

新竹市第四十一屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學(一)

組 別：國中甲組

作品名稱：瞭解不同氣泡牆對解決環境污染之影響

關 鍵 詞：大氣泡屏障(The Great Bubble Barrier)、氣泡牆、環境
污 染

編 號：

瞭解不同氣泡牆對解決環境污染之影響

摘要

近年來塑膠垃圾與油汙對環境造成極大傷害，環境汙染議題受到重視。近期荷蘭發現了解決方法-大氣泡屏障，成功將塑膠垃圾從水底帶至水面，過程不會阻礙動物或船隻。而荷蘭研究員發現，攔阻效果可能跟氣泡強度有關，因此我們興起了「瞭解不同氣泡牆對解決環境污染之影響」。本研究目的為:分析「氣泡牆的形狀、氣泡間隔，以及氣泡大小」是否影響防堵效果。研究結果發現:1.凹向水源的弧線氣泡牆攔阻效果較佳；2.氣泡較小間距越小，攔阻效果越好，這也驗證荷蘭研究員的論點；3.相較於形狀固定的塑膠垃圾，形狀會變的油汙較難攔阻。因此我們建議，從攔阻效果與製作難易度跟成本增加中找出平衡點，以氣泡越小越密集，凹向水源的弧線氣泡牆改善環境汙染。

目錄

摘要	I
目錄	II
圖目錄	IV
表目錄	V
壹、前言	1
一、研究動機	1
二、研究目的	2
貳、研究設備及器材	2
一、製作氣泡牆	2
二、汙染模擬源	3
三、防堵效果衡量	3
參、研究過程或方法	4
一、建造河川模擬情形	6
二、製作氣泡牆	6
三、衡量防堵效果	8
肆、研究結果	8
一、針對塑膠垃圾的實驗結果	9
二、針對油污的實驗結果	11

伍、討論	14
陸、結論	15
柒、參考文獻及資料	16

圖目錄

圖一:氣泡牆攔截垃圾圖示說明.....	1
圖二:製作氣泡牆所需的研究設備與器材.....	2
圖三:環境汙染源模擬.....	3
圖四:攔阻效果衡量所需器材.....	3
圖五:實驗流程.....	5
圖六:河川模擬情境.....	6
圖七:氣泡牆形狀.....	7
圖八:不同氣泡間距的氣泡牆.....	7
圖九:氣泡大小不同的氣泡牆.....	8
圖十:不同形狀氣泡牆的塑膠垃圾攔阻效.....	10
圖十一:不同氣泡孔間距的塑膠垃圾攔阻效果.....	10
圖十二:不同氣泡孔大小的塑膠垃圾攔阻效果.....	11
圖十三:不同形狀氣泡牆的油汙攔阻效果.....	12
圖十四:不同氣泡孔間距的油汙攔阻效果.....	13
圖十五:不同氣泡孔大小的油汙攔阻效果.....	13

表目錄

表一:不同氣泡牆對塑膠垃圾攔阻效果	9
表二:不同氣泡牆對油汙攔阻效果.....	12

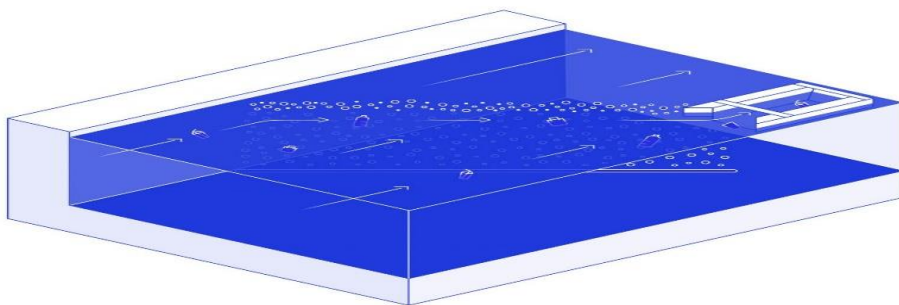
壹、前言

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，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，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。

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

氣泡牆背後的技術並不難，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。因此我們需要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。



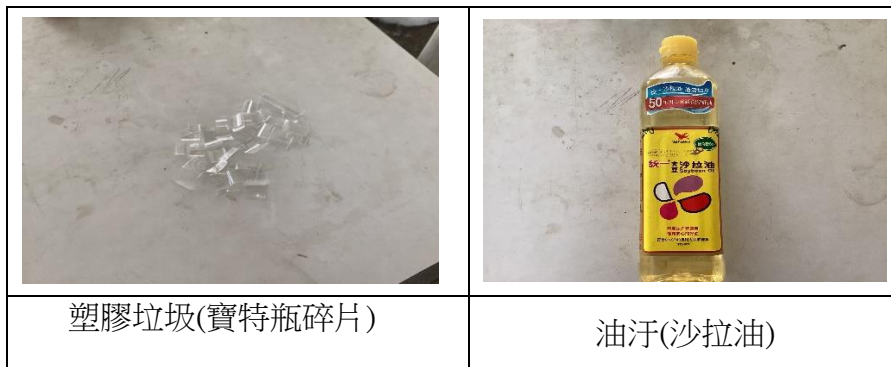
圖二:製作氣泡牆所需的研究設備與器材

二、污染源模擬

我們模擬的環境污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: 環境污染源模擬

三、防阻效果衡量

因為油汙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。

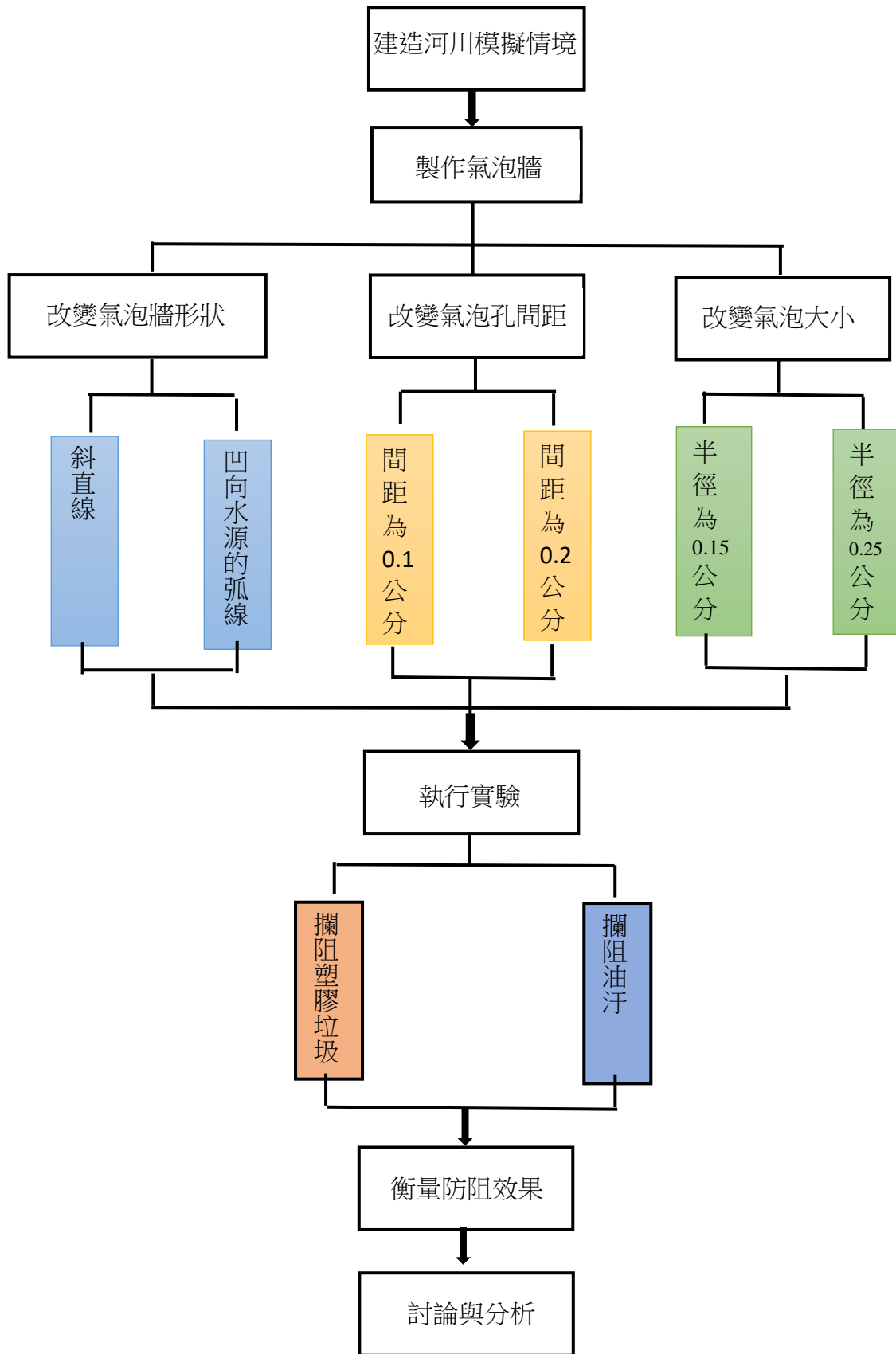


滴管	量筒
----	----

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。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，並在水道的左方放置水管，當作水源。並於木頭箱子 30cm 處放置軟塑膠管與幫浦，製作出氣泡牆(如圖六所示)。



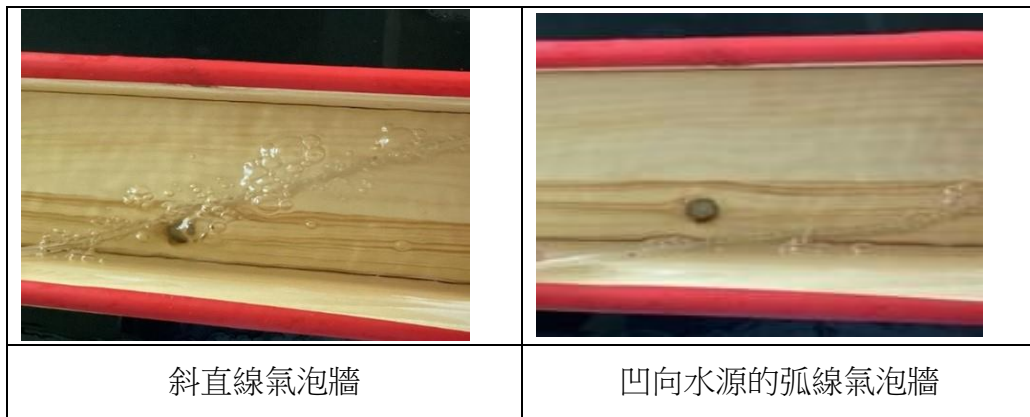
圖六:河川模擬情形

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」是否會影響環境污染的防堵效果，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

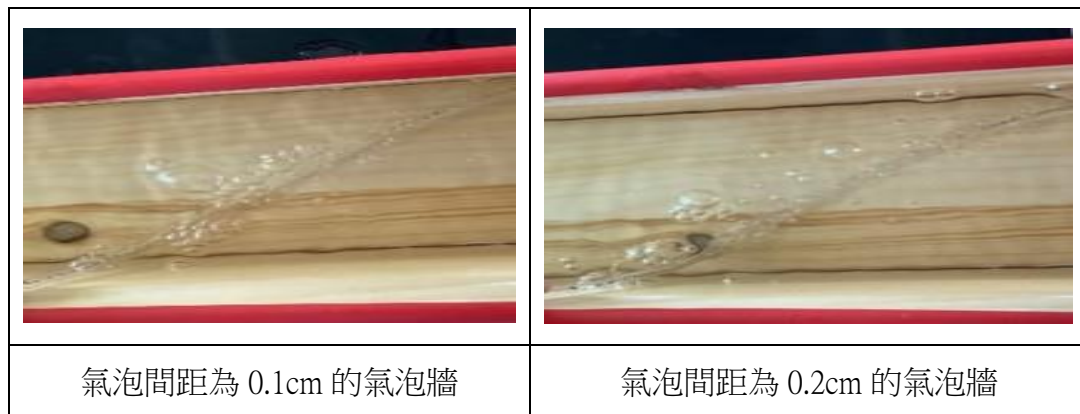
運用軟塑膠管製造出不同形狀的氣泡牆，看看哪個形狀的氣泡牆能夠框住最多塑膠垃圾。我們從文獻上得知，荷蘭的海洋愛好者，目前是設計出斜直線的氣泡牆。而我們在研究初期，則是先預想出三種不同形狀的氣泡牆(凸向水源的弧線、斜直線以及凹向水源的弧線)，我們在試著進行數次實驗之後發現，**凸向水源的弧線氣泡牆效果比目前就已經被運用的斜直線氣泡牆更還差，因此根本不具實驗價值**，最後我們決定以斜直線與凹向水源的弧線氣泡牆繼續進行實驗，所以接下來便以此兩種形狀進行多次的實驗研究，蒐集資料進行分析(如圖七所示)。



圖七:氣泡牆形狀

(二)實驗二:改變氣泡孔的間距

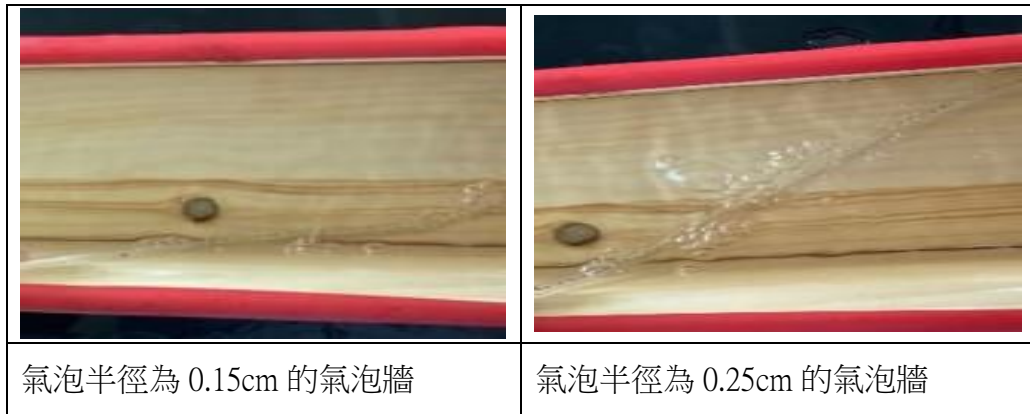
調整每個氣泡孔的間距，看看哪個間距的氣泡牆能框住最多的塑膠垃圾。我們在考慮污染源大小、河道寬度以及氣泡牆長度之後，利用針鑽出氣泡孔。其中共分成兩種情況，分別為每個氣泡孔間距 0.1cm 與 0.2cm，如圖八所示。



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阻住最多的塑膠垃圾。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

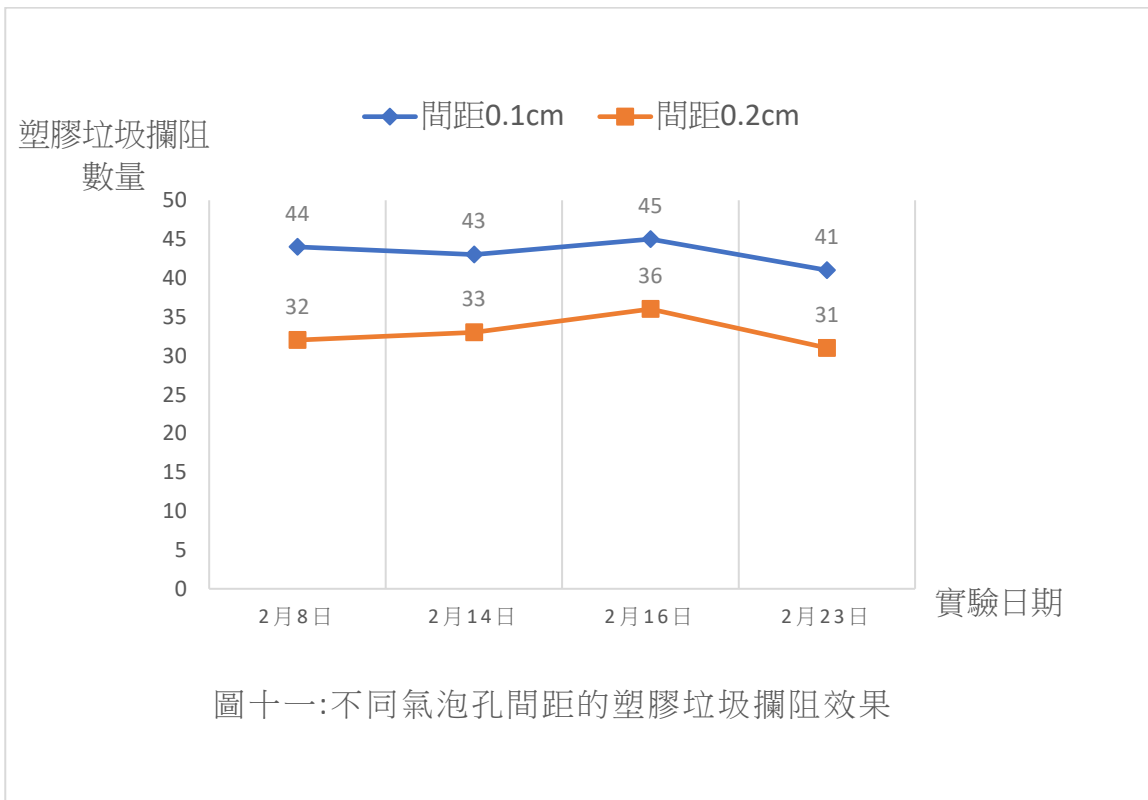
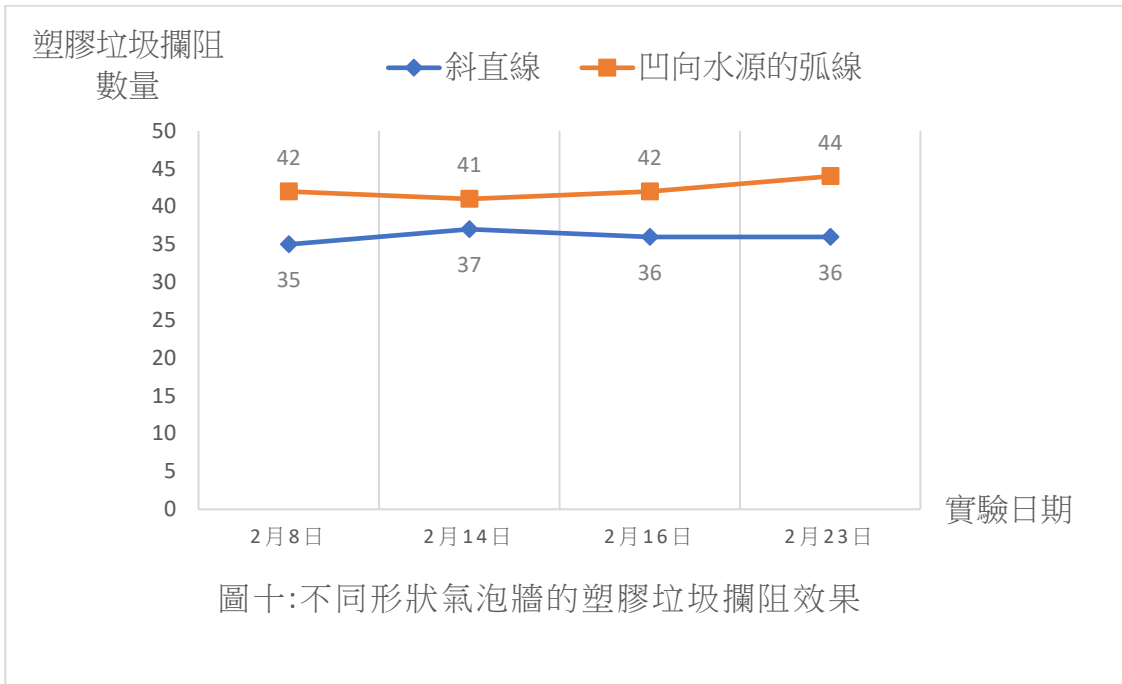
從表一可以發現，凹向水源的弧線氣泡牆平均比斜直線氣泡牆多攔阻 6.3 片塑膠垃圾，也就是凹向水源的弧線氣泡牆攔阻效果比斜直線氣泡牆佳(如圖十所示)，因此**未來若是使用凹向水源的弧線氣泡牆，則可以比目前被運用的斜直線氣泡牆，提升 13%的攔阻效果**。此外，氣泡孔的間距為 0.1cm 的氣泡牆平均比間距為 0.2cm 的氣泡牆多攔阻 10.3 片塑膠垃圾，**提升 21%的攔阻效果**，也就是間距較小的氣泡牆具有較高的攔阻效果(如圖十一所示)；至於氣泡大小方面，氣泡半徑為 0.15cm 的氣泡牆更是比半徑為 0.25cm 的氣泡牆平均多攔阻 14.3 片塑膠垃圾，**提升高達 29%的攔阻效果**。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

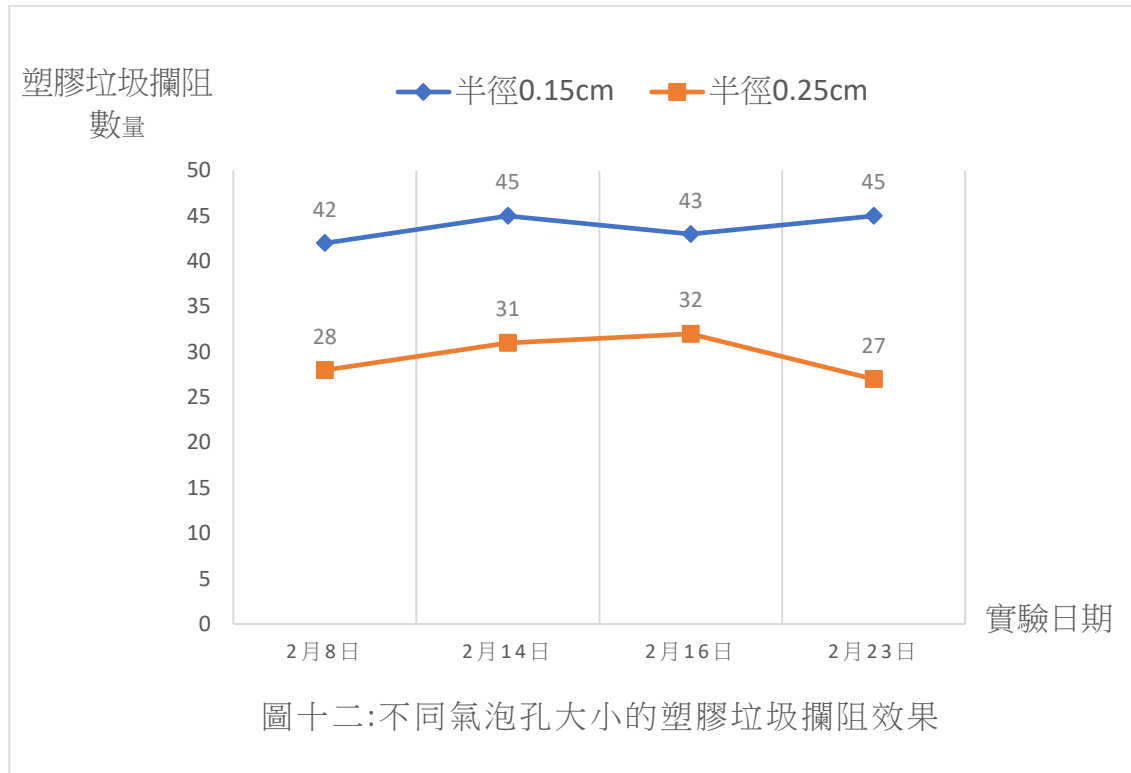
表一:不同氣泡牆對塑膠垃圾攔阻效果

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

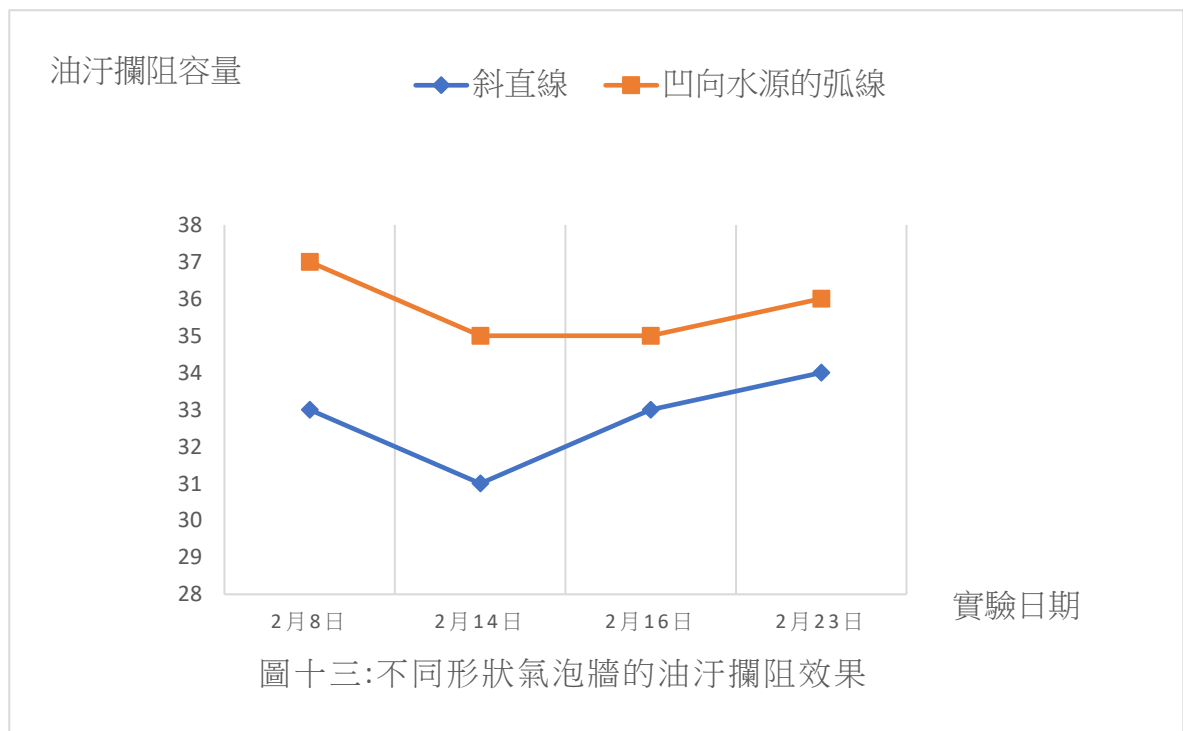
從表二可以發現，與塑膠垃圾的實驗相同，凹向水源的弧線氣泡牆平均比斜直線氣泡牆多攔阻 2.5 毫升油汙，也就是可以**提升 5%的攔阻效果**，因此凹向水源的弧線氣泡牆一樣攔阻效果一樣比斜直線佳(如圖十三所示)。在氣泡間距方面，氣泡孔的間距為 0.1cm 的氣泡牆平均比間距為 0.2cm 的氣泡牆多攔阻 6.5 毫升油汙，**提升 13%的攔阻效果**，也就是間距較小的氣泡牆具有較高的攔阻效果(如圖十四所示)。至於氣泡大小方面，氣泡半徑為 0.15cm 的氣泡牆更是比半徑為 0.25cm 的氣泡牆平均多攔阻 9 毫升油汙，**提升高達 18%的攔阻效果**。因此一樣是越小的氣泡越能達到阻攔效果(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

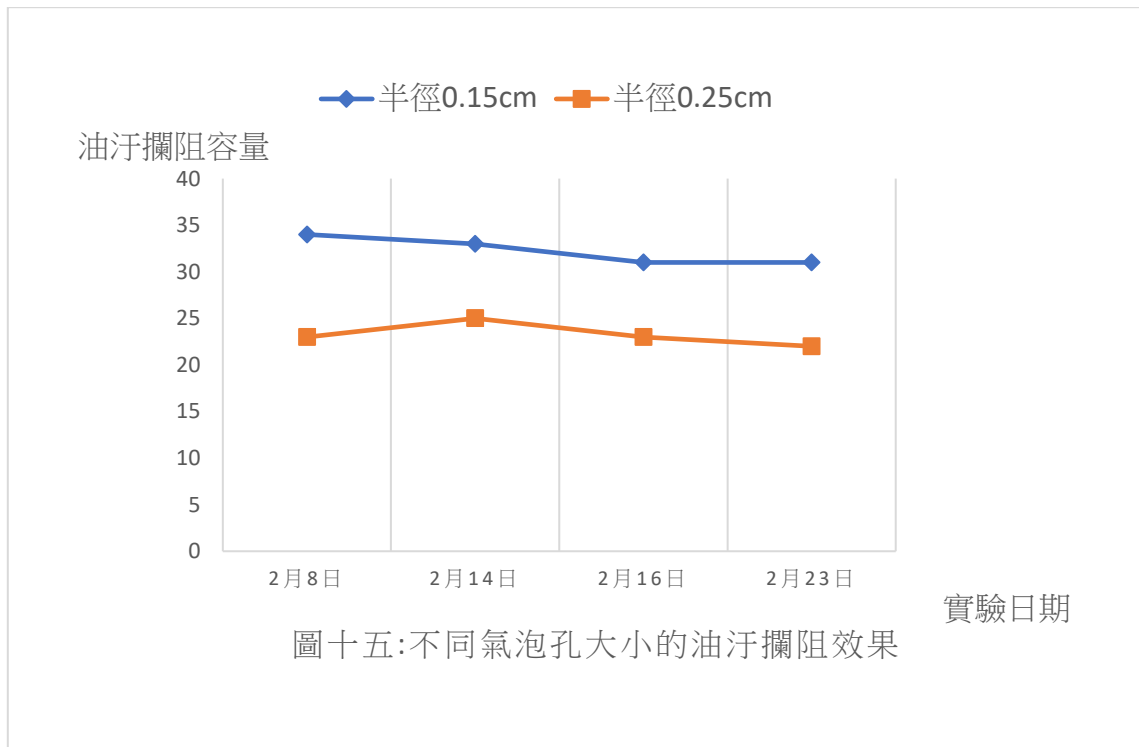
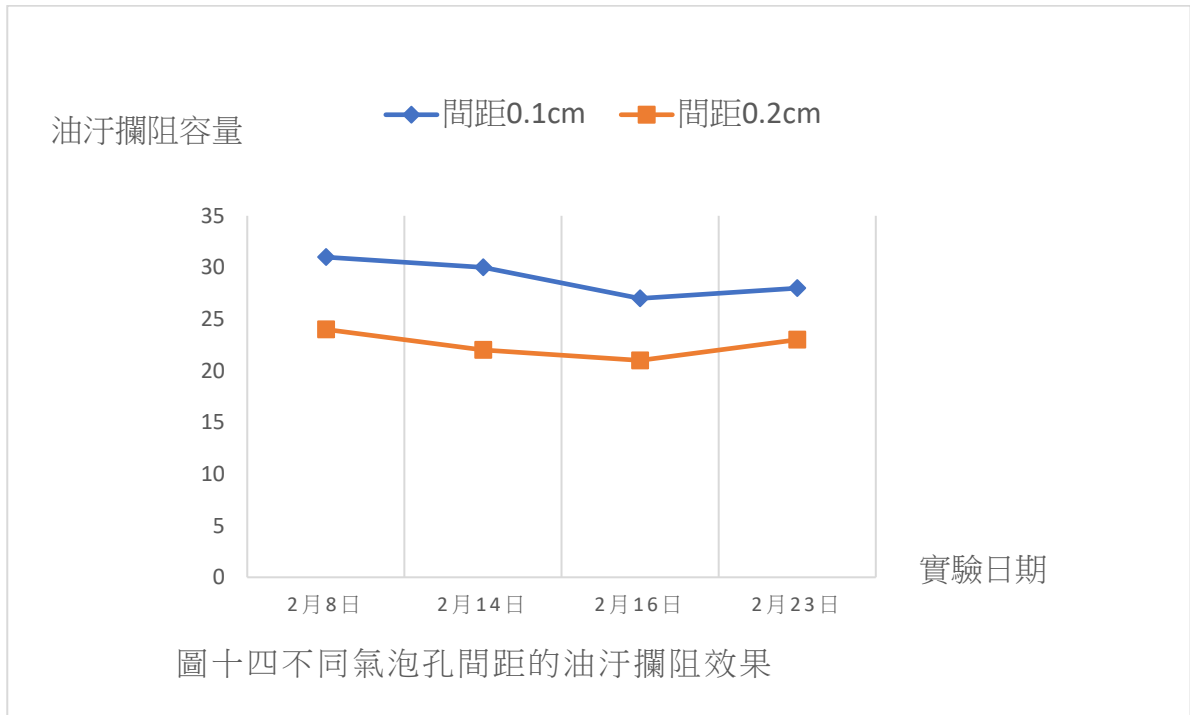
表二: 不同氣泡牆對油汙攔阻效果

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

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。

陸、結論

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攔阻垃圾的實際案例，從我們的研究結果發現，凹向水源的弧線氣泡牆效果較斜直線佳，平均可以提升 29%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，就會變成一個具有攔阻強度的氣泡牆，便可以成功地攔阻汙染源，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汙染源時，**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汙染源，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。

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/>。