



行政院環境保護署

109 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

油污染土壤減容成效提升

期末報告

主辦單位： 行政院環境保護署
專案執行單位：中臺科技大學／環境與安全衛生工程系
專案主持人：張益國 副教授
專案執行期間：109 年 1 月 30 日起至
109 年 12 月 4 日止

中 華 民 國 109 年 12 月 印製



油污染土壤減容成效提升

期末報告

行政院環境保護署



專案基本資料表

專案性質		☒ 實驗性質 ☐ 非實驗性質		專案類別(單選)		☒ 研究型 ☐ 模場型	
研究主題		☐ 調查 ☒ 整治 ☐ 其他					
申請機構系所		中臺科技大學 環境與安全衛生工程系					
機構地址		40601 臺中市北屯區廬子路 666 號					
專案主持人		張益國		職等／職稱		副教授	
協同主持人		徐一量		職等／職稱		副教授	
專案 名稱	中文	油污染土壤減容成效提升					
	英文	Separation performance improvement and volume reduction of oil contaminated soils					
	關鍵字	油污染土壤、分離、減容					
執行期程		自民國 109 年 1 月 30 日起 至民國 109 年 12 月 4 日止					
專案主持人		姓名：張益國		Email：ykchang@ctust.edu.tw		專線：04-22390168 手機：0937365778	
專任助理		姓名：		Email：		專線： 手機：	
經費 分 析 總 表 (僅模場試驗專 案需填寫兩年 度金額)	專 案 預 估 經 費		第一年 金額	第二年 金額	編列說明		
	1.	人事費用		405,000		(1~5 項相加之 50%為限)	
	2.	貴重儀器使用含維護費		156,000		(與計畫實驗相關)	
	3.	消耗性器材與主要費用		305,240		(與計畫主體相關)	
	4.	其它研究相關費用		63,570		(含差旅與租賃費用)	
	5.	雜支費用		34,000		(1~6 項相加之 5%為限)	
	6.	行政管理費		95,140		(1~5 項相加之 10%為限)	
	7.	自籌款		100,000		裕山環境工程股份有限公司	
	申請補助金額(1~6 項)			1,058,950		總金額：1,058,950	
計畫總金額(1~7 項)			1,158,950		總金額：1,158,950		

專案主持人 (簽名及蓋章)：_____

日期： 109.12.22



研究成果中英文摘要

(一) 中文部分：

本研究「油污染土壤減容成效提升」進行下列改善試驗：

- (a)攪拌方式改善，嘗試以空氣攪拌替代或增強槳板攪拌效果。
- (b)進流速度操作條件優化，了解送漿能力，對於模廠漩流器進行流況模擬，擷取適合操作參數進行實驗。
- (c)如上述結果不佳，建議可考慮設計更換適合的漩流器、增加泥水泵馬力進行。
- (d)架設分流槽，可進行並聯/串聯水力分選。

期藉由現有設備及條件診斷，改善模廠土壤清洗技術處理、分離設備及操作條件，促進粗細顆粒分離，達成水力漩流器 overflow 中 $63\mu\text{m}$ 以上顆粒含量在 10% 以下目標，增加粗顆粒回收量，降低後續處理成本。

實驗成果顯示，空氣攪拌具良好效果。在土壤固體密度 2.60，土壤：水=1:4(w/w) 摻配，於空氣流量 350 L/min 下，可獲泥水流速 0.49 m/s；其傳送質量能力 1.33 Kg/s，換算每升空氣可傳送 0.228 公斤泥水，且僅需 0.073 馬力。

模廠實驗中，礙於無法獲得 15 馬力以上泥水泵，漿體流速不足導致分離效果不佳。於是設計新漩流器(縮小直徑)，於實驗室測試其效能，使用 5 馬力泥水泵送漿。新漩流器在 13m/s 流速下可得最佳操作效果，overflow stream 中(主要以細顆粒為主)，94.3%顆粒粒徑均在 $63\mu\text{m}$ 以下，僅有 5.7%顆粒粒徑在 $63\mu\text{m}$ 以上， d_{50} 為 $13.79\mu\text{m}$ ；underflow stream 中，89.3%顆粒在 $63\mu\text{m}$ 以上， d_{50} 為 $174.3\mu\text{m}$ ，顯示分離效果佳。進一步檢驗 TPH 含量，overflow 土壤 TPH 濃度高達 205,607 mg/kg；underflow 土壤則僅是 515 mg/kg，粗細顆粒分離佳，underflow 土壤滿足 $\text{TPH} < 1,000 \text{ mg/kg}$ 要求，土壤應能直接回填再利用，毋須再經其他物理、化學、熱處理。

關鍵詞：油污染土壤、分離、減容



(二) Abstract :

In this work, we applied separation performance improvement and volume reduction for oil contaminated soils. Firstly, the auditing was made for present pilot treatment processes. From the results of present hydrocyclone performance, it was found that there was about 24.3% coarse particle (particle size larger than $63\mu\text{m}$) existed in overflow stream. It could be improved (reduced the coarse particle content in overflow stream) by modifying operating conditions or designed new hydrocyclone equipment with suitable operating factors. Hence, (a) mixing improvement; (b) inlet velocity increase improvement; (c) designing new suitable hydrocyclone with related operations; (d) designing mass flow controlled tank were conducted in this study. The performance improvement target was aimed at that less than 10% coarse particles existed in overflow stream.

Results from mixing improvement experiments showed that the slurry was well-mixed applying air-mixing devices under 350 liter-air/min input and 0.49 m/s slurry flow rate conditions. The performance of pilot-scale hydrocyclone system was not good owing to lack of 15 Hp pump to produce high slurry inlet velocity which we need.

A new hydrocyclone was designed and was tested for high separation performance. Under slurry inlet velocity of 13 m/s, the separated soil from overflow stream showed a TPH concentration of 205,607 mg/kg and 94.3% particles in overflow stream were smaller than $63\mu\text{m}$ ($<63\mu\text{m}$ classified as fine soil). On the other hand, the separated soil from underflow stream showed a TPH concentration of 515 mg/kg, and 89.3% particles in underflow stream were larger than $63\mu\text{m}$. It could achieve volume reduction goal of oil contaminated soils and could be an cost-effective improvement.

Keywords: Oil contaminated soils, separation, volume reduction





目錄

專案基本資料表

研究成果中英文摘要

第一章 前言	1
第二章 研究目的	3
第三章 文獻探討	6
3-1 油污染土壤	6
3-2 水力分離	8
3-3 FLUENT 流況模擬	12
第四章 研究方法與過程	17
4-1 實驗準備	17
4-1-1 實驗中所使用的儀器設備	19
4-2 研究方法	20
4-2-1 攪拌方式改善	21
4-2-2 漩流效能優化	25
4-2-3 分流槽架設	27
4-3 分析比較現行既有技術能力、專利、產品市場需求及競爭力評估	28
4-4 執行成果貢獻及成果效益	30
4-4-1 預期完成工作項目	30
4-4-2 執行成果貢獻及成果效益	30
4-5 工作進度甘特圖	31
第五章 結果與討論	32
5-1 採樣	32
5-2 基本特性分析	32
5-2-1 pH 值	31
5-2-2 物理/化學特性	33
5-2-3 總石油碳氫化合物分析(TPH)	34
5-2-4 顯微鏡顆粒觀察	35
5-3 空氣攪拌	37
5-4 漩流效能優化	39
5-4-1-1 現地模廠既有漩流器流況模擬與結果	39
5-4-1-2 自組模廠漩流器分離效能	42
5-4-2 設計新漩流器及測試效能	46
5-4-2-1 新漩流器在 7m/s 下效能	49
5-4-2-2 新漩流器在 9m/s 下效能	52
5-4-2-3 新漩流器在 11m/s 下效能	55
5-4-2-4 新漩流器在 13m/s 下效能	58
5-4-2-5 小結	61
5-5 結論與建議	63



5-5-1 結論	63
5-5-2 建議	63
參考文獻	65
109 年度專案成果績效自評表	69

附件一



圖 次

圖 2-1	典型土壤清洗程序	3
圖 2-2	油污染處理模廠流程示意圖	4
圖 2-3	某油污染土壤經物理/化學模廠處理後之雷射粒徑分析圖	4
圖 3-1	水力漩流分離器之結構與實驗室組裝照	9
圖 3-2	FLUENT 操作畫面	14
圖 4-1	顯微顆粒觀察實驗結果示意圖	18
圖 4-2	實驗流程圖	20
圖 4-3	空氣攪拌裝置外觀示意圖	22
圖 4-4	魯氏鼓風機及曝氣槽式意圖	23
圖 4-5	傳統攪拌槽示意圖	24
圖 4-6	水力漩流器模擬流速示意圖	26
圖 4-7	分流槽構造示意圖	27
圖 5-1	高 TPH 油污染土壤採樣	32
圖 5-2	(a)原樣、(b)>150 μm 、(c)150-63 μm 、(d)< 63 μm 雷射粒徑分析圖	33
圖 5-3	油污染土壤原樣照片	35
圖 5-4	油污染土壤中 >150 μm 顆粒照片	35
圖 5-5	油污染土壤中 150-63 μm 顆粒照片	36
圖 5-6	油污染土壤中 < 63 μm 顆粒照片	36
圖 5-7	空氣攪拌增強攪拌效果示意圖	38
圖 5-8	現地模廠漩流器以 3.5m/s 流速條件分離之(a)overflow、(b)underflow 顆粒雷射粒徑分析	41
圖 5-9	自組模廠分流槽架設示意圖	42
圖 5-10	過篩排除石頭、紅磚	43
圖 5-11	南部某油污染土壤經篩分後之雷射粒徑分析圖	43
圖 5-12	超音波測速儀監測流速	44
圖 5-13	自組模廠漩流器以 2.7m/s 流速條件分離之(a)overflow、(b)underflow 顆粒雷射粒徑分析	44
圖 5-14	自組模廠漩流器以 2.9m/s 流速條件分離之(a)overflow、(b)underflow 顆粒雷射粒徑分析	45
圖 5-15	新漩流器內壓力分佈圖	46
圖 5-16	新漩流器內速度分佈圖	46
圖 5-17	新漩流器入口顆粒軌跡圖	47
圖 5-18	新漩流器於 7 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 雷射粒徑分析圖	50
圖 5-19	新漩流器於 7 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 土壤顆粒照片	51
圖 5-20	新漩流器於 9 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 雷射粒	



徑分析圖	53
圖 5-21 新漩流器於 9 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 土壤顆 粒照片	54
圖 5-22 新漩流器於 11 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 雷射粒 徑分析圖	56
圖 5-23 新漩流器於 11 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 土壤顆 粒照片	57
圖 5-24 新漩流器於 13 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 雷射粒 徑分析圖	59
圖 5-25 新漩流器於 13 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 土壤顆 粒照片	60



表次

表 1-1 美國常見之物理分離技術	1
表 5-1 油污土壤樣本 pH 值	32
表 5-2 TPH 油污染土壤粒徑分析結果	33
表 5-3 TPH 油污染經氣相層析儀/火焰離子化偵測器分析結果	34
表 5-4 現地模廠既有漩流器不同情境模擬結果	39
表 5-5 新漩流器不同入口流速情境模擬結果	48
表 5-6 新漩流器於 7 m/s 流速下之 overflow、underflow 土壤 TPH 分析結果	49
表 5-7 新漩流器於 9 m/s 流速下之 overflow、underflow 土壤 TPH 分析結果	52
表 5-8 新漩流器於 11 m/s 流速下之 overflow、underflow 土壤 TPH 分析結果	55
表 5-9 新漩流器於 13 m/s 流速下之 overflow、underflow 土壤 TPH 分析結果	58
表 5-10 新漩流管實驗分析結果彙整表	61





第一章 前言

物理分離技術係將移除物依其物理性質(如粒徑、外觀、比重及磁性)予以分離之技術。陳呈芳(2006)指出，美國一般所採之物理分離技術(如表 1-1)所示，利用物理分離將污染土壤中之重金屬污染物濃縮後送到重金屬回收處理之工廠予以回收之整治案例。經分離大顆粒土壤或卵礫石上或其中之重金屬污染物去除之難易度，將會影響物理分離技術單價，如利用簡易水洗程序即可分離污染物，則可降低處理費用；如污染物非僅附於表面，則需進行破碎、研磨等程序，則處理費用將會提高。而目前國內外針對重金屬污染土壤常用的整治技術之一為土壤清洗法(Soil-washing)，其主要結合物理分離及化學萃取的方式，將土壤與重金屬污染物分離(洪振璋，2015)。

表 1-1 美國常見之物理分離技術 (摘自陳呈芳，2006)

	粒徑分離(篩分)	水力分離(分類)	比重(重力)分離	浮除(Froth Flotation)	磁力分離
基本原理	利用不同直徑之開孔，使用不同有效力徑之顆粒通過	利用顆粒密度、大小及外觀之不同而具有不同的沉降速度	利用顆粒密度不同而分離之技術	利用顆粒表面之特性而被吸附在氣泡表面	利用顆粒之磁性不同來分離
主要優點	便宜的設備即可進行大量且連續的分離處理	便宜的設備即可進行大量且連續的分離處理	便宜的設備即可進行大量且連續的分離處理	對細顆粒特別有效	運用高磁力場梯度(high gradient fields)可廣泛回收不同物質
使用限制	篩網會被堵塞、細篩易損壞、乾篩易產生揚塵	當土壤具有高含量之黏土、粉土及腐植質時不易使用	當土壤具有高含量之黏土、粉土及腐植質時不易使用	適用於低濃度	設置及操作成本高

以總部位在英國的 ARCADIS 全球工程顧問公司為例(Mann, 1999)，所有粒徑小於 2 mm 之固體粒子則進入水力漩流分離器(hydrocyclone)中接受清洗處理。清洗後，較粗粒子可維持在底端，較細粒子與酸洗液則由上端排除。前者再釋出回場址，並經由分析確認其是否符合整治目標；後者則作為廢水污泥處理，即經由聚合物添加、沉降、加壓厚實、脫水後製成污泥餅，再以合法方式送至中間處理



場或最終處置場處理。針對不同的需求，該設備可調整粗、細粒子分離的切入點 (cutting point)，因此可決定經過水力漩流分離器清洗後欲排除粒子之粒徑大小，提高整治效率。Detzner(1998)亦指出，水力漩流分離 (hydrocyclone separation) 是一個經濟可行、粒狀物分離減積的方法。水力漩流分離可依粒徑大小進行分級，含重金屬的細顆粒可被獨立選出，進行後續處理；而大粒徑的土壤經分離後，通常因污染物質含量較低，而可逕行回填或做其他再利用使用。

而隨著經濟的迅速發展及工業的密集發展，石化業原料需求與日俱增，台灣為充足供應國內能源需求，興建許多供應石化原料輕油裂解工場之煉油廠。惟部分因工廠設備漸舊、破損或工安事故而造成的多起污染事件，造成煉油廠區內土壤及地下水污染問題，污染改善將是未來數年至數十年主要面臨之挑戰。勇興台(2016)「中油公司高雄煉油廠污染後續調查及污染改善監督工作計畫報告」指出，高雄煉油廠東南側處金屬中心、統一宅急便、中濱企業等多處土地土壤地下水總石油碳氫化合物 (total petroleum hydrocarbon, 以下簡稱 TPH) 超過土壤污染管制標準。某些區域土壤受 TPH 污染嚴重，檢出 TPH 最高濃度達 125,000mg/kg，污染深度並有深淺兩層，TPH 污染物主要屬於 C10~C40 較重質油品污染。另高志明(2005)「應用整合型復育技術處理受燃料油污染之土壤及地下水」報告中指出，在受油品污染土壤及地下水場址中，燃料油具有含碳數高且不易衰減及揮發之特性，處理困難度高於受汽油及柴油污染之地下環境。

本研究以水力分離技術為核心，高濃度油污染土壤(總石油碳氫化合物 TPH > 10,000 mg/kg)為研究標的，期望藉由攪拌方式改變、水力漩流器操作條件優化等工作，有效促進粗細顆粒分離，提升粗顆粒回收量、減少細顆粒中粗顆粒夾雜，減低後續熱處理負荷，達油污染土壤減容成效提升。



第二章 研究目的

許多有機/無機污染物常附著於細小土壤顆粒(如黏土及粉土)表面上，可利用物理分離技術，先將大顆粒物質予以分離，可降低待處理污染土壤之體積。為達土壤減量目的，處理程序大多有土壤分級程序，分離粗細(乾淨/受污染)土壤，達成減容目的(如下圖所示)。

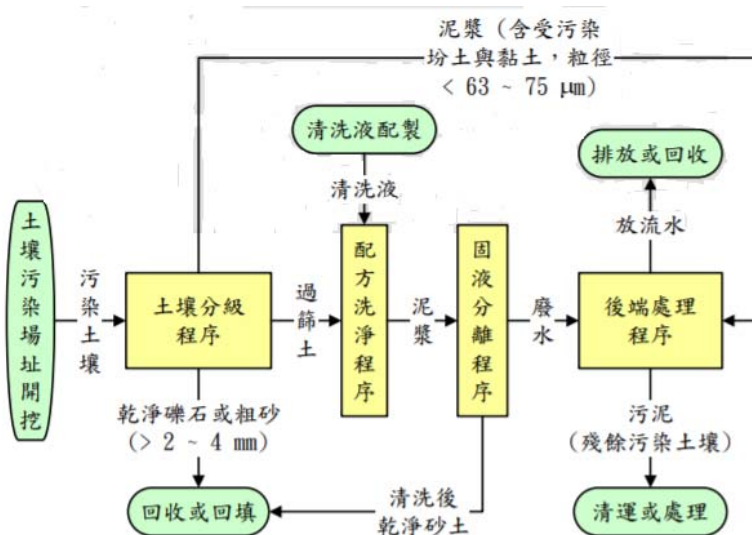


圖 2-1 典型土壤清洗程序 (摘自黃智等，2011)

去年度(108 年度)研究計畫實驗結果顯示，添加經非結晶型二氧化矽(當碰撞介質):油污染土壤=1:200，超音波反應時間 30 分鐘可得 TPH 去除率 72.2%，亦即可將高 TPH 油污染土壤 15,422 mg/kg 處理至 4,283 mg/kg。經請教業界廠商，告知未來實場應用上，亦需考量 1.添購超音波設備花費；2.超音波處理所增加電費；3.須增加處理場地空間等。處理效果已屬不錯，但增加設備花費將是成本考量。

再深入請教業者何者是處理主要目標?答案是 TPH 低於 1,000 mg/kg 土壤，粗顆粒多(TPH 含量較少)，細顆粒少，將可節省後續處理成本。遂本年度計畫以「**油污染土壤減容成效提升**」為題，在不更動或些微更動處理流程與設備下，以業者某模廠設備為研究標的，主要進行水力漩流器設計、操作條件擷取、分離效能提升，增加粗顆粒篩出比例。茲將模廠處理流程及某試驗批次雷射粒徑分析數據闡述如下(如圖 2-2、圖 2-3):



油污染土壤減容成效提升

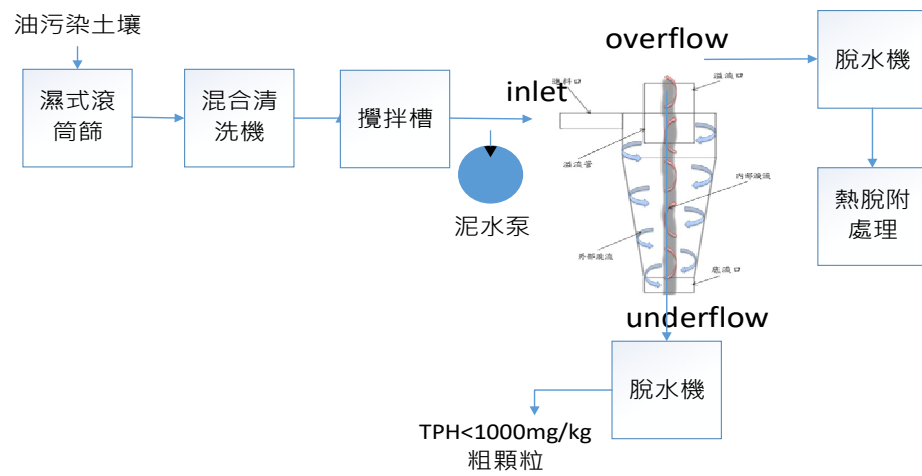


圖 2-2 油污染處理模廠流程示意圖

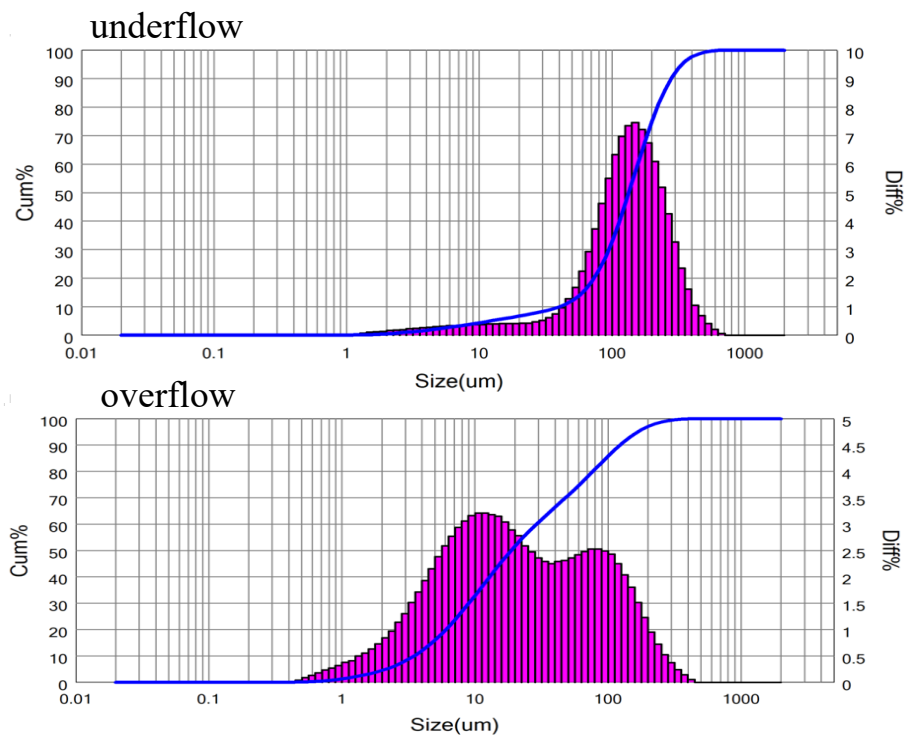


圖 2-3 某油污染土壤經物理/化學模廠處理後之雷射粒徑分析圖



由雷射粒徑分析圖(圖 2-3)中可發現，overflow(應為細顆粒土壤)中仍帶有部分粗顆粒土壤，因此如何有效改善提升粗顆粒量、減少 overflow 中粗顆粒夾雜，減低後續熱處理土壤量，達油污染土壤減容成效提升，實為本研究核心。

經觀察水力漩流(Hydrocyclone)分離系統處理含油顆粒土壤時，成效未如預期原因可能為：

1. 土壤顆粒未完全攪拌。使用一般攪拌槽及槳板因轉速、扭力不足，容易造成顆粒沉澱不均勻現象。因此抽送至水力漩流器時，造成顆粒分離效果變差。
2. 漩流器尺寸或操作條件仍有提升改善空間。依據圖 2-3 overflow 顆粒中仍夾帶粗顆粒， $63\mu\text{m}$ 以下佔 75.7%、 $63\mu\text{m}$ 以上佔 24.3%，顯示流速可能不足。可增加入口流速或者縮小漩流器尺寸來改善。

遂本年度研究計畫「油污染土壤減容成效提升」，期望藉由計畫執行試驗，裕山環境工程股份有限公司工廠儀器、設備、工程師支援及經費投入(自籌款項由裕山公司支付)，進行下列改善試驗：

1. 攪拌方式改善。嘗試以空氣攪拌替代或增強槳板攪拌效果。
2. 漩流器尺寸或操作條件優化。以模廠現有設備為試驗對象，了解泥水泵送漿能力。對於模廠漩流器進行流況模擬，擷取適合操作參數進行實驗。如果模擬結果不佳，則建議可考慮更換適合的漩流器。
3. 分流槽架設。建議廠商建置分流槽，可並聯/串聯進行水力漩流器水力分離。

期藉由現有設備及條件診斷，改善模廠土壤清洗技術處理、分離設備及操作條件，促進粗細顆粒分離，增加粗顆粒回收量，降低後續處理成本。



第三章 文獻探討

3-1 油污染土壤

近年來工商業發達，相關產業產生之廢棄物或廢水，或石化業及廢五金燃燒產生之排煙及落塵等問題，均可能造成土壤不同程度的重金屬及有機物污染。根據不同污染源及污染型態，臺灣地區最主要且最受關注的污染場址可概分為四大類，包括：農地重金屬污染、加油站及大型儲油槽污染、不明廢棄物非法棄置場址污染及工業工廠污染。其中，石油化學品貯槽洩露、油槽管線腐蝕滲漏、輸油管遭竊賊盜油破壞或是施工品質不良及人員操作管理不當等因素，所造成之油品污染土壤事件層出不窮，甚至危害地下水資源。在受油品污染土壤及地下水場址中，燃料油有其含碳數高且不易衰減及揮發之特性。因此，燃料油污染土壤及地下水之整治困難度高於受汽油及柴油污染之地下環境(高志明，2005)。另外，在高雄煉油廠生產系列中，中殼潤滑油基礎廠一直是個極具特徵性製程。它關鍵的溶劑萃取與溶脫蠟單元，幾乎沒有在其它傳統煉油製程陣列中出現。中殼基礎油廠的原料取自常壓塔底，經真空分餾後，蒸出部分稱做中性油(Neutral oil)。塔底油進入丙烷脫瀝青單元，利用丙烷對瀝青溶解性較低的特性，將瀝青與膠質沉澱脫除。脫瀝青油併入中性油進入溶劑萃取單元，利用糠醛對飽和烴與不飽和烴溶解度的鑑別性，脫除中性油中部分芳香烴，以提高中性油黏度指數與抗氧性，萃餘的芳香烴即為副產品橡膠軟化油(吳堅，2016)。中性油再進入加氫精製程序，主要是油中的硫進行管控。後續再進入溶劑脫蠟單元，利用丁酮/甲苯混合液，對直鏈烷烴溶解度的鑑別性，在低溫下將結晶析出的石蠟濾除。以提升中性油的低溫流動性，濾渣即為副產品粗蠟。最後中性油經真空重蒸，分餾成不同黏度的餾份，即為基礎油成品(70P, 150SN, 500SN)。而塔底油即為亮滑油(150BS)。基礎油加入功能性添加劑的複配，成為適用各種不同車輛與工業機械的潤滑油，而潤滑油的性能實為基礎油與添加劑整合之體現。其中第一、二(G-I, G-II)為精煉礦物油，第三、四、五類(G-III, G-IV, G-V)為合成油。

油品成分主要為碳氫化合物，故土壤污染之指標成分即為總石油碳氫化合物(Total petroleum Hydrocarbon, TPH)，此指標又分汽、柴油兩類，亦即TPHg與TPHd。此外，油品中苯、甲苯、乙苯、二甲苯(Benzene、Toluene、Ethylbenzene、Xylene, BTEX)所佔比例高，且目前無鉛汽油中多會添加甲基第三丁基醚(Methyl Tertiary Butyl Ether, MTBE)以



第三章

促進汽油燃燒，上述成分亦成為重要之污染指標。油品洩漏至土壤中時，首先會藉由重力作用沿著未飽和層土壤之孔隙向下溢散，並由高濃度往低濃度移動。土壤若受輕質油品（汽油、燃料油）污染時，因碳數較低易形成揮發性有機氣體(VOC)，此氣體不僅在土壤孔隙中傳播，甚至浮出地表經光分解後形成有毒性之水溶性苯或二甲苯；若受重質油品（柴油及原油）污染時，會因重力而滲入土壤被吸附於土粒表面，且隨吸附時間越長，若油品之重量大於土壤吸附能力時，會因脫附而流入地下水中，造成地下水污染。大部分有機/無機污染物常附著於細小顆粒(如黏土及砂土)表面上，在此一情形下，應可利用物理分離技術，先將大顆粒物質先予分離，可大大降低待處理污染沉積物之體積。



3-2 水力分離

現今發展多元的污染土壤整治方式中，在工程實務上分為物理、化學、生物的處理方法；不同類型之整治技術又可分為：現地（In-situ）與離地（Ex-situ）兩種處理方式（張尊國，2002）。於各物理分離技術中，各有其優缺點與應用範圍，若妥善搭配使用可有效分選出不同粒徑顆粒。以 ARCADIS 全球工程顧問公司為例(Mann, 1999)，其進行土壤清洗的方式，首先挖掘場址重金屬污染土壤，經過旋轉式礦石篩濾除粒徑大於 5 mm 之固體粒子，其餘固體粒子由傳輸裝置送入濕篩設備，進一步濾除粒徑大於 2 mm 之固體粒子，為避免在濕篩過程中有土壤粒子膠結成大粒子而被濾除，該設備尚具有六道高壓噴水器以排除膠結粒子。所濾除之粒徑介於 2~5 mm 粒子經由分析確認符合整治目標後，再歸返回場址。所有粒徑小於 2 mm 之固體粒子則進入水力漩流分離器(hydrocyclone)中接受清洗處理。清洗後，較粗粒子可維持在底端，較細粒子與酸洗液則由上端排除。前者再釋出回場址，並經由分析確認其是否符合整治目標；後者則作為廢水污泥處理，即經由聚合物添加、沉降、加壓厚實、脫水後製成污泥餅，再以合法方式送至中間處理場或最終處置場處理。針對不同的需求，該設備可調整粗、細粒子分離的切入點(cutting point)，因此可決定經過水力漩流分離器清洗後欲排除粒子之粒徑大小，提高整治效率。若土壤同時受到有機污染，則可加入適當的界面活性劑進行攪拌，降低污染物與土壤粒子間的表面張力，促使污染物與界面活性劑微胞(micelle)結合而以泡沫形式漂浮，再經由浮選槽(flotation cells)將之移除（蘇紹瑋、陳尊賢，2008）。

歸納常見物理分離操作單元如下分述：

（一）、機械式篩分：

機械式篩分之分離機制係依照土壤顆粒的大小，將帶離的土壤固體顆粒樣本放置在標準篩號之篩網上，藉由機械式的震動或搖動來進行土壤顆粒分離，主要係提供合適粒徑利於後續處理，其常用的篩分器包含筒狀旋轉式篩分器、震動篩與旋轉篩分器等。(Kelly, 1982)於文中提出，篩分器進行顆粒分離具有不錯的效果，但是一般工業鮮少採用小於 70 mesh (210 μm) 的篩網進行分離，原因在於孔徑過小，使篩網本身會有損耗與堵塞等問題，而孔徑過小對細顆粒分選能力較孔徑大的能力低。

（二）、水力式篩分：

水力式篩分之分離機制主要是藉由土壤中不同顆粒大小在液相中會有沉降速度差異之現象或因離心力的作用而達到顆粒分離的目的。一般而



言水力式分離技術主要涵蓋兩個類別：

- (1) 濕式渦錐，以離心力作為土壤顆粒分離機制。
- (2) 螺旋式分級器，以機械式分級為基礎。

其中水力漩流分離技術廣泛地用在土壤篩分處理程序上，主要是利用顆粒在渦錐內所受之離心力大於重力之原理將小顆粒土壤從大顆粒的砂土中分離出來，由於重金屬常以極細顆粒型態存在(Petavy et al., 2009)，故能藉由濕式渦錐將其與大粒徑顆粒分開，達到土壤中重金屬分離之效果，也因離心力遠大於重力之緣故，故僅需很短的操作時間即可達到效果，整體而言，濕式渦錐分級器具有高效率且操作費用低等優點。

水力漩流分離 (Hydrocyclone) 其原理為使用壓力將廢水 (礦漿) 從給礦口 (Inlet) 注入，沿筒部 (Cylindrical section) 以切線方向給入，利用高水流切線速度產生離沉降力量，較粗及較重顆粒則由錐形尾部 (Cone Apex Opening) 排出，而較輕及較細顆粒則由漩渦管 (Vortex Finder) 上昇至頂部，由頂部開口溢流。廢水 (礦漿) 給入壓力通常界於 15-65 psi，視顆粒粗細及欲分離之程度而定。

影響水力漩流分離器效能之因子甚多，主要包括水力漩流分離器 (1) 筒部直徑、(2) 錐部角度、(3) 漩渦管直徑、長度及其位置、(4) 離心力及廢水 (礦漿) 切線速度。其中，筒部直徑視處理量而定，經常採用尺寸為 3-15 吋；錐部角度約 10-20 度間。漩渦管之作用為避免短路 (Short circuit)，管直徑、長度及其位置可控制粗細顆粒分離程度 (水力漩流器如圖 3-1 所示)。



圖 3-1 水力漩流分離器之結構與實驗室組裝照(自有設備)



水力漩流分離器主要是由圓柱體及圓錐體連結所組成，其整體包含進料口、溢流口、溢流管、底流口，而流體部分為外部漩流及內部漩流。固體顆粒與液體混合後，一起沿切線方向進入水力漩流分離器內，混合液遇到器壁後被迫作旋轉運動，而固體顆粒則依原有的直線運動的慣性繼續向前運動，粗顆粒慣性力大能夠克服水力阻力靠近器壁而細小顆粒慣性力較小，無法靠近器壁隨混合液作旋轉運動，在後續給料的推動下混合液繼續向下和旋轉運動固體顆粒相應產生慣性離心力，於是粗顆粒繼續向器壁聚集，而細小顆粒則停留在中心區域，就發生粗細顆粒由器壁向中心的分層排列。

離心力可由增加轉速或縮小旋轉半徑而增加，離心力係數（Centrifugal Coefficient, G_c ）為離心力加速度與重力加速度之比，它代表離心沉降之能力。

$$G_c = \frac{v^2}{gr} \quad (3-1)$$

其中， G_c 為離心力係數

v 為顆粒切線速度

g 為重力加速度

r 為旋轉半徑

水力漩流分離器之操作，主要是控制進口流量或進口壓力，或是調整底流及溢流的分流比。分流比是水力漩流分離器的重要參數之一，其定義如下式：

$$S = \frac{Q_u}{Q_o} \quad (3-2)$$

其中 Q_u 與 Q_o 分別代表了底流端及溢流端的體積流率。藉由調整底流端及溢流端的閥件閥開度，來調整制所需的分流比，而且我們可以經由實驗發現到，進口壓力也可以造成分流比的改變，通常是進口的壓力越大，水力漩流分離器的分流比會越小，由於分流比的改變會影響到內部流場的變化，因此分離效率的表現也會隨之改變。



總括分離效率(Overall separation efficiency, downflow hydrocyclone)是水力漩流分離器中最具重要性的操作參數，可同時表現出該結構參數之好壞與操作參數之優劣。下列式子為其定義：

$$E = \frac{Q_u C_u}{Q_f C_f} \quad (3-3)$$

式中 Q_f 與 Q_u 分別代表了進口端及底流端的體積流率， C_f 及 C_u 分別為進口端、底流端的重量濃度百分比。

將操作改變水力漩流分離器負荷能力、分離(級)粒度、產物分配、分離(級)效率，藉由水力漩流分離器形態及給礦泵選擇，控制進流速率，調整漩流器參數，分離出粗顆粒粒子。



3-3 FLUENT 流況模擬

流場電腦模擬起源於計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)技術，將物理方程式，利用一些數學模式轉換成電腦語言，以電腦執行運算，模擬流場之流動特性，並從中擷取所需的資料，如壓力、速度、流場方向等，依據擷取的資料評估流場特性，輔助設計與效能驗證，電腦模擬可假想成在電腦內執行一個虛擬的實驗。其中 FLUENT(如圖 3-2 所示)為泛用型有限體積、以壓力基準的三維計算流體力學軟體，該軟體提供了結構性網格與非結構性網格的設定，除了一般三維流體計算之外，此軟體尚還有自由液面、多相流場(如液固流計算、三相流計算)等功能。利用物件組合、分離功能，完成三維複雜幾何模型，並自動建立網格分佈及變形網格之檢驗及調適，建立流況模型。

FLUENT 系列產品採用 FLUENT 公司自行研發的 Gambit 前處理軟體來建立幾何形狀及生成網格，Gambit 是一個具有超強組合、建構模型能力之前處理器，具有以下特色：

- (1) 圖形界面人性化：利用滑鼠可在視窗上自由拖曳縮放比例、旋轉視角、點選物件。
- (2) 檔案格式一般化：支援 ACIS、IGES、STL 等計算流體力學軟體檔案格式之輸入。
- (3) 模型建立簡單化：利用物件自由組合、分離功能，可迅速完成三維複雜幾何模型，並自動建立網格分佈及變形網格之檢驗及調適。

運算核心採用多種求解方法和多重網格加速收斂技術，因而 FLUENT 軟體能達到最佳的收斂速度和求解精度，FLUENT 使用新的 NITA 運算方法來求解，大大減少求解暫態問題的所需時間。後處理器 FLUENT 的後處理可以生成有實際意義的圖片、動畫、報告，具有表面渲染、跡線追蹤等後處理功能。

其物理模型則可進行下列分析：

- (1) 穩態與暫態流分析
- (2) 可分析所有速度場(次音速、穿音速、超音速與高超音速)
- (3) 非黏滯流、層流與紊流分析
- (4) 牛頓與非牛頓流分析全領域的紊流模型：從簡單的 $k-\varepsilon$ 模型到



漩渦模擬(LES)。

- (5) 熱傳分析：包括強制、自然與混合對流、共軛熱傳，以及輻射(P1 和 Rossland 模型)；基於角係數的 surface-to-surface 模型；D0 模型(Discrete ordinates)；DTRM 模型(Discrete ray tracing module)；太陽輻射模型。
- (6) 化學移動與反應：包含相同成分與不同成分的燃燒模型與表面反應、渦耗散模型、均衡混合顆粒模型，小火焰模型以及模擬大量氣體燃燒、煤燃燒、液體燃料燃燒的預混合模型，預測 NO_x 生成的模型。
- (7) 自由表面：VOF 模型(Volume of Fluid)，可以用於對界面的預測比較感興趣的自由表面流動，如海浪。
- (8) 相變模型：分析流體的融化和凝固。
- (9) 分散相模型：如質點、水滴與氣泡的 Lagrangian 軌跡計算，液滴和濕粒子的蒸發及煤的液化。
- (10) 渦流模型分析
- (11) 多孔介質模型分析
- (12) 多種參考座標與移動式網格：例如動態網格能力，處理移動中物體的流場分析。
- (13) 轉子與靜子交換作用的混合平面模型分析。
- (14) 噪音類比分析：預測流動產生的噪音。



油污染土壤減容成效提升

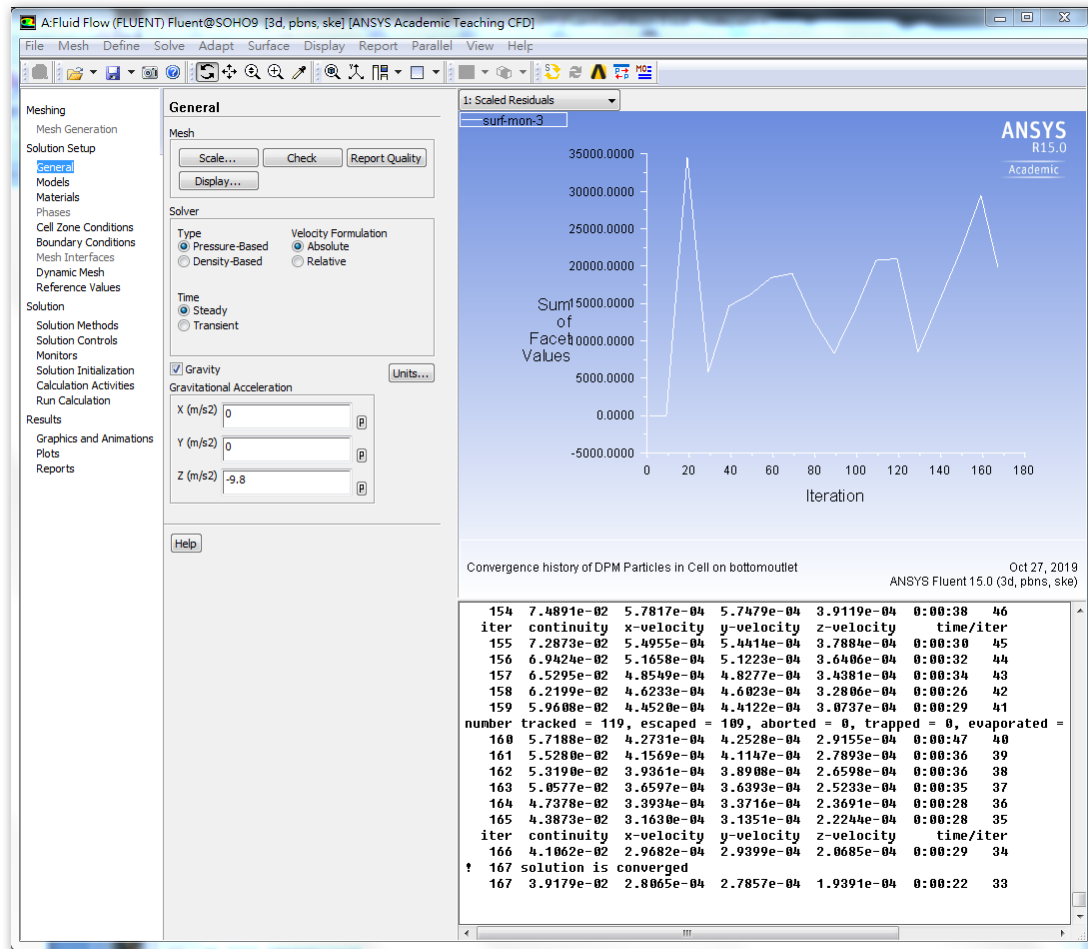


圖 3-2 FLUENT 操作畫面



第三章

Narasimha et al. (2005)曾使用 Computational Fluid Dynamics (CFD) 技術對 hydrocyclone 進行 cut size 預估，該研究以 Navier-Stokes equations (納威爾-史托克方程式)之 steady-state conservation of mass and momentum 對 hydrocyclone 進行顆粒模擬。另依據望熙榮 (1998)，漩流分離器設計及效能與旋轉數 Ne 值有關，

$$Ne = \frac{1}{H} [L_b + L_c/2] \quad (3-4)$$

其中 Ne 為旋轉數；H 為流入管高度(m)；

Lb 為水力漩流器本體高度(m)；Lc 水力漩流器底部圓錐部份高度(m)

旋轉時間(顆粒於外螺旋須碰撞器壁) Δt 為

$$\Delta t = 2\pi R \frac{Ne}{V_i} \quad (3-5)$$

R 為水力漩流器本體半徑(m)

V_i 為進流速度(m/s)

$$V_t = \frac{dp^2(\rho_p - \rho_l)V_i^2}{18\mu R} \quad (3-6)$$

V_t 為終端速度(m/s)

dp 為顆粒直徑(m)

ρ_p 為顆粒密度(kg/m³)

ρ_l 為液體密度(kg/m³)



油污染土壤減容成效提升

μ 為液體黏滯係數(kg/m-s)

$$V_t = \frac{W}{\Delta t} \quad (3-7)$$

W 為流入管寬度(m)

結合公式 3-6~3-9 可得

$$dp = \left[\frac{9\mu W}{nN\eta V(\rho_p - \rho_l)} \right]^{1/2} \quad (3-8)$$

理論上此為最小顆粒可去除粒徑，大於此粒徑顆粒(粗顆粒)均可被去除。惟上述為理論值，實際上常另外用 dpc 計算 50%去除粒徑。



第四章 研究方法與過程

4-1 實驗準備

採取南部某油污染土壤(主要為 TPH 超過土壤污染管制標準 1,000 mg/Kg)，進行後續試驗探討、分析比較，以確認 hydrocyclone 分離有效性。此外，分離效率提升後，應該會造成粗顆粒土壤污染濃度增加，本研究將分析評估粗顆粒土壤污染濃度，回饋至適合條件控制。計畫主要包含下列工作進行，

(1)粒徑分佈

粒徑分析以乾篩方式進行，主要有 100 μ m 以上、100 μ m-67 μ m、67 μ m 以下幾種，並使用 GC-FID 方式進行不同粒徑 TPH 含量分析，了解 TPH 分布。此外，更以雷射粒徑分析其粒徑分佈。

(2) pH 值

根據環保署環境檢驗所土壤酸鹼值(pH 值)測定方法—電極法(NIEA S410.62C)測定土壤樣品之酸鹼值(pH 值)。秤取 20g 土壤於 50ml 之燒杯內，加入 20 mL 試劑水蓋上錶玻璃，並且持續攪拌混合液 5 分鐘，可適度分次加入試劑水至可測量 pH 值為止。靜置混合液約 1 小時，使混合液的大部分固體沉澱，以直接、過濾、離心或利用其他方式取得水相層，測定水相層之 pH 值，並記錄溫度。

(3) 總石油碳氫化合物分析(TPH)

土壤中的 TPH 需先經過萃取，方能上機定量，由於索氏萃取方法循環萃取次數高，其結果可視為樣品的總濃度，當場址進入查驗階段時，常以該結果與管制標準比較，作為解除列管的條件。然因索氏萃取所需時間長(大於 16 小時)、使用溶劑量大(每樣品需 200 mL)、進而需耗時濃縮定容，對於土壤污染場址整治單位而言，耗費成本與耗時皆不利於技術的調整。若能有一快速萃取又能符合基本的品管目標之方法，以加快樣品分析程序，會有利於技術的模場試驗或整治階段的內部品管(張美玲，2017)。根據美國環保署(USEPA) SW846- METHOD 9077:Turbidimetric Screening Method for Total Recoverable Petroleum Hydrocarbons in Soil 及 PetroFLAG™ 方法，利用萃取液(甲醇)萃取出土壤中之 TPH，以濁度計推算出其濃度大小。其過程為(1)秤取 10g 之待測土壤裝入混合試管中；(2)加



油污染土壤減容成效提升

入萃取液與土壤充分攪拌 2 分鐘，使 TPH 溶出，然後靜置 5 分鐘；(3)將原萃取液 0.45 μm 過濾後，加入乳化劑並靜置 10 分鐘；(4) 利用濁度計讀取測值。TPH 濁度法 Test kit 檢測經費較為便宜，本研究作為例行快篩之檢測方法。另外選擇幾種具代表性、關鍵性樣本，進行下列 GC/FID 分析。

而根據環保署環境檢驗所土壤中總石油碳氫化合物檢測方法—氣相層析儀/火焰離子化偵測器法(NIEA S703.62B)，先將土壤充份混合，秤取約 1 g 之土壤置入 20 mL 之棕色瓶，紀錄土壤樣品重量。加入 1 g 無水硫酸鈉，充份混合之。加入 5 mL 正己烷與丙酮混合萃取液(1:1 v/v)。將附有鐵氟龍墊片之螺旋蓋蓋上並鎖緊，並充分震盪。經超音波萃取，濃縮定量至適當體積後，以 GC/FID 分析。

(4) 顯微鏡顆粒監測

研究主要利用顯微影像量測系統及顆粒分析軟體(如圖 4-1)，分析顆粒粒徑型態，反饋修正處理條件。另外，亦進行雷射粒徑分析，了解顆粒分布狀態。

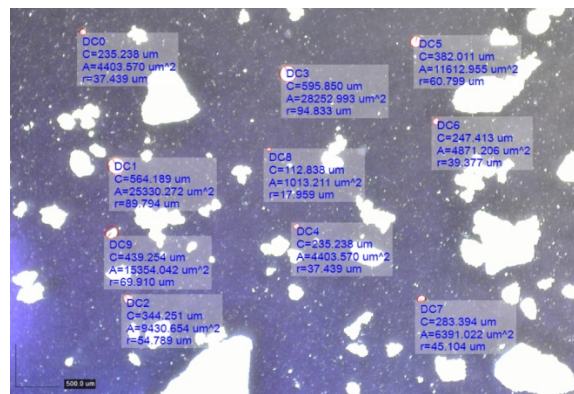


圖 4-1 顯微顆粒觀察實驗結果示意圖



4-1-1 實驗中所使用的儀器設備

- (1) 振動篩機：Retsch
- (2) 烘箱：Ching Ying Model C1-12E。
- (3) pH meter：Suntex Model SP-7。
- (4) 手提式溶氧測定儀: WTW oxi. 3205。
- (5) 電子天平：AD，GR-200，精度小數點以下三位。
- (6) 去離子水製造機：Milli-Q RO
- (7) 薄膜濾紙：Cellulose Nitrate 材質，MFS 公司，孔徑 0.45 μ m。
- (8) 超音波震盪器：ULTRASONIC CLEANER
- (9) 真空蒸鍍機(鍍碳)：JOEL JEE-4X Vacuum Evaporator。
- (10) 掃描式電子顯微鏡(SEM)：Hitachi SEM S-2500。X 光能量散佈儀(EDX)。
- (11) 感應耦合電漿光譜分析儀(ICP)：Perkin Elmer，Optima 8000。
- (12) 雷射粒徑分析儀: BetterSizer S2。



4-2 研究方法

本計畫以「油污染土壤減容成效提升」為題，在不更動或些微更動處理流程與設備下，以業者某模廠設備為研究標的，主要進行水力漩流器設計、操作條件擷取、分離效能提升，增加粗顆粒篩出比例。所研提改善試驗包含：

1. 攪拌方式改善，嘗試以空氣攪拌替代或增強槳板攪拌效果。
2. 漩流器尺寸或操作條件優化。
3. 分流槽架設，可並聯/串聯進行水力漩流器水力分離。

實驗流程如圖 4-2 所示，

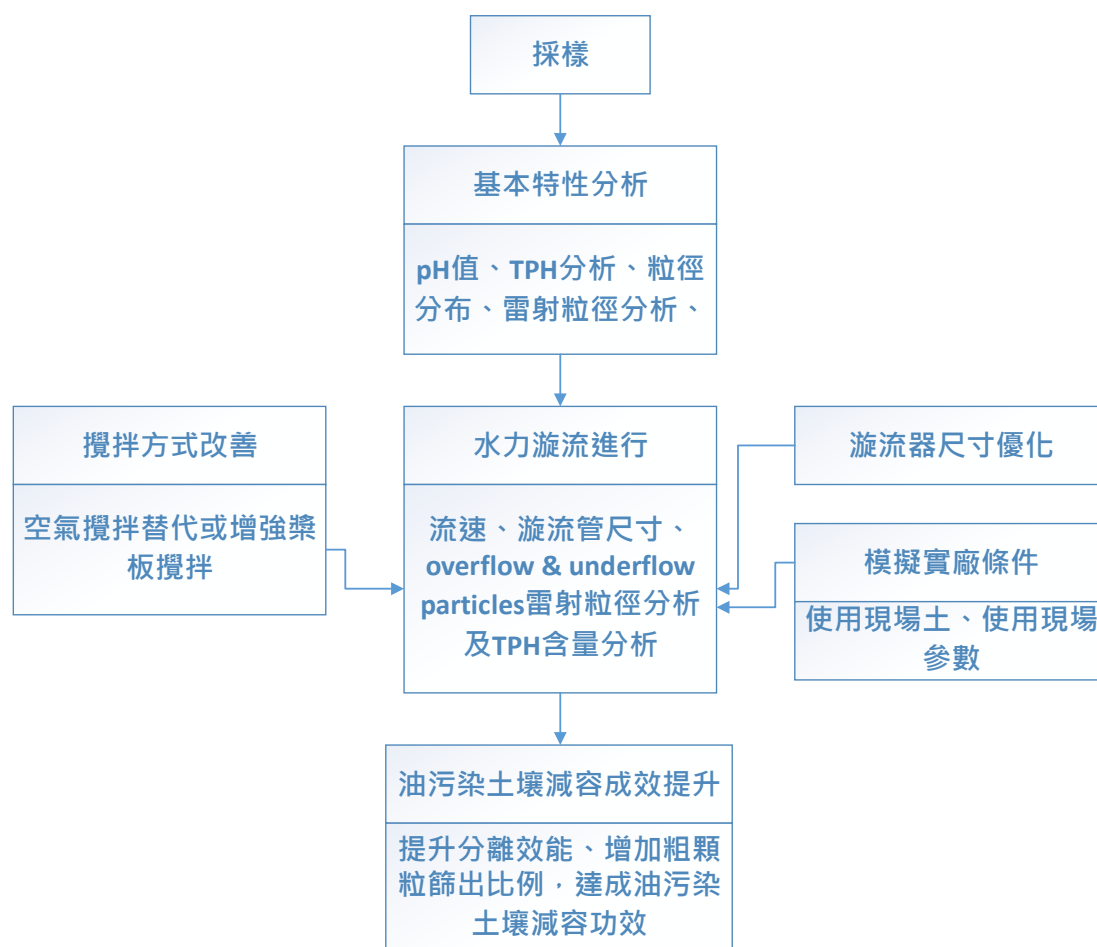


圖 4-2 實驗流程圖



4-2-1 攪拌方式改善

目前模廠設備中，傳統攪拌方式主要以槳翼攪拌方式進行，能量輸入計算如下，

$$P = \frac{K_T N^3 D_i^5 \gamma}{g} \quad (4-1)$$

P 能量； K_T 紊流時槳翼常數；N 轉數； D_i 槳翼直徑；液體密度；G 重力加速度

模廠現有攪拌槽為 K_T 槳翼常數 2.25、0.83 轉/秒、槳翼直徑 0.8 公尺、槳翼寬 0.2 公尺。可算出所需能量(Reynolds and Richards, 1996)，

$P=0.57Hp$ (確核雷諾數 $N_{Re} = \frac{n D_i^2 \gamma}{\mu} = 406,390 >> 10,000$ ，池中屬紊流狀)

雖然池中呈紊流狀，但顆粒亦因重力作用而容易沉積，導致水力漩流器吸泥漿時無法得到較均勻狀態，剛開始會吸到濃稠泥漿，後來變稀泥漿。而當泥漿進料濃度高時，會因為粒子間的相互干擾沉降而導致分級效率降低，並且會使得部分大顆粒會因為來不及向水力漩流分離器底部下沉，而從溢流端流出。而當進料濃度低則可提高分級效率並降低分離粒徑，因為顆粒在稀物料中的向心沉降速度增大，且較少粒子間的干擾，情況與 stokes' law 較接近(吳東翰，2014)。

為此，本研究以空氣攪拌(空氣混合)替代或增強槳翼攪拌效果，空氣攪拌水頭損失較傳統槳翼攪拌水頭損失小(Reynolds and Richards, 1996)，空氣攪拌裝置如圖 4-3 所示。



油污染土壤減容成效提升

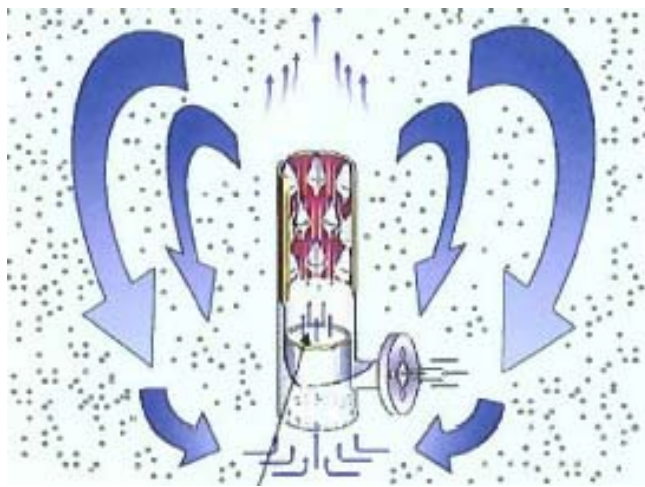
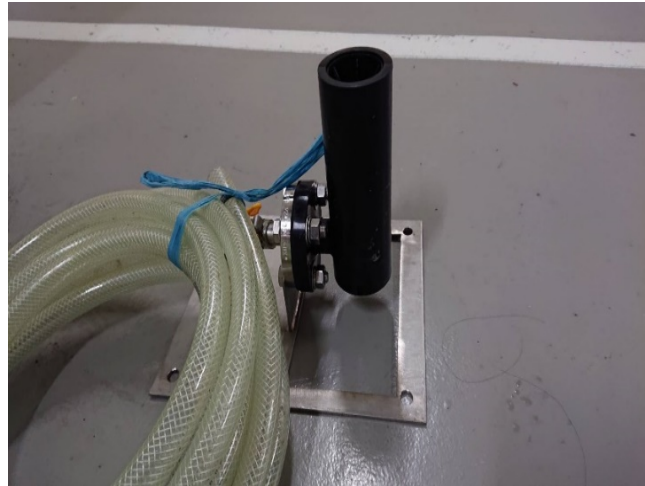


圖 4-3 空氣攪拌裝置外觀示意圖 (adapted from SEIKA CORPORATION)



第四章

使用魯氏鼓風機做為氣體增壓與輸送(裝置如圖 4-4)，其流量可達 $0.450 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上，排氣壓力可達 40 kPa 以上。



圖 4-4 魯氏鼓風機及曝氣槽式意圖



$$P = 81.5Ga \times \log \left[\frac{h+34}{34} \right] \quad (4-2)$$

P 能量；Ga 空氣流量；h 曝氣深度

空氣流量以 450 m³/min 計、h 為 1m 深。可算出所需能量，

$P=0.094Hp$ 。

使用相同能量下，應可更有效方式達到攪拌均勻效果，避免傳統攪拌槽顆粒底部沉積(如圖 4-5 所示)情況。

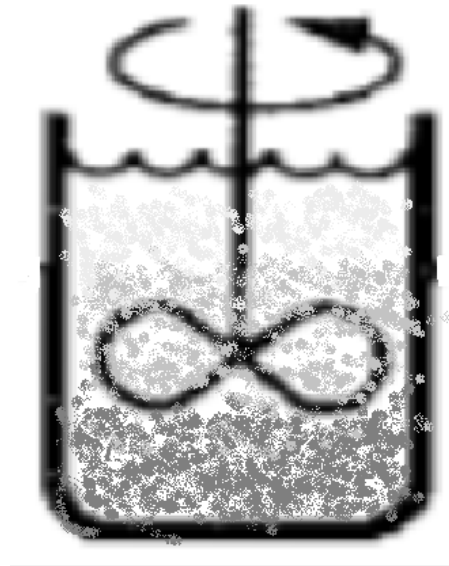


圖 4-5 傳統攪拌槽示意圖



4-2-2 漩流效能優化

水力漩流分離器主要是由圓柱體及圓錐體連結所組成(如圖 4-6 所示)，其整體包含進料口、溢流口、溢流管、底流口。固體顆粒與液體混合後，一起沿切線方向進入水力漩流分離器內，混合液遇到器壁後被迫作旋轉運動，而固體顆粒則依原有的直線運動的慣性繼續向前運動，粗顆粒慣性力大能夠克服水力阻力靠近器壁而細小顆粒慣性力較小，無法靠近器壁隨混合液作旋轉運動，在後續給料的推動下混合液繼續向下和旋轉運動固體顆粒相應產生慣性離心力，於是粗顆粒繼續向器壁聚集，而細小顆粒則停留在中心區域，就發生粗細顆粒由器壁向中心的分層排列。隨著混合液從漩流器的柱體部分流向錐體部分流動斷面越來越小在外層混合液收縮壓迫之下，內層混合液不得不改變方向轉而向上流動，於是在漩流器內形成了兩組漩渦流，就是外層向下的漩渦流和內層向上的漩渦流，當然它們的切線流向仍保持一致，只在軸向發生了變化在流向的轉變點速度為零，細小顆粒將被帶入溢流管，較粗顆粒則進入沉砂(孫玉波，2003)。

研究以模廠現有設備為試驗改善對象，了解泥水泵馬力、送漿能力。對於模廠既有漩流器進行流況模擬，擷取適合操作參數進行實驗。如果模擬結果不佳，則建議可考慮更換新的漩流器、增加泥水泵馬力進行。因此，利用流場模擬軟體 FLUENT 進行水力漩流分離器診斷及流場模擬，解析水力漩流分離器於目前操作條件下流場特性，並針對水力漩流分離器內部壓力分佈、速度分佈及粒子分佈等進行細部流場分析。依據圖 2-3 overflow 顆粒中仍含粗顆粒情況來看，顯示流速可能不足，將監測流速對顆粒分離影響，或許提高流速即可改善粗細顆粒分離現象(操作條件優化)。但流速亦需控制在不形成短路流之範圍，短路流是指高壓流體進入漩流器，有一部分流體沿著漩流器頂壁繞過溢流管外壁進入溢流管，這部分流體未經分離將直接從溢流口出去成為短路流。任連城等(2005)研究揭露，短路流將大幅降低水力漩流分離器之分離效果。

另外，若現有漩流器無法進行改善，將設計縮小尺寸之漩流器，以計算流體力學(CFD)進行渦流模型分析，採用多重網格加速收斂技術設計，製做新漩流器。此時將考慮(1)單段分離；(2)兩段式漩流器分離。經實驗後再與漩流器分離試驗結果驗證，解析並回饋改善，擷取適宜操作條件，目標是 overflow 中， $63\mu\text{m}$ 以上顆粒含量在 10%以下(目前模廠某批次數據 $63\mu\text{m}$ 以下佔 75.7%、 $63\mu\text{m}$ 以上佔 24.3%)。橘黃色為流速最大的地方，一開始在進料時流速較大，而越往內側觀察，流速逐漸減小，在藍色及青色



油污染土壤減容成效提升

區塊了解到為內部漩流為負壓的狀態，而細顆粒大部分都是從溢流管漩流出去。從流場來看，區塊分布工整，顯示出流場穩定、順暢。

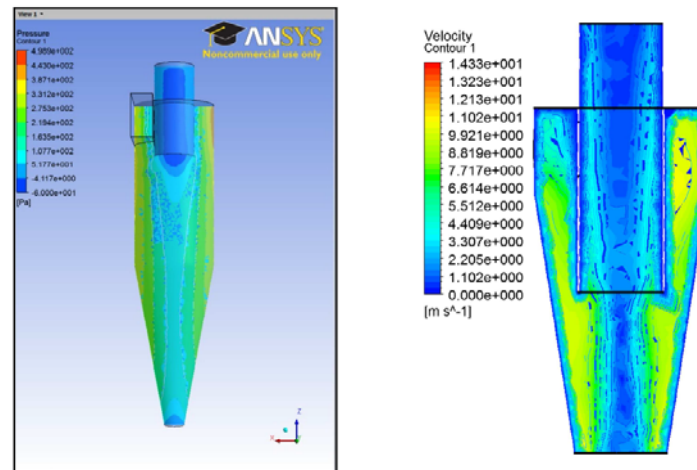


圖 4-6 水力漩流器模擬流速示意圖

研究計畫以計算流體力學(CFD)進行渦流模型分析，其採用多重網格加速收斂技術進行設計。實驗後再與水力漩流分離分離試驗之參數及結果驗證，分析泥漿在水力漩流分離器內流動傳輸情況，進而解析並回饋改善，擷取適宜操作條件(達成 overflow 中， $63\mu\text{m}$ 以上顆粒含量在 10%以下預設目標)。



4-2-3 分流槽架設

建議廠商建置分流槽(如圖 4-7 所示)，可並聯進行漩流器水力分離。更可得到壓力較穩定、流速均勻泥漿供料給漩流器。水力漩流分離最怕遇到濃度不均、流況不均等情況。顆粒因重力作用而容易沉積，導致水力漩流器吸泥漿時無法得到較均勻狀態，剛開始會吸到濃稠泥漿，後來變稀泥漿。而當泥漿進料濃度高時，粒子間會相互干擾沉降而導致分級效率降低，並且會使得部分大顆粒會因為來不及向水力漩流分離器底部下沉，而從溢流端流出。而當進料濃度均勻(濃度不要太高)則可提高分級效率並降低分離粒徑。

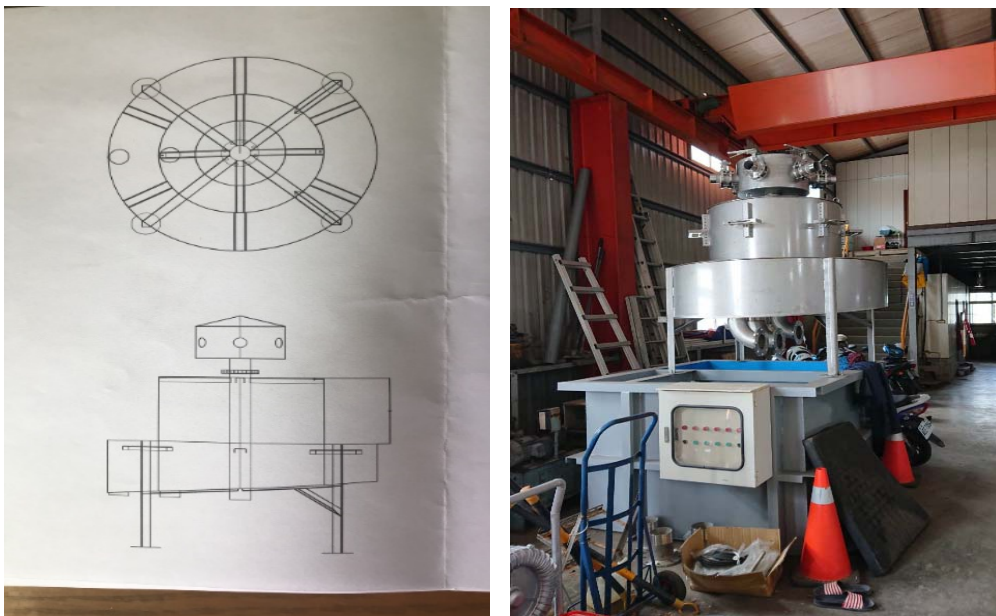


圖 4-7 分流槽構造示意圖(自行設計)

綜合上述實驗項目，彙整實驗條件參數如下，

實驗項目	實驗條件參數
攪拌方式改善	改變氣體流量 450L/min、350L/min、250L/min、150L/min
漩流效能優化	改變流速 7m/s、9 m/s、11m/s、13 m/s
分流槽架設	以實際模廠 3.5 m/s 及優化流速進行比較 (固液比 1:4 相同、油污染土壤相同)



4-3 分析比較現行既有技術能力、專利、產品市場需求及競爭力評估

技術能力：

本研究具自行設計組裝模廠級水力漩流系統(本土化)，並已獲有新型專利-攪拌分離裝置(鄭文良、張益國)，中華民國專利證號新型第 M372209 號。中華民國發明專利，第 I549764 號，機動式分離含重金屬之土壤顆粒處理方法(張益國、徐一量、鄭文良、劉原宏、張裕棋、洪振瑋、盧幸成)。中華民國發明專利第 I 663002 號，反饋式水力漩流分離系統，作者:張益國、徐一量、施百鴻、盧幸成、張育祺、黃子恩、李佳穎、林久智、鄭文良。具研發及設計能力發展本土化技術。

國外雖已經發展成熟之 hydrocyclone 技術，但通常是廠商已做好許多商業化尺寸 cyclone，然後依買主需求選擇合適/接近之器具，組裝設備(因為客制化開模至少 200 萬台幣)。另外後續操作若遇到土壤質地變化、買方需求改變等狀況，將出現顆粒分離效能不足情況，國外廠商通常是鼓吹買主再買一套新的。

本研究期望累積經驗與技術，先協助模廠做改善，由診斷切入，了解問題所在，進而做出改善建議與作為。

市場需求：

臺灣目前污染土壤處理可選擇方式為熱處理（非焚化）、固化與掩埋；再利用方式則多採輕質骨材與營建材料的製作或作為水泥製程之摻配料，惟製成骨材再利用時常面對產品去化問題。然以環境永續角度的思維，在技術層次如何增加污染土壤合理再利用或完成處理後回歸環境之比例，應該被更深入的思考與檢討，期能達到土壤資源永續之目標。在技術層次增加污染土壤合理再利用比例，期能達到土壤資源永續之目標，並且減少後續油污染土壤處理量與花費，達成減容及減少花費效益。更可創造出診斷、改善水洗處理之產業，協助國內廠商進行流程診斷、設備優化改善，提升業界處理技術。

競爭力評估：

受油污染土壤熱處理費用貴、數量龐大，動則以萬方起跳。若全數熱處理，花費甚鉅。另雖有生物堆法（Biopile）進行再利用試驗，惟所需分解時間較長，土地使用面積需求大，成效待進一步評估。本研究「油污染土壤減容成效提升」，應用客制化(或微調修改)水力漩流器，分離粗細顆粒，



達成大粒徑的土壤顆粒經分離後，因不含或只含微量污染物而可逕行回填或再利用使用，增加土壤回用比例，達成污染物處理減容效果，提供土壤(部分)再利用回歸土地環境機會。

本研究競爭力在於達成水力漩流器 overflow 中 63 μ m 以上顆粒含量在 10%以下目標(overflow 中粗顆粒含量少)，可增加粗顆粒回收量，降低後續處理成本。提供有別於傳統熱處理外，一種可搭配使用，能架接於現有技術上，增加油污染土壤處理分離效能之方法。並更可促進本土處理業、人員之技術與經濟發展。

實務應用限制因子主要可能為：

- (i) 進流樣本顆粒大小：樣本需先預篩，預計用 0.5cm 篩網，將石頭去除，避免漩流管阻塞。
- (ii) 流速：目前可提供約 13 m/s 流速。未來實場應用可能需有 100Hp 馬達及配管。
- (iii) 添加水量及廢水處理：因為要使顆粒能分離，依以往經驗，liquid/solid ratio 約在 4 以上，所以要額外添加水。除此之外，衍生廢水處理或廢水回用設備應予以考量設計。惟若假設處理標的是中油高雄煉油廠，則其廢水處理設施正常運作中，緩解廢水處理問題。



4-4 執行成果貢獻及成果效益

4-4-1 預期完成工作項目

- (1) 完成土壤採樣、檢測油污染土壤基本組成等分析資料。
- (2) 完成 150 μm 以上、150 μm -63 μm 、63 μm 以下顆粒分級乾篩、雷射分析粒徑、TPH 含量等特性。
- (3) 評估以空氣攪拌(空氣混合)替代或增強槳翼攪拌處理單元效能，計算能量消耗與擷取合適操作參數。
- (4) 優化漩流效能，目標是 overflow 中，63 μm 以上粗顆粒含量在 10% 以下。了解模廠設備既有參數，並對既有漩流器進行模擬，建議合適操作參數進行實驗。如果模擬結果不佳，則建議可考慮更換新的漩流器、增加泥水泵馬力進行。
- (5) 設計分流槽，建議廠商製做架設。並完成整體技術經濟效益評估。

4-4-2 執行成果貢獻及成果效益

- (1) 計畫完成可申請專利 1 件，國內、國外研討會論文 1 篇。
- (2) 對產業發展:模廠條件試驗改善，期待能務實地解決目前業界面臨含油污染土壤清洗顆粒分不開情況。在不更動或些微更動處理流程與設備下，完成水力漩流器效能提升或模擬流況更新漩流器設計，擷取操作條件，促進粗細顆粒分離，增加粗顆粒回收量，降低後續處理成本。
- (3) 國家發展方面：增進業界水洗土壤能力、減容油污染土壤量，對褐地重生、地力永續有正面的助益，並提升我國技術能力及競爭力。
- (4) 開發診斷技術：業界經常購買土壤水洗設備後即開始使用，雖依設備商建議值已具一定處理成效，但好還要更好。因此本研究由土壤粒徑分析結果，發展診斷技術，期能優化水力分離技術，擷取合適系統操作參數。



第四章

4-5 工作進度甘特圖

年月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備 註
工作項目													
土壤採樣、基本組成分析					※								
顆粒分級乾篩、雷射粒徑分析、TPH 含量特性分析													
評估空氣攪拌代替槳翼攪拌處理效能、計算消耗與擷取適合操作參數						※							
設備、操作條件診斷及優化，目標使overflow中，63 μm以上顆粒在10%以下。										※			
分流槽設計製做與試驗											※		
經濟效益評估、處理資料與撰寫報告												※	
工作進度估計百分比 (累 積 數)	3%	9%	18%	29%	44%	56%	65%	74%	82%	91%	97%	100%	
預定查核點	期中		1. 完成採樣及基本特性分析工作 2. 完成攪拌(空氣混合)替代或增強槳翼攪拌處理測試										
	期末		1. 完成設備、操作條件診斷及優化操作條件或漩流器新設計製做 2. 完成分流槽設計製做、試驗及整體評估										
說明：													
1、工作項目請視專案性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起迄日期。													
2、「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定： (1) 工作天數，(2) 經費之分配，(3) 工作量之比重，(4) 擬達成目標之具體數字。													
3、「預定查核點」，請在條形圖上標明※符號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。													



第五章 結果與討論

5-1 採樣

本研究赴南部某油污染土壤進行採樣，採集高 TPH 土壤(採樣前先以 TPH test kit 測試，數值 10,000 mg/kg 以上)，採樣過程示意如圖 5-1 所示。



圖 5-1 高 TPH 油污染土壤採樣

5-2 基本特性分析

5-2-1 pH 值

根據行政院環境保護署環境檢驗所公告之氫離子濃度指數(pH 值)測定法 (NIEA R208.02C)測定土壤酸鹼值，其結果如下表 5-1 所示。

表 5-1 油污染土壤樣本 pH 值

地點	pH 值
TPH 油污染土壤 1	5.94
TPH 油污染土壤 2	5.91

土壤酸鹼性共分為 7 級，分級指標如下：4.5 酸性極強；4.5-5.5 強酸性；5.5-6.5 酸性；6.5-7.5 中性；7.5-8.5 鹼性；8.5-9.5 強鹼性；9.5 鹼性極強。上述結果顯示，TPH 油污染土壤屬酸性。



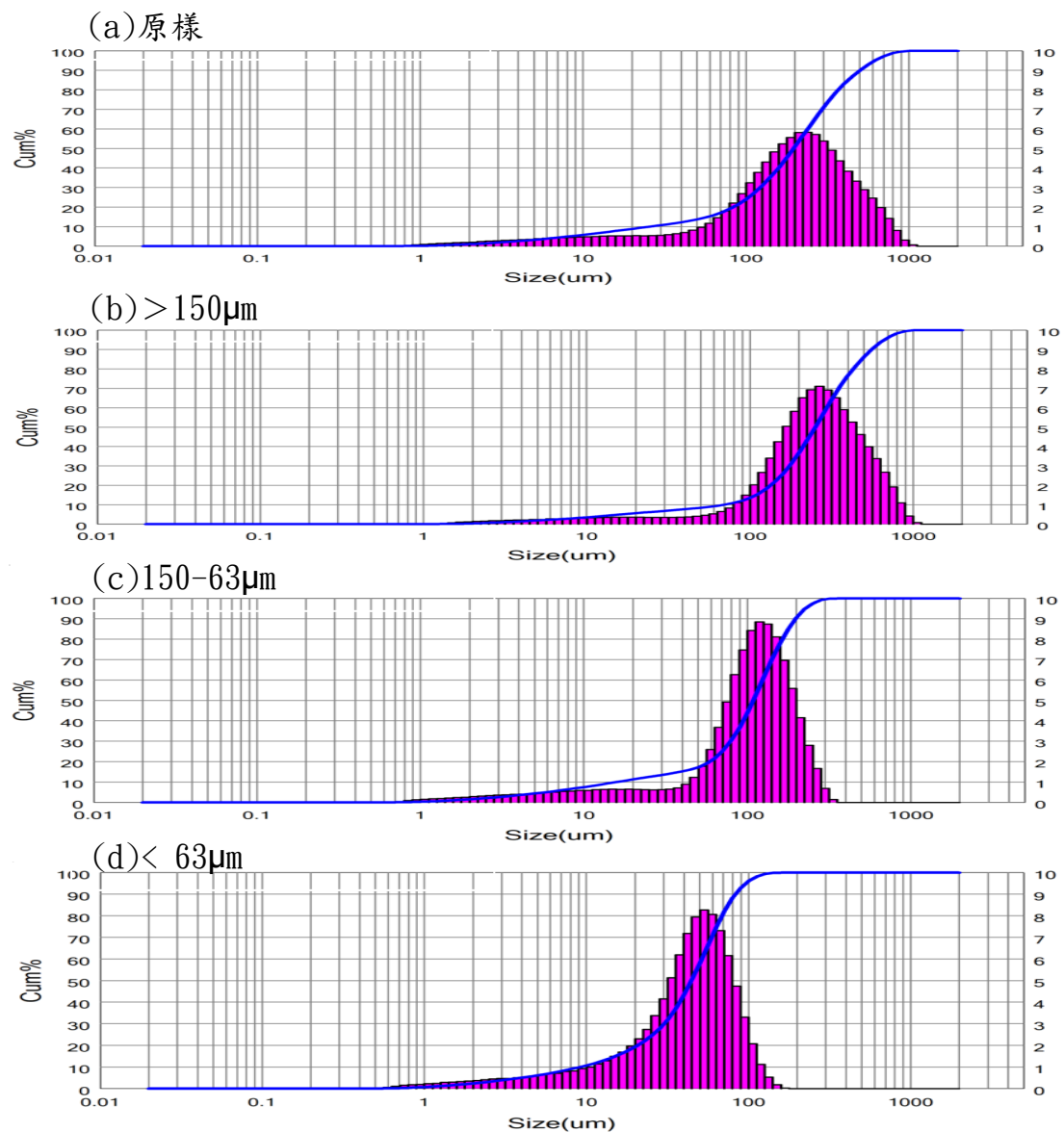
5-2-2 物理/化學特性

將 TPH 油污染土壤各標準篩階層倒出秤取重量，重複以上步驟，使得數據的相對百分比偏差小於 10%，以求得樣本之粒徑分布。其結果如表 5-2 所示。

表 5-2 TPH 油污染土壤粒徑分析結果

檢驗項目	單位	粒徑分布百分比	
		TPH 油污染土壤 1	TPH 油污染土壤 2
>150 μm	%	72.6	72.1
63 ~150 μm	%	25.6	27.1
< 63 μm	%	1.8	1.8

其雷射粒徑分析圖如圖 5-2 所示。

圖 5-2 (a)原樣、(b)>150 μm 、(c)150-63 μm 、(d)<63 μm 雷射粒徑分析圖



油污染土壤減容成效提升

由圖中可看出，雖然用乾篩分層，分別為 $>150\mu\text{m}$ 、 $150-63\mu\text{m}$ 、 $<63\mu\text{m}$ 等，但於雷射粒徑分析圖所顯示，粗顆粒中仍夾雜有些許細顆粒粒子。

5-2-3 總石油碳氫化合物分析(TPH)

將 TPH 油污染土壤送樣，經超音波萃取法 (NIEA M167) 前處理，再予濃縮定量至適當體積後，以耐 350°C 以上高溫之層析管柱，以土壤中總石油碳氫化合物檢測方法—氣相層析儀/火焰離子化偵測器法(NIEA S703.62B) 進行分析。其中低碳數(如汽油類)之石油系污染分析是相當於烷類從 C_6 到 C_9 的範圍，高碳數(如柴油類或柴油以上) 之石油系污染分析是相當於烷類從 C_{10} 到 C_{40} 的範圍。其結果如表 5-3 所示。

表 5-3 TPH 油污染經氣相層析儀/火焰離子化偵測器分析結果

檢測項目	單位	QDL	原樣	$>150\mu\text{m}$	$150-63\mu\text{m}$	$<63\mu\text{m}$
TPH ($\text{C}_6\text{-C}_9$)	mg/kg	0.06	0.7	0.4	0.2	0.7
TPH ($\text{C}_{10}\text{-C}_{40}$)	mg/kg	1	15,178	17,049	12,120	35,124
TPH	mg/kg	--	15,179	17,049	12,120	35,125

由分析結果可看出，原樣 TPH 15,178 mg/kg。經乾篩分層後， $>150\mu\text{m}$ 土壤 TPH 為 17,049 mg/kg、 $150-63\mu\text{m}$ 土壤 TPH 為 12,120 mg/kg、 $<63\mu\text{m}$ 土壤 TPH 為 35,125 mg/kg。因乾篩關係，顆粒分層與 TPH 含量間並不呈線性關係，惟 $<63\mu\text{m}$ 顆粒 TPH 含量高，應可分離處理，達減容目標。



5-2-4 顯微鏡顆粒觀察

利用顯微影像量測系統，分析顆粒型態與外觀。原樣土壤顯微影像如圖 5-3 所示。



圖 5-3 油污染土壤原樣照片

續用乾篩分層，將原土樣分層為 $>150\mu\text{m}$ (#100 篩網)、 $150-63\mu\text{m}$ (#230 篩網)、 $<63\mu\text{m}$ (底篩)等三層，並進行顯微影像觀察，其結果如圖 5-4~5-6 所示。由圖中可看出，不同分層顆粒仍夾雜油脂，導致各分層 TPH 分析質仍高。



圖 5-4 油污染土壤中 $>150\mu\text{m}$ 顆粒照片



油污染土壤減容成效提升



圖 5-5 油污染土壤中 150-63 μ m 顆粒照片

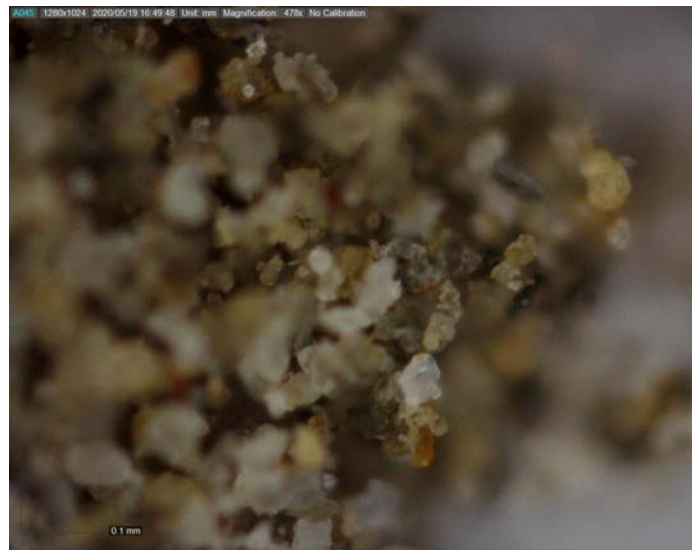


圖 5-6 油污染土壤中 < 63 μ m 顆粒照片



5-3 空氣攪拌

本研究以空氣攪拌(空氣混合)替代或增強槳翼攪拌效果，實驗條件 450L/min、350L/min、250L/min、150L/min 空氣攪拌水頭損失較傳統槳翼攪拌水頭損失小(Reynolds and Richards, 1996)。由式 4-2 計算，

$$P = 81.5Ga \times \log \left[\frac{h+34}{34} \right]$$

P 能量；Ga 空氣流量；h 曝氣深度

依實驗觀察，150L/min、250 L/min 會有攪拌力量不足，底部土沙沉澱情況。350L/min、450L/min 可使泥漿充分攪拌不沉澱。後續均以攪拌空氣流量 350 L/min 操作(如圖 5-7)、h 為 1m 深。可算出所需能量， $P=0.073Hp$ 。

50kg 土壤加入 200kg 水，以攪拌 10 分鐘計，

$$0.073Hp \times 0.7457kW/HP \times 10mins/60mins/hr = 0.0091 kWh$$

若流量以質量表示，本研究土壤固體密度 2.60，土壤:水=1:4(w/w)調配，泥水密度= $(50kg+200kg)/(0.0192m^3+0.2m^3)=1140 kg/m^3$ 在空氣流量 350 L/min 下測試，可獲泥水流速 0.49 m/s。其傳送質量能力，

$$\begin{aligned} \text{質量(泥水移動量)} &= \text{密度} \times \text{流量} \\ &= 1140 kg/m^3 \times \pi/4 \times 0.055^2 \times 0.49 m^3/s \\ &= 1.33 Kg/s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{質量(泥水移動量)/送風量} &= 1.33 Kg/s / 350 L/min \\ &= 0.228 Kg/L \end{aligned}$$

亦即土壤:水=1:4(w/w)條件下，每升空氣可送 0.228 公斤泥水。



相較於傳統漿翼攪拌方式，

$$P = \frac{K_T N^3 D t^5 \gamma}{g}$$

以 K_T 漿翼常數 2.25、0.83 轉/秒、漿翼直徑 0.8 公尺、漿翼寬 0.2 公尺。
可算出所需能量(Reynolds and Richards, 1996)，

$$P=0.57\text{Hp} \quad (\text{雷諾數 } N_{Re} = \frac{nDt^2\gamma}{\mu} = 406,390 > 10,000, \text{ 池中屬紊流狀})$$

50kg 土壤加入 200kg 水，以攪拌 10 分鐘計，

$$0.57\text{Hp} * 0.7457\text{kW/Hp} * 10\text{mins}/60\text{mins/hr} = 0.0708 \text{ kWh}$$

使用相同能量下，空氣攪拌可以更有效方式達到攪拌均勻效果，避免顆粒底部沉積(如圖 4-2 空氣攪拌裝置外觀示意圖所示)。

另觀察攪拌狀況(如圖 5-7 所示)，泥漿攪拌良好，未發現明顯底部泥沙沉積情況，顯示空氣攪拌具有一定之攪拌增強效果。



圖 5-7 空氣攪拌增強攪拌效果示意圖



5-4 漩流效能優化

水力漩流分離器主要是由圓柱體及圓錐體連結所組成，其整體包含進料口、溢流口、溢流管、底流口。固體顆粒與液體混合後，一起沿切線方向進入水力漩流分離器內。研究以模廠現有設備為試驗改善對象，了解泥水泵馬力、送漿能力。對於模廠既有漩流器進行流況模擬，擷取適合操作參數進行實驗。如果模擬結果不佳，則建議可考慮更換新的漩流器、增加泥水泵馬力進行。因此，利用流場模擬軟體 FLUENT 進行水力漩流分離器診斷及流場模擬，解析水力漩流分離器於目前操作條件下流場特性，並針對水力漩流分離器內部壓力分佈、速度分佈及粒子分佈等進行細部流場分析。依據圖 2-3 overflow 顆粒中仍含粗顆粒情況來看，顯示流速可能不足，將監測流速對顆粒分離影響，或許提高流速即可改善粗細顆粒分離現象(操作條件優化)。但流速亦需控制在不形成短路流之範圍，短路流是指高壓流體進入漩流器，有一部分流體沿著漩流器頂壁繞過溢流管外壁進入溢流管，這部分流體未經分離將直接從溢流口出去成為短路流。任連城等(2005)研究揭露，短路流將大幅降低水力漩流分離器之分離效果。

研究計畫以計算流體力學(CFD)進行渦流模型分析，其採用多重網格加速收斂技術進行設計。實驗後再與水力漩流分離器試驗之參數及結果驗證，分析泥漿在水力漩流分離器內流動傳輸情況，進而解析並回饋改善，擷取適宜操作條件(達成 overflow 中， $63\mu\text{m}$ 以上顆粒含量在 10%以下預設目標)。

5-4-1-1 現地模廠既有漩流器流況模擬與結果

現地模廠既有漩流器(使用中)為 108 年度計畫規劃之漩流器，其流況模擬顆粒分離結果如表 5-4 所示。依模擬結果，3.5m/s 應為最佳之分離流速條件。

表 5-4 現地模廠既有漩流器不同情境模擬結果(摘自 108 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案報告)

	粒徑(μm)	入口速度	上部出口比率	下部出口比率
模型	20	3.5m/s	99%	1%
		7.5m/s	76%	24%
		9.5m/s	74%	26%
		11.5m/s	83%	17%



油污染土壤減容成效提升

	37	3.5m/s	82%	18%
		7.5m/s	75%	25%
		9.5m/s	82%	18%
		11.5m/s	76%	24%
	63	3.5m/s	76%	24%
		7.5m/s	62%	38%
		9.5m/s	73%	27%
		11.5m/s	74%	26%
	100	3.5m/s	24%	76%
		7.5m/s	17%	83%
		9.5m/s	20%	80%
		11.5m/s	63%	37%
	200	3.5m/s	0%	100%
		7.5m/s	0%	100%
		9.5m/s	0%	100%
		11.5m/s	0%	100%
	400	3.5m/s	0%	100%
		7.5m/s	0%	100%
		9.5m/s	0%	100%
		11.5m/s	0%	100%

因為該現地模廠漩流器一直使用中，無法借用至實驗室，會影響現地模廠處理產能。但仍請廠商在現地模廠現場試驗 3.5m/s 下，顆粒之分離效果，採樣至實驗室分析。其 overflow 及 underflow 雷射粒徑分析如圖 5-8 所示。由圖中可看出粗細顆粒分離效能不佳，待後續改善。

此外，緊急請漩流器設備商做一支規格一樣的來測試，惟客製化製做工期長，109 年 4 月訂製於 109 年 10 月底才完成交貨。已盡速將完成之漩流管，自組模廠進行漩流器水力分離。



第五章

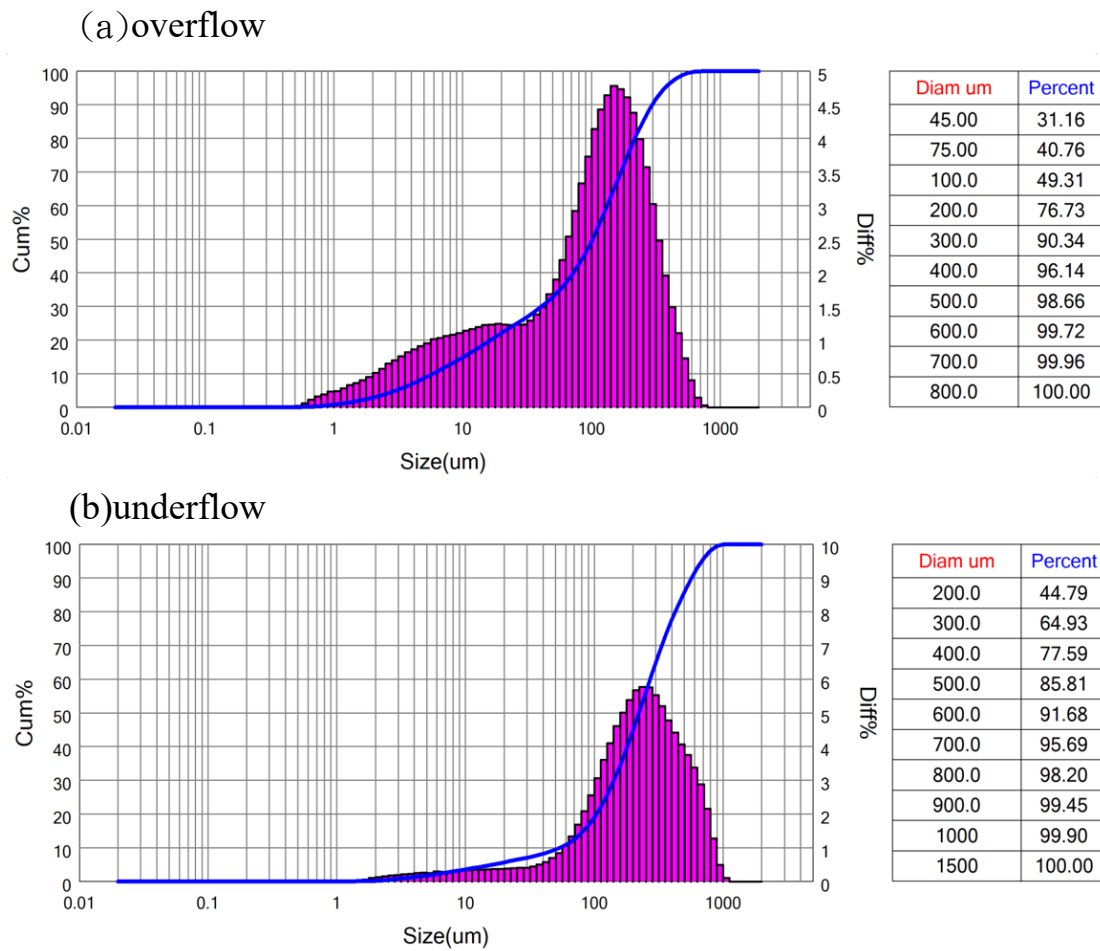


圖 5-8 現地模廠漩流器以 3.5m/s 流速條件分離之(a)overflow、(b)underflow 顆粒雷射粒徑分析



油污染土壤減容成效提升

5-4-1-2 自組模廠漩流器分離效能

自組架設模廠等級分流槽(如圖 5-9)，預計每小時可處理 100 噸以上泥水。包含管線材質、路線設計、安裝水力漩流分離器、泥水泵等。



圖 5-9 自組模廠分流槽架設示意圖



第五章

遭遇困難：模廠原設計使用 15Hp 以上泥水泵供漿，但(1)因現場原有之 15Hp 泥水泵調其他廠區使用，已上線，短期無法抽調回來；(2)欲租借 15Hp 泥水泵，但出租公司註明只能抽乾淨水，不能抽泥水。是故，折衷以廠內現有的 5 Hp 泥水泵進行試驗。

實驗流程為：

(1)取南部某 TPH 油污染土壤土壤(與本研究同一場址)進行 5mm 初步過篩，使顆粒大小平均及排除石頭、紅磚(如圖 5-10 所示)，雷射粒徑分析如圖 5-11 所示。再將固液比以 1:4 的比例充分混合到 500 L。

(2)傳統槳板攪拌 5 分鐘，過程輔以空氣攪拌，空氣流量 350L/min，5 分鐘。



圖 5-10 過篩排除石頭、紅磚

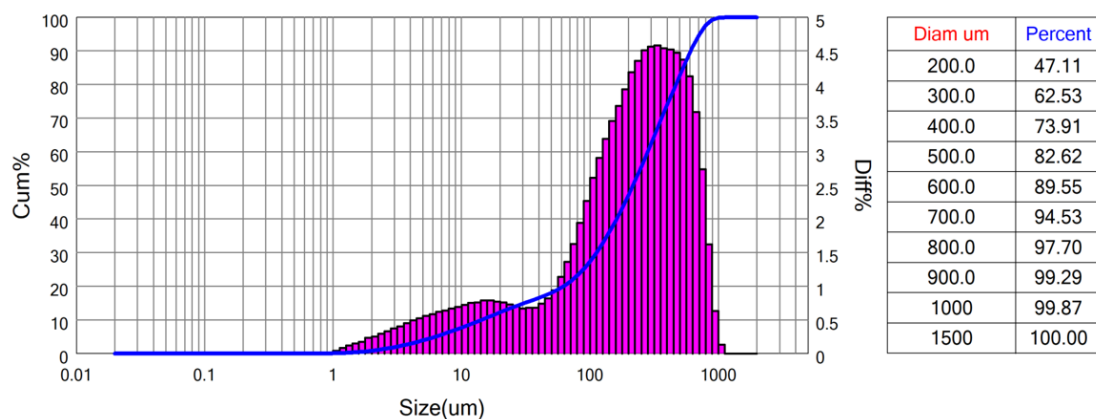


圖 5-11 南部某油污染土壤經篩分後之雷射粒徑分析圖



- (3) 進行水力漩流，並以超音波測速儀監測流速(如圖 5-12 所示)。泥漿水進流流速分別為 2.7 m/s 及 2.9 m/s，此為 5 Hp 泥水泵可控流速。因馬力不足關係，無法提升至 11 m/s~13 m/s，甚至連 3.5 m/s 都無法達到。



圖 5-12 超音波測速儀監測流速

分析結果：

自組模廠模廠漩流器以 2.7 m/s 流速進行實驗，其雷射粒徑分析如下圖，

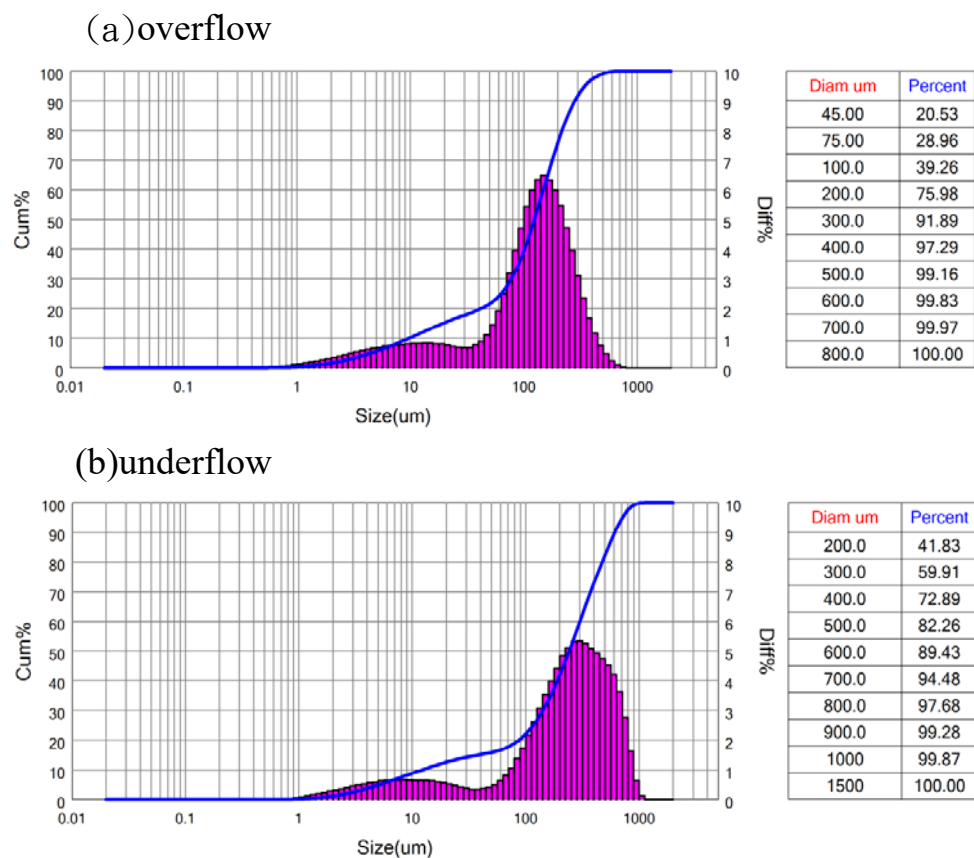


圖 5-13 自組模廠漩流器以 2.7m/s 流速條件分離之(a)overflow、
(b)underflow 顆粒雷射粒徑分析



第五章

自組模廠模廠漩流器以 2.9 m/s 流速進行實驗，其(a)overflow、(b)underflow 顆粒雷射粒徑分析如下圖，

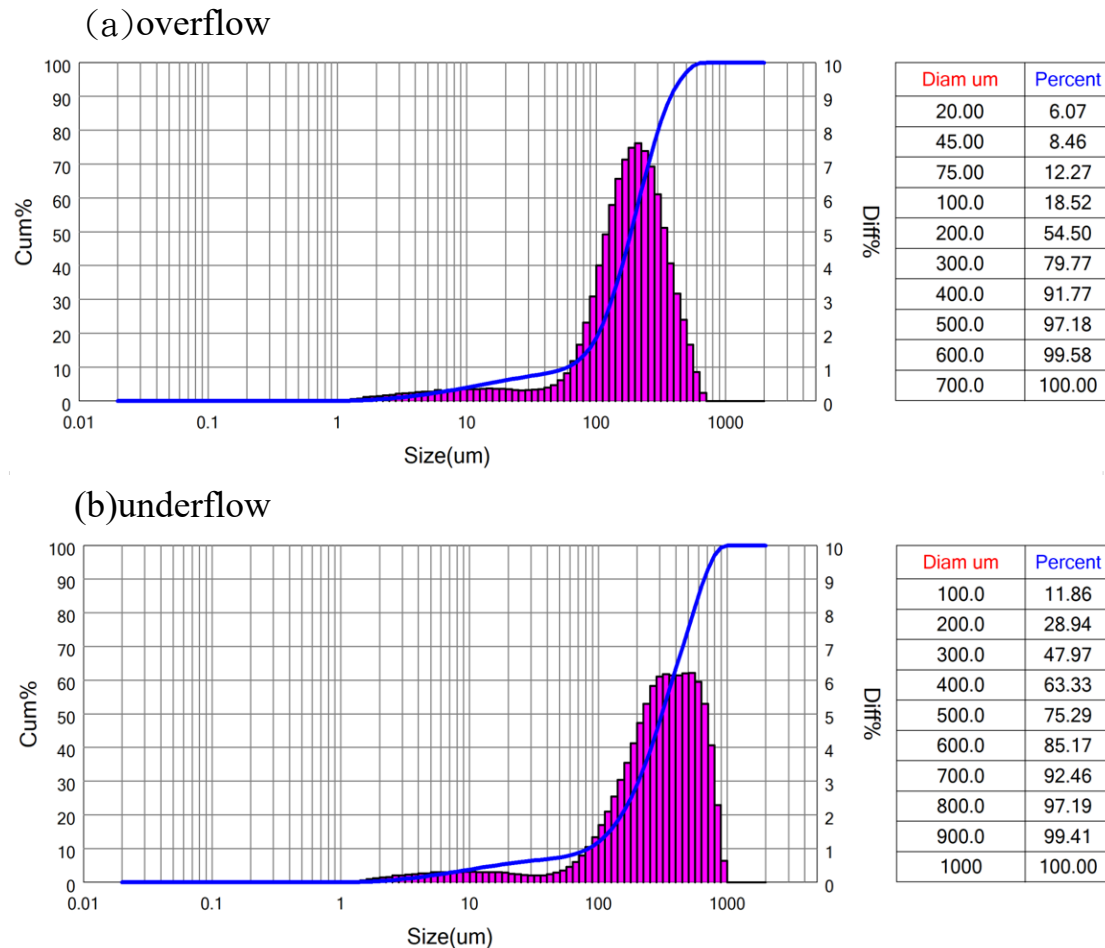


圖 5-14 自組模廠漩流器以 2.9m/s 流速條件分離之(a)overflow、(b)underflow 顆粒雷射粒徑分析

經雷射粒徑結果檢驗，自組模廠漩流器以 2.7m/s、2.9m/s 流速條件分離效果均不佳，應是流速不足所影響。惟該漩流管與實驗室設備、管徑等均不符合，無法由實驗室端提高流速再次驗證是否為流速問題。因此，遂後續以設計新漩流管進行試驗、分析。



5-4-2 設計新漩流器及測試效能

設計細長型新漩流器，圖 5-15 為漩流器內壓力分佈圖，從中可看出，中央部份為低壓區。圖 5-16 為漩流器內速度分佈圖。圖 5-17 則為入口顆粒軌跡圖，由圖中可以看出顆粒的旋轉軌跡。

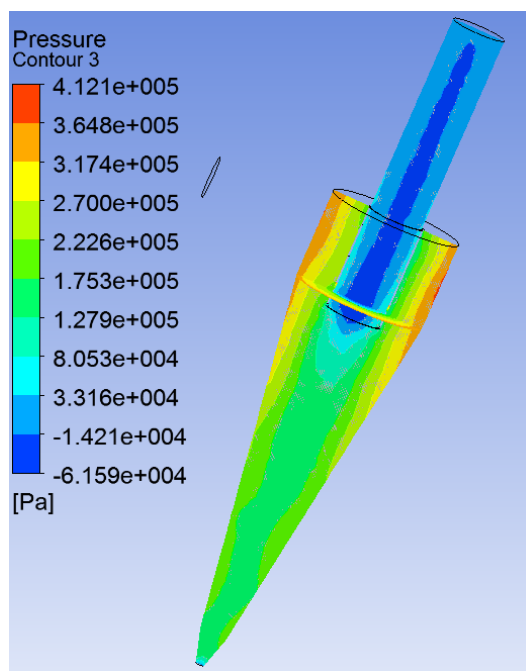


圖 5-15 新漩流器內壓力分佈圖

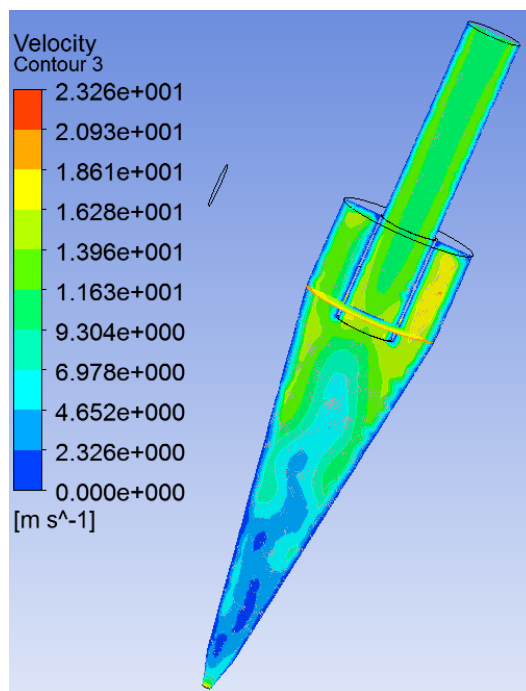


圖 5-16 新漩流器內速度分佈圖



第五章

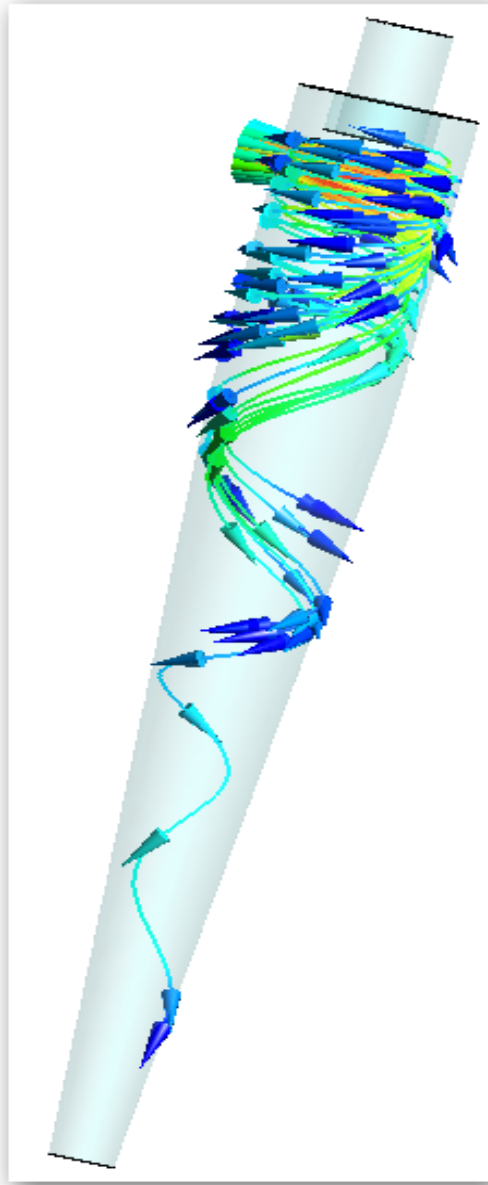


圖 5-17 新漩流器入口顆粒軌跡圖



表 5-5 為新漩流管不同入口流速情境模擬結果，由表中大致可看出，對小粒徑(37 μm 及 67 μm)，分離效果佳，大都由上部出口分離，下方出口則對 100 μm 以上的粒徑，幾近有 100%的分離率。

表 5-5 新漩流器不同入口流速情境模擬結果，

新漩流管	粒徑(μm)	入口速度	上部出口比率	下部出口比率
	37	9m/s	100%	0%
		11m/s	100%	0%
		13m/s	100%	0%
		15m/s	99%	1%
		17m/s	60%	40%
	67	9m/s	34%	66%
		11m/s	57%	43%
		13m/s	0%	100%
		15m/s	0%	100%
		17m/s	0%	100%
	100	9m/s	0%	100%
		11m/s	0%	100%
		13m/s	0%	100%
		15m/s	0%	100%
		17m/s	0%	100%
	200	9m/s	0%	100%
		11m/s	0%	100%
		13m/s	0%	100%
		15m/s	0%	100%
		17m/s	0%	100%



5-4-2-1 新漩流器在 7m/s 下效能

以固液比 1:4 配置泥漿，經充分攪拌後，送漿入新漩流器。其 overflow:underflow 土壤質量=18.9:81.1。再將此土壤進行雷射粒徑分析，其結果如圖 5-18 所示。由實驗結果可看出，overflow 中主要以細顆粒為主，93.6%顆粒粒徑均在 63 μ m 以下， d_{50} 為 14.6 μ m；underflow 中(應以粗顆粒為主)則夾雜些許細顆粒，37.6%顆粒在 63 μ m 以下、62.4%在 63 μ m 以上， d_{50} 為 98.5 μ m。

進一步進行 TPH 分析，經送樣 GC-FID 分析結果顯示(如表 5-6 所示)，overflow 土壤 TPH 濃度高達 826,120 mg/kg；underflow 土壤則有 17,543 mg/kg，粗細顆粒濃度均偏高。因為所送樣品剩餘量不足，無法再次進行重複試驗。惟仍可從數據中看出 overflow 土壤 TPH 濃度遠高於 underflow 土壤。

表 5-6 新漩流器於 7 m/s 流速下之 overflow、underflow 土壤 TPH 分析結果

檢測項目	單位	QDL	原樣	overflow	underflow	備註
TPH (C6-C9)	mg/kg	0.06	0.7	0.5	0.5	
TPH (C10-C40)	mg/kg	1	15,178	826,119	17,542	
TPH	mg/kg	--	15,179	826,120	17,543	

油污染土壤減容成效提升

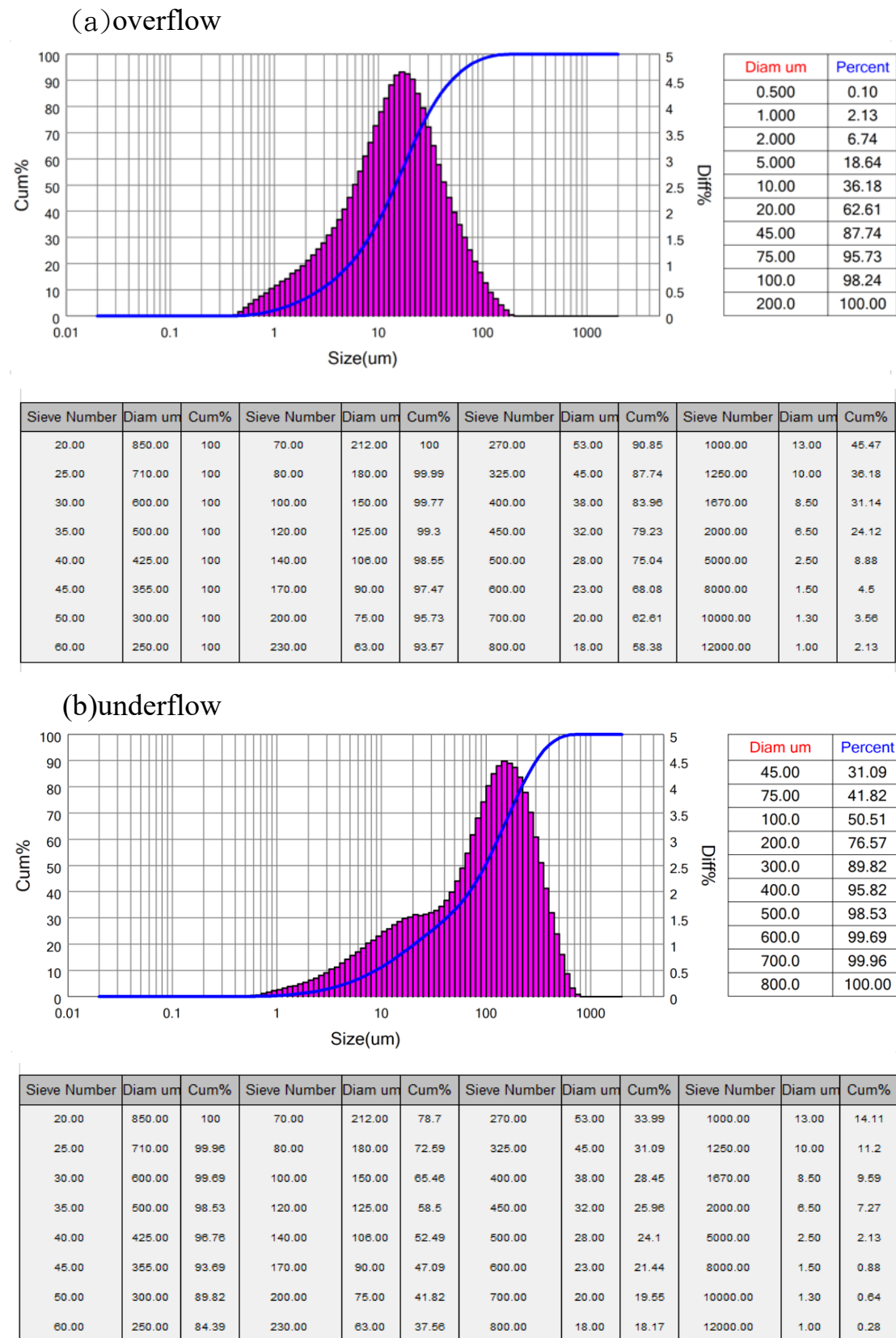


圖 5-18 新漩流器於 7 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 雷射粒徑分析圖



再將此 overflow、underflow 土壤進行顯微觀察(如圖 5-19)，可發現 overflow 土壤中有許多類似細的油顆粒物質，此有待進一步分析釐清。

(a)overflow



(b)underflow



圖 5-19 新漩流器於 7 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 土壤顆粒照片



5-4-2-2 新漩流器在 9m/s 下效能

以固液比 1:4 配置泥漿，經充分攪拌後，送漿入新漩流器。其 overflow:underflow 土壤質量=41.6:58.4。再將此土壤進行雷射粒徑分析，其結果如圖 5-20 所示。由實驗結果可看出，overflow 中主要以細顆粒為主，94.4%顆粒粒徑均在 63 μm 以下， d_{50} 為 14.75 μm ；underflow 中(應以粗顆粒為主)則夾雜些許細顆粒，60.9%顆粒在 63 μm 以下、39.1%在 63 μm 以上， d_{50} 為 38.6 μm 。

進一步進行 TPH 分析，經送樣 GC-FID 分析結果顯示(如表 5-7 所示)，overflow 土壤 TPH 濃度高達 93,028 mg/kg；underflow 土壤則有 25,906 mg/kg，粗細顆粒濃度均偏高。

表 5-7 新漩流器於 9 m/s 流速下之 overflow、underflow 土壤 TPH 分析結果

檢測項目	單位	QDL	原樣	overflow	underflow	備註
TPH (C6-C9)	mg/kg	0.06	0.7	0.6	0.5	
TPH (C10-C40)	mg/kg	1	15,178	93,027	25,905	
TPH	mg/kg	--	15,179	93,028	25,906	



第五章

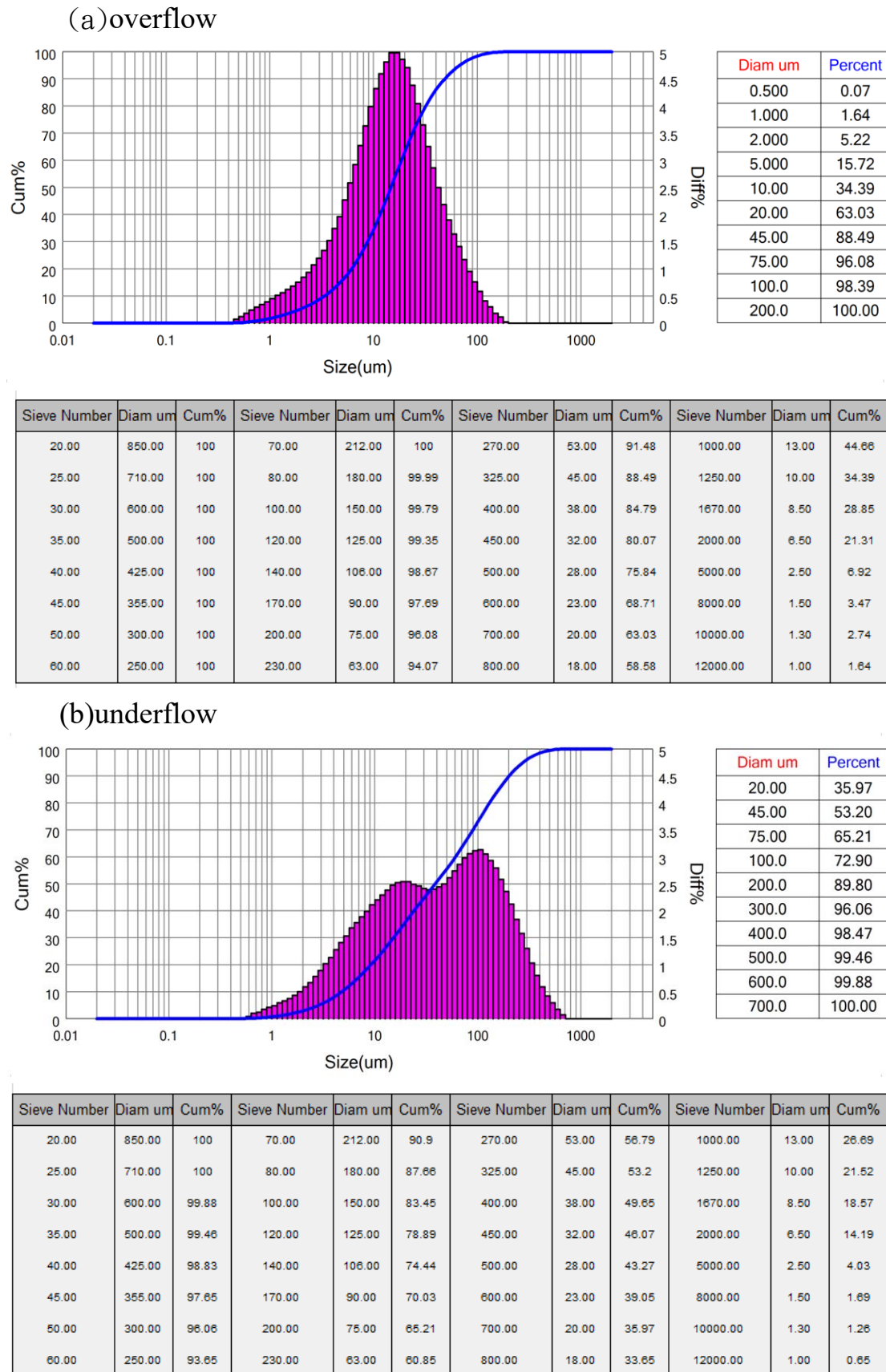


圖 5-20 新漩流器於 9 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 雷射粒徑分析圖



油污染土壤減容成效提升

再將此 overflow、underflow 土壤進行顯微觀察(如圖 5-21)，可發現 overflow、underflow 土壤中有類似油顆粒物質。

(a)overflow



(b)underflow

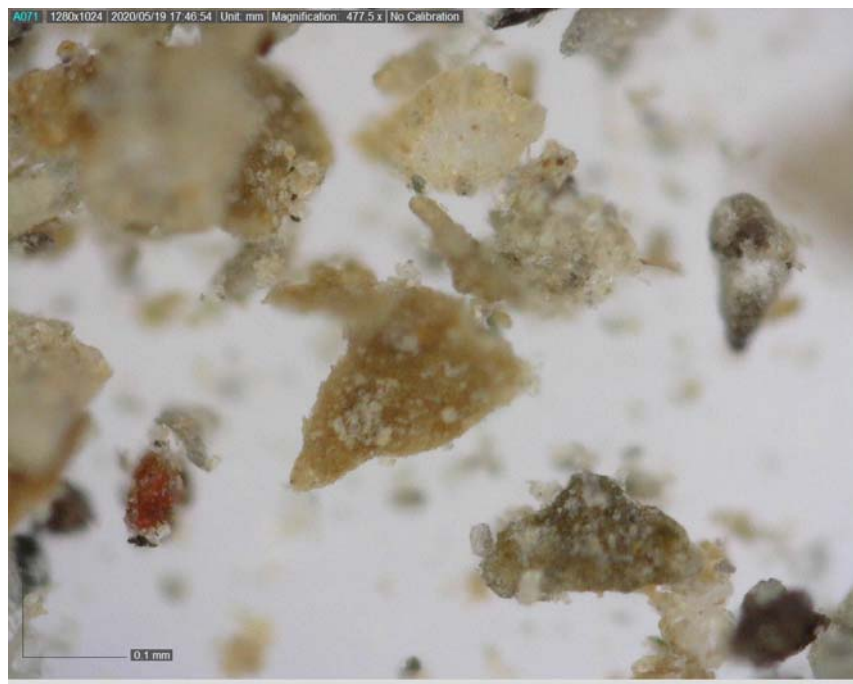


圖 5-21 新漩流器於 9 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 土壤顆粒照片



5-4-2-3 新漩流器在 11m/s 下效能

以固液比 1:4 配置泥漿，經充分攪拌後，送漿入新漩流器。其 overflow:underflow 土壤質量=9.0:91.0。再將此土壤進行雷射粒徑分析，其結果如圖 5-22 所示。由實驗結果可看出，overflow 中主要以細顆粒為主，95.9%顆粒粒徑均在 $63\mu\text{m}$ 以下， d_{50} 為 $12.59\mu\text{m}$ ；underflow 中，87.5%顆粒在 $63\mu\text{m}$ 以上， d_{50} 為 $165.5\mu\text{m}$ ，顯示分離效果佳。

進一步進行 TPH 分析，經送樣 GC-FID 分析結果顯示(如表 5-8 所示)，overflow 土壤 TPH 濃度高達 32,855 mg/kg；underflow 土壤則僅有 1,259 mg/kg，粗細顆粒分離佳，濃度差異大。

表 5-8 新漩流器於 11 m/s 流速下之 overflow、underflow 土壤 TPH 分析結果

檢測項目	單位	QDL	原樣	overflow	underflow	備註
TPH (C6-C9)	mg/kg	0.06	0.7	0.5	0.3	
TPH (C10-C40)	mg/kg	1	15,178	32,854	1,259	
TPH	mg/kg	--	15,179	32,855	1,259	



油污染土壤減容成效提升

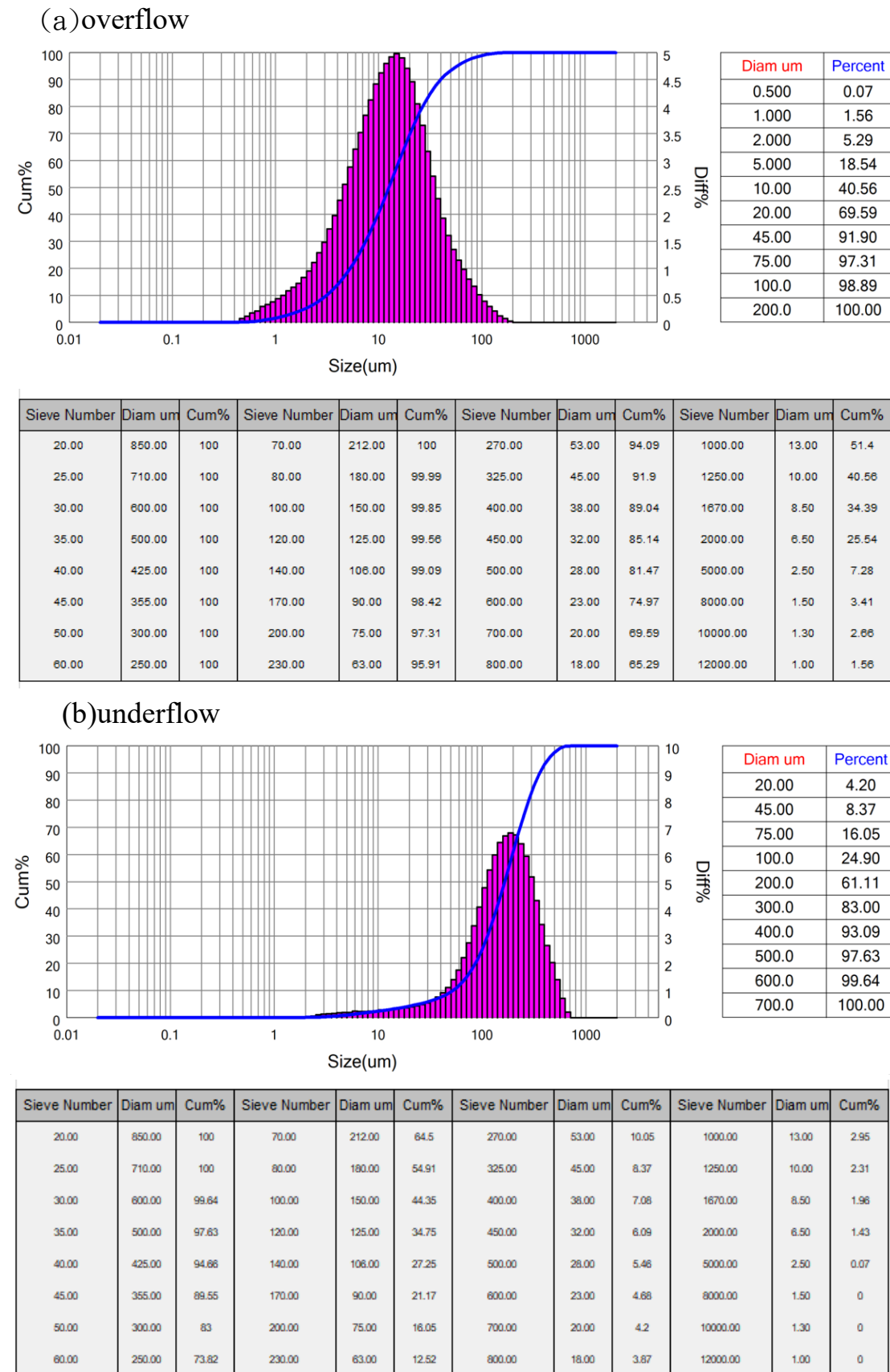


圖 5-22 新漩流器於 11 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 雷射粒徑分析圖



再將此 overflow、underflow 土壤進行顯微觀察，如圖 5-23 所示。

(a)overflow



(b)underflow



圖 5-23 新漩流器於 11 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 土壤顆粒照片



5-4-2-4 新漩流器在 13m/s 下效能

以固液比 1:4 配置泥漿，經充分攪拌後，送漿入新漩流器。其 overflow:underflow 土壤質量=6.5:93.5。再將此土壤進行雷射粒徑分析，其結果如圖 5-24 所示。由實驗結果可看出，overflow 中主要以細顆粒為主，94.3%顆粒粒徑均在 $63\mu\text{m}$ 以下， d_{50} 為 $13.79\mu\text{m}$ ；underflow 中，89.3%顆粒在 $63\mu\text{m}$ 以上， d_{50} 為 $174.3\mu\text{m}$ ，顯示分離效果佳。

進一步進行 TPH 分析，經送樣 GC-FID 分析結果顯示(如表 5-9 所示)，overflow 土壤 TPH 濃度高達 205,607 mg/kg；underflow 土壤則僅有 515 mg/kg，粗細顆粒分離佳，粗顆粒滿足 TPH<1,000 mg/kg 要求，土壤應能直接回填再利用，毋須再經其他物理、化學、熱處理。

表 5-9 新漩流器於 13m/s 流速下之 overflow、underflow 土壤 TPH 分析結果

檢測項目	單位	QDL	原樣	overflow	underflow	備註
TPH (C6-C9)	mg/kg	0.06	0.7	0.7	0.5	
TPH (C10-C40)	mg/kg	1	15,178	205,606	514	
TPH	mg/kg	--	15,179	205,607	515	



第五章

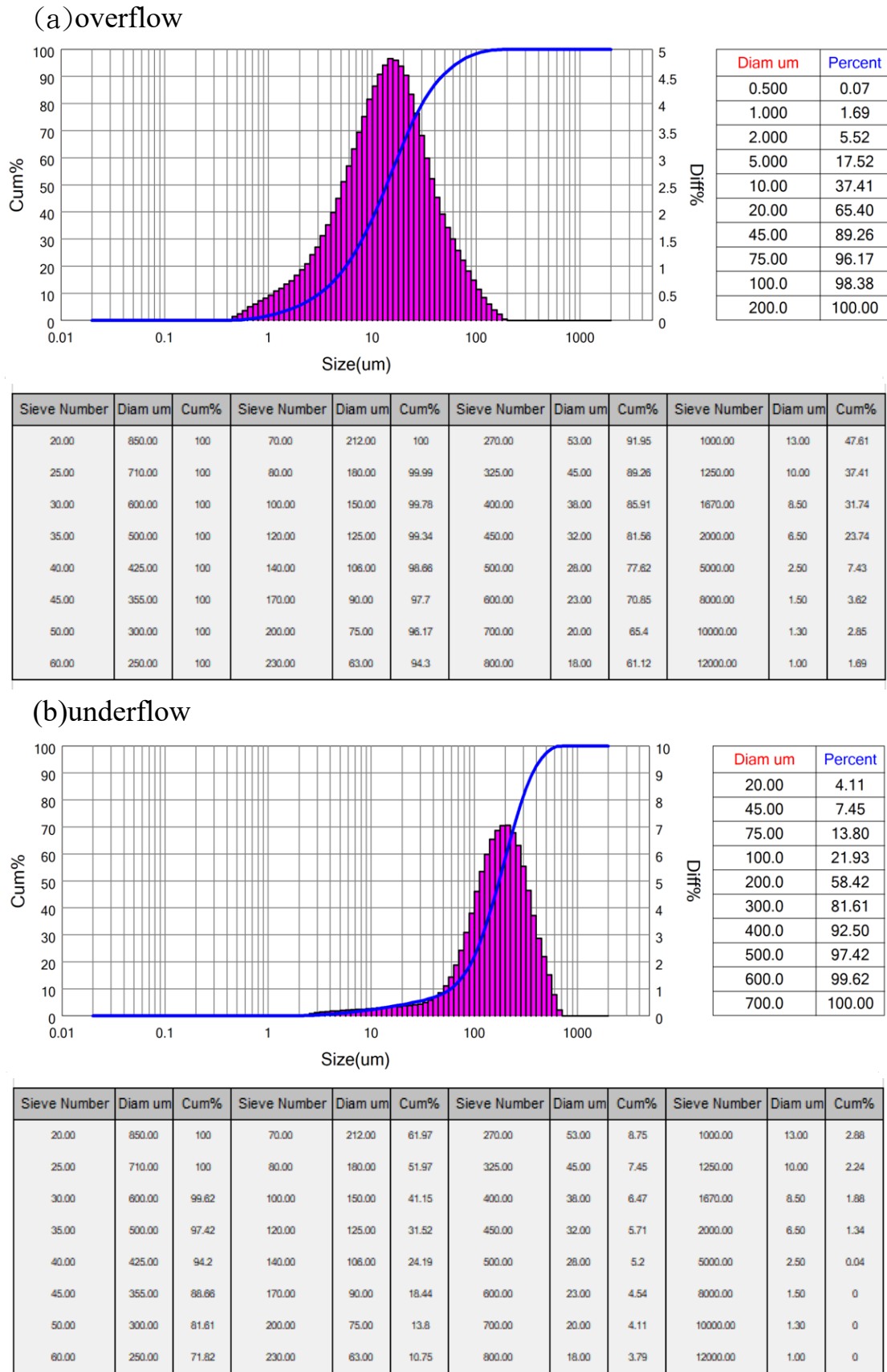


圖 5-24 新漩流器於 13 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 雷射粒徑分析圖



油污染土壤減容成效提升

再將此 overflow、underflow 土壤進行顯微觀察，如圖 5-25 所示。

(a)overflow



(b)underflow



圖 5-25 新漩流器於 13 m/s 流速下之(a)overflow、(b)underflow 土壤顆粒照片



5-4-2-5 小結

茲將新漩流管於 7 m/s、9 m/s、11 m/s、13 m/s 流速下進行油污染土壤分離，所得土壤分流比例(overflow, underflow)、粒徑分布、TPH 濃度整理如下表，

表 5-10 新漩流管實驗分析結果彙整表

新漩流管實驗分析結果						
檢驗項目	Inlet velocity: 7 m/s			Inlet velocity: 9 m/s		
	TPH (mg/kg)	土壤分 流比例	粒徑	TPH (mg/kg)	土壤分 流比例	粒徑
原樣	15,179			15,179		
overflow	826,120	18.9%	<63 μ m: 93.6% >63 μ m: 6.4%	93,208	41.6%	<63 μ m: 94.4% >63 μ m: 5.6%
underflow	17,543	81.1%	<63 μ m: 37.6% >63 μ m: 62.4%	25,906	58.4%	<63 μ m: 60.9% >63 μ m: 39.1%
檢驗項目	Inlet velocity: 11 m/s			Inlet velocity: 13 m/s		
	TPH (mg/kg)	土壤分 流比例	粒徑	TPH (mg/kg)	土壤分 流比例	粒徑
原樣	15,179			15,179		
overflow	32,855	9.0%	<63 μ m: 95.9% >63 μ m: 4.0%	205,607	6.5%	<63 μ m: 94.3% <u>>63 μ m: 5.7%</u>
underflow	1,259	91.0%	<63 μ m: 12.5% >63 μ m: 87.5%	<u>515</u>	93.5%	<63 μ m: 10.7% >63 μ m: 89.3%

QDL: C6-C9 為 0.06 mg/kg； C10-C40 為 1.00 mg/kg

結果顯示，在流速 13 m/s 條件下，新漩流管有效將油污染土壤粗細顆粒分離，overflow 土壤 TPH 濃度高達 205,607 mg/kg；underflow 土壤則僅有 515 mg/kg，粗細顆粒分離佳，粗顆粒滿足 TPH<1,000 mg/kg 要求，土壤應能直接回填再利用，毋須再經其他物理、化學、熱處理。



成本效益分析：

(1) 設備成本(僅羅列成本。未來將依處理規模攤提，另予計算)

空氣攪拌曝氣頭 10,000 元/個；
 鼓風機 5Hp 60,000 元/部；
 攪拌槽 8,000 元/500 公升容量；
 水力漩流管 80,000 元/支；
 5Hp 泥水泵 150,000 元/部；
 管線耗材等 10,000 元/批；
 20Hp 脫水機 600,000 元/部 2 部。
 旋轉窯熱脫附機 30,000,000/部

(2) 水力漩流分離操作成本

水量消耗: 固液比 1:4，每噸土用掉 4m^3 的水，未考慮回收的條件下，
 每噸土花費=每度水 12.075 元 $\times 4\text{ m}^3=48.3$ 元
 營業用夏季電價 6 月至 9 月 6.43 元/度，非夏季電價為 5.05 元/度。
 以 5Hp 的馬達為動力(功率 3.7285KW)，每噸土配 4 噸的水消耗時間為
 1.67 時，電費為 $3.7285\text{KW}\times 1.67\text{hr}\times (6.43\times 5/12+5.05\times 7/12)=35.0$ 元
 2 部 20Hp 脫水機(14.914KW)操作電費為
 $2\times 14.914\text{KW}\times 1.67\text{hr}\times (6.43\times 5/12+5.05\times 7/12)=280.2$ 元
 每噸土分離處理成本為=363.5 元

(3) 熱脫附成本

若依蕭宏杰(2006)調查及本研究洽詢市場處理價格，土壤熱脫附處理
 每噸估約 6000 元(委外)，若自有旋轉窯熱脫附機，每噸處理成本約 800
 元(自行處理)。

(4) (i) 油污染土壤若未經水力分離，全部委外熱脫附處理，則費用估 6000 元/噸。

(ii) 若能先經水力分選至僅需處理細顆粒，則費用為 363.5 元/噸
 +6000 元/噸 $\times 6.5\%=753.5$ 元/噸。

(iii) 不同 TPH 濃度土壤熱脫附，依廠商所提須考量濃度、操作溫度、
 處理時間，處理成本依其條件變動。



5-5 結論與建議

5-5-1 結論

- (1) 總石油碳氫化合物(TPH)油污染土壤屬酸性。經乾篩試驗，粒徑分層分布為 $>150\ \mu\text{m}$ 顆粒佔 72.1%~72.6%、 $150-63\ \mu\text{m}$ 顆粒佔 25.6%~27.1%、 $<63\ \mu\text{m}$ 顆粒佔 1.8%。但由雷射粒徑分析圖顯示，粗顆粒中仍夾雜有些許細顆粒粒子。
- (2) TPH 油污染土壤送樣經氣相層析儀/火焰離子化偵測器法檢測，TPH 含量 15,178 mg/kg，且主要屬 TPH_d 。
- (3) 空氣攪拌(空氣混合)具良好攪拌效果。土壤固體密度 2.60，土壤:水=1:4(w/w)調配，在空氣流量 350 L/min 下，可獲泥水流速 0.49 m/s。其傳送質量能力 1.33 Kg/s，每升空氣可送 0.228 公斤泥水。所需能量僅 0.073Hp。
- (4) 現地模廠漩流器(既有)請廠商在現場以流速 3.5m/s 試驗，粗細顆粒分離效能不佳，待後續實驗室測試改善。自組模廠漩流器整體組裝尚佳，分離效能則因泥水泵設備受限，未能進行高流速(如 11m/s、13m/s)試驗，低流速 2.7m/s、2.9m/s 效果則不佳，未能有效分離顆粒。
- (5) 客製化設計新漩流器。新漩流器在 13m/s 流速下，overflow 中主要以細顆粒為主，94.3%顆粒粒徑均在 $63\ \mu\text{m}$ 以下， d_{50} 為 $13.79\ \mu\text{m}$ ；underflow 中，89.3%顆粒在 $63\ \mu\text{m}$ 以上， d_{50} 為 $174.3\ \mu\text{m}$ ，顯示分離效果佳。進一步檢驗 TPH，overflow 土壤 TPH 濃度高達 205,607 mg/kg；underflow 土壤則僅有 515 mg/kg，粗細顆粒分離佳，粗顆粒滿足 $\text{TPH}<1,000\ \text{mg/kg}$ 要求，土壤應能直接回填再利用，毋須再經其他物理、化學、熱處理。

5-5-2 建議

- (2) 選用適當漩流器與流速參數，搭配空氣攪拌方式，可有效分離油污染粗細顆粒粒子，粗顆粒滿足 $\text{TPH}<1,000\ \text{mg/kg}$ 要求，毋須再處理。建議後續規劃土壤水洗分選廠時，可考慮：

(i) 增加空氣攪拌裝置，取代/增強槳翼攪拌。另外，因空氣攪拌易有



氣懸膠粒子逸散，應增加氣懸膠捕集空氣污染防制設備。

(ii) 發展自動化分選廠。應用人工智慧(AI)及顆粒分布監測結果導入自動化/半自動化顆粒分選系統。自動監測粒徑及回饋控制流速，精準分離想要顆粒範圍。

(iii) 高 TPH 濃度細顆粒建議後續以熱脫附方式進行處理。

(iv) 低 TPH 濃度粗顆粒，若 $\text{TPH} < 1,000 \text{ mg/kg}$ 建議直接回用。

(2) 本研究反應條件多，花費許多時間、經費於系統建置、試驗分析。建議未來能延續研究期程，進行模廠試驗。

(3) 盡速進行專利佈局，保護智慧財產並活絡土水產業。



參考文獻

- Bergström, J., 2006. Flow field and fibre fractionation studies in hydrocyclones, Ph. D. dissertation, Royal Institute of Technology School of Chemical Science and Engineering, Sweden.
- Chang, Y.C., Shih, P.H., Shu, Y.L., Lin, Y.Q., Song, Y.X. and Chang, Y.K., 2019. Mechanical/chemical treatments for oil contaminated soils separations, The 12th CESE Conference, Kaohsiung, Taiwan, 2019.11.3-2019.11.7.
- Chang, Y.K., Dong, C.D., Chen, C.W., Chen C.F., Hong, Z.W, Shu, Y.L. and Li C.Y., 2015. Application of hydrocyclone separation system for contaminated soil treatment and flow simulation. 13th International UFZ-Deltares Conference on Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources, Copenhagen, Denmark.
- Chang, Y.K., Shu, Y.L., Shih, P.H., Huang, Z.E. and Song, Y.X., 2019. Designed hydrocyclone for harbor sediment separation, The 9th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology, Hong Kong, 2019.6.10-2019.6.14.
- CL:AIRE Technical bulletin, 2007. Understanding soil washing.
- Detzner, H. D., Schramm, W., Döring, U. and Bode, W., 1998. New technology of mechanical treatment of dredged material from Hamburg harbour, Water Science & Technology, 37 (6-7), 337-343.
- Detzner, H.D., 1995. The Hamburg project METHA: Large scale separation, dewatering, and reuse of polluted sediments, Europ. Water Pollut. Contr. 5(5), 38-42.
- Feng, D., Lorenzen, L., Aldrich, C. and Mare, P.W., 2001. Ex situ diesel contaminated soil washing with mechanical methods. Mineral Engineering, 14, 1093-1100.
- Mainza, A., Powell, M.S., and Knopjes, B., 2004. A comparison of different cyclones in addressing challenges in the classification of the dual density UG2 platinum ore. International Platinum Conference 'Platinum Adding Value', The South African Institute of Mining and Metallurgy, 95-102.
- Mann, M.J. 1999. Full-scale and pilotscale soil washing, Journal of Hazardous Materials,



油污染土壤減容成效提升

66, 119-136.

Narasimha, M., Sripriya, R. and Banerjee, P.K., 2005. CFD modelling of hydrocyclone - prediction of cut size, International Journal of the Mineral Processing, 75, 53-68.

Petavy, F., Rubana, V. and Conil, P., 2009. Treatment of stormwater sediments: Efficiency of an attrition scrubber - laboratory and pilot-scale studies, Chemical Engineering Journal, 145, 475-482.

Reynolds and Richards, 1996. Unit operations and processes in environmental engineering. PWS publishing company.

Strazišar, J. and Sešelj, A., 1999. Attrition as a process of comminution and separation. Powder Technology, 105, 205-209.

USEPA, 2007. SW846- Method 9074: Turbidimetric screening method for total recoverable petroleum hydrocarbons in soil.

中華民國環境工程學會，2008。土壤及地下水污染整治:原理與應用。

任連城、梁政、梁利平、龍道玉，2005。過濾式水力旋流器方案設計，西南石油學院學報。

行政院環境保護署環境檢驗所，2013。土壤中總石油碳氫化合物檢測方法—氣相層析儀/火焰離子化偵測器法(NIEA S703.62B)。

吳弘任、鄭大偉，2012。擦洗技術應用於焚化底渣除氯之研究，2012 清潔生產暨環保技術研討會，經濟部工業局。

吳堅，2016。中殼潤滑油廠關廠與因應，煉製研究所。

<https://new.cpc.com.tw/division/lb/knowledge-text.aspx?ID=55>

李瑪麗，2008。溶气气浮的分类及设计原理。

news.tgnet.com/Detail/200804152189928653_2/

周志豪，2011。複合式土壤整治技術綜合執行土壤整治之案例分析探討，社團法人台灣土壤及地下水環境保護協會簡訊，第 39 期。

夏國芳、林金魁、陳財福、洪崑曉、高志明，2018。以電催化水處理受重油污染土



參考文獻

壤之研究：機制及效益評估，中華民國環境工程學會 2018 土壤與地下水研討會。

孫玉波，2003。淺談水力旋流器的工作原理和影響參數，礦業快報。

徐敬添、張義和、簡維誼、蔡書雅，2001。奈米微分散技術與材料應用，應用奈米材料技術-國內研究與應用簡輯，工業材料。

高志明，2005。應用整合型復育技術處理受燃料油污染之土壤及地下水，行政院環境保護署委託研究計畫。

張美玲、廖以瑄、莊玉雯，2017。桃園市大學校院產業環保技術服務團環保簡訊，第 37 期。

張益國、徐一量、施百鴻、呂東璇、盧幸成、張育祺、黃子恩、鄭文良，2019。中華民國發明專利第 I 665028 號，發明名稱：鐵氧化物覆膜於經水力漩流分離之土壤細顆粒殘餘物上形成再生資材吸附劑方法。專利權期間：2019.7.11~2038.5.20。

張益國、徐一量、施百鴻、盧幸成、張育祺、黃子恩、李佳穎、林久智、鄭文良，2019。中華民國發明專利第 I 663002 號，發明名稱：反饋式水力漩流分離系統。專利權期間：2019.6.21~2037.10.1。

張益國、徐一量、鄭文良、劉原宏、張育祺、洪振瑋、盧幸成，2016。中華民國發明專利第 I 549764 號，發明名稱：機動式分離含重金屬之土壤顆粒處理方法。專利權期間：2016.9~2035.6。

張益國、張祖恩、林宗曾、施百鴻、盧幸成、張育祺、呂東璇、鄭文良，2019。中華民國發明專利第 I 679286 號，發明名稱：脫硫渣去除石墨亮片等物質之資源化處理系統。專利權期間：2019.12.11~2038.11.25。

張尊國，2002。台灣地區土壤污染現況與整治政策分析，財團法人國家政策研究基金會，永續（析） 091-021 號。

望熙榮，1998。空氣污染防制，中央圖書出版社。

黃亮順，2009。擦洗技術應用於廢污中重金屬分離之研究，國立成功大學環境工程學系碩士論文。

黃智、吳勇興、林淑滿、鐘裕仁，2011。土壤清洗技術於土壤污染整治應用，中興工程季刊，第 110 期，pp. 53-61。



油污染土壤減容成效提升

經濟部工業局，2003。工廠土壤及地下水污染整治技術手冊－石化業。

維基百科，2019。

<https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E8%B6%85%E8%81%B2%E6%B3%A2&variant=zh-hant>

劉原宏、張育祺、莊順、徐一量、洪振瑋、張益國，水力漩流分離系統適宜操作條件擷取，中華民國環境工程學會 2014 土壤與地下水研討會，中華民國 103 年 11 月 14、15 日，台中。

劉原宏、張育祺、黃子恩、徐一量、施百鴻、張益國，土壤顆粒分離程序評估-以中部某重金屬污染農地及南部某油污染土壤為例，中華民國環境工程學會 2018 土壤與地下水研討會。

蕭宏杰，2006。熱脫附處理技術應用於受有機物污染場址整治介紹，環保技術 e 報第三十七期。

蘇紹瑋、陳尊賢，2008。土壤清洗法整治重金屬污染土壤國內外最新研究與整治案例之回顧，台灣土壤及地下水環境保護協會簡訊。



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

109 年度專案成果績效自評表

一、專案基本資料

填表日期：109 年 10 月 27 日

專案性質	☒ 實驗性質 ☐ 非實驗性質	專案類別	☒ 研究型 ☐ 模場型
研究主題	☒ 整治 ☐ 調查 ☐ 其他		
申請機構系所	中臺科技大學 環境與安全衛生工程系	專案主持人	張益國
專案名稱	油污染土壤減容成效提升		
專案執行期程	☒ 申請階段 ☐ 期中 ☐ 期末		

二、成果績效自評

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

(一) 學術面

目標達成程度			申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成 原因或學術產 出發表名稱)
項目							
A 學術 產出 及 活動	1.國內投稿 (篇數)	(1)論文					
		(2)研討會論文	1	0	1		環工學會 土壤地下 水研討會
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文					
		(2)研討會論文	1	0	1		CESE2020
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告					
		(2)研究報告	1	0	1		
	4.專著 (本數)						
	5.辦理學術 會議(場數)	(1)研討/說明會					
		(2)成果發表會					
		(3)論壇					
	6.研發改良 技術(項數)	(1)已開發技術					
		(2)技術平台					



項目			目標達成程度	申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成 原因或學術產 出發表名稱)
B 人 才 培 育	7.研發人員 (人數)	(1)碩士	2	2	2			
		(2)博士						
	8.研究團隊 (個數)	(1)跨領域團隊	1	1	1		航太流體	
		(2)跨機構團隊						
		(3)形成研究中 心						
		(4)形成實驗室						
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						



(二) 產業面

目標達成程度				申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成原因 或專利、技術轉移 相關詳細資料)
項目								
A 智慧財產權	1.專利 (件數)	已 核 准	發明					
			新型/設計					
			合計					
		申 請 中	發明	1	0	0		與專利公司討 論中
			新型/設計					
			合計					
B 研發技術轉移	2.先期技術 成果移轉	件數						
		授權金(仟元)						
		衍生利益金(仟元)						
	3.技術移轉 (專利)	件數						
		授權金(仟元)						
		衍生利益金(仟元)						
	4.技術移轉 (應用技術)	件數						
		授權金(仟元)						
		衍生利益金(仟元)						
	5.可移轉 產業技術	(1)技術(件數)						
		(2)品種/系(件數)						
C 產學研合作	6.促成合作 研究	件數		1	1	1		立順興公司產 學合作
		金額(仟元)		100	1000	1000		
	7.促成投資	件數						
		投資金額(仟元)						
	8.促成取得 業界科專	件數						
		業界投資金額(仟元)						



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

(三) 政策面

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



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

學術成就：已投稿國際、國內研討會：1篇；將申請專利：1篇。並培養兩名碩士生研究人水產業，增進處理知能。

技術創新：受油污染土壤顆粒分離處理後，觀察粗顆粒 TPH 已低於 1,000 mg/kg 以下，提升循環利用機會。主要技術包含：(1)以空氣攪拌(空氣混合)替代或增強槳翼攪拌處理單(2)客制優化漩流效能；(3)分流槽設計、架設。並聯/串聯進行水力漩流器水力分離。

經濟效益：以環境永續思維，在技術層次增加污染土壤合理再利用比例，期能達到土壤資目標，並且減少後續油污染土壤處理量與花費，達成減容及減少花費效益。另外，更診斷、改善水洗處理之產業，協助國內廠商進行流程診斷、設備優化改善，提升業界處

社會影響：提高社會觀感與信任。並可輸出客制化設計、製作水力漩流系統技術，協助鄰理受油污染土壤，並促進土地再生利用。



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☒申請計畫書 ☐期中報告 構想書階段審查意見
☐修正計畫書 ☐期末報告 見回覆對照表

計畫年度	109 年度	計畫類型	☒ 研究計畫 ☐ 模場試驗
計畫類別	☐ 調查 ☒ 整治 ☐ 其他	主持人：張益國	
計畫名稱	油污染土壤減容成效提升		
委員審查意見		計畫單位回覆	
<u>委員一：</u> 1. 對油污染本計畫分離量以 63 μm 為劃分，對含 PCB、重金屬等是否可調整粒徑。 2. 本設置可取代現行使用之清洗設備系統之何種單元。 <u>委員二：</u> 1. 本計畫為 1 年期研究型專案，預計 3 年後申請模場專案，預計 TRL3 提升至 TRL4。 2. 本研究構想國外技術已至 TRL9，已經商業化。		<u>委員意見回覆：</u> 1. 報告委員，是。可依據需求調整粒徑。 2. 目前規劃取代/優化攪拌槽、改善水力分離系統。 <u>委員意見回覆：</u> 1. 報告委員，是。當然提升至 TRL4 是比較保守，有把握的階段。如果實廠能配合試驗進行(俾除甲方同意與准駁考慮、俾除主管機關允許與否考慮、俾除因試驗造成工期延誤、成本增加等考量)，應有機會提升至 TRL7。 2. 報告委員，是。Hydrocyclone 已商業化，但狀況通常是廠商已做好許多商業化尺寸 cyclone，然後依買主需求選擇合適/接近之器具，組裝設備。這樣的問題發生在試車時雖滿足需求，但後續遇到土壤質地變化、買方需求改變/調整，幾乎沒有應變能力。通常 Hydrocyclone 廠商會請買主再添購一套新的。本研究	



3. 不解國外已經發展成熟之技術，為何
3 年後，才會提出模場型專案。

則是由診斷切入，了解為何不能滿足需求，進而做出改善建議與作為。

4. 10%之減容成果，似不具經濟效益。
(現場已答覆應為 50%減容)

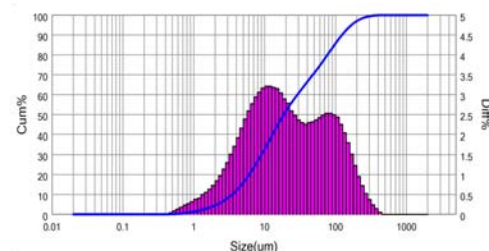
3. 報告委員，如前述，國外已經發展成熟之 hydrocyclone 技術，但通常是廠商已做好許多商業化尺寸 cyclone，然後依買主需求選擇合適/接近之器具，組裝設備。因為客制化開模至少 200 萬台幣，公司划不來。

後續操作遇到土壤質地變化、買方需求改變等狀況，則出現顆粒分離效能不足情況，廠商幾乎不做診斷/改善技術，通常是鼓吹買主再買一套新的。

本研究期望累積經驗與技術，先協助模廠做改善，了解問題所在，爾後再提出模場型專案。

4. 報告委員，10%及 50%減容計算主要依據分母不同。

若分母以 overflow 之土壤計(如下圖)，本研究可將兩個波峰藉由 hydrocyclone 優化提升拆開，因此 overflow 土壤 (原本要送去繼續進行熱處理的量)可達 50%減容效果。



又因上述試驗，overflow 佔整體土壤之 30%。因此以整體土壤當分母計算，減容效果 $30\% \times 50\% = 15\%$ 。本研究才保守/比較有把握地提出



	10%減容效果(以整體土壤當分母計算)。 計畫目標是 overflow 中 $63\mu\text{m}$ 以上顆粒含量在 10%以下。
<u>委員三：</u> 1. 實作系統之改進計畫。 2. 目標在改進粒徑分離技術，提升污染治理效率。 3. 建議使用顯微鏡，真實掌握粒子特徵，或許有助於設計更有效率的方法。	<u>委員意見回覆：</u> 1. 報告委員，是。 2. 報告委員，是。 3. 謝謝委員建議。研究將採委員建議，將顯微鏡納入研究內容中，更有助於解析。再次謝謝委員。
<u>委員四：</u> 1. 本研究藉由提升細顆粒粉、黏土分離，減少後端土壤處理數量與費用，若成果如計畫預期，可解決部分處理技術瓶頸。 2. 建議考量土壤不均質性，及污染分布不均質性對於本處理技術之影響 3. 建議研究過程採用不同場址之油污染土壤進行測試，以確認其有效性，並請觀察分離效率提升後，是否造成粗顆粒土壤污染濃度增加。	<u>委員意見回覆：</u> 1. 謝謝委員肯定，期望能試驗順利，並克服困難，達成減容目標。 2. 謝謝委員建議。將蒐集資料，列入討論。 3. 謝謝委員建議。將參採委員建議，另採一不同場址之油污染土壤進行測試，以確認 hydrocyclone 分離有效性。 後續分離效率提升後，應該會造成粗顆粒土壤污染濃度增加，研究將分析評估粗顆粒土壤污染濃度。也希望能夠回饋至適合條件控制。



<u>委員五：</u> 1. 本計畫屬於研究型，國內已有相關研究，本計畫屬於技術提升。 2. 本計畫屬於研究型計畫，對現行國內土水污染技術具提升與改善的可能性。 3. 本計畫是有潛在專利之價值，待有具體的研究成果後，可再加以完整的說明。 4. 本計畫的研究成果具有技術轉移、實場應用性的可能性。 5. 本計畫書中對研究工作的構想與規劃的說明完整。 6. 本計畫對研究方法的說明具體，研究工作與執行流程具可執行性。 <u>委員六：</u> 1. 核心技術掌握具體。 2. 影響參數掌握明確。	<u>委員意見回覆：</u> 1. 報告委員，是。屬診斷、改善、優化等技術提升。 2. 謝謝委員肯定。 3. 謝謝委員肯定。待試驗進行、整理研究成果後，再提出專利申請。 4. 謝謝委員。期望達成技術轉移，朝實場應用目標邁進。 5. 謝謝委員肯定。 6. 謝謝委員。 <u>委員意見回覆：</u> 1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員肯定。期望能達成油污染處理減容，促進土壤循環回用。



行政院環境保護署
土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

☒申請計畫書 ☐期中報告
☐修正計畫書 ☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	109 年度	計畫類型	☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☐ 調查 ☒ 整治 ☐ 其他	主持人：張益國	
計畫名稱	油污染土壤減容成效提升		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一 1. 主持人與計畫執行團隊 (1) 主持人的學術研究能力與技術發展能力均佳，其專業能力足以勝任本專案計畫。 (2) 主持人近五年的研究成效與(或)土水污染技術發展績效佳。 (3) 主持人與計畫執行團隊的學術研究能力與(或)土水污染技術發展能力佳，其專業能力足以勝任本計畫。 2. 送審的專案計畫價值、意義與專案計畫的可行性 (1) 本專案對未來土壤及地下水污染調查及整治等相關工作之推動具有貢獻。 (2) 由計畫申請書內的成果績效自評表可推知，本專案所預估的成果與績效對土水污染整治具有貢獻，但確切		委員意見回覆： 1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員肯定。 確切成果及應用將於執行計畫後估算說明。目前協助廠商實務修正實廠水力漩流器，將實廠漩流器拿回實驗室分析，調整參數、修改漩流器，增進分離效能。亦將實驗室合適參數提供廠商實廠應用。期能進一步擴大實驗成效，應用實踐。	



的成果仍有待於未來的執行成果中加以詳細說明。

(3) 本專案計畫書撰寫具體，所研擬的研究方法(流程)可行。研究成果於未來實場的實際可能應用性則未具體說明(確切的應用性有待執行成果中加以明確說明)(類似計畫已執行多年(土污基金)，應將成果技術轉移。若仍需進一步改善既有的成果，建議應與實務應用的機構合作執行)。

(4) 本專案計畫書中對相關文獻蒐集與整理尚完整。主持人對國內外本研究領域的發展現況了解。

(5) 本專案計畫的執行期限合理，計畫書中對執行的預期成果也已說明。

(6) 本專案計畫的經費編列合理。

(7) 本專案計畫非屬延續性計畫。

委員二

1. 前期審查意見已於本次申請計畫書中修正並補充相關說明。

2. 本計畫書已詳列研究方法、設備、污染土壤來源及相關操作測試模式細節，並已組成具相關專業背景之研究團隊，可立即啟動研發工作。

3. 本計畫採用 Test Kit(濁度法)為主要土壤 TPH 濃度分析法，建議在經費許可下增加實驗室 GC/FID 分析，以提升

委員意見回覆:

1. 謝謝委員。

2. 謝謝委員肯定。將盡快開始進行試驗。

3. 謝謝委員建議，依委員意見增加 GC-FID 分析，提升實驗數據分析層次。



TPH 分析數據準確度。 4. 本計畫預期成果在提升污染土壤分離效率，有助於改善目前整治技術所面臨之問題。	4. 謝謝委員肯定。
委員三 1. 研究架構明確，執行方法說明具體。 2. 改善設施及操作主軸，具實用性。 3. 產業合作之設備可支援度須掌控。 4. 人力配置(主持/協同)合理。 5. 可行性高。	<u>委員意見回覆:</u> 1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員。 3. 報告委員，撰寫計畫書時，同步請合作公司設備支援並獲該公司 10 萬元自籌款出資協助。希望能創造產官學多贏局面。 4. 謝謝委員。 5. 謝謝委員肯定。
委員四 1. 受污染介質之依粒徑分離技術，實用性極高。 2. 以往已經執行多年類似計畫，亦取得專利多項，應朝商品化或技術授權方向邁進。	<u>委員意見回覆:</u> 1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員建議。研究團隊先朝技術授權努力，亦希望後續商品化普及應用。
委員五 已就本人初審意見詳實回答，無進一步意見。	<u>委員意見回覆:</u> 謝謝委員。
委員六 (五)雜項費用-報告書印刷建議編列以12,000 元為限。	<u>委員意見回覆:</u> 謝謝委員建議。將依委員意見下修經費。



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書

☒期中報告

☐修正計畫書

☐期末報告

審查意見回復對照表

計畫年度	109 年度	計畫類型	☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 整治 ☐ 調查 ☐ 其它	主持人：張益國 NO：B1	
計畫名稱	油污染土壤減容成效提升		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一 1. 空氣攪拌是以清水測試，依廠商規格在清水條件下 0.21 m/s 流速計算，攪拌能力佳，但實際試驗之流速是在 7-13 m/s 範圍，是否依然攪拌能力佳？ 2. 操作條件優化是否會因個案土壤粒徑特徵不同而需客製化，應加以探討。 3. 後續宜探討商品化之發展。 4. 參考文獻格式與完整性需調整。		委員意見回覆： 1. 謝謝委員意見。實驗時，先以空氣攪拌充分混合後，在用泥水泵送入水力漩流器以 7-13 m/s 分離。攪拌與分離過程獨立，攪拌能力佳。 2. 謝謝委員意見。土壤粒徑應會影響操作條件，而且有其分離應用限制。建議依粒徑分布特徵，客製化操作條件。本研究土壤恰適合水力分離，將於期末補充應用限制。 3. 遵照委員意見辦理，探討商品化發展及花費。 4. 遵照委員意見辦理。	
委員二 1. 期中報告內容、已完成之研究工作項目及相關成果符合原提案計畫所研擬之預定進度。 2. 期中報告內容所提出之討論與建議合理，並可據以進行下半年研發工作之推展。 3. 期中報告已說明本研究目前所遭遇之困難(儀器設備故障或不足)，並提出解決方案。 4. 本研究以「油污染土壤減容成效提升為主要目標」，其成效評估以(1) 油污染土壤粗細顆粒分離效率。以及(2)油污染土壤分離前、後之污染濃度與分佈為評估參數與依據；期中報告內容第		委員意見回覆： 1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員，持續進行試驗研究。 3. 謝謝委員。 4. 謝謝委員建議。此次油污染土壤粗細顆粒分離試驗為(1)自行以雷射粒徑分析儀分析擷取粒徑分布數據；(2)TPH 濃度分析為委外進行分析。可能因為該操作條件樣品分析取樣時，取到附著油污偏多之細顆粒土壤，導致分析	



五章中有關油污染土壤 (TPH) 濃度分析數據呈現出土壤 (TPH)濃度數值變化、差異偏高 (17,542mg/kg ~ 826,119 mg/kg)現象，建議後續對於污染土壤 (TPH) 濃度分析取樣代表性及 QA/QC 加強、確認。 5. 本研究於實驗室中操作，其參數、條件是否與運作中實場(油污染土壤水洗系統)具相似條件，建議於後續研發工作予以考量並於期末成果報告中敘明。	數據偏高達 826,119 mg/kg。將再加強確認。 5. 報告委員，目前實驗室操作條件與運作中實廠之土水比、漩流器尺寸均類似。惟實廠目前無法立即調整的是流速。實廠流速約 3-4 m/s，本研究發現該流速可能不足，於是試驗提升至 11-13m/s，得到良好分離效果。但是實廠欲提升流速，許多裝置(例如管線、泥水泵、盛桶)均需修改，致無法立即做改善。後續依委員意見敘明。
委員三 1. 中英文摘要建議應能確實反應期中成果。 2. 第四章 4-2 研究設計，因有摘要研究設計流程與操作條件及參數彙整表。4-3 技術能力市場需求及競爭力評估，將用什麼方式評估應具體說明 5-2 樣本特性分析請綜合整理分析結果。 3. 根據新漩流氣的實驗分析結果 13 m/s, 效果較佳，因此模場漩流器是否應根據本實驗結果修正設計以利模擬分析結果的應用。 4. 後續實驗進行的測試將擇優篩選分析，請說明篩選依據。	委員意見回覆： 1. 謝謝委員建議。後續將進行修正。 2. 謝謝委員意見。將於期末報告補充彙整表及綜合整理試驗結果進行說明。 3. 謝謝委員，依委員意見模擬分析。惟目前因模擬軟體合約到期需續約(已於 6 月請購)，而學校請購系統年度關帳中。預計 8 月中~9 月初開帳後付款，續約帳號開通後隨進行模擬分析。 4. 報告委員，因經費因素需擇優送樣分析先請見諒。而擇優條件主要為雷射粒徑分析數據結果(顆粒分離情況)。此雷射粒徑數據可即時顯示顆粒分離效果，以此條件篩選樣品，選擇分離效果最佳者為第一優先。



附件一

委員四 1. 土壤減容為新名詞，原來之名稱為粒徑篩分 (particle size sieve separation)，此法已在國內外實場使用多年，主要目的為將粗顆粒(100 mesh, 0.150 mm)先篩分離，留下細粒子部份(250 mesh, 0.063 mm)做處理，因此污染土壤的粒徑組成及是否易分離為決定分離成敗之關鍵，也決定整治之成本與效率。 2. 本案使用兩土壤樣品之土壤的粒徑組成幾乎相同，僅在提高流速以改善粗細顆粒分離效果之研究，在分離效益與成本上差異不大，建議未來做整體考量或考慮使用其他整治技術。	委員意見回覆： 1. 謝謝委員意見。提出土壤減容主要考量分離污染物濃度高與低之細粗顆粒，達成粗顆粒合乎法令規範，無須再進一步處理，進而減少污染土壤處理量(只需處理細顆粒)。確實如委員所提，污染土壤的粒徑組成是關鍵因子。曾遇過細樣品(如底泥)，分離效果不佳。所幸，本案土壤分布粗細顆粒均有，因此以水力漩流分離效果尚佳。後續操作成本將進行估算。 2. 謝謝委員建議。未來做整體考量時將考慮並用其他整治技術。 目前本案試驗主要著重於水力漩流器效能提升，初步由實廠之 3-4m/s 流速提升至 11-13m/s，分離效果顯著增加。在 13m/s 流速下，overflow 中主要以細顆粒為主，94.3%顆粒粒徑均在 63μm 以下，overflow 土壤 TPH 濃度高達 205,607mg/kg。以粗顆粒為主之 underflow，89.3%顆粒在 63μm 以上，underflow 土壤 TPH 則僅有 515 mg/kg，粗顆粒滿足 TPH<1,000 mg/kg 要求。
委員五 本研究已完成油污染土壤之調查實驗室空氣攪拌試驗，模場漩流器等試驗，由於反應參數多，未來對於運用之參數請詳實建置。	委員意見回覆： 謝謝委員意見，將於期末報告補充說明。
委員六 1. 研究實驗過程中，是否有考量土壤、水等總量濃度平衡？請說明之，另實驗程序土水比率為何？ 2. 實驗程序中是否會有油污染物溶於水之情形？有無影響？ 3. 請說明實驗相關土壤及水（或泥），經實驗分離及檢測分析後，如何處理？	委員意見回覆： 1. 謝謝委員意見。實驗程序土水比為 1:4 (w/w)，每批次為 30kg 乾土:120kg 水。曾對 13m/s 流速進行原樣、overflow、underflow 土壤 TPH 平衡估算。原樣土壤 TPH 15,179 mg/kg；經水力分離後，overflow 分流質量 9.0%，TPH 濃度 205,607mg/kg；underflow 分流質量



91.0%，TPH 濃度 515mg/kg。

$205,607\text{mg/kg} \times 9.0\% + 515\text{mg/kg} \times 91.0\% = 18,973\text{ mg/kg}$ 。略大於原樣土壤 TPH 15,179 mg/kg。

2. 試驗過程並未對水進行 TPH 分析，已用 13m/s 流速條件進行油污染物是否溶於水之補充確認，結果均未溶於水。

樣品檢驗報告

樣品編號: 001~003

序號	樣品編號		單位	001	002	003
	檢驗項目	QDL(mg/L)		第一桶	上層	下層
1	TPHg(C6-C9)	0.06	mg/L	ND	ND	ND
2	TPHg(C10-C40)	1	mg/L	34	ND	ND
3	TPH	-	mg/L	34	ND	ND
	以下空白					

3. 實驗土壤乾燥後，除分析樣本留樣外，廢棄土壤由本校環安中心委託合格清除處理機構處理。水的部分，排入本校實驗室廢水處理廠處理。

專案主持人：張益國 (簽名及蓋章)

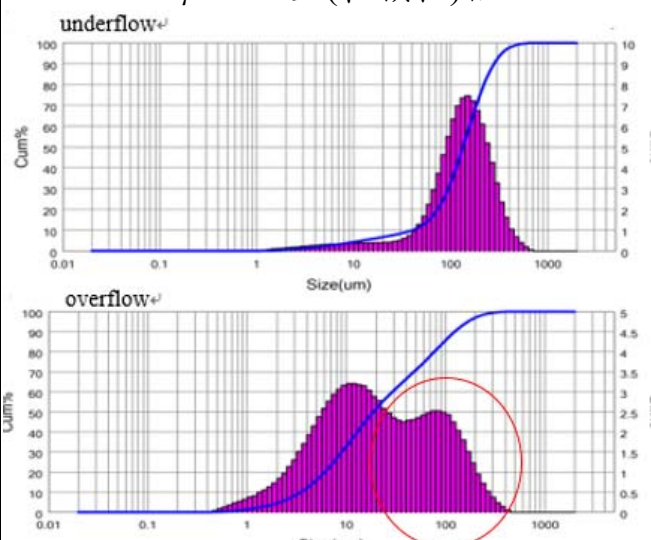


行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☐期中報告

☐修正計畫書 ☒期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	109 年度	計畫類型	☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☒ 整治 ☐ 調查 ☐ 其它	主持人：張益國	NO：B1
計畫名稱	油污染土壤減容成效提升		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一		委員意見回覆：	
1. 評估以空氣攪拌替代槳翼攪拌處理單元效能，應增加預期工作項目中有關能量消耗之評估。		1. 謝謝委員建議。於 5-3 節依委員意見補上空氣攪拌、槳翼攪拌之能量消耗評估。均已 50kg 土壤加入 200kg 水，攪拌 10 分鐘計，空氣攪拌消耗 0.0091 kWh；槳翼攪拌消耗 0.0708 kWh。	
2. 研究係採用南部某油污染土壤進行，是否能比對本研究之方法與該場址使用方法之效能增進的實證。		2. 謝謝委員建議。經某次取樣，該場址 overflow 中夾帶粗顆粒，63 μ m 以下佔 75.7%、63 μ m 以上(粗顆粒)佔 24.3%。 	
3. 本計畫自行新設計旋流管雖可達到較高的流速，但在商品化放大規格上是		本研究確實有效改善其細顆粒之分離成效。惟因未獲授權，未能放在期末報告內，敬請委員見諒。 3. 謝謝委員意見。新設計旋流管處理效果佳，使用並聯方式及加大泥水泵馬力應可放大處理量。規模放大後效能是否如預期？	



否能符合需求之處理量與合理價格。 4. 參考文獻編排文字需統一規格。	及放大後處理成本評估等問題，預計提出申請 110 年度研究案評估。 4. 謝謝委員建議。已依委員意見統一文獻編排規格。
委員二 1. 本計畫以「油污染土壤減容成效提升」為目標，藉由設計、開發新漩流器之方式，應用於油污染土壤水洗處理程序，期能藉由提升油污染土壤粗細(以粒徑 63μm 為分界點)顆粒分離效率，達到油污染土壤減量之目標；本計畫已依預定期程與項目執行實驗及研究工作，並如期提出期末報告。 2. 本計畫經採用新漩流器並進行不同組別參數設計之時驗後獲得下列成果： (1) 土壤:水=1:4(w/w)摻配，於空氣流量 350 L/min 下，可獲泥水流速 0.49 m/s；其傳送質量能力 1.33Kg/s，換算每升空氣可傳送 0.228 公斤泥水，且僅需 0.073 馬力。 (2) 新漩流器在 13m/s 流速下可得最佳操作效果，overflow stream 中(主要以細顆粒為主)，94.3%顆粒粒徑均在 63μm 以下，僅有 5.7%顆粒粒徑在 63μm 以上；分離效率良好。 (3) 檢測上述實驗條件之土壤 TPH 含量，overflow 土壤 TPH 濃度高達 205,607mg/kg；underflow 土壤則僅是 515 mg/kg，粗細顆粒分離佳，underflow 土壤 TPH 濃度 TPH<1,000 mg/kg，成效良好。 3. 本計畫所獲致之成果具體，尤其是油污染土壤粗細顆粒分離效率之提升，可有效提升油污染土壤水洗處理分離效率，達到污染濃縮、污土減量之效	<u>委員意見回覆:</u> 1. 謝謝委員。 2. 謝謝委員肯定。 3. 謝謝委員。後續將嘗試實場操作，期能擴大應用。



益，若能有效提升至實場操作，有助於解決目前水洗工法之瓶頸。

4. 有關本研究實驗條件，建議補充下列說明：

(1) 每批次所使用之污染土壤量(重量)，土壤與水摻配前土壤含水率及摻配程序。

(2) 土壤 TPH 檢測採樣方式(含處理前、後)及分析結果與原土壤污染濃度之比較分析是否具特殊差異度。

(3) 本研究實驗 Scale up 可能遭遇之困難分析。

4. 報告委員，補充說明如下：

(1) 土壤含水率約 10.7%。本研究每批次為土壤:水=1:4(w/w)摻配，依實驗室條件為土壤 50 kg 摻配 200 kg 的自來水，充分混合。

(2) 例如：

檢驗項目 [↙]	Inlet velocity: 11 m/s [↙]			Inlet velocity: 13 m/s [↙]		
	TPH [↙] (mg/kg) [↙]	土壤分 流比例 [↙]	粒徑 [↙]	TPH [↙] (mg/kg) [↙]	土壤分 流比例 [↙]	粒徑 [↙]
原樣 [↙]	15,179 [↙]	↙	↙	15,179 [↙]	↙	↙
overflow [↙]	32,855 [↙]	9.0% [↙]	<63 μm: 95.9% [↙] >63 μm: 4.0% [↙]	205,607 [↙]	6.5% [↙]	<63 μm: 94.3% [↙] >63 μm: 5.7% [↙]
underflow [↙]	1,259 [↙]	91.0% [↙]	<63 μm: 12.5% [↙] >63 μm: 87.5% [↙]	515 [↙]	93.5% [↙]	<63 μm: 10.7% [↙] >63 μm: 89.3% [↙]

QDL: C6-C9 為 0.06 mg/kg；C10-C40 為 1.00 mg/kg[↙]

原樣 TPH 15179 mg/kg。

(i) 以 11m/s 為例，

$$32855 \times 9\% + 1259 \times 91\% = 4102 \text{ mg/kg}$$

低於原樣濃度許多。

(ii) 以 13m/s 為例，

$$205607 \times 6.5\% + 515 \times 93.5\% = 13846 \text{ mg/kg}$$

略低於原樣。

高濃度細顆粒土壤含油高、差異大；

建議以 underflow 低濃度粗顆粒土壤為主要觀測標的。

(3) 若本實驗進行規模放大，將會以多管 cyclone 同步進行並聯運作，可能會受限於進流泥水攪拌均勻與否、泥水泵馬力足夠與否、管線分流壓差不平均等因素影響。另組裝過程配線、配電、管徑/孔徑搭配等亦將是逐一需克服之困難。



委員三 - 研究進度符合期末報告查核內容。 - 使用的土壤特性應明確的說明給予定義，目前條件設定為土壤粒徑，較難判斷是增加接觸面，還是因為其他因素而達到的效果。 - 目前實驗的動力只有5馬力，進一步模場實驗室應評估能源消耗合理性。 - 此外空氣攪拌所產生的溢散污染，應同時考量搭配的設備。 - 成果影響說明與後續建議，提出未來的具體應用規劃。	委員意見回覆: - 謝謝委員。 - 報告委員，當初選擇南部某油污染土壤主要是想解決實場問題。依分析結果來看，恰好 TPH 濃度細顆粒土壤高、粗顆粒低，所以用 hydrocyclone 分離。其他因素探討，將有待後續釐清。 - 謝謝委員意見。目前實驗室 5Hp 泥水泵剛好合用。未來模廠應用，至少使用 15Hp ~30Hp 泥水泵方足夠。後續模場將評估能源消耗/處理量。 - 謝謝委員提醒。若空氣攪拌成為以後增加/取代槳翼攪拌單元，應遵循委員意見回收處理溢散污染氣懸膠。 - 謝謝委員意見。增加建議於 5-5-2 節，陳請委員參閱。
委員四 兩土壤經乾篩試驗，粒徑大小分析結果為粗砂粒(>0.150 mm) 72%，極細砂粒(0.063-0.150 mm) 27%，粉粒與黏粒之極細粒子 (<0.063 mm) 僅 2%，因此污染土壤的粒徑組成均為砂粒，根本不需要分離的步驟，只要加水攪拌經自然沉降，即可快速將 95%的砂粒分離。但乾篩分離只能得到粗顆粒砂粒準確數據。	委員意見回覆: 報告委員，雖然乾篩試驗結果顯示土壤組成以細砂、粗砂為主，但經顯微觀察發現(如圖 5-4 油污染土壤中 > 150 μm 顆粒照片)，有些細顆粒、油沾黏在粗顆粒上，因此導致粉粒與黏粒之極細粒子比例低估。  經 800°C 灼燒後(如下圖)，表面油污顆粒消失。



附件一

2. 試驗土壤之雷射粒徑大小分佈結果與乾篩試驗結果差異大，請再查核。 3. 本案僅在提高流速以改善<5 % 粉粒與黏粒之極細粒子細顆粒分離效果之研究，應該沒有意義。建議未來於試驗前應慎選不同質地污染土壤，即含有不同砂粒、粉粒與黏粒%之污染土壤，以達到此技術開發與應用之目的。 4. 建議補充在分離不同粒徑大小具有不同 TPH 濃度下之後續整治技術說明與成本分析。建議考量土壤學的12個土壤質地分級表(soil texture classes)。 5. 依過去污染案例，最難處理的污染土壤為高含量黏粒(<0.002 mm) (>50%)、粉粒(0.002-0.05 mm) 30%與砂粒(0.05-2 mm) 20% 油污染的紅壤，整治效果均不佳，建議未來挑戰此類土壤。 6. 應補充執行進度與預期完成工作項目甘特圖，以查核期末成果。	 2.如同上述原因，有些細顆粒、油沾黏在粗顆粒上，因此導致粉粒與黏粒之極細粒子比例低估；乾篩粗顆粒比例偏高。而雷射粒徑因使用超音波震盪後才進樣，所以應具代表性。 3. 謝謝委員意見，後續將嘗試不同砂粒、粉粒與黏粒%之污染土壤，以達到此技術開發與應用之目的。惟本研究提高流速將 6.5%粉粒與黏粒之極細顆粒分離後，剩餘 93.5%粗顆粒可符合 TPH<1,000mg/kg 標準，達污染土壤減容功效。 4.謝謝委員建議。後續補充成本分析於5-4-2-5 小結。 5.謝謝委員建議，未來將挑戰此類難整治土壤。 6.謝謝委員建議，已修改甘特圖將執行進度與預期完成工作項目融入，請委員詳4-5節。
--	--

**委員五**

本年度的工作均已依原計畫完成，客製化的新漩流器初步試用成效不錯。

委員意見回覆：

謝謝委員肯定。



**Challenges in Environmental Science and Engineering
CESE-2020 Virtual Conference
7-8 November**

<http://cese-conference.org/index.htm>

21st August 2020

Dear Authors,

Paper Ref:	CESE2020-8-014
Corresponding Author:	Yi-Kuo Chang
Co-Authors:	Yu-Chi Chang, Pai-Haung Shih, Yi-Liang Shu, Teng-Liang Wang, You-Qian Lin
Title of the Abstract:	Separation treatments for total petroleum hydrocarbon contaminated soils

It is our pleasure to inform you that the above abstract you submitted for CESE-2020 virtual conference has been accepted for **oral presentation** based upon peer-review by the technical committee of the event. The abstract will be published in the conference proceedings. Could you kindly reply by return email (cese.conference@gmail.com and li.shu846@gmail.com) confirming that one of the authors of the abstract will be presenting the paper at the conference as soon as possible please?

Your paper will be recommended for publication in a special issue of the *Process Safety and Environmental Protection* journal after peer review. The journal will call for papers for the CESE-2020 special issue in December and we will notify you as soon as the announcement for the call has been made by the journal. The special issue will carry only the papers that are presented at CESE-2020 by a registered participant.

Please kindly register for the conference early (early bird deadline for registration is **31 August 2020**) to facilitate the smooth organization of the conference.

Please send us your short biography to cese.conference@gmail.com (150 words or less) also by the 15th of September.

Look forward to meeting you online.

Kind regards,

Dr. Li Shu
On behalf of the CESE-2018 Organizers
(li.shu846@gmail.com; cese.conference@gmail.com)



2020 年土壤與地下水研討會議程

2020 年 11 月 27 日(五)			
時間：13:30~15:00(時段一：每篇報告 12 分鐘，討論 3 分鐘)			
教室：工五	議題：土壤、地下水與底泥整治	主持人：	
館 3F	論文名稱	論文編號	作者
13:30~15:00	研製藻類生物炭結合過硫酸鹽進行底泥中多環芳香烴化合物降解效能之研究	SOI1090002	鄭家偉，洪彭懋，陳秋蚊，董正鈺
	利用相反轉乳乳液增強多溴二苯醚生物降解之技術開發	SOI1090024	林哲輝，張書奇
	現地化學還原法結合生物整治法降解地下水三氯乙烯	SOI1090036	劉敏信，呂榮俊，黃冠維，張祐豪
	鳳梨葉及稻殼生物炭對五種土壤重金屬污染之生態修復作用	SOI1090032	蘭郁杰，Mel Adelle C. Ocba，Kesinee Iamsaard，林耀東
	開發活性二氧化錳/生物炭複合材料於地下水砷污染控制之研究	SOI1090031	吳柏璋，丁越強，陳樂儀，劉雅瑄，侯嘉洪
	以改質氧化錳現地整治氫鹽污染之地下水：材料製備及實場應用	SOI1090007	王致傑，余英良，許藝騰，高志明

海報發表

序號	論文名稱	論文編號	作者
1	以葉綠素螢光法研究氾對綠豆生長之影響	SOI1090006	曹俊文，李彥廷，陳孟言
2	灌溉水環境之污染介入途徑調查模式建立-以舊濁水溪為例	SOI1090008	吳嘉倫，紀宣汝，謝明凱
3	年度仁德滯洪池水質調查及分析	SOI1090009	林國禎，劉保文，林冠昕，鍾世宏，王志先，黃子彬
4	以生物炭複合材料降低土壤中六價鉻之危害	SOI1090025	劉瑞美，許珮琪，吳柏霖，李育翰，吳書合，洪震恆
5	利用稻殼生物炭應用於受重金屬污染農地之研究	SOI1090030	張明琴，顏瑄，趙晉緯
6	開發新穎性包埋 <i>Dehalococcoides mccartyi</i> 及 <i>Clostridium butyricum</i> 之長效脫氯膠體	SOI1090037	黎如月，呂哲輝，丁律好，陳師慶
7	兩步驟選擇性光催化還原硝酸鹽為氮氣之研究	SOI1090039	謝宗甫，劉雅瑄
8	以微藻陶質膜生物反應槽去除受污染地下水中重金屬	SOI1090043	吳佩勳，高彥琳，簡嘉緯，李妍，于昌平
9	油污染土壤減容成效評估	SOI1090046	張益國，呂東璇，張育祺，王登亮，林宛瑩，林祐仟