

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

第一名

080104

「顯像」環生—環形氣泡產生方法及變因之研究

學校名稱：國立臺中教育大學附設實驗國民小學

作者： 小六 郭芷彤 小六 謝沂勳 小五 王若瑜 小五 黃子恩 小六 余懷生	指導老師： 黃尚偉 簡辛如
---	-----------------------------

關鍵詞：環形氣泡、渦環、流場分析

得獎感言

傳承味·科展行

「第三名沒有、第二名沒有，那就是第一名了！萬歲！」

在科教館，我們心裡興奮的歡呼著，這是連做夢都想不到的結果！

科展過後「印象最深刻的是什麼？」也許是回憶中最令我驕傲刻骨銘心的事件，最讓自己難以忘懷的心情、記憶與時刻，也許是團隊中的巧妙傳承。

科展新手的挑戰

這是我們第一次參加科展，在這一年中，我們從討論主題、設計實驗，到市賽國賽，不斷經歷了失敗、挑戰與磨練，同時在彼此合作與默契下支撐著希望。午休早修的實驗、討論；週三下午的揮汗搬水桶；寒暑假到學校集訓背稿練問題，這些時光在我腦海裡不斷翻騰著、重複著。雖然知道走這條路必定會很疲憊，但一想到那段在熬過時的痛快，動力就會一陣陣的朝心頭湧來。

記得一開始，我們尋找並嘗試各種新奇的實驗。確認主題後，還需要去找原理，這對那時候的我來說，有點困難。我們第一次是做重壓市售瓶的實驗，非常有趣。因為我們就像一條完美的生產線，量完瓶子的基本數據後，送到我這裡做重壓測試，接著紀錄結果。完成後，我迎來了第一份實驗報告。因為從來沒寫過，所以相當困難。即使現在比較熟悉了，也要花上一兩個小時才能完成。真的很辛苦，但，走過了才能體驗其中的酸甜苦辣啊！

屬於學長姊的成長

回顧這一年來做科展的點點滴滴，許多回憶湧上心頭。剛開始時，我們在大水桶裡嘗試各種東西可能打出環形氣泡的東西。結果沒弄出個結果，反而是教室地板大淹水，成了水樂園。

踏入實驗後，我們要整理實驗記錄並寫出結論。雖然不是第一次參加科展，不過還是會寫不完、很晚睡，甚至隔天到學校用下課時間繼續寫。不過有了這樣的訓練，我們可以感覺到整理結論的能力正在增強。甚至實驗過程中需要靠網路自學來學會使用不同程式工具幫助測量(tracker 軟體)。自己弄、自己學，全部自己來，也許，就是長大的感覺。

當新舊交會，就是傳承

這段過程，其實我們要感謝很多人。老師們引導我們做實驗、找主題、查資料、口語訓練，不斷質疑我們的想法，希望我們去驗證。科展團隊夥伴更是重要，一開始，學長姊就帶著我們認識整個科展流程，領導規劃實驗的分工。口語練習時，只要遇到答不出的問題，學長姊們也會站出來回答。希望，我們以後也能像他們一樣，當個照顧引導學弟妹的學長姊。

雖然一年下來的科展很辛苦，但也從活動中漸漸領悟到科學的原理與精神，體會到團隊合作的重要性，也可以說是毫無遺憾的努力過了！而我們，也因為這中間的努力，在最後得知名次時，才會在心裡有最開頭的那一句歡呼吧！



當兩個環形氣泡對撞，究竟會發生什麼事情呢？



家人無怨無悔地接送、支持，讓我們更勇敢向前衝！



我們是耐操、搞笑又會搶麥克風的最佳團隊！

摘要

我們從網路影片發現海豚能夠吐出環形氣泡！對環形氣泡產生興趣後，我們自製以**相同力道**製造環形氣泡的施力裝置，進行環形氣泡**產生方法**和**變因**的探討。

我們推薦以**空氣砲**製造環形氣泡。空氣砲使用**3D 列印中空圓筒瓶**，瓶底包膜以**繡框**固定**矽膠保鮮膜**，並以**推膜**施力。

我們以細小氣泡作為**顯影顆粒**，進行**簡易的流體可視化**，分析出**環形氣泡形成歷程**與**內部運動軌跡**。

孔徑、管長和管徑都會影響環形氣泡效果。管徑 3 吋圓筒瓶最佳化為「孔徑/管徑 = 1/3、管長 20cm」。施力大小與孔徑則會影響**環形氣泡直徑**。

環形氣泡需要氣泡才能現形，我們研發出**內塞氣泡石、現形水量**方法，讓**氣泡現形一體化**。此外還發現環形氣泡對撞會有**互相抵銷、吸收與後凹抵銷一半**現象。

壹、研究動機

「**海豚居然會吐出環形氣泡！**」我們在網路上看到神奇的環形氣泡影片！海豚在水中吹出甜甜圈形狀的氣泡，氣泡會不斷翻轉和前進！

我們對環形氣泡產生好奇心，研究了網路上的文獻資料。發現原來**環形氣泡是「渦環」**，水流力量從中心向外側翻轉，造成甜甜圈形狀。

海豚、潛水員能在水中製造環形氣泡，那**生活中的物品可以製造環形氣泡嗎？**五年級自然課「聲音」單元玩過空氣砲，空氣砲可以打出環形煙霧，那**空氣砲放入水中會有效果嗎？**我們決定研究**製造環形氣泡的方法**。經過簡單測試後，發現**對寶特瓶施力能夠產生環形氣泡！**於是繼續研究**穩定的施力裝置**，並以**3D 列印**印製各種的瓶子進行測試。希望能夠瞭解環形氣泡的**產生方法**和**影響變因**，進而將這個有趣現象推廣出去。



圖 1：海豚會吐出環形氣泡。(圖片引自文獻 1)

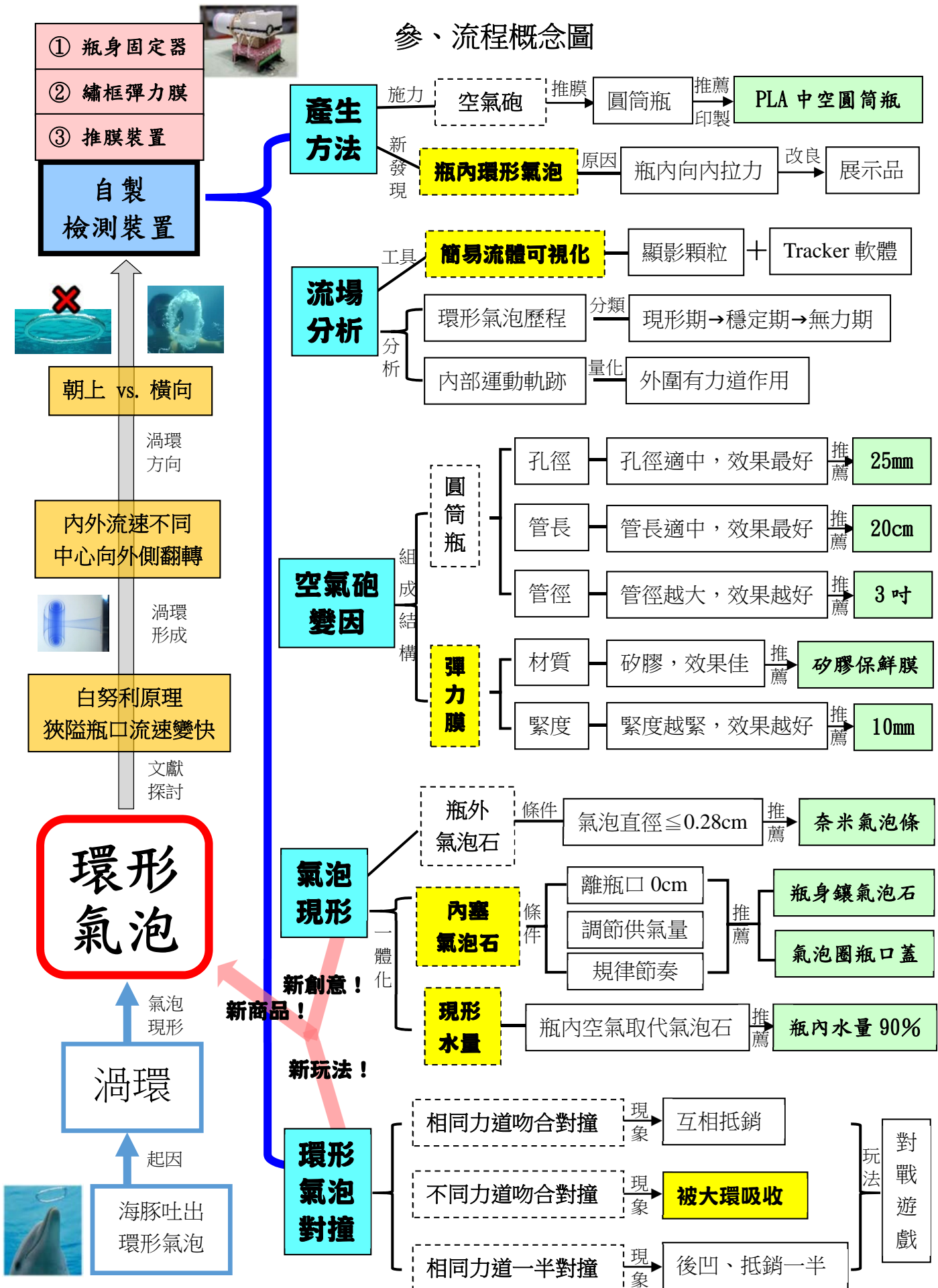


圖 2：對寶特瓶施力可以產生環形氣泡。

貳、研究目的

- 一、研究製造環形氣泡的最佳方法。
- 二、建立環形氣泡的流場分析。
- 三、分析影響環形氣泡的變因。
- 四、研發環形氣泡現形的可能性。
- 五、測試環形氣泡對撞的現象。

參、流程概念圖



肆、文獻探討

一、渦環與環形氣泡：

對水族箱中裝水的瓶子施力，外力導致瓶子內部的水往瓶口移動。經過瓶口時，因為**瓶口比較狹小**，根據**白努利原理**，流體流經較狹隘的途徑（出口）時，會有比較快的流速。因此離開瓶口後，中心水流流速較快。而外側水流受到周圍的阻力較多，導致外側水流流速較慢。**中心流速較快，外側流速較慢，因此產生由中心向外側翻轉、甜甜圈狀的「渦環」**。下圖為渦環產生的分解圖。

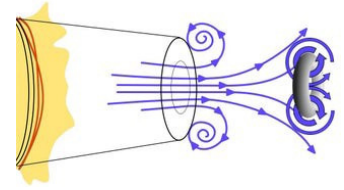


圖 3：水流經過狹小瓶口速度加快。中心和外側流速不同，產生翻轉的渦環。
（圖片引用自文獻 2）

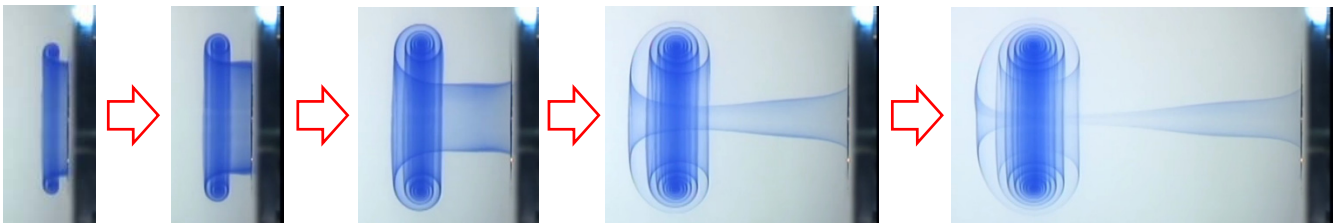




圖 4：經過色素染色的渦環產生分解圖（圖片引用自文獻 3）。

水流產生的渦環並無法用肉眼看到！但渦環翻轉前進的過程，會有一股吸引的力量。當**渦環經過的路徑有空氣泡泡，會將氣泡捲入渦環中**，而出現「**環形氣泡**」。




就像空氣砲實驗需要在瓶中加入煙霧，才能看到甜甜圈煙霧。**水中的渦環也需要空氣泡泡，才能讓環形氣泡現形！**我們想到使用**氣泡石打氣提供氣泡**讓環形氣泡現形！

二、朝上環形氣泡 vs. 橫向環形氣泡：

我們在網路搜尋環形氣泡的資料時，網路上的資料大多是在海中或游泳池製造環形氣泡。而且**環形氣泡的方向不同（朝上、橫向），產生方式和氣泡效果都會不同**。分析內容如下：

方向	產生方式	產生效果	照片
朝上	<ul style="list-style-type: none"> 潛水員使用特殊嘴形從口中吐出一口氣泡，並將嘴巴快速閉合，形成環形氣泡往上。 不須外力，靠空氣浮力向上。 	<ul style="list-style-type: none"> 氣泡垂直往上升。 隨著上升距離越多，氣泡直徑越來越大。 氣泡環是一個大氣泡組成。 	 <p>(圖片引用自文獻 4)</p>
橫向	<ul style="list-style-type: none"> 潛水員在水中製造出一堆小氣泡，將雙手握拳，快速揮動，讓小氣泡形成環形氣泡往前。 需靠外力推動水流橫向前進。 	<ul style="list-style-type: none"> 氣泡會橫向前進。 氣泡前進不會改變直徑大小。 氣泡環由很多小氣泡組成。 	 <p>(圖片引用自文獻 5)</p>

我們無法一直潛在游泳池中進行實驗，需要找到其他能夠產生環形氣泡的方法。經過網路資料的搜尋，我們找到幾種在教室的水缸中產生環形氣泡的方法。分析如下：

名稱	開關瓶口	重壓瓶身	空氣砲
產生方法	糖果罐瓶蓋打孔。糖果罐內注入空氣，將瓶蓋孔洞快速打開再閉合，會產生朝上的環形氣泡。	寶特瓶灌滿水，瓶口前方以空壓機打氣冒泡。以棒球棍重壓寶特瓶瓶身，會產生橫向的環形氣泡。	塑膠瓶後方切斷，包上氣球膜。在瓶子內部加入顏料，拍打後方氣球膜，會產生橫向環形氣泡。
照片			
氣泡方向	朝上	橫向	
環境需求	直徑大的垂直水缸	長度長的長型水缸	
遭遇問題	<ul style="list-style-type: none"> ● 需設計能控制洞口開關的容器。 ● 垂直水缸貴又危險。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 以棒球棍重壓不穩定，需要穩定的施力方法。 ● 需要穩定的冒泡方法。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 手拍打氣球膜不穩定，需要穩定的施力方法。 ● 顏料現形會弄髒水缸。
資料來源	文獻 6	文獻 7	文獻 8

經過評估後，我們決定針對「橫向環形氣泡」進行實驗，以「空氣砲」和「重壓瓶身」方法進行研究。因為長型水缸比垂直水缸容易準備且安全。而且空氣砲與自然課的聲音單元內容相關，我們比較熟悉空氣砲的製作與操作。

三、歷屆科展研究：

我們搜尋了歷屆全國科展的研究，找到了與環形氣泡相關的研究，整理如下：

屆數組別	作品名稱	作品相關內容	作品分析
第 50 屆 高中組(文獻 6)	環形泡泡產生 機制之探討	探討朝上的環形氣泡產生的過程和變因。	此作品討論的是朝上的環形氣泡，產生方式和氣泡效果都與我們的研究不同。
第 50 屆 國中組 (文獻 9)	水舞太極之氣 泡聲光魔幻秀	手壓橡皮球，改變橡皮球內部的水量對環形氣泡產生的影響。	<ul style="list-style-type: none"> ● 橡皮球內裝水量的測試可以做為實驗檢測的參考方向。 ● 使用手壓橡皮球，力道不穩定。
第 58 屆 國小組 (文獻 10)	空氣砲的密碼	<ul style="list-style-type: none"> ● 探討紙筒做的空氣砲在孔徑、筒徑等…變因的影響。 ● 以口罩帶和塑膠袋進行拉膜施力。 ● 使用空氣砲對準電子秤施打，看電子秤顯示的衝力瞭解空氣砲效果。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 各種變因探討，可作為實驗參考方向。但我們的實驗需在水中進行，需克服更多問題，例如水的阻力、浮力。 ● 使用手拉膜施力，力道不穩定。 ● 塑膠袋沒彈性，需以口罩帶給力道。 ● 紙筒製作的瓶身不易改變筒徑與瓶子形狀，變化度較低。 ● 使用空氣砲對準電子秤測量衝力，但有衝力並不一定能出現渦環。我們需要真正能讓渦環現形的測量方式。

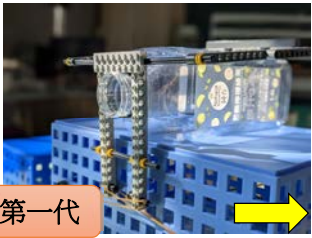

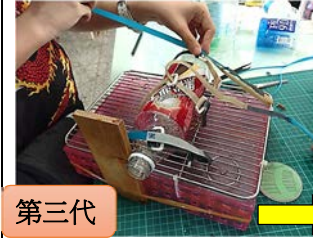
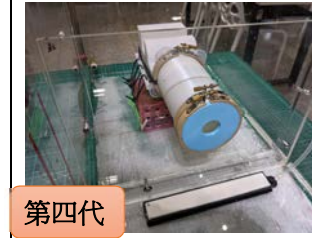
伍、實驗裝置設計

我們從網路搜尋和實際測試後，發現對寶特瓶施力可以產生環形氣泡。為了能準確測量各種變因對環形氣泡的影響。我們必須**使用相同的力道對瓶子施力**，並維持相同的施測環境。我們自製了「**瓶身固定器**」固定瓶子的位置和高度，研發出以 2.5 kg 槓鈴片當作施力力道的「**推膜裝置**」。並且訂出測量的**標準實驗流程**，讓測量更加精準。

一、瓶身固定器

當寶特瓶內部有空氣時，會造成瓶子漂浮，無法穩定施力。我們**必須將瓶身固定住，才能穩定施力**。我們先使用收納盒墊高瓶子，避開氣泡石本身厚度的影響。為了能夠將瓶子固定在收納盒上，我們使用了電子樂高積木、橡皮筋、魔鬼氈等材料，經過三代改良，完成了「**瓶身固定器**」。第三代瓶身固定器能夠調整魔鬼氈的長度，**綁住不同直徑的瓶子**，而且**替換方便**！

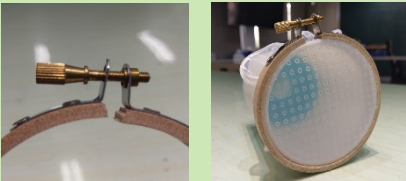
後期實驗常使用 3 吋圓筒瓶，為了固定超長圓筒瓶，我們設計出第四代瓶身固定器！將挖洞的壓克力板鎖在水缸上，圓筒瓶穿過壓克力板前後再鎖上繡框，固定瓶身效果更加穩固！

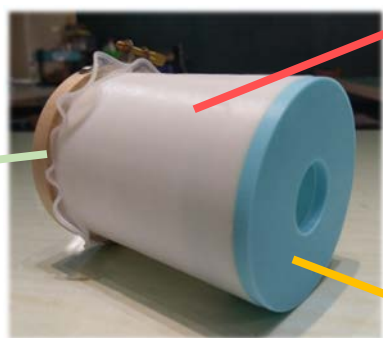
			
第一代	第二代	第三代	第四代
以電子樂高積木固定瓶口，但束縛度不夠，瓶口還是會搖動。	以橡皮筋拉緊束縛住瓶口和瓶身。但更換瓶子不方便。	以修整過的魔鬼氈繞圈固定。方便更換，且能緊緊纏住瓶身。	將圓筒瓶身卡入壓克力板中，前後以繡框固定，更加穩固。

二、繡框固定空氣砲的彈力膜

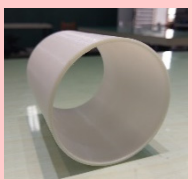
空氣砲在**包膜時需要以相同的力道固定**才能公平檢測，我們想到刺繡用的**繡框**！繡框有螺絲可以鎖緊，**鎖緊的圈數可以決定固定力道大小**。**拆卸方便的繡框**能夠固定彈力膜，而且能快速更換彈力膜。搭配 3D 列印中空圓筒瓶和可拆卸的瓶口蓋，方便進行變因實驗測試。

繡框
繡框套入圓筒瓶後，上方螺絲鎖緊，能固定在圓筒瓶上。可利用繡框固定彈力膜。






中空圓筒瓶
3D 列印中空圓筒瓶，可改變管長和管徑。



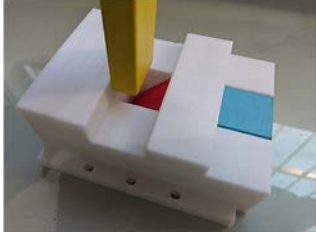

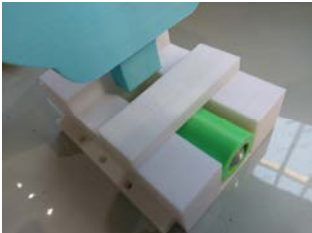


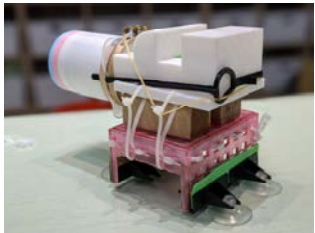


瓶口蓋
3D 列印瓶口蓋，可組裝和更換不同孔徑。

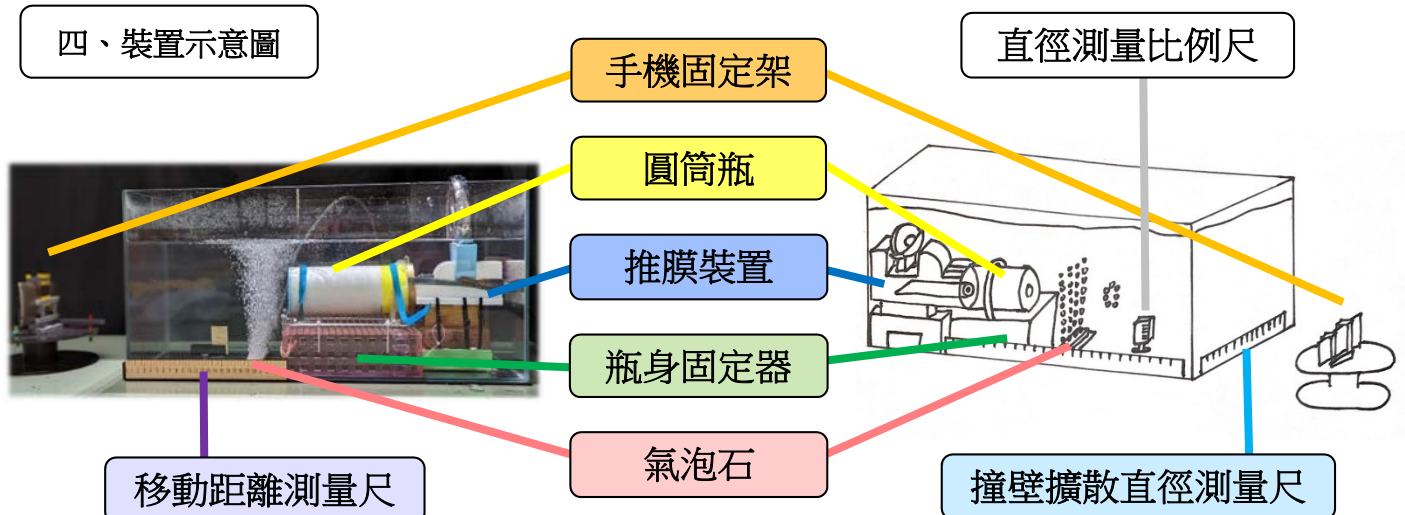


三、推膜裝置

使用拉膜產生環形氣泡的力道並不穩定，拉開彈力膜的位置點和施力方向會影響環形氣泡前進的角度。我們希望能以「非人力的施力方式」推膜產生環形氣泡。我們先嘗試橡皮筋綁木塊，但彈力在水中的力道太弱。接著使用電子樂高組裝電動裝置，以馬達驅動墊片敲打彈力膜，但力道還是不足。最後想到使用重物當成穩定的力量。我們使用 2.5kg 的槓（鈴）片從上方下壓斜角積木推桿，就能把積木推桿橫向推出去。將下壓力量轉換成橫向力量。槓片都從高度 5cm 處放下，能夠產生相同的推力！以積木製作出模型測試成功後，老師幫我們將模型製作出 3D 列印模型。經過多次的測試與修正，我們成功設計出「推膜裝置」！能夠以穩定的重量下壓，產生往前推膜的力量。推膜裝置測試後能成功製造出環形氣泡！

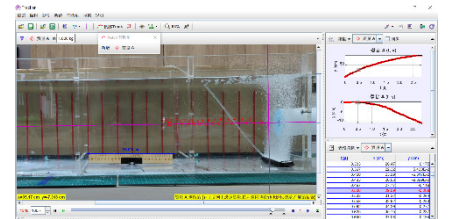
			
使用電子樂高驅動槌打膜，但力道太小。	黃色積木下壓，能將斜角積木推桿橫推。	將外框的積木繪製成 3D 列印模型。	印製槓片套模，取代手施力的黃色積木。
			
斜角積木泡水會膨脹，改成 3D 列印推桿	使用鐵環和塑膠繩無法固定瓶子和裝置。	改用魔鬼氈和繡框成功固定瓶子和裝置。	底部增加吸盤，能在水缸中固定位置。

四、裝置示意圖



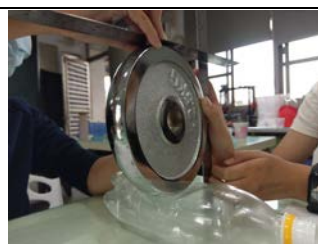
五、「環形氣泡」標準檢測流程

1. **測量瓶子基本資料**：測量檢測瓶子的尺寸和硬度，將基本資料記錄在表格中。
2. **固定瓶子與灌水**：將檢測瓶子固定在瓶身固定器上，放入水缸中，將瓶子裝滿水。
3. **固定瓶口位置**：將奈米氣泡條放置於瓶口前，固定瓶子與對面缸壁的距離。
4. **推膜裝置施力**：以推膜裝置穩定的對瓶子施力，**檢測是否產生環形氣泡**。
5. **量化檢測項目**：測量「**環形氣泡效果**」，我們分成「**移動距離**」與「**撞壁擴散直徑**」。此外我們還會測量「**環形氣泡直徑**」與「**環形氣泡移動速度**」。
 - (1) **移動距離**：測量環形氣泡**移動最遠距離**（途中消散或浮出水面為停止）。測五次，取平均。
 - (2) **撞壁擴散直徑**：並不是所有的環形氣泡都能夠測到最遠移動距離（水缸太短）。我們發現環形氣泡打到對面缸壁時，氣泡會散開。當效果越好的環形氣泡，撞壁產生的直徑越大。因此我們從水缸正面以手機錄影測量「**氣泡打到缸壁後，擴散的最大直徑**」。測五次，取平均。
 - (3) **環形氣泡直徑**：水缸中放置對齊瓶口的比例尺（5 cm）。從水缸側面以手機錄影，在影片中**測量環形氣泡直徑和比例尺長度**，就可計算出真正的「**環形氣泡直徑**」。測五次，取平均。
 - (4) **環形氣泡移動速度**：水缸中放置對齊瓶口的比例尺（10 cm）
 - 從水缸側面以手機錄影，以 **Tracker 軟體分析影像**（右圖），可計算出環形氣泡的移動速度。



測量尺寸

以兩支直尺夾住瓶子
測量長、寬、高。



測量硬度

以 2.5kg 槓片壓瓶子
中央測量下陷距離。



固定瓶子

將檢測瓶子綁在瓶身
固定器上。



瓶子灌水

瓶身固定器放入水
缸，將瓶子灌滿水。



固定瓶口位置

瓶口前放置氣泡石，
固定與對面缸壁距離



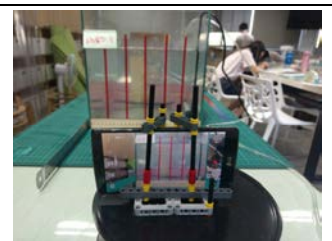
推膜施力

以推膜裝置穩定施力
，製造環形氣泡。



測量移動距離

以手機錄影測量環形
氣泡移動最遠距離。



測量撞壁擴散直徑

手機錄影打到缸壁的
氣泡擴散最大直徑。

陸、研究過程及結果

第一部份：空氣砲方法

文獻研究發現產生環形氣泡的方法有「空氣砲」和「重壓瓶身」。我們針對「空氣砲」方法進行研究與變因探討。我們也有研究「重壓瓶身」方法，將研究成果放在附件一。

空氣砲方法能在水中產生環形氣泡嗎？哪一種瓶子效果最佳？除了氣球皮和塑膠袋，有更好的**彈力膜**嗎？我們嘗試製作**最佳化的水中空氣砲**，並研究**孔徑、管長和管徑**變因影響。

實驗一、市售瓶子種類：

(一)、研究歷程：

1. 我們使用**拉膜方法**進行實驗，以瓶子和氣球皮製作成空氣砲，拉膜進行測試。
2. 將測試瓶子瓶底挖空直徑 5cm 的洞（瓶底留下外框，增加瓶底硬度）。把 10 吋珍珠皮氣球，切掉前端 1/4。剩下的氣球皮拉開套入測試瓶子底部，交接處以電火布固定。
3. 將測試瓶子固定在瓶身固定器上，放入水缸中後裝滿水。瓶口距離缸壁為 60cm。瓶口前 8cm 擺放奈米氣泡條，產生氣泡幕，讓渦環通過時吸引氣泡，讓環形氣泡現形。
4. 將**氣球皮往後拉 3cm**（施力者以固定架的鐵架三格確認拉 3cm，觀測者在水缸外以鐵尺同時確認 3cm 距離），放開氣球皮，觀察是否產生環形氣泡，並測量環形氣泡移動距離。同一種瓶子檢測五次，計算平均。

(二)、實驗數據：

瓶子名稱	鮮剖椰子汁	黑松沙士	埔里竹炭水	芭樂檸檬綠茶	義大利礦泉水
選取原因	典型圓形瓶	曲線瓶底五爪	瓶身很軟	方形瓶	曲線瓶
材質	PET	PET	PET	PET	PET
硬度(cm)	1.2	2.5	5.1	0.7	6.0
環形氣泡成形	○	○	X	○	X
氣泡移動距離(cm)	42.5	15.6		13.5	
實驗描述	不易變形	五爪不易包膜	太軟無法包膜	方瓶包膜易破	太軟無法包膜

瓶子名稱	英倫紅茶	AB 優酪乳	比菲多發酵乳	酒精消毒液	50 嵐飲料杯
選取原因	瓶身有稜角	瓶口孔徑大	瓶身很短	瓶身很硬	杯口沒有收口
材質	PET	HDPE	HDPE	PP	PP
硬度(cm)	1.6	1.0	1.0	0.6	2.5
環形氣泡成形	○	○	○	○	X
氣泡移動距離(cm)	51.0	33.4	20.5	34.0	
實驗描述	不易變形	太硬不易挖洞	太硬不易挖洞	拉膜容易破裂	無法產生渦環

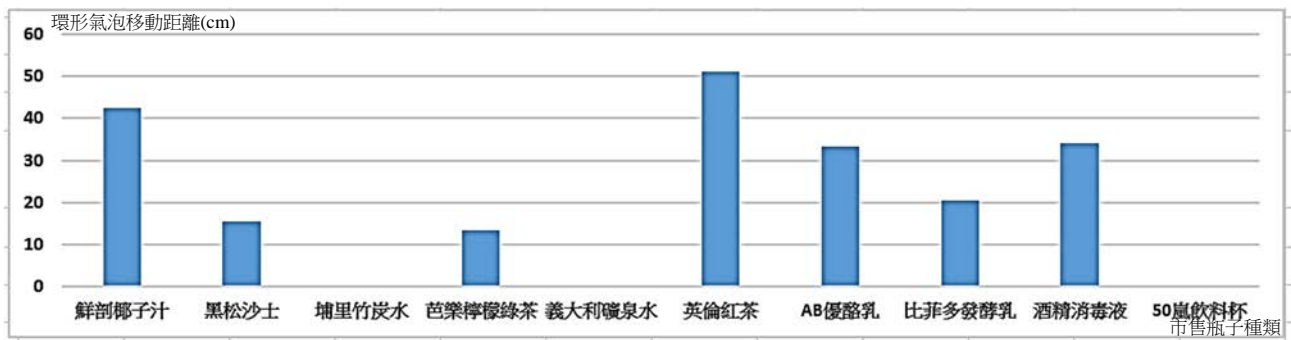


表 1：市售瓶子種類對環形氣泡移動距離長條圖

(三)、實驗結果：

1. 效果最佳的前三名市售瓶子為英倫紅茶、鮮剖椰子汁、酒精消毒液。
2. **瓶子越硬，越適合包膜。**瓶子太軟無法做成空氣砲（氣球皮收縮彈力會讓瓶底變形）。
3. 瓶底不能太硬，不易挖洞。瓶底也不能有造型（例如：五爪），包出的膜會不平整。
4. 瓶子沒有收口（50嵐飲料杯）無法產生環形氣泡！**瓶子收口才能產生環形氣泡。**
5. 方形瓶不適合包膜方法，因為方形瓶包膜不方便，而且方形的角容易撐破氣球皮，產生環形氣泡的效果也差。推薦使用**圓筒形狀的瓶子**進行包膜實驗。
6. 適合包膜的瓶子條件為「**硬度夠硬、圓筒形狀、瓶底容易開洞**」。
7. 市售的寶特瓶無法改變尺寸，我們決定接下來實驗使用**3D 列印，以 PLA 材質印製出中空圓筒狀的瓶身**。因為夠硬又可以自由改變尺寸。



圖 5：酒精瓶瓶底太硬，老師以焊槍協助挖洞



圖 6：方形瓶不適合氣球包膜，容易破掉。

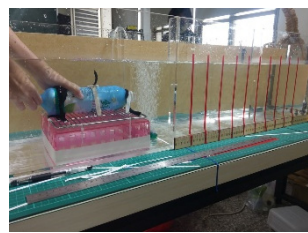


圖 7：在訂製的長型水族箱進行拉膜實驗。

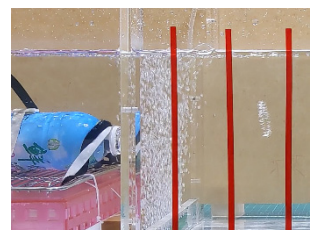


圖 8：空氣砲方法在水中能產生環形氣泡。

實驗二、彈力膜材質、緊度：

(一)、研究動機：

空氣砲大多使用氣球皮或塑膠袋作為彈力膜。但**氣球皮容易氧化、塑膠袋需要搭配橡皮筋使用**，是否有更適合的彈力膜呢？我們想到**矽膠泳帽有彈性又耐用**，於是蒐集類似的材質進行檢測。但檢測膜需要使用相同的力量固定膜，我們找到「**繡框**」能用相同的力道鎖緊**平面的膜**，並搭配 PLA 線材 3D 列印的圓筒瓶，希望能找到**方便、耐用、效果好的彈力膜**。

(二)、研究方法：

1. 以 PLA 線材列印管徑 3 吋、管長 15cm、孔徑 25mm 的中空圓筒瓶。
2. 以 3 吋繡框將檢測膜固定在圓筒瓶底部，將繡框螺絲鎖至 5 圈，維持相同力道。
3. 將圓筒瓶固定在瓶身固定器上，放入水缸中後裝滿水。瓶口距離缸壁為 60cm。瓶口前 8cm 擺放奈米氣泡條，產生氣泡幕，讓渦環通過時吸引氣泡，讓環形氣泡現形。
4. 將檢測膜往後拉 3cm（施力者以固定架的鐵架三格確認拉 3cm，觀測者在水缸外以鐵尺同時確認 3cm 距離），放開檢測膜，觀察是否產生環形氣泡，並測量環形氣泡移動距離。同一種瓶子檢測五次，計算平均。

(三)、實驗數據：

1.彈力膜的材質（管長 15cm、管徑 3 吋、孔徑 25mm）

名稱	10 吋珍珠皮氣球	塑膠垃圾袋	矽膠泳帽	廚房用矽膠手套	片狀矽膠保鮮膜	蓋狀矽膠保鮮膜
材質	天然乳膠	HDPE	矽膠	矽膠	矽膠	矽膠
結構	立體	平面	裁切成平面	裁切成平面	平面	立體
價錢 (元/個)	2.6	0.2	39	25	9	30
厚度(cm)	0.02	太薄無法測	0.1	0.04	0.05	0.05
環形氣泡成形	○	X	○	○	○	○
氣泡移動距離(cm)	55.0		38.9	46.0	60.0	55.6
實驗描述	膜有凸點，拉完會凹陷	沒有彈力，沒有效果	很好裝，但要裁切	很好裝，但要裁切	膜有顆粒，容易拉	蓋狀，很難用繡框鎖緊

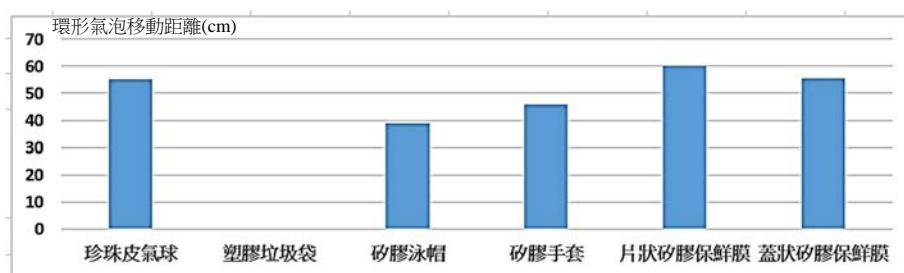


表 2：彈力膜種類對環形氣泡移動距離長條圖

2. 彈力膜的緊度（管長 15cm、管徑 3 吋、孔徑 25mm）

經過「1.彈力膜的材質」實驗，歸納出「片狀矽膠保鮮膜」效果最好。因為片狀矽膠保鮮膜上有排列整齊的方格點顆粒。我們想到可以用方格點拉開的距離檢測彈力膜的鬆緊度。

片狀矽膠保鮮膜的方格點，每格原本距離 5mm。我們將矽膠保鮮膜拉大，以直尺測量方格點的間距，使用繡框固定在 3D 圓筒瓶上，以推膜裝置進行檢測。3D 圓筒瓶距離缸壁 30cm。以手機錄影測量撞壁擴散直徑。測量五次，計算平均，數據如下。

方格點間距(mm)	5	7.5	10	12.5	15	20
環形氣泡成形	○	○	○	○	X	X
氣泡移動距離(cm)	30.0	30.0	30.0	30.0		
撞壁擴散直徑(cm)	9.6	10.0	10.4	11.2		
實驗描述	不需拉開 使用方便	實驗時膜 不會破裂	實驗時膜 不會破裂	有時膜會 被拉破	測第一次 ，就破裂	裝膜時， 膜就破裂

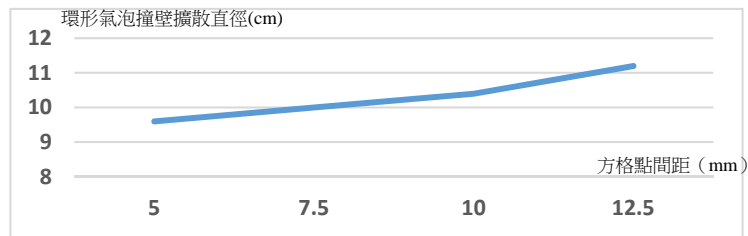


表 3：彈力膜緊度對環形氣泡撞壁擴散直徑折線圖

(四)、實驗結果：

1. **矽膠材質的彈力膜**能夠產生環形氣泡，久放也不會損壞（氣球皮放久會氧化而破掉）。
2. **平面結構**比立體結構更適合當彈力膜，因為膜拉撐後，膜中間不會凹陷，適合推膜。
3. 本身無彈力的塑膠垃圾袋需搭配橡皮筋才能夠產生環形氣泡，且製作過程麻煩。
4. 厚度太厚的矽膠彈力膜很難拉，無法產生力道。推薦以 **0.5mm 厚度最佳**。
5. 彈力膜推薦使用「**片狀矽膠保鮮膜**」，因為產生環形氣泡效果佳、平面結構不會凹陷、可久放、耐用、價錢便宜（一片 9 元）、方格點凸起顆粒可增加摩擦力，方便拉膜。
6. **彈力膜越緊，產生環形氣泡的效果越好**，但過緊會導致彈力膜容易破裂。
7. 片狀矽膠保鮮膜推薦使用拉大到**方隔間距 10mm**，效果最佳。

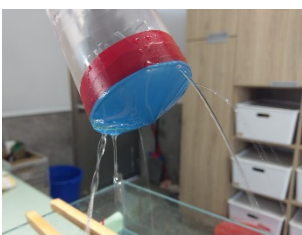


圖 9：氣球皮放一陣子就氧化而破洞漏水。



圖 10：矽膠泳帽套到大礦泉水瓶可當空氣砲。



圖 11：繡框搭配 3D 列印瓶來固定彈力膜。

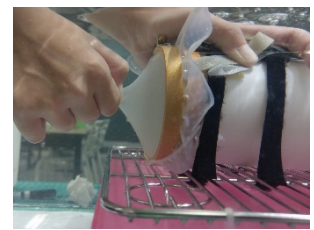


圖 12：固定鐵架三格就是拉膜 3cm 距離。

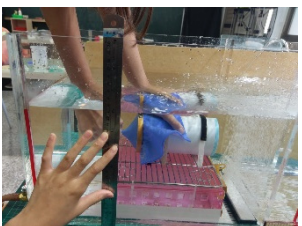


圖 13：水缸外以鐵尺同時確認拉膜 3cm 距離。



圖 14：片狀矽膠保鮮膜最適合當彈力膜。



圖 15：矽膠保鮮膜方格間距 10mm，效果最好。



圖 16：矽膠保鮮膜拉得太緊，推膜時就破了。

實驗三、孔徑、管長、管徑：

(一)、研究動機：

根據「實驗一、市售瓶子種類」結論，「硬度夠硬、圓筒形狀、瓶底容易開洞」適合當空氣砲。我們決定使用 **3D 列印製圓筒瓶**，可以自由改變尺寸，方便進行變因測試。為了更**穩定施力**，我們研發出**推膜裝置**進行施力，取代人力拉膜。我們以 PLA 線材 3D 列印**中空的圓筒瓶**和**有孔洞的瓶口蓋**，研究「**孔徑、管長、管徑**」變因對環形氣泡效果之影響。

3-1 孔徑：

1. 研究方法：

- (1) 以 PLA 線材 3D 列印管徑 3 吋 (75mm) **不同孔徑大小的瓶口蓋** (孔徑 5~75mm)。
- (2) 將檢測的瓶口蓋裝在管長 15cm 管徑 3 吋 3D 圓筒瓶上，瓶底以繡框固定矽膠保鮮膜。
- (3) 以瓶身固定器固定檢測瓶，瓶口距離缸壁為 100cm。瓶口擺放奈米氣泡條，以推膜裝置施力，檢測環形氣泡成形、移動距離。檢測五次，計算平均。

2. 實驗數據 (管長 15cm、管徑 3 吋 (75mm))：

孔徑 (mm)	5	15	20	25	30	35	45	55	65	75
孔徑/管徑	$\frac{1}{15}$	$\frac{3}{15}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{6}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{9}{15}$	$\frac{11}{15}$	$\frac{13}{15}$	$\frac{15}{15}$
成形	X	○	○	○	○	○	X	X	X	X
移動距離 (cm)		66.2	78.8	93.8	59.8	45.0				

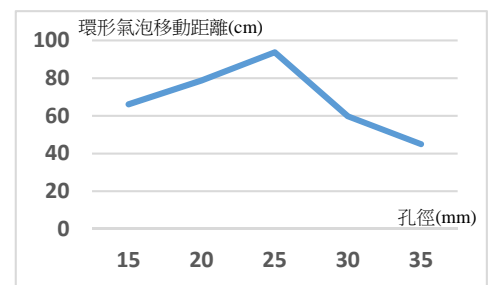


表 4：孔徑對環形氣泡移動距離折線圖

3. 實驗結果：

- (1) **孔徑過大或過小，環形氣泡效果都不佳**，推薦最佳的孔徑為 25mm (孔徑/管徑 = 1/3)。
- (2) **孔徑/管徑比例在 3/15~7/15 之間才能夠產生環形氣泡**。孔徑太小，水流的力道無法通過孔洞，只能一直推擠瓶口蓋，最後瓶口蓋會被推到與圓筒瓶分離。孔徑太大 (孔徑/管徑 > 7/15)，水流沒有經過狹隘的出口，造成內外流速差異不大，無法產生環形氣泡。

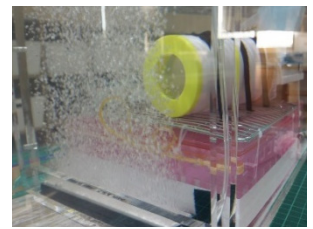
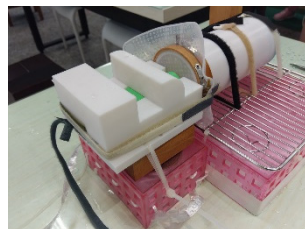


圖 17：3D 列印不同孔徑大小的瓶口蓋。 圖 18：以推膜機進行實驗，更加公平和準確。 圖 19：孔徑/管徑 = 1/3 環形氣泡效果最佳。 圖 20：孔徑/管徑 > 7/15 無法產生環形氣泡。

3-2 管長：

1. 研究方法：

- (1) PLA 材質 3D 列印 5、10、15cm 接筒（管徑 3 吋），**連接接筒改變管長（5~40cm）**。
- (2) 圓筒瓶長度太長，我們改良瓶身固定器，**以挖洞壓克力板配合繡框固定加長圓筒瓶**。
- (3) 瓶口距離缸壁為 70cm。瓶口擺放奈米氣泡條，以推膜裝置施力，檢測環形氣泡成形、移動距離、撞壁擴散直徑。檢測五次，計算平均。

2. 實驗數據（管徑 3 吋、孔徑 25mm）：

管長 (cm)	5	10	15	20	25	30	35	40
成形	○	○	○	○	○	○	○	○
移動距離 (cm)	70	70	70	70	70	70	70	70
撞壁擴散直徑 (cm)	7.8	8.4	9.0	12.9	10.5	9.0	7.5	6.3

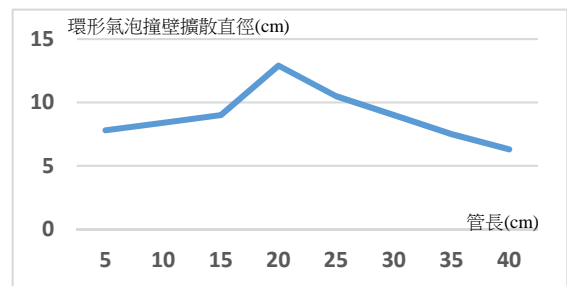


表 5：管長對環形氣泡撞壁擴散直徑折線圖

3. 實驗結果：

- (1) **管長過長或過短，環形氣泡效果都不佳，推薦最佳的管長為 20cm。**
- (2) 我們推測**管長越長，施力在瓶中作用時間越久，產生的推力越大，因此環形氣泡效果越佳。但當管長太長，施力推到後來就沒有力，環形氣泡效果反而變差。**
- (3) 當管長 < 15cm，施打環形氣泡四次，會出現一次施打失敗的情況。推測是圓筒瓶口前方放置冒泡的奈米氣泡條，施打過程中，小氣泡會漂入瓶口，累積在瓶內上方。當**瓶內累積的空氣量滿到接近瓶口，施力後會將大量空氣擠出瓶口，造成純排氣**（不會出現環形氣泡）。當**管長越短，空氣累積的量越容易接近瓶口，越容易出現失敗**（四次會出現一次失敗）。管長越長，空氣越難累積到瓶口，越不容易出現失敗。



圖 21：以 5、10、15cm 圓筒，拼接各種管長。

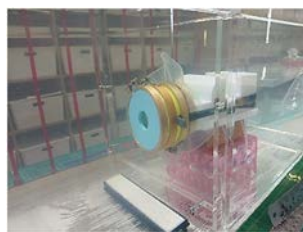


圖 22：挖洞壓克力板和繡框固定圓筒瓶。

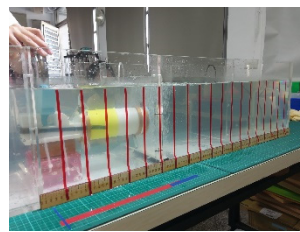


圖 23：訂製長 140cm 壓克力水缸方便測試。

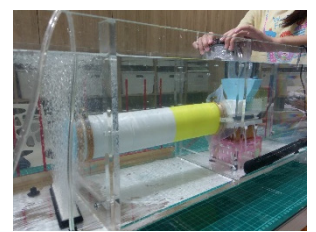


圖 24：管長 40cm 太長，環形氣泡效果變差。

3-3 管徑：

1. 研究方法：

- (1) PLA 材質 3D 列印**管徑 3、5、7 吋圓筒瓶**，管長 5cm，瓶口蓋的孔徑為 1/3 管徑。
- (2) 為了固定 5、7 吋圓筒瓶，我們印製了大型固定架。由於管徑變大，我們也測試**力道更大的條件（不同重量的槓片（2.5、5 kg）和改變推桿前端圓盤直徑（3、6 cm））**。
- (3) 瓶口距離缸壁為 100cm。瓶口擺放奈米氣泡條，以推膜裝置施力，檢測環形氣泡成形、移動距離。檢測五次，計算平均。

2. 實驗數據（管長 5cm、孔徑/管徑 = 1/3）：

管徑/移動距離(cm)	3 吋	5 吋	7 吋
槓片 2.5kg、推桿 3cm	79.6	23.0	12.0
槓片 2.5kg、推桿 6cm	100.0	48.7	39.0
槓片 5kg、推桿 6cm	78.9	95.3	99.1

表 6：管徑對在各種條件下環形氣泡移動距離紀錄表格

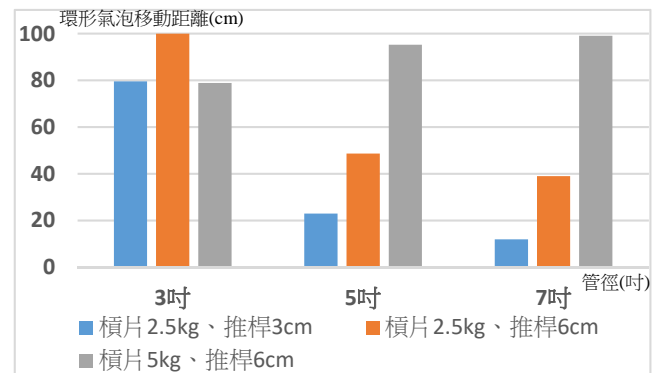


表 7：管徑對環形氣泡移動距離長條圖

3. 實驗結果：

- (1) 管徑不同，都能夠產生環形氣泡。但管徑不同，產生環形氣泡最佳效果的條件也不同。
- (2) **管徑越大，需要更大的施力**才能產生效果。5 吋和 7 吋管徑都需要使用 5kg 槓片和 6cm 直徑推桿才能產生效果好的環形氣泡。管徑太小，施力太大，反而會得到反效果！**3 吋管徑的最佳化條件是 2.5 kg 槓片和 6 cm 直徑推桿**，使用 5kg 槓片，效果反而變差。
- (3) 管徑越大效果越好，但 5kg 槓片施力很辛苦，推薦使用**管徑 3 吋搭配 2.5 kg 槓片**。



圖 25：3、5、7 吋管徑瓶口蓋，孔徑比 1/3。

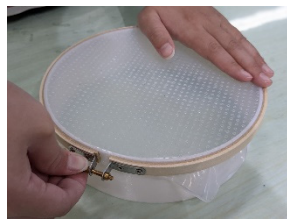


圖 26：7 吋繡框固定邊長 20cm 矽膠保鮮膜。



圖 27：設計支撐 5、7 吋圓筒瓶的大固定架。

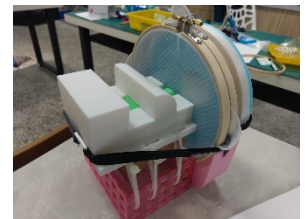


圖 28：完成版 7 吋管徑圓筒瓶和推膜裝置。



圖 29：槓鈴片使用 2.5kg 和 5kg 進行比較。



圖 30：推膜裝置推桿改變直徑，增加推力。

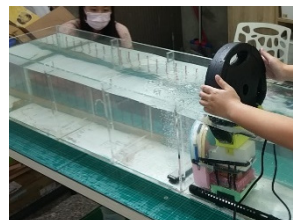


圖 31：使用 5kg 槓鈴片進行推膜測試。



圖 32：7 吋管徑也能夠製造環形氣泡。

實驗四、環形氣泡直徑：

(一)、研究動機：

環形氣泡直徑究竟受到誰的影響？！我們決定檢測各種變因（孔徑、管長、管徑、施力大小、彈力膜尺寸），以手機從水缸側面錄影，從影片測量出環形氣泡直徑。為了檢測管徑和彈力膜尺寸影響的差異，我們以 3D 列印印製了連接不同管徑的連接管（圖 45），可自由組裝不同管徑的圓筒瓶、不同大小的彈力膜和不同孔徑的瓶口蓋。

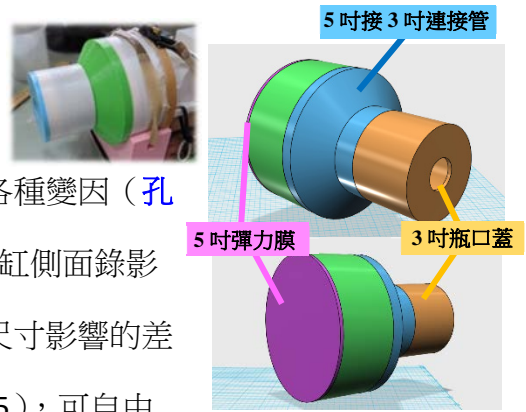


圖 33：5 吋彈力膜接 3 吋瓶口蓋示意圖。

(二)、實驗數據：

1. 孔徑（管長 10cm、管徑 3 吋與 5 吋、2.5 kg 槓片）

管徑	孔徑/管徑	$\frac{2}{15}$	$\frac{3}{15}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{6}{15}$	$\frac{7}{15}$	$\frac{9}{15}$
3 吋	孔徑(cm)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.5
	環形氣泡直徑(cm)	X	3.0	3.0	3.5	3.5	3.0	X
5 吋	孔徑(cm)	1.7	2.5	3.3	4.1	5.0	5.8	7.5
	環形氣泡直徑(cm)	3.0	3.9	4.5	4.8	5.4	5.7	X

小結：孔徑會影響環形氣泡直徑！孔徑比越大，直徑越大！但孔徑過大（中心水流太慢），會導致無法產生環形氣泡。

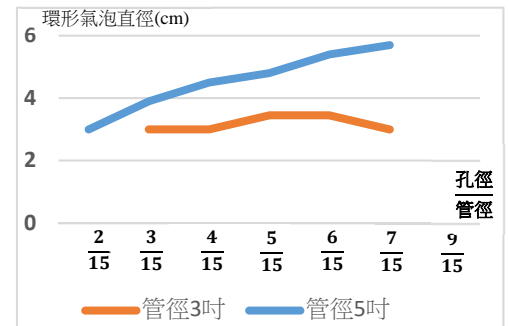


表 8：孔徑與管徑對環形氣泡直徑折線圖

2. 管長（管徑 3 吋與 5 吋、孔徑/管徑 = 5/15、2.5 kg 槓片）

管徑(cm)	管長(cm)	5	10	15	20	25
3 吋		3.5	3.4	3.6	3.5	3.6
5 吋		4.8	4.8	4.8	5.1	4.8

小結：管長不會影響環形氣泡直徑！

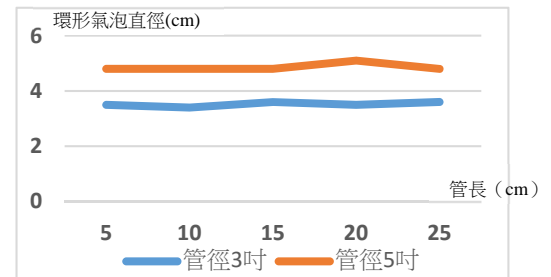


表 9：管長與管徑對環形氣泡直徑折線圖

3. 管徑（5 吋彈力膜接不同管徑圓筒瓶、孔徑皆為 41mm）

管徑(吋)	3 吋	5 吋	7 吋
施力(kg)			
2.5 kg 槓片	5.0	5.0	4.8
5 kg 槓片	5.6	5.7	5.6

小結：管徑不會影響環形氣泡直徑！

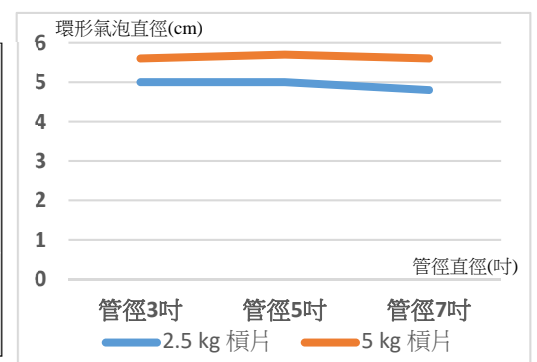


表 10：管徑與施力大小對環形氣泡直徑折線圖

4. **施力大小** (管長 10cm、管徑 3、5、7 吋、孔徑/管徑 = 5/15)

管徑(吋)	3 吋	5 吋	7 吋
2.5 kg 槓片	3.6	4.2	6.6
5 kg 槓片	4.5	5.7	7.5

小結：**施力**會影響環形氣泡直徑！**施力越大，直徑越大！**

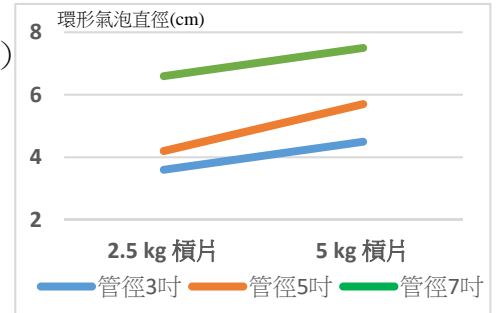


表 11：施力與管徑對環形氣泡直徑折線圖

5. **彈力膜尺寸** (不同彈力膜接 5 吋瓶口蓋、孔徑皆為 41mm)

彈力膜直徑(吋)	3 吋	5 吋	7 吋
2.5 kg 槓片	3.0	4.2	4.8
5 kg 槓片	3.8	5.7	5.7

小結：**彈力膜尺寸**會影響環形氣泡直徑！
彈力膜越大，產生施力越大，直徑越大！

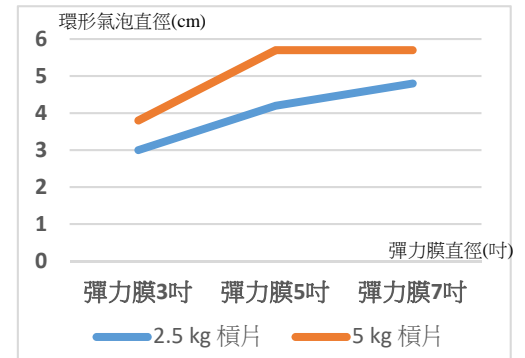


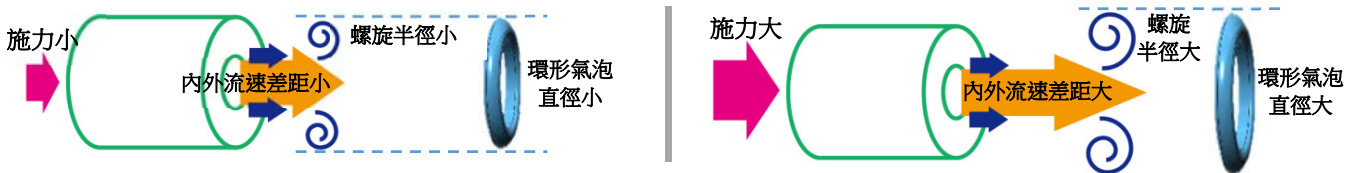
表 12：彈力膜直徑與施力大小對環形氣泡直徑折線圖

(四)、實驗結果：

1. 「**施力大小**、**彈力膜尺寸**、**孔徑**」會影響環形氣泡直徑，影響效果如下表。

大	←	環形氣泡直徑	→	小	大	←	彈力膜尺寸	→	小
大	←	施力	→	小	大	←	孔徑	→	小

2. 我們歸納**影響環形氣泡直徑的主因是「施力大小」和「孔徑」**！彈力膜尺寸被歸類在施力大小之中。當彈力膜尺寸變大，推桿推彈力膜的深度就能越深，產生更大的施力。
3. 我們推論**施力大小**影響環形氣泡直徑是因為「**施力越大，中心流速越快。造成中心流速與外側流速差異越大，旋轉產生的螺旋半徑越大，因此環形氣泡直徑越大。**」



4. 我們推論**孔徑**影響環形氣泡直徑是原因「**孔洞越大，從孔洞出來的中心水流直徑也越大。因此環形氣泡直徑越大。**」



第二部份：環形氣泡現形

水流產生的渦環無法用肉眼看到，需要藉由翻轉前進的過程中吸引空氣泡泡，讓「環形氣泡」現形。根據實驗五得知顆粒小、長型的氣泡幕現形效果最好。但一整片的氣泡幕會干擾觀察環形氣泡（見圖 34），我們嘗試讓瓶子和氣泡現形一體化，一體成形操作方便，又可減少多餘氣泡幕。







圖 34：氣泡石的氣泡幕會干擾環形氣泡的觀察。（紅色箭頭處有一個環形氣泡，但不容易辨別。）





實驗五、氣泡石種類：

（一）、研究歷程：


我們蒐集各種產生氣泡的方法，希望研究氣泡石種類和氣泡大小對環形氣泡的影響。我們將黑松 Fin 固定在瓶身固定器上，瓶口前擺放檢測的氣泡石，以 2.5 kg 槓片施力，檢測環形氣泡成形、移動距離與撞擊擴散直徑。檢測五次，計算平均。我們以高速攝影機拍攝氣泡影片，以軟體測量影片中氣泡石的氣泡大小，量 20 次求平均，測出每種氣泡石氣泡直徑。

（二）、實驗數據：

名稱	風管(無氣泡石)	四分黑色雨淋管	軟性氣泡條	球狀氣泡石
長相				
氣泡直徑(cm)	1.72	2.35	0.22	大 0.44 小 0.16
環形氣泡成形	○	○	○	○
氣泡移動距離(cm)	31.6	33.6	35	31.8
撞壁擴散直徑(cm)	7.1	6.9	13.7	8.4
實驗描述	範圍小，難對準	只有前端有氣泡	無法單面冒泡	氣泡大小不均勻

名稱	藍色氣泡條	奈米氣泡條	奈米霧化氣泡盤	餅狀氣泡盤
長相				
氣泡直徑(cm)	0.28	0.14	0.09	0.15
環形氣泡成形	○	○	○	○
氣泡移動距離(cm)	35	35	35	35
撞壁擴散直徑(cm)	13.6	13.7	13.7	12.9
實驗描述	氣泡幕寬度較小	使用方便	氣泡幕寬度不均	氣泡石太大

(三)、實驗結果：

1. 各種氣泡石都能讓渦環現形，產生環形氣泡，但氣泡大小會影響環形氣泡的移動距離。
2. 氣泡太大或氣泡大小不均勻會造成環形氣泡移動距離變近，並且一直晃動不穩定。氣泡較小，環形氣泡移動距離會變遠。當氣泡直徑小於 0.28cm，不會影響環形氣泡效果。
3. 氣泡石協助現形的環形氣泡是由很多小氣泡組成環形！在環形氣泡翻轉前進過程中，這些小氣泡並不會合成一個大氣泡。當環形氣泡撞到對面缸壁，也是小氣泡向四周散開。
4. 環形氣泡上方會吸引較多的小氣泡，下方小氣泡會較少，甚至會變成半月形 。根據討論第四點可知環形氣泡上半部力道比下半部大，因此可以吸引更多小氣泡。
5. 好的氣泡石條件為「氣泡小、容易固定、氣泡大小均勻、分布範圍均勻、單面冒泡」。
6. 我們最後決定使用「奈米氣泡條」進行環形氣泡的實驗。因為長條形氣泡幕範圍大、單面冒泡、容易穿越、容易固定位置、環形氣泡上下均勻穩定不晃動。

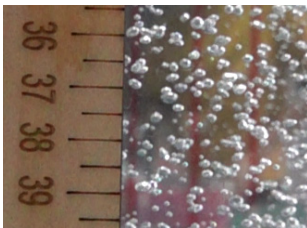


圖 35：使用高速攝影機記錄氣泡大小。

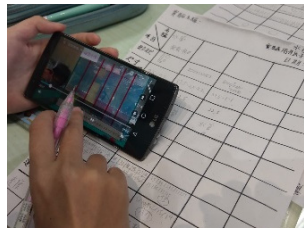


圖 36：觀看手機影片，測量環形氣泡直徑。

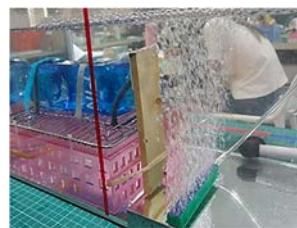


圖 37：氣泡條的氣泡容易穿越，且氣泡小。




圖 38：奈米氣泡條的環形氣泡上下均勻。

實驗六、瓶內水量與現形水量：

6-1、「瓶內水量（有氣泡石）」：

瓶子內部的水量會影響環形氣泡的產生嗎？我們在黑松 Fin 裝不同的水量，以瓶蓋鎖緊瓶口，防止漏氣。瓶口前擺放氣泡石。實驗時，將瓶蓋打開開，同時以 2.5 kg 槓片施力，測試環形氣泡產生的狀況。數據與實驗圖片如下：

水量 (%)	100	90	85	75	50	25	0
開蓋自動冒出氣泡	X	X	X	X	○	○	○
環形氣泡成形	○	○	X	X	X	X	X
測試描述	成功產生環形氣泡		施力會冒出大量氣泡		瓶蓋打開，會自動不斷冒出氣泡		

水量 0~50 %	水量 75 %	水量 85 %	水量 90~100 %
			
瓶蓋打開，會自動不斷冒出往上氣泡。	施力後，會冒出一團往斜上方氣泡。	施力後冒出一團氣泡，角度越來越往前斜。	施力後，會出現往前的環形氣泡。

根據數據，我們發現：

1. **瓶內水量會影響環形氣泡的產生**，水量越多，施打出去的氣泡方向會越往斜前。只有當**水量超過 90% 才會產生環形氣泡**。
2. 當水量低於 75%，施打時只會冒出一團大氣體，往斜上方散去，沒辦法產生環形氣泡。因此**當瓶內空氣太多，對瓶子施力只會將大量氣體擠出排氣**。
3. 當水量低於 50%，瓶蓋打開時，瓶內空氣會自動外洩，直到水位比瓶口高才停止。

6-2、「瓶內水量力道」：

瓶內水量夠多，環形氣泡才會產生。我們**猜想瓶內水量會影響噴出水流的力道**。我們將直徑 25mm 泡棉塞住 Fin 瓶口，以 2.5 kg 槓片施力，泡棉會噴出和移動，測量泡棉移動距離。我們測量瓶內不同水量，泡棉噴出移動距離。測五次，求平均。數據和實驗圖片如下：

水量 (%)	100	90	85	75	50	25	0
泡棉噴出移動距離(cm)	12.9	12.8	11.4	8.3	4.6	4.6	4.3
氣泡方向	正前	正前	斜前	斜上	正上	正上	正上
環形氣泡成形 (實驗 6-1 數據)	○	○	X	X	X	X	X

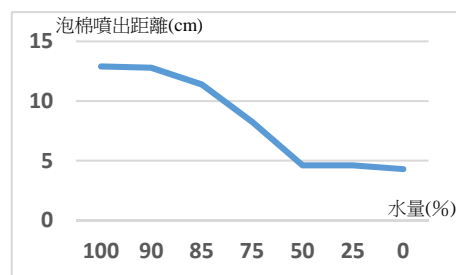


表 13：水量對泡棉噴出距離折線圖

水量 0~50 %	水量 75 %	水量 85 %	水量 90~100 %
氣泡往正上方衝，泡棉在氣泡前方。	氣泡往斜上方衝，泡棉被氣泡帶往斜上方。	氣泡往斜前方衝，泡棉被帶往斜前方。	沒有氣泡，但泡棉被隱形渦環帶往正前方。


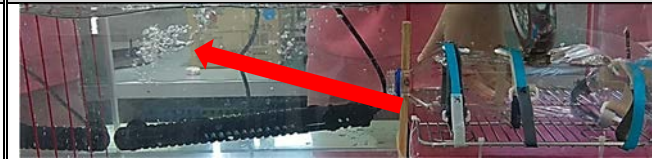


根據數據，我們發現：

1. **瓶內水量會影響水流產生的力道**。當瓶內水量越少，產生的力道越小。
2. 比較實驗 6-1、6-2 數據，可知**瓶內水量產生的力道會影響環形氣泡的產生**。當**水量高於 90% 以上，水流力道才能產生環形氣泡**。
3. 當水量低於 50% 以下，因為水位在瓶口以下，施力後產生的噴出推力都是氣體，因此力道很小，產生力道大小也相似。

6-3、「瓶內水量（無氣泡石）」：

進行 6-1 實驗時，意外發現沒有氣泡石冒泡，有時居然會出現環形氣泡。仔細測試後，發現當瓶內含有空氣，施力後，會將瓶內空氣擠出，進而提供環形氣泡現形的氣泡。但哪種水量可以產生環形氣泡呢？我們將黑松 Fin 裝不同的水量，以瓶蓋鎖緊瓶口。實驗時，將瓶蓋打開，同時以 2.5 kg 槓片施力，測試環形氣泡產生效果。數據和實驗圖片如下：

水量 (%)	100	95	90	85	75	50	25	0
環形氣泡成形	X	X	○	X	X	X	X	X
實驗描述	沒有氣泡 無法現形	氣泡過少 無法現形	可以產生 環形氣泡	施打會冒出一大團氣 泡，往斜上方移動		瓶蓋打開， 會自動不斷冒出氣泡		

水量 75 %	水量 85 %
	
施力後，氣泡一大團，往斜上方移動。	施力後，氣泡一些，往斜前方移動。
水量 90 %	水量 95 %
	
施力後，產生環形氣泡，往正前方移動。	沒有氣泡！施力無法將瓶中剩餘的空氣推出。

6-4、現形水量：

只靠瓶內空氣能讓環形氣泡現形，我們稱這個水量為「現形水量」！我們檢測三種瓶子，測試現形水量是否適用於其他瓶子或施力方式。實驗結果如下：

瓶子種類	瓶子容量(mL)	施力方式	現形水量下限	現形水量上限
黑松 Fin 方形寶特瓶	1040	重壓	89.4 %	93.8 %
鮮剖椰子汁 圓形寶特瓶	554	重壓	90.6 %	94.2 %
管徑 3 吋 管長 15cm 圓筒瓶	640	推膜	87.8 %	90.3 %

由上述數據可知，現形水量存在在不同施力與不同類型的瓶子。大約在水量 90% 上下。



圖 39：沒有氣泡石，靠瓶內空氣產生環形氣泡。

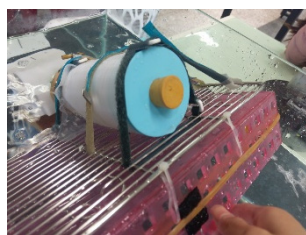


圖 40：環形氣泡出現後以軟木塞塞住瓶口。



圖 41：將瓶內水倒出，測量現形水量下限。

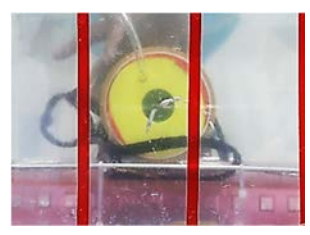


圖 42：使用現形水量，可製造出環形氣泡。

根據 6-1~6-4 數據，我們歸納出以下結論：

1. 瓶內水量會影響環形氣泡產生，**水量高於 90% 以上**產生的力道，才會產生環形氣泡。
2. **不需要氣泡石冒泡，藉由瓶內空氣（水量 90%）也能夠讓環形氣泡現形！**我們將不需要氣泡石，只**藉由瓶內空氣讓環形氣泡現形的水量**，命名為「**現形水量**」。
3. 當水量大於 90%，施力後，剩餘空氣太少，無法被擠出瓶口，因此無法現形。
4. 當水量小於 90%，施力時會冒出大量氣泡往斜上方散去，無法讓環形氣泡現形。

實驗七、內塞氣泡石：

氣泡石是現形環形氣泡的方法，但**氣泡石必須額外組裝，無法一體成形**。冒泡太多的**氣泡幕也會干擾觀察**。我們嘗試**將氣泡石放入瓶子中**，解決氣泡石放置在瓶口外的問題。

（一）、內塞氣泡石：

「實驗五、氣泡石種類」最佳效果的是奈米氣泡條，但最短的奈米氣泡條是 10 公分，無法橫塞入瓶子。但我們找不到長度短、單面冒泡的氣泡石，後來水族店老闆建議挑選短的氣泡石，**將不希望冒泡的部分塗上矽力康，就能控制冒泡的位置**。測試後發現**圓柱型氣泡石**一半塗上矽力康，適合塞入瓶中當作冒泡來源。我們找到了適合內塞的氣泡石！

（二）、氣泡石位置：

氣泡石應該放在瓶子內的哪個位置？為了找到氣泡石適合冒泡的位置，我們買了直徑 75mm **透明壓克力管**（**壓克力管可觀察內部狀況**，3D 列印圓筒瓶沒辦法看內部），將壓克力管以繡框固定彈力膜，設計**適合移動位置的氣泡圈冒泡裝置**（將氣泡圈上半部塗矽力康，固定在 3D 列印圓環中，以下半部冒泡），以推膜裝置檢測氣泡石在不同位置產生環形氣泡的效果（距離缸壁 35cm 連打 50 下，測量環形氣泡打到牆的次數）。我們發現**施打的節奏會影響實驗效果**，於是**以節拍器固定節拍數，同時測量不同節拍數的打牆次數**。實驗數據如下：

1. 氣泡圈與瓶口距離（每分鐘 100 下）

與瓶口距離(cm)	0	3	6	9	12	15
50 次打牆次數	29	15	12	10	3	X

2. 節拍數（氣泡圈與瓶口距離 0 cm）

每分鐘節拍數(下)	140	100	60
50 次打牆次數	45	31	24

根據數據，我們發現**內塞氣泡石最適合裝在距離瓶口 0 cm**。距離瓶口越近，效果越佳。**規律的節奏可增加環形氣泡產生的效果**。以每分鐘 140 下的節拍，連打 50 次會出現 45 次！

(三)、瓶內氣體過多：

將氣泡石塞在瓶內，氣泡石不斷冒泡，瓶子內會快速累積空氣。可是當空氣量太多，瓶內水量低於 90%時，就無法產生環形氣泡。我們找到解決瓶內氣體過多的方法如下：

1. 在瓶子上方挖洞：在方形瓶中，塞氣泡石位置上方挖一個和氣泡石相同大小的洞，可以讓氣泡有效排出，不影響環形氣泡的產生。但如果開太多洞，施力產生的水流會從各個洞散出，導致中心的水流速度不夠快，就無法產生環形氣泡。
2. 繡框螺絲放鬆：繡框木頭為 C 字型，缺口處的螺絲可鎖緊繡框。當把固定彈力膜的繡框螺絲放鬆一點，瓶內空氣就會從繡框螺絲處開口漏氣。但當施力推膜時，因為膜被推緊了，不會漏氣，所以不會影響環形氣泡的效果。而且改變繡框螺絲的位置，可控制漏氣的水位高度。設定螺絲的位置，當水位低於螺絲就會開始漏氣。
3. 調節閥：使用風管的調節閥，可以控制氣泡石的進氣量。





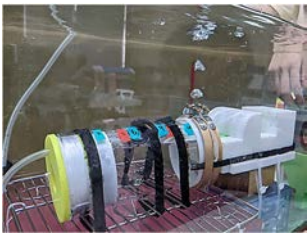





圖 43：調節閥。

(四)、結論：經歷上述研究，我們研究出兩種內塞氣泡石的方法：

1. 瓶身鑲氣泡石：需切割瓶子，黏貼圓柱型氣泡石。氣泡較小、效果佳。
2. 氣泡圈瓶口蓋：將氣泡圈固定在瓶口蓋，組裝就可使用。但氣泡略大、效果略差。

配合規律施力節奏、調節供氣量，我們成功以內塞氣泡石讓環形氣泡現形，而且能夠不斷持續的施打出環形氣泡！內塞氣泡石的方法是可行的！

			
下方塗矽力康的圓柱氣泡石內塞在 Fin 中	透明壓克力管，可觀察空氣砲內部狀況。	設計可移動位置的瓶內氣泡圈冒泡裝置。	方形瓶上方開洞，可減少瓶內空氣累積。
			
繡框螺絲放鬆，瓶內空氣會從螺絲處漏氣	圓柱型氣泡石鑲在壓克力管，效果佳。	氣泡圈固定在瓶口蓋，使用很方便。	氣泡石內塞，不會有干擾觀察的氣泡幕。

第三部份：環形氣泡對撞 實驗八、環形氣泡對撞：

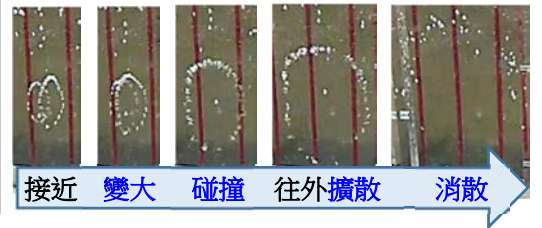
我們測試兩側同時以推膜機製造環形氣泡（如圖 44），讓環形氣泡對撞，用高速攝影機紀錄對撞後的反應，整理出三種現象。以 Tracker 軟體分析對撞影像，測量環形氣泡的位置與速度。並以渦環的旋轉方向推理對撞後的反應，分析如下：



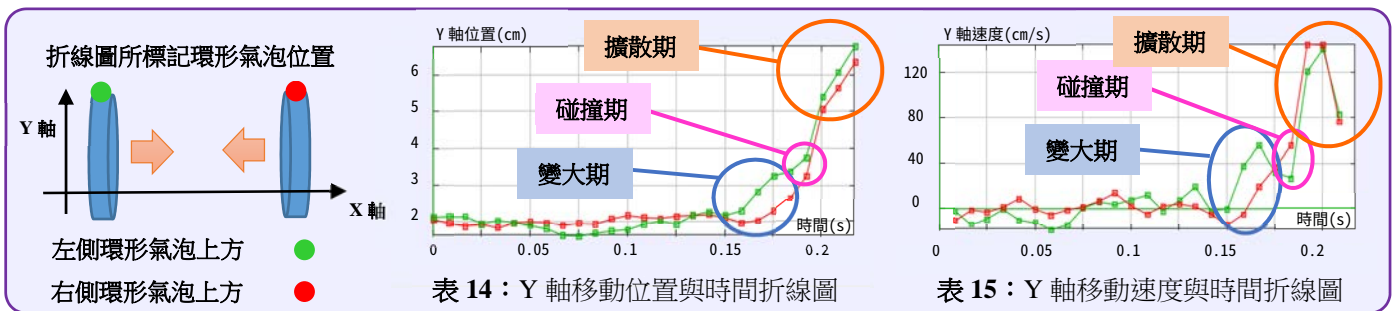
圖 44：在水缸中，兩側以推膜機製造環形氣泡對撞。

(一)、相同力道吻合對撞→互相抵銷：

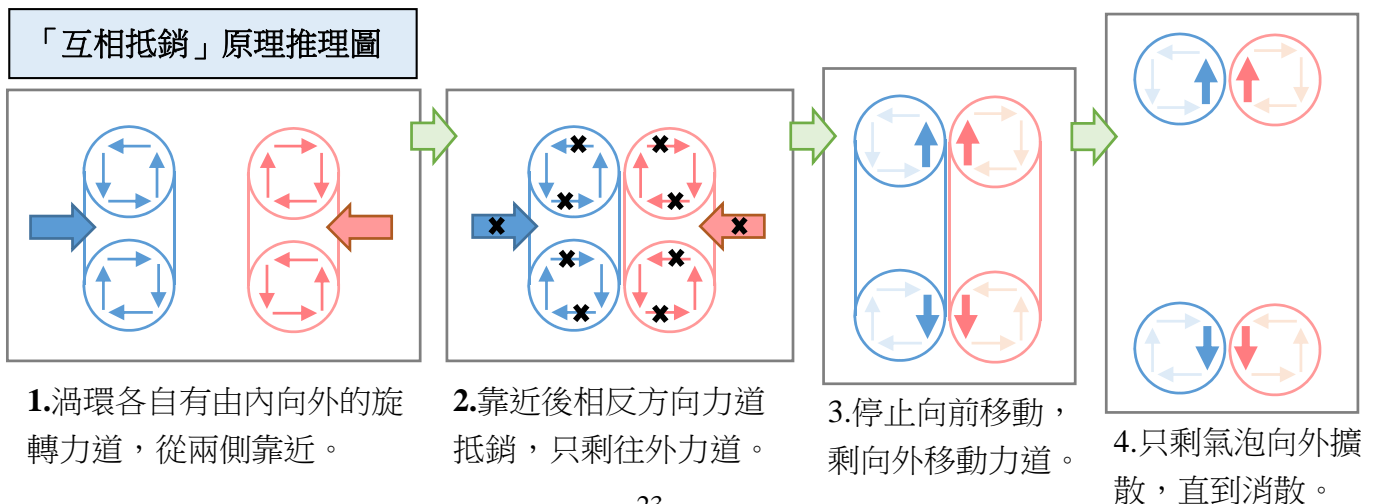
1. **變大期**：快要對撞時，兩側環形氣泡直徑都會變大。
2. **碰撞期**：兩側環形氣泡停止前進，對撞在同一個平面！
3. **擴散期**：對撞後的環形氣泡快速往外擴散。
4. **消散期**：沒有力道能抓住氣泡，氣泡消散往水面浮動。



我們發現互相抵銷會有「變大期」和「擴散期」。我們以 Tracker 軟體分析 Y 軸的移動位置與速度（表 14、15）。從表中可知在變大期之前，Y 軸速度並沒有太大的變化($\bar{v} = -0.2$ cm/s)，但變大期時 Y 軸速度突然增加($\bar{v} = 32.9$ cm/s)，在擴散期速度更快($\bar{v} = 118.1$ cm/s)！

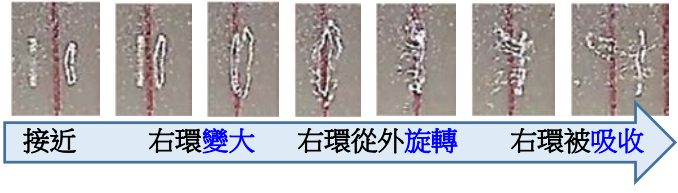


為什麼抵銷會產生往外的力道呢？我們推測「渦環內部有旋轉力道，相遇時，相反方向力道互相抵銷，只剩下往外力道將氣泡往外推（圖解如下）」。變大期只是兩組渦環互相靠近，擴散期的氣泡已經合併，所以擴散期的外推力量比變大期還要大，造成速度更快。

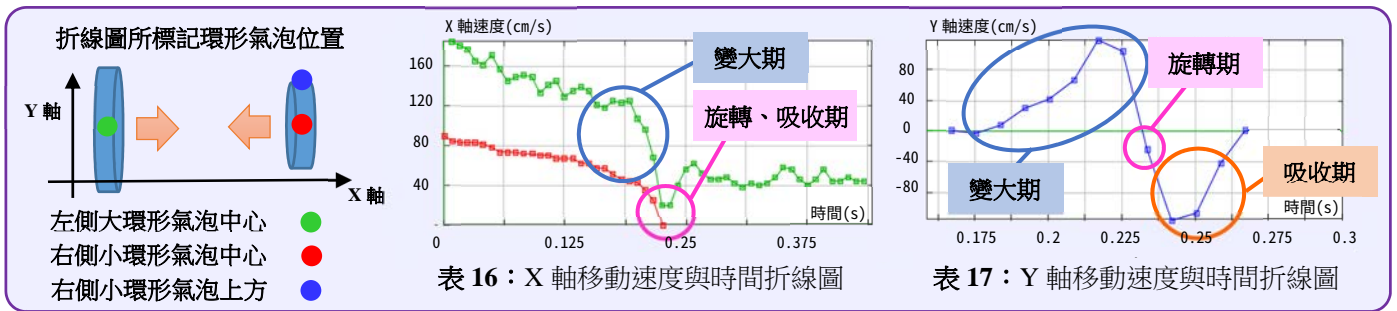


(二)、不同力道吻合對撞→吸收：(力道大的環形氣泡簡稱「大環」、力道小稱「小環」)

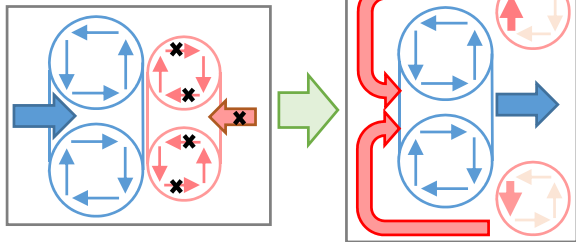
1. **變大期**：小環靠近大環時直徑變大與擴散。
2. **旋轉期**：氣泡被大環吸引，從外側旋轉。
3. **吸收期**：氣泡被大環吸入，大環繼續前進。



從表 16 可知大環吸收小環，速度會下降。變大期速度會減少(91.1cm/s)。旋轉、吸收期速度會大降(12 cm/s)，直到吸收完才上升。速度(47.5cm/s)會低於吸收前(146.9cm/s)。表 17 可知小環在變大期速度增加(62.0cm/s)，旋轉期速度降低(-23.5cm/s)。被吸收時速度又大增(-88.0cm/s)

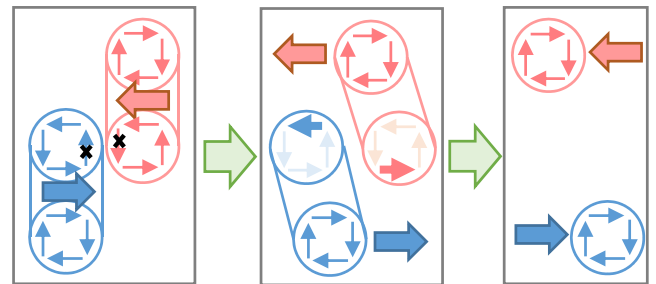


「吸收」原理推理圖



1. 小渦環相反力道都被消除，只剩向外力道。
2. 往外擴散的氣泡被大消除，只剩向外力道。渦環旋轉力道吸入。

「後凹抵銷一半」原理推理圖



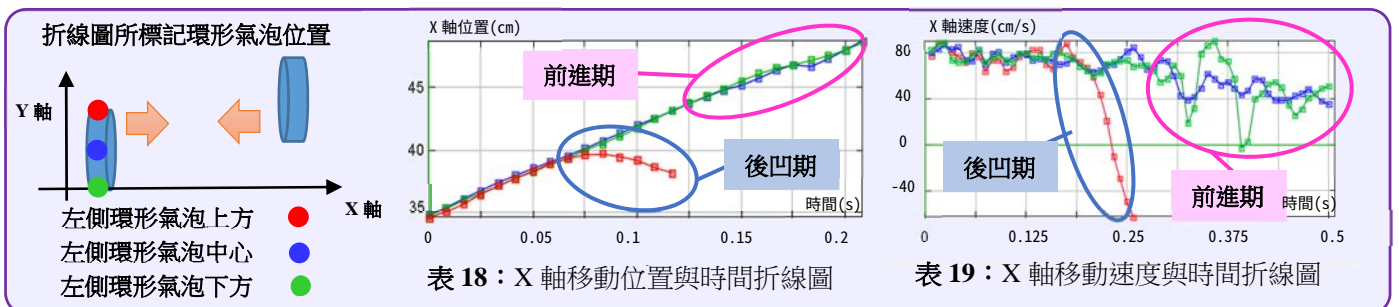
1. 相撞部分相同方向加成。
2. 往後力道增加造成後凹與抵銷
3. 只剩未對撞往前進。

(三)、相同力道一半對撞→後凹抵銷一半：

1. **後凹期**：環形氣泡靠近的那一半往後凹。
2. **抵銷期**：碰撞那一半互相抵銷。
3. **前進期**：剩下的一半繼續前進。



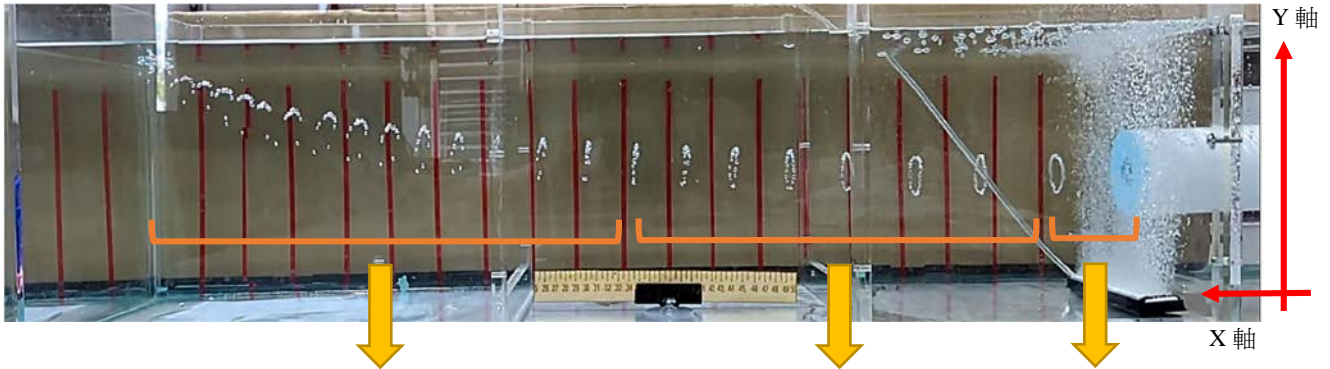
由表 18、19 可知後凹期發生時，後凹的環形氣泡是真的退後，速度也快速降低。剩下一半前進時，速度與穩定度都低於對撞前。下方比中心穩定度更差，會出現搖擺的現象。



柒、討論

一、環形氣泡形成與移動歷程：

我們以高速攝影機拍攝「自然消失的環形氣泡影片」(管徑 3 吋、管長 20cm、孔徑 25mm、施力 2.5 kg)。以 1/8 秒截圖一次，彙整成下方軌跡圖，並分析環形氣泡的歷程。



階段三：無力期

環形氣泡斜上方往水面移動，速度變慢，氣泡集中上方，直到消散水面。

階段二：穩定期

環形氣泡橫向前進，能穩定維持速度、氣泡量與大小。

階段一：現形期

渦環形成，通過氣泡幕，藉由吸收氣泡讓環形氣泡現形。

我們用氣泡定位與計算移動，以 Tracker 軟體分析影像，得到表 20~22。由折線圖可知：

1. 環形氣泡在移動過程中速度越來越慢。推測是受到水的阻力，讓環形氣泡的力道逐漸減少。環形氣泡剛產生時，速度最快(67.8 cm/s)，平均速度為 32.7 cm/s。
2. 現形期和穩定期往前力道穩定，不易受浮力影響。但無力期時，會受到浮力往上移動。

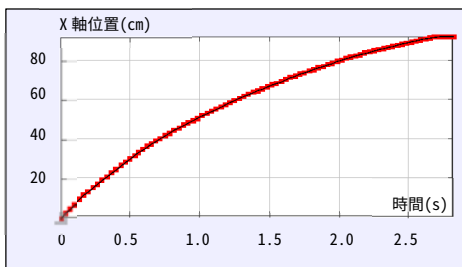


表 20：X 軸移動位置與時間折線圖

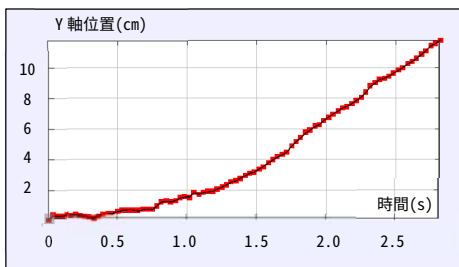


表 21：Y 軸移動位置與時間折線圖



表 22：X 軸移動速度與時間折線圖

二、簡易的流場可視化：

觀看放慢 40 倍的 7 吋管徑錄影，我們發現奈米氣泡條產生的細小氣泡顆粒很清楚、均勻分布於水中。只要分析細小氣泡在渦環周圍的位置和移動狀況，就能計算出渦環的影響範圍、移動方向和速度。我們找到簡易的流體可視化方法，使用細小氣泡做為顯影顆粒，簡單、安全又不需清理！



圖 45：水中懸浮的細小氣泡，可作為顯影顆粒，進行流場分析。

三、環形氣泡形成：

為了**觀察環形氣泡形成那一刻**，我們將7吋壓克力管內放奈米氣泡條（圖46），將氣泡量減到最小，避免大量氣泡干擾觀察。我們以40倍慢速錄影，用Tracker軟體擷取影格。並將**細小氣泡移動範圍（紅線）與軌跡（黃線）**畫成示意圖（如下圖）。

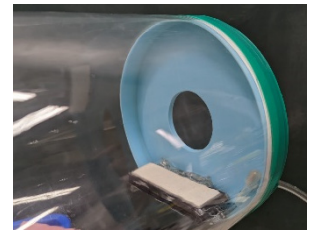
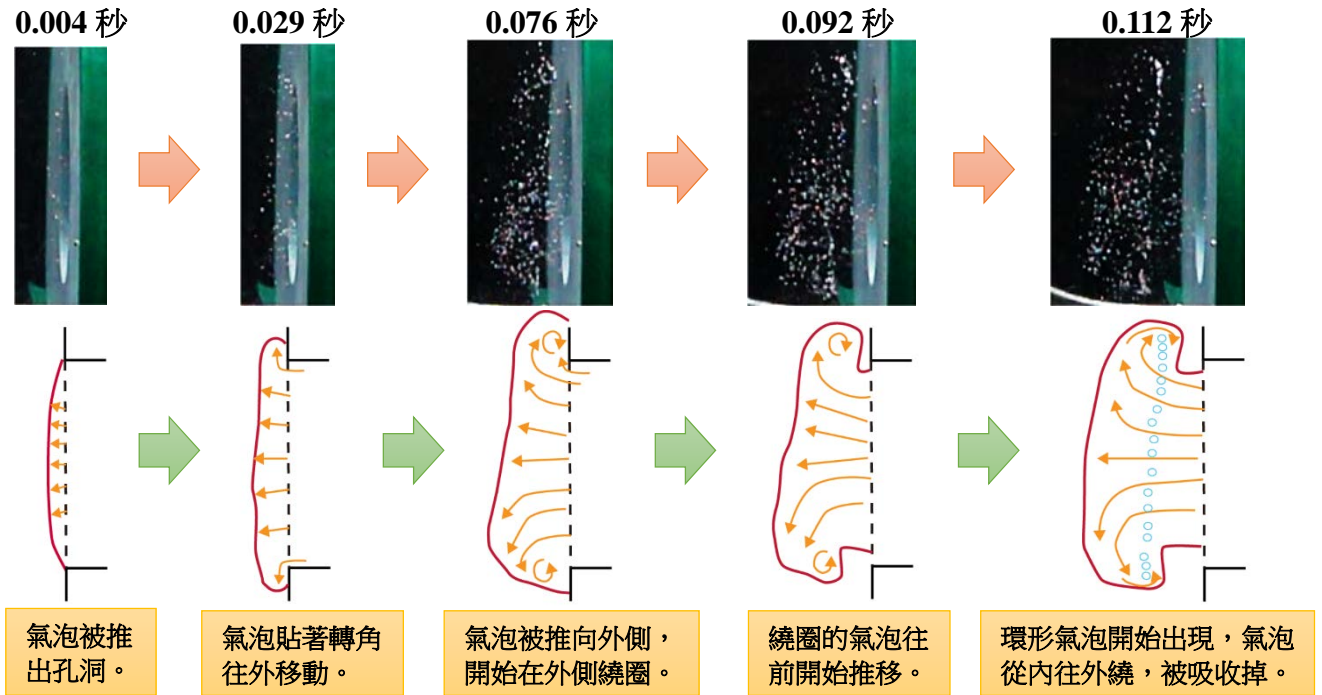


圖46：7吋管內塞氣泡條，方便觀察渦環形成。



我們發現**環形氣泡並不是一開始就形成！**一開始氣泡只被推移，聚集在孔洞外側繞圈。距離瓶口1cm時，渦環才開始產生由內而外的旋轉機制，並不斷吸引從孔洞出來的氣泡。不斷累積的細小氣泡，才開始讓環形氣泡現形。

四、環形氣泡流場分析：

藉由簡易的流體可視化方法，我們能夠分析環形氣泡的流場狀況。我們發現**環形氣泡的影響範圍比想像中還大！**環形氣泡外圍有力道帶動氣泡移動，後方則有往前推動的**拖曳噴射流(trailing jet)**。我們試著將環形氣泡附近受到影響的氣泡圈出來，得到**環形氣泡影響範圍**（圖47）。由下方連環圖可知環形氣泡經過氣泡幕時，**前端**會有**推力**推動氣泡，**後方**會有**吸力**吸入氣泡。

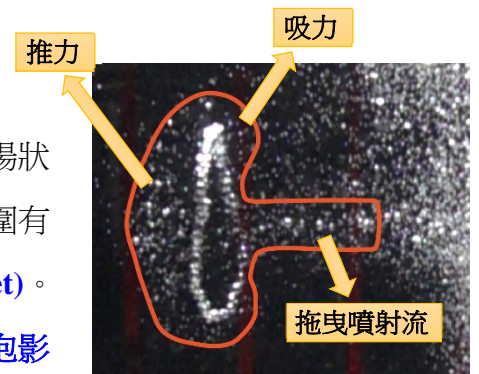
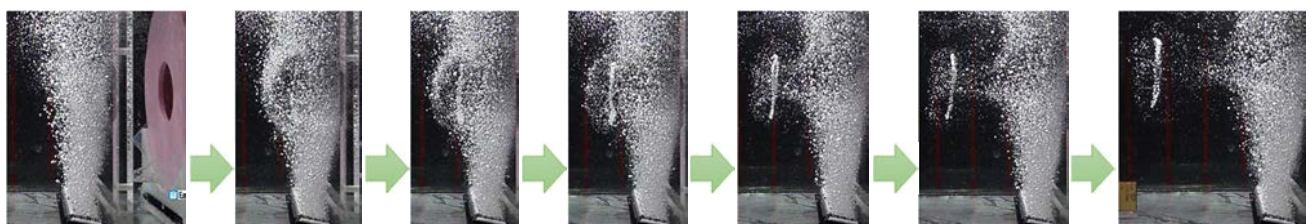


圖47：環形氣泡產生時的影響範圍（紅色圈部分）。



為了量化環形氣泡內部結構，我們指定 30 顆氣泡，以 Tracker 軟體計算 0.01 秒（10 格影格）後，氣泡移動方向、移動距離和速度，繪製成氣泡軌跡圖（圖 48），得到以下結論：

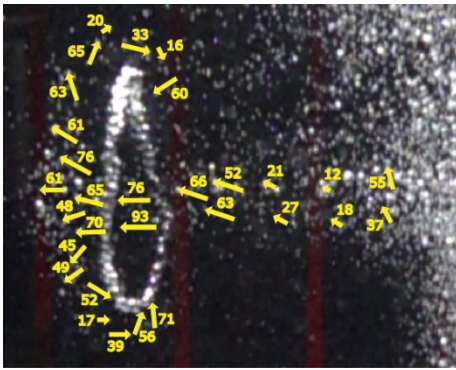


圖 48：環形氣泡內部 30 顆氣泡軌跡圖（箭頭方向為氣泡移動方向、箭頭長度為氣泡移動的起點和終點、數字為氣泡移動速(cm/s)）

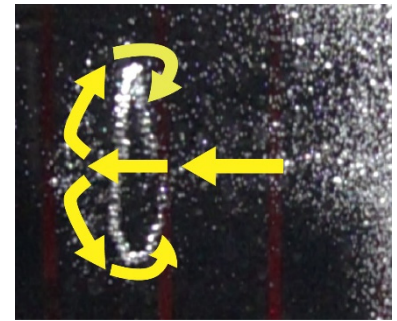


圖 49：環形氣泡內部運動軌跡。

1. 環形氣泡外圍有力道作用，從內向外旋轉施力，將小氣泡捲入。影響範圍是 0.9cm。
2. 環形氣泡的中心速度比外側快，驗證了渦環中心流速快，外側流速慢的理論。
3. 環形氣泡上半部速度（力道）比下半部大，推測是氣泡有浮力往上，渦環往下的旋轉力道被浮力抵銷，使力道變弱。無力期產生的半月形氣泡，也是上半部力道殘存的效果。
4. 環形氣泡後方有拖曳噴射流(trailing jet)。距離環形氣泡越遠，力道越小。氣泡距離超過 5.3 cm 就不受拖曳噴射流影響。環形氣泡距離超過氣泡幕 11.7cm，拖曳噴射流會消失。

捌、未來研究方向

一、瓶內環形氣泡

以透明瓶子進行環形氣泡實驗時，我們意外發現瓶子內部會出現環形氣泡！當瓶子內部出現向內拉力，產生從瓶口外往內的水流，這股水流會將瓶口的氣泡吸引進瓶內，同時因為瓶內水流中心與外側速度差異，而產生「瓶內環形氣泡」。

瓶內環形氣泡經常發生，只是以前沒有被觀察到！瓶內環形氣泡會在圓筒瓶內部產生，不需長型水缸讓環形氣泡前進。可將瓶內環形氣泡改良成不佔空間的環形氣泡實驗演示器材或水缸裝飾。

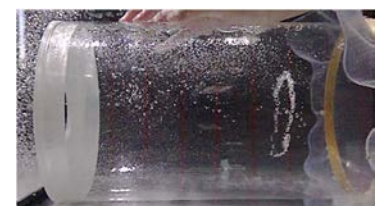


圖 50：7 吋壓克力筒內部以拉膜產生瓶內環形氣泡。

二、喇叭通電製造環形氣泡：

我們嘗試用喇叭製造環形氣泡，但一直失敗！後來一位喜歡玩音響的校友想出組裝喇叭的方法！我們以 4 吋喇叭成功製作出環形氣泡！只要增加喇叭功率，就能夠製造出效果更好的環形氣泡。電動製造環形氣泡有機會讓我們的研究進行商品化！



圖 51：以 4 吋喇叭製造出環形氣泡！



圖 52：喇叭製造橫向環形氣泡是可行的！

玖、結論

一、製造環形氣泡方法：

1. **對瓶子施力**能夠製造出環形氣泡，我們推薦使用**空氣砲**產生環形氣泡。
2. 「**硬度夠硬的中空圓筒瓶**」最適合空氣砲施力，建議以 **PLA 材質印製中空圓筒瓶**。
3. 空氣砲的彈力膜推薦使用「**片狀矽膠保鮮膜**」，因為平面結構、便宜、耐用、效果佳。
4. 建議以「**繡框**」固定彈力膜，繡框的螺絲可改變鎖緊力道，拆卸方便且可重複使用。
5. 當施力過程導致瓶內出現向內拉力，會產生**瓶內環形氣泡**，從瓶口往瓶底移動。
6. 使用**喇叭通電**能夠產生環形氣泡，但需要功率高，環形氣泡效果才會好。

二、環形氣泡流場分析：

1. 細小氣泡作為**顯影顆粒**，搭配高速攝影機與 Tracker 軟體，可進行**簡易的流體可視化**。
2. 環形氣泡的歷程分為「**現形期、穩定期、無力期**」，在移動過程中**速度會越來越慢**。
3. **環形氣泡並不是一開始就形成！**距離瓶口 1cm，渦環才開始產生由內而外的旋轉機制。
4. **環形氣泡外圍有力道作用**，前端為推力，後方有吸入氣泡的吸力和前推的拖曳噴射流。
5. 藉由分析**內部運動軌跡**，發現環形氣泡的**中心速度比外側快、上半部速度比下半部快**。

三、影響環形氣泡變因：

1. 孔徑/管徑比例在 $3/15 \sim 7/15$ 之間才能產生環形氣泡，推薦**最佳孔徑/管徑 = 1/3**。
2. 管長過長或過短，環形氣泡效果都不好，推薦**最佳管長為 20cm**。
3. 管徑越大，環形氣泡效果更好，但需要配合更大的施力。
4. **施力大小**和**孔徑**會影響**環形氣泡直徑**，施力越大或孔徑越大，環形氣泡直徑越大。
5. **矽膠材質**最適合當作彈力膜，優於氣球皮和塑膠袋。因為本身有彈性，放久不會損壞。
6. 彈力膜越緊，產生環形氣泡的效果越好，但過緊會導致彈力膜容易破裂。

四、環形氣泡現形：

1. 水中渦環需要藉由氣泡讓環形氣泡現形，需要在瓶口擺放氣泡石提供氣泡。推薦使用「**奈米氣泡條**」，因為氣幕範圍大、氣泡大小均勻、容易固定、效果佳、單面冒泡。
2. 瓶內水量會影響環形氣泡的產生！**瓶內水量超過 90% 才會產生環形氣泡**。
3. 我們研發出兩種**氣泡現形一體化**方法，減少多餘氣泡幕，又可讓氣泡與瓶子一體成形：
 - (1) **內塞氣泡石**：將「**瓶身鑲氣泡石**」或「**氣泡圈瓶口蓋**」。配合規律施力節奏、調節供氣量，能持續不斷的製造與現形環形氣泡！
 - (2) **現形水量**：**瓶內水量維持在 90%**，可只藉瓶內空氣讓環形氣泡現形。藉由繡框螺絲排氣、調節閥控制瓶內水量，配合規律的施力節奏，能現形與製造出環形氣泡。

五、環形氣泡對撞：

1. 相同力道吻合對撞，環會變大後**互相抵銷**，往外消散。
2. 不同力道吻合對撞，小環變大後，**被大環吸收**。
3. 相同力道一半對撞，對撞處的環會**後凹和抵銷一半**，剩下一半的環往前移動與消散。

拾、心得

當我知道我有科展課的時候，我覺得無比的開心和新奇。初次體驗和操作，讓我感受到設計實驗和裝置的困難。我發現裝置不是一個有標準答案的東西。有時候花了一個禮拜完成裝置，結果根本就不能用！有些實驗也會發生做了老半天沒有結果，像之前做圓錐瓶口，做了幾個禮拜沒效果，最後只好放棄。看數據也是很麻煩的工作，因為非常消耗眼力。有一次用螢幕測量工具透過照片測量氣泡石出現的氣泡大小，居然還把軟體移動到卡住無法使用！但是做實驗作得很累很煩時，就會有同伴講個好笑的笑話，哈哈大笑後，就變得不那麼煩。

我們每週都有實驗報告要交，而且篇幅不少，要用到腦力和數據分析，是一個國、數、自三合一功課，害我都到十一、二點才睡！但學到的東西也一定比較多！每週還要幫水缸換水！除了有身體變濕的風險外，還要有足夠的力氣倒水，根本就是體能訓練！不過也會發生好玩的事，例如全部洗手台都被水桶佔滿、不小心讓水缸漏水、撈到一大堆灰塵等……。





不過，雖然很辛苦，但我還是很喜歡這個團隊！能和同學一起合作，學會溝通和表達能力。寫報告和討論可以知道整個實驗的走向。現在實驗已經步入尾聲，希望到最後都能很開心。感謝兩位指導老師，謝謝他們讓我可以體驗科展的歷程，去看看這個世界的廣大，也讓我在科展中找到自己的價值。也感謝我的伙伴，一起分工、一起度過困難的部分。我想這是一個最棒的團隊了！

拾壹、參考文獻資料

	參考資料內容	參考資料出處
1	海豚吐環形氣泡圖片	Forever blowing bubbles: Playful dolphins show off their unusual talent for making rings of air under water (dailymail) https://i.dailymail.co.uk/i/pix/2012/12/12/article-0-16795C29000005DC-388_306x443.jpg
2	渦環形成圖片	Design a Better Vortex Cannon (sciencefriday) https://www.sciencefriday.com/educational-resources/design-a-better-vortex-cannon/
3	渦環產生分解圖	Evolution and Breakdown of Elliptic Vortex Ring (Youtube) https://www.youtube.com/watch?v=oGGRxE2ijl0
4	往上環形氣泡圖片	How to Make Bubble Rings (instructables) https://www.instructables.com/How-to-make-bubble-rings/
5	橫向環形氣泡圖片	Scuba Zap : Best of Bubble Rings (Youtube) https://www.youtube.com/watch?v=zw-HKIFw8vg&t=30s
6	「環形泡泡產生機制之探討」科展作品	第 50 屆全國科展高中組物理科 (台灣網路科教館 科展群傑廳) https://www.ntsec.edu.tw/Att.ashx?id=5084
7	棒球棍重壓瓶身的方法	The Science of Vortex Rings (Youtube) https://www.youtube.com/watch?v=yjgACB7urOo
8	空氣砲方法	Underwater vortex rings (smoke rings) // Homemade Science with Bruce Yeany (Youtube) https://www.youtube.com/watch?v=U67JTMnxatg
9	「水舞太極之氣泡聲光魔幻秀」科展作品	第 50 屆全國科展國中組生活與應用科學科 (台灣網路科教館 科展群傑廳) https://www.ntsec.edu.tw/Att.ashx?id=5068
10	「空氣炮的密碼」科展作品	第 58 屆全國科展國小組物理科 (台灣網路科教館 科展群傑廳) https://www.ntsec.edu.tw/Att.ashx?id=11947

拾貳、附件（重壓瓶身 TPU 研究）

用力**重壓完整的寶特瓶瓶身**，能夠在水中產生環形氣泡。我們測試過市售瓶子種類，得到適合重壓的瓶子條件為「**硬度適中、容易固定、形狀方正、瓶身容易復原**」，市售瓶推薦使用扁長形的**黑松 Fin**。但是市售瓶無法改變瓶身尺寸，我們使用有**彈性的線材 TPU**，3D 列印印製方形瓶，測試**不同的長寬比例**方形瓶對於環形氣泡的影響，實驗數據如下：

尺寸	13.4 x 4 x 15	10.8 x 5 x 15	9 x 6 x 15	7.3 x 7.3 x 15
長相				
硬度(cm)	1.8	1.5	1.4	0.8
環形氣泡成形	○	○	○	X
氣泡移動距離(cm)	34.3	37.0	37.0	
撞壁擴散直徑(cm)	4.52	3.96	3.94	
剩餘水量	80.0 %	89.0 %	92.0 %	
實驗描述	產生氣泡不穩定*	回復效果佳	回復效果佳	無法下壓

(*13.4 x 4 x 15 方形瓶，五次會有一次環形氣泡打不到缸壁，無法每一次都穩定打到缸壁。)

實驗結果：

1. 以 **TPU 材質列印**之方形瓶，能藉由重壓產生環形氣泡。
2. 方形瓶的四角結構能增加瓶子硬度，但**四角結構的寬度會影響下壓深度**。
3. 相同體積，**方形瓶的尺寸越扁，產生環形氣泡效果越好**。推測是下壓位置的邊長越窄，越無法下壓，因此正方形尺寸無法產生環形氣泡。當下壓位置的邊長越寬，越容易下壓，瓶子內部空間減少越多，產生水流推力越大，因此環形氣泡效果越好。
4. 當尺寸過扁（孔徑和寬度差不多），氣泡容易從孔洞進入方形瓶內。而且越不容易自動回復重壓產生的凹陷，產生環形氣泡的穩定度越差（五次會有一次力道變小）。
5. 雖然方形瓶越扁效果越佳，但也越不穩定，因此**推薦尺寸為 10.8 x 5 x 15 cm³**。

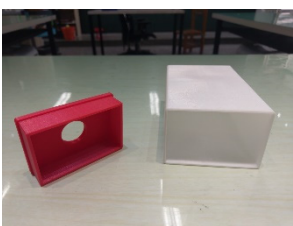


圖 53：TPU 印製方瓶，PLA 印製瓶口蓋。



圖 54：TPU 材質印製的方瓶可以施力變形。



圖 55：TPU 材質方形瓶能夠產生環形氣泡。



圖 56：10.8 x 5 x 15 cm³ 產生環形氣泡效果佳。

【評語】 080104

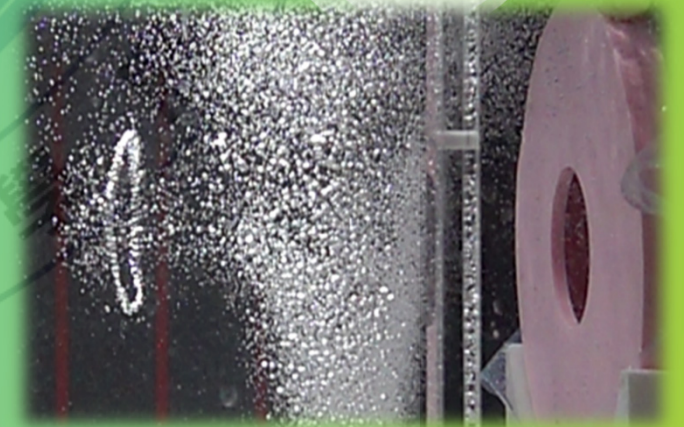
本作品利用 3D 列印自製空氣(液體?)砲，激發液體環形流場，進行環形氣泡分布與運動的探討。類似於吐煙圈或空氣砲，液體之中也會有渦環翻轉前進，會將附近的懸浮物如氣泡等捲入渦環之中，而出現「環形氣泡分布」。運用 Tracker 軟體追蹤氣泡移動方向、移動距離和速度，繪製成氣泡軌跡圖，很好的方式。也嘗試觀測與分析兩個氣泡環的碰撞，並對觀測到的結果提出了概略解釋方式。雖然分析與解釋可以再進步，是一件很好的初探作品。

作品簡報

組別：國小組
科別：物理科
編號：080104

「顯像」環生

—環形氣泡產生方法及變因之研究



摘要、研究動機與目的

摘要

自製能穩定施力的推膜裝置，產生環形氣泡。進行變因探討，環形氣泡流場分析。

1. 環形氣泡裝置：空氣砲方法

3D列印中空圓筒瓶 + 瓶口蓋
繡框固定矽膠保鮮膜，搭配推膜機。

2. 環形氣泡流場分析：

氣泡當作顯影顆粒，進行簡易流場可視化，進而分析環形氣泡形成歷程與運動軌跡。

3. 環形氣泡最佳化：

- ① 孔徑、管長和管徑會影響環形氣泡效果。
- ② 施力大小和孔徑影響環形氣泡直徑。
- ③ 管徑3吋、孔徑25mm、管長20cm效果佳。
- ④ 自創氣泡現形一體化，取代瓶外氣泡石。

4. 意外發現：

- ① 除了瓶外，瓶內也會出現環形氣泡。
- ② 對撞有抵銷、吸收、後凹抵銷一半現象。

研究動機

咦？海豚吐出環形氣泡！



五年級自然課聲音提過的空氣砲，在水中能產生環形氣泡嗎？我們想利用生活中的物品製造環形氣泡，進一步認識環形氣泡的特性，推廣應用。

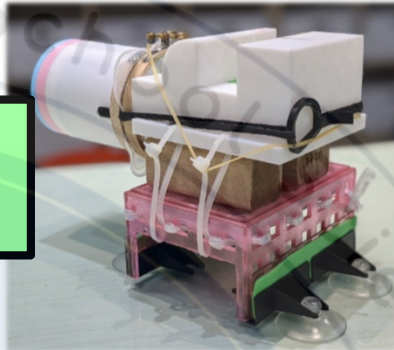
研究目的

- 一、研究製造環形氣泡的最佳方法。
- 二、建立環形氣泡的流場分析。
- 三、分析影響環形氣泡的變因。
- 四、研發環形氣泡現形的可能性。
- 五、測試環形氣泡對撞的現象。

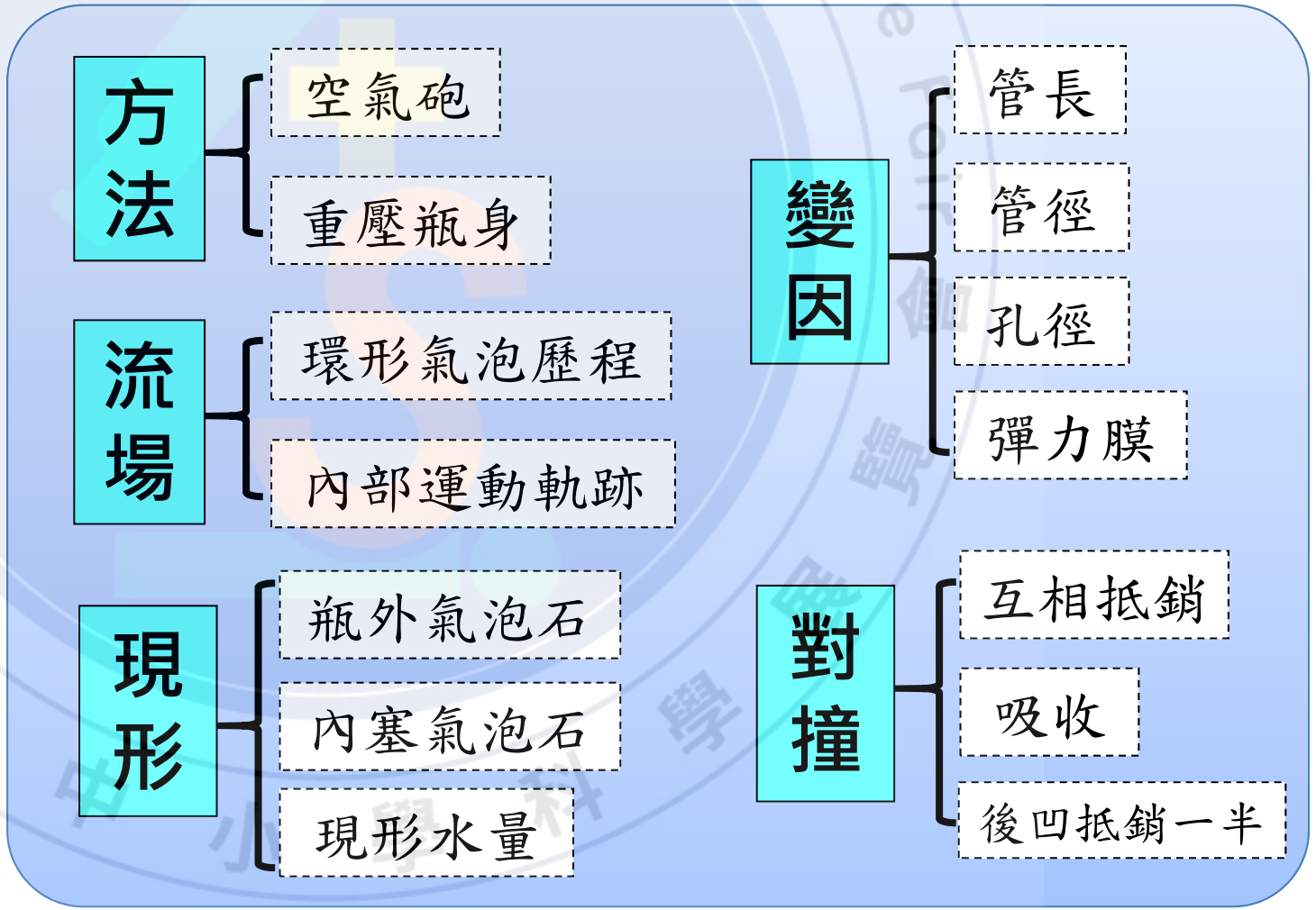
研究流程



自製檢測裝置



- ① 瓶身固定器
- ② 繡框彈力膜
- ③ 推膜裝置
- ④ 簡易流場可視化



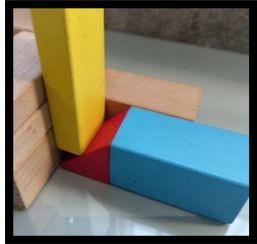
研究方法-裝置及檢測項目

推膜裝置

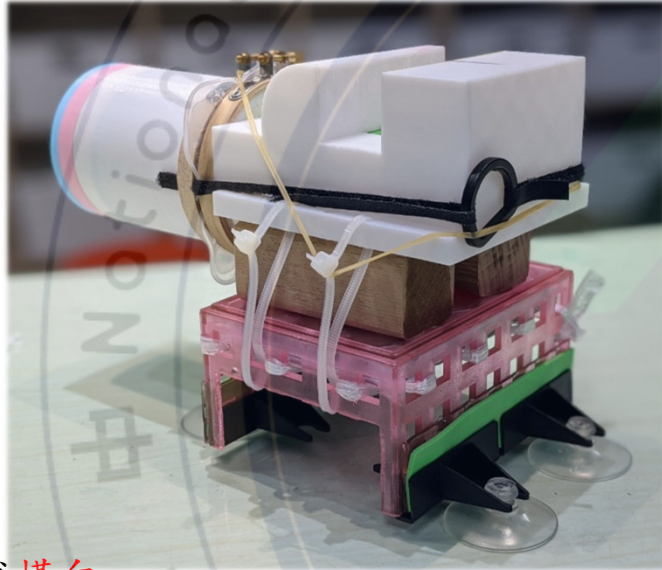
將下壓力量轉換成橫向力量來推膜。



重物:2.5kg槓片

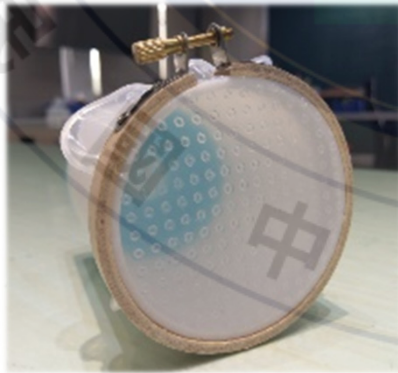
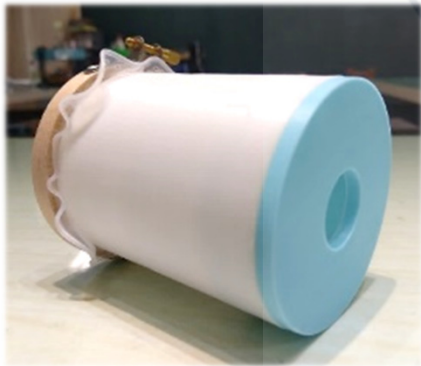


垂直力道轉換成橫向

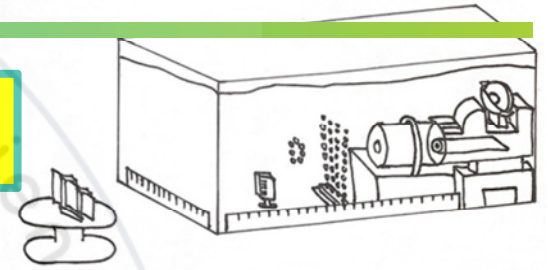


繡框固定彈力膜

相同力道
固定彈力膜



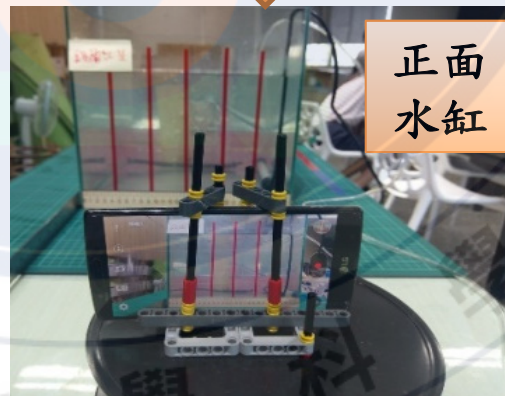
檢測裝置示意圖



手機架

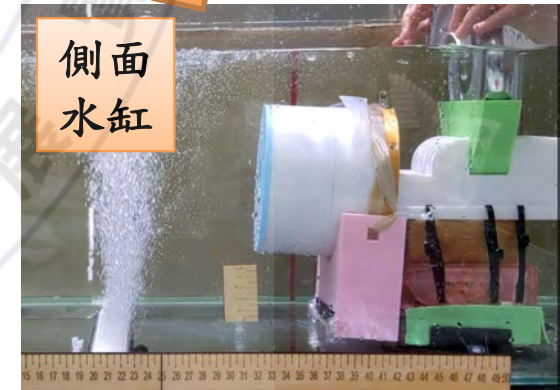
氣泡石

施力裝置



正面
水缸

測量「撞壁擴散直徑」

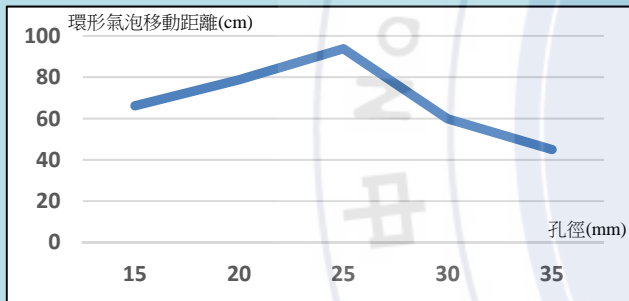


側面
水缸

測量環形氣泡
移動距離、直徑、速度

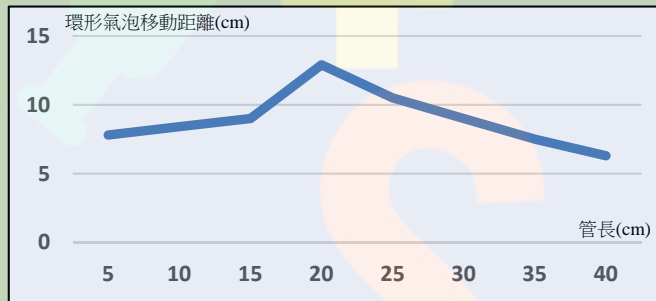
研究結果(一)空氣砲變因

孔徑



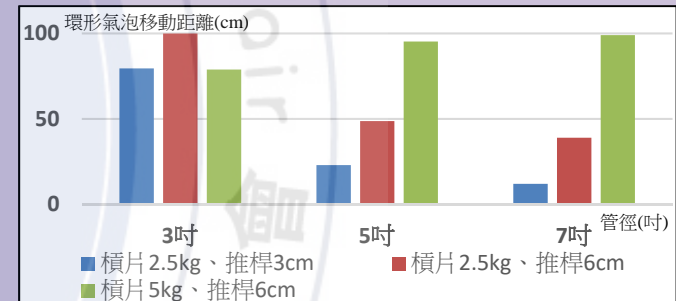
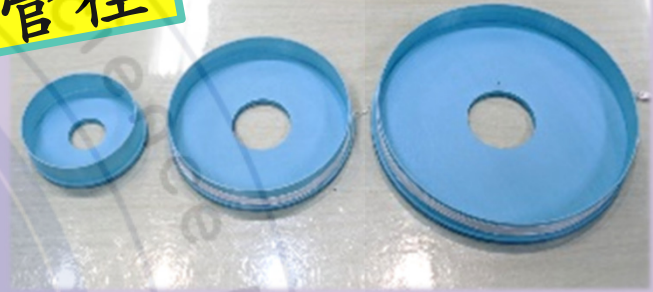
● 最佳孔徑為 $\frac{1}{3}$ (管徑)
 ($\frac{3}{15} < \frac{\text{孔徑}}{\text{管徑}} < \frac{7}{15}$ 才能成形)

管長



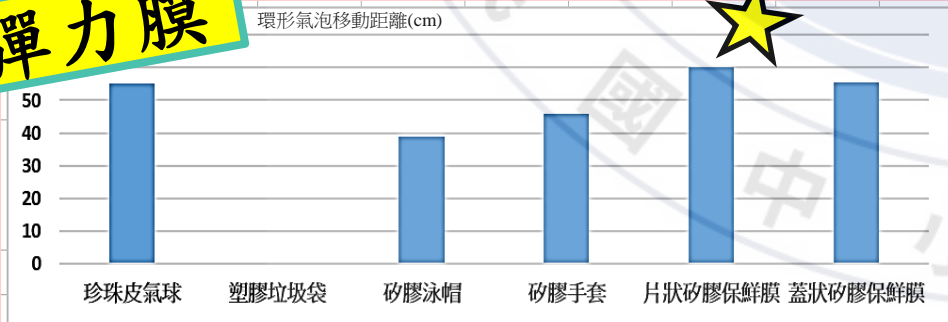
● 最佳管長為20cm，不宜過大或過小

管徑



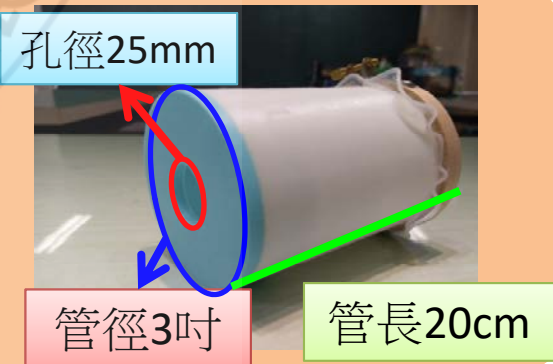
● 管徑越大效果最好，但施力須更大

彈力膜



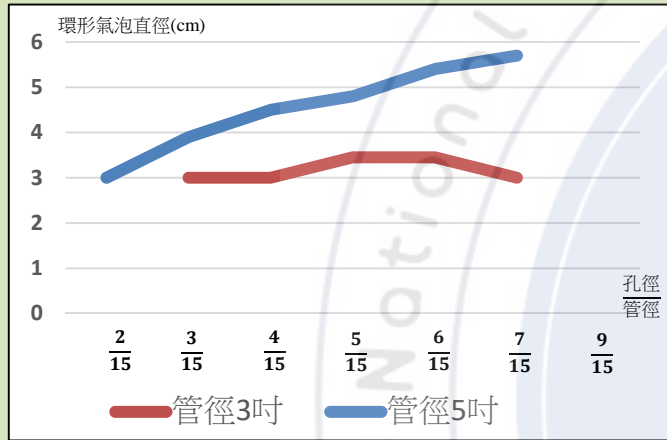
● 矽膠保鮮膜 便宜、耐用、效果佳！

最佳裝置



研究結果(二)環形氣泡直徑

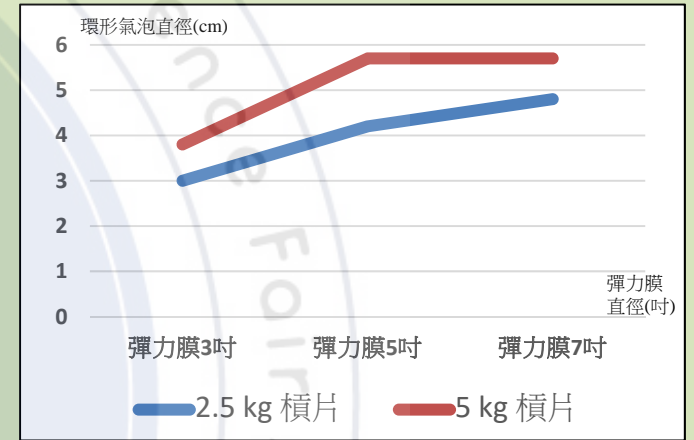
孔徑



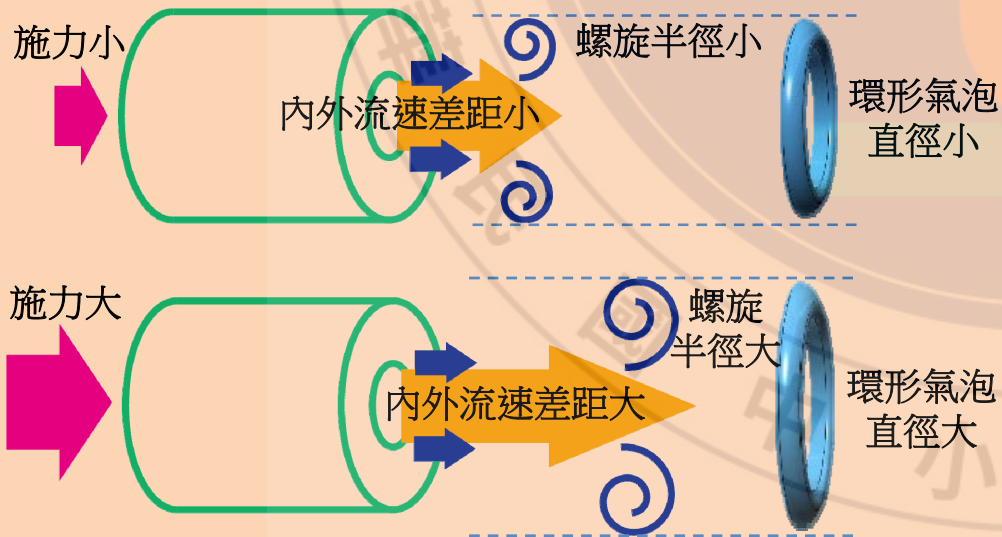
施力大小



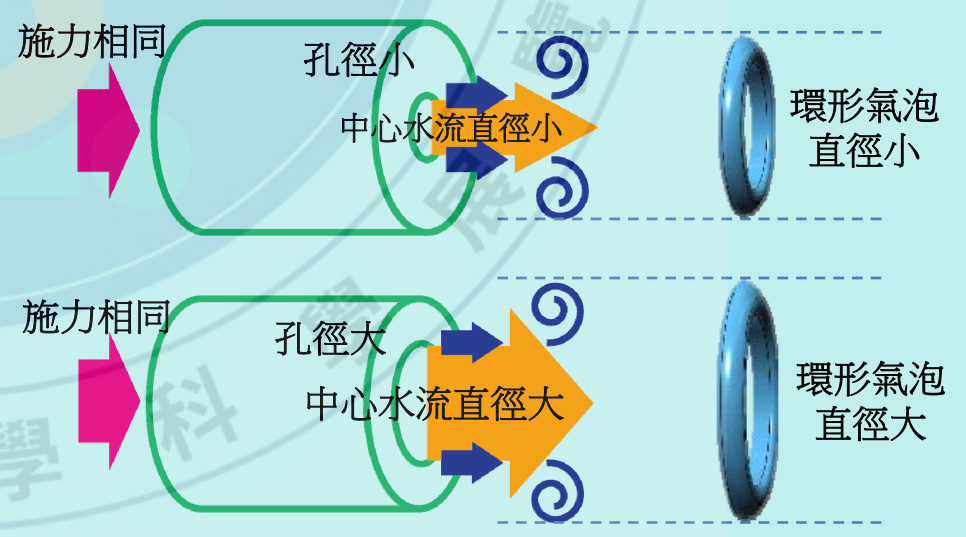
彈力膜尺寸



施力大小(原理推論)



孔徑(原理推論)

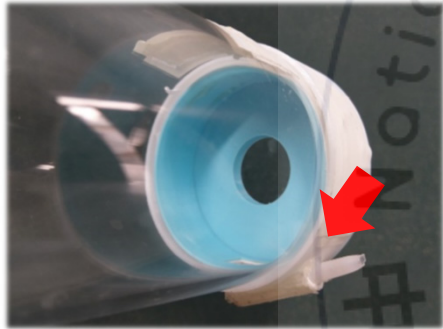


研究結果(三)氣泡現形一體化

渦環需要氣泡現形。但氣泡石產生的氣泡幕，會干擾環形氣泡觀察！而且氣泡石擺設在瓶口，操作不方便。我們希望能夠將瓶子與氣泡現形一體化！

內塞氣泡石

將氣泡石放入瓶內，從瓶口內部提供氣泡



瓶身鑲氣泡石



氣泡圈瓶口蓋

現形水量

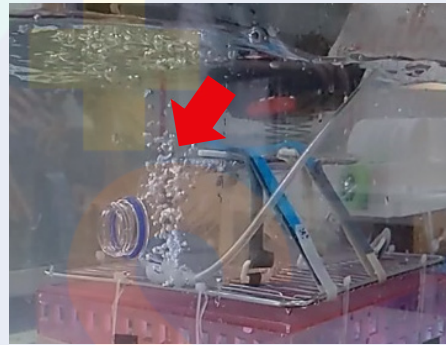
利用瓶內空氣讓環形氣泡現形。需控制水位。



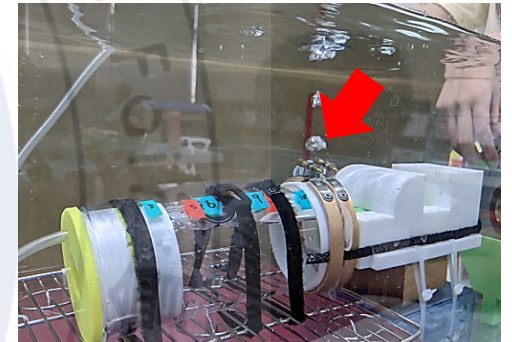
90%水量（10%空氣量）能讓渦環現形

固定水位

調節或排出瓶內多餘的空氣量。並搭配有節奏的施打，能固定水位，穩定的製造出環形氣泡。



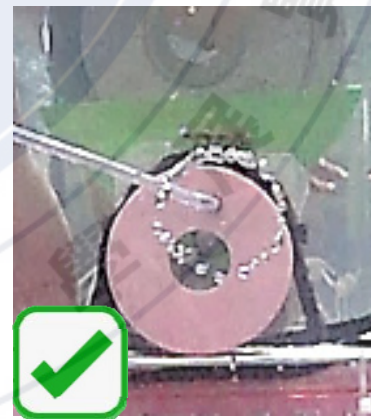
瓶身上方開洞漏氣



繡框螺絲處放氣



看不到環形氣泡！



清晰的環形氣泡！

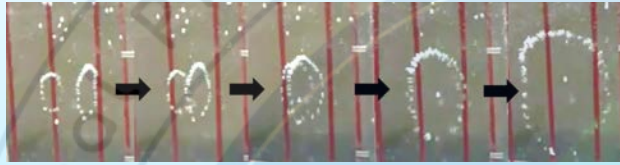


觀察產生歷程！

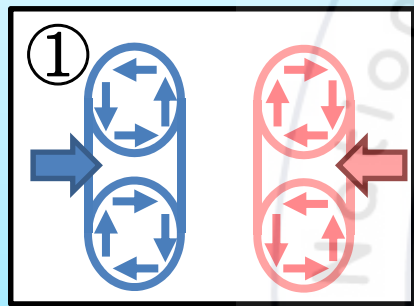
研究結果(四)環形氣泡對撞

我們從兩側同時製造環形氣泡，測試對撞後的反應，得到以下三種現象：

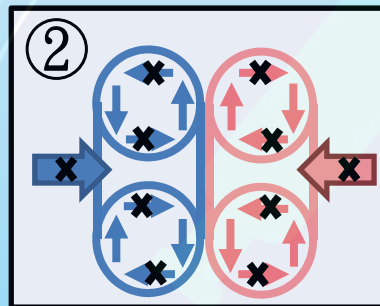
互相抵銷



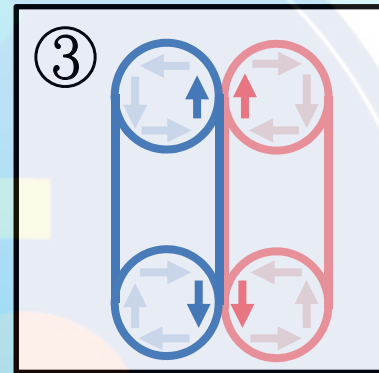
相同力道吻合對撞：



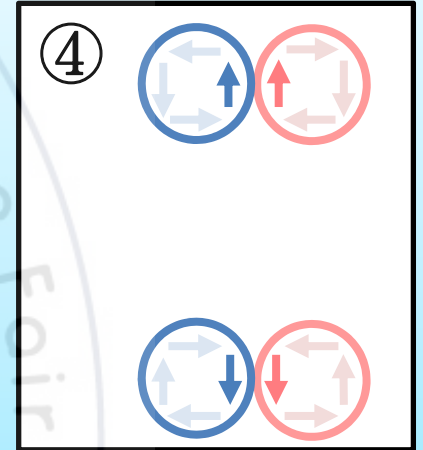
① 渦環兩側靠近，各自有旋轉力道



② 相反力道互相抵銷



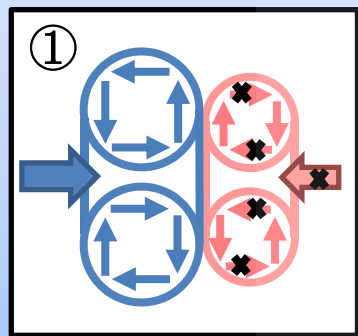
③ 停止前進，只剩向外力道



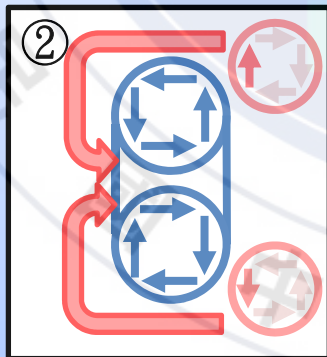
④ 氣泡向外擴散直到消散

吸收

不同力道
吻合對撞：



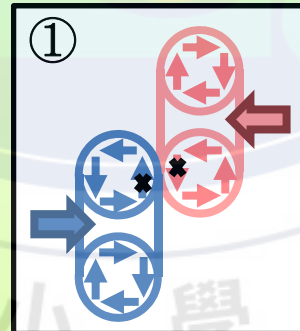
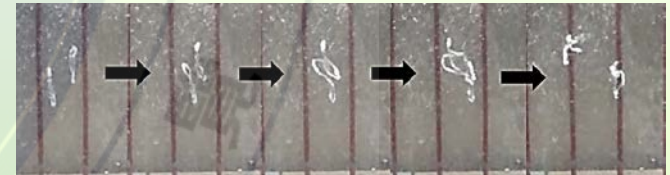
① 小渦環相反力道被抵銷



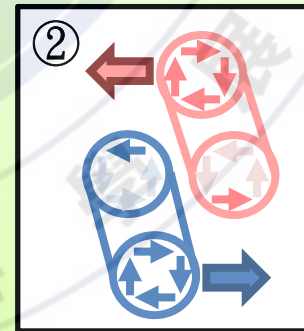
② 擴散氣泡被大渦環吸入

後凹抵銷一半

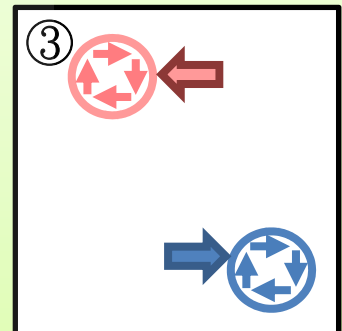
相同力道一半對撞：



① 相撞部分同方向加成



② 向後力道增加造成後凹抵銷

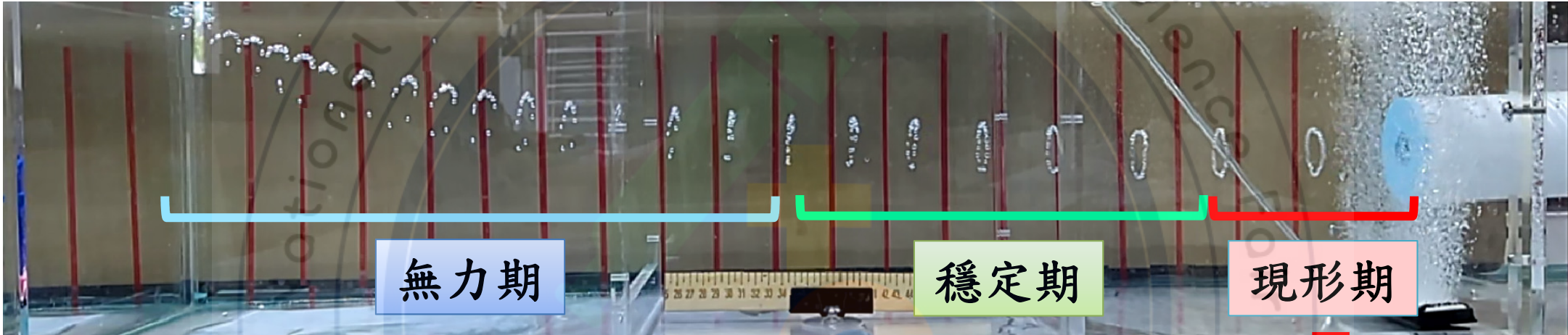


③ 只剩未對撞往前進

討論-環形氣泡的產生歷程

環形氣泡軌跡圖

每1/8秒截圖成軌跡圖，分成三個時期：



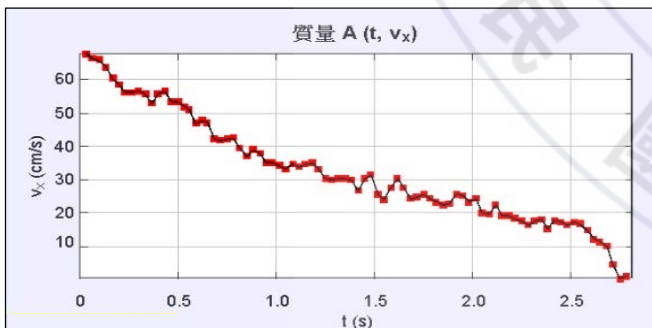
無力期

穩定期

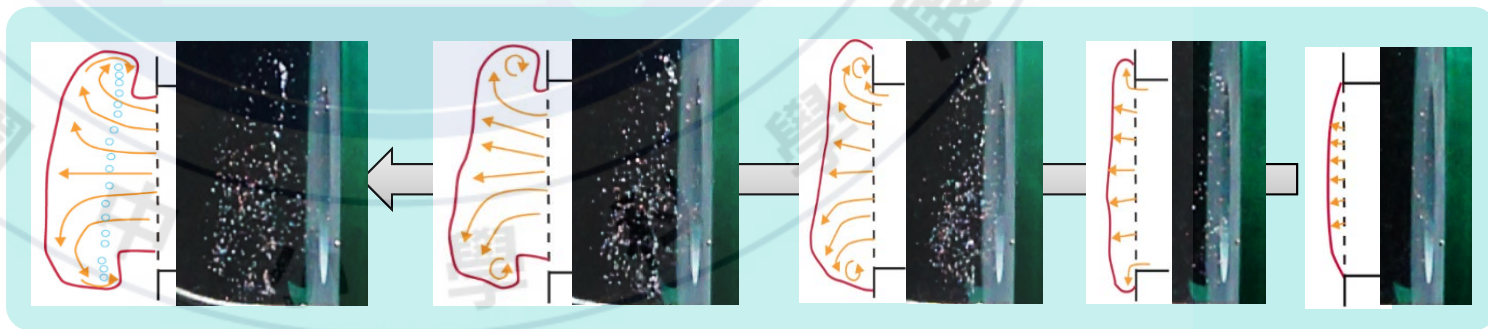
現形期

- 1 現形期：剛開始產生，速度快，且有**拖曳噴射流**向前。
- 2 穩定期：直線前進，氣泡直徑維持相同。
- 3 無力期：向上移動、氣泡直徑加大，剩半月形氣泡環。

環形氣泡「X軸位移速度」



距離瓶口1cm，環形氣泡才成形！

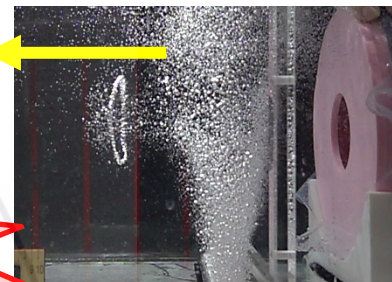


前進時間越久，環形氣泡的速度越慢。

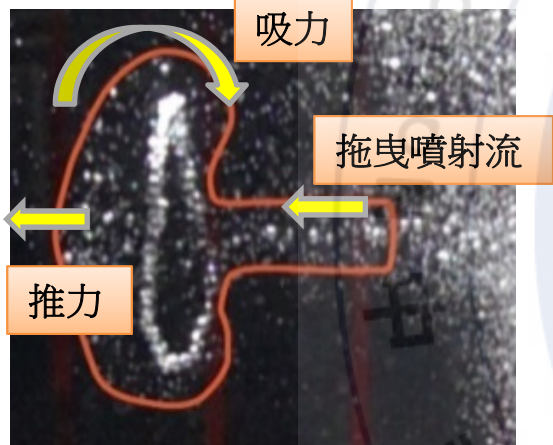
討論-環形氣泡內部運動軌跡

簡易流場可視化

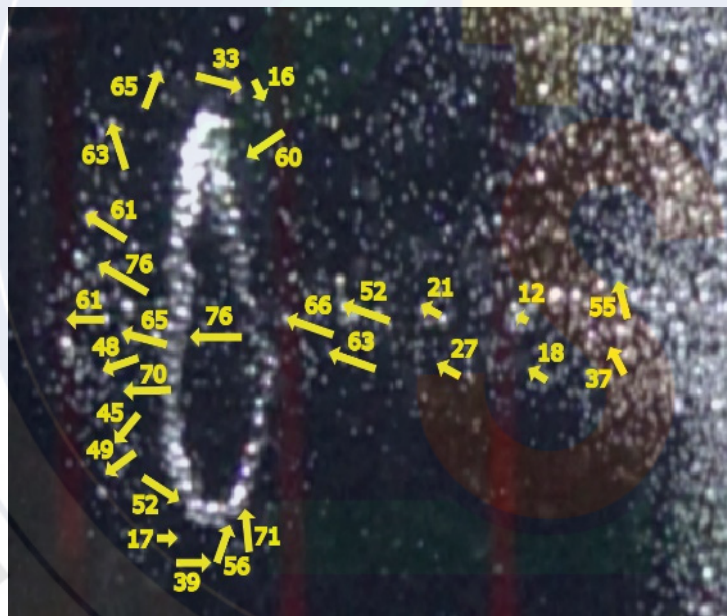
透過水中懸浮的細小氣泡，可作為 **顯影顆粒** 進行流場分析



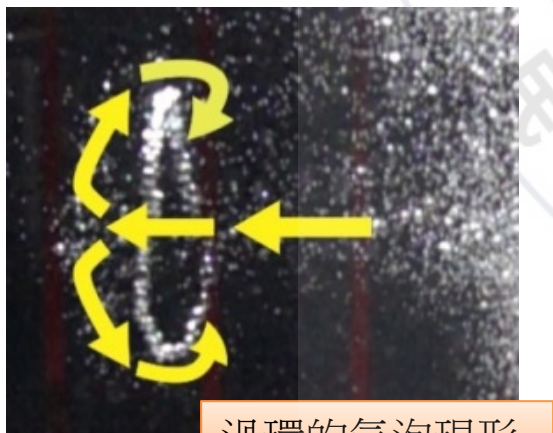
① 觀察影響範圍



③ 透過計算氣泡速度(cm/s)及方向，了解環形氣泡的狀態



② 觀察氣泡移動軌跡



渦環的氣泡現形

環形氣泡內部**30顆氣泡軌跡圖**

箭頭方向 = 氣泡移動方向

箭頭長度 = 氣泡移動起點和終點

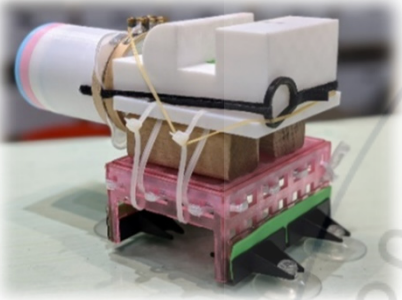
數字 = 氣泡移動速度(cm/s)

新突破

藉由簡易的流場可視化模式可觀察到：

1. 環形氣泡影響範圍大
 - ① 前端為**推力**
 - ② 後方有吸入氣泡的**吸力**
 - ③ 後面有前推的**拖曳噴射流**。
2. 氣泡移動軌跡：
 - ① 從內向外旋轉的**施力**
 - ② 小氣泡捲入環形氣泡中。
3. 移動速度：
 - ① 環形氣泡**中心速度比外側快**。
 - ② 環形氣泡**上半部速度（力道）比下半部大**。

結論



找到產生方法

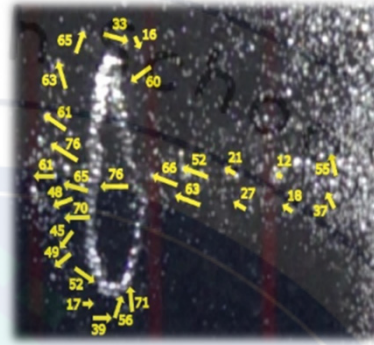
空氣砲
喇叭通電
瓶內環形氣泡

氣泡現形一體化

奈米氣泡條
瓶身鑲氣泡石
氣泡圈瓶口蓋
現形水量90%

環形氣泡流場

簡易流場可視化
環形氣泡歷程
內部運動軌跡



流場分析

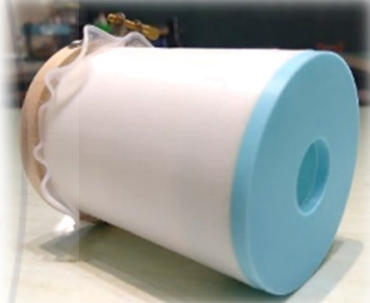
圓筒瓶最佳化

管徑3吋
孔徑/管徑=1/3
管長20cm
矽膠保鮮膜
緊度10mm

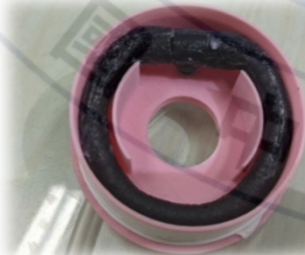
產生方法

顯像環生

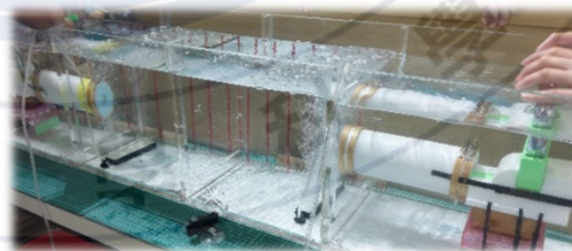
空氣砲
變因



氣泡現形



對撞



三種對撞現象

互相抵銷
被大環吸收
後凹、抵銷一半

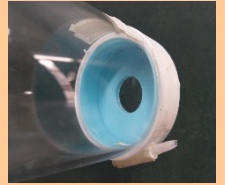
突破與亮點



穩定施力的
推膜裝置

去人力，機器化

氣泡現形
一體化裝置



去氣泡幕，觀察更清楚，使用更方便



方便
無污染
可測速

流場可視
新方法

小氣泡 = 顯影顆粒

研發

顯像環生 **突破**

節省空間
新玩法



瓶內也有
環形氣泡



找出影響變因
並推測原理

渦環直徑
變因研究

原理
推測

新發現

去人力
電動化
商品化

4吋喇叭通電



電動喇叭
製造
環形氣泡



環形氣泡
對撞後的效果



歸納三種現象，推測原理

成功產生環形氣泡

