

2024仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱: Upsilon

作品名稱: 透過 Arduino 自動化沉降追蹤裝置建立提高魚塭廢棄物處理效率的模型

科學概念1 : 抵制效應 (*Boycotteffect*)是流體力學中用於解釋粒子在傾斜的容器中，能比粒子在垂直容器中更加快速沉降到底部的現象。在具有抵制效應的沉降系統中，顆粒首先沉降在容器的傾斜壁上形成濃漿，同時在上方將留下清澈的液體。由於漿液的密度遠大於清液的密度，漿液將沿傾斜的管壁滑動至底部，比垂直下落更快。

科學概念2 : 克耳文－亥姆霍茲不穩定性 (*Kelvin – HelmholtzInstability*)

克耳文－亥姆霍茲不穩定性是不同速度流體接觸的物理現象。由於黏度及密度差，流體之間也產生流速差，當較快的流體與較慢的流體接觸時，兩流體所互相施加剪力。各種細微的剪力導致流體界面產生波浪運動，此時小波的長度會漸漸增加，流體界面也會須相不穩定且導致對

決賽成果報告書內文

(最多10頁)

1. 發想動機：

養殖漁業是台灣沿海地區的重要產業之一，將近六萬五千人從事這個行業。然而，水產養殖漁業也是一個消耗大量水和能源的行業，特別是在處理養殖場的廢物方面。漁業業者常利用化學方法，將能分解廢物的藥品加入水中以分解水中廢物。雖然這種方式能有效地減少處理廢棄物所浪費的水資源，不過這樣的方法有藥物殘留的疑慮。另一方式則是培養能夠分解有機廢棄物的細菌，但此方法僅適用小型的魚缸。因此，我們想要尋找一個低耗能、低耗水的物理方式清理養殖魚時所產生得廢棄物。同時，我們利用 Arduino，並結合光敏電阻與發光二極體，製作能監控、測量、紀錄水中粒子沉降情形的裝置。

2. 作品創意性：(最多300字)

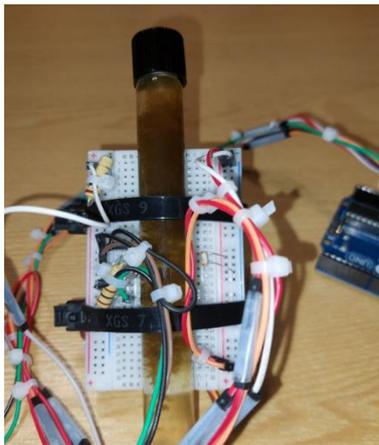
典型的顆粒運動追蹤主流的方法是使用影像進行軌跡分析，但此種方法對細小顆粒會因影片解析度產生實驗誤差，所以我們想到了利用機電整合的方式建構了一套自行設計的 Arduino 自動化沉降速度測量系統，我們先將試管固定在裝置上，裝置會以固定周期自動將試管搖晃均勻，接著會有 LED 照亮整隻試管，而在對向則有光敏電阻進行量測，當顆粒沉降時水質混濁度會逐步下降，我們就可以利用電阻值回推沉降速度。

3. 硬體及電路架構圖：

(1) 試管固定及溶液混合裝置

我們將伺服馬達與裝有水及粒子的試管結合，使實驗初始條件能準確的設定。實驗初始，伺服馬達將試管反覆搖動，使其中的水與粒子能均勻的混合。均勻混合後後，自動將試管傾斜並固定在所設定的角度。我們也在進行五次實驗後，利用量角器確認伺服馬達的轉動角度是

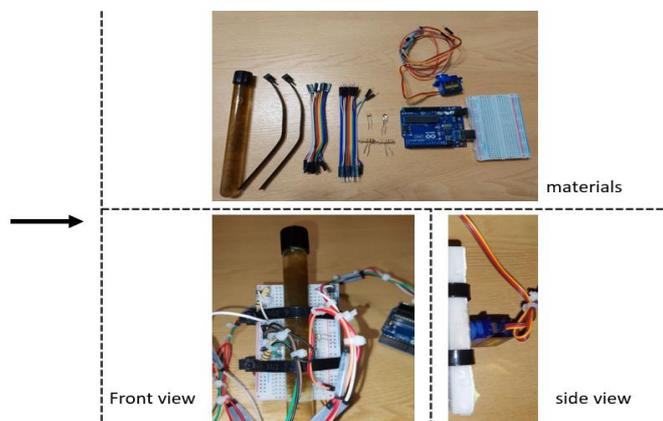
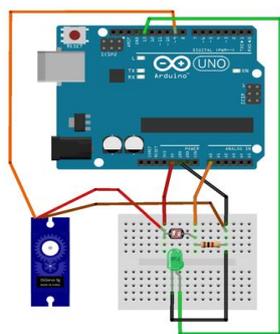
否精確，若有偏差就能及時校正。



(2) 粒子沉降情形監測系統

在本研究中，我們使用發光二極體結合光敏電阻，測量透過溶液的光強度，判斷整體顆粒平均沉降行為。我們將光所照在有顆粒分布的地方，當電阻較大時，代表顆粒尚未開始移動，液體中懸浮著大量的粒子，使光線通過量較少。而當電阻變化較大時，說明顆粒整體運動速度也較快，顆粒開始快速地沉降。當電阻趨於穩定時，說明顆粒沉降過程達到平衡。雖然這種方法不能定量計算單顆粒子沉降的速度，但我們認為它是討論即時整體沉降行為的有效的方法。因此，我們選擇這種方法來進行這項研究。由光敏電阻所量測到的光強度變化量透過序列埠傳輸至電腦中，除了能及時地將數值顯示於監測視窗中，裝置回傳的數據也能自動的被記錄於電腦中。

Setup – Device



(3) 溶液與實驗顆粒

我們首先利用大小、密度一致的二氧化矽顆粒(直徑約為 $500\mu\text{m}$)，混合清水進行實驗。我們在試管中加入 10 克的顆粒，並加入清水直至填滿試管，最後以試管塞密封試管。

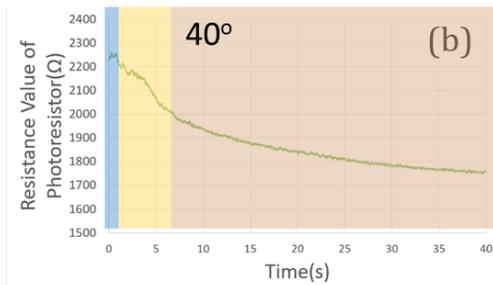
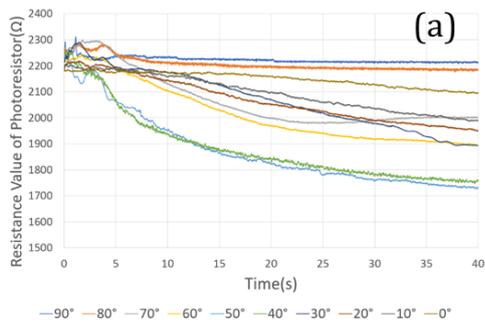
為了實驗抵制效應與監測裝置應用於產業的可行性，我們也將利用斑馬魚的糞便進行應用實驗。

4. 作品成果報告：(可透過圖表或照片說明之)

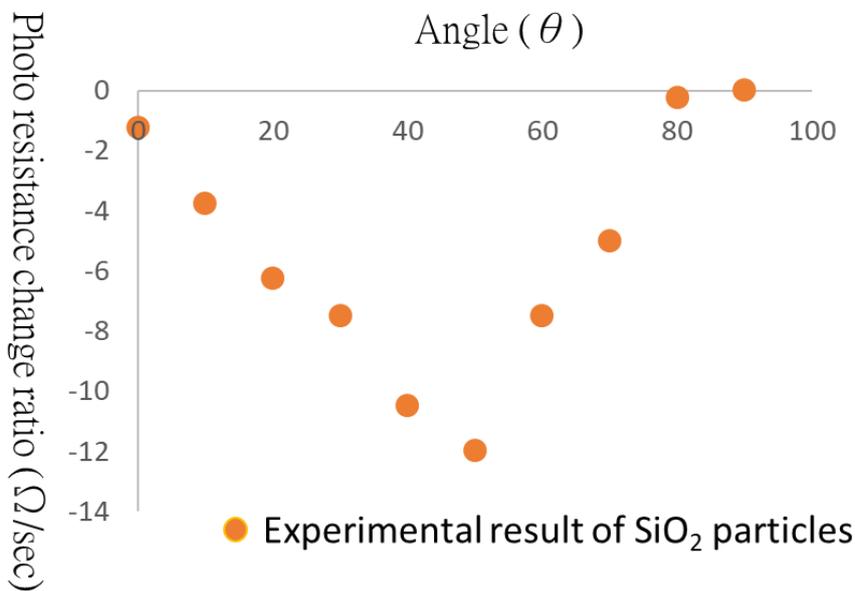
(1) 利用二氧化矽顆粒得到的抵制作用實驗結果

通過上述結合發光二極體、光敏電阻及自動化實驗設計和觀察方法，我們使用的顆粒為密度為 $2.35\text{ (g/cm}^3\text{)}$ 對於直徑為 $500\ \mu\text{m}$ 的二氧化矽顆粒。圖三為二氧化矽顆粒在不同角度下沉降時隨著時間下光敏電阻的變化關係圖。從實驗結果中我們可以看出，經過 40 秒後各個不同角度的電阻變化都趨於穩定，而當角度為 40° 和 50° 時，電阻的變化的幅度是最大的。此外，若我們將 40° 下的光敏電阻對時間的變化關係顯示於圖三(b)，我們可以看到整體的電阻變化可以分成三個階段，第一階段電阻隨著時間增加而增加，而第二階段電阻會達到最大值後便開始快速的減少，而第三階段則是電阻變化趨於平緩。

而圖三則是我們將經歷 40 秒後的電阻變化率(單位時間內的電阻變化)與不同的傾斜角作圖。我們則可以觀察到電阻變化率會隨著傾斜角度先增加，然後在 40° 和 50° 間的達到最大值。接著當傾斜角度繼續增加時，電阻變化率反而是隨著角度增加而減少。當傾斜角為 90° 時(試管平躺)，光電阻則幾乎不變化。



(a) 二氧化矽顆粒於不同傾斜角度下光敏電阻隨時間變化的結果。(b) 40° 時光敏電阻隨時間的變化的結果，可分為三個階段。



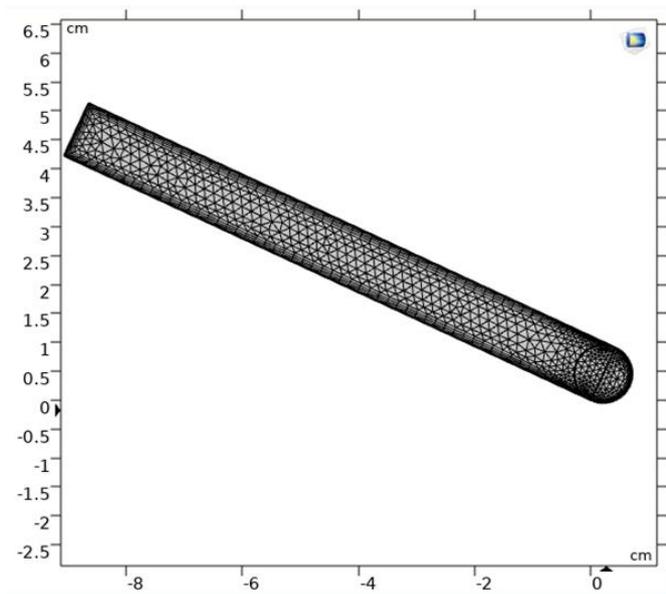
電阻變化率隨著不同的傾斜角變化的關係圖，可以觀察到在40°和 50°間的達到最大值。

(2) 利用計算流體動力學的模擬結果

我們使用 COMSOL Multiphysics 物理模擬軟體[4]中的標準計算流體動力學 (CFD)[6]對我們的實驗結果進行建模。而預計使用此模型模擬我們先做了幾個以下的假設：

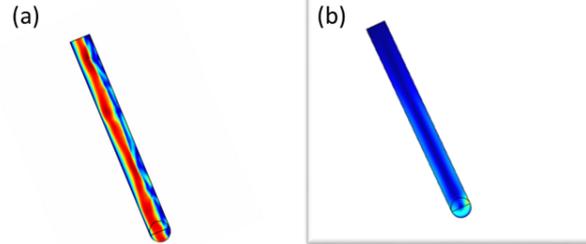
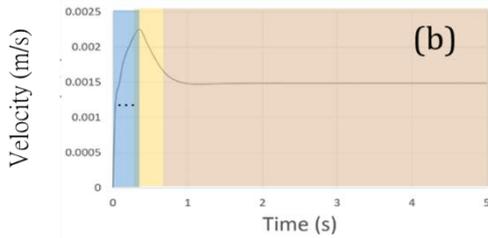
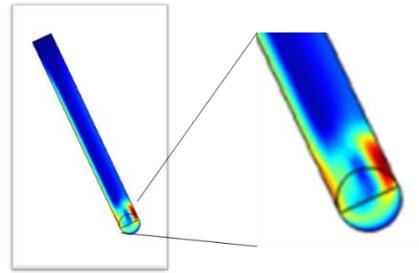
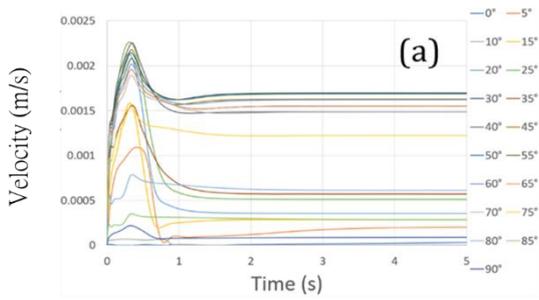
- A. 顆粒的運動不會引起湍流
- B. 顆粒為球形

- C. 顆粒為均質材料(密度均勻分布)
- D. 表面光滑
- E. 小雷諾數(<1)的情況

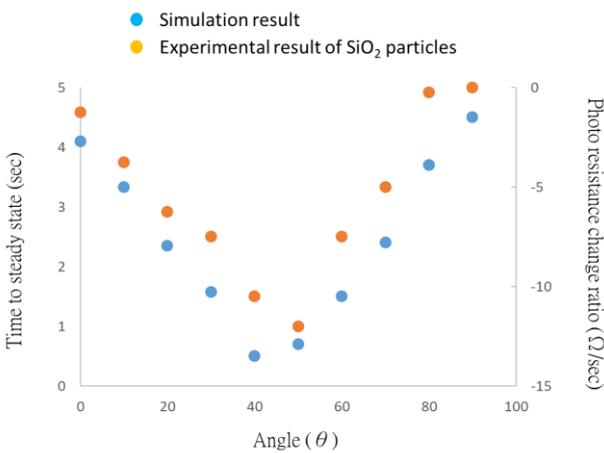


使用 COMSOL Multiphysics 軟體創構的試管網格

相較於實驗上利用光電阻隨著時間從高電阻(混濁)到低電阻(清澈)來研究沉降的過程。模擬使用的是利用速度對時間的變化來作探討。當速度發生變動時即代表沉降仍然發生中，而速度到達穩態時則表示沉降過程已經完成。因此在顆粒隨著時間變化的模擬上可以利用到達穩態的時間來表示表示完成沉降的快慢。我們在 0° 到 90° 間進行顆粒速度隨著時間變化的模擬，以了解不同角度如何影響沉降過程隨時間的變化，如圖六所示。在這些角度中，傾斜角 40° 時抵達穩態的時間最快，因此我們選擇 40° 度進行後續討論。從圖六(b)中 40° 的速度隨時間變化結果可以發現，速度變化可以分為三個階段。而這個現象與我們從實驗上二氧化矽顆粒沉降中光電阻隨時間變化的三個階段相同。此結果也顯示我們實驗上以光電阻變化來做為定性探討模擬中顆粒沉降速度變化是可行的。而模擬輸出後的動態的顆粒沉降狀態變化的動畫可以讓我們進一步從微觀上去了解整個實驗中沉降的過程。



不同角度的模擬，以了解不同角度如何影響沉降速率的變化。模擬結果中的速率變化可以分為三個階段。



不同傾斜角度下的到達穩態時間的模擬結果與光電阻變化率的實驗結果比較圖。

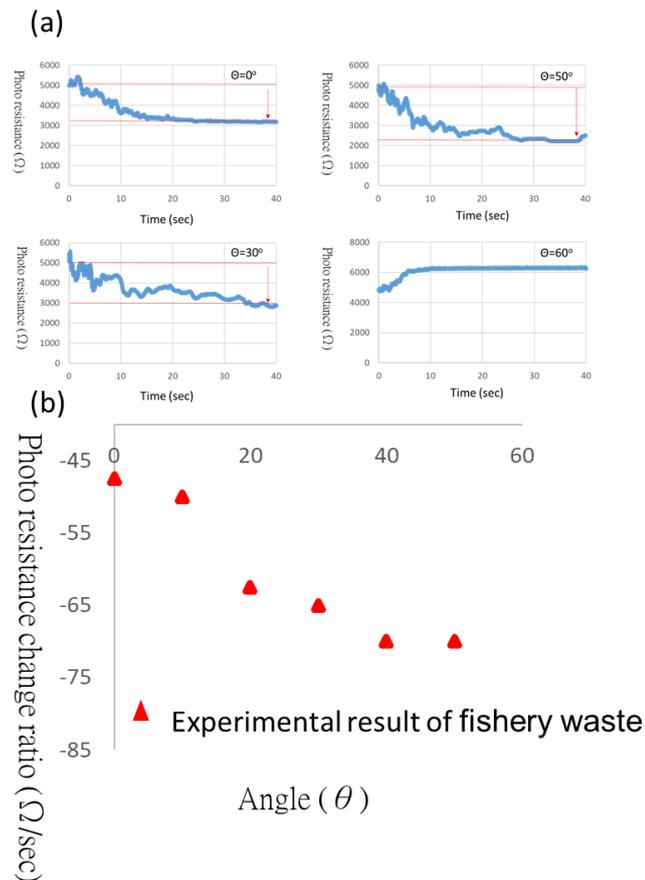
(3) 抵制效應應用魚糞沉降的實驗

為了驗證抵制效應研究結果在處理水產養殖漁業廢棄物中的可行性，我們使用斑馬魚糞便進行了應用實驗，在圖中我們可以看到班馬魚糞一開始在水中懸浮導致混濁，而經過沉降後，魚糞將有機會沉積於底部，而使上方的水重新恢復清澈，也因此我們認為利用物理沉降的抵制作用概念，將有機會加速斑馬魚糞的沉降並且將魚糞集中於底部，方便於由下方換水清理糞便來達到節省水資源的目的。



添加斑馬魚糞便於水中的實驗照片及實驗裝置。

下圖是我們使用斑馬魚糞便進行沉降的實驗結果。我們發現到其光電阻隨時間變化的曲線並不像二氧化矽顆粒那樣具有穩定的變化，我們認為這是因為魚糞相對於二氧化矽的不規則形狀造成有機會出現輕微的湍流。因此會反覆遮擋LED燈，導致電阻值不穩定，但我們計算的光電阻變化率是通過比較一開始混合時的電阻值和完全穩定時的電阻值來做計算，所以過程中數據的擾動會不影響我們的結果。從以上結果可以發現，即使斑馬魚糞便的形狀和大小很複雜，它仍然有機會發生沉降且其趨勢仍然與 SiO_2 顆粒接近而在 50° 附近出現極值。但是，我們也發現了在傾斜角大於 60° 以後，光電阻反而隨著時間上升。我們認為這是因為部分斑馬魚的排泄物密度較低，所以在高傾斜角下的沉降過程中會有更明顯的再懸浮而無法完成沉降，這會阻擋光敏電阻，然後聚集達到飽和態。因此儘管魚糞的密度與大小並不是均勻的，且密度較 SiO_2 顆粒為低。但我們仍然可以透過 Boycott effect 來加速其沉降過程。並且其沉降機制仍然可以被模擬來定性理解魚糞沉降的機制與情形。

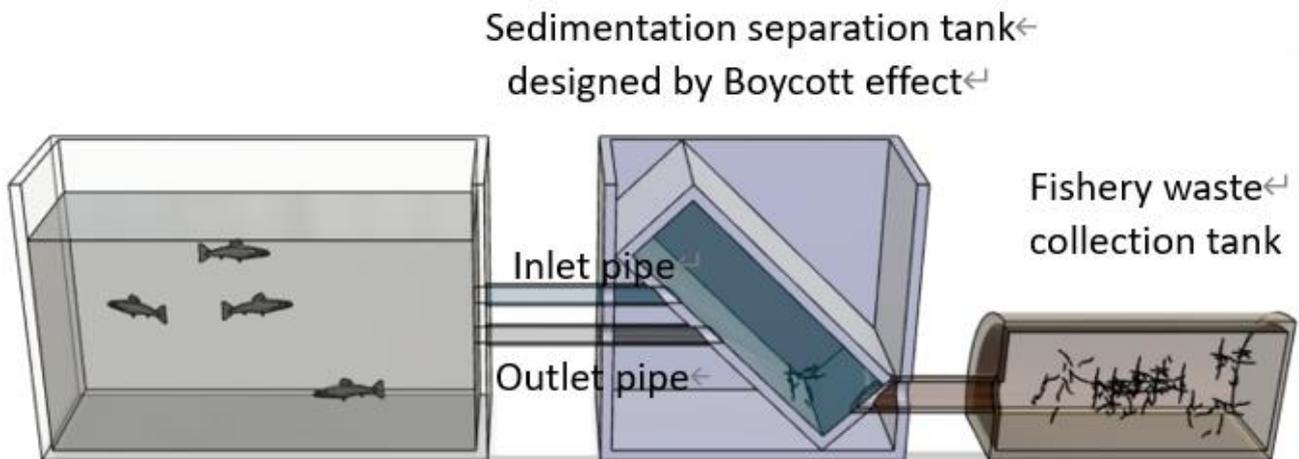


(a)斑馬魚糞於水中不同角度下沉降的實驗結果，在 50° 的傾斜角下有最大的光電阻變化，但在 60° 的時候光電阻不降反升，應為再懸浮作用而產生此現象。(b) 不同角度下光電阻變化的結果，可以觀察到在 50° 附近出現最大值，但角度再增加時，即無法產生沉降。

(4) 結論與未來應用

本研究預計以實驗及理論模擬研究顆粒在傾斜容器中沉降的抵制效應，進一步的嘗試應用研究在魚糞的沉降。我們設計了結合發光二極體、光敏電阻及自動控制的實驗模組，以透過光敏電阻變化來定性的討論顆粒沉降的群體行為並達到即時的數據擷取。我們觀察到結論當傾斜容器時，容器內二氧化矽顆粒隨時間的沉積速率會隨著傾斜角度的增加而增加，並在 40° 至 50° 之間達到極值。而當角度大於 50° 時，沉降速度將會隨著傾斜角增加而慢慢降低。而在固定傾斜角度下的二氧化矽顆粒，其沉降速度隨時間變化的過程可以分成三個階段，第一階段顆粒的沉降速度隨著時間增加而加快，接著會達到極值，之後會極劇減速而達到最終沉降速度。我們成功模擬出實驗中所呈現的趨勢。並能從微觀上去了解整個實驗中沉降從漿液分層、上下層交換到穩態的動態變化。而我們進一步的魚糞沉降實驗也顯示，在傾斜角接近 50° 時有最大的沉降速度變化，並且仍然會出現先加速後減速的現象。但超過 50° 時則會出現再懸浮的現象而使魚糞無法沉降。透過理論模擬可以定性的了解此再沉降的過程與顆粒的密度有關，顯示我們的模型仍可以運用在解釋魚糞的沉降行為上。而本研究成果將可提供以物

理上的抵制作用運用在養殖業如魚糞等污染物快速沉降及集中清理的參考，將有機會運用到低耗水的養殖場的沉澱池設計。



透過抵制效應的研究結果設計之沉澱池設計草圖

5. 參考文獻：

- [1] Samuelsen, O. B., Torsvik, V., & Ervik, A. (1992). Long-range changes in oxytetracycline concentration and bacterial resistance towards oxytetracycline in a fish farm sediment after medication. *Science of the Total Environment*, 114, 25-36.
- [2] Metwally, R. A., Soliman, S. A., Latef, A. A. H. A., & Abdelhameed, R. E. (2021). The individual and interactive role of arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma viride* on growth, protein content, amino acids fractionation, and phosphatases enzyme activities of onion plants amended with fish waste. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214, 112072.
- [3] Peacock, T., Blanchette, F., & Bush, J. W. (2005). The stratified Boycott effect. *Journal of Fluid Mechanics*, 529, 33-49.