

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

(鄉土)教材獎

080122

「看我的吸星大法」－運用虹吸鐘於發電之探討

學校名稱：嘉義縣太保市太保國民小學

作者： 小六 王姿尹 小六 賴涵蓉	指導老師： 黃柏鴻 李麗妘
-------------------------	---------------------

關鍵詞：虹吸現象、虹吸鐘、發電

## 一、摘要

虹吸鐘裝置常被運用於魚菜共生系統中，本研究將它結合發電模組，發展新型態小型水力發電的雛形，以下是本研究主要的發現：(1)虹吸鐘裝置之循環可概分為注水、排氣、虹吸及注氣四個階段。(2)適當的注水速度、略大的虹吸鐘與虹吸管的間隙以及方向垂直的2公分內徑虹吸管較易產生穩定的虹吸現象。(3)加裝注氣管能有效解決注氣階段無法停止的問題。(4)空氣室高度愈高、虹吸裝置高度愈低、虹吸管愈長可增強虹吸階段現象排水沖力。(5)使用5片扇葉以及適度彎曲的水輪有利提升發電效益。(6)使用虹吸鐘產生虹吸現象，可推動較大發電設備，提升發電成效，最後我們建議可以運用虹吸鐘發電於如下圖之降雨或小溝渠等小水源之情境中，增加能源取得方式的多樣性。

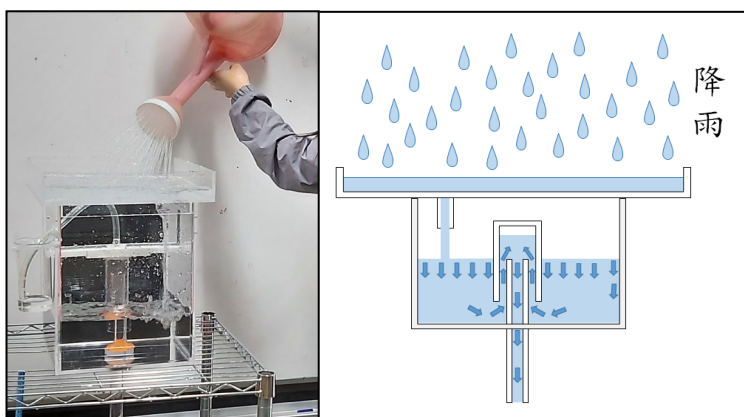


圖 1-1 用澆水器模擬降雨，同樣可以觸發虹吸鐘運轉，並推動發電模組

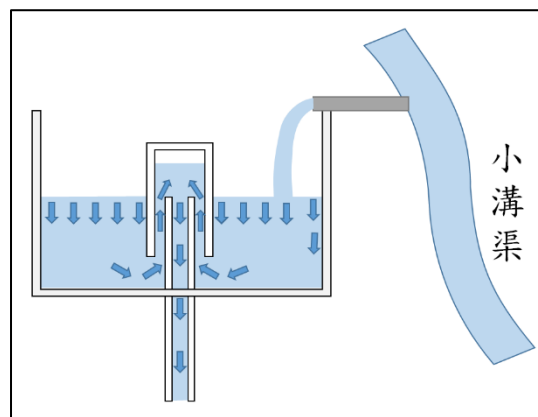


圖 1-2 可就近取得小溝渠水源，便能方便讓虹吸鐘

## 二、研究動機

在一次上課中，老師與我們討論到魚菜共生的運作方式，看到一些網路的影片是利用虹吸鐘來產生虹吸現象，有效的抽出原本養殖槽中的水，再重新注入有養份的水，在觀看影片時，我們感覺到排出的水勢相當猛烈，但是影片拍攝者也提到虹吸鐘若沒有設置好，可能會失敗，所以我們想要來一窺虹吸鐘的奧秘，找出較佳的配置狀態。另外，目前乾淨能源議題相當受到重視，我們想進一步利用虹吸鐘所產生的強勁水流來推動發電機，從原本無法被利用的小水流中獲取出可觀的能量，讓虹吸現象有不同的應用。

### 三、文獻探討

在本研究的探討過程中，涉及一些物理相關的概念，為了能更正確的針對實驗結果進行討論，我們需先進行相關概念的探討，包含了虹吸現象及虹吸鐘、大氣壓力以及發電等三個主題，以下分段敘述。

#### (一) 虹吸現象及虹吸鐘

虹吸現象(siphon)屬於一種流體力學，一般是使用一條倒U形的管子(一般稱為虹吸管)，藉著兩端的液體之重量差距所產生的液壓差距，讓處於相對高處的水體可以越過最高點，往另一端流動，如此可以達成不使用泵浦將水向上抽到另一個位置之目的，其大致架構如圖 3-1。

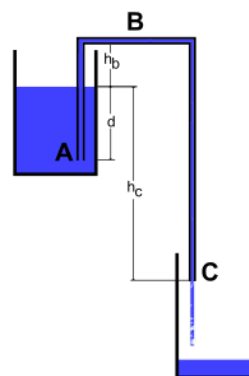


圖 3-1 虹吸現象簡介[4]



圖 3-2 市售虹吸鐘[5]

而虹吸現象所使用的器材並不侷限於虹吸管，例如常被使用在現在相當熱門的魚菜共生殖床中的虹吸鐘(如圖 3-2)，則是另一種形式的虹吸裝置，不僅具有抽水的功能，也更具備整齊美觀的優點，本研究即是利用虹吸鐘來呈現虹吸現象[1]。

#### (二) 大氣壓力

地球被大氣層所包圍，而此大氣層受到地心引力吸引而具有重量，壓在地面上形成我們俗稱的大氣壓力。在地表上，不同的地區之大氣壓力雖有不同但是差異不大，若使用水銀柱來測量，如著名的托里切利實驗(如圖 3-3)，大氣壓力能將水銀在一個真空管中向上推升 76 公分，套用大氣壓力公式如下

$$p = h \cdot d = 76 \text{ cm} \times 13.6 \text{ g/cm}^3 = 1033.6 \text{ gw/cm}^2$$

換言之，若我們用水來測量，一大氣壓力可將水推升至 1033.6 cm，在本研究中，我們便是利用水管中的水柱高度來判斷虹吸鐘內的氣壓改變情形[2]。

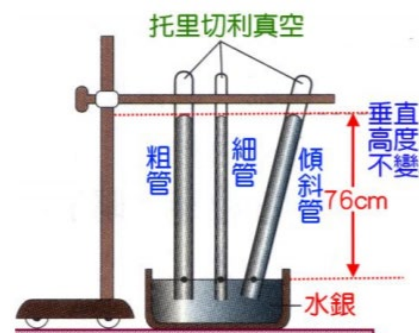


圖 3-3 虹吸現象簡介[6]

#### (三) 發電

我們俗稱的馬達，是將電能轉換成機械能，又稱為電動機；相反的，我們可以使用發電機來將機械能轉化成電能，而電動機與發電機只是概念相反及結構相似的裝置，因此我們可以在一些自然實驗中，利用不同形式的力來轉動小馬達，將動能轉換成電能[3]。

我們可以將一個充當發電機的小馬達視為一顆小電池，因此，在本研究中為了能在強大的水流中獲取最多的能量，我們將串聯多顆小馬達，以達到發電電壓提升的目的，若將這些小馬達並聯，則可以獲得發電電流提升的效果。

## 四、研究目的

本研究的目的有二項，其一是我們想要了解虹吸鐘的科學原理，以便我們可以進行改良，使虹吸鐘能更強力的排水，以及更穩定的進行虹吸現象循環。其二是我們想要運用虹吸鐘於發電，需設計出有效的發電模組，提升發電的效益。我們在進行完文獻探討的資料蒐集後，大致獲得虹吸現象及發電的相關知識，並形成欲探討的問題。

## 五、研究項目

接著我們將本研究分為二個主要項目，共計十項子實驗，條列如下：

項目一：虹吸裝置之狀態對虹吸現象的影響

實驗 1：虹吸管的粗細對於虹吸現象的影響

實驗 2：進水速度對於虹吸現象的影響

實驗 3：虹吸管與虹吸鐘的間隙對於虹吸現象的影響

實驗 4：注氣管終止注氣階段實驗

實驗 5：虹吸鐘空氣室高度對於虹吸現象的影響

實驗 6：虹吸裝置高度對於虹吸現象循環的影響

實驗 7：虹吸管長度對於虹吸現象循環的影響

項目二：發電模組之狀態對發電效能的影響

實驗 8：水輪扇葉的彎度對於發電效能的影響

實驗 9：水輪扇葉的數量對於發電效能的影響

實驗 10：馬達數量對於水輪機盒取得能量的影響

## 六、研究設備及器材

下表羅列出本研究的器材主體，以及使用的材料與工具

表 6-1 實驗設備所需工具及材料

器材名稱	種類	項目
實驗架	材料	鍍鉻架
	工具	手持鋸、鐵鎚
虹吸水箱、 虹吸裝置、 儲水箱	材料	壓克力水箱(商家已組裝)、水塔套筒、PVC 水管套件、束線繩、塑膠收納箱、馬達、壓克力板、壓克力管、油土、長尾夾、熱熔膠、空牛奶瓶、塑膠管、L 型鐵架、螺絲、捲尺
	工具	圓穴鋸、圓盤鋸、熱熔膠槍、螺絲起子
發電模組	材料	壓克力板、鐵棒、塑膠螺帽、小馬達、電線、三用電錶、強力磁鐵、杜邦線、麵包板
	工具	雷射切割機、Illustrator CC2018、鐵鎚、虎口鉗

## 七、研究過程及方法

### (一) 研究流程

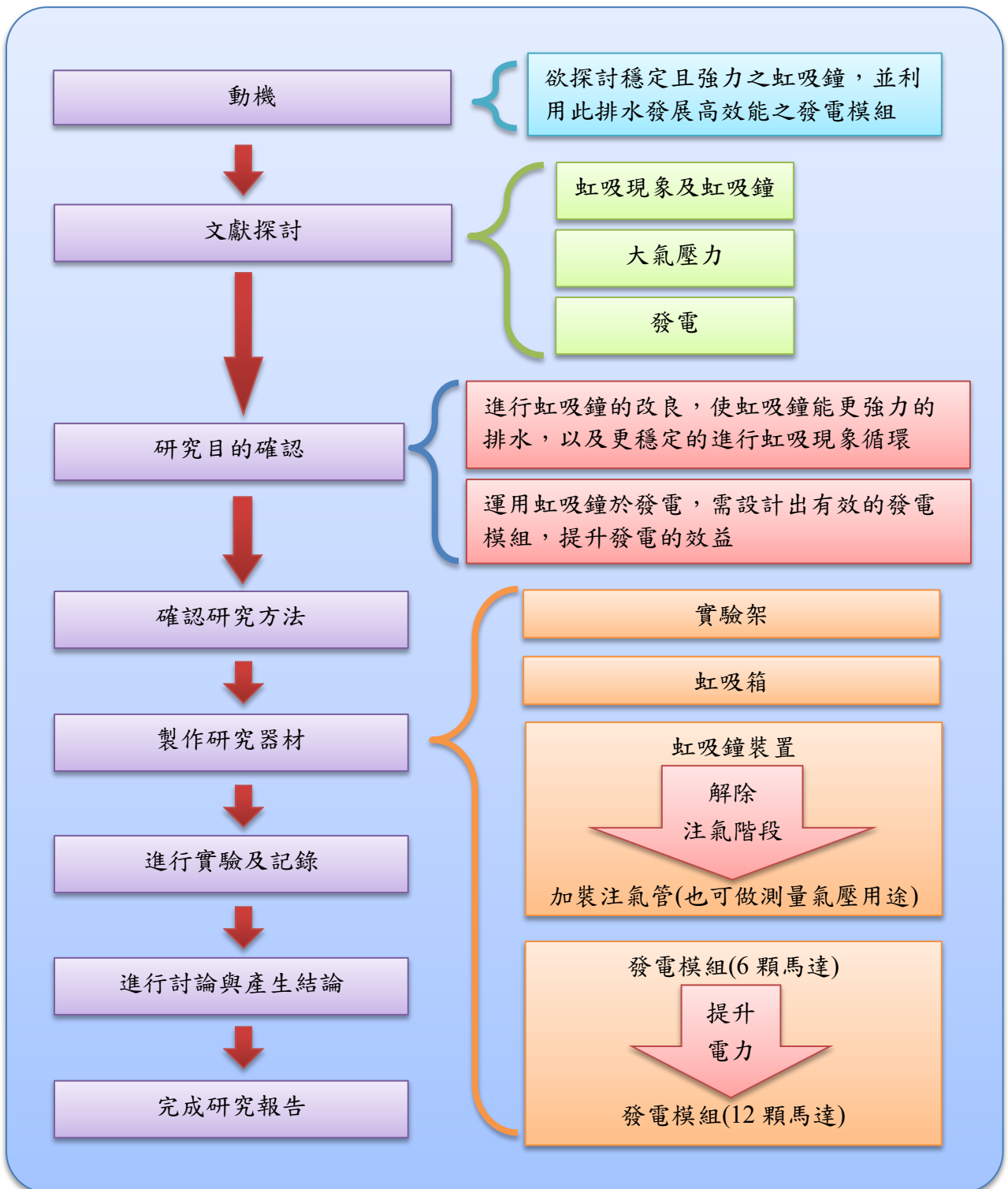


圖 7-1 研究流程圖

(二) 研究設計

研究的主要實驗設備有 4 項，分別為實驗架、虹吸箱、虹吸裝置及發電模組等，如圖 7-2 為各項器材的放置方式，以下詳述製作過程；另外，為了更清楚的說明各項實驗變項之意涵，我們於圖 7-3 中進行詳細標示。

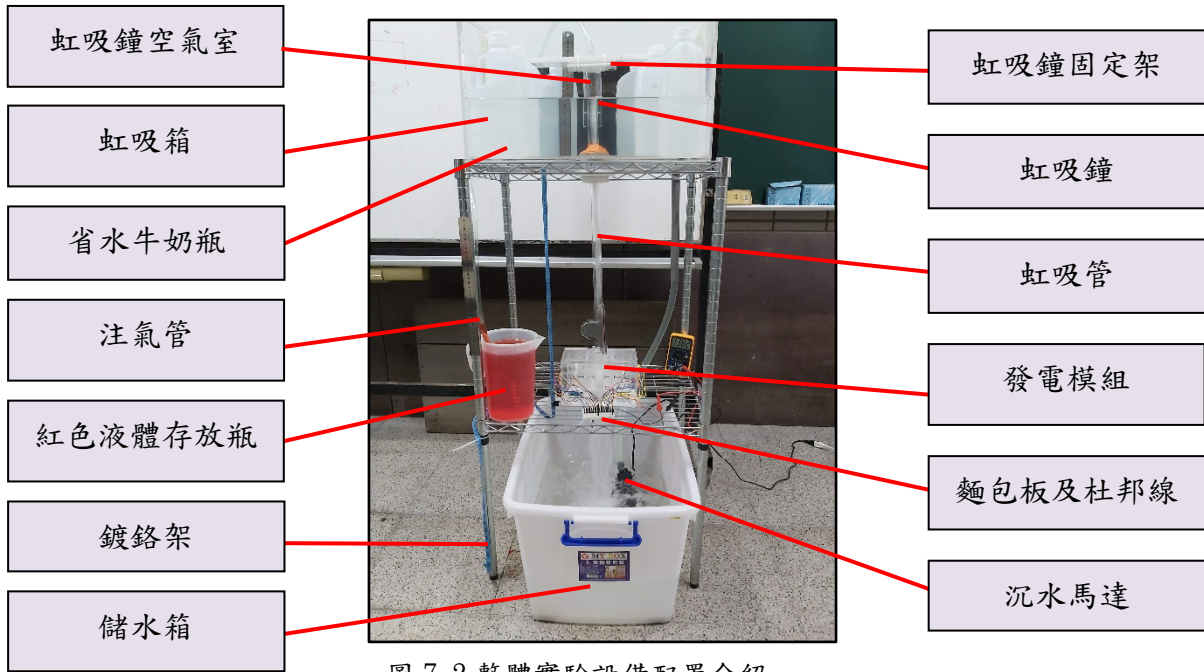


圖 7-2 整體實驗設備配置介紹

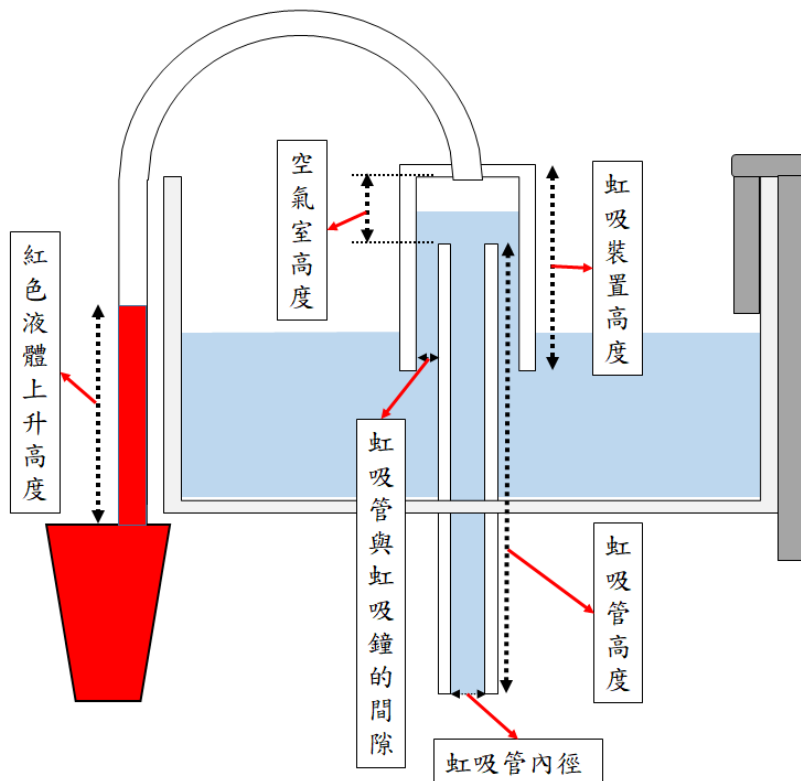


圖 7-3 各變項之意涵介紹

1. 實驗架：為了能固定擺放

虹吸箱實驗器材、發電模組以及

儲水箱等實驗器材，並能穩定測量實驗結果，我們使用鍍鉻架製作一個符合需求的實驗架，分成上下二層，製作方法如下。

- (1) 我們先確定實驗器材尺寸，然後購買適當的鍍鉻架。
- (2) 接著在鍍鉻棒適當高度放置塑膠環，以便固定鍍鉻架。
- (3) 使用鐵鎚敲擊鍍鉻架，讓鍍鉻架穩固的固定在適當高度。

2. 虹吸箱：虹吸箱的功用是放置虹吸裝置，以便呈現虹吸現象，以下為虹吸箱製作步驟。

- (1) 我們初步確認虹吸箱的尺寸長寬高為 52 公分、45 公分、30 公分，為了避免縫隙漏水，我們請廠商協助裁切與黏合(如圖 7-4)。
- (2) 接著我們在箱子底部裁出一個圓孔，以安裝水塔套筒(如圖 7-5)，方便我們固定虹吸管。
- (3) 最後我們使用 PVC 水管，外接透明水管至下方儲水槽之沉水馬達，讓水可以由儲水槽抽至上方的虹吸箱中(如圖 7-6)。



圖 7-4 廠商協助製作的虹吸箱



圖 7-5 在虹吸箱底的圓孔上安裝水塔套筒



圖 7-6 用束線繩固定 PVC 水管於箱壁上

3. 虹吸裝置：完成虹吸箱後，我們接著要製作內部的虹吸裝置，步驟如下。

- (1) 我們先利用壓克力板製作固定架，以便固定虹吸鐘及確認虹吸管的高度(圖 7-7)。
- (2) 接下來，我們使用熱熔膠將實驗用的虹吸鐘黏在一片壓克力板上，再用長尾夾固定於固定架上，方便我們快速更換不同尺寸的虹吸鐘及虹吸管(圖 7-8)，以及調整虹吸鐘的位置。
- (3) 最後，我們拿取適量的油土，搓成長條狀，繞著虹吸管，再將虹吸管穿入虹吸鐘內，並固定到水塔套筒上，緊壓油土(圖 7-9)，避免水從縫隙中流下。



圖 7-7 使用螺絲固定虹吸鐘支架



圖 7-8 不同尺寸的虹吸管



圖 7-9 緊壓油土，防止漏水

4. 發電模組：為了能讓虹吸裝置發揮功用，我們設計一套有效又簡單的發電模組，藉由虹吸



水流的巨大沖擊，轉動水輪扇葉，讓多顆馬達同時轉動(原設計可容納 6 顆，後來擴充至 12 顆)，我們使用麵包板及杜邦線，依需求將這些馬達進行串聯。

- (1) 我們先草擬發電模組的外觀與適當的尺寸，其中需包含有水輪室以及左右齒輪室，共三大分隔空間，並且中間隔板具備方便取下與防水之功能。
- (2) 接著，我們請廠商協助裁切出所需的壓克力板，然後，我們在板子上裁出鐵棒的孔洞以及固定馬達的切口，最後再使用氣仿將所有板子進行黏合(圖 7-10)。
- (3) 完成整體結構後，我們利用 Illustrator CC2018 軟體(圖 7-11)，繪製實驗變因所需之不同扇葉角度及扇葉數量之水輪，以及鐵軸上的大齒輪(30 齒)與馬達上的小齒輪(20 齒)。
- (4) 我們將所有小馬達固定至壓克力板的切口中，並將適當長度的鐵棒套上大齒輪，以及在馬達套上小齒輪，然後將鐵棒放入箱中，確保大齒輪與小齒輪能順暢連動。
- (5) 最後，我們依實驗需求，使用麵包板及杜邦線將所有的馬達依實驗需求串聯在一起，並連接至三用電表(圖 7-12)，以便測量輸出的電壓或電流之大小。



圖 7-10 著手黏合壓克力板

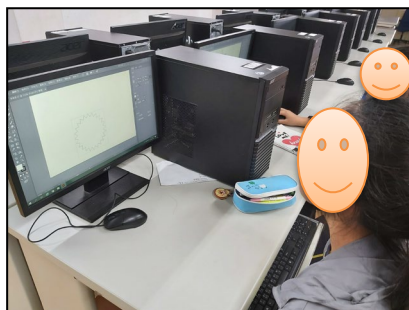


圖 7-11 繪製實驗所需的齒輪

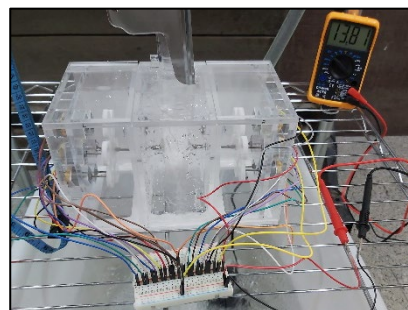


圖 7-12 使用麵包板來串聯馬達

(三)實驗方法：為了清楚的探討我們設計的虹吸鐘發電模組之效能，讓實驗結果更加正確，我們需在實驗前進行一系列的檢查(扣除該實驗之操作變因)，以及妥善的實驗流程。

1. 實驗前檢查：我們所要進行的檢查項目共計八項，等同於是實驗的控制變因。

- (1)虹吸管長度及高度維持一致(圖 7-13)。
- (2)虹吸鐘與虹吸管的間隙維持一致。
- (3)虹吸鐘空氣室高度維持一致。
- (4)馬達抽水速度維持一致。
- (5)虹吸箱內省水水瓶數量維持一致。
- (6)虹吸鐘及虹吸管垂直向下(圖 7-14)。
- (7)發電模組之齒輪維持轉動順暢(圖 7-15)。
- (8)發電模組之水輪狀態維持一致。



圖 7-13 虹吸管長度及高度維持一致



圖 7-14 虹吸鐘與虹吸管的垂直維持垂直

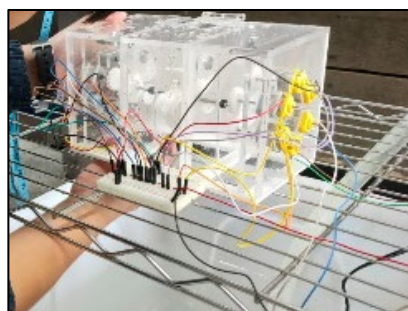


圖 7-15 確認齒輪運轉順暢

2. 實驗流程：不同的實驗項目之實驗流程會略有不同，以下為大致的實驗流程。

- (1)依據實驗項目選擇所需的虹吸鐘及虹吸管，並妥善固定。
- (2)將虹吸管包上油土，固定在水塔套筒上，並調整好高度以及保持垂直。
- (3)將虹吸鐘固定在固定架上，並由上而下套在虹吸管外，然後調整好高度以及與虹吸管保持方向平行。
- (4)將發電模組內的水輪以及馬達放置妥當，確認能順暢運轉。
- (5)將發電模組放置在虹吸管下方，使出水口正對水輪受力的部位。
- (6)開啟儲水槽中的沉水馬達開關，開始將水注入虹吸箱中。
- (7)將攝影機對準虹吸裝置或發電模組，進行實驗記錄，至少涵蓋 5 個虹吸循環。
- (8)將 5 次實驗數據進行平均，做為確認之結果。

## 八、研究結果及討論

以下針對各實驗的方法進行說明，並討論其實驗結果

### (一)實驗 1：虹吸管的粗細對於虹吸現象的影響

我們對於虹吸管能產生多大的水流相當好奇，因此決定先進行虹吸管粗細的實驗，我們使用內徑 1.0cm、1.5cm、2.0cm、2.5cm、3.0cm 及 3.5cm 的壓克力管當成虹吸管，使用比虹吸管的再大二號的壓克力管當成虹吸鐘，分別是口徑 2.0cm、2.5cm、3.0cm、3.5cm、4.0cm 及 4.5cm 壓克力管，以維持間隙皆為 0.25cm，實驗結果如下。



圖 8-1 實驗 1 搭配之  
虹吸管及虹吸鐘

在此次實驗中，我們發現可以將虹吸現象的過程概分為四個階段：

#### (1) 階段一：注水階段

水從虹吸鐘下緣開口緩緩上升，直到虹吸管的上緣開口，此階段通常相當安靜。

#### (2) 階段二：排氣階段

水位抵達虹吸管的上緣開口後，仍會因為水的表面張力而再上升一小段高度，接著水開始往虹吸管中流出，最後因為管中的水將管中完全封閉，並且隨著封閉點出現，而使虹吸管完全沒有空氣，此時水流會突然加速。

#### (3) 階段三：虹吸階段

當虹吸管出現封閉點後，即進入虹吸階段，此時水流相當迅速，管內因沒有空氣，而呈現透明狀，在虹吸箱中相當安靜，而在儲水箱則有水流強烈沖擊水面的聲音，若進水量小於排水量，則虹吸階段會在一段時間後終止；但是若進水量大於排水量，則虹吸階段將不會停止。

#### (4) 階段四：注氣階段

當水位再次回到虹吸鐘下緣開口時，因空氣又可進入虹吸鐘，此時虹吸鐘及虹吸管內會因空氣及水相互穿梭，而產生相當強烈的振動與聲響，若管子略大時，很快的虹吸鐘的水會全部降回虹吸鐘下緣水面；但是若管子過小，則易導致注氣階段不會停止。

表 8-1 虹吸鐘之虹吸現象四階段示意圖

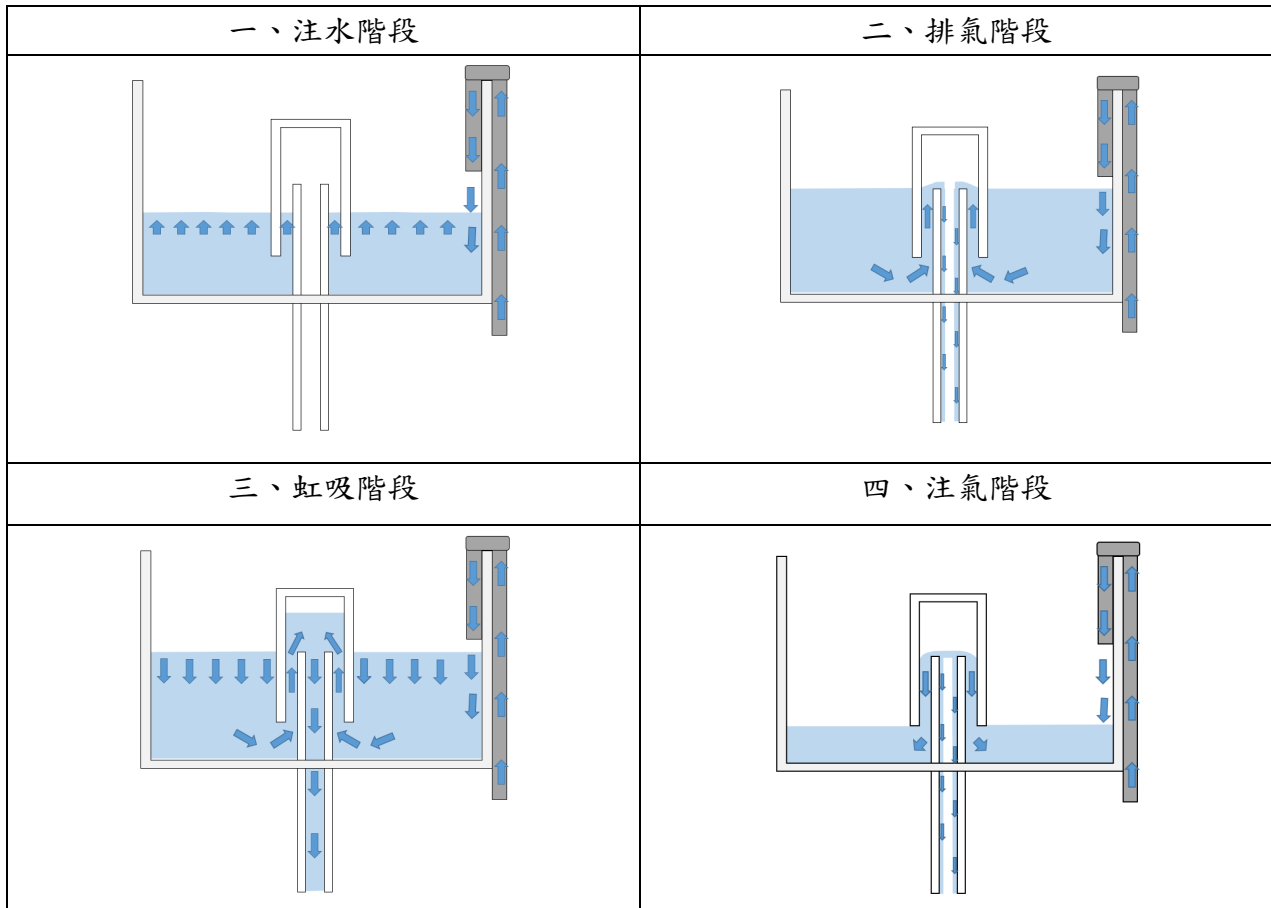
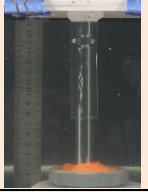
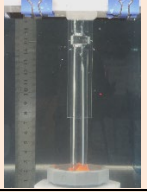
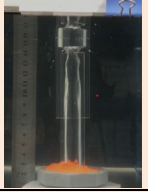
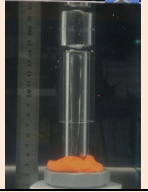
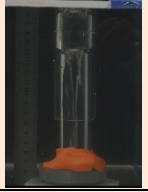
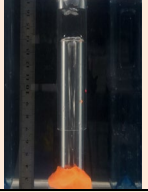


表 8-2 實驗 1 實驗結果

虹吸管內徑	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	2.5 cm	3.0 cm	3.5 cm
圖片						
虹吸階段持續時間(三)	無法結束	178.72 秒	54.42 秒	無法開始	無法開始	無法開始
注氣階段持續時間(四)	無法開始	無法結束	16.96 秒	無法開始	無法開始	無法開始
狀態描述	能產生虹吸，但過程中，水位不會下降	能產生虹吸，但口徑較小，水位下降緩慢，且注氣階段無法停止	需確保水管角度垂直，即可產生虹吸，注氣階段較長且不穩定	水流無法填補管子的空氣柱	水流無法填補管子的空氣柱	水流無法填補管子的空氣柱

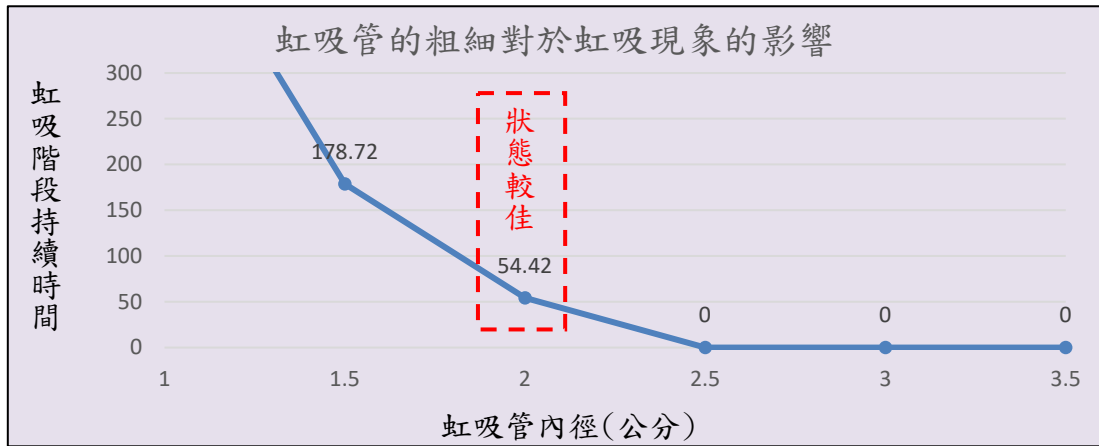


圖 8-2 實驗 1 虹吸階段持續時間折線圖

討論：

另外，從實驗結果中，我們發現了虹吸管的大小明顯影響虹吸現象的進行，其一是若虹吸管太粗時，因為要將管子的空間全部填滿，必須有較大進水量(如圖 8-3)，因此我們在實驗 2 中改用二顆沉水馬達，提升進水量，以了解進水量是否能解決虹吸管太粗而無法形成虹吸現象的問題。

其二是若虹吸管內徑 2 公分或更小時，雖然會出現虹吸現象，但是因為虹吸管空間小，所以水不易完全下降，導致注氣階段過久，或者是無法停止，不僅產生過大噪音，且產生的水流呈現斷斷續續狀態，我們也將在實驗四使用注氣管，探究此問題的解決方法。

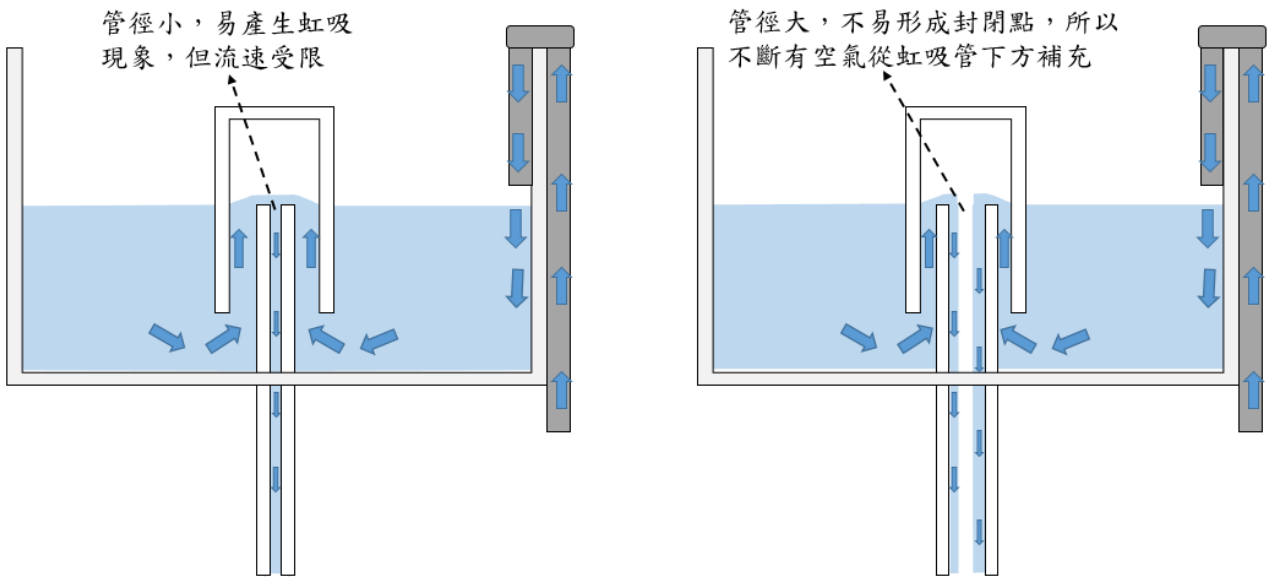


圖 8-3 細虹吸管與粗虹吸管圖水流示意圖

(二)實驗 2：進水速度對虹吸現象的影響

1.使用大水流於不同的虹吸管

延續實驗 1，我們欲了解若加大注水速度，是否能让較大內徑之虹吸管也產生虹吸現象，首先於是我們針對由中到大內徑之 2.0cm、2.5cm、3.0cm 虹吸管進行實驗，採用二顆沉水馬達同時注水，實驗結果如下。

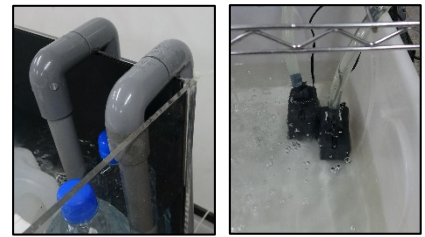
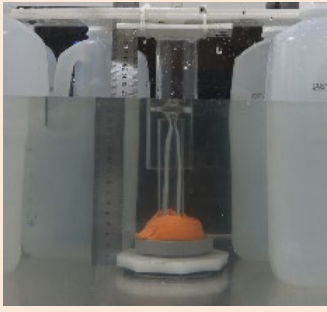
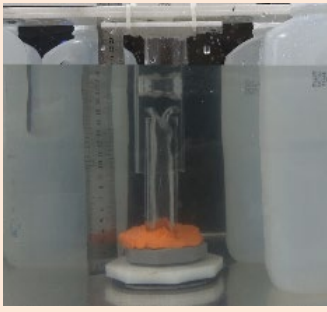
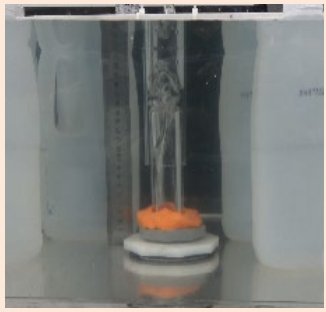


圖 8-4 實驗 2 同時使用二顆沉水馬達注水

表 8-3 實驗 2-1 實驗結果

內徑	2.0 cm	2.5 cm	3.0 cm
照片			
排氣階段持續時間(二)	4.82 秒	不穩定	無法結束
虹吸階段持續時間(三)	15.66 秒	17.02 秒	無法開始
狀態描述	只要將虹吸管放置垂直，虹吸現象都能順利出現	虹吸現象不易出現，若將虹吸管傾斜約 5 度，此時虹吸現象才能出現	虹吸管過大，周圍的水流無法形成封閉點，最後水越過上方固定架

從實驗結果，我們可以得到二個結論，首先是當管徑過大時，此時加大水流並無法強制虹吸現象出現，只會導致水面不斷的向上升，最後溢出箱子(如圖 8-5)；其次，使用適當的管子，只要能將方向維持垂直，就很容易讓虹吸管中水流出現封閉點，引發虹吸現象。

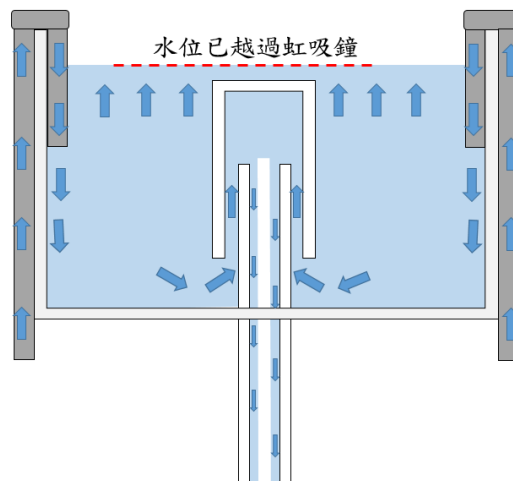


圖 8-5 粗虹吸管在大注水量時仍無法封閉虹吸管

## 2.使用不同的注水速度於內徑 2.0cm 的虹吸管

另外，我們想要了解不同注水速度對虹吸現象的影響，於是使用 2.0cm 內徑虹吸管，然後調整二個沉水馬達的抽水速度，為方便註記，我們採用每秒鐘的注水量來記錄，主要觀察其進行虹吸階段前的排氣階段，實驗結果如下。

表 8-4 實驗 2-2 實驗結果

注水速度	0.12(公升/秒)	0.18(公升/秒)	0.24(公升/秒)	0.36(公升/秒)	0.48(公升/秒)
排氣階段持續時間(二)	無法結束	21.42 秒	10.18 秒	5.46 秒	4.38 秒
狀態描述	注水太慢，使虹吸鐘中的水無法聚集封閉	注水略慢，使排氣階段長達 21.42 秒，但可啟動虹吸現象	注水正常，排氣階段縮短至約 10.18 秒	注水較快，排氣階段縮短至約 5.46 秒	注水快速，排氣階段只需約 4.38 秒

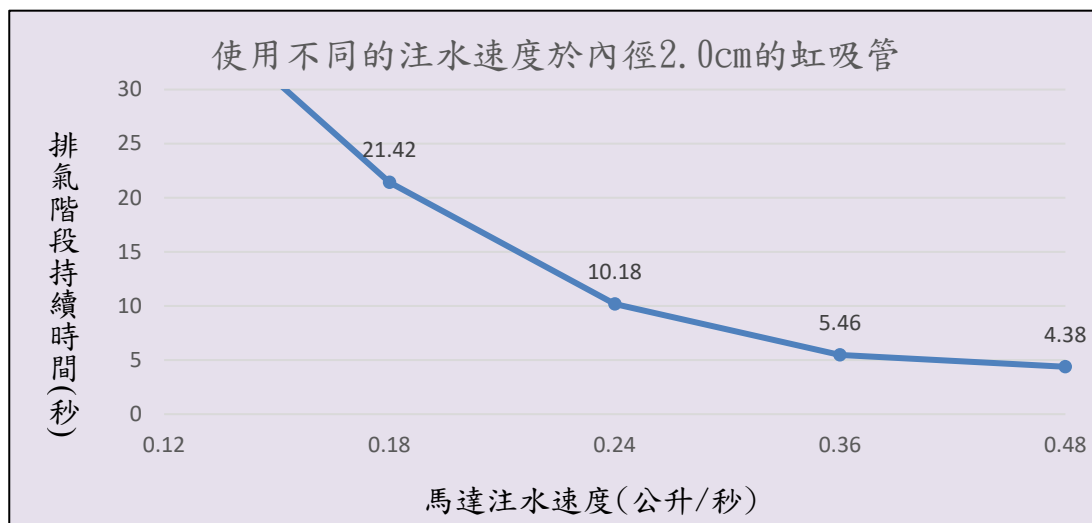


圖 8-6 實驗 2-2 排氣階段持續時間折線圖

從上面的實驗結果，我們可以得到二個結論，首先，如果注水的速度大於排水的速度時，就能順利形成封閉點(如圖 8-7)，則虹吸現象即可出現；其次，若注水愈快，便可愈快跨越排氣階段，進到虹吸階段。

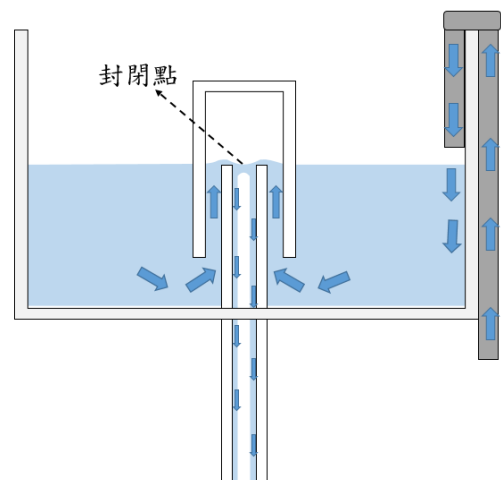


圖 8-7 注水速度大於排水速度時會形成封閉點

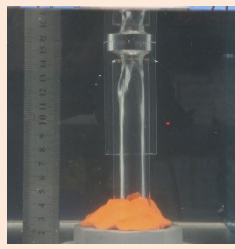
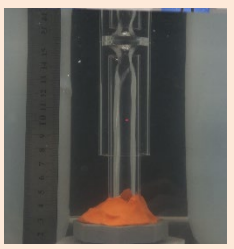
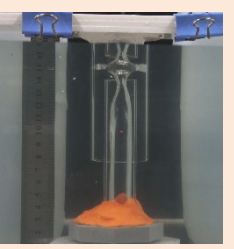

(三)實驗 3：虹吸管與虹吸鐘的間隙對於虹吸現象的影響

接著，我們進一步探討虹吸管與虹吸鐘的間隙是否會影響虹吸現象，我們採用內徑 2.0cm 的虹吸管，搭配內徑 3.5cm、4.0cm、4.5cm 和 5.0cm 的虹吸鐘，得到以下的實驗結果。



圖 8-8 實驗 3 搭配之虹吸管及虹吸鐘

表 8-5 實驗 3 實驗結果

間隙	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm
圖片				
虹吸階段持續時間(三)	22.92 秒	22.12 秒	20.18 秒	19.34 秒
注氣階段持續時間(四)	無法結束	12.2 秒	9.28 秒	10.08 秒
狀態描述	注氣階段無法停止	注氣階段時間不穩定	易形成虹吸現象，並且注氣期能較快結束	易形成虹吸現象，並且注氣期能較快結束

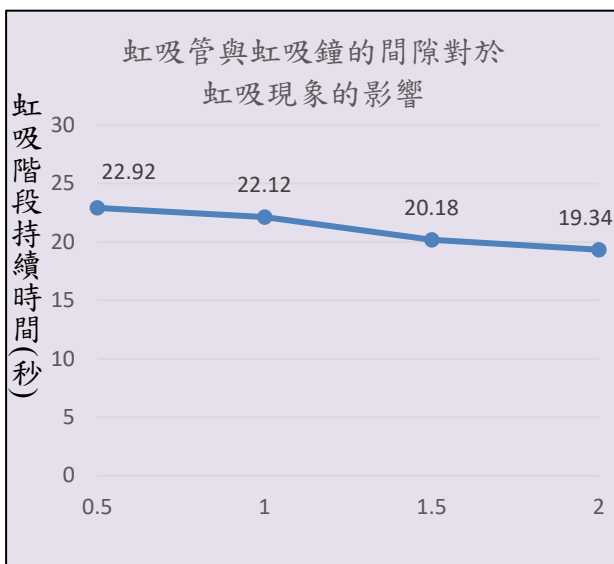


圖 8-9 實驗 3 虹吸階段持續時間折線圖

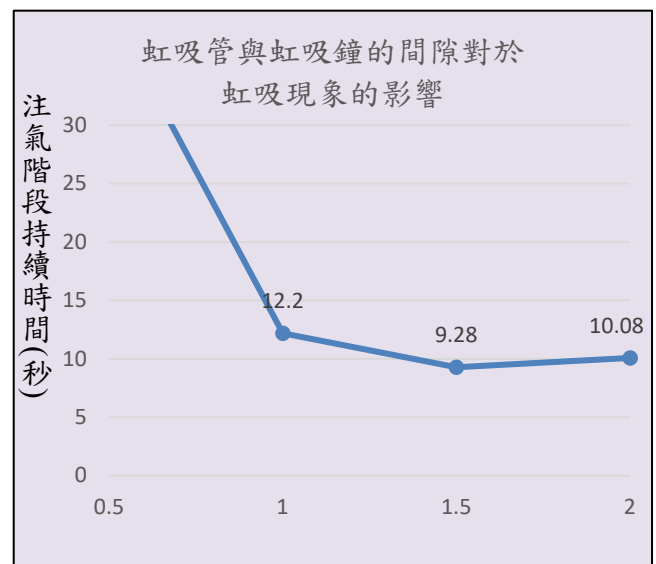


圖 8-10 實驗 3 注氣階段持續時間折線圖



討論：

從圖 8-9，我們可以發現虹吸管與虹吸鐘的間隙愈大時，虹吸階段愈短，也代表水排出的速度愈快，如間隙 2.0 公分時，虹吸階段 19.34 秒，明顯較間隙 0.5 公分時，用了 22.92 秒來的快。我們認為應該是較大的間隙，水流動較流暢，所以虹吸的速度便會變快。

另外，我們從圖 8-10 也可發現，間隙愈大時，注氣階段愈短；反之間隙過小時，注氣階段甚至無法終止。我們認為較小的間隙不僅阻礙了空氣進入虹吸鐘，同樣也會造成水不易從虹吸鐘降回虹吸鐘下緣水面，空氣與水皆在虹吸鐘內快速流動(如圖 8-11)。

為了解決注氣階段不易解除的問題，我們決定於實驗 4 進行注氣管終止注氣階段實驗，期能加速虹吸現象的循環。

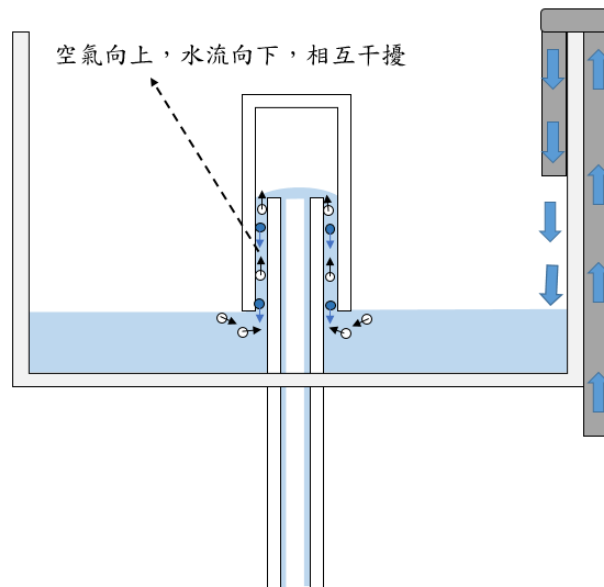


圖 8-11 空氣與水在間隙中穿梭

(四)實驗 4：注氣管終止注氣階段實驗

在前三個實驗中，我們可以發現注氣階段容易干擾虹吸現象進程，不僅會拖慢整個循環，也會製造令人不悅的噪音，我們分析其產生的原因是因為空氣進入虹吸鐘的速度太慢，而此時又不斷有水進入虹吸鐘，使此階段拖得更長，甚至無法停止，因此我們想要找到一個不會干擾注水階段的注水方法，又能在注氣階段快速提供氣體到虹吸鐘內，以終止虹吸現象。

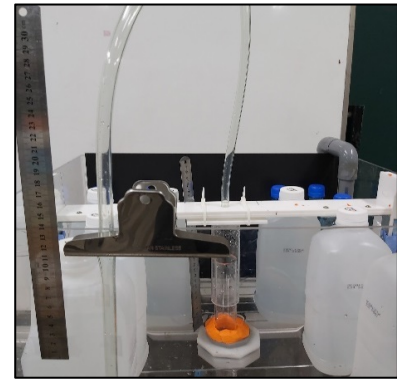


圖 8-12 實驗 4 注氣管外觀

我們發現可在虹吸鐘上方加裝一條塑膠管，並加以密閉，然後將此管子的另一端放置於三個不同位置，分別是水箱之外、水箱內底部以及略高於虹吸鐘下緣，以下為實驗結果。

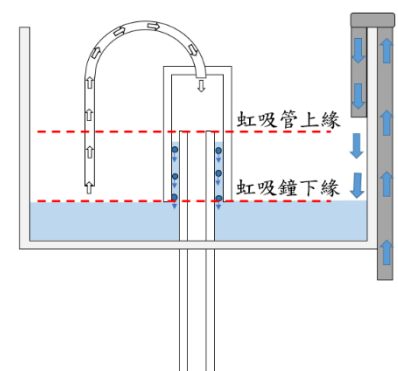
表 8-5 實驗 4 實驗結果

注氣管擺放方式	水箱之外	水箱內底部	略高於虹吸鐘下緣
圖片			
排氣階段持續時間(二)	無法結束	4.52 秒	4.56 秒
虹吸階段持續時間(三)	無法開始	17.94 秒	17.16 秒
注氣階段持續時間(四)	無法開始	52.6 秒	0.40 秒
狀態描述	因為注氣管不斷注入空氣，使排氣階段無法完成	順利進行完虹吸階段，但是注氣階段相當長，且不穩定，因此不易進入下一個虹吸現象循環	易形成虹吸現象，並且有注氣管協助注入空氣，使注氣階段迅速結束，接著進入下一個虹吸現象循環

從實驗結果中，可以發現注氣管放置的位置將會密切的影響虹吸現象的各階段進行，我們可以看到如果管子另一端離開水面，則因為可以不斷的提供空氣，因此排氣階段將無法停止，使虹吸現象無法產生。

若將管子另一端放入水箱底部，則注氣管將無法在注氣階段發揮功用，也使得注氣階段會維持相當長的時間。

唯有將管子另一端放在介於虹吸管上緣及虹吸鐘下緣的範圍中(如圖 8-13)，注氣階段才能快速完成，接著進到下一個注水階段。



注氣管加速空氣進入虹吸鐘

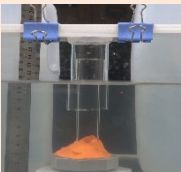
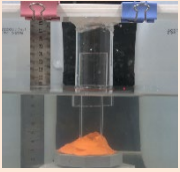
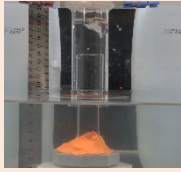
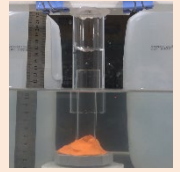

(五)實驗 5：虹吸鐘空氣室高度對於虹吸現象的影響

我們從前面的實驗中，看到了虹吸階段過程中，水面會向上彈升一段高度，有時會直接觸碰到虹吸鐘上壁，因此我們欲了解虹吸鐘上壁至虹吸管上緣這段空間(以下簡稱空氣室)對於虹吸現象之影響，本實驗調整空氣室的高度，分別為 2cm、4cm、6cm、8cm 及 10cm，觀察其虹吸階段的時間，以及空氣室內的水柱高度。



圖 8-14 實驗 5 使用之不同長度虹吸鐘

表 8-6 實驗 6 實驗結果

空氣室高度	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm
照片					
虹吸階段持續時間(三)	19.44 秒	18.72 秒	18.26 秒	17.72 秒	17.44 秒
空氣室水柱高度	2.2 cm	4.2 cm	4.4 cm	4.2 cm	4.4 cm
狀態描述	虹吸現象皆順利出現				

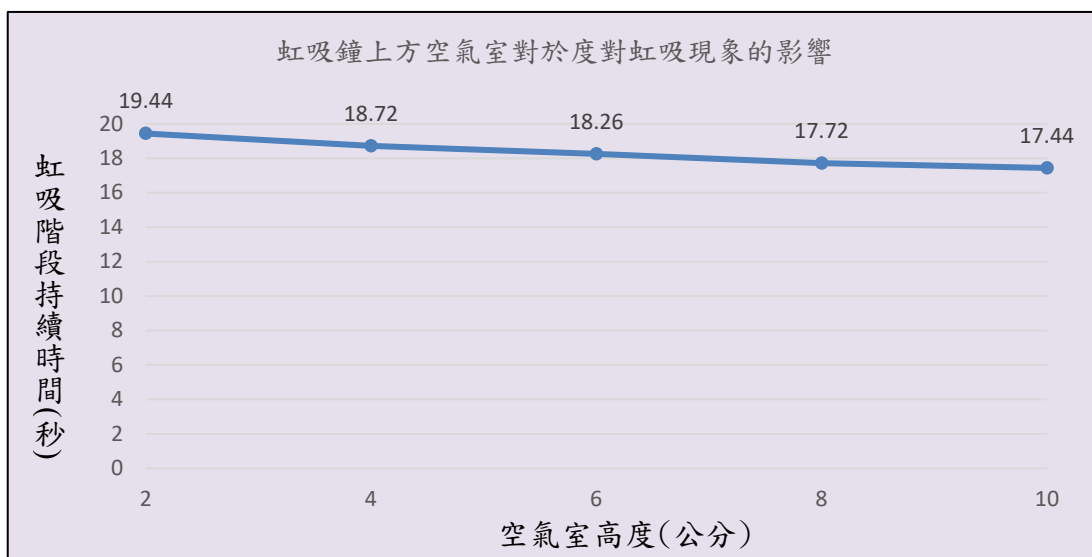


圖 8-15 實驗 5 虹吸階段持續時間折線圖

從實驗結果中，我們可以發現空氣室的高度對於虹吸現象的產生影響不大，但是可以發現一個規律，就是當空氣室高度愈高，則虹吸階段愈短，也就代表空氣室空間愈大，水流入虹吸管愈順暢，排水就愈快(如圖 8-16)；反之，若空氣室高度過低，則被水全部佔據，水流會略受阻礙(如圖 8-17)。

另外，當虹吸現象發生時，空氣室中水柱高度大致皆在 4.2cm~4.4cm 範圍，表示虹吸現象發生瞬間，空氣室內會因為水的重力，而對虹吸鐘外的水產生吸力，此時虹吸鐘內的水位會因為此吸力而上升，部份的水會停留在空氣室中。

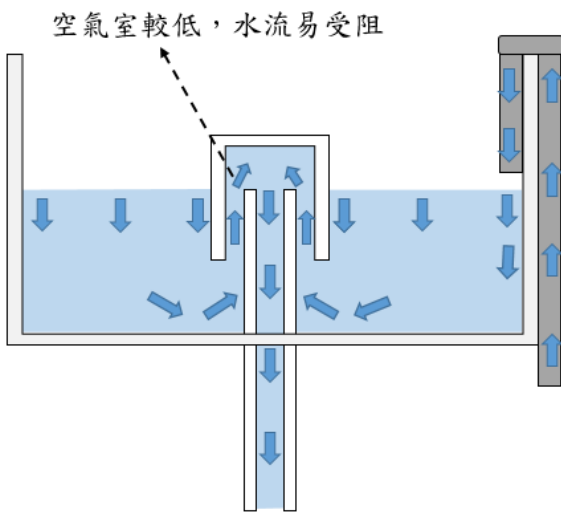


圖 8-16 空氣室過低造成水流阻塞

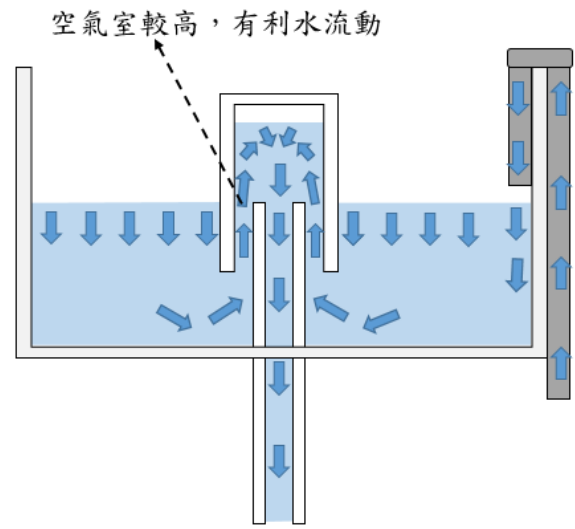
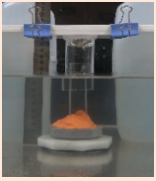
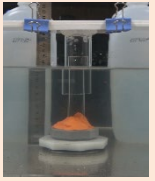
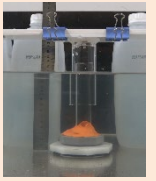

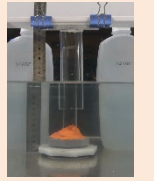


圖 8-17 空氣室較高有利水的流動

(六)實驗 6：虹吸裝置高度對於虹吸現象的影響

在實驗 5 中，我們發現空氣室高度不太會影響虹吸階段的進行，於是我們想進一步探討將整個虹吸裝置的高度改變對虹吸現象的影響，一起調整虹吸管以及虹吸鐘的長度，讓裝置整體高度分別為 7cm、9cm、11cm、13cm、15cm，但要維持虹吸鐘下緣的位置不變、空氣室高度也不變，並且因為裝置不同高度，所以箱中的水量也不同，因此我們將虹吸裝置的高度除以虹吸階段的時間，呈現在下表中，以了解實際排水的強度。

表 8-7 實驗 6 實驗結果

虹吸裝置高度	7 cm	9 cm	11 cm	13 cm	15 cm
照片					
虹吸階段持續時間(三)	12.34 秒	18.56 秒	22.14 秒	30.94 秒	39.60 秒
虹吸階段水位下降速度	0.5677(cm/s)	0.4849(cm/s)	0.4968(cm/s)	0.4202(cm/s)	0.3788(cm/s)
注氣階段持續時間(四)	15.12 秒	7.38 秒	6.84 秒	18.12 秒	24.42 秒
狀態描述	虹吸階段最短，注氣階段時間適中	虹吸階段變長，注氣階段卻明顯減短	虹吸階段持續變長，注氣階段最短	虹吸階段持續變長，注氣階段再次變長	虹吸階段最長，注氣階段也最長且不穩定

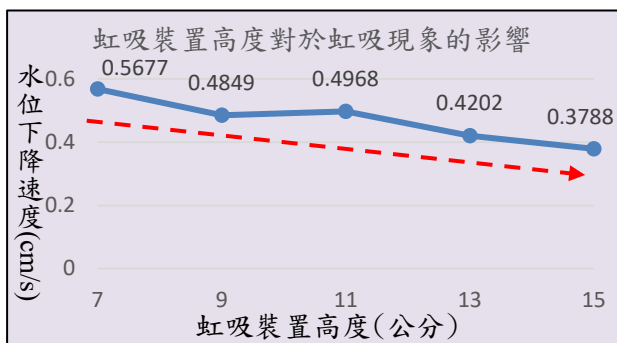


圖 8-18 實驗 6 水位下降速度折線圖

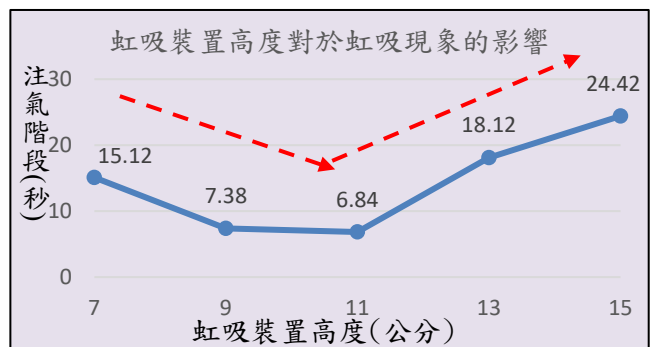


圖 8-19 實驗 6 注氣階段持續時間折線圖

從實驗結果中，我們可以從虹吸階段及注氣階段看到虹吸裝置的影響，首先是虹吸裝置愈高，會大幅增加虹吸階段所需時間，也代表排水的強度將大幅減弱，我們認為應該是水要向上提升的高度愈高，流經的路徑就愈長，所花費的時間就愈久，相對的，裝置愈短，水就能更迅速的抵達虹吸管的上緣開口。

其次，在沒有裝設注氣管的狀態下，裝置愈短時，通常愈有利虹吸管的水回到水平面上，所以會使注氣階段變短；但是，當裝置過短時，如實驗中的 7 公分高裝置，我們發現此時虹吸管中的水雖然容易降回水平面，但又因為水也容易抵達虹吸管上緣，導致二股力量相互拉扯，而讓注氣階段變長。

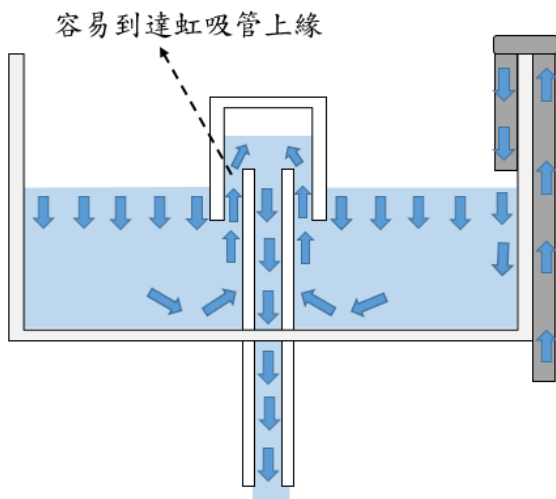


圖 8-20 虹吸裝置較低有利水的流動

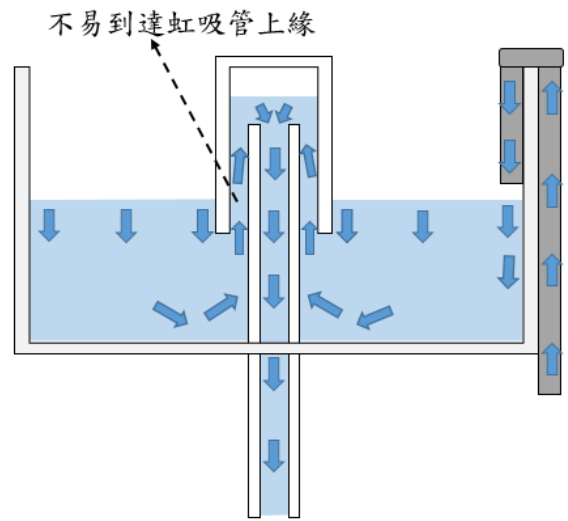


圖 8-21 虹吸裝置過高不利水進入虹吸管

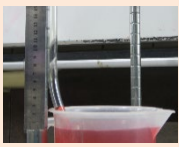
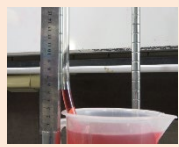
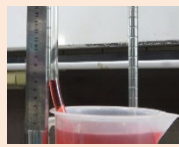
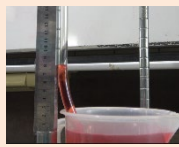
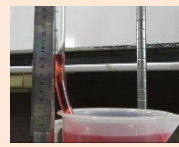
(七)實驗 7：虹吸管長度對於虹吸現象的影響

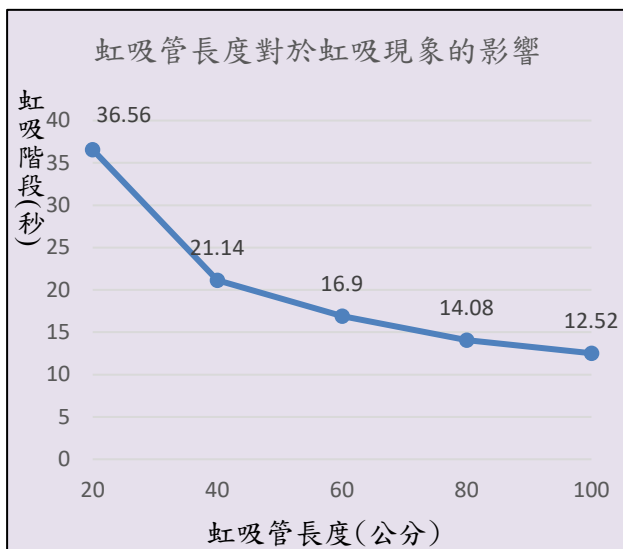
針對虹吸裝置的一系列實驗中，虹吸管的長度對虹吸現象的影響是最受我們重視的，因為從文獻探討中，我們可以了解到虹吸現象的產生主因就是虹吸管中的水受到重力而將虹吸鐘內的水也吸引向下。因此若我們改變虹吸管的長度應該會對排水強度有關鍵性的效果，為了能獲得更清楚的分析，我們賦予注氣管不同的功能，就是測量虹吸鐘內的氣壓變化，我們將注氣管的另一端改放入紅色液體中，方便我們測量被吸起的液體之高度，以了解此時虹吸鐘內的吸力強度，我們使用的虹吸管長度分別為 20cm、40cm、60cm、80cm 及 100cm。



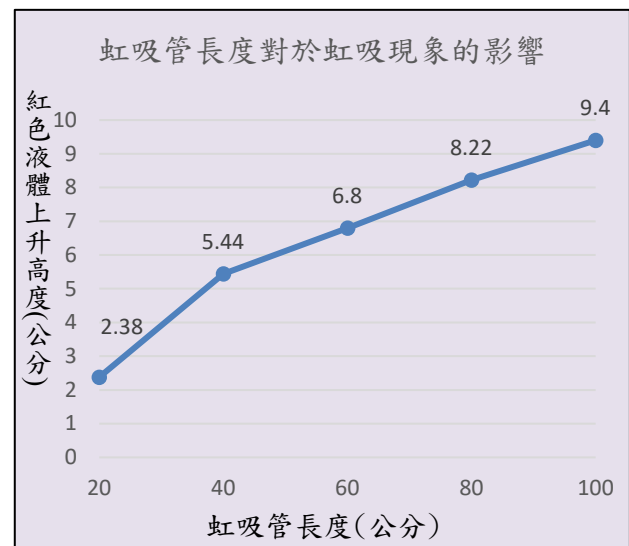
圖 8-22 注氣管另一端放入紅色液體中，測量液體上升高度

表 8-8 實驗 7 實驗結果

虹吸管長度	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm
照片					
虹吸階段持續時間(三)	36.56 秒	21.14 秒	16.90 秒	14.08 秒	12.52 秒
紅色液體上升高度	2.38 cm	5.44 cm	6.80 cm	8.22 cm	9.40 cm



實驗 7 虹吸階段持續時間折線圖



實驗 7 紅色液體上升高度折線圖

從實驗結果中，明顯可以觀察到虹吸管的長度的確會顯著的影響虹吸現象，我們發現若管子愈長，則虹吸階段愈短，表示水流相對湍急，我們認為這是因為管子的高度差愈大，從位能轉換成的動能愈大，所以水受到的拉力就愈強。

我們也可以從紅色液體上升高度來探討，虹吸管的長度與紅色液體上升高度有正向關聯，我們可以使用文獻探討中的大氣壓力公式( $p = h \cdot d = 76 \text{ cm} \times 13.6 \text{ g/cm}^3 = 1033.6 \text{ gw}$  /

cm<sup>2</sup>), 推測出此時虹吸鐘內外的壓力差, 例如在虹吸管 100 公分的狀態下, 液體上升 9.4 公分, 其內部大氣壓力約為  $(1033.8-9.4)/1033.6=0.9909$  atm(大氣壓力), 只略低於 1atm, 並非如原本成員間討論的真空區之形成。

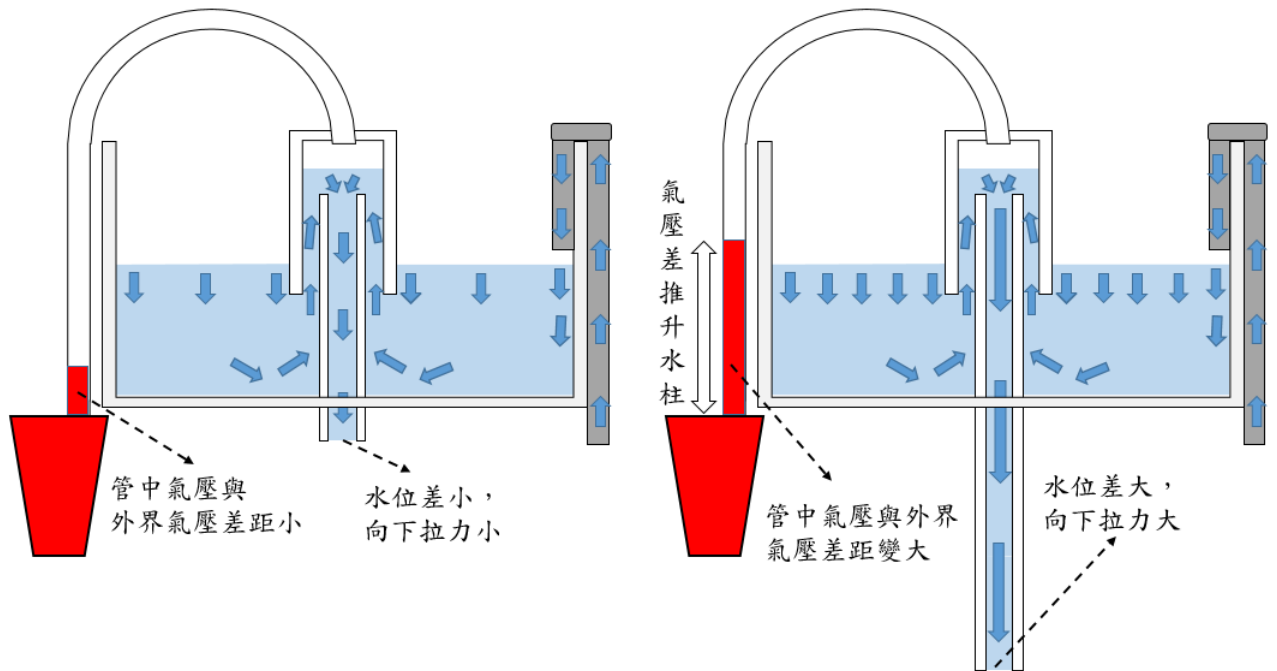


圖 8-25 虹吸管較短, 使水向下拉力較小

虹吸管較長, 使水向下拉力變大



(八)實驗 8：水輪扇葉的曲率半徑對於發電效能的影響

經歷過虹吸裝置的一系列實驗後，終於可以將虹吸裝置調整至最佳狀態，接下來我們準備要進行發電模組的實驗，首先為了配合出水管出水口的大小，將扇葉的半徑固定在 3.5 公分，然後改變扇葉彎度，我們使用雷射切割機製作出不同曲率半徑之扇葉曲率愈小，代表扇葉愈彎曲，接著將扇葉安裝至設計好的六顆馬達發電模組中，使用三用電錶分別測量產生的電壓及電流。

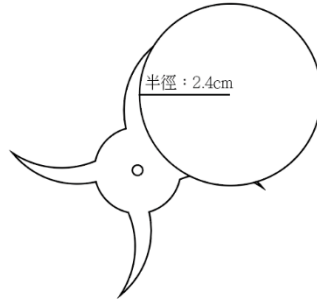


圖 8-27 曲率半徑 2.4cm 之水輪示意圖

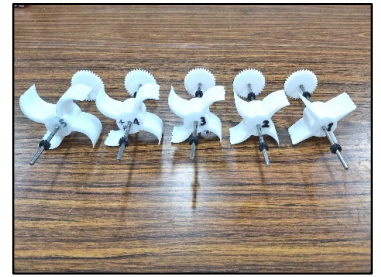


圖 8-28 各式不同曲率半徑之扇葉水輪

表 8-9 實驗 8 實驗結果

扇葉曲率半徑	平直	2.4 cm	1.6 cm	1.4 cm	1.2 cm
電壓(伏特)	6.002 V	6.870 V	7.264 V	7.586 V	7.464 V
電流(安培)	0.02796 A	0.03168 A	0.03196 A	0.03402 A	0.03450 A
功率(瓦特)	0.1678 W	0.2176 W	0.2322 W	0.2581 W	0.2575 W

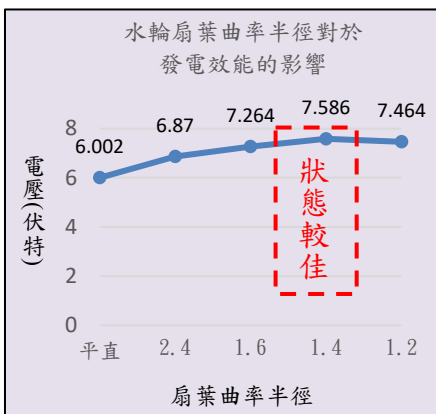


圖 8-29 實驗 8 電壓折線圖

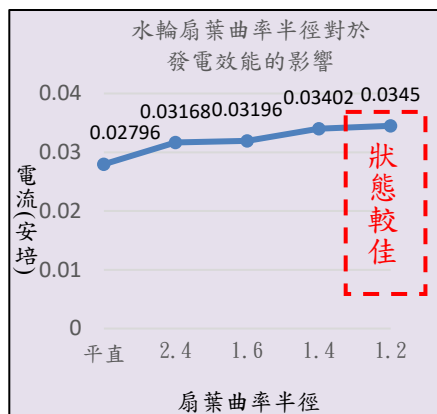


圖 8-30 實驗 8 電流折線圖

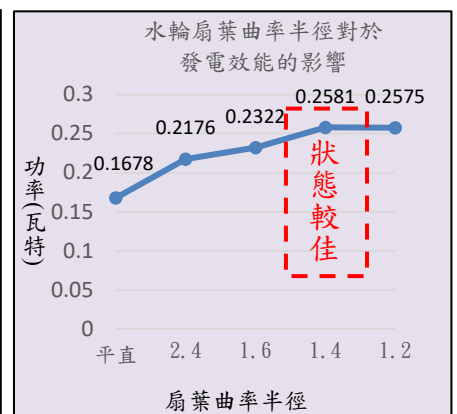


圖 8-31 實驗 8 功率折線圖

從實驗結果，我們可發現用曲率半徑較小扇葉時，產生電壓與電流最佳，同時利用公式  $功率=電壓 \times 電流$ ，可得到曲率半徑 1.4 公分時，產生功率最佳。

我們認為使用較彎曲的扇葉時，水在撞擊扇葉後易產生反方向水花，水的動量變化較大，代表衝力較大，能更強力的推動水輪，可獲得較強的電壓及電流；而彎曲過大的扇葉則會因為水可以進入的開口變窄，所以效果不會更好。

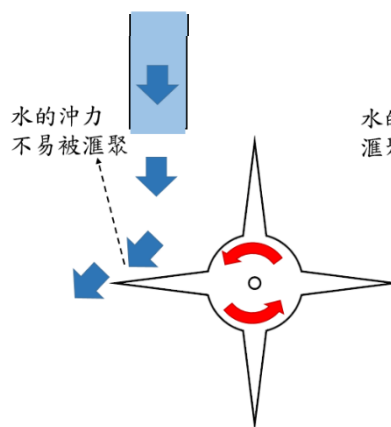


圖 8-32 直平水輪不易匯集沖力，轉速較慢

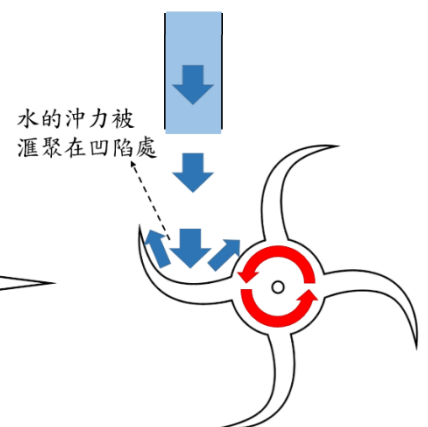


圖 8-33 曲率半徑 1.4cm 之水輪可充份匯集沖力

(九)實驗 9：水輪扇葉的數量對於發電效能的影響

承續實驗 8，我們想要了解是否更多的扇葉有利於發電效能的提升，於是我們使用了 3、4、5、6、7、8 片扇葉的水輪，同樣使用三用電錶分別測量產生的電壓及電流。



圖 8-34 各式不同扇葉數量之水輪

表 8-10 實驗 9 實驗結果

扇葉數量	3 片	4 片	5 片	6 片	7 片	8 片
電壓(伏特)	6.914 V	7.634 V	8.074 V	7.908 V	7.856 V	7.662 V
電流(安培)	0.02956 A	0.03346 A	0.03856 A	0.03920 A	0.04032 A	0.03814 A
功率(瓦特)	0.2048 W	0.2554 W	0.3113 W	0.3100 W	0.3168 W	0.2922 W

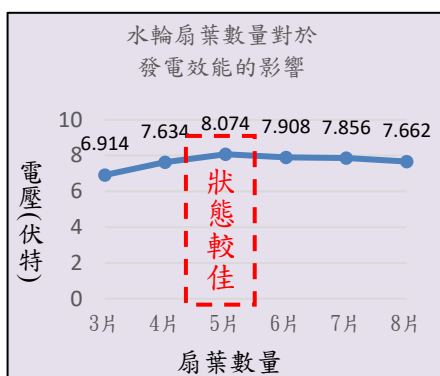


圖 8-35 實驗 9 電壓折線圖

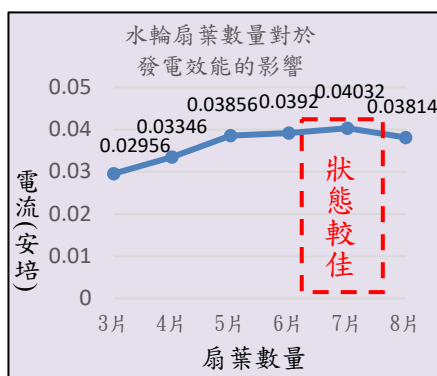


圖 8-36 實驗 9 電流折線圖

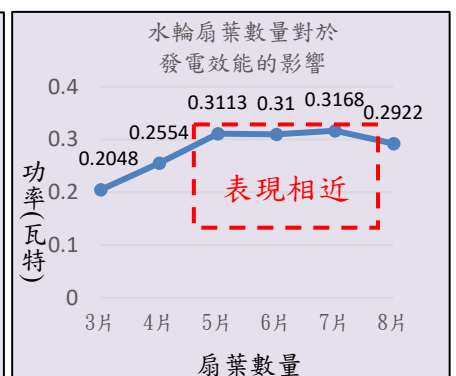


圖 8-37 實驗 9 功率折線圖

從實驗結果中，我們看到一個特殊的狀況，在 5 片扇葉時，可以產生較高的電壓，但是在 7 片扇葉時卻有較高的電流，並且二個數值相乘所得的功率則是在 5 片、6 片、7 片時表現相近。

我們認為可能的原因是 5~7 片時的水輪轉速最快，在發電上有最好的表現，但是相差有限，而扇葉較少的狀態下，如 3 片、4 片時，被水流沖擊的次數會減少，所以轉速也會比較小；而扇葉過多，如 8 片時，則因為在接受較多水量的邊際效應降低，以及水輪較重等二個因素的影響，轉速也同樣減慢，因此若考量到使用較輕的水輪，則可使用 5 片扇葉即可。

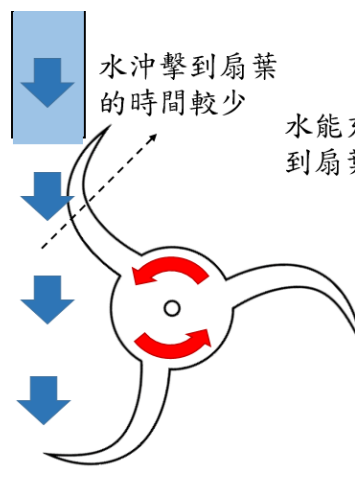


圖 8-38 三片扇葉之水輪受水沖擊時間較少

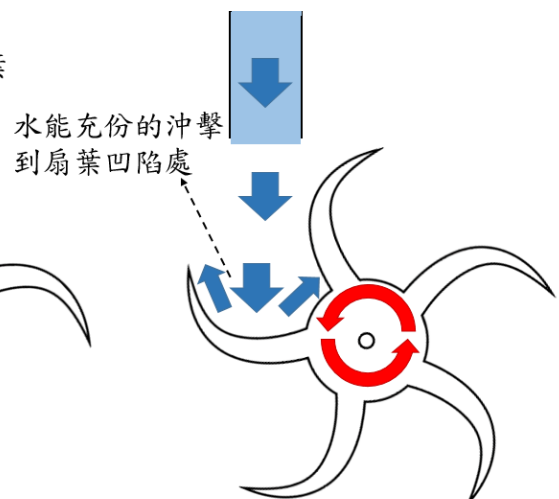


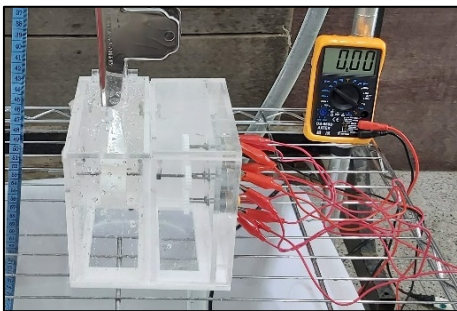
圖 8-39 五片扇葉之水輪受水沖擊時間較多

(十)實驗 10：馬達數量對於水輪機盒取得能量的影響

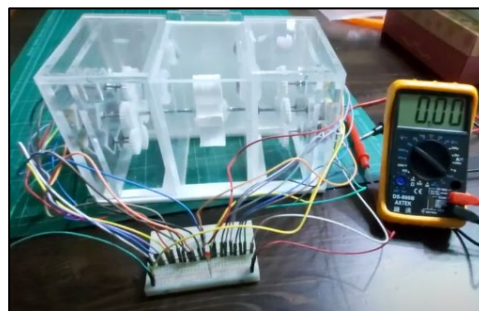
此實驗是本研究的最終探究項目，我們想要在這實驗中，使用最佳的虹吸裝置以及發電模組之組合，測試在相同注水量下，沒有虹吸現象以及產生虹吸現象時，面對不同馬達數量的發電效能。

在實驗前的初步測試中，我們發現有虹吸現象下，使用 1~6 顆馬達時，其發電之效益(功率)穩步上升，因此我們推測強勁的水流應可推動更多馬達，因此我們以原本發電模組為原型，製作出可容納 12 顆馬達之模組，期望可以更加確認此設計的价值。

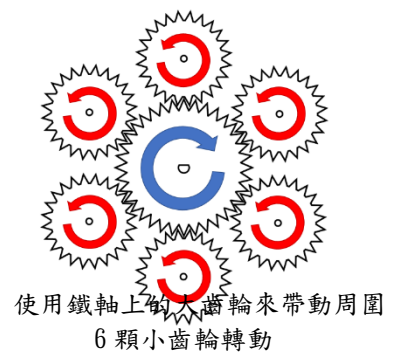
另外，為了方便我們可以將 12 顆馬達進行串聯，以及可以因應馬達數量而改變線路的連接方式，我們使用杜邦線以及麵包板來做為馬達連接的媒介。



原 6 顆馬達之發電模組

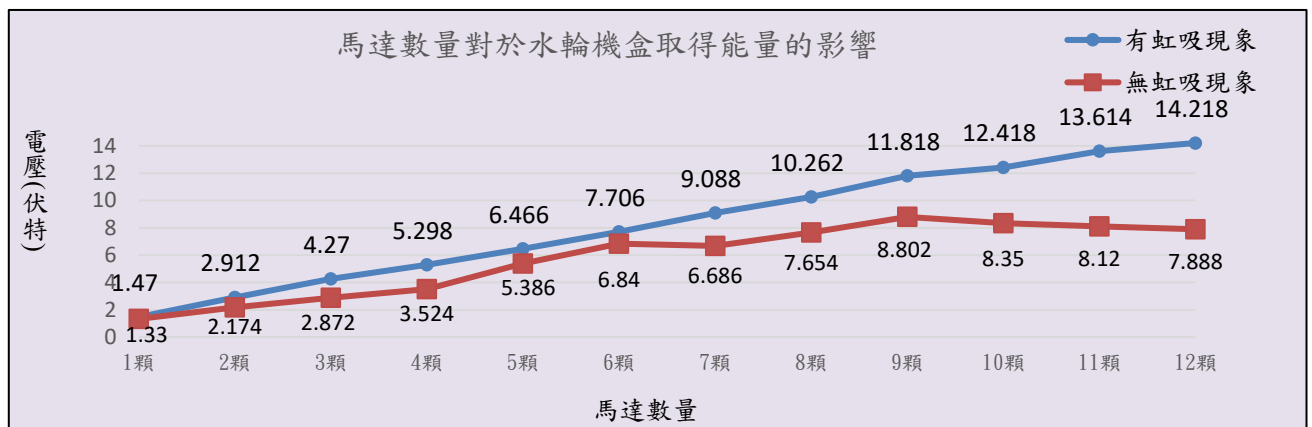


改良之 12 顆馬達之發電模組

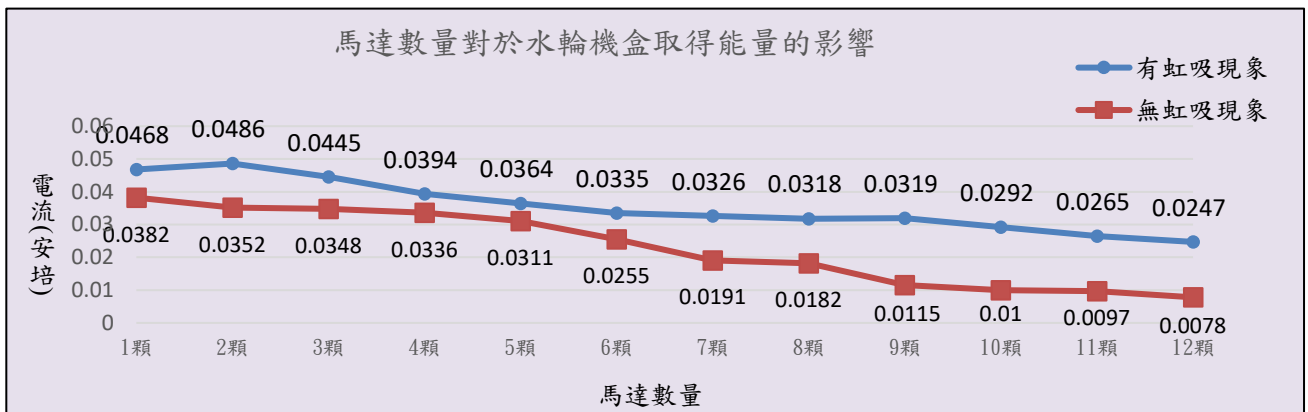


實驗 10 實驗結果

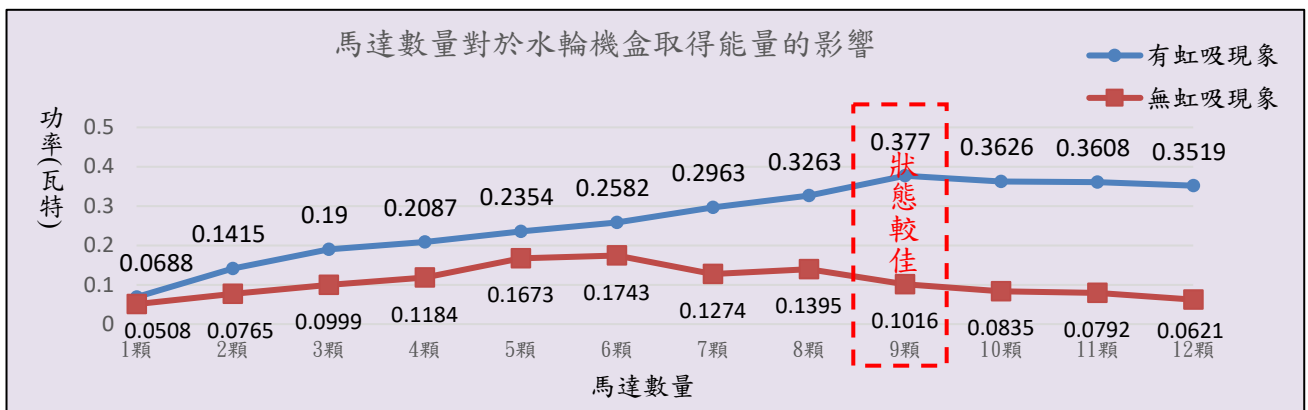
馬達數量		1 顆	2 顆	3 顆	4 顆	5 顆	6 顆	7 顆	8 顆	9 顆	10 顆	11 顆	12 顆
有虹吸現象	電壓 V	1.470	2.912	4.270	5.298	6.466	7.706	9.088	10.262	11.818	12.418	13.614	14.218
	電流 A	0.0468	0.0486	0.0445	0.0394	0.0364	0.0335	0.0326	0.0318	0.0319	0.0292	0.0265	0.0247
	功率 W	0.0688	0.1415	0.1900	0.2087	0.2354	0.2582	0.2963	0.3263	0.3770	0.3626	0.3608	0.3519
無虹吸現象	電壓 V	1.330	2.174	2.872	3.524	5.386	6.840	6.686	7.654	8.802	8.350	8.120	7.888
	電流 A	0.0382	0.0352	0.0348	0.0336	0.0311	0.0255	0.0191	0.0182	0.0115	0.0100	0.0097	0.0078
	功率 W	0.0508	0.0765	0.0999	0.1184	0.1673	0.1743	0.1274	0.1395	0.1016	0.0835	0.0792	0.0621



實驗 10 電壓折線圖



實驗 10 電流折線圖



實驗 10 功率折線圖

從實驗的結果中，我們有三個重要發現，首先是有虹吸現象時，電壓能隨著馬達數量變多而上升，從折線圖上，我們也能夠預測出馬達若繼續增加，電壓還能夠持續的上升；反觀若無虹吸現象時，則在馬達增加至 8 顆時，就因為轉動齒輪不易，而電壓開始緩步下降，當使用 12 顆馬達時，有無虹吸現象的電壓數值約為 2:1。

另外，在電流方面，我們因實驗的操作是每增加一顆馬達，則會將其齒輪接上，並且將其二極電線串聯至整個發電系統中，因此馬達愈多電阻愈大，從公式  $V(\text{電壓}) = I(\text{電流}) \times R(\text{電阻})$ ，我們可以推測電流開始下降，但可觀察出有虹吸現象仍可獲得較高的電流，當使用 12 顆馬達時，電流呈現 3:1 的懸殊差異。

最後，我們使用  $W(\text{功率}) = V(\text{電壓}) \times I(\text{電流})$  公式，得到功率的折線圖，可更清楚發現在相同的注水量下，使用的馬達愈多，則有無虹吸現象之間的差異就愈大，例如在 12 顆馬達的狀態下，二者的功率已呈現 6:1 的差異，可見相同的水位能變化，卻在不同的排水模式下，功率有相當大的差別。

## 九、結論與建議

綜合本研究二大類別之十個實驗所獲得之結果及討論，我們總結出下列結論、作品貢獻及建議，以下依序說明。

### (一)結論：

1. 虹吸鐘裝置之虹吸現象循環依作用可分為注水、排氣、虹吸及注氣四個階段。
2. 使用內徑約 2 公分之虹吸管，並維持方向垂直容易讓水形成虹吸現象。
3. 注水速度若大於虹吸排水速度，易造成水溢出箱外，若過小則會使虹吸管內的水無法形成封閉點。
4. 虹吸鐘與虹吸管的間隙不可過小，否則將無法終止注氣階段，使循環中斷。
5. 妥善的使用注氣管可以有效解決注氣階段過長或無法停止的問題。
6. 空氣室高度愈高，虹吸階段愈短，排出的水速愈大，力道愈強。
7. 虹吸裝置高度愈高，可一次累積愈多的水量，使虹吸階段變長，但是卻會降低排水的速度。
8. 若空間許可，可使用愈長的虹吸管來增強虹吸階段排水的速度與沖力。
9. 在本研究中，使用 5 片扇葉以及曲率半徑 1.4 公分的水輪有利提升發電效益。
10. 視發電模組狀況，適度連接較多的馬達，可提升發電效能，但是愈多馬達，其提高的發電效益會逐漸減少
11. 使用虹吸鐘產生虹吸現象，可推動較大的發電設備，有利長時間的發電成效。

### (二)作品貢獻：

根據以上結論，本作品之貢獻如下

1. 本研究針對虹吸鐘裝置進行完整的探討，讓我們可以更了解虹吸鐘運作原理及改良方式。
2. 本研究深入的分析的發電設備對應不同強度的水流時，可採用的較佳發電方式。
3. 本研究將虹吸鐘加強水流的優勢巧妙的融入小規範的儲水設備，讓我們在能源的獲得上多了一種聰明的選擇。

### (三)對未來研究的建議：

1. 本研究在虹吸鐘的設計上，採用簡單、易觀察的壓克力管材質，可能與一般的仿間的水電器材之特性有差異，建議未來的研究者可使用更貼近生活之用品來進行研究。
2. 本研究為了節省用水，所以使用較小的水箱與水量，並且盡可能重覆使用實驗用水，因此在進行實驗記錄時，可能會導致照片或影片清晰程度下降，建議未來的研究者可斟酌改善。

## 十、參考資料

1. 魚菜共生 DIY - 虹吸管篇。UrbanPonics Hong Kong (民 109 年 11 月 29 日)。檢自 [https://cuhkaquaponics.wordpress.com/2015/03/30/魚菜共生 DIY - 虹吸管篇/](https://cuhkaquaponics.wordpress.com/2015/03/30/魚菜共生%20DIY%20-%20虹吸管篇/)
2. 大氣對人有多大的壓力?。Yahoo!知識+ (民 109 年 11 月 30 日)。檢自 <https://tw.answers.yahoo.com/question/index?qid=20041230000010KK03695>
3. 電機和發電機的工作原理 電機與發電機有什麼區別。每日頭條 (民 109 年 11 月 29 日)。檢自 <https://kknews.cc/science/x6jg6q.html><https://kknews.cc/zh-tw/science/x6jg6q.html>
4. 虹吸。維基百科 (民 109 年 11 月 29 日)。檢自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/虹吸>
5. 虹吸鐘。Yahoo!拍賣 (民 109 年 11 月 29 日)。檢自 <https://tw.bid.yahoo.com/search/auction/product?p=虹吸鐘>
6. 大氣壓力。科學的家庭教師 (民 109 年 11 月 29 日)。檢自 [http://www.phyworld.idv.tw/Nature/Jun\\_2/B4\\_CH6/8-4\\_POINT.pdf](http://www.phyworld.idv.tw/Nature/Jun_2/B4_CH6/8-4_POINT.pdf)

## 【評語】 080122

本作品研究虹吸鐘於發電的應用，基本上是虹吸原理的推廣應用。自行組裝器材實作探究，並進行定量的觀測記錄。可以應用於小流量的環境之中，虹吸現象可局部或間歇性的推動發電設備，增加能源取得方式的多樣性。相較於同期較嚴謹豐富的作品，在定量的分析與探究方面的質與量，仍有調整改進的空間

## 作品簡報



「看我的吸星大法」 -  
運用虹吸鐘於發電之探討

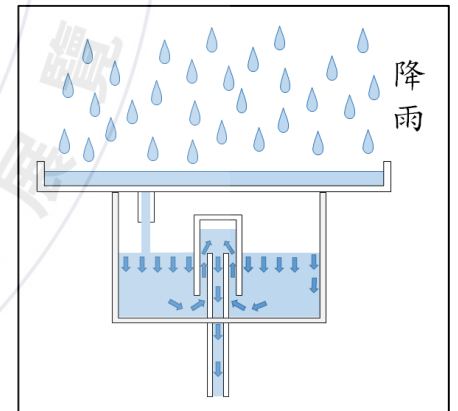
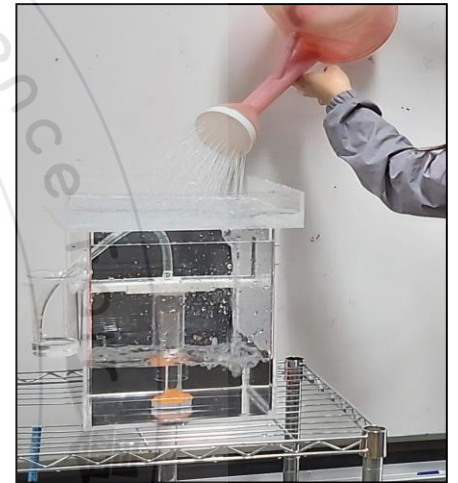
科 別：物理科  
組 別：國小組

## 一、摘要：

虹吸鐘裝置常被運用於**魚菜共生系統**，本研究將它結合發電模組，發展新型態**小型水力發電的雛形**，以下是本研究主要發現：

- (1) 虹吸鐘裝置循環可概分為**注水**、**排氣**、**虹吸**及**注氣**四個階段。
- (2) 適當的**注水速度**、**略大的虹吸鐘與虹吸管的間隙**以及**方向垂直的2公分內徑虹吸管**較易產生穩定的虹吸現象。
- (3) **加裝注氣管**能有效解決注氣階段無法停止的問題。
- (4) **空氣室高度愈高**、**虹吸裝置高度愈低**、**虹吸管愈長**可增強虹吸階段現象排水沖力。
- (5) 使用**5片扇葉**以及**適度彎曲**的水輪有利提升發電效益。
- (6) 虹吸鐘產生**虹吸現象**，可推動較大發電設備，**提升發電成效**。

最後我們建議可以運用虹吸鐘發電於如下圖之**降雨**或**小溝渠**等小水源之情境中，增加能源取得方式的多樣性。



用澆水器模擬降雨，同樣可以觸發虹吸鐘運轉，並推動發電模組

## 二、研究目的與項目：

一、改良虹吸鐘裝置，使其虹吸現象循環更穩定及水流更強勁。

- 實驗1：虹吸管的粗細對於虹吸現象的影響
- 實驗2：進水速度對於虹吸現象的影響
- 實驗3：虹吸管與虹吸鐘的間隙對於虹吸現象的影響
- 實驗4：注氣管終止注氣階段實驗
- 實驗5：虹吸鐘空氣室高度對於虹吸現象的影響
- 實驗6：虹吸裝置高度對於虹吸現象循環的影響
- 實驗7：虹吸管長度對於虹吸現象循環的影響

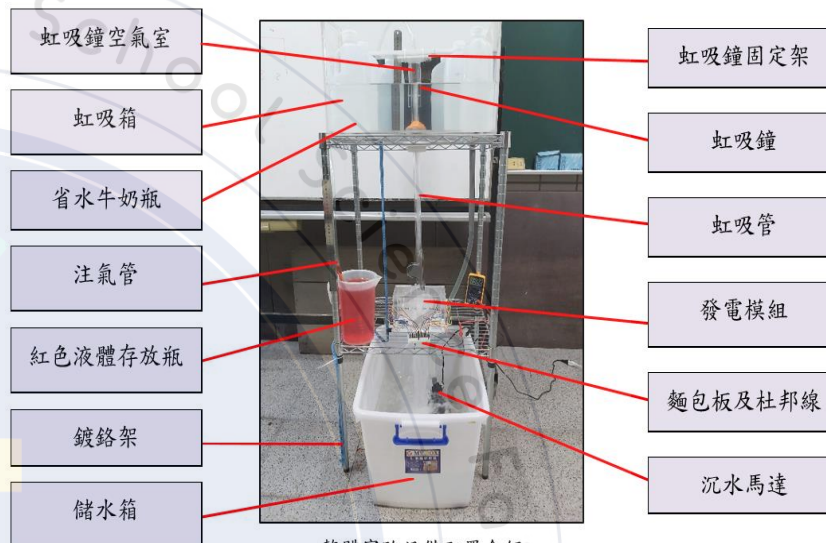
二、設計有效的發電模組，提升發電的效益。

- 實驗8：水輪扇葉的彎度對於發電效能的影響
- 實驗9：水輪扇葉的數量對於發電效能的影響
- 實驗10：馬達數量對於水輪機盒取得能量的影響

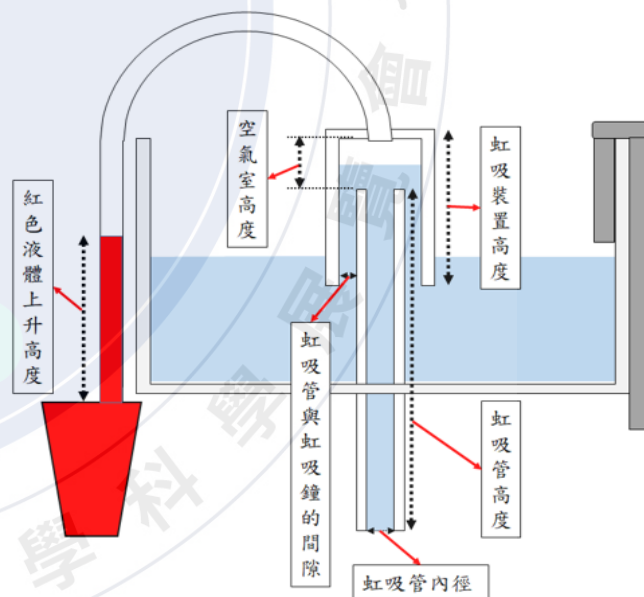
### 三、研究設計

研究的主要實驗設備有4項，分別為**實驗架**、**虹吸箱**、**虹吸裝置**及**發電模組**。

1. 實驗架：固定擺放虹吸箱實驗器材、發電模組以及儲水箱等器材，藉此可穩定測量實驗結果。
2. 虹吸箱：虹吸箱的功用是放置虹吸裝置，以便呈現虹吸現象。
3. 虹吸裝置：這是研究的核心，藉以了解虹吸鐘運作原理及改進的方法。
4. 發電模組：我們設計一套有效的發電模組，藉由虹吸水流的巨大沖擊，轉動水輪扇葉，讓多顆馬達同時轉動。



整體實驗設備配置介紹



各變項之意涵介紹

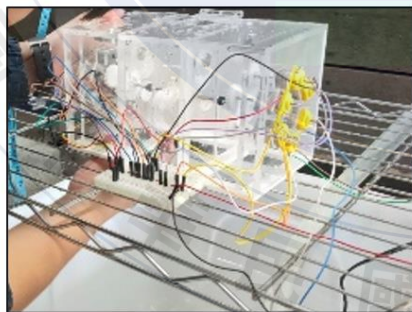
## 四、實驗方法

(一)控制變因：為了讓實驗結果更加正確，我們需在實驗前進行一系列的檢查。

- (1)虹吸管長度及高度維持一致。
- (2)虹吸鐘與虹吸管的間隙維持一致。
- (3)虹吸鐘空氣室高度維持一致。
- (4)馬達抽水速度維持一致。
- (5)虹吸箱內省水水瓶數量維持一致。
- (6)虹吸鐘及虹吸管垂直向下。
- (7)發電模組之齒輪維持轉動順暢。
- (8)發電模組之水輪狀態維持一致。



虹吸鐘與虹吸管的角速度維持垂直



確認齒輪運轉順暢

(二)實驗流程：

- (1) 選擇實驗虹吸鐘及虹吸管，妥善固定。
- (2) 將虹吸管包上油土，固定並調整位置。
- (3) 固定虹吸鐘，由上而下套在虹吸管外，調整高度並與虹吸管保持方向平行。
- (4) 將發電模組內的水輪以及馬達放置妥當，確認能順暢運轉。
- (5) 將發電模組放置在虹吸管下方，使出水口正對水輪受力的部位。
- (6) 開啟儲水槽中的沉水馬達開關，開始將水注入虹吸箱中。
- (7) 使用攝影機記錄虹吸裝置或發電模組，至少涵蓋5個虹吸循環。
- (8) 將5次實驗數據進行平均，確認結果。

## 五、研究結果：實驗1—虹吸管的粗細對於虹吸現象的影響

我們發現虹吸現象的過程可分為四個階段：

### (1) 階段一：注水階段

水從虹吸鐘下緣開口緩緩上升，直到虹吸管的上緣開口，此階段通常相當安靜。

### (2) 階段二：排氣階段

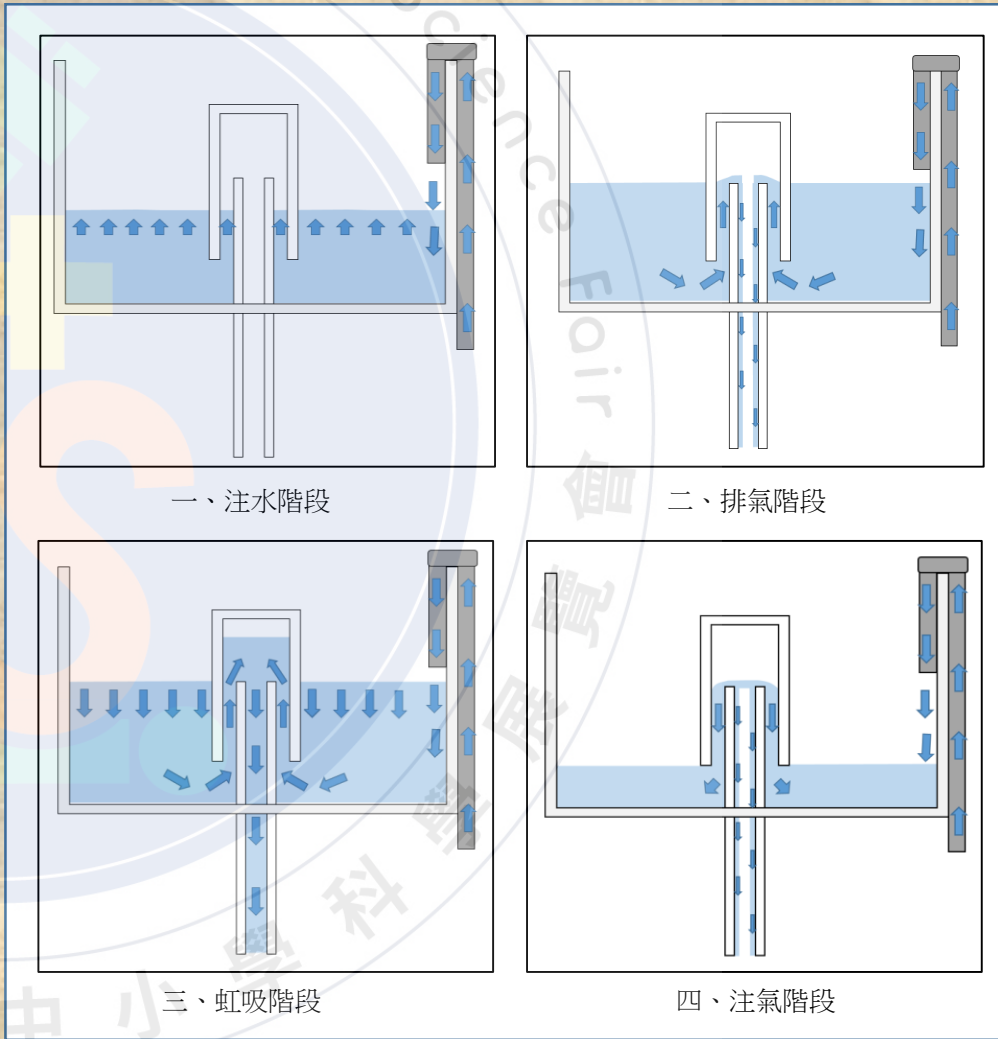
水位抵達虹吸管的上緣開口後，仍會因為水的表面張力而再上升一小段高度，水開始往虹吸管中流出，最後管中的水形成封閉點，水流會突然加速流出。

### (3) 階段三：虹吸階段

出現封閉點後，水流相當迅速，管內因沒有空氣，而呈現透明狀，則虹吸階段會在水位降到虹吸鐘下緣後終止。

### (4) 階段四：注氣階段

水位回到虹吸鐘下緣時，空氣又可進入虹吸鐘，直到虹吸鐘的水下降至虹吸鐘下緣。

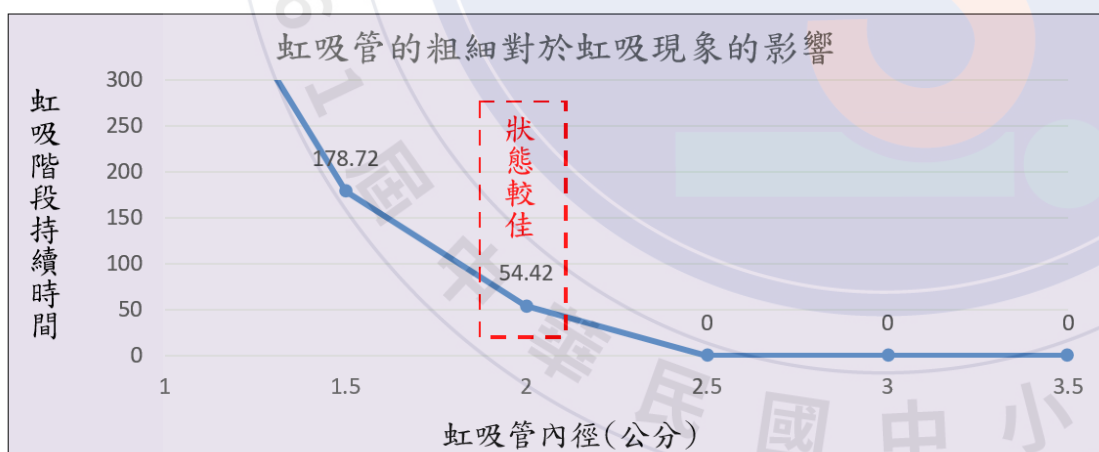
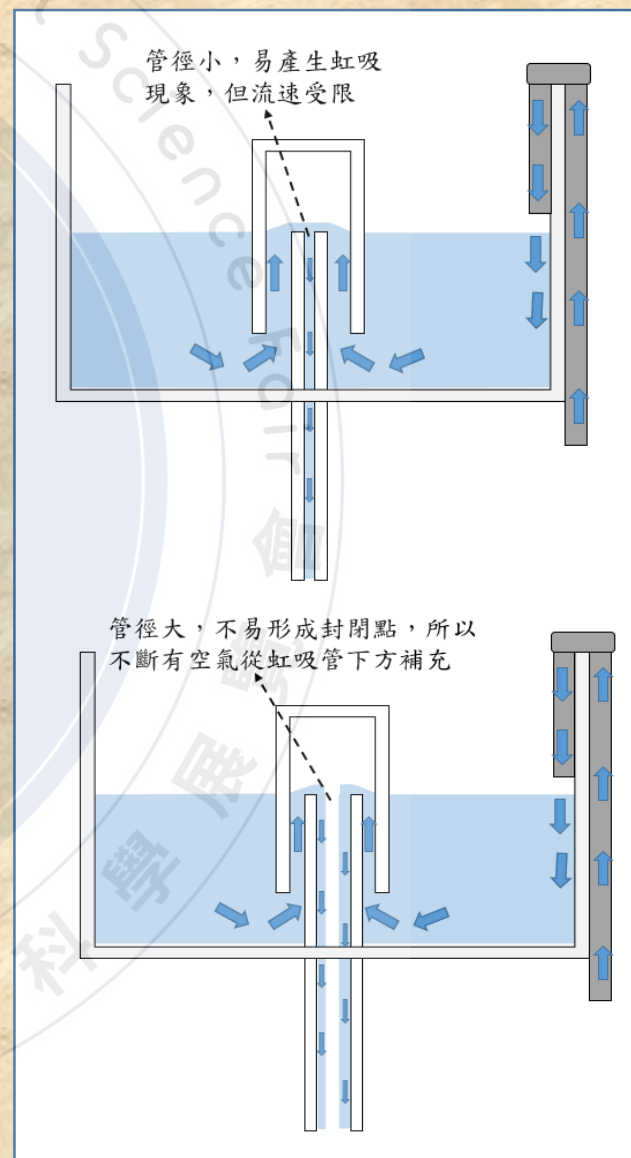


## 五、研究結果：實驗1—虹吸管的粗細對於虹吸現象的影響

使用內徑1.0、1.5、2.0、2.5、3.0及3.5cm的壓克力管當成虹吸管，從實驗結果，我們發現如下

(一)若虹吸管太粗時，因為要將管子的空間全部填滿，必須有較大進水量。

(二)若虹吸管内徑2公分或更小時，雖然會出現虹吸現象，但是因為虹吸管空間小，所以水不易完全下降，導致注氣階段過久，或者是無法停止，不僅產生噪音，且導致產生水流斷斷續續。



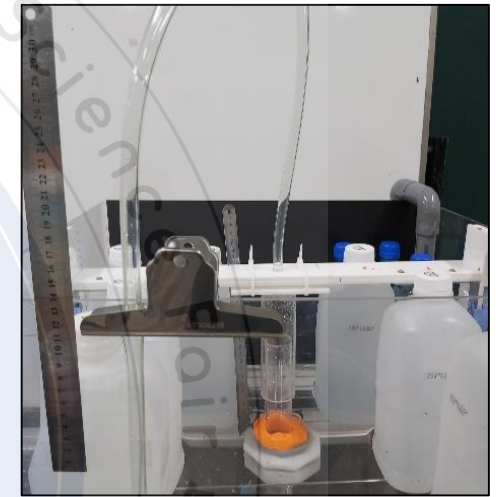
實驗 1 虹吸階段持續時間折線圖

## 五、研究結果：實驗4—注氣管終止注氣階段實驗

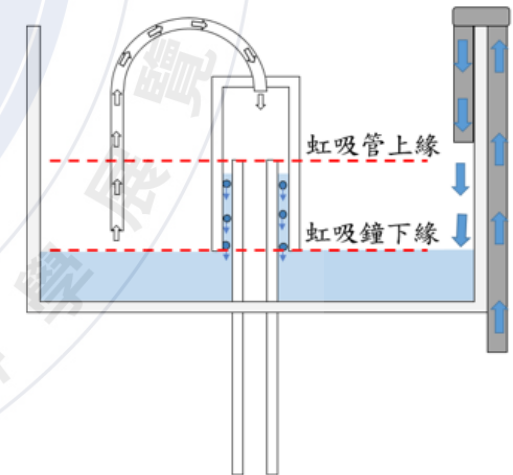
我們發現注氣階段容易干擾虹吸現象進程，不僅會拖慢整個循環，也會製造令人不悅的噪音，我們發現可在虹吸鐘上方加裝一條塑膠管，並加以密閉，然後將此管子的另一端放置於三個不同位置，分別是(1)水箱之外、(2)水箱內底部以及(3)略高於虹吸鐘下緣。

從實驗結果中，可以發現：

- (1)如果管子另一端離開水面，則因為可以不斷的提供空氣，因此排氣階段無法停止，使虹吸現象無法產生。
- (2)若將管子另一端放入水箱底部，則注氣管將無法在注氣階段發揮功用，也使得注氣階段會維持相當長的時間。
- (3)唯有將管子另一端放在介於虹吸管上緣及虹吸鐘下緣的範圍中，注氣階段才能快速完成，接著進到下一個注水階段。



實驗4注氣管外觀



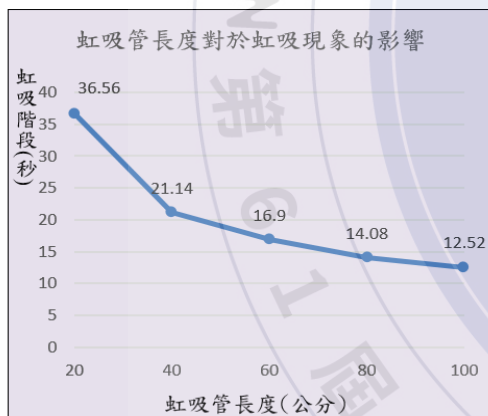
注氣管加速空氣進入虹吸鐘



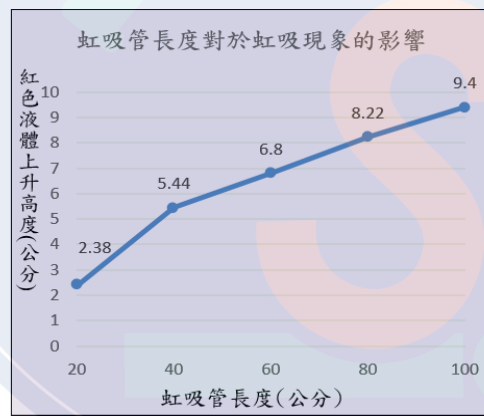
## 五、研究結果：實驗7-虹吸管長度對於虹吸現象的影響

從文獻探討中，我們了解到虹吸現象的產生主因就是虹吸管中的水受到重力而將虹吸鐘內的水也吸引向下。

因此我們用注氣管來測量虹吸鐘內的氣壓變化，將注氣管另一端改放入紅色液體中，方便我們測量被吸起的液體之高度，以了解虹吸鐘內的吸力強度，我們使用虹吸管長度分別為20、40、60、80及100cm。

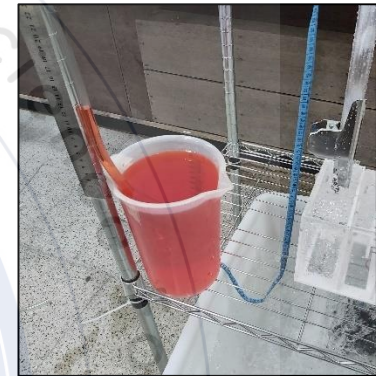


實驗7 虹吸階段持續時間折線圖

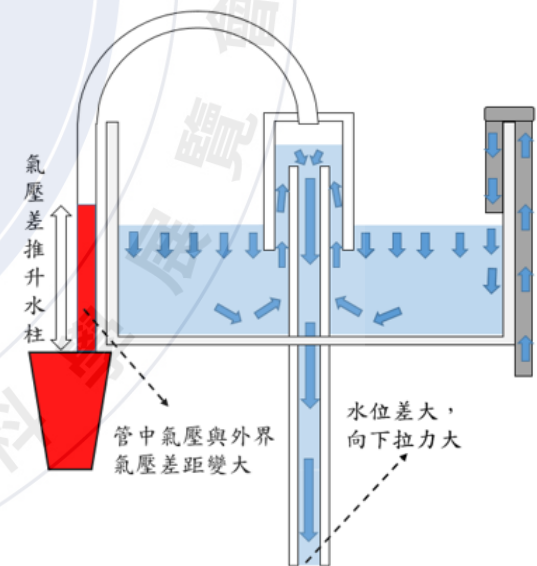


實驗7 紅色液體上升高度折線圖

從實驗結果中，明顯可以觀察到虹吸管的長度的確會顯著的影響虹吸現象，我們發現若管子愈長，則虹吸階段愈短，表示水流相對湍急。



注氣管另一端放入紅色液體中，測量液體上升高度



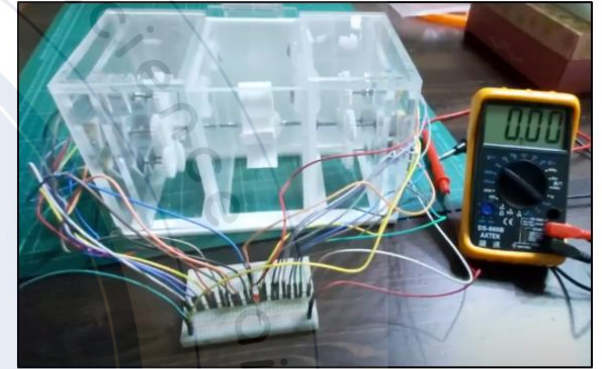
虹吸管較長，使水向下拉力變大

## 五、研究結果：實驗10-馬達數量對於水輪機盒取得能量的影響

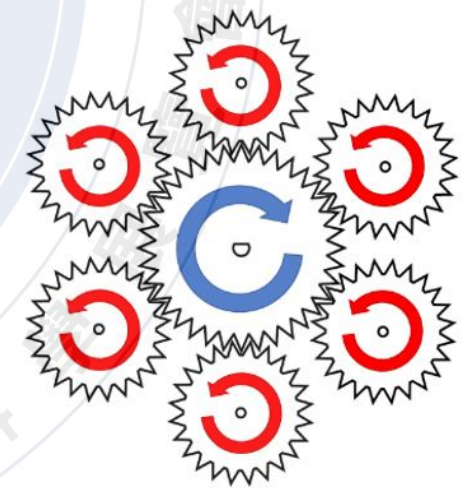
我們想要在這實驗中，使用最佳的虹吸裝置以及發電模組之組合，測試在相同注水量下，沒有虹吸現象以及產生虹吸現象時，面對不同馬達數量的發電效能。

在初步測試時，我們發現有虹吸現象下，使用1~6顆馬達時，其發電之效益(功率)穩步上升，因此我們推測應可推動更多馬達，於是我們將原本發電模組改良為容納12顆馬達之模組，期望可以更加確認此設計的價值。

另外，為了方便我們可以將12顆馬達進行串聯，以及可以因應馬達數量而改變線路的連接方式，我們使用杜邦線以及麵包板來做為馬達連接的媒介。



改良之 12 顆馬達之發電模組

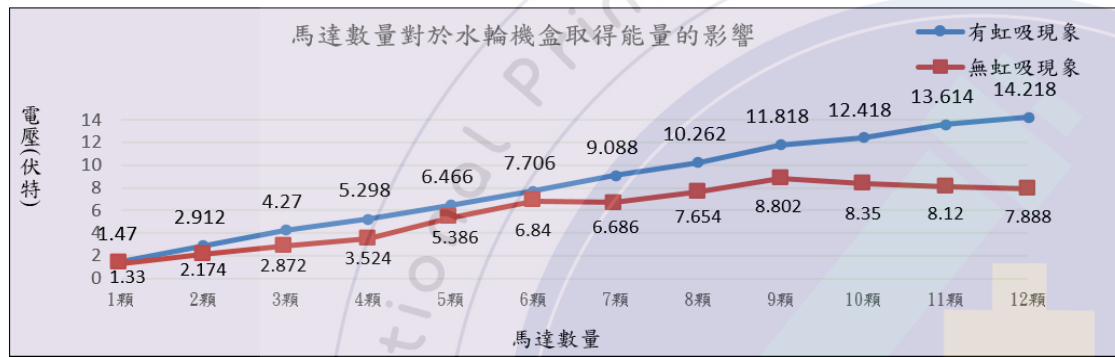


使用鐵軸上的大齒輪來帶動周圍  
6 顆小齒輪轉動

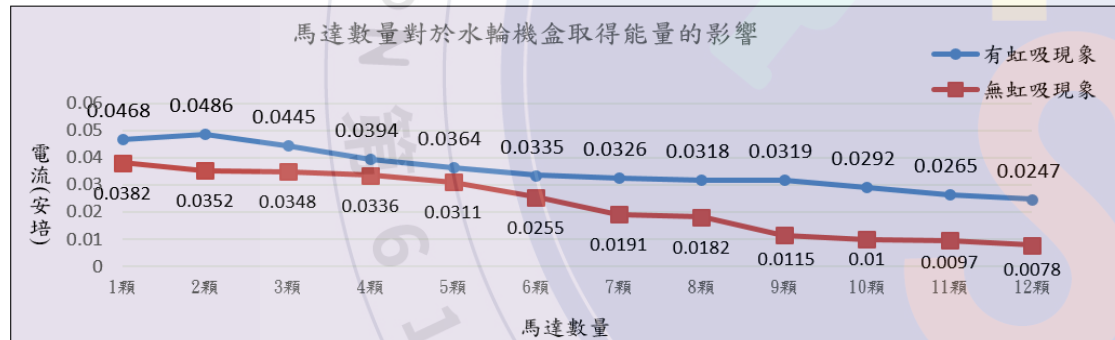
實驗 10 實驗結果

馬達數量		1 顆	2 顆	3 顆	4 顆	5 顆	6 顆	7 顆	8 顆	9 顆	10 顆	11 顆	12 顆
有虹吸現象	電壓 V	1.470	2.912	4.270	5.298	6.466	7.706	9.088	10.262	11.818	12.418	13.614	14.218
	電流 A	0.0468	0.0486	0.0445	0.0394	0.0364	0.0335	0.0326	0.0318	0.0319	0.0292	0.0265	0.0247
	功率 W	0.0688	0.1415	0.1900	0.2087	0.2354	0.2582	0.2963	0.3263	0.3770	0.3626	0.3608	0.3519
無虹吸現象	電壓 V	1.330	2.174	2.872	3.524	5.386	6.840	6.686	7.654	8.802	8.350	8.120	7.888
	電流 A	0.0382	0.0352	0.0348	0.0336	0.0311	0.0255	0.0191	0.0182	0.0115	0.0100	0.0097	0.0078
	功率 W	0.0508	0.0765	0.0999	0.1184	0.1673	0.1743	0.1274	0.1395	0.1016	0.0835	0.0792	0.0621

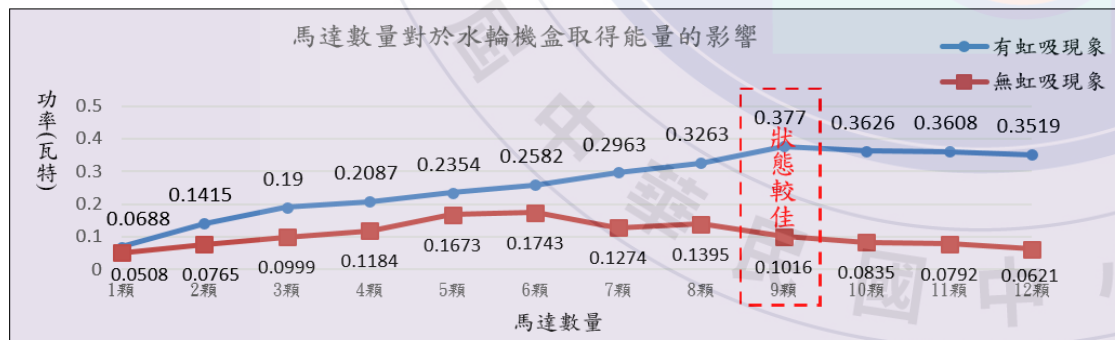
## 五、研究結果：實驗10-馬達數量對於水輪機盒取得能量的影響



實驗 10 電壓折線圖



實驗 10 電流折線圖



實驗 10 功率折線圖

從實驗結果，我們有三個重要發現，首先是電壓方面，有虹吸現象時，電壓隨著馬達數量變多而上升；反觀無虹吸現象時，則在馬達增加至8顆時，就因為轉動齒輪不易，而電壓開始緩步下降，當使用12顆馬達時，有無虹吸現象的電壓數值約為2:1。

另外，在電流方面，馬達愈多電阻愈大，電流愈小，有虹吸現象仍可獲得較高的電流，當使用12顆馬達時，電流呈現3:1的懸殊差異。

最後，在功率方面，使用 $W(\text{功率}) = V(\text{電壓}) \times I(\text{電流})$ 公式，得到功率的折線圖，可清楚發現使用的馬達愈多，則有無虹吸現象之間的差異就愈大，例如在12顆馬達的狀態下，二者的功率已呈現6:1的差異。

## 六、結論與建議

### (一)作品貢獻：

根據以上結論，本作品之貢獻如下

1. 本研究針對虹吸鐘裝置進行完整探討，讓我們可以更了解虹吸鐘運作原理及改良方式。
2. 本研究深入分析的發電設備對應不同強度的水流時，可採用的較佳發電方式。
3. 本研究將虹吸鐘加強水流的優勢巧妙的融入小規範的儲水設備，讓我們在能源的獲得上多了一種聰明的選擇。

### (二)對未來研究的建議：

1. 本研究在虹吸鐘的設計上，採用壓克力管材質，可能與一般的仿間的水電器材之特性有差異，建議未來的研究者可使用更貼近生活之用品來進行研究。
2. 本研究為了節省用水，所以使用較小的水箱與水量，並且盡可能重覆使用實驗用水，因此在進行實驗記錄時，可能會導致照片或影片清晰程度下降，建議未來的研究者可斟酌改善。