中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　物理科

第三名

030116

逆流而上

學校名稱：臺北市立敦化國民中學

作者：	指導老師：
國二 葉暘	劉睿荷

關鍵詞：計算流體力學(CFD)、雷諾數

摘要

若將物體放在容器中，從上方開啟水流，物體不會下沉，反而迅速上浮！我對此感到好奇，便展開了研究。

我首先實際操作實驗，發現物體受力越大，上升速度越快；流體雷諾數越大，物體上升速度也越快。再以「COMSOL Multiphysics」模擬研究，獲得此現象之詳細資料，發現此現象有許多不同的流動模式，也得到和實體實驗等價的結果。

此現象可應用於農作物揀選與清洗之機械，揀選精細度達到一公克以下，有極高的應用價值。

壹、研究動機

我在洗蛋時，發現一個奇怪的現象：將蛋放在一個裝滿水的瓶子中，再將水龍頭打開，蛋竟然沒有待在瓶底，反而逆著水流快速往上移動！這個違反常理的現象使我感到好奇，便展開了研究。

貳、研究目的

一、利用實驗、分析和程式模擬等方法，探討此現象與不同變因之關係。

(一) 水流流量。

(二) 水流位置。

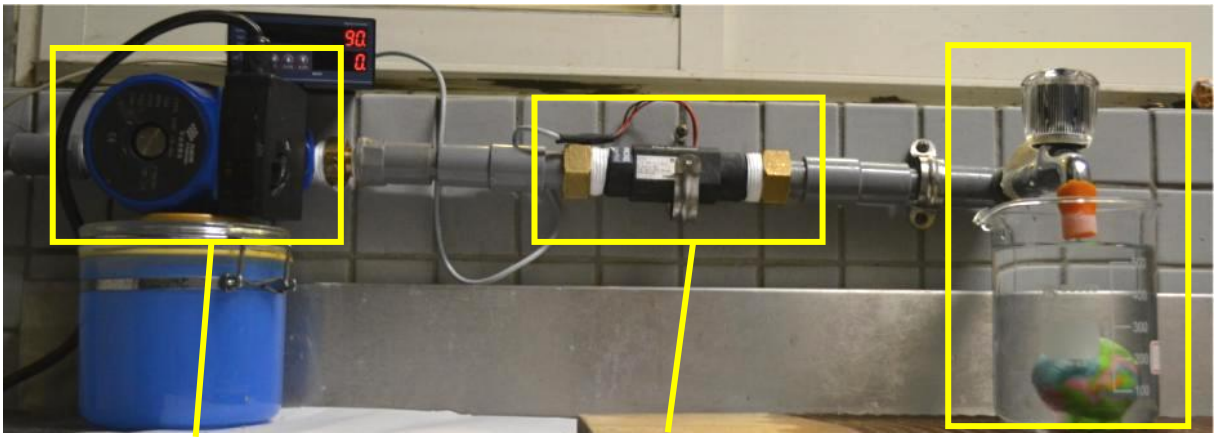
(三) 水流截面積。

(四) 容器尺寸。

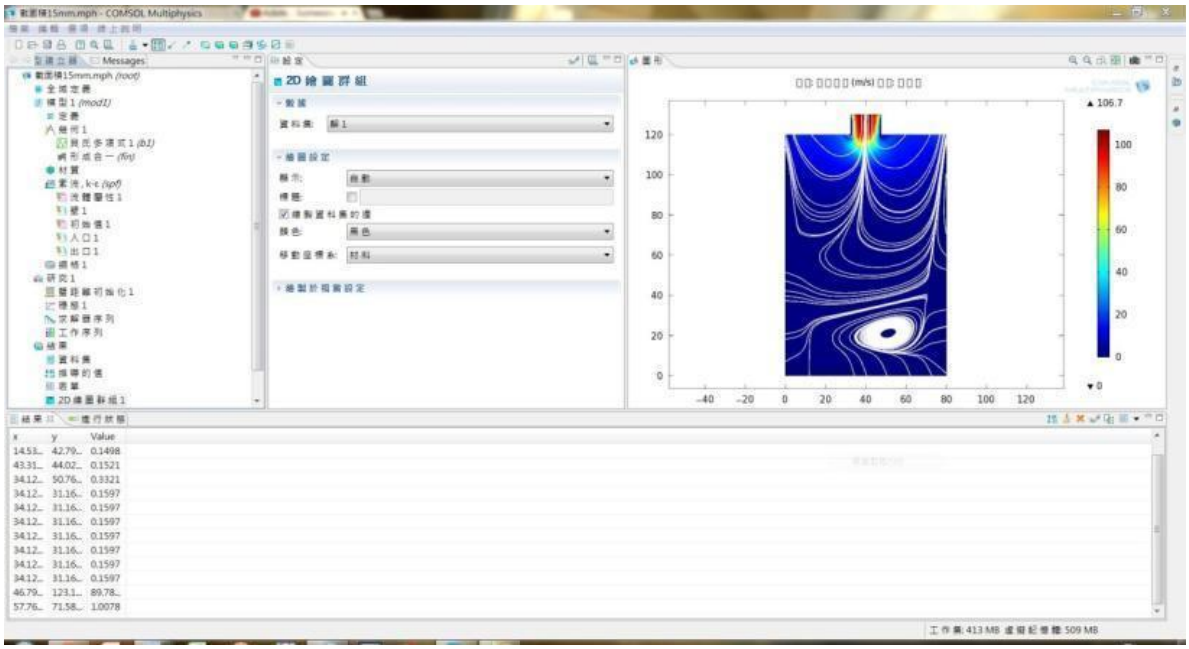
(五) 容器形狀。

二、了解此現象之原因並尋找應用。

參、研究設備



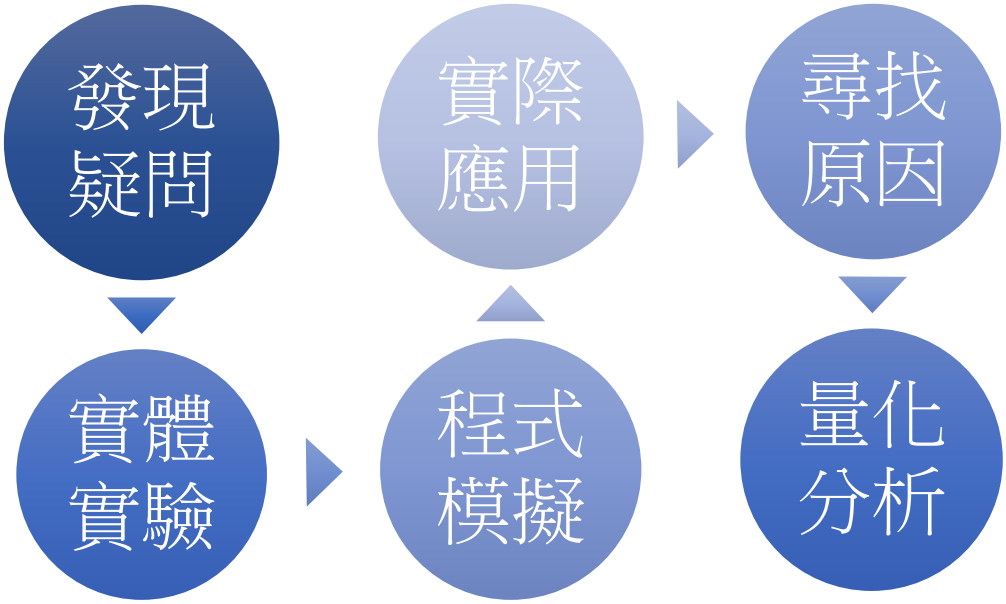
加壓泵浦　　水流速計　　實驗區域



使用 COMSOL Multiphysics 模擬實驗環境，可精確模擬水流流速與流向等數據

肆、研究過程和方法

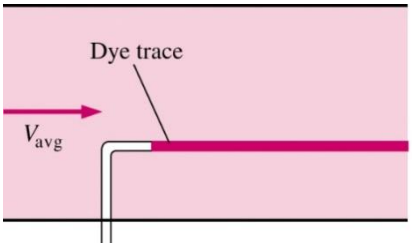
一、研究流程



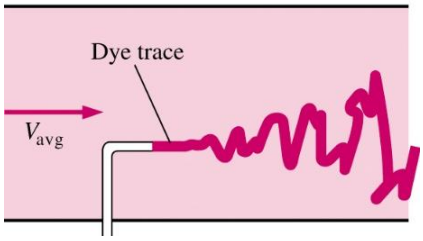
二、名詞解釋與文獻探討

(一) 雷諾數 = $\frac{\text{密度×特徵速度×特徵長度}}{\text{黏滯係數}} = \frac{\textbf{慣性力}}{\textbf{黏滯力}}$

雷諾數較小時，黏滯力對流場的影響較大，流體的擾動較少，流體流動穩定，稱為**層流**；若雷諾數較大時，慣性力對流場的影響較大，流體流動較不穩定，稱為紊流。



層流



紊流

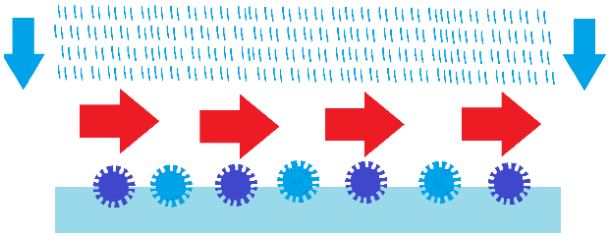
(二) 揀選精確度 = $\frac{|\alpha-\beta|}{total} \times 100\%$

〔 α.β 為不同物體被沖出容器外的數目，$total$為物體總數。 〕

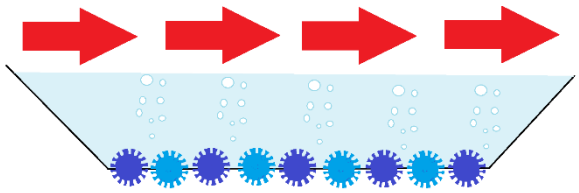
此數字越大，表示兩種不同物體被揀選的數目相差最大，揀選度越佳。此數字越小，則揀選度越差。

(三) 現有之農作物清洗設備

1. 淋浴式—以滾筒刷和淋浴式的水柱清洗。
2. 浸泡式—在水槽中以滾筒刷和超音波氣泡清洗。



淋浴式農作物清洗設備



浸泡式農作物清洗設備

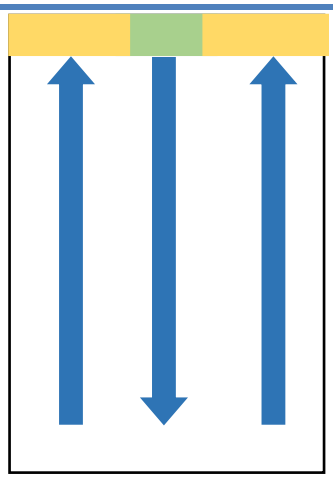
三、控制變因與參數設定

(一) 實體實驗

水流流速	20L/min
容器入口	20mm之圓柱體，傾斜角 0°
容器形狀	120 × 80mm之圓柱體，傾斜角 0°
趨勢線	線性計算

(二) Comsol 軟體參數設定

模組	流體-高雷諾數紊流模組
容器	120×80mm 之矩形
入口	20mm
出口	30mm×2(左右)
流體	25℃的水
流速	0.3m/s
邊界	無滑動方程式
網格	非結構性四邊形演算法
離散比例	預設



(三) 實際應用—串珠種類與質量

種類	重量(g)
綠色	0.038
黑色	0.05
白色	0.09
墨綠色	0.12
黃色	0.36

(四) 雷諾數參數設定

密度	25℃純水的密度
特徵速度	平均流速(由 COMSOL 模擬取得)
特徵長度	容器深度 × 容器寬度 × 水流截面積
流體動黏滯係數	25℃的純水的動黏滯係數

四、研究方法

(一) 實體實驗

1. 將黏土球固定於容器中並打開水流。
2. 實驗進行五次並取其平均值，錄影並計算物體從開始上升到觸頂之時間與運動軌跡。

(二) 程式模擬

使用 COMSOL multiphysics 4.0 軟體模擬。以「流體力學模組」組件，設定幾何(容器形狀)、材質(流體種類)、流體(流速與流體出入口)和網格(電腦計算之精確度)即可取得模擬結果。

(三) 實際應用

1. 串珠實驗

(1) 將不同質量的串珠放入容器中並打開水流。

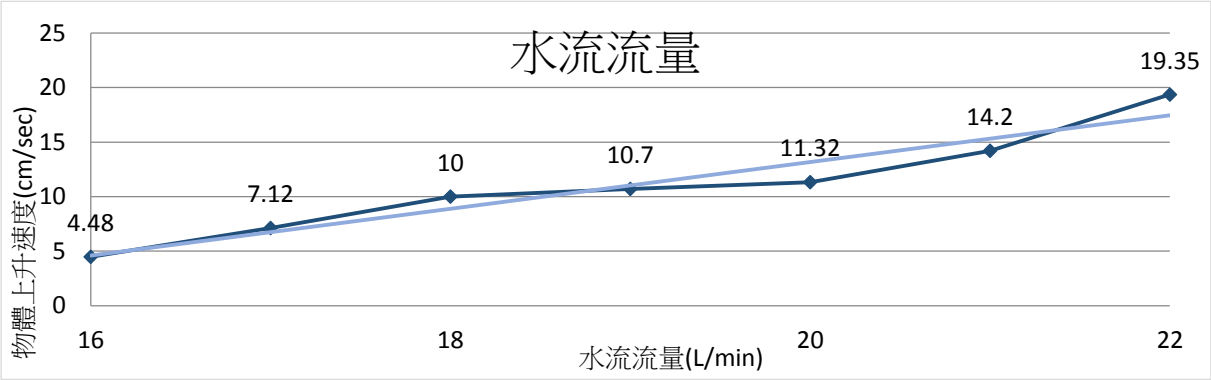
(2) 實驗進行五次，錄影並計算固定時間內兩種不同物體被沖出容器外的數目。

2. 紅豆實驗
   (1) 將 100 顆紅豆放入容器中並打開水流。
   (2) 以 1min 為間格調整水流流速，並隨之收集被沖出容器外的紅豆數目，分別秤重，取其平均質量。
   (3) 實驗進行五次並錄影。

伍、研究結果

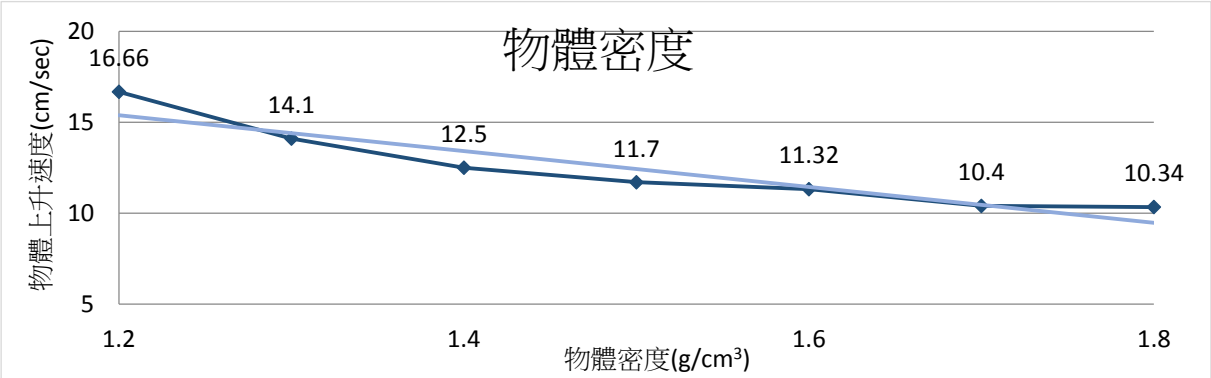
一、實體實驗

(一) 水流流量



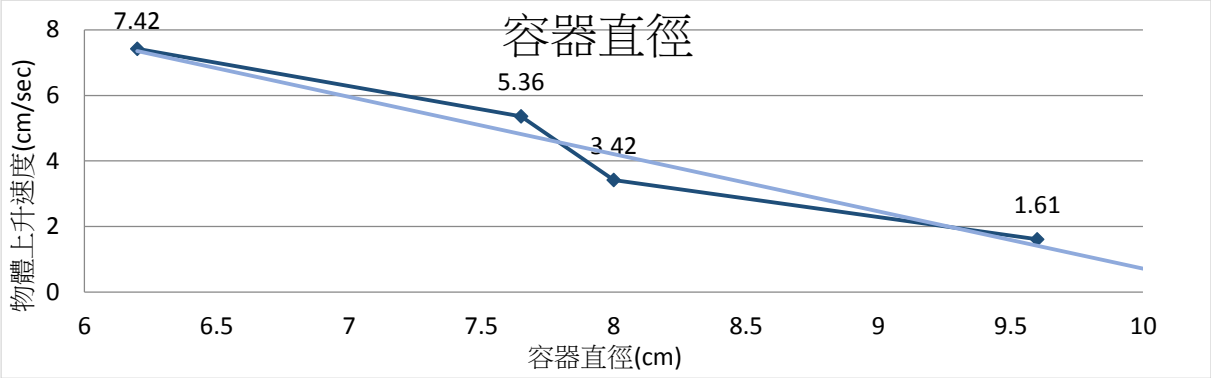
1. 水流流量越大，物體上升速度越快。
2. 當水流流量<16 L/min 時，物體便無法上升。
3. 水流流量越大，物體上升速度之最大差距越大。(見附錄一)

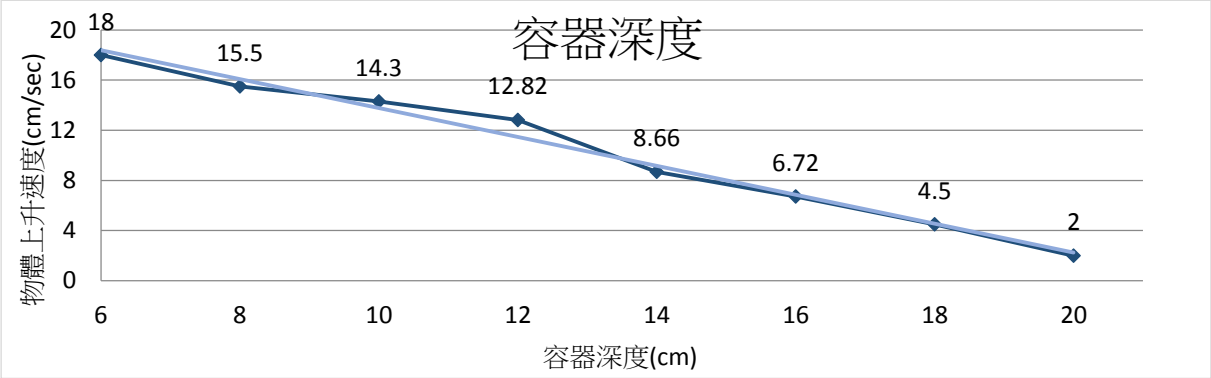
(二) 物體密度



1. 物體密度越大，上升速度越慢。
2. 當物體密度>1.8g/cm^3 時，物體便無法上升。
3. 物體密度越大，上升速度之最大差距越小。(見附錄一)
4. 原因為在體積不變之前提下，物體密度越大，質量越大，慣性越不易被改變，以致上升速度較慢。

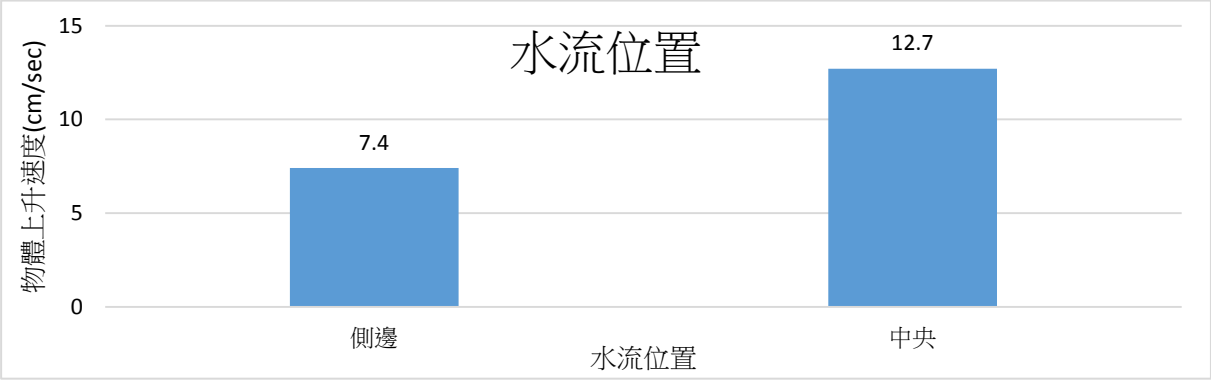
(三) 容器尺寸





1. 總結兩項實驗，容器尺寸越大，物體上升速度越慢。
2. 容器尺寸越大，物體上升速度之最大差距越小。(見附錄一)
3. 原因為容器尺寸越小，水流動能越集中，物體受力越集中，上升速度便越快。

(四) 水流位置

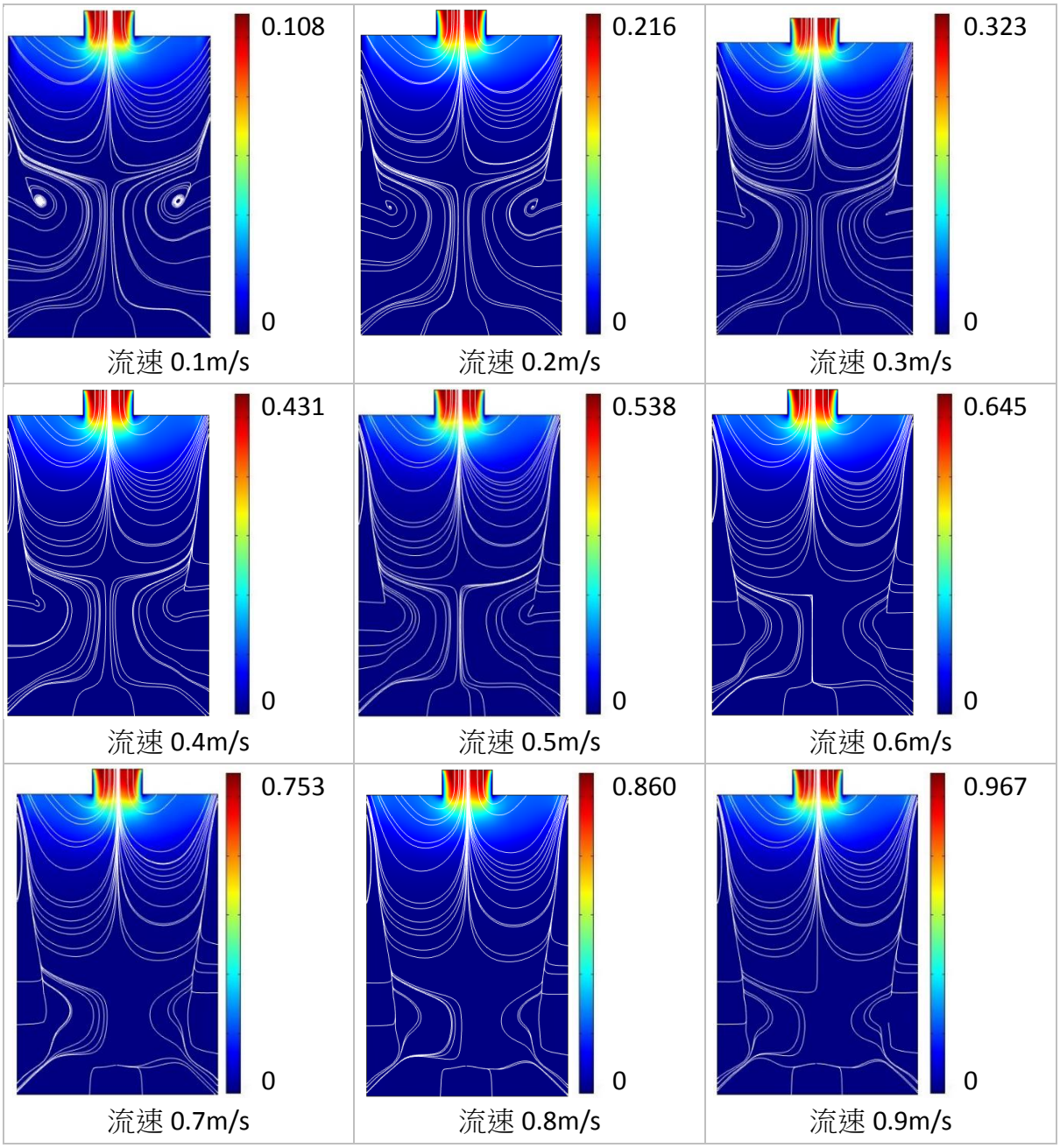


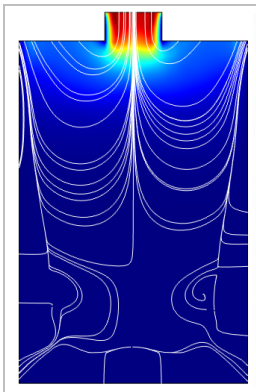
水流位置位於中央者，物體上升速度較快；位於側邊者則較慢。(原因探討見討論)

二、程式模擬

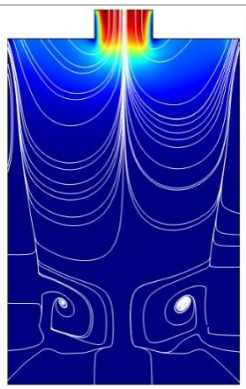
模擬旁的長條狀圖為水流流速色彩對照表(單位 m/s)，最大值與最小值記於對照表右側。

(一) 水流流速

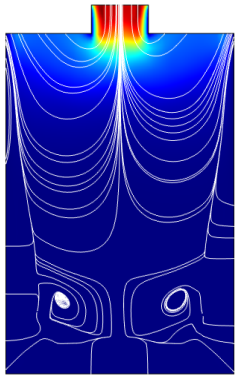




流速 1m/s



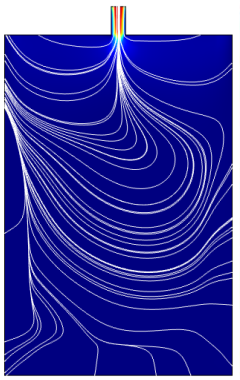
流速 10m/s



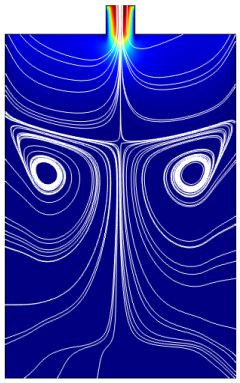
流速 50m/s

水流初速度越快，平均流速越快。

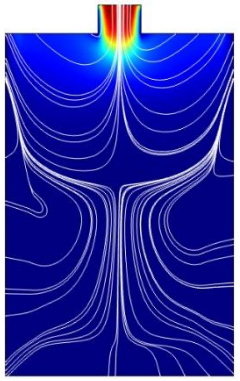
(二) 水流截面積



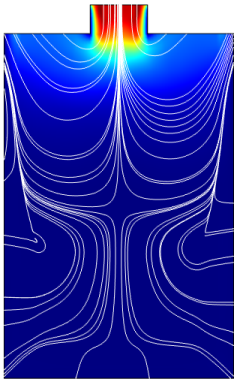
水流截面積 5mm



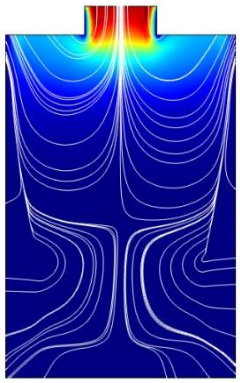
水流截面積 10mm



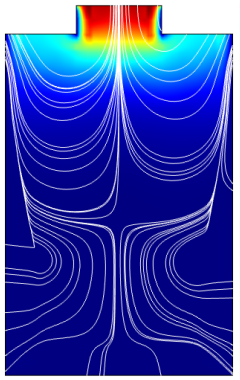
水流截面積 15mm



水流截面積 20mm



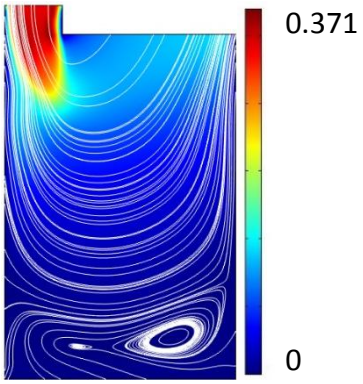
水流截面積 25mm



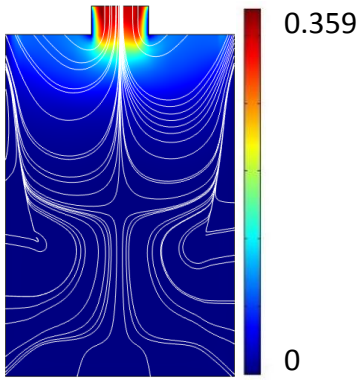
水流截面積 30mm

1. 水流截面積越大，平均流速越快。
2. 原因為水流截面積越大，水流流量越大，水流平均速度越快。

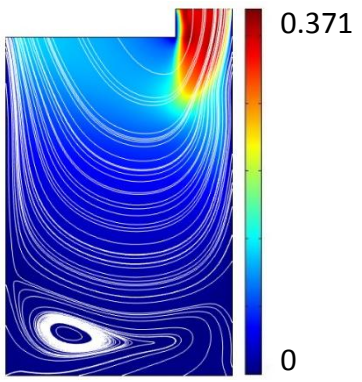
(三) 水流位置



水流位於左側



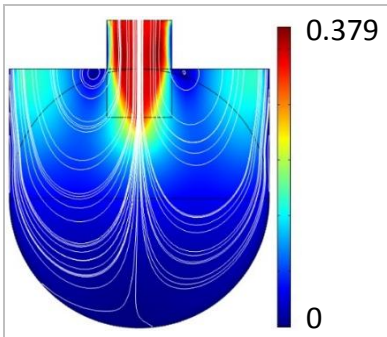
水流位於中央



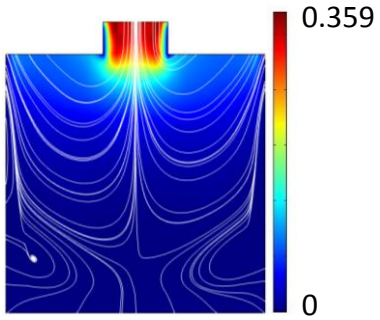
水流位於右側

水流位於兩側者，平均流速較快。(原因探討見討論)

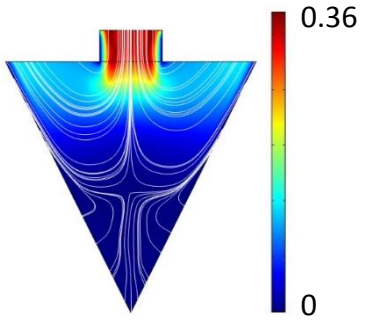
(四) 容器形狀



半圓形容器



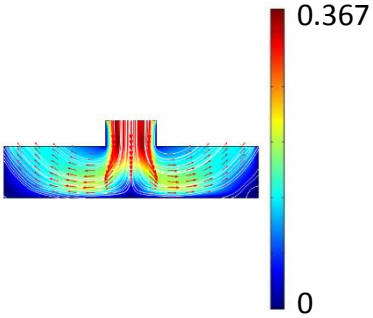
正方形容器



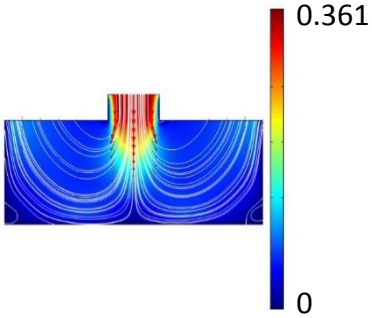
三角形容器

1. 半圓形容器水流平均速度最快，正方形容器最慢。
2. 原因為容器內壁表面積越小，與水流之磨擦力也越小，使水流平均速度越快。

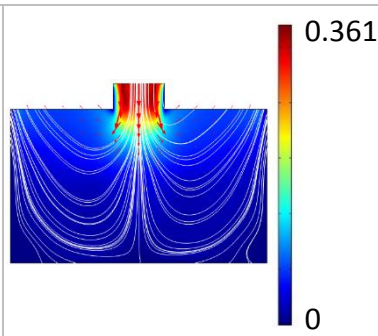
(五) 容器深度



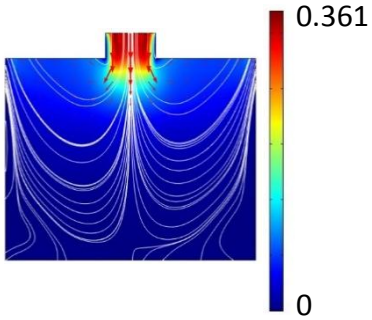
容器深度 20mm



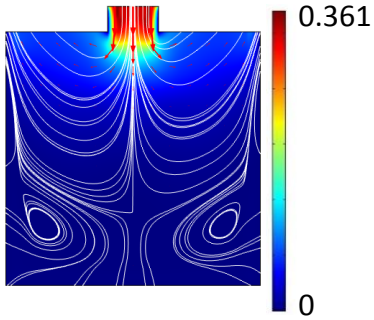
容器深度 40mm



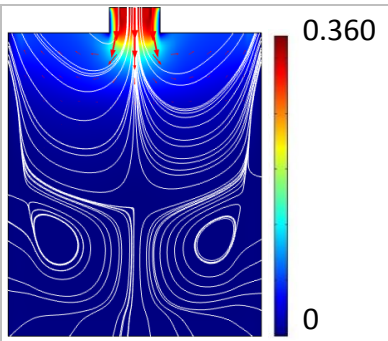
容器深度 60mm



容器深度 80mm

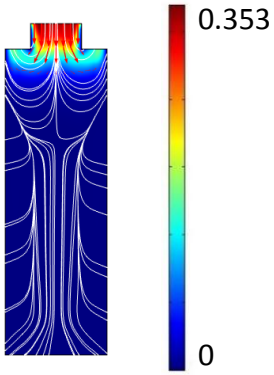


容器深度 100mm

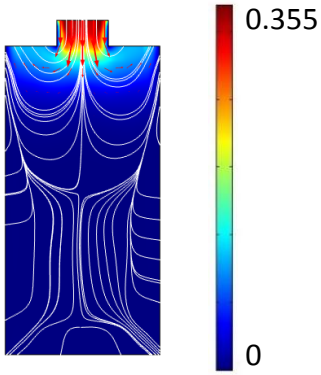


容器深度 120mm

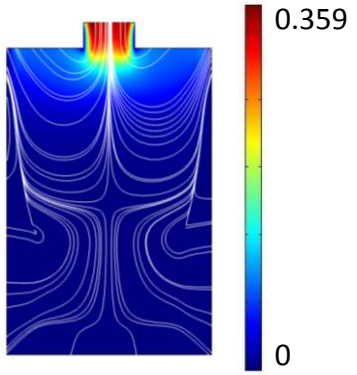
(六) 容器寬度



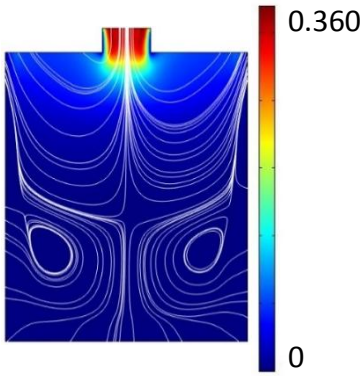
容器寬度 40mm



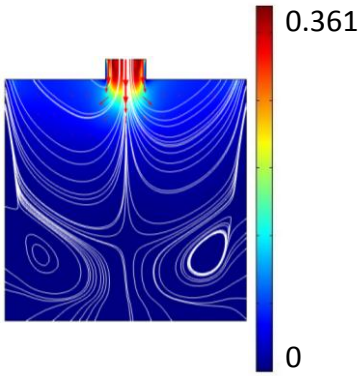
容器寬度 60mm



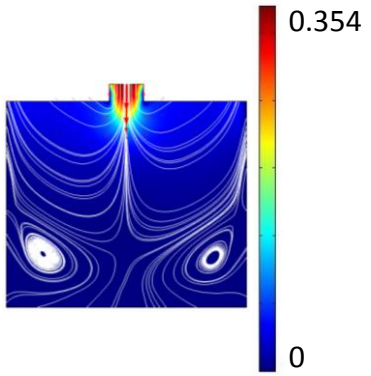
容器寬度 80mm



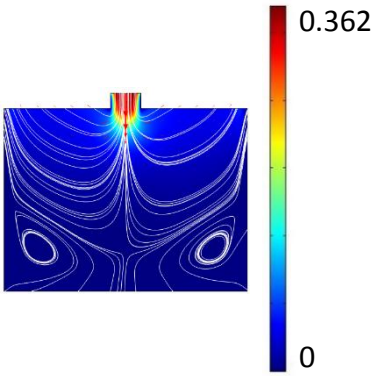
容器寬度 100mm



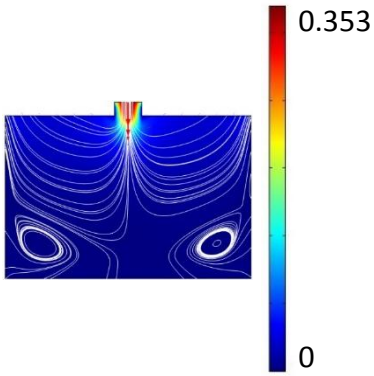
容器寬度 120mm



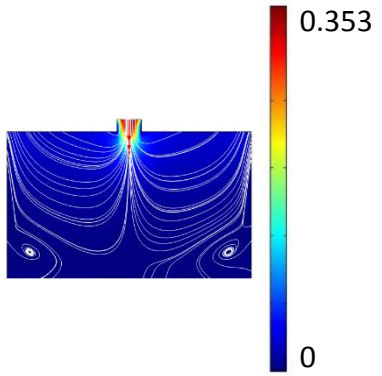
容器寬度 140mm



容器寬度 160mm



容器寬度 180mm

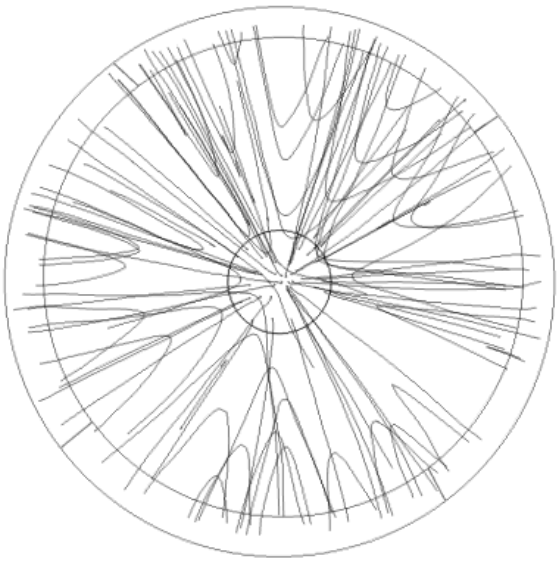


容器寬度 200mm

〔綜合(五)、(六)之結果發現〕

1. 容器尺寸越大，水流平均速度越慢。
2. 原因為容器尺寸越大，水流之動量越分散，導致水流平均速度越慢。

(七) 3D 模擬



3D 模擬俯視圖

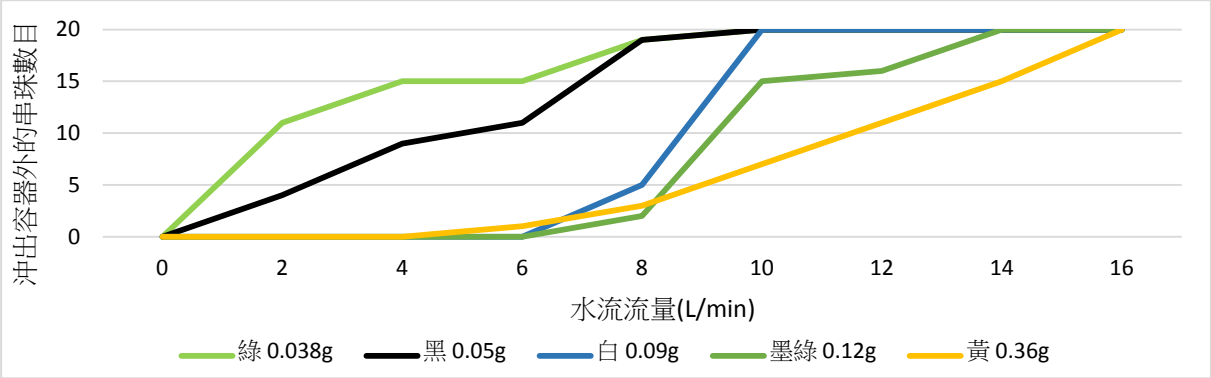
3D 模擬側視圖

3D 模擬結果與 2D 模擬結果幾乎相同。

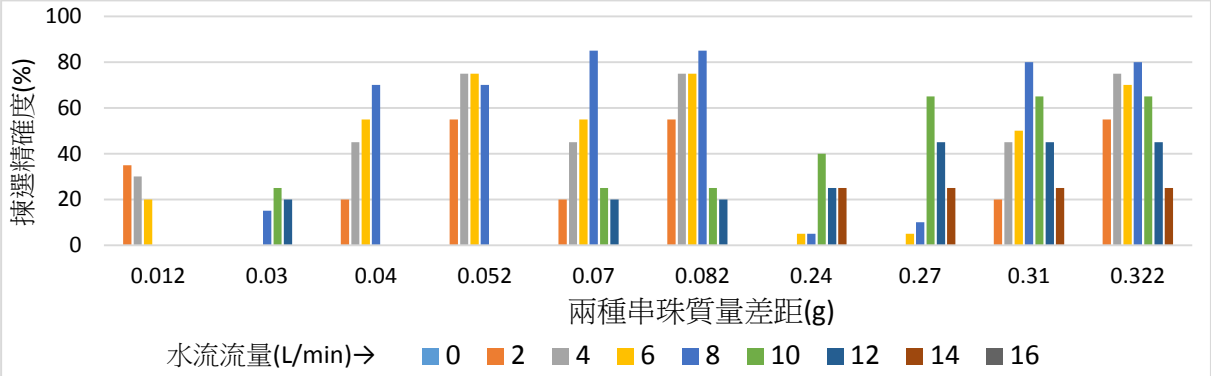
三、實際應用

研究發現調控變因可控制物體是否上浮，本研究認為此現象可做為實際應用，同時清洗並揀選不同品級的農作物，節省勞力和時間。

(一) 串珠實驗

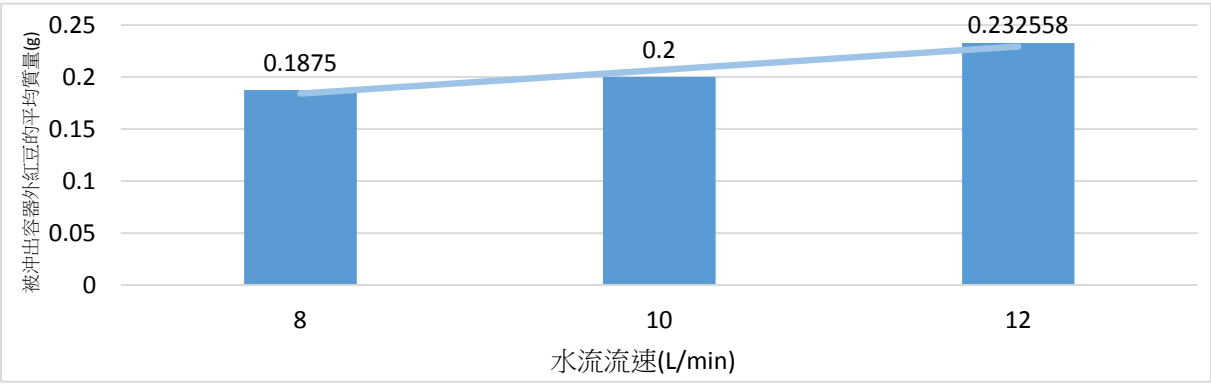


任兩種不同種類串珠配對後的揀選精確度：



結果發現質量相差 0.322g、0.31g、0.082g、0.07g 的串珠組合中，其揀選精確度皆達到 80%以上，可作為實際應用。

(二) 紅豆實驗



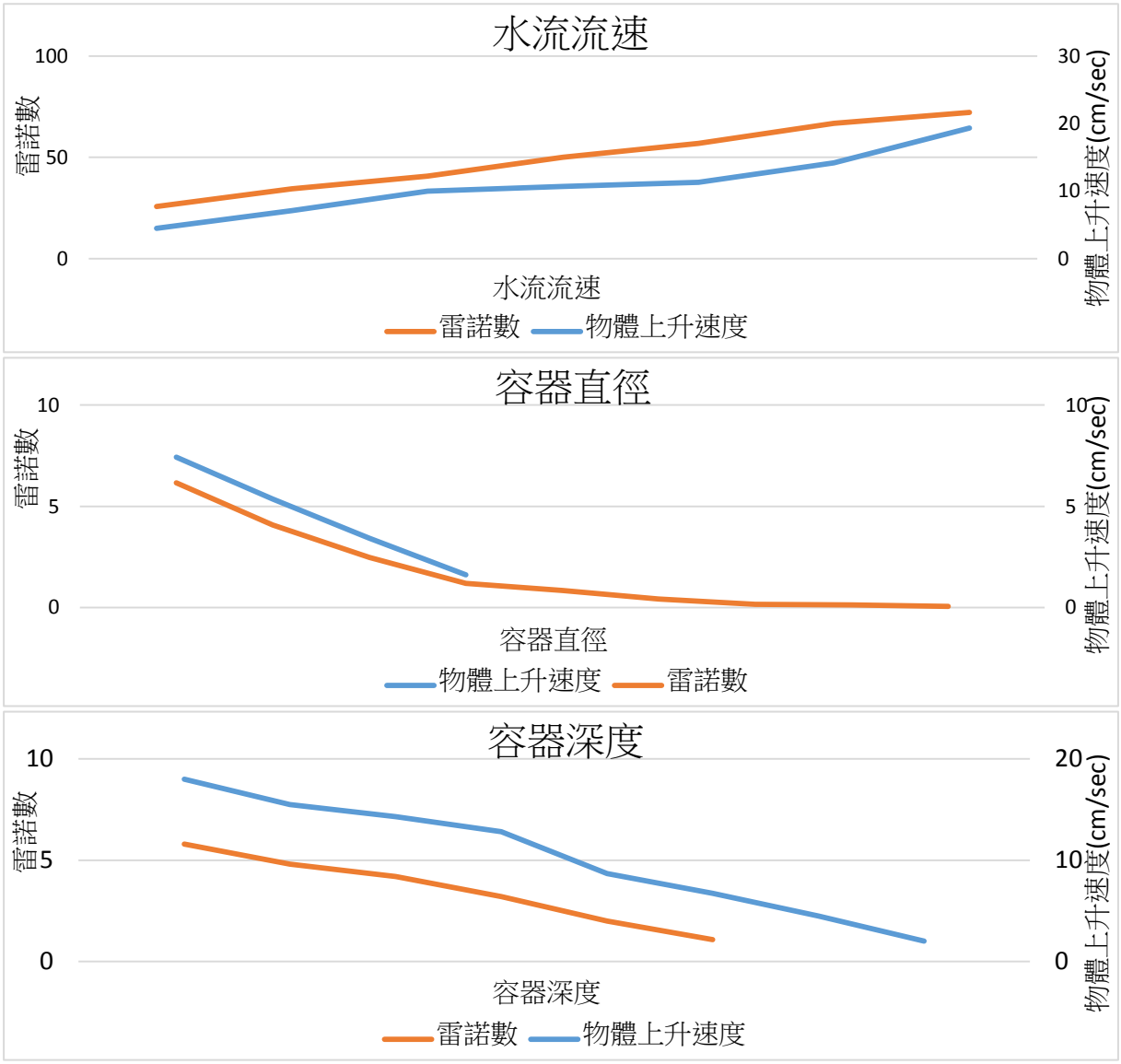
1. 發現水流流速越大，被揀選物體之平均質量越大。
2. 發現水流流速越大，被揀選物體的質量差距越大。

陸、討論

一、以雷諾數分析數據

(一) 以物體上升速度和雷諾數分析數據

將物體上升速度(取自實體實驗)和水流雷諾數(取自程式模擬)互相比較，發現**水流雷諾數越大，物體上升速度越快**。



(二) 以流體動量和水流雷諾數分析數據

無法實際操作實驗的變因(如：水流截面積、容器形狀)，發現**水流雷諾數越大，流體動量越大，使物體受力越大，上升速度越快**。

由(一)、(二)歸納發現，**水流雷諾數越大，物體上升速度越快。**

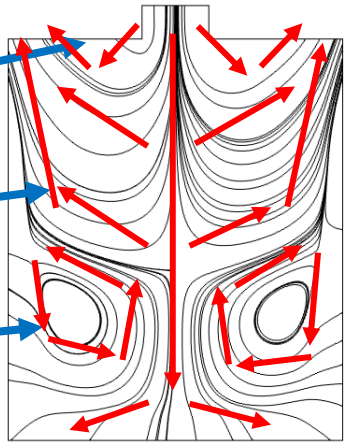
二、逆流而上現象的成因？

水流自上方沖下

於上方形成小型漩渦

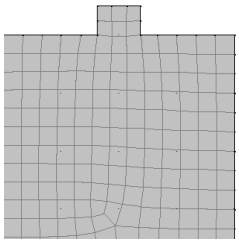
水流之穿透力
隨流動距離減弱
到達臨界點後
便開始迴轉

並於容器下層形成漩渦

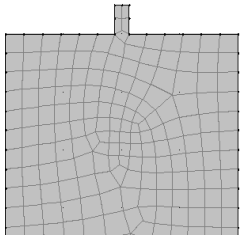


三、為何有些模擬結果不對稱？

流體力學模擬軟體是先為每個網格節點求解，再將其「類比」至所有區域，以節省運算時間。**若網格節點不對稱，容器各個區域的計算精確度不同，結果就不對稱**。若要增加模擬結果的對稱性，可以增加網格的精確度，或改以其他演算法生成網格。



對稱性較高的網格

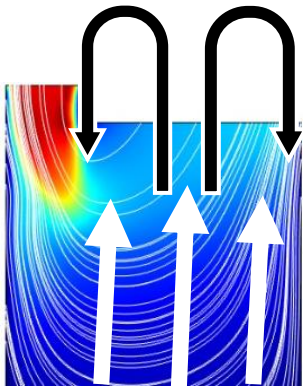


對稱性較低的網格

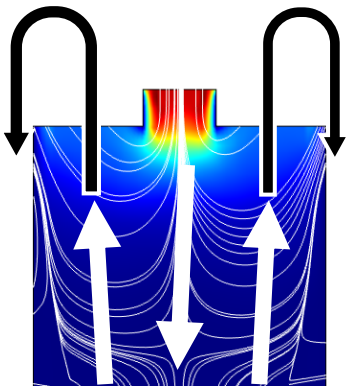
四、實體實驗與程式模擬結果完全相同嗎？

大致相同。唯一的差異出現於「水流位置」模擬中。在實體實驗中，水流位置位於中央者上升速度較快，在模擬中卻呈現相反的結果。**原因是模擬中沒有重力(G)參數，無法考慮水流回流造成的阻力**，使模擬結果和實驗出現差異。

水流位置位於容器側邊時，容器中央之水流無法直接流出容器外，只能流回容器中。回流的結果導致其抵銷下方上升之水流，以致水流流速降低，物體上升速度較慢。



水流位於左側



水流位於中央

五、本研究設計之農作物揀選與清洗應用與現有設備有實際應用價值嗎？

本研究設計之農作物揀選設備可分變 0.1 克以下之球形物體，而依據台灣農業委員會工不知水果品級標準，不同品及重量差距皆大於 30 克 (見附錄二)，可見若將本研究設計之設備應用於農作物挑選可為綽綽有餘。

六、農作物揀選應用之詳細配套措施：

柒、結論

一、實體實驗與程式模擬

(一) 此現象之流動模式屬於紊流。

(二) 水流雷諾數越大，物體上升速度越快。

(三) 實體實驗和程式模擬之結果幾乎相同。

二、實際應用

(一) 以此現象揀選(屬於沉體的)農作物是可行的，我設計出的裝置可分辨質量差距小於 0.1 公克的球形物體，遠高於農作物揀選之標準。在揀選之外，還能同時清洗農作物，可謂一舉兩得！

三、未來展望

(一) 精確量化農作物清洗與揀選設備與現有設備的效率比較。

(二) 嘗試撰寫可描述此現象的方程式。

捌、參考資料

一、書籍

(一) Jearl Walker(2009)。物理馬戲團-1。台北市，天下出版。

(二) 小峯龍男(民 102)。流體力學。新北市：瑞昇。

(三) 武居弘昌(民 101)。世界第一簡單流體力學。新北市：世茂。

(四) 蔡豐欽(民 97)。流體力學概論(5 版)。新北市：新文京。

二、網頁

(一) 多功能氣泡式與超音波蔬果清洗機(無日期)。行政院農業委員會，取自：http://flora.coa.gov.tw/view.php?id=217

(二) 建立國產水果品質分級在提昇產業競爭之運用。陳世芳，取自：http://tdares.coa.gov.tw/files/web_articles_files/tdares/2415/245.pdf

(三) 認識國產優良品牌水果認證制度。行政院農業委員會台中區農業改良場，取自：http://tdares.coa.gov.tw/view.php?catid=1791

玖、附錄

一、實體實驗數據(單位 cm/sec)

水流流量							
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	最大差距
16cm/sec	4	4.7	4.5	5.2	4	4.48	1.2
17cm/sec	6.5	7.1	8	7	7	7.12	1.5
18cm/sec	11.5	7	10.7	12	8.8	10	5
19cm/sec	8.2	13.7	12	7.5	12.1	10.7	6.2
20cm/sec	10.4	14.6	7.8	13.7	10.1	11.32	6.8
21cm/sec	16.7	12.4	15.9	10.8	15.2	14.2	5.9
22cm/sec	22	16.5	14.7	20.4	23.1	19.35	8.4

物體密度							
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	最大差距
1.2g/cm^3	12.9	15	20.3	18.1	17	16.66	7.4
1.3g/cm^3	16.5	13.3	13.9	16.9	10	14.1	6.9
1.4g/cm^3	11.4	15.8	10.2	14.2	10.9	12.5	5.6
1.5g/cm^3	12.4	9.6	14	10.5	12	11.7	4.4
1.6g/cm^3	14.2	11.9	8.2	12.5	9.8	11.32	6
1.7g/cm^3	12.5	10	8.3	9.6	11.6	10.4	4.2
1.8g/cm^3	11.5	9.4	8.1	10.9	11.8	10.34	3.7

容器直徑							
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	最大差距
6.7 cm	6.5	8.1	9.3	7.2	6	7.42	3.3
7.8 cm	5.2	3.7	4.9	6.4	6.6	5.36	2.9
8 cm	3.1	2.1	4.7	3.4	3.8	3.422	2.6
9.65 cm	2.3	1	0.4	2.7	1.65	1.61	2.3

容器深度							
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	最大差距
6 cm	22.9	16.2	17.1	20	13.8	19	9.1
8 cm	15.3	14.1	21	13.6	13.5	15.5	7.5
10 cm	17.2	14.8	15.1	10.5	13.9	14.3	6.7
12 cm	13.5	10.9	16.1	11.2	12.4	12.82	5.2
14 cm	10.5	6.9	6.4	12	7.5	8.66	5.6
16 cm	8	6.4	5.4	5.5	8.3	6.72	2.9
18 cm	6.3	5.1	4.2	3.5	3.4	4.5	2.9
20 cm	1	2.5	1.7	1.9	2.9	2	1.9

水流位置							
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值	最大差距
側邊	10	7.2	6.9	7.1	5.8	7.4	4.2
中央	16.4	17.2	11	8.4	10.5	12.7	8.8

二、水果品級分選表

二十世紀梨				
3A	**4A**	**5A**	**6A**	**7A**
80-115 g	116-153 g	154-190 g	191-228 g	229-265 g
8A	**9A**	**10A**	**11A**	**12A**
266-303 g	304-340 g	341-378 g	379-415 g	416-450 g

甜柿		
M	**L**	**2L**
300 g 以上	400 g 以上	500 g 以上

葡萄柚		
C	**B**	**A**
320 g 以上	360 g 以上	400 g 以上

番石榴	
中果	大果
300-400 g	400-500 g

【評語】030116

1. 十分完整的專題研究，可實用於粒子的分類，是流體力學的實際應用。建議應著重於實驗成果的分析。模擬系統僅輔助即可。

2. 如何進行實作與模擬關係之配合，將是一個很好的挑戰。

3. 作者具有獨立研究的熱忱與學習方法，值得鼓勵。