

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學科(二)

(鄉土)教材獎

082903

以泡致淨～家庭廢水以自製泡沫分離裝置製造
再生水

學校名稱：臺北市松山區敦化國民小學

| | |
|---------------------------------|------------------|
| 作者： 小五 楊已霈 小五 陳品彤 | 指導老師： 洪滋憶 |
|---------------------------------|------------------|

關鍵詞：家庭廢水、泡沫分離法、過濾

以泡致淨～家庭廢水以自製泡沫分離裝置製造再生水

摘要

台灣缺水，家庭廢水也因含有清潔劑會造成環境污染，促使我們思考如何用簡單的方式來處理家庭廢水，**讓廢水變乾淨，循環再利用。**

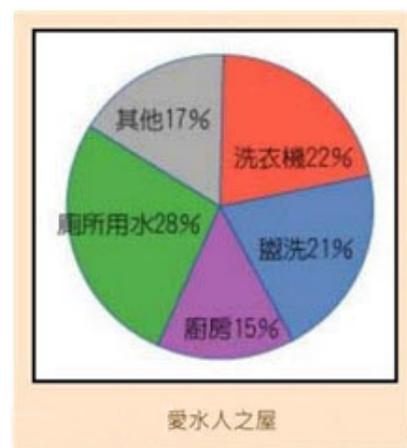
本組查詢歷屆作品和文獻，發現有人利用泡沫分離法去除污水中的重金屬，但需添加其他物質來處理，而市售廢水處理產品多採過濾沉澱方式，不僅設備昂貴，也需不斷換耗材。後來我們觀察家庭廢水多含有清潔劑，其本身就有起泡特性，又看到魚缸的蛋白分離器結構可淨化水質，我們就進一步延伸自製出不用添加物質即可使用的泡沫分離器，延續去年北市科展作品，今年我們將裝置實際用來處理家庭廢水，實驗證明廢水變乾淨了，每秒最大處理流量約 96 毫升，我們並自製腳踏式抽水機，將處理後的再生水抽到馬桶水箱供沖水使用。

壹、前言

一、研究動機

在 110 年度我們參加科展，作品名為「小泡立大功～探討家庭廢水以泡沫分離清潔劑之可行性」。進行這個實驗的動機是因為我們發現，家庭排放的廢水是破壞水域環境的主要因素之一。特別是清潔劑廢水中含有不易分解和輕微毒性的物質，它會干擾生態平衡，並影響水生生物的繁殖能力。後來我們觀察到，魚缸是使用蛋白分離器去除泡沫與雜質，促使我們去思考是否可以利用泡沫來清除水中雜質。因此，去年我們嘗試運用泡沫分離法對各種廢水進行處理，例如硬水、含醬油、酸鹼溶液或沙拉油的廢水等。實驗結果顯示，泡沫分離法對這些廢水的雜質去除效果非常明顯。在比賽過程中，評審老師對我們的作品給予很大的鼓勵，他們認為我們的作品具有實用性，並期望我們能繼續研究這個主題的應用方法。

受到評審老師的鼓勵，我們將主題延伸並開發出一個完整的泡沫分離裝置。首先，我們收集了家庭廢水的使用資料（如右圖所示），發現家庭每天在洗衣機



和盥洗的用水量約佔總量的 43%。再根據水利署統計數據，家庭一天總用水量為 157 公升。因此，我們估計每天家庭可回收約 67.5 公升的廢水；基於這個估算，我們想運用泡沫分離裝置來處理洗衣機和盥洗所產生的廢水，再提供馬桶沖水使用，並探討這個裝置的潔淨度表現。

二、目的

本組實驗規劃將前作品不足之處，在這個延伸作品中補足，以切合實際家庭應用；首先，我們考量製作泡沫分離器的安全性，並參考水族箱使用的蛋白分離器，我們選用耐化學品的聚乙烯 (HDPE) 材質作為儲水槽，針對流量、溫度、濃度等條件進行實驗，並根據這些實驗結果提出有效的改進方法，以提高廢水處理的效率。

- (一) 實驗一：在泡沫分離器不同高度位置取樣的分析
- (二) 實驗二：探討不同流量的處理效果
- (三) 實驗三：探討濃度對起泡效果之影響
- (四) 實驗四：探討溫度對起泡效果之影響
- (五) 實驗五：泡沫分離器的組合與測試兩種廢水混合後的處理效果
- (六) 實驗六：探討廢水裝置流量處理能力

三、文獻回顧

- (一)本組參考：經濟部水利署節約用水資源網與臺北市政府工務局衛生下水道工程處網站
再生水(回收水)專區

在日常生活的總使用水量中，廁所沖洗佔 35%，若能把廁所沖洗用水從自來水改用再生水，其省水效益將極為可觀。大區域的再生水系統可結合機關大樓、學校、住宅、飯店等地點集中設置，將區域內的排水或污水，就近收集、處理、再利用，進而廣泛使用於沖洗廁所、清洗車輛、噴灑街道，或作為景觀用水及河川湖泊補充水等。而小規模的再生水系統是將一般生活污水收集後，經適當處理，使水質達到一定乾淨標準後，提供建築物內廁所使用，或作為空調冰水主機的循環用水等用途。對於社區型廢水回收再生使用，政府已有規劃，本組是以家庭方式來考慮製作，可提供給不能導入社區回收水再生系統的居民使用。

(二)何以解憂？惟有杜康，探討泡沫分離法以小米酒粕蛋白在不同條件下吸附污染物之可行性。全國第 59 屆科展組作品。桃園市私立康萊爾雙語中小學（國中部）。

| 重點分類 | 內容 |
|------|--|
| 實驗材料 | 利用小米酒粕蛋白萃取液作為泡沫分離法的起泡劑與吸附劑。 |
| 實驗設備 | 自製了泡沫浮選器和致冷晶片恆溫槽，並逐步改善了其功能。 |
| 實驗方法 | 測試了不同濃度比例、氣體供應量、水循環速度、溫度等因素對酒粕蛋白的吸附效果。 |
| 實驗對象 | 分離水中的重金屬離子、鋰電池粉末、染料等污染物。 |
| 實驗目的 | 達到環保和節能的目的。 |

(三)污水大變身～讓地球水資源活起來。第 51 屆全國科展。桃園縣立永順國小。

| 重點分類 | 內容 |
|--------------------|--|
| 調查市售清潔劑的性質 | 內容物及酸鹼性、洗淨力，對水質污染的程度。 |
| 研究不同過濾材料和過濾方法的功效： | 發現咖啡渣的過濾能力優於麥飯石。 發現石英砂的過濾能力優於麥飯石。 以不同比例組合放置過濾器，比較效果。 |
| 利用各式廢棄物品設計家庭簡易濾水工具 | 模擬淨水廠的淨水步驟，包括加藥曝氣池、膠凝沉澱池、活性炭濾池、廢水再生池。 |

(四)家家有污水桶，溪水環境更美好－開發智慧型家庭污水處理槽系統設計之研究。第 58 屆全國科展。臺中市立溪南國中。

| 以 Arduino 控制器計算連結感測器 | 程式功能 | 系統設備 | 設備功能 |
|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 溫度計、酸鹼度計、氧化還原電位計、濁度感測器 | 藍芽傳送資訊至手機 APP，用於監控水質狀況。 | 蠕動幫浦、打氣馬達、抽水馬達、太陽能發電板。 | 定時抽水分析、曝氣與汙泥回抽，加入漂白水消毒。 |

(五) 市售清潔劑清潔效能研究。陽明大學環境與職業衛生研究所 碩士論文。

| 重點分類 | 內容 |
|-----------|---|
| 市售合成清潔劑問題 | 台灣市面上有許多各種清潔劑產品，但這些產品未明確標示主要成分及其相對含量，這對消費者的權益保障產生問題。 |
| 研究目的 | 探討市售合成清潔劑的界面活性劑相當含量、陰離子界面活性劑純度和產品內容標示，以釐清其洗淨效能。 |
| 研究方法 | 從 97 年 4 月至 98 年 3 月，對台灣各地的大型量販店、中小型商家、生活百貨、零售業和網路商店進行採樣，共採集 360 個樣本，分析界面活性劑相當含量及陰離子界面活性劑純度。 |
| 研究結果 | 洗衣用合成洗衣粉、洗衣精和食具用清潔劑的界面活性劑相當含量平均值分別為 12.76%、15.33%和 17.79%。陰離子界面活性劑純度平均值分別為 8.85%、8.53%和 10.21%。 |

因為市售的清潔劑都未標示其成分與含量，此提供我們之後實驗濃度的起泡效果比較。

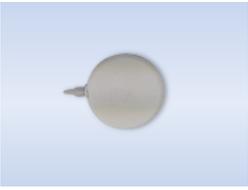
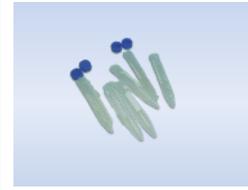
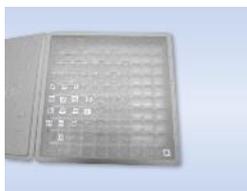
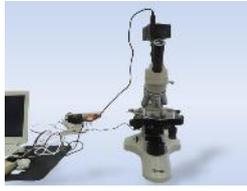
(六) 以泡沫分離法吸附 Remazol brilliant Blue R 染料之研究。高師化學系 95.8 碩士論文。

| 重點分類 | 內容 |
|---------------|--|
| 印染廢水的特性和處理技術 | 介紹了印染廢水是一種含多種顏色和有機物的高污染液，需要選擇合適的方法來脫色和降低化學需氧量。 |
| 常見處理方法的比較和分析 | 比較了化學沉澱法、生物法、吸附法、氧化法等常見的處理方法，並分析了它們在成本、效率、缺點和適用性方面的差異。 |
| 泡沫分離法的原理和應用 | 說明泡沫分離法是一種利用界面活性劑和氣泡將染料分子從溶液中分離出來的新方法，它具有節約能源、低投資、快速分離等優點。 |
| 泡沫分離法的影響因素 | 說明了界面活性劑類型、濃度、pH 值、離子強度、流速等因素對分離效果的影響。 |
| 泡沫分離法的發展前景和問題 | <p>存在問題：需添加界面活性劑，影響分離效果和成本，受到溶液的 pH 值、離子強度、溫度、氣體流速等因素的影響；可能無法完全去除染料中的有毒或致癌物質。</p> <p>發展潛力：去除不同類型和電性的染料，可節省能源和化學藥劑。可適應不同的廢水流量和濃度，操作簡單，設備低廉，用地少。</p> |

影響因素與存在問題是我們的實驗挑戰，而發展潛力增加我們對這個專題的研究信心。

貳、 研究設備及器材

一、儀器與設備類：

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 1.大細化盤 | 2. 空氣供應泵 | 3.熱溶槍(含膠條) | 4. 離心管 |
|  |  |  |  |
| 5.量筒 | 6.手動抽水泵 | 7.各式燒杯 | 8.定量吸管 |
|  |  |  |  |
| 9.精密磅秤 | 10.連接管 | 11. 盛水杯 | 12.溫度計 |
|  |  |  |  |
| 13. 分光光度計 | 14. 光度皿 | 攪拌棒 | 量尺 |
|  |  |  |  |
| 17. 自動水位控制 | 18. 顯微鏡 | 15. 吸管 | 16. 工作手套 |
|  |  |  |  |
| 21.過濾器 | 22.盛水桶 | 19. 球閥 | 20. 加熱器 |

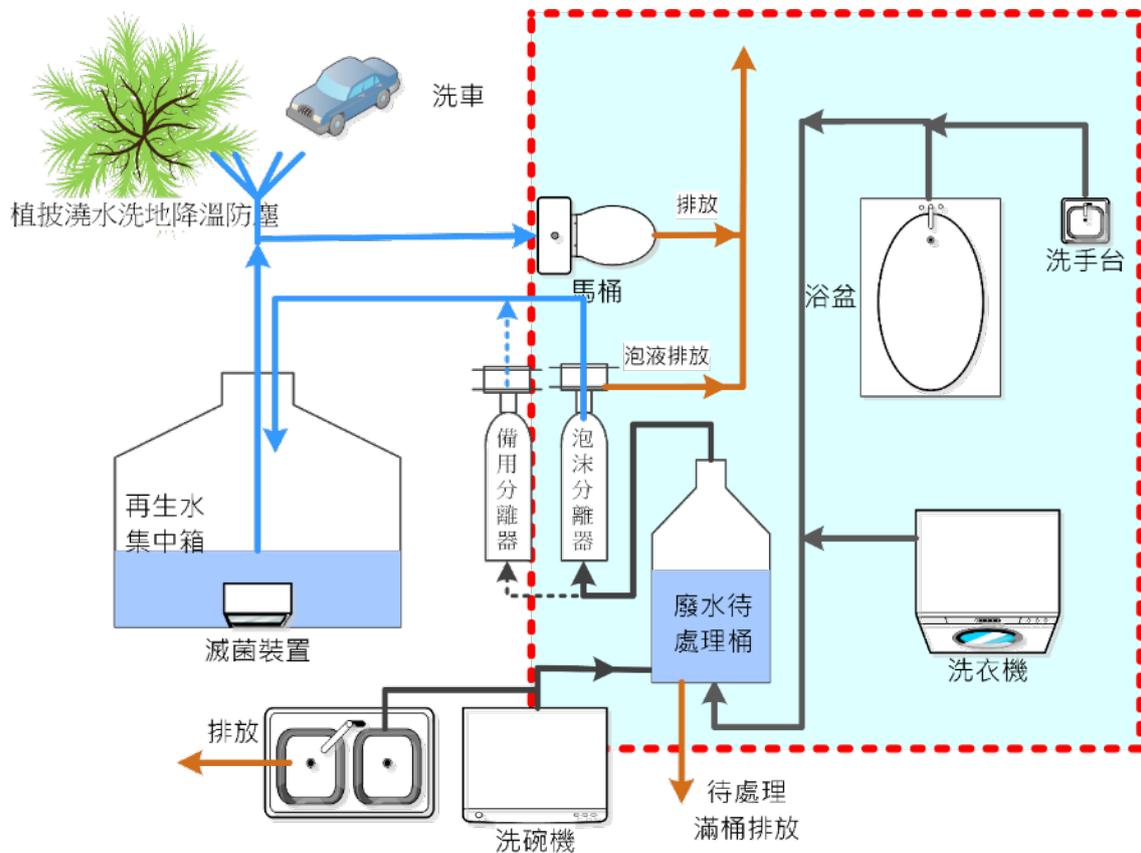
| | | | |
|---|---|--|--|
|  |  | | |
| 21.鑽頭與鑽孔器 | 22.低水位感器應 | | |

二、原料：

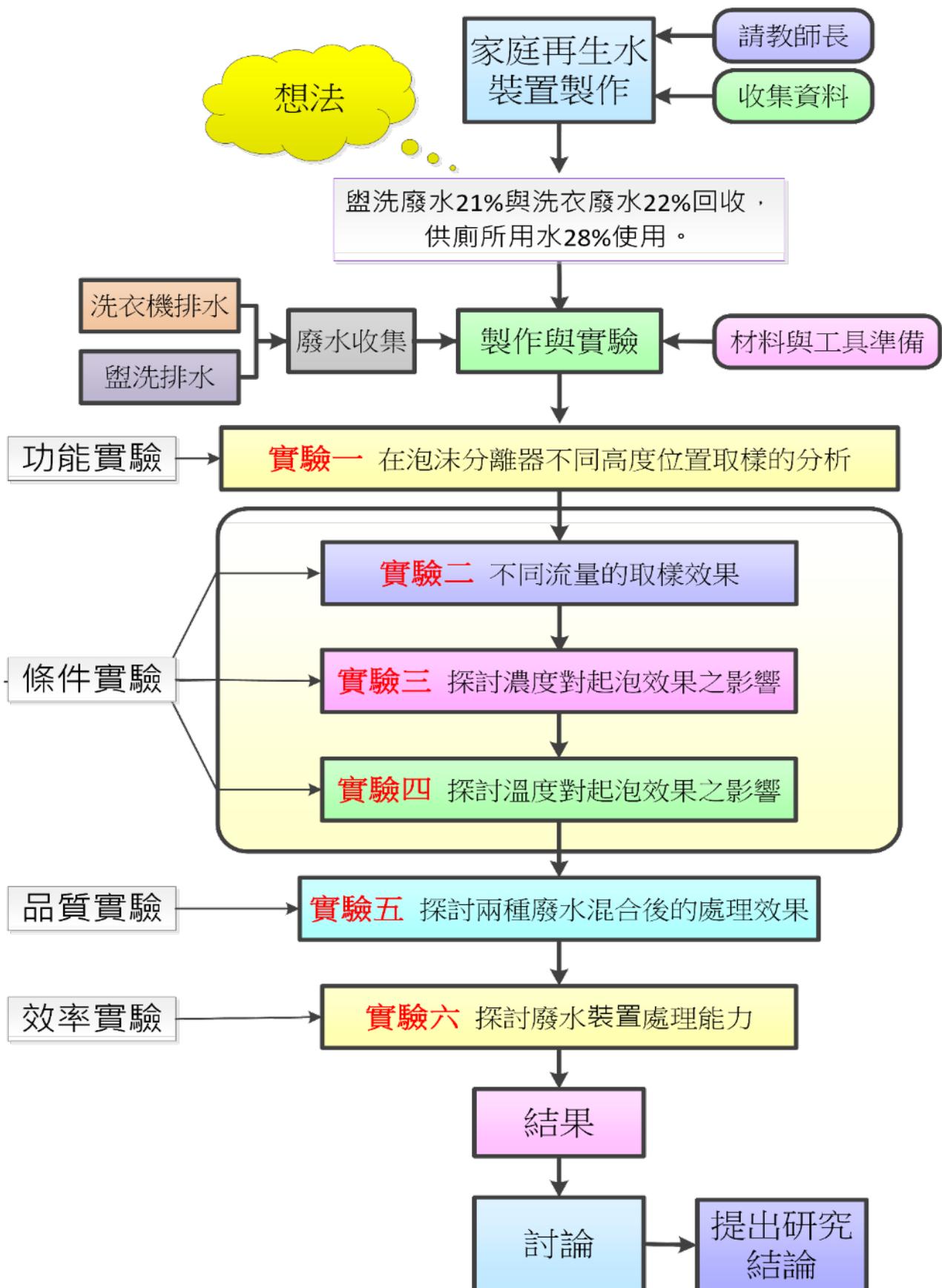
| | | | |
|---|---|--|--|
|  |  |  | |
| 1. 十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑) | 2. 純水 | 3. 矽利康 | |

參、 研究過程或方法

一、實驗準備：以家庭廢水的全方位再生規劃考量，可以與本組探討的「藍底紅線」部分，廢水再生處理是可以相容的。



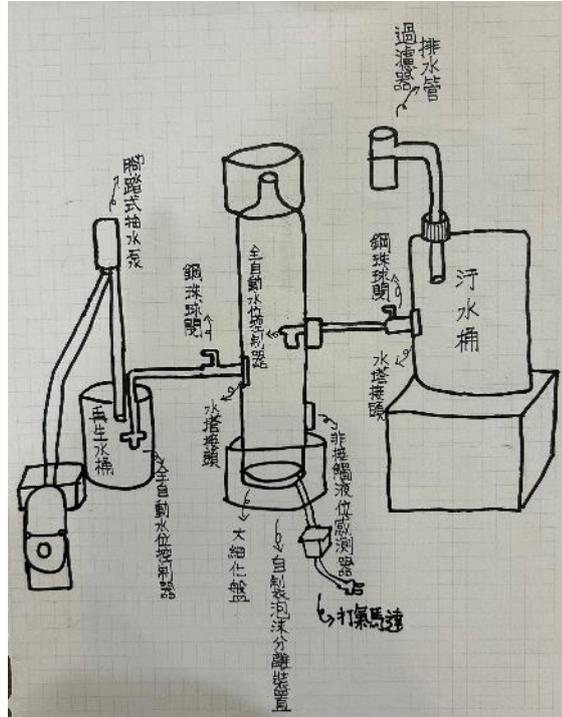
二、實驗流程



三、實驗一：在泡沫分離器不同高度位置取樣的分析

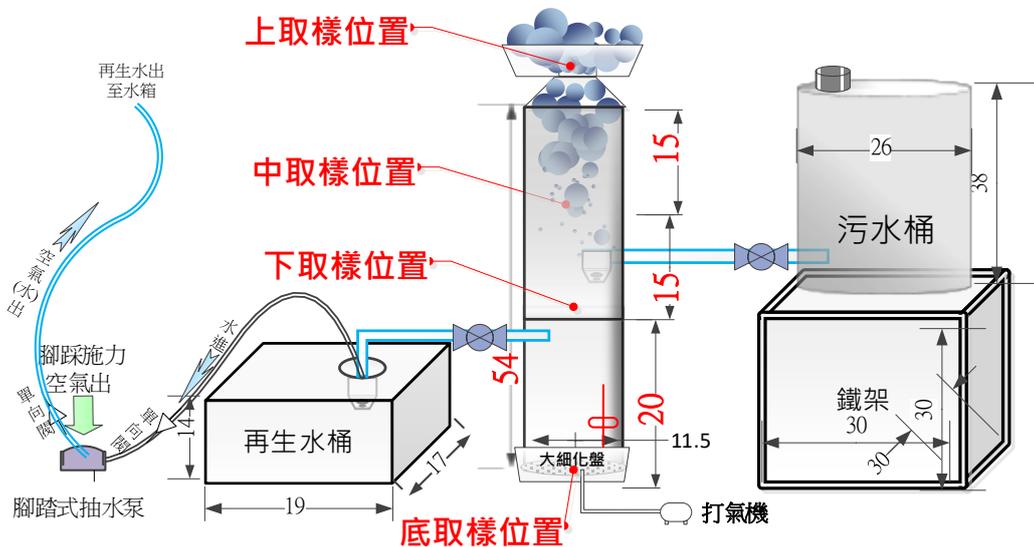
(一) 準備泡沫分離器

1. 設計泡沫分離裝置



2. 設備取樣位置圖

(單位：公分)



3. 樣品配製：

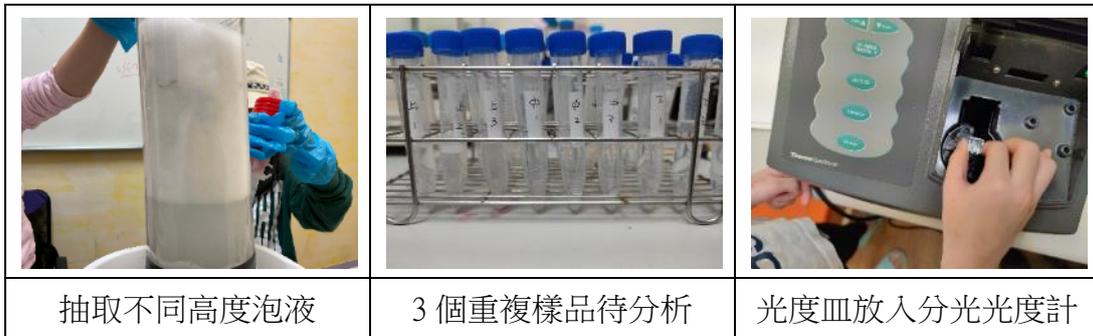
秤取 3.0 公克的十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑)溶解於少量水後，再加入洗衣店廢水過濾的纖維 0.1 公克，再加水至 3000 毫升，攪拌均勻後倒入汙水桶中，配製成 $3.0 / 3000 = 0.1\%$ 的水溶液。

4. 啟動

- (1) 開啟污水桶的控制閥，使污水進入泡沫分離器。開啟打氣機馬達運轉 10 分鐘後，在上圖中的底取樣位置、距底部 20 公分的下取樣位置、距底部 35 公分的中取樣位置、距底部 50 公分的上取樣位置，分別以手動抽水泵取樣，每次取樣前以水沖洗乾淨後瀝乾。
- (2) 4 個位置各取樣 3 次，各取 3 毫升放在 12 支離心管中，間隔時間 3 分鐘。
- (3) 取樣 3 次完成後，關掉所有電源，廢液集中過濾，將設備拆下後清洗乾淨並擦乾。
- (4) 進行以下分光光度計分析。

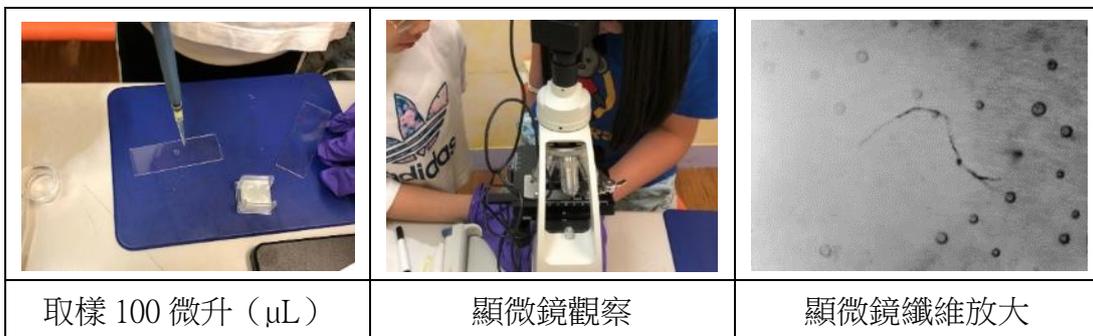
(二)濁度的分析

取上述實驗 12 支離心管採樣溶液 1.0 毫升，分光光度計波長設定 660 奈米(nm) 測量。



(三)纖維的分析

1. 取上述實驗 12 支離心管的採樣溶液，以定量吸管取 100 微升 (μL) (0.1 毫升) 的 0.010% 溶液加入 9.9 毫升的純水中，稀釋成 0.001%。
2. 以定量吸管取上述稀釋的混合水溶液 100 微升 (μL)，於玻片中心點滴下，以顯微鏡 4 × 10 倍率下計算纖維數量。



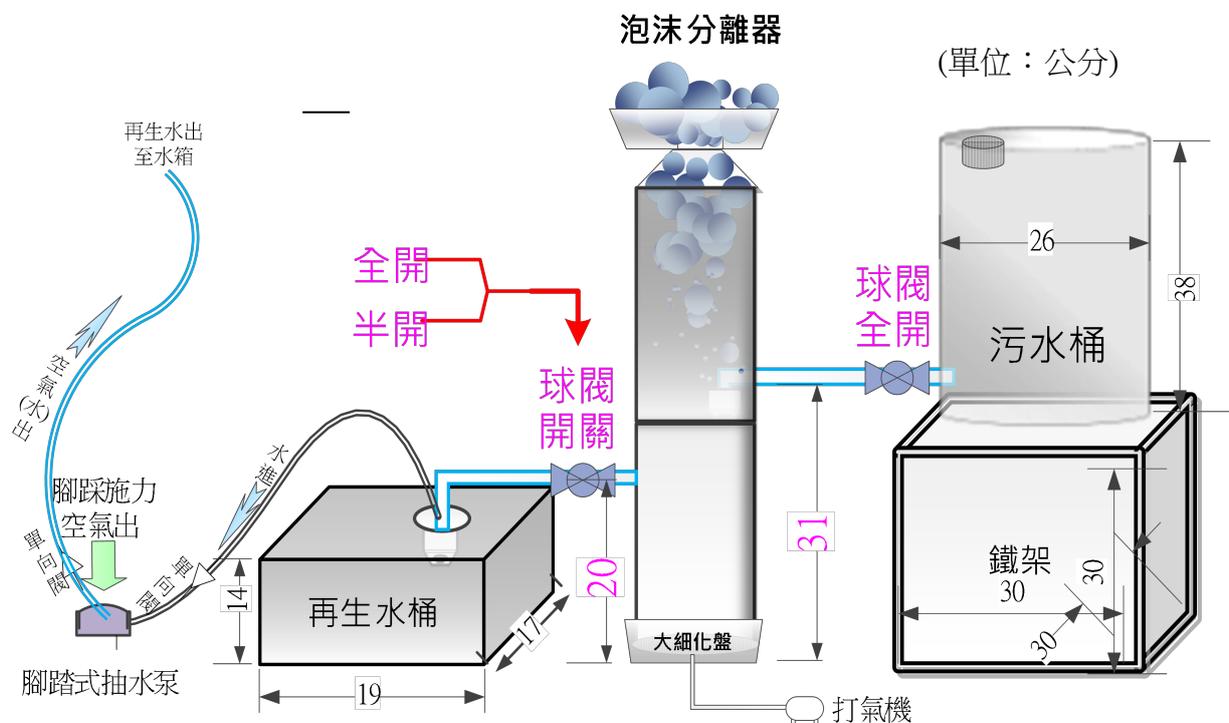
四、實驗二：探討泡沫分離器不同流量的處理效果

(一)準備工作：裝好泡沫分離器整組裝置，參考圖示實驗。

1. 取洗手台排出的廢水裝滿污水桶，取廢水做光度分析。
2. 將污水桶排水球閥開關全開，讓流量變為最大。
3. 啟動打氣馬達，同時將泡沫分離器的球閥設為全開，並測 5 秒流量。
4. 啟動打氣馬達，同時將泡沫分離器的球閥設為半開，並測 5 秒流量。

(二)取樣與濁度分析

1. 5 分鐘後取泡沫分離器上方收集盤中的泡泡與排出再生水。
2. 分光光度計熱機 30 分鐘後，波長設定 660 奈米(nm) 測量。



五、實驗三：探討濃度對起泡效果之影響

(一)製作不同濃度的水溶液：

運用原本實驗一配製的濃度為 0.1%的十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑)原溶液，稀釋出濃度分別為 0.010%、0.0050%、0.0010%、0.0005%、0.0001%的水溶液。

1. 0.010% 溶液：取 300 毫升原溶液(0.1%)加入 2700 毫升的純水中。
2. 0.0050%溶液：取 150 毫升原溶液加入 2850 毫升的純水中。

3. 0.0010%溶液：取 30 毫升原溶液加入 2970 毫升的純水中。
4. 0.0005%溶液：取 15 毫升原溶液加入 2985 毫升純水中。
5. 0.0001%溶液：取 3 毫升原溶液加入 2997 毫升的純水中。

(二)實驗：

1. 先取濃度最低的 0.0001%水溶液開始做實驗，再依序做到最高濃度 0.01%。
2. 將 0.0001%水溶液倒入污水桶，開啟污水桶的控制閥，讓污水進入泡沫分離器。
3. 開啟打氣馬達運轉 10 分鐘後，測量泡泡高度，並於泡泡收集盤裡取樣 3 份。

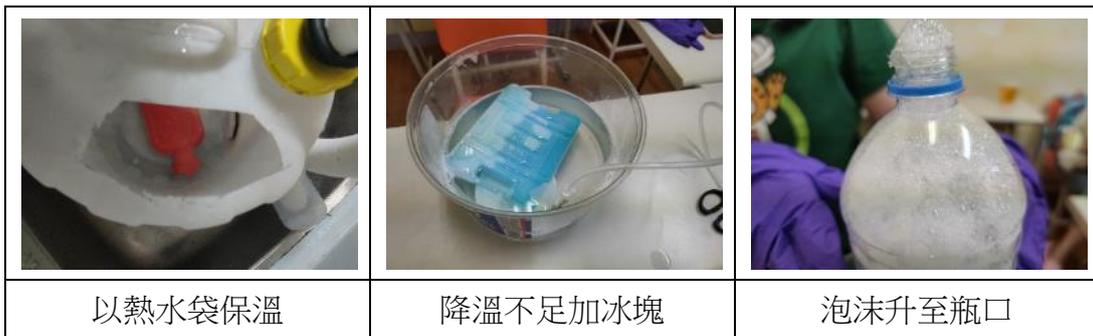
六、實驗四：探討溫度對起泡效果之影響

(一) 溫度控制的準備：

- 1.加入冰塊或冰寶讓常溫水變成 20°C。
- 2.加入熱水與熱水袋讓常溫水變成 30°C 與 40°C。
- 3.取 4.5 的十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑)分別加入上述的冷、熱水中，配成 4500 毫升的 0.1% 水溶液。

(二)實驗：

1. 將上面的溶液加入污水桶，開啟球閥進水，以電子溫度計確認溫度 40、30 與 20°C。
2. 開啟打氣馬達，立刻計時泡泡升到瓶口的時間，實驗 3 次。



七、實驗五：泡沫分離器的組合與測試兩種廢水混合後的處理效果

(一) 設備與管線的連接：

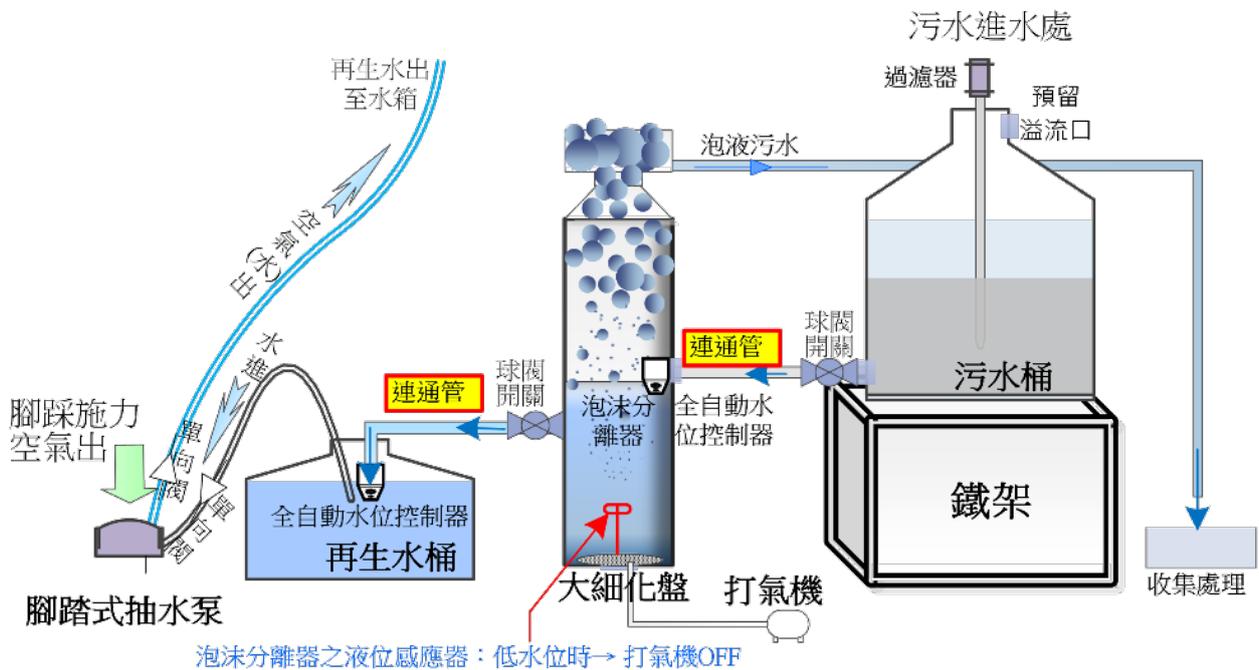
1. 洗手台下的排水口連接到廢水儲水桶。
2. 廢水儲水桶連接到泡沫分離器。
3. 泡沫分離器處理後，再將水排到再生水水桶。

(二) 設備的裝置：

1. 泡沫分離器使用氣泡細化盤的說明如下：

- (1) 目的：改造廢水處理效果，希望能更有效去除水中的污染物和雜質，並透過泡沫分離技術，從家庭廢水中分離出更乾淨的水質。
- (2) 原因：氣泡細化盤是一個關鍵組件，透過細化盤的細孔和空氣注入，可形成細小而均衡的氣泡。
- (3) 功能：氣泡細化盤生產的細小氣泡，可增加水中污染物和氣泡接觸的表面積，能讓氣泡更有效地附著廢水中的污染物，提高廢水的去汙效果。
3. 在泡沫分離器上方安裝廢泡液收集盤，再接管到廢水盆裡，以自然蒸發處理廢液。
4. 裝置中縮小泡沫分離器出口的目的有二個：第一，縮小的出口可以增加泡沫與廢水的接觸時間，使泡沫中的雜質更容易被吸附和分離出來。第二，縮小出口可以增加出口處的流速，這有助於推動泡沫流出，並阻止雜質回流。

(三) 泡沫分離處理裝置的組裝



1. 鐵架組裝後，以噴漆防鏽處理。
2. 用電鑽在污水桶打洞，再安裝球閥開關，然後用矽利康膠水加強防漏。
3. 球閥開關與水管連接處若有螺紋就使用止洩帶，沒有螺紋，就用硬質膠合劑黏合，靜

置 24 小時後再使用。

4. 安裝低水位感應器於分離器底部 3 公分處，無水時自動停止馬達。
5. 裝置運用連通管輸水，並分別在泡沫分離器和再生水桶裝水位自動控制器，當再生水桶滿水時，泡沫分離器是無法再輸水給再生水桶，而泡沫分離器水位有自動水位控制器管制最高的高度，若污水桶是高水位也無法輸水過去。
6. 腳踏式抽水機：零件取自救生圈腳踏式打氣機，經改裝為抽水機，並換成 1.5 公尺的軟管來供水。



(四)廢液準備：

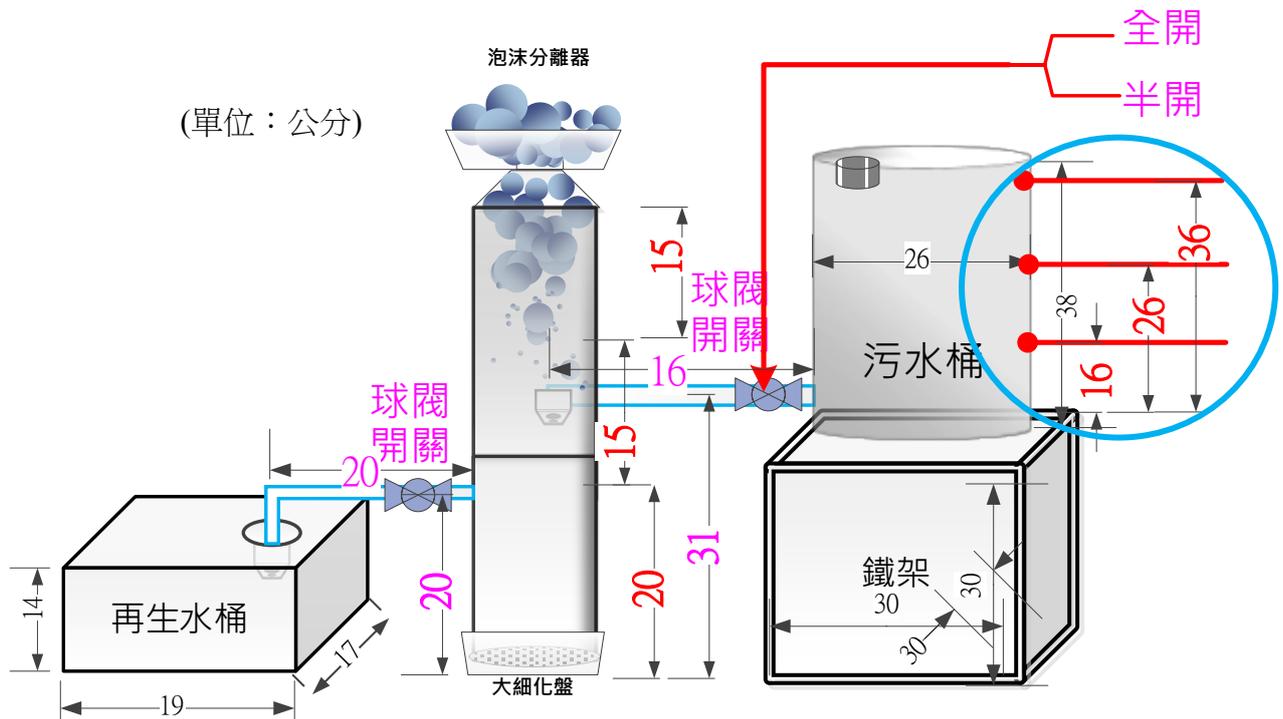
1. 取家庭的盥洗與洗衣機排放廢水，每次實驗都混合各二瓶 2000 毫升寶特瓶水量。
2. 測量 pH 值，並用分光光度計分析。

(五)測試：

1. 先將設備清洗後，以乾淨水測試正常。
2. 污水桶出口閥全開。
3. 污水桶裝入混合廢水，開啟泡沫分離器。
4. 待泡沫分離器泡沫上升到液泡盤，開啟分離器排口閥，將再生水排出 5 分鐘後取樣，間隔 3 分鐘再取樣，取 12 到 15 毫升放入離心管，再間隔 3 分鐘取樣，共 3 次。
5. 取樣樣品以分光光度計測量：設定波長 660 奈米 (nm) 測量再生水濁度。
6. 以顯微鏡計數纖維數量：以定量吸管取 100 微升 (μL) 於載玻片上。

八、實驗六：探討廢水裝置流量處理能力

(一) 污水桶的基本資料與流量測量



1. 計算污水桶全體積： $13 \times 13 \times 3.14 \times 38 / 1000 = 20.1$ 公升，實際測量約 19 公升。
2. 以油漆筆標示出距底部 36 公分的高水位線，距底部 26 公分的中水位線，距底部 16 公分的低水位線。
3. 先在污水桶裡加入自來水(溫度 22.1°C)到標線水位處，球閥出口下方放一個水盆，水盆放比較矮，且水盆大小可完全收集排出水，再將球閥打開，同時按下計時器，計時 5 秒後，立即拿走水盆，關上球閥，將水盆秤重，重複三次實驗。

(二) 泡沫分離器液位在不同高度流至再生水桶的流量

1. 泡沫分離器桶全高 50.0 公分，直徑 11.0 公分，體積 ≈ 4749.3 立方公分。
2. 泡沫分離器桶內水位液位差為： $(入水口高度 - 出水口高度) = 31 - 20 = 11$ 公分
3. 測量污水桶滿水位，球閥開關在全開與半開的 5 秒的排水量，重複三次實驗。



污水桶標示水位線

排水閥全開流量測試

排出水秤重

4.測量：污水儲槽容量，與污水桶高、中與低水位排水量。

5.計算：依以上測量結果，可預估污水於分離器處理時間(秒)。

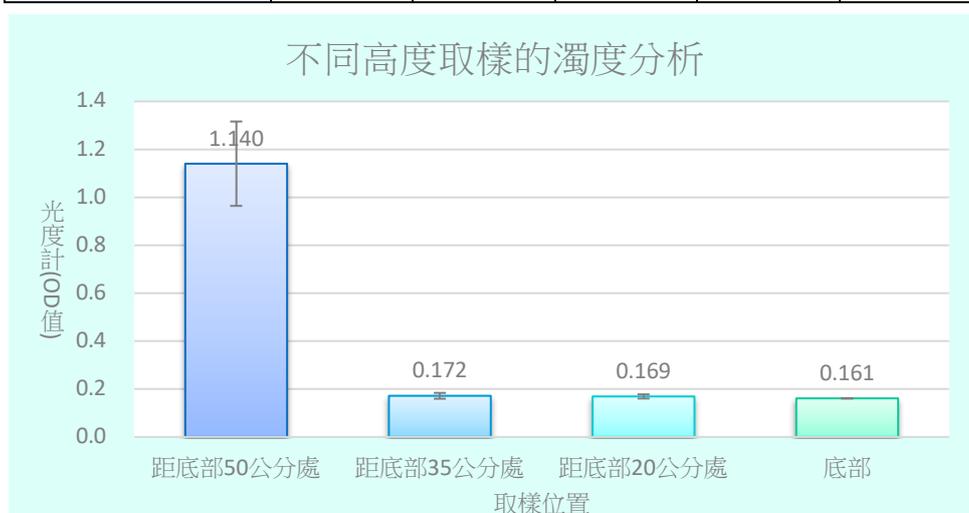
簡易公式：停留時間 = (泡沫分離器處理容量) / (入水流量 - 出口流量)

肆、 研究結果

一、實驗一：在泡沫分離器不同高度位置取樣的分析

(一)表一：不同高度三次取樣濁度分析：以分光光度計波長 660 奈米測量：(單位：光度值)

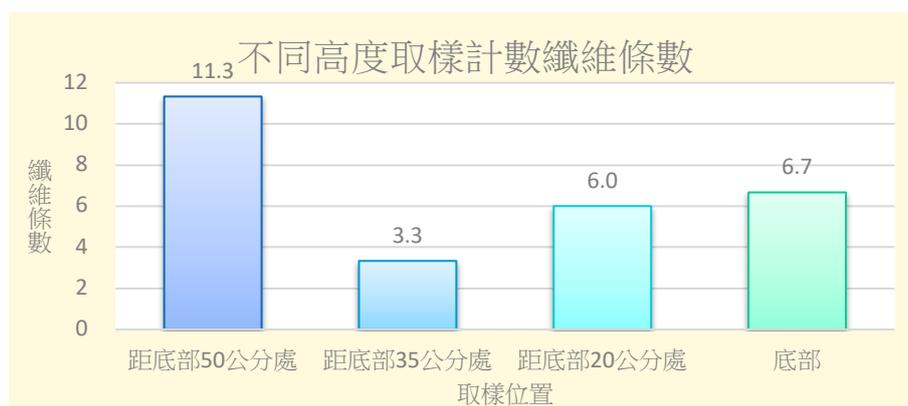
| 濁度分析 | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 | 平均 | 標準差 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 距底部 50 公分處 | 0.952 | 1.169 | 1.300 | 1.140 | 0.176 |
| 距底部 35 公分處 | 0.169 | 0.161 | 0.185 | 0.172 | 0.012 |
| 距底部 20 公分處 | 0.175 | 0.159 | 0.173 | 0.169 | 0.009 |
| 底部 | 0.162 | 0.161 | 0.160 | 0.161 | 0.001 |



結果：在泡沫分離器最上層取得的泡泡有最高的濁度。

(二)表二：利用顯微鏡在 4×10 倍率下計算不同位置三次取樣的纖維數比較：(單位：條)

| 纖維計數 | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 | 平均 |
|------------|-------|-------|-------|------|
| 距底部 50 公分處 | 9 | 12 | 13 | 11.3 |
| 距底部 35 公分處 | 4 | 4 | 2 | 3.3 |
| 距底部 20 公分處 | 7 | 6 | 5 | 6 |
| 底部 | 9 | 4 | 7 | 6.7 |



結果：在泡沫分離器最上層取得的泡液纖維量最多，次為底部。

二、實驗二：探討泡沫分離器不同流量的處理效果

(一)表三：泡沫分離器的流量控制球閥全、半開，測量 5 秒秤重換算成毫升：(單位：毫升)

| 球閥狀況 | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 | 平均 | 標準差 | 流量 (毫升/秒) |
|------|-------|-------|-------|-------|-----|--------------|
| 全開 | 488 | 469 | 481 | 479.3 | 9.5 | 95.9 |
| 半開 | 43 | 55 | 42 | 46.7 | 7.2 | 9.4 |

(二)表四：排出廢水實驗。3 次取樣分別以分光光度計波長 660 奈米分析：(單位：光度值)

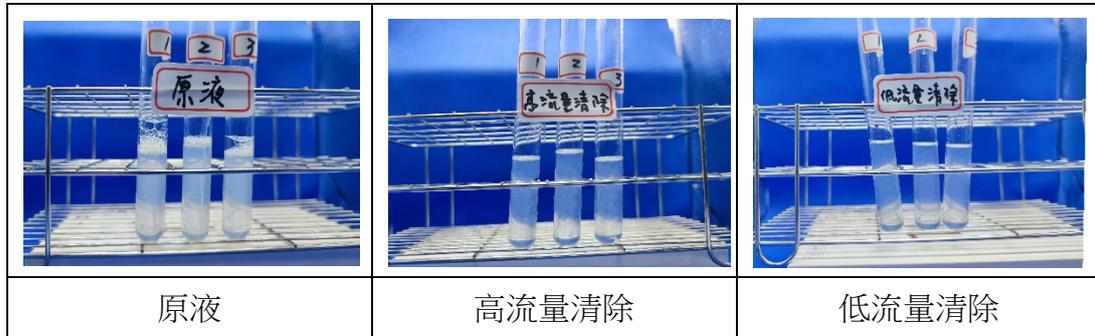
| 狀況 | 取樣處 | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 | 光度值平均 | 標準差 |
|-------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 原液 | 污水桶 | 0.432 | 0.424 | 0.443 | 0.433 | 0.010 |
| 高流量 球閥全開 | 液泡盤 | 1.236 | 1.194 | 1.212 | 1.214 | 0.021 |
| | 再生槽 | 0.164 | 0.175 | 0.175 | 0.172 | 0.007 |
| 低流量 球閥半開 | 液泡盤 | 1.245 | 1.225 | 1.246 | 1.239 | 0.012 |
| | 再生槽 | 0.168 | 0.165 | 0.160 | 0.164 | 0.004 |

結果：1. 高流量清除率 = $1 - (\text{再生槽樣本}/\text{污水桶原液}) = 1 - (0.172/0.433) = 60.3\%$

低流量清除率 = $1 - (\text{再生槽樣本}/\text{污水桶原液}) = 1 - (0.164/0.433) = 62.0\%$

故以球閥半開的低流量清除率 > 球閥全開高流量。

2. 目視比較：

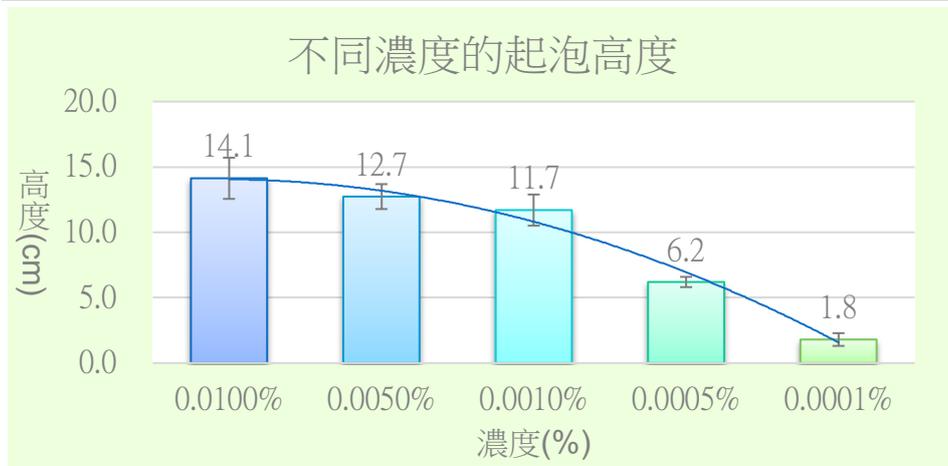


三、實驗三：探討濃度對起泡效果之影響

表五：配製 5 種不同濃度的十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑)實驗：

不同濃度的起泡高度(室溫 21.5°C) (單位：公分)

| 濃度/高度 | 第 1 次測量 | 第 2 次測量 | 第 3 次測量 | 平均 | 標準差 |
|---------|---------|---------|---------|------|-----|
| 0.0100% | 12.4 | 14.5 | 15.5 | 14.1 | 1.6 |
| 0.0050% | 12.8 | 12.0 | 13.4 | 12.7 | 0.7 |
| 0.0010% | 10.3 | 12.4 | 12.4 | 11.7 | 1.2 |
| 0.0005% | 6.1 | 6.6 | 5.9 | 6.2 | 0.3 |
| 0.0001% | 2.4 | 1.4 | 1.7 | 1.8 | 0.5 |

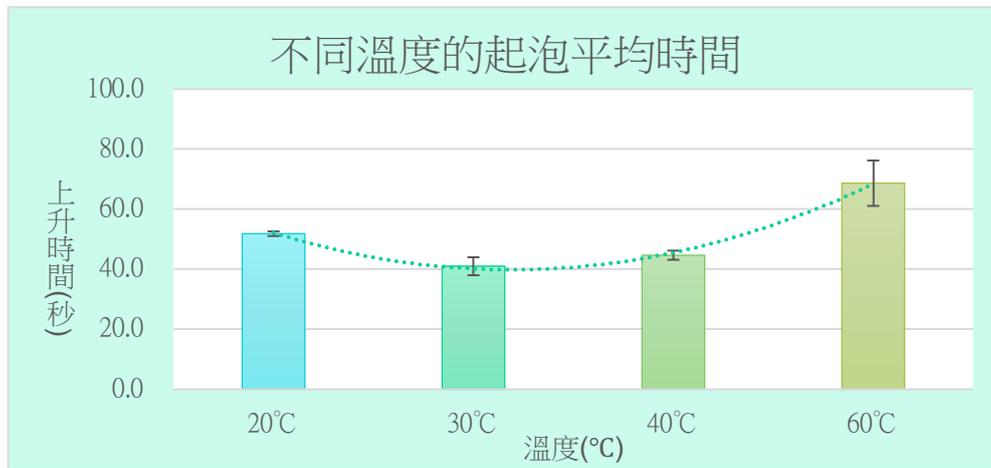


結果：十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑)在濃度 0.0005% (百萬分之五，也是 5 ppm) 時，
起泡效果明顯較少。

四、實驗四：探討溫度對起泡效果之影響

表六：配製濃度為 0.1%的十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑)水溶液 4500 毫升實驗：測量不同溫度下，廢水起泡後，泡泡到瓶口的時間 (單位：秒)

| 溫度 | 第 1 次測量 | 第 2 次測量 | 第 3 次測量 | 平均 | 標準差 |
|------|---------|---------|---------|------|-----|
| 20°C | 51 | 52 | 53 | 52.0 | 1.0 |
| 30°C | 41 | 38 | 44 | 41.0 | 3.0 |
| 40°C | 45 | 46 | 43 | 44.7 | 1.5 |
| 60°C | 60 | 72 | 74 | 68.7 | 7.6 |



結果：(一)20°C溫度以下，起泡速度會比較慢。

(二)溫度高產生氣泡大，但容易破裂，所以泡泡上升時間較長。

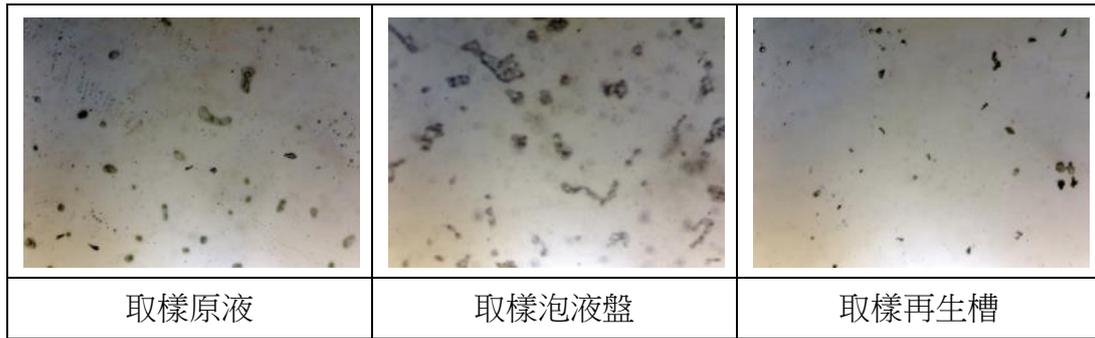
(三)以 30 到 40°C 的上升時間最短，顯示溫度要適中，起泡效果更佳。

五、實驗五：表七：泡沫分離器的組合與測試兩種廢水混合後的處理效果

測試結果：以分光光度計 660 奈米測量原液濁度：0.496 。 pH 值 7.9 。 溫度 22°C 。

以顯微鏡計數原液纖維數量：51 條。(濁度單位：光度值。纖維單位：條)

| 取樣位置 | 項目 | 第 1 次取樣 | 第 2 次取樣 | 第 3 次取樣 | 平均 | 標準差 |
|------|------|---------|---------|---------|-------|-------|
| 泡液盤 | 濁度分析 | 1.421 | 1.373 | 1.394 | 1.396 | 0.024 |
| | 纖維數量 | 102 | 96 | 109 | 102 | 7 |
| 再生槽 | 濁度分析 | 0.189 | 0.202 | 0.201 | 0.197 | 0.007 |
| | 纖維數量 | 16 | 19 | 13 | 16 | 3 |



結果：濁度清除率 = $1 - (\text{再生槽樣本}/\text{污水桶原液}) = 1 - (0.197/0.496) = 60.3 \%$

纖維清除率 = $1 - (\text{再生槽樣本}/\text{污水桶原液}) = 1 - (16/51) = 68.6 \%$

六、實驗六：探討廢水裝置流量處理能力

(一) 測量污水桶三種液位(高、中、低)排放 5 秒的流量。

1.表八：排水球閥全開的實測流量。(單位：毫升)

| 水位 / 球閥全開 | 第 1 次測量 | 第 2 次測量 | 第 3 次測量 | 平均 | 標準差 | 流量 (毫升/秒) |
|------------|---------|---------|---------|------|-----|--------------|
| 距底部 36 公分處 | 2808 | 2727 | 2835 | 2790 | 54 | 558 |
| 距底部 26 公分處 | 2450 | 2350 | 2424 | 2408 | 57 | 482 |
| 距底部 16 公分處 | 1734 | 1607 | 1728 | 1690 | 64 | 338 |

2.表九：排水球閥半開的實測流量。(單位：毫升)

| 水位 / 球閥半開 | 第 1 次測量 | 第 2 次測量 | 第 3 次測量 | 平均 | 標準差 | 流量 (毫升/秒) |
|------------|---------|---------|---------|-----|-----|--------------|
| 距底部 36 公分處 | 505 | 523 | 487 | 505 | 18 | 101 |
| 距底部 26 公分處 | 380 | 374 | 350 | 368 | 16 | 73.6 |
| 距底部 16 公分處 | 121 | 95 | 115 | 110 | 13 | 22 |

(二) 表十：泡沫分離器的流量控制球閥，實測 5 秒秤重換算成毫升：(單位：毫升)

| 球閥狀況 | 第 1 次測量 | 第 2 次測量 | 第 3 次測量 | 平均 | 標準差 | 流量 (毫升/秒) |
|------|---------|---------|---------|-----|-----|--------------|
| 全開 | 488 | 469 | 481 | 479 | 10 | 96 |
| 半開 | 43 | 55 | 42 | 47 | 5 | 9 |

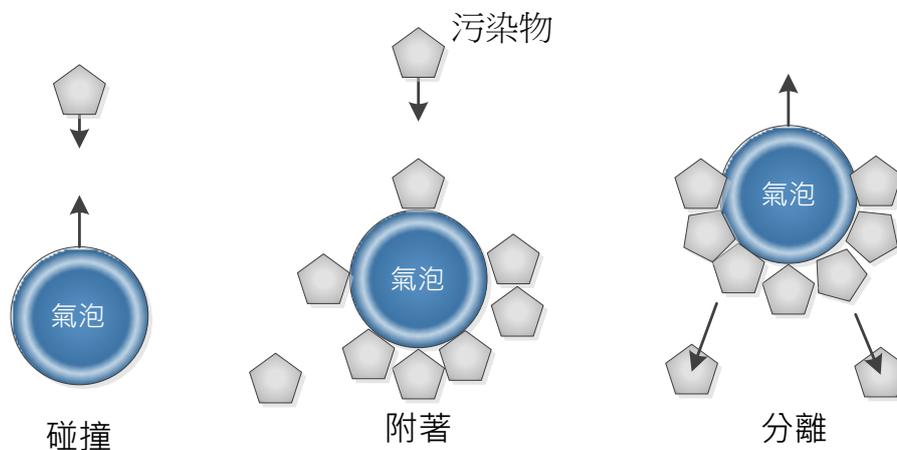
結果：1.污水桶排水球閥全開的流出量，都大於泡沫分離器的流出量，廢水有足夠停留在泡沫分離槽內進行處理。

2.污水桶排水球閥半開時，若泡沫分離器排水球閥全開，污水有可能會沒有足夠停留在泡沫分離槽時間。

伍、 討論

一、實驗一：在泡沫分離器不同高度位置取樣的分析

實驗目的在確認泡沫分離器在不同高度位置的分離效果，實驗很明顯在最高層位置的濁度與纖維量均為最多。泡沫分離技術是一種物理性分離技術，其基本原理是利用氣泡與污染物之間的黏附力，將污染物從水中分離出來。具體而言，這項技術是通過在水中注入氣體（如空氣、氮氣等），與水中的界面活性劑(本實驗採用市調最多的十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑))，在水中形成微小的氣泡，這些氣泡通過浮力上升的作用，將懸浮在水中的污染物（如固體雜質、油脂、有機物、部分金屬離子等）附著在氣泡上面，然後一起浮升到水面，最終形成一層層泡沫，從而達到分離的目的。



圖片來源：92 Fan M, Tao D, Honaker R and Luo Z, Nanobubble generation and its applications in froth flotation (part III): specially designed laboratory scale column flotation of phosphate. Mining Sci Technol 20:317–338 (2010). 參考編修

二、實驗二：探討泡沫分離器不同流量的處理效果

本實驗得知在泡沫分離處理中，**污水停留在處理槽內的時間越長，泡沫和水的分離效果會越好**。這是因為泡沫分離過程中需要一定時間進行分離和集中，也需要一定時間進行泡沫與雜質的結合，還有和氣體形成的穩定期。污水停留在處理槽內的時間，也和

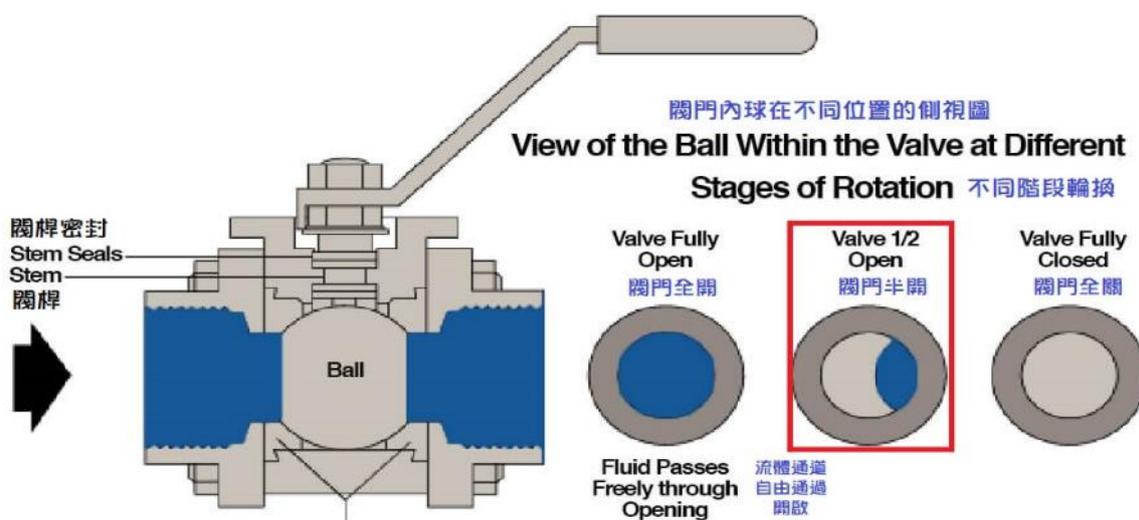
入水量和排水量有關，從本組實驗結果顯示，**低流量的濁度清除效果比高流量好**。本組討論認為：在實際應用中，需要根據不同的入水量和排水量，適當調整停留處理槽的設計參數，以提高泡沫分離的效果。

(一)流量控制：我們發現流量控制很重要，這會影響泡沫分離器的分離效率。一般常見的流量控制方法有以下：

1. 定量泵：以控制流量泵的速率來控制液體流量。
2. 流量閥：以調節流量閥的開度來控制液體流量。
3. 定電流馬達：以控制馬達的轉速來控制液體流量。

其中安裝簡單且價格較經濟的流量控制設備為流量閥，所以本組採用流量球閥。

(二)流量球閥的問題：球閥在全開或半開的流量差異很大，根據本組實際測試，發現球閥半開 5 秒時，流出 43 毫升的水，而全開 5 秒時，流出 480 毫升的水，可見半開流量只佔全開流量的 9.8 % ($47/480=9.8\%$)。



取自 valveman.com 參用編修

三、實驗三：探討濃度對起泡效果之影響

界面活性劑具親油端與親水端，當界面活性劑與水混合時，它的親水端會與水分子互相吸引，而它的親油端會遠離水分子，並與油脂相互吸引。因此在水中存有界面活性劑時，界面活性劑會形成聚集體，它的親水端會面向水，它的親油端會面向內部。在攪拌或震動之下，這些聚集體會形成泡沫，然後界面活性劑的親水端會形成泡沫的外層，而它的親油端會形成泡沫的內層。

(二)表十一：混和水的處理效果：對混合水的處理我們提出可能發生的兩個問題要注意：

| | 問題 | 對策 |
|-----|--|--|
| 起泡性 | 盥洗和洗衣廢水中可能含有不同種類和濃度的界面活性劑，混合後將對起泡性能產生影響。若混合後界面活性劑含量增加，將增強廢水的起泡性能，進而降低泡沫分離的效果。 | 可根據實際情況調整使用的界面活性劑類型和濃度。如果混合後，廢水中的界面活性劑含量較高，可採取稀釋來減少界面活性劑的含量。 |
| 酸鹼值 | 盥洗和洗衣廢水的pH值不同，混合後會產生變化。如果混合後的pH值偏高，可能會影響泡沫分離效果，如溶解度。實驗以十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑)在中性或微鹼性下，起泡能力較強。 | 先測量混合後廢水的實際pH值，再採取適當調整方法，例如加入酸或鹼中和，以確保泡沫分離器的正常操作，若廢水酸鹼差異太大，建議直接排放處理。 |

六、實驗六：探討廢水裝置流量處理能力

表十二：不同流量處理情形：

| 污水桶球閥 | 水位 | 入水流量(毫升/秒) | 泡沫分離器球閥 | 出口流量(毫升/秒) | 預估停留處理時間(秒) |
|-------|------------|------------|---------|------------|-------------|
| 全開 | 距底部 36 公分處 | 558 | 排水全開 | 96 | 10.3 |
| | | | 排水半開 | 9 | 8.7 |
| | 距底部 26 公分處 | 482 | 排水全開 | 96 | 12.3 |
| | | | 排水半開 | 9 | 10.1 |
| | 距底部 16 公分處 | 338 | 排水全開 | 96 | 19.6 |
| | | | 排水半開 | 9 | 14.5 |
| 污水桶球閥 | 水位 | 入水流量(毫升/秒) | 泡沫分離器球閥 | 出口流量(毫升/秒) | 預估停留處理時間(秒) |
| 半開 | 距底部 36 公分處 | 101 | 排水全開 | 96 | 931.2 |
| | | | 排水半開 | 9 | 51.8 |
| | 距底部 26 公分處 | 73.6 | 排水全開 | 96 | 水量不足 |
| | | | 排水半開 | 9 | 74.0 |
| | 距底部 16 公分處 | 22 | 排水全開 | 96 | 水量不足 |
| | | | 排水半開 | 9 | 374.0 |

本組嘗試以簡單公式大概計算出停留時間=(泡沫分離器處理容量) / (入水流量 - 出

口流量)，但這個簡單公式要進水流量和排出水流量保持穩定，沒有考慮其他因素，例如水槽的水量、與水量變化對進水流量和排出水流量的影響等。

七、家庭廢水再生系統的規劃與成本

本組調查全國處理家庭廢水的廠商表示：國內目前沒有相關設備；此類產品以美國設備居多；目前國內只有環保署多以社區型來推廣家庭廢水的處理，其中全國的廢水處理廠有供應原水，免費供應澆灑植物，夏季灑水、或工地等用途。

(一)表十三：比較泡沫分離法與市面上常見過濾系統之差異：

| 目前市場的過濾系統 | 泡沫分離法 |
|------------------|--------------------|
| 適合用量大的團體 | 適小家庭 1-5 人使用 |
| 濾網等耗材要更換 | 無耗材更換 |
| 抽水馬達多組 | 耗電量低(僅低水位感應器與打氣馬達) |
| 佔地空間大 | 體積小不佔空間 |
| 生化槽需要定時清洗，耗費時間 | 濾桶沖洗操作簡易 |
| 添加化學藥物 | 無添加化學藥物 |
| 開放空間，易生異味，滋生蚊蟲 | 濾液 24 小時存放，不會長菌 |
| 濾液無氧 | 打入空氣含有氧氣有利微生物分解 |
| 系統複雜 | 維修容易 |
| 廠商報價最簡設備：約 60 萬元 | 設備費用 2230 元 |

(二)表十四：本實驗使用器材費用：

| | | | |
|-------|--------|------------|---------|
| 漏斗 | 塑膠瓶(2) | 自動水位控制器(2) | 手動抽水器 |
| 70 元 | 180 元 | 330 元 | 100 元 |
| 空氣泵打氣 | 低水位感應器 | 各式水管 | 球閥開關(2) |
| 299 元 | 255 元 | 150 元 | 120 |
| 氣泡細化器 | 矽利康 | 噴漆 | 熱熔膠 |
| 350 元 | 75 元 | 90 元 | 30 元 |

以上合計：2230 元。

本組使用泡沫分離法是成本最低、最環保、最方便，不用另外添加其他物質的廢水分離技術。

陸、 結論

一、實驗一：在泡沫分離器不同高度位置取樣的分析

(一)從下表可得知，**泡沫分離器上層（距底部 50 公分處）的濁度與纖維量分析均比其他層高**，即可證明本組提出的泡沫分離法，及本組自製的泡沫分離器，可以明顯有效去除廢水中的雜質與清潔劑本身，讓廢水變乾淨。

| 分析取樣位置 | 上層 | 中、下與底層平均 |
|---------|-------|----------|
| 濁度(光度值) | 1.140 | 0.167 |
| 纖維量(條) | 11 | 5 |

(二)由下表可得知，利用分光光度計測量時，雖然底部的濁度值最低，但本組為節約能源設計以連通管方式，在距底部 20 公分處設置排水出口，相較而言，**距底部 20 公分處，已去除掉 85%的濁度($1.14 - 0.169 / 1.14 = 85\%$)**，所以本組選定在此處設置排水出口閥。(單位：光度值)

| 濁度分析 | 第 1 次 | 第 2 次 | 第 3 次 | 平均 | 標準差 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 距底部 50 公分處 | 0.952 | 1.169 | 1.300 | 1.140 | 0.176 |
| 距底部 35 公分處 | 0.169 | 0.161 | 0.185 | 0.172 | 0.012 |
| 距底部 20 公分處 | 0.175 | 0.159 | 0.173 | 0.169 | 0.009 |
| 底部 | 0.162 | 0.161 | 0.160 | 0.161 | 0.001 |

二、實驗二：探討泡沫分離器不同流量的處理效果

以控制泡沫分離器的球閥全開與半開來調整流量，不管是高流量或低流量，本組自製的泡沫分離器都具有讓廢水變乾淨的能力，以肉眼觀察來看，兩者水質都算清澈，**以實際計算濁度清除率來看，兩者都超過 60%，但低流量優於高流量**。如下表：

| | |
|--------|--------|
| 高流量清除率 | 60.3 % |
| 低流量清除率 | 62.0% |

三、實驗三：探討濃度對起泡效果之影響

| 濃度 | 平均起泡高度(公分) |
|----------------|------------|
| 0.0100%~0.001% | 12.9 |
| 0.0005% | 6.2 |
| 0.0001% | 1.8 |

經過測試，十二烷基苯磺酸鈉(界面活性劑)在**濃度 0.0005%以下時起泡高度明顯減少**，但我們計算市售洗衣粉建議使用濃度，平均為 0.0145%，明顯高於 0.0005%。且洗衣與盥洗用水混合後，就算盥洗用水不含清潔劑，評估上述家庭的盥洗與洗衣用水比例相當，我們再把 $0.0145\%/2=0.00725\%$ ，濃度依舊會超過 0.0005%，可確保本組自製的泡沫分離裝置能夠在家庭使用中發揮效果。

四、實驗四：探討溫度對起泡效果之影響

實驗發現，一般常溫水(約 20 到 25°C 之間)使用本組自製的泡沫分離裝置，都可以發揮去除雜質與清潔劑本身的效果，但不同溫度的起泡效果還是不同：

- (一) 溶液溫度 20°C 以下時，起泡速度會比較慢。
- (二) 溫度 60°C 產生氣泡大，但容易破裂，故上升時間較長。
- (三) 以 30~40°C 上升時間最短，顯示溫度要適中起泡效果佳。**

五、實驗五：泡沫分離器的組合與測試兩種廢水混合後的處理效果

(一)家庭廢水的裝置組裝後經過改善其項目，如下所列：

1. 減少抽水馬達 1 組：將污水桶位置提高，以連通管原理輸水。
2. 污水桶減少 1 組全自動水位控制器：將污水桶位置提高，以連通管原理輸水。
3. 簡易過濾器由污水桶管出口改至洗手台下。
4. 泡沫分離器的廢泡液排出管直接接管到收集桶處理。
5. 泡沫分離器原用液位感應組取消，改用較經濟的全自動水位控制器。
6. 大細化盤打氣裝置原控制複雜，改單純水位控制：低水位 OFF / 高水位 ON。

(二)測試兩種廢水混合後的處理效果，如下所列：

| 取樣位置 | 項目 | 平均 | 清除率 |
|------|------|-------|--------|
| 泡液盤 | 濁度分析 | 1.396 | == |
| | 纖維數量 | 102 條 | == |
| 再生槽 | 濁度分析 | 0.197 | 60.30% |
| | 纖維數量 | 16 條 | 68.60% |

兩種廢水混合後，本組設計的泡沫分離裝置仍舊可以發揮去除效果。

六、實驗六：探討廢水裝置流量處理能力

(一) 最大的處理廢水量：約 96 毫升 / 秒 = 5754 毫升 / 分 = 345.2 公升 / 小時。

(二) 最小的處理廢水量：約 9 毫升 / 秒 = 564 毫升 / 分 = 33.8 公升 / 小時。

(三) 將洗衣機裝入 85 公升的水，以最大的處理廢水量來實測結果，約 15 分鐘處理完成。

(四) 清潔程度會受到流量的處理時間與儲水量之多寡影響。

未來展望

近年來，台灣與世界常因缺水所苦，因此水資源循環議題備受重視，如何有效處理家庭廢水，使家庭廢水可更方便的循環再利用，逐漸成為大家關心的課題，我們因此設計出一套家庭廢水泡沫分離裝置來製造再生水。展望未來我們有以下目標：

- 一、近期目標：優化現有的泡沫分離過程，這包括收集和分析廢水的數據，例如成分、溫度、pH 值等，並在這個基礎上調整分離過程的參數，例如打氣量和壓力等，來完成更高效的分離效果。
- 二、中期目標：開發並實施機器學習模型，以預測家庭廢水的產生量和成分變化。基於這些預測結果，我們可以預先調整分離參數，完成更為智能化的廢水處理。
- 三、遠程目標：完成完全自動化的家庭廢水處理系統。此系統將完全由 AI 控制，能夠根據實際數據和預測結果，自動調整所有參數，來達到最佳分離效果。同時，這個系統將具有自我學習和改進的能力，性能也將持續提升。

柒、參考文獻資料

1. 再生水利用系統(無日期)。經濟部水利署節約用水資訊網。擷取日期：2022/08/22。取自：
https://www.wcis.org.tw/Home/Reuse_3
 2. 陳婉寧(2012)。【以色列綠色學徒之旅】中水回收系統簡易 DIY！。環境資訊中心網站。
擷取日期：2022/08/12。取自：<https://e-info.org.tw/node/74634>
 3. HOW TO: Build a protein skimmer for aquariums TUTORIAL 2022/10/25 取自：
https://www.youtube.com/watch?v=223-24zhjoc&t=80s&ab_channel=ThekingofDIY
 4. JAKE ADAMS(2017) Homemade DIY Glass Protein Skimmer Is Simple, Fun & Efficient!
2022/10/25 取自：<https://reefbuilders.com/2017/10/25/homemade-diy-glass-protein-skimmer-is-simple-fun-efficient>
 5. 蘇裕昌(2015)。界面活性劑的基礎及應用。VOL,19 No.1 漿紙技術
 6. 楊雁婷(2009)。市售清潔劑清潔效能研究。陽明大學環境與職業衛生研究所碩士論文。
 7. Rahimi Araghi, Lida. (2022). Re: Turbidity measured at 660 nm . 2022/09/18 取自：
https://www.researchgate.net/post/Turbidity_measured_at_660_nm_albumin_denaturation/6222ed16b2f464172b2e8b0a/citation/download.
 8. Fan M, Tao D, Honaker R and Luo Z, Nanobubble generation and its applications in froth flotation (part III):specially designed laboratory scale column flotation of phosphate. Mining Sci Technol 20:317 – 338 (2010).
 9. 蔡孟娥(2006)。以泡沫分離法吸附 RemazolbrilliantBlueR 染料之研究。國立高雄師範大學。化學系
- 【參考歷屆科展】**
1. 曹佳儀(2019)。何以解憂？惟有杜康探討泡沫分離法以小米酒粕蛋白在不同條件下吸附汙染物之可行性。全國第 59 屆科展國中組作品。
 2. 陳奕安、陳祈同、蔡沂蓁、陳星妍(2022)。淨塑小子-智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統設計之研究。全國第 62 屆科展特優作品。
 3. 鄭泓昇、陳瑞淇、侯文博、黃畊璋(2010)。吃水大怪獸－洗衣機用水回收使用。第 50 屆

全國科展。

4. 吳旻諺、謝雅萱、許王鳳、陳楷閔、藍昱博、陳昱慈(2011)。污水大變身～讓地球水資源活起來。第 51 屆全國科展。
5. 林俐妤、劉慧真、廖佳琳(2018)。家家有污水桶，溪水環境更美好－開發智慧型家庭污水處理槽系統設計之研究。第 58 屆全國科展。臺中市立溪南國中。
6. 李紘璋(2017) 以泡沫浮選器分離廢水重金屬硫酸鎳之研究全國高中小論文)化學組。
7. 蘇曼儂(2004) 利用泡沫浮選法浮除水中的含鉻離子 第三屆旺宏科學獎成果報告書。

【評語】 082903

本作品為延續性作品，利用泡沫分離裝置，回收家庭廢水，製造再生水，期望解決生活的廢水問題，題材貼近小學生的日常。

1. 文獻的整理符合研究內容，但仍建議應了解實際廢水處理之流程。
2. 泡沫分離裝置形成的泡沫可以帶走水中雜質，建議思考如何消泡？或許可以加熱或利用日光升溫處理。
3. 對於洗手台、浴盆、洗衣機等廢水，本身已有界面活性劑且相對乾淨，縱使不處理，應該可以直接用在馬桶等應用。在污水處理的議題上，台灣下水道接管率已提高並進入汙水處理廠處理，對盥洗與洗衣等廢水額外處理的單一
4. 處理後廢水建議可建立除濁度等之外，更多檢測指標，且廢水的氣味建議可考量納入未來實驗。
5. 實驗數據的標準差有些較大，建議增加實驗次數再取平均。
6. 污水桶的 pH 值及界面活性濃度變異大，可能會影響此裝置的實際可行度，還需進一步思考改善的方式。

7. 再生水用於空調冰水主機，可能太髒，不太恰當。至於用於植物澆水、洗地降溫、洗車等，由於有界面活性劑存在，是否會對植物有影響，或是乾燥後有界面活性劑殘留的問題，建議多加思考此方法回收水之後的用途。

作品海報

以泡致淨~



家庭廢水以自製泡沫分離裝置製造再生水

摘要

台灣缺水，且家庭廢水因含有清潔劑容易污染環境，我們思考能否用簡單的方式將廢水變乾淨、循環再利用。本組參考文獻及市售污水處理產品，發現污水須添加其他物質才能變乾淨，或產品價格昂貴、需要耗材。但家庭廢水因多含有清潔劑，本身就具有起泡特性，所以我們參考了清潔魚缸的蛋白分離器結構，自製不用添加物質即可使用的泡沫分離器，實驗顯示家庭廢水經處理後淨化效果良好，最大處理流量約96毫升/秒。我們還設計腳踏式抽水機，將再生水供給馬桶水箱使用，本設計不僅能減少危害環境，也能節省珍貴的水資源。

壹、前言

一、研究動機

本組參加110年度科展時，發現泡沫分離法能有效處理各種廢水中的雜質。受到評審老師的鼓勵，我們想將此法應用於家庭廢水的處理與回收。根據資料顯示，每天有約67.5公升的家庭用水可做回收。因此，我們自製了一套泡沫分離裝置，並針對洗衣及盥洗產生的廢水進行實驗。我們想探討此裝置對於廢水中雜質的清潔效果及處理流量；本組期望能藉此達到將家庭廢水變乾淨，循環節約再利用。

二、目的

本組實驗規劃將前作品不足之處，在這個延伸作品中補足，以切合實際家庭應用；首先，我們考量製作泡沫分離器的安全性，並參考水族箱使用的蛋白分離器，我們選用耐化學品的聚乙烯 (HDPE) 材質作為儲水槽，針對流量、溫度、濃度等條件進行實驗，並根據這些實驗結果提出有效的改進方法，以提高廢水處理的效率。

(一)實驗一：在泡沫分離器不同高度位置取樣的分析

(二)實驗二：探討不同流量的處理效果

(三)實驗三：探討濃度對起泡效果之影響

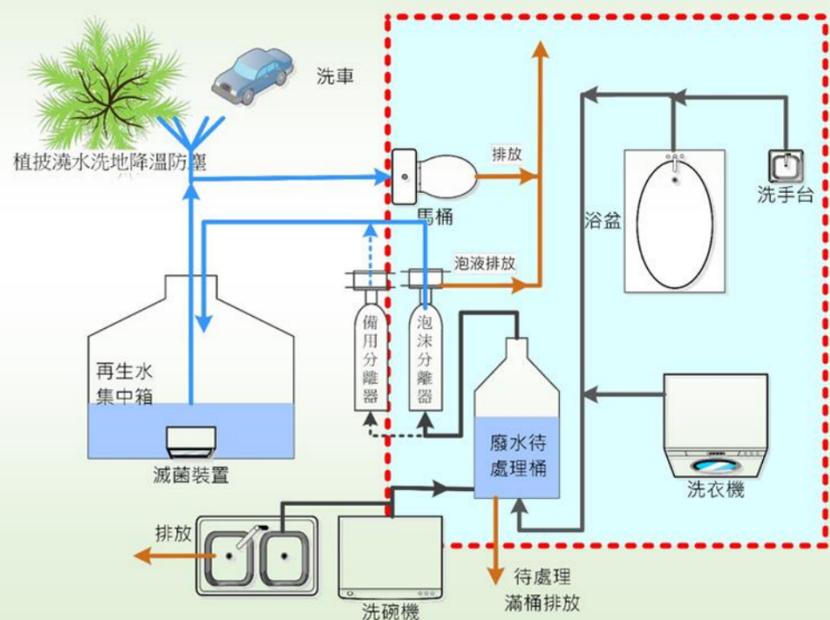
(四)實驗四：探討溫度對起泡效果之影響

(五)實驗五：泡沫分離器的組合與測試兩種廢水混合後的處理效果

(六)實驗六：探討廢水裝置流量處理能力

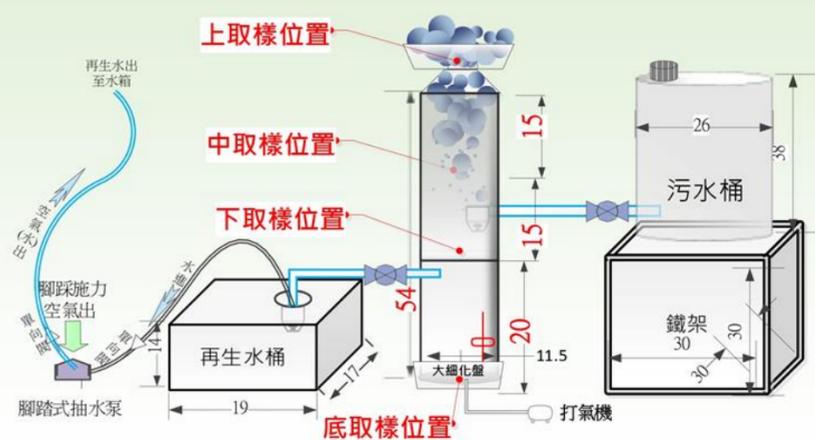
三、文獻回顧：參考歷屆科展論文、廢水處理相關文獻、經濟部再生水專區網站，詳見科展說明書。

二、實驗準備：以家庭廢水的全方位再生規劃考量，與本組探討的「藍底紅線」部分，廢水再生處理是可相容的。

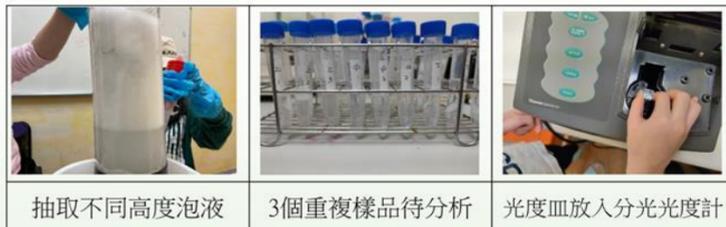


三、實驗一：在泡沫分離器不同高度位置取樣的分析

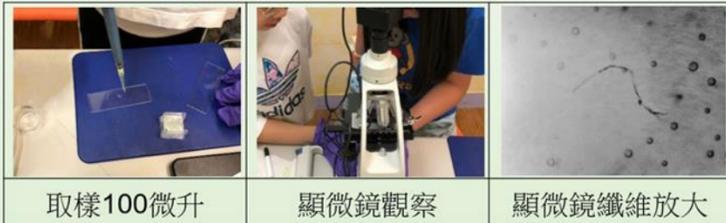
(一) 準備泡沫分離器



(二) 濁度的分析

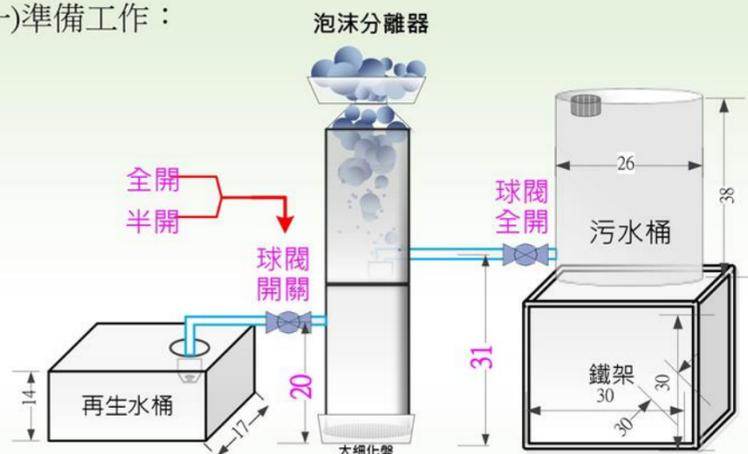


(三) 纖維的分析



四、實驗二：探討不同流量的處理效果

(一) 準備工作：



(二) 取樣與濁度分析

- 1.5分鐘後取樣分離器上方收集盤中液泡與排出再生水。
- 完成全開的球閥開關實驗後，泡液收集盤洗淨，再進行球閥半開實驗
- 分光光度計熱機30分鐘後，波長設定660奈米測量。

五、實驗三：探討濃度對起泡效果之影響

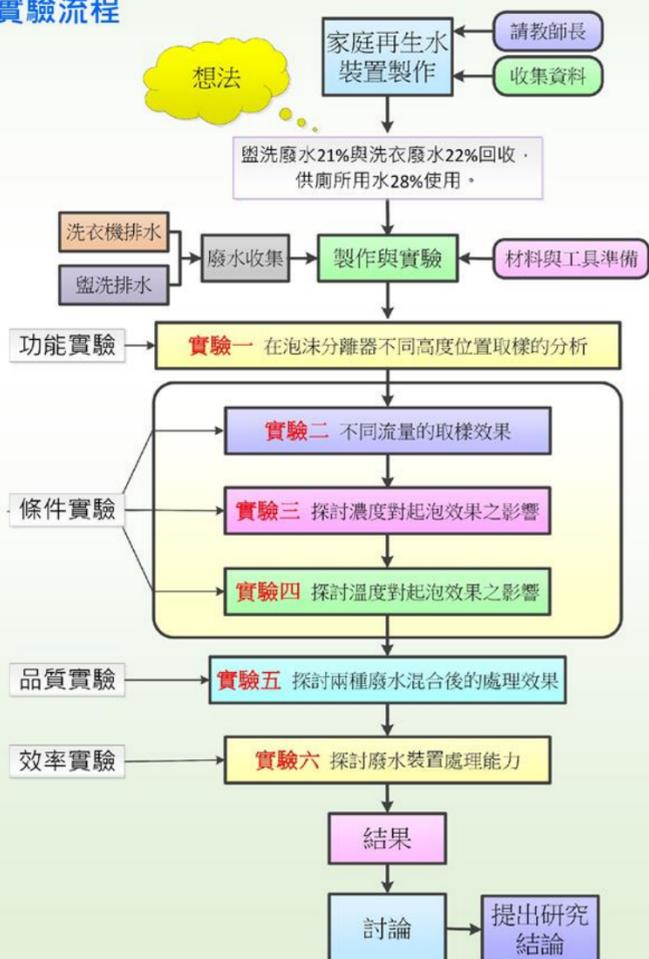
- (一)濃度的製備：分別配製濃度為0.01%、0.0050%、0.001%、0.0005%、0.0001%的十二烷基苯磺酸鈉水溶液。
- 1.實驗由最低濃度0.0001%的溶液開始，依次做到最高濃度。
 - 2.開啟打氣機馬達運轉10分鐘後，測量泡泡高度，並於液泡盤裡取樣三份。完成後以分光光度計波長660奈米分析。

貳、研究設備及器材

(略)請參考科展說明書

參、研究過程及方法

一、實驗流程



六、實驗四：探討溫度對起泡效果之影響

(一)加入溶液於污水桶，開啟球閥入水，以電子溫度計確認40、30與20°C。全開起泡器，立即計時，起泡到達至液泡盤上口高度的時間，實驗三次。

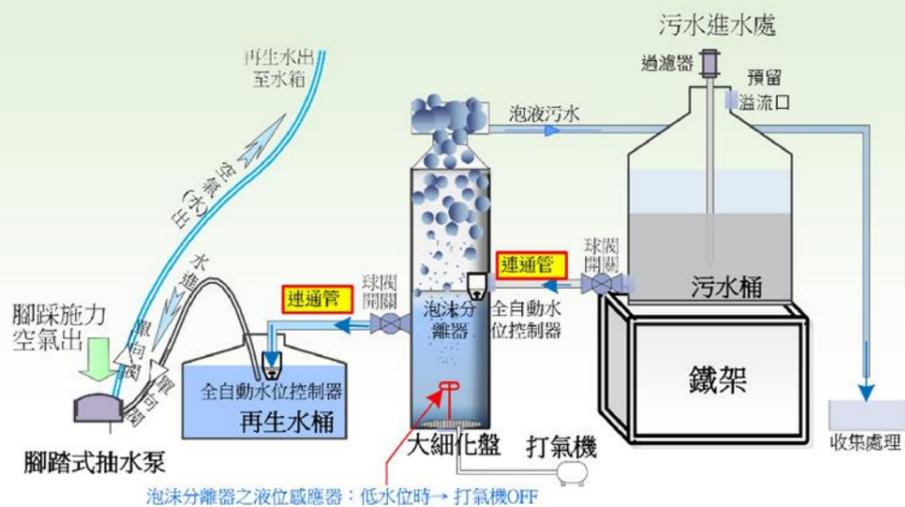


以熱水袋保溫

降溫不足加冰塊

泡沫升至瓶口

七、實驗五：泡沫分離器的組合與測試兩種廢水混合後的處理效果



鐵架噴漆

以矽利康黏合

組裝過程

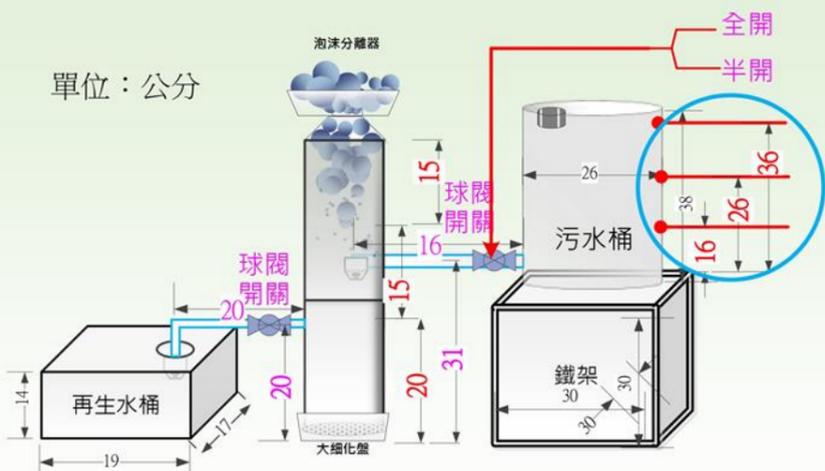
(一)廢液準備：

取自家庭盥洗與洗衣機排放廢水，測量pH 值與分光光度計分析。

(二)測試：以顯微鏡計數纖維量／以分光光度計測濁度。

八、實驗六：探討廢水裝置流量處理能力

(一) 污水桶的基本資料與流量測量



(二)泡沫分離器液位在不同高度流至再生水桶的流量

1. 以油漆筆標示出高水位線距底部36 cm，中水位線距底部26 cm，中水位線距底部16 cm的位置。
2. 測量高、低水位，球閥開關在全開與半開的5秒的排水量，重複三次實驗。
3. 測量：污水儲槽容量，與污水桶高、中與低水位排水量。
4. 計算：依以上測量結果，可預估污水於分離器處理時間(秒)。
簡易公式：停留時間=(泡沫分離器處理容量)/(入水流量-出口流量)



污水桶標示水位線

排水閥流量測試

排出水秤重

本作品申請專利證書號：M631116

肆、研究結果

一、實驗一：在泡沫分離器不同高度位置取樣的分析

(一)不同高度三次取樣濁度分析： (二)在4x10倍率下計算不同位置三次取樣的纖維數比較：



結果：在分離器的最上層取得的泡液有最高的濁度與最多的纖維量。

二、實驗二：探討泡沫分離器不同流量的處理效果

(一)泡沫分離器的流量控制球閥，測量5秒：

| 球閥狀況 | 第1次 | 第2次 | 第3次 | 平均 | 標準差 | 流量(毫升/秒) |
|------|-----|-----|-----|-------|-----|----------|
| 全開 | 488 | 469 | 481 | 479.3 | 9.5 | 95.9 |
| 半開 | 43 | 55 | 42 | 46.7 | 7.2 | 9.4 |

(二) 以盥洗台排出廢水實驗。取樣以分光光度計波長660nm分析：

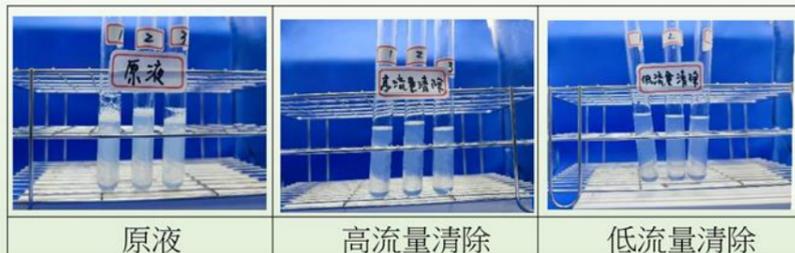
| 狀況 | 取樣處 | 第1次 | 第2次 | 第3次 | 平均(光度值) | 標準差 |
|-------------|-----|-------|-------|-------|---------|-------|
| 原液 | 污水桶 | 0.432 | 0.424 | 0.443 | 0.433 | 0.010 |
| 高流量 球閥全開 | 液泡盤 | 1.236 | 1.194 | 1.212 | 1.214 | 0.021 |
| | 再生槽 | 0.164 | 0.175 | 0.175 | 0.172 | 0.007 |
| 低流量 球閥半開 | 液泡盤 | 1.245 | 1.225 | 1.246 | 1.239 | 0.012 |
| | 再生槽 | 0.168 | 0.165 | 0.160 | 0.164 | 0.004 |

結果：清除率 = 1 - (再生槽樣本 / 污水桶原液)

高流量清除率 = 1 - (0.172 / 0.433) = 60.3 %

低流量清除率 = 1 - (0.164 / 0.433) = 62.0 %

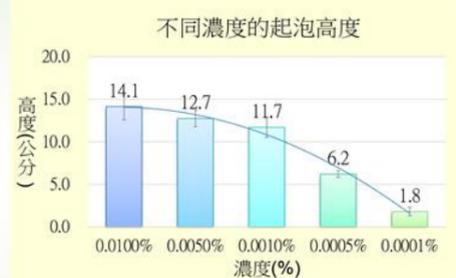
(三)目視比較：



結果：綜合以上三項實驗的結果均以低流量清除率較佳。

三、實驗三：探討濃度對起泡效果之影響

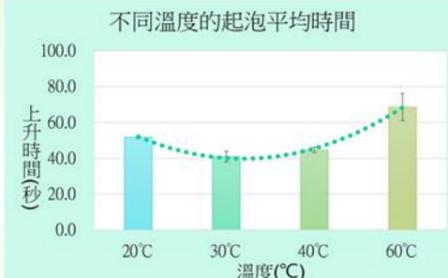
配製五種不同濃度的十二烷基苯磺酸鈉實驗：(室溫21.5°C)



結果：十二烷基苯磺酸鈉在濃度0.0005% 以下時，起泡效果明顯較少。

四、實驗四：探討溫度對起泡效果之影響

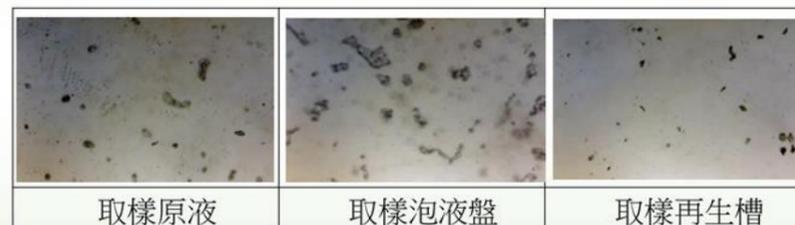
測量不同溫度下起泡後至瓶口的時間



結果：低溫下，起泡速度稍慢；高溫下，氣泡較大但容易破裂，上升時間較長。30~40°C的溫度表現出最短的上升時間，顯示適中的溫度可以獲得較佳的起泡效果。

五、實驗五：泡沫分離器的組合與測試兩種廢水混合後的處理效果。(濁度單位：光度值。纖維單位：條)

| 取樣 | 原液 | 泡液盤 | 再生槽 |
|------|-------|-------|-------|
| | 處理前 | 處理後 | |
| 濁度 | 0.496 | 1.396 | 0.197 |
| 纖維數量 | 51 | 102 | 16 |



取樣原液

取樣泡液盤

取樣再生槽

結果：1. 濁度清除率 = 1 - (0.197 / 0.496) = 60.3 %。

纖維清除率 = 1 - (16 / 51) = 68.6 %。

兩種的清除率顯示均有效處理廢水能力。

2. 取再生槽的水，於顯微鏡下觀測確有變乾淨。

六、實驗六：探討廢水裝置流量處理能力

(一)測量污水桶三種液位(高、中、低)排放5秒的流量。

| 水位 | 全開流量(毫升/秒) | 半開流量(毫升/秒) |
|----------|------------|------------|
| 距底部36公分處 | 558 | 101 |
| 距底部26公分處 | 482 | 73.6 |
| 距底部16公分處 | 338 | 22 |

(二)泡沫分離器的流量控制球閥，實測5秒流量：

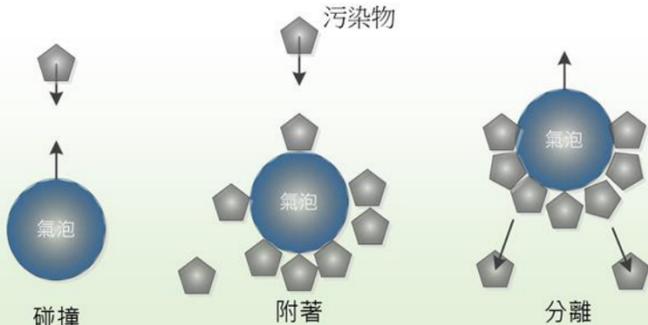
| 球閥狀況 | 全開 | 半開 |
|----------|----|----|
| 流量(毫升/秒) | 96 | 9 |

結果：1.污水桶排水球閥全開之流出量均大於泡沫分離器的流出量，有足夠停留在分離槽進行處理。
2.在污水桶排水閥半開時，若分離器球閥在中低水位時球閥全開，則污水無足夠時間停留在分離槽。

伍、討論

一、實驗一：在泡沫分離器不同高度位置取樣的分析

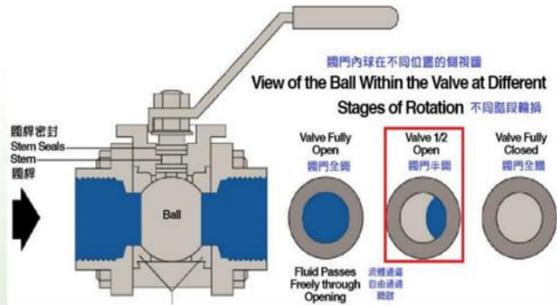
實驗很明顯在最高層位置的濁度與纖維量均為最多。泡沫分離技術是一種物理性分離技術，其基本原理是利用氣泡與污染物之間的黏附力，將污染物從水中分離出來。



二、實驗二：探討不同流量的處理效果

污水停留在處理槽內的時間越長，泡沫和水的分離效果越好。這是因為泡沫分離過程需要時間進行分離、集中和與雜質結合，並形成穩定的氣體階段。污水停留時間受人水量和排水量影響，從本組實驗結果顯示，低流量的濁度清除效率(62.0%)優於高流量濁度清除率(60.3%)，進一步驗證了這一點。

流量球閥的問題：球閥在全開與半開時差異很大，根據本組實際測試，球閥半開5秒的排出量，只占全開5秒的9.8% (47g / 480g=9.8%)。



三、實驗三：探討濃度對起泡效果之影響

高濃度下，界面活性劑分子間的相互作用力增強，提升聚集能力，但過高濃度會使聚集體過多且過大，使泡沫不穩定易破裂。實驗目的是解決低濃度界面活性劑無法產生再生水的問題，實驗發現十二烷基苯磺酸鈉在0.0005%以下時，起泡高度明顯減少，以市售最多的○蘭洗衣粉為例：建議洗滌濃度為5分杯滿即82.5公克與50公升的水，而市售陰離子界面活性劑純度平均值8.85% (楊,2009)。

有效成分的質量 = 82.5公克 × 8.85% = 7.30公克
溶液的總質量 = 50000公克 + 82.5公克 = 50082.5公克
算式：%濃度 = (有效成分的質量 / 溶液的總質量) × 100%
計算其濃度約0.0145%，此濃度足夠一般洗滌後，以泡沫分離法作業。

四、實驗四：探討溫度對起泡效果之影響

30到40°C的溫度範圍內是最適合起泡的溫度。過高溫度導致泡泡容易破裂，而低溫則使泡泡生長速度減慢。因此，最佳起泡效果在30到40°C之間。

五、實驗五：泡沫分離器的組合與測試兩種廢水混合後的處理效果

為節省電力，多次改良處理裝置：①取消抽水馬達：將污水桶位置提高，以連通管原理輸水。②污水桶取消自動水位控制器：將污水桶位置提高，以連通管原理輸水。③泡沫分離器原用液位感應組取消，改用較經濟的全自動水位控制器，等……多項改善。

六、實驗六：探討廢水裝置流量處理能力

不同流量處理情形：

| 污水桶球閥 | 水位 | 入水流量(毫升/秒) | 泡沫分離器球閥 | 出口流量(毫升/秒) | 預估停留處理時間(秒) |
|-------|----------|------------|---------|------------|-------------|
| 全開 | 距底部36公分處 | 558 | 排水全開 | 96 | 10.3 |
| | | | 排水半開 | 9 | 8.7 |
| | 距底部26公分處 | 482 | 排水全開 | 96 | 12.3 |
| | | | 排水半開 | 9 | 10.1 |
| | 距底部16公分處 | 338 | 排水全開 | 96 | 19.6 |
| | | | 排水半開 | 9 | 14.5 |
| 污水桶球閥 | 距底部36公分處 | 101 | 排水全開 | 96 | 931.2 |
| | | | 排水半開 | 9 | 51.8 |
| | 距底部26公分處 | 73.6 | 排水全開 | 96 | 水量不足 |
| | | | 排水半開 | 9 | 74.0 |
| | 距底部16公分處 | 22 | 排水全開 | 96 | 水量不足 |
| | | | 排水半開 | 9 | 374.0 |

我們嘗試以簡單公式大概計算出停留時間 = (泡沫分離器處理容量) / (入水流量 - 出口流量)，但這個簡單公式要進水流量和排水量保持穩定，沒有考慮其他因素，例如水槽的水量、與水量變化對進水流量和排水量的影響等。

七、兩種家庭廢水再生系統規劃之比較

| 過濾沉澱 | 泡沫分離 |
|-----------------|---------------|
| 適合用量大的團體 | 適小家庭1-5人使用 |
| 濾網等耗材要更換 | 無耗材更換 |
| 抽水馬達多組 | 耗電量低 |
| 佔地空間大 | 體積小不佔空間 |
| 生化槽需要定時清洗，耗時與費力 | 濾桶沖洗操作簡易 |
| 添加化學藥物 | 無添加化學藥物 |
| 開放空間，易生異味，滋生蚊蟲 | 濾液24小時存放，不會長菌 |
| 系統複雜 | 維修容易 |
| 廠商報價最簡設備：約60萬元 | 設備費用2230元 |

陸、結論

- 一、實驗一：不同高度位置取樣分析結果以距底部50公分處的濁度與纖維量為最高，底部20公分處的水質最佳。
- 二、實驗二：不同流量的處理效果發現低流量的效果較佳。
- 三、實驗三：在濃度0.0005%以下時，起泡高度明顯減少。
- 四、實驗四：在溫度30~40°C之間起泡效果為最佳。
- 五、實驗五：泡沫分離器的組合在環保與成本上有多項改善；測試兩種廢水混合後的處理結果，於再生槽取樣分析，濁度清除率：60.3%，纖維清除率：68.6%，效果佳。
- 六、實驗六：探討廢水裝置流量處理能力
(一)最大的處理廢水量：345.2公升/小時。
(二)最小的處理廢水量：33.8公升/小時。

未來展望

- 一、近期目標：優化現有的泡沫分離過程，這包括收集和分分析廢水的數據，例如成分、溫度、pH值等，並在這個基礎上調整分離過程的參數，來完成更高效的分离效果。
- 二、中期目標：開發並實施機器學習模型，以預測家庭廢水的產生量和成分變化。
- 三、遠程目標：完成完全自動化的家庭廢水處理系統。

柒、參考文獻資料

1. 陳奕安等四人(2022)。淨塑小子-智慧家用洗衣機塑膠微粒清除系統設計之研究。全國第62屆科展。
2. 鄭泓昇等四人(2010)。吃水大怪獸-洗衣機用水回收使用。第50屆全國科展。
3. 吳曼謔等六人(2011)。污水大變身~讓地球水資源活起來。第51屆全國科展。
4. 再生水利用系統(無日期)。經濟部水利署節約用水資訊網。
https://www.wcis.org.tw/Home/Reuse_3
5. 楊雁婷(2009)。市售清潔劑清潔效能研究。陽明大學環境與職業衛生研究所碩士論文。
6. 陳婉寧(2012)。【以色列綠色學徒之旅】中水回收系統簡易DIY!。環境資訊中心網站。<https://e-info.org.tw/node/74634>
7. 蘇裕昌(2015)。界面活性劑的基礎及應用。VOL.19 No.1 漿紙技術