

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080111

微觀漩渦之力—截油槽中油滴運動軌跡分析

學校名稱：桃園市中壢區青埔國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳儀安	王小芳
小六 王晨誌	徐崇原
小六 陳娜潾	
小六 陳柏宇	
小六 曾詠翌	

關鍵詞：截油槽、流體運動、漩渦

微觀漩渦之力—截油槽中油滴運動軌跡分析

摘要

本研究探討油滴在截油槽中之微觀運動行為與流場結構之關聯性。透過模擬截油槽模型，設計不同槽數與隔板長度變化條件，並以油溶性染劑染色油滴，結合 Tracker 軟體進行追蹤分析，觀察油滴運動軌跡與滯留時間。研究同時比較不同進水速度對油滴行為的影響，並進行皂化反應秤重分析，以量化截油效果。實驗結果：

- 一、多槽設計可提供更多擾動與攔截區域，有助提升截油效率；
- 二、快速進水容易產生漩渦，延長油滴滯留；
- 三、Tracker 能有效捕捉油滴微觀運動，佐證槽體設計與流速改變對油滴分布之影響；
- 四、皂化產物重量亦能與流場結構形成對應關聯。

綜合而言，隔板設計與進水條件明顯影響截油效率，本成果可作為截油槽優化設計，並呼應 SDGs 永續水資源目標。

壹、前言

一、研究動機

廚房在日常生活中產生大量含油廢水，若未妥善處理就排放，會導致排水管阻塞、水質污染及環境負擔，增加後續污水處理成本。**油水分離技術**因此成為家庭與餐飲業廢水處理的重要一環，而其中「截油槽」的設計正是提升分離效率的關鍵。

在觀察學校廚房截油槽時，發現最後一槽的水明顯比前段清澈，這讓我們對其內部油水分離機制產生好奇。而進一步觀察油滴在槽中的運動發現，有些油滴會上升，有些則被漩渦滯留，推測除了**密度差，流場、流速、油水濃度與隔板設計**亦可能影響油滴軌跡。

我們以模擬截油槽進行觀察，藉由找出最佳截油效率的槽體結構，並控制進水速度與槽體結構，比較漩渦對油滴運動與滯留的影響，最後以皂化反應驗證實際截油效果。透過 Tracker 進行微觀，探討截油槽設計優化的可能性，期望可以達到 **SDGs 目標 6 促進水資源的循環與永續利用**。

二、文獻回顧

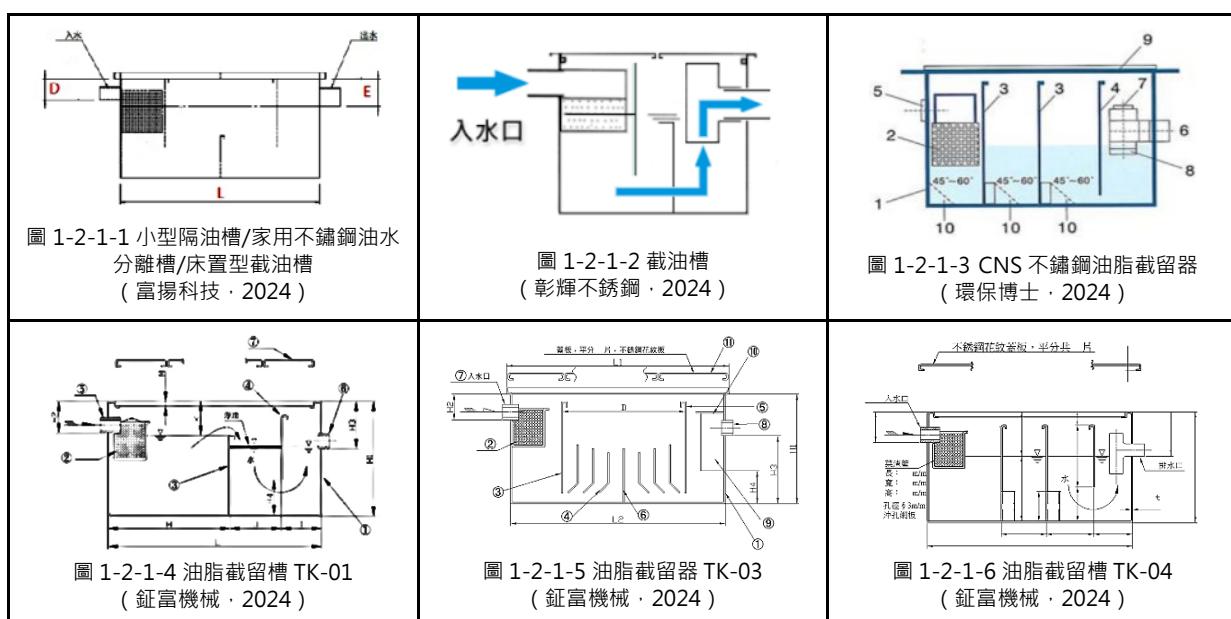
(一) 法規與永續發展：

學校的綜合課程與國際教育課程都有提到聯合國提出的「2030 永續發展目標」(Sustainable Development Goals, SDGs)，其中第 6 項目標為「確保所有人都能享有水、衛生及其永續管理」。細項目標 6.3 更強調在 2030 年前應改善水質、減少污染與未處理廢水的比例，並提升水資源的回收與再利用效率。

截油槽便是個可以實現此目標的裝置，在廚房含油廢水排放前，先攔截油脂、降低水體污染狀態。我國內政部也在「建築物給水排水設備設計技術規範」第 4.6.2 條規定，**凡設有食品烹飪或調理場所之建築物（如餐廳、學校等）皆應裝設油脂截留器，且設備應符合國家標準或國際檢驗規範**。

(二) 截油槽結構觀察與設計依據：

市售截油槽（如富揚科技、鈺富機械、彰輝不鏽鋼等，如下圖）可在網路上搜尋到箱體尺寸、容許流量、出入口徑等資料，但內部隔板結構、空間比例與導流設計則少有說明。我們實際觀察油脂運動，發現**截油效果不僅與油水密度差有關，和流體進入槽體後所產生的流場結構也有很大的關係**。



(三) 油滴在流場中的運動情形：

1. 密度差與浮力使油脂浮於水面

在自然課程及 4 年級國際科學「不會沉的飄浮船」課程中，我們發現劇烈搖晃瓶子後，船仍會跑到上層液體之中（如圖 1-2-2）。這與自然課學過水與油的密度：因油的密度較小，靜止時會浮在水面，這就是**油水分層的基本原理**。因為**重力向下、浮力向上**，當浮力大於重力時，油滴會上升並聚集在水面形成油層。



圖 1-2-2
國際科學課實驗成品

2. 流速對油滴行為的影響

當油水混合液以不同速度進入截油槽，會形成不同的水流型態。**慢速進水產生層流**，水流方向整齊，油滴運動平穩、容易浮出水面；**快速進水則形成紊流**，水流方向變化不定，油滴容易被攬動或困住，無法順利上浮或集中。

3. 槽體結構導致漩渦產生

在5年級自然課中，我們曾利用寶特瓶製作「水龍捲」（如圖1-2-3），觀察到水流在遇到旋轉動作或狹窄區域時，會產生**漩渦（swirl）**，幫助水流通過瓶口。在截油槽中，水流撞擊隔板或轉角時，也會產生類似的旋轉流場。這些**漩渦現象能在局部位置改變油滴運動方向，使油滴暫時被困住或停留或造成更多不一樣的運動軌跡**。



圖 1-2-3
寶特瓶水龍捲

4. 向心力與壓力梯度的影響

在學校的4年級科學營隊上課時，也有學過在流速變快的地方，壓力會變小的**白努力原理（Bernoulli's Principle）**。所以當水流呈現漩渦狀態時，**油滴會受到向心力與壓力梯度影響**。靠近旋渦中心的位置速度較快、壓力較低，根據白努力原理，水流會從高壓區流向低壓區，因此**油滴可能被「吸引」到壓力較低的中心附近，並停留不動**，延長其滯留時間，增加截留機會。

5. 油滴的慣性與黏滯阻力

油滴在水中運動時具有**慣性**，當水流改變方向，油滴不會立即跟著水流走，而是維持原方向前進，特別在快速水流或轉彎處容易**碰撞槽壁或偏離原路徑**。此外，科學營隊也有實驗過不同體的黏滯程度不同，因此油滴在水中還會受到**黏滯阻力（Stokes' drag）**，這種阻力與油滴大小、水的黏性與速度有關，也會影響油滴的運動與停留。

6. 剪力流場對油滴產生形變

若槽內不同高度的水流速度差異較大，會產生**剪力流場（shear flow）**。剪力可能讓油滴產生變形、甚至破碎為更小的油滴，這些小油滴不易浮起，也更難被攔截，可能會隨水流通過至下一槽。

7. 布朗運動與擴散效應

若油滴經乳化變得非常細小，可能會受到水分子**隨機碰撞而產生布朗運動（Brownian motion）**，使運動軌跡不規則，難以控制。而當一開始的油滴密度較高時，也會出現**擴散（diffusion）現象**，油滴從高濃度區向低濃度區移動，可能使油滴由滯留區擴散至下一槽。

（四）皂化反應與油量量測：

為進一步驗證油脂攔截效果，使用「皂化反應」技術。當氫氧化鈉（NaOH）與油脂混合後，在適當條件下可進行皂化反應，生成固態皂與甘油。再經過過濾、乾燥與秤重，就能量化攔截的油脂，作為截油效率的補充驗證。國中自然課程中酸鹼中和與生活應用。

(五) 科展相關研究

下表（表 1-2-1）為過去科展與「油滴運動狀態」有相關的研究：

表 1-2-1 歷屆科展相關研究

屆數	組別	題目	研究大綱	與本研究相關
桃園市第 64 屆	生活應用科 (國小組)	去「油」解「匿」—新式家用截油槽讓油垢無所遁形		本研究為該作品之延伸與深化版本，重做部分實驗並改以物理觀點重構假設與討論架構。該作品之初步觀察與結構設計為本次研究的重要參考依據。
第 58 屆	物理與天文科 (高中組)	探討強制渦流中浮體上升之變化	結合流體力學與剛體運動學，量化分析渦流強度對浮體上升軌跡的影響。	運用 PIV 流場可視化技術，其軌跡追蹤演算法可直接應用於油滴運動分析。
第 63 屆	生活與應用科學 (高中組)	液中表面動態張力分佈造成液面上彩圈之行為討論	建立表面張力梯度與 Marangoni 效應的關聯模型，解析彩圈形成機制。	採用高速攝影記錄液面運動，其影像處理流程與油滴軌跡追蹤具技術共通性。
第 50 屆	物理與天文科 (國中組)	水中的甜甜圈---渦環運動的觀察與研究	利用染色劑示蹤法捕捉渦環三維結構，建立環量與運動參數的經驗公式。	開發的粒子追蹤程式碼 (Python+OpenCV) 可直接用於油滴軌跡追蹤系統。
第 58 屆	應用科學科 (高中組)	隨波「阻」流—液體中物體運動研究	系統性量測不同幾何體在黏滯流體中的阻力係數，建構運動軌跡預測模型。	實驗設計的流體參數量測方法 (如黏滯度校正) 可強化油滴實驗的環境控制精度。

(六) Tracker

Tracker 是目前科展常見的影像追蹤軟體。在最近期的版本中可以同時進行多點運動軌跡追蹤，並以 0.03 秒逐格標記物體位置，自動產生速度與路徑數據圖表等可以幫助我們了解油滴在截油槽中的運動狀態。

(七) 研究延伸與深化背景

本研究部分實驗設計與初步觀察，延伸自本團隊於 2024 年參與桃園市地方科展生活應用組之作品〈去油解匿——讓油滴無所遁形〉。由於該作品雖進入決賽但未公開，我們希望進一步將其延伸深化，因此重新執行部分實驗操作，並全面改以物理角度重構分析架構，聚焦於流體力學原理下的油滴運動行為與截油效率之關聯。本次亦新增使用 Tracker 軟體進行微觀運動追蹤、以皂化反應量化油脂滯留量，使研究不僅重視觀察與設計，更能結合物理與化學雙重驗證，轉化為本次參加物理組之研究主題。

三、研究架構

我們從觀察學校廚房的截油槽，並在網路搜索到許多截油槽設計之後，我們想從學校截油槽的實際使用狀況與油水分離原理出發，設定四個研究目的：

1. 以學校截油槽模式觀察隔板長度、槽數與截油效率的關係
2. 探討不同進水速度、溫度、濃度與槽體結構，對截油效率的影響
3. 利用 Tracker 軟體追蹤油滴運動軌跡，分析不同進水速度與槽數的油滴行為
4. 結合微觀觀察與皂化反應秤重，探討流速與結構設計對油滴滯留與平均速度的影響

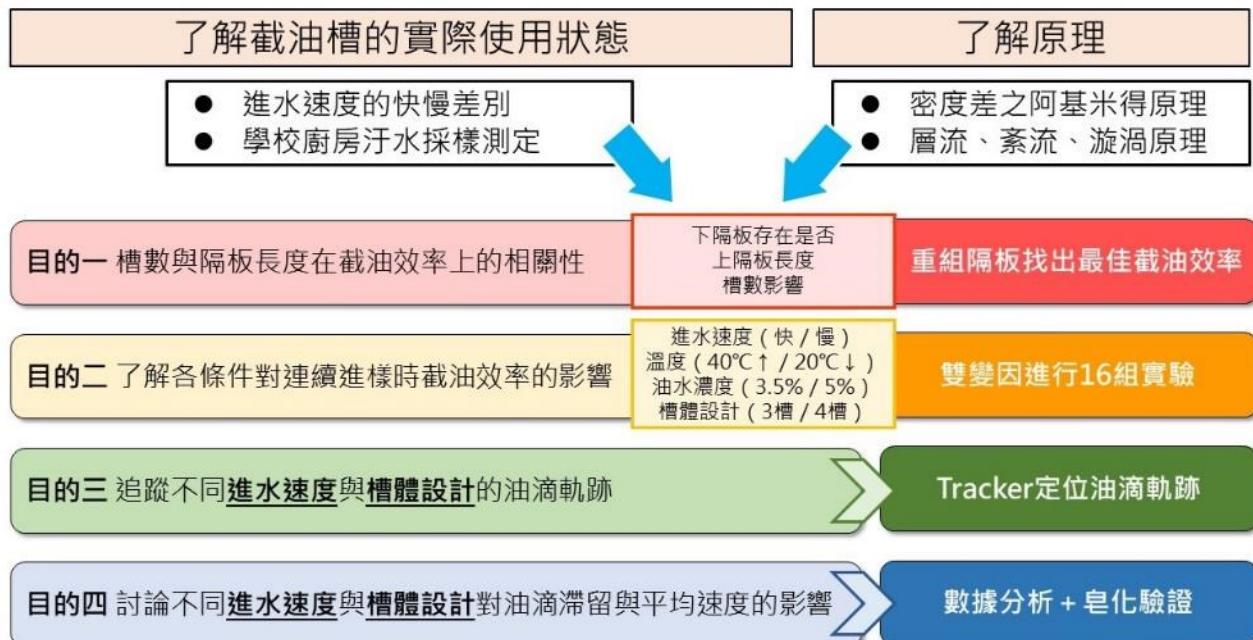


圖 1-3-1 研究架構圖

假設一 (對應目的**一**)

截油槽中隔板數量與配置會影響油滴的攔截效果，其中多槽設計（四槽）可產生更多流體擾動，提升油滴滯留與截油效率。

假設二 (對應目的**二**)

進水速度會影響流場型態，快速進水更容易產生紊流與漩渦，進而改變油滴的運動軌跡與滯留區域。

假設三 (對應目的**三**)

油滴運動軌跡可透過 Tracker 軟體觀察並量化，其位置與滯留時間與截油槽結構與流速條件相關。

假設四 (對應目的**四**)

經皂化反應後所產生的皂量，能與油滴滯留時間與槽體位置對應，反映截油效率的物理與化學雙重觀測結果。

貳、研究設備與器材

一、了解學校截油槽實際使用狀況之學校廚房汙水採樣測定：

- (一) 過濾：廚用鋁製大濾勺 30 cm、廚用大濾網勺 15 cm、實驗室濾網勺 10 cm、握柄湯鍋 25 cm、1000 mL 握柄量杯
- (二) 定量：500 mL 燒杯、量尺

二、實驗室內部各項實驗：

- (一) 油品：大豆沙拉油（學校廚房用油）
- (二) 藥品：染油藥品 Sudan Blue II (溶劑藍 35)、皂化藥品氫氧化鈉 (NaOH)
- (三) 自製截油槽：樹德 TB708 手提箱、不鏽鋼雙向直通外牙明管、不鏽鋼 2 分六角寶塔接頭水閥、電工膠帶
- (四) 水樣製備：1000 mL 量筒、500 mL 量筒、50 mL 量筒、500 mL 燒杯、中型 30 L 垃圾桶
- (五) 溫度控制：保麗龍箱、溫度計、熱水壺、保溫瓶、氣球棒、水管
- (六) 錄影器材：檯燈、手機架、手機、鋪底白海報紙
- (七) 安全設備：防水圍裙、乳膠手套
- (八) 清潔用品：除油洗碗海棉、鬃毛刷、洗碗精、除油抹布、保鮮膜
- (九) 皂化實驗：50 mL 燒杯、濾紙、秤重電子秤、三腳架、烘乾機

三、影片製備、數據分析：

- (一) 網站進行轉檔：cloudconvert
- (二) 追蹤定位油滴：Tracker
- (三) 整理數據與製作圖表：Excel
- (四) 硬體設備：使用 intel CORE i7 電競筆電進行 Tracker 程式之運作

參、實驗方法與流程

一、實驗各項操作方法

(一) 決定油水濃度

學校廚房污水採樣測定

我們認為油水濃度應與實際使用截油槽的狀態相符，因此應採集學校廚房油脂截留槽之進水水樣來進行研究。採用與前次研究相同的採樣與定量方式：撈除浮渣、2 次過濾、實驗室定量並採用高度比例法計算體積濃度。（測定流程如圖 3-1-1）

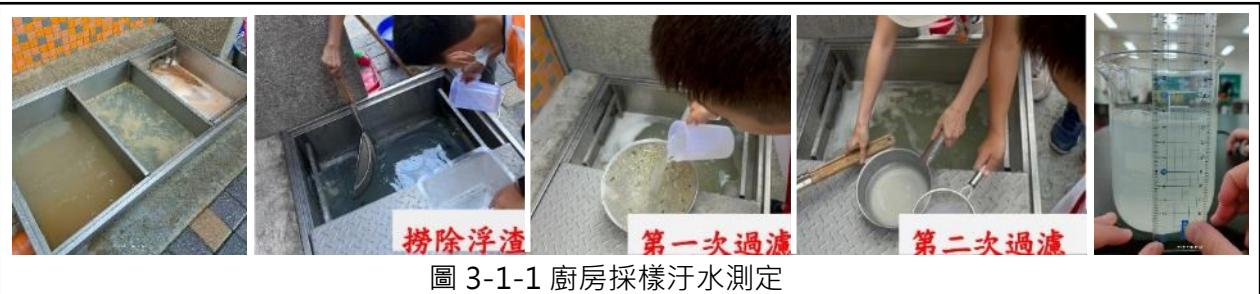


圖 3-1-1 廚房採樣汙水測定

本校餐點設計大約以週為單位，因此採集 4 天以具備代表性。

表 3-1-1 採樣當周午餐內容與油滴體積濃度計算

日期	10/17	10/18	10/19	10/20
午 餐 內 容	糙米飯 香酥魷魚排 有機青油菜 玉米排骨湯	滑蛋瘦肉粥 糖醋排骨 蒸芋泥包 有機黑葉白菜	糙米飯 蠔油雞丁 黃瓜什錦 有機小白菜	蕎麥飯 梅干燒肉 粉絲白菜滷 有機青松菜 三絲蛋花湯 桂圓紫米
水(高度,cm)	8.2	8.2	8	8
油(高度,cm)	0.3	0.2	0.35	0.2
體積濃度計算	3.53%	2.38%	4.19%	2.56%

體積濃度計算公式為

$$\frac{\text{油(高度, cm)}}{\text{水溶液(高度, cm)}} \times 100\%$$

採樣結果，油水濃度大約為 2.38 % ~ 4.19 %。因此取 3.5% 與 5% 作為後續研究之油水混合液濃度。並以學校廚房油品大豆沙拉油，作為後續實驗用油。

(二) 截油槽體製作與命名

1. 箱體與隔板：

本研究設定一般用餐人數為 4~5 人之家庭，再依臺中市政府水利局之公式計算（表 3-1-2）。

表 3-1-2 臺中市政府水利局 油脂截留器容量公式

油脂 截留器 計算 公式 參考	$Q = (nq/t)k$ (公升/時)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>餐廳類別</th><th>每個人每餐用水量</th><th>回轉率(次)</th><th>人數/m^2(人)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>觀光飯店</td><td>120-70</td><td>3</td><td>0.5</td></tr> <tr> <td>中小型餐廳</td><td>50-30</td><td>5</td><td>0.5</td></tr> <tr> <td>西式速食</td><td>33-13</td><td>8</td><td>0.5</td></tr> <tr> <td>便當中心</td><td>100-25</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr> <td>機關團體餐廳</td><td>100-150</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	餐廳類別	每個人每餐用水量	回轉率(次)	人數/ m^2 (人)	觀光飯店	120-70	3	0.5	中小型餐廳	50-30	5	0.5	西式速食	33-13	8	0.5	便當中心	100-25	-	-	機關團體餐廳	100-150	-	-
餐廳類別	每個人每餐用水量	回轉率(次)	人數/ m^2 (人)																							
觀光飯店	120-70	3	0.5																							
中小型餐廳	50-30	5	0.5																							
西式速食	33-13	8	0.5																							
便當中心	100-25	-	-																							
機關團體餐廳	100-150	-	-																							
$V = Q/6$ (公升/時)																										
$n =$ 每天用餐人數																										
$t =$ 每次用餐廚房污水持續流出時間																										
$Q =$ 總容量																										
$q =$ 每餐次每人產生汙水量																										
$k =$ 安全係數																										
·依餐廳類型不同，每餐次產生汙水量應實際測量為準。																										
·新設立餐廳實際用水量以左列水量表為標準。																										

設定參數與計算方式為：

$$n(\text{人數}) = 4$$

$$q(\text{每餐產生汙水量}) = 3 \sim 5 \text{ (家裡用餐較清淡，且碗盤數較少)}$$

$$t(\text{每次汙水持續出流時間}) = 0.3 \text{ (預計每次洗碗時間長度，約 20 分鐘)}$$

$$k(\text{安全係數}) = 1.2 \text{ (參考 B 類和 C 類 餐廳類別)}$$

$$Q = (4 * 3 / 0.3) * 1.2 = 48, V = 48 / 6 = 8 \text{ L}$$

$$Q = (4 * 5 / 0.3) * 1.2 = 80, V = 80 / 6 = 13 \text{ L} \quad \text{推論家用截油槽容量應為 } 8 \sim 13 \text{ L}$$

最後我們找到樹德收納箱 TB-708 手提箱。其規格如下，並含有隔板及隔板軌道。

尺寸：325 寬 * 244 深 * 181 高 mm

荷重：3 KG 容量：12.6 L

2. 決定隔板長度

依各家廠商之設計圖與樹德收納箱比例，計算出適用於模擬箱的隔板長度約為 4 cm、8 cm、10 cm、12.5 cm（圖 3-1-2）。

我們取得 TB-708 手提箱內隔板後，劃記需要的隔板長度，就使用雷射切割來製作。

而在固定於箱體的方式，由於我們需要可拆卸（變換隔板）、夠穩定足以對抗水壓、以及防水油等特性，我們最後採用 **電工膠帶** 也就是俗稱的電火布，來進行固定。



圖 3-1-2 參考設計圖
計算隔板長度

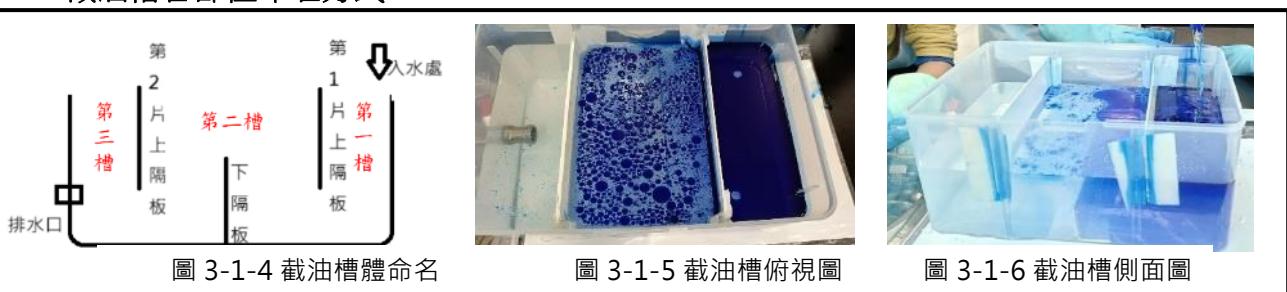
而過去實驗因需變換槽體條件，也就是同一個箱體搭配不同長度、不同數量的隔板，因此使用**電工膠帶**固定隔板位置，方便之後更換條件。但電工膠布會遮蔽油滴運動的觀察。

因此在目的 2 之後的研究，採取最佳截油效率的 10 / 12.5 / 8 和 10 / 12.5 / 12.5 / 8 / 8 作為隔板條件（單位：cm），並改以**熱熔膠**將隔板固定，減少電工膠布遮蔽的情形（圖 3-1-3）。

3. 截油槽各部位命名方式：



圖 3-1-3 改造截油槽



- 隔板位置主要分為上下隔板（圖 3-1-6），上隔板造成的槽数，就是截油槽俯看時的槽数（如圖 3-1-5 截油槽俯視圖）。而我們將最靠近入水口的上隔板稱為第一片上隔板。
- 如上面圖 3-1-4 截油槽體命名，上隔板有 2 片，所以俯看的時候，截油槽有 3 槽。
- 入水處為**第一槽**，經過第一片上隔板就到**第二槽**，且一直到第二片上隔板之間的空間都是第二槽，第二片上隔板到排水口位置為**第三槽**。
- 為了確實標示實驗名稱，我們將上隔板的長度依照順序寫在前面：如 8 / 10 / 4 就表示第一片上隔板 8 cm、第二片上隔板 10 cm、下隔板 4 cm。

(三) 水樣製備與進水速度練習

1. 油品染色：

本次研究，我們採用蘇丹藍（圖 3-1-7 染油藥品）將油品染色，染油比例為：藥品 3g : 沙拉油 500mL

藥品來源：

- 蘇丹藍：帝一化工 Oil Dye Royal Blue 2N
- 沙拉油：泰山大豆沙拉油



圖 3-1-7 染油藥品

2. 進水練習：

本次研究中的研究變項：進水速度慢 ($400 \text{ mL} / 20 \text{ sec}$)、快 ($400 \text{ mL} / 10 \text{ sec}$)

我們固定由 2 位同學，各別負責進水速度慢與快，並在所有實驗中皆由固定的同學負責相同進水條件，以確保實驗的穩定性。

3. 皂化反應：

皂化反應是油脂與強鹼（如 NaOH）在水中加熱進行的酯鹼水解反應。主要反應式如下：**脂肪酸酯（油脂）+ NaOH → 甘油 + 肥皂（脂肪酸鈉鹽）**

此反應產生可過濾之固體皂化產物，可用來量測油脂截留的效果。以下是我們的方法：

- (1) 製備 10% NaOH 水溶液：將 10 g NaOH 加入 90 mL 蒸餾水中
- (2) 油水樣本處理：取 2 次約 50 mL 的中間槽油水混合液，倒入燒杯中。

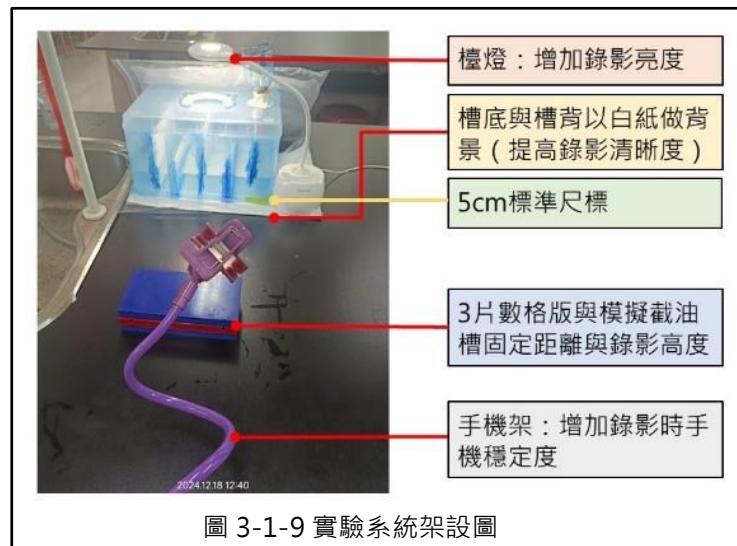
取樣說明：「取樣位置」與「深度」：每次取樣均將 50 mL 燒杯平置貼於液面下（圖 3-1-8），並在相對應 2 個不同位置進行取樣再合為同一樣本。



圖 3-1-8
油水樣本處理

- (3) 混合反應液：按照比例加入等體積的 10 % NaOH 水溶液 100 mL。
- (4) 加熱皂化反應：將反應液隔水加熱約 70°C，持續攪拌 10 分鐘。
- (5) 冷卻靜置：冷卻至室溫（約 30 分鐘），觀察是否有藍色塊狀沉澱物生成。
- (6) 過濾皂化產物：使用濾紙將皂狀沉澱物過濾出，盡可能保留全部固體。
- (7) 烘乾：將濾紙移至烘乾機中乾燥（烘乾 1 小時、烘箱置放 6 小時）。
- (8) 秤重分析：完全乾燥後，使用電子秤秤重。皂化產物重量即為可量化的截留油脂產物。

(四) 實驗系統架設



1. 我們將需要提高溫度的水樣，S 個別以燒杯裝好 400mL 水樣後再放入溫水浴中
2. 溫水浴以保麗龍箱製作，並在底部放置汽球棒，使燒杯底部也有水流經過
3. 當保麗龍箱水浴水深已太高時，我們會利用水管虹吸法，降低水浴高

(五) Tracker 軟體設定

為了可以成功以 Tracker 軟體分析我們的研究結果，我們採用以下標準化設定

1. 影片轉檔：錄製的實驗影片，我們先以 cloudconvert 網站進行轉檔，並儲存為 mp4 (video 影片編碼：x264)
2. 將影片載入 Tracker
3. 設定座標軸中心點在第一槽槽底一隅，並設定校正桿（由於我們已在截油槽體貼上尺標作為 tracker 影片參考尺，因此每次設定可以相當準確）
4. 追蹤油滴，並採用追蹤數據進行圖表分析紀錄

二、實驗流程

(一) 研究目的—了解槽體各種條件對連續進料時截油效率的影響

由於在網路上可以收集到市售截油槽廠商提供各式內部設計，但是真實的水體流動狀態卻沒有進行說明，所以我們想了解：是否需有下隔板、上隔板長度、槽數對截油效率的影響。

所有實驗將在僅改變單一操作變因的情形下，用俯瞰的方式觀察最後一槽的油滴累積情形，並期望可從目的的一的結果中找出最佳截油效率的隔板組合。

(二) 研究目的二、三、四的研究流程：

我們根據研究變項進行的 16 組實驗，並錄製連續進料 2~3 階段影片，再加以分析。

變項溫度：20 °C 以下與 40 °C 以上

變項濃度：3.5 % 與 5 %

變項進水流速：慢速（400 mL / 20 sec）與 快速（400 mL / 10 sec）

變項隔板型式：3 槽（10 / 12.5 / 8）與 4 槽（10 / 12.5 / 12.5 / 8 / 8）

各階段影片編號為：phase 1 (0~20 sec), phase 2 (40~60 sec), phase 3 (80~100 sec)

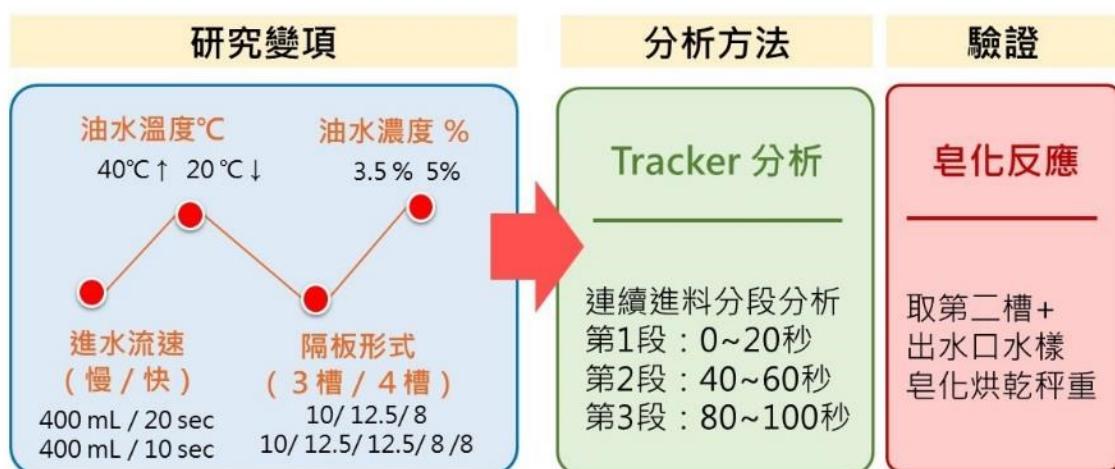


圖 3-2-1 實驗流程圖

目的三的部分，我們由目的二實驗中取最具有明顯差異的實驗結果，進一步使用 Tracker 進行油滴定位追蹤，並在目的四使用皂化反應來驗證結果。

實驗流程整理如圖 3-2-1。

肆、研究結果

一、研究目的：槽數與隔板長度在截油效率上的相關性

此研究假設為：截油槽中隔板數量與配置會影響油滴的攔截效果，其中多槽設計（四槽）可產生更多流體擾動，提升油滴滯留與截油效率。因此針對截油槽中是否需有下隔板、上隔板長度、槽數等討論重點做三大類實驗：

(一) 是否需有下隔板

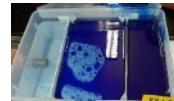
實驗名稱：截油槽下隔板存在情形對截油效率之影響

實驗假設：下隔板必須存在截油槽中，且隔板越長越好

操作變因：分別以無下隔板、1 cm、4 cm、8 cm等進行實驗

控制變因：進水前以清水加至高於排水口、取樣時間皆為開流2秒後10秒鐘。並分別以上隔板都是8cm，以及上隔板分別為8cm、10cm的兩種環境下進行實驗

實驗觀察與分析：實驗結果如下表 4-1-1

表 4-1-1 下隔板長度與截油效果						
8 / 8 / x	下隔板長度	排水結果	槽體俯瞰	最後一槽	最後一槽油滴面積	備註說明
8 / 8 / 0	0 cm				約占槽面積 10 %	無下隔板，仍可部分攔截
8 / 8 / 1	1 cm				約占槽面積 5 %	下隔板產生部分阻流效果
8 / 8 / 4	4 cm				約占槽面積 5 %	略有穩定效果
8 / 10 / 0	0 cm				約占槽面積 1 %	增加上隔板有效改變流場
8 / 10 / 1	1 cm				約占槽面積 0.1 %	水流開始穩定形成循環阻流
8 / 10 / 4	4 cm				約占槽面積 0.1 %	隔板長度有助進一步截留
8 / 10 / 8	8 cm				0 %	油滴完全滯留於前槽液面，最佳效果

- 當未安裝下隔板 (0 cm)時，油滴進入第二槽後常隨水流沉降至槽底，部分油滴可見於第三槽液面，並約佔第三槽 10% 液面。
- 當下隔板長度為 1 cm時，已能對流場產生初步干擾，油滴多數在第二槽內聚集，進入第三槽者明顯減少，藍色油滴面積降至約 5%。
- 當下隔板延長至 4 cm 或 8 cm時，水流在下隔板前後產生明顯轉向與擾動，使油滴更有效滯留於第二槽。尤其在 8 cm 條件下，油滴幾乎完全未進入第三槽。
- 搭配上隔板由 8 cm 增長至 10 cm，可進一步穩定上層流場並延長油滴停留時間，使油滴更快浮至液面並集中於前槽。
- 在「上隔板 10 cm / 下隔板 8 cm」配置下，第三槽未見任何油滴殘留，達成理想攔截效果。

結論：本實驗結果支持原假設：「下隔板的存在與長度有助於截油效率提升」，且隔板長度越長、越能改變流場導引油滴上浮並聚集於液面。當上隔板與下隔板配置在 10 cm 上隔板 + 8 cm 下隔板時，可在未排出任何油滴的情況下，使第三槽液面達成完全無油滴狀態。

(二) 上隔板長度

實驗名稱：截油槽上隔板長度對截油效率之影響

實驗假設：上隔板越長，截油效果越好

操作變因：分別以第一上隔板長度 (8cm / 10cm)、第二上隔板長度 (8cm / 10cm / 12.5cm)

控制變因：進水前清水高於排水口、下隔板皆 4cm、接水時間皆為開流 2 秒後持續 10 秒

實驗觀察與分析：實驗結果如下表 4-1-2

表 4-1-2 上隔板長度與截油效果				
下隔板 4 cm	排水結果	槽體俯瞰	最後一槽	最後一槽 油滴面積
8 / 8 / 4				約占槽面積 5%
8 / 10 / 4				約占槽面積 0.1%
10 / 10 / 4				約占槽面積 0.1%
下隔板 8 cm	排水結果	槽體俯瞰	最後一槽	最後一槽 油滴面積
10 / 10 / 8				約占槽面積 0.5%
10 / 12.5 / 8				約占槽面積 0%

- 當第二上隔板由 8cm 延長至 10cm 時 (8/8/4 → 8/10/4)，在下隔板 4cm 條件下，第三槽油滴明顯減少（由約 5% 降至 0.1%）。
- 第一上隔板延長至 10cm (8/10/4 → 10/10/4) 時，雖然油滴進一步減少，但變化幅度較小，顯示第一上隔板對後續流場的影響有限。
- 在下隔板增長至 8cm 的情況下 (10/10/8、10/12.5/8)，搭配更長的第二上隔板 (12.5cm)，可進一步讓第二槽後方的逆時針漩渦更穩定，油滴於第二槽上方形成再聚集現象，第三槽幾乎無油滴。

結論：實驗結果支持原假設，延長第二上隔板可顯著提升油滴的攔截效率。當下隔板長度不夠時，上隔板的擋住油滴與形成漩渦功能更為重要；而在下隔板足夠長時，搭配較長的第二上隔板則能加強第二槽後側的漩渦形成，有效延長油滴滯留時間並提升集中效率。

(三) 槽室多寡

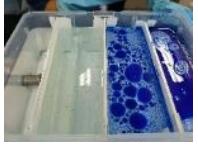
實驗名稱：截油槽**槽室多寡**對截油效率之影響

實驗假設：槽室數量越多，截油效果越好

操作變因：分別為 3 槽（含 2 個下隔板）、4 槽（含 2 個下隔板）配置不同位置

控制變因：進料前先加水至水位高於出水口、第一片上隔板 10cm，其他上隔板 12.5cm，下隔板 8cm

實驗觀察與分析：實驗結果如下表 4-1-3

表 4-1-3 槽室多寡與截油效果				
槽數	排水結果	槽體俯瞰	最後一槽	說明
3 槽： 下隔板在 第一槽與 第二槽				排水無油滴 第 3 槽油滴面積 0.5%
3 槽： 下隔板在 第二槽與 第三槽				排水無油滴 第 3 槽油滴面積 0.5%
4 槽： 下隔板在 第二槽與 第三槽				排水無油滴 第 3 槽油滴面積 0% 第 4 槽油滴面積 0%

1. 在 3 槽設計中，不論是下隔板設於第一與第二槽，或第二與第三槽，第三槽表面仍出現約 0.5% 的油滴。
2. 若增加至 4 槽設計，下隔板設於第二與第三槽，第三槽與第四槽皆無明顯油滴出現，液面極為清澈，顯示多槽可依序遞減油滴濃度。
3. 比較不同下隔板位置時，發現若下隔板在第一槽，會破壞流體原本流動情形，使油滴提前產生因為紊流而不規則的運動，不利後續槽的攔截。
4. 若下隔板位於後段（第二與第三槽），易形成漩渦，延長油滴滯留的狀態。

結論：實驗結果驗證原假設，增加槽室數量與後段隔板可有效提高截油效率。但需避免將下隔板設於第一槽，否則會造成流場混亂，油滴反而較易逃逸至後槽。最佳設計為多槽配置並適當安排隔板於中後段區域。

【總結】

本研究透過下隔板有無與長度、上隔板長度，以及槽室數量等三項實驗設計，探討槽體結構配置對截油效率之影響，並進一步驗證相關假設。

實驗一結果顯示，下隔板可有效引導流場產生擾動與回流，延長油滴滯留時間，特別是當其長度達 10 cm 時，油滴幾乎無進入後槽，有明顯的攔截效果。

實驗二證實，第二上隔板越長，越有助於穩定槽體後段形成之漩渦，油滴在第二槽內聚集效果明顯提升。第一上隔板的延長對攔截亦有幫助，但影響較小。

實驗三則說明，多槽設計（四槽）能有效漸進式地降低油滴濃度，讓後段槽體液面清澈透明。而若將下隔板設於第一槽，反而可能破壞流場穩定性，造成截油效果下降。

整體而言，**三項實驗結果均支持原始假設**：「截油槽中隔板數量與配置會影響油滴的攔截效果，其中多槽設計（四槽）可產生更多流體擾動，提升油滴滯留與截油效率。」因此我們後續實驗採用 (10 / 12.5 / 8) 及 (10 / 12.5 / 12.5 / 8 / 8) 的隔板設計作為目的二之後的隔板條件。

二、研究目的二：了解各條件對連續進樣時截油效率的影響

接著我們希望能了解以下這些變項對油脂截留槽的運作是否會有明顯影響，並提出**假設二**：進水速度會影響流場型態，快速進水更容易產生紊流與漩渦，進而改變油滴的運動軌跡與滯留區域，結果整理如表 4-2-1。

表 4-2-1 各條件對連續進樣的截油效率						
實驗編號	實驗項目	實驗假設	操作變因	控制變因	結果摘要	是否支持假設
(一)	進水速度	快速進水易產生紊流與漩渦，提升油滴滯留	進水速度 (快／慢)	槽體結構、溫度、油水濃度相同	快速進水形成漩渦但油滴易逸出，須結構輔助	部分支持
(二)	溫度	高溫可降低油黏性，有助油水分離	水溫 (高／低)	進水速度、油水濃度、槽體結構相同	溫度變化不明顯，槽體快速與槽內水溫平衡	不支持
(三)	油水濃度	濃度會影響觀察與截油效果	濃度 (3.5%／5%)	進水速度、溫度、槽體結構相同	截油效果差異不大，但 3.5% 可視性差，後續選用 5%	在 5% 的條件下不支持本實驗假設
(四)	槽體結構設計	結構設計可改變流場與漩渦形態，提升截油效率	隔板長度／數量／位置	進水速度、溫度、油水濃度相同	特定結構形成穩定漩渦並集中油滴，有效提升滯留與分離效率	支持

【總結】

研究結果部分支持原假設。快速進水確實可形成漩渦，進而影響油滴運動，但是否能有效提升截油效率，仍須結合適當的槽體結構設計。未來若能進一步控制結構與流速協同設計，將有機會最佳化截油效能。

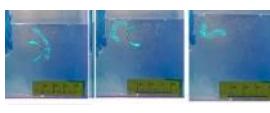
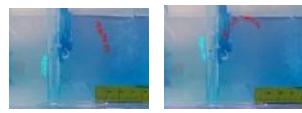
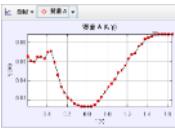
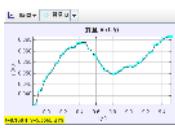
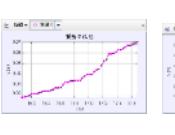
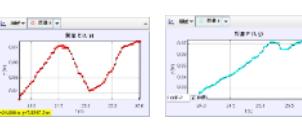
在實驗進行、影片錄製的過程中，我們發現油水濃度為 3.5 % 時，影片中的油滴太少，非常難以觀察油滴的動向。另外溫度在 20 °C 以下、40 °C 以上的油水狀態的水樣進入截油槽時，由於截油槽體在一開始的操作過程就需先有超過截油槽出水口的儲水，才能不讓油脂直接飄出截油槽，但這也讓進槽的水樣溫度快速平衡，溫度對水樣的影響無明顯差別。因此後續我們以**進水速度**：慢速(400 mL / 20 sec)、快速(400 mL / 10 sec) 及**槽數**：3 槽、4 槽，等 4 組實驗來追蹤油滴運動軌跡。

三、研究目的三：追蹤不同進水速度與槽體設計的油滴軌跡

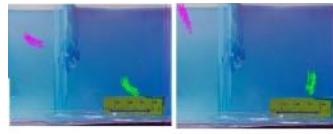
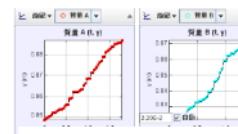
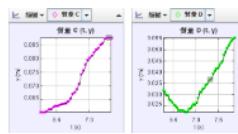
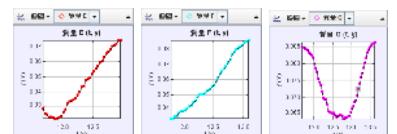
我們以 Tracker 軟體來追蹤定位不同進水速與 3 槽或 4 槽的實驗影片中的油滴，並加以繪製其隨時間的 Y 軸軌跡。並提出假設：油滴運動軌跡可透過 Tracker 軟體觀察並量化，其位置與滯留時間與截油槽結構與流速條件相關。

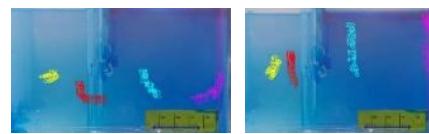
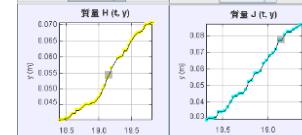
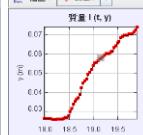
(一) 慢速進水+3 槽，以實驗 13 為例（如表 4-3-1-1、表 4-3-1-2、表 4-3-1-3）

第一階段（表 4-3-1-1）

	0~2 秒	7~10 秒	16~18 秒	23~27 秒
油滴軌跡				
Y 軸軌跡				
說明	第一槽油滴下沉後直接層流向上	第一槽油滴軌跡下沉後上升，並進行逆時針旋轉一圈後升到液面	第一槽 C 與第二槽前 D 軌跡以直接層流向上為主	第一槽 E 層流向上後接近液面時進行逆時針旋轉再上升 第二槽前 F 軌跡層流向上

第二階段（表 4-3-1-2）

	0~2 秒	5~8 秒	10~14 秒
油滴軌跡			
Y 軸軌跡			
說明	第一槽 油滴軌跡下沉後直接 層流向上	第一槽 D 直接層流向上 第二槽前 C 油滴緩慢上升	第一槽 E 直接層流向上 第二槽前 F 油滴由第一槽穿越後層流上升 第二槽前 G 油滴由液面逆時針向下一圈後 回到液面

	18~20 秒
油滴軌跡	
Y 軸軌跡	 
說明	第一槽 J K 直接層流向上 第二槽前 I 油滴由第一槽穿越後層流上升 第二槽前 H 油滴飄到第二槽前中心點後層流向上

第三階段 (表 4-3-1-3)

	0~3 秒	5~8 秒	13~16 秒
油滴軌跡			
Y 軸 軌跡			
說明	第一槽油滴軌跡下沉後直接層流向上	第一槽 D 下降後直接層流向 上第二槽前 E 由第 1 槽穿越後層流上升	第一槽 F 油滴由第一槽穿越後層流上升

將上述個油滴的 Y 軸軌跡依照其追蹤時間長度集結，並分階段製程下圖：

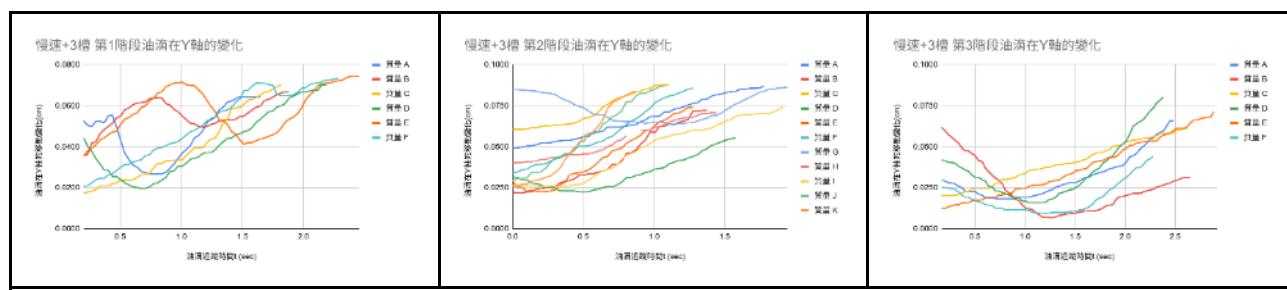


圖 4-3-1 慢速進水+ 3 槽 油滴於其滯留期間的 Y 軸軌跡變化

由圖 4-3-1 可得知

1. 第 1 槽槽體較大，油水進入第 1 槽後在層流向上的過程也可能因向上+第一上隔板的影響形成旋轉情形，持續將油滴滯留。
2. 第一槽與第二槽前油滴大多受重力影響完成下沉之後，就直接層流向上。

(二) 慢速進水+4 槽 (如表 4-3-2-1、表 4-3-2-2、表 4-3-2-3)

第一階段 (表 4-3-2-1)

	2.2 ~3.3 秒	6.2 ~ 6.9 秒	7.0 ~ 9.0 秒
油滴軌跡			
Y 軸 軌跡			
說明	油滴開始受漩渦影響 由底部到液面的時間拉長	直接向上 被漩渦影響繼續滯留第一槽	較接近層流向上的狀態

第二階段 (表 4-3-2-2)

	0 ~ 1.6 秒 (第一槽)	0 ~ 2 秒 (第二槽)	5.0 ~ 7.0 秒 (第一槽)
油滴軌跡			
Y 軸軌跡			
說明	油滴軌跡以直接層流向上為主	軌跡皆呈為層流 只有方向的不同	第一槽 F 與 第二槽前 G 皆層流向上
	5.0 ~ 7.0 秒 (第二槽)		
油滴軌跡			
Y 軸軌跡			
說明	第一槽與第二槽前 質點 F, E 完成下降後直接向上 第二槽後 質點 D 微微下降後緩慢上升	第一槽 K 第二槽前 J 層流向上 第二槽後 L, I 分別呈現順逆時針	

第三階段 (表 4-3-2-3)

	0 ~ 3.5 秒		
油滴軌跡			
Y 軸軌跡	第二槽後	第二槽前	第一槽
說明	第二槽後皆為些微向下順時針 曲線	層流向上	層流向上

將上述個油滴的 Y 軸軌跡依照其追蹤時間長度集結，並分階段製程下圖：

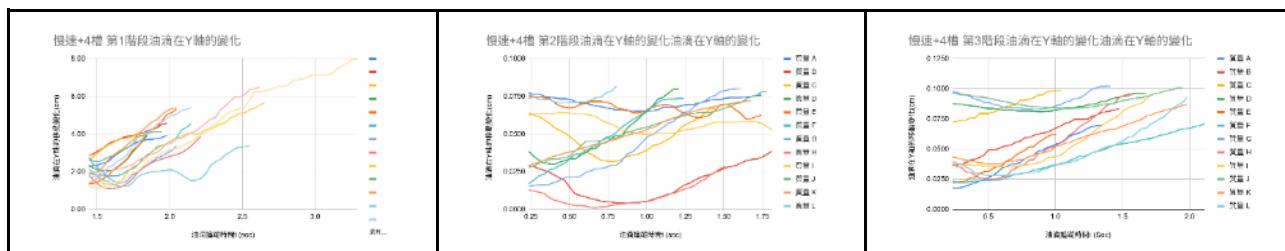


圖 4-3-2 慢速進水 + 4 槽 油滴於其滯留期間的 Y 軸軌跡變化

由圖 4-3-2 可得知

- 一開始進水時，第一槽與第二槽前油滴多為層流向上的軌跡。第二槽後有漩渦形成但第一階段的進水時，沒有造成許多湍流
- 在第二階段的影片得知，第二槽後有許多被漩渦影響的軌跡，且靠近液面與槽底的油滴為順時針，中間則為逆時針
- 在第三階段影片得知，第一槽與第二槽前的油滴仍維持層流向。而第二槽後的油滴經擴散抵達第二槽後時，大多僅微微朝下進行順時針的曲線軌跡。槽中與槽底油滴並不多見。

(三) 快速進水+3 槽，以實驗 11 為例（如表 4-3-3-1、表 4-3-3-2、表 4-3-3-3）

第一階段（表 4-3-3-1）

	0~2秒	2.5~4.5秒	8.5~10.5秒
油滴軌跡			
Y 軸 軌跡			
說明	A 下沉至第一槽後橫向抵達第二槽，再層流向上 B 下沉後被推至近第一上隔板再快速層流向上，上升時再度轉彎至液面 C 下沉至第一槽後快速層流向，將抵液面時又轉彎向下繞一圈	水流非常快速，但 E、F、G 三質點皆為扭曲向上的軌跡，沒有形成漩渦軌跡	第二槽前 I 扭曲向上 第一槽 H 向上後將抵液面時逆時針轉彎向下繞一圈，再向上聚集

	12~16秒	15~18秒	19~22秒
油滴軌跡			
Y 軸 軌跡			
說明	第一槽 J 與第二槽前 K 軌跡以直接層流向為主	第一槽 L 下沉後接近第一上隔板位置順時針繼續回到第一槽，並扭曲向上 第二槽前 M 第一槽平流至第二槽層流向 第二槽後 N 由第二槽前至槽後，下沉後順時針層流向	第二槽後 O, P 質點 雖皆由第二槽前平流而至，但 2 點分別順逆時針繞一圈並回到接近原出發點與液面結合 第一槽 S 與第二槽前 R 皆扭曲向上

第二階段 (表 4-3-3-2)

	0.5 ~ 2.5 秒	5 ~ 8 秒	16 ~ 20 秒
油滴軌跡			
Y 軸 軌跡	 	 	
說明	<p>水流非常快速，第一槽中 A 點下沉後直接層流向上 B 點穿至第二槽，再層流向上 C 點在靠近第一上隔板時，順時針向上後層流向上</p>	<p>第一槽 D 下沉後扭曲向上 第二槽前 E 點下沉後層流向上 第二槽後油滴不明顯，但 F 點屬層流向上</p>	<p>第一槽 G 下沉後層流向上後又順時針向下 第一槽 H 穿至第二槽，層流向上 第二槽前 I 平流至第二槽後 緩慢向液面上聚集</p>

第三階段 (表 4-3-3-3)

	0.5 ~ 3.5 秒	4.5 ~ 7 秒	9 ~ 11 秒	
油滴軌跡				
Y 軸 軌跡	 	 		
說明	<p>水流非常快速，第一槽中 A 點下沉後直接層流向上 C 點穿至第二槽，再層流向上 B 點在靠近第一上隔板時，順時針向上後層流向上</p>		<p>第一槽與第二槽前各質點均呈現層流向上</p>	
	<p>14 ~ 18 秒</p>		<p>19 ~ 23 秒</p>	
油滴軌跡				
Y 軸 軌跡	 			
說明	<p>第一槽 K 點層流向上 第二槽前 I 點層流向上 J 點在靠近第一下隔板時，順時針向上後層流向上</p>		<p>第一槽 M 層流向上 第二槽前 N 點 層流向上 第二槽前 L 點 層流向上後，由第一下隔板平流至第二槽後，再緩緩下沉</p>	

將上述個油滴的 Y 軸軌跡依照其追蹤時間長度集結，並分階段製程下圖：

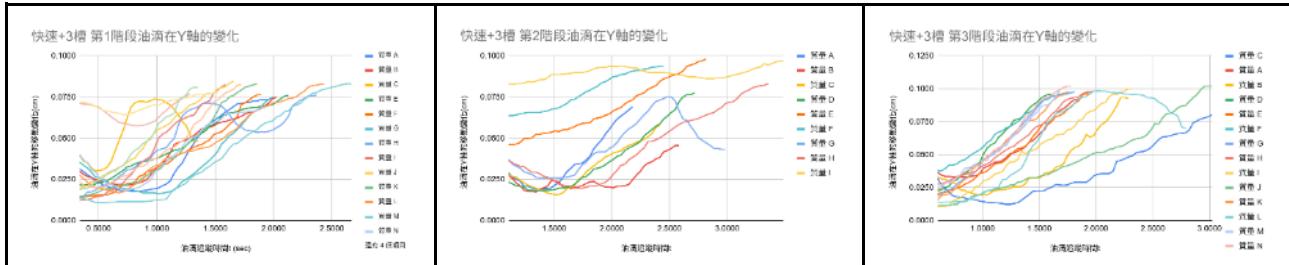


圖 4-3-3 快速進水+3 槽 油滴於其滯留期間的 Y 軸軌跡變化

由圖 4-3-3 可得知

1. 第一槽槽體較大，油水進入第一槽後在層流向上的過程也可能因向上+第一上隔板的影響形成逆時針旋轉，持續將油滴滯留。
2. 第一槽與第二槽前油滴多為層流向上的軌跡。
3. 在第三階段影片得知，第一槽與第二槽前的油滴仍維持層流向，第二槽前油滴也有可能平流到第二槽後。

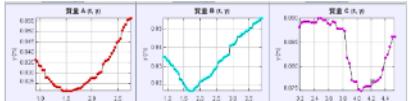
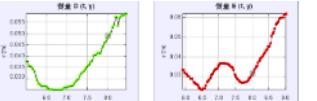
(四) 快速進水+4 槽，以實驗 16 為例 (如表 4-3-4-1、表 4-3-4-2、表 4-3-4-3)

第一階段 (表 4-3-4-1)

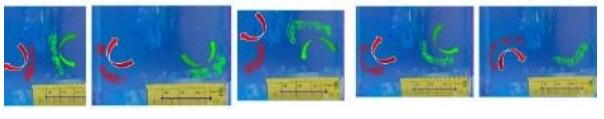
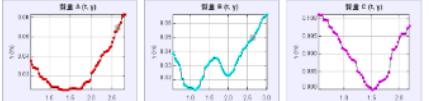
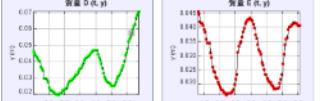
	0 ~ 3 秒	3 ~ 4.5 秒
油滴軌跡		
Y 軸軌跡		
說明	水流非常快速進水，瞬間發生 2 種主要流向 A 下沉至第一槽後旋轉向上 B 下沉後順時針一直轉圈	質點到第二槽前時，順時針向上迴轉 D 旋轉沿著第一上隔板層流向 C 轉過第一上隔板回到第一槽再層流向

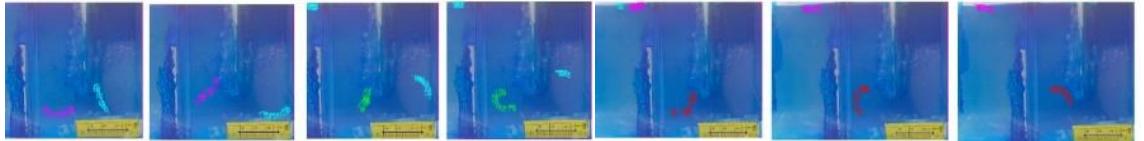
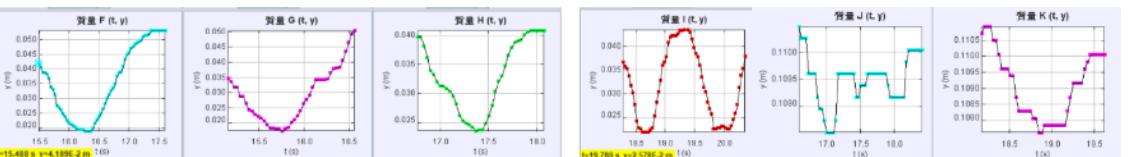
	9 ~ 11.5 秒	14 ~ 18 秒
油滴軌跡		
Y 軸軌跡		
說明	第一槽 F 下沉後層流向 第二槽前 E 順時針迴轉 第二槽後 I 由第二槽前平流至第二槽後遇到 第二上隔板，逆時針下降	第二槽前 G 順時針向上旋轉 2 圈後層流向 第二槽後 H 由第二槽前平流至第二槽後遇到第二上隔板，逆時針下降

第二階段 (表 4-3-4-2)

	0.5 ~ 5 秒	5 ~ 9 秒
油滴軌跡		
Y 軸軌跡		
說明	第一槽 A 下沉至第一槽後層流向上 第二槽前 B 下沉後自第二槽前順時針層流向上 第二槽後 C 微微影像顯示平流後微微向下逆時針旋轉	第 1 槽 D 下沉至第一槽後層流向上 第二槽 E 下沉後自第二槽前順時針旋轉 1 圈再層流向上 此時第二槽後無法辨識油滴去向

第三階段 (表 4-3-4-3)

	0.5 ~ 3 秒	4 ~ 8 秒
油滴軌跡		
Y 軸軌跡		
說明	第一槽 A 下沉至第一槽後層流向上 第二槽前 B 下沉後自第二槽前旋轉 1 圈後層流向上 第二槽後 C 微微影像顯示平流後微微向下旋轉	第一槽 D 下沉至第一槽後逆時針 1 圈後層流向上 第二槽前 E 下沉後自第二槽前順時針 1 圈 第二槽後 僅有顏色微微變化，無法追蹤油滴

	15 ~ 20 秒					
油滴軌跡						
Y 軸軌跡						
說明	第一槽 F 下沉至第一槽後逆時針一圈 第二槽前 GH 下沉後順時針層流向上 第二槽後 JK 僅於液面平流至第二上隔板					

將上述個油滴的 Y 軸軌跡依照其追蹤時間長度集結，並分階段製程下圖：

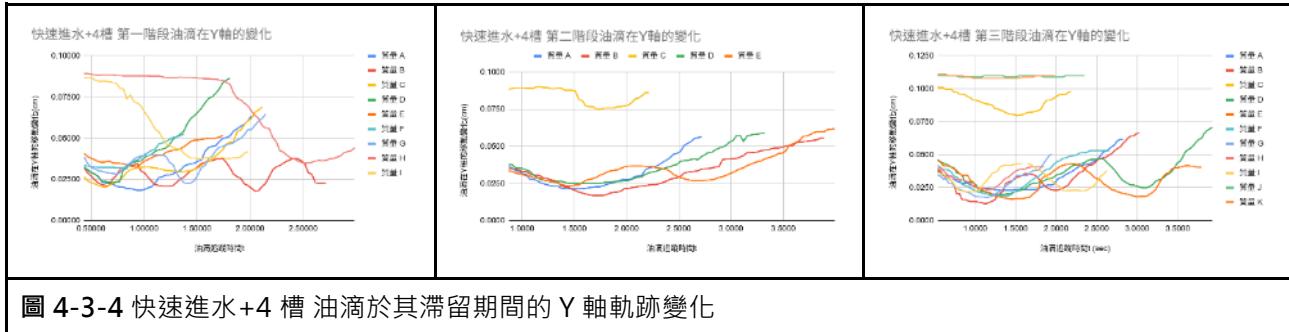


圖 4-3-4 快速進水+4 槽 油滴於其滯留期間的 Y 軸軌跡變化

由圖 4-3-4 可得知

1. 快速進水+多槽狀況下，第一槽和第二槽前的油滴比較容易形成漩渦或向上層流。
2. 油滴多在第一槽和第二槽前停留，以至於油滴到第 2 槽後的情形已經難以看到獨立存在的油滴，而僅看到顏色的擴散。

【總結】

1. **慢速進水 + 3 槽**：油滴大多呈現穩定層流向上軌跡，並有部分受隔板形成的旋轉流場影響而產生迴轉，滯留時間較長，部分油滴能成功聚集於第二槽液面。
2. **慢速進水 + 4 槽**：油滴多數在第一槽與第二槽前呈層流向上，但第二槽後明顯出現順逆時針旋轉現象，油滴受漩渦影響明顯，顯示槽體後段設計有助於延長滯留時間。
3. **快速進水 + 3 槽**：油滴雖因快速流速而產生較複雜的軌跡，包括轉向、向下迴旋等，但整體仍以扭曲的層流向上為主，部分油滴被推擠至下一槽，油滴不易穩定滯留。
4. **快速進水 + 4 槽**：油滴在第一槽與第二槽前易形成旋轉與扭曲向上軌跡。

【結論與假設驗證】

本研究假設為：「油滴運動軌跡可透過 Tracker 軟體觀察並量化，其位置與滯留時間與截油槽結構與流速條件相關。」根據觀察，油滴行為確實與流速與槽體結構密切相關，並可透過 Tracker 具體呈現其運動軌跡與變化過程。因此，此假設獲得明確支持。

此外，各條件下的追蹤結果也進一步說明：

- 多槽設計 + 合理隔板配置有助於形成旋轉流場，提升油滴的滯留與集中效率。
- 快速進水若無搭配結構設計，則油滴雖會旋轉但不易穩定聚集。
- 慢速進水則更有助於油滴以層流模式向上浮起與聚集。

四、研究目的四：以 Tracker 數據 分析油滴的運動並以皂化反應驗證結果

在本目的中我們提出的假設為：經皂化反應後所產生的皂量，能與油滴滯留時間與槽體位置對應，反映截油效率的物理與化學雙重觀測結果。

(一) Tracker 數據分析

在以 Tracker 追蹤油滴軌跡後，我們將 Traacker 提供每個追蹤的油滴之速率以 Excel 計算其平均速度、並由最後追蹤到的時間點扣掉一開始追蹤的時間點，做為該油滴的滯留時間。

由於每段影片合計追蹤油滴有 126 個平均數據，不方便用以與其他條件比較，因此我們依照不同實驗條件分組，再取其平均數據。結果如下：

- 滯留時間 (sec)：最後追蹤到的時間點扣掉一開始追蹤的時間點
- 平均速度 (cm / s)：Tracker 數據中 v 的數值，加以平均

整理如下表（表 4-4-1），由下表可見，**快速進水 + 四槽組在第二槽前具有最高滯留時間與較低平均速度，顯示局部穩定漩渦有效提升截油效率。**

表 4-4-1 Tracker 追蹤之數據分析整理

	滯留時間 (sec)			平均速度 (cm / s)		
	第一槽	第二槽前	第二槽後	第一槽	第二槽前	第二槽後
慢速 3 槽 第 2 階段	1.180	1.564	--	4.938	3.552	--
慢速 3 槽 第 3 階段	2.214	2.517	--	4.351	2.198	--
慢速 4 槽 第 1 階段	0.494	1.051	0.335	5.935	6.115	7.959
慢速 4 槽 第 2 階段	1.158	1.409	1.174	4.496	4.939	5.517
慢速 4 槽 第 3 階段	1.510	1.157	1.216	4.389	5.242	3.553
快速 3 槽 第 1 階段	1.550	1.487	1.172	7.735	6.058	5.374
快速 3 槽 第 2 階段	1.532	1.980	1.275	6.097	3.893	3.415
快速 3 槽 第 3 階段	1.360	1.612	--	7.277	6.006	--
快速 4 槽 第 1 階段	1.191	1.604	2.482	4.381	6.706	4.263
快速 4 槽 第 2 階段	2.081	3.003	1.275	3.44	3.13	5.649
快速 4 槽 第 3 階段	2.531	1.529	1.568	4.182	4.435	2.814

將此數據轉換為折線柱狀圖加以比較（如圖 4-4-1）：

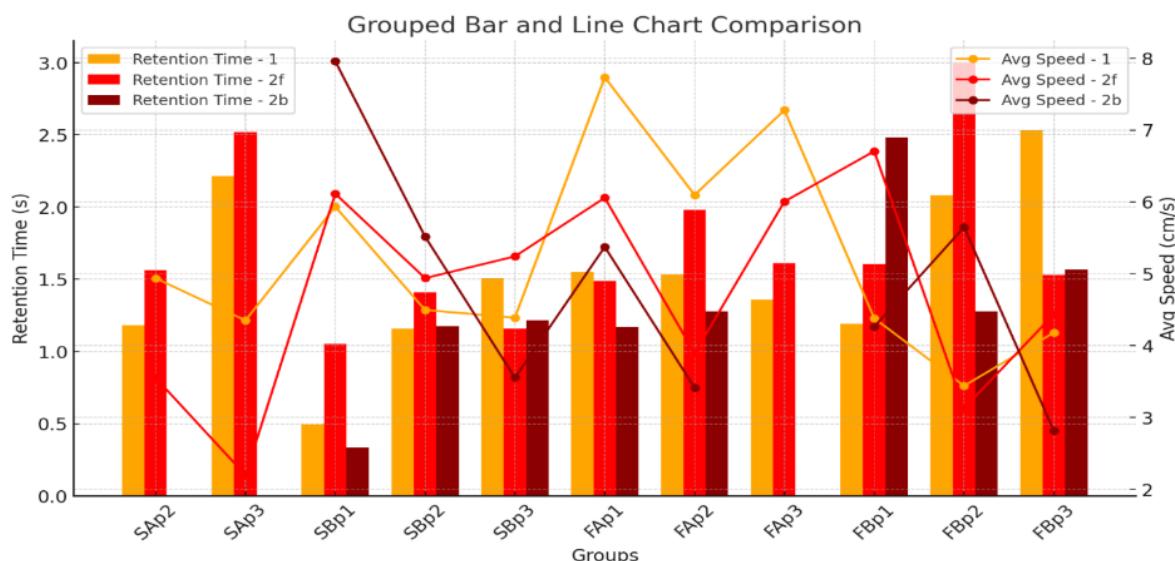


圖 4-4-1 以 Tracker 數據分析各條件下的滯留時間與平均速度之折線柱狀圖

本研究探討截油槽內油滴的運動軌跡，並分析不同進水速度與槽數對油滴滯留時間與平均速度的影響。根據數據與影片觀察，歸納以下結果：

1. 進水速度與滯留時間的關係

- (1) 觀察結果顯示，當進水速度較慢時，油滴的滯留時間較長，平均速率較低。這可能是因為水流較穩定（層流），油滴較容易受到浮力影響上浮並滯留。
- (2) 當進水速度較快時，油滴的滯留時間變短，但平均速率較快。這可能是因為水流較不穩定，紊流的影響讓油滴更容易受到擾動而移動，因此較難形成長時間滯留。

2. 隔板設計（3槽 vs. 4槽）的影響

(1) 3槽 設計：

- (a) 在較慢進水的情況下，油滴主要呈現層流向上的運動軌跡，第一槽與第二槽前的油滴滯留時間較長（約 1.2~1.5 秒），顯示隔板有幫助油滴聚集的效果。
- (b) 在較快進水的情況下，雖然油滴仍有層流向上的趨勢，但第二槽前的油滴較可能往後流動，顯示水流推動油滴的影響較大。

(2) 4槽 設計：

- (a) 在慢速進水的情況下，第二槽後形成明顯的漩渦，影響油滴運動，使其滯留時間增加，且出現不同旋轉方向的漩渦（液面處順時針，槽中與槽底處逆時針）。
- (b) 在快速進水的情況下，第一槽與第二槽前容易形成漩渦，使油滴在這兩個區域內較長時間滯留，而進入第二槽後的油滴則因漩渦影響使油滴容易往前一槽的方向聚集。

3. 滯留時間的比較

- (1) 第二槽前與第二槽後的滯留時間普遍高於在第一槽的油滴，顯示油滴在這些區域受到較強的漩渦影響，使其可觀察到的時間較長。
- (2) 在快速進水 4槽的第二槽前位置觀察到最高滯留時間（3.003s），顯示該區域可能存在較強的渦流或流體阻滯效應。
- (3) 慢速進水 4槽第二槽後位置的滯留時間最低（0.335s），說明該區域的油滴受到較快的流體推進，停留時間最短。

4. 平均速度（Vave）的變化

- (1) 觀察折線圖，在第一槽位置的平均速度普遍高於第二槽前、比較第二槽前與第二槽後，顯示油滴在第一槽的流場運動較為順暢，受漩渦影響較小。
- (2) 慢速進水 4槽第二槽後位置的平均速度達 7.959 cm / s，為所有追蹤油滴中最高速，顯示該點的流場作用力較強。
- (3) 相反地，慢速進水 3槽第二槽後位置的平均速度最低（2.198 cm / s），顯示該處可能存在較大的流體阻力或剪力場交互作用，導致油滴運動減緩。

(二) 皂化反應驗證結果

實驗名稱：截油槽在槽數與進水速度的不同情形對截油效率之影響

實驗假設：以皂化反應驗證目的 3 之實驗，亦即快速進水+4 槽其第 2+第 3 槽的皂化結果應為最重

操作變因：分別以慢速進水 3 槽、慢速進水 4 槽、快速進水 3 槽、快速進水 4 槽等進行實驗

控制變因：取樣方式相同、10 % NaOH 100 mL、皂化反應溫度(80°C)、攪拌反應液時間 10 分鐘、靜置時間 30 分鐘、烘乾時間 1 小時後 烘箱靜置 6 小時

取樣流程標準化：3 槽取第二槽、4 槽取第二+第三槽，每次實驗在相對應槽體取 2 杯各 50mL 的水樣，再綜合為一杯

實驗過程：（如圖 4-4-2）

1. 中間槽水樣標準化	2. 靜置 30 分鐘 上排：中間槽體水樣 下排：出水口水樣	3. 過濾： 將整杯皂化溶液以 2 張濾紙過濾	4. 烘乾： 烘乾機乾燥 1 小時、 烘箱中靜置 6 小時

圖 4-4-2 以皂化反應量化截油之過程

實驗結果：（如表 4-4-2）

表 4-4-2 各組條件下皂化反應秤重結果

	槽體結果俯視	乾燥後結果	原濾紙重(g)	總重(g)	扣濾紙重 結果(g)
慢速進水 3 槽			1.83	3.58	1.75
慢速進水 4 槽			1.79	2.7	0.91
快速進水 3 槽			1.78	3.25	1.47
快速進水 4 槽			1.82	5.33	3.51

伍、討論與分析

本章將依研究三大目的，分別針對結構設計對截油效率、進水條件對流場與油滴行為、以及油滴微觀軌跡與皂化驗證三部分進行討論，並結合物理原理如浮力、漩渦、壓力梯度與剪力場等進行分析與解釋。

一、隔板配置與槽數對油滴截留效能的影響

本研究首先驗證假設一：「截油槽中隔板數量與配置會影響油滴的攔截效果」，尤其多槽設計（四槽）可產生更多流體擾動，提升油滴滯留與截油效率。

1. 隔板長度對油滴行為的影響

實驗中觀察到，當下隔板與上隔板長度加長時，截油效率提升。這與以下物理現象有關：

- (1) **浮力原理**：油滴密度低於水，在靜止狀態下自然會上浮。若隔板引導水流向上，油滴更容易順勢上浮並滯留。
- (2) **水流型態控制**：長隔板有助導引水流維持穩定層流，減少紊流，使油滴上浮軌跡更可預測。
- (3) **漩渦生成機制**：當上下隔板構成狹窄通道時，會產生旋轉流場（swirl），這些漩渦讓油滴被迫改變運動方向或「被困住」而延長滯留。

2. 槽室數量對油滴去向的控制

多槽設計提供更多分段截留與漸進降低濃度效果。即使油滴在前槽未完全被截留，仍有機會在後槽中被再次聚集與上浮。

- (1) **油滴慣性與剪力影響**：當水流流經不同槽室，若缺乏足夠阻力與壓力梯度轉換，油滴可能因慣性通過障礙物。增設槽室可打斷其運動，提升再聚集機會。
- (2) **壓力梯度與漩渦**：多槽間各種力量的分布，有助於產生穩定的順逆時針漩渦，使油滴在第二槽與第三槽間形成迴旋滯留，類似物理實驗中的「水龍捲」裝置（圖 1-2-2）。

結論：隔板長度與位置、槽數皆直接影響水流型態與油滴的移動路徑，合理配置可大幅提升截油效率，驗證假設一成立。

二、進水速度與流場行為的關聯

本研究第二個假設為：「進水速度會影響流場型態，進而影響油滴的滯留區域與截留效果」。

1. **慢速進水**：穩定層流有利聚集：在慢速進水下，水流呈現層流，油滴能順著水流穩定上升，不易受亂流干擾。
 - (1) **浮力主導上升**：水速慢時，浮力成為主導力量，使油滴自然上浮。
 - (2) **布朗運動與擴散較弱**：油滴體積較大時，分子擾動的影響不明顯，運動軌跡可預測。
 - (3) **快速進水**：紊流與旋轉流場主導
2. 快速進水時水流不穩定，容易產生剪力與紊流，形成複雜漩渦。
 - (1) **剪力與油滴變形**：在層間流速差較大時，油滴會變形甚至破裂成小油滴，導致其浮力降低，截留難度提升。
 - (2) **壓力梯度與吸附效應**：漩渦中心壓力較低，根據白努力定律，油滴會被「吸」至中心滯留，這現象正有助於形成局部截油區域。

結論：進水速度確實會改變油滴的行為模式。快速進水不見得完全不利，只要搭配結構設計，反而能利用漩渦延長油滴停留時間，部分支持假設二。

三、微觀層面的觀察與分析（透過 Tracker）

本研究運用 Tracker 軟體分析油滴的 Y 軸軌跡與速度變化，驗證假設三：「油滴運動軌跡與滯留時間可透過 Tracker 軟體觀察並量化，並與槽體結構與流速條件密切相關」。

1. **慢速進水 + 多槽組合**：可觀察到長時間的垂直上升軌跡，代表油滴受穩定層流主導，速度較低但滯留時間長，適合截留。
2. **快速進水 + 多槽組合**：觀察到明顯的上下波動或漩渦旋轉路徑，雖平均速度較快，但部分油滴滯留時間反而更長。
3. **油滴平均速度與滯留時間對照**：透過圖肆四-1 數據分析，最高滯留時間與最低平均速度出現在「快速進水 + 四槽」的第二槽前區域，正好對應觀察影片中最強漩渦出現區。

結論：Tracker 所呈現的運動軌跡與速度數據，成功對應不同槽體與進水設計條件下的微觀現象，強力支持假設三。

四、皂化反應驗證油滴截留情形

本研究亦設計皂化實驗以量化油滴實際累積狀況，驗證假設四：「經皂化反應後所產生的皂量，能與油滴滯留時間與槽體位置對應，反映截油效率的物理與化學雙重觀測結果。」實驗結果如表 5-4-1。

1. **快速進水 + 四槽組最重 (3.51 g)**：對應 Tracker 數據中最長滯留時間與最明顯旋轉軌跡，顯示快速進水搭配多槽設計能產生穩定漩渦，有效攔截油滴。
2. **慢速進水 + 三槽組次重 (1.75 g)**：流場穩定、油滴以層流向上浮起，集中於液面，截油效果良好。
3. **快速進水 + 三槽組 (1.47 g)**：雖然有紊流，但因槽數較少，無法長時間滯留油滴，僅部分油滴被截留。
4. **慢速進水 + 四槽組最輕 (0.91 g)**：雖具多槽結構，但因進水流速太慢，第二槽後形成的漩渦不足以有效滯留油滴，反而可能造成油滴破碎或擴散逸出。

結論：本實驗結果顯示，皂化重量與微觀軌跡的結果高度一致。快速進水與多槽結構能夠創造有效漩渦場，增加油滴在特定區域的滯留與聚集，進而轉化為可量化的皂化產物。此方法補足了 Tracker 在視覺觀察範圍的限制，並從化學角度支持本研究假設四的成立。

表 5-4-1 皂化、滯留時間、油滴軌跡 結果比較

項目 類型	皂化重量 (g)	滯留時間 (s)	油滴運動模式
慢速 + 3 槽	1.75	1.18 - 2.21 次高	層流向上，影響較小
慢速 + 4 槽	0.91	1.16 - 2.52	第二槽後受漩渦影響，出現旋轉運動
快速 + 3 槽	1.47	0.34 - 1.51	第一、二槽前仍有層流，部分油滴滯留
快速 + 4 槽	3.51	1.17 - 3.00 最高	第一、二槽前易形成漩渦，易使油滴滯留於前槽

陸、結論

- 一、截油效率受隔板長度與槽體設計影響顯著，四槽與長隔板能形成穩定流場與漩渦，提升油滴滯留效果。
- 二、進水速度會改變油滴的流動型態，慢速進水形成層流、油滴穩定上升；快速進水易產生漩渦，若搭配良好結構也能有效截油。
- 三、Tracker 軟體能有效觀察油滴微觀運動，並揭示滯留區與流場變化。
- 四、皂化反應驗證與微觀觀察結果一致，具量化價值。

綜合結果支持本研究各項假設，證實「微觀漩渦」對截油效率具決定性影響。

柒、參考文獻

一、書籍資料

- 國小自然課本（108 課綱）。(n.d.). 翰林版國中自然科學課本第 3 冊第 2 單元〈物質的性質〉。台灣：翰林出版社。

二、網路資料

1. Books.com.tw. (n.d.). 物理好好玩 1-4：正確建構國小自然課程中最抽象、重要的物理觀念. <https://www.books.com.tw/products/0010827992>
2. 李傳弘、李昱儒、羅唯倫（2023）。液中表面動態張力分佈造成液面上彩圈之行為討論。全國中小學科學展覽會第 63 屆，國立中科實驗高級中學。
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=19961&sid=19990>
3. 劉家伶、呂語蘋（2010）。水中的甜甜圈—渦環運動的觀察與研究。全國中小學科學展覽會第 50 屆，臺北市立石牌國民中學。
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=47&sid=5430>
4. 謝文浩、林雨欽、莊鳴鐸（2018）。探討強制渦流中浮體上升之變化。全國中小學科學展覽會第 58 屆，新北市立板橋高級中學。
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=15105&sid=15485>
5. 蔡杰達、薛睿彥、李昆樺（2018）。隨波「阻」流—液體中物體運動研究。全國中小學科學展覽會第 58 屆，新北市立永和國民中學。Retrieved from
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=64&sid=15117>
6. Wikipedia. (n.d.). **Laminar flow**. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved February 7, 2025, from <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/層流>
7. Wikipedia. (n.d.). **Turbulent flow**. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved February 7, 2025, from <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/湍流>
8. 臺中市政府水利局（2024 年 12 月 24 日）。油脂截留器容量公式計算、水質、清理週期及構造與機能。取自：
<https://www.wrs.taichung.gov.tw/media/704294/98%E6%B2%B9%E8%84%82%E6%88%AA%E6%B5%81%E5%99%A8%E5%AE%B9%E9%87%8F%E8%A8%AD%E8%A8%88%E8%AA%AA%E6%98%8E1031128%E4%BF%AE%E6%AD%A3.pdf>

三、圖片來源

1. 圖 1-2-1-1 引用來源：M.I.T 加工網（2024 年 12 月 20 日）。富揚科技有限公司-油水分離設備，油脂截留槽。取自 https://mit-machining.com/store/store_pro_info.php?id=68967&useno=getway
2. 圖 1-2-1-2 引用來源：璋輝不鏽鋼股份有限公司（2024 年 12 月 20 日）。油煙水洗機 / 截油槽 / 環保截油設備。取自 <http://www.xn-ihqs73bf08aw9cuj.tw/?f=Environment>

3. 圖 1-2-1-3 引用來源：環保博士環境科技事業群（2024 年 12 月 20 日）。CNS 不鏽鋼油脂截留器。取自 http://www.cosmosbio.com.tw/tw_products_detail.asp?Fkindno=F000002&Pidno=201409290003
4. 圖 1-2-1-4、圖 1-2-1-5、圖 1-2-1-6 引用來源：鈺富機械有限公司（2024 年 12 月 20 日）。油脂截流槽(油脂截留槽)(油水分離槽)(截油槽)(油脂分離槽)。取自 <https://www.jenfu.com.tw/c-products-06.htm>
5. 除上述 1~4 所述圖片引用自他處，其餘圖片均為作者拍攝、截圖相關程式之畫面。

四、其他

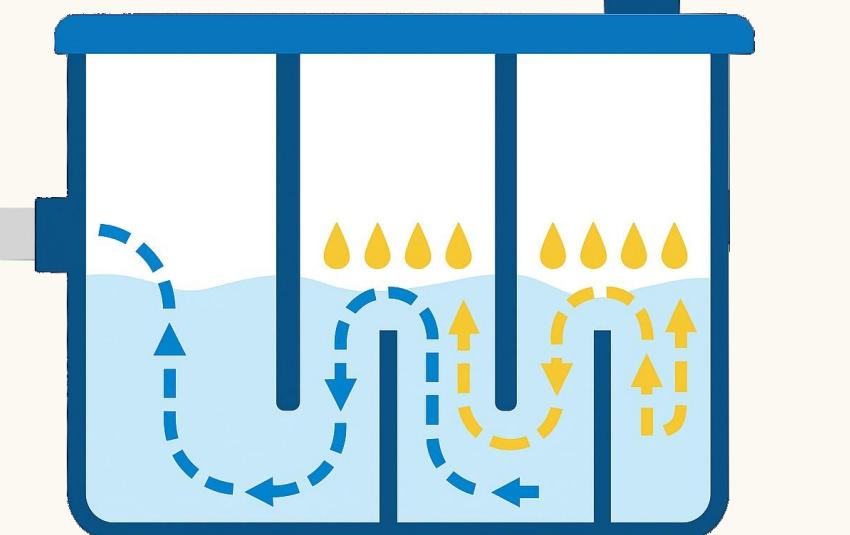
- 第 64 屆桃園市中小學科學展作品（2024）。去「油」解「匿」—新式家用截油槽讓油垢無所遁形（未公開發表作品，生活與應用科學科決賽第 3 名）。

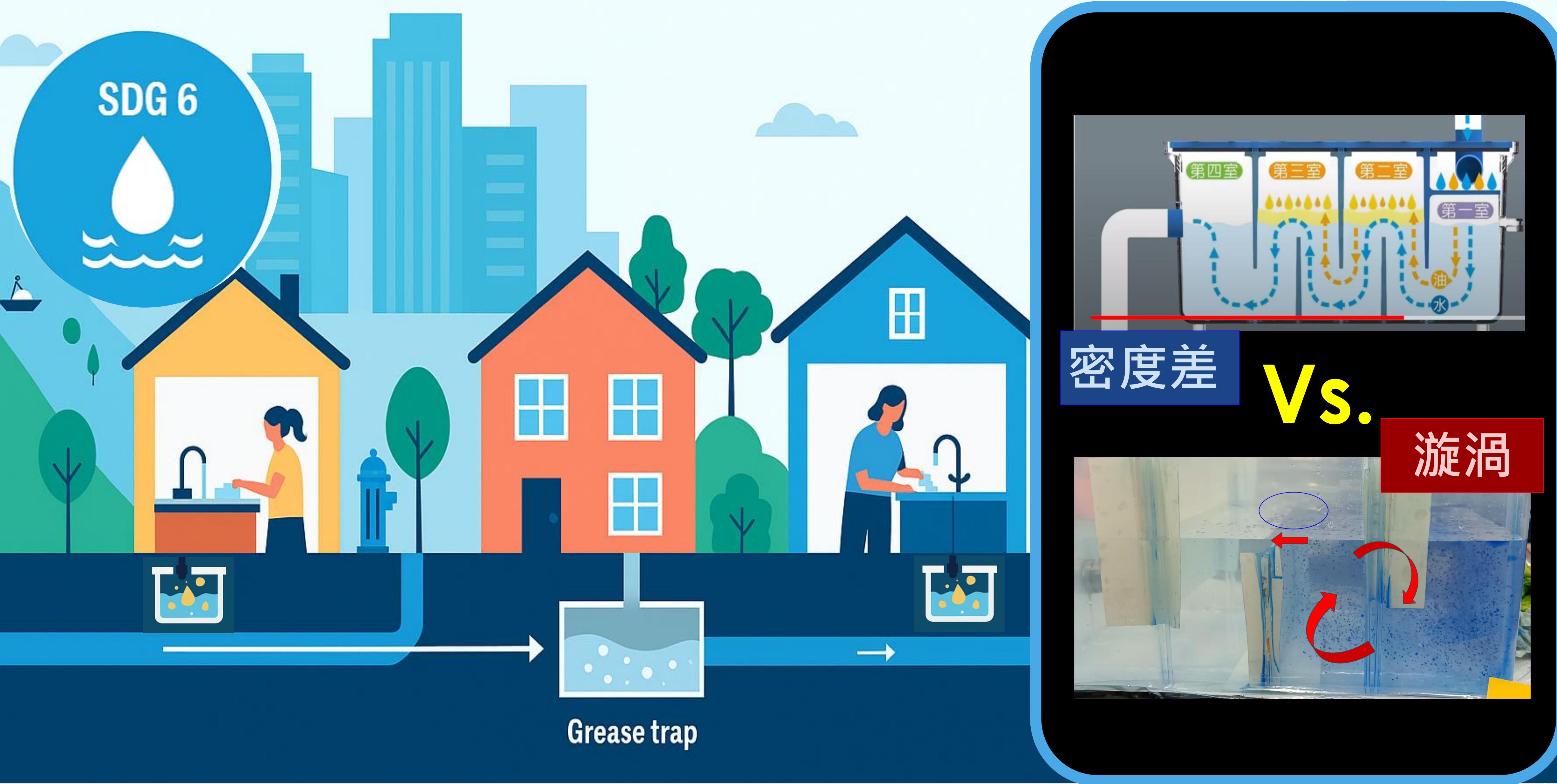
【評語】080111

這研究嘗試的瞭解截油槽中油滴運動軌跡分析。文獻回顧裡介紹截油槽結構，油滴在流場中運動狀態。實驗中，利用皂化反應測量油量，並用電腦軟體對於油滴運動行為進行細微的觀察及分析。研究目標為尋求最佳化截油效率。有系統設計一系列實驗以及結果的分析。其結果可做為優化截油槽的參考，作品具有實用上的價值！

作品海報

微觀旋渦之力 載油槽中油滴運動軌跡分析





了解原理

目的^一

以學校截油槽模式觀察隔板長度、槽數與截油效率的關係

目的^二

不同進水速、溫度、濃度與槽體結構，對截油的影響

目的^三

利用 Tracker 軟體追蹤油滴軌跡，分析不同進水速度與槽數的油滴行為

目的^四

結合微觀與皂化，探討流速與結構設計對油滴滯留與平均速度的影響

了解學校 截油槽之 實際使用 狀態

假設^一

隔板數量與配置影響截油效果，多槽設計提高截油效率

假設^二

快速進水產生紊流與漩渦，改變油滴軌跡與滯留區域

假設^三

油滴運動軌跡可透過 Tracker 軟體觀察並量化

假設^四

皂化結果能驗證截油效率

研究過程與方法

1 決定油水濃度



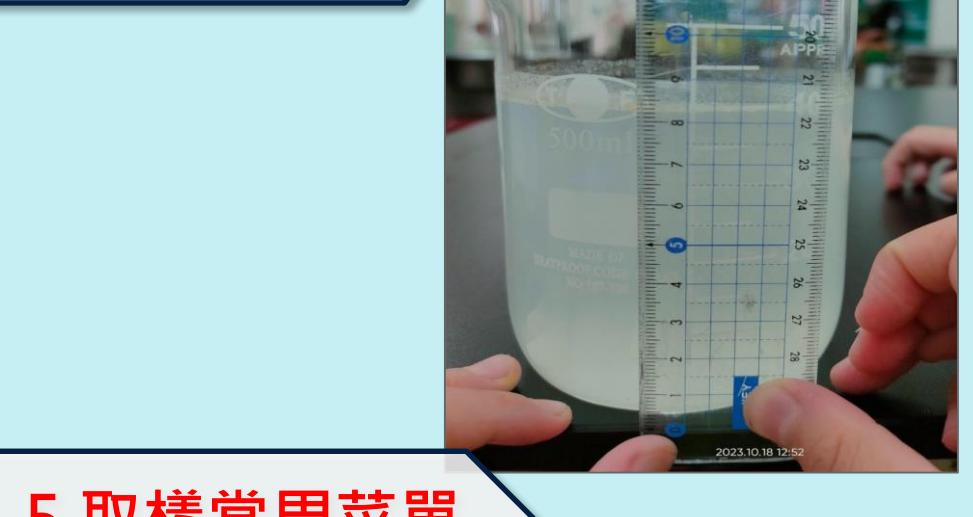
1.撈除浮渣



2.第一次過濾



3.第二次過濾



4.高度比例法
計算體積濃度



5.取樣當周菜單

日期	10/17	10/18	10/19	10/20
午 餐 內 容	糙米飯 香酥魷魚排 有機青油菜 玉米排骨湯	滑蛋瘦肉粥 糖醋排骨 蒸芋泥包 有機黑葉白菜	燙米飯 蠔油雞丁 黃瓜什錦 有機小白菜 三絲蛋花湯	蕎麥飯 梅干燒肉 粉絲白菜油 有機青松菜 桂圓紫米
水(高度, cm)	8.2	8.2	8	8
油(高度, cm)	0.3	0.2	0.35	0.2
體積濃度計算	3.53%	2.38%	4.19%	2.56%

體積濃度計算公式為
 $\frac{\text{油 (高度, cm)}}{\text{水溶液 (高度, cm)}} \times 100\%$

2 截油槽製作命名

1.依照公式計算體積

油脂
截
留
器
計
算
公
式
參
考

$$Q = (nq/t)k \quad (\text{公升/時})$$

$$V = Q/6 \quad (\text{公升/時})$$

$$n = \text{每天用餐人數}$$

$$t = \text{每次用餐廚房污水持續流出時間}$$

$$Q = \text{總容量}$$

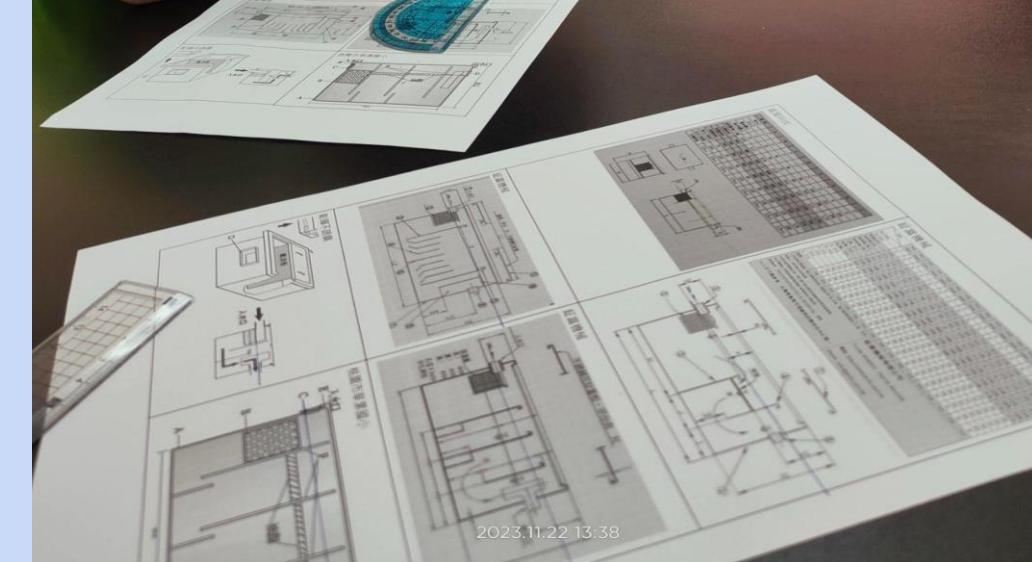
$$q = \text{每餐次每人產生污水量}$$

$$k = \text{安全係數}$$

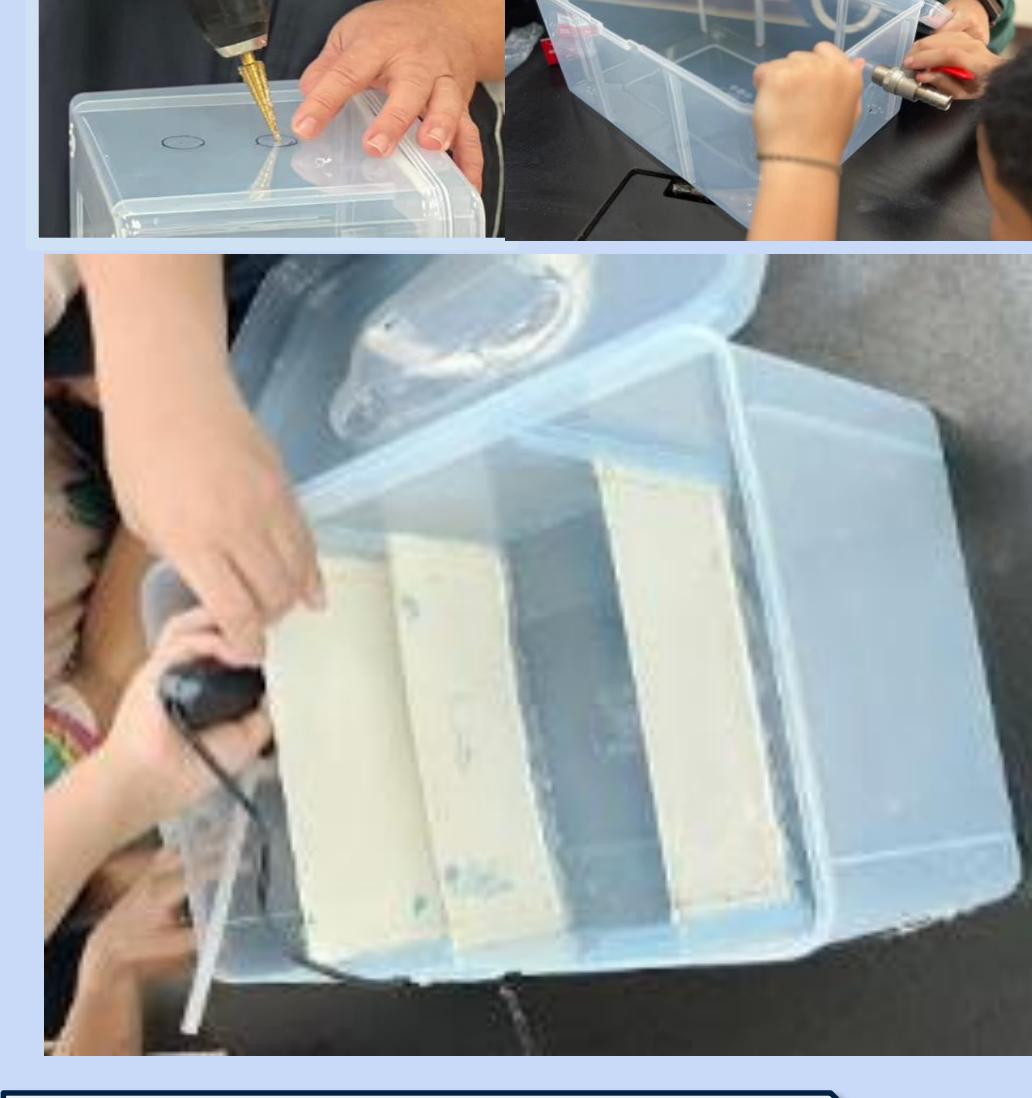
$$V = \text{有效容積}$$

依餐廳類型不同，每餐次產生污水量應實際測量為準。
新設立餐廳實際用水量以左列水量表為標準。

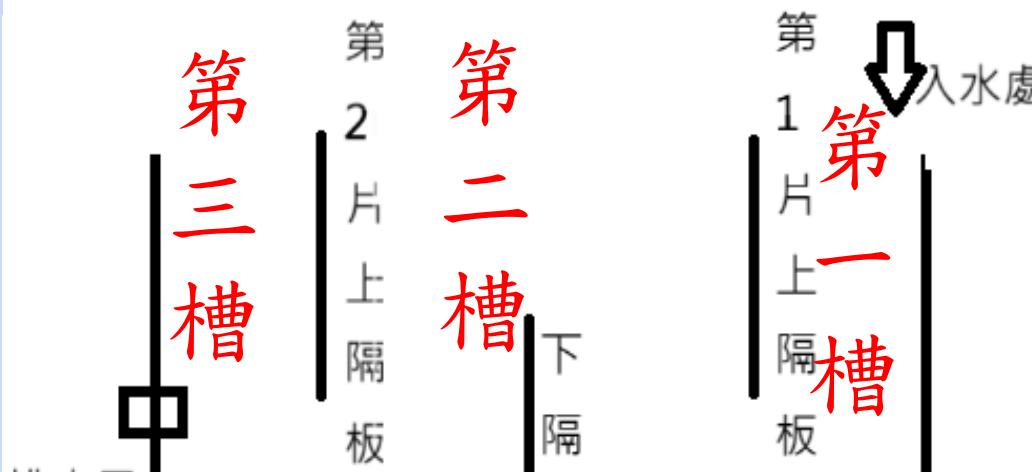
2.依各廠商資料計算隔板長



3.改造收納箱為截油槽



4.槽室及隔板命名

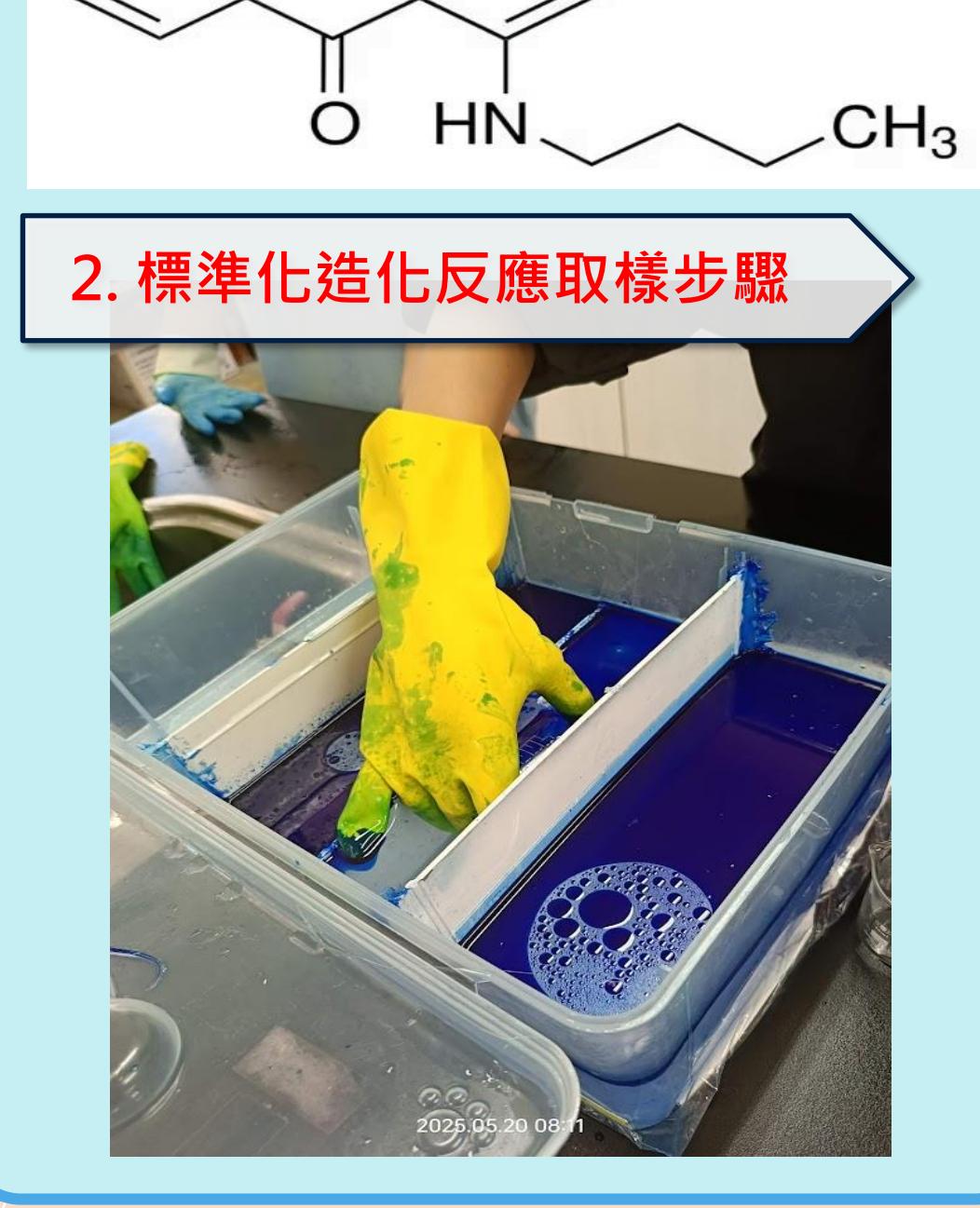


3 水樣製備、取樣練習

1.使用蘇丹藍增加油滴可視性

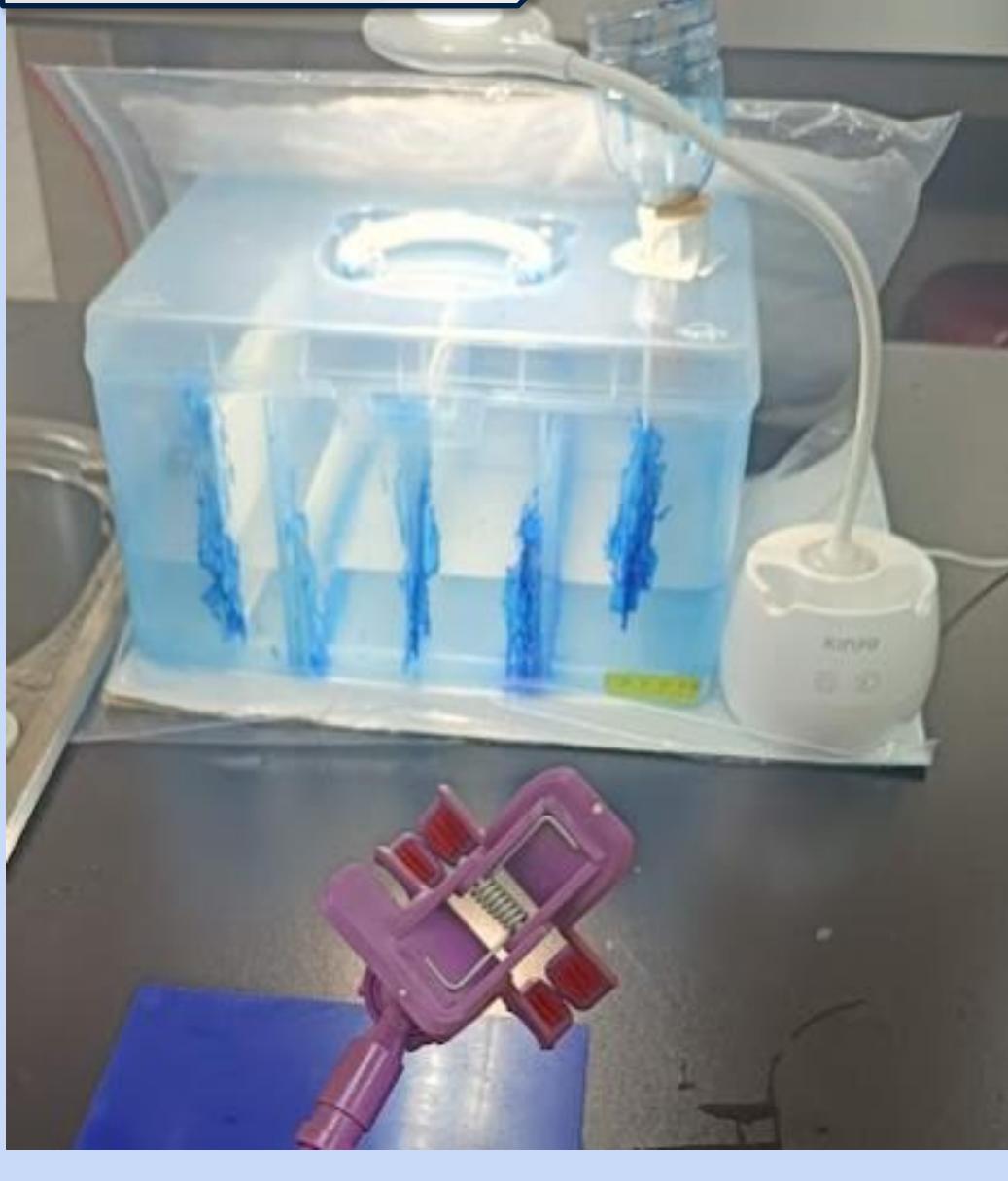


2.標準化皂化反應取樣步驟

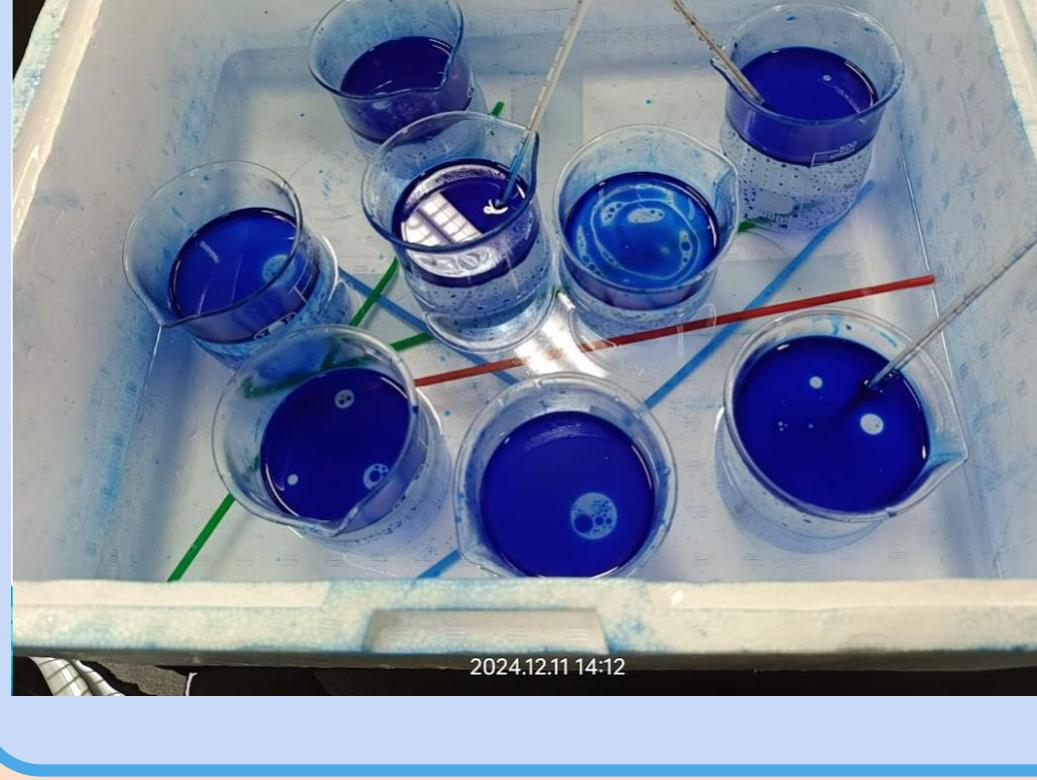


4 實驗系統架設

1.實驗系統架設

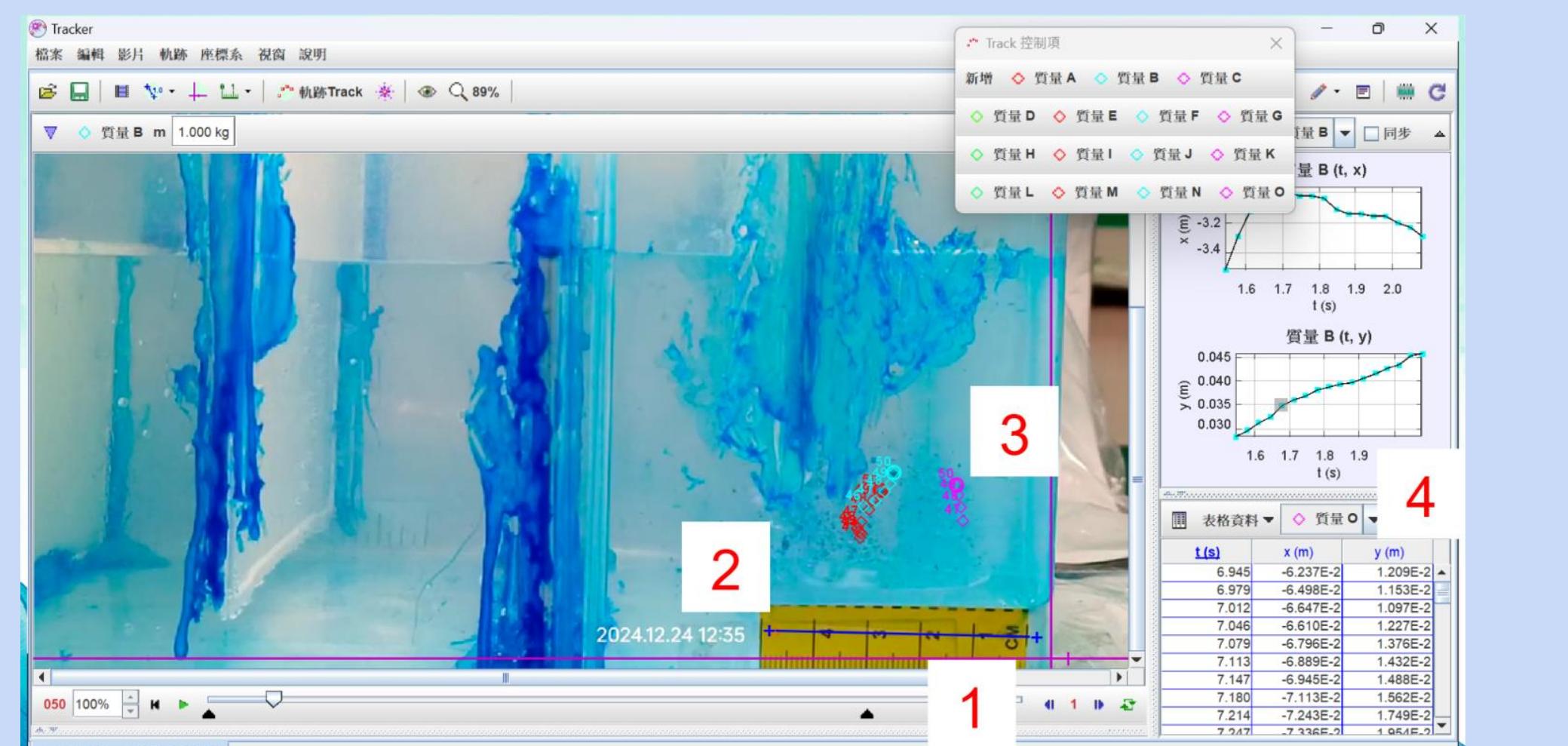


2.溫控系統架設



5

Tracker設定



研究結果

研究目的 1 槽數與隔板長度在截油效率上的相關性

(一) 是否需有下隔板

實驗假設：下隔板必須存在，且隔板越長越好

操作變因：下隔板以下列長度進行實驗

無下隔板 1 cm
4 cm 8 cm

表 4-1-1 下隔板長度與截油效果

8/8/x	下隔板長度	排水結果	槽體俯瞰	最後一槽	最後一槽油滴面積	備註說明
8/8/0	0 cm				約占槽面積 10 %	無下隔板，仍可部分攔截
8/8/1	1 cm				約占槽面積 5 %	下隔板產生部分阻流效果
8/8/4	4 cm				約占槽面積 5 %	略有穩定效果
8/10/0	0 cm				約占槽面積 1 %	增加上隔板有效改變流場
8/10/1	1 cm				約占槽面積 0.1 %	水流開始穩定形成循環阻流
8/10/4	4 cm				約占槽面積 0.1 %	隔板長度有助進一步截留
8/10/8	8 cm				0 %	油滴完全滯留於前槽液面，最佳效果

(二) 上隔板長度

實驗假設：上隔板越長，截油效果越好

操作變因：上隔板以下列長度進行實驗

第一上隔板長度
(8 cm / 10 cm)
第二上隔板長度
(8 cm / 10 cm / 12.5 cm)

表 4-1-2 上隔板長度與截油效果

下隔板 4 cm	排水結果	槽體俯瞰	最後一槽	最後一槽油滴面積
8/8/4				約占槽面積 5 %
8/10/4				約占槽面積 0.1 %
10/10/4				約占槽面積 0.1 %
下隔板 8 cm	排水結果	槽體俯瞰	最後一槽	最後一槽油滴面積
10/10/8				約占槽面積 0.5 %
10/12.5/8				約占槽面積 0 %

(三) 槽室多寡

實驗假設：槽室數量越多，截油效果越好

操作變因：槽室以下列配置進行實驗

3槽 (含2個下隔板)
4槽 (含2個下隔板)
配置不同位置

表 4-1-3 槽室多寡與截油效果

槽數	排水結果	槽體俯瞰	最後一槽	說明
3槽： 下隔板在 第一槽與 第二槽				排水無油滴，第 3 槽油滴面積 0.5 %
3槽： 下隔板在 第二槽與 第三槽				排水無油滴，第 3 槽油滴面積 0.5 %
4槽： 下隔板在 第二槽與 第三槽				排水無油滴，第 3 槽油滴面積 0 %，第 4 槽油滴面積 0 %

研究目的 2 進水速、溫度、濃度與槽體等對截油的影響

表 4-2-1 各條件對連續進樣的截油效率

實驗編號	實驗項目	實驗假設	操作變因	控制變因	結果摘要	是否支持假設
(一)	進水速度	快速進水易產生紊流與漩渦，提升油滴滯留	進水速度 (快 / 慢)	槽體結構、溫度、油水濃度相同	快速進水形成漩渦但油滴易逸出，須結構輔助	部分支持
(二)	溫度	高溫可降低油黏性，有助油水分離	水溫 (高 / 低)	進水速度、油水濃度、槽體結構相同	溫度變化不明顯，槽體快速與槽內水溫平衡	不支持
(三)	油水濃度	濃度會影響觀察與截油效果	濃度 3.5% / 5%	進水速度、溫度、槽體結構相同	截油效果差異不大，但 3.5% 可視性差，後續選用 5%	在 5% 的條件下不支持本實驗假設
(四)	槽體結構設計	結構設計可改變流場與漩渦形態，提升截油效率	隔板長度 / 數量 / 位置	進水速度、溫度、油水濃度相同	特定結構形成穩定漩渦並集中油滴，有效提升滯留與分離效率	支持

研究結果部分支持原

假設。

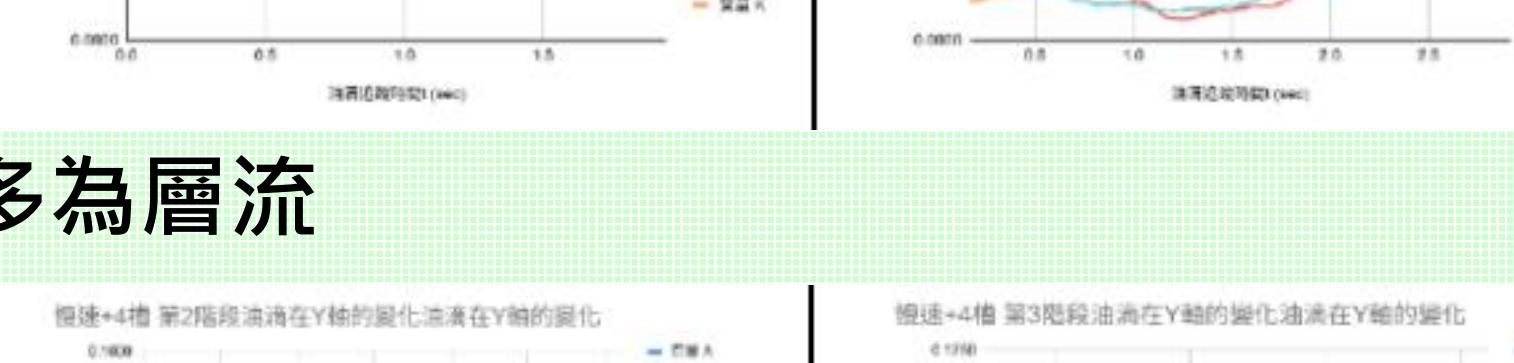
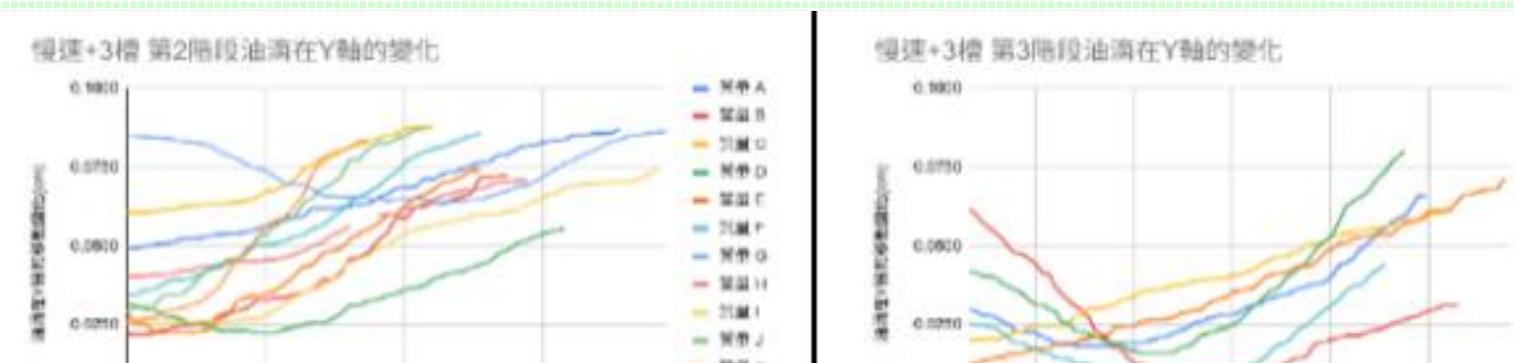
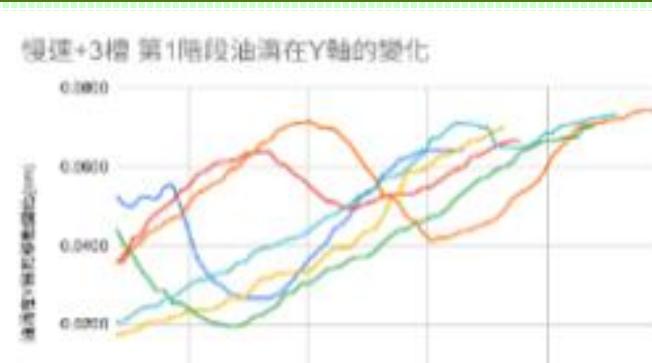
快速進水可形成漩渦，進而影響油滴運動，但仍須結合槽體結構設計，才能提升截油效能。

研究目的 3 Tracker 多點追蹤油滴軌跡，分析不同進水速度與槽數的油滴行為

將每個油滴軌跡隨著時間在垂直位置上的變化，集結成圖：

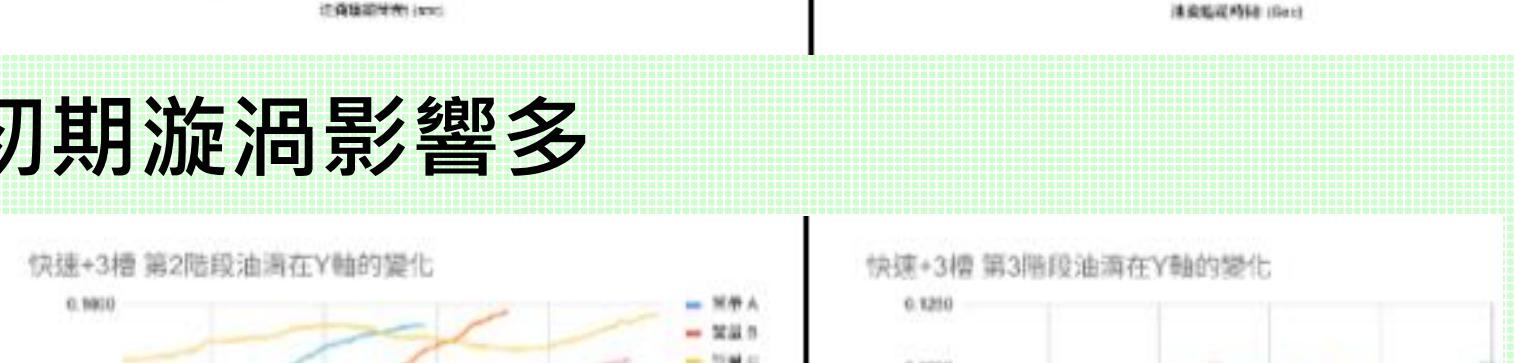
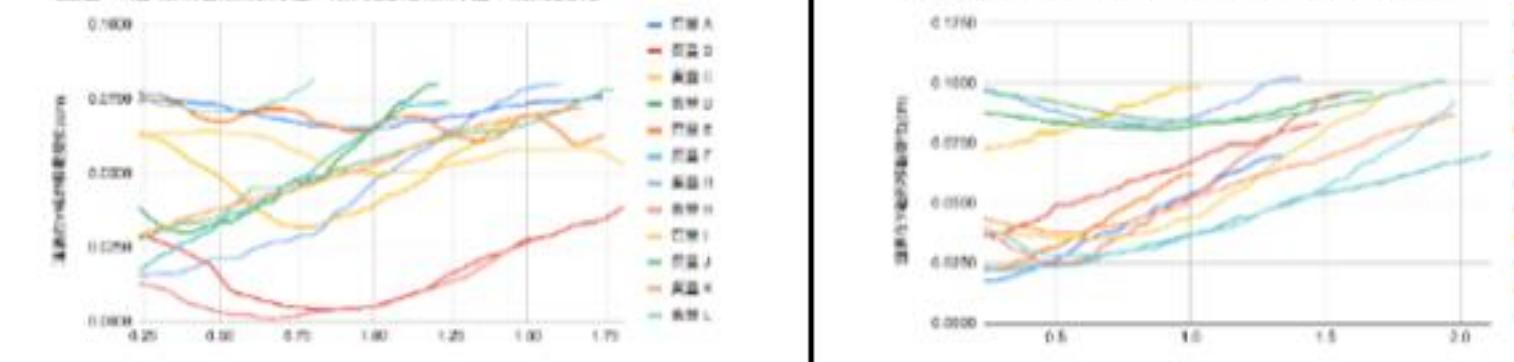
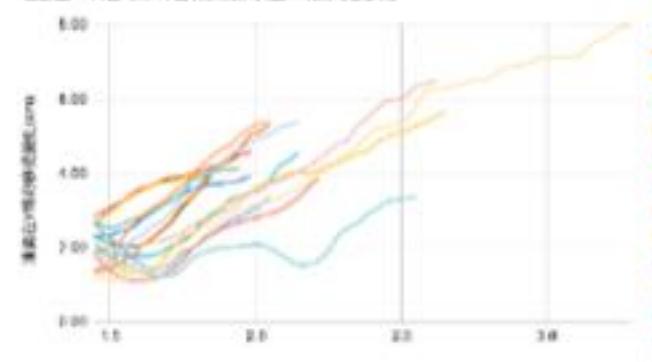
慢速 3 槽

初期些微漩渦、多層流



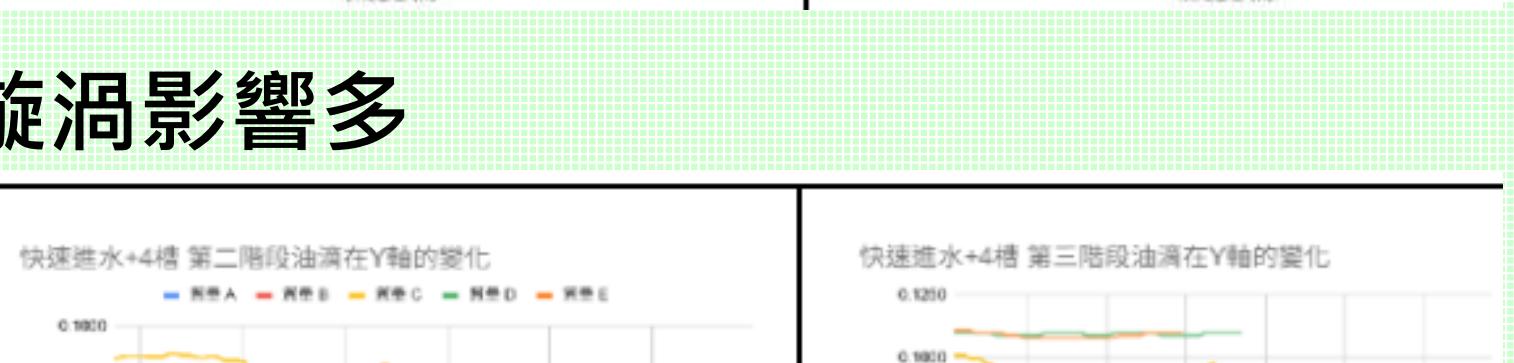
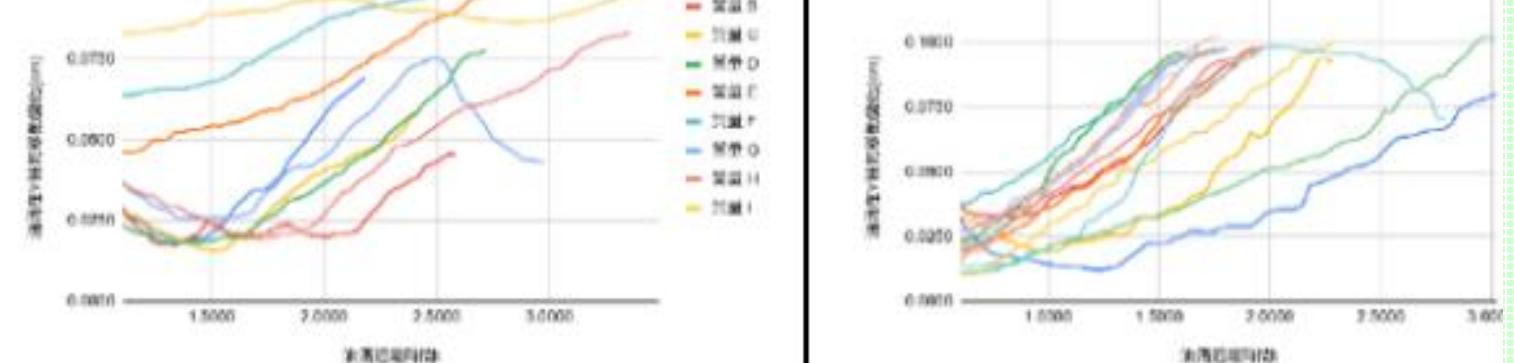
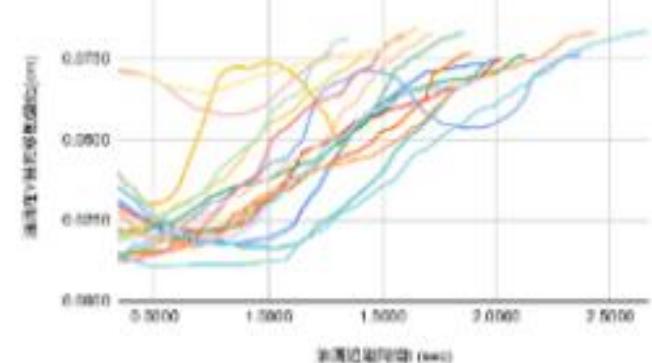
慢速 4 槽

多為層流



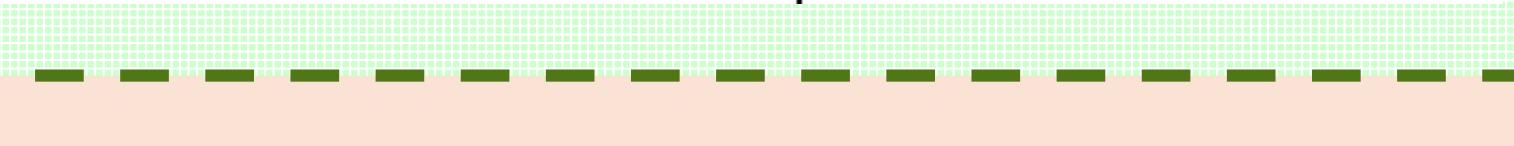
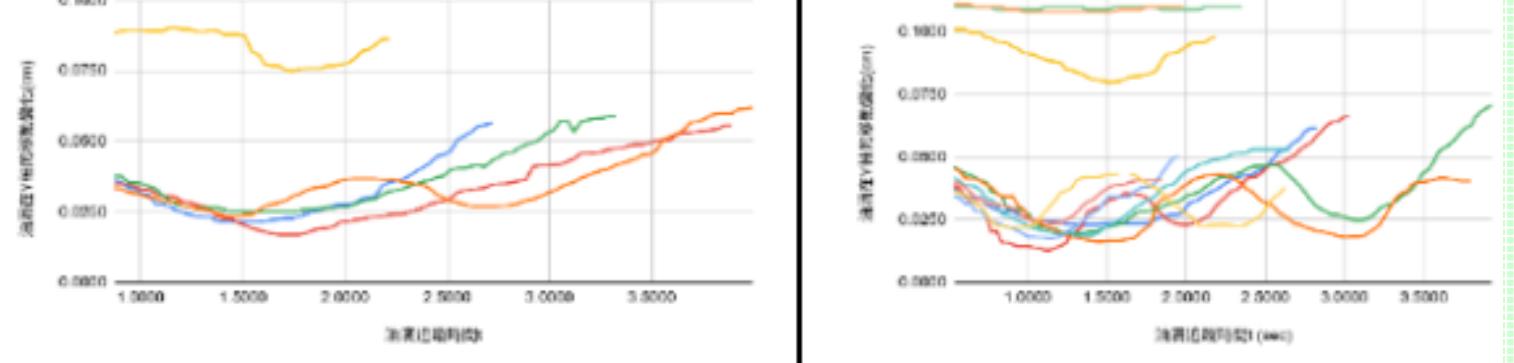
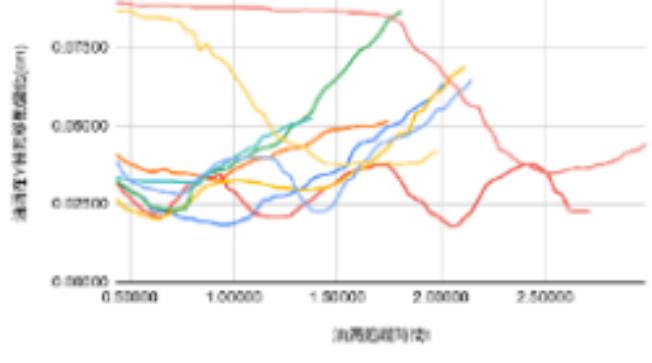
快速 3 槽

初期漩渦影響多

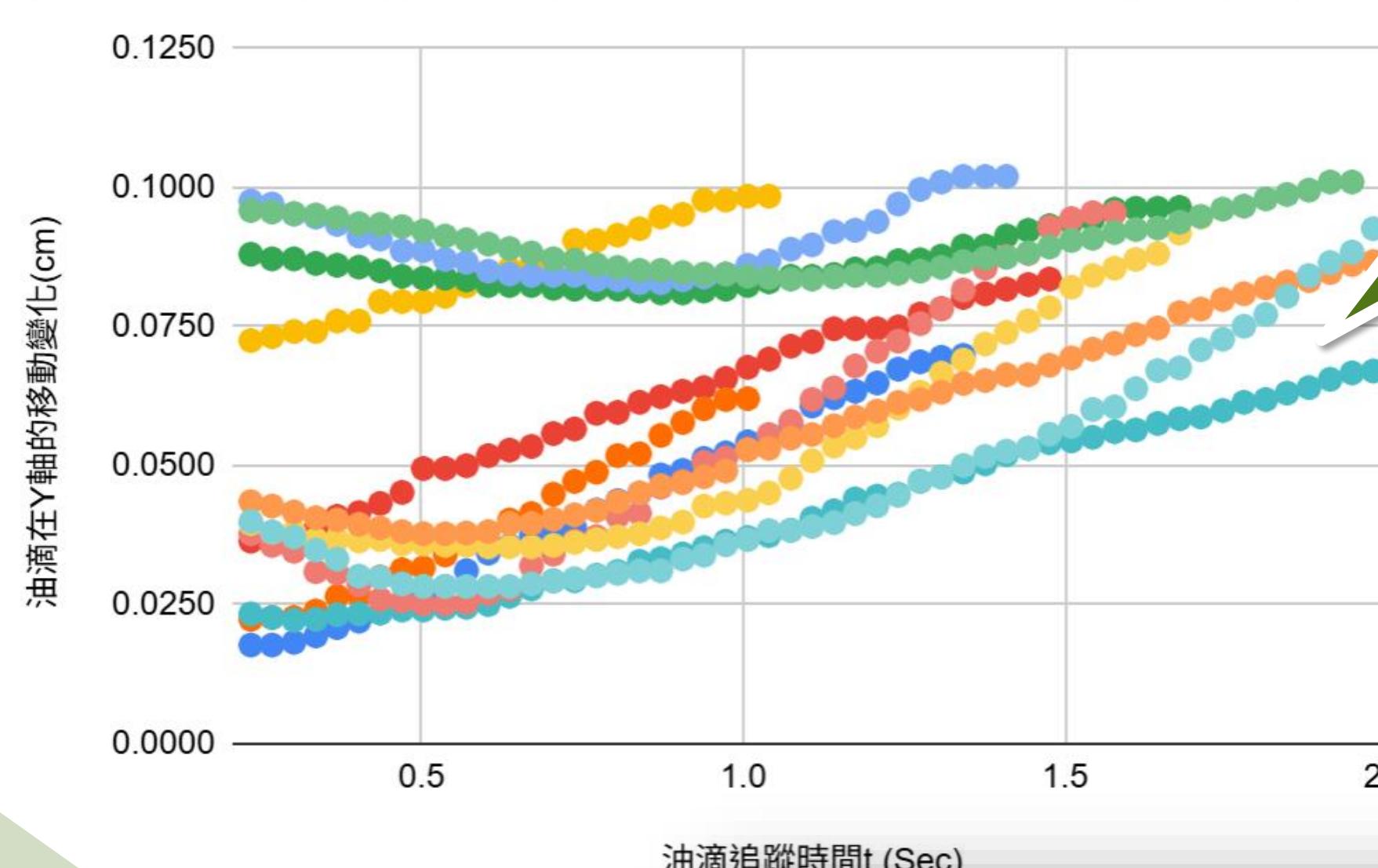


快速 4 槽

漩渦影響多



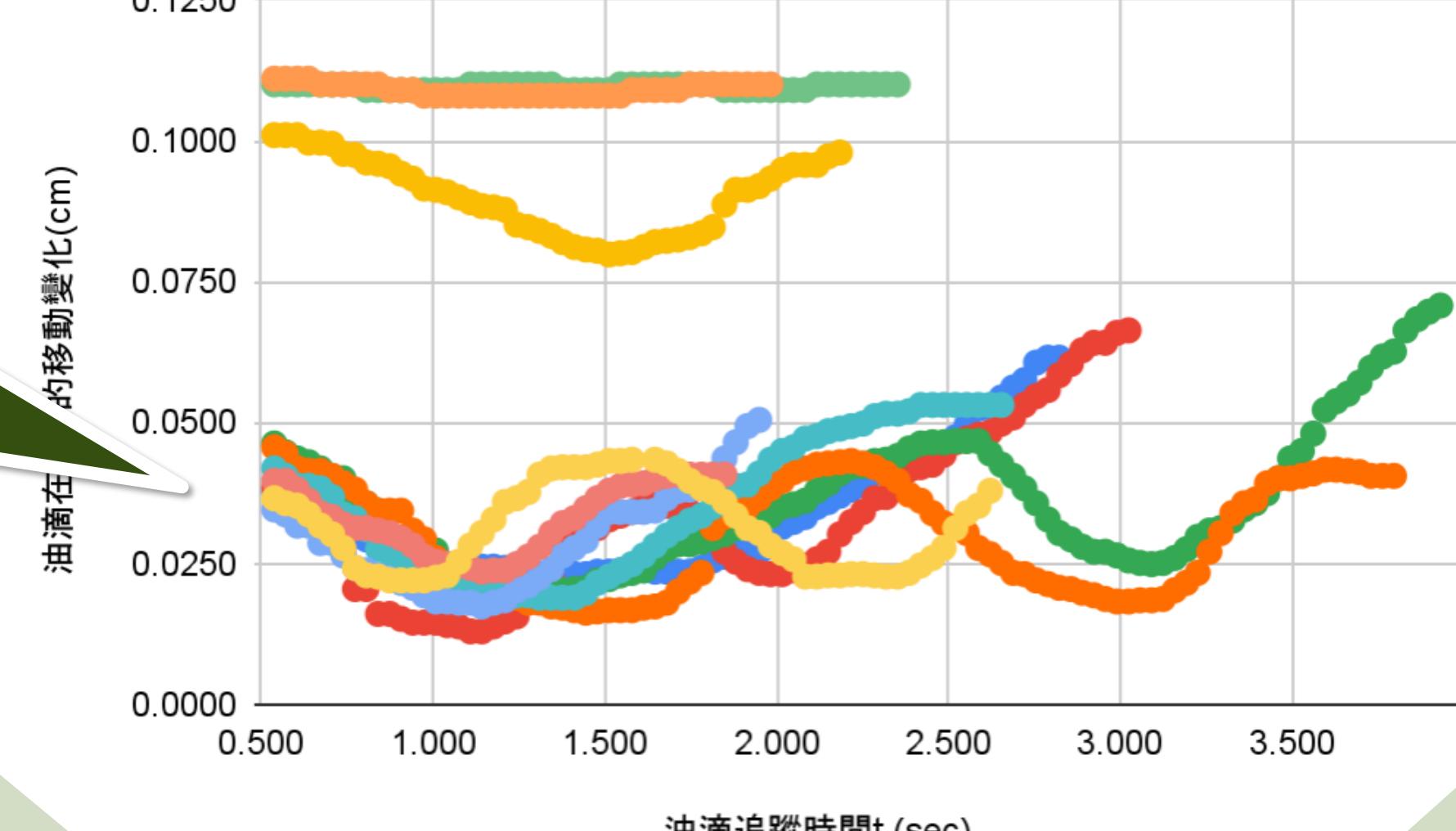
慢速+3槽 第3階段油滴在Y軸的變化



平滑線段
油滴層流向
上聚集

波動變化
油滴受漩渦影
響上下移動

快速進水+4槽 第3階段油滴在Y軸的變化



研究結果（續）

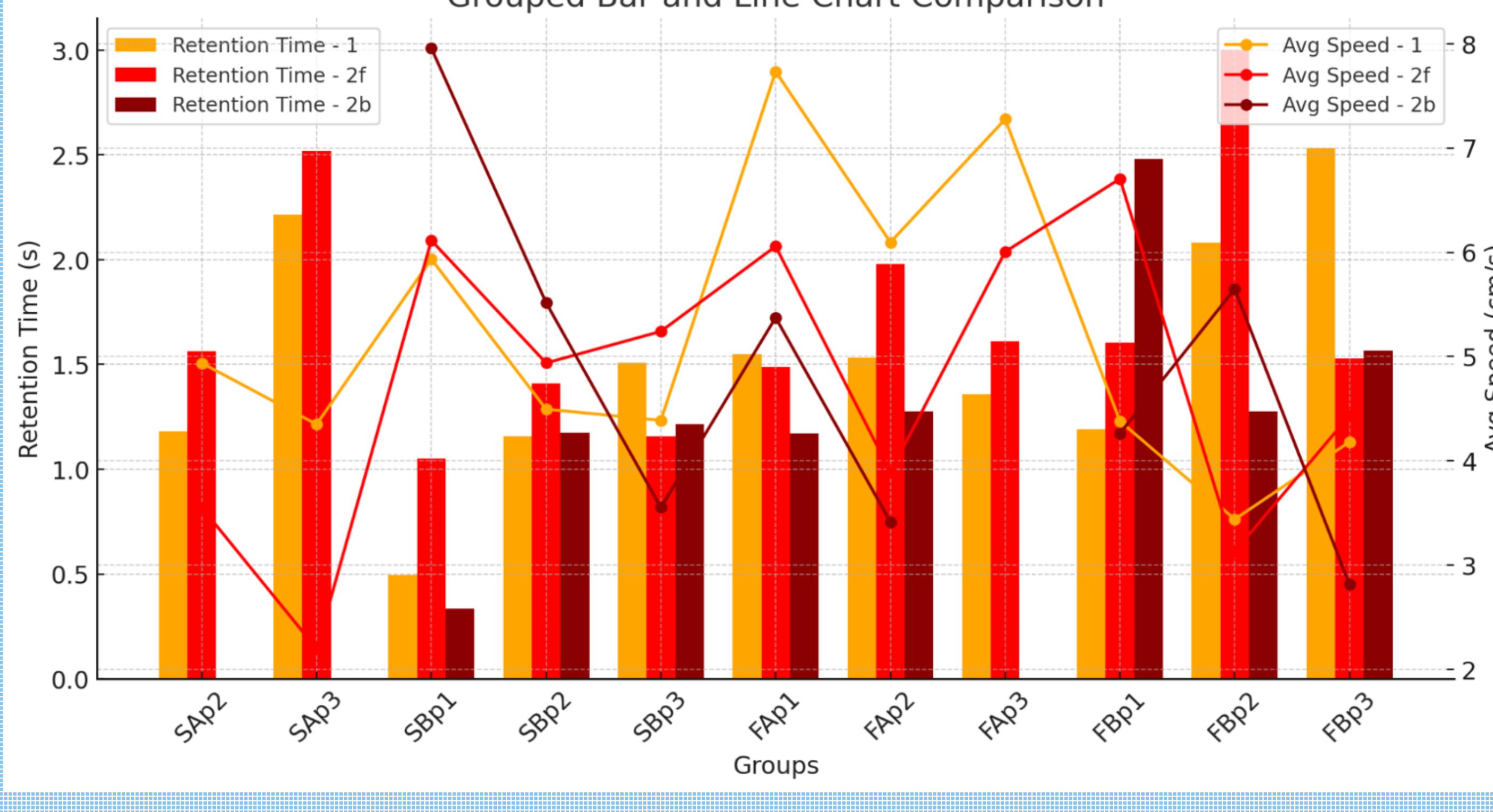
研究目的 4 以Tracker數據 分析油滴的運動並以皂化反應驗證結果

● 依槽體位置分類並計算平均值

表 4-4-1 Tracker 追蹤之數據分析整理

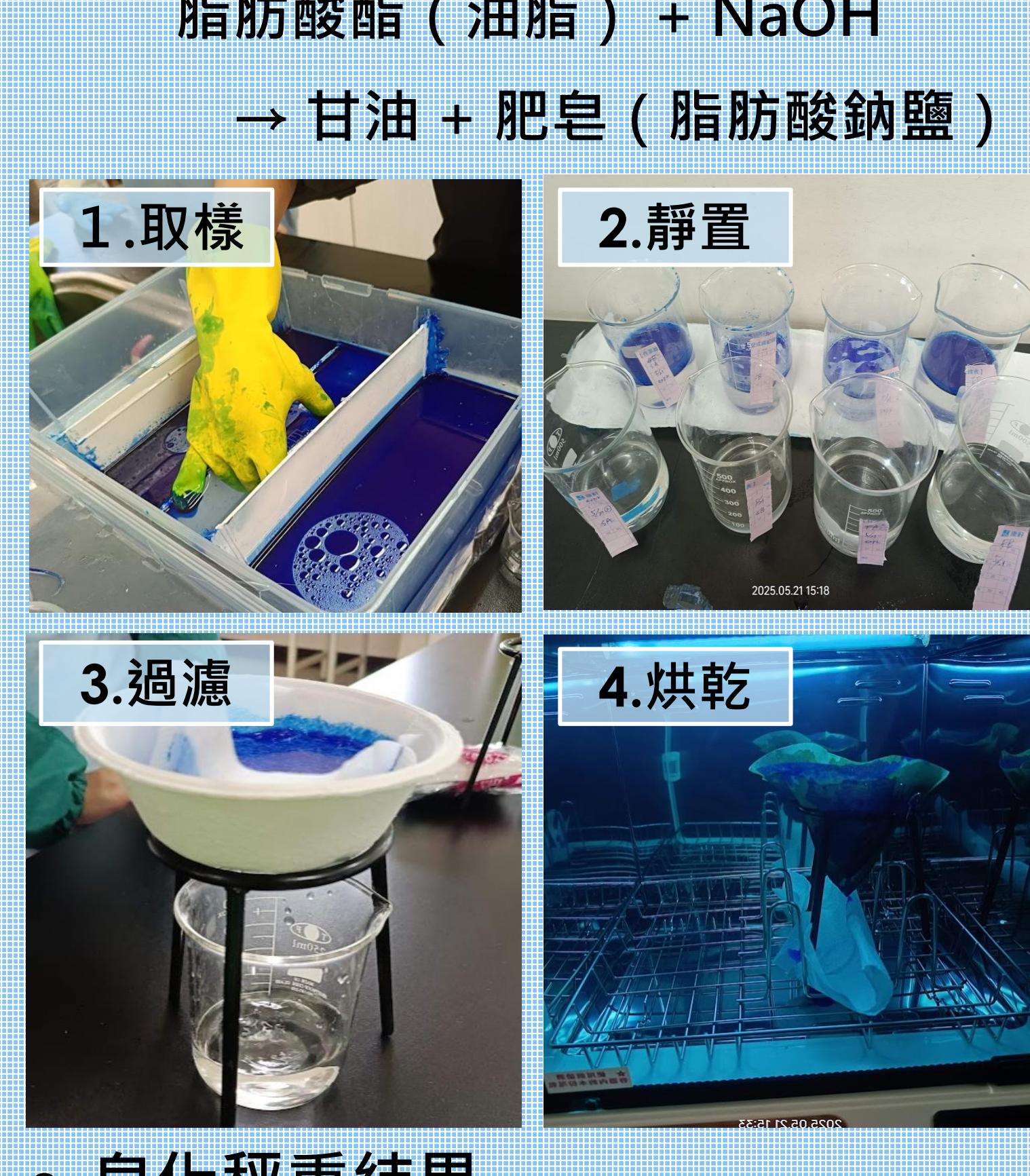
	滯留時間 (sec)			平均速度 (cm / s)		
	第一槽	第二槽前	第二槽後	第一槽	第二槽前	第二槽後
慢速 3 槽 第 2 階段	1.180	1.564	--	4.938	3.552	--
慢速 3 槽 第 3 階段	2.214	2.517	--	4.351	2.198	--
慢速 4 槽 第 1 階段	0.494	1.051	0.335	5.935	6.115	7.959
慢速 4 槽 第 2 階段	1.158	1.409	1.174	4.496	4.939	5.517
慢速 4 槽 第 3 階段	1.510	1.157	1.216	4.389	5.242	3.553
快速 3 槽 第 1 階段	1.550	1.487	1.172	7.735	6.058	5.374
快速 3 槽 第 2 階段	1.532	1.980	1.275	6.097	3.893	3.415
快速 3 槽 第 3 階段	1.360	1.612	--	7.277	6.006	--
快速 4 槽 第 1 階段	1.191	1.604	2.482	4.381	6.706	4.263
快速 4 槽 第 2 階段	2.081	3.003	1.275	3.44	3.13	5.649
快速 4 槽 第 3 階段	2.531	1.529	1.568	4.182	4.435	2.814

● 依槽體位置之平均數據製作折線柱狀圖



● 皂化反應驗證結果

● 截油取樣皂化操作過程



● 皂化秤重結果

表 4-4-2 各組條件下皂化反應秤重結果

	槽體結果俯視	乾燥後結果	濾紙 (g)	總重 (g)	皂鹽 (g)
慢速進水 3槽			1.83	3.58	1.75
慢速進水 4槽			1.79	2.7	0.91
快速進水 3槽			1.78	3.25	1.47
快速進水 4槽			1.82	5.33	3.51

討論

隔板配置與槽數

當截油槽使用較長的上下隔板並採4槽設計時，可有效提升截油效率，驗證假設一成立。

隔板設計：

- 浮力導引：長隔板穩定水流，油滴順利上浮。
- 層流形成：減少紊流，讓油滴軌跡可預測。
- 漩渦滯留：狹窄區形成旋轉流場，滯留油滴。

槽數增加：

- 多次攔截：後槽補足前槽未截油滴。
- 壓力梯度差：有利生成順逆時針漩渦，延長油滴停留。

進水速度與流場

進水速度會影響水流型態，進而改變油滴的運動與滯留表現，驗證假設二部分成立。

慢速進水：

- 形成穩定層流，油滴順勢上浮、滯留效果佳。
- 浮力主導上升，運動軌跡可預測。
- 油滴不易擴散或變形。

快速進水：

- 易產生紊流與漩渦，導致剪力增強。
- 油滴可能變形、破碎，浮力降低。
- 白努力效應使油滴吸附在低壓中心，有助於局部截留。

Tracker多點追蹤

Tracker 精確量化油滴在不同槽體與進水設計下的微觀行為，成功支持假設三。

慢速進水 + 3槽：油滴穩定上升，受層流主導，速度慢滯留長，利於截留。

快速進水 + 4槽：漩渦環繞或上下波動，平均速度快，但局部漩渦延長滯留。

皂化反應驗證

皂化反應驗證截油效率，對應油滴的滯留情形：驗證成功，皂化重與滯留時間呈正相關。

快速進水 + 4槽組，雖為紊流，但因結構輔助，形成穩定漩渦，能有效延長油滴滯留時間，轉化為更多皂化產物。結果與 Tracker 數據一致。

表 5-4-1 皂化、滯留時間、油滴軌跡 結果比較

項目 類型	皂化重量 (g)	滯留時間 (s)	油滴運動模式
慢速 + 3槽	1.75	1.18 - 2.21 次高	層流向，影響較小
慢速 + 4槽	0.91	1.16 - 2.52	第二槽後受漩渦影響，出現旋轉運動
快速 + 3槽	1.47	0.34 - 1.51	第一、二槽前仍有層流，部分油滴滯留
快速 + 4槽	3.51	1.17 - 3.00 最高	第一、二槽前易形成漩渦，易使油滴滯留於前槽

結論

- 截油效率受隔板長度與槽體設計影響顯著，四槽與長隔板能形成穩定流場與漩渦，提升油滴滯留效果。
 - 進水速度會改變油滴的流動型態，慢速進水形成層流、油滴穩定上升；快速進水易產生漩渦，若搭配良好結構也能有效截油。
 - Tracker 軟體能有效觀察油滴微觀運動，並揭示滯留區與流場變化。
 - 皂化反應驗證與微觀觀察結果一致，具量化價值。
- 綜合結果支持本研究各項假設，證實「微觀漩渦」對截油效率具決定性影響。

參考文獻

一、書籍資料

國小自然課本 (108 課綱)。(n.d.) 翰林版國中小學科學課本第 3 冊第 2 單元〈物質的性質〉。台灣：翰林出版社。

二、網路資料

- Books.com.tw. (n.d.). 物理好好玩 1-4：正確建構國中小學課程中最抽象、重要的物理觀念。<https://www.books.com.tw/products/0010827992>
- 李傳弘、李昱儒、羅曉倫 (2023)。液中表面張力分佈造成液面上影圓之行為討論。全國中小學科學研討會第 63 屆。國立中科院實驗高級中學。<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=19961&id=19990>
- 劉家伶、呂語謙 (2010)。水中的甜甜圈—渦流運動的觀察與研究。全國中小學科學研討會第 50 屆。臺北市立石牌國民中學。<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=47&id=5430>
- 謝文浩、林南毅、莊曉臻 (2018)。探討強制渦流中浮標上升之變化。全國中小學科學研討會第 58 屆。新北市立板橋高級中學。<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=64&id=15485>
- 蘇杰達、薛善修、李昆樟 (2018)。隨波「阻」流—液體中物體運動的研究。全國中小學科學研討會第 58 屆。新北市立永和國民中學。<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=64&id=15485>
- Wikipedia. (n.d.). Laminar flow. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved February 7, 2025, from <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%8E%8B%E7%8E%8B>
- Wikipedia. (n.d.). Turbulent flow. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved February 7, 2025, from <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%8E%8B%E7%8E%8B>

臺中市政府水利局 (2024 年 12 月 24 日)。油脂截留器容量公式計算、水質、清理週期及構造與機能。取自：<https://www.wrs.taichung.gov.tw/media/704294/98%E6%B2%B9%E8%84%82%E5%88%AA%E6%85%81%E5%99%A8%E5%AE%89%87%8F%E8%A8%AD%E8%A8%88%E8%AA%AA%E6%98%BE103128%E4%BF%AE%E6%AD%A3.pdf>

三、圖片來源

- 圖 1-2-1-1 引用來源：M.I.T 工作網 (2024 年 12 月 20 日)。富揚科技有限公司-油水分離設備, 油脂截留槽。取自：https://mit-machining.com/store/pro_info.php?id=68967&useo=getway
- 圖 1-2-1-2 引用來源：瑋輝不鏽鋼股份有限公司 (2024 年 12 月 20 日)。油煙水汙機 / 截油槽 / 環保截油設備。取自：<http://www.xn-hgs3bf08w9cu1tw7f/Environment>
- 圖 1-2-1-3 引用來源：環保博士環境科技事業群 (2024 年 12 月 20 日)。CNS 不鏽鋼油脂截留器。取自：http://www.cosmosbio.com.tw_products_detail.asp?fkidno=F000002&Pldno=201409290003
- 圖 1-2-1-4 引用來源：延富機械有限公司 (2024 年 12 月 20 日)。延富機械有限公司 - 油脂截留槽(油脂截留槽)(油水分離槽)(油油槽)(油脂分離槽)。取自：<https://www.jenfu.com.tw/c-products-06.htm>

5. 除上述 1~4 所述圖片引用自他處，其餘圖片均為作者拍攝、截圖或相關程式之畫面。

四、其他

• 第 64 屆桃園市中小學科學展作品 (2024)。去「油」解「匱」—新式家用截油槽讓油垢無所遁形 (未公開發表作品・生活應用科學科決賽第 3 名)。