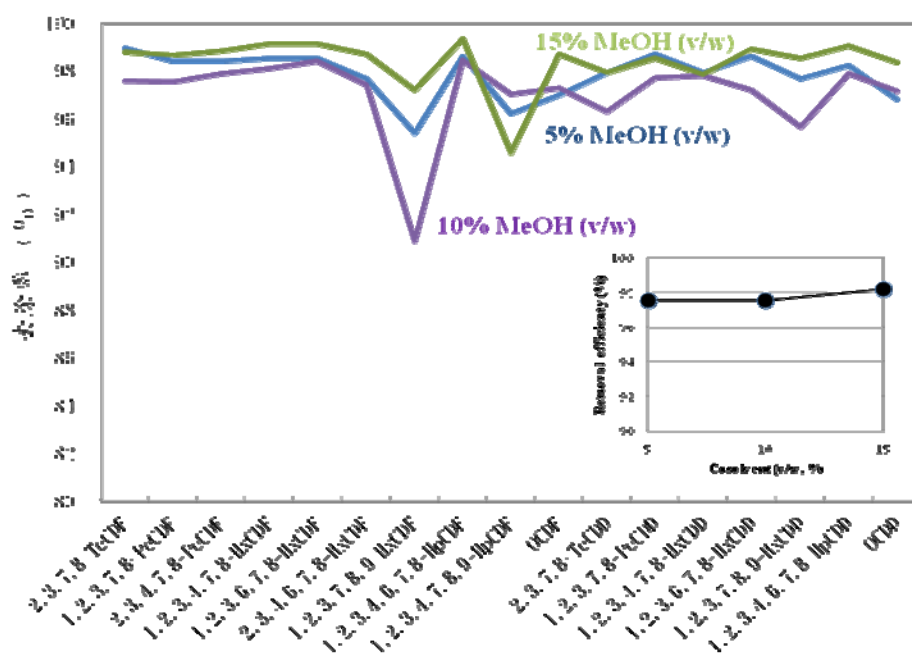


圖 4-11 不同輔溶劑比例萃取實驗 (350 bar; 120°C)

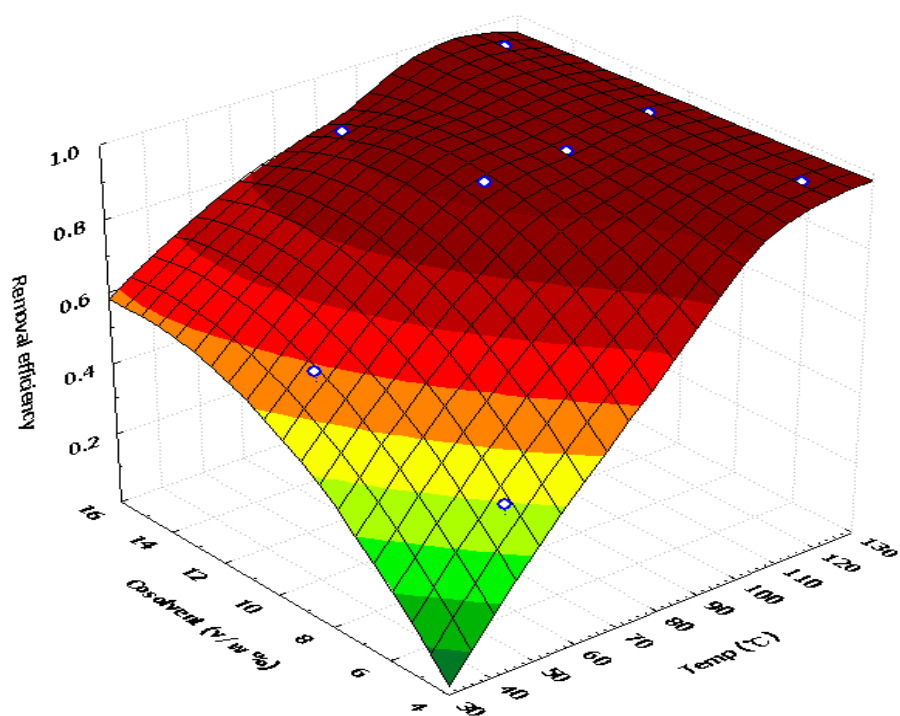


圖 4-12 萃取溫度及輔溶劑比例之效率分析 (350 bar; MeOH 為輔溶劑)

本研究以甲醇(Methanol, MeOH)與異丙醇(Isopropanol, IPA)等輔溶劑，評估萃取效率。不同輔溶劑萃取實驗結果如圖 4-13 所示。由圖 4-13 (a)可知，在較低溫度下(80°C)，IPA 較 MeOH 有較高之萃取效率，且 IPA 對於高氯數之戴奧辛較無選擇性，MeOH 則明顯呈現 HxCDF、OCDF、OCDD 等高氯數之戴奧辛污染物萃取效率相較於其他氯數戴奧辛偏低。然提高萃取溫度至 120°C 後，MeOH 之萃取效率雖略高於 IPA，但其差異則較不顯著。

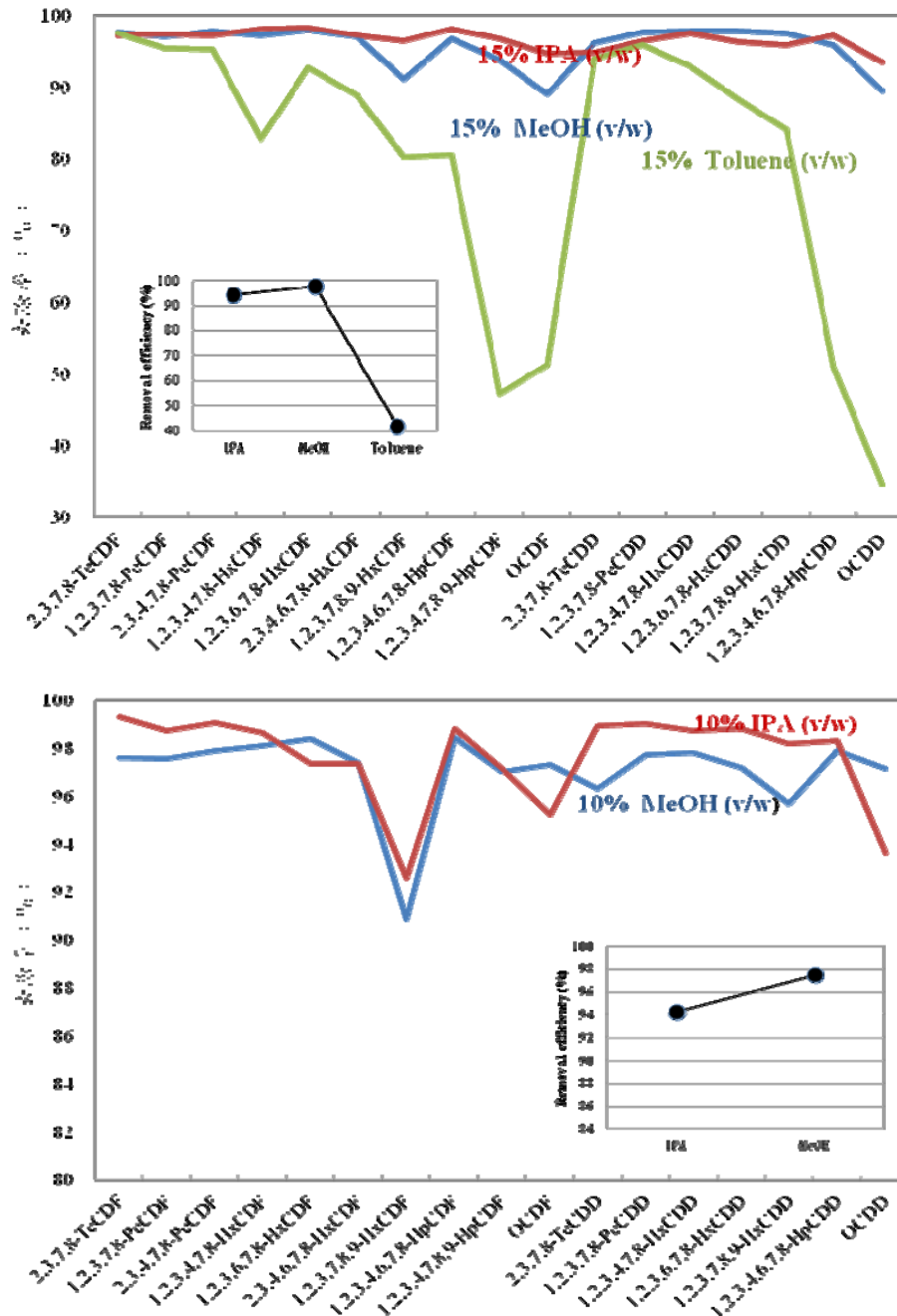


圖 4-13 不同輔溶劑萃取實驗 (a) 350 bar; 80°C (b) 350 bar; 120°C

不同土壤粒徑萃取實驗如圖 4-14 所示。由圖可知較細土壤粒徑之萃取效率略高於原土壤樣本。可能因為均質性較高之土壤有較少之短流現象，可較均勻萃取土壤中之戴奧辛。不同土壤含水率萃取實驗如圖 4-15 所示。由圖可知在偏低輔溶劑比例萃取下(5%)，土壤含水率高低會影響萃取最終效率，但提高輔溶劑比例後，土壤含水率高低對於土壤中戴奧辛之萃取效率幾無顯著變化。

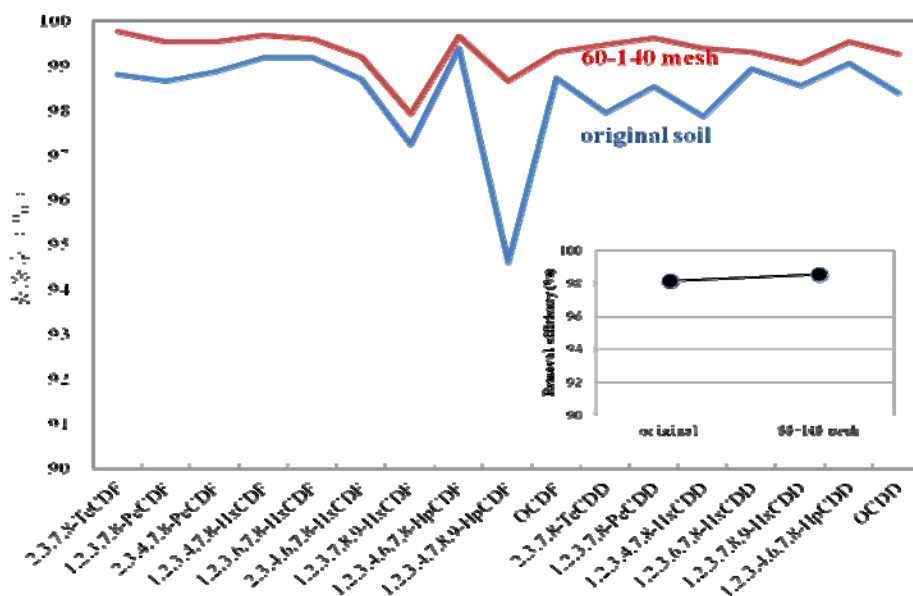


圖 4-14 不同土壤粒徑萃取實驗(350 bar; MeOH:15% v/w)

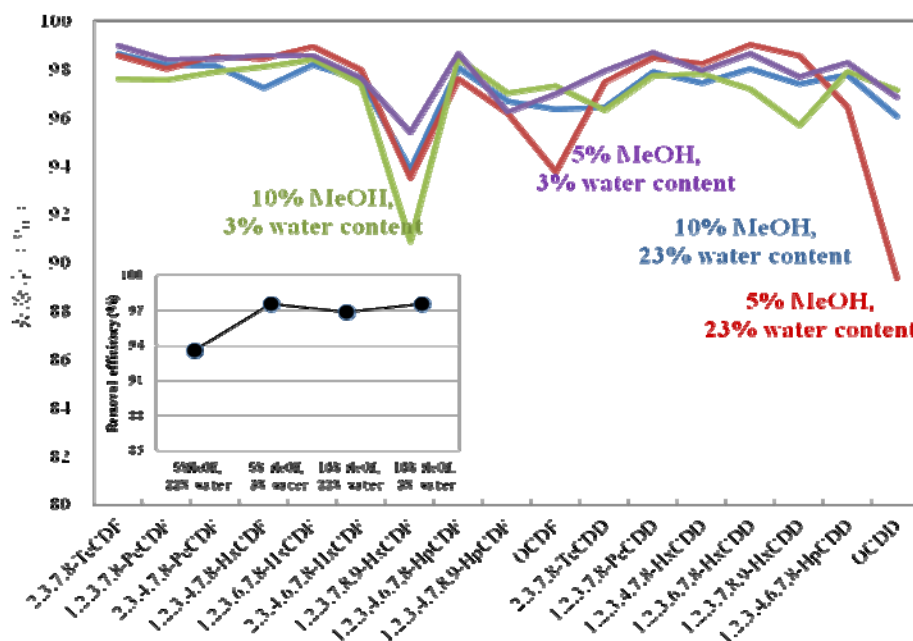


圖 4-15 不同土壤含水率萃取實驗(350 bar; 120°C)

4.6 經濟評估

本研究以目前最佳推估之操作條件下(350bar, 10%MeOH, 120°C)，概算每年處理 10,000 m³ 之成本，如表 4-5 所示。其設計條件為設置 3 碳鋼萃取槽(每套 0.5 m³)，每天操作 24 小時，每年操作 330 天，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力。

表 4-5 超臨界二氧化碳復育土壤成本經濟評估

| |
|--|
| 處理量/年： 10,000 m ³ |
| Cycle time/Batch： 3 hr 萃取槽數量： 3 unit 操作時數/天： 24 hr 操作日數/年： 330 day 萃取槽體積： 1,578 L 分離槽體積： 395 L CO ₂ 流量： 3,157 LPH Co-solvent 流量： 316 LPH CO ₂ 儲槽： 5,327 L |
| 總設備投資： 200 M NTD 槽體材質：碳鋼 折舊年數： 10 YR 平均設備成本： 2,000 NTD/ m ³ CO ₂ 成本： 1,585 NTD/DAY CO ₂ ： 5 元/kg 能源成本： 56,818 NTD/DAY 人事成本： 13,800 NTD/DAY 人數： 4 人/班(1 名班長, 2 名現場, 1 名監控室) 維護成本： 5,556 NTD/DAY 平均操作成本： 2,566 NTD/ m ³ |
| 平均處理成本： 4,566 NTD/ m ³ |

第五章 目前成果與結論

章節摘要

關於戴奧辛萃取之文獻近年才廣為被研究，但缺乏許多實場污染土壤上之實證。因此，本計畫目的在於設計製作一組超臨界二氧化碳萃取系統，針對戴奧辛萃取效率進行討論，研究操作壓力、溫度、輔溶劑等特性對超臨界二氧化碳萃取系統之影響，以因應未來整治技術的實廠應用。本計畫亦已完成超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計，超臨界流體萃取裝置主要包括流體來源、高壓幫浦、萃取槽、控溫設備、壓力調控裝置、分離收集裝置等，相關系統組裝與試運轉業已完成。本場址戴奧辛土壤污染調查結果，五氯酚工廠區之土壤戴奧辛為本污染場址代表性土壤，主要為 OCDF (Octa-chlorodibenzofuran) 與 OCDD (octa-chlorinateddioxin)，其次戴奧辛同源物主要化物為 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDF (3%) 與 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDD (3%)。

由目前實驗結果得知，本超臨界萃取技術確為可行之技術，在溫度 120 度以下、甲醇濃度 10%、壓力 350bar 下，超臨界萃取即可達約 98% 之去除效率。不同壓力超臨界萃取實驗結果顯示 350 bar 壓力下之萃取效果(97%)高於 200 bar 壓力下之萃取效果(90%)。不同輔溶劑比例萃取實驗結果顯示在高壓(350 bar)與高溫(120℃)下，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提升高。在偏低溫度與較低輔溶劑比例下，溫度與輔溶劑比例對萃取效率之影響皆相當顯著，但溫度上升後對萃取效率之影響比輔溶劑比例增加更趨明顯。最後，本研究以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³ 之成本，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力。

超臨界流體萃取技術是近三十年來發展迅速之新興化工分離技術，且已廣泛應用於醫藥、食品、生化、環保、能源等諸多領域。超臨界流體因具有類似氣體的擴散性及液體的溶解能力，同時兼具低黏度及低表面張力的特性，使得超臨界流體能夠滲入微孔隙的物質，用於萃取時其萃取速率比液體快而有效。超臨界流體萃取技術已被應用於土壤與底泥中有機與無機污染物之萃取，如 PHCs、PAHs、PCBs、農藥、酚類/氯酚類、戴奧辛/呋喃、鎳/鈷系元素與重金屬等。然關於戴奧辛萃取之文獻近年才廣為被研究，且在添加與實場之污染土壤上已被證實具有相當成效。

許多文獻指出超臨界萃取技術成本僅熱處理成本 $1/4 \sim 1/2$ (Tavlarides 等人, 2000; Zhou et al., 2004; Saldaña et al., 2005)。其中二氧化碳為超臨界流體最常使用的流體，其無毒性易被環境所接受，而且不會造成二次污染，性質安定不易燃燒且無自燃性，故不須添加額外防爆裝置且無洩漏時危險之疑慮，來源充裕，價格便宜，沒有溶劑殘留的問題存在，低黏度、低表面張力、易處理微孔隙物質以及萃取效率快等優點，而二氧化碳帶有高質傳效率，使其成為一個有效率的溶劑。二氧化碳使用後亦容易壓縮回收，不致於造成溫室效應等問題。本計畫目的在於設計製作一組超臨界二氧化碳萃取系統，針對戴奧辛萃取效率進行討論，研究操作壓力、溫度、輔溶劑、以及土壤種類、土壤含水量、與土壤顆粒大小等特性對超臨界二氧化碳萃取系統之影響，經由一系列實驗，所得之數據加以分析討論，以因應未來整治技術的實廠應用。因此本計畫擬進行超臨界二氧化碳萃取技術研發，具體之預期成果如下：

- a. 由戴奧辛污染土壤基本性質設計規劃超臨界二氧化碳萃取系統模場。
- b. 瞭解操作壓力、溫度與萃取時間對超臨界二氧化碳萃取戴奧辛之影響。
- c. 獲得超臨界二氧化碳萃取系統最佳操作參數評估。
- d. 評估實廠放大設計與應用經濟評估。

目前成果結論如下：

1. 戴奧辛土壤污染調查結果，五氯酚工廠區之土壤戴奧辛為本污染場址代表性土壤，主要為 OCDF (Octa-chlorodibenzofuran)與 OCDD (octa-chlorinateddioxin)，OCDF 佔所有組成約 34%，OCDD 佔所有組成約 61%，二者合計共佔所有組成 95%，此一結果顯示土壤污染物以帶 8 個氯原子的戴奧辛同源物為主。其次戴奧辛同源物主要化物為 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDF (3%)與 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDD (3%)，雖 HpCDF 與 HpCDD 重量合計僅占約 6%，但由於該兩物質之毒性當量皆為 OCDF 與 OCDD 之 10 倍 (毒性當量為 0.01)，使得 HpCDF 與 HpCDD 在總毒性當量之貢獻度仍高達 34%。
2. 已完成超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計，超臨界流體萃取裝置主要包括流體來源、高壓幫浦、萃取槽、控溫設備、壓力調控裝置、分離收集裝置等六部分。相關系統組裝與試運轉業已完成。
3. 不同壓力超臨界萃取實驗結果顯示 350 bar 壓力下之萃取效果(97%)高於 200 bar 壓力下之萃取效果(90%)。
4. 不同萃取溫度實驗結果顯示如溫度低於 80 °C 以下，則總體萃取效率僅約 40%。溫度高於 80 °C 以上，則萃取效率越高，可達 94~98%。
5. 不同輔溶劑比例萃取實驗結果顯示在高壓(350 bar)與高溫(120°C)下，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提升高。在偏低溫度與較低輔溶劑比例下，溫度與輔溶劑比例對萃取效率之影響皆相當顯著，但溫度上升後對萃取效率之影響比輔溶劑比例增加更趨明顯。
6. 分析 17 種戴奧辛之同源物質之去除效率，低溫時 HxCDF、OCDF、OCDD 等高氯數之戴奧辛污染物萃取效率相較於其他氯數戴奧辛偏低，但在 120 度時不同氯數間則無顯著差異。
7. 甲醇(Methanol, MeOH)與異丙醇(Isopropanol, IPA)等不同輔溶劑實驗結果顯示，在較低溫度下(80°C)，IPA 較 MeOH 有較高之萃取效率，且 IPA 對於高氯數之戴奧辛較無選擇性，MeOH 則明顯呈現 HxCDF、OCDF、OCDD 等高氯數之戴奧辛污染物萃取效率相較於其他氯數戴奧辛偏低。然提高萃取溫度至 120°C 後，MeOH 之萃取效率雖略高於 IPA，但其差異則較不顯著。

8. 不同土壤粒徑萃取實驗結果顯示較細土壤粒徑之萃取效率略高於原土壤樣本。可能因為均質性較高之土壤有較少之短流現象，可較均勻萃取土壤中之戴奧辛。
9. 不同土壤含水率萃取實驗結果可知在偏低輔溶劑比例萃取下(5%)，土壤含水率高低會影響萃取最終效率，但提高輔溶劑比例後，土壤含水率高低對於土壤中戴奧辛之萃取效率幾無顯著變化。
10. 本超臨界萃取技術確為可行之技術，在溫度 120 度西下、甲醇濃度 10%、壓力 350 bar 即可達約 98%之去除效率。
11. 以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³ 之成本，其設計條件為設置 3 碳鋼萃取槽(每套 0.5 m³)，每天操作 24 小時，每年操作 330 天，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力。

第六章 後續執行建議

章節摘要

回顧國內相關整治技術之研發與應用，往往著重於較基礎之反應與去除效率探討，對於中下游之設計與應用並未能深入著墨，然也唯有在已建立之良好基礎上，針對技術關鍵問題持續深入探討，方得使本技術具實際應用於受污土壤之整治。後續可能面臨之關鍵問題包括(a)最適萃取時間為何？(b)未來放大設計所需考量之因子為何？(c)如何達到最佳化系統操作？(d)不同污染介質(如爐渣)是否適用？(e)土壤經萃取後，可否再利用？

另外，超臨界流體技術國內金屬工業發展中心與相關設備廠商已多所投入，超臨界流體技術研究與工業化應用上並不落後於開發國家，一旦國內完成應用於污染整治之範例，將可大大降低初設與操作成本。後續執行建議可持續投入相關研發經費，並針對其他許多親油性且極難去除之污染物質。

回顧國內相關整治技術之研發與應用，往往著重於較基礎之反應與去除效率探討，對於中下游之設計與應用並未能深入著墨，然也唯有在已建立之良好基礎上，針對技術關鍵問題持續深入探討，方得使本技術具實際應用於受污土壤之整治。雖本計畫初步成果顯示超臨界萃取技術確可應用於污染場址中之土壤整治，然本技術如欲實際應用，仍有眾多關鍵問題需待解決：

- a. 最適萃取時間為何？
- b. 未來放大設計所需考量之因子為何？
- c. 如何達到最佳化系統操作？
- d. 不同污染介質(如爐渣)是否適用？
- e. 土壤經萃取後，可否再利用？

針對本技術之實際應用關鍵問題，可參考以下列研究方向持續探討：

a. 建立反應動力模式，求取總萃取曲線(overall extraction curve, OEC)

1. 以經驗公式求得
2. 以質量平衡微分式求得
3. 以簡化質量平衡微分式求得

b. 放大設計以獲得預期之 OEC

1. 以相同之表面速度(superficial velocity)放大設計。
2. 以相同萃取劑對土壤重量放大設計。
3. 以相同質傳動力參數放大設計。

c. 最佳化系統流程操作分析

系統模擬分析：經由系統架構、流程設計與模擬，藉由線性/非線性規劃等或其他最佳化演算方式，如以品質實驗設計、人工智慧等最佳化模式演算，獲得最佳化系統流程操作。常用之化工程序設計模式有 ASPEN 與 HYSYS。

d. 不同污染介質操作條件建立

1. 建立不同污染介質(如爐渣)萃取效率。

2. 分析不同污染介質特性。

e. 萃取後土壤再利用測試

1. 土壤肥力分析

2. 土壤物化性質分析

其他後續執行建議包括：

1. 超臨界流體技術國內金屬工業發展中心與相關設備廠商以多所投入，超臨界流體技術研究與工業化應用上並不落後於開發國家，一旦國內完成應用於污染整治之範例，將可大大降低初設與操作成本。
2. 超臨界二氧化碳萃取系統模場除針對本計畫之戴奧辛污染土壤外，尚可針對其他許多親油性且極難去除之污染物質，如高碳數柴油、PAHs、PCBs、Hg、鎘/銅系元素等重金屬，建議可持續投入相關研發經費。

參考文獻

- Biberger, M. A., "Photoresist and Photoresist Residue Removal with Supercritical CO₂ –A Novel Approach to Cleaning Wafers," *Semiconductor Fabtech-12th Edition*, pp. 239-243, (2000)
- Edward, B., Dieter, K., Schumacher, K.S., "Supercritical Fluids for Single Wafer Cleaning", *Solid State Technology*, pp. 117-120, June (1992)
- Hawthorne, S.B., Krieger, M.S. and Miller, D.J. "Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Polychlorinated Biphenyls, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Heteroatom-Containing Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and n-Alkenes from Polyurethane Foam Sorbents," *Analytical Chemistry*, Vol. 61, No. 7, pp. 736-740, 1989.
- Hawthorne, S.B. and Miller, D.J. "Quantitative extraction of linear alkylbenzene sulfonal using supercritical carbon dioxide and a simple device for adding modifiers," *J. Chromatography.*, Vol. 541, pp. 185-194(1991).
- Hayduk, E., "Characterization of Supercritical CO₂ Developable Photoresists for Non-wetting Surfaces," *National Nanofabrication Users Network*, pp. 11-12
<http://www.jst.go/pr/report/report347>
- Korzenski, M.B., "Chemical Additive Formulations for Silicon Surface Cleaning in Supercritical Carbon Dioxide," 2003 *Electrochemical Society, Abs. 792*, 2004th Meeting, (2003)
- Laitinen, A., Michauz, A., and Aaltonen, O., "Soil Cleaning by carbon dioxide extraction: A Review", *Environ. Technol.*, 15, 715-727, 1994.
- Langenfeld, J.J., Hawthorne, S.B., Miller, D.J., and Pawliszt, J., "Kinetic Study of Supercritical Fluid Extraction of Organic Contaminants from Heterogeneous Environmental Samples with Carbon Dioxide and Elevated temperatures", *Anal. Chem.*, 67, 1727-1736, 1995.
- Liang, M.T., Wu, W.H., Chen, C.H., Tseng, T.T., Yan, C.Y., Liao, J.Y., "Supercritical Fluid Extraction of Semen Ziziphi Spinosae," *4th international symposium on high pressure technology and chemical engineering*, Accepted, 2002.
- Maitin, B.K. "Supercritical fluid extraction - a novel separation process," *Food Laboratory News*, Vol. 7, No. 3, pp. 41-45(1991).
- Mannila, M., Koistiene, J., and Vartiainen, T., "Development of Supercritical Fluid Extraction with a Solid-phase Trapping for Fast Estimation of Toxic Load of

- Polychlorinated Dibenzo-p-dibenzofurans in Sawmill Soil”, *J. Chromatogr. A.*, 975, 189-198, 2002.
- McClain, J. B., “Design of Nonionic Surfactants for Supercritical Carbon Dioxide”, *SCIENCE*, Vol. 274, pp. 2049-2052, (1996)
- Miyawaki, T., Kawashima, A., and Honda, K., “Influence of Moisture Content on Supercritical Fluid and Soxhlet Extraction of Dioxins from Soil”, *Bunseki Kagaku*, 52, 989-995, 2003.
- Mukhopadhyay, M., *Natural Extracts Using Supercritical Carbon Dioxide*, CRC Press., 2000.
- Ober, C. K., ”Using Supercritical CO₂ as an Environmental Benign Processing Solvent in Nanolithography,” 2003 *NNUN REU Program at Cornell NanoScale Facility*, pp. 36-37, (2003)
- Ober, C. K., ”Environmentally Friendly Resist Development using Supercritical CO₂,” *NNUN Abstracts 2002, Materials, Physics, Processes & Characterization*, pp. 58, (2002)
- Ober, C. K., ”Fluoropolymer Resists for 157-nm Lithography 、 Supercritical CO₂ Developable Photoresist System,” CNF Project#386-90, *National Nanofabrication Users Network*, pp. 284~287,. (2003)
- Project: "*Solvent Waste Minimization by Supercritical CO₂ Cleaning*", Craig Taylor, Los Alamos National Laboratory, duration: (9/90-9/96)
- Reverchon, E., “Mathematical modelling of supercritical extraction of sage oil,” *AIChE Journal*, Vol. 42, No. 6, pp. 1765-1771, 1996.
- Saldaña, M.D.A., Nagpal, V., Guigard, S.E., “Remediation of Contaminated Soils using Supercritical Fluid Extraction: A Review (1994-2004)”, *Environmental Technology*, Vol.26, pp1013-1032, 2005.
- Smart, N.G., ”Solubility of chelating agent and metal-containing compounds in supercritical fluid carbon dioxide,” *Talanta*, 44, pp. 137-150, (1997)
- Sovova, H., “Rate of the vegetable oil extraction with supercritical CO₂ - I. Modelling of extraction curves,” *Chemical Engineering Science*, Vol. 49, No. 3, pp. 409-414, 1994.
- Sovova, H., Jucera, J., and Jez, J., “Rate of the vegetable oil extraction with supercritical CO₂ - II. Extraction of grape oil,” *Chemical Engineering Science*, Vol. 49, No. 3, pp. 415-420, 1994.
- Stastova, J., Jez, J., Bartlova, M., and Sovova, H., “Rate of the vegetable oil extraction with supercritical CO₂ - III. Extraction from sea buckthorn,” *Chemical Engineering Science*, Vol. 51, No. 18, pp. 4347-4352, 1996.

- Tavlarides, L.L., Zhou, W., Anitescu, G., "Supercritical Fluid Technology for Remediation of PCB/PAH-Contaminated Soils/Sediments", *Proceeding of the 2000 Conference on Hazardous Waste Research*.
- Traian, S., Thomas, S., and Eric, I. B., "Non-fluorous polymer with very high solubility in supercritical CO₂ down to low pressures," *NATURE*, Vol. 405, pp. 165-168, (2000)
- Wai, C.M., "Evaluation of dithiocarbamates and β -diketones as chelating agents in supercritical fluid extraction of Cd, Pb, and Hg from solid samples," *Talanta*, 43, pp. 2083-2091, (1996)
- Wang, J.S., Chiu, K.H., "Destruction of Pentachlorobiphenyl in Soil by Supercritical CO₂ Extraction Couple with Polymer-stabilized Palladium Nanoparticles", *Chemosphere*, doi:10.1016/j.chemosphere.2009.01.018.
- Waiter-Protas, I., van Bavel, B., and Parczewski, A., "Rapid Extraction and Clean-up of PCNs and PCDFs from Soil samples using SFE-LC with Solid Phase Carbon Trap: Comparision with Other Methods", *Chem. Anal.*, 47, 659-667, 2002.
- Zhou, W., Anitescu, G., Rice, P.A., and Tavlarides, L.L., "Supercritical Fluid Extraction-Oxidation Technology to Remediate PCB-Contaminated Soils/Sediments: An Economic Analysis", *Environmental Progress*, Vol.23, No.3, 222-231.
- 王少芬、魏建謨與瞿港華，「超臨界流體技術研究之發展」，*化學*，第五十七卷，第2期，第131-142頁，1999。
- 中國石油化學工業開發股份有限公司（中石化），*台南市中國石油化學工業開發股份有限公司前台城安順廠及二等九號道路東側草叢區土壤污染整治場址污染整治計畫書*，2009。
- 日本工業新聞，"It is a washing solvent about dry cleaning and the supercritical CO₂," 2002.09.26, (2002) http://www.itec-es.co.jp/Ehp3/p_drycleaning.htm
- 梁明在、陳俊豪，以超臨界二氧化碳萃取花生中的花生油，*義守大學學報*，4(1997)299-310
- 桂椿雄，「超臨界流體萃取法之簡介」，*化學*，第五十六卷，第4期，第303-309頁，1998。
- 劉敏信、羅煌木、蘇益民、劉家福，結合超臨界萃取及Fenton法去除土壤與地下水之五氯酚，*國科會計畫期末報告*，NSC96-2221-E-324-012。
- 郭子禎，"超臨界流體精密洗淨技術簡介"，*經濟部技術處超臨界二氧化碳洗淨設備技術引進成果發表會暨2003年超臨界流體技術聯誼會*，高雄市，2003。
- 詹育智，"利用超臨界流體萃取配合放射性示蹤技術進行矽晶圓表面超潔淨清洗效率之探討"，*清華大學原子科學研究所，碩士論文*(1998)
- 吳柏偉，"矽晶圓微量金屬超潔淨研究"，*清華大學材料科學研究所，碩士論文*(1999)

廖俊雄、姜元昇，”利用超臨界流體清洗半導體晶片的方法與其設備”，中華民國專利，專利公告號451337號，(2000).

經濟部工業局，**重金屬-土壤及地下水污染預防與整治技術手冊**, 2006。

附錄一 期末報告審查意見

| 意見 | 回覆意見 |
|--|--|
| 1. 試驗中所使用之土壤粒徑分析方法不合適，測試出之「土壤質地」為砂土，可能不正確，請考慮土壤學常用之分析方法。 | 1. 根據統一土壤分類系統（USCS），本土壤 $R4/R200=(\text{停留在 4 號篩上之百分比}/\text{停留在 200 號篩上之百分比})=0.32\leq 0.5$ ，且 $F200(\text{停留在 200 號篩上之百分比})=4.03<5$ ， C_u （均勻係數 $=D_{60}/D_{10}$) $=8.0\geq 6$ ， C_z （級配係數 $=(D_{30})^2/(D_{10})*(D_{60}))=0.405$ ，屬級配不良含礫石之砂土。 |
| 2. 在試驗設計中提到加入「界面活性劑」，請補充使用之界面活性劑為何？ | 2. 試驗設計中應為選擇合適之界面活性劑或萃取劑，進行土壤萃取。本研究計畫所選用之萃取流體為二氧化碳，輔溶劑則分別以甲醇、甲苯與異丙醇試驗。實驗結果顯示，以甲醇為輔溶劑有最佳萃取效果。 |
| 3. 測試土樣是否需前處理建議說明。（例如水分調整） | 3. 本研究比較未經前處理（高水分）與經風乾（低水分）之萃取結果顯示，兩者差異不大，故建議不經前處理即可進行超臨界萃取土壤中戴奧辛。 |
| 4. 輔溶劑的作用與增溶機制建議說明。 | 4. 一般在超臨界二氧化碳中添加輔溶劑的主要因素有二： <p>(1) 超臨界二氧化碳為低極性溶劑，藉由添加極性輔溶劑可達到調節超臨界流體(混合流體)的性質，可增強其對目標物的溶解力進而達到萃取的目的。</p> <p>(2) 土壤表面親水性強，而二氧化碳</p> |

| | |
|---|---|
| <p>5. 350 bar 的效果較 200 者為佳，主要的機制建議討論。</p> <p>6. 是增溫較經濟或是增壓較經濟，建議討論。</p> <p>7. 每一方土若只需 5000 元，就戴奧辛污染土而言理應頗具競爭力，為何整治實務不常用本工法？</p> | <p>極性低，因此添加極性輔溶劑可以改善超臨界流體的滲透性以及土壤表面的濕潤性，以增進萃取的效率。本計畫亦同時進行試驗以甲苯當作輔溶劑，雖然戴奧辛在甲苯的溶解度明顯高於甲醇，但試驗結果卻顯示添加甲苯的清除效果卻低於添加甲醇的試驗。顯示表面吸附行為的重要。本研發團隊在受汞污染土壤的復育實驗當中也觀察到相同的結果。表面吸附行為的推論，則需要更多的基礎研究來加以證實。</p> <p>5. 高壓下，流體的密度升高，因此溶解力增加(溶解度參數增大)。</p> <p>6. 工業上的壓力容器或是管件，主要分成幾個級數，200 bar(3000 psi)，350 bar(5000 psi)，680 bar(10,000 psi)。如果以建造成本而言，其比例約為 1：1.5：3.0。所以對於實場的經濟性而言，並適合於進一步提高 350 bar 的實驗壓力。但是增加操作溫度，則其建造成本只需考慮較大的熱交換器。但如果操作溫度超過 120 °C 以上，則需要另外篩選更適合的密封材料，但所增加的建造成本有限。但是，增加溫度會增加能源消耗，所以本計畫將在第二年進行製程模擬以及操作成本的估算。</p> <p>7. 本研究採用先導試驗裝置進行研究，實驗結果比實驗室小型批次式的實驗結果更接近實場的結果(一般不</p> |
|---|---|

| | |
|---|--|
| <p>8. 收集器阻塞是否容易克服？</p> <p>9. 是否有相對不易被萃取出的戴奧辛成分？</p> | <p>會同時對萃取的時間以及二氧化碳的流速進行研究)，所以本研究的放大成本推估更精準，因此可以針對安順廠的土壤推算出低成本的結果。但是，土壤性質各異，所以對於不同地點的汙染土壤則需進一步的研究以了解操作所需的時間(或是以二氧化碳使用量來表示)，以精準估算處理成本。另外，因為超臨界二氧化碳萃取設備投資成本高，所以一般中小企業的環保處理業者在風險考量上，也都儘量避免投入。</p> <p>8. 一般實驗室採用毛細管做為壓力設備的限流裝置，因此在二氧化碳降壓時溶易造成管路阻塞。但是本研究以背壓閥進行壓力調節，而且在萃取槽出口設置細目不銹鋼網以及過濾器，所以並不會有管路阻塞的問題。</p> <p>9. 本研究分析 17 種戴奧辛之同源物質之去除效率，發現較低溫(80℃)時 HxCDF、OCDF、OCDD 等高氯數之戴奧辛污染物萃取效率相較於其他氯數戴奧辛偏低，但在 120℃時不同氯數間則無顯著差異。</p> |
|---|--|

附錄二 期中報告審查意見

| 意見 | 回覆意見 |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書第二章超臨界流及第三章研究方法均有完整詳細之描述。 2. 由報告書第四章之重要成果一節可知，目前已有初步成果並符合預期目標。惟中石化土壤較複雜，後續需注意不同條件之影響及進度之掌握。 3. 後續在報告書第六章可針對研究成果在實場之應用性及設計概念做說明。 4. 期中報告基本摘要有填寫(自訂格式)，但項目及內容未依規定格式填寫。 5. 期中報告內容完整，依規劃項目撰寫完整。但僅有污染區戴奧辛成份分析結果及超臨界二氧化碳萃取設備建置完成。 6. 目前自評進度未說明，無落後原因及執行困難之說明，未以量化之百分比顯示。 7. SCFE 為一已商業化的技術，本研究宜以實務應用的觀點討論技術的應用性、適宜性、成本 8. 測試土壤的質地與影響建議討論 9. 添加劑宜以中石化的污染物為依 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議，後續將持續注意相關進度。 3. 研究成果在實場之應用性及設計概念將於期末報告予以說明。 4. 感謝委員指正，將依規定修正。 5. 計畫告內容依規劃設計，已著手進行試驗，但於報告繳交時尚未分析與數具整理。 6. 感謝委員指正，將依規定修正。 7. 感謝委員建議，技術的應用性、適宜性、成本將於期末報告予以說明。 8. 礙於分析經費需求，後續將考慮兩不同配比土壤的質地與影響。 9. 感謝委員建議。 |

| | |
|---|---|
| <p>據，由文獻中評估何種添加劑較適合</p> <p>10. 國內其他的研究經驗顯示分離收集是實務應用上的關鍵之一，壓力釋放、流量、分離管管徑...等均極易造成本工法的實務應用的限制</p> <p>11. 中石化的污染物為多重污染，萃取條件宜將此列入評估</p> <p>12. 由於本技術的操作成本特殊，污染土壤適合採用本技術的必要條件建議討論(例如濃度多高才適用本技術...等等)</p> | <p>10. 感謝委員指導。實際應用層面之改善非為本計畫重點之一，如有後續計畫，將可持續深入探討。</p> <p>11. 中石化的污染物以汞與戴奧辛為主。超臨界萃取技術為少數具同時處理多重污染物之技術。本計畫僅先著重於戴奧辛之去除，後續如有相關研究將可持續探討。</p> <p>12. 後續將建立動力模式，以獲得最佳處理條件。</p> |
|---|---|

附錄三 期初工作報告審查意見

| 審查意見 | 回覆意見 |
|---|--|
| <p>1. 建議能採取安順廠不同戴奧辛濃度之污染現地土壤來做測試</p> <p>2. 為提升超臨界流之處理成效，一般會結合其他之添加劑。故後續可針對此部分作必要之評估。</p> <p>3. 有關「代表性樣品」之實質討論內容與進度，應儘速予以定案；對實場規格之設計與評估內容宜予深入掌握條件與參數。</p> <p>4. SFE 技術的成效受土壤物化特性的影響極大，且操作成本不低，建議評估適用於本技術之條件，以及不適用本技術之限制因子。</p> <p>5. 就本土的實務應用而言，建議評估討論在何種條件下（評估因子與相對權重的建議），本技術具有應用的潛力與競爭性。</p> | <p>1. 感謝委員建議。本研究即以安順廠之現地土壤作為測試標的。</p> <p>2. 感謝委員建議。本研究除了以超臨界二氧化碳萃取戴奧辛外，將嘗試以添加甲醇、甲苯等輔溶劑，以提升處理成效。</p> <p>3. 有關「代表性樣品」，將整合歷年安順場址之調查報告，以獲得具代表性戴奧辛污染土壤。詳如第四章安順場址戴奧辛土壤污染調查分析回顧。本研究計畫之結果將作為後續對實場規格之設計與評估，以深入掌握最佳操作條件與參數。</p> <p>4. 感謝委員建議。後續將納入委員意見，評估適用於本技術之條件，以及不適用本技術之限制因子。</p> <p>5. 感謝委員建議。後續將納入委員意見，評估適用於本技術之條件、限制因子，以評估其力與競爭性。</p> |

附錄四 土壤及地下水污染研究計畫與模場試驗計畫審查意見表

| 意見 | 回覆意見 |
|---|--|
| <p>1.主持人對於戴奧辛之分析有相關經驗。協同主持人之一對於超臨界流體支應用有研究經驗。人力之配合尚屬合宜。</p> <p>2.計畫目標係試驗以超臨界二氧化碳萃取土壤中戴奧辛之可行性。萃取方法為一廣泛試驗中之方法，已有實驗室相類似污染物之萃取成果。擴大規模至實場試驗，有其應用價值。</p> <p>3.計畫由實驗室評估現地實用之可行性。實驗室已有相類似污染物之萃取成果，例如 PAHs 及 PCBs 等，是故實驗室萃取之可行性可期。但是擴大至現地之關鍵，例如反應槽之大小、非均相土壤對質傳之影響、大量土壤中土壤水分之調整、接收溶劑之處理問題，未見計畫內容有所著墨或欲加以評估。</p> | <p>1. 感謝委員指教。</p> <p>2. 感謝委員指教。</p> <p>3. 擴大至現地之關鍵因子已納入於第三章之二(預期可能遭遇之困難及解決途徑)、第三章之四(執行方法)中討論。實驗室反應槽初步設計大小為 0.8 升體積，未來現地實用之體積則需考量最佳流量、溫度與壓力設計予以放大設計。非均相土壤對質傳之影響則以不同顆粒均勻度(粉土：砂土比例)進行模擬實驗。土壤水分之調整則以含水率 5、10% 等進行模擬，評估土壤中土壤水分之影響。接收溶劑預以甲苯為接收溶劑，甲苯對於戴奧辛之溶解度較高，預期處理後之接收溶劑之體積不多（2~5L），後續將送至專業實驗室廢液焚化處理。</p> |

附錄五 戴奧辛檢測分析報告

戴奧辛檢驗報告清單

報告編號：IJ100C0260 分析方法：NIEA M801.12B 收樣日期：100.09.07
 樣品淨化日期：100.09.16~09.20 質譜日期：100.09.20~ 09.21 (質譜 A 台) 報告日期：100.09.22

樣品編號 (樣品名稱)：

C100090701~10 (土壤)、1000916BK (方法空白)、1000916ST (空白添加待測物)

樣品性質：土壤

補充內容.....~

一、檢測報告

內容： 共 頁

- ☒ 1.戴奧辛檢驗報告清單.....~
- ☒ 2.報告總表.....~
- ☒ 3.檢測數據表.....~

二、採樣、前處理記錄

- ☒ 1.檢驗委託單.....~
- ☒ 2.樣品編號對照表.....~
- ☐ 3.採樣現場記錄(Sampling Records)~
- ☒ 4.樣品前處理記錄(Pretreatment Record)~
- ☒ 5.儀器使用記錄~

三、檢測系統品管查核分析

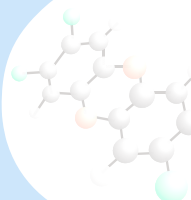
- ☒ 1.樣品清單(Sample list).....~
- ☒ 2.解析度動態校正(10K 以上)~
- ☒ 3.監測時窗查核(Window Defining Mixture)~
- ☒ 4.管柱解析度查核(Column Resolution Check)~
- ☒ 5.訊噪比驗證(S/N 比值)~
- ☒ 6.分析方法設定參數.....~

四、檢測原始數據

- ☒ 1.起始檢量線(ICAL/RRF 表)~
- ☒ 2.檢量線績效查核(CONCAL /RRF 表).....~
- ☒ 3.質譜儀溶劑空白原始圖譜.....~
- ☒ 4.方法空白分析(Lab Method Blank)~
- ☒ 5.空白添加待測物分析(Lab Blank Spike)~
- ☐ 6.現場樣品空白分析(Field Blank) * ~ *
- ☒ 7.實際樣品分析(Real Sample / Quan Form).....~

國立成功大學永續環境科技研究中心

| 樣品名稱 | 採樣編號 | 正修編號 | 取用量 (g) | 稀釋倍數 |
|------------|------------|------------|---------|------|
| LS2SD000 | LS2SD000 | C100090701 | 2.01 | 10 |
| LS2SD007 | LS2SD007 | C100090702 | 2.03 | 10 |
| LS2SD008 | LS2SD008 | C100090703 | 2.08 | 10 |
| LS2SD009 | LS2SD009 | C100090704 | 2.03 | 10 |
| LS2SD010 | LS2SD010 | C100090705 | 2.02 | 10 |
| LS2SD011 | LS2SD011 | C100090706 | 2.03 | 10 |
| LS2SD012 | LS2SD012 | C100090707 | 2.00 | 10 |
| LS2SD013 | LS2SD013 | C100090708 | 2.07 | 10 |
| LS2SD014 | LS2SD014 | C100090709 | 2.06 | 10 |
| LS2SD014-0 | LS2SD014-0 | C100090710 | 2.09 | 10 |



正 修 科 技 大 學

戴 奧 辛 檢 驗 報 告 總 表

| | | | |
|---------|-----------------------|----------|-----------------------|
| 委託單位： | 國立成功大學永續環境科技研究中心 | 採樣日期： | * |
| 受測單位： | 國立成功大學永續環境科技研究中心 | 採樣行程編號： | * |
| 行業別： | * | 收樣日期： | 100.09.07 |
| 樣品名稱： | 土壤 | 樣品編號： | 見下表 |
| 採樣單位： | 國立成功大學永續環境科技研究中心 | 報告日期： | 100.09.22 |
| 分析單位： | 正修超微量研究科技中心 | 報告編號： | IJ100C0260 |
| 採樣地點： | * | 樣品淨化日期： | 100.09.16~09.20 |
| 聯絡人： | 張簡國平 | 質譜分析日期： | 100.09.20~09.21(質譜A台) |
| 中心網址： | www.csu.edu.tw | 聯絡電話： | 07-7310606#2602 |
| e-mail： | guoping@csu.edu.tw | 委託單位聯絡人： | 陳彥旻 |
| 傳 真： | 07-7314090、07-7332204 | 委託單位電話： | 0927066671 |

| 檢驗項目 | | 單位 | 檢測值 | | | 檢驗方法 |
|------------------------|---|--------------|------------------|-----------------|----------------|---------------|
| 樣品編號 | | | LS2SD000 | LS2SD007 | LS2SD008 | |
| Total TEQ(PCDDs/PCDFs) | ※ | ng I-TEQ/ kg | 350000 | 34600 | 6340 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDF | ※ | ng/ kg | 3824.825413 | 20.726212 | 45.447514 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | ※ | ng/ kg | 2172.748672 | 25.035562 | 24.207933 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | ※ | ng/ kg | 4819.636557 | 30.200887 | 44.920990 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 31479.001289 | 418.356768 | 251.189471 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 25811.126746 | 214.191330 | 145.122712 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 34353.338323 | 483.814936 | 337.627120 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | ※ | ng/ kg | 1697.073841 | 182.070616 | 27.113716 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | ※ | ng/ kg | 6329316.562816 | 168700.155591 | 49423.073587 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | ※ | ng/ kg | 168851.139920 | 6348.374143 | 8392.837337 | NIEA M801.12B |
| OCDF | ※ | ng/ kg | 59547356.609100 | 10706563.659532 | 1327580.104870 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDD | ※ | ng/ kg | 1738.001542 | 14.145345 | 25.028486 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | ※ | ng/ kg | 15082.044323 | 97.534389 | 152.437038 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | ※ | ng/ kg | 23614.793060 | 270.105010 | 371.378745 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | ※ | ng/ kg | 166179.087896 | 2876.254438 | 1913.525659 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | ※ | ng/ kg | 63861.988888 | 1459.617086 | 768.233685 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | ※ | ng/ kg | 6959642.118383 | 308942.328926 | 89284.483572 | NIEA M801.12B |
| OCDD | ※ | ng/ kg | 108792364.038672 | 18337117.801384 | 3035402.987269 | NIEA M801.12B |
| 公告標準 | ※ | ng I-TEQ/ kg | 1000 | 1000 | 1000 | - |

| 檢驗項目 | | 單位 | 檢 測 值 | | | 檢 驗 方 法 |
|------------------------|---|--------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 樣 品 編 號 | | | LS2SD009 | LS2SD010 | LS2SD011 | |
| Total TEQ(PCDDs/PCDFs) | ※ | ng I-TEQ/ kg | 18500 | 20200 | 23300 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDF | ※ | ng/ kg | 36.621606 | 26.282842 | 104.474227 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | ※ | ng/ kg | 33.453419 | 22.768010 | 45.796842 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | ※ | ng/ kg | 76.081828 | 35.773342 | 104.130074 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 853.309291 | 404.671520 | 564.558867 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 243.786443 | 465.411525 | 281.463468 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 566.182897 | 685.267609 | 704.702872 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | ※ | ng/ kg | 426.700606 | 72.442351 | 33.736025 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | ※ | ng/ kg | 176980.308847 | 95617.666074 | 150488.652355 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | ※ | ng/ kg | 6920.871502 | 4403.673356 | 4894.717921 | NIEA M801.12B |
| OCDF | ※ | ng/ kg | 4513499.102330 | 4977873.482787 | 5507028.139493 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDD | ※ | ng/ kg | 20.717049 | 12.936599 | 62.021522 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | ※ | ng/ kg | 187.648882 | 102.398980 | 365.081236 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | ※ | ng/ kg | 324.115483 | 219.355748 | 422.268414 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | ※ | ng/ kg | 2812.661754 | 2122.320495 | 6367.609163 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | ※ | ng/ kg | 1317.054695 | 960.208230 | 2123.203337 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | ※ | ng/ kg | 253791.365837 | 156274.764178 | 259447.007113 | NIEA M801.12B |
| OCDD | ※ | ng/ kg | 8766138.284103 | 12036813.516347 | 12287654.648552 | NIEA M801.12B |
| 公告標準 | ※ | ng I-TEQ/ kg | 1000 | 1000 | 1000 | - |

| 檢 驗 項 目 | | 單 位 | 檢 測 值 | | | 檢 驗 方 法 |
|------------------------|---|--------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|
| 樣 品 編 號 | | | LS2SD012 | LS2SD013 | LS2SD014 | |
| Total TEQ(PCDDs/PCDFs) | ※ | ng I-TEQ/ kg | 21200 | 38600 | 3100 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDF | ※ | ng/ kg | 192.769995 | 86.046082 | 8.489083 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | ※ | ng/ kg | 83.705345 | 52.806227 | 8.571417 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | ※ | ng/ kg | 200.363085 | 81.731560 | 18.082087 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 885.781130 | 818.404937 | 94.240587 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 554.953005 | 333.175749 | 69.952398 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 1263.620175 | 734.134454 | 206.541820 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | ※ | ng/ kg | 166.643765 | 85.945478 | 20.234097 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | ※ | ng/ kg | 163770.872905 | 256689.400232 | 26394.951830 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | ※ | ng/ kg | 5709.873690 | 9619.363435 | 2084.086757 | NIEA M801.12B |
| OCDF | ※ | ng/ kg | 4850357.786610 | 11410232.610797 | 723300.387811 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDD | ※ | ng/ kg | 109.204245 | 46.614691 | 6.465583 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | ※ | ng/ kg | 611.127365 | 240.340816 | 38.600223 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | ※ | ng/ kg | 1696.305730 | 377.712019 | 105.931500 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | ※ | ng/ kg | 6906.476160 | 3731.393783 | 1234.734888 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | ※ | ng/ kg | 2592.397343 | 1296.671618 | 504.857415 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | ※ | ng/ kg | 316503.355635 | 383507.206000 | 43450.341034 | NIEA M801.12B |
| OCDD | ※ | ng/ kg | 9538599.528390 | 19719329.076024 | 1398978.689257 | NIEA M801.12B |
| 公告標準 | ※ | ng I-TEQ/ kg | 1000 | 1000 | 1000 | - |

| 檢驗項目 | | 單位 | 檢測值 | 檢驗方法 |
|------------------------|---|--------------|-----------------|---------------|
| 樣品編號 | | | LS2SD014-0 | |
| Total TEQ(PCDDs/PCDFs) | ※ | ng I-TEQ/ kg | 220000 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDF | ※ | ng /kg | 2657.731292 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | ※ | ng /kg | 1630.001211 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | ※ | ng /kg | 3018.318488 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | ※ | ng /kg | 22771.117799 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | ※ | ng /kg | 17680.576780 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | ※ | ng /kg | 23831.484603 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | ※ | ng /kg | 1523.761029 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | ※ | ng /kg | 3675321.045608 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | ※ | ng /kg | 73636.910861 | NIEA M801.12B |
| OCDF | ※ | ng /kg | 46063584.136546 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDD | ※ | ng /kg | 1042.944459 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | ※ | ng /kg | 10637.021895 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | ※ | ng /kg | 12075.190785 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | ※ | ng /kg | 112148.830234 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | ※ | ng /kg | 42616.770615 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | ※ | ng /kg | 4753268.944478 | NIEA M801.12B |
| OCDD | ※ | ng /kg | 57190828.431737 | NIEA M801.12B |
| 公告標準 | ※ | ng I-TEQ/ kg | 1000 | - |

備 註:

- 1.本報告書未蓋主任簽章，視同無效。
- 2.檢驗項目有標示“※”者，係指該檢測項目經環保署許可，並依公告檢測方法分析。
- 3.檢驗項目有標示“☆”者，係指該檢測項目經 TAF 許可，並依公告檢測方法分析。
- 4.本報告書僅對所送樣品負責，不得複印並做宣傳廣告之用。
- 5.本中心為環境保護署第 079 號認可。
- 6.中心地址：高雄市鳥松區澄清路 840 號。
- 7.本報告已由核可簽署人審核無誤並簽署於內部報告文件，簽署人如下：有機檢測類 -余建源 (LJO-03)。
- 8.任何 PCDDs 和 PCDFs 其結果若為未檢出時（低於 $M_{in}DL$ ），則將其結果以零計算。
- 9.方法空白樣本限值為 2 倍 MDL 值（單位：ng-I-TEQ）

| 質譜儀編號 | A 台 | B 台 | D 台 |
|----------|----------|----------|----------|
| MDL | 0.000953 | 0.001020 | 0.000983 |
| 方法空白樣本限值 | 0.001906 | 0.002041 | 0.001967 |

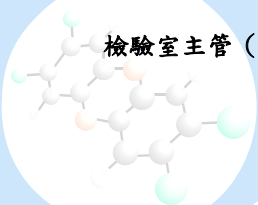
聲明書：

- (1)茲保證本報告內容完全依照行政院環境保護署及有關機關之標準方法及品保品管等相關規定，秉持公正誠實進行採樣、檢測。絕無虛偽不實，如有違反、就政府機關所受損失願負連帶賠償責任之外，並接受主管機關依法令所為之行政處分及刑事處罰。
- (2)吾人瞭解如自身受政府機關委任從事公務，亦屬刑法上之公務員，並瞭解刑法上圖利罪、公務員登載不實偽造公文書及貪污治罪條例之相關規定，如有違反，亦為刑法及貪污治罪條例之適用對象，願受最嚴厲之法律制裁。

覆 核

中心主任（蓋章）：

檢驗室主管（簽名）：



檢測數據表

| 檢驗方法 NIEAM801.12B | 樣品： LS2SD000 | | 樣品： LS2SD007 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|------------------|--------------------|-----------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng/kg | ng/kg | ng/kg | ng/kg | | |
| 總 TEQ(WHO-TEF) | 238493.257244 | 9.023979 | 14267.017731 | 0.534915 | - | - |
| 總 TEQ(I-TEF) | 349797.421821 | 8.859425 | 34555.368448 | 0.507560 | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | 3824.825413 | 4.529851 | 20.726212 | 0.107389 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 2172.748672 | 2.697512 | 25.035562 | 0.138916 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 4819.636557 | 2.325871 | 30.200887 | 0.109360 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 31479.001289 | 7.457214 | 418.356768 | 0.322167 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 25811.126746 | 7.715920 | 214.191330 | 0.290640 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 34353.338323 | 6.359204 | 483.814936 | 0.346305 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 1697.073841 | 8.122388 | 182.070616 | 0.398522 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 6329316.562816 | 43.567662 | 168700.155591 | 0.906897 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 168851.139920 | 50.117413 | 6348.374143 | 0.643350 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 59547356.609100 | 84.042289 | 10706563.659532 | 5.491133 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 1738.001542 | 0.658706 | 14.145345 | 0.099015 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 15082.044323 | 1.550746 | 97.534389 | 0.125616 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 23614.793060 | 4.923881 | 270.105010 | 0.340394 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 166179.087896 | 4.958706 | 2876.254438 | 0.326108 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 63861.988888 | 3.437562 | 1459.617086 | 0.268966 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 6959642.118383 | 30.921891 | 308942.328926 | 1.312808 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 108792364.038672 | 46.950249 | 18337117.801384 | 9.940394 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 50.2 | 30%~130% | 62.1 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 53.2 | 30%~130% | 71.0 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 58.7 | 30%~130% | 76.3 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 44.9 | 40%~130% | 55.2 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 47.8 | 40%~130% | 64.1 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 49.1 | 40%~130% | 53.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 56.2 | 40%~130% | 58.4 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 40.5 | 40%~130% | 44.9 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 49.5 | 40%~130% | 77.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 57.3 | 30%~130% | 86.1 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 68.1 | 30%~130% | 92.0 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 53.2 | 40%~130% | 59.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 57.6 | 40%~130% | 67.2 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 64.2 | 40%~130% | 56.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 108.8 | 40%~130% | 41.4 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 61.3 | 30%~130% | 89.1 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 7 頁，本頁為第 1 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表

| 檢驗方法 NIEAM801.12B | 樣品：LS2SD008 | | 樣品：LS2SD009 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|----------------|--------------------|----------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng/kg | ng/kg | ng/kg | ng/kg | | |
| 總 TEQ(WHO-TEF) | 3357.530794 | 1.115338 | 9251.054037 | 2.116543 | - | - |
| 總 TEQ(I-TEF) | 6344.868796 | 1.024865 | 18468.861201 | 1.960764 | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | 45.447514 | 0.244231 | 36.621606 | 0.223153 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 24.207933 | 0.357692 | 33.453419 | 0.367488 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 44.920990 | 0.339423 | 76.081828 | 0.336453 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 251.189471 | 0.642788 | 853.309291 | 2.295567 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 145.122712 | 0.678365 | 243.786443 | 1.713793 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 337.627120 | 0.647596 | 566.182897 | 2.170936 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 27.113716 | 0.450000 | 426.700606 | 1.866502 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 49423.073587 | 0.998077 | 176980.308847 | 2.950246 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 8392.837337 | 1.416346 | 6920.871502 | 3.102463 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 1327580.104870 | 2.200481 | 4513499.102330 | 6.951232 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 25.028486 | 0.245192 | 20.717049 | 0.320690 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 152.437038 | 0.339423 | 187.648882 | 0.487192 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 371.378745 | 0.401923 | 324.115483 | 0.995074 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 1913.525659 | 0.414423 | 2812.661754 | 1.010837 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 768.233685 | 0.307933 | 1317.054695 | 0.789655 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 89284.483572 | 1.349519 | 253791.365837 | 2.397537 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 3035402.987269 | 3.799038 | 8766138.284103 | 11.871921 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 50.4 | 30%~130% | 65.9 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 51.4 | 30%~130% | 56.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 47.3 | 30%~130% | 58.5 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 49.9 | 40%~130% | 43.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 52.2 | 40%~130% | 58.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 53.0 | 40%~130% | 44.0 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 51.9 | 40%~130% | 67.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 48.9 | 40%~130% | 57.1 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 53.5 | 40%~130% | 73.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 53.9 | 30%~130% | 64.7 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 55.6 | 30%~130% | 54.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 59.3 | 40%~130% | 65.1 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 66.0 | 40%~130% | 76.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 62.8 | 40%~130% | 95.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 63.8 | 40%~130% | 89.5 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 52.9 | 30%~130% | 65.9 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 7 頁，本頁為第 2 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表

| 檢驗方法 NIEAM801.12B | 樣品： LS2SD010 | | 樣品： LS2SD011 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng/kg | ng/kg | ng/kg | ng/kg | | |
| 總 TEQ(WHO-TEF) | 8289.713790 | 1.756281 | 11006.625934 | 1.698632 | - | - |
| 總 TEQ(I-TEF) | 20156.405228 | 2.019739 | 23302.105219 | 1.508802 | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | 26.282842 | 0.203960 | 104.474227 | 0.202956 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 22.768010 | 0.354950 | 45.796842 | 0.465025 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 35.773342 | 0.344554 | 104.130074 | 0.436453 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 404.671520 | 1.316832 | 564.558867 | 0.946305 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 465.411525 | 1.284158 | 281.463468 | 0.930049 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 685.267609 | 1.183663 | 704.702872 | 0.992611 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 72.442351 | 1.489604 | 33.736025 | 1.131034 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 95617.666074 | 1.956931 | 150488.652355 | 2.186207 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 4403.673356 | 2.447030 | 4894.717921 | 2.613793 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 4977873.482787 | 8.944059 | 5507028.139493 | 10.587192 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 12.936599 | 0.239109 | 62.021522 | 0.259606 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 102.398980 | 0.463366 | 365.081236 | 0.597537 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 219.355748 | 0.506436 | 422.268414 | 0.749261 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 2122.320495 | 0.515347 | 6367.609163 | 0.715764 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 960.208230 | 0.393564 | 2123.203337 | 0.577340 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 156274.764178 | 2.676733 | 259447.007113 | 1.877833 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 12036813.516347 | 589.814356 | 12287654.648552 | 7.052709 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 55.3 | 30%~130% | 62.6 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 60.0 | 30%~130% | 58.4 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 54.7 | 30%~130% | 57.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 47.9 | 40%~130% | 53.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 53.9 | 40%~130% | 58.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 54.4 | 40%~130% | 52.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 57.3 | 40%~130% | 58.0 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 48.6 | 40%~130% | 47.0 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 55.7 | 40%~130% | 59.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 60.1 | 30%~130% | 62.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 65.4 | 30%~130% | 63.7 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 59.3 | 40%~130% | 62.4 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 68.3 | 40%~130% | 72.9 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 62.1 | 40%~130% | 66.9 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 61.8 | 40%~130% | 54.5 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 60.0 | 30%~130% | 65.9 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 7 頁，本頁為第 3 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表

| 檢驗方法 NIEAM801.12B | 樣品：LS2SD012 | | 樣品：LS2SD013 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|----------------|--------------------|-----------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng/kg | ng/kg | ng/kg | ng/kg | | |
| 總 TEQ(WHO-TEF) | 11385.374643 | 3.129438 | 16896.435777 | 2.763750 | - | - |
| 總 TEQ(I-TEF) | 21193.827805 | 2.936824 | 38584.360986 | 2.635550 | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | 192.769995 | 0.594500 | 86.046082 | 0.443961 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 83.705345 | 0.706500 | 52.806227 | 0.624155 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 200.363085 | 0.659000 | 81.731560 | 0.581159 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 885.781130 | 2.542000 | 818.404937 | 1.805797 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 554.953005 | 2.415500 | 333.175749 | 1.804348 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 1263.620175 | 2.467500 | 734.134454 | 1.696135 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 166.643765 | 3.247500 | 85.945478 | 2.152174 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 163770.872905 | 2.665500 | 256689.400232 | 4.124638 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 5709.873690 | 3.229500 | 9619.363435 | 5.107246 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 4850357.786610 | 13.053000 | 11410232.610797 | 85.933333 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 109.204245 | 0.589500 | 46.614691 | 0.578744 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 611.127365 | 0.713500 | 240.340816 | 0.698068 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 1696.305730 | 1.349000 | 377.712019 | 1.161353 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 6906.476160 | 1.431500 | 3731.393783 | 1.198068 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 2592.397343 | 1.078000 | 1296.671618 | 0.922464 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 316503.355635 | 2.824000 | 383507.206000 | 4.363768 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 9538599.528390 | 12.956000 | 19719329.076024 | 45.664734 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 62.5 | 30%~130% | 60.9 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 64.4 | 30%~130% | 66.9 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 59.2 | 30%~130% | 63.1 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 55.1 | 40%~130% | 67.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 59.2 | 40%~130% | 75.4 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 59.6 | 40%~130% | 75.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 59.2 | 40%~130% | 76.9 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 53.3 | 40%~130% | 63.9 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 64.9 | 40%~130% | 79.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 63.4 | 30%~130% | 64.2 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 66.3 | 30%~130% | 73.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 67.4 | 40%~130% | 81.4 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 69.6 | 40%~130% | 88.4 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 61.3 | 40%~130% | 72.9 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 45.2 | 40%~130% | 40.3 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 60.4 | 30%~130% | 59.6 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 7 頁，本頁為第 4 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表

| 檢驗方法 NIEA M801.12B | 樣品： LS2SD014 | | 樣品： LS2SD014-0 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng/kg | ng/kg | ng/kg | ng/kg | | |
| 總 TEQ(WHO-TEF) | 1631.223273 | 1.639219 | 152163.501030 | 2.634571 | - | - |
| 總 TEQ(I-TEF) | 3101.306361 | 1.280233 | 219759.342603 | 2.484439 | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | 8.489083 | 0.170388 | 2657.731292 | 0.455024 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 8.571417 | 0.184466 | 1630.001211 | 0.643541 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 18.082087 | 0.340777 | 3018.318488 | 0.664115 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 94.240587 | 0.561650 | 22771.117799 | 2.184689 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 69.952398 | 0.578155 | 17680.576780 | 2.052632 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 206.541820 | 0.568447 | 23831.484603 | 2.027751 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 20.234097 | 0.695146 | 1523.761029 | 2.211962 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 26394.951830 | 0.894660 | 3675321.045608 | 3.863636 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 2084.086757 | 1.199515 | 73636.910861 | 2.352632 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 723300.387811 | 1.820388 | 46063584.136546 | 10.466986 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 6.465583 | 0.233010 | 1042.944459 | 0.450239 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 38.600223 | 0.866990 | 10637.021895 | 0.622967 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 105.931500 | 0.500000 | 12075.190785 | 1.259809 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 1234.734888 | 0.524757 | 112148.830234 | 1.202392 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 504.857415 | 0.393932 | 42616.770615 | 1.079665 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 43450.341034 | 1.012136 | 4753268.944478 | 2.655981 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 1398978.689257 | 1.984951 | 57190828.431737 | 11.900478 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 69.2 | 30%~130% | 64.5 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 74.3 | 30%~130% | 72.5 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 66.8 | 30%~130% | 63.4 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 66.1 | 40%~130% | 59.0 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 68.2 | 40%~130% | 67.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 68.2 | 40%~130% | 67.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 69.9 | 40%~130% | 78.4 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 67.3 | 40%~130% | 48.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 71.5 | 40%~130% | 89.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 70.9 | 30%~130% | 67.7 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 75.8 | 30%~130% | 76.2 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 74.4 | 40%~130% | 68.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 78.6 | 40%~130% | 84.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 79.8 | 40%~130% | 63.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 82.5 | 40%~130% | 43.6 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 70.3 | 30%~130% | 72.0 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 7 頁，本頁為第 5 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表 (續)

| 檢驗方法 NIEAM801.12B | 樣品： 1000916BK | | 樣品： 1000916ST | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|------------------|--------------------|------------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng | pg | ng | pg | | |
| 總 TEQ (WHO-TEF) | 0.000049 | - | 0.296035 | - | - | - |
| 總 TEQ (I-TEF) | 0.000080 | - | 0.259770 | - | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | ND | 0.279 | 0.024880 | 0.377 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | ND | 0.577 | 0.132083 | 0.557 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | ND | 0.542 | 0.128649 | 0.549 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | ND | 0.374 | 0.132912 | 0.769 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | ND | 0.382 | 0.127378 | 0.762 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | ND | 0.722 | 0.133206 | 0.734 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | ND | 0.469 | 0.123060 | 0.920 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | ND | 1.046 | 0.138640 | 0.979 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | ND | 0.647 | 0.132918 | 1.275 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 0.013012 | 1.856 | 0.273728 | 1.355 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | ND | 0.804 | 0.025685 | 0.700 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | ND | 0.482 | 0.130088 | 0.783 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | ND | 0.546 | 0.130457 | 0.852 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | ND | 0.583 | 0.133409 | 0.853 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | ND | 0.805 | 0.129475 | 0.643 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0.003543 | 1.333 | 0.133697 | 1.087 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 0.031211 | 1.829 | 0.309020 | 1.489 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 47.6 | 30%~130% | 60.7 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 52.6 | 30%~130% | 66.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 48.8 | 30%~130% | 62.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 49.2 | 40%~130% | 61.2 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 53.6 | 40%~130% | 66.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 53.3 | 40%~130% | 64.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 50.1 | 40%~130% | 65.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 48.2 | 40%~130% | 60.1 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 50.8 | 40%~130% | 62.9 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 49.4 | 30%~130% | 64.4 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 52.4 | 30%~130% | 69.5 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 56.8 | 40%~130% | 69.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 58.2 | 40%~130% | 73.2 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 55.9 | 40%~130% | 70.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 51.1 | 40%~130% | 62.7 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 53.4 | 30%~130% | 69.9 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 7 頁，本頁為第 6 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表-空白添加待測物回收率 (續)

1000916ST

| 待測物 | Stock par (pg/μl) | 加入體積 (μl) | 加入量 (ng) | 分析量 (ng) | 回收率 (%) | 回收率管制範圍 (%) |
|---------------------|----------------------|--------------|-------------|-------------|------------|----------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 0.5 | 50 | 0.025 | 0.024880 | 99.52 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.132083 | 105.67 | 70% ~ 130% |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.128649 | 102.92 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.132912 | 106.33 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.127378 | 101.90 | 70% ~ 130% |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.133206 | 106.56 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.123060 | 98.45 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.138640 | 110.91 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.132918 | 106.33 | 70% ~ 130% |
| OCDF | 5.0 | 50 | 0.250 | 0.273728 | 109.49 | 70% ~ 130% |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.5 | 50 | 0.025 | 0.025685 | 102.74 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.130088 | 104.07 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.130457 | 104.37 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.133409 | 106.73 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.129475 | 103.58 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.133697 | 106.96 | 70% ~ 130% |
| OCDD | 5.0 | 50 | 0.250 | 0.309020 | 123.61 | 70% ~ 130% |

檢測數據表共 7 頁，本頁為第 7 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

國立成功大學永續環境科技研究中心

土壤戴奧辛/呋喃檢測報告



正修科技大學超微量研究科技中心

戴奧辛檢驗報告清單

報告編號：IJ100C0197 分析方法：NIEA M801.12B 收樣日期：100.07.06
 樣品淨化日期：100.07.20~07.22 質譜日期：100.07.22~ 07.23 (質譜 A 台) 報告日期：100.07.27

樣品編號 (樣品名稱)：

C100070611~17 (土壤)、1000720BK-1 (方法空白)、1000720ST-1 (空白添加待測物)

樣品性質：土壤

補充內容.....~

一、檢測報告

內容： 共 頁

- 1.戴奧辛檢驗報告清單.....~
- 2.報告總表.....~
- 3.檢測數據表.....~

二、採樣、前處理記錄

- 1.檢驗委託單.....~
- 2.樣品編號對照表.....~
- ☐ 3.採樣現場記錄(Sampling Records)~
- 4.樣品前處理記錄(Pretreatment Record)~
- 5.儀器使用記錄~

三、檢測系統品管查核分析

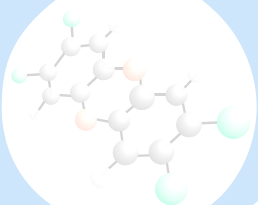
- 1.樣品清單(Sample list).....~
- 2.解析度動態校正(10K 以上)~
- 3.監測時窗查核(Window Defining Mixture)~
- 4.管柱解析度查核(Column Resolution Check)~
- 5.訊噪比驗證(S/N 比值)~
- 6.分析方法設定參數.....~

四、檢測原始數據

- 1.起始檢量線(ICAL/RRF 表)~
- 2.檢量線績效查核(CONCAL /RRF 表).....~
- 3.質譜儀溶劑空白原始圖譜.....~
- 4.方法空白分析(Lab Method Blank)~
- 5.空白添加待測物分析(Lab Blank Spike)~
- ☐ 6.現場樣品空白分析(Field Blank) * ~ *
- 7.實際樣品分析(Real Sample / Quan Form).....~

國立成功大學永續環境科技研究中心

| 樣品名稱 | 採樣編號 | 正修編號 | 取用量 (g) | 稀釋倍數 |
|-------------|-------------|------------|---------|------|
| LS2SD000 土壤 | LS2SD000 土壤 | C100070611 | 1.04 | 10 |
| LS2SD001 土壤 | LS2SD001 土壤 | C100070612 | 1.07 | 10 |
| LS2SD002 土壤 | LS2SD002 土壤 | C100070613 | 1.05 | 10 |
| LS2SD003 土壤 | LS2SD003 土壤 | C100070614 | 1.03 | 10 |
| LS2SD004 土壤 | LS2SD004 土壤 | C100070615 | 1.04 | 10 |
| LS2SD005 土壤 | LS2SD005 土壤 | C100070616 | 1.09 | 10 |
| LS2SD006 土壤 | LS2SD006 土壤 | C100070617 | 1.06 | 10 |



正 修 科 技 大 學

戴 奧 辛 檢 驗 報 告 總 表

| | | | |
|---------|-----------------------|----------|-----------------------|
| 委託單位： | 國立成功大學永續環境科技研究中心 | 採樣日期： | * |
| 計畫名稱： | 國立成功大學永續環境科技研究中心 | 採樣行程編號： | * |
| 行業別： | * | 收樣日期： | 100.07.06 |
| 樣品名稱： | 土壤 | 樣品編號： | 見下表 |
| 採樣單位： | 國立成功大學永續環境科技研究中心 | 報告日期： | 100.07.27 |
| 分析單位： | 正修超微量研究科技中心 | 報告編號： | IJ100C0197 |
| 採樣地點： | * | 樣品淨化日期： | 100.07.20~07.22 |
| 聯絡人： | 張簡國平 | 質譜分析日期： | 100.07.22~07.23(質譜A台) |
| 中心網址： | www.csu.edu.tw | 聯絡電話： | 07-7310606#2602 |
| e-mail： | guoping@csu.edu.tw | 委託單位聯絡人： | 陳彥旻 |
| 傳 真： | 07-7314090、07-7332204 | 委託單位電話： | 0927066671 |

| 檢驗項目 | | 單位 | 檢測值 | | | 檢驗方法 |
|------------------------|---|--------------|------------------|-----------------|----------------|---------------|
| 樣品編號 | | | LS2SD000 土壤 | LS2SD001 土壤 | LS2SD002 土壤 | |
| Total TEQ(PCDDs/PCDFs) | ※ | ng I-TEQ/ kg | 512000 | 212000 | 15900 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDF | ※ | ng/ kg | 3793.325029 | 691.692430 | 51.228610 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | ※ | ng/ kg | 1815.034971 | 496.891888 | 32.615410 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | ※ | ng/ kg | 3953.088346 | 1132.253355 | 73.677352 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 30377.381904 | 10502.749196 | 841.667848 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 17567.167346 | 5136.079430 | 314.916143 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/ kg | 26061.892827 | 10416.765813 | 632.572990 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | ※ | ng/ kg | 979.637087 | 283.154467 | 60.357124 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | ※ | ng/ kg | 8071864.657625 | 3446780.553336 | 156240.799838 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | ※ | ng/ kg | 155492.922692 | 59273.812607 | 5172.773495 | NIEA M801.12B |
| OCDF | ※ | ng/ kg | 104748681.916250 | 47069908.345393 | 3812508.680562 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDD | ※ | ng/ kg | 1219.115308 | 400.947542 | 43.477829 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | ※ | ng/ kg | 10435.827115 | 2950.194907 | 217.390133 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | ※ | ng/ kg | 17365.488221 | 6168.233355 | 441.778886 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | ※ | ng/ kg | 179856.004038 | 42101.664112 | 3522.734324 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | ※ | ng/ kg | 53263.587909 | 13908.431280 | 1393.105848 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | ※ | ng/ kg | 9394186.102462 | 3715054.422766 | 209880.212648 | NIEA M801.12B |
| OCDD | ※ | ng/ kg | 189412113.177529 | 81499666.147290 | 7479309.097619 | NIEA M801.12B |
| 公告標準 | ※ | ng I-TEQ/ kg | 1000 | 1000 | 1000 | - |

| 檢驗項目 | | 單位 | 檢測值 | | | 檢驗方法 |
|------------------------|---|-------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|
| 樣品編號 | | | LS2SD003 土壤 | LS2SD004 土壤 | LS2SD005 土壤 | |
| Total TEQ(PCDDs/PCDFs) | ※ | ng I-TEQ/kg | 32600 | 310000 | 12600 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDF | ※ | ng/kg | 53.883049 | 476.432385 | 90.485275 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | ※ | ng/kg | 35.651388 | 310.477462 | 44.278275 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | ※ | ng/kg | 57.335010 | 623.519933 | 82.190862 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | ※ | ng/kg | 471.936311 | 6397.120173 | 573.660018 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/kg | 185.886272 | 2812.739548 | 278.229220 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/kg | 525.661165 | 6009.070192 | 673.680872 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | ※ | ng/kg | 63.614951 | 410.117837 | 89.349972 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | ※ | ng/kg | 194343.175049 | 2092445.223481 | 125371.721670 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | ※ | ng/kg | 5940.420476 | 44768.731308 | 4615.546367 | NIEA M801.12B |
| OCDF | ※ | ng/kg | 6552335.995563 | 82997455.248433 | 2828831.490899 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDD | ※ | ng/kg | 30.629767 | 322.392538 | 44.787138 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | ※ | ng/kg | 155.573553 | 2086.185308 | 237.428991 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | ※ | ng/kg | 305.940767 | 3923.110663 | 379.583284 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | ※ | ng/kg | 1757.702359 | 21132.531760 | 5013.992606 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | ※ | ng/kg | 758.668306 | 9066.565649 | 2297.821619 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | ※ | ng/kg | 334263.759612 | 2801422.281067 | 198518.463330 | NIEA M801.12B |
| OCDD | ※ | ng/kg | 20127555.252068 | 170801909.779740 | 5379340.855349 | NIEA M801.12B |
| 公告標準 | ※ | ng I-TEQ/kg | 1000 | 1000 | 1000 | - |

| 檢驗項目 | | 單位 | 檢測值 | 檢驗方法 |
|------------------------|---|-------------|----------------|---------------|
| 樣品編號 | | | LS2SD006 土壤 | |
| Total TEQ(PCDDs/PCDFs) | ※ | ng I-TEQ/kg | 12600 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDF | ※ | ng/kg | 38.750283 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | ※ | ng/kg | 28.566000 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | ※ | ng/kg | 61.711019 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | ※ | ng/kg | 436.291726 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/kg | 251.044009 | NIEA M801.12B |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | ※ | ng/kg | 606.958028 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | ※ | ng/kg | 45.117557 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | ※ | ng/kg | 109885.051943 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | ※ | ng/kg | 5860.054783 | NIEA M801.12B |
| OCDF | ※ | ng/kg | 3156903.541953 | NIEA M801.12B |
| 2,3,7,8-TeCDD | ※ | ng/kg | 25.082387 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | ※ | ng/kg | 135.046217 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | ※ | ng/kg | 354.988623 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | ※ | ng/kg | 2439.047896 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | ※ | ng/kg | 1229.225967 | NIEA M801.12B |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | ※ | ng/kg | 163366.882321 | NIEA M801.12B |
| OCDD | ※ | ng/kg | 5978248.469953 | NIEA M801.12B |
| 公告標準 | ※ | ng I-TEQ/kg | 1000 | - |

備 註:

- 1.本報告書未蓋主任簽章，視同無效。
- 2.檢驗項目有標示“※”者，係指該檢測項目經環保署許可，並依公告檢測方法分析。
- 3.檢驗項目有標示“☆”者，係指該檢測項目經 TAF 許可，並依公告檢測方法分析。
- 4.本報告書僅對所送樣品負責，不得複印並做宣傳廣告之用。
- 5.本中心為環境保護署第 079 號認可。
- 6.中心地址：高雄市鳥松區澄清路 840 號。
- 7.本報告已由核可簽署人審核無誤並簽署於內部報告文件，簽署人如下：有機檢測類 -余建源 (LJO-03)。
- 8.任何 PCDDs 和 PCDFs 其結果若為未檢出時（低於 M_{inDL} ），則將其結果以零計算。
- 9.方法空白樣本限值為 2 倍 MDL 值（單位：ng-I-TEQ）

| 質譜儀編號 | A 台 | B 台 | D 台 |
|----------|----------|----------|----------|
| MDL | 0.000953 | 0.001020 | 0.000983 |
| 方法空白樣本限值 | 0.001906 | 0.002041 | 0.001967 |

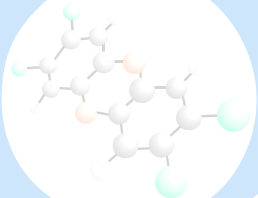
聲明書：

- (1)茲保證本報告內容完全依照行政院環境保護署及有關機關之標準方法及品保品管等相關規定，秉持公正誠實進行採樣、檢測。絕無虛偽不實，如有違反、就政府機關所受損失願負連帶賠償責任之外，並接受主管機關依法令所為之行政處分及刑事處罰。
- (2)吾人瞭解如自身受政府機關委任從事公務，亦屬刑法上之公務員，並瞭解刑法上圖利罪、公務員登載不實偽造公文書及貪污治罪條例之相關規定，如有違反，亦為刑法及貪污治罪條例之適用對象，願受最嚴厲之法律制裁。

覆 核

中心主任（蓋章）：

檢驗室主管（簽名）：



檢測數據表

| 檢驗方法 NIEAM801.12B | 樣品： LS2SD000 土壤 | | 樣品： LS2SD001 土壤 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng/kg | ng/kg | ng/kg | ng/kg | | |
| 總 TEQ(WHO-TEF) | 310285.443768 | 21.988623 | 123408.562455 | 11.517704 | - | - |
| 總 TEQ(I-TEF) | 511807.005145 | 21.814094 | 212168.555655 | 11.317399 | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | 3793.325029 | 2.969231 | 691.692430 | 1.909346 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 1815.034971 | 3.213462 | 496.891888 | 2.502804 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 3953.088346 | 3.217308 | 1132.253355 | 2.583178 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 30377.381904 | 10.596154 | 10502.749196 | 8.926168 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 17567.167346 | 11.202885 | 5136.079430 | 8.809346 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 26061.892827 | 11.494231 | 10416.765813 | 8.894393 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 979.637087 | 6.119231 | 283.154467 | 6.360748 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 8071864.657625 | 537.227885 | 3446780.553336 | 107.508411 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 155492.922692 | 25.724038 | 59273.812607 | 23.312150 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 104748681.916250 | 283.457692 | 47069908.345393 | 75.033645 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 1219.115308 | 1.496154 | 400.947542 | 1.474766 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 10435.827115 | 2.915385 | 2950.194907 | 1.785047 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 17365.488221 | 4.876923 | 6168.233355 | 4.718692 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 179856.004038 | 4.806731 | 42101.664112 | 4.621495 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 53263.587909 | 3.707692 | 13908.431280 | 3.685514 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 9394186.102462 | 506.204808 | 3715054.422766 | 125.328037 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 189412113.177529 | 538.588462 | 81499666.147290 | 104.290654 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 65.6 | 30%~130% | 64.4 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 71.4 | 30%~130% | 71.7 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 60.7 | 30%~130% | 64.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 55.1 | 40%~130% | 56.9 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 58.8 | 40%~130% | 62.4 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 56.5 | 40%~130% | 58.1 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 63.1 | 40%~130% | 62.9 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 60.8 | 40%~130% | 54.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 63.4 | 40%~130% | 64.2 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 66.6 | 30%~130% | 62.6 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 64.6 | 30%~130% | 67.3 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 55.7 | 40%~130% | 56.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 62.7 | 40%~130% | 63.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 75.1 | 40%~130% | 54.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 128.8 | 40%~130% | 126.2 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 66.3 | 30%~130% | 62.0 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 6 頁，本頁為第 1 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表

| 檢驗方法 NIEAM801.12B | 樣品： LS2SD002 土壤 | | 樣品： LS2SD003 土壤 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng/kg | ng/kg | ng/kg | ng/kg | | |
| 總 TEQ(WHO-TEF) | 8110.269000 | 4.925104 | 13966.243609 | 6.402110 | - | - |
| 總 TEQ(I-TEF) | 15921.234157 | 4.388206 | 32576.560735 | 5.865215 | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | 51.228610 | 0.770476 | 53.883049 | 1.067961 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 32.615410 | 1.248571 | 35.651388 | 1.675728 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 73.677352 | 1.229524 | 57.335010 | 1.541748 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 841.667848 | 2.357143 | 471.936311 | 3.975728 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 314.916143 | 2.418095 | 185.886272 | 3.912621 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 632.572990 | 2.376190 | 525.661165 | 3.817476 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 60.357124 | 2.918095 | 63.614951 | 2.606796 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 156240.799838 | 5.780000 | 194343.175049 | 7.166990 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 5172.773495 | 8.756190 | 5940.420476 | 10.983495 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 3812508.680562 | 10.158095 | 6552335.995563 | 18.114563 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 43.477829 | 1.032381 | 30.629767 | 1.563107 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 217.390133 | 1.637143 | 155.573553 | 1.824272 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 441.778886 | 1.914286 | 305.940767 | 2.327184 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 3522.734324 | 2.035238 | 1757.702359 | 2.393204 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 1393.105848 | 1.570952 | 758.668306 | 1.791262 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 209880.212648 | 6.322857 | 334263.759612 | 11.690291 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 7479309.097619 | 5.266667 | 20127555.252068 | 29.566019 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 76.0 | 30%~130% | 50.7 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 83.9 | 30%~130% | 58.0 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 79.0 | 30%~130% | 54.0 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 73.7 | 40%~130% | 49.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 80.2 | 40%~130% | 54.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 77.4 | 40%~130% | 52.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 78.1 | 40%~130% | 53.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 82.6 | 40%~130% | 58.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 84.4 | 40%~130% | 57.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 72.0 | 30%~130% | 48.4 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 78.7 | 30%~130% | 52.2 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 72.8 | 40%~130% | 48.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 74.5 | 40%~130% | 53.2 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 80.1 | 40%~130% | 57.2 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 92.6 | 40%~130% | 56.8 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 71.3 | 30%~130% | 47.6 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 6 頁，本頁為第 2 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表

| 檢驗方法 NIEAM801.12B | 樣品： LS2SD004 土壤 | | 樣品： LS2SD005 土壤 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng/kg | ng/kg | ng/kg | ng/kg | | |
| 總 TEQ(WHO-TEF) | 133153.888837 | 10.721281 | 6995.391040 | 5.544369 | - | - |
| 總 TEQ(I-TEF) | 309901.265239 | 10.563469 | 12639.720925 | 5.009860 | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | 476.432385 | 1.624038 | 90.485275 | 0.997248 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 310.477462 | 2.446154 | 44.278275 | 1.485321 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 623.519933 | 2.242308 | 82.190862 | 1.344954 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 6397.120173 | 7.879808 | 573.660018 | 2.915596 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 2812.739548 | 7.871154 | 278.229220 | 2.931193 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 6009.070192 | 8.011538 | 673.680872 | 2.695413 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 410.117837 | 9.326923 | 89.349972 | 3.524771 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 2092445.223481 | 104.767308 | 125371.721670 | 4.485321 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 44768.731308 | 19.238462 | 4615.546367 | 6.259633 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 82997455.248433 | 86.847115 | 2828831.490899 | 7.758716 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 322.392538 | 1.429808 | 44.787138 | 1.300917 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 2086.185308 | 1.658654 | 237.428991 | 1.690826 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 3923.110663 | 3.524038 | 379.583284 | 2.201835 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 21132.531760 | 3.629808 | 5013.992606 | 2.291743 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 9066.565649 | 2.697115 | 2297.821619 | 1.749083 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 2801422.281067 | 111.561538 | 198518.463330 | 6.121101 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 170801909.779740 | 161.910577 | 5379340.855349 | 9.678899 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 60.8 | 30%~130% | 61.9 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 67.9 | 30%~130% | 69.5 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 60.6 | 30%~130% | 63.6 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 52.9 | 40%~130% | 60.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 58.9 | 40%~130% | 65.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 54.6 | 40%~130% | 63.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 59.3 | 40%~130% | 64.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 47.6 | 40%~130% | 69.7 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 62.9 | 40%~130% | 74.1 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 58.6 | 30%~130% | 58.2 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 61.8 | 30%~130% | 61.6 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 53.8 | 40%~130% | 59.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 57.9 | 40%~130% | 63.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 50.5 | 40%~130% | 69.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 53.5 | 40%~130% | 79.5 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 57.1 | 30%~130% | 57.9 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 6 頁，本頁為第 3 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表

| 檢驗方法 NIEA M801.12B | 樣品： LS2SD006 土壤 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|---------------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng/kg | ng/kg | | |
| 總 TEQ(WHO-TEF) | 6251.306792 | 4.110907 | - | - |
| 總 TEQ(I-TEF) | 12591.303616 | 3.742115 | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | 38.750283 | 0.647170 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 28.566000 | 0.992453 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 61.711019 | 0.928302 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 436.291726 | 2.506604 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 251.044009 | 2.520755 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 606.958028 | 2.335849 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 45.117557 | 2.879245 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 109885.051943 | 5.397170 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 5860.054783 | 7.146226 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 3156903.541953 | 9.216981 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | 25.082387 | 0.837736 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 135.046217 | 1.177358 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 354.988623 | 1.755660 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 2439.047896 | 1.809434 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 1229.225967 | 1.453774 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 163366.882321 | 6.510377 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 5978248.469953 | 11.322642 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 75.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 83.1 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 76.3 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 69.2 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 74.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 73.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 73.4 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 76.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 82.1 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 70.2 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 75.3 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 68.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 72.1 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 75.0 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 87.8 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 67.1 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 6 頁，本頁為第 4 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表

| 檢驗方法 NIEAM801.12B | 樣品： 1000720BK-1 | | 樣品： 1000720ST-1 | | WHO-TEF | I-TEF |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|-------|
| | 檢測濃度 | M _{in} DL | 檢測濃度 | M _{in} DL | | |
| 化合物名稱 | ng | pg | ng | pg | | |
| 總 TEQ (WHO-TEF) | 0.000027 | - | 0.330601 | - | - | - |
| 總 TEQ (I-TEF) | 0.000041 | - | 0.292696 | - | - | - |
| 2,3,7,8-TeCDF | ND | 0.094 | 0.028191 | 0.155 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | ND | 0.078 | 0.153784 | 0.269 | 0.03 | 0.05 |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | ND | 0.183 | 0.148264 | 0.283 | 0.3 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | ND | 0.160 | 0.153431 | 0.295 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | ND | 0.165 | 0.148725 | 0.290 | 0.1 | 0.1 |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | ND | 0.169 | 0.156011 | 0.320 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | ND | 0.208 | 0.150140 | 0.394 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0.000941 | 0.215 | 0.159590 | 0.287 | 0.01 | 0.01 |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | ND | 0.282 | 0.156526 | 0.373 | 0.01 | 0.01 |
| OCDF | 0.006865 | 0.647 | 0.314759 | 0.628 | 0.0003 | 0.001 |
| 2,3,7,8-TeCDD | ND | 0.196 | 0.028249 | 0.220 | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | ND | 0.224 | 0.142113 | 0.326 | 1 | 0.5 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | ND | 0.209 | 0.145434 | 0.274 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | ND | 0.225 | 0.144827 | 0.283 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | ND | 0.164 | 0.136394 | 0.211 | 0.1 | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0.001140 | 0.274 | 0.148976 | 0.349 | 0.01 | 0.01 |
| OCDD | 0.013755 | 0.691 | 0.288824 | 0.632 | 0.0003 | 0.001 |
| 內標準品 | 回收率(%) | 管制值(%) | 回收率(%) | 管制值(%) | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDF | 62.1 | 30%~130% | 65.6 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDF | 70.9 | 30%~130% | 73.9 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDF | 64.4 | 30%~130% | 67.3 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDF | 65.3 | 40%~130% | 69.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDF | 68.7 | 40%~130% | 73.6 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HxCDF | 62.2 | 40%~130% | 65.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDF | 65.0 | 40%~130% | 68.5 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 64.0 | 40%~130% | 71.2 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 65.4 | 40%~130% | 70.8 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDD | 59.4 | 30%~130% | 62.1 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDD | 64.4 | 30%~130% | 68.8 | 30%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDD | 65.1 | 40%~130% | 68.4 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDD | 65.8 | 40%~130% | 70.1 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 60.3 | 40%~130% | 64.3 | 40%~130% | | |
| ¹³ C ₁₂ -OCDD | 43.3 | 40%~130% | 54.7 | 40%~130% | | |
| 淨化標準品 | | | | | | |
| ³⁷ Cl ₄ -2,3,7,8-TeCDD | 61.1 | 30%~130% | 65.3 | 30%~130% | | |

檢測數據表共 6 頁，本頁為第 5 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

檢測數據表-空白添加待測物回收率

1000720ST-1

| 待測物 | Stock par (pg/μl) | 加入體積 (μl) | 加入量 (ng) | 分析量 (ng) | 回收率 (%) | 回收率管制範圍 (%) |
|---------------------|----------------------|--------------|-------------|-------------|------------|----------------|
| 2,3,7,8-TeCDF | 0.5 | 50 | 0.025 | 0.028191 | 112.76 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.153784 | 123.03 | 70% ~ 130% |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.148264 | 118.61 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.153431 | 122.74 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.148725 | 118.98 | 70% ~ 130% |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.156011 | 124.81 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.150140 | 120.11 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.159590 | 127.67 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.156526 | 125.22 | 70% ~ 130% |
| OCDF | 5.0 | 50 | 0.250 | 0.314759 | 125.90 | 70% ~ 130% |
| 2,3,7,8-TeCDD | 0.5 | 50 | 0.025 | 0.028249 | 112.99 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.142113 | 113.69 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.145434 | 116.35 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.144827 | 115.86 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.136394 | 109.12 | 70% ~ 130% |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 2.5 | 50 | 0.125 | 0.148976 | 119.18 | 70% ~ 130% |
| OCDD | 5.0 | 50 | 0.250 | 0.288824 | 115.53 | 70% ~ 130% |

檢測數據表共 6 頁，本頁為第 6 頁。

品管員：_____ 驗算員：_____

國立成功大學永續環境科技研究中心

土壤戴奧辛/呋喃檢測報告



正修科技大學超微量研究科技中心

附錄六 本計畫發表文章

工學院

送永續中心

修林 8/22

行政院環境保護署 函

機關地址：10042 台北市中華路1段83號
承辦單位：土污基管會 承辦人：尤衍翔
聯絡電話：(02) 23832389 分機：8106
傳真電話：(02) 23705740
電子信箱：yhyu@epa.gov.tw

709

台南市安南區安明路三段500號(陳彥旻助理研究員)

受文者：國立成功大學永續環境科技研究中心

發文日期：中華民國100年9月20日

發文字號：環署土字第1000080636號

速別：

密等及解密條件或保密期限：

附件：

主旨：為 貴校函請本署同意所補助之「超臨界二氧化碳萃取土壤
中戴奧辛之研究」案，欲於「第十屆2011年超臨界流
體技術應用與發展研討會」發表文章一案，本署原則同
意，請 查照。

說明：

- 一、復 貴校100年9月15日成大研總字第1004500833號
函。
- 二、旨揭計畫發表時，請加註「行政院環保署土壤及地下水污
染研究計畫與模場試驗計畫補助」辦理，方得以發表。

正本：國立成功大學永續環境科技研究中心

副本：

署長 沈世宏

本案依照分層負責規定
授權單位主管決行

國立成功大學總收文



1000017518 100年9月22日

王祥玲
100.9.22

Remediation of Dioxin-Contaminated Soil with Supercritical Carbon Dioxide

Yan-Min Chen¹, Ming-Tsai Liang², Ku-Yuan Liang², Ping-Jui Hsu², Tzu-Chen Kuo³

¹ Sustainable Environment Research Center, National Cheng-Kung University, Tainan, 709, Taiwan

² Department of Chemical Engineering, I-Shou University, Kaohsiung, 840, Taiwan

³ Metal Industries Research and Development Center, Kaohsiung, 811, Taiwan

Abstract

The object of this studying is to investigate the extracting feasibility of dioxins in soil by supercritical carbon dioxide and methanol as a co-solvent, and the final target is to treat contaminated soil to reach the criteria and/or could be further treated by phytoremediation. The main congeners of dioxins contaminated soil are OCDF (octa-chlorodibenzofuran), OCDD (octa-chlorinateddioxin), where 34% in weight is OCDF and 61% in weight is OCDD. The results of supercritical fluid extraction reveal this technology is practicable and the removal efficiency is higher than 93% under 350bar, 120°C and 30 g CO₂/min, 3.96% (w/w) methanol. The ratio of methanol and temperature are both important factors for increasing the removal efficiency. The effect of water content and methanol ratio on removal efficiency is getting less at higher temperature. Moreover, it is worth to mention the high-chloride dioxins is hard to remove at lower temperature (40-50°C), but reveals not significant difference at higher temperature.

超臨界二氧化碳萃取戴奧辛污染土壤之研究

陳彥旻¹，梁明在²，梁克源²，許竝瑞²，郭子禎³

¹ 成功大學永續環境科技研究中心

² 義守大學化學工程系

³ 財團法人金屬工業研究發展中心

摘要

本研究以超臨界二氧化碳配合甲醇為輔溶劑針對高濃度戴奧辛污染土壤進行萃取，以期能達法定標準或降低濃度以進一步進行植生復育。戴奧辛污染土壤分析結果顯示污染為高含氯數之 OCDD、OCDF、PCDD、PCDF 等為主，超臨界萃取結果顯示本技術確實可行。在溫度 120°C 下，甲醇濃度 3.96% 即可達 93% 以上之去除效率。而溫度、甲醇濃度皆為影響去除效率之重要因子。溫度增加去除率整體增加，較高溫下(120°C) 甲醇濃度增加則無顯著差別，且在較高溫時，土壤中的高水分含量(23%)對於戴奧辛的移除率，並無顯著影響。進一步分析 17 種戴奧辛同源物質之去除效率，在較高溫下各批次 17 種戴奧辛同源物去除率皆約可達 90% 以上，不同含氯量同源物之間並無顯著差異。但在較低溫度(40、50°C)下，高氯數之戴奧辛同源物即顯示有明顯偏低之去除率。

簡介

戴奧辛(Dioxin)是兩個氧原子連結一對苯環類化合物之統稱，為平面狀的三環芳香族化合物。戴奧辛約有 210 種不同化合物，包括 75 種多氯二聯苯戴奧辛(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins，簡稱 PCDDs)及 135 種多氯二聯苯呋喃(Polychlorinated dibenzofurans，簡稱 PCDFs)[1]。由於戴奧辛之辛醇分配係數極高 ($\log K_{ow} = 6.8$)，導致很容易透過肉乳類食物鏈轉移而累積與儲存於人體脂肪組織內[2]。

由於戴奧辛特殊之毒性與物化性質，使得整治方法僅侷限於部份技術之發展。目前對戴奧辛污染的土壤，大都採用圍堵(contained)或焚化(incinerated)、鹼性催化分解(BCD)方法處理[3]。部份發展中之技術，如超臨界水氧化(SCWO)、機械化學法(mechanichemical)、溶液或液/氣體萃取、蒸氣淨化法、超臨界萃取等技術，因成本通常較焚化便宜，未來極具商業化潛力[4]。

超臨界流體萃取技術已被證實可應用於土壤與底泥中有機與無機污染物之萃取，如 PHCs、PAHs、PCBs、農藥、酚類/氯酚類、戴奧辛/呋喃、鎳/銅系元素與重金屬等[5-6]。Langenfeld 等人(1995)[7]即利用超臨界二氧化碳萃取土壤與底泥中之 PCDD/PCDF，研究顯示在壓力 650atm 與溫度 40~200°C 下，土壤中之 PCDD/PCDF 可在萃取時間 60min 內回收率達 90%，且研究指出現地長年受污染土壤所需時間與溫度略高於以添加污染物試驗之土壤。Mannila 等人(2002)[8]亦曾利用超臨界二氧化碳萃取鋸木廠污染土壤中之 PCDD/PCDF，研究結果顯示在不添加修飾劑、萃取時間 60min、壓力 400atm 與溫度 100

°C 下，土壤中之 PCDD/PCDF 回收率達 62~97%。然國內外文獻多以外加污染物方式進行超臨界二氧化碳萃取，且污染物僅以 2,3,7,8-TCDD 為主要研究對象，對於針對實際污染場址土壤與不同同源物組成之污染特性多無深入探討。因此，本研究即針對某一受高濃度戴奧辛污染場址土壤，進行超臨界二氧化碳萃取之評估。

研究步驟

因戴奧辛水中溶解度與亨利常數甚低，很容易分配或是吸附在土壤環境介質中，加以其辛醇分配係數極高，適合非極性的超臨界二氧化碳萃取。研發超臨界二氧化碳萃取戴奧辛技術時，必須壓力與溫度之調節、修飾劑之添加、含水量等會影響萃取效率的重要因素。因此本研究步驟流程如圖 1 所示，超臨界二氧化碳萃取設備在壓力 350bar 及二氧化碳流速 30g/min 下，針對不同含水率、溫度與輔溶劑比例進行初步萃取實驗。Wiater-Protas 等人(2002)指出添加甲醇可增進高氯數 PCDFs 的萃取效率，但對於低氯數 PCDFs 之萃取效率較無影響或可能降低萃取效率。因本研究之土壤戴奧辛分析後以高含氯數之 OCDD、OCDF、PCDD、PCDF 等為主，故本研究後續將以甲醇等輔溶劑，評估萃取之功效。戴奧辛污染土壤之分析依環保署公告檢測方法 NIEA M801.12B 委託分析，以了解樣品所含戴奧辛(PCDDs/PCDFs)濃度，並評估溫度及輔溶劑甲醇對於戴奧辛移除率的影響。

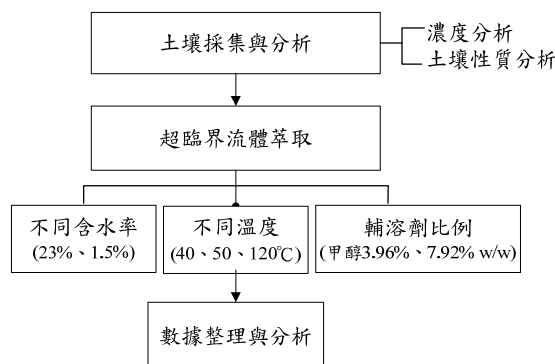


圖 1 研究流程步驟

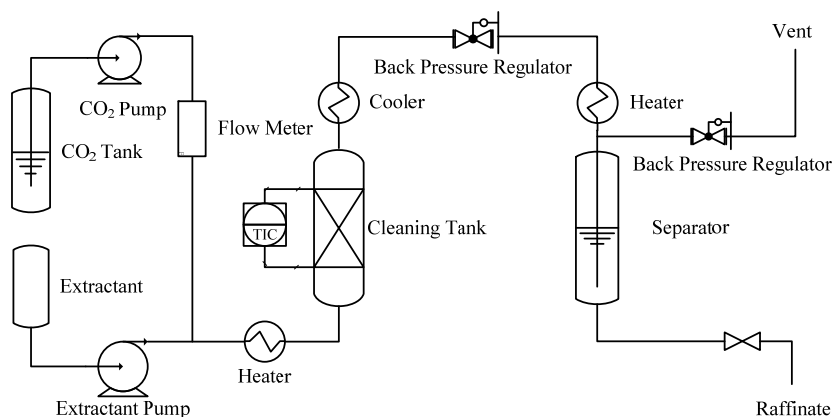


圖 2 超臨界二氧化碳萃取戴奧辛流程設備

超臨界二氧化碳萃取設備

本研究用以確認條件之萃取程序如圖 2 所示，其中萃取槽體積達 0.8 公升，最大操作壓力 350bar，最高操作溫度 400°C。萃取設備一般操作步驟如下：

1. 將受污土壤置入萃取槽後，設定萃取槽的溫度後開始加熱；
2. 液態二氧化碳從鋼瓶流出後經幫浦增壓，經加熱後，以背壓閥調整至條件壓力。
3. 啟動輔溶劑幫浦並讓二氧化碳流經萃取槽，開始進行萃取。

結果與討論

本研究採集之樣品濃度高達管制標準(1,000 ng I-Teq/kg)之 500 倍左右(511,807 ng I-Teq/kg)，戴奧辛同源物組成中，OCDF 佔所有組成約 34%，OCDD 佔所有組成約 61%，二者合計共佔所有組成 95%，此一結果顯示土壤污染物以帶 8 個氯原子的戴奧辛同源物為主，而此類戴奧辛同源物的 Log Kow 值皆為 8 以上，屬高脂溶性，對水的溶解性極低，且該兩物質之毒性當量皆為 0.001，在自然界中具微生物不易分解及長半衰期的特性。其次戴奧辛同源物主要化物為 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDF (3%)與 1,2,3,4,6,7,8 的 HpCDD (3%)，雖 HpCDF 與 HpCDD 重量合計僅占約 9%，但由於該兩物質之毒性當量皆為 OCDF 與 OCDD 之 10 倍 (毒性當量為 0.01)，使得 HpCDF 與 HpCDD 在總毒性當量之貢獻度仍高達 40%。

表 1 土壤中戴奧辛去除率

| Wet soil (water content~ 23%) | | | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------------|---------|---------|
| Methanol (%, w/w) | Extract Time (hr) | Remove efficiency of Dioxin (%) | | |
| | | 40°C | 50°C | 120°C |
| 7.92 | 3 | 58.6 (A)* | -- | 96.9(B) |
| 3.96 | 6 | -- | 39.4(D) | 93.6(C) |
| Dry soil (water content~ 1.5%) | | | | |
| 7.92 | 3 | -- | -- | 97.5(E) |
| 3.96 | 6 | -- | -- | 97.5(F) |

*去除率(批次試驗, A~F)以總戴奧辛 I-Teq 為基準計算

超臨界萃取實驗首先進行六批次之試驗，分別於未乾燥前(水分含量約 23%)與乾燥後(水分含量約 1.5%)，進行三種不同溫度(40、50、與 60°C)及兩不同甲醇輔溶劑濃度(3.96%與 7.92%, w/w)之萃取試驗。實驗條件與試驗去除率結果如表 1 所示。實驗結果顯示，超臨界萃取技術確為本污染土壤可行之技術，在溫度 120°C 下，甲醇濃度 3.96%即可達 93%以上之去除效率，而溫度、甲醇濃度皆為影響去除效率之重要因子，溫度增加去除率整體增加，高溫下甲醇增加無顯著差別。然而在溫度 120°C 時，土壤中的高水分含量(23%)對於戴奧辛的移除率，並無顯著影響。

進一步分析 17 種戴奧辛之同源物質之去除效率，如圖 3 所示。結果顯示在高溫下各批次不同戴奧辛同源物去除率皆約可達 90% 以上，不同含氯量同源物之間並無顯著差異。但在較低溫度(40、50℃)下，高氯數之戴奧辛同源物即顯示有明顯偏低之去除率。由於本場址土壤代表性污染物特性即以高氯數之 OCDD 及 OCDF 為主，因此該高氯數之戴奧辛為本研究未來改善之重點。由於含氯數越高之戴奧辛同源物顯示越低之去除率，故大部分處理後之土壤中戴奧辛同源物 OCDD 與 OCDF 之比例有增加之趨勢。

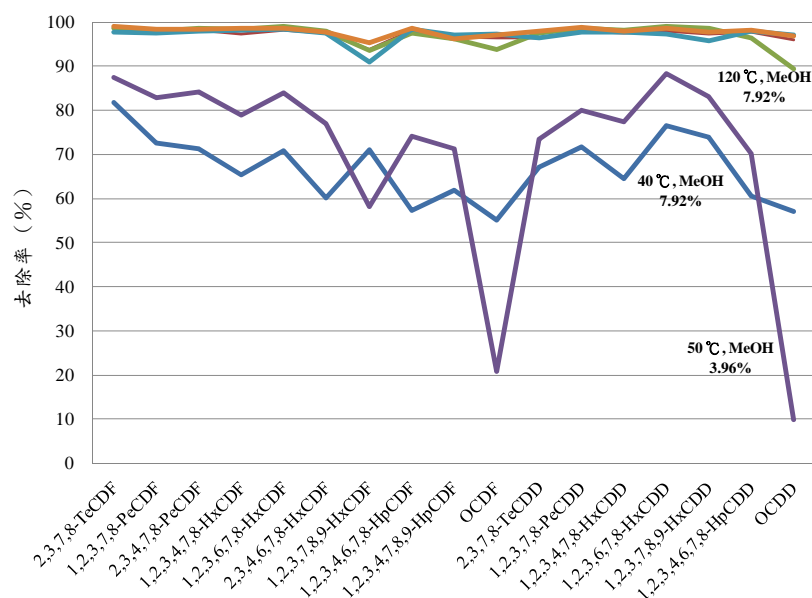


圖 3 各戴奧辛同源物質去除效率

結論

本研究獲致以下結論

1. 本研究證實超臨界二氧化碳配合甲醇為輔溶劑已可有效移除戴奧辛。在壓力 350 bar、溫度 120 °C、二氧化碳流速 30 g/min、甲醇 3.96% 時即可達 93% 以上之去除效率。
2. 溫度、甲醇濃度皆為影響去除效率之重要因子，提高溫度以及甲醇添加量有助於戴奧辛去除率的提升。
3. 較高溫下(120 °C)甲醇增加無顯著差別，且高溫下土壤中的高水分含量(23%)對於戴奧辛的移除率，亦無顯著影響。
4. 超臨界二氧化碳配合甲醇為輔溶劑處理後，含氯數越高之戴奧辛同源物具越低之去除率，故大部分處理後之土壤中戴奧辛同源物 OCDD 與 OCDF 之比例有增加之趨勢。

致謝

本研究受環保署土壤及地下水污染研究計畫與模場試驗計畫資助，EPA-99-GA103-03-A236-11。

**附錄八行政院環境保護署「超臨界二氧化碳萃取土壤中戴奧辛
之研究」計畫結案報告確認表**

| 項 目 | 受委託人自 評(符合者打 ✓) | 業務主管單 位複評(符合 者打✓) |
|--|-----------------------|-------------------------|
| 一、報告格式 | | |
| 1. 封面是否註明計畫名稱、計畫編號、「行政院環境保護署委託研究」或「行政院環境保護署編印」字樣(計畫執行單位、計畫執行人員、計畫執行期間及印製年月) | ✓ | ✓ |
| 2. 書脊是否註明計畫名稱及「行政院環境保護署」之字樣? | ✓ | ✓ |
| 3. 封底是否註明「本報告係受託單位或計畫主持人個人之意見, 僅供本署施政之參考」、「本報告之著作財產權屬(委辦者)所有, 非經(委辦者)同意, 任何人均不得重製、仿製或其他之侵害」及圖書統一標號? | ✓ | ✓ |
| 二、報告內文 | | |
| 4. 是否已撰寫報告基本資料表? | ✓ | ✓ |
| 5. 是否已撰寫完整摘要? | ✓ | ✓ |
| (1) 中英文計畫摘要(簡要版, 各約三至五百字) | ✓ | ✓ |
| (2) 成果摘要(詳細版, 約四千至一萬字) | ✓ | ✓ |
| 6. 是否已撰寫目錄?(含章節目錄、圖表目錄及附件目錄) | ✓ | ✓ |
| 7. 是否依規定撰寫前言(報告於前言或緣起內應述明計畫由來及目的、執行進度、經費及各重要工作要項負責執行之人員資歷與專長) | ✓ | ✓ |
| 8. 是否依規定撰寫結論與建議? | ✓ | ✓ |
| 9. 計畫內若有統計實證是否已述明其操作型定義、問卷架構、方法、回收率、有效度及可信度(無統計實證者免填) | 無統計實證 | 無統計實證 |
| 10. 計畫若有採樣分析, 記錄是否完整?(無採樣分析者免填) | ✓ | ✓ |
| 11. 對檢測數據是否已深入探討數據對於環境或研究主題以及政策上之意義(無檢測數據者免填) | ✓ | ✓ |
| 12. 涉及對事實判斷者, 是否確實掌握相關資訊(無涉事實判斷者免填) | ✓ | ✓ |
| 13. 應用模式推估之計畫, 是否述明模式原理、採用參數及原始資料等(無應用模式推估者免填) | 無應用模式 | 無應用模式 |
| 14. 報告附錄是否依契約齊備(例如: 調查問卷、本署審議意見及研究主持人之修正說明、各項座談會紀錄、出國訪問報告、相關統計資料、法規及文件等重要資料) | ✓ | ✓ |
| 15. (1) 經費人力分配及工作項目章節是否對應列表 (2) 是否訂定工作流程圖示, 並依據所訂流程循序進行並加以說明 (3) 計畫報告內文是否加註參考文獻出處或其他資訊 (計畫經費 500 萬元以下得免填) | ✓ | ✓ |
| 三、本計畫應繳交文件 | | |
| 16. 計畫報告紙本(10)冊及未設密碼之電子檔(word 檔或 PDF 檔)三份 | ✓ | ✓ |
| 17. 中英文計畫摘要紙本及 word 電子檔(簡要版, 300-500 字) | ✓ | ✓ |
| 18. 成果摘要紙本及 word 電子檔(詳細版, 4,000-10,000 字) | ✓ | ✓ |
| 19. 計畫成果效益自評表紙本及 word 電子檔(非科技計畫者免填) | ✓ | ✓ |

| | | |
|---|--|--|
| 20. 重要成果效益報告（依國科會要求填報，非科技計畫者免填） | ✓ | ✓ |
| 21. 計畫執行摘要表（如附件，以 A4 一頁為原則，應經委託單位主管簽名認可，結案時影印送主秘室及科顧室） | ✓ | ✓ |
| 四、其他。 | | |
| 22. 期末報告審查會議紀錄影本 | ✓ | ✓ |
| 23. 期末報告書一本（呈核時須檢附） | ✓ | ✓ |
| 24. 是否已依合約約定之工作項目完成各項工作 | ✓ | ✓ |
| 25. 駐署人員出勤狀況是否符合契約規範（檢附計畫執行期間之出勤紀錄表，並由業務主管單位人員核章確認。無駐署人員者請填無） | 無駐署人員 | 無駐署人員 |
| 26. 金額在一百萬元以上者，如結案併同辦理撥款時，須檢附勞務結算驗收證明書 | ✓ | ✓ |
| 27. (1) 計畫執行期限截止日期 (2) 期末報告初稿送署日期 (3) 期末報告審查會日期 (4) 期末報告會議紀錄發文日期 (5) 期末報告修正本送署日期 (6) 期末報告本署核可日期 (7) 正式報告送署日期 (8) 本署認可日期 | 12 月 28 日 11 月 14 日 12 月 14 日 12 月 15 日 12 月 21 日 12 月 21 日 12 月 21 日 12 月 21 日 | 12 月 28 日 11 月 14 日 12 月 14 日 12 月 15 日 12 月 21 日 12 月 21 日 12 月 21 日 12 月 21 日 |
| 28. (1) 確認期末報告電子檔公開方式： <input checked="" type="checkbox"/> 全文公開 ：可以全部開放給民眾下載。【請上傳公開完整版】 <input type="checkbox"/> 部分公開 ：已將不公開部分（例如：個人資料、列管場所等）刪除或以代號表示，製成公開版電子檔。【請分別上傳公開版（對民眾公開）及完整版（對署內公開）】 <input type="checkbox"/> 完全不公開 ：屬機敏性專案資料，經____年__月__日簽奉 核准，勿需上網登錄基本資料及上傳期末報告。 計畫單位主管已確認公開方式（請核章）：_____ | | |
| (2) 確認已將期末報告書本文及附件整合成一個 pdf 或 word 檔上傳且無加密。（期末報告完全不公開者免確認） | | |
| (3) 期末報告書是否有原始資料？【原始資料分為實（檢）驗類、檢測調查類、問卷調查類及收集彙整類】 <input checked="" type="checkbox"/> 無，或期末報告完全不公開。 <input type="checkbox"/> 有，已上傳且電子檔（Excel 格式）內容確認無誤。 | | |
| (4) 確認已於本署「環保專案登錄系統」（http://www.epa.gov.tw/epr）完成計畫成果登錄、電子檔上傳及審查。（請加會監資處核對）（專案登錄碼：0996741817）（期末報告完全不公開者免填） | | |
| 29. 研究報告結案後寄送指定寄存圖書館（名單洽綜計處，共 32 處；中央圖書館二份） | ✓ | ✓ |
| 30. 研究報告電子檔送國科會科資中心二份（非科技計畫者免送） | ✓ | ✓ |
| 31. 研究報告全文電子檔（Word 或 PDF）及報告定稿紙本各一份，送科顧室制作光碟（非科技計畫者免送） | ✓ | ✓ |

承辦人：_____ 科長：_____ 計畫單位主管：_____

附件

行政院環境保護署 年度委託計畫執行摘要

(請本署委託單位撰寫計畫之具體應用情形，以 A4 一頁為原則，於結案時影送主秘室及科顧室)

計畫名稱：超臨界二氧化碳萃取土壤中戴奧辛之研究
 計畫執行期程：99 年 12 月 29 日至 100 年 12 月 28 日
 執行單位：國立成功大學
 計畫主持人：陳彥旻
 計畫經費：980 仟元
 執行摘要：本計畫已完成超臨界二氧化碳萃取系統之規劃設計，超臨界流體萃取裝置主要包括流體來源、高壓幫浦、萃取槽、控溫設備、壓力調控裝置、分離收集裝置等，相關系統組裝與試運轉業已完成。超臨界二氧化碳萃取實驗結果得知，本超臨界萃取技術確為可行之技術，在溫度 120℃、甲醇濃度 10%、壓力 350bar 下，超臨界萃取即可達約 98% 之去除效率。不同壓力超臨界萃取實驗結果顯示 350 bar 壓力下之萃取效果(97%)高於 200 bar 壓力下之萃取效果(90%)。不同輔溶劑比例萃取實驗結果顯示在高壓(350 bar)與高溫(120℃)下，輔溶劑比例越高，萃取效率僅可略微提高。在偏低溫度與較低輔溶劑比例下，溫度與輔溶劑比例對萃取效率之影響皆相當顯著，但溫度上升後對萃取效率之影響比輔溶劑比例增加更趨明顯。最後，本研究以目前最佳推估之操作條件下概算每年處理 10,000 m³ 之成本，初估平均處理成本約每方 5,000 新台幣。其成本與焚化處理動輒上萬之處理成本極具競爭潛力。

承辦處(室、所)主管簽名：

- *「本報告僅係受託單位或個人之研究意見，僅供環保署施政之參考」
- *「本報告之著作財產權屬環保署所有，非經環保署同意，任何人均不得重製、仿製或為其他之侵害」