

行政院環境保護署  
105 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

Itrax 應用於環境鑑識之探討  
期末報告(定稿)

主 辦 單 位：  行政院環境保護署  
專案執行單位： 台灣大學／生物環境系統工程學系所  
專案主持人： 張尊國 教授  
專案執行期間： 104 年 11 月 17 日起至  
105 年 11 月 16 日止

中 華 民 國 105 年 12 月 印製

# 「105 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」

■修正計畫書 □期中報告  
□期末報告

## 審查意見回覆對照表

|                                                                                                                                                                                                                                                    |                  |                                                                                                    |                             |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--|
| 計畫年度                                                                                                                                                                                                                                               | 105 年            | 專案類型                                                                                               | ■ 研究專案 □ 模場試驗               |  |
| 計畫主持人                                                                                                                                                                                                                                              | 張尊國              | 研究類別                                                                                               | □ 整治 ■ 評估 □ 預防 □ 自訂         |  |
| 計畫名稱                                                                                                                                                                                                                                               | Itrax 應用於環境鑑識之探討 |                                                                                                    |                             |  |
| 專案連絡人                                                                                                                                                                                                                                              | 林聖淇              | 連絡專線                                                                                               | 0937087673; 08-7703202#6291 |  |
| 政策性審查意見                                                                                                                                                                                                                                            |                  | 計畫單位回覆                                                                                             |                             |  |
| 1. 請依專案計畫書標準格式撰寫，勿刪除表單及格式，各項次說明或表格勿跨頁。<br>2. 經費（五）雜項費用之「印刷」說明欄，請將資料檢索及報告印刷分項條列於項目名稱內，並於說明欄內說明其用途。<br>3. 差旅費請依據行政院 103 年 7 月 7 日公告之「國內出差旅費報支要點」編列。<br>4. 如編列參加成果發表會之相關費用，單據日期需於計畫執行期程內，始得核銷。<br>5. 本計畫經費編列如有浮編不實之虞，期末檢具核銷審查未通過，將扣除該編列款項，不予以補助（或追繳）。 |                  | 1. 悉遵貴署意見辦理。<br>2. 悉遵貴署意見，已將資料檢索與報告印刷分項條列於項目名稱內說明。<br>3. 悉遵貴署意見辦理。<br>4. 悉遵貴署意見辦理。<br>5. 悉遵貴署意見辦理。 |                             |  |
| 技術性審查意見                                                                                                                                                                                                                                            |                  | 計畫單位回覆                                                                                             |                             |  |
| 委員 1                                                                                                                                                                                                                                               |                  |                                                                                                    |                             |  |
| 1. Itrax 岩芯掃描儀之靈敏度相對於傳統光譜式化學分析法為低，其實場應用之可行性應加以考量。                                                                                                                                                                                                  |                  | 1. 本計畫之目的係建立污染物質來源之環境指紋特徵，期能利用 Itrax 多元素(15種以上)光譜掃描的特性，在實場應用之可行性提供科學性資料以為佐證。                       |                             |  |

# 「105 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」

■修正計畫書 □期中報告  
□期末報告

## 審查意見回覆對照表

|                                                                                                                                                                                                             |                  |                                                                                              |                             |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--|
| 計畫年度                                                                                                                                                                                                        | 105 年            | 專案類型                                                                                         | ■ 研究專案 □ 模場試驗               |  |
| 計畫主持人                                                                                                                                                                                                       | 張尊國              | 研究類別                                                                                         | □ 整治 ■ 評估 □ 預防 □ 自訂         |  |
| 計畫名稱                                                                                                                                                                                                        | Itrax 應用於環境鑑識之探討 |                                                                                              |                             |  |
| 專案連絡人                                                                                                                                                                                                       | 林聖淇              | 連絡專線                                                                                         | 0937087673; 08-7703202#6291 |  |
|                                                                                                                                                                                                             |                  |                                                                                              |                             |  |
| <b>委員 1</b>                                                                                                                                                                                                 |                  |                                                                                              |                             |  |
| 2. Itrax 岩芯掃描儀相對於桌上型或攜帶型 XRF 分析儀較不易 access，其實場應用之可行性應加以考量。                                                                                                                                                  |                  | 2. Itrax 檢測功能強大，其分析樣本資料特性可提供連續性檢測數據、多元素(15 種以上)光譜掃描資料等優點，透過本計畫的執行在實場應用之可行性會加以評估應可達到本計畫預設之目標。 |                             |  |
| <b>委員 2</b>                                                                                                                                                                                                 |                  |                                                                                              |                             |  |
| 1. 本研究希冀利用 Itrax 岩芯掃描儀可針對不同環境樣本型態（底泥、離子交換樹脂、爐渣等）進行元素種類測定、元素半定量快速篩測與非彈性和彈性散射之比值 (incoherent over coherent scattering, inc/coh)，同時輔以濕式化學分析做為驗證方法，藉由統計軟體協助設定及資料庫的協助比對搜尋，進一步評估該儀器所提供大量且多元的數據資料對於研發環境污染物質來源之適用性。 |                  | 1. 感謝委員肯定。                                                                                   |                             |  |
| 2. 本研究探討對象包括底泥與廢棄爐渣所含目標元素種類與濃度篩測、底泥與離子交換樹脂的非彈性和彈性散射之比值等；探討傳統 XRF 分析儀與 Itrax 岩芯掃描儀之差異性，評估其優劣點與發展性，可作為國內未來環境鑑識科學中釐清污染來源責任歸屬問題的分析工                                                                             |                  | 2. 感謝委員肯定。                                                                                   |                             |  |

# 「105 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」

■修正計畫書 □期中報告  
□期末報告

## 審查意見回覆對照表

|                                                                      |                  |                                                                                    |                                    |  |
|----------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--|
| 計畫年度                                                                 | 105 年            | 專案類型                                                                               | ■ 研究專案                      □ 模場試驗 |  |
| 計畫主持人                                                                | 張尊國              | 研究類別                                                                               | □ 整治    ■ 評估    □ 預防    □ 自訂       |  |
| 計畫名稱                                                                 | Itrax 應用於環境鑑識之探討 |                                                                                    |                                    |  |
| 專案連絡人                                                                | 林聖淇              | 連絡專線                                                                               | 0937087673; 08-7703202#6291        |  |
| 具之一。                                                                 |                  |                                                                                    |                                    |  |
| 委員 2                                                                 |                  |                                                                                    |                                    |  |
| 3. 本計畫對文獻收集及背景介紹相當完整對國內外該研究領域現況瞭解清楚,尤其對整體架構之描述及相關工作作了完整說明,研究方法及步驟可行。 |                  | 3. 感謝委員肯定。                                                                         |                                    |  |
| 4. 主持人近年在相關領域有不錯的研究成果,主持人具相當之底泥分析處理及研究經驗,可勝任本計畫之執行。                  |                  | 4. 感謝委員肯定。                                                                         |                                    |  |
| 5. 本計畫之成果對環境鑑識技術之推動應有助益。                                             |                  | 5. 感謝委員肯定。                                                                         |                                    |  |
| 委員 3                                                                 |                  |                                                                                    |                                    |  |
| 1. 創新研究。                                                             |                  | 1. 感謝委員肯定。                                                                         |                                    |  |
| 2. 研究假設合理,研究流程適當,研究內容充分。                                             |                  | 2. 感謝委員肯定。                                                                         |                                    |  |
| 3. 請說明經濟效益,與是否能建置具體標準鑑定程序。                                           |                  | 3. 悉遵委員意見辦理,於「研究工作項目」中增列經濟效益評估,依據 Itrax 檢測特性與樣本種類增列建置具體標準鑑定程序之適用性評估作業,詳見附件 7-13 頁。 |                                    |  |
| 委員 4                                                                 |                  |                                                                                    |                                    |  |
| 1. 可確實建立底泥、土壤、爐渣之全量分析快篩結果,並於 XRF 分析結果比較其差異。                          |                  | 1. 悉遵委員意見辦理,初步規劃底泥、土壤、爐渣等之特定元素全量分析結果,並與 XRF 分析數據比較其差異。                             |                                    |  |
| 2. 已提出各種基質干擾及研究室化學分析比對差異之分析與評估。                                      |                  | 2. 感謝委員肯定。                                                                         |                                    |  |
|                                                                      |                  | 3. 本計畫核定經費已被減半,故針對人力經                                                              |                                    |  |

# 「105 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」

■修正計畫書 □期中報告  
□期末報告

## 審查意見回覆對照表

|                                                                                                                                                                                                                                           |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                             |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--|
| 計畫年度                                                                                                                                                                                                                                      | 105 年            | 專案類型                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ■ 研究專案 □ 模場試驗               |  |
| 計畫主持人                                                                                                                                                                                                                                     | 張尊國              | 研究類別                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | □ 整治 ■ 評估 □ 預防 □ 自訂         |  |
| 計畫名稱                                                                                                                                                                                                                                      | Itrax 應用於環境鑑識之探討 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                             |  |
| 專案連絡人                                                                                                                                                                                                                                     | 林聖淇              | 連絡專線                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0937087673; 08-7703202#6291 |  |
| 3. 建議總經費可酌減 50 萬元。                                                                                                                                                                                                                        |                  | 費及耗材費用進行調整，詳見附件 7-1 頁。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                             |  |
| <b>委員 5</b>                                                                                                                                                                                                                               |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                             |  |
| <p>1. 前一年度（縮時紀錄膠囊）的成果與本年度的結合與應用建議說明。</p> <p>2. 本計畫為檢測設備的應用，建議說明此檢測設備的限制與適用條件，本計畫所擬探討的對象（水中重金屬污染物的吸附）是否適用？</p> <p>3. 如何解讀？已有足夠的資料庫建立具可信賴的解讀 SOP？或其他可靠的解讀機制？</p> <p>4. 本計畫的目標之一是：釐清污染來源與責任歸屬？判斷因子為何？如何利用本計畫的設備達到本計畫目標？計畫書中未具體說明如何達到此目標。</p> |                  | <p>1. 悉遵委員意見辦理，納入前一年度(縮時記錄膠囊)的成果與本年度的樹脂分析數據進行相關性探討與分析。</p> <p>2. 悉遵委員意見辦理，於「研究工作項目」中增列 Itrax 檢測設備的限制與適用條件說明，詳見附件 7-13 頁。本研究團隊前一年度(縮時記錄膠囊)的成果顯示，該監測樹脂在特定的條件下，針對水中重金屬污染物的吸附特性可以有效掌握，透過本計畫的執行將進一步評估是否適用。</p> <p>3. 本研究團隊將根據已蒐集之樣本進行資料庫建置工作，並透過統計檢定分析方法建立可信賴的解讀 SOP；同時，藉由蒐集國內外文獻資料，評估其他可靠的解讀機制是否適用。</p> <p>4. 本研究團隊希冀透過多元的樣本蒐集，利用 Itrax 分析得到之大量數據資料，配合統計工具之分類、分群方法作為判斷因子之基礎。並於「研究工作項目」中增列建置具體標準鑑定程序之適用性評估作業，詳見附件 7-13 頁。</p> |                             |  |
| <b>綜合性審查意見</b>                                                                                                                                                                                                                            |                  | <b>計畫單位回覆</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                             |  |
| 原則同意所送計畫，請依審查意見提送修正計畫書。                                                                                                                                                                                                                   |                  | 悉遵貴署意見辦理。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                             |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 計畫年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 105 年度                                                                                                                     | 計畫類型                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <input checked="" type="checkbox"/> 研究計畫 <input type="checkbox"/> 模場試驗 |
| 計畫類別                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂 | 主持人：張尊國 NO：09                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                        |
| 計畫名稱                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Itrax 應用於環境鑑識之探討                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                        |
| 委員審查意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                            | 計畫單位回覆                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                        |
| <p><b>委員 1 審查意見：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已完成預定之工作項目和目標。</li> <li>2. 陰離子交換樹脂吸附試驗，探討其對硫酸根等陰離子之吸附能力並不適當，應探討其是否能吸附我們關切之污染陰離子，例如：鉻酸根或砷酸根，才有意義。</li> <li>3. Itrax 偵測其優於桌上型或攜帶型 XRF 分析儀，所能獲得底泥岩芯金屬之分布資訊，建議也能加以說明和討論。</li> </ol> <p><b>委員 2 審查意見：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究探討對象包括底泥與廢棄爐渣所含目標元素種類與濃度篩測、底泥與離子交換樹脂的非彈性和彈性散射之比值等；探討傳統 XRF 分析儀與 Itrax 岩芯掃描儀之差異性，評估其優劣點與發展性。</li> </ol> |                                                                                                                            | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 本計畫針對硫酸根的實驗設計係探討輕元素(C, H, O 與 S 等元素)與非彈性和彈性散射之比值(inc/coh)的關係，瞭解樹脂在水體中攫取(交換)目標元素時，Itrax 的檢測分析是否受到輕元素的影響。委員所關切鉻酸根或砷酸根在環境水體中並無明顯的存在證據(由彰化東西二、三圳的監測計畫得知)，而電鍍工廠廢水中，帶負電的錯離子(諸如：<math>\text{FeCu}(\text{CN})_6^-</math>、<math>\text{FeZn}(\text{CN})_6^-</math>等)存在於自然環境的可能性較大，也是後續相關研究的重點追蹤項目。</li> <li>3. Itrax 偵測其優於桌上型或攜帶型 XRF 分析儀，在於能獲得底泥岩芯之時間序列分布資訊，針對桃園滲眉埤底泥岩芯的初步檢測結果發現確實可以得到更多重金屬沉積與濃度差異性的分布證據(4 根底泥岩芯)。待其他底泥岩芯檢測數據完成後(6 根底泥岩芯)，相關研究成果將一併於期末報告依序說明與討論。</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> </ol> |                                                                        |

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」  
期中報告初審意見對照表(續一)**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 計畫年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 105 年度                                                                                                                     | 計畫類型                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <input checked="" type="checkbox"/> 研究計畫 <input type="checkbox"/> 模場試驗 |
| 計畫類別                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂 | 主持人：張尊國    NO：09                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                        |
| 計畫名稱                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Itrax 應用於環境鑑識之探討                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                        |
| <b>委員審查意見</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                            | <b>計畫單位回覆</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                        |
| <p><b>委員 2 審查意見：</b></p> <p>2. 後續可針對傳統XRF與Itrax岩芯掃描儀之差異性，評估其優劣點與發展性，並說明是否可作為國內未來環境鑑識科學中釐清汙染來源責任歸屬問題的分析工具。</p> <p>3. 建議針對操作成本進行評估說明。</p> <p>4. 後續需彙整分析之準確度、使用時機及使用條件和限制。</p> <p>5. 主要成果符合計畫書之內容，目前進度並無落後情形。</p> <p>6. 可說明本方法之QA/QC程序。</p> <p><b>委員 3 審查意見：</b></p> <p>1. 請依計畫書審查意見回復將探討傳統XRF分析儀與Itrax岩芯掃描儀之差異性列入後續公內容，作為Itrax研究應用之基礎。並分析及經濟效益。</p> |                                                                                                                            | <p>2. 將於期末報告增列傳統 XRF 與 Itrax 岩芯掃描儀之差異性，同時評估其優劣點與發展性。並於期末報告中詳述「滲眉埤汙染案例」，以作為國內未來環境鑑識科學中釐清汙染來源責任歸屬問題的分析工具範例。</p> <p>3. 參考委員建議，將於期末報告增列操作成本之評估。</p> <p>4. 參考委員建議，將於期末報告增列 Itrax 分析之準確度、使用時機及使用條件和限制。</p> <p>5. 感謝委員肯定。</p> <p>6. 參考委員建議，將於期末報告增列 Itrax 分析方法之 QA/QC 程序。</p> <p>1. 將於期末報告增列傳統 XRF 與 Itrax 岩芯掃描儀之差異性，同時評估其優劣點與發展性，作為 Itrax 研究應用之基礎。同時分析及經濟效益。</p> |                                                                        |

**行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」**  
**期中報告初審意見對照表(續二)**

| 計畫年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 105 年度                                                                                                                     | 計畫類型                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <input checked="" type="checkbox"/> 研究計畫 <input type="checkbox"/> 模場試驗 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 計畫類別                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂 | 主持人：張尊國    NO：09                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                        |
| 計畫名稱                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Itrax 應用於環境鑑識之探討                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                        |
| 委員審查意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                            | 計畫單位回覆                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                        |
| <b>委員 4 審查意見：</b><br><br>1. 已依計畫進度及項目確實執行。<br><br>2. 已完成初步結論、成果自評及後續工作說明，應可達成計畫目標。                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                            | 1. 感謝委員肯定。<br><br>2. 感謝委員肯定。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                        |
| <b>委員 5 審查意見：</b><br><br>1. 執行現況、流程及方法已說明。<br><br>2. 計畫後續執行工作項目已說明。<br><br>3. 計畫執行進度與預定進度相符，本計畫至期中報告時執行進度並無落後。<br><br>4. 已有初步成果，初步成果與原計畫目標符合。<br><br>5. 至期中報告時，整體研究成果符合預期。<br><br>6. 已有初步研究成果，且已有初步討論。但對於成果的實務應用與潛在應用性仍待於期末報告時有更進一步的討論。<br><br>7. 研究內容與計畫目的相符，但研究成果的實務應用性仍待期末時具體討論，尤其需與前一年度成果比對。<br><br>8. 5.3節”下風處”建議修改。<br><br>9. 5.3節測得HM的垂直向分佈，其意義建議討論。 |                                                                                                                            | 1. 感謝委員肯定。<br><br>2. 感謝委員肯定。<br><br>3. 感謝委員肯定。<br><br>4. 感謝委員肯定。<br><br>5. 感謝委員肯定。<br><br>6. 感謝委員肯定。將於期末報告詳述「滲漏污染案例」，以作為國內未來環境鑑識科學中釐清污染來源之責任歸屬，進一步針對實務應用與潛在應用性做完整之說明。<br><br>7. 感謝委員肯定。將於期末報告增列關於研究成果的實務應用性說明。併與前一年度研究成果比對後，進行說明與討論。<br><br>8. 遵悉委員意見。已於期中報告修正稿中修改(頁 55)。<br><br>9. 遵悉委員意見。已於期中報告修正稿增列初步相關說明與討論(頁 55)，待其他底泥岩芯檢測數據完成後(6 根底泥岩芯)，研究成果將一併於期末報告呈現。 |                                                                        |

行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究及模場試驗專案」

期中報告初審意見對照表(續三)

|                                                                                                     |                                                                                                                            |                                                                                          |                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 計畫年度                                                                                                | 105 年度                                                                                                                     | 計畫類型                                                                                     | <input checked="" type="checkbox"/> 研究計畫 <input type="checkbox"/> 模場試驗 |
| 計畫類別                                                                                                | <input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂 |                                                                                          | 主持人：張尊國 NO：09                                                          |
| 計畫名稱                                                                                                | Itrax 應用於環境鑑識之探討                                                                                                           |                                                                                          |                                                                        |
| 委員審查意見                                                                                              |                                                                                                                            | 計畫單位回覆                                                                                   |                                                                        |
| <p>委員 5 審查意見：</p> <p>10. 5.4節的第5點，建議討論其意義。</p> <p>本署審查意見：</p> <p>1. 專案基本資料表請更正為計畫徵求書附表 3-2 之格式。</p> |                                                                                                                            | <p>10. 已於期中報告修正稿增列討論內容，本計畫所採集的底泥岩芯隨著深度的增加，其有機物(TOC)含量有遞減的現象發生(頁 63)。</p> <p>1. 依照辦理。</p> |                                                                        |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 計畫年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 105 年度                                                                                                                     | 計畫類型                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <input checked="" type="checkbox"/> 研究計畫 <input type="checkbox"/> 模場試驗 |
| 計畫類別                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 自訂 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 主持人：張尊國 NO：09                                                          |
| 計畫名稱                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Itrax 應用於環境鑑識之探討                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                        |
| 委員審查意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                            | 計畫單位回覆                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                        |
| 委員 1 審查意見：<br>1. 實驗目的中，有提到本計畫可以釐清責任歸屬問題，請問單依賴XRF如何釐清？結論第一點直接推斷工廠利用大雨將非法汙水與汙泥排入滲眉溪造成汙染立論過於武斷直觀，建議於報告中解釋以XRF建立指紋圖譜之有效性以及此結論之合理性。<br>2. 錯別字：第45頁第7行「峰」度值。<br>3. 大小寫：40頁第二段Itrax大小寫不一致。<br>4. 化學符號數字下標請逐頁修正<br><br>委員 2 審查意見：<br>1. 本研究利用 Itrax 岩芯掃描儀可針對不同環境樣本型態(底泥、離子交換樹脂、爐渣等)進行元素種類判定、元素半定量快速篩測與非彈性和彈性散射之比值，同時輔以濕式化學分析做為驗證方法，評估該儀器所提供大量且多元的數據資料對於研判環境污染物質來源之適用性。<br>2. 說明本技術在實場應用時，如何進行QA/QC的控制以及準確度的提升。<br>3. 請進行成本分析，比較本技術和其他技術是否具有成本上的優勢。 |                                                                                                                            | 1. 同意委員意見，已將研究目的修正為”探討傳統 XRF 分析儀...，尤其是否可作為國內未來環境鑑識科學中釐清汙染來源責任歸屬問題的分析工具之一。”(頁 3)。另已於期末報告書增列以 XRF 建立指紋圖譜之有效性以及此結論之合理性的解釋(頁 46)。<br>2. 遵照委員意見。已於期末報告修正稿中修改。<br>3. 遵照委員意見。已於期末報告修正稿中修改。<br>4. 遵照委員意見。已於期末報告修正稿中修改。<br><br>1. 感謝委員肯定。<br>2. 遵照委員意見，已於 4.4 節增列本技術在實場應用時，如何進行 QA/QC 的控制以及準確度的提升(頁 32- 33)。<br>3. 遵照委員意見，已於 4.5 節增列岩芯、樹脂與粉末的成本分析(頁 35- 36)。然 Itrax 檢測 |                                                                        |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>方法是針對底泥剖面做一連續性的多種重金屬濃度分佈現況(間距為 1 mm)的呈現，而傳統濕式化學分析方法是將固定深度底泥混合後檢測之數據。相較於本技術而言，混樣所得之數據資料模糊化導致無法提供足夠資訊作為判讀汙染來源界定之科學證據。</p>                                                                                                                                                                 |
| <p><b>委員 3 審查意見：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 應用 Itrax 技術作為底泥中重金屬之鑑識工作，其相關試驗之 QA/QC，以及實驗室之品保/品管作業程序，應予以詳細說明，以期數據引用或驗證之參考。</li> <li>2. 未來本技術之成本相對極高，如何能有效應用於環境污染物之鑑識工作？請再予以說明。</li> <li>3. 建議補充國外相關 Itrax 之分析實例，並敘明於文獻探討之章節，以輔助說明本技術之應用可行性。</li> <li>4. 有關滲眉埤之污染底泥分析結果，是否可與焚化飛灰進行指紋比對，以確認其排放責任，建議宜有更完整之論述。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照委員意見，已於 4.4 節增列本技術在實場應用時，如何進行 QA/QC 的控制以及準確度的提升(頁 32- 33)。</li> <li>2. 遵照委員意見，已於 4.5 節增列本技術有效應用於環境污染物之鑑識工作(頁 35)。</li> <li>3. 感謝委員意見，會在期末報告中補充國外 Itrax 分析實例(頁 5)。</li> <li>4. 感謝委員意見，因該廠目前處於關廠狀態，加上現今仍屬於私人產權，無法進入廠區取樣，焚化飛灰的取樣有其困難度。</li> </ol> |
| <p><b>委員 4 審查意見：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究內容與計畫目的相符，且整體研究成果符合預期。</li> <li>2. 建議應提出較具參考之經濟效益分析。</li> </ol>                                                                                                                                                                                                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 遵照委員意見，已於 4.5 節增列相關檢測技術之經濟效益分析(頁 35- 36)。然 Itrax 檢測方法是針對底泥剖面做一連續性的多種重金屬濃度分佈現況(間距為 1 mm)的呈現，而傳統濕式化學分析方法是將固定深度底泥混合後檢測之數據。相較於本技術而言，混樣所得之數據資料模糊化導致無法提供足夠資訊作為判讀汙染來源界定之科學證據。</li> </ol>                                            |

|                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. 請提出建議後續應用研究內容及可實地應用之評估                                                                                                                                              | <p>據。</p> <p>3. 底泥岩芯樣品，以 Itrax 岩芯掃描儀進行元素種類判定、元素半定量快篩檢測後，評估將各元素 cps 變化較劇烈之處，輔以定量儀器之濃度轉換值分析以及探討該污染區元素群間之關係。</p>                                |
| <b>委員 5 審查意見：</b>                                                                                                                                                      |                                                                                                                                              |
| <p>1. 本執行現況、流程及方法說明具體</p> <p>2. 計畫執行進度與預定進度相符</p> <p>3. 整體研究成果符合預期</p> <p>4. 根據研究內容所提出之討論與建議合理，但部分成果的解讀與應用條件建議進一步討論</p> <p>5. 研究內容與計畫目的相符</p> <p>6. 研究成果具體：主要為論文發表</p> | <p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員肯定。</p> <p>3. 感謝委員肯定。</p> <p>4. 感謝委員的意見。與其他委員所提意見類似，已分別有回覆。</p> <p>5. 感謝委員肯定。</p> <p>6. 感謝委員建議。</p>              |
| 7. 研究成果的說明建議以實務操作參數加以探討，例如：報告中說明本技術於現地操作所得的結果的合理性討論(5.3節)仍建議具體說明討論。又如p. 45的說明中有一些為「推測」，實際狀況是否如此？                                                                       | 7. p. 45 中之推測，實際狀況是否如此，由 XRF 圖譜可以發現，銅、鋅、硫及鈣在相同深度具有相似的波峰，從而能推斷為同一次污染偷排放所為，又滲眉埤附近之宇鴻為事業廢棄物焚化廠，為半乾式除硫法之飛灰確實同時排放含有銅、鋅、硫、鈣等物質，區域其他工廠並無此特徵，故而推斷之。  |
| 8. P. 46的說明再提供更完整的討論                                                                                                                                                   | 8. 遵照委員意見，增列以 XRF 建立指紋圖譜之有效性以及此結論之合理性的解釋(頁46)。                                                                                               |
| 9. 本技術的應用限制條件(5.4節的結果仍待進一步的說明)或是適用條件(例如：地點距離、水流速度、放置時間(接觸時間)的建議、干擾因子...等)? 建議說明討論                                                                                      | 9. 陰離子樹脂而言接觸時間達 30 分鐘，樹脂對重金屬的吸附效率可達 50%以上。而若要佈放樹脂於現地中，可能受競爭吸附或其他離子干擾，建議連續監測時間以不超過 7 天為限。且樹脂對較嚴重的污染行為進行監測時較為有效，需逐步佈放漸進限縮範圍才能達到鎖定監測區域所有污染源的要求。 |

## 專案基本資料表

|               |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                   |                                                                        |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 專案性質          | <input checked="" type="checkbox"/> 實驗性質 <input type="checkbox"/> 非實驗性質                                                                                                                                                                           | 專案類別(單選)                                                                                          | <input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗 |
| 研究主題          | <input type="checkbox"/> 調查 <input checked="" type="checkbox"/> 預防 <input type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 自訂                                                                                                                        |                                                                                                   |                                                                        |
| 申請機構系所        | 國立台灣大學生物環境系統工程學系                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                   |                                                                        |
| 機構地址          | 台北市羅斯福路四段1號                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                   |                                                                        |
| 計畫主持人         | 張 尊 國                                                                                                                                                                                                                                             | 職等/職稱                                                                                             | 教 授                                                                    |
| 協同主持人         | 林 聖 淇                                                                                                                                                                                                                                             | 職等/職稱                                                                                             | 助理教授                                                                   |
| 專案<br>名稱      | 中文                                                                                                                                                                                                                                                | Itrax 應用於環境鑑識之探討                                                                                  |                                                                        |
|               | 英文                                                                                                                                                                                                                                                | Study the applicability of Itrax for environmental forensics                                      |                                                                        |
|               | 關鍵字                                                                                                                                                                                                                                               | 環境鑑識(environmental forensics)、底泥(sediments)、土壤(soil)、離子交換樹脂(Ion Eexchange Resin)、重金屬(Heavy Metal) |                                                                        |
| 執行期程          | <input checked="" type="checkbox"/> 1 年期 <input type="checkbox"/> 2 年期 (第____年) <input type="checkbox"/> 3 年期 (第____年)<br>自 民 國      1 0 4      年,      1 1      月      1 7      日 起<br>至 民 國      1 0 5      年      1 1      月      1 6      日 止 |                                                                                                   |                                                                        |
| 計畫主持人         | 姓名：張尊國      E-mail：tknchang@ntu.edu.tw                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                   | 專線：02-33663466<br>手機：0916033178                                        |
| 專任助理          | 姓名：無      E-mail：                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                   | 專線：<br>手機：                                                             |
| 經費<br>分析<br>表 | 專 案 預 估 經 費                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                   | 金 額                                                                    |
|               | 1.                                                                                                                                                                                                                                                | 人事費用                                                                                              | 440,000                                                                |
|               | 2.                                                                                                                                                                                                                                                | 貴重儀器使用含維護費                                                                                        | 150,000                                                                |
|               | 3.                                                                                                                                                                                                                                                | 消耗性器材與主要費用                                                                                        | 209,692                                                                |
|               | 4.                                                                                                                                                                                                                                                | 其它研究相關費用                                                                                          | 62,900                                                                 |
|               | 5.                                                                                                                                                                                                                                                | 雜項費用                                                                                              | 47,408                                                                 |
|               | 6.                                                                                                                                                                                                                                                | 行政管理費                                                                                             | 90,000                                                                 |
|               | 專案計畫申請總金額                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                   | 1,000,000                                                              |

專案主持人(簽名及蓋章)： 張尊國

日期： 105/12/18

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

## 105 年度專案成果績效自評表

### 一、專案基本資料

填表日期：105 年 10 月 12 日

|        |                                                                                                                            |       |                                                                        |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|
| 專案性質   | <input checked="" type="checkbox"/> 實驗性質 <input type="checkbox"/> 非實驗性質                                                    | 專案類別  | <input checked="" type="checkbox"/> 研究專案 <input type="checkbox"/> 模場試驗 |
| 研究主題   | <input type="checkbox"/> 調查 <input type="checkbox"/> 整治 <input checked="" type="checkbox"/> 評估 <input type="checkbox"/> 底泥 |       |                                                                        |
| 申請機構系所 | 台灣大學生物環境系統工程學系                                                                                                             | 計畫主持人 | 張尊國    教授                                                              |
| 專案名稱   | Itrax 應用於環境鑑識之探討                                                                                                           |       |                                                                        |
| 專案執行期程 | <input type="checkbox"/> 申請階段 <input type="checkbox"/> 期中 <input checked="" type="checkbox"/> 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「結案達成數」欄位中。

#### (一) 學術面

| 目標達成程度                   |                |          | 申請<br>預估數 | 期中<br>達成數 | 期末<br>達成數 | 結案<br>達成率 | 備註<br>(說明未達成原因或學術產出<br>發表日期、發表處、發表名稱、<br>影響指數等)                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 項目                       |                |          |           |           |           |           |                                                                                                                                                                                                                                           |
| A<br>學術<br>產出<br>及<br>活動 | 1.國內投稿<br>(篇數) | (1)論文    |           |           |           |           |                                                                                                                                                                                                                                           |
|                          |                | (2)研討會論文 | 1         | 0         | 1         | 100%      | 中華民國環境工程學會<br>2015 廢水處理技術研討會<br>『陽離子交換樹脂(IR-120)<br>對重金屬的吸附效率與影響<br>因子之探討』                                                                                                                                                                |
|                          | 2.國外投稿<br>(篇數) | (1)期刊論文  | 1         | 0         | 0         | 0%        | 撰寫中擬投稿 ES&T，題目暫<br>定為『A novel approach to<br>measure elemental concen-<br>trations in cation exchange<br>resins using XRF-scanning<br>technique, and its potential in<br>water pollution studies』                                         |
|                          |                | (2)研討會論文 | 1         | 0         | 1         | 100%      | European Geosciences Union<br>(EGU) General Assembly<br>2016 『A novel approach to<br>measure elemental concen-<br>trations in cation exchange<br>resins using XRF-scanning<br>technique, and its potential in<br>water pollution studies』 |

# Itrax 應用於環境鑑識之探討

| 項目                    |                   | 目標達成程度        | 申請<br>預估數 | 期中<br>達成數 | 期末<br>達成數 | 結案<br>達成率 | 備註<br>(說明未達成原因或學術產出<br>發表日期、發表處、發表名稱、<br>影響指數等) |
|-----------------------|-------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------------------|
|                       | 3.報告<br>(篇數)      | (1)技術報告       |           |           |           |           |                                                 |
|                       |                   | (2)研究報告       |           |           |           |           |                                                 |
|                       | 4.專著 (本數)         |               |           |           |           |           |                                                 |
|                       | 5.辦理學術<br>會議(場數)  | (1)研討/說明<br>會 |           |           |           |           |                                                 |
|                       |                   | (2)成果發表<br>會  |           |           |           |           |                                                 |
|                       |                   | (3)論壇         |           |           |           |           |                                                 |
| B<br>人<br>才<br>培<br>育 | 6.研發改良<br>技術(項數)  | (1)已開發技<br>術  |           |           |           |           |                                                 |
|                       |                   | (2)技術平台       |           |           |           |           |                                                 |
|                       | 7.研發人員<br>(人數)    | (1)碩士         | 1         | 0         | 1         | 100%      | 論文撰寫與實驗室數據<br>分析檢討中。                            |
|                       |                   | (2)博士         | 1         | 0         | 0         | 0         |                                                 |
|                       | 8.研究團隊<br>(個數)    | (1)跨領域團<br>隊  |           |           |           |           |                                                 |
|                       |                   | (2)跨國團隊       |           |           |           |           |                                                 |
|                       |                   | (3)跨機構團<br>隊  |           |           |           |           |                                                 |
|                       |                   | (4)形成研究<br>中心 |           |           |           |           |                                                 |
|                       |                   | (5)形成實驗<br>室  |           |           |           |           |                                                 |
|                       | 9.其他指標<br>(請自行命名) |               | (請自填)     |           |           |           |                                                 |

## (二) 產業面

| 項目 \ 目標達成程度       |                  |             |       | 申請<br>預估數 | 期中<br>達成數 | 期末<br>達成數 | 結案<br>達成率 | 備註<br>(說明未達成原因或專利、技術轉移相關詳細資料)         |  |
|-------------------|------------------|-------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------------|--|
| A<br>智慧財產權        | 1.專利<br>(件數)     | 已核准         | 發明    |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  |             | 新型/設計 |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  |             | 合計    |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  | 申請中         | 發明    | 1         | 0         | 0         | 0         | 透過本校研發處與專利公司完成專利內容撰寫，預計於10月底完成專利送件工作。 |  |
|                   |                  |             | 新型/設計 |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  |             | 合計    |           |           |           |           |                                       |  |
| B<br>研發技術轉移       | 2.先期技術<br>成果移轉   | 件數          |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  | 授權金(仟元)     |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  | 衍生利益金(仟元)   |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   | 3.技術移轉<br>(專利)   | 件數          |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  | 授權金(仟元)     |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  | 衍生利益金(仟元)   |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   | 4.技術移轉<br>(應用技術) | 件數          |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  | 授權金(仟元)     |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  | 衍生利益金(仟元)   |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   | 5.可移轉<br>產業技術    | (1)技術(件數)   |       |           |           |           |           |                                       |  |
|                   |                  | (2)品種/系(件數) |       |           |           |           |           |                                       |  |
| 6.其他指標<br>(請自行命名) |                  | (請自填)       |       |           |           |           |           |                                       |  |

## Itrax 應用於環境鑑識之探討

### (三) 政策面

| 目標達成程度<br>項目          |                      |        | 申請預<br>估數 | 期中<br>達成數 | 期末<br>達成數 | 結案<br>達成率 | 備註<br>(說明未達成原因或<br>其他詳細資料) |
|-----------------------|----------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| A<br>服<br>務<br>便<br>民 | 1.技術服務               | 次數     |           |           |           |           |                            |
|                       |                      | 收入(仟元) |           |           |           |           |                            |
|                       | 2.諮詢服務               | 次數     |           |           |           |           |                            |
|                       |                      | 收入(仟元) |           |           |           |           |                            |
| B<br>支<br>援<br>合<br>作 | 3.協助政府<br>制定<br>(件數) | (1)政策  |           |           |           |           |                            |
|                       |                      | (2)法規  |           |           |           |           |                            |
|                       |                      | (3)規範  |           |           |           |           |                            |
|                       |                      | (4)標準  |           |           |           |           |                            |
| 4.其他指標<br>(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）

違法偷排含重金屬廢水或廢棄物在台灣是造成土壤與底泥污染的最大威脅，對環境的殘害與影響正逐漸對生活在這片土地的居民產生傷害。底泥是污染物的最終受體之一，底泥中的污染物可經由地質化學反應及再懸浮等原因進入水體或農田中，造成二次污染的情事發生。環境鑑識科學係結合眾多特殊的快速篩選工具、搭配高階精密分析儀器以及地質化學、環境物質流佈及擴散模式等跨領域科學研析整合，輔以嫺熟之環保專業知識，達到指紋辨識及污染源確認等目的。隨著污染物質種類包羅萬象、來源日益複雜，本研究希冀利用 Itrax 岩芯掃描儀可針對不同環境樣本型態(底泥、離子交換樹脂、爐渣等)進行元素種類判定、元素半定量快速篩測與非彈性和彈性散射之比值(incoherent over coherent scattering, inc/coh)，同時輔以濕式化學分析做為驗證方法，藉由統計軟體協助判定及資料庫的協助比對搜尋，進一步評估該儀器所提供大量且多元的數據資料對於研判環境污染物質來源之適用性。Itrax 岩芯掃描儀非接觸式、非破壞性的分析，可以在提供高品質且高精度的數據之同時保持樣品的原始性和完整性，其掃描解析度最高可達到 200 微米，可偵測包含從鋁(Al)到鈾(U)之間數十種元素。本研究探討對象包括底泥與廢棄爐渣所含目標元素種類與濃度篩測、底泥與離子交換樹脂的非彈性和彈性散射之比值等；探討傳統 XRF 分析儀與 Itrax 岩芯掃描儀之差異性，評估其優劣點與發展性，並以實際案例探討其是否可作為國內未來環境鑑識科學中釐清污染來源責任歸屬問題的分析工具之一。

## 摘要

違法偷排含重金屬廢水或廢棄物在台灣是造成土壤與底泥污染的最大威脅，對環境的殘害與影響正逐漸對生活在這片土地的居民產生傷害。本研究以桃園市大園區滲眉埤污染案為探討對象，利用 Itrax 岩芯掃描儀針對底泥進行元素種類判定、元素半定量快速篩測與非彈性和彈性散射之比值( $Moi/c_{oh}$ )，評估該儀器所提供大量且多元的數據資料對於研判環境污染物質來源之適用性。研究資料顯示滲眉埤岩芯所含元素包括矽、鈣、鐵、錳、鎳、銅、鉛、鉻與鋅等 9 種。其中，錳、鋅、銅與鈣的濃度含量在不同底泥岩芯剖面深度的變化趨勢有相似之處。合理懷疑該工廠利用大雨或假日將時，連帶將噴入大量碳酸鈉和石灰溶液至滌塵器中使其和煙道氣發生酸鹼中和的物質一併連同非法污水與污泥排入滲眉埤所致。如果採用傳統底泥混樣的分析方式，會因底泥所含重金屬濃度均勻化而無法顯示出金屬濃度隨岩芯深度而有連續檢測數據的特性，這也正是凸顯 Itrax 檢測技術的優勢所在。最後，本計畫認為 Itrax 岩芯掃描儀之檢測數據靈敏度佳、元素種類判定多元與岩芯連續掃描等特性，可作為國內未來環境鑑識科學中釐清污染來源責任歸屬問題的分析工具之一。

## Abstract

Illegal wastewater discharge containing heavy metals pose the greatest threat to Taiwan's soil and sediment contamination. The impact on the environment and gradually harmed on the people living in this land. In Sheng-Mei pond pollution case study, we aimed to use Itrax core scanner patterns for sediment samples to determine the type of elements, the elements and the ratio of the inelastic scattering and elastic (incoherent over coherent scattering, inc/coh), further evaluate the suitability of large and diverse data sources to environmental pollutants judgments of the instruments provided. Research data show the "Sheng-Mei pond" core contains elements include nine kinds of silicon, calcium, iron, manganese, nickel, copper, lead, chromium and zinc and so on. Manganese, zinc and copper content concentration consistent in different sediment core cross-sectional trends depth. In heavy rain or on holidays, reasonably suspect that the plant will be sprayed with a large number of sodium carbonate and lime solution to the dust and the flue gas to acid-base neutralization of the material together with the illegal sewage and sludge discharged into the pond due. If the traditional method of sediment mixing sample analysis, sediment concentration of heavy metals contained in the metal concentration can not be shown with the core depth and continuous testing data characteristics. It is also highlighting the advantages of the Itrax detection technology. Finally, the project considered that the detection data of Itrax core scanner had good sensitivity, multi-element classification and continuous scan of core, which could be used as one of the analytical tools to clarify the attribution of pollution source responsibility, especially as one of the environmental forensics tool to clarify the sources of pollution in future.

## 目次

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 一、前言                                | 1  |
| 二、研究目的                              | 3  |
| 三、文獻探討                              | 4  |
| 3.1 底泥重金屬(Heavy metals of sediment) | 4  |
| 3.2 爐渣(Slag)                        | 6  |
| 3.3 離子交換樹脂(Ionic exchange resin)    | 8  |
| 3.4 X-射線螢光光譜儀(XRF)                  | 10 |
| 四、研究方法與過程                           | 13 |
| 4.1 研究架構                            | 13 |
| 4.2 研究區域                            | 15 |
| 4.3 研究方法                            | 22 |
| 4.4 實驗分析技術                          | 27 |
| 4.5 Itrax 檢測成本分析                    | 35 |
| 4.6 工作進度甘特圖                         | 37 |
| 五、結果與討論                             | 39 |
| 5.1 陰離子樹脂吸附實驗                       | 39 |
| 5.2 滲眉埤底泥採樣                         | 44 |
| 5.3 滲眉埤底泥岩芯分析檢測                     | 45 |
| 5.4 結論與建議                           | 62 |
| 六、參考文獻                              | 64 |
| 七、附錄                                | 67 |

## 圖次

|       |                                                              |    |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 圖3.1  | 水體底泥形成過程 .....                                               | 4  |
| 圖3.2  | 氧化矽 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三相圖 .....       | 6  |
| 圖3.3  | Itrax-XRF 岩芯掃描儀外觀 .....                                      | 10 |
| 圖3.4  | Itrax 岩芯掃描儀中心塔內部結構 .....                                     | 11 |
| 圖3.5  | Itrax 掃描結果實例(以南崁溪口岩芯為例) .....                                | 11 |
| 圖3.6  | 理想狀態下 Itrax 之偵測極限 .....                                      | 12 |
| 圖3.7  | Itrax 岩芯掃描儀非彈性和彈性散射之比值實例 .....                               | 12 |
| 圖4.1  | 研究流程架構圖 .....                                                | 14 |
| 圖4.2  | 桃園縣滲眉埤景觀圖(過去與現狀) .....                                       | 16 |
| 圖4.3  | 2-2-6 小組灌區範圍圖 .....                                          | 18 |
| 圖4.4  | 2-2-6 小組灌區範圍地籍套繪 .....                                       | 19 |
| 圖4.5  | 滲眉埤下游灌渠水路 .....                                              | 20 |
| 圖4.6  | 滲眉埤上游灌溉水路及照片位置示意圖 .....                                      | 21 |
| 圖4.7  | 滲眉埤埤塘底泥岩心採樣位置分佈圖 .....                                       | 22 |
| 圖4.8  | 滲眉埤上游水源水質監視點(桃園農田水利會設置) .....                                | 23 |
| 圖4.9  | 實驗過程相關紀錄及照片說明 .....                                          | 26 |
| 圖4.10 | X-射線螢光光譜儀(I-Trax) .....                                      | 27 |
| 圖4.11 | X-射線螢光光譜儀測定原理 .....                                          | 28 |
| 圖4.12 | I-Trax 樣本專用塑膠盒( $1*1*0.5\text{ cm}^3$ ) .....                | 28 |
| 圖4.13 | Itrax 偵測所得之能量散佈譜線(Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) ..... | 30 |
| 圖4.14 | 不同暴露時間之二重複試驗結果 .....                                         | 30 |
| 圖4.15 | 不同含水量之二重複試驗結果 .....                                          | 31 |
| 圖 5.1 | 鐵氰酸根與樹脂吸附濃度圖 .....                                           | 43 |
| 圖 5.2 | 硫酸根與樹脂吸附濃度圖 .....                                            | 43 |
| 圖 5.3 | SMP-05-3 Itrax 岩芯掃描圖 .....                                   | 47 |
| 圖 5.4 | SMP-05-4 Itrax 岩芯掃描圖 .....                                   | 48 |
| 圖 5.5 | SMP-05-6 Itrax 岩芯掃描圖 .....                                   | 49 |

|        |                           |    |
|--------|---------------------------|----|
| 圖 5.6  | SMP-05-8 Itrax 岩芯掃描圖..... | 50 |
| 圖 5.7  | Itrax 岩芯掃描圖-鈣(Ca).....    | 51 |
| 圖 5.8  | Itrax 岩芯掃描圖-鉻(Cr).....    | 52 |
| 圖 5.9  | Itrax 岩芯掃描圖-銅(Cu).....    | 53 |
| 圖 5.10 | Itrax 岩芯掃描圖-錳(Mn).....    | 54 |
| 圖 5.11 | Itrax 岩芯掃描圖-鎳(Ni).....    | 55 |
| 圖 5.12 | Itrax 岩芯掃描圖-鉛(Pb).....    | 56 |
| 圖 5.13 | Itrax 岩芯掃描圖-硫(S).....     | 57 |
| 圖 5.14 | Itrax 岩芯掃描圖-鈦(Ti).....    | 58 |
| 圖 5.15 | Itrax 岩芯掃描圖-鋅(Zn).....    | 59 |

## 表次

|       |                                                                               |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 表3.1  | 台灣地區事爐渣事件一覽表.....                                                             | 7  |
| 表3.2  | 陰離子空白樹脂(E00)與監測點位目標元素 XRF 峰度值異常一覽..                                           | 9  |
| 表4.1  | 桃園市大園區滲眉埤底泥背景資料一覽表.....                                                       | 22 |
| 表4.2  | 支線取水口監視點水質資料.....                                                             | 24 |
| 表4.3  | 鐵氰酸根子( $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ )與硫酸根( $\text{SO}_4^{2-}$ )之設計濃度一覽表..... | 25 |
| 表4.4  | 實驗分析儀器.....                                                                   | 33 |
| 表4.5  | 實驗藥品一覽表.....                                                                  | 34 |
| 表4.6  | 基本岩芯分析 radiography + XRF.....                                                 | 35 |
| 表4.7  | 進階岩芯分析* radiography + XRF + Magnetic Susceptibility.....                      | 35 |
| 表4.8  | 粉末/樹脂樣本* (樣本長度：1cm).....                                                      | 35 |
| 表4.9  | Q-spec 校正及繪圖(Itrax-plot).....                                                 | 36 |
| 表4.10 | 土壤重金屬檢測費用.....                                                                | 36 |
| 表4.11 | 工作進度甘特圖.....                                                                  | 37 |
| 表5.1  | 實驗程序敘述一覽表.....                                                                | 39 |
| 表5.2  | 陰離子交換樹脂吸附鐵氰化合物數據結果表.....                                                      | 41 |
| 表5.3  | 陰離子交換樹脂吸附鐵氰化合物 Itrax 數據一覽表.....                                               | 42 |
| 表5.4  | 滲眉埤採樣底泥濃度結果(XRF_乾基)-表土(0-15 cm).....                                          | 60 |
| 表5.5  | 滲眉埤採樣底泥濃度結果(XRF_濕基)-表土(0-15 cm).....                                          | 61 |

## 一、前言

隨著工業和現代化的發展，人口的增長和人口高度集中，人類的生產活動和消費活動對環境的污染日益嚴重，突出表現在城市環境惡化、江河湖泊污染和自然生態的破壞等方面。環境鑑識科學係結合各種檢測分析技術及地質化學、環境輸送及擴散模式等跨領域工具，達到指紋辨識及污染源確認等目的，在環境管理或執法裁罰上是強有力的科學依據，應用面也日益拓展中(阮國棟等，2011)。違法偷排含重金屬廢水在台灣是造成土壤與底泥污染的最大威脅，對環境的殘害與影響正逐漸對生活在這片土地的居民產生傷害。人類之活動對自然生態環境造成或輕或重的衝擊。台灣地區因事業之廢污水放流系統與農業之灌溉用水系統未完全分離，使得灌溉用水含污染物質，透過河川渠道遭受污染的農地達危害與預警管制系統等級區域約占全國農地 2.65%，約 1.5 萬公頃列入高污染潛勢範圍。

工業革命之後，科學與技術帶來了新的物質文明，提高了人類之生活水準，但隨之而來的廢棄物，亦污染了人類賴以生存的自然環境(劉黔蘭，1998)。社會發生特定重大污染事件時，對周遭環境與居民身心健康的衝擊往往造成巨大損失，後續國家也需支付龐大資源進行環境復育與整治的工作。鋼鐵廠產出的廢爐渣遭隨意掩埋的消息時有所聞，隨著時間的演進，廢爐渣的累積數量將日益增加，此一議題將是台灣環境不可不面對的沉疴。底泥是污染物的最終受體之一，底泥中的污染物可經由地質化學反應及再懸浮等原因進入水體或農田中，造成二次污染的情事發生。底泥污染物的命運與傳輸非常複雜，不只跟物理/化學特性有關，也跟底泥所沉積的水體類型有所關聯。底泥的重金屬污染很多來自於碳酸鹽、硫化物、磷酸鹽的沉降，或是底泥、黏土本身包含的有機物，這些污染多半會徹底改變底泥的狀態(Tessier et al.,1979)。

環境鑑識科學係結合眾多特殊的快速篩選工具、搭配高階精密分析儀器以及地質化學、環境物質流佈及擴散模式等跨領域科學研析整合，輔以嫻熟之環保專業知識，達到指紋辨識及污染源確認等目的。凌永健(2011)將被動式滲透膜應用於環境水質中重金屬採樣檢測，能現場量測水中的微量重金屬濃度。張尊國(2015)利用樹脂離子交換為基材做成重金屬監測包(稱之為「樹脂縮時記錄膠囊」)，大量將其投放於監測之區域，一段時間後收回監測包測定所吸附之重金屬，污染源的分布特性即被有效掌握。在可預見的未來，分析環境樣本包含的元素項目將更加多元與複雜，因此功

能強大與分析效率將是未來環境鑑識科學最基本的要求。伴隨科技進步與分析儀器的日新月異，環境樣本數據資料量的膨脹是趨勢也是必然。後續藉由統計軟體協助判定及資料庫的比對搜尋，對於研判環境污染物質來源有莫大助益。

**環境污染**(environment pollution)是指人類直接或間接地向環境排放超過其自淨能力的物質或能量，從而使環境的質量降低，對人類的生存與發展、生態系統和財產造成不利影響的現象。農地受污染的事實存在，但是污染源卻追查困難，重金屬在農地又具有累積性，污染行為常伴隨廢污水分佈在田間，呈現農地受多種重金屬污染的現況。許多已經復育完成之農地依然種出重金屬含量超過食米重金屬限量標準之稻米，須再進行補充調查，若污染潛勢存在，應檢討整體復育的策略。台灣之農地污染大部分發生在水田，主要係因水田需要大量灌溉用水，若灌溉水質之管理不善將導致農田暴露污染風險之中，且呈現系統性之問題(張尊國，2012)。環境污染問題越來越成為世界各個國家的共同課題之一。

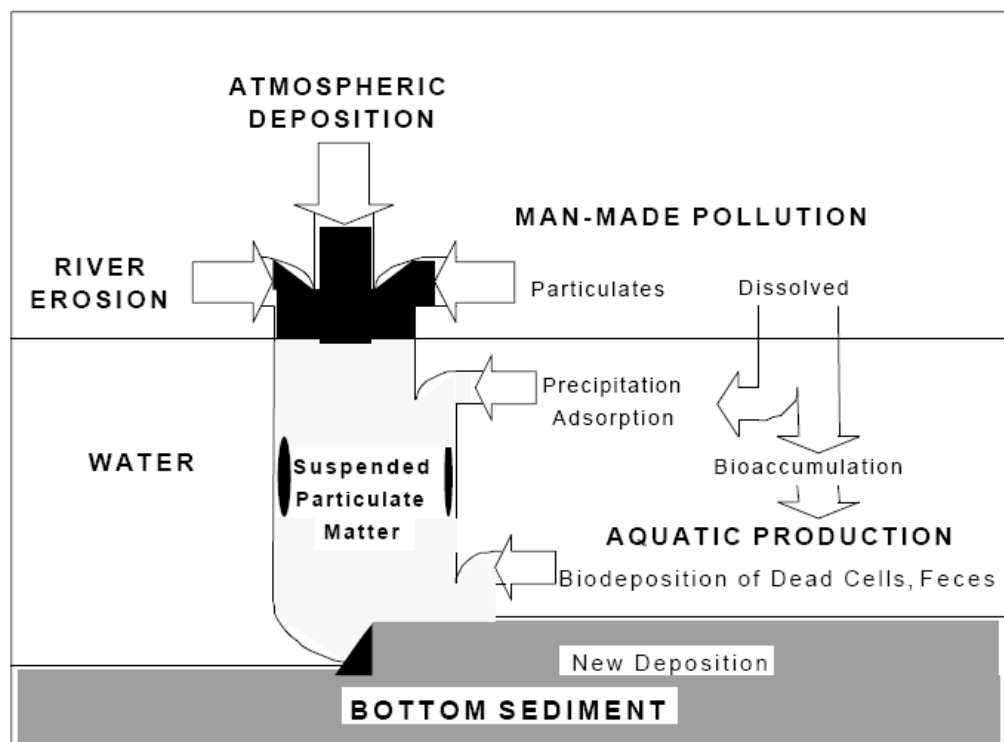
## 二、研究目的

環境鑑識科學係結合眾多特殊的快速篩選工具、搭配高階精密分析儀器以及地質化學、環境物質流佈及擴散模式等跨領域科學研析整合，輔以嫺熟之環保專業知識，達到指紋辨識及污染源確認等目的。隨著污染物質種類包羅萬象、來源日益複雜，本研究希冀利用 Itrax 岩芯掃描儀可針對不同環境樣本型態(底泥、離子交換樹脂、爐渣等)進行元素種類判定、元素半定量快速篩測與非彈性和彈性散射之比值(incoherent over coherent scattering, inc/coh)，同時輔以濕式化學分析做為驗證方法，藉由統計軟體協助判定及資料庫的協助比對搜尋，進一步評估該儀器所提供大量且多元的數據資料對於研判環境污染物質來源之適用性。本研究探討對象包括底泥與廢棄爐渣所含目標元素種類與濃度篩測、底泥與離子交換樹脂的非彈性和彈性散射之比值等；探討傳統 XRF 分析儀與 Itrax 岩芯掃描儀之差異性，評估其優劣點與發展性，尤其是否可作為國內未來環境鑑識科學中釐清污染來源責任歸屬問題的分析工具之一。

### 三、文獻探討

#### 3.1 底泥重金屬(Heavy metals of sediment)－

工業的快速發展下，因人類活動伴隨而來的環境問題層出不窮，對我們居住的地方和自然環境帶來了不少的衝擊，例如空氣污染、水污染、廢棄物傾倒等等。有毒的、不可生物降解的金屬釋放至環境中後，會隨著食物鏈與生物體累積放大效應導致水生生物和人類健康受到危害(Pietro et al., 2013)。河川底泥中天然來源之金屬物種為地質原生礦物；人為來源的金屬物種為人類活動所造成，其特徵則係因離子吸附、化學錯合及金屬共沉降等作用而形成底泥(Gemma, 1997; Chlopecka, 1996)。河岸沖蝕物為河川底泥無機體的主要來源，此類無機體包含礫石、砂、淤泥及黏土質等，無機物構成的底泥與其地理及地質的特徵有關；河川中有機物的沉降，其中包括水中生物的死亡體與水中生物體的排泄物(Literathy et al., 1987)，形成過程如圖 3.1 所示。



資料來源：Literathy et al., 1987

圖 3.1 水體底泥形成過程

研究顯示底泥中重金屬之濃度常是水體中溶解相濃度的  $10^3$  倍~ $10^5$  倍(Balls, 1989)。劉仁煜(2007)研究結果顯示重金屬濃度隨著土壤粒徑減小而增加；蘇群仁(2000)針對底泥進行萃取實驗，發現大部分底泥中重金屬

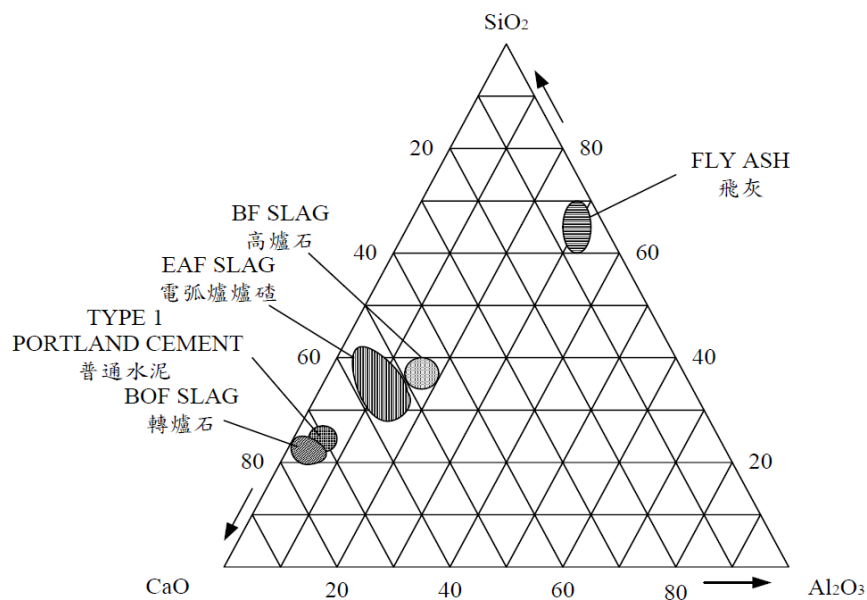
濃度分佈，與有機物含量與殘餘態的分佈有關。大多數的重金屬種類對水體生物而言是有害的；在受污染的土壤中，Cu 與 Zn 被認為具有抑制微生物活動的效果，且因重金屬種類及化學型態的不同，對於環境生態的毒性也有所差異，除少數重金屬外，重金屬在水體中對人體或水生的生物具有慢毒性，重金屬化學型態的改變，其毒性往往增強數倍至數十倍，如汞轉為有機汞的毒性(Brynhildsen and Rosswall,1997)。Helen(2014)在英國最大的湖—溫德米爾湖的底泥沉積物中，利用 Itrax 高分辨率的優勢探討污染沉積記錄。沉積記錄表明，雖然大多數元素濃度已經穩定，但自從 20 世紀 30 年代以來，鉛，鋅和銅濃度已顯著增加。鉛同位素下確定了人為（工業）鉛的三個主要來源，包括汽油鉛，煤燃燒鉛（最可能來源於燃煤蒸汽船和源自石炭系 Pb-Zn 礦化（採礦活動）。重金屬增加可能是由於採礦停止後洪水引起的金屬沖洗和流域基岩的風化所導致的。

懸浮顆粒物質在自然環境水體中是重要的組成之一，無論是由沉積物再懸浮或是膠結和沉澱等作用所新生成的顆粒對於水體中化學物質的可利用性、傳輸、循環及宿命都扮演相當重要的角色(Turner and Millward, 2002)。化學反應多屬可逆反應，因此，底泥的重金屬可藉由環境因子的改變，導致已沈澱之重金屬的再釋出。河川或湖泊底部通常為厭氧狀態，流量的改變使得底泥出現厭氧與好氧兩種不同環境條件更替，而構成底泥重金屬再釋出的條件(Calmano *et al.*, 1993)。

有機物為自然水體中的主要有機配位基，可分為動、植物的組織分解後所產生之胺基酸、廢水所含之清潔劑及螯合劑，如 ethylene dimine tetraacetic acid (EDTA)、nitrilotriacetic acid (NTA)、Pesticides 及其他大分子聚合物。在各類有機質中，水體中以腐植質佔有比例為最高，而腐植質的金屬結合態，為水體中金屬的重要存在型態(Masataka,1992)，金屬與有機錯合物的膠結是底泥中金屬之有機結合相的主要途徑。底泥中之有機物通常以腐植酸及黃酸佔大部分，具有強大之金屬吸附能力，腐植酸之金屬吸附能力大約是 200 - 600 meq metals/100g humic acid (Förstner and Wittmann, 1983)，Cu 及 Hg 與腐植質有較強的錯合能力，Tsai *et al.* (1998) 對台灣南部受重金屬嚴重污染的河川研究，發現約有 70 % 以上之 Cu 以有機物結合態存在；LÓpez-SÁnchez *et al.* (1996) 對西班牙河川底泥研究與有機物結合的 Cu 含量約為 48-76 %；Savvides *et al.*(1995) 希臘對於河口底泥之調查，Cu 的比例約為 61-51 %。

### 3.2 爐渣(Slag)－

電弧爐爐渣係電弧爐煉鋼過程所產生的副產物，每年全國副生之爐渣約 100 萬噸。電弧爐煉鋼廠所產出之副產物及廢棄物中以氧化矽為最大宗，集塵灰及污泥次之，電弧爐煉鋼均為批次作業，冶煉過程依其化學反應分成三個階段，分別為熔解期、氧化期及還原期。爐石是煉鋼過程所產生的副產物，其成分屬鈣鋁矽酸鹽。主要成份為氧化矽( $\text{SiO}_2$ )、氧化鋁( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、氧化鈣( $\text{CaO}$ )、氧化鎂( $\text{MgO}$ )及氧化鐵( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )等成份所形成的矽酸鹽與鐵酸鹽化合物。煉鋼氧化矽從冶金化學角度上分析，主要是含鈣、鎂、鋁、鐵和矽等元素組成的  $\text{CaO}(\text{MgO})\text{-Al}_2\text{O}_3(\text{Fe}_2\text{O}_3)\text{-SiO}_2$  三元系統(如圖 3.2 所示)，介於矽酸鹽水泥熟料和高爐爐渣間之產物；由礦物組成上觀察，一般煉鋼氧化矽均含有矽酸三鈣(C3S)、矽酸二鈣(C2S)、鐵鋁酸鈣(C4AF)、鐵酸鈣(C2F)、鈣鎂橄欖石(CMS)、鎂薔薇輝石(C3MS2)和少量游離氧化鈣及 RO 相等多種礦物(孫樹杉，1999a；孫樹杉，1999b)，其中矽酸鈣、鐵鋁酸鈣等是活性組份，具有膠凝性，鈣鎂橄欖石和鎂薔薇輝石是惰性礦物，而游離氧化鈣是有害物質，RO 相是鎂、鐵和錳及少量鈣等二價氧化物的固溶體，通常是穩定的(楊志祥，2006)。



資料來源：陳立(2003)

圖 3.2 氧化矽  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  三相圖

爐渣可能來自水淬爐、轉爐、電弧爐...等，種類很多，其中以汽機車資源回收再利用的電弧爐渣最毒。因汽車烤漆含有許多重金屬，回收煉

鋼廠熔煉會產生兩種毒害，一種是集塵灰，戴奧辛含量很高；另一種就是廢爐渣，重金屬含量很高，其中鉻、鎳、銅、砷、鉛、鎘、鋅等許多成分都超過土壤管制標準。再者，金屬資源再生技術發展概況分析(2009)第四章金屬資源再生技術介紹第四節原料反射爐冶煉，冶煉的溫度為 1100℃，最高則為 1200℃，冶煉時間約為 20 小時，然後爐渣含有  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$  及 Pb 1~3%。因為不肖業者貪圖暴利，便宜行事，以代處理之名，恣意將上述含高濃度重金屬的爐渣隨處掩埋，導致環境土壤暴露在受重金屬污染的高風險情況層出不窮(表 3.1)。

表 3.1 台灣地區事爐渣事件一覽表

| 編號 | 污染事件                          | 發生時間       | 發生地點       | 處理結果        |
|----|-------------------------------|------------|------------|-------------|
| 1  | 南市議員爆料 爐渣田種向日葵<br>憂流市面        | 2015.08.17 | 台南市        | 環保單位查無實據    |
| 2  | 40 萬噸爐渣埋農地 再出租種稻<br>7 萬斤汙米恐下肚 | 2015.08.14 | 台南市學甲區     | 依環保法規開單告發   |
| 3  | 民眾發現后里神岡區爐渣填農路                | 2015.07.23 | 神岡區        | 依環保法規開單告發   |
| 4  | 廢棄物傾倒高屏溪邊 2 個月未<br>見清運        | 2015.03.17 | 高雄         | 環保單位近期會執行清運 |
| 5  | 爐渣侵農地、毒入水保區 竟無法<br>可管         | 2014.05.28 | 高雄市旗山區     | 依環保法規開單告發   |
| 6  | 千噸廢棄爐石亂倒 瑪家.萬巒居<br>民抗議        | 2008.05.15 | 屏東縣瑪家鄉與萬巒鄉 | 環保單位到場了解    |

### 3.3 離子交換樹脂(Ionic exchange resin)－

農地受污染的事實存在，但是污染源卻追查困難，重金屬在農地又具有累積性，污染行為常伴隨廢污水分佈在田間，呈現農地受多種重金屬污染的現況。許多已經復育完成之農地依然種出重金屬含量超過食米重金屬限量標準之稻米，須再進行補充調查，若污染潛勢存在，應檢討整體復育的策略。台灣之農地污染大部分發生在水田，主要係因水田需要大量灌溉用水，若灌溉水質之管理不善將導致農田暴露污染風險之中，且呈現系統性之問題(張尊國, 2012)。離子交換法對於重金屬離子具有良好的交換特性，目前已被廣泛地用於去除廢水中的重金屬，其優點包括處理容量大，去除效率高與反應快速等(Ansari and Fahim, 2007; Donia et al., 2006)。離子交換樹脂吸附重金屬離子的效率會受到 pH、溫度、初始金屬濃度和接觸時間等因素的影響(Gode and Pehlivan, 2006)。然應用於污染源調查，因環境因子影響操作條件不易控制，目前國內、外尚無類似方法或設施。

鑑於偷排廢水事件含有不定時、延時短、污染濃度高且地點廣泛等特性。在政府稽查資源有限的條件下，建立有效監測、成本低廉與分析快速的追蹤鎖定汙染源的方法實為當務之急。環保署於 2009 年開始推動被動式採樣研究工作，選定地下水及工廠放流水中常見之有機溶劑汙染物為目標待測物，自製 SPMD(semipermeable membrane device, SPMD)和 POCIS (polar organic chemical integrative sampler, POCIS)被動式採樣器，應用在模擬實驗和真實樣品(地下水監測井和放流水排入之河水)的採集及檢測，結果比對顯現有一致性和相關性(行政院環境保護署環境檢驗所，2009)。

環保署於 2014 年執行「重金屬監測離子交換樹脂縮時膠囊之設計研發」，利用樹脂離子交換為基材做成重金屬監測包(稱之為「樹脂縮時記錄膠囊」)，大量將其投放於監測之區域，一段時間後收回監測包測定所吸附之重金屬，汙染源的分布特性即被有效掌握，輔以環境指紋辨識方法之科學證據，污染行為人無所遁形。利用樹脂離子交換為基材做成重金屬監測包(稱之為「樹脂縮時記錄膠囊」)，大量將其投放於監測之區域，一段時間後收回監測包測定所吸附之重金屬，汙染源的分布特性即被有效掌握，輔以環境指紋辨識方法之科學證據，污染行為人無所遁形。

根據監測膠囊回收數據顯示，目標元素監測資料特性大致可以分成二類。第一類是隨著監測時間的累積，目標元素含量有增加的趨勢，肇因於水體中一直存在穩定含量，透過樹脂與水體接觸，讓交換形式持續進行，

以鈣跟鋁最為明顯。第二類則是以人為形式(如工廠排放、農業施肥等)加諸於環境水體之中，會因為在特定時間與地點的大量排放，讓「樹脂縮時記錄膠囊」中特定目標元素突然快速增加，諸如錳、鐵、鎳、銅與鋅。利用陰離子交換樹脂進行環境監測過程，意外捕捉到環境水體中部分重金屬是以錯離子形態存在的證據(如表 3.2 所示)。

表 3.2 陰離子空白樹脂(E00)與監測點位目標元素 XRF 峰度值異常一覽表

| 編號  | S      | Cl     | K   | Ca    | Cr    | Mn    | Fe     | Ni    | Cu     | Zn    | As  | Sr  | Br    |
|-----|--------|--------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-----|-----|-------|
| A27 | 15,146 | 5,319  | 72  | 179   | 722   | 560   | 9,040  | 5,113 | 2,647  | 2,570 | 76  | 725 | 8,951 |
| A28 | 18,094 | 4,213  | 5   | 382   | 1,053 | 827   | 11,517 | 2,349 | 2,857  | 2,103 | 530 | 537 | 9,949 |
| A45 | 14,581 | 3,878  | 509 | 1,843 | 1,068 | 4,176 | 26,357 | 2,529 | 10,256 | 4,761 | 68  | 903 | 7,344 |
| B06 | 15,518 | 2,840  | 236 | 383   | 764   | 1,216 | 7,556  | 2,144 | 3,589  | 755   | 132 | 779 | 5,438 |
| B29 | 14,866 | 2,604  | 813 | 665   | 1,077 | 2,118 | 24,105 | 2,444 | 4,702  | 1,183 | 451 | 607 | 5,402 |
| E00 | 564    | 70,359 | 99  | 82    | 386   | 287   | 731    | 1,641 | 1,728  | 0     | 374 | 3   | 122   |

自然水體的污染物質或微量元素循環研究中，其定量與定性分析的檢測項目是不可缺少地，但卻也是最困難地，部分原因是化學物種的分佈往往在採樣和貯存過程中產生變化導致(Davison and Zhang, 1994)。環境採樣用被動式滲透膜(passive accumulation devices, PAD)的研發工作最早出現於1973年，用於採集空氣中污染物，之後則擴展到水體、底泥、土壤，目標分析物包括：重金屬、有機物等(Stuer-Lauridsen, 2005)。環保署環檢所於2009年開始推動被動式採樣研究工作，2011進行「被動式滲透膜應用於環境水質中重金屬採樣檢測之研究」，藉助被動式滲透技術捕捉水中重金屬，發展長期監測環境水質重金屬污染物之被動式採樣及檢測技術(凌永健，2011)。然離子交換樹脂應用於污染源調查，因環境因子影響操作條件不易控制，目前尚無有效設施作為監測環境品質的工具。

### 3.4 X-射線螢光光譜儀(XRF)－

X-射線螢光光譜儀之檢測原理是利用放射源照射樣品後所放射出之螢光，經過偵測器的監視窗，並轉換成電子訊號傳輸至偵測器，再經由多頻道分析器（MCA）所收集到之各元素脈衝振幅，以分析及定量樣品中元素濃度初估值。本研究使用台灣大學貴儀中心的 Itrax-XRF 岩芯掃描儀(Itrax Core Scanner)，該儀器是由瑞典 COX Analytical Systems 公司與英國南安普敦大學(University of Southampton)共同研發(圖 3.3)。



圖 3.3 Itrax-XRF 岩芯掃描儀外觀

Itrax-XRF 岩芯掃描儀可提供光學攝像(Optical Image)、數位 X 光攝像(Digital X-ray Radiography)、磁感率測量(Magnetic Susceptibility Measurement)以及 X 光螢光分析(X-ray Fluorescence, XRF)等多種功能(圖 3.4)。Itrax 非接觸式、非破壞性的分析，可以在提供高品質且高精度的數據之同時保持樣品的原始性和完整性，其掃描解析度最高可達到 200 微米。Itrax 的 XRF 分析可偵測的元素種類包含原子序從鋁(Aluminum, Al)到鈾(Uranium, U)皆能偵測，偵測極限在理想狀況下可達百萬分之一(part per milliom, ppm)等級(圖 3.5、圖 3.6)。此外，Itrax 岩芯掃描儀的非彈性和彈性散射之比值(incoherent over coherent scattering, inc/coh)，可做為一樣本中原子序小於鋁的元素之加總，通常可精確反映樣本中有機物質的含量(Saez et al., 2009)(圖 3.7)。

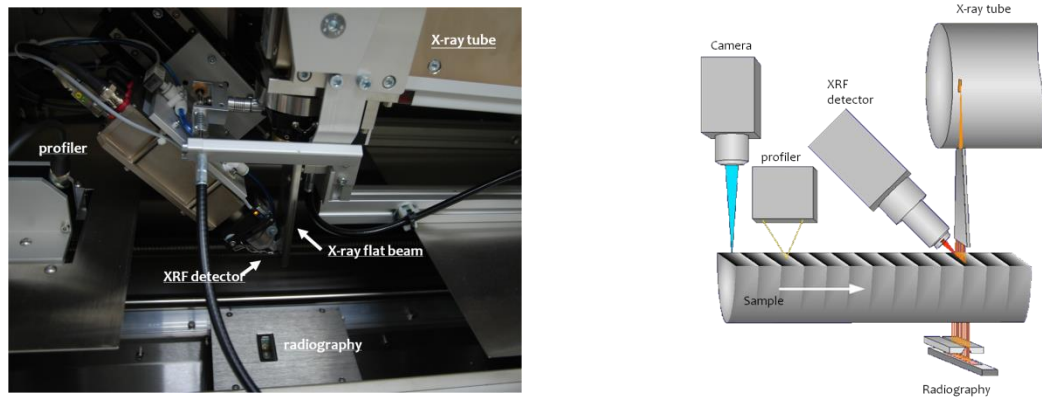


圖 3.4 Itrax 岩芯掃描儀中心塔內部結構。中心塔包含光學攝影機(camera)、樣本起伏偵測器(profiler)、X 光管(X-ray tube)、X 光影像攝影機(Radiography)、X 光螢光偵測器(XRF detector)。本研究室之 Itrax 岩芯掃描儀另外配置有磁感率偵測器(Magnetic Susceptibility detector)。

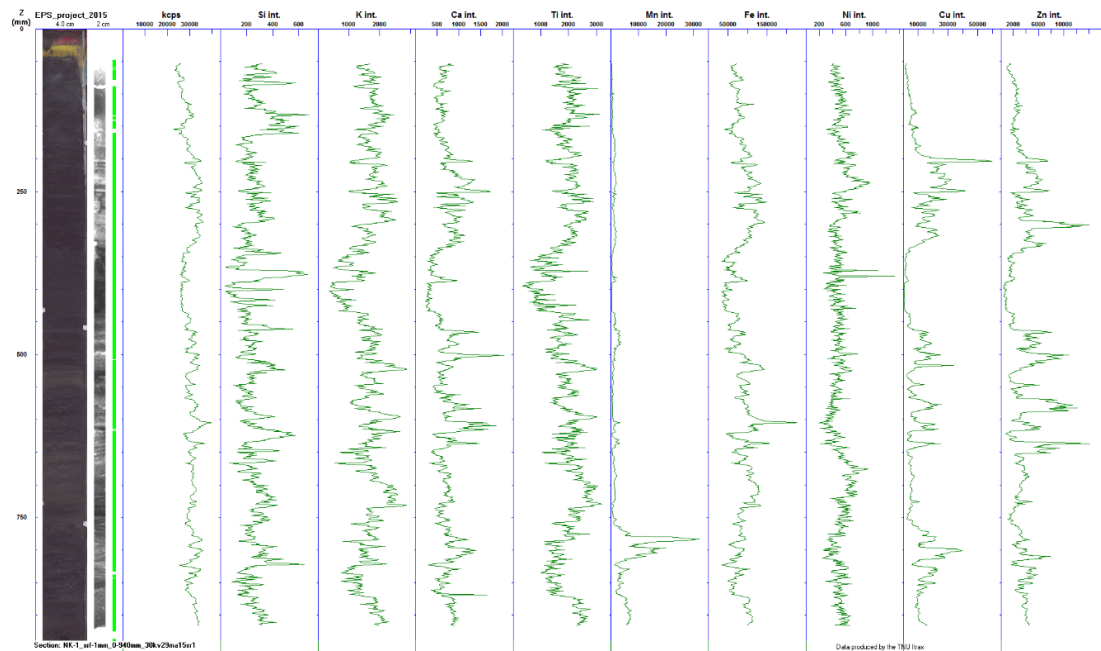


圖 3.5 Itrax 掃描結果實例(以南崁溪口岩芯為例)。縱軸為岩芯深度(單位為 mm)，橫軸由左至右分別為光學影像、X 光影像及 XRF 分析(單位為 counts)之結果。

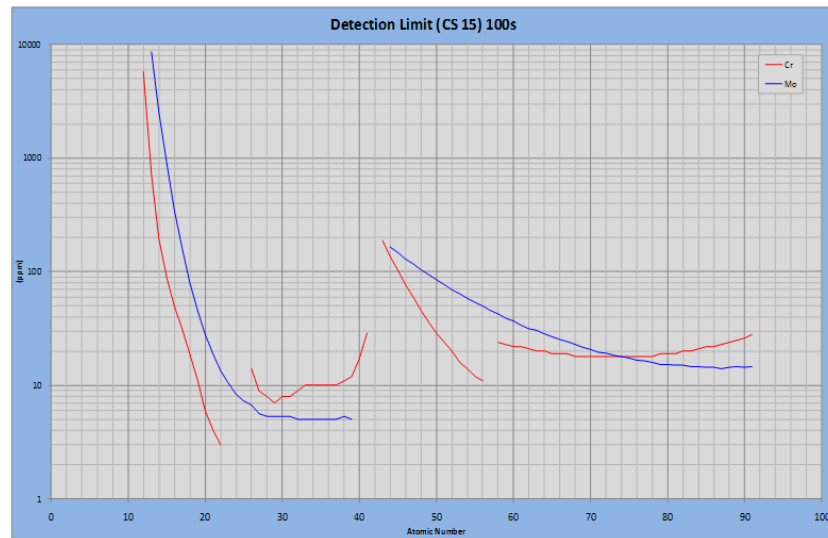


圖 3.6 理想狀態下 Itrax 之偵測極限。橫軸為原子序，縱軸為偵測極限(ppm)。紅線為鉻(Cr)靶 X 光管之偵測極限，藍線為鉬(Mo)靶 X 光管之偵測極限。本圖由 COX Analytical Systems 公司提供，為 Itrax 在 100 秒的掃描時間下對標準品(USGS SGR-1 and SCo-1)分析所得的結果。

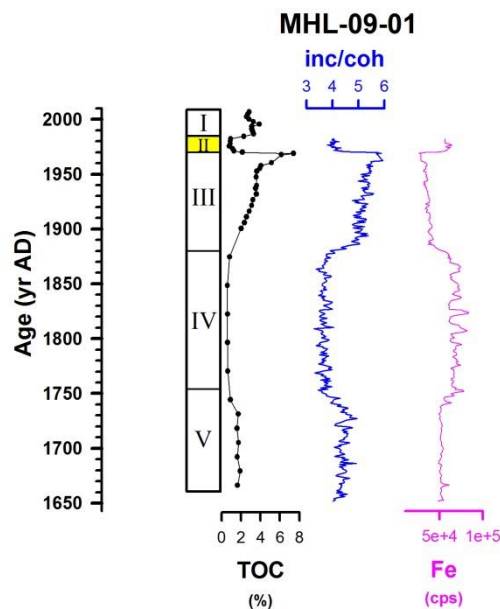


圖 3.7 Itrax 岩芯掃描儀非彈性和彈性散射之比值實例。材料為宜蘭梅花湖 MHL-09-01 岩芯，縱軸為岩芯年代 (單位為西元)，橫軸由左至右分別為岩芯描述、總有機碳(TOC-%)含量、非彈性和彈性散射之比值(inc/coh)、鐵含量(單位為 counts)。可明顯發現 inc/coh 與 TOC 呈現良好之線性相關。

## 四、研究方法與流程

### 4.1 研究架構

本研究為透過 Itrax 岩芯掃描儀分析環境樣本所得之數據資料，藉由統計軟體協助判定及資料庫的協助比對搜尋於環境監測與追溯污染源之功效，規劃之工作項目包括實驗室試驗、現地樣本分析、Itrax 岩芯掃描儀應用於監測污染源之可行性評估等。首先，將研究面項分為環境鑑識案例研析、廢爐渣汙染樣品檢測與實驗室吸附試驗等三種，如圖 4.1 所示。

本研究環境鑑識案例分析是以桃園市大園區滲眉埤汙染案為探討對象，經由採集滲眉埤塘底泥岩心樣品，以 Itrax 岩芯掃描儀進行元素種類判定、元素半定量快速篩測與非彈性和彈性散射之比值檢測。利用統計軟體之分類、分群方法協助判定以及資料庫的比對，達到環境監測與追溯污染源之功效。

再者，利用 Itrax 岩芯掃描儀可針對不同環境樣本型態(底泥、離子交換樹脂、廢爐渣等)進行元素種類判定、元素半定量快速篩測、以濕式化學分析做為驗證方法，藉由統計軟體協助判定及資料庫的協助比對搜尋，進一步評估該儀器所提供大量且多元的數據資料對於研判環境污染物質來源之適用性。

最後，在實驗室配製含不同比例濃度的鐵氰化鉀(別名：六氰合鐵(III)酸鉀)、碳酸氫鈉( $\text{Na HCO}_3$ )與硫酸鉀( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )，將陰離子交換樹脂置入該溶液中吸附鐵氰酸根離子( $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ )、碳酸氫根離子( $\text{HCO}_3^-$ )與硫酸根離子( $\text{SO}_4^{2-}$ )，由 Itrax 分析吸附完成之陰離子交換樹脂，根據數據資料進行差異性比較。

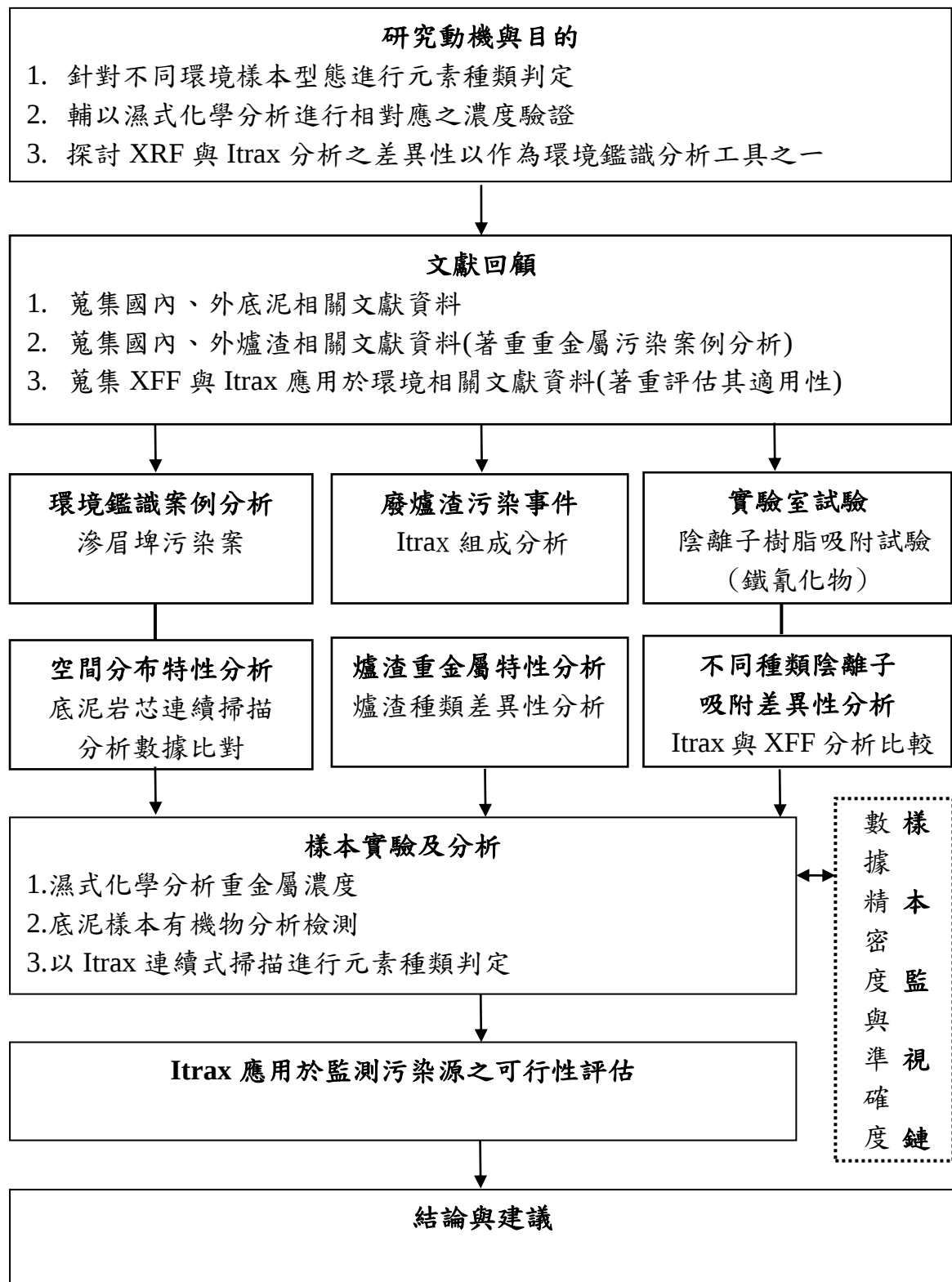


圖 4.1 研究流程架構圖

## 4.2 研究區域

本研究參酌環保署歷年底泥監測計畫執行成果，原本選定高雄二仁溪流域作為研究樣區，採集並選取底泥樣本作為分析之依據，然因近年來環保署整治高雄二仁溪有成，本團隊在與台大地質系岩心掃描實驗室評估後一致認為桃園滲眉埤底泥污染案更適合作為本研究之標的，如圖 4.2 所示。為符合研究計畫書所規範之分析樣本數，本團隊將以採集 10 個滲眉埤底泥的岩心作為分析標的，該底泥岩心將不以分層均勻混樣為方法，而是採取沿著岩心連續偵測方式進行，擷取更多土壤污染的資訊，以作為環境指紋鑑識工作內容之參考。另本研究團隊於民國 103 年執行環保署「重金屬監測離子交換樹脂縮時膠囊之設計研發」計畫所採集的 30 個底泥樣本一併納入後續 Itrax 岩芯掃描儀進行元素種類判定、元素半定量快速篩測與非彈性和彈性散射之比值檢測。上述底泥樣本同步分析所含目標元素(環保署公告之八大重金屬，不含砷與汞)的濃度值與有機質含量測定工作(按土壤有機質測定方法—燃燒／紅外線測定法分析，TARI S201.1B)。

針對桃園滲眉埤相關背景資料敘述如下：

滲眉埤為桃園農田水利會所管轄桃園大圳 2 支線 2 分線 6 號池（簡稱 2-2-6 號池）之舊名，於日治時期形成至今，其地理位置位於桃園市大園區和蘆竹區之交界處，埤塘面積約 20 公頃，蓄水量約 137,405 立方公尺，水深約 2.4 公尺，灌溉面積約 122 公頃，93 年 5 月辦理綠美化工程，建設成為滲眉埤公園。位於滲眉埤南側蘆竹鄉南崁路二段的宇鴻科技股份有限公司，原名坤業環保工程科技公司，於 88 年 5 月由經濟部商業司核准設立，並於 90 年 8 月取得桃園市政府(原桃園縣政府)核發的廢棄物處理許可證，為甲級廢棄物處理機構，採焚化方式處理有害及一般事業廢棄物，並於 90 年 9 月 1 日正式啟用。坤業焚化廠正式啟用後之違規事件：

- (1) 98 年曾發生 3 萬尾池魚一夜之間暴斃，引起居民群起激憤。
- (2) 103 年 7 月 3 日，該公司因「涉嫌自 95 年起逾越許可範圍回收強鹼、強酸等化學廢液，違法排放到工廠外圍溝渠，再流入水利會所有的滲眉埤，且將該廠焚化爐飛灰與底渣混合後堆置在滲眉埤附近，隨雨水流入埤塘之中」等事由，遭到桃園地檢署搜查。
- (3) 103 年 7 月 10 日桃園市環保局採取聯合稽查行動，除發現該公司申報不實，違法堆置廢棄物外，也針對環境變化的可疑區域、宇鴻公

司廠內雨水溝及廠外水路、埤塘、灌溉渠道 及農田進行調查採樣，調查結果顯示滲眉埤受到嚴重污染，而宇鴻公司污染行為明確，因而判定屬污染行為人。

- (4) 於鄰近該焚化廠員工廢水放流口處測到最高值：銅、鋅、鎳、鎘的檢測最高值分別超過底泥品質指標 938 倍、64 倍、19 倍、24 倍，或農地土壤管制標準的 735 倍、40 倍、7 倍、12 倍。

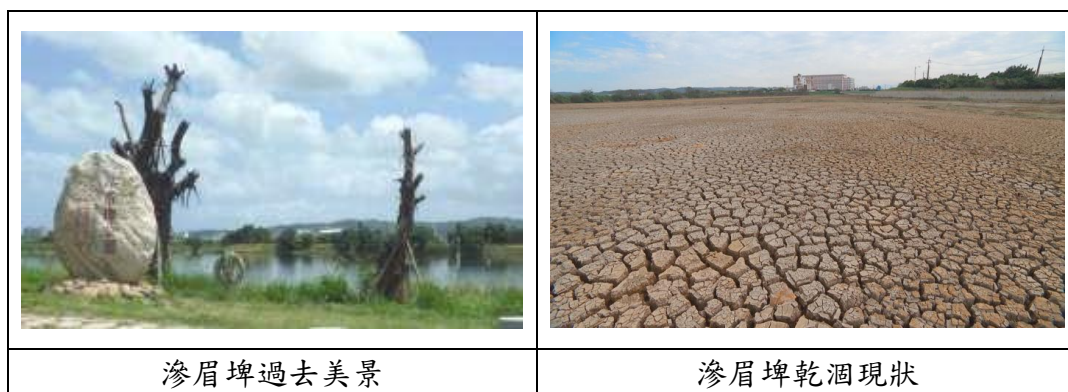


圖 4.2 桃園縣滲眉埤景觀圖(過去與現狀)

### 滲眉埤下游農地及灌區分布

滲眉埤下游農地屬 2-2-6 小組灌區(如圖 4.3 所示)，所屬灌排水路主要為 2-2-6 小組之相關小給水路，其灌區位於滲眉埤東側及北側，東以南崁溪為界，農地地籍屬大園區竹圍段拔子林小段，以及竹圍段崁下小段，約有 1,400 筆地號，其地籍套繪分佈如圖 4.4 所示。過去提供 2-2-6 水利小組之主要水源，除來自滲眉埤外，另包含徐厝排水導水路、徐厝排水 13 號導水路，惟滲眉埤因水路改排後已呈乾涸狀態，2-2-6 小組之相關小給水路現況水源主要由水利會另埋管線引灌，其下游灌渠水路如圖 4.5 所示。

滲眉埤上游共有 3 條水路提供滲眉埤進流水源，依水路分布由東至西包含徐厝排水導水路、2-2-6 號池取水路，以及蘆竹排水，灌渠水路及現場照片如圖 4.6 所示。

#### (1) 徐厝排水導水路—

徐厝排水導水路之水源取水自徐厝排水幹線，為桃園市府管轄之區域排水，可容納事業使用後之廢污水及都市內民生用水。導水路之取水口設置於南崁路二段徐厝橋位置，沿線穿越長興路四段，沿南崁路二段 488 巷東側北上，與位於同巷(南

崁路二段 488 巷)西側之 2-2-6 號池取水路為平行流向，並於南崁路二段 488 巷之南北兩側各有 1 處位置設置涵管，將徐厝排水導水路部分水量導入 2-2-6 號池取水路，導水路末端進入 2-2-6 水利小組銜接小給圳路供灌滲眉埤 下游側農地。

(2) 2-2-6 號池取水路—

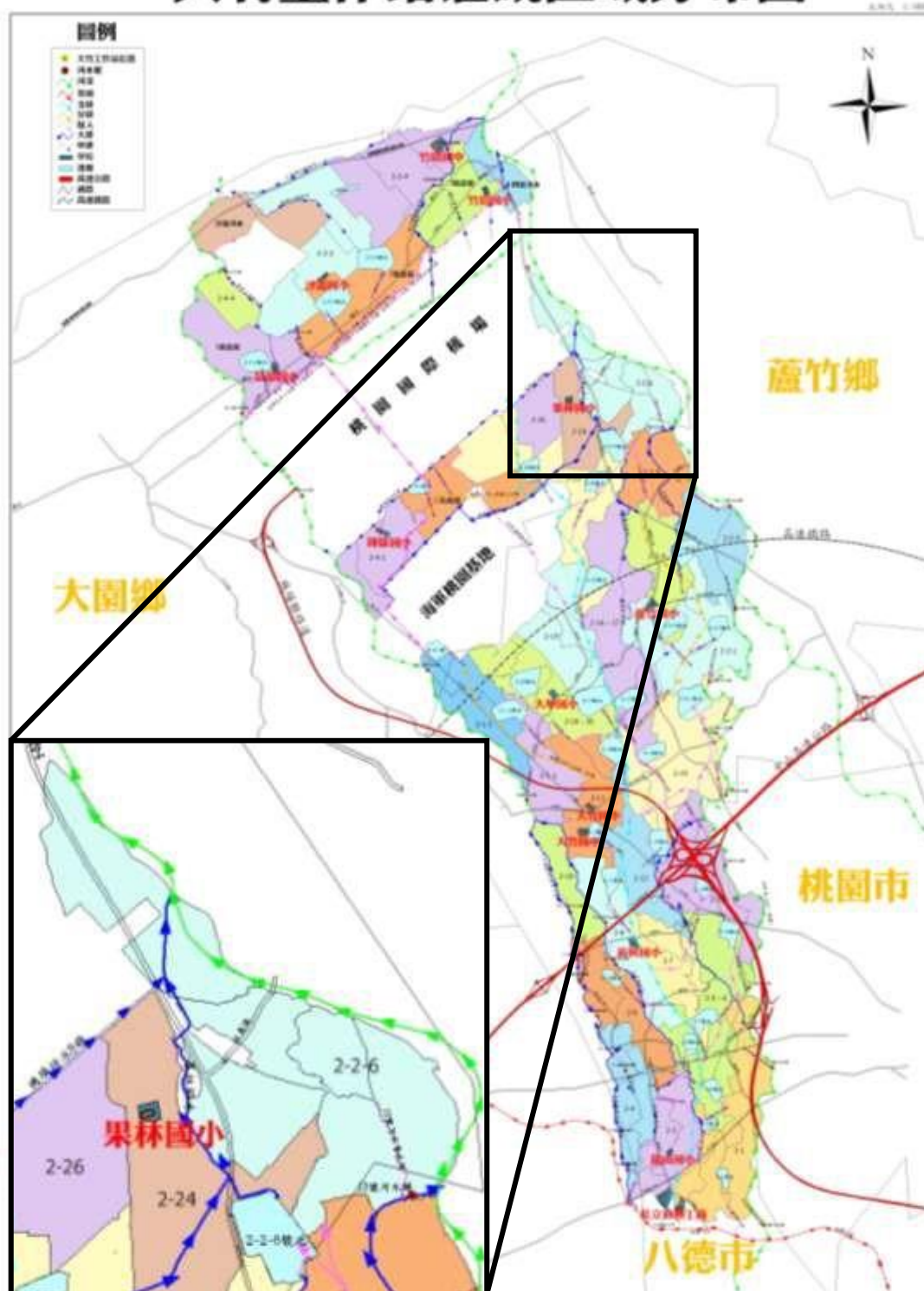
2-2-6 號池取水路為桃園大圳 2 支線 2 分線下游段圳路，桃園大圳 2 支線之水源來自石門水庫，源頭水質良好，2 支線 2 分線之上游段沿線多為農地，中游自穿越蘆竹街起沿富國路三段北上，圳路沿線多為工廠分布。穿越南崁路前，有一水閘門，可將水源分流至 2 支線 2 分線中排或供給 2-2-6 號池取水路，中排水路連結蘆竹排水，本計畫現勘時，2 支線 2 分線之主要水量皆由此中排進入蘆竹排水；另穿越南崁路後，沿南崁路二段 488 巷西側北上，其間，有徐厝排水導水路水源匯入，本計畫現勘時，2-2-6 號池取水路之主要水量來自徐厝排水導水路，末端匯流於滲眉埤南側。

(3) 蘆竹排水—

蘆竹排水屬桃園農田水利會管轄之排水渠道，主要為蒐集桃園大圳 2 支線之農田灌溉排水，上游另包含蘆竹排水 A 線及 B 線兩條水路，於南崁路二段南側有 2 支線 2 分線中排水路之匯入，最終匯流於滲眉埤南側，排水沿線行經之土地利用以農地為主。

滲眉埤南側之匯流處，除匯集 2-2-6 號池取水路、蘆竹排水外，另包含道路排水及宇鴻公司雨水排水等水體水路，現況桃園農田水利會沿滲眉埤南側及西側新設置一排水路，將原滲眉埤南側所匯流水源導入此排水路，排入北側之菓林排水然後流入南崁溪。

## 大竹工作站灌溉區域分布圖



資料來源：臺灣省桃園農田水利會大竹工作站網站。

圖 4.3 2-2-6 小組灌區範圍圖

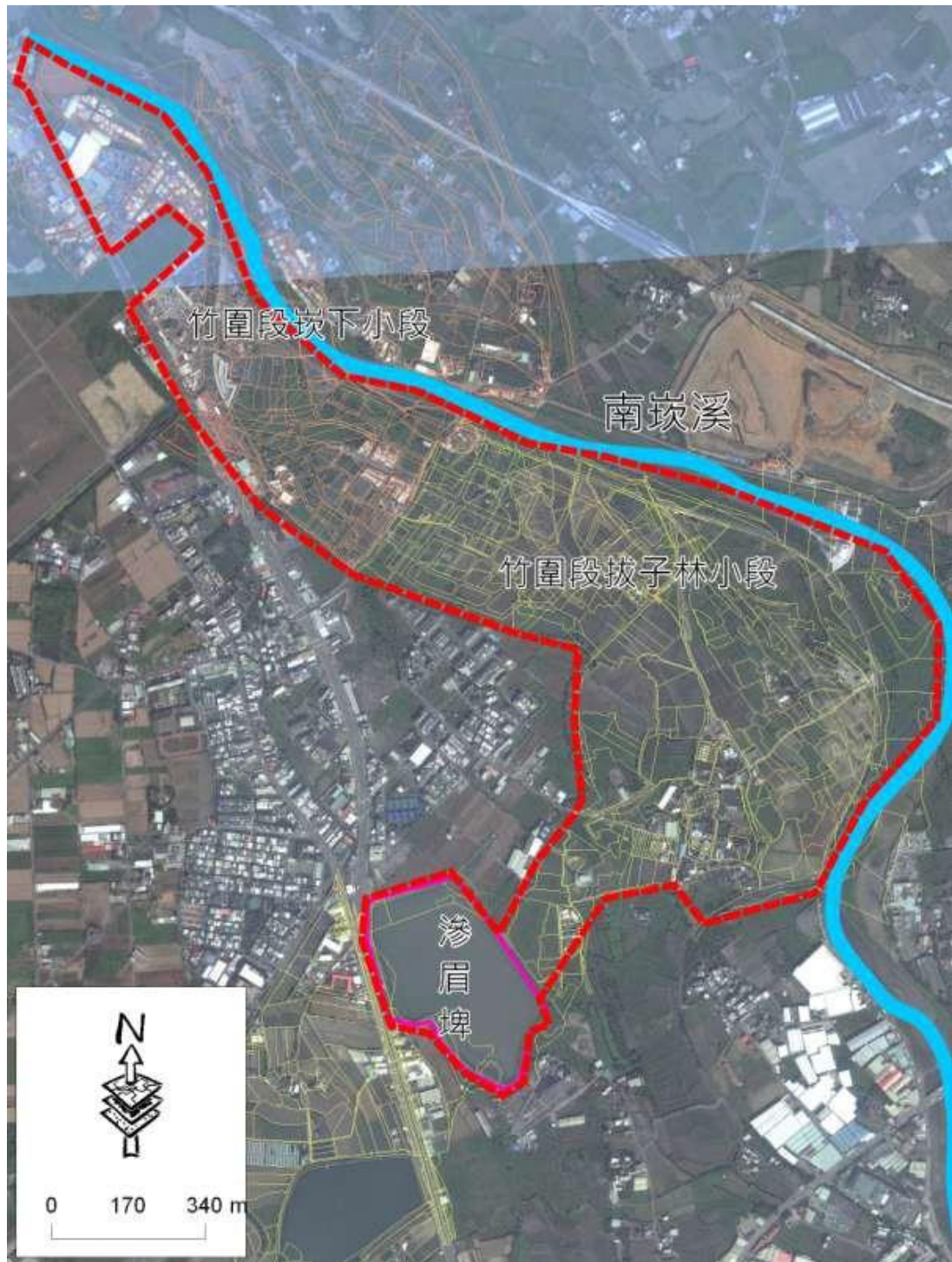


圖 4.4 2-2-6小組灌區範圍地籍套繪圖

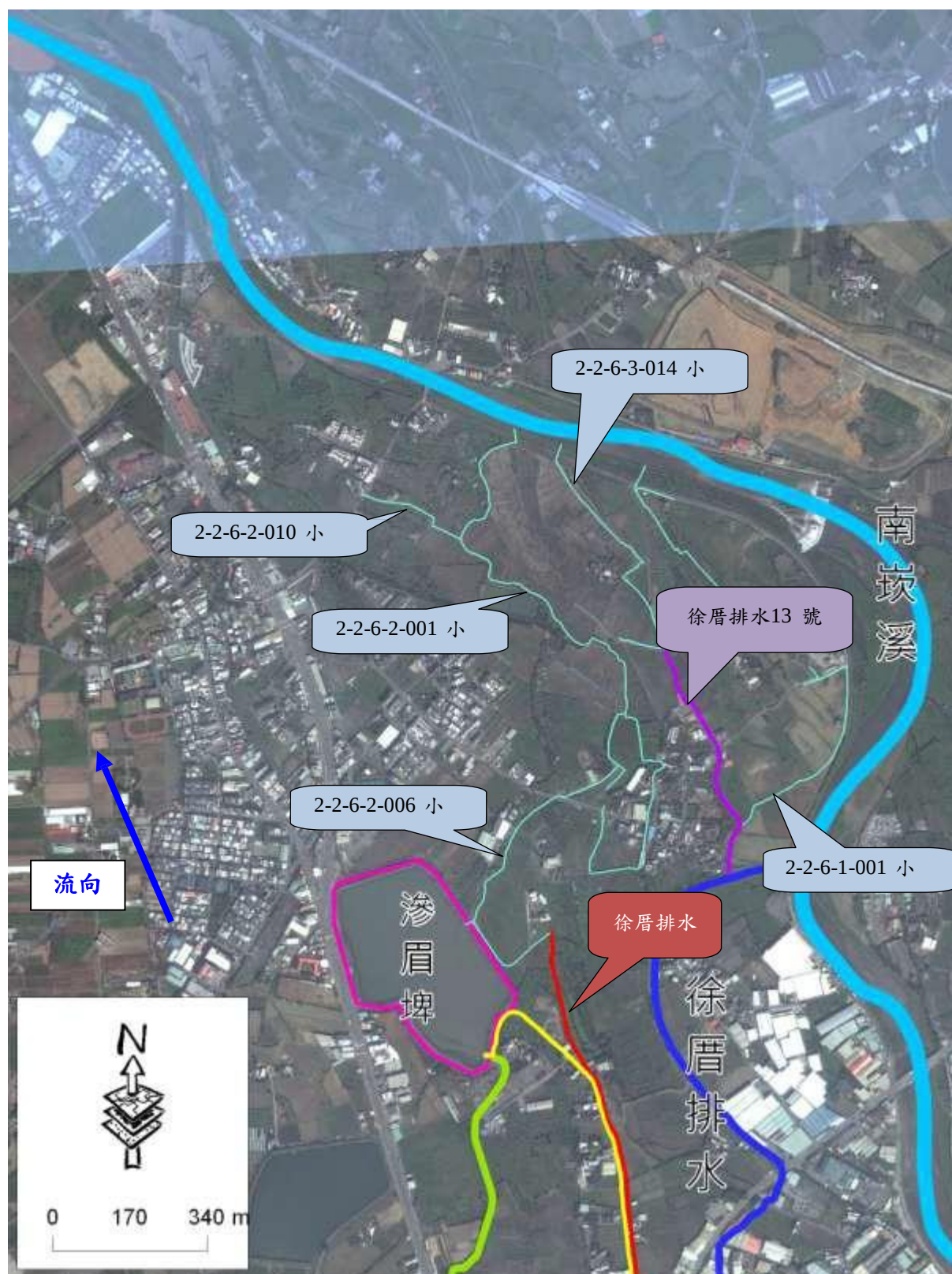


圖 4.5 滲眉埤下游灌渠水路

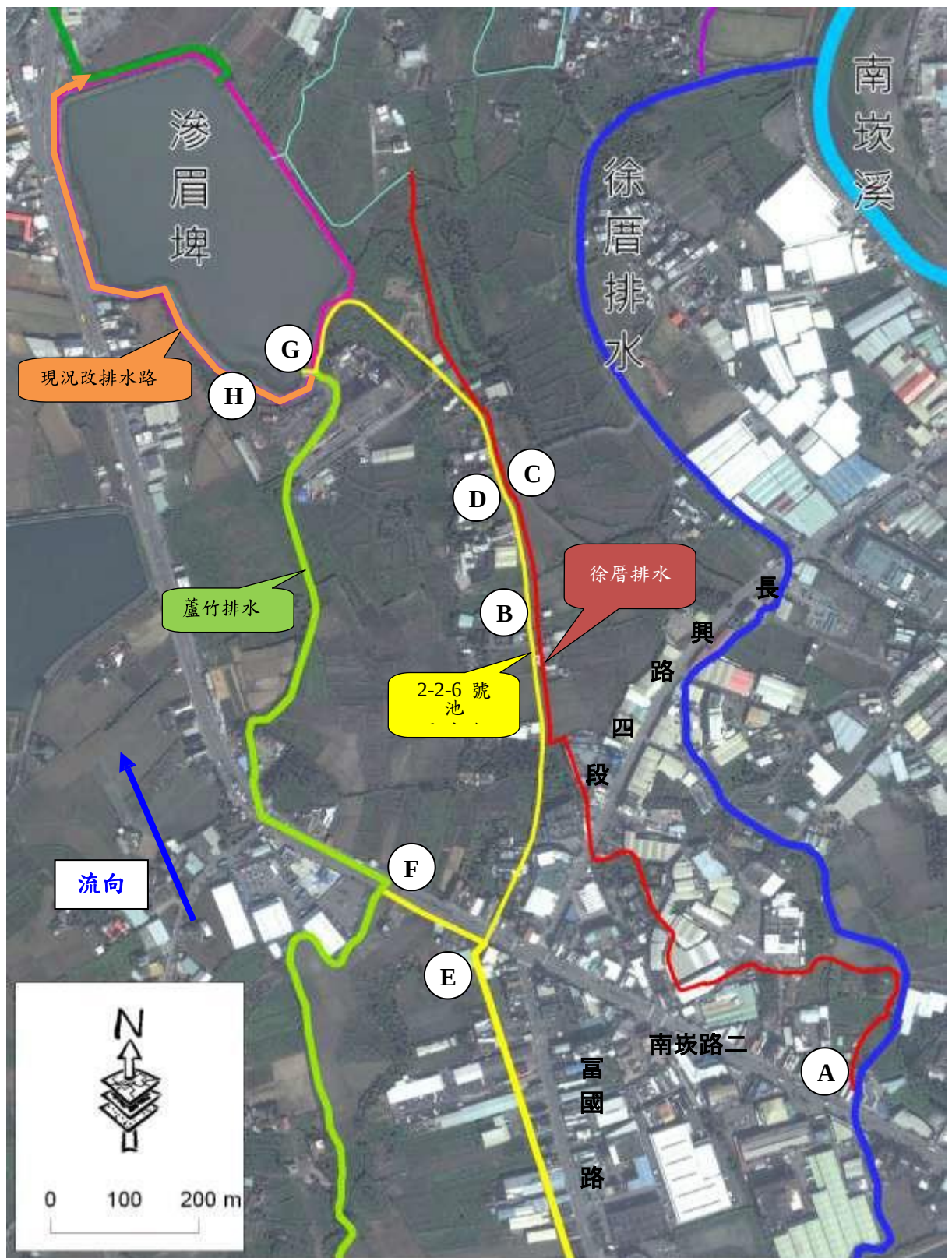


圖4.6 滯留埤上游灌溉水路及照片位置示意圖

### 4.3 研究方法

本研究針對桃園市大園區滲眉埤污染案，以 Itrax 岩芯掃描儀進行元素種類判定、元素半定量快速篩測與非彈性和彈性散射之比值檢測。根據「103 年度桃園縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫」中的底泥資料(如表 4.1 所示)，規劃設計採集 10 個滲眉埤底泥的岩心作為分析標的(如圖 4.7 所示)，該底泥岩心將不以分層均勻混樣為方法，而是採取沿著岩心連續偵測方式進行，擷取更多土壤污染的資訊，以作為環境指紋鑑識工作內容之參考。

表 4.1 桃園市大園區滲眉埤底泥背景資料一覽表

| 採樣日期      | 編號 | X      | Y       | 深度    | Cr         | Ni          | Cu     | Zn         | As        | Cd          | Hg           | Pb         |
|-----------|----|--------|---------|-------|------------|-------------|--------|------------|-----------|-------------|--------------|------------|
| 103/7/10  | 1  | 276603 | 2773542 | 0~15  | <u>96</u>  | <u>67.7</u> | 5,580  | 607        | 7.41      | <u>1.22</u> | <u>0.464</u> | 207        |
|           |    |        |         | 30~50 | <u>213</u> | 154         | 16,300 | 1,940      | 7.69      | 3.39        | <u>0.752</u> | 465        |
| 104/10/15 | 2  | 276555 | 2773572 | 0~30  | <u>127</u> | <u>37</u>   | 1,850  | <u>253</u> | 9         | <3          | <4           | <u>97</u>  |
|           |    |        |         | 30~60 | <u>189</u> | 96          | 4,340  | 2,030      | <u>16</u> | 4           | <4           | <u>148</u> |
|           | 3  | 276480 | 2773603 | 0~30  | <u>163</u> | <u>56</u>   | 1,990  | 725        | 8         | <3          | <4           | <u>68</u>  |
|           |    |        |         | 30~60 | <u>136</u> | <u>61</u>   | 2,070  | 1,460      | 8         | <3          | <4           | <u>66</u>  |
|           | 4  | 276469 | 2773654 | 0~30  | <u>135</u> | <u>43</u>   | 1,420  | <u>279</u> | 8         | <3          | <4           | 42         |
|           |    |        |         | 30~60 | <u>116</u> | <u>59</u>   | 2,620  | 1,160      | 10        | <3          | <4           | 41         |

資料來源：「103 年度桃園縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫」

註：採樣深度單位為公分；重金屬濃度單位為  $\text{mg kg}^{-1}$ 。



圖 4.7 滲眉埤埤塘底泥岩心採樣位置分佈圖

桃園農田水利會過去於滲眉埤上游相關水源至桃園大圳之間所設置之水質監視點，計有 2 支線取水口、2 分線取水口兩處，皆距滲眉埤較遠；因應滲眉埤污染事件後，桃園農田水利會於 105 年 1 月於徐厝排水導水路取水口設置有水質自動監測系統，各水質監視點相對位置如圖 4.8 所示。2 支線 2 分線為滲眉埤主要水源之一，2 支線上游水源來自桃園大圳，桃園大圳水源為石門水庫所提供，由 2 支線水源特性及由桃園農田水利會於網頁所公告 2 支線取水口近一年來（103/11~104/11）水質監視點水質資料（如表 4.2），可知 2 支線源頭水質良好，滲眉埤之污染應與 2 支線取水源較無關聯。

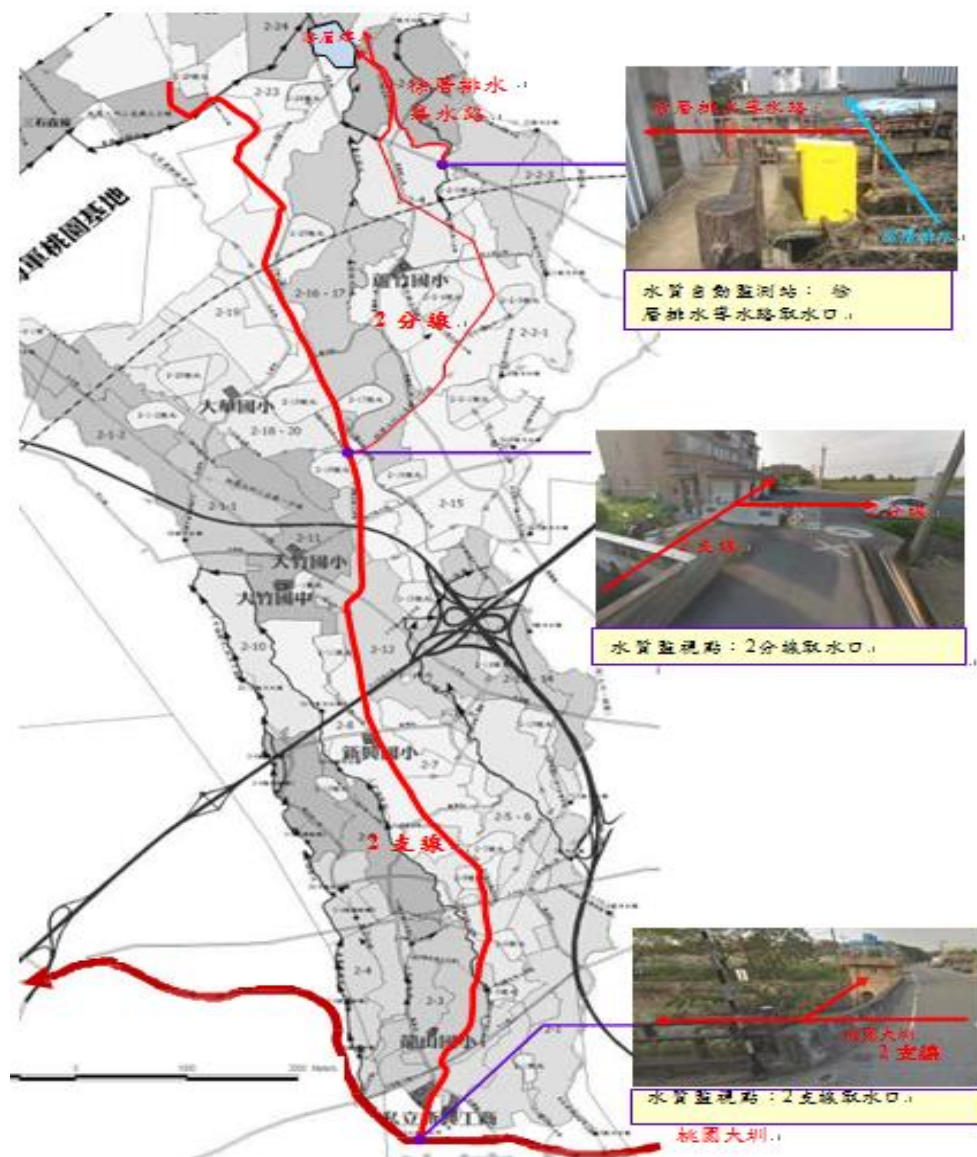


圖 4.8 滲眉埤上游水源水質監視點（桃園農田水利會設置）

表 4.2 支線取水口監視點水質資料

| 採樣日期      | 水溫<br>(°C) | pH   | EC<br>( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | Ca<br>(mg/L) | Mg<br>(mg/L) | Na<br>(mg/L) | Cu<br>(mg/L) | Pb<br>(mg/L) | Ni<br>(mg/L) | Zn<br>(mg/L) | Cd<br>(mg/L) | Cr<br>(mg/L) | Fe<br>(mg/L) |
|-----------|------------|------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 103/11/14 | 20.5       | 7.65 | 231                               | 25.07        | 7.41         | 5.45         | ND           | ND           | ND           | 0.016        | ND           | ND           | ND           |
| 104/07/06 | 27.9       | 8.03 | 234                               | 21.13        | 6.23         | 4.52         | ND           | ND           | ND           | ND           | ND           | ND           | ND           |
| 104/09/02 | 27.5       | 7.09 | 216                               | 20.79        | 6.44         | 4.12         | ND           | ND           | ND           | 0.012        | ND           | ND           | 0.104        |
| 104/11/11 | 23.4       | 8.11 | 308                               | 24.04        | 7.48         | 5.26         | ND           | ND           | ND           | 0.022        | ND           | ND           | ND           |

資料來源：桃園農田水利會網站 <http://www.tia.org.tw/>

本研究團隊於民國 103 年執行環保署「重金屬監測離子交換樹脂縮時膠囊之設計研發」計畫時，在利用陰離子交換樹脂進行環境監測過程，意外捕捉到環境水體中部分重金屬是以錯離子形態存在的證據(如表 3.2 所示)。因此，本計畫設計實驗室配製含不同比例濃度的鐵氰化鉀(別名：六氰合鐵(III)酸鉀)、碳酸氫鈉( $\text{NaHCO}_3$ )與硫酸鉀( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )，將陰離子交換樹脂置入該溶液中吸附鐵氰酸根離子( $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ )、碳酸氫根離子( $\text{HCO}_3^-$ )與硫酸根離子( $\text{SO}_4^{2-}$ )，由 Itrax 分析吸附完成之陰離子交換樹脂，根據數據資料進行差異性比較。

#### 吸附實驗設計方法：

(1) 陰離子樹脂：為符合 Itrax 檢測所需之陰離子交換樹脂體積之要求，該樹脂在每一組設計濃度中一律稱重 20g(濕重)後，置入燒杯進行吸附試驗。

(2) 試劑備製：

- i. 硫酸根濃度設計：本實驗根據農委會公告之灌溉水質標準，設計 4 種硫酸鹽( $\text{SO}_4^{2-}$ )的濃度，使用試藥級的硫酸鉀( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ，如圖 4.9 所示)粉末溶於試驗燒杯中備製，水體體積為 1L，如表 4.3 所示。
- ii. 鐵氰酸根濃度設計：鐵氰酸根離子( $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ )的提供系採用試藥級的鐵氰化鉀( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ )粉末溶於試驗燒杯中備製，共配置 4 種濃度，水體體積為 1L，如表 4.3 所示。

## (3) 試驗流程與樣本檢測：

- i. 將備製完成之試劑(體積 1L)置於容器中，在陰離子交換樹脂置入前，先行採集水樣分析鐵離子( $\text{Fe}^{3+}$ )、氰酸根離子( $\text{CN}^-$ )、硫酸根離子( $\text{SO}_4^{2-}$ )、氯離子( $\text{Cl}^-$ )、碳酸根( $\text{CO}_3^{2-}$ )、鹼度( $\text{HCO}_3^-$ )、水溫與 pH 等值。
- ii. 直接將 20g 陰離子交換樹脂置入試驗水體中，開啟 JAR-TEST 攪拌水體，增加與樹脂的接觸通量，提昇吸附效率，攪動時間持續 1 小時後結束。
- iii. 利用濾紙將陰離子交換樹脂與水體分離後，採集水樣分析鐵離子( $\text{Fe}^{3+}$ )、氰酸根離子( $\text{CN}^-$ )、硫酸根離子( $\text{SO}_4^{2-}$ )、氯離子( $\text{Cl}^-$ )、碳酸根( $\text{CO}_3^{2-}$ )、鹼度( $\text{HCO}_3^-$ )、水溫與 pH 等值。
- iv. 待陰離子交換樹脂風乾、秤重後，進行 Itrax 分析檢測。

表 4.3 鐵氰酸根離子( $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ )與硫酸根( $\text{SO}_4^{2-}$ )之設計濃度一覽表單位:  $\text{mg L}^{-1}$ 

|      | 硫酸根離子<br>( $\text{SO}_4^{2-}$ ) | 鐵氰酸根離子<br>( $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ ) | 備註                   |
|------|---------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|
| C1_1 | 27.5                            | 1.68                                        |                      |
| C1_2 | 27.5                            | 16.8                                        |                      |
| C1_3 | 27.5                            | 84.0                                        |                      |
| C1_4 | 27.5                            | 168                                         |                      |
| C2_1 | 110                             | 1.68                                        | 農委會灌溉用水水質標準<br>(硫酸鹽) |
| C2_2 | 110                             | 16.8                                        |                      |
| C2_3 | 110                             | 84.0                                        |                      |
| C2_4 | 110                             | 168                                         |                      |
| C3_1 | 330                             | 1.68                                        |                      |
| C3_2 | 330                             | 16.8                                        |                      |
| C3_3 | 330                             | 84.0                                        |                      |
| C3_4 | 330                             | 168                                         | 陰離子樹脂重量 30g          |
| C4_1 | 550                             | 1.68                                        |                      |
| C4_2 | 550                             | 16.8                                        |                      |
| C4_3 | 550                             | 84.0                                        | 陰離子樹脂重量 30g          |
| C4_4 | 550                             | 168                                         | 陰離子樹脂重量 30g          |

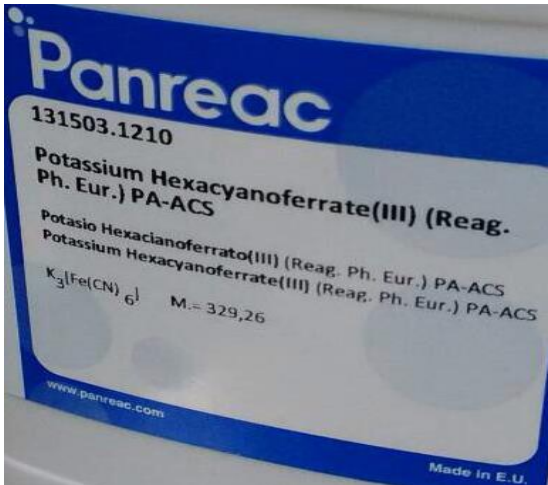
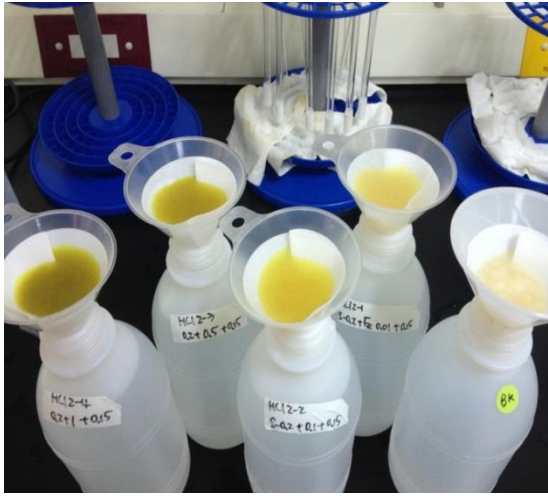
|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |    |
| <p>試藥級鐵氰化鉀(<math>K_3Fe(CN)_6</math>)</p>                                            | <p>Jar-Test 試驗過程</p>                                                                 |
|  |  |
| <p>陰離子樹脂與水體分離情形</p>                                                                 | <p>陰離子交換樹脂風乾成品</p>                                                                   |

圖 4.9 實驗過程相關紀錄及照片說明

#### 4.4 實驗分析技術：

X-射線螢光光譜儀之檢測原理是利用放射源照射樣品後所放射出之螢光，經過偵測器的監視窗，並轉換成電子訊號傳輸至偵測器，再經由多頻道分析器（MCA）所收集到之各元素脈衝振幅，以分析及定量樣品中元素濃度初估值。本研究使用台灣大學貴儀中心的 X-射線螢光光譜儀（I-Trax），該儀器是由 BOSCORG(British Ocean Sediment Core Research Facility)製造，如圖 4.10 所示。



資料來源: <http://www.boscorf.org/instruments/itrax-high-resolution-xrf-analysis-sediment-cores>

圖 4.10 X-射線螢光光譜儀(I-Trax)

每一個原子都有自己固定數量的電子（負電微粒）運行在核子周圍的軌道上。而且其電子的數量等同於核子中的質子（正電微粒）數量。從元素周期表中的原子數我們則可以得知質子的數目。每一個原子數都對應固定的元素名稱，例如鐵，元素名是 Fe，原子數是 26。能量色散 X 螢光與波長色散 X 螢光光譜分析技術特別研究與應用了最內層三個電子軌道，即 K、L、M 軌道上的活動情況，其中 K 軌道最為接近核子，每個電子軌道則對應某元素一個個特定的能量層（如圖 4.11）。

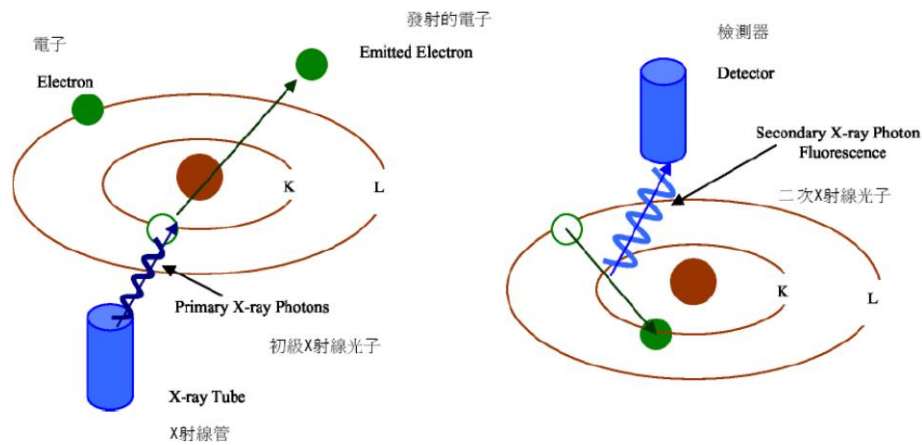


圖 4.11 X-射線螢光光譜儀測定原理

X-射線螢光光譜儀之檢測流程如下所述：

- (1) 分析前儀器需暖機 60 分鐘。
- (2) 樣本經風乾的前處理後，均勻化交換樹脂樣本，置於儀器專用塑膠盒內( $1 \times 1 \times 0.5 \text{ cm}^3$ ，如圖 4.12 所示)，並等待分析。
- (3) 受檢之樣品表面應該盡量平坦，以便探針端的視窗有較佳表面接觸，得到較好的重複分析和代表性。
- (4) 儀器設定每偵測點位接收時間為 100 秒，每個點位間隔距離為 1 mm，進行樣本重金屬濃度檢測分析。



圖 4.12 I-Trax 樣本專用塑膠盒( $1 \times 1 \times 0.5 \text{ cm}^3$ )

本研究擬於 X-射線螢光光譜儀分析時同步分析兩種空白樣品：儀器空白和方法空白，儀器空白是用來確認光譜儀或探針的端視窗是否有被污染，方法空白是用來監測實驗室是否受污染或干擾。

使用校正確認查核樣品來檢查儀器的準確性和評估待測物分析時的穩定性和一致性，這個校正確認查核樣品應該在每個工作天開始分析前、真實樣品分析期間和每個工作天分析完成時皆需執行校正確認查核樣品分析。以 NIST 或其他 SRM 來執行校正確認查核時，可接受範圍為測量值在真值的相對誤差值 (RPD) 應在  $\pm 20\%$ ，假如測量值是落在這個範圍外，則查核樣品應重新分析。若測量值連續落在可接受範圍外，則儀器應該被重新校正。以低、中或高濃度待測物樣品之分析來測定方法之精密度，其檢測頻率最少每天應檢測一個精密度樣品，每個精密度樣品應該被重複分析 7 次。精密度檢測時應選用各種不同濃度範圍之樣品，以便評估濃度對方法精密度之影響，精密度樣品檢測時之儀器分析時間應與現場分析時間相同。同一批次或 20 個樣品做一次重複分析，若同時有不同基質的樣品時，每種基質的樣品均需進行重複分析，相對差異百分比應小於 20 %。

Itrax 雖設計為岩芯掃描儀，但其可分析樣本之種類繁多，並不僅限於岩芯，且樣本處理手續簡單。汙泥樣本可置放於特製之壓克力載台，表面抹平後即可上機進行測量。

Itrax 岩芯掃描儀利用 X 光螢光原理，以 X 射線激發原子內層電子，當外層軌道的電子轉移至內層地補空缺時會放出 X 光螢光。不同元素有不同的特徵 X 光譜線，可做為鑑定的依據，而譜線的強度可反映該元素含量的多寡。樣本內所有元素經 X 射線激發所釋出之螢光訊號經 Itrax 偵測後可得一能量散布譜線(Energy Dispersive Spectroscopy, EDS)，搭配原廠開發之特徵能譜分析套裝軟體(Q-spec 8.6.0)可快速精確的鑑定樣本內所含之元素種類，並透過計算波峰面積推估各元素之相對含量(圖 4.13)。本實驗室之 Itrax 岩芯掃描儀使用之 X 射線產生器為鉬(Mo, Molybdenum)靶 X 光管。根據不同樣本性質可調整樣本的暴露時間(Exposure time)，此指單一測量點在暴露在 X 射線之下並接受偵測 X 光螢光訊號的時間；暴露時間越長，所能接收的螢光訊號越強，資料品質也越穩定(圖 4.14)。一般高解析度的岩芯分析之暴露時間 15 秒已足夠，亦可視情況增加暴露時間以取得更高品質的資料。

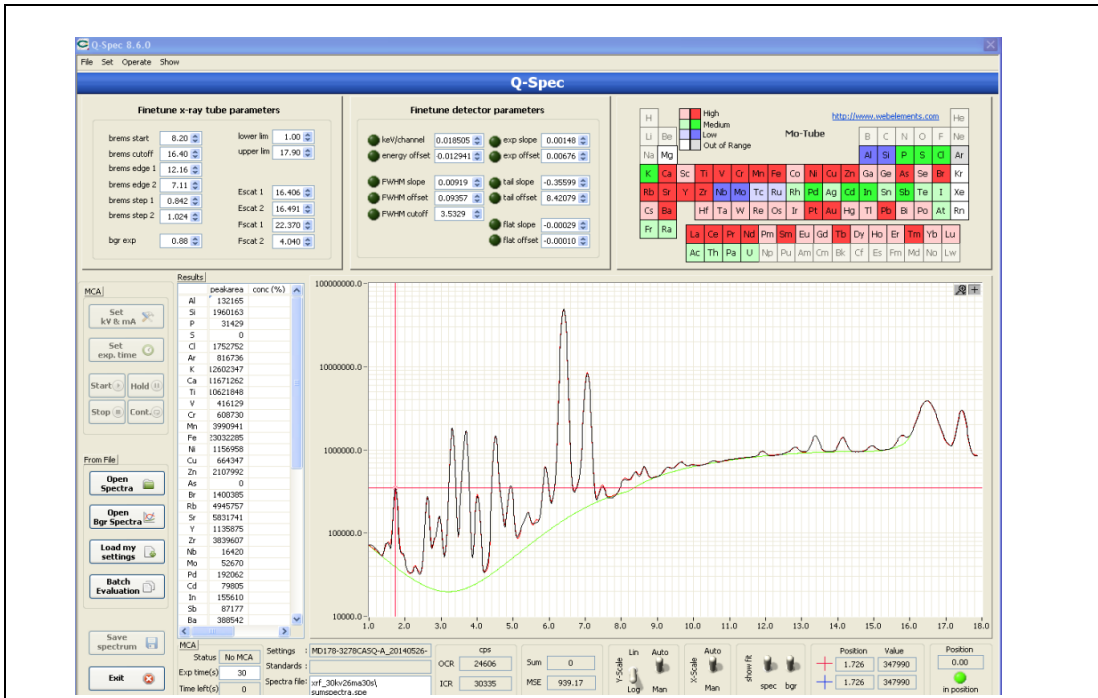


圖 4.13 Itrax 偵測所得之能量散佈譜線(Energy Dispersive Spectroscopy, EDS)。透過特徵能譜分析套裝軟體(Q-spec 8.6.0)可自動鑑定元素種類，並計算波峰面積推估各元素之相對含量。

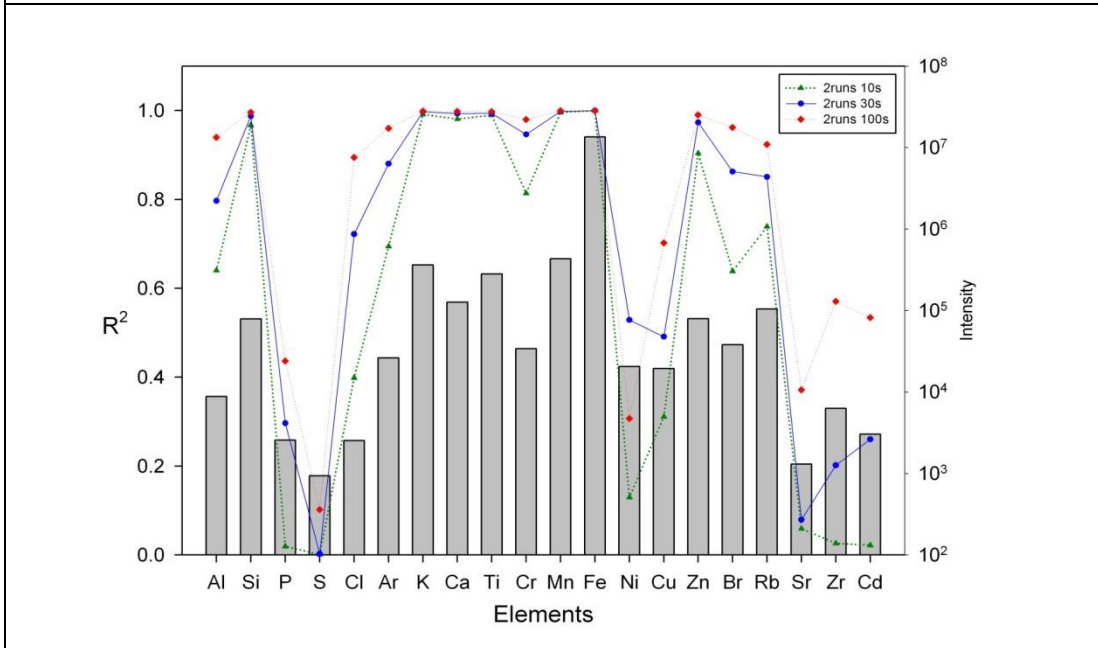
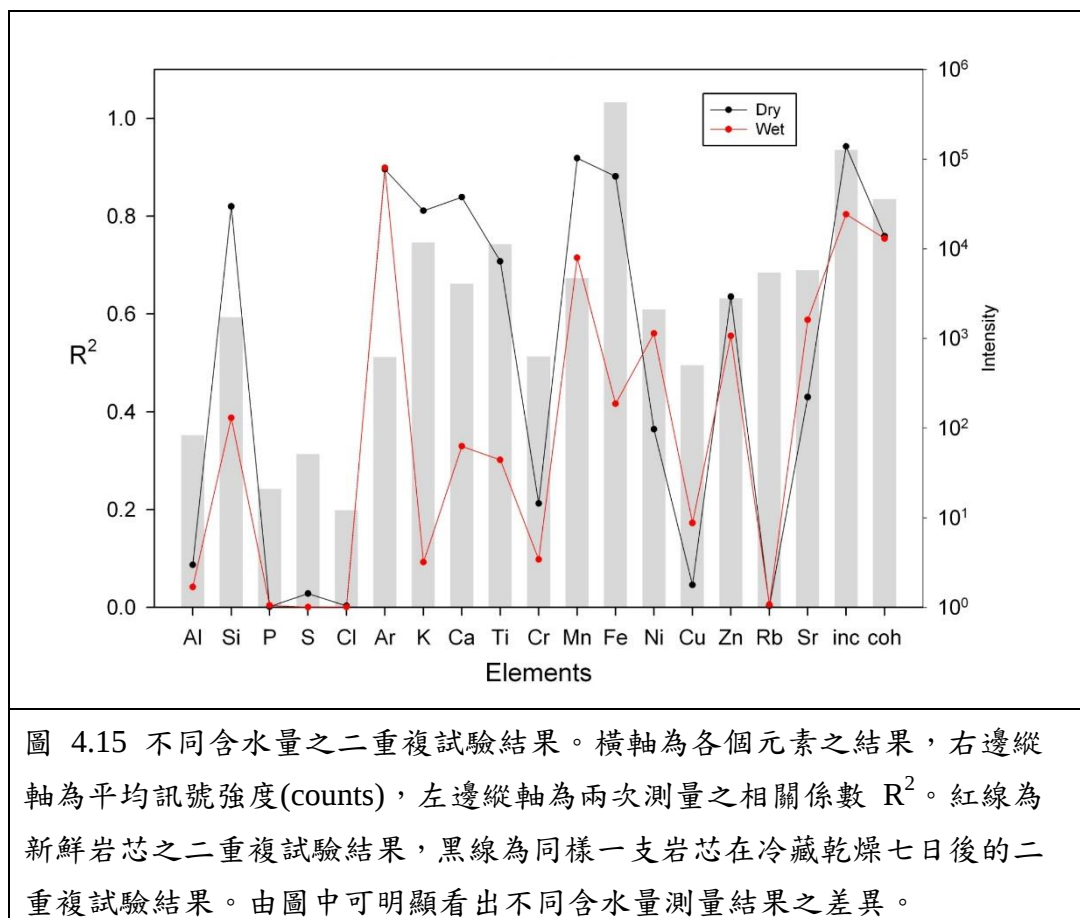


圖 4.14 不同暴露時間之二重複試驗結果。橫軸為各個元素之結果，右邊縱軸為平均訊號強度(counts)，左邊縱軸為兩次測量之相關係數  $R^2$ 。 $R^2$  值越高代表該元素測量結果之穩定性與再現性越高。圖中可看出暴露時間分別為 10 秒、30 秒及 100 秒的分析結果，顯示暴露時間越高，元素間的相關係數越佳。

由於 X 射線的行為受樣本之粒徑、孔隙率、礦物分布不均等基質效應(Matrix effects)影響，且樣本內不同的有機碳含量及含水量亦會造成稀釋效應(Dilution effects)，皆會影響測量結果(圖 4.15)。傳統 XRF 分析儀藉由標準樣本製備過程(如壓成錠或燒製成玻璃餅)及標準樣達到定量分析目地，Itrax 岩芯掃描儀講求快速及非破壞性的分析，故進行的是半定量分析 (Croudace et al., 2006; Tjallingii et al, 2007; Löwemark et al., 2008)。本計畫將會視 Itrax 分析之結果，挑選關鍵部分另外進行定量分析如 ICP-MS、ICP-OES 分析等；此亦為 Itrax 之優點，可以在快速檢視過所有結果之後重點進行後續較精細的分析，可增進效率並減少成本。



### 實驗室與現地品保品管說明(QA/QC)

岩芯掃描儀 Itrax 提供光學攝影、X 光攝影與 X 光螢光分析三種功能，為沉積物研究提供高解析度、快速且不破壞樣本的新技術。岩芯掃描儀 Itrax 掃描的是岩芯中的化學成分變化，包括主要元素、次要元素以及微量元素，可用 200 微米的解析度，快速獲得樣本的 X 光螢光分析與 X 光攝影的資料。岩芯掃描儀 Itrax 裝置鉻 (Cr)、鉬 (Mo) 兩種不同靶材的 X 光管，提供樣本中原子數從鋁 (Al) 到鈾 (U) 的一系列元素組成。Itrax 岩芯掃描儀 (Itrax-XRF core scanner) 可快速且連續掃描岩芯或其他表面平整樣本，並提供樣本的光學攝像、數位 X 光攝像、磁感率以及 X 光螢光分析 (X-ray Fluorescence, XRF)。Itrax 快速、高解析度且非破壞性的儀器特點，讓其被廣泛應用於氣候變遷與環境汙染等領域。

#### (1) 重複樣品：

將經過前處理過的土壤岩芯(core)，在不碰觸樣品以及使用相同儀器檢測參數的情況下，利用高解析度 Itrax 岩芯掃描儀進行檢測兩次，檢測後的數據成果，進行兩次相同 setting 數據校正，接著比對相同剖面段，各元素之相關係數(R 值)，原則上如果 R 值大於或等於 0.5，則表示該元素檢測信賴區間較高；若 R 值小於 0.5 則該元素檢測信賴區間較低。

#### (2) 空白樣品(現場空白)：

高解析度 Itrax 岩芯掃描儀(Itrax Core Scanner)的原理基本上與常規 XRF 相同，然而 Itrax 岩芯掃描儀是屬半定量分析儀器，該儀器掃描的屬於岩芯中化學成分變化，包括主要、次要元素以及微量元素，紀錄的是物理效應而非得到絕對之濃度值，因此 Itrax 岩芯掃描儀並不存在定量分析儀器所需具備的查核樣品與空白樣品分析之步驟，但仍可以藉由現場空白進行相關比對，以清楚污染物富集狀況之差異性。

#### (3) 量測不確定性

Itrax 岩芯掃描儀的 X 光螢光分析一般認為是一半定量的系統，除了樣本性質差異所造成的影響之外，儀器本身 XRF 偵測器之性能 (目前共有四種效能不同之偵測器)、X 光管之類

別與 X 光管老化程度等因素，皆會使產出的訊號略有差異，一般皆以儀器精密度(precision)或是再現性控制資料品質，此部分可藉由精密度檢查進行查核比對或修正。

(4) 其他：

Itrax 岩芯掃描儀有使用一個玻璃進行儀器內控部分。

本研究分析實驗室水體與底泥(需經消化程序)的重金屬濃度利用感應耦合電漿-原子放射光譜 (Inductively Coupled Plasma with Atomic Emission Spectroscopy, ICP-AES，型號 Thermo scientific iCAP 7000 series)將液體樣品經由霧化器霧化後，送入以高頻磁場感應所產生之高溫電漿，將霧化的待分析元素激發。由於被激發的元素由激發態回到基態時放出的光 譜可由固態偵測儀分析，得到溶液中微量元素的定量分析。本研究試驗所需使用分析儀器與實驗藥品，分別如下表 4.4 與表 4.5 所示。

表 4.4 實驗分析儀器

| 實驗裝置                                          | 型號或廠牌                                          |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 酸鹼度測定儀                                        | pH vision 6071, JENCO                          |
| 密閉式微波消化器                                      | MARS X (HP-500 plus) , CEM                     |
| 原子吸收光譜儀                                       | Atomic Absorption Spectrometry Z-2300, Hitachi |
| 感應耦合電漿-原子放射光譜                                 | Thermo scientific iCAP 7000 series             |
| X-射線螢光光譜儀                                     | Itrax 岩芯掃描儀                                    |
| 掃描式電子探測顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM) | JEOL JEM-1400 穿透式電子顯微鏡                         |

表 4.5 實驗藥品一覽表

| 藥品名稱                              | 化學式              | 廠牌等級      |
|-----------------------------------|------------------|-----------|
| 濃鹽酸(Hydrochloric acid)            | HCl              | 林純藥工業試藥級  |
| 濃硝酸(Nitric)                       | HNO <sub>3</sub> | SIGMA 分析級 |
| 鋅標準溶液(Zinc standard solution)     | Zn               | SIGMA 分析級 |
| 鉛標準溶液(Lead standard solution)     | Pb               | SIGMA 分析級 |
| 銅標準溶液(Copper standard solution)   | Cu               | SIGMA 分析級 |
| 鉻標準溶液(Chromium standard solution) | Cr               | SIGMA 分析級 |
| 鎳標準溶液(Nickel standard solution)   | Ni               | SIGMA 分析級 |
| 鈣標準溶液(Calcium standard solution)  | Ca               | SIGMA 分析級 |
| 鈉標準溶液(Sodium standard solution)   | Na               | SIGMA 分析級 |

## 4.5 Itrax 檢測成本分析

台大地質系岩芯掃描(Itrax)實驗室提供一般海洋岩芯之基本分析包含：光學影像分析、X 光影像分析(解析度為 200  $\mu\text{m}$ )、X 光螢光分析(解析度為 1 mm、分析時間為 5 秒)。X 光螢光分析數據需經過 Q-spec 頻譜分析軟體之校正。本計畫同時利用該實驗室配備之 Itrax-plot 軟體可進行 Itrax 掃描結果綜合繪圖。Itrax 與一般濕式化學方法之不同，在於可以得知底泥岩芯中之金屬濃度隨岩芯深度有連續檢測數據變化的特性，這種特性可以得知在什麼樣的位置有污染物進入底泥以及元素群間之關係，且可以測得元素表上鋁到鈾的峰度值，根據解析度的大小檢測時間有所不同，基本上 2-3 小時可分析完一支岩芯，較傳統分法混樣後再上機快速，且能得到更精準的數據。以滲眉埤案子為例，由 XRF 圖譜中得知，銅、鋅、硫及鈣在相同深度具有相似的波峰可能是因附近工廠利用大雨或假日將非法污水與污泥排入滲眉埤所致。本計畫儀器相關的檢測成本分別如表 4.6 至 4.10 所示，顯示利用該儀器分析的成本遠高於手持式 XRF 的分析費用。

表 4.6 基本岩芯分析 radiography + XRF

| Resolution | Exposure Time (s) | 2 mm Magnetic Susceptibility | Approximate Time per section (hr) | Price per meter (NTD) |
|------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 1 mm       | 5                 | X                            | 2-3                               | 25,000                |

表 4.7 進階岩芯分析\* radiography + XRF + Magnetic Susceptibility

| Resolution | Exposure Time (s) | 2 mm Magnetic Susceptibility | Approximate Time per section (hr) | Price per meter (NTD) |
|------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 1 mm       | 5                 | V                            | 3-4                               | 31,000                |
| 1 mm       | 10                | X                            | 3-4                               | 40,000                |
| 1 mm       | 10                | V                            | 4-5                               | 46,000                |

\*進階分析請先提出簡易說明，敘述為何基本款分析無法達到您的需求，如有其他要求請與實驗室管理人員討論

表 4.8 粉末/樹脂樣本\* (樣本長度：1cm)

| Resolution | Exposure Time (s) | Approximate Time per sample (min) | Price per sample (NTD) |
|------------|-------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 1 mm       | 2                 | 1                                 | 300                    |
| 500 um     | 2                 | 2                                 | 500                    |
| 1 mm       | 5                 | 2                                 | 500                    |
| 500 um     | 5                 | 3                                 | 800                    |

\*粉末樣本須自行製備，包含樣本之烘乾、研磨與裝填

\*由於粉末樣本之上機與設定較為繁複，視樣本多寡需加收 2,000 元設定費用

註：分析服務不包含數據處理如 Q-spec 校正及繪圖，請自行運用本實驗室之軟體進行數據校正以便掌握您的數據。如需由本實驗室協助進行數據處理，則需另行收費

表 4.9 Q-spec 校正及繪圖(Itrax-plot)

| Sample | Q-spec 校正 | Itrax-plot 繪圖 | Price (NTD)    |
|--------|-----------|---------------|----------------|
| 岩芯     | V         | X             | 1000/per meter |
| 岩芯     | V         | V             | 1200/per meter |
| 粉末/樹脂  | V         | X             | 100/per sample |

\*部份特殊樣本之 Q-spec 校正需由原廠進行處理，所需時間較多

\* Itrax-plot 繪圖包含光學影像、X 光影像(如有)與元素隨深度變化，請先說明所需繪製之元素。

表 4.10 土壤重金屬檢測費用

| 項目 | 單項費用(NTD) |
|----|-----------|
| 銅  | 2,500     |
| 鉛  | 2,500     |
| 鎳  | 2,500     |
| 鎘  | 2,500     |
| 鉻  | 2,500     |
| 鋅  | 2,500     |

(資料來源:中華民國環境檢驗測定商業同業公會)

## 4.6 工作進度甘特圖

表 4.11 工作進度甘特圖

| 年月<br>工作項目                     | 1                                                                                            | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12   | 備<br>註 |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| 背景資料文獻蒐集                       | ■                                                                                            | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |      |        |
| 現地踏勘與樣本採<br>集                  |                                                                                              | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |      |        |
| 實驗室試驗(底泥、<br>爐渣與離子交換樹<br>脂)    |                                                                                              |     | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |     |      |        |
| 底泥與爐渣樣本前<br>處理                 |                                                                                              |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |      |        |
| Itrax 岩芯掃描儀檢<br>測              |                                                                                              |     |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |      |        |
| 建立監測數據之解<br>讀方式、確認汙染<br>排放源及特徵 |                                                                                              |     |     |     |     |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   |      |        |
| Itrax 岩芯掃描儀之<br>可行性評估          |                                                                                              |     |     |     |     |     |     |     |     | ■   | ■   | ■    |        |
| 期中報告撰寫及修<br>正                  |                                                                                              |     |     |     | ■   | ■   |     |     |     |     |     |      |        |
| 期末報告撰寫及修<br>正                  |                                                                                              |     |     |     |     |     |     |     |     | ■   | ■   | ■    | ※      |
| 工作進度估計百分<br>比(累 積 數)           | 8%                                                                                           | 16% | 25% | 35% | 40% | 50% | 60% | 70% | 75% | 80% | 95% | 100% |        |
| 預定查核點                          | 期中<br>1.完成背景資料文獻蒐集之文獻蒐集<br>2.完成現地踏勘與樣本採集<br>3.完成底泥與爐渣樣本前處理<br>4.105 年 5 月提交已完成之期中書面報告乙式 10 份 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |        |

|                                                                                                                                                                                                                                               |    |                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                               | 期末 | 1.完成 Itrax 岩芯掃描儀檢測<br>2.建立監測數據之解讀方式、確認汙染排放源及特徵<br>3.完成 Itrax 岩芯掃描儀之可行性評估<br>4.105 年 11 月提交完成之期末書面報告乙式 15 份 |
| <p>說明：</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>4、多年期計畫應分年說明各年度工作項目及期程規劃。</p> |    |                                                                                                            |

## 五、結果與討論

### 5.1 陰離子樹脂吸附實驗

陰離子交換樹脂吸附實驗設計係沿用「104 年度重金屬監測離子交換樹脂縮時膠囊之設計研發」的方法，唯不同之處在於本研究係針對混凝攪拌機單一轉速的水體(100 rpm，模擬河川渠道的流動現象)，吸附目標化合物分別有鐵氰酸根離子( $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ )、碳酸氫根離子( $\text{HCO}_3^-$ )與硫酸根離子( $\text{SO}_4^{2-}$ )等 3 種。實驗室試驗將著重在模擬野外渠道相似的環境條件，不再討論交換樹脂浸掛於水體中靜置的情況。根據已完成之吸附實驗的數據得知，陰離子交換樹脂在開放水體中對不同陰離子化合物的吸附效率反應良好(陰離子樹脂未達交換容量的狀況下)。考量後續比較陰、陽離子交換樹脂在 Itrax 檢測數據差異的分析，本次陰離子吸附試驗的樣本在不同濃度的設計下都採取 3 重複，共蒐集 48 個陰離子交換樹脂樣本，工作紀要如表 5.1 所示。

表 5.1 實驗程序敘述一覽表

| 日期       | 工作內容(上午)                            | 工作內容(下午)                       |
|----------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 105/1/26 | 實驗室準備工作<br>(水樣配製、編號)                | 實驗前準備<br>(水樣配製、編號)             |
| 105/1/27 | 水樣濃度配製、編號                           | 樹脂包製作準備                        |
| 105/1/28 | 進行實驗 100 rpm<br>(時間控制、測 pH、照相)      | 進行實驗 100 rpm<br>(時間控制、測 pH、照相) |
| 105/1/29 | 進行實驗 100 rpm<br>(時間控制、測 pH、照相)      | 樹脂包製作                          |
| 105/1/30 | 進行實驗 100 rpm<br>(時間控制、測 pH、照相)      | 樹脂包製作                          |
| 105/2/2  | 水樣配製及進行實驗 100 rpm<br>(時間控制、測 pH、照相) | 進行實驗 100 rpm<br>(時間控制、測 pH、照相) |
| 105/2/3  | 實驗室清理工作<br>清洗實驗用具，樹脂秤重              | 實驗室清理工作<br>水樣送至分析，樹脂風乾         |

本實驗室試驗為一封閉系統，依據質量守恆原理，水體中重金屬濃度值(如鐵)的遞減現象，可轉換為陰離子交換樹脂的吸附鐵離子的吸收率，如公式(a)所示。以鐵為例，針對不同濃度的吸附結果比較，根據質量平衡計算陽離子交換樹脂的理論銻濃度值。試驗結果發現陰離子樹脂的吸附效率隨著時間的累積而增加。

$$q(\%) = \frac{C_0 - C_i}{C_0} * 100 \dots\dots\dots (a)$$

q:樹脂吸附率(%)

C<sub>0</sub>:水體目標元素初始濃度

C<sub>i</sub>:水體目標元素採樣濃度

探究以鐵為例的吸附實驗而言，其水體體積為 100 mL，水體中鐵初始設計濃度為 16.8 mg L<sup>-1</sup>(ICP 分析濃度為 12.7 mg L<sup>-1</sup>)，陰離子交換樹脂重量為 9.27 g(乾重)。待吸附實驗完成後，其 ICP 分析實驗結束的水體中鐵濃度值(吸附時間 1 小時)為 0.04 mg L<sup>-1</sup>，得知陰離子交換樹脂吸附鐵總量為 (12.7-0.04)\*0.1 = 1.266 mg，換算得知陰離子交換樹脂理論鐵濃度值為 1.266/10\*1000 = 128.53 ÷ 129 mg kg<sup>-1</sup>，其對應 Itrax 分析的鐵濃度峰值為 83,501 cps(實驗試編碼 HCl\_2，見表 5.2)。

以此類推，吸附完成之樹脂透過 ITrax 檢測分析可以得到各種元素所對應的峰值(如表 5.3 所示)，將上述資料彙整後，其樹脂理論鐵濃度值與 Itrax 所對應的峰值結果如表 5.3 所示。將不同濃度(微量、低、中與高濃度)的鐵納入比較後，發現不同鐵濃度與 Itrax 檢測所對應峰值的相關係數達 0.9 以上(如圖 5.1 所示)。針對同一濃度的實驗條件，即便不同轉速所造成吸附結果的差異性並不大，主因是因為樹脂吸附水溶液中元素的反應時間(僅需 30 分鐘即可達 50%以上的吸附效率)相對於實驗設計的吸附時間(1 小時結束)是短暫地。

將所有不同元素(鐵氰酸根與硫酸根)濃度的吸附試驗數值整合在一起後發現，陰離子交換樹脂的理論鐵濃度值範圍介於 164~ 20,614 mg kg<sup>-1</sup>，且與 Itrax 檢測峰值的相關係數高達 0.998(如圖 5.1 所示)。重複上述步驟，針對硫做比較，與 Itrax 檢測峰值的相關係數高達 0.983(如圖 5.2 所示)。此一結果說明，XRF(台大地質系 Itrax)在分析交換樹脂所含元素(鐵氰酸根與硫酸根)含量的準確性符合本計畫所需的要求。

表 5.2 陰離子交換樹脂吸附鐵氰化合物數據結果表

| 類別<br>單位 | pH<br>—   | 硫酸根       | 總鐵        | 氰化物<br>mg/L | 硬度        | 氯鹽        |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| HC1_1    | 6.79/6.62 | 24.5/0.29 | 1.69/0.04 | ND/ ND      | 26.4/2.93 | 2.50/70.5 |
| HC1_2    | 6.07/6.09 | 25.7/0.22 | 12.7/0.04 | 0.006/ ND   | 8.80/2.35 | 39.7/101  |
| HC1_3    | 8.28/6.18 | 40.7/0.27 | 50.0/0.06 | 0.018/ ND   | ND/2.93   | 84.4/194  |
| HC1_4    | 6.32/6.14 | 35.9/0.19 | 156/0.07  | 0.031/ ND   | ND/ND     | 94.3/347  |
| HC2_1    | 6.07/5.88 | 122/0.27  | 1.89/ND   | ND/ ND      | 26.4/ND   | 2.50/122  |
| HC2_2    | 6.48/5.88 | 117/0.20  | 14.4/ND   | 0.003/ ND   | 8.80/0.59 | 42.2/144  |
| HC2_3    | 6.39/7.00 | 122/0.37  | 60.0/ND   | 0.014/ ND   | ND/ND     | 81.9/149  |
| HC2_4    | 6.67/6.43 | 109/0.32  | 102/0.04  | 0.028/ ND   | ND/1.17   | 76.9/427  |
| HC3_1    | 6.36/7.63 | 311/4.63  | 1.88/ND   | ND/ ND      | 26.4/0.60 | 7.40/293  |
| HC3_2    | 6.49/8.08 | 316/5.07  | 15.5/ND   | ND/ ND      | 8.80/ND   | 39.7/275  |
| HC3_3    | 7.17/7.50 | 327/11.5  | 61.9/ND   | 0.013/ ND   | ND/2.93   | 96.8/404  |
| HC3_4    | 6.86/7.59 | 297/7.13  | 120/0.03  | 0.021/ ND   | ND/1.76   | 127/591   |
| HC4_1    | 6.31/7.47 | 478/14.0  | 2.04/ND   | ND/ ND      | 26.4/0.58 | ND/409    |
| HC4_2    | 6.45/6.31 | 515/24.9  | 17.1/0.04 | 0.002/ ND   | 8.80/0.58 | 39.7/424  |
| HC4_3    | 6.78/6.34 | 494/27.2  | 68.2/0.04 | 0.015/ ND   | ND/1.76   | 79.4/546  |
| HC4_4    | 6.82/6.27 | 513/30.9  | 126/0.04  | 0.028/ ND   | ND/0.58   | 122/663   |

註：1.總鐵 MDL=0.002 mg L<sup>-1</sup> QDL<0.010 mg L<sup>-1</sup>；氰化物 MDL=0.0003 mg L<sup>-1</sup>；硬度 MDL=0.3 mg L<sup>-1</sup>；氯鹽 MDL=1.3 mg L<sup>-1</sup>

A/B (吸附前檢測/吸附後檢測)

表 5.3 陰離子交換樹脂吸附鐵氰化合物 Itrax 數據一覽表

| 類別    | S     | Cl     | Fe      | Mo inc  | Mo coh | Ratio | $\text{Fe(CN)}_6^{3-}$ (註 1) | $\text{SO}_4^{2-}$ (註 1) | Fe (註 2)            | S (註 2) |
|-------|-------|--------|---------|---------|--------|-------|------------------------------|--------------------------|---------------------|---------|
| 單位    |       |        | cps     |         |        | -     | $\text{mg L}^{-1}$           |                          | $\text{mg kg}^{-1}$ |         |
| HC1_1 | 679   | 64,152 | 8,300   | 422,289 | 58,917 | 7.17  | 1.68                         | 27.5                     | 16.4                | 267.7   |
| HC1_2 | 777   | 75,973 | 83,501  | 404,386 | 57,173 | 7.07  | 16.8                         | 27.5                     | 189.6               | 310.4   |
| HC1_3 | 563   | 71,059 | 439,094 | 372,346 | 53,548 | 6.95  | 84.0                         | 27.5                     | 996.3               | 326.2   |
| HC1_4 | 251   | 55,677 | 881,369 | 338,988 | 50,415 | 6.72  | 168                          | 27.5                     | 2,061.4             | 337.4   |
| HC2_1 | 1,526 | 51,576 | 9,147   | 435,565 | 59,213 | 7.36  | 1.68                         | 110                      | 15.8                | 1,036.1 |
| HC2_2 | 2,126 | 69,874 | 91,359  | 405,270 | 55,004 | 7.37  | 16.8                         | 110                      | 211.5               | 1,384.6 |
| HC2_3 | 1,405 | 55,546 | 406,355 | 379,522 | 53,716 | 7.07  | 84.0                         | 110                      | 863.7               | 1,131.1 |
| HC2_4 | 1,345 | 48,926 | 844,045 | 347,464 | 51,526 | 6.74  | 168                          | 110                      | 1,859.7             | 1,217.6 |
| HC3_1 | 4,799 | 64,812 | 9,451   | 423,487 | 57,368 | 7.38  | 1.68                         | 330                      | 17.2                | 3,373.8 |
| HC3_2 | 4,613 | 63,223 | 74,076  | 414,130 | 54,852 | 7.55  | 16.8                         | 330                      | 168.8               | 3,315.4 |
| HC3_3 | 4,128 | 57,340 | 344,934 | 390,066 | 53,964 | 7.23  | 84.0                         | 330                      | 767.5               | 3,015.2 |
| HC3_4 | 2,090 | 70,233 | 309,867 | 389,894 | 55,754 | 6.99  | 168                          | 330                      | 741.9               | 1,457.3 |
| HC4_1 | 7,458 | 45,715 | 11,192  | 445,872 | 58,586 | 7.61  | 1.68                         | 550                      | 18.7                | 6,129.4 |
| HC4_2 | 7,180 | 47,161 | 84,755  | 441,537 | 58,232 | 7.58  | 16.8                         | 550                      | 175.0               | 5,728.2 |
| HC4_3 | 3,610 | 67,992 | 165,868 | 405,219 | 56,549 | 7.17  | 84.0                         | 550                      | 388.4               | 2,543.0 |
| HC4_4 | 3,515 | 65,405 | 318,843 | 390,393 | 55,131 | 7.08  | 168                          | 550                      | 726.0               | 2,376.8 |

註 1：本吸附實驗鐵氰酸根子( $\text{Fe(CN)}_6^{3-}$ )與硫酸根( $\text{SO}_4^{2-}$ )之設計濃度

註 2：陰離子交換樹脂吸附鐵氰酸根與硫酸根之 Itrax 分析濃度(假設完全吸附)

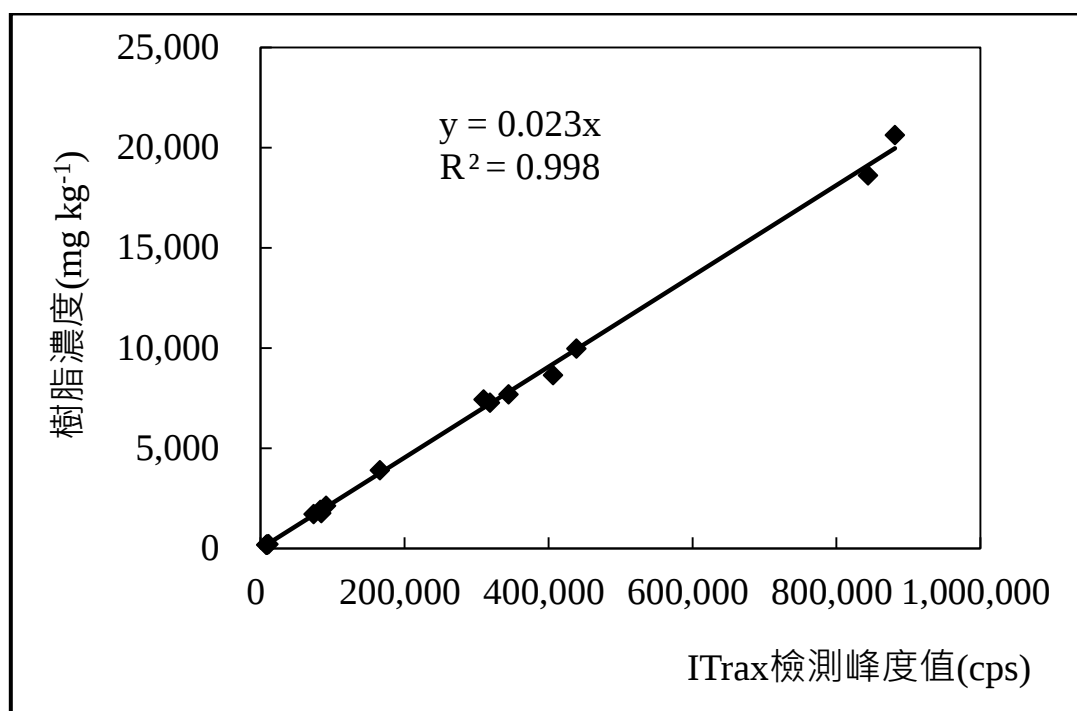


圖 5.1 鐵氰酸根與樹脂吸附濃度圖

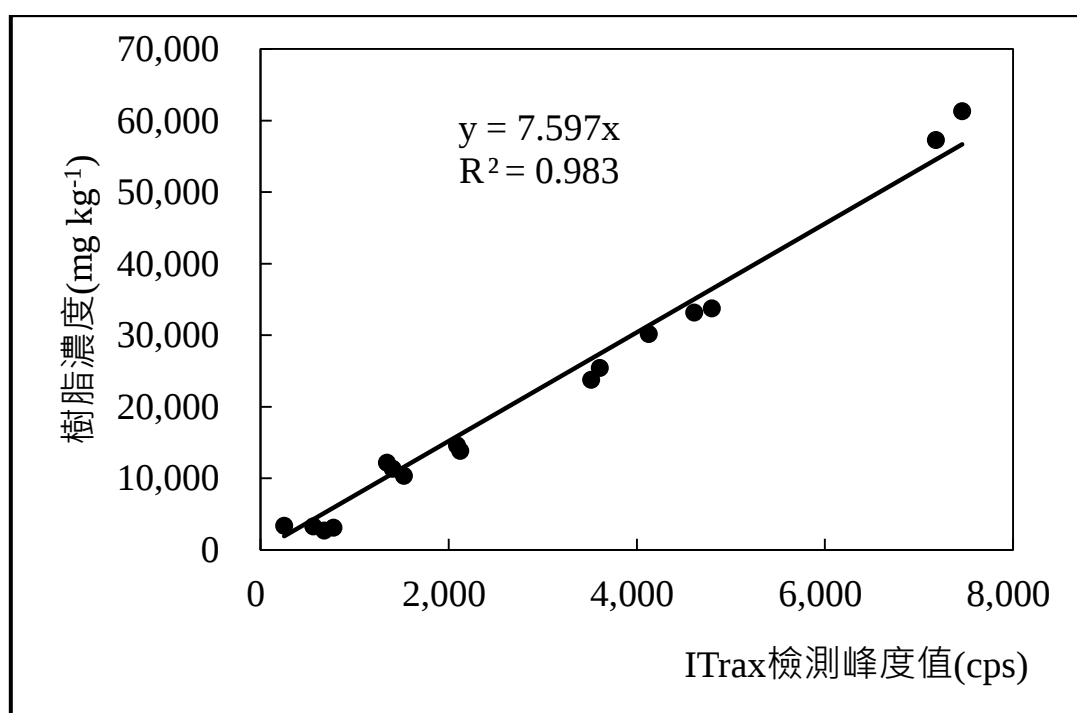


圖 5.2 硫酸根與樹脂吸附濃度圖

## 5.2 滲眉埤底泥採樣

本研究環境鑑識案例分析是以桃園市大園區滲眉埤污染案為探討對象，經由採集滲眉埤塘底泥岩芯樣品，以 Itrax 岩芯掃描儀進行元素種類判定、元素半定量快速篩測與非彈性和彈性散射之比值檢測。在計畫主持人張尊國教授帶領下，協調瑞昶環境顧問科技有限公司人員於 105 年 03 月 31 日至桃園市大園區滲眉埤進行現勘工作，主要工作是勘察未來埤塘底泥岩芯採樣位置(如下頁照片所示，第 41 至 44 頁)。

根據「103 年度桃園縣土壤及地下水污染調查及查證工作計畫」中的底泥資料(如表 4.1 所示)，初步發現該埤塘底泥以銅金屬的污染最為嚴重，濃度最高可達 1.6%(底泥剖面深度為 30-50 公分處);其次為重金屬鋅，濃度亦可達  $2,030 \text{ mg kg}^{-1}$ 。本團隊規劃設計採集 10 個滲眉埤底泥的岩芯作為分析標的(如圖 4.8 所示)，該底泥岩芯將不以分層均勻混樣為方法，而是採取沿著岩芯連續偵測方式進行，擷取更多土壤污染的資訊，以作為環境指紋鑑識工作內容之參考。其底泥樣本編號依序為 SMP-05-1 至 SMP-05-10。

在獲得桃園縣環保局同意後，本團隊研究成員(5 人)偕同台大地質系岩芯掃描實驗室黃致展先生(博士候選人)所帶領的採樣人員(3 人)於 105 年 04 月 30 日至桃園市大園區滲眉埤進行埤塘底泥岩芯採樣工作，現場底泥採集作業現況以及取得之埤塘底泥岩芯照片如第 45 至 54 頁所示，該底泥岩芯將不以分層均勻混樣為方法，而是採取沿著岩芯連續偵測方式進行，擷取更多土壤污染的資訊，以作為環境指紋鑑識工作內容之參考。利用統計軟體之分類、分群方法協助判定以及資料庫的比對，達到環境監測與追溯污染源之功效。

### 5.3 滲眉埤底泥岩芯分析檢測

本計畫將於 105 年 4 月 30 日所採岩芯上機以 Itrax 掃描分析，圖 5.3-5.6 為 SMP05-3、SMP05-4、SMP05-6 與 SMP05-8 掃描結果，由左至右分別為光學影像、X 光影像及 XRF 分析(單位為 counts per second, cps)。資料顯示底泥岩芯所含元素包括矽、鈣、錳、鎳、銅、鉛、鉻與鋅等 8 種。本計畫將針對銅、鋅、鉻、鎳與鉛的變化作進一步的分析與討論。其中，在 SMP05-3 中前 10 公分銅、鉛、鉻有波峰有相似趨勢且峰度值較高，而矽、鈣與鎳則是越往下峰度值愈高，尤其在 24 公分至 28 公分有最高峰度值。SMP05-4 在 22 到 25 公分，矽、鈣、錳、鎳、銅與鋅有一高峰度值，但鉛峰度值卻下降，在 16-18 公分間鉻的峰度值有最高點。SMP05-6 中矽、鈣、鎳有相似峰度趨勢，在 37 到 40 公分有較高峰度值，而在鎳、銅與鋅峰度值中，在 25 到 30 公分間有一高峰度值，銅在 15 公分前有高峰度值，在 12 到 15 公分間有最高峰度值。SMP05-8 中鐵、銅與鋅在 17 公分的地方峰度值很高，鈣在 47-50 公分峰度值最高。

將所分析的 10 個岩芯依不同元素畫圖(如圖 5.7-5.15 所示)，圖 5.7 中 SMP05-3、SMP05-4 與 SMP05-6 在 20-30 公分間有相似波峰，且在 26 公分有最高峰度值，顯示可能是同一排放事件所致，水中中金屬隨著水流流經，在出水口處(SMP05-6)停留並累積。圖 5.8 中鉻元素採樣點位岩芯波峰相似，而 SMP05-4 有一特高峰度值。圖 5.9 中，銅的峰度值較於其他元素高，在前 30 公分前有峰度值很高，隨著採樣深度的加深而峰度值下降。鎳的峰的值均趨近於 500cps，而 SMP05-6 在 26-28 公分有最高峰度值(1741 cps)。而鉛的峰度值變化趨勢則相似，峰度值在 1000-2000cps。

值得一提，本計畫所採集的底泥岩芯中鈣濃度隨深度的變化似乎與銅、錳和鋅的濃度有相似的趨勢變化。可能原因是該工廠在做一般焚化飛灰處理時，噴入大量碳酸鈉和石灰溶液至滌塵器中使其和煙道氣發生酸鹼中和反應。酸氣和  $\text{SO}_2$  會被吸附在水滴表面，然後反應形成中性鹽類，如硫酸鈣( $\text{CaSO}_4$ )、氯化鈣( $\text{CaCl}_2$ )、硫酸鈉( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )和氯化鈉( $\text{NaCl}$ )，故袋式集塵灰通常為強鹼性(pH 值通常 $>10$ )。合理推斷，該工廠利用大雨或假日將非法污水與污泥排入滲眉埤時，可能就會造成現在底泥岩芯所含鈣、銅、錳和鋅的濃度有相似的變化趨勢。如果採用傳統底泥間距 15 至 20 公分混樣的採樣方式，會因為底泥所含重

金屬濃度均勻化而無法顯示出此一特性，這也正是凸顯 Itrax 連續檢測技術的優勢。

針對上述 Itrax 結果可知，波峰相似的地方可能為同一汙染事件發生所致，且峰度值會隨距離的遠近而增加。根據非彈性和彈性散射之比值( $\text{Mo inc}/\text{Coh}$ )資料發現不同深度的土壤剖面也有明顯的變化趨勢，以 SMP05-3 為例，0-17 公分的比值( $\text{Mo inc}/\text{Coh}$ )約為 4 左右，17 公分以下降至 3.6。其餘岩芯也有隨底泥剖面深度增加而非彈性和彈性散射之比值( $\text{Mo inc}/\text{Coh}$ )降低的趨勢發生。

以 SMP-05-01 為例，可以發現 XRF 圖譜，銅、鋅、硫及鈣在相同深度具有相似的波峰，又因為以焚化處理方式之廢棄物處理機構其一般焚化飛灰處理時，會噴入大量碳酸鈉和石灰溶液至集塵器中使其和煙道氣發生酸鹼中和反應，酸氣和  $\text{SO}_2$  會被吸附在水滴表面，然後反應形成中性鹽類，如硫酸鈣( $\text{CaSO}_4$ )、氯化鈣( $\text{CaCl}_2$ )、硫酸鈉( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )和氯化鈉( $\text{NaCl}$ )。因此，可以合理推斷附近工廠利用大雨或假日將非法污水與污泥排入滲眉埤時，造成底泥岩芯所含銅、鋅、硫及鈣的濃度有相似的變化趨勢。

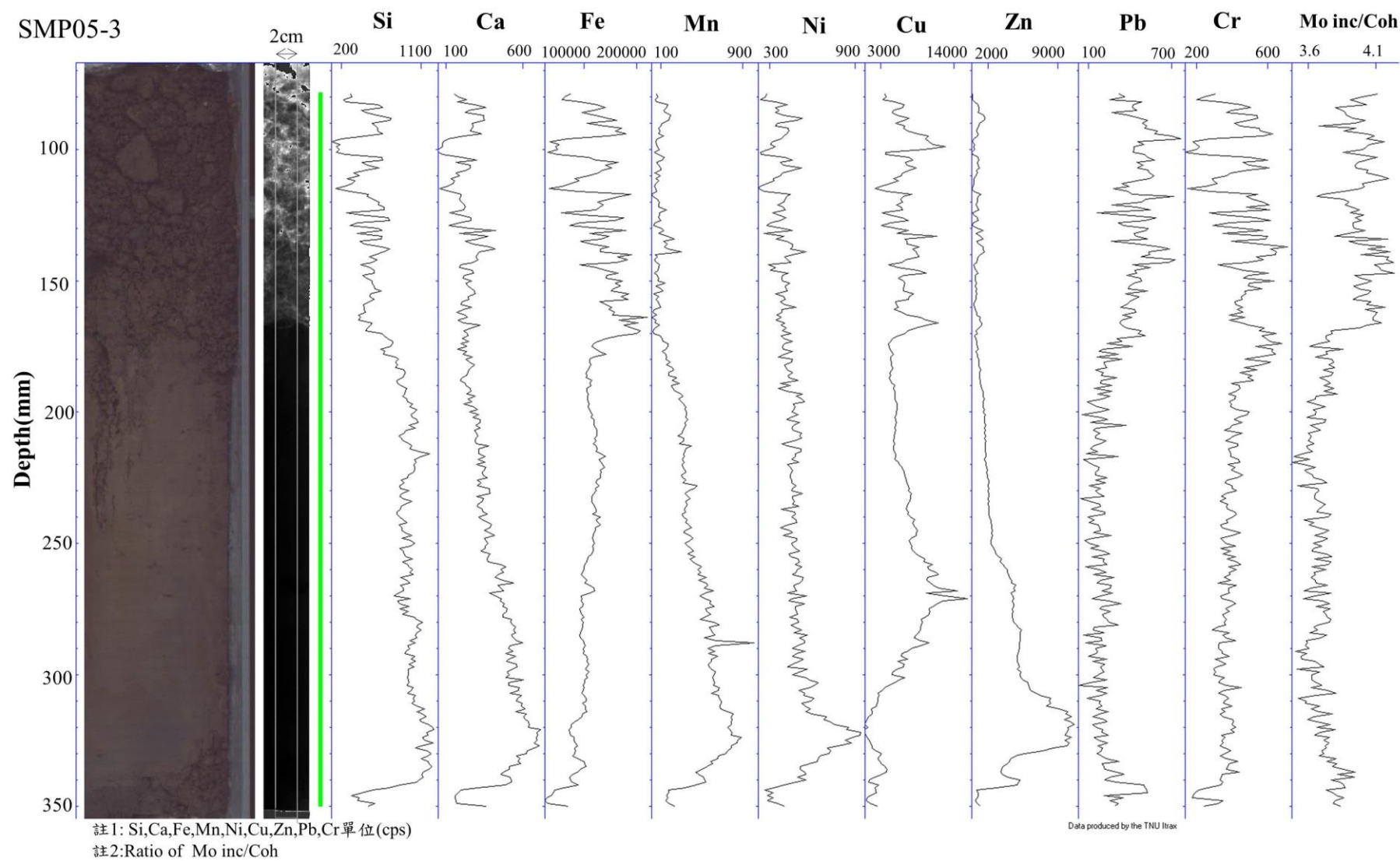


圖 5.3 SMP-05-3 Itrax 岩芯掃描圖

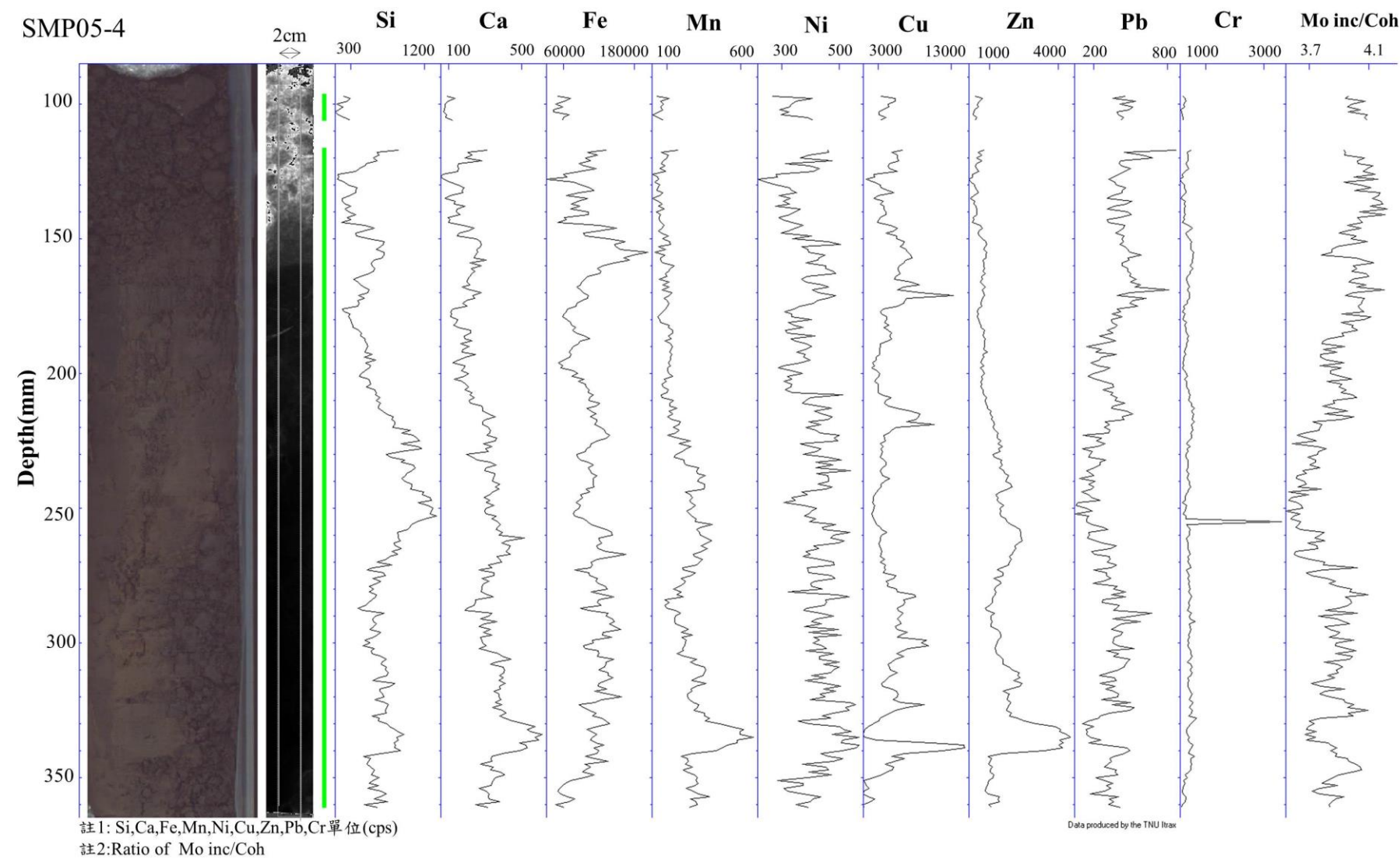


圖 5.4 SMP-05-4 Itrax 岩芯掃描圖

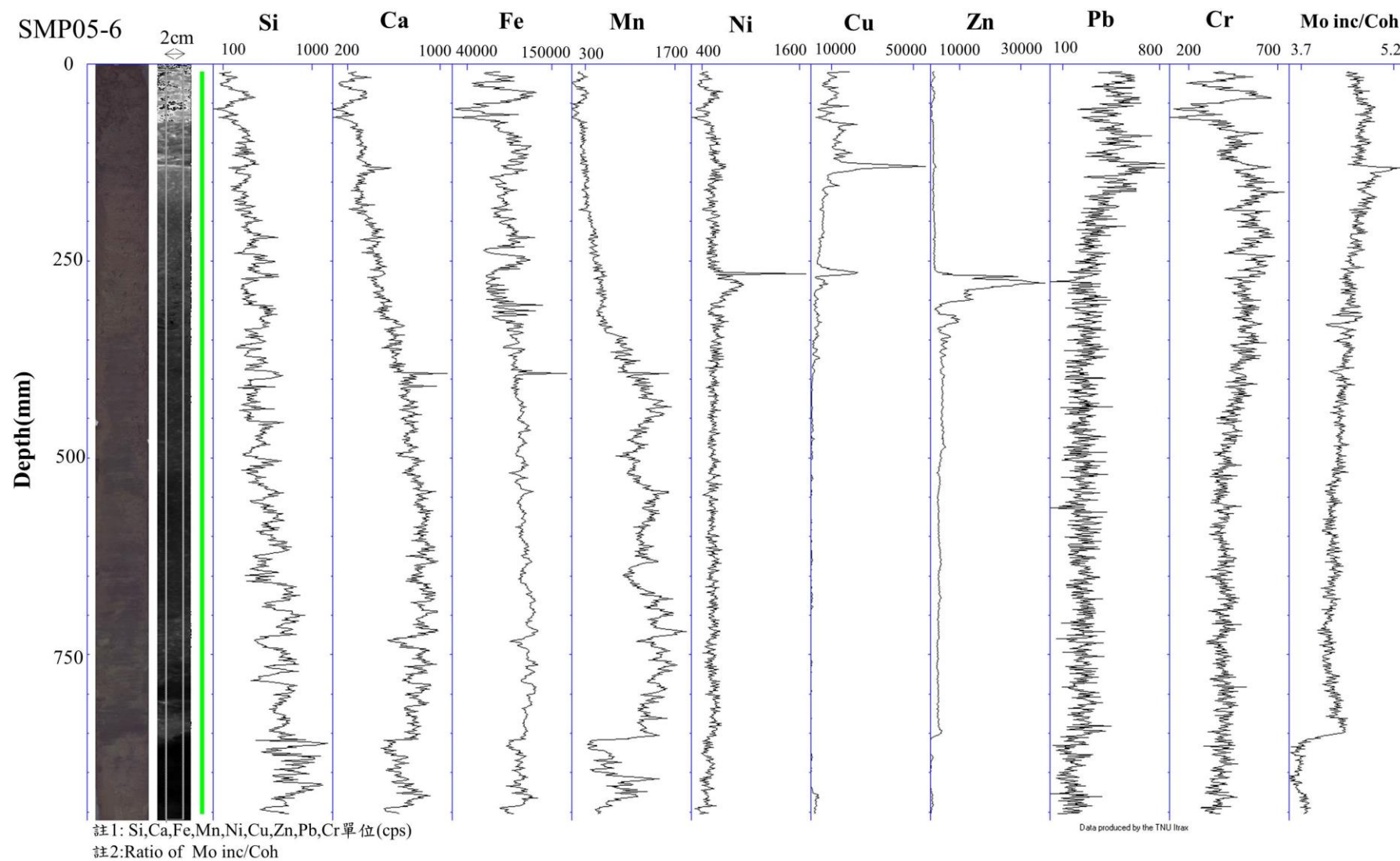


圖 5.5 SMP-05-6 Itrax 岩芯掃描圖

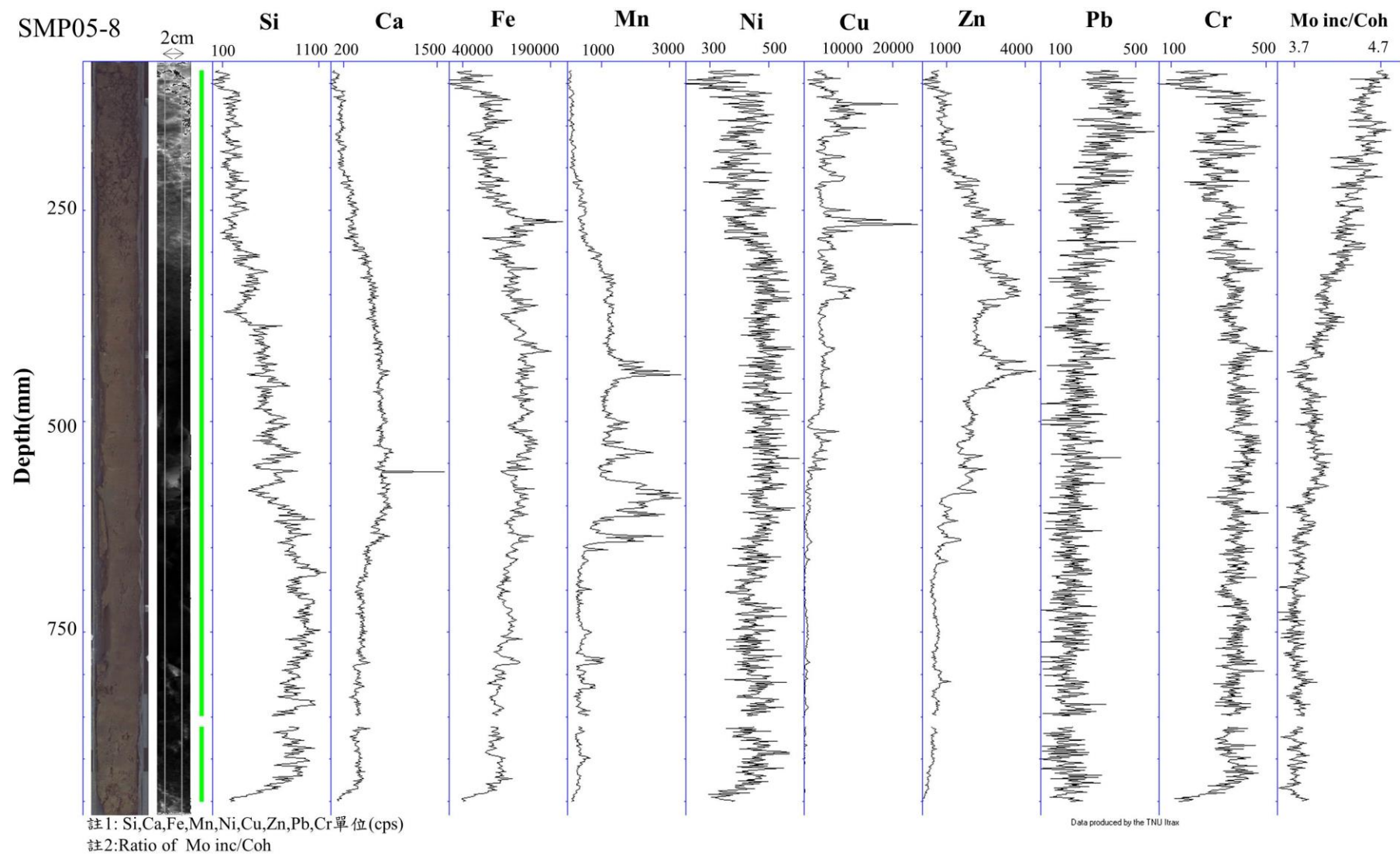


圖 5.6 SMP-05-8 Itrax 岩芯掃描圖

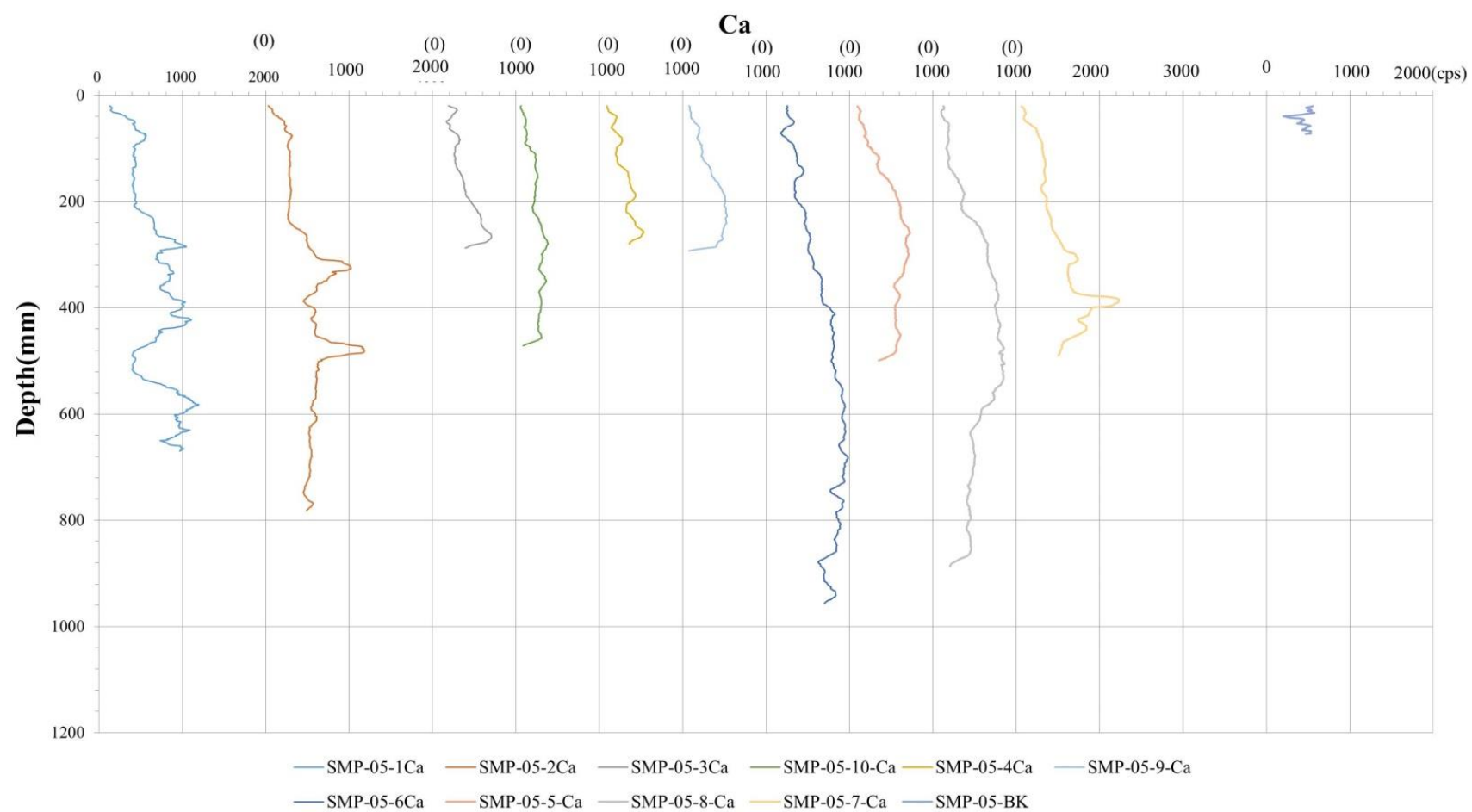


圖 5.7 Itrax 岩芯掃描圖-鈣(Ca)

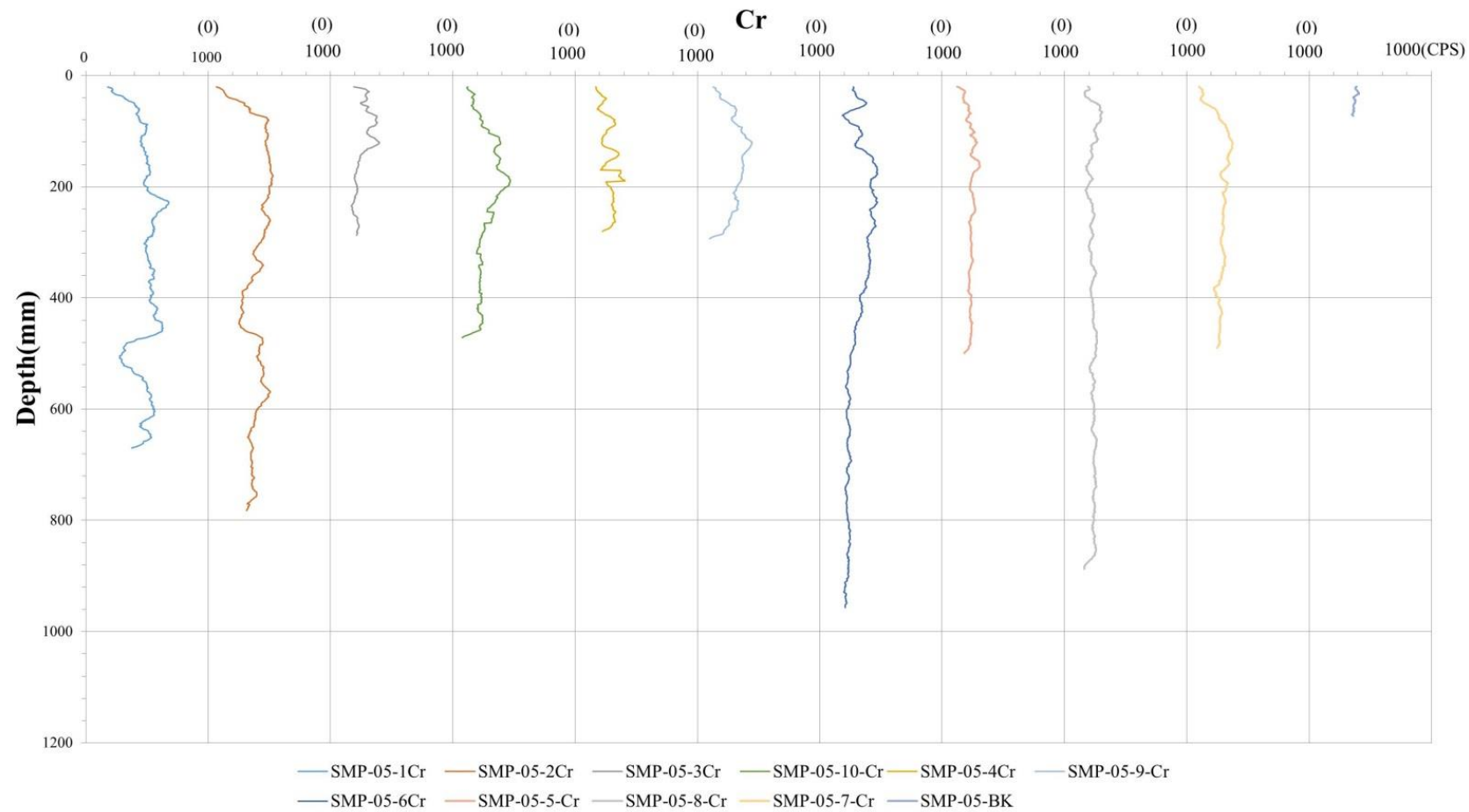


圖 5.8 Itrax 岩芯掃描圖-鉻(Cr)

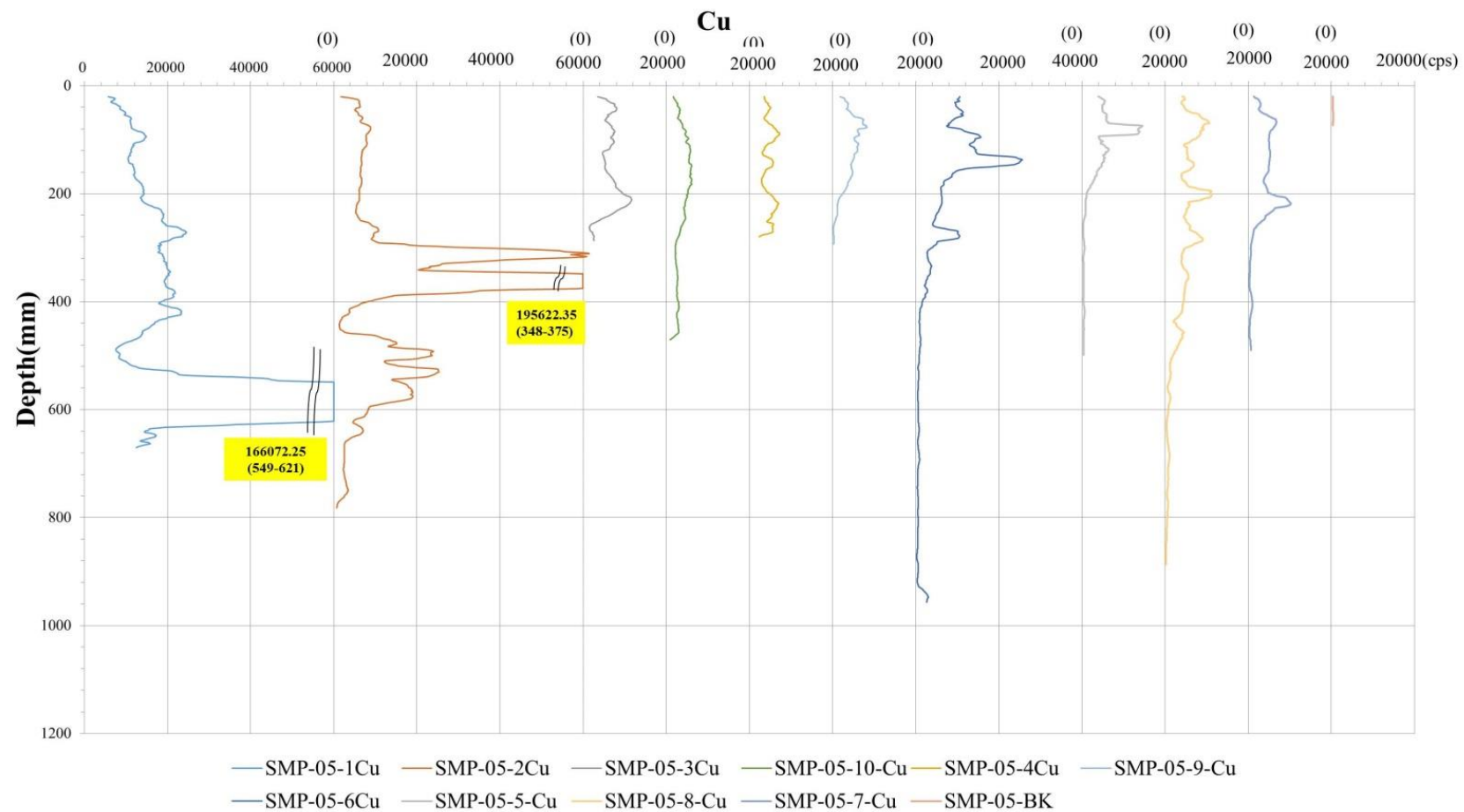


圖 5.9 Itrax 岩芯掃描圖-銅(Cu)

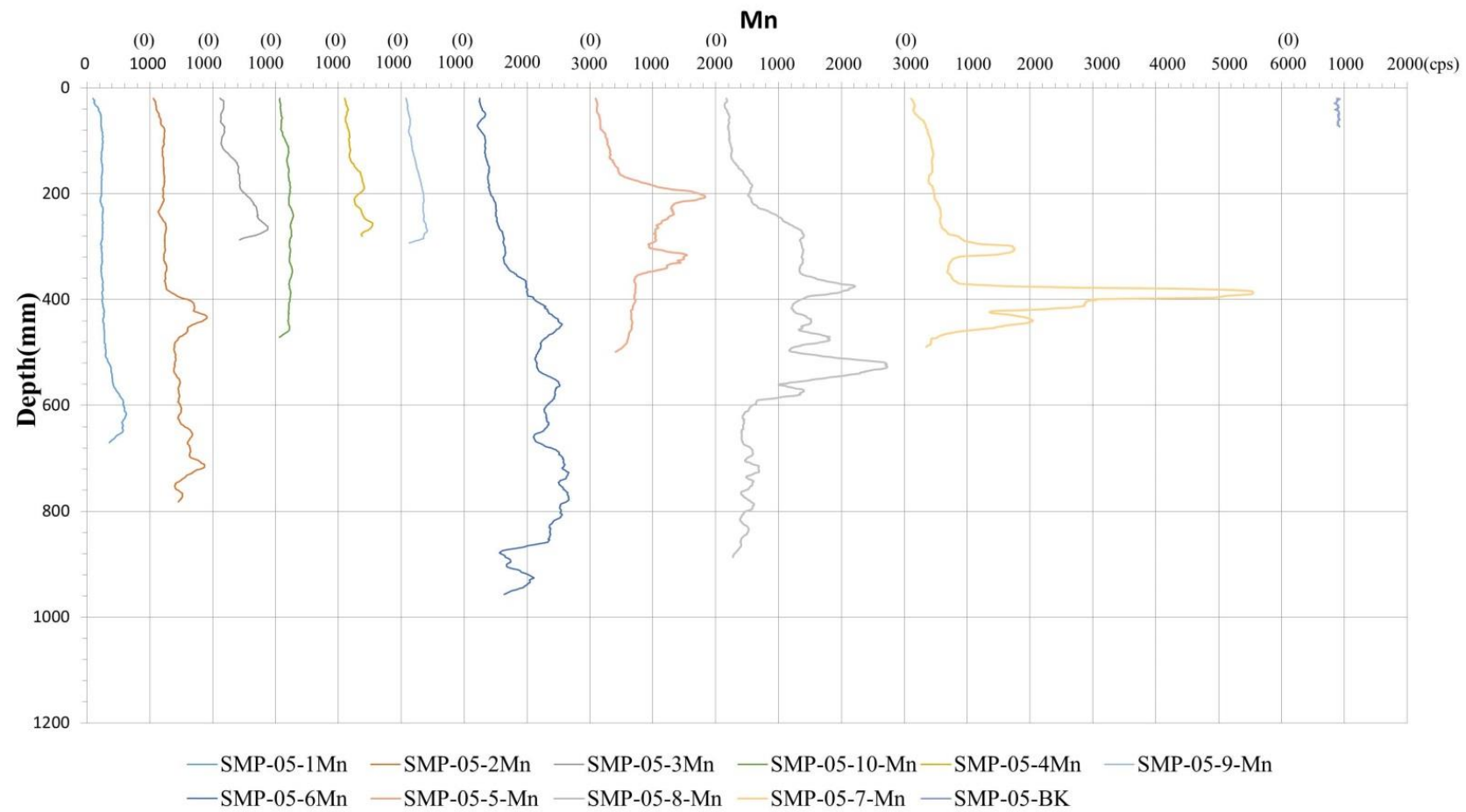


圖 5.10 Itrax 岩芯掃描圖-錳(Mn)

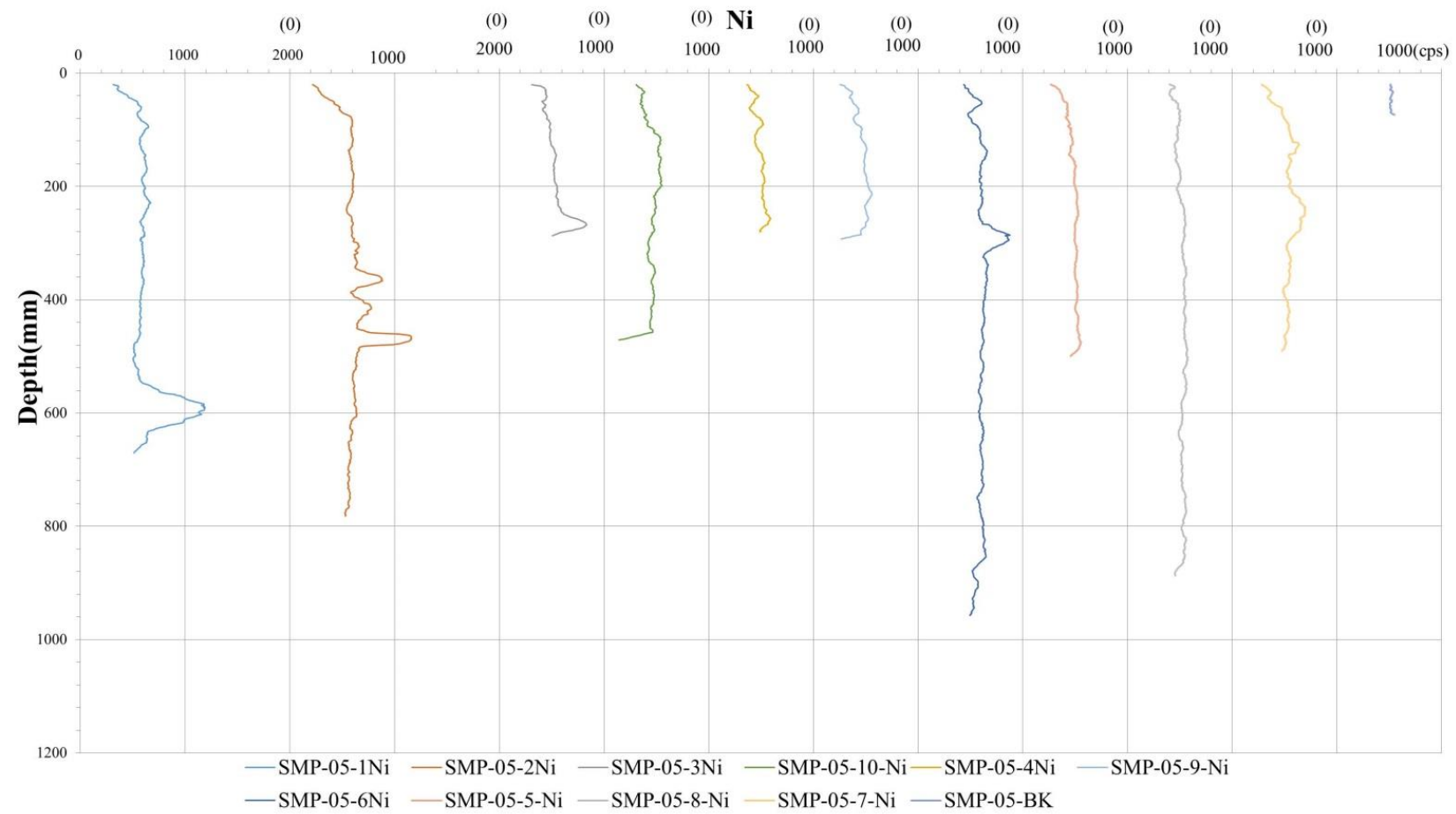


圖 5.11 Itrax 岩芯掃描圖-鎳(Ni)

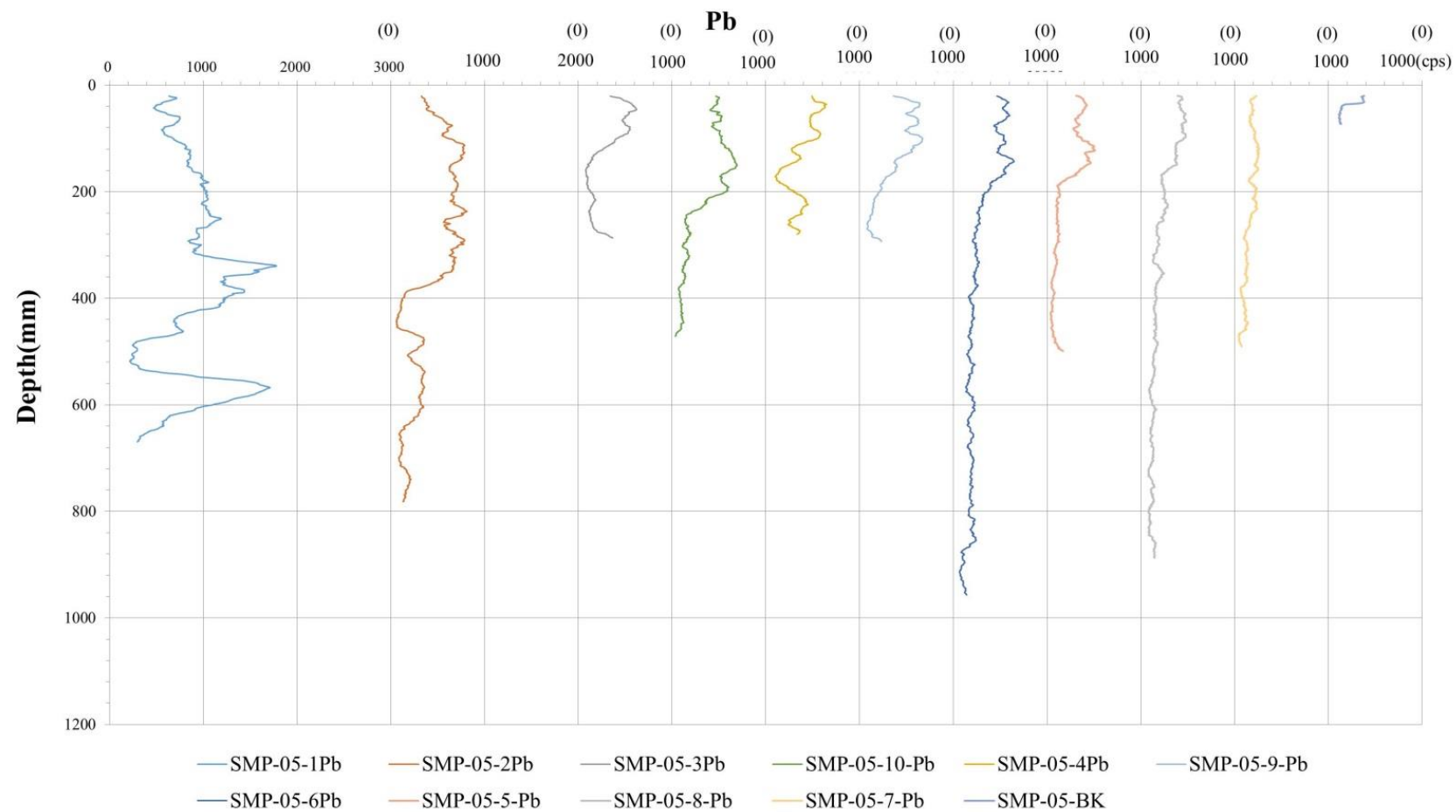


圖 5.12 Itrax 岩芯掃描圖-鉛(Pb)

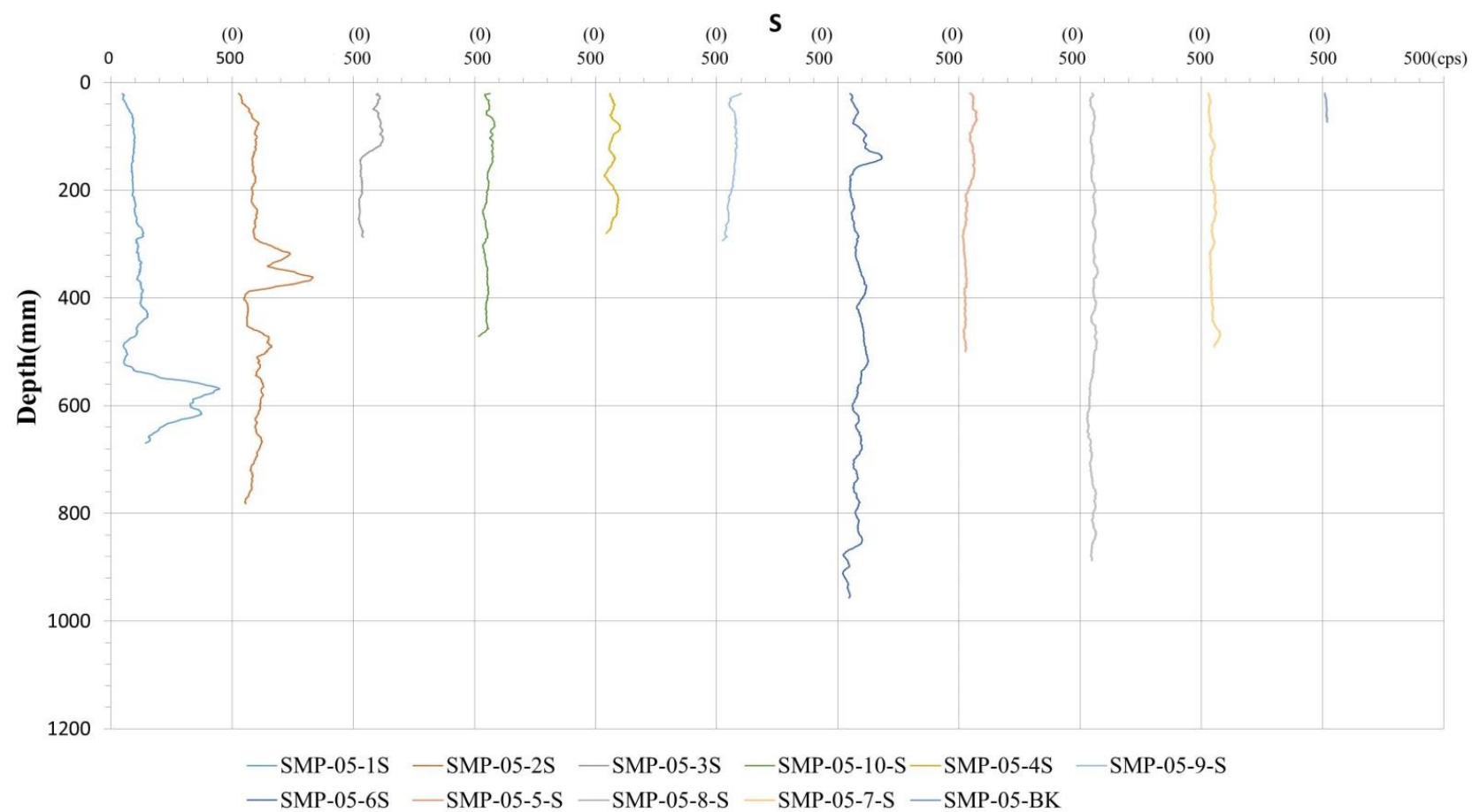


圖 5.13 Itrax 岩芯掃描圖-硫(S)

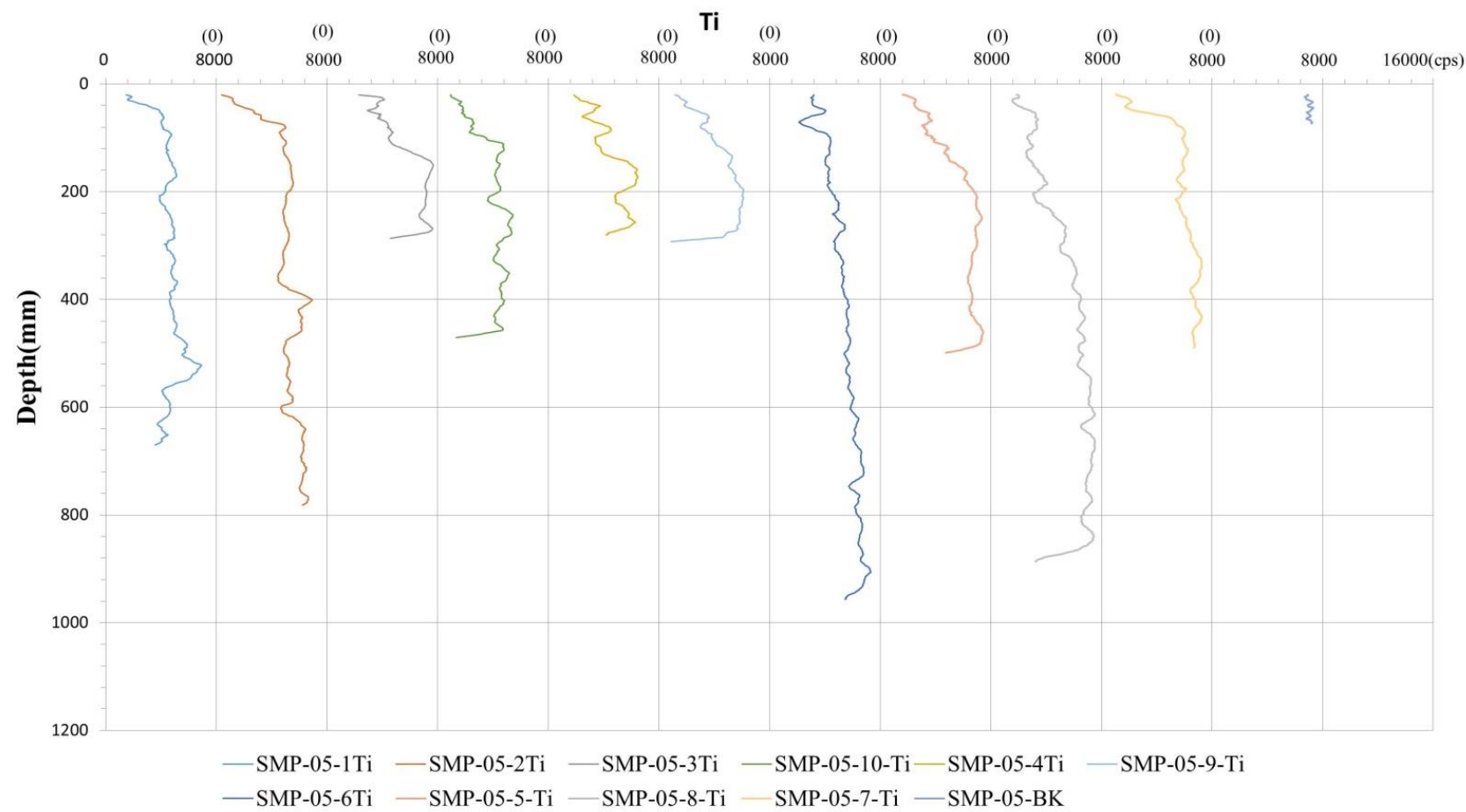


圖 5.14 Itrax 岩芯掃描圖-鈦(Ti)

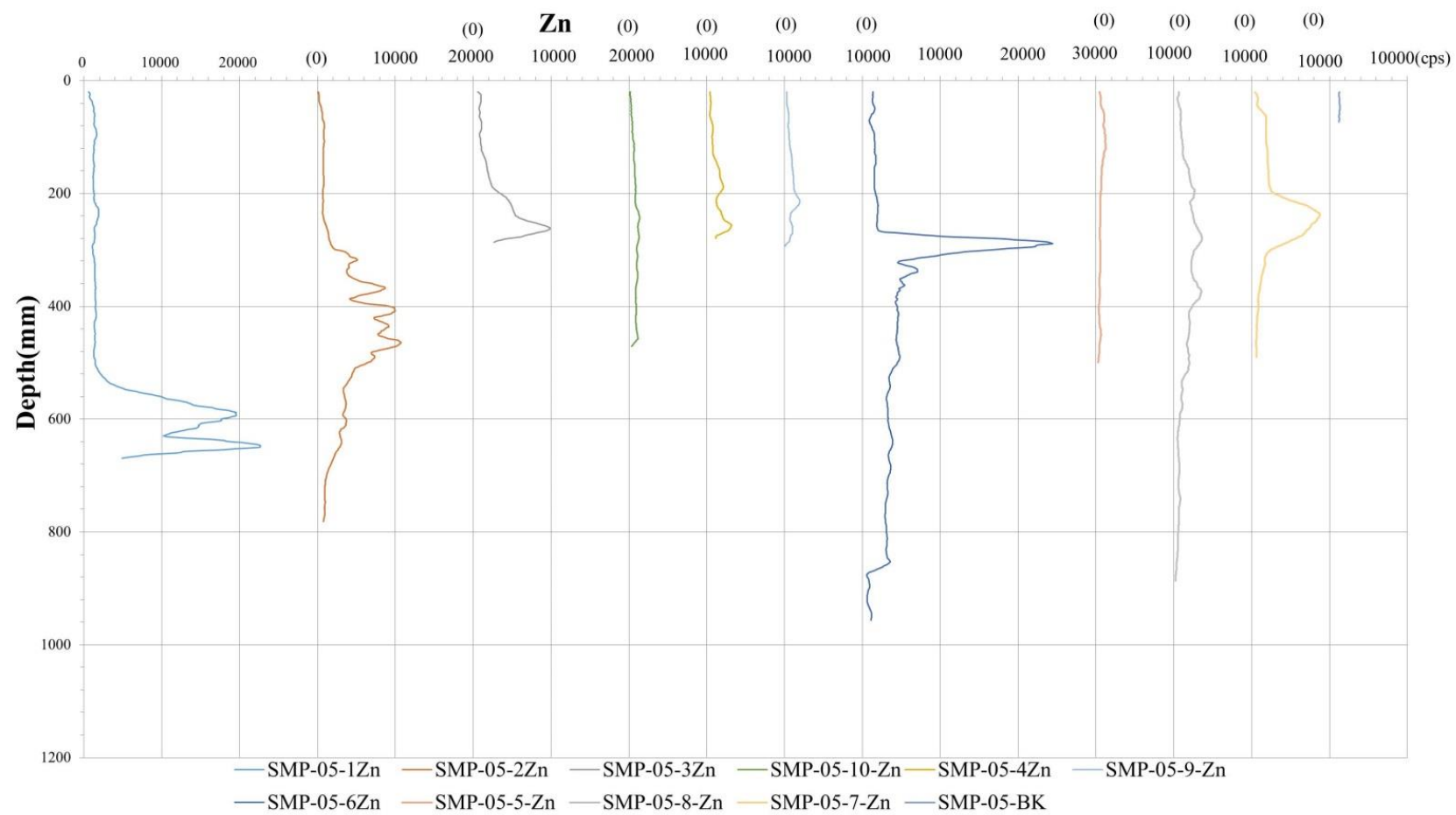


圖 5.15 Itrax 岩芯掃描圖-鋅(Zn)

表 5.4 滲眉埤採樣底泥濃度結果(XRF\_乾基)-表土(0-15 cm)

單位：mg kg<sup>-1</sup>

| XRF(乾基)  | Cr   | Ni   | Cu   | Zn   | As   | Pb   | Ti   | Mn  | Cd | Hg  | Ca   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|-----|----|-----|------|
| SMP05-1  | 81.0 | 30.0 | 412  | 202  | 5.50 | 35.9 | 4180 | 145 | ND | ND  | ND   |
| SMP05-2  | 126  | 33.0 | 553  | 96.0 | 7.00 | 74.5 | 4960 | 129 | ND | ND  | ND   |
| SMP05-3  | 175  | 45.0 | 1180 | 139  | 12.0 | 147  | 5330 | 111 | ND | ND  | 160  |
| SMP05-4  | 166  | 41.0 | 1350 | 160  | 10.0 | 102  | 5540 | 113 | ND | ND  | ND   |
| SMP05-5  | 122  | 46.0 | 1400 | 272  | 10.5 | 59.7 | 6190 | 254 | ND | ND  | 305  |
| SMP05-6  | 169  | 55.0 | 4420 | 365  | 12.5 | 107  | 5970 | 177 | ND | 9.1 | 447  |
| SMP05-7  | 94.0 | 43.0 | 1120 | 338  | 7.00 | 43.6 | 5700 | 196 | ND | ND  | 198  |
| SMP05-8  | 171  | 38.0 | 1430 | 171  | 10.2 | 86.6 | 4940 | 131 | ND | ND  | ND   |
| SMP05-9  | 143  | 48.0 | 1330 | 178  | 8.90 | 88.7 | 5300 | 122 | ND | ND  | 175  |
| SMP05-10 | 177  | 40.0 | 1120 | 157  | 13.5 | 110  | 5300 | 117 | ND | ND  | ND   |
| SMPBK    | 91.0 | 49.0 | 34.0 | 150  | 8.40 | 43.5 | 5510 | 317 | ND | ND  | 3750 |

表 5.5 滲眉埤採樣底泥濃度結果(XRF\_濕基)-表土(0-15 cm)

單位：mg kg<sup>-1</sup>

| XRF(濕基)  | Cr  | Ni | Cu   | Zn   | As | Pb   | Cd   | Hg   |
|----------|-----|----|------|------|----|------|------|------|
| SMP05-1  | 165 | ND | 322  | 145  | ND | 23.0 | ND   | ND   |
| SMP05-2  | 138 | ND | 376  | 69.3 | ND | 38.3 | ND   | ND   |
| SMP05-3  | 164 | ND | 712  | 76.0 | ND | 94.3 | ND   | ND   |
| SMP05-4  | 222 | ND | 681  | 75.3 | ND | 55.3 | ND   | ND   |
| SMP05-5  | 183 | ND | 441  | 148  | ND | 27.7 | ND   | ND   |
| SMP05-6  | 146 | ND | 1000 | 105  | ND | 41.3 | ND   | ND   |
| SMP05-7  | 150 | ND | 716  | 232  | ND | 19.3 | ND   | ND   |
| SMP05-8  | 164 | ND | 671  | 159  | ND | 42.3 | ND   | ND   |
| SMP05-9  | 177 | ND | 613  | 89.0 | ND | 60.3 | ND   | ND   |
| SMP05-10 | 163 | ND | 708  | 78.3 | ND | 80.0 | ND   | ND   |
| SMPBK    | 171 | ND | 38   | 102  | ND | 28.7 | ND   | ND   |
| 底泥品質標準   | 233 | 80 | 157  | 384  | 33 | 161  | 2.49 | 0.87 |

## 5.4 結論與建議

1. 本計畫在桃園滲眉埤所採岩芯利用 Itrax 掃描分析得知底泥岩芯所含元素包括矽、鈣、鐵、錳、鎳、銅、鉛、鉻與鋅等 9 種。其中，錳、鋅、銅與鈣的濃度含量在不同底泥岩芯剖面深度的變化趨勢有相似之處。可能原因是該工廠在做一般焚化飛灰處理時，噴入大量碳酸鈉和石灰溶液至滌塵器中使其和煙道氣發生酸鹼中和反應。合理推斷，該工廠利用大雨或假日將非法汙水與汙泥排入滲眉埤時，可能就會造成現在底泥岩芯所含鈣、銅、錳和鋅的濃度有相似的變化趨勢。
2. 針對滲眉埤汙染案例，如果採用傳統底泥間距 15 至 20 公分混樣的採樣方式，會因為底泥所含重金屬濃度均勻化而無法顯示出金屬濃度隨岩芯深度而有連續檢測數據的特性，這也正是凸顯 Itrax 檢測技術的優勢。
3. 3 個岩芯的資料(SMP05-3、SMP05-4 與 SMP05-6)顯示在 20-30 公分間有相似波峰，且在 26 公分有最高峰度值，初步判斷可能是同一排放事件所致，水中重金屬隨著水流流經，在出水口處(SMP05-6)停留並累積。
4. 在陰離子實驗室樹脂吸附重金屬實驗中，根據數據分析結果說明如下：
  - (1) 陰離子樹脂在未達交換容量的狀況下，於開放水體中對不同陰離子化合物(含重金屬的錯合物)的吸附效率反應良好。
  - (2) 針對同一濃度，接觸時間達 30 分鐘，陰離子交換樹脂對重金屬的吸附效率可達 50%以上。
  - (3) 陰離子樹脂的吸附效率隨著時間的累積而增加。
  - (4) 將陰離子樹脂中理論濃度值與 Itrax 檢測所對應的峰度值做整合後，發現其相關係數高達 0.9 以上。
5. 依據實驗室交換樹脂吸附陰離子過程所需得時間顯示，在開放水體環境接觸到含陰離子的水溶液時，只要包覆交換樹脂的不織布或網狀聚酯纖維能夠維持水分子能自由進出監測包不受阻隔，即便接觸時間短暫，該膠囊一樣能夠紀錄水體環境中陰離子的變化

趨勢。

6. 根據 Itrax 的非彈性和彈性散射之比值( $\text{Mo inc/Coh}$ )資料發現不同深度的土壤剖面也有明顯的變化趨勢，隨底泥剖面深度增加而非彈性和彈性散射之比值( $\text{Mo inc/Coh}$ )有降低的趨勢發生。根據宜蘭梅花湖底泥岩芯資料的比對結果得知，本計畫所採集的底泥岩芯隨著深度的增加，其有機物(TOC)含量有遞減的現象發生。
7. 台大地質系岩芯掃描(Itrax)實驗室提供一般海洋岩芯之光學影像分析、X 光影像分析(解析度為  $200\ \mu\text{m}$ )、X 光螢光分析(解析度為  $1\ \text{mm}$ 、分析時間為 5 秒)。X 光螢光分析數據需經過 Q-spec 頻譜分析軟體之校正，本計畫同時利用該實驗室配備之 Itrax-plot 軟體可進行 Itrax 掃描結果綜合繪圖。綜合上述顯示利用該儀器檢測的成本遠高於手持式 XRF 的分析費用。

## 六、 參考文獻

1. 行政院環境保護署環境檢驗所，環境採樣規劃設計(2005)。
2. 行政院環境保護署環境檢驗所，被動式半透膜應用於環境採樣檢測之研究(1/3)成果報告(2009)。計畫編號：(EPA-98-E3S4-02-01)。
3. 阮國棟，「我國環境檢驗與鑑識技術」(2010)，化工技術，第206期。金屬資源再生技術發展概況分析(2009)，中華民國九十八年財團法人金屬研究發展中心(2-3-2)。
4. 凌永健、陳柏嘉、王振宇、葉明軒、施玉枝。被動式滲透膜應用於環境水質中重金屬採樣檢測之研究(2011)。計畫編號：EPA-100-E3S3-02-01。行政院環境保護署。
5. 張尊國、林聖淇、徐偉展、李政萱。重金屬監測離子交換樹脂縮時膠囊之設計研發(2015)。行政院環境保護署。
6. 楊志祥，電弧爐氧化渣資源化於透水性混凝土磚之可行性研究(2006)，朝陽科技大學環境工程與管理學系碩士論文。
7. 陳立，「電弧爐氧化渣為混凝土骨材之可行性研究」(2003)，博士論文，國立中大學土木工程研究所，中壢。
8. 孫樹杉，「煉鋼爐渣在建築材料工業中應用」(1999a)，經濟部工業局電弧爐煉鋼爐渣資源化技術成果發表暨示範觀摩會講義。
9. 孫樹杉，「中國大陸煉鋼爐渣水泥研究及應用」(1999b)，經濟部工業局電弧爐煉鋼爐渣資源化技術成果發表暨示範觀摩會講義。
10. 劉仁煜，“土壤粒徑篩分對污染土壤重金屬移除效率之影響”(2007)，朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文。
11. 蘇群仁，“不同粒徑底泥顆粒中重金屬分佈特性之研究”(2000)，國立交通大學環境工程所碩士論文。
12. Balls, P. W.(1989), “The partition of trace metals between dissolved and particulate phases in European coastal studies”, Netherlands Journal of Sea Reach. ,pp.23, 7-14.
13. Brynhildsen, L. and Rosswall, T. (1997), Effects of metals on the microbial mineralization of organic acids. *Water, Air, and Soil Pollution*. 97,45-57.

14. Calmano, W. , Hung J. and Förstner, U. (1993), Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. *Wat. Sci. Tch.* 28.223-235.
15. Chlopecka, A. (1996), “Assessment of form of Cd, Zn and Pb in contaminated calcareous and gleyed soils in Southwest Poland”, *The Science of The Total Environment*. 188, ppl71-270.
16. Croudace, I. W., A. Rindby, and R. G. Rothwell (2006), Itrax: Description and evaluation of a new multi-function x-ray core scanner, *Special Republication-Geological Society of London*, 267, 51-63.
17. Davison W, Zhang H. (1994), A In-situ speciation measurements of trace components in natural-waters using thin-film gels. *NATURE* 367(6463), 546-548.
18. Fletcher, M. S., B. B. Wolfe, C. Whitlock, D. P. Pompeani, H. Heijnis, S. G. Haberle, P. S. Gadd, and D. M. J. S. Bowman (2014), The legacy of mid-holocene fire on a tasmanian montane landscape, *J Biogeogr*, 41(3), 476-488.
19. Förstner, U. and Wittmann, G. T. W. (1983) *Metal Pollution in the Aquatic Environment*, 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. pp. 2-4.
20. Gemma Rauret, (1997),“Extraction procedure for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment”, *Talanta*, 46, pp.449-455.
21. Literathy, P., Nasser Ali, L., Zarba, M. A. and Ali, M. A., (1987), “The role and problems of monitoring bottom sediment for pollution assessment in the coastal marine environment”, *Water Science and Technology*, 19. pp.781-792.
22. Lowemark, L., M. Jakobsson, M. Morth, and J. Backman (2008), Arctic ocean manganese contents and sediment colour cycles, *Polar Res*, 27(2), 105-113.
23. LÓ pez-SÁ nchez, J. F., Rubio, R., Samitier, C. and Rauret, G. (1996) Trace metal partitioning in marine sediments and sludge deposited off the coast of Barcelona (Spain). *Wat. Res.* 30, 153-159.
24. Masataka, H. (1992) Heavy metals complexed with humic substances in fresh water. *Analytical Science*. 8, 453-459.

25. Pietro Escobar Franco, Marcia Teresinha Veit, Carlos Eduardo Borba, Gilberto da Cunha Goncalves, Marcia Regina Fagundes-Klen, Rosangela Bergamasco, Edson Antonio da Silva and Pedro Yahico Ramos Suzaki, "Nickel(II) and zinc(II) removal using Amberlite IR-120 resin: Ion exchange equilibrium and kinetics", *Chemical Engineering Journal*, vol 221, pp426–435(2013).
26. Sáez, A., Valero-Garcés, B.L., Giralt, S., Moreno, A., Bao, R., Pueyo, J.J., Hernández, A., Casas, D., (2009). Glacial to Holocene climate changes in the SE Pacific. The Raraku Lake sedimentary record (Easter Island, 27°S). *Quaternary Science Reviews* 28, 2743-2759.
27. Savvides, C., Papadopoulos, A., Haralambous, K.J. and Loizidou, M. (1995) Water Sea sediments contaminated with heavy metals: metal speciation and removal. *Science And Technology*. 32, 1-368.
28. Stuer-Lauridsen F. (2005) "Review of passive accumulation devices for monitoring organic micropollutants in the aquatic environment", *Environmental Pollution*, 136(3), 503-524.
29. Tjallingii, R., U. Röhl, M. Kölling, and T. Bickert (2007), Influence of the water content on x-ray fluorescence core-scanning measurements in soft marine sediments, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8(2).
30. Tsai, L. J., Yu, K. C., Chang, J. S. and Ho, S. T., (1998) Fractionation of heavy metals in sediment cores from the Ell-Ren River, Taiwan. *Water Science and Technology*. 37, 217-224.
31. Turner, A., Millward, G. E., (2002). Suspended particles: Their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 55(6): 857-883.
32. Vasskog, K., Ø. Paasche, A. Nesje, J. F. Boyle, and H. J. B. Birks (2012), A new approach for reconstructing glacier variability based on lake sediments recording input from more than one glacier, *Quaternary Research*, 77(1), 192-204.

## 七、 附錄

### 桃園滲眉埤底泥現勘

時間:2016/03/31 下午 1:50

地點:桃園滲眉埤



日期：2016/3/31 下午 1:52

編號：

備註：桃園滲眉埤



日期：2016/3/31 下午 1:58

編號：

備註：渠道入水口



日期：2016/3/31 下午 1:58

編號：

備註：渠道入水口



日期：2016/3/31 下午 1:58

編號：

備註：

## Itrax 應用於環境鑑識之探討



日期：2016/3/31 下午 2:01  
編號：  
備註：渠道入水口



日期：2016/3/31 下午 2:02  
編號：  
備註：渠道入水口



日期：2016/3/31 下午 2:03  
編號：  
備註：渠道入水口



日期：2016/3/31 下午 2:04  
編號：  
備註：渠道



日期：2016/3/31 下午 2:11  
編號：  
備註：渠道入水口



日期：2016/3/31 下午 2:16  
編號：  
備註：



日期：2016/3/31 下午 2:18

編號：

備註：渠道入水口

日期：2016/3/31 下午 2:30

編號：

備註：



日期：2016/3/31 下午 2:31

編號：

備註：灌溉渠道

日期：2016/3/31 下午 2:31

編號：

備註：滲眉埤現況



日期：2016/3/31 下午 2:31

編號：

備註：滲眉埤現況

日期：2016/3/31 下午 2:32

編號：

備註：

## Itrax 應用於環境鑑識之探討



日期：2016/3/31 下午 2:33  
編號：  
備註：渠道入水口



日期：2016/3/31 下午 2:37  
編號：  
備註：滲眉埤現況



日期：2016/3/31 下午 2:39  
編號：  
備註：水門



日期：2016/3/31 下午 2:42  
編號：  
備註：滲眉埤現況



日期：2016/3/31 下午 2:42  
編號：  
備註：滲眉埤現況



日期：2016/3/31 下午 2:45  
編號：  
備註：滲眉埤現況

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-1(入水口)



描述:

0-6 cm 乾土

6-24 cm 泥

24-54 cm 泥，黑色

40-43 cm 有垃圾袋

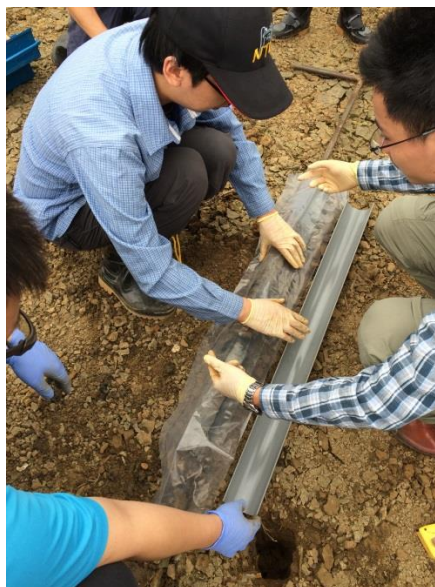
54-67 cm 黑泥

67-70 cm 泥

總長 70 cm

## Itrax 應用於環境鑑識之探討

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-2



描述:

0-9 cm 鬆，乾，表土

9-31 cm 泥，黃褐色

31-43 cm 泥，偏黑帶灰

41-49 cm 泥，黃色，有部分缺

49-64 cm 泥，黑色

60 cm 有塑膠袋

64-83 cm 泥，黑色

78-80 cm 有塑膠袋

總長 83 cm

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-3



描述:

0-13 cm 表土

13-28 cm 泥，褐色

28-34 cm 泥，黃褐色帶灰

34-36 cm 泥，黑色

總長 36 cm

## Itrax 應用於環境鑑識之探討

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-4



描述:

0-13 cm 表土

10-12 cm 有貝殼

13-23 cm 泥，褐色

23-30 cm 泥，黃褐色帶灰

30-34 cm 泥，黑色

總長 34 cm

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-5



描述:

0-6 cm 表土，墨綠青苔色

6-13 cm 泥土，褐色

13-34 cm 泥，褐色青苔色

34-51 cm 粘土，乾，褐色

總長 51 cm

## Itrax 應用於環境鑑識之探討

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-6(出水口 1)



### 描述:

0-17 cm 表土，濕，褐色

15-17 cm 黑色

17-28 cm 泥，褐色

28-34 cm 泥，褐色帶黑

34-90 cm 泥，黑色

90-100 cm 泥，褐色黑色

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-7(出水口 2)



描述:

0-10 cm 表土

10-15 cm 泥，褐色

15-16 cm 泥，黃褐色

16-18 cm 泥，褐色偏墨綠色

18-21 cm 泥，黃褐色偏白

21-35 cm 泥，褐色偏黑

35-40 cm 泥，褐色

40-51 cm 泥，黑色

總長 51 cm

有另取一代 18-21 cm 的土樣

## Itrax 應用於環境鑑識之探討

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-8



描述:

0-15 cm 有土塊，褐色偏深

15-28 cm 泥，褐色

28-32 cm 泥，黑褐色

32-37 cm 泥，褐色

37-73 cm 泥，黑褐色

73-82 cm 乾，黑褐色

82-91 cm 乾，偏褐色，白色

總長 91 cm

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-9



描述:

0-12 cm 表土，乾

12-16 cm 褐色帶灰

16-27 cm 泥，褐色

27-32 cm 泥，黑褐色

總長 32 cm

## Itrax 應用於環境鑑識之探討

- 採樣紀錄表
- 地點:桃園滲眉埤
- 時間:2016/04/30
- 採樣樣品:底泥
- 點位編號: SMP05-10



描述:

0-14 cm 表土

14-26 cm 泥，褐色

26-46 cm 泥，棕色偏紅

46-49 cm 泥，褐色偏黃

總長 49 cm