

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科(一)

第三名

032802

神奇魔法牆-尋找最佳氣泡牆模型

學校名稱：新竹市立培英國民中學

作者：  國二 簡睿鉉  國二 余致學	指導老師：  陳光晉  楊易倫
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：大氣泡屏障(The Great Bubble Barrier)、氣泡牆、環境污染

## 摘要

近年河川或海上塑膠垃圾與油汙對環境造成傷害，解決環境污染備受重視。近期荷蘭用-大氣泡屏障，成功將塑膠垃圾阻攔，因此我們興起了「尋找最佳氣泡牆模型」。本研究目的為：分析「氣泡牆形狀、氣泡間隔以及氣泡大小」是否影響攔阻效果。結果發現：1.凹向水源  $30^\circ$  弧線氣泡牆攔阻效果最佳；2.氣泡越小間距越小，攔阻效果越好，此與荷蘭研究員論點相呼應；3.相較於形狀固定的塑膠垃圾，形狀會變的油汙較難攔阻；4.具厚度氣泡牆，攔阻效果更勝多道獨立的氣泡牆；5.「緊鄰的兩道  $30^\circ$  弧線氣泡牆」的攔阻效果是目前我們所做的模型中效果最好的。因此我們建議，未來在實際運用氣泡牆攔阻汙染源時，可採用此模式解決環境污染問題。

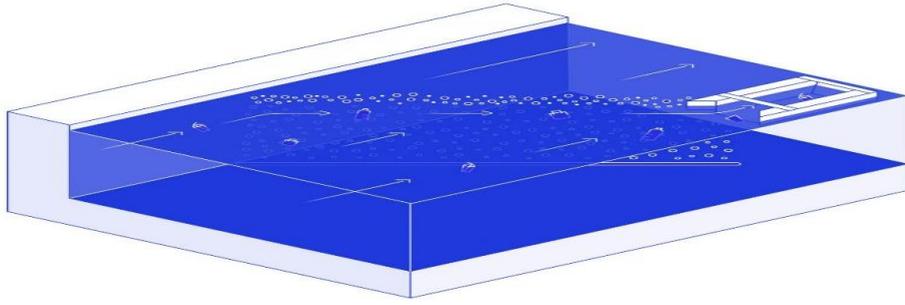
# 壹、前言

隨著塑膠垃圾越來越多，環境汙染問題日益嚴重，人們也開始積極研究解決環境汙染的方法。

## 一、研究動機

因為塑膠垃圾的生產成本很低，但是卻能帶給人們極大的便利性，因此在日常生活中被大量製造。但是近幾年來，大家已經發現，無法有效回收塑膠垃圾，已經對環境造成極大傷害，因此世界各地已經開始重視塑膠垃圾對環境汙染造成傷害的問題。海洋中的大部分塑膠垃圾來自於河川，在那裡它會傷害野生動物、損壞船隻並導致氣候變化；而且塑膠垃圾一旦進入海洋之後，就幾乎不可能捕獲和清除。此外，船隻漏出的油污也是一個常見又棘手的問題，因為海運是重要的商品運輸管道，因此河川與海洋常常有大量的船隻往來，油污漏出非常常見，加上油污容易隨著水流移動，非常難處理，成為嚴重的環境汙染源。

但是近期荷蘭的海洋愛好者發現了全新的解決方法-大氣泡屏障(The Great Bubble Barrier)。2018年荷蘭一個濱海小城「卡特維克(Katwijk)」的人民發現，在舊萊茵河流入北海之前，河口聚集了眾多垃圾，他們希望阻絕這些即將流入北海的垃圾，因此展開攔阻海洋塑膠的行動。他們發現利用氣泡牆可以有效地防止塑膠垃圾和油污，當氣泡從穿孔管冒出來時，氣泡爆開的瞬間會產生一種力道，會將浮在水面上的汙染源彈開，讓他無法穿越氣泡牆，可以造成攔阻的效果。假如汙染源不是浮在水面上，而是在水裡的話，氣泡會在上升過程中把它攔住，但是攔阻的效果較浮在水面上的汙染源差。而沉在水面下的汙染源則無法被氣泡牆給攔住，因為它不會隨著水流流動，只會待在原處。2022年7月他們成功地完成第一個由社區主導的氣泡牆(如圖一所示)，氣泡牆會將塑膠垃圾從水底帶至水面，並進入廢物收集系統，過程中也不會阻礙野生動物或船隻，等於是垃圾入海前的最後防線，成功地利用氣泡與水流攔截河道中的垃圾。



圖一:氣泡牆攔截垃圾圖示說明

資料來源：The Great Bubble Barrier(<https://thegreatbubblebarrier.com>)

而荷蘭的環境流體動力學研究員，曾經在大約 1000 個橘子上做記號，進行模擬實驗，實驗結果發現，氣泡牆兩邊的防阻效果差異很大，其中一邊成功率高達 90%，但是另一邊成功率卻很低。因此讓我們興起了「尋找最佳氣泡牆模型」，希望藉由我們的研究結論，可以提出建議給相關單位參考，為解決環境污染盡一份心力。

## 二、研究目的

根據以上的研究動機，我們想分析「**氣泡牆的形狀、氣泡的間隔，以及氣泡大小**」是否會影響環境汙染源的攔阻效果，藉由我們的研究結果找出一個效果較佳的方法，希望未來可以實際運用在攔阻塑膠垃圾和去除油污。

## 貳、研究設備及器材

氣泡牆背後的技术並不難，需要利用**機電設備讓空氣通過放置在河床上的穿孔管 (Perforated tubes)**，氣泡冒出便會形成氣泡牆。製作氣泡牆所需的研究設備與器材如下：

### 一、製作氣泡牆

製作氣泡牆所需的研究設備與器材主要包含以下三個(如圖二所示):

(一)**木頭**:我們利用木頭製作出水道，模擬河川的情境。

(二)**軟塑膠管**:我們利用軟塑膠管代替穿孔管(Perforated tubes)，將軟塑膠管拉成斜直線或是弧線，就可製作出不同形狀的氣泡牆；而利用針鑽出氣泡孔，則可以製作出不同間距與不同大小的氣泡。

(三)**幫浦**:為了製造出氣泡，我們需要利用空氣幫浦打氣。



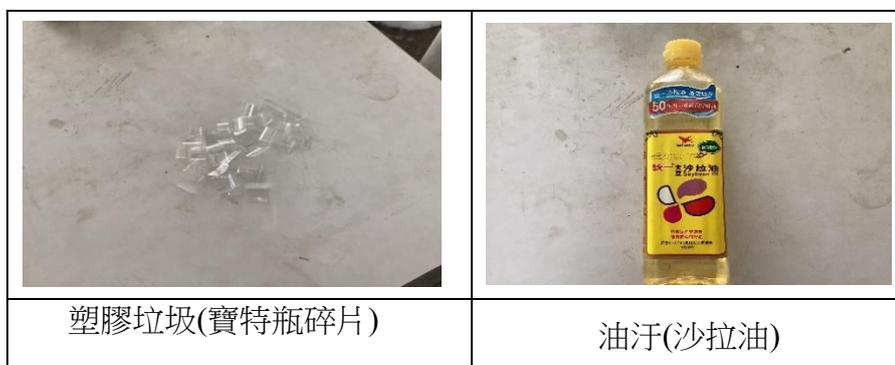
圖二:製作氣泡牆所需的研究設備與器材

## 二、 汙染源模擬

我們模擬的環境汙染源主要包含以下兩個(如圖三所示):

(一)**塑膠垃圾**:我們以寶特瓶裁剪成碎片代替塑膠垃圾。其中需要注意的是，因為我們將利用攔阻多少片塑膠垃圾來衡量防阻效果，所以**每一片塑膠碎片大小需要一樣**。因此我們將寶特瓶裁剪成每片大小一致，寬度 1.5cm 長度 2cm 的塑膠碎片。

(二)**油汙**:我們用沙拉油代替河川的油汙。其中需要注意的是，因為我們將利用阻攔住多少毫升的油汙來衡量防阻效果，所以**每一次模擬的油汙必須一樣多**。因此我們利用滴管進行油汙模擬，每一個實驗滴入 50 毫升的沙拉油。



圖三: 環境汙染源模擬

### 三、防阻效果衡量

因為油污模擬是利用滴管滴入沙拉油，所以需要滴管器材；而防阻效果衡量時，是將被阻攔的沙拉油撈起，**利用油水分離的特性**，用量筒計算沙拉油容量，所以也需要量筒(如圖四所示)。

(一)滴管:我們利用滴管滴入沙拉油。

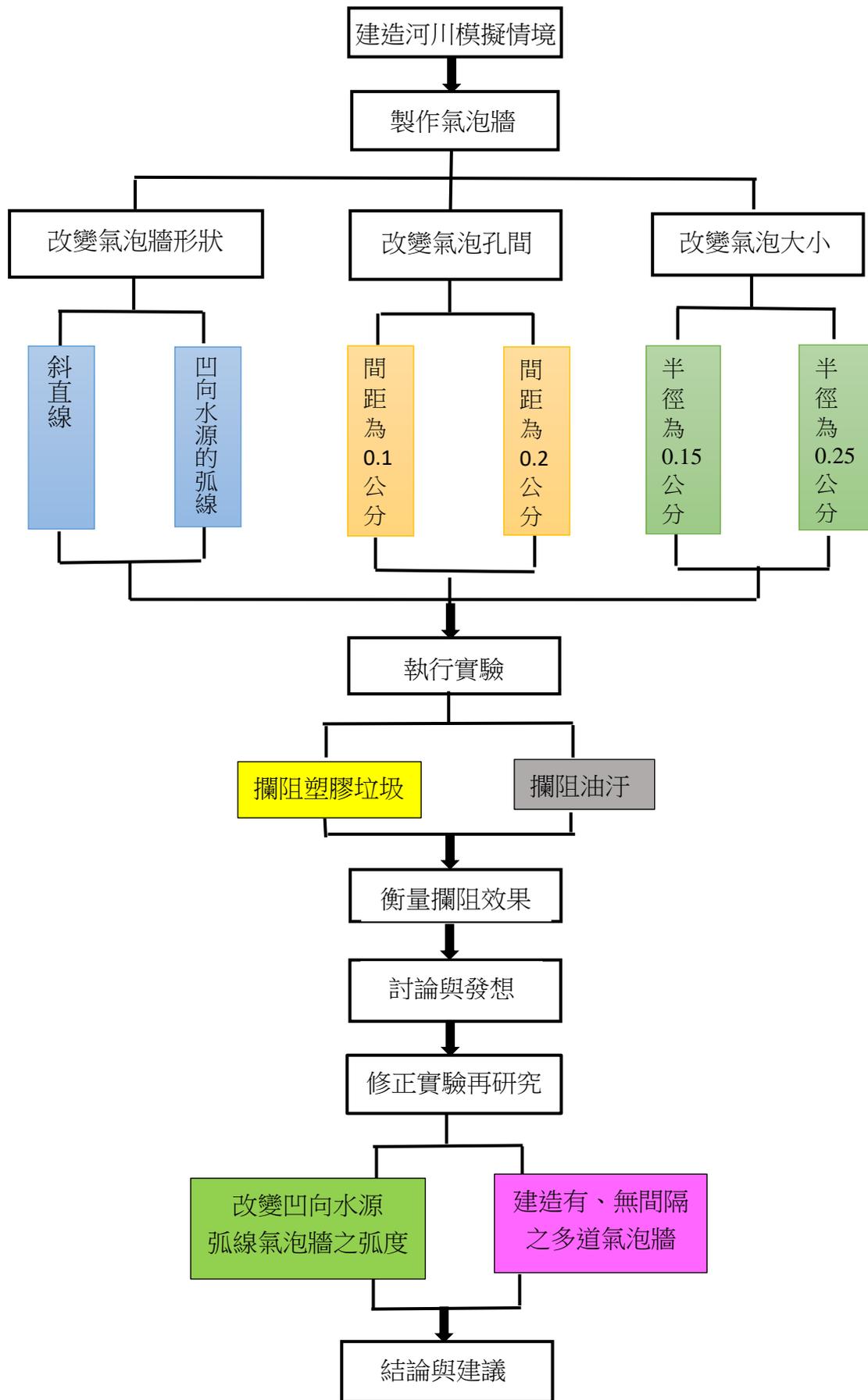
(二)量筒:用量筒計算沙拉油容量。



圖四: 攔阻效果衡量所需器材

### 參、研究過程或方法

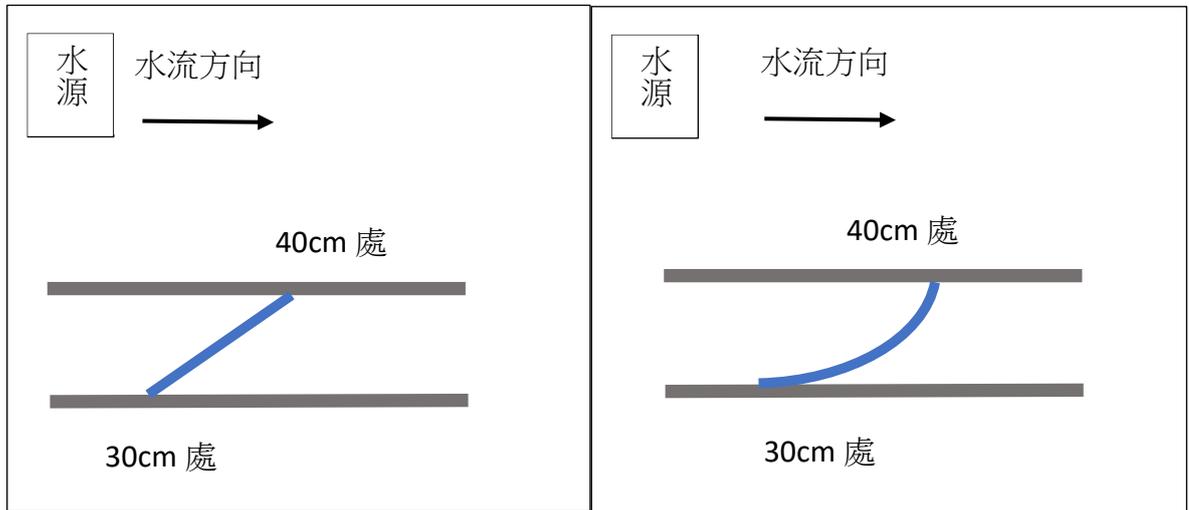
我們的實驗研究流程為:建造河川模擬情境→製作氣泡牆→執行實驗→衡量攔阻效果→討論與發想→再次修正實驗並進行研究→結論與建議。實驗流程如圖五所示。



圖五:實驗流程

## 一、建造河川模擬情境

我們利用木頭建造了寬為 10cm，長度 100cm 的水道，並在水道的起點放置水管，當作水源。水道右方距離水源 30cm 處放置軟塑膠管與幫浦，當作氣泡牆的起點，水道左方距離水源 40cm 處當作氣泡牆終點，製作出氣泡牆(如圖六所示)。



圖六:河川模擬情形

## 二、製作氣泡牆

我們的研究目的為:分析「氣泡牆的形狀、氣泡的間隔，以及氣泡大小」是否會影響環境汙染的防堵效果，所以我們將軟塑膠管做了以下三種改變:「將軟塑膠管拼裝成不同形狀」、「改變軟變塑膠管上孔洞的間距」，以及「調整軟塑膠管的孔洞大小」，以製造出不同大小的氣泡」。

### (一)實驗一:改變氣泡牆的形狀

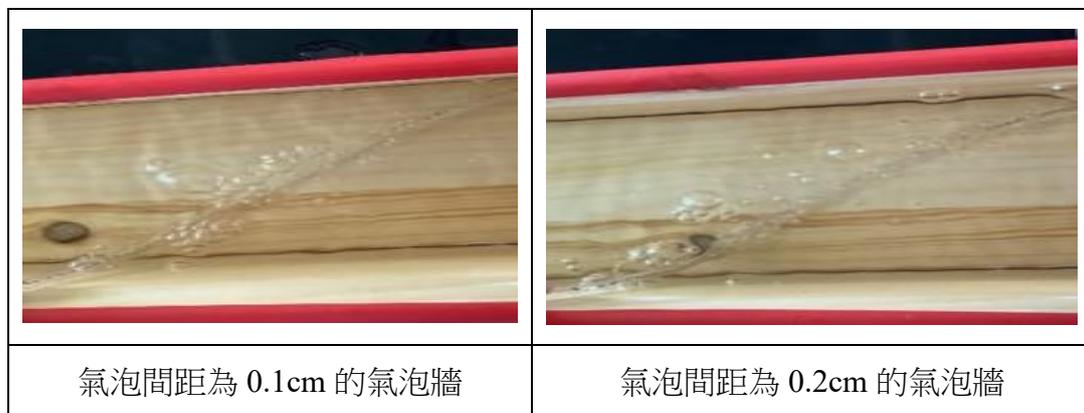
運用軟塑膠管製造出不同形狀的氣泡牆，看看哪個形狀的氣泡牆能夠攔住最多塑膠垃圾。我們從文獻上得知，荷蘭的海洋愛好者，目前是設計出斜直線的氣泡牆。而我們在研究初期，則是先預想出三種不同形狀的氣泡牆(凸向水源的弧線、斜直線以及凹向水源的弧線)，我們在試著進行數次實驗之後發現，**凸向水源的弧線氣泡牆效果比目前就已經被運用的斜直線氣泡牆更還差**，最後我們決定以斜直線與凹向水源的弧線氣泡牆繼續進行實驗，所以接下來便以此兩種形狀進行多次的實驗研究，蒐集資料進行分析(如圖七所示)。



圖七:氣泡牆形狀

### (二)實驗二:改變氣泡孔的間距

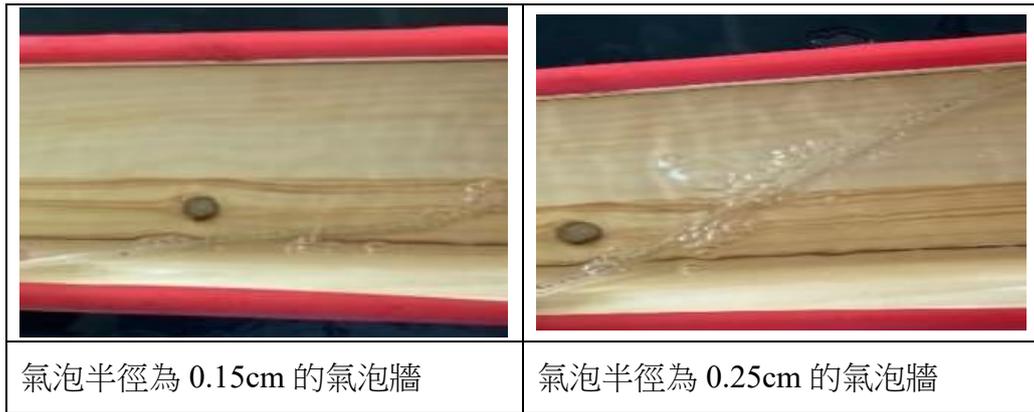
調整每個氣泡孔的間距，看看哪個間距的氣泡牆能攔住最多的塑膠垃圾。我們在考慮污染源大小、河道寬度以及氣泡牆長度之後，利用針鑽出氣泡孔。其中共分成兩種情況，分別為每個氣泡孔間距 0.1cm 與 0.2cm，如圖八所示。



圖八: 不同氣泡間距的氣泡牆

### (三)實驗三 :改變氣泡的大小

運用鑽孔機製造出不同大小的氣泡，看看哪個大小的氣泡能攔住最多的塑膠垃圾。我們在考慮污染源大小以及軟塑膠管寬度之後，利用兩種不同粗細的針鑽出氣泡孔。其中共分成兩種情況，分別為氣泡孔半徑為 0.15cm 與 0.25cm，如圖九所示。



圖九:氣泡大小不同的氣泡牆

### 三、衡量防阻效果

氣泡牆製作完成之後，我們依序將塑膠碎片與沙拉油汙放入模擬河川中，其中塑膠垃圾的實驗，每次放入 50 片塑膠碎片，讓它隨著水流流向氣泡牆，經過氣泡牆攔阻之後，再將被攔阻的塑膠碎片撈起，計算數量。至於油污的實驗，則是利用滴管滴入 50 毫升的沙拉油，讓它隨著水流流向氣泡牆，經過氣泡牆攔阻之後，再將被阻攔的沙拉油撈起，**利用油水分離的特性**，用量桶計算沙拉油容量。

### 肆、研究結果

我們的研究主要依據汙染源，將實驗分成兩部分：「針對塑膠垃圾的實驗」與「針對油污的實驗」，而每一部分又分成三個實驗，分別為「改變氣泡牆的形狀」、「改變氣泡孔的間距」與「改變氣泡的大小」，因此共有六個實驗，每一個實驗我們進行兩個變化分析。

為了確實了解影響攔阻效果的因素為何，**實驗的時候一次只改變一個變因**，例如當進行「不同氣泡牆形狀」對攔阻效果影響的實驗時，只改變氣泡牆形狀，氣泡孔間距都固定為 0.1cm，氣泡半徑則同樣為 0.15cm；同樣地，進行「不同氣泡孔間距」對攔阻效果影響的實驗時，只改變氣泡孔間距，氣泡牆形狀都固定為斜直線，氣泡半徑則同樣為 0.15cm；至於，進行「不同氣泡大小」對攔阻效果影響的實驗時，只改變氣泡大小，氣泡牆形狀都固定為斜直線，氣

泡孔間距都固定為 0.1cm。最後我們將實驗結果拿來進行分析，找出哪種形式的氣泡可以達到最理想的攔阻效果。

總結共有  $2*3*2=12$  組實驗結果，我們分別於 2/8、2/14、2/16 與 2/23 進行實驗，每組實驗進行十次，**因為數據比較多，所以數據以平均值呈現**，將資料整理如表一與表二。

## 一、針對塑膠垃圾的實驗結果

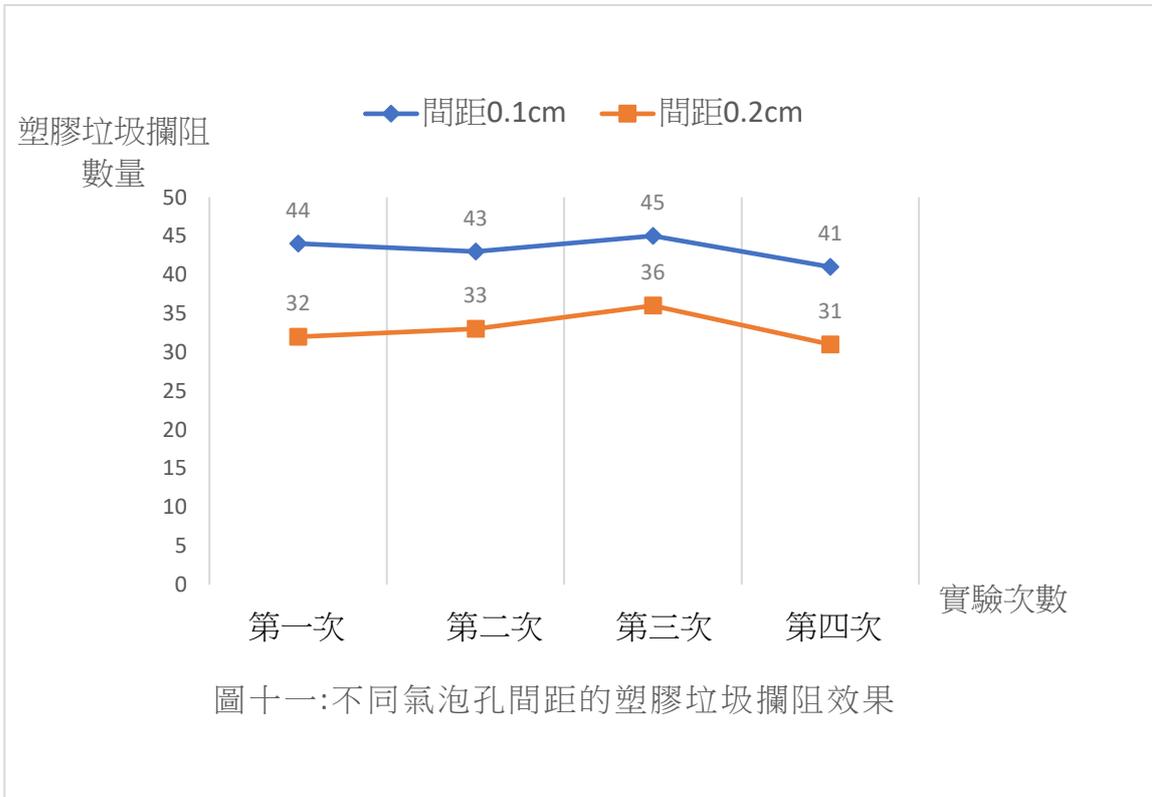
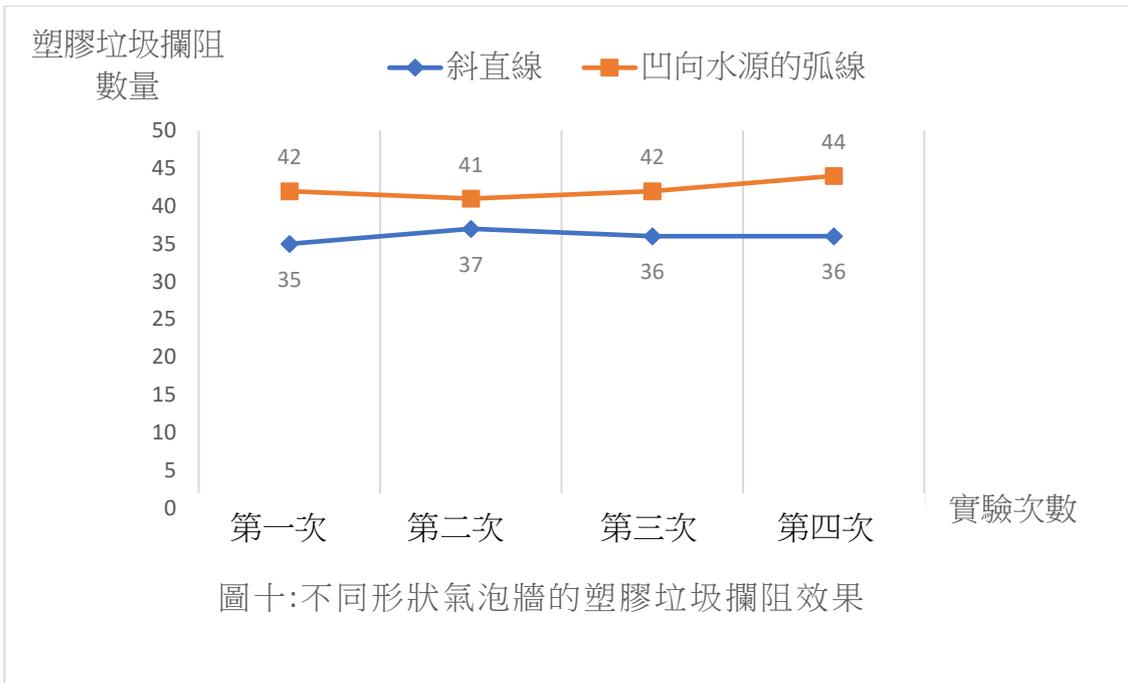
從表一可以發現，凹向水源的弧線氣泡牆平均比斜直線氣泡牆多攔阻 6.3 片塑膠垃圾，也就是凹向水源的弧線氣泡牆攔阻效果比斜直線氣泡牆佳(如圖十所示)，因此**未來若是使用凹向水源的弧線氣泡牆，則可以比目前被運用的斜直線氣泡牆，提升 13%的攔阻效果**。此外，氣泡孔的間距為 0.1cm 的氣泡牆平均比間距為 0.2cm 的氣泡牆多攔阻 10.3 片塑膠垃圾，**提升 21%的攔阻效果**，也就是間距較小的氣泡牆具有較高的攔阻效果(如圖十一所示)；至於氣泡大小方面，氣泡半徑為 0.15cm 的氣泡牆更是比半徑為 0.25cm 的氣泡牆平均多攔阻 14.3 片塑膠垃圾，**提升高達 29%的攔阻效果**。因此越小的氣泡越能達到阻攔效果(如圖十二所示)。

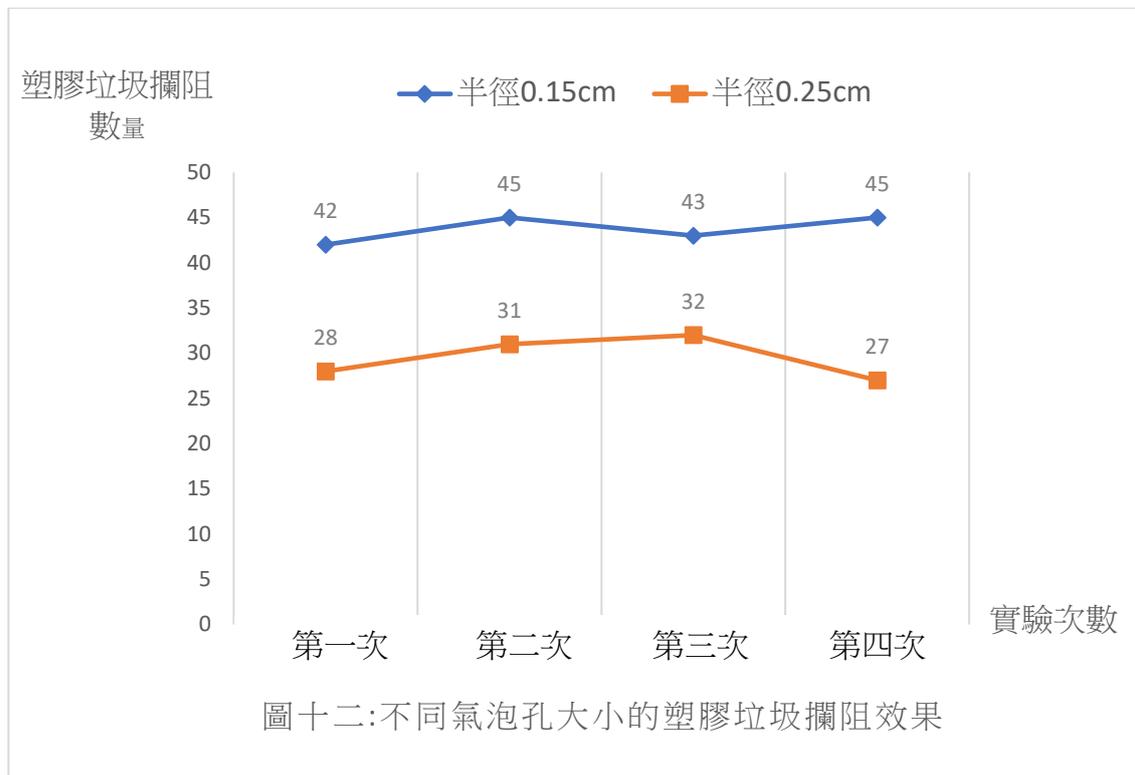
表一:不同氣泡牆對塑膠垃圾攔阻效果

單位:片，%

實 驗 日 期	實 驗 次 數	氣泡牆的形狀 (氣泡孔間距同為 0.1cm，氣 泡半徑同為 0.15cm)		氣泡孔的間距 (氣泡牆形狀同為直線， 氣泡半徑同為 0.15cm)		氣泡的半徑 (氣泡牆形狀同為直線， 氣泡孔間距同為 0.1cm)	
		斜直線	凹向水源 的弧線	0.1cm	0.2cm	0.15cm	0.25cm
2/8	10	35	42	44	32	42	28
2/14	10	37	41	43	33	45	31
2/16	10	36	42	45	36	43	32
2/23	10	36	44	41	31	45	27
總平均		36.0	42.3	43.3	33.0	43.8	29.5
攔阻效果		72%	85%	87%	66%	88%	59%
效果提升			13%	21%		29%	

資料來源:本研究整理





## 二、針對油汙的實驗結果

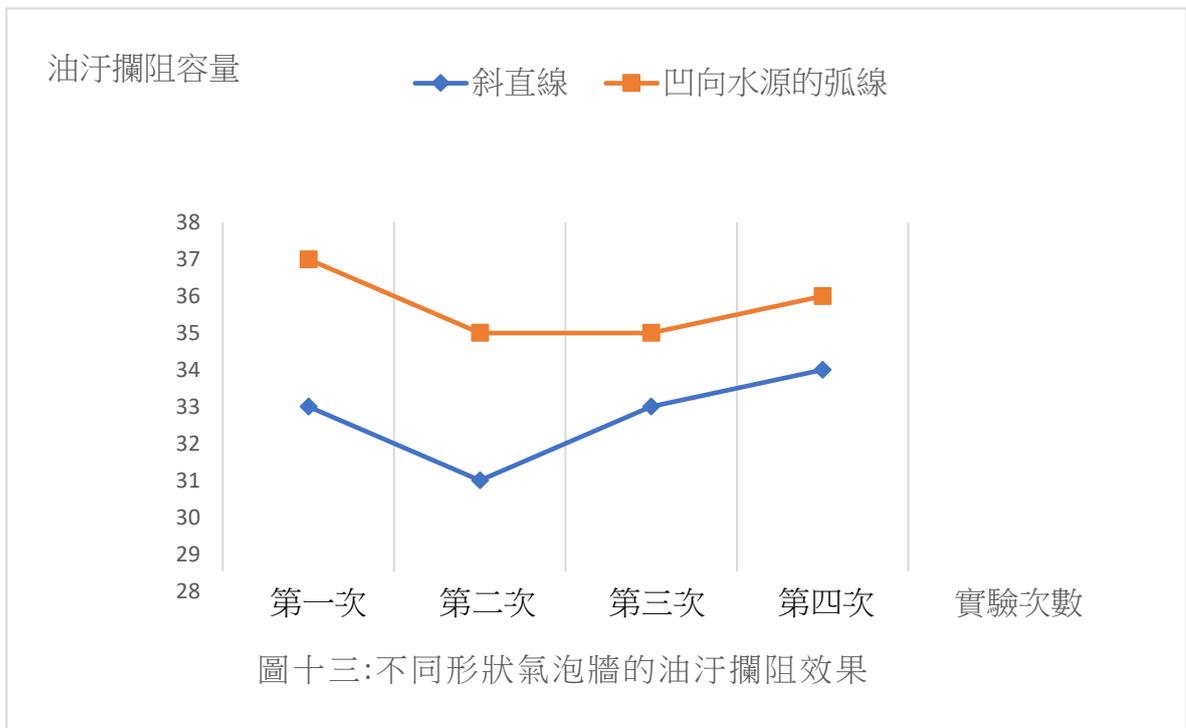
從表二可以發現，與塑膠垃圾的實驗相同，凹向水源的弧線氣泡牆平均比斜直線氣泡牆多攔阻 2.5 毫升油汙，也就是可以**提升 5%的攔阻效果**，因此凹向水源的弧線氣泡牆一樣攔阻效果一樣比斜直線佳(如圖十三所示)。在氣泡間距方面，氣泡孔的間距為 0.1cm 的氣泡牆平均比間距為 0.2cm 的氣泡牆多攔阻 6.5 毫升油汙，**提升 13%的攔阻效果**，也就是間距較小的氣泡牆具有較高的攔阻效果(如圖十四所示)。至於氣泡大小方面，氣泡半徑為 0.15cm 的氣泡牆更是比半徑為 0.25cm 的氣泡牆平均多攔阻 9 毫升油汙，**提升高達 18%的攔阻效果**。因此一樣是越小的氣泡越能達到阻攔效果(如圖十五所示)。

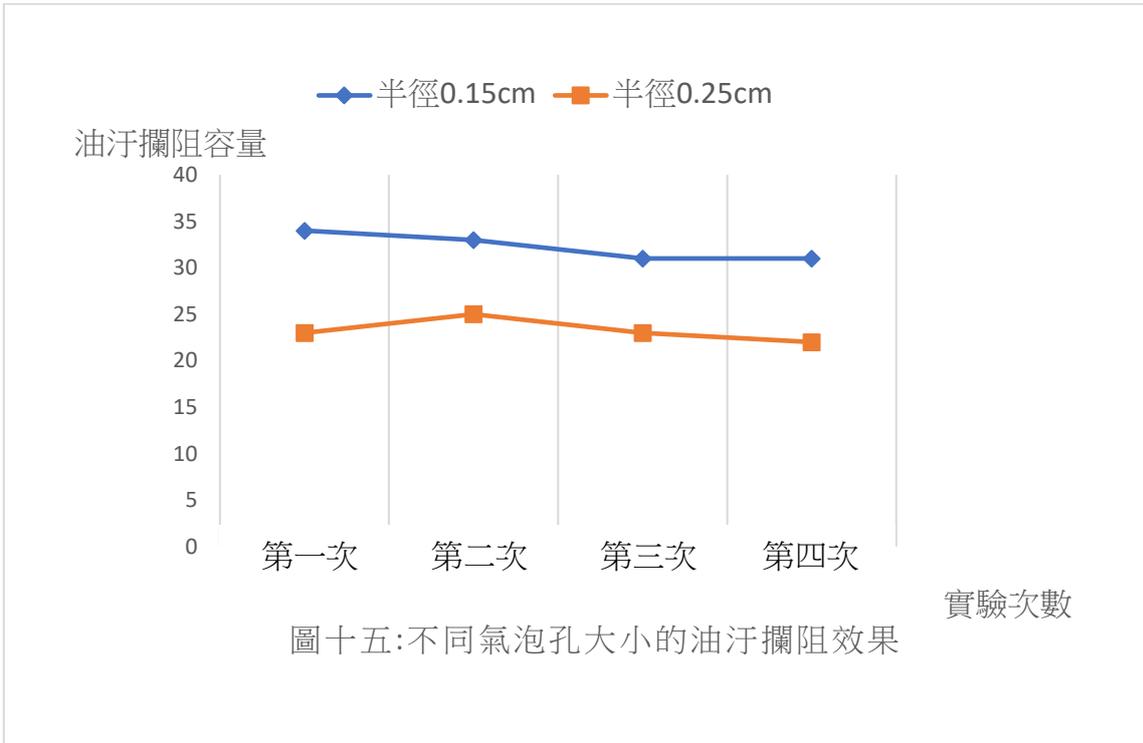
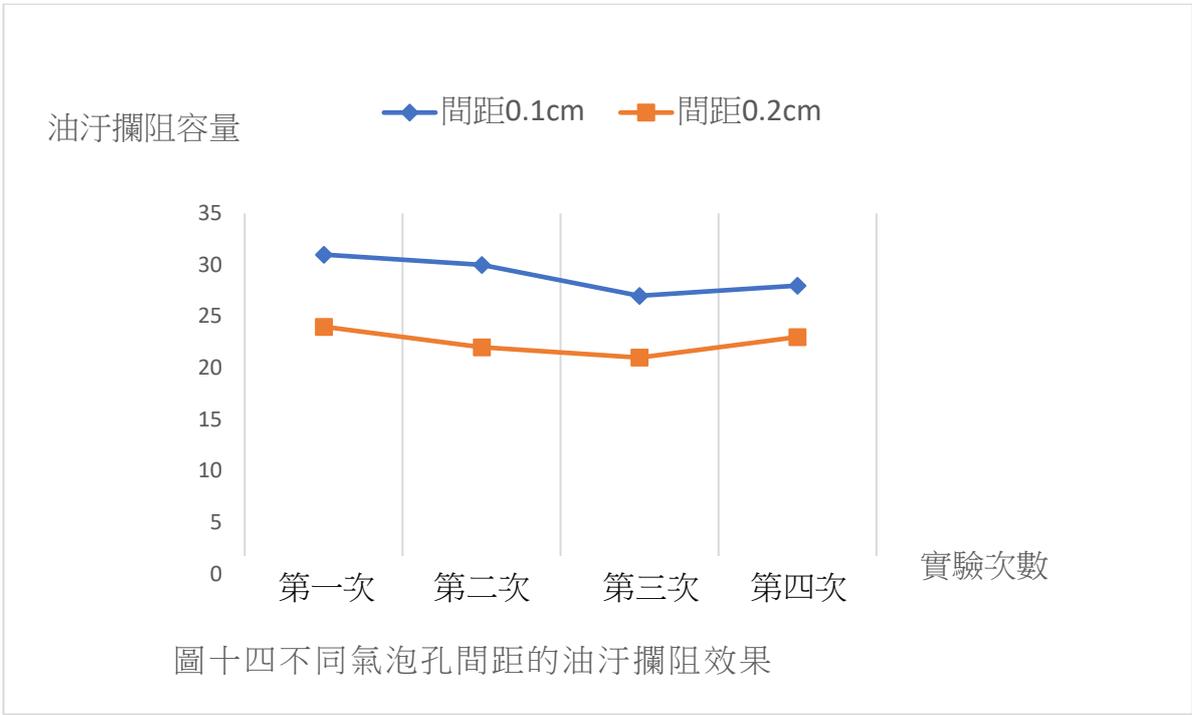
表二: 不同氣泡牆對油汙攔阻效果

單位:毫升, %

實驗日期	實驗次數	氣泡牆的形狀 (氣泡孔間距同為 0.1cm , 氣泡半徑同為 0.15cm)		氣泡孔的間距 (氣泡牆形狀同為直線 , 氣泡半徑同為 0.15cm)		氣泡的半徑 (氣泡牆形狀同為直線 , 氣泡孔間距同為 0.1cm)	
		斜直線	凹向水源的弧線	0.1cm	0.2cm	0.15cm	0.25cm
2/8	10	33	37	31	24	34	23
2/14	10	31	35	30	22	33	25
2/16	10	33	35	27	21	31	23
2/23	10	34	36	28	23	31	22
總平均		32.8	35.3	29.0	22.5	32.3	23.3
攔阻效果		66%	71%	58%	45%	65%	47%
效果提升			5%	13%		18%	

資料來源:本研究整理





## 伍、討論與發想

從我們的實驗結果可以發現，「改變氣泡牆的形狀」、「改變氣泡孔的間距」與「改變氣泡的大小」，三個實驗中，攔阻效果最明顯的是「改變氣泡的大小」；接下來是「改變氣泡孔的間距」，而且以氣泡間距較小的氣泡牆效果較佳；最後才是「改變氣泡牆的形狀」，攔阻效果最佳的為凹向水源的弧線氣泡牆。也就是可以形成**越多又小又密集的氣泡，效果最好**。而若以污染源區分，則是**塑膠垃圾的攔阻效果較佳，油汙較差**。

而且我們還從實驗中觀察到，兩個現象，一個是：**小氣泡生成之後慢慢上升，會聚集在水面上，形成一個有厚度的氣泡牆**；但是**如果是大氣泡，當新的氣泡上升之後，原本已經浮上來的氣泡會有被推走的現象**，比較不會像小氣泡一樣，聚集成一個有厚度的氣泡牆。當然這也就影響了攔阻效果。另一個則是油汙實驗時，**有時候油汙聚集之後，會從氣泡與氣泡的縫隙中竄出**，塑膠垃圾則沒有這種情況，我們覺得原因應該是**油汙的形狀會受到水流力量的推擠改變**，所以就有機會從氣泡與氣泡的縫隙中脫逃，而且**氣泡越大，油汙竄出的機會越大，可能是因為氣泡越大，氣泡與氣泡之間的緊密度就變得較低**。而塑膠垃圾因為較為堅硬，形狀不會改變，所以無法從氣泡與氣泡的縫隙中竄出。因此在油汙實驗中，越多又小又密集的氣泡，攔阻效果最好。

此外，我們在進行實驗時，除了將「氣泡牆(包含形狀、間距以及大小)」當作操作變因之外，**也想過是否以「河川(包含水位高低與水流強度)」當作操作變因**。但是我們經過分析之後覺得，當實際將氣泡牆運用在解決環境汙染問題時，**每條河川水位的高低或是水流強度都屬於無法預測與控制的大自然因素**，因為每條河川深度與水流強度不同，再加上季節因素，就算是同一條河川，也可能因為河川乾濕季的情況，而造成水位高低以及水流強度不同，因此就算經過我們事先的模擬實驗，獲得一個最佳的水位深度或是水流強度，那可能只是一個理想值，因為在實際運用上，很難將水位深度與水流強度控制在實驗獲得的最佳值。

因此我們得到的結論是，未來在實際運用時，依照當時河川的水流強度與水位高低，建置能成功運作的氣泡牆。而從我們的研究結果可知，**所謂能成功運作的氣泡牆是利用又小又密集的氣泡，聚集成一個厚度的氣泡牆**。因此，在**考量成本與阻攔效益達到平衡**的情況下，盡可能建置能產生又小又密集氣泡，且具有**足夠厚度的凹向水源的弧線氣泡牆**，將是最佳方法。

依此，我們再進一步思考，**如何有效率的建造一個具有「厚度」的氣泡牆，以及弧線的「度數」造成甚麼差異性**，所以我們接著利用多道氣泡牆，以及改變弧度度數的方式進

行實驗。

## 一、不同弧度氣泡牆

我們利用三種不同弧度進行模擬：

### (一) 弧度為 $45^{\circ}$ 的弧線：

因為我們的水道寬度為 10cm，所以我們將水道右方距離水源 30cm 處當作氣泡牆的起點，水道左方距離水源 40cm 處當作氣泡牆終點，**先訂定氣泡牆的起點與終點**，製作出一個兩股為 10cm 的**等腰直角三角形**(如圖十六左邊圖形中的三角形)，然後再從斜邊中點，往外拉兩公分，製造出弧度約為  $45^{\circ}$  的弧形氣泡牆。因為我們建造的是弧形氣泡牆，很難確切測量出弧線的角度，所以我們利用此方式，將誤差降至最低。

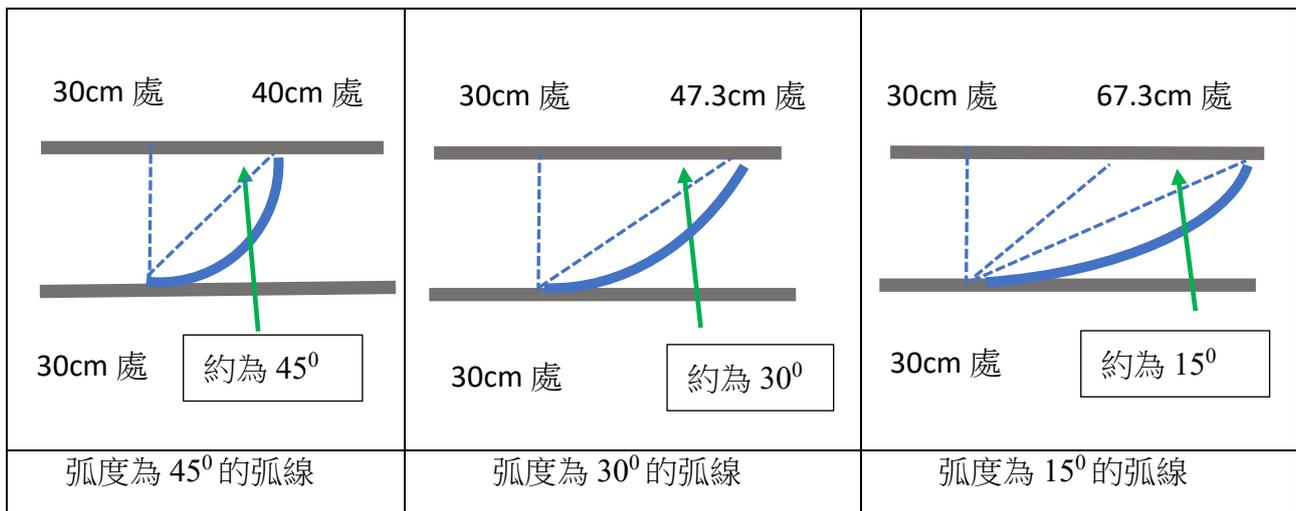
### (二) 弧度為 $30^{\circ}$ 的弧線：

圖十六中間圖形中的三角形為一個兩股分別為 10cm 與 17.3cm，斜邊為 20cm 的直角三角形(邊長比  $1:\sqrt{3}:2$ )，也就是度數為  **$30^{\circ}-60^{\circ}-90^{\circ}$  的直角三角形**。我們的建造方式是**先訂定出斜邊 20cm**，然後從水道右方距離水源 30cm 當作氣泡牆的起點，**拉出斜邊 20cm 的直接三角形**，即可找出氣泡牆的終點，也就是**約為**水道左方距離水源 47.3cm 處。我們先訂定斜邊 20cm，再找出終點 47.3cm 處，是**因為  $\sqrt{3} \approx 1.73$ ，並不是一個精確的數字**，所以如果直接利用 47.3 當作終點，**會讓誤差加大**。而**斜邊 20cm 是一個精確的數字**，所以我們利用此方法找出氣泡牆終點，**可以讓誤差更小**。然後同樣從斜邊中點，往外拉兩公分，製造出弧度約為  $30^{\circ}$  的弧形氣泡牆。

### (三) 弧度為 $15^{\circ}$ 的弧線：

圖十六右邊圖形中的三角形是一個  **$15^{\circ}-75^{\circ}-90^{\circ}$ (兩股比為  $1:2 + \sqrt{3}$ )**的直角三角形。我們的建造方式是**延續剛才度數為  $30^{\circ}-60^{\circ}-90^{\circ}$  的直角三角形**，在水道左方距離水源 47.3cm 處，再加上 20cm，即可找出氣泡牆的終點，也就是約為水道左方距離水源 67.3cm 處，降低誤差。然後同樣從斜邊中點，往外拉兩公分，製造出弧度約為  $15^{\circ}$  的弧形氣泡牆。

所有弧線都是在**先建造出直角三角形之後，再從斜邊中點，往外拉兩公分**，這是因為弧形氣泡牆，很難確切測量出弧線的角度，一定會產生誤差，**為了讓所有弧線的誤差一致**，所以我們一律從斜邊中點往外拉兩公分，這樣就算有誤差，那三個模式的誤差也會一致。



圖十六:不同弧度氣泡牆模擬情形

依此，我們繼續進行  $3 \times 2 = 6$  組實驗，我們分別於 5/9、5/11、5/16 與 5/18 進行實驗，每組實驗進行 10 次，**因為數據比較多，所以數據以平均值呈現**，將資料整理如表三與表四。

表三:不同弧度氣泡牆對塑膠垃圾攔阻效果

單位:片，%

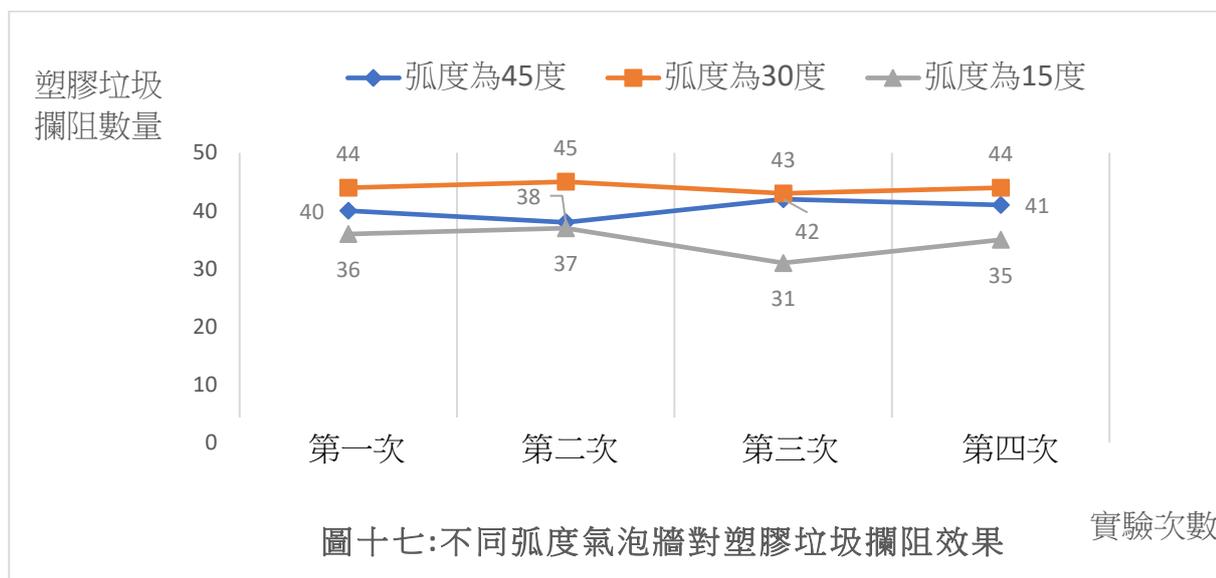
實驗日期	實驗次數	弧度為 $45^\circ$	弧度為 $30^\circ$	弧度為 $15^\circ$
5/4	10	40	44	36
5/5	10	38	45	37
5/9	10	42	43	31
5/10	10	41	44	35
總平均		40.3	44	34.8
攔阻效果		81%	88%	70%
與直線氣泡牆比較， 效果提升的幅度		9%	16%	-2%

註:上述實驗之氣泡孔間距同為 0.1cm，氣泡半徑同為 0.15cm。

資料來源:本研究整理

從表三可以發現，弧度為  $30^\circ$  的氣泡牆平均比弧度為  $45^\circ$  的氣泡牆多攔阻 3.7 片塑膠垃圾，更比弧度為  $15^\circ$  的氣泡牆多攔阻 9.2 片塑膠垃圾，**也就是弧度為  $30^\circ$  的氣泡牆效果最佳**

(如圖十七所示)，攔阻效果達到 88%。我們發現，弧度為  $15^{\circ}$  的氣泡牆攔阻效果是 70%，而之前我們運用直線氣泡牆的攔阻效果是 72%，也就是一旦凹向水源的弧線氣泡牆弧度太平了，效果就如同直線氣泡牆一樣，會大大降低攔阻效果，但是若是將弧度控制在  $30^{\circ}$  左右，便能夠發揮弧線氣泡牆的功能。



表四:不同弧度氣泡牆對油汙圾攔阻效果

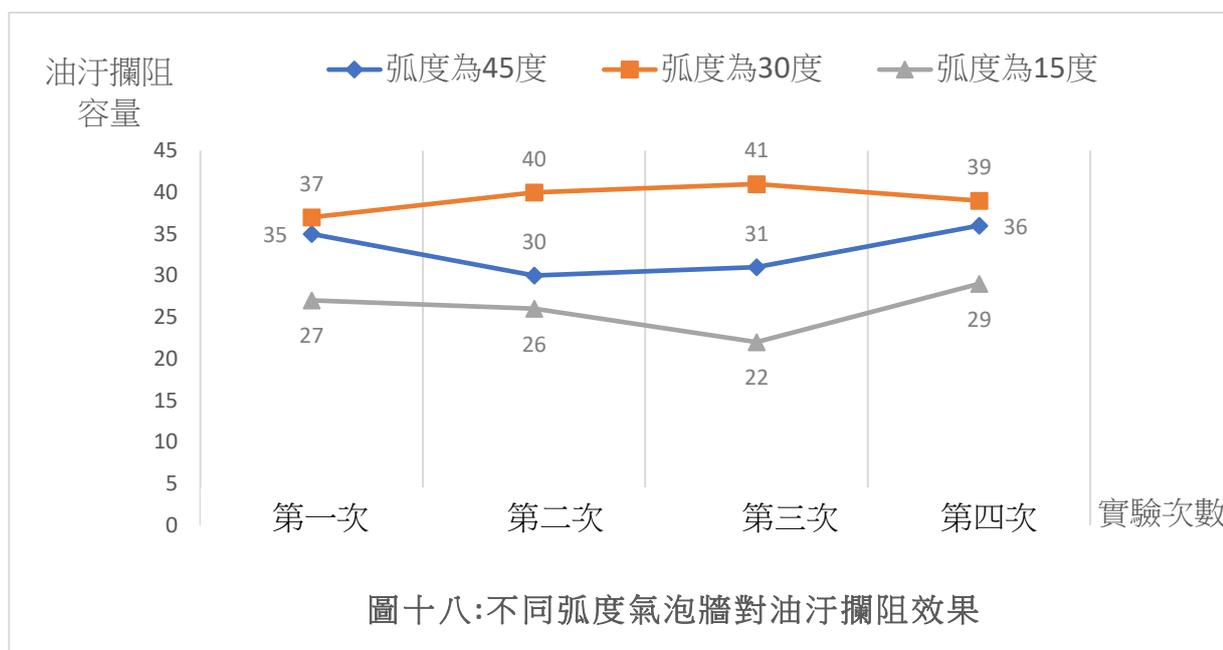
單位:毫升，%

實驗日期	實驗次數	弧度為 $45^{\circ}$	弧度為 $30^{\circ}$	弧度為 $15^{\circ}$
5/4	10	35	37	27
5/5	10	30	40	26
5/9	10	31	41	22
5/10	10	36	39	29
總平均		33	39.3	26
攔阻效果		66%	79%	56%
與直線氣泡牆比較， 效果提升的幅度		0%	13%	-10%

註:上述實驗之氣泡孔間距同為 0.1cm，氣泡半徑同為 0.15cm。

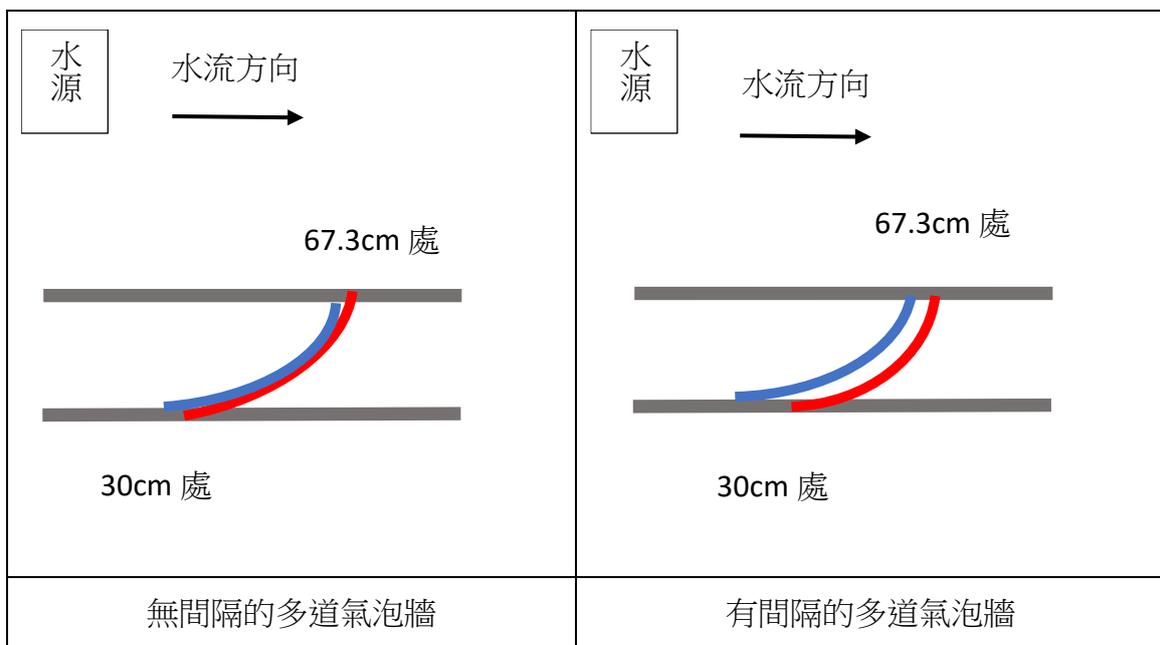
資料來源:本研究整理

由表四可以發現，弧度為  $30^{\circ}$  的氣泡牆平均比弧度為  $45^{\circ}$  的氣泡牆多攔阻 6.3 毫升油汙，更比弧度為  $15^{\circ}$  的氣泡牆多攔阻 13.3 毫升油汙，也是**弧度為  $30^{\circ}$  的氣泡牆效果最佳** (如圖十八所示)，**攔阻效果達到 79%**。我們也發現，弧度為  $45^{\circ}$  的氣泡牆攔阻效果是 66%，而之前我們運用直線氣泡牆的攔阻效果也是 66%；而弧度為  $15^{\circ}$  的氣泡牆攔阻效果只有 56%，甚至比之前我們運用直線氣泡牆的攔阻效果差。由此可知，除了與塑膠垃圾的實驗結果一樣，**凹向水源的弧線氣泡牆如果弧度太平，效果就會如同直線氣泡牆一樣**，我們更發現，如果**弧線的弧度過大，油汙的攔阻效果也不好**，因為油汙被聚集在一起之後，會如同之前實驗發現的，受到水流力量推擠改變之後，就從氣泡與氣泡的縫隙中脫逃。



## 二、多道氣泡牆

此外，我們思考如果在成本允許的情況下，同時利用兩條軟塑膠管(如圖十九)，是不是可以建造出「較厚」的氣泡牆，或是兩條軟塑膠管製造出的氣泡會互相推擠，反而將氣泡分散，無法聚集成一個牆面，造成反效果呢？於是我們進行以下的模擬實驗：



圖十九:多道氣泡牆模擬情形

### (一) 無間隔的多道氣泡牆

這種方式是將兩條軟塑膠管緊鄰著放在一起，我們認為這樣建造氣泡牆，應該可以更快速的建造出具有厚度的氣泡牆，更有效率的攔阻污染源。

### (二) 間隔為 3cm 的多道氣泡牆

這種方式是將兩條軟塑膠管以間距 3 公分的方式放置，因為我們的塑膠垃圾長為 3 公分，我們想了解，在間距 3 公分的情況下，**是否會因此將污染源留在兩管之間，形成一道污染源牆**，進而擋住更多污染源。

### (三) 間隔為 6cm 的多道氣泡牆

最後一種方式則是間距 6 公分放置，也就是將兩條軟塑膠管間距再拉大，預期不會像第二種情況一樣，形成一道污染源牆，而是形成多道獨立的氣泡牆。

依此，我們繼續進行 3\*2=6 組實驗，我們分別於 5/9、5/11、5/16 與 5/18 進行實驗，每組實驗進行 5 次，**因為數據比較多，所以數據以平均值呈現**，將資料整理如表五與表六。

表五: 多道斜直線氣泡牆對塑膠垃圾攔阻效果

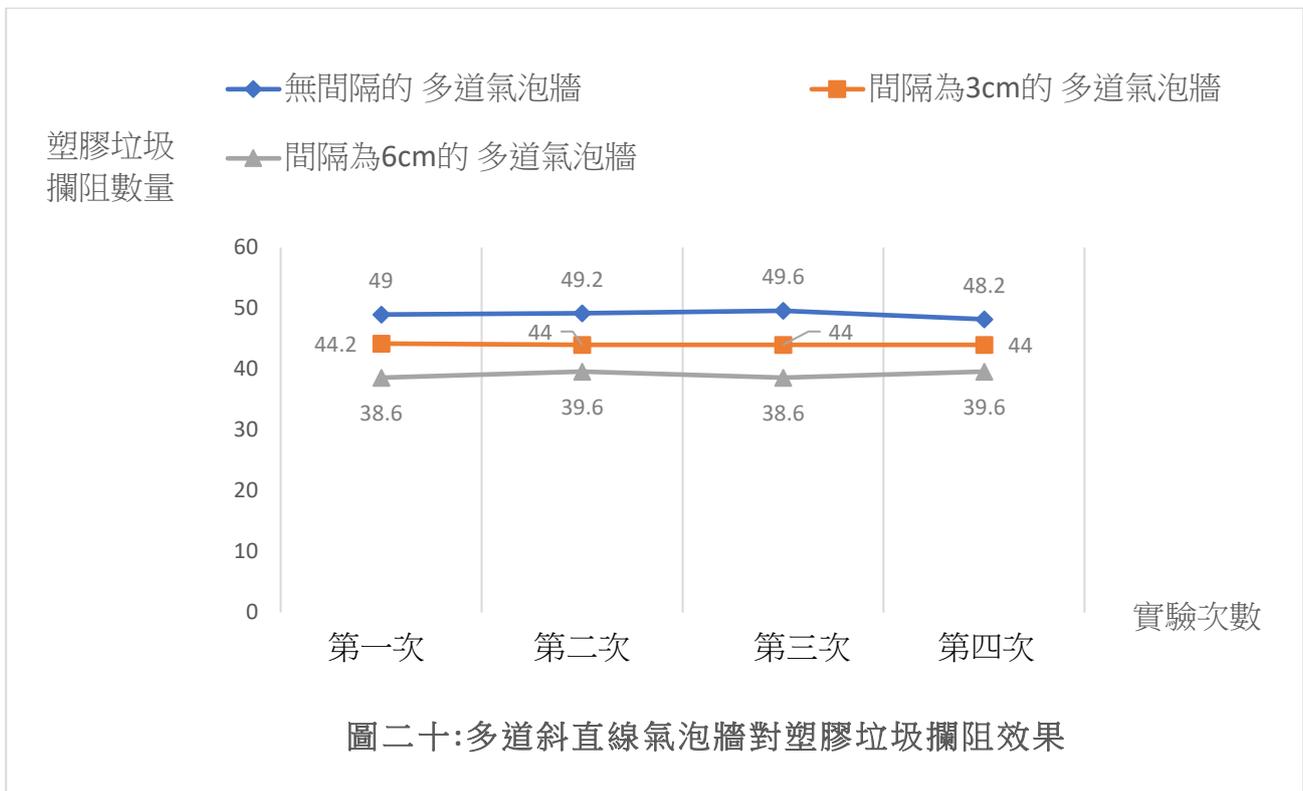
單位:片，%

實驗日期	實驗次數	無間隔的多道氣泡牆	間隔為 3cm 的多道氣泡牆	間隔為 6cm 的多道氣泡牆
5/16	5	49.0	44.2	38.6
5/18	5	49.2	44.0	39.6
5/19	5	49.6	44.0	38.6
5/23	5	48.2	44.0	39.6
總平均		49.0	44.1	39.1
攔阻效果		98.0%	88.1%	78.2%
與 <b>一道斜直線</b> 氣泡牆比較，效果提升的幅度		+26%	+16.1%	+6.2%

註:上述實驗之氣泡孔間距同為 0.1cm，氣泡半徑同為 0.15cm。

資料來源:本研究整理

從表五可以發現，無間隔的多道氣泡牆平均比間隔為 3cm 的多道氣泡牆多攔阻 4.9 片塑膠垃圾，比間隔為 6cm 的多道氣泡牆多攔阻 9.9 片塑膠垃圾，而且**無間隔的多道氣泡牆攔阻效果，除了比有間隔的多道氣泡牆佳**之外(如圖二十所示)，我們也發現**無間隔的多道氣泡牆攔阻效果已經來到 98%**，若是與表一「僅有一道的直線氣泡牆攔阻效果」進行比較，除了可以提升 26%的攔阻效果之外，最重要的是，我們發現此種氣泡牆幾乎可以完全攔阻所有汙染源。



表六: 多道斜直線氣泡牆對油汙攔阻效果

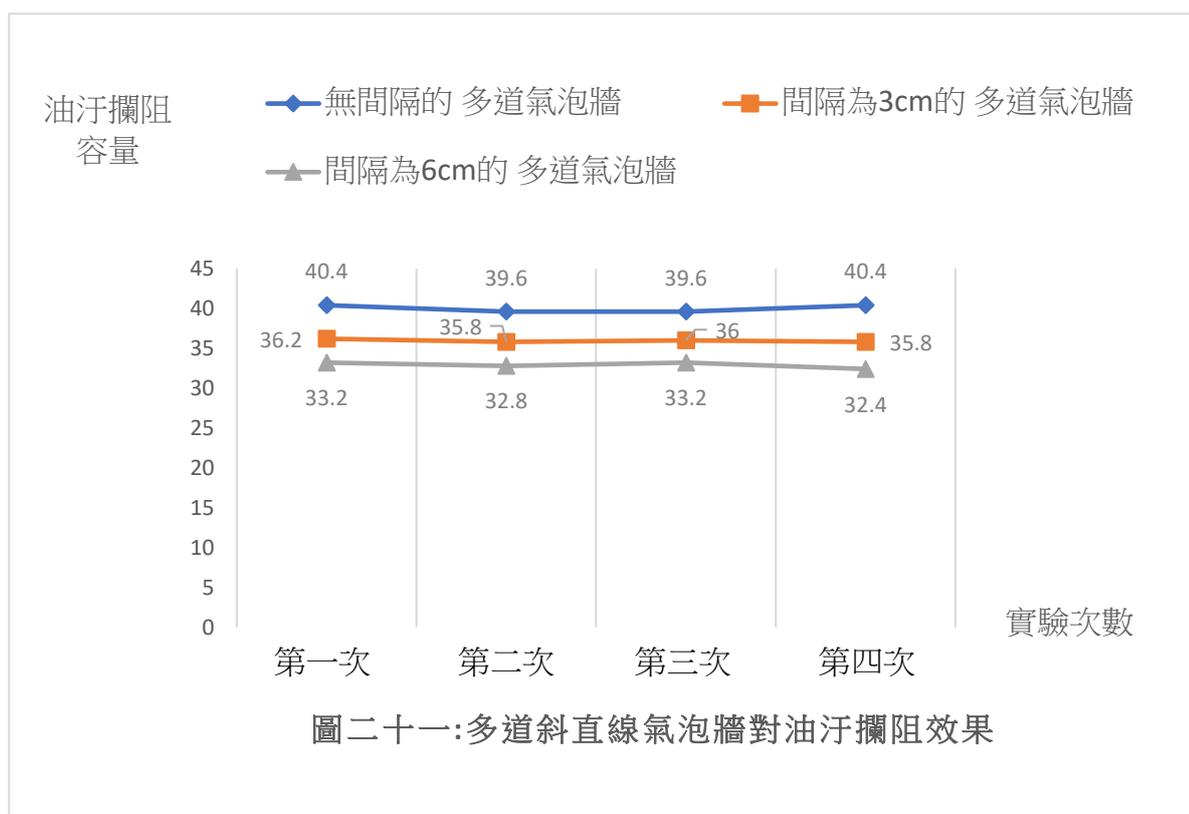
單位:毫升, %

實驗日期	實驗次數	無間隔的多道氣泡牆	間隔為 3cm 的多道氣泡牆	間隔為 6cm 的多道氣泡牆
5/16	5	40.4	36.2	33.2
5/18	5	39.6	35.8	32.8
5/19	5	39.6	36.0	33.2
5/23	5	40.4	35.8	32.4
總平均		40.0	35.9	32.9
攔阻效果		80%	71.9%	65.8%
與一道斜直線氣泡牆比較, 效果提升的幅度		+14%	+15.9%	-0.2%

註:上述實驗之氣泡孔間距同為 0.1cm, 氣泡半徑同為 0.15cm。

資料來源:本研究整理

從表六可以發現，無間隔的多道氣泡牆平均比間隔為 3cm 的多道氣泡牆多攔阻 4.1 片塑膠垃圾，比間隔為 6cm 的多道氣泡牆多攔阻 7.1 片塑膠垃圾，而且無間隔的多道氣泡牆攔阻效果，除了比有間隔的多道氣泡牆佳之外(如圖二十一所示)，我們也發現無間隔的多道氣泡牆攔阻效果為 80%，若是與表一「僅有一道的直線氣泡牆攔阻效果」進行比較，除了可以提升 14% 的攔阻效果之外。雖然油污的攔阻效果沒有塑膠垃圾高，但是也高達 80%。



依此可知，緊鄰著放在一起的軟塑膠管製造出的氣泡會緊緊地聚集在一起，形成一到厚厚的氣泡牆，也就是達到我們預期中的效果。而當我們將模擬汙染源放入於模擬河川中，這道厚厚的氣泡牆幾乎成功地阻絕了所有的汙染源。至於具有間距的軟塑膠管製造出的氣泡不會聚集在一起，而是形成兩道獨立的氣泡牆，也就是無法成為一道厚厚的氣泡牆。其中間隔為 3cm 的氣泡牆，因為間距與我們模擬的汙染源差不多，所以實驗結果正如我們當初想像的，汙染源被卡在兩道氣泡牆之間，形成一道汙染源牆，進而擋住了汙染源，但是仍然有少數的汙染源無法成功攔阻，還是順利通過，而其攔阻效果雖然比單一氣泡牆

高，但是差異不大。若是間隔為 6cm 的氣泡牆，則效果如同兩道獨立的氣泡牆，第一道氣泡牆成功的阻絕了部分的污染源，當污染源沒有被第一道氣泡牆攔阻之後，就會隨著水流繼續流動，緊接著再由第二道氣泡牆繼續攔阻，但是雖然經過兩次氣泡牆的攔阻，還是有污染源成功逃脫，而且其攔阻效果並未較單一氣泡牆高，因此不具其建造的價值。

綜合上述分析可以得知，凹向水源的 30° 弧線氣泡牆與緊鄰的兩道無間隔氣泡牆具有最佳的攔阻效果，因此我們就利用此模式進行最後的測試。由表七可以發現，塑膠垃圾攔阻效果已經高達 99.1%，油汙也高達 87.9%。

表七: 最佳模式-「緊鄰的兩道 30° 弧線氣泡牆」攔阻效果 單位: 片，毫升，%

實驗日期	實驗次數	塑膠垃圾	油汙
5/9	5	49.8	44
5/11	5	49.2	43.6
5/16	5	49.6	44.2
5/18	5	49.6	44
總平均		49.55	35.9
攔阻效果		99.1%	87.9%

註:上述實驗之氣泡孔間距同為 0.1cm，氣泡半徑同為 0.15cm。

資料來源:本研究整理

## 陸、結論與建議

綜合我們的研究結果，我們歸納出以下幾點結論，並提出相關建議。

### 一、凹向水源的 30° 弧線氣泡牆攔阻效果較斜直線佳

目前已經有利用斜直線氣泡牆阻攔垃圾的實際案例，從我們的研究結果發現，凹向水源的 30° 弧線氣泡牆效果較斜直線佳，平均可以提升 16%的攔阻效果。加上在考量製作的難易度，以及材料與人力時間成本後，並無太大的製作困難，也不會增加太多材料與製作時間，應該符合經濟效益，所以我們建議，未來可以嘗試以凹向水源的 30° 弧線氣泡牆來改善環境汙染問題。

## 二、 氣泡間距越小，氣泡較小的氣泡牆，攔阻效果越好

荷蘭的環境流體動力學研究員 Frans Buschman，曾經提出氣泡強度可能影響攔阻效果。經由我們的研究結果發現，當眾多密集的小氣泡形成一個有厚度的氣泡牆之後，攔阻效果比大氣泡來的好。因此在一樣的河川寬度上，製作出越多越密集的小氣泡，讓這些小氣泡緊密聚集在一起，就會變成一個具有阻攔強度的氣泡牆，便可以成功地攔阻污染源，或許**這個結果可以驗證荷蘭研究員 Frans Buschman 所提出的「氣泡強度可能影響攔阻效果」。**

而同樣地，要製作出氣泡間距較小，氣泡較小的氣泡牆，並不會增加製作難度，也不會增加太多成本，所以我們建議，未來在實際運用氣泡牆攔阻污染源時，**應該要評估氣泡間距與氣泡大小對攔阻效果的影響，在攔阻效果與成本增加中找出平衡點**，增加氣泡牆的攔阻效果。

## 三、 相較於形狀固定的塑膠垃圾，形狀會改變的油汙較難攔阻

從我們的研究結果可知，形狀會因為水流壓力而改變的污染源，攔阻效果較差，因此需要更具有強度的氣泡牆，所以製作上需要更多氣泡小間距小的氣泡牆，當然也會增加製作的人力與時間成本。

## 四、 具厚度的氣泡牆，攔阻效果更勝多道獨立的氣泡牆

從我們的研究結果可知，「緊鄰」的無間隔多道氣泡牆，因為利用緊鄰著建造的方法，可以讓氣泡緊緊地聚集在一起，形成厚厚的氣泡牆，達到最有效的攔阻效果。因此未來在實際運用氣泡牆攔阻污染源時，若是成本允許，而可以建置多道氣泡牆時，**應該選擇建造多道「緊鄰」的氣泡牆，而不是具有間距的多道氣泡牆。**因為「**緊鄰**」的氣泡牆才能形成具有厚度的氣泡牆，達到團結力量大(1+1>2)的效果，若是多道具有間隔的氣泡牆，那就如同每道獨立的氣泡牆，將大大降低攔阻效果。

## 五、 「緊鄰的兩道 30° 弧線氣泡牆」具有高達 99.1% 的攔阻效果

我們藉由「假設實驗模型→進行實驗→討論與發想→再次修正實驗模型→再次執行實驗→獲得最佳攔阻效果」，已經可以知道「**緊鄰的兩道 30° 弧線氣泡牆**」具有**最佳的攔阻效果**，而且在**塑膠垃圾攔阻效果已經高達 99.1%**，油汙也高達 87.9%。而**這個最佳模式的製作並無太大的困難，也不會增加太多材料與製作時間，符合經濟效益**，所以我們建議未來在實際運用氣泡牆攔阻污染源時，可採用此模式解決環境污染問題。

## 柒、參考文獻資料

1. 姜唯、陳文姿編譯(2022年8月18日),「減少海洋塑膠污染有新招,荷蘭在河道口設泡泡防線」,環境資訊中心。<https://e-info.org.tw/node/234789>。
2. 姜唯、陳文姿編譯(2022年8月24日),「防塑膠入海,用『真的氣泡』阻擋!有圖,荷蘭在出海口築起泡泡牆」,環境資訊中心。<https://www.businessweekly.com.tw/carbon-reduction/blog/3010495>。
3. 衛報(2022年8月5日), 'Incredibly promising': the bubble barrier extracting plastic from a Dutch river。  
<https://www.theguardian.com/environment/2022/aug/05/incredibly-promising-bubble-barrier-extracts-plastic-from-netherlands-river>。
4. The Great Bubble Barrier (2022年7月4日), First community-led Bubble Barrier stops plastic pollution from entering the North Sea,  
<https://thegreatbubblebarrier.com/first-community-led-bubble-barrier-stops-plastic-pollution-from-entering-the-north-sea>。
5. The Great Bubble Barrier, How does the Bubble Barrier work?,  
<https://thegreatbubblebarrier.com/technology/>。
6. The Great Bubble Barrier, <https://www.unescogreencitizens.org/projects/the-great-bubble-barrier/>。

## 【評語】 032802

此作品根據現今環境汙染問題日趨嚴重，以及看見荷蘭已經有完成氣泡牆的建置，探討何種氣泡牆設置在河川出海口，能最有效率的阻擋垃圾或油汙，以減少河川汙染物對生態系的危害。基於環保意識出發的作品，值得肯定。

- (1) 作品透過目錄呈現整體架構。
- (2) 進行多種實驗面向，例如不同口徑的氣泡管或是不同弧度的氣泡牆。
- (3) 模擬時使用的環境規模較小，未來可以思考如河口生態系大小尺度的環境對於不同尺度的垃圾、河水流速、氣泡產生器的 pitch 設計及氣泡孔大小會有哪些不同影響。

## 作品海報

神奇魔法牆-

尋找最佳氣泡牆模型

近年河川或海上塑膠垃圾與油汙對環境造成傷害，解決環境污染的議題備受重視。近期荷蘭的海洋愛好者用-大氣泡屏障，成功將塑膠垃圾阻攔，因此我們興起了「尋找最佳氣泡牆模型」的想法。本研究目的為：分析「氣泡牆形狀、氣泡間隔以及氣泡大小」是否影響攔阻效果，藉此找出一個效果最佳的模式。實證結果發現：1.凹向水源30°弧線氣泡牆攔阻效果最佳；2.氣泡越小間距越小，攔阻效果越好，此與荷蘭研究員論點相呼應；3.相較於形狀固定的塑膠垃圾，形狀會變的油汙較難攔阻；4.具厚度氣泡牆，攔阻效果更勝多道獨立的氣泡牆；5.「緊鄰的兩道凹向水源30°弧線氣泡牆」攔阻效果是目前我們所做的模型中效果最好的。因此我們建議，未來在實際運用氣泡牆攔阻汙染源時，可採用此模式解決環境污染問題。

## 研究動機

無法有效回收塑膠垃圾，已對環境造成極大傷害，海洋中大部分塑膠垃圾來自於河川，在那裡它會傷害野生動物、損壞船隻並導致氣候變化；而塑膠垃圾一旦進入海洋，就幾乎不可能捕獲和清除。此外，船隻漏出油汙也是一個常見又棘手的問題，因為河川與海洋常有大量船隻往來，油汙漏出非常常見，加上油汙容易隨著水流移動，非常難處理，成為嚴重的環境汙染源。近期荷蘭發現了全新的解決方法-大氣泡屏障(The Great Bubble Barrier)。2018年荷蘭一個濱海小城的人民發現，利用氣泡牆可以有效地防止塑膠垃圾和油汙，2022年7月他們成功地利用氣泡與水流攔截河道中的垃圾。荷蘭的環境流體動力學研究員，也曾利用橘子進行模擬實驗，結果發現，氣泡牆兩邊的防阻效果差異很大，他們覺得可能是跟氣泡強度有關。因此讓我們興起了「瞭解不同氣泡牆對解決環境污染之影響」，希望藉由我們的研究結論，可以提出建議給相關單位參考，為解決環境污染盡一份心力。

## 研究目的

根據以上的研究動機，本研究想探討「氣泡牆的形狀、氣泡的間隔，以及氣泡大小」是否會影響環境汙染源的攔阻效果，藉由我們的研究結果找出一個效果最佳的模式，希望未來可以實際運用在攔阻塑膠垃圾和去除油汙。

空氣通過放置在河床上的穿孔管(Perforated tubes)，氣泡冒出便會形成氣泡牆。設備如下：

## 一、製作氣泡牆

製作氣泡牆的研究設備與器材包含三個(如右圖所示)：

- ◆木頭:首先利用木頭製作出水道，模擬河川的情境。
- ◆軟塑膠管:我們以軟塑膠管代替穿孔管(Perforated tubes)，利用軟塑膠管製作出不同形狀的氣泡牆；並利用針鑽出氣泡孔，製作出不同間距與不同大小的氣泡。
- ◆幫浦:利用空氣幫浦打氣，製造出氣泡。



木頭

軟塑膠管

幫浦

## 二、汙染源模擬

本研究模擬的環境汙染源主要包含兩個(如右圖所示)：

- 塑膠垃圾:我們以寶特瓶碎片代替塑膠垃圾。因為我們利用攔阻多少片塑膠垃圾來衡量攔阻效果，所以每一片塑膠碎片大小需要一樣，我們將寶特瓶裁剪成寬度1.5cm長度2cm的塑膠碎片，每個實驗放入50片。
- 油汙:我們用沙拉油代替河川油汙，並利用攔阻住多少毫升的油汙來衡量攔阻效果，所以每一次模擬的油汙必須一樣多，我們每個實驗滴入50毫升沙拉油。

塑膠垃圾  
(寶特瓶碎片)油汙  
(沙拉油)

## 三、攔阻效果衡量

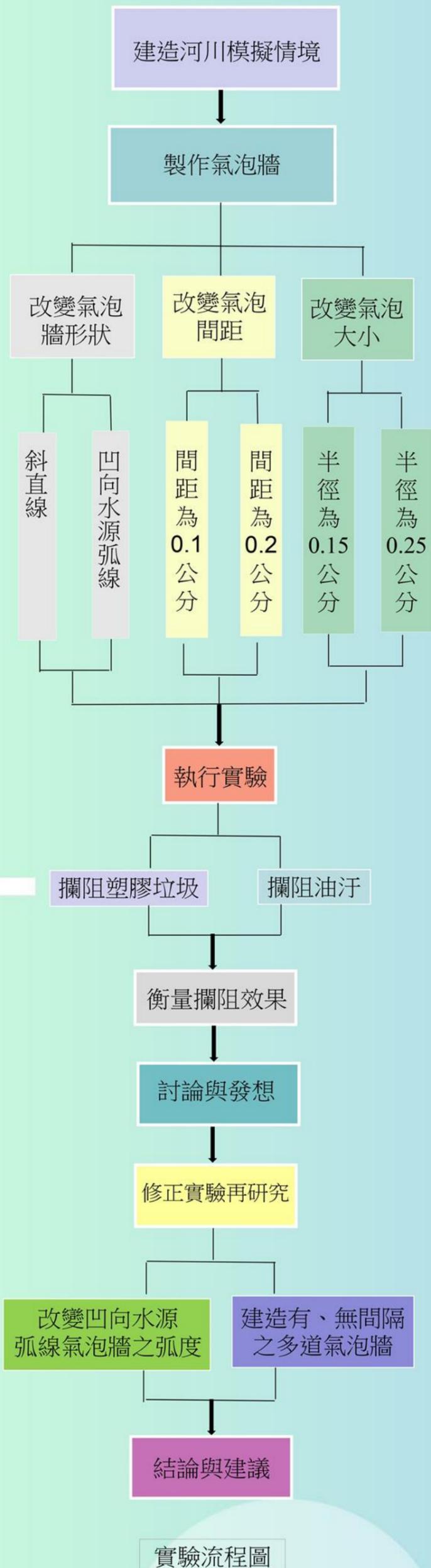
油汙模擬是利用滴管滴入沙拉油，再將被攔阻的沙拉油撈起，利用油水分離特性，用量筒計算沙拉油容量，因此所需器材如右圖所示。



滴管

量筒

本研究實驗流程為:建造河川模擬情境→製作氣泡牆→執行實驗→衡量攔阻效果→討論與發想→再次修正實驗並進行研究→結論與建議



### 一、建造河川模擬情境

首先利用木頭建造寬10cm，長100cm的水道，並在水道起點放置水管當作水源。水道右方距水源30cm處放置軟塑膠管與幫浦，當作氣泡牆起點，水道左方距水源40cm處當作氣泡牆終點，製作出氣泡二牆

#### (一)實驗一:改變氣泡牆的形狀

我們用軟塑膠管製造出不同形狀氣泡牆，文獻上荷蘭的海洋愛好者是設計出斜直線氣泡牆。我們在研究初期，先預想出三種不同形狀的氣泡牆(凸向水源的弧線、斜直線以及凹向水源的弧線)，在試著進行數次實驗之後發現，凸向水源的弧線氣泡牆效果比目前已經被運用的斜直線氣泡牆更差，最後我們決定以斜直線與凹向水源的弧線氣泡牆(如下圖所示)繼續進行實驗。



斜直線氣泡牆



凹向水源的弧線氣泡牆

#### (二)實驗二:改變氣泡孔的間距

在考慮污染源大小、河道寬度以及氣泡牆長度後，利用針鑽出氣泡孔，氣泡孔間距分成0.1cm與0.2cm兩種情況，如下圖所示。



氣泡間距為0.1cm



氣泡間距為0.2cm

#### (三)實驗三:改變氣泡的大小

在考慮污染源大小以及軟塑膠管寬度後，利用兩種不同粗細的針，鑽出氣泡半徑分別為0.15cm與0.25cm的氣泡牆(如下圖所示)。



氣泡半徑為0.15cm

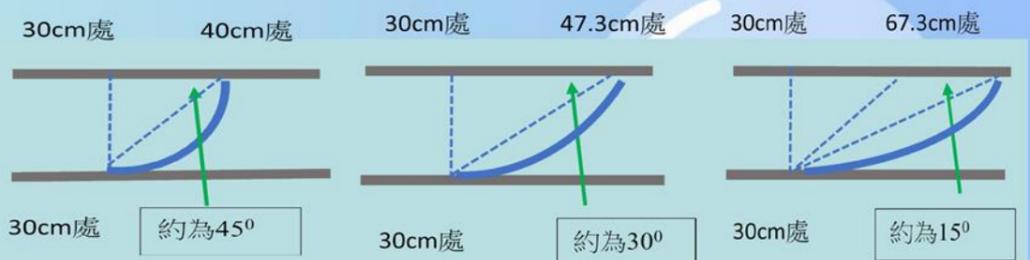


氣泡半徑為0.25cm

### 三、修正實驗再研究

#### (一)不同弧度氣泡牆

我們利用三種不同弧度進行模擬，如下圖所示。



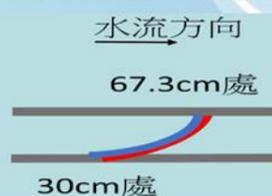
弧度為45°的弧線

弧度為30°的弧線

弧度為15°的弧線

#### (二)多道氣泡牆

接著我們思考，如果在成本允許的情況下，同時利用兩條軟塑膠管(如下圖)，是不是可以建造出「較厚」的氣泡牆，或是兩條軟塑膠管製造出的氣泡會互相推擠，反而將氣泡分散，無法聚集成一個牆面，造成反效果呢?於是我們進行以下的模擬實驗:

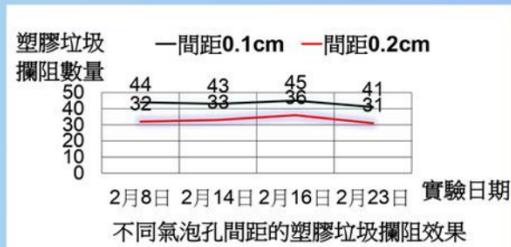
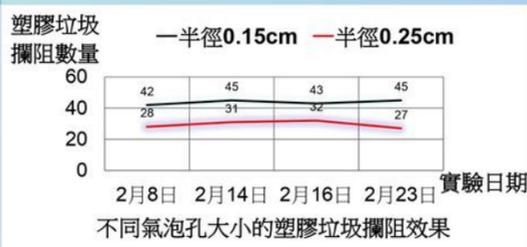


無間隔的多道氣泡牆



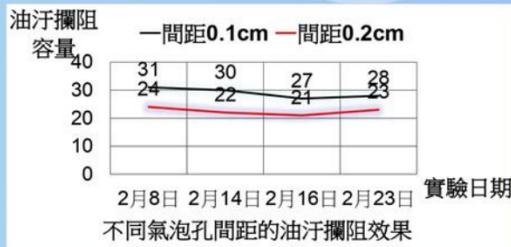
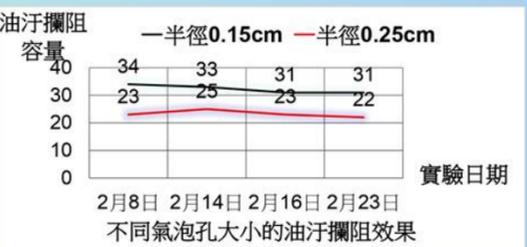
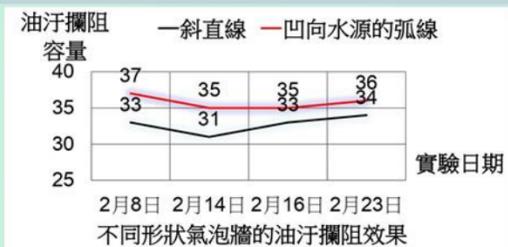
有間隔的多道氣泡牆

## 一、針對塑膠垃圾的實驗結果



由上圖可知，凹向水源弧線、間距較小與氣泡越小的氣泡牆，攔阻效果較佳。而且實驗數據也顯示，未來若是使用凹向水源弧線，可比目前運用的斜直線，提升**13%攔阻效果**；氣泡孔間距**0.1cm**的氣泡牆平均比間距**0.2cm**提升**21%攔阻效果**；氣泡半大小為徑**0.15cm**氣泡牆更是比半徑**0.25cm**提升高達**29%攔阻效果**。

## 二、針對油汙的實驗結果



由上圖可知，同樣以凹向水源弧線、間距較小與氣泡越小的氣泡牆，攔阻效果較佳。而且實驗數據亦顯示，凹向水源弧線氣泡牆平均比斜直線提升**5%攔阻效果**；氣泡孔間距為**0.1cm**氣泡牆平均比間距**0.2cm**提升**13%攔阻效果**；氣泡半徑**0.15cm**氣泡牆更是比半徑**0.25cm**平均提升高達**18%效果**。

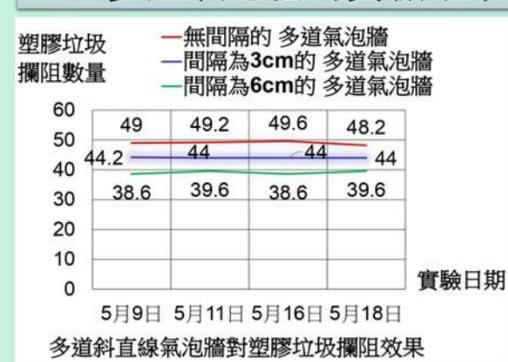
從實驗結果可知，攔阻效果最明顯的是「改變氣泡大小」，「改變氣泡間距」次之。攔阻效果較佳的為可以形成又小又密集的凹向水源弧線氣泡牆。以汙染源區分，塑膠垃圾攔阻效果較佳。此外，我們從實驗中觀察到兩個現象，一為小氣泡生成上升之後，會聚集在水面形成一個有厚度的氣泡牆；但是如果是大氣泡，當新的氣泡上升之後，原本已經浮上來的氣泡有被推走的現象，比較不會聚集成有厚度的氣泡牆，因此影響攔阻效果。另一則是油汙實驗時，油汙會從氣泡與氣泡的縫隙中竄出，塑膠垃圾不會。我們認為是油汙形狀受到水流力量推擠改變，所以從縫隙脫逃；而氣泡越大，油汙竄出機會越大，可能因為氣泡越大，氣泡間緊密度就變得較低。因此我們初步的實驗結果為，在考量成本與阻攔效益達到平衡情況下，依當時水流強度與水位高低，建置能成功運作的氣泡牆，所謂能成功運作的氣泡牆，是能產生又小又密集氣泡，且具有足夠厚度的凹向水源弧線氣泡牆。依此，我們再進一步思考，如何有效率的建造一個具有「厚度」的氣泡牆，以及弧線氣泡牆的「弧度」是否會造成甚麼差異，因此我們接著再再利用多道氣泡牆，以及改變弧度度數的方式進一步執行實驗。

## 一、不同弧度氣泡牆的實驗結果



由左圖可知，弧度**30°**的氣泡牆效果最佳。且實驗數據顯示，弧度為**30°**的氣泡牆平均比弧度為**45°**的氣泡牆多攔阻**3.7片**塑膠垃圾和**6.3毫升**油汙，更比弧度為**15°**的氣泡牆多攔阻**9.2片**塑膠垃圾和**13.3毫升**油汙，也就是弧度為**30°**的氣泡牆效果最佳，攔阻塑膠垃圾效果達到**88%**，攔阻油汙效果達到**79%**。

## 二、多道氣泡牆的實驗結果



由左圖可知，無間隔氣泡牆效果最佳。且實驗數據顯示，無間隔的多道氣泡牆平均比間隔為**3cm**的多道氣泡牆多攔阻**4.9片**塑膠垃圾和**4.1毫升**油汙；比間隔**6cm**的多道氣泡牆多攔阻**9.9片**塑膠垃圾和**7.1毫升**油汙，無間隔的多道氣泡牆攔阻塑膠垃圾效果已經達到**98%**，攔阻油汙效果也達到**80%**。

### 最佳模式：「緊鄰的兩道30°弧線氣泡牆」

綜合上述分析可以得知，凹向水源的**30°**弧線氣泡牆與緊鄰的兩道無間隔氣泡牆具有最佳的攔阻效果，因此我們就利用此模式進行最後的測試。由右表可以發現，塑膠垃圾攔阻效果已經高達**99.1%**，油汙也高達**87.9%**。

實驗日期	實驗次數	塑膠垃圾	油汙
5/9	5	49.8	44.0
5/11	5	49.2	43.6
5/16	5	49.6	44.2
5/18	5	49.6	44.0
總平均		49.55	35.9
攔阻效果		<b>99.1%</b>	87.9%

研究目的	結論	建議
1. 探討「氣泡牆形狀」對環境汙染源攔阻效果之影響	1. 凹向水源 <b>30°</b> 弧線氣泡牆攔阻效果較斜直線佳。	1. 未來可嘗試以緊鄰的兩道凹向水源 <b>30°</b> 弧線氣泡牆，改善環境汙染問題
2. 瞭解「氣泡孔間隔」是否影響環境汙染源攔阻效果	1. 氣泡間距越小，氣泡越小的氣泡牆，攔阻效果越好。 2. 形狀會改變的油汙，比形狀固定的塑膠垃圾難攔阻。	2. 此實驗結果與荷蘭研究員的論點相呼應。而這個最佳模式的製作並無太大困難，也未增加太多材料與製作時間，符合經濟效益。所以我們建議未來在實際運用氣泡牆攔阻汙染源時，可採用「緊鄰的兩道 <b>30°</b> 弧線氣泡牆」解決環境汙染問題。
3. 分析「氣泡大小」對環境汙染源攔阻效果之影響	3. 具厚度的氣泡牆，攔阻效果更勝多道獨立的氣泡牆。 4. 「緊鄰的兩道 <b>30°</b> 弧線氣泡牆」在本實驗具有高達 <b>99.1%</b> 的攔阻效果	

初步研究結果

討論與發想

研究結果暨最佳模式

結論與建議