

中華民國第 65 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(三)

探究精神獎

033008

水之呼吸~無動力增加水中溶氧機制之探討

學校名稱： 新北市立鶯江國民中學

作者：	指導老師：
國二 陳品羲	商仲凱
國二 吳芷晴	陳重光

關鍵詞： 溶氧量、白努利定律、微氣泡

摘要

本研究以水中溶氧量的變化為主題，探討影響溶氧量的各項因素，如高度差、曝氣時間、氣泡因素、管徑流速及擴管或縮管所形成的壓力變化對溶氧量的影響。

透過實驗設計、檢測與分析比較各種因素下的溶氧量，得知在無動力前提下，為增加水中的溶氧量應：

1. 增加上下水層高度差，以提高流速及壓力差。
2. 出水口置於容器底部，加大氣泡與水接觸距離，也增加曝氣時間。
3. 小氣泡可增加接觸面積，提升溶氧。
4. 粗、細管連結時的管徑差不宜過大。
5. 利用注射針頭產生微氣泡。

本研究依上述條件，設計出簡易裝置，能在缺電停電下，解決水中生物因缺氧導致生存環境惡化時，提供增加水中溶氧量的最佳解決方案，期待能造福養殖業及各式觀賞魚缸的家庭或商業場所。

壹、前言

一、研究動機

新聞報導：寒流來襲南部養殖虱目魚因寒害而暴斃死亡；連續數日高溫造成水庫、溪流魚群大量死亡，難不成夏天水生生物還會被熱死嗎？

觀察台灣傳統水產養殖，必備水車或鼓風機幫魚塭打水注氧，一般家庭魚缸常輔以外掛過濾器或打氣機，細推原因主要都是為了增加水中的溶氧量，但效果有限，也不持久，從文獻得知目前較佳的方法則是通過加壓打氣和微泡泡方式，能有效增加溶氧量，但此類裝置卻會大量耗電，近年來台灣用電吃緊，一旦缺電停電將造成因缺氧導致水中生物生存環境的惡化，嚴重影響漁民生計。

根據國中自然課本所述：氣體溶解度與溫度、壓力、接觸效果…等因素有關，本研究期望在不插電、無耗能的前提下，找出增加或延長溶氧量的方法，並設計出簡易裝置能在停電時應急使用的兩全其美的方法，造福全世界的水產養殖業及成千上萬有養魚缸的家庭。

二、研究目的

本研究以不同情況下水中溶氧量的變化為主題，前導實驗先檢測溶氧量在不同設施環境（靜置及流動水、氣泡石及打氣馬達、魚缸與生態池）和水溫的關係，以了解在各種不同狀況下溶氧量的基本差異，再設計實驗探討溶氧量與壓力、氣泡大小和數量…等效應的關係，其研究目的如下：

(一) 檢測不同設施環境下的溶氧量

- 1-1 檢測靜置水及過濾流動水的溶氧量。
- 1-2 檢測氣泡石及打氣馬達的溶氧量。
- 1-3 檢測不同狀況下的魚缸與生態池溶氧量。
- 1-4 檢測不同水溫下的溶氧量。

(二) 探討不同壓力效應下的溶氧量

- 2-1 檢測不同水位高度差造成流速快慢對溶氧量的影響。
- 2-2 檢測不同粗細管徑對溶氧量的影響。
- 2-3 檢測不同擴大（收縮）管徑對溶氧量的影響。

(三) 探討不同氣泡效應下的溶氧量

- 3-1 檢測不同曝氣時間對溶氧量的影響。
- 3-2 檢測不同氣泡上升距離對溶氧量的影響。
- 3-3 檢測不同氣泡大小與數量對溶氧量的影響。

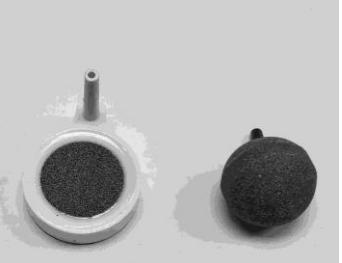
(四) 研究設計實測

三、溶氧機的市場調查與文獻回顧

(一) 溶氧機的市場調查：

照片	售價/功能	使用狀況
	數百元 1.過濾效果好，保持水質乾淨 2.過濾棉須經常清洗更換	1.溶氧效果主要發生在過濾排水處，無法均勻擴散，溶氧效果有限

外掛過濾器（家庭魚缸用）
本圖片由作者/指導老師親自拍攝

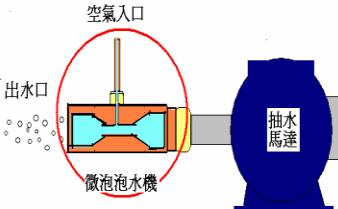
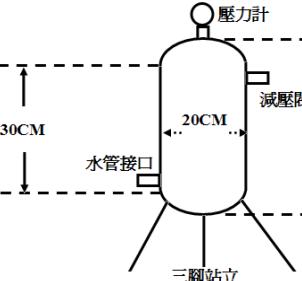
   <p>打氣泵（家庭魚缸用）+氣泡石 本圖片由作者/指導老師親自拍攝</p>	100~500元左右 1.出氣量大、穩定性高 2.超彈性橡皮鼓風膜，使用耐久、壽命長 3.結合氣泡石，增加溶氧量	1.使用簡單方便，價格便宜 2.出氣壓力低，馬達容易過熱損壞
  <p>水車（水產養殖用）(引自中華民國第49屆中小學科學展覽會 養殖新選~微泡泡水機)</p>	數千~上萬元 1.養殖池溫度分布較為平均 2.提高大面積的水流分布 3.轉速可調，適應不同狀況	1.只在液面攪動，養殖池底水流流動循環情形不佳，無法充分得到氧氣。 2.氣泡體積大易消失，氧氣停留在水中的時間很短暫。 3.葉片經常損壞，常常需要維修。 4.為增加溶氧量必須不停的消耗電能。
  <p>鼓風機（水產養殖用）(引自中華民國第49屆中小學科學展覽會 養殖新選~微泡泡水機)</p>	數千元，但建置費用貴 1.打氣量大，能深入魚塭底層 2.結合加熱裝置將溫暖空氣打入魚塭底層，避免寒害	1.溶氧較多 2.功率大耗能，增添養殖成本與風險，更形成能源的浪費。

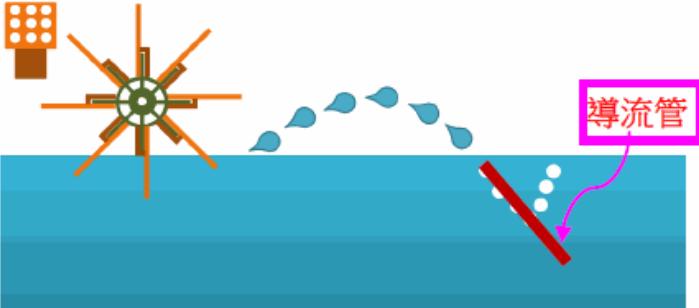
依據目前市場調查得知：

- 一般家用打氣機價格不貴，但**增氧效果有限**，效率愈好則價格愈高，且**耗電量及噪音**皆增加。
- 商用**機器都不便宜，不同機型增氧**效果差異很大**，零件及馬達則因持續使用，**易損壞**，增加許多**維修成本**，且**大量耗能**。
- 所有機器都必須**插電使用**，除**電費**外還需要額外的電力系統**建置費用**。

(二) 文獻回顧與分析：歷屆科展作品中與溶氧量有關的文獻分析，如下表1所示

表1 歷屆科展作品分析及本研究創意發想

資料來源	研究結論	優缺點與本研究創意發想
養殖新選~微泡泡水機 (2009) ⁽¹⁾	  <p>微泡泡水機設計原理 (引自中華民國第49屆中小學科學展覽會 養殖新選~微泡泡水機) 製作微泡泡水機 利用白努利原理，讓水流快速通過「微泡泡水機」中，在管內產生負壓將空氣吸入，並經由喉管截面積及入水角度、出水角度對喉部空氣流速、壓力與空氣吸入量的影響，使空氣與水混合生成細微泡泡。而且水的流速越快，「微泡泡水機」內的壓力越小，形成的氣泡就越細緻，除了溶氧量增大之外，氧氣存留在養殖池水中的時間也越長，就越能節省電能。</p>	優點： <ol style="list-style-type: none"> 材料簡易。 安全可靠。 效果顯著。 節省能源。 環境維護。 缺點： <ol style="list-style-type: none"> 喉部設計複雜，增加製作的難度。 須耗能。 創意發想： <ol style="list-style-type: none"> 透過簡易進氣閥，調整氣泡大小。 經由水位高度差，增加流速，形成壓力差。 不插電的無動力設計，達到完全的節能減碳。
水中溶氧度的探討 (2013) ⁽²⁾	  <p>高溶氧機設計圖 (引自中華民國第53屆中小學科學展覽會 水中溶氧度的探討) 製作高溶氧機，其特點如下： 在抽水馬達前方的水管上加裝了一支氣體流量計，利用氣體流量計的進氣口吸入少量氣體經壓力瓶的加壓及減壓閥的釋壓使氣體擴散後，可得直徑小於0.5 mm 之細微氣泡，其氣泡相當細膩的在水中均勻擴散後使得水變成牛奶般雪白。氣體流量計還可調整進入的氣體量，</p>	優點： <ol style="list-style-type: none"> 省電省錢。 提高溶氧量。 節省能源。 安全可靠。 增加漁獲量。 缺點： <ol style="list-style-type: none"> 高壓桶增加使用的危險性。 組裝困難，需另請鐵工廠協助製作 須耗能。 創意發想： <ol style="list-style-type: none"> 透過微針孔導入更細微氣泡。 設計簡易裝置，增加使用的便利性。

	<p>以達到最高的溶氧效果，且其所產生出來的微小氣泡更能均勻的分布在水中，使得它在水中的停滯時間長達十多分鐘以上。</p>	<p>3.不插電的無動力設計，達到完全的節能減碳。</p>
<p>「導」 「轉」 水車增 氧妙招 (2020)⁽³⁾</p>	 <p>水車增氧機設計理念 (引自中華民國第60屆中小學科學展覽會 「導」「轉」水車增氧妙招)</p> <p>設計水車增氧機，其特點如下：</p> <p>葉輪葉片吃水深度不可太深(20mm)、葉片數量為8片、葉片長度較短(30mm)、葉片寬度不可太寬(20mm)、且葉片上有孔洞(9個直徑5mm的圓孔)，可以得到較高較遠的水花，落入水中產生的氣泡會較深，葉輪後方的流速也能較快；而在水車葉輪後方加裝導流管，可將水面溶氧量較高的水導流至較深的水域，加上可移動旋轉式水車增氧機的設計，可提升增氧效能，更可減少同一養殖池水車的數量。</p>	<p>優點：</p> <ol style="list-style-type: none"> 改良傳統水車。 節約能源、節省成本。 <p>缺點：</p> <ol style="list-style-type: none"> 打水車易損壞，葉片須經常更換。 入水氣泡只達表層，無法有效增加底部的溶氧量。 <p>創意發想：</p> <ol style="list-style-type: none"> 出水口深入底部，改善溶氧狀況，讓溶氧的效果更好、更均勻。 不插電的無動力設計，達到完全的節能減碳。

由歷屆科展作品的內容得知：

- 改良傳統的打氣機，達到增加溶氧量並節約能源進而減少成本。
- 所有改良的設備皆需額外費用建置。

(三) 綜合傳統打氣機及歷屆科展改良版的增氧機，本研究本期望在不插電、無耗能的前提下，設計出簡易裝置結合既有的供水設備，在花費最簡約的成本下，提供增加水中溶氧量的最佳解決方案。

四、提升水中溶氧量的原理探討

為改良歷屆科展作品中皆需耗能才能增加溶氧量的缺點，本研究期望在不插電、無耗能的前提下，利用高度差形成的負壓水管吸入空氣，以增加水中的溶氧量

(一) 白努利定律：如下圖1所示

穩定水流會遵守白努利方程式： $\frac{P}{\gamma} + H + \frac{V^2}{2g} = \text{常數}$ ，若以相對壓力表示

定水面 A 點壓力 $P_A = 0$ ，則管內水流動的 B 點壓力：

$$0 + H + 0 = \frac{P_B}{9800} + H + \frac{V_B^2}{2g}$$

$$\frac{P_B}{9800} + \frac{V_B^2}{2g} = 0$$

因 $V_B \geq 0$ ，可知 P_B 為負壓（低於一大氣壓），有利於吸入空氣，且管內流速愈快， P_B 壓力愈小。本研究在**負壓水管**前端空氣入口處中**加裝進氣閥或注射針頭**，調節氣泡大小，改變水中溶氧量。

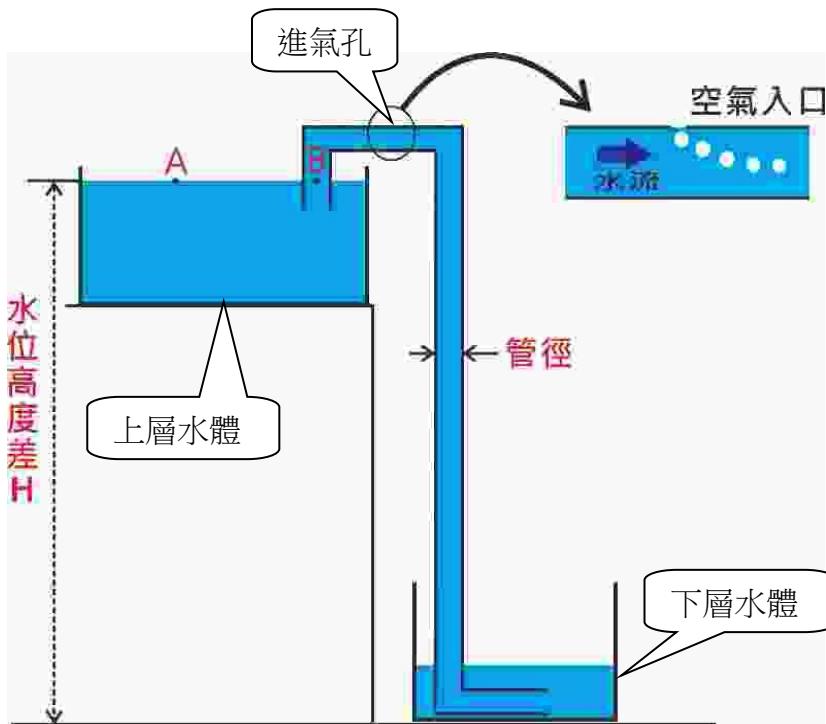


圖1 實驗裝置示意圖



圖2 流速測量裝置圖

本圖片由作者/指導老師親自製作

本圖片由作者/指導老師親自拍攝

(二) 流速測量原理：流速 $V = (1000\text{mL}/\text{管徑截面積})/\text{時間}$ ，實驗裝置如上圖2所示

1. 測量不同高度差的流速：取內徑5mm 的橡皮管，分別控制水位高度差為45cm、90cm、135cm、180cm，以碼錶記錄注滿1000mL 燒杯的時間。
2. 比較水位高度差對不同管徑的流速影響：取分別取不同管徑的橡皮管，在不同高度下，以碼錶記錄注滿1000mL 燒杯的時間。

貳、研究設備及器材

一、材料與器材

表2 實驗所需器材與用具 (照片皆由作者/指導老師拍攝/製作)

 溶氧計1	解析度：0.1 mg/L 準確度： ± 0.3 mg/L 只能測表面水溶氧	 溶氧計2	解析度：0.1 mg/L 準確度： ± 0.4 mg/L 測棒能深入水中，適合測水中溶氧												
 進氣閥 調整氣泡大小： 大氣泡：3~6mm 小氣泡：2~4mm	 醫療級注射針頭 產生微氣泡： <table border="1"><thead><tr><th>針頭型號/孔徑</th><th>產生的氣泡粒徑</th></tr></thead><tbody><tr><td>18G</td><td>1.2 mm</td></tr><tr><td>23G</td><td>0.6 mm</td></tr><tr><td>25G</td><td>0.5 mm</td></tr><tr><td>27G</td><td>0.4 mm</td></tr><tr><td>30G</td><td>0.3 mm</td></tr></tbody></table> ★氣泡粒徑與高度差或流速無關	針頭型號/孔徑	產生的氣泡粒徑	18G	1.2 mm	23G	0.6 mm	25G	0.5 mm	27G	0.4 mm	30G	0.3 mm	 高速相機	 各式容器
針頭型號/孔徑	產生的氣泡粒徑														
18G	1.2 mm														
23G	0.6 mm														
25G	0.5 mm														
27G	0.4 mm														
30G	0.3 mm														

不同內徑的透明橡膠管、燒杯、碼表、捲尺、塑膠水盆

二、溶氧計的使用

(一) 溶氧計1：斜插入水，避免押入水中產生氣泡，影響到底部測氧晶片的準確性，故溶氧量偵測點約為水面下2公分左右處，如下圖3所示：



圖3 溶氧計1的使用及測點

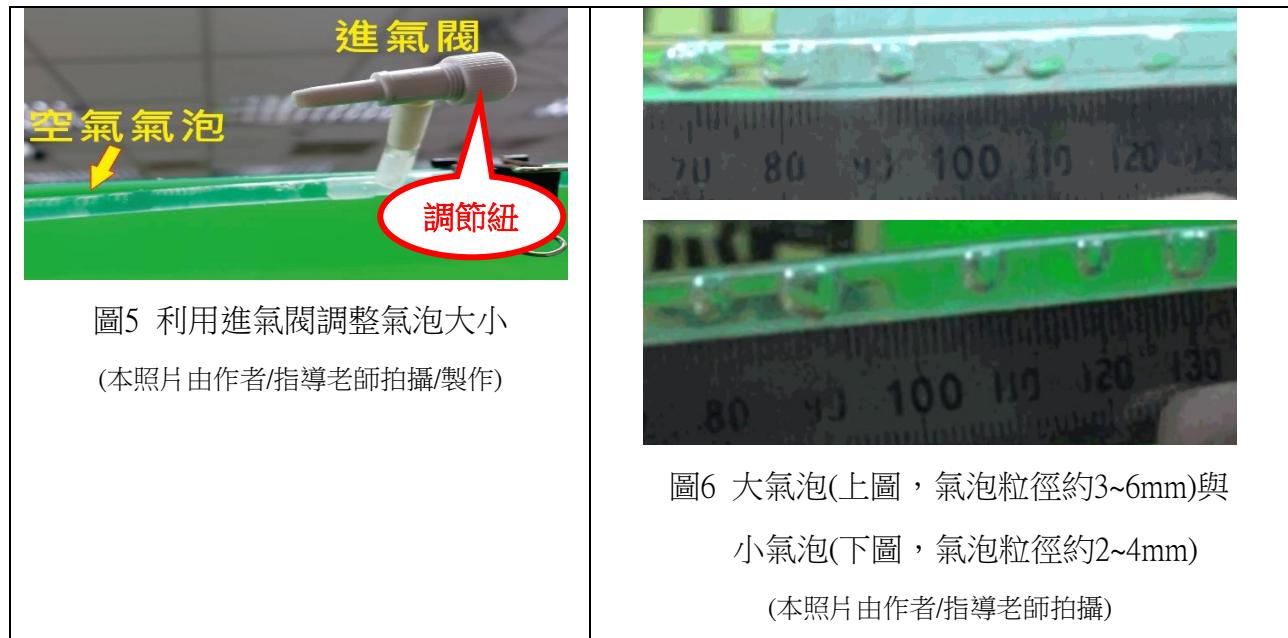
本圖片由作者/指導老師親自拍攝/製作

(二) 溶氧計2：因測棒可伸長，故可深入水中，測量出氣口處的溶氧效果，如上圖4所示：

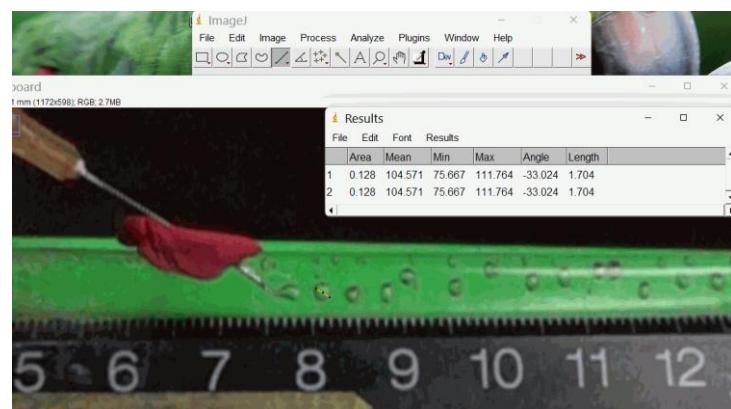
上述2支溶氧計的原理相同，測得數據差異不大，協助我們實驗中同時偵測不同地方的溶氧量

三、不同氣泡大小的調整

(一) **進氣閥**的使用：於橡皮管上方加裝進氣閥，手動旋轉調節紐，控制進入橡皮管中的氣體，當管中水流過，空氣會形成穩定氣泡進入管中，如下圖5所示，所得氣泡大小如下圖6所示。



(二) **注射針頭**的使用：緩慢扎入橡膠管，並用黏土密封周邊洞口，避免空氣進入，如下圖7所示，經針孔進入的空氣粒徑大小穩定，不因高度差或流速大小而改變，更換不同針頭即可產生不同氣泡大小，經由高速相機拍攝並透過軟體 ImageJ 可算出氣泡粒徑，如下圖8所示。



參、研究過程與方法

一、研究架構

本研究想找出在不插電、無耗能的前提下，探討溶氧量與**溫度**、**壓力**、**氣泡**等變因與溶氧量的關係，所擬定之研究架構圖，如下圖9所示：

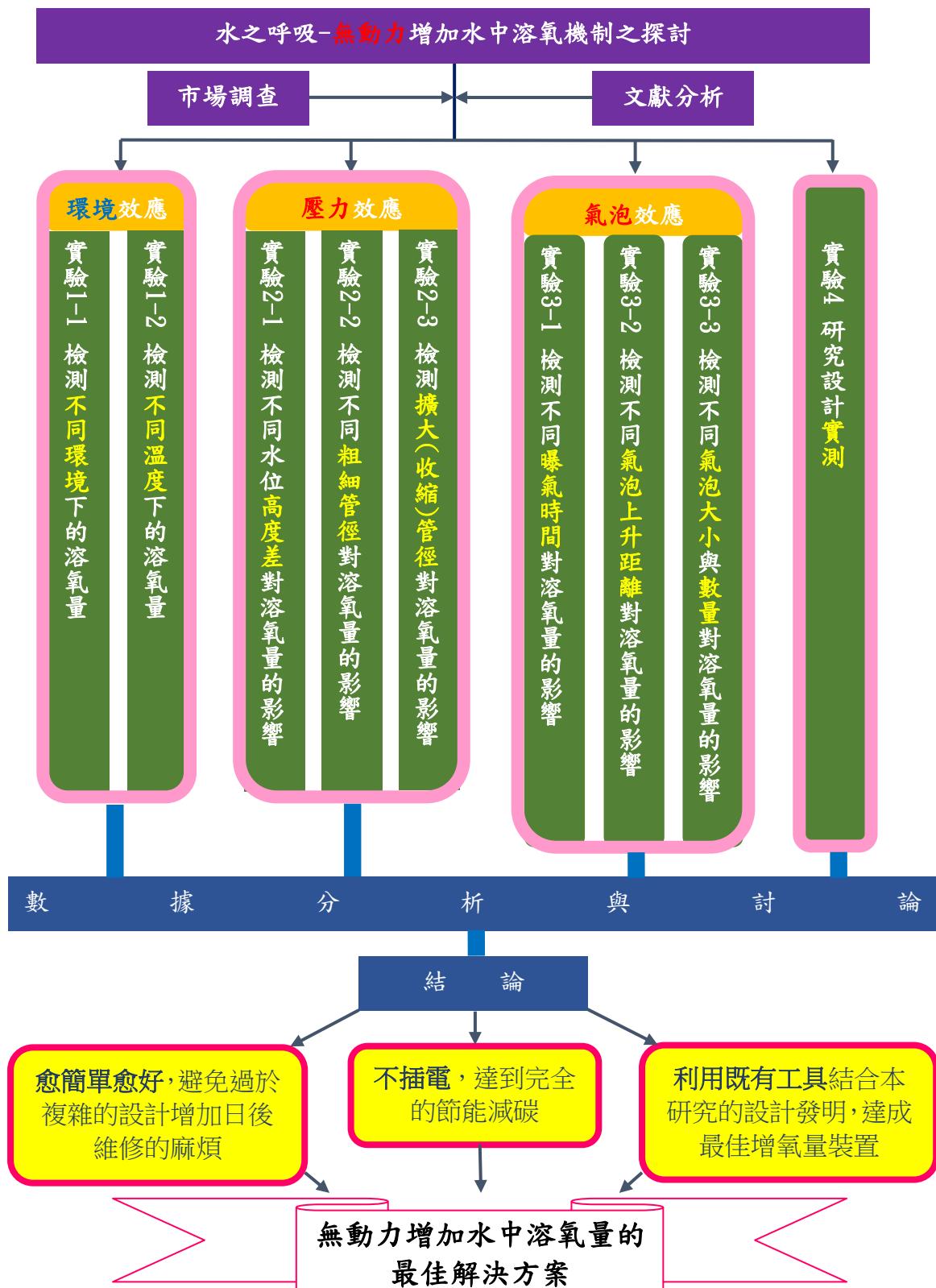


圖9 研究架構圖 (本圖片由作者/指導老師親自製作)

二、溶氧量的測量標準

(一) 靜置水：

水中溶氧量會因溫度、壓力、氣泡…等因素而有所不同，溶氧計由空氣放入水中測量時，數值初始會快速下降，之後逐漸緩降至穩定數值。研究發現未持續打氣的情況下，經過約20分鐘，水中溶氧量都會回到約5.0mg/L 上下，如下圖10所示。

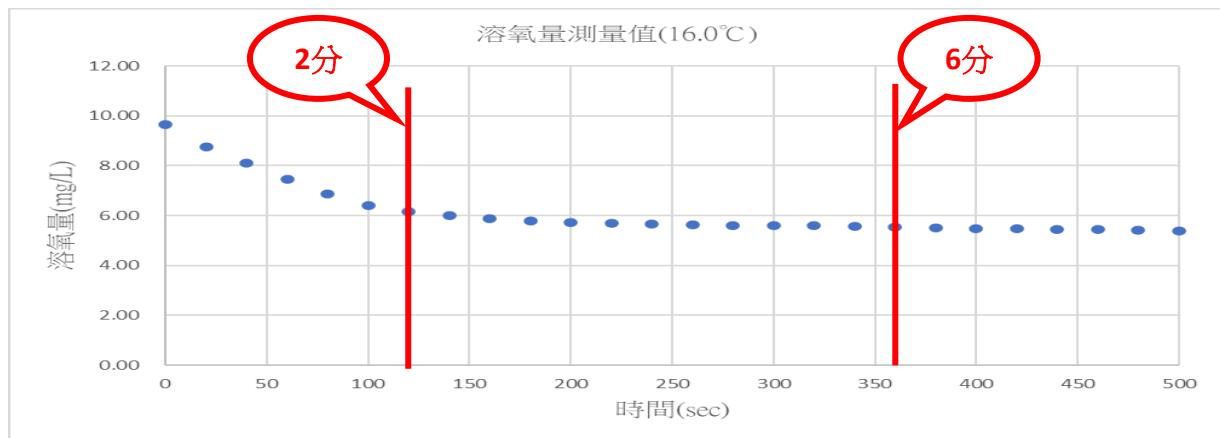


圖10 靜置水溶氧量下降曲線圖 (本圖表由作者/指導老師親自繪製)

因此針對溶氧量的量測，本研究在靜置水部分取溶氧量下降曲線第2～6分鐘的平均值，當成測量值。

(二) 打氣流動水：

本研究期望設計出不插電、無耗能的增氧設備，在測量各式增氧設備效果時，在打氣流動水部分則以鄰近出氣孔，但避免受氣體干擾的區域為測點，裝置如下圖11所示所示，其結果如下圖12。

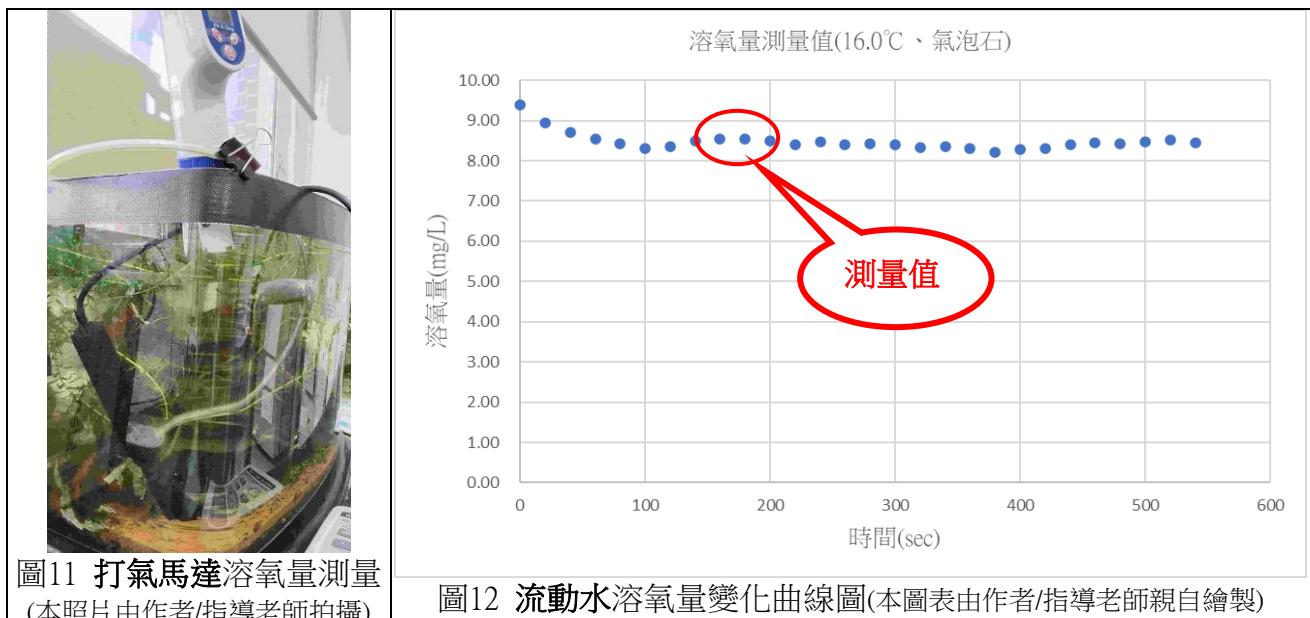


圖11 打氣馬達溶氧量測量
(本照片由作者/指導老師拍攝)

圖12 流動水溶氧量變化曲線圖(本圖表由作者/指導老師親自繪製)

因此針對溶氧量的量測，本研究在流動水部分取連續3次測得溶氧量數據在誤差範圍內，取最大值及最小值的平均值，當成測量值。

肆、研究結果

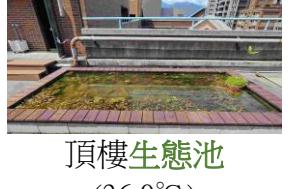
本研究前導實驗先檢測溶氧量在不同養殖設施環境(靜置與流動水、氣泡石與打氣馬達、魚缸、生態池)和水溫的關係，以了解在各種溶氧量的基本差異。

實驗1-1 檢測不同環境下的溶氧量

1-1-1 檢測靜置水和過濾流動水與氣泡石和打氣馬達的溶氧量。

1-1-2 檢測不同狀況下的魚缸及生態池溶氧量。

表3 不同情況下的溶氧量 (下列照片皆由作者/指導老師親自拍攝/製作)

			
靜置水(16.0°C) DO=4.70 mg/L 溶氧率47.7%	過濾流動水(16.0°C) DO=6.65 mg/L 溶氧率67.5%	上層表面水： DO=7.06mg/L 溶氧率85.7% 下層出氣孔處： DO=5.90 mg/L 溶氧率71.6% 打氣魚缸(25.0°C)	
			
氣泡石(16.0°C) DO=8.43 mg/L 溶氧率85.6%	打氣馬達(16.0°C) DO=6.44 mg/L 溶氧率65.4%	上層表面水： DO=7.57 mg/L 溶氧率91.9% 下層水： DO=7.60 mg/L 溶氧率92.2% 過濾魚缸($T=25.0^{\circ}\text{C}$)	
	上層表面水： DO=8.45mg/L 溶氧率106% 下層水： DO=8.50 mg/L 溶氧率107%	 頂樓生態池 (36.0°C) 無任何打氣裝置	上層表面水： DO=8.54 mg/L 溶氧率125% 下層水： DO=8.30 mg/L 溶氧率122%

溶氧率 = 溶氧量 / 飽和溶氧度 * 100%，溫度($^{\circ}\text{C}$)為當日水溫

上表顯示：

1. **靜置水**：無水生植物，但內部的生物因呼吸作用而消耗水中溶氧量。
2. 持續**打氣**或**流動過濾**的情況下皆可提升溶氧量。
3. **魚缸**及**生態池**檢測當天為大晴天，推測因**光合作用**旺盛溶氧量極高，目視可見頂樓生態池水生植物葉片邊緣甚至出現**氧氣泡**，如右圖13。



圖13 光合作用下的現象
(本照片由作者/指導老師親自拍攝/製作)

實驗1-2 檢測不同溫度下的溶氧量

每次實驗前先測量已靜置一段時間的水，其結果當成該次實驗的對照組，測得不同溫度下的溶氧量，其結果如下圖14所示。

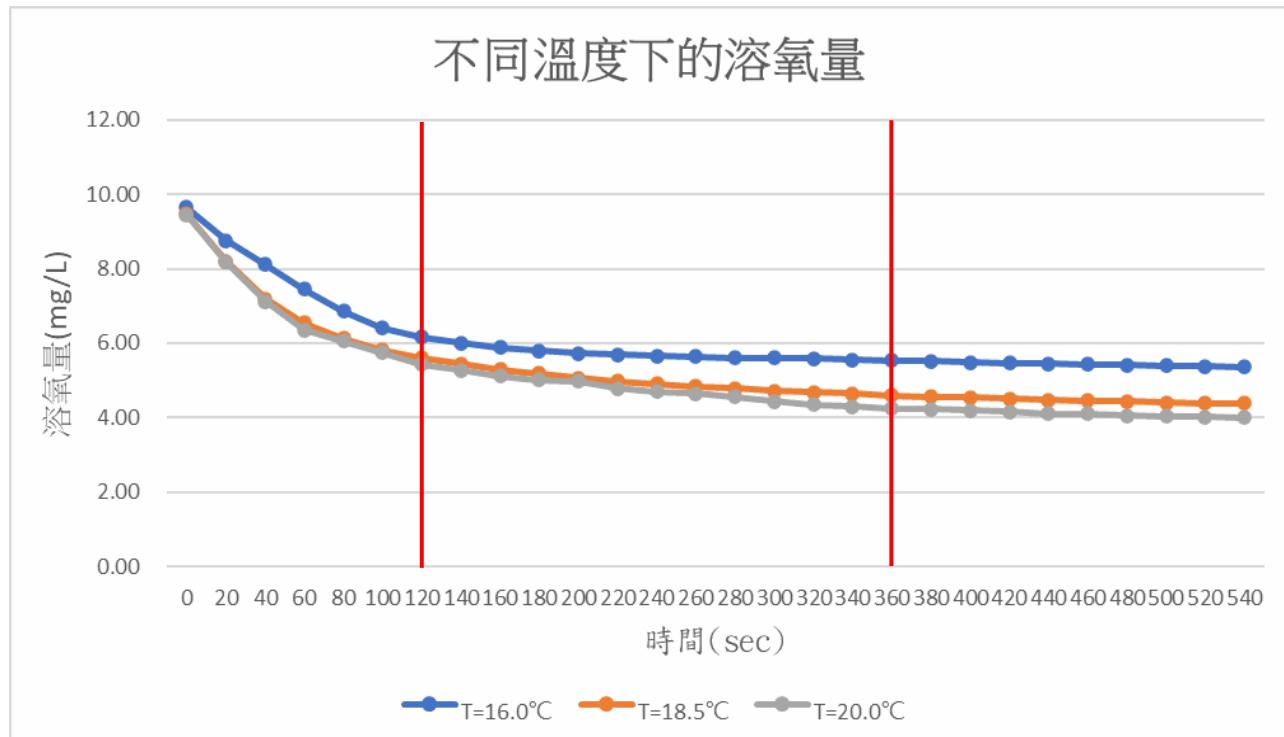


圖14 不同溫度下的溶氧量(本圖表由作者/指導老師親自繪製)

上圖14顯示：

- (一) 溫度越高、溶氧量越低：溫度越高氣體分子的動能越大，越容易從水中跑出來，進而降低對水的溶氧量。
- (二) 飽和溶氧度：定溫下，氧氣溶於水的最大溶氧量，即為飽和溶氧度，溫度越高飽和溶氧度越低，如下圖15所示，其隨溫度升高溶氧量下的的趨勢，與本研究結果不謀而合。

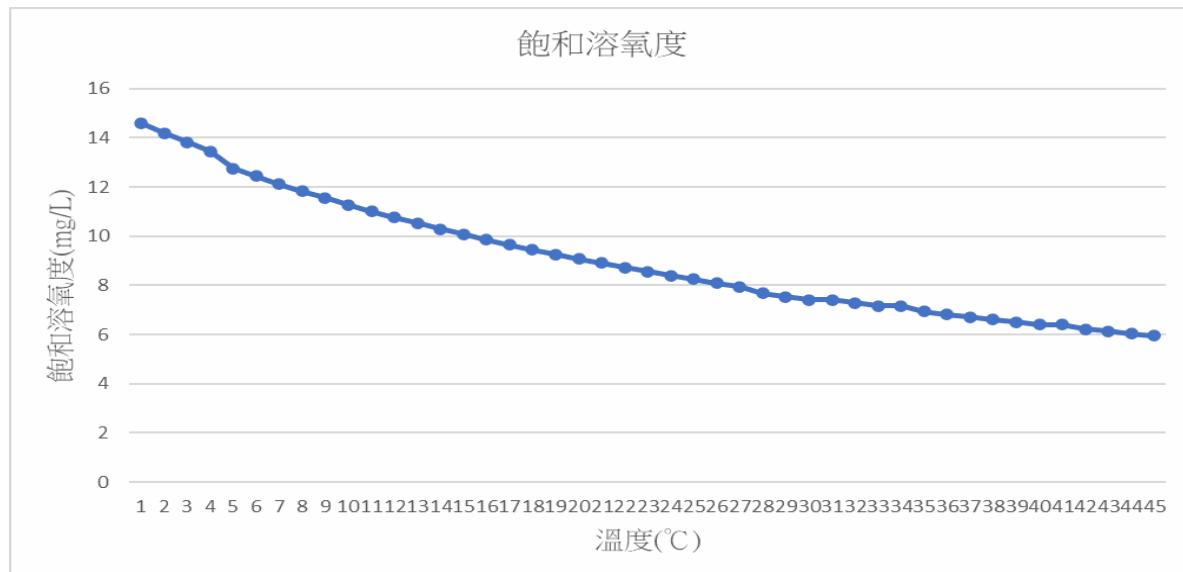


圖15 不同溫度下的水的飽和溶氧度(本圖表由作者/指導老師親自繪製)

(三) 綜合上述2點，不論任何溫度水中溶氧量皆無法維持在飽和溶氧度，且溫度越低，溶氧維持率較高，如下表4所示，推測其原因可能是因為氧氣分子的動能使其由水中逸散，或水中仍有其他微生物會耗氧。

表4 不同溫度下的溶氧量及溶氧維持率

溫度	溶氧量	飽和溶氧度	溶氧率(%)
16.0	5.54	9.85	56.2%
18.5	4.98	9.36	53.2%
20.0	4.49	8.72	51.5%

$$\text{溶氧率} = \frac{\text{溶氧量}}{\text{飽和溶氧度}} * 100\%$$

(四) 根據下表5所列標準，隨著地球暖化及環境的熱汙染，造成水溫上升，若無適時補充溶氧，大部分靜置水的溶氧量皆達適合水生生物生存的下限，間接對生態平衡產生威脅。

表5 溶氧量生物指南(本表由作者/指導老師親自繪製)

溶氧量 (mg/L)	水生生物適宜性
5.0 – 14.0	適合大多數魚類和水生生物
3.0 – 5.0	壓力很大，許多物種都在努力生存，尤其是在長時間內
1.0 – 3.0	嚴重的壓力，只有非常耐寒的物種才能生存
<1.0	對大多數魚類和無脊椎動物致命；只有少數耐受的生物可以存活

實驗2-1 測量不同水位高度差對溶氧量的影響

(一) 流速的測量

根據白努利定律，流體流動速率愈快則壓力愈小，且氣體溶解量與壓力有關，表示改變水位高度差及管徑粗細，可產生不同壓力差與流速，推測可改變溶氧量，測量結果如下圖16所示。

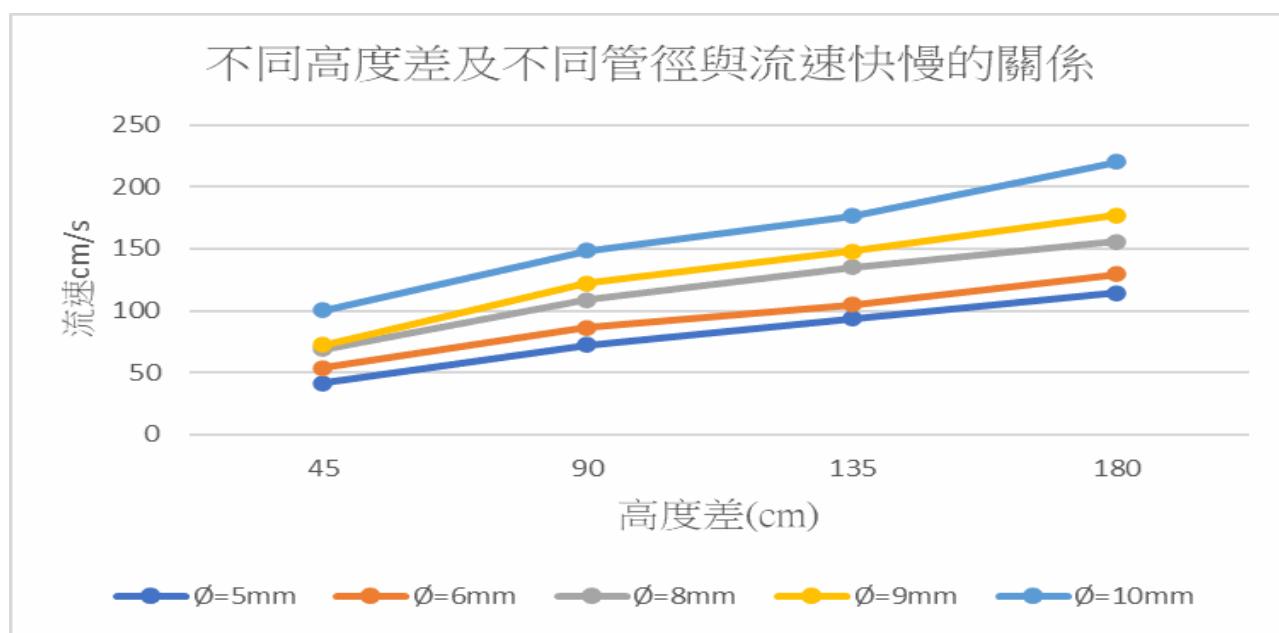


圖16 不同高度差及不同管徑與流速的關係(本圖表由作者/指導老師親自繪製)

上圖16顯示：

1. 水位高度差愈大，管中流速愈大。
2. 在相同高度差之下，管徑愈粗、流量愈大，流速也愈快。
3. 依據白努力定律：流速高導致管內壓力降低，從進氣閥吸人的空氣氣泡與橡皮管內水流的壓力差變大，應有助於氣體溶於水。
4. 流速增加，進入橡皮管的空氣氣泡更細微，氣體與水的接觸總表面積變大，應有助於氣體溶於水。

(二) 溶氧量的測量

預先注滿1000mL 燒杯的靜置水，取內徑5mm 的橡皮管與進氣閥，控制水位高度差為45cm，調整進氣閥至空氣氣泡穩定後，並持續注水打氣，測量燒杯底部中央出氣口附近的溶氧量，依序調整高度差為90cm、135cm、180cm，重複相同的測量步驟，其結果如下表6。

表6 不同水位高度差與溶氧量的關係

水位高度差(cm)	靜置水(18.5°C)	45cm	90cm	135cm	180cm	飽和溶氧度
溶氧量平均值(mg/L)	4.98	5.32	5.48	5.89	6.20	9.36
溶氧率(%)	53.2%	56.8%	58.5%	62.9%	66.2%	18.5°C

依據上表得知：

1. 不論何種高度差皆能有效提高溶氧度。
2. 高度差越大，溶氧量越高。

實驗2-2 檢測不同粗細管徑對溶氧量的影響

(一) 預先注滿1000mL 燒杯的靜置水，控制水位高度差為180cm，分別使用內徑5mm 與8mm 的橡皮管，調整進氣閥至空氣氣泡穩定後，並持續注水打氣，測量燒杯底部中央出氣口附近的溶氧量，其結果如表7所示。

表7 不同粗細管徑與溶氧量的關係

氣泡大小		小氣泡	大氣泡	靜置水(18.5°C)	飽和溶氧度
內徑5mm	溶氧量(溶氧率)	6.20 (66.2%)	6.05 (64.6%)	4.98	9.36
內徑8mm	溶氧量(溶氧率)	7.20 (76.9%)	6.57 (70.2%)		

依據上表得知：

1. 不論內徑粗細或氣泡大小，皆能有效提高溶氧量。
2. 小氣泡溶氧量高於大氣泡，推測是總表面積增加所造成。
3. 內徑大溶氧量增加，推測其原因可能因流速增加、壓力降低。

實驗2-3 檢測不同擴大（收縮）管徑對溶氧量的影響

(一) 原理說明：由連續方程式： $A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$ ，當水管截面積加大(粗管徑)，流速會降低，在相同高度下，根據白努利方程式，會增加水中壓力。

(二) 取內徑5mm 橡皮管，控制水位差為180cm，下端出水口置於燒杯底部，於底部接上長度20 cm，內徑分別為4 mm、8 mm、12 mm、16 mm 橡皮管，依照上述步驟測量溶氧量，裝置如圖17。

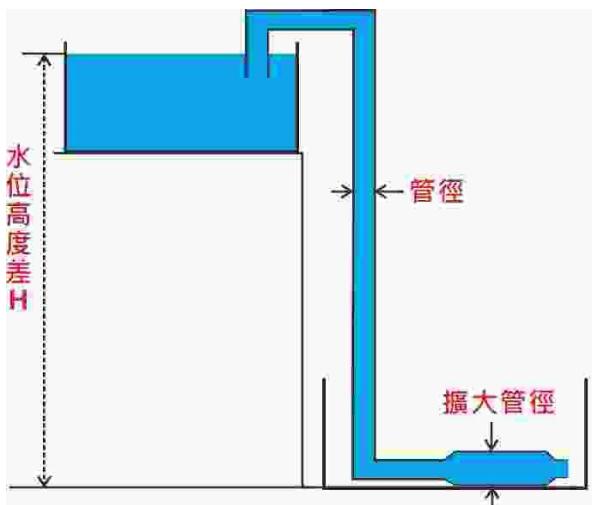


圖17 擴大（收縮）管徑示意圖 (本圖片由作者/指導老師親自繪製)

表8 擴大（收縮）管徑與溶氧量的關係

擴大(收縮)管徑	靜置水	5mm →4mm	5mm	5mm →8mm	5mm →12mm	5mm →16mm	飽和 溶氧度
溶氧度平均值(mg/L)	4.98	6.07	6.20	6.15	5.70	5.31	9.36
溶氧率(%)	53.2%	64.8%	66.2%	65.7%	60.8%	56.7%	18.5°C

依據上表得知：

- 管徑較為接近，例如5mm→8mm，會有明顯提昇溶氧效果，隨著管徑差異愈大，例如5mm→12mm 或5mm→16mm，溶氧的提升效果逐漸降低。
- 不論擴管或縮管都會使溶氧量下降，隨者擴大管徑比例增加，溶氧量下降更明顯。
- 實驗過程發現，氣泡流經細接粗的粗管後導致流速變慢，氣泡會由小顆聚集成大顆，管徑越粗導致聚集成更大氣泡；在8mm 管中，累積的大氣泡仍能隨水流前進，但在16mm 管中，因管徑更大，大氣泡會聚集在粗管前端，反而阻礙氣泡流動，導致溶氧量無法有效提升，如下圖18所示。



圖18 氣泡累積現象(本照片由作者/指導老師親自拍攝)

實驗3-1 檢測不同曝氣時間對溶氧量的影響

為了解在氣泡由下端出水口處排入下層水體後，氣泡在浮出水面的過程中是否也會增加溶氧量，故加做曝氣時間與溶氧量的關係。

- (一) **水面注水無曝氣對溶氧量的影響**：取內徑5mm 橡皮管，高度差維持180公分，改用19.5公分高19.5公分的寶特瓶，延寶特瓶壁注水，並保持出水口接近水面，減少水的擾動，測量溶氧量，結果如下表9所示。

表9 水面注水與溶氧量的關係

氣泡大小	靜置水	小氣泡	大氣泡	飽和溶氧度
溶氧量平均值(mg/L)	4.98	5.80	5.52	9.36
溶氧率(%)	53.2%	62.0%	59.0%	18.5°C

依據上表得知：

- 大小氣泡皆可有效增加溶氧量，推測溶氧位置發生在進氣孔到出水口之間。
- 小氣泡溶氧量較大氣泡高，推測是總表面積較大所致。

- (二) **不同曝氣時間對溶氧量的影響**：取內徑5mm 橡皮管，高度差維持180公分，改用19.5公分高的寶特瓶先注滿靜置水，下端出水口置於寶特瓶底部，調整進氣閥至空氣氣泡穩定後，再分別曝氣1.2.3分鐘後，測量溶氧量，結果如下表10所示。

表10 不同曝氣時間與溶氧量的關係

溶氧量平均值(mg/L)	氣泡石	小氣泡	大氣泡
水面注水無曝氣		5.80	5.52
1分鐘	5.87	6.04	5.93
2分鐘	6.07	6.41	5.95
3分鐘	6.24	6.62	6.23

依據上表得知：

- 曝氣時間越久，溶氧量越高。
- 小氣泡溶氧效果略優於大氣泡。
- 氣泡石產生的氣泡雖然更小更多，但溶氧效果反而比小氣泡差，推測原因可能是氣泡石孔洞太小，阻力增加所致。

由上述(一)、(二)得知，氣泡在上浮的過程中確實可以有效增加溶氧量。

實驗3-2 檢測不同氣泡上升距離對溶氧量的影響

為更了解氯氣溶於水後的分散狀況，接續研究氣泡大小與數量差異與溶氧量的關係：

- (一) 將不同底面積容器先注滿同體積水量，控制水深度分別為6.0 cm、12.5 cm 及19.5 cm，如下圖19；取內徑5mm 橡皮管，高度差維持180 cm，並將出水口拉置容器底部，再曝氣4分鐘，測量溶氧量，其結果如下表11所示。

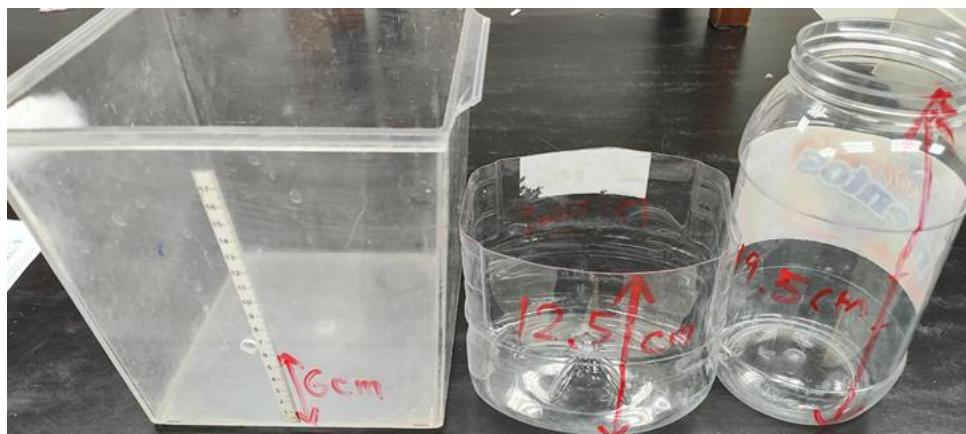


圖19 同體積的各式容器(本照片由作者/指導老師親自拍攝)
(左容器氣泡上升 6.0 cm、中容器氣泡上升 12.5 cm、右容器氣泡上升 19.5 cm)

表11 不同氣泡上升距離與溶氧量的關係

氣泡上升距離(cm)	靜置水	6.0 cm	12.5 cm	19.5 cm	飽和溶氧度
溶氧量平均值(mg/L)	4.98	5.96	6.50	6.72	9.36
溶氧率(%)	53.2%	63.7%	69.4%	71.8%	18.5°C

依據上表得知：水深度愈大導致溶氧量提高，推測水中氣泡的上升距離，能有效提升溶氧量。

實驗3-3 檢測不同氣泡大小與數量對溶氧量的影響

根據國中理化內容及前述實驗結果得知，氣體溶於水與其接觸效果有關，故本研究利用氣泡大小與數量的差異探討溶氧量的關係

- (一) **氣泡大小對溶氧量的影響**：預先注滿1000mL 燒杯的靜置水，控制水位高度差為180cm，分別使用內徑5mm 與8mm 橡皮管，調整進氣閥至空氣氣泡穩定後，並持續注水打氣，測量燒杯底部中央出氣口附近的溶氧量，改變不同氣泡大小，其結果如下表12所示。

表12 不同氣泡大小與溶氧量的關係

管徑 (氣泡大小)	靜置水 (18.5°C)	5mm (小氣泡)	5mm (大氣泡)	8mm (小氣泡)	8mm (大氣泡)	飽和 溶氧度
溶氧量(mg/L)	4.98	6.20	6.05	7.20	6.57	9.36
溶氧率(%)	53.2%	66.2%	64.6%	76.9%	70.2%	18.5°C

依據上表得知：

- 不論內徑粗細或氣泡大小皆能有效提高溶氧量。
- 平均溶氧量的數值接近，數據皆在誤差範圍內，未有明顯的變化趨勢。

(二) **微氣泡對溶氧量的影響**：

- 預先注滿1000mL 燒杯的靜置水，控制水位高度差為180cm，使用內徑5mm 的橡皮管，上方採用不同口徑的注射針頭持續注水入氣，測量燒杯底部中央出口附近的溶氧量，結果如下表13。

表13 不同氣泡大小與溶氧量的關係

針頭型號 (氣泡粒徑)		靜置水	23G (1.8~2.1mm)	27G (0.8~1.5mm)	30G (0.4~0.5 mm)	飽和 溶氧度
1 針	溶氧量平均值(mg/L)	90cm	4.5	6.4	6.4	6.5
	溶氧量平均值(mg/L)	180cm		6.5	7.3	7.3
3 針	溶氧量平均值(mg/L)	90cm		6.9	7.1	7.2
	溶氧量平均值(mg/L)	180cm		7.3	7.4	7.7

依據上表得知：

- 高度差90 cm，氣泡粒徑越小，溶氧效果略為增加。
- 高度差180 cm，針孔數越多，溶氧效果明顯增加。
- 實驗過程中發現：當針孔數增加太多，氣泡在進入橡皮管後，會快速融合成大氣泡，無法有效提升溶氧量。

- 接續研究以高度差180cm，採用30G、27G、25G 針頭，並**增加針頭數量**，測量溶氧量，其結果如下圖20。

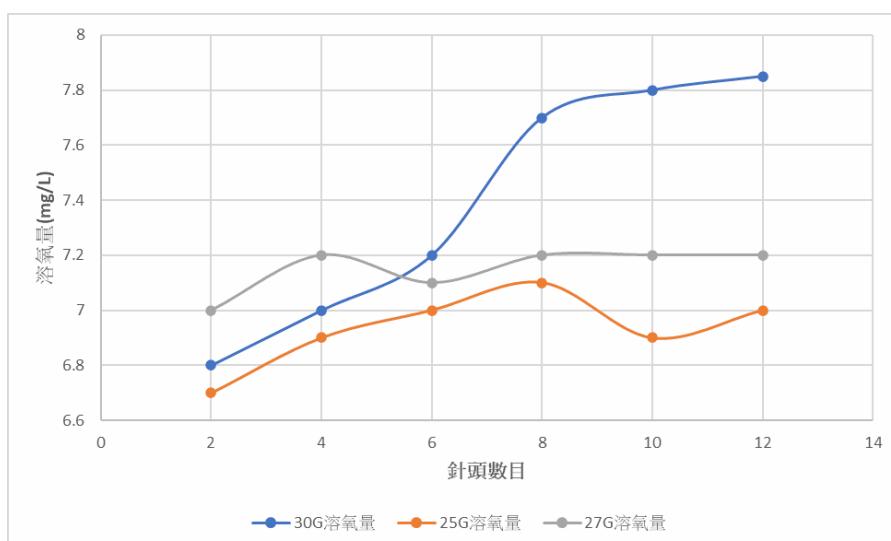


圖20 針頭孔徑/數目與溶氧量之關係 (本圖片由作者/指導老師親自繪製)

上圖20顯示：

- 30G 注射針頭產生的**微氣泡**能有效提升溶氧量。
- 針頭數量**越多，溶氧量越高，但數量由8個→10個→12個，溶氧量增加幅度降低，推測水中溶氧逐漸接近**飽和**。
- 27G 針頭與25G 針頭的溶氧量增幅較低，推測是**氣泡較大**所致。

實驗4 研究設計實測

為驗證本研究結果是否能實際應用於日常生活環境，故將實驗設計直接移至頂樓生態池進行實測，實驗過程與方法如下：

(一) 實驗環境的選定：

1. 根據實驗1-1的結果顯示，在不同情況下溶氧量的差異很大，實驗設定上應避免環境中會增加溶氧的情境。
2. 為避免藻類光合作用提升溶氧，本實驗在清晨7：20進行，測量水中原始溶氧量約3.6mg/L。

(二) 實驗步驟：

1. 控制水位高度差為180cm、內徑5mm 的橡皮管，使用10個30G 注射針頭產生穩定微氣泡，並持續注水打氣約10分鐘，測量學校生態池在不同位置的溶氧量，實驗裝置如下圖21。
2. 出氣口位於生態池底(水深約25cm)，溶氧計測點位於水面下2 cm，由出氣口(原點)起始，每間隔10cm 為一個測點，曝氣10分鐘後即可測得穩定的溶氧值，測量結果如下表14。



圖21 生態池測量示意圖(管口位於箭號位置底部，水深25 cm，本圖片皆由作者/指導老師拍攝/製作)

表14 實驗/原始溶氧量與管口距離之關係(水溫24.0°C)

管口距離(cm)	0	10	20	30	40	50	60	70	飽和溶氧度
實驗溶氧量(mg/L)	7.8	5.8	5.5	5.1	5.0	4.9	3.8	3.6	8.4
溶氧率(%)	92.9	69.0	65.5	60.7	59.5	58.3	45.2	42.9	
原始溶氧量(mg/L)						3.6			24°C

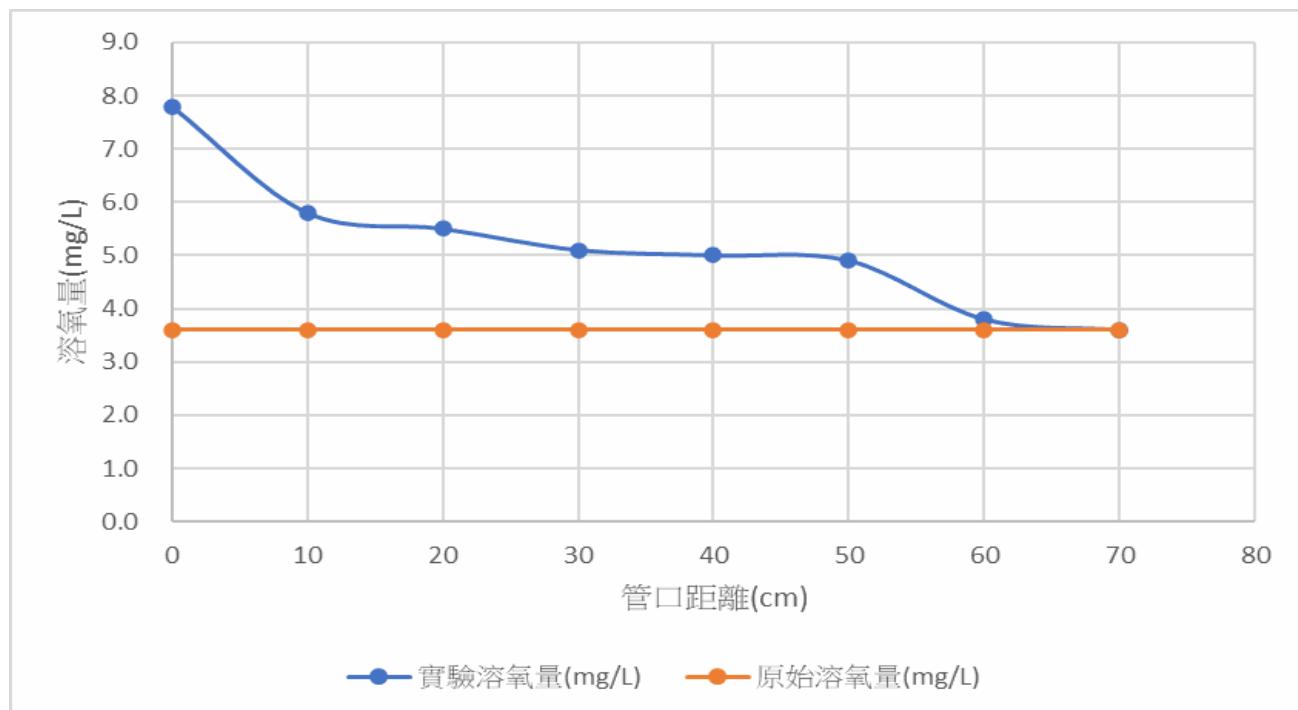


圖22 實驗/原始溶氧量與管口距離之關係 (本圖片由作者/指導老師親自繪製)

上圖22顯示：

1. 本實驗設計裝置可以在出氣口 50 cm 範圍內，皆能有效提升溶氧量。
2. 實驗過程中目視可見，因管口持續冒出氣泡，溶氧量的提升吸引池中小魚群聚，如圖21右上照片。
3. 距離出氣口 50公分的範圍外，溶氧量及大幅減少至環境的原始值

伍、討論

一、測量的穩定性與修正

- (一) 水體受到擾動（攪拌）會帶動深水處的溶氧浮出，進而被溶氧計偵測到（溶氧計偵測點位於水面下2公分處），以至於當實驗過程中受到外力碰撞干擾，溶氧計測得數值跳動變大。
- (二) 溶氧計過於靈敏應減少測量時的波動，實驗的測量應避免氣泡的干擾（測量值變大），但又要能夠反映真實的溶氧情況，故在測點的選擇以氣泡旁2~5公分最佳
- (三) 測棒頭若碰到氣泡，則測量數值會突然上升，經由輕微攪拌將液體氧均勻分散，測量值則會迅速又回到常態。
- (四) 靜止水沒有氣泡干擾則可測到穩定的下降平滑曲線。

二、關於實驗2-3 擴大（收縮）管徑部分

- (一) 因為擴大（收縮）管徑造成流速改變，當流速變慢時，容易由小氣泡匯聚成大氣泡，氣泡在管中流動的阻力變大，進而被水流推動前進，相對於小氣泡及微氣泡則更容易順著水流快速流動。
- (二) 根據實驗結果顯示，反而在不接管的情況下，溶氧量的效果最好，本研究結果與文獻回顧中歷屆科展作品的結論相反，透過實驗結果分析推測：大部分**增氧機**是利用**加壓**方式在產生小氣泡的同時增加溶氧，而本研究利用**虹吸現象**帶動水流的壓力不足以產生夠大的壓力增加溶氧，只能透過更多的微氣泡（收縮）增加溶氧量，故本**研究設計裝置**為達到**無動力**模式選擇以利用**醫療用注射針頭**產生**微氣泡**增加溶氧量。

三、期待與展望

本研究最終所設計出**無動力**增加水中溶氧量之裝置，能夠造福所有需氧生物，期待在未來結合所有形式之**增氧機**，解決因**缺電**而**缺氧**導致生存環境的惡化情形，歸納如下：

一、小型水體：家庭水族箱

- (一) 透過人工補水方式，補充上層水體，利用本**研究設計裝置**在將魚缸注水時同時增加水中溶氧量。
- (二) 外掛式過濾器亦可結合本**研究設計裝置**在過濾的同時又增加溶氧量。

二、中型水體：水族量販店、生態魚池

透過屋頂集水系統或水撲滿補充上層水體，連結至本研究的無動力溶氧裝置，並透過連通管原理建構智慧化注水裝置，以持續增加水中溶氧量，如圖23、圖24裝置

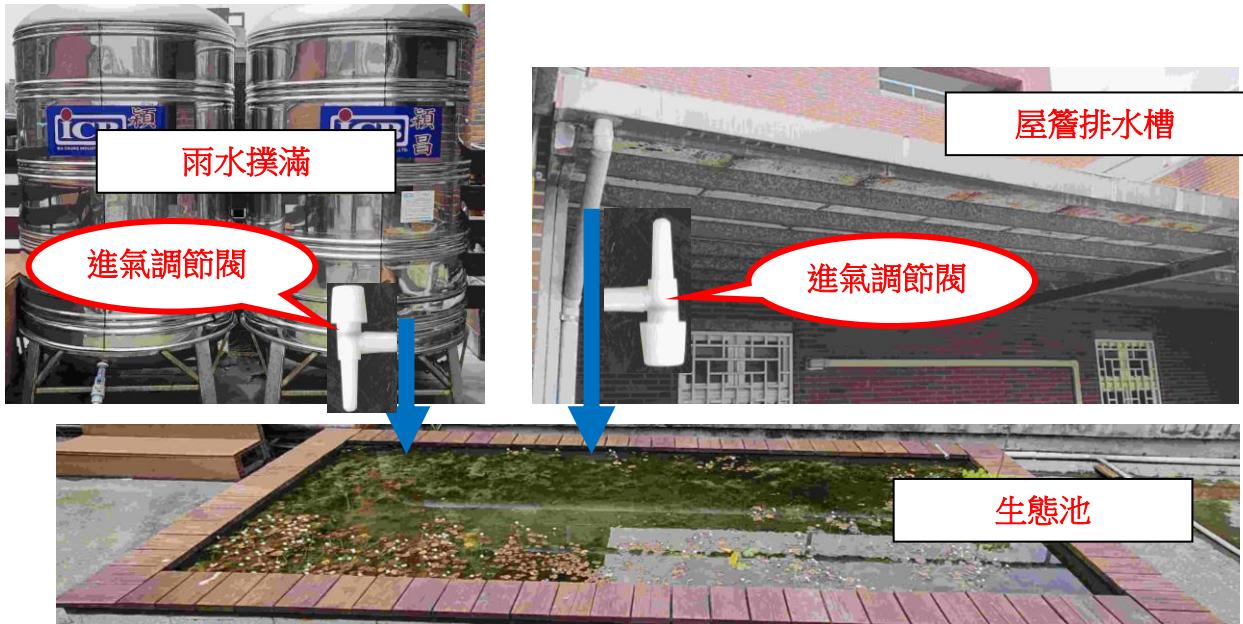


圖23 生態魚池增氧裝置示意圖(本照片由作者/指導老師親自拍攝/製作)

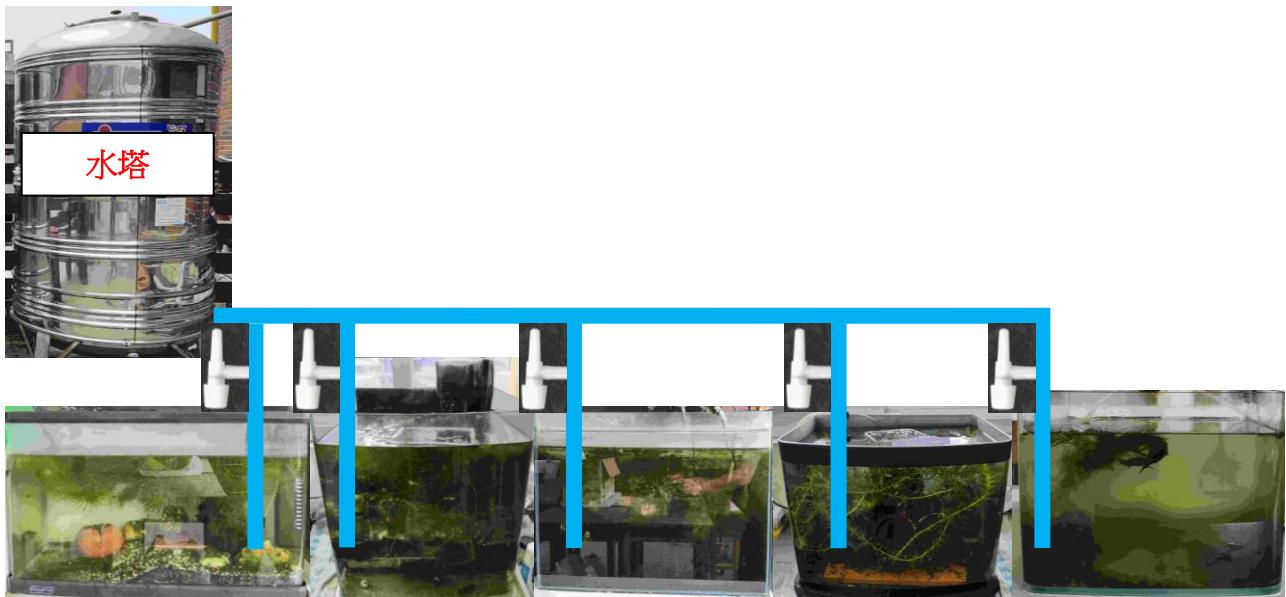
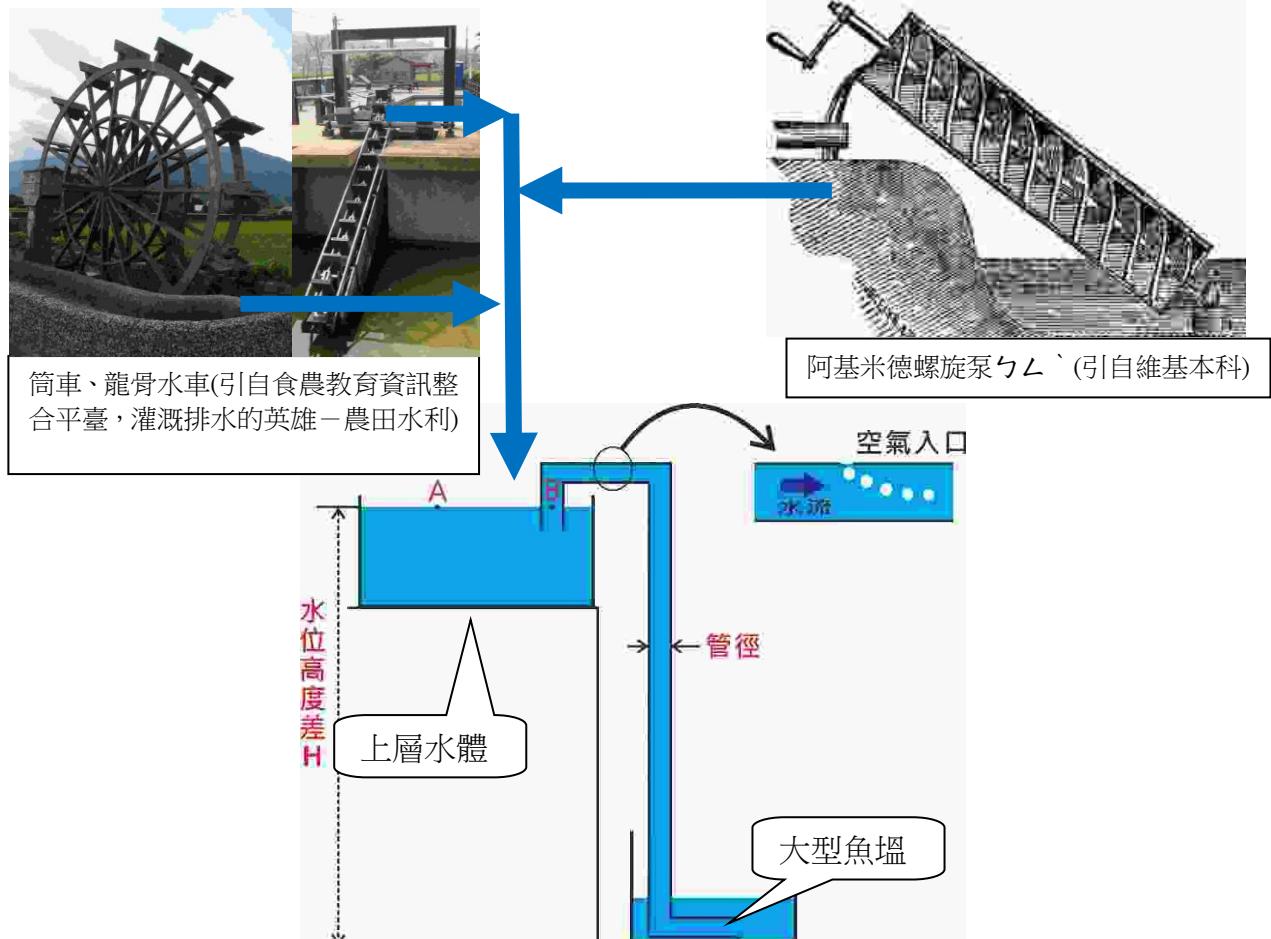


圖24 水族量販店增氧裝置示意圖(本照片由作者/指導老師親自拍攝/製作)

三、大型水體：魚塭及水產養殖場

結合農業灌溉系統，例如：水車、阿基米德螺旋泵...等，利用風力或水圳的水的動能，持續補充上層水體，在連結至本研究的無動力溶氧裝置，整體依舊能維持無動力狀態以達到節能減碳效果



陸、結論

- 一、溶氧量與溫度的關係：溫度越低溶氧度越高。
- 二、水中生物會消耗水中的溶氧量或是水的流動（攪拌）讓氣體逸出，降低水的溶氧量。
- 三、透過空氣與水的接觸，如：水車打水、氣泡石、打氣...等方式皆能有效增加水中的溶氧量。
- 四、空氣與水接觸的總接觸面積愈大（氣泡小而密）溶氧效果越好。
- 五、高度差越大→流速越快，依據白努利定律→水流壓力越小，由進氣閥吸人的空氣氣泡因壓力差大造成溶氧量增加。
- 六、擴大（縮收）管徑並未明顯增加溶氧量；擴大管徑過大導致氣泡流動卡住，進而影響溶氧的效果。
- 七、高度差180cm，30G 注射針頭產生的微氣泡能有效提升溶氧量，針頭數目愈多，溶氧量愈高，但會逐漸接近飽和溶氧度。
- 八、本研究設計裝置使用10個30G 注射針頭在曝氣10分鐘內，即可在出氣口50cm 範圍內，明顯提升生態池溶氧量約16~28%。

柒、參考文獻資料

- 一、方雯儀、李庭萱、李侑承、方琼儀(2009)。養殖新選~微泡泡水機。中華民國第49屆科展。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/030817.pdf>
- 二、莊栩然、吳祐全、邱韻庭(2013)。水中溶氧度的探討。中華民國第53屆科展。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/040110.pdf>
- 三、黃子瑄、陳宣穎、李佩穎、黃新甯(2020)。「導」「轉」水車增氧妙招。中華民國第60屆科展。
<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=16344&sid=16584>
- 四、環境部 全國環境水質監測資訊網。
<https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/WaterKnowledge/EncyclopediaList.aspx>
- 五、高中物理 白努利定律。
- 六、Dissolved Oxygen: Understanding Its Importance in Water Quality 取自
<https://sensor1stop.com/knowledge/dissolved-oxygen/amp/>
- 七、AMart 室內循環水養殖場2014年10月3日取自
https://amartrasfarm.blogspot.com/2014/10/blog-post_3.html?m=1
- 八、侯文祥(2019)。醉月湖大湖水質改善工法。
- 九、維基本科 <https://zh.wikipedia.org/>

【評語】033008

1. 利用水撲滿概念，以簡易設計裝置，提升水中溶氧量，可運用於各式觀賞魚缸及養殖業。
2. 有系統收集資料，實驗設計與數據分析，方法具體可行，足以證實結論。
3. 海報展示及技術說明清楚，有明晰回答問題，也了解研究主題相關基本科學原理。
4. 建議加強了解高處水體儲備位能、水位差與增加溶氧量的關係。

作品海報

水之呼吸-

無動力增加水中溶氧機制之探討

摘要

本研究探討水位高度差、曝氣時間、氣泡因素、管徑流速及擴(縮)管的壓力變化對水中溶氧量之影響。實驗結果對增加水中溶氧量的建議為：一、增加上下水層高度差，提高流速及壓力差。二、出水口置於容器底部，加大氣泡與水接觸距離，也增加曝氣時間。三、小氣泡可增加接觸面積，提升溶氧。四、粗、細管連結時的管徑差不宜過大。五、利用細針頭(30G)產生微氣泡，有效增加溶氧。根據上述條件設計出簡易裝置，在缺電下能成為增加水中溶氧量的有效解決方案。

一、研究動機

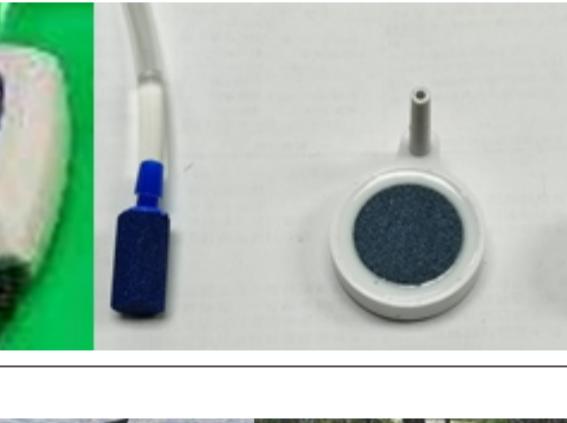
新聞報導養殖漁業因連續高溫造成魚群大量死亡，使觀察水產養殖使用水車或鼓風機打氣，家庭魚缸且無法持久；應用打氣機增加溶氧，但此類裝置耗電且無法持久，惡化水環境影響漁民生計；我們希望設計不耗能的簡易裝置來增加水中溶氧，造福養殖漁業及水族家庭。

二、研究目的

- (一) 環境因素對溶氧量的影響
- (二) 壓力因素對溶氧量的影響
- (三) 氣泡因素對溶氧量的影響
- (四) 研究設計實測

三、市場調查與文獻回顧

(一) 溶氧機市場調查：

照片	名稱/功能	使用狀況
	魚缸過濾器 1. 利用過濾效果保持水質乾淨 2. 過濾棉須經常清洗更換	溶氧效果主要發生在過濾排水處，無法均勻擴散，溶氧效果有限
	打氣泵+氣泡石 1. 出氣量穩定可調整 2. 氣泡石細化氣泡，增加溶氧量	1. 使用簡單方便，價格便宜 2. 出氣壓力低，馬達容易過熱損壞
	水車（水產養殖用） 1. 擴大水體流動範圍 2. 可調轉速因應不同狀況	1. 液面攪動導致底溶氧不佳 2. 產生氣泡較大，水中停滯時間短暫 3. 葉片常損壞需維修 4. 持續運轉消耗大量電能
	鼓風機（水產養殖用） 1. 打氣量大，能深入池底 2. 可結合加熱裝置打入暖空氣，避免寒害	1. 溶氧較多 2. 大功率耗能，增加養殖成本，形成能源浪費

- 家用打氣機價格低但增氧效果有限，效率好則價格高，但增加耗電量及噪音。
- 商用機型價格高，各機型增氧效果差異大，零件及馬達因持續運轉易損壞增加維修成本且耗能。

(二) 文獻回顧分析

研究內容	優/缺點
一、養殖新選-微泡泡水機(2009) 以白努利原理讓水流快速通過微泡泡水機，因負壓吸入空氣，探討管中喉部截面積、入水/出水角度對溶氧量的影響，使空氣與水混合生成細微氣泡。水流速愈快，管內壓力愈小，形成氣泡愈細，增加溶氧也增加氣泡留存水中時間。	優點： 1. 材料簡易 2. 安全可靠 3. 效果顯著 4. 節省能源 5. 環境維護 缺點： 1. 喉部製作困難 2. 耗能
二、水中溶氧度的探討(2013) 製作高溶氧機，加裝氣體流量計量氣體經壓力瓶加壓及減壓閥釋壓可得直徑小於0.5 mm細微氣泡，並提升溶氧效果。	優點： 1. 有效提高溶氧量 缺點： 1. 高壓桶增加使用危險性 2. 耗能
三、「導」「轉」水車增氧妙招(2020) 探討水車增氧機特點，包含葉輪葉片吃水深度、葉片數量、長度、寬度、葉片孔洞等因素皆會影響氣泡與溶氧；在水車葉輪後方加裝導流管，也可導流水面溶氧量較高的水至深處，加上可移動旋轉式水車增氧機的設計，可提升增氧效能。	優點： 1. 改良傳統水車 2. 節約能源、成本 缺點： 1. 打水車易損壞，葉片須經常更換 2. 入水氣泡只達表層，無法有效增加底部溶氧

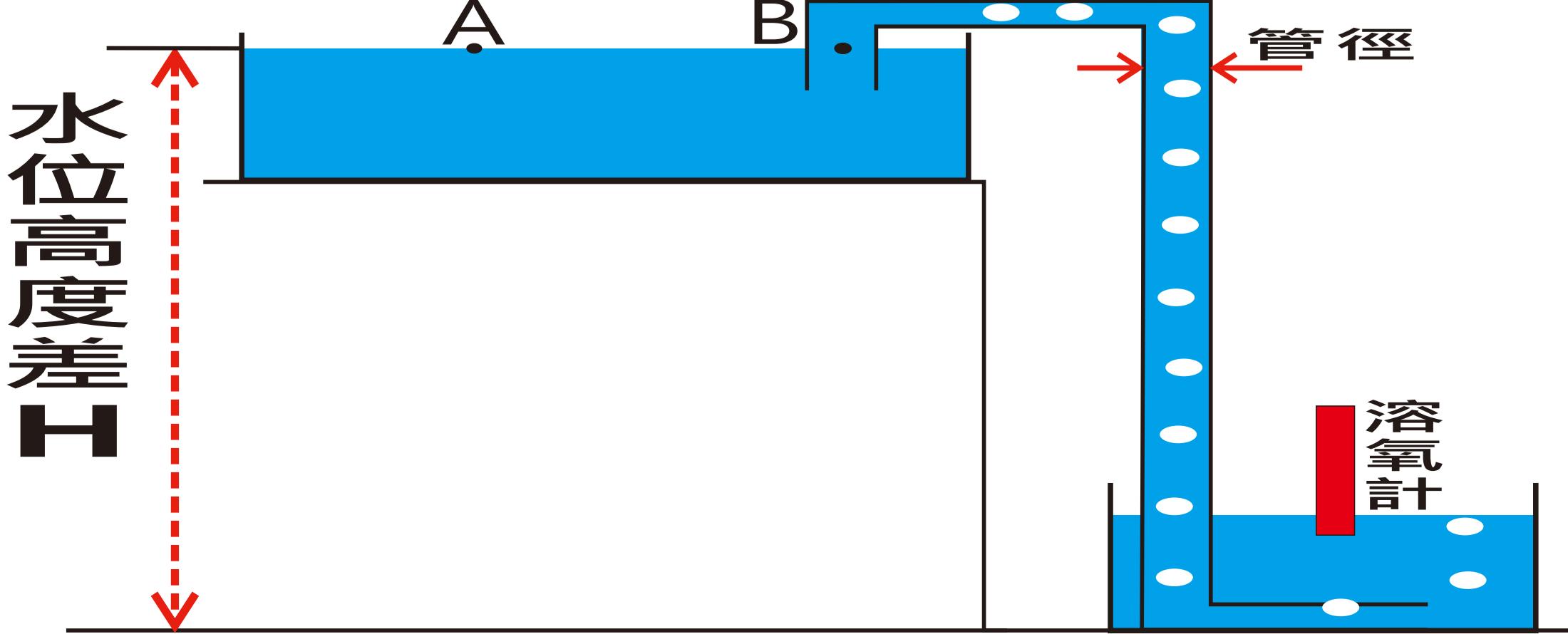
- 改良傳統打氣機可達增氧目的並節約能源與成本。
 - 所有改良設備皆需外接電力或輔助動力。
- 綜合以上探討，本研究期望在不插電、無耗能的前提下，設計出簡易裝置結合既有供水設備，在最簡的成本下，找出增加水中溶氧量的最佳解決方案。

四、原理探討與研究架構

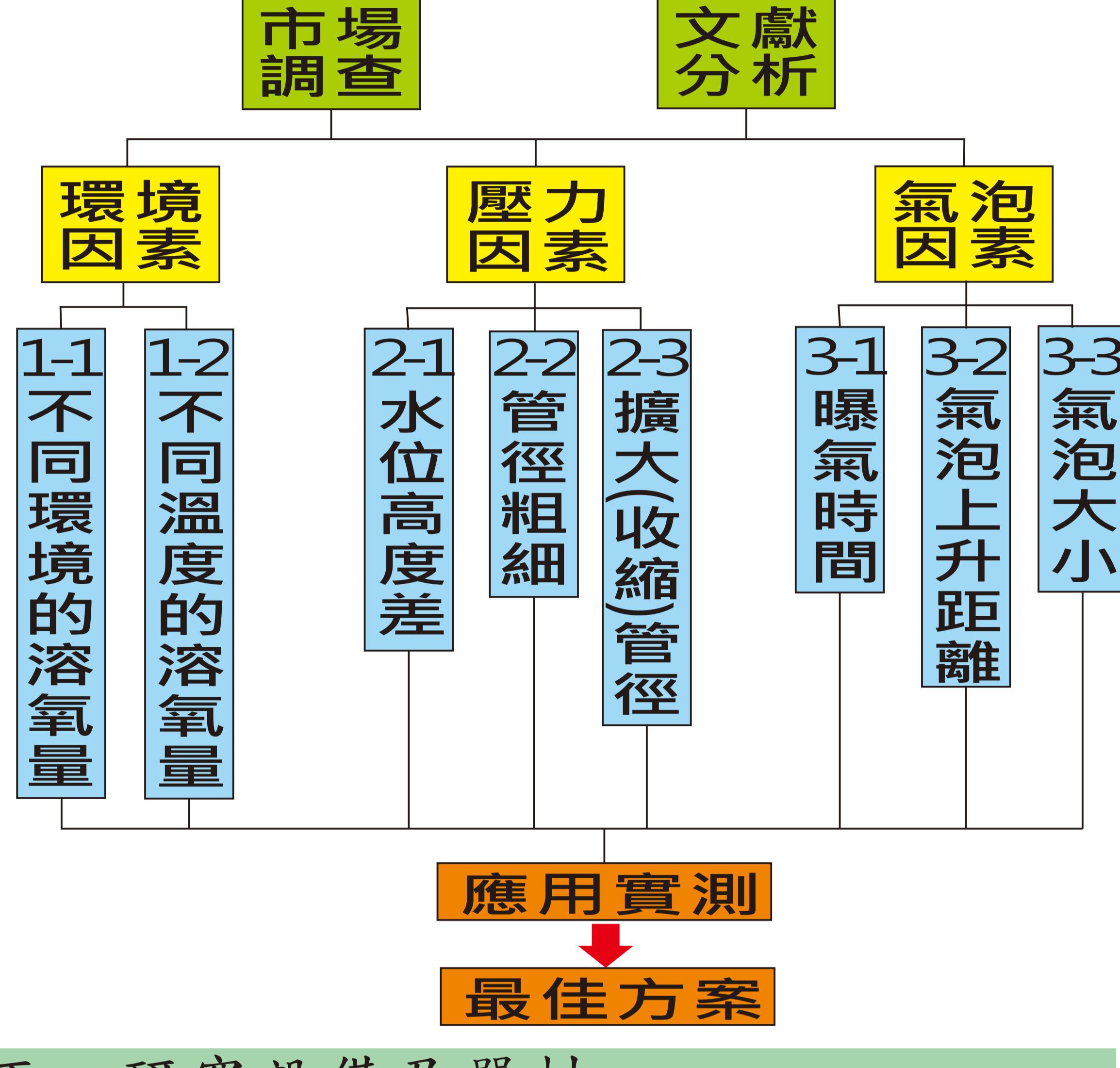
(一) 原理探討

$$\text{穩定水流會遵守白努利方程式: } \frac{P}{\rho} + H + \frac{V^2}{2g} = \text{常數}$$

靜止水面 $P_A = 0$ (相對壓力)，同高度水流管中 $P_B < 0$ ，因負壓利於吸入空氣，且管中流速愈快壓力愈小，因此於水管上方加裝進氣閥，即可吸入空氣。

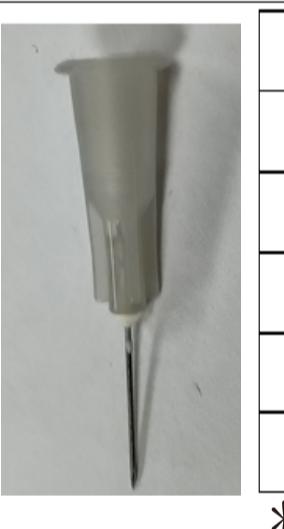


(二) 研究架構



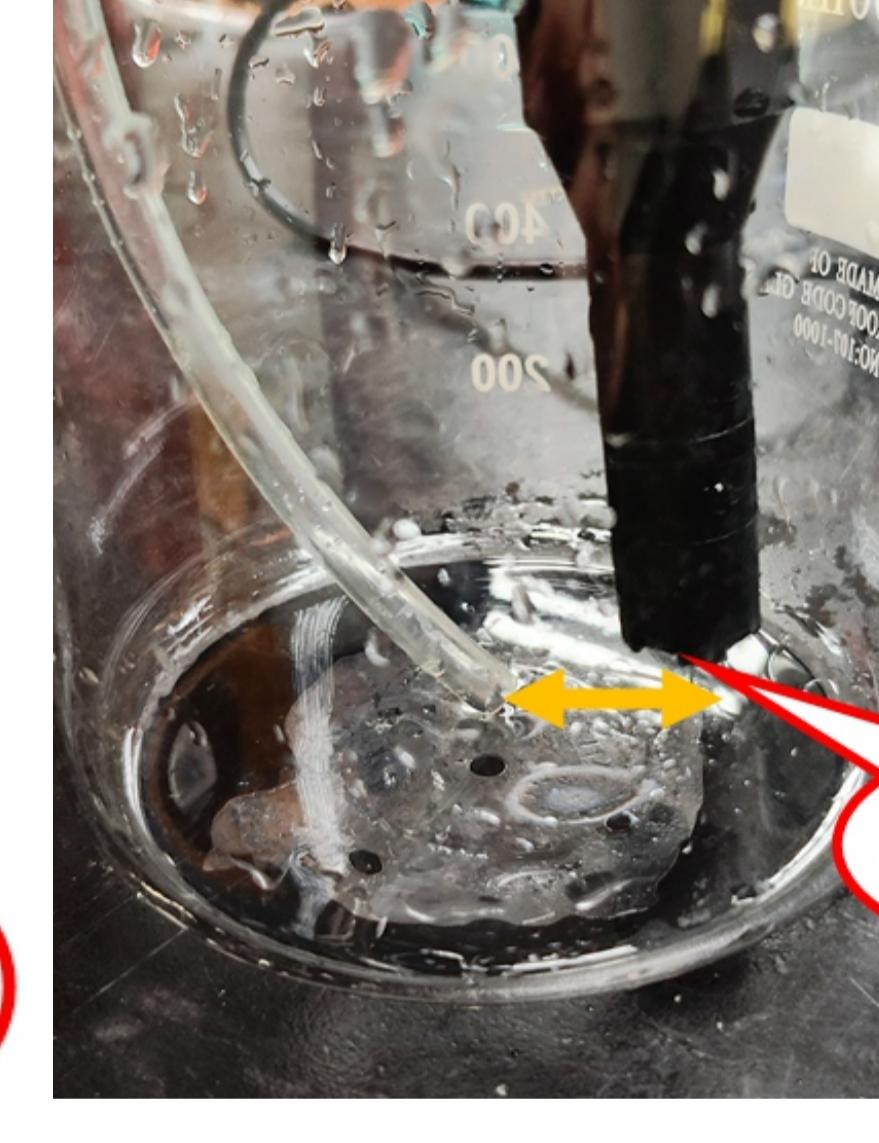
五、研究設備及器材

(一) 研究設備

溶氧計1	溶氧計2	高速相機
		
解析度0.1mg/L 準確度+0.3mg/L 只能測表面水溶氧	解析度0.1mg/L 準確度+0.4mg/L 可測深層水底溶氧	
進氣閥	醫用針頭	各式內徑軟管、容器、馬錶、卷尺等
		可調氣泡大小: 大氣泡(3-6 mm) 小氣泡(2-4 mm)
	針頭型號孔徑 18G 1.2 mm 23G 0.6 mm 25G 0.5 mm 27G 0.4 mm 30G 0.3 mm 產生的氣泡粒徑 2.0-2.5 mm 1.8-2.1 mm 1.4-1.8 mm 0.8-1.5 mm 0.4-0.5 mm	
		*氣泡粒徑與高度差或流速無關

(二) 溶氧計：測量原理相同，相同位置測量數據接近。

溶氧計1



(二) 溶氧量測量標準：

1. 靜置水

溶氧計由空氣放入水中，測量數值初始會快速下降，再逐漸緩降至穩定，若未持續打氣，約經過20分鐘，水中溶氧量皆會降至約5.0mg/L，本研究取溶氧量下降曲線第2~6分鐘平均值當成測量值。

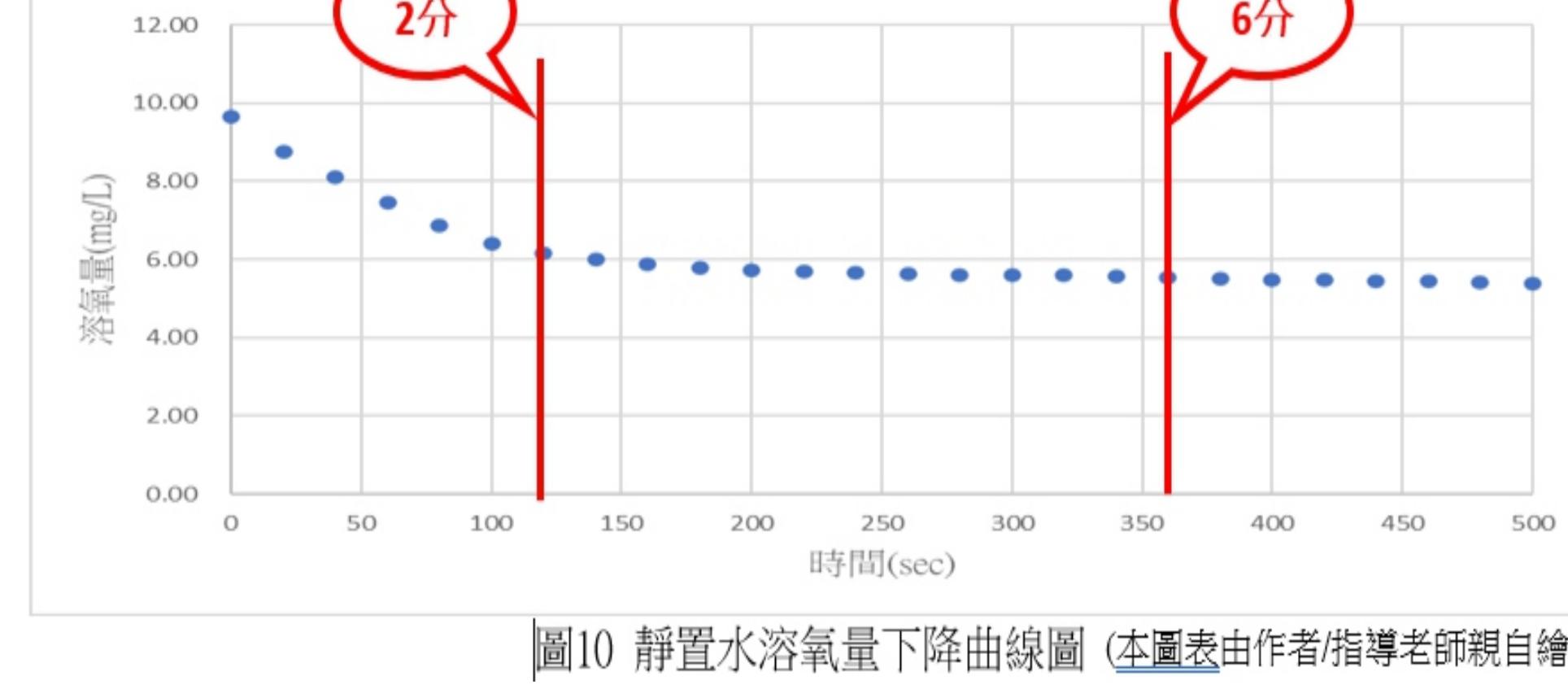
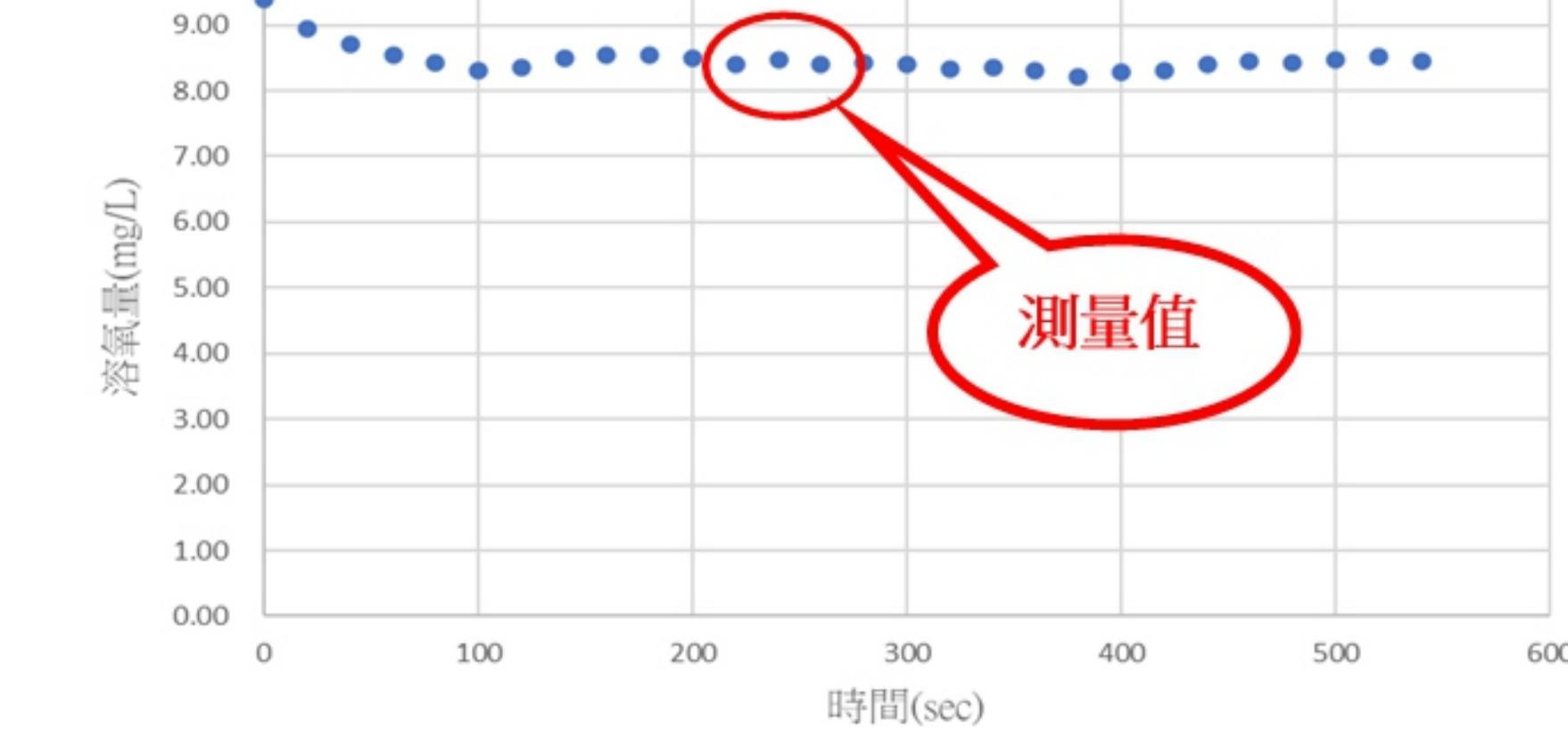


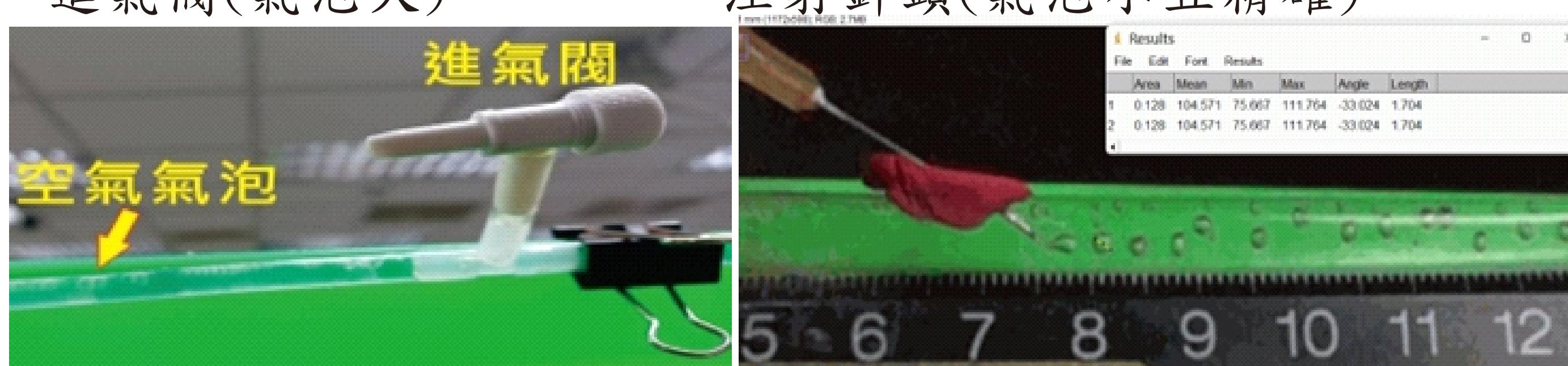
圖10 靜置水溶氧量下降曲線圖 (本圖表由作者/指導老師親自繪製)

2. 流動水：以出水(氣)孔附近，水流穩定處為測量位置，並以量測後顯示穩定的數值為測量值。



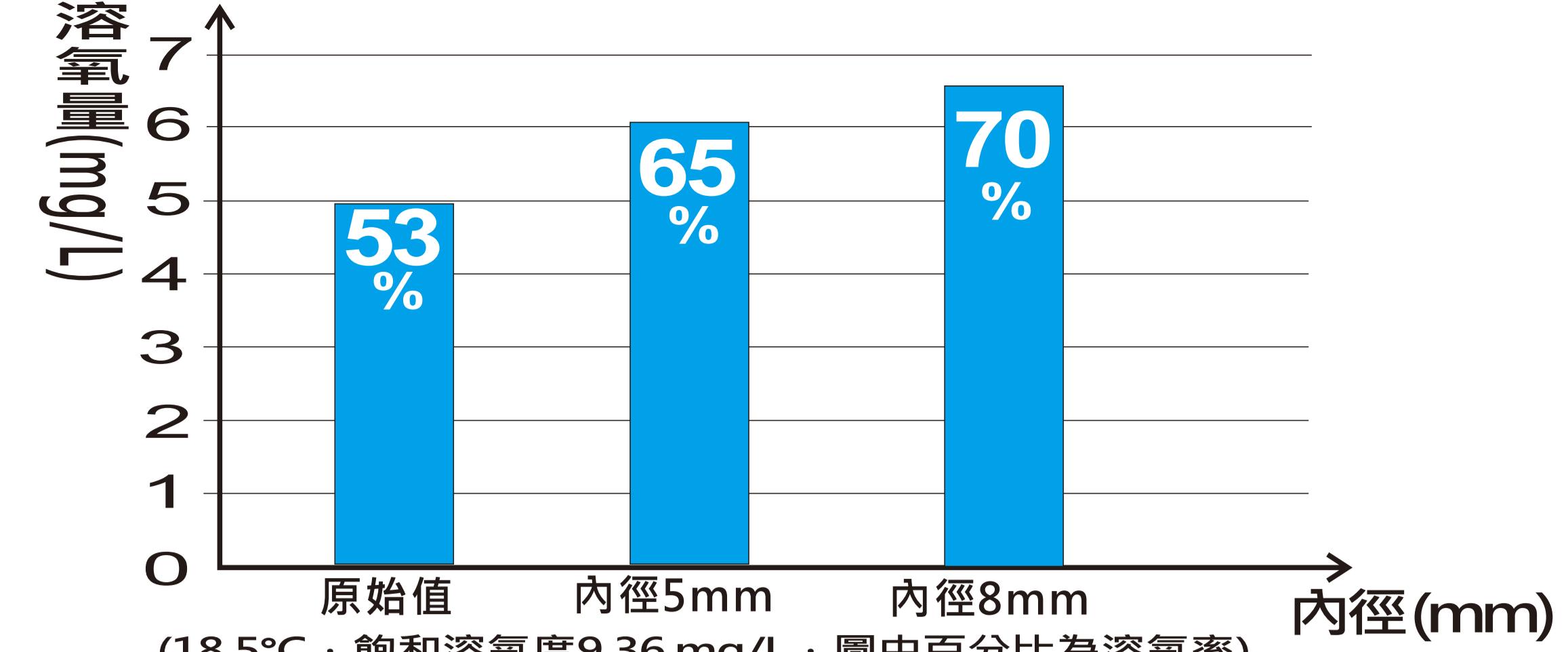
圖十一 流動水溶氧量變化曲線圖

(三)控制氣泡大小 進氣閥(氣泡大)



注射針頭(氣泡小且精確)

(四) 實驗2-2:管徑大小對溶氧量的影響
控制水位高度差180cm，使用內徑5mm、8mm橡皮管，控制進氣閥進入穩定氣泡，重複實驗步驟2-1，測量溶氧量。

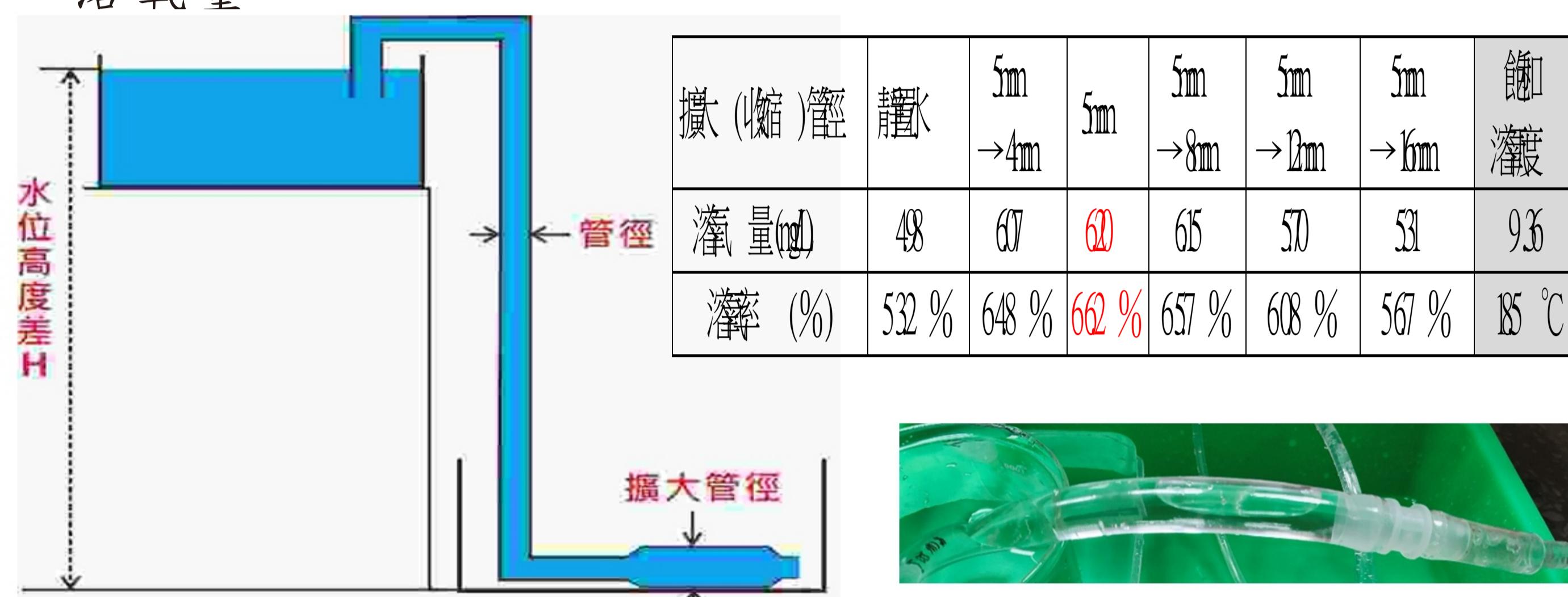


實驗結果:

內徑愈大，溶氧量愈高，推測因大管徑導致流速增加，壓力降低所致。

(五) 實驗2-3:擴大或收縮管徑對溶氧量的影響

- 由連續方程式： $A_1V_1=A_2V_2$ ，管徑加粗會降低流速，由伯努利原理可知，在相同高度下會因此增加水壓，提升溶氧。
- 取內徑5mm橡皮管，控制水位差180cm，於水管底部接上長20cm，內徑分別為4、8、12、16mm橡皮管，依上述步驟測量溶氧量。

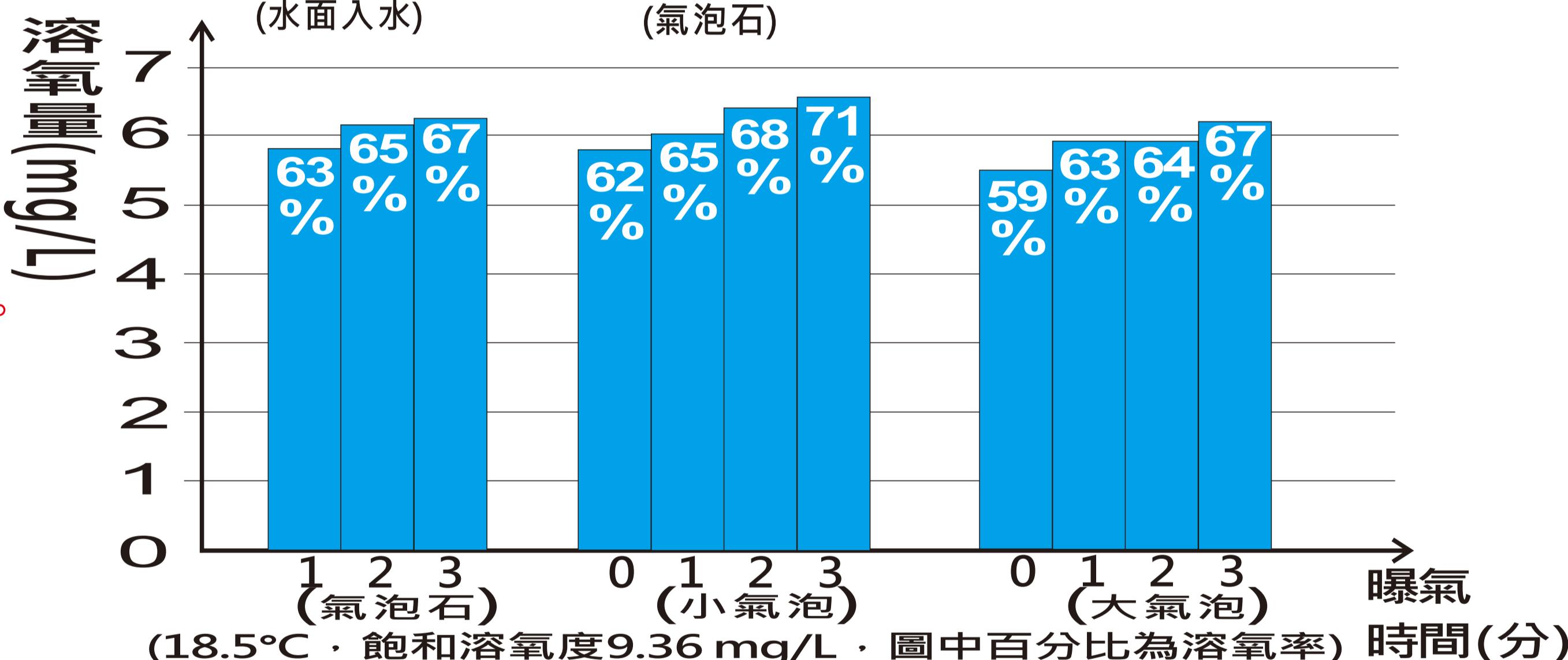
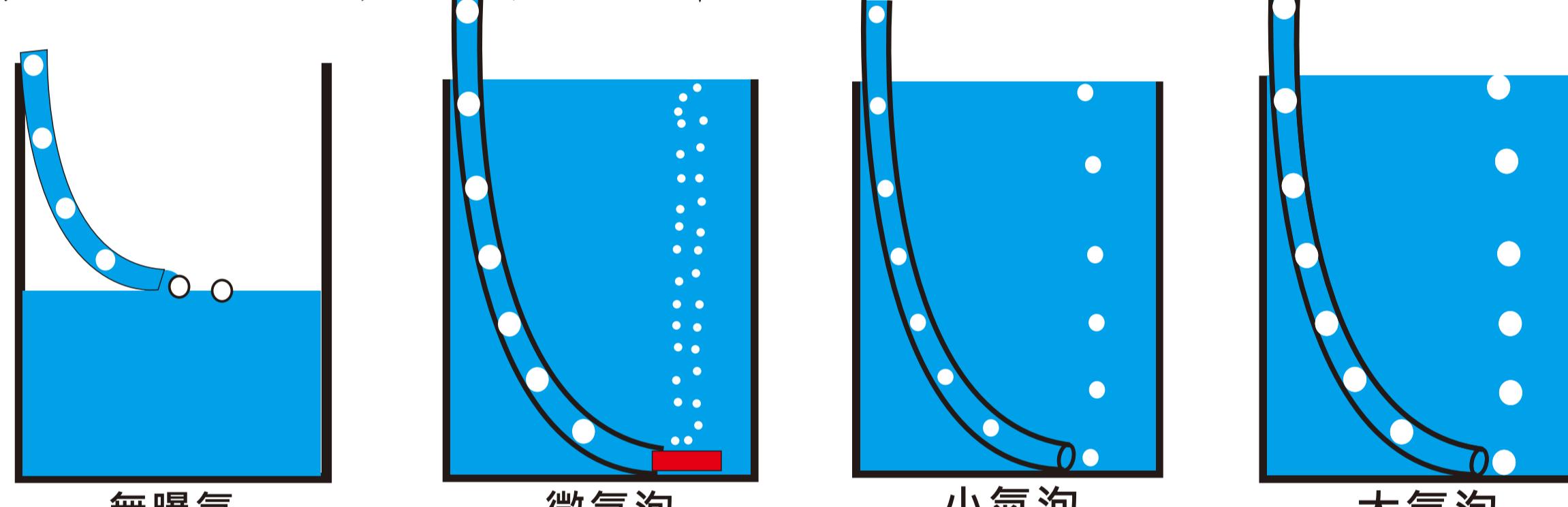


實驗結果:

- 擴、縮管無法明顯提升溶氧量，而且管徑擴大比例增加，溶氧效果逐漸降低。
- 實驗顯示氣泡流經擴大的管徑會導致流速變慢，氣泡聚集變大且造成阻礙，導致溶氧量無法有效提升。

(六) 實驗3-1:曝氣時間對溶氧量的影響

取內徑5mm橡皮管，控制水位差180cm，使用高19.5cm寶特瓶，以進氣閥調整氣泡大小，並將管口置於水面(曝氣0分鐘)，瓶底(曝氣1~3分鐘)，測量溶氧量。

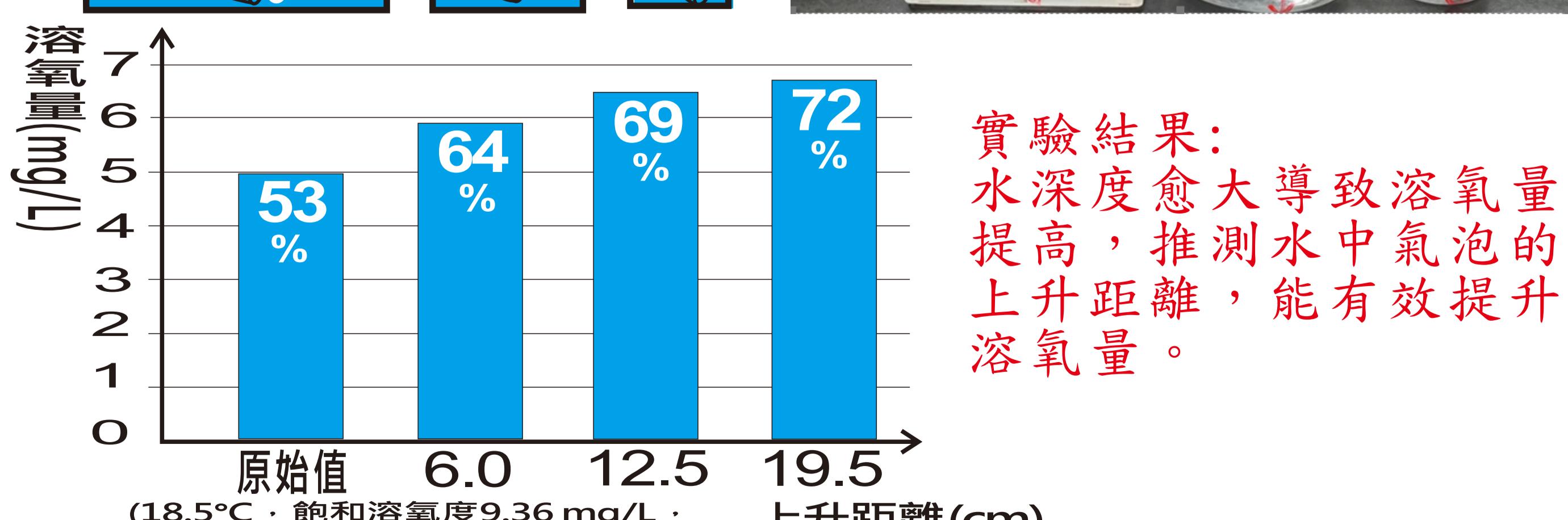
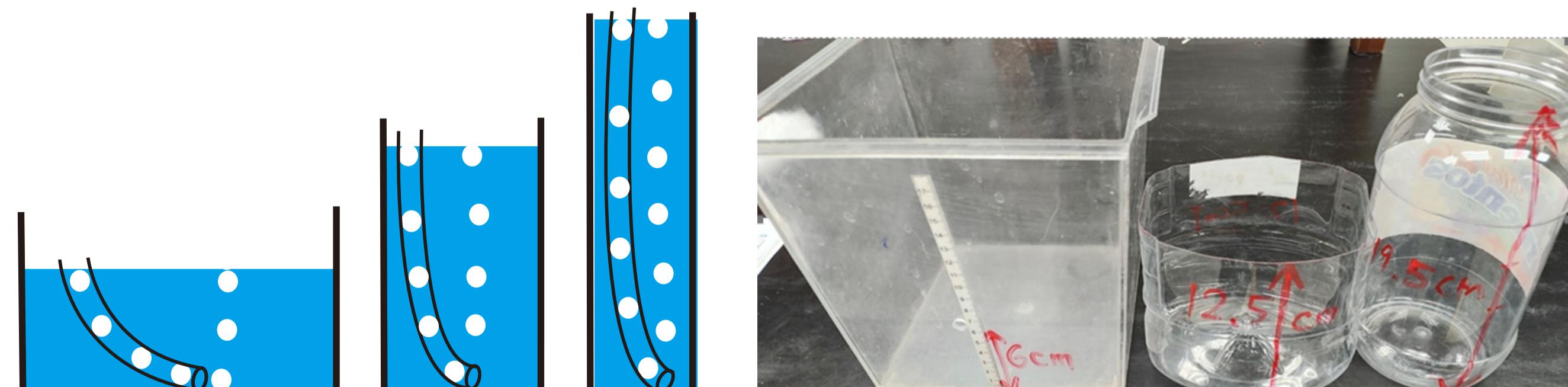


實驗結果:

- 曝氣時間愈久，溶氧量愈高。小氣泡溶氧效果優於大氣泡。
- 氣泡石產生氣泡雖然更小，但溶氧效果反而比小氣泡差，推測原因可能是氣泡石孔洞太小，阻力增加所致。

(七) 實驗3-2:氣泡上升距離對溶氧量的影響

將不同底面積容器注入同體積水，控制水深分別為6.0cm、12.5cm及19.5cm，重複上述實驗步驟曝氣4分鐘，測量溶氧量。



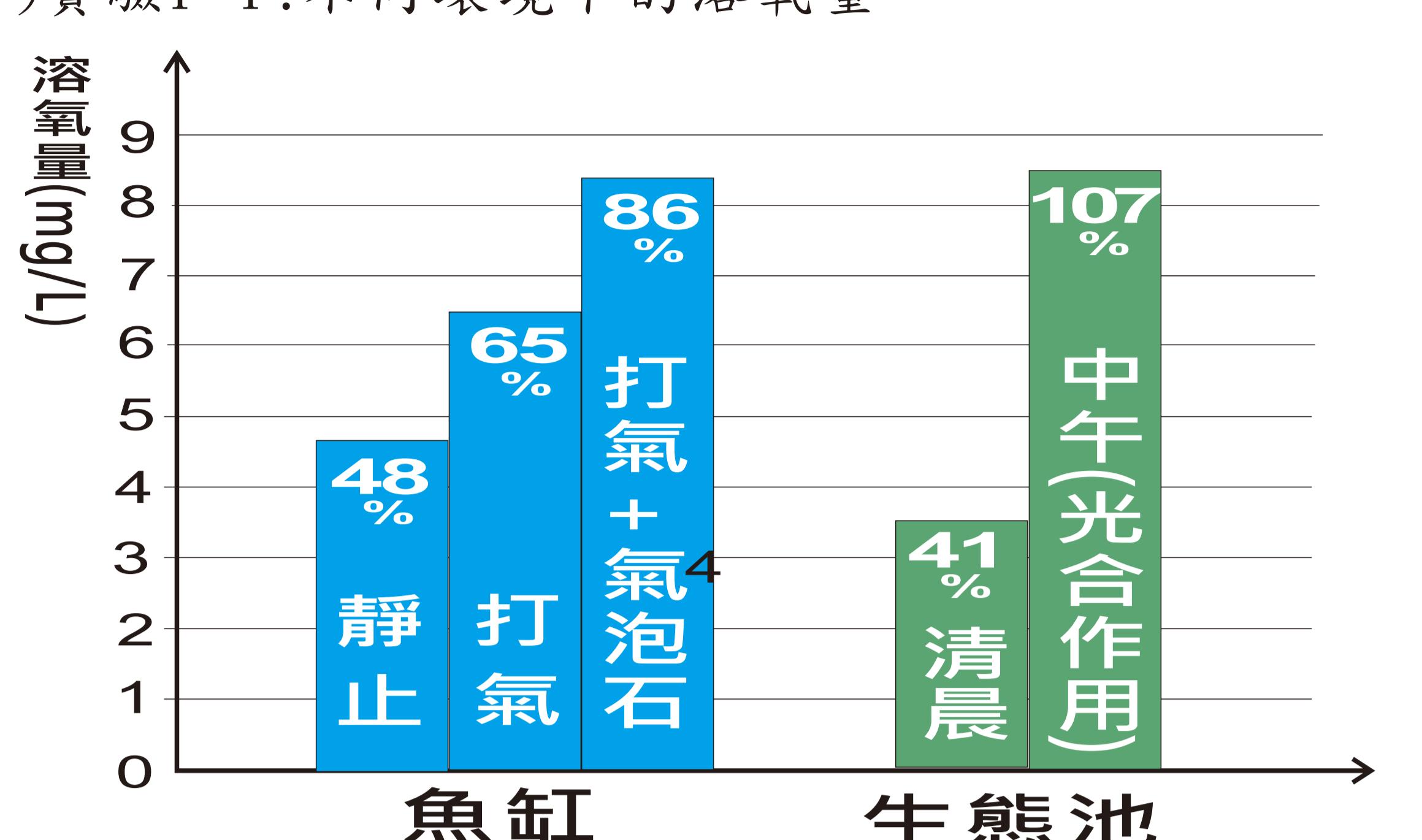
實驗結果:
水深度愈大導致水中溶氧量的上升距離，能有效提升。

(八) 實驗3-3:氣泡大小對溶氧量的影響

控制水位高度差180cm，分別使用內徑5mm與8mm橡皮管，調整進氣閥控制氣泡大小，持續注水打氣於1000ml滿水燒杯中，測量底部出口溶氧量。

六、研究結果

(一) 實驗1-1:不同環境下的溶氧量



1. 打氣或流動過濾可提升溶氧量，氣泡石產生小氣泡效果更佳。

2. 生態池需水生植物行光合作用來提升溶氧量。

(二) 實驗1-2:不同溫度的溶氧量

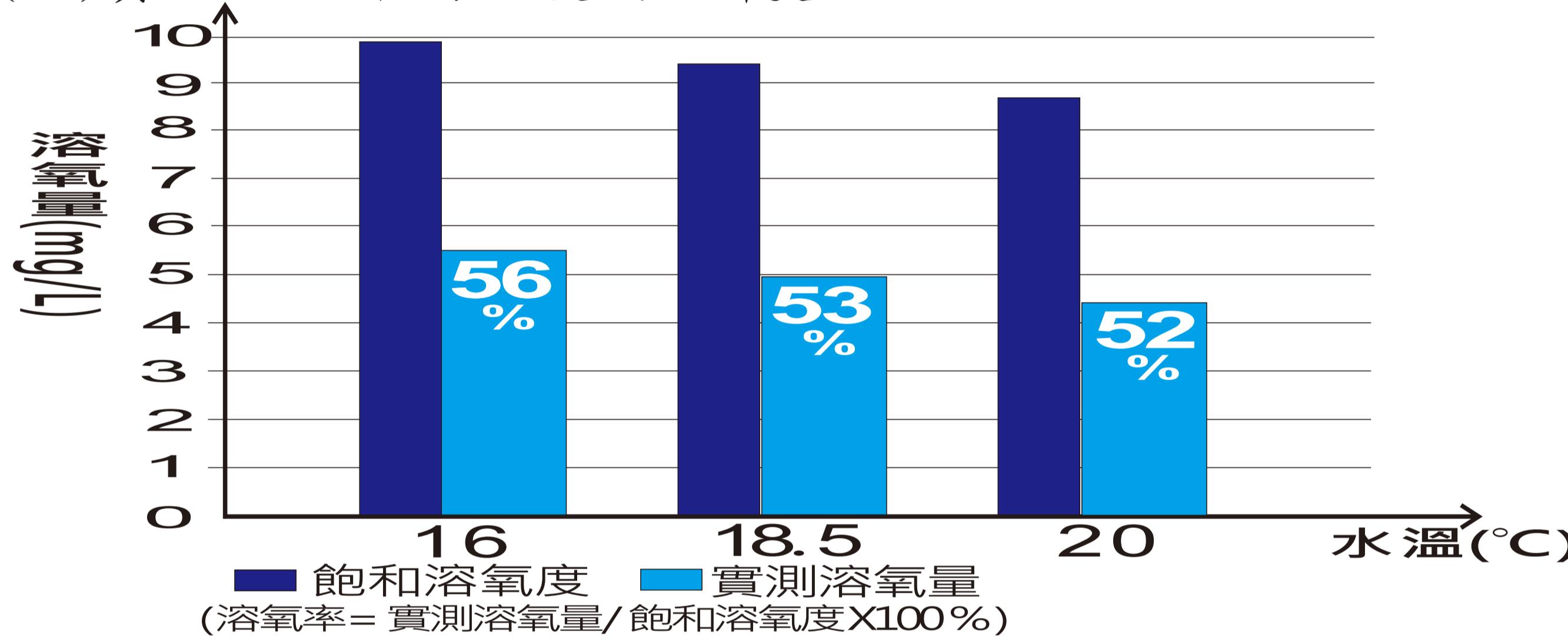


表5 溶氧量生物指南(本表由作者/指導老師親自繪製)

溶氧量 (mg/L)	水生生物適宜性
5.0 - 14.0	適合大多數魚類和水生生物
3.0 - 5.0	壓力很大，許多物種都在努力生存，尤其是在長時間內
1.0 - 3.0	嚴重的壓力，只有非常耐寒的物種才能生存
<1.0	對大多數魚類和無脊椎動物致命；只有少數耐受的生物可以存活

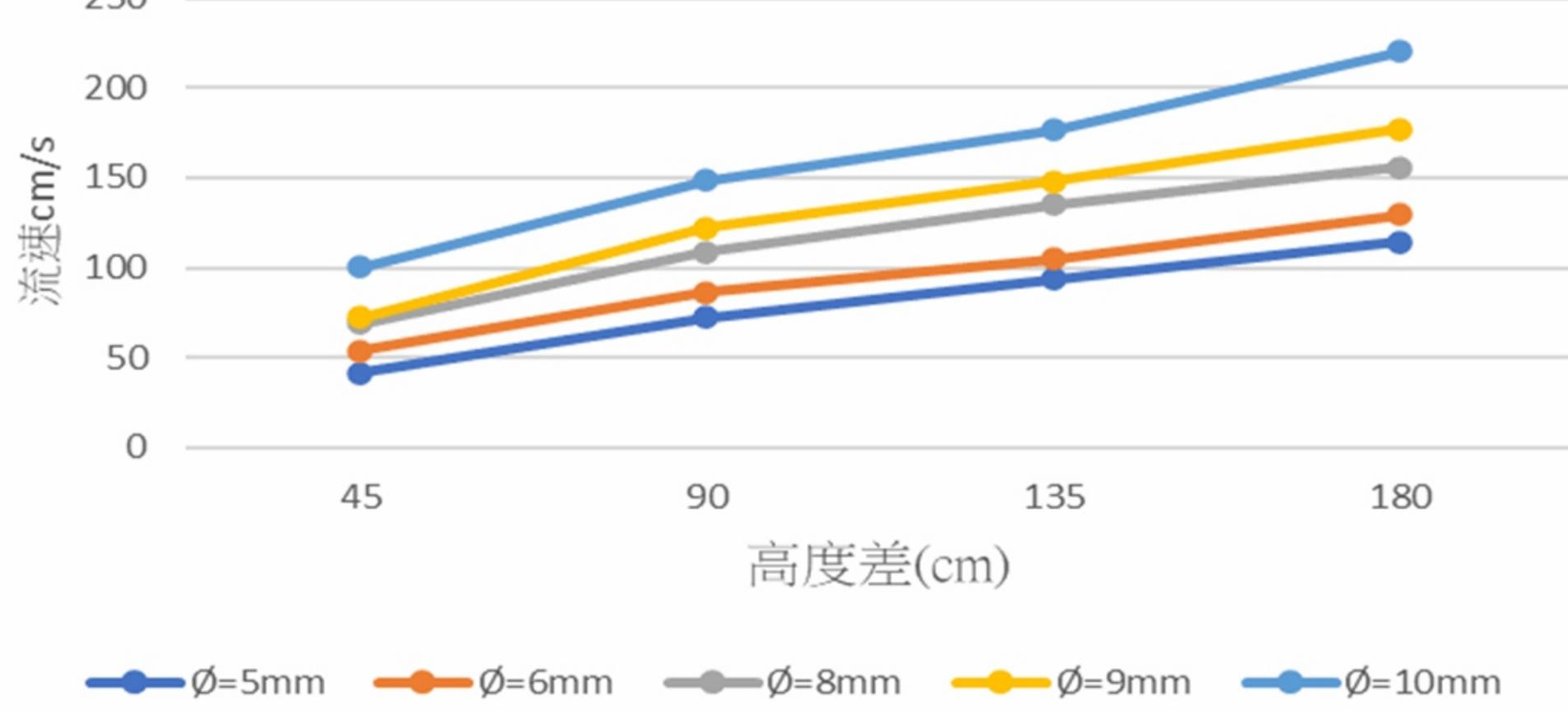
1. 上圖顯示溫度愈高，實測溶氧量與溶氧維持率愈低，推測高溫導致氣分子動能增加，容易由水中跑出，降低溶氧量。
2. 近年來地球暖化及環境熱汙染造成水溫上升，若無適時補充溶氧，對水中生物生存與生態平衡會產生威脅。

(三) 實驗2-1 水位高度差對溶氧量的影響

1. 測量不同高度差/不同管徑流速:

實驗結果:

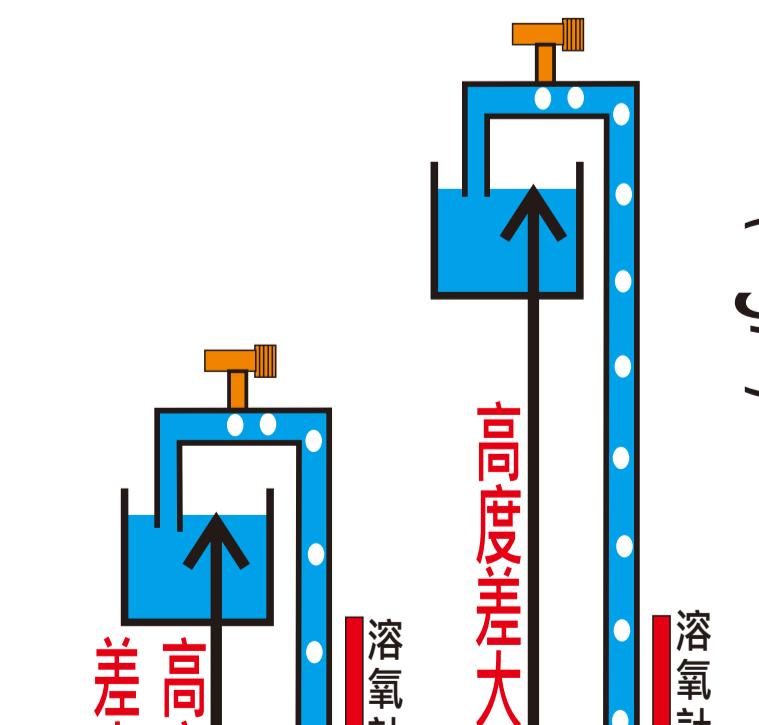
不同高度差及不同管徑與流速快慢的關係



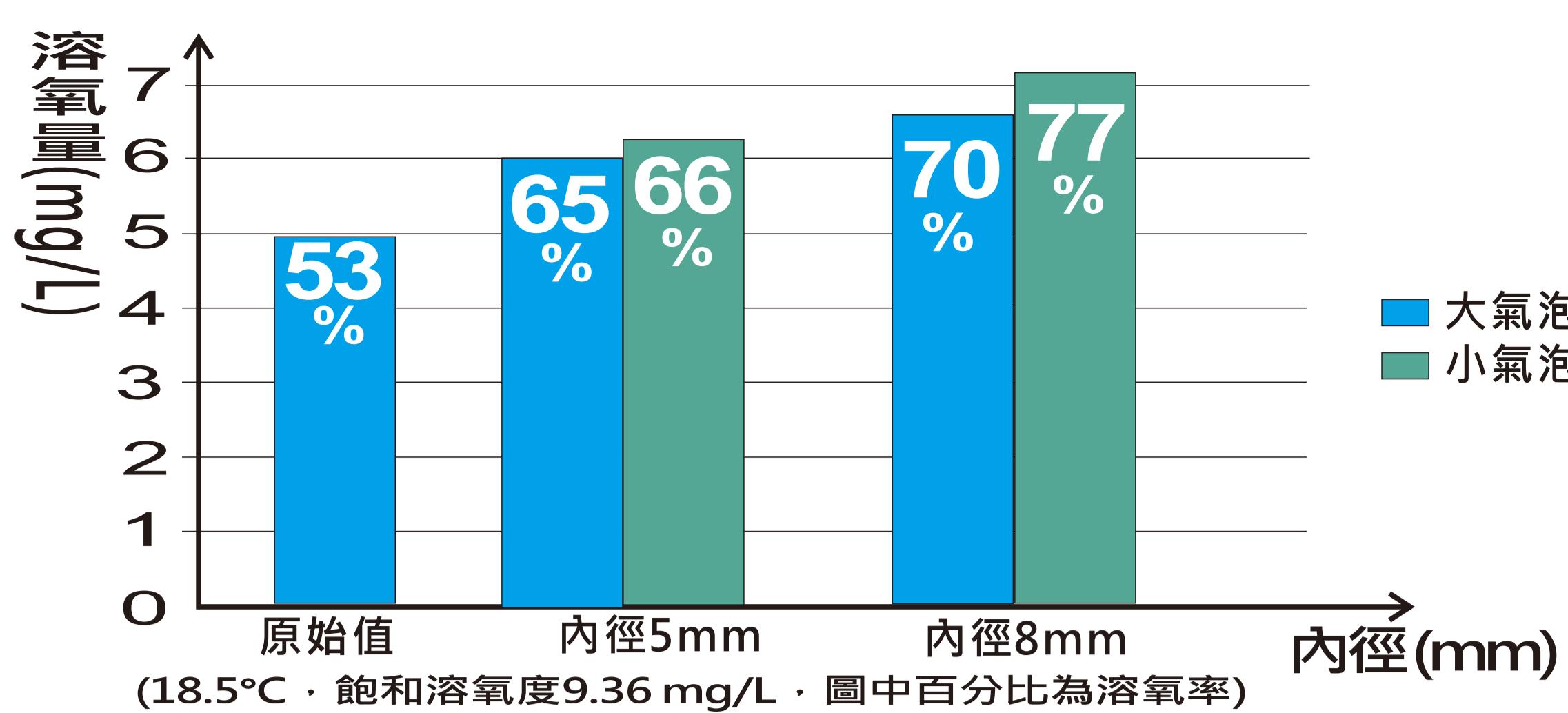
(1) 水位高度差愈大，管徑愈粗。管中流速愈大。

2. 測量溶氧量:

控制水位高度差45cm，使用內徑5mm橡皮管與進氣閥，持續注水打氣於1000mL滿水燒杯中，測量溶氧量，依序調整高度差為90cm、135cm、180cm，重複上述步驟。



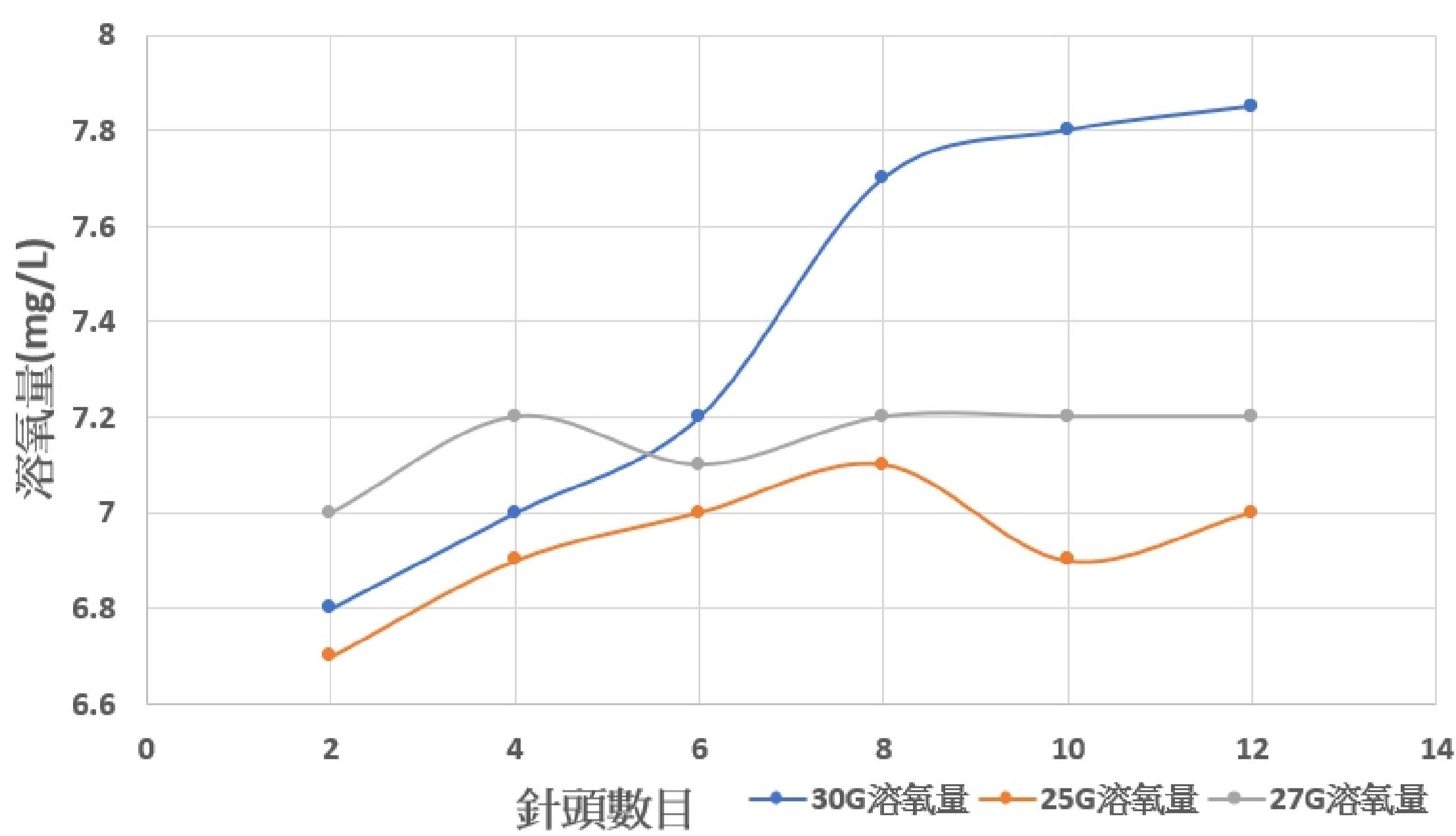
(1) 不同高度差皆能提高溶氧，高度差愈大，溶氧量愈高。
(2) 由伯努利原理可知流速大導致壓力降低，進氣閥吸入的空氣氣泡與管內水流壓力差變大，有助於氣體溶於水。
(3) 流速增加，進入管內的空氣氣泡更細微，氣體與水接觸總表面積變大，有助於氣體溶於水。



1. 不同管徑的小氣泡都能提高溶氧量，尤其8mm管徑提升效果更明顯，推測流速高，氣泡小有助於溶氧。

(九)微氣泡對溶氧量的影響：

控制水位高度差180cm，使用內徑5mm橡皮管，上方分別採用30G、27G、25G等口徑針頭入氣於1000mL滿水燒杯，測量燒杯底部中央出口附近溶氧量。



實驗結果：

1. 30G針頭產生的微氣泡能有效提升溶氧量，針頭數量愈多，溶氧量愈高，但是數量由8個增至12個，溶氧增加幅度逐漸緩和，推測水中溶氧接近飽和。
2. 27G針頭的溶氧量增幅較低，推測氣泡較大所致。
3. 25G針頭溶氧量在針頭數8個以內，會隨數量逐漸增加溶氧，但超過8個後卻會降低溶氧，推測是氣泡較大，在水管中流速較慢，易於聚合成大氣泡，減少與周圍水的接觸面積。

(十) 實驗4：應用實測

1. 為避免藻類光合作用提升溶氧，實驗於清晨7點於生態池進行實測，水中原始溶氧量約3.6mg/L。
2. 控制水位高度差180cm，使用內徑5mm橡皮管，10個30G注射針頭產生穩定微氣泡，出氣管口位於生態池底(水深約25cm)，溶氧計測點位於水面下2cm，由出氣口起始，每隔10cm為一個測點，曝氣10分鐘後即可測得穩定的溶氧值，裝置如下圖。

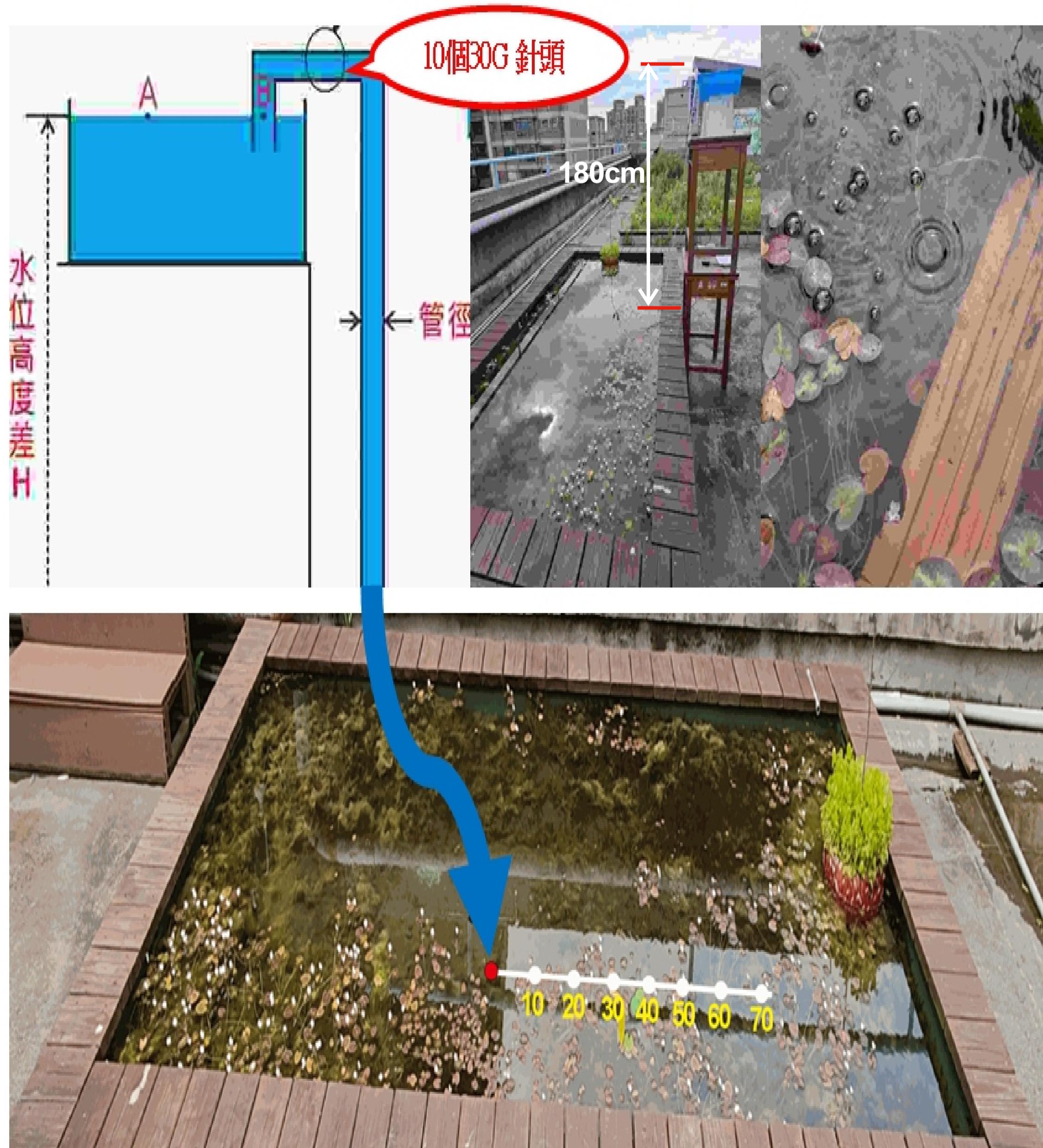


圖21 生態池測量示意圖 (生態池尺寸：長172cmx寬385cmx高12cm)

實驗結果：

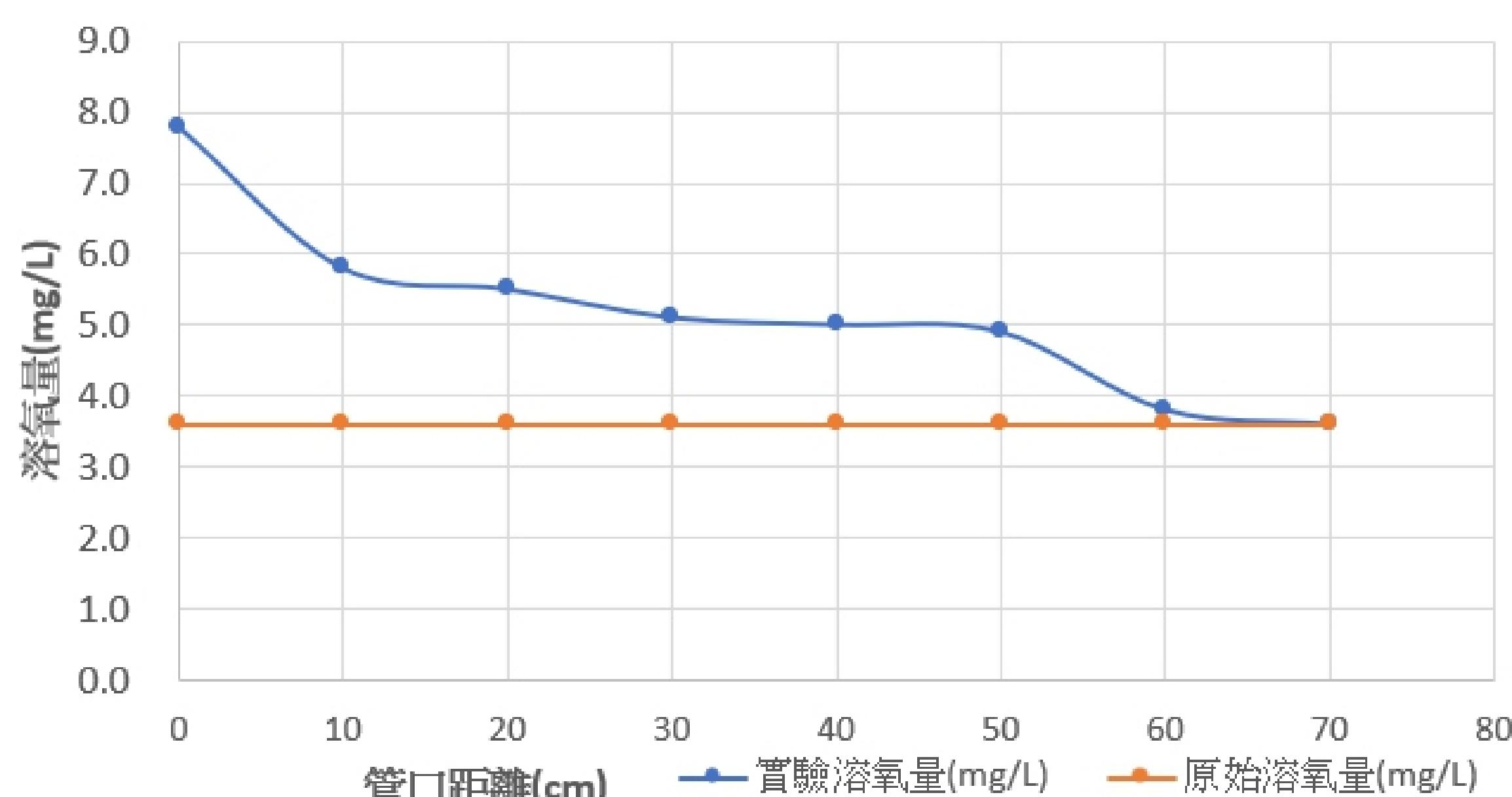


圖22 實驗/原始溶氧量與管口距離之關係

實驗結果：

1. 實驗設計裝置可以在出氣口50cm範圍內，有效提升溶氧量，距離出氣口50公分範圍之外，溶氧量即大幅減少至環境原始值。
2. 因管口持續冒出氣泡，溶氧量提升會吸引池中小魚群聚於管口附近。

七、討論

(一)量測穩定性與修正

水體流動或受氣泡擾動會影響溶氧計數值，應減少量測時水體波動或氣泡干擾；經驗顯示測點選擇以出水(氣)口旁3~5公分最佳。若水體穩定且無氣泡干擾，約1~2分鐘可測得穩定數值。

(二)實驗2~3 擴大管徑部分

擴大管徑造成管中流速變慢，小氣泡易匯聚成大氣泡而增加管中流動阻力，無法產生預期加壓效果，市售增氧機主要利用馬達加壓搭配文氏管原理產生氣泡，而本研究利用虹吸原理帶動水流，尚不足以產生足夠動力增加溶氧，只能透過更多微氣泡增加溶氧。

(三)期待與展望

本研究最終設計出無動力增加水中溶氧量的裝置，能夠造福所有需氧生物，期待結合所有形式之增氧機，解決因缺電而缺氧導致生存環境惡化情況，未來應用方向如下：

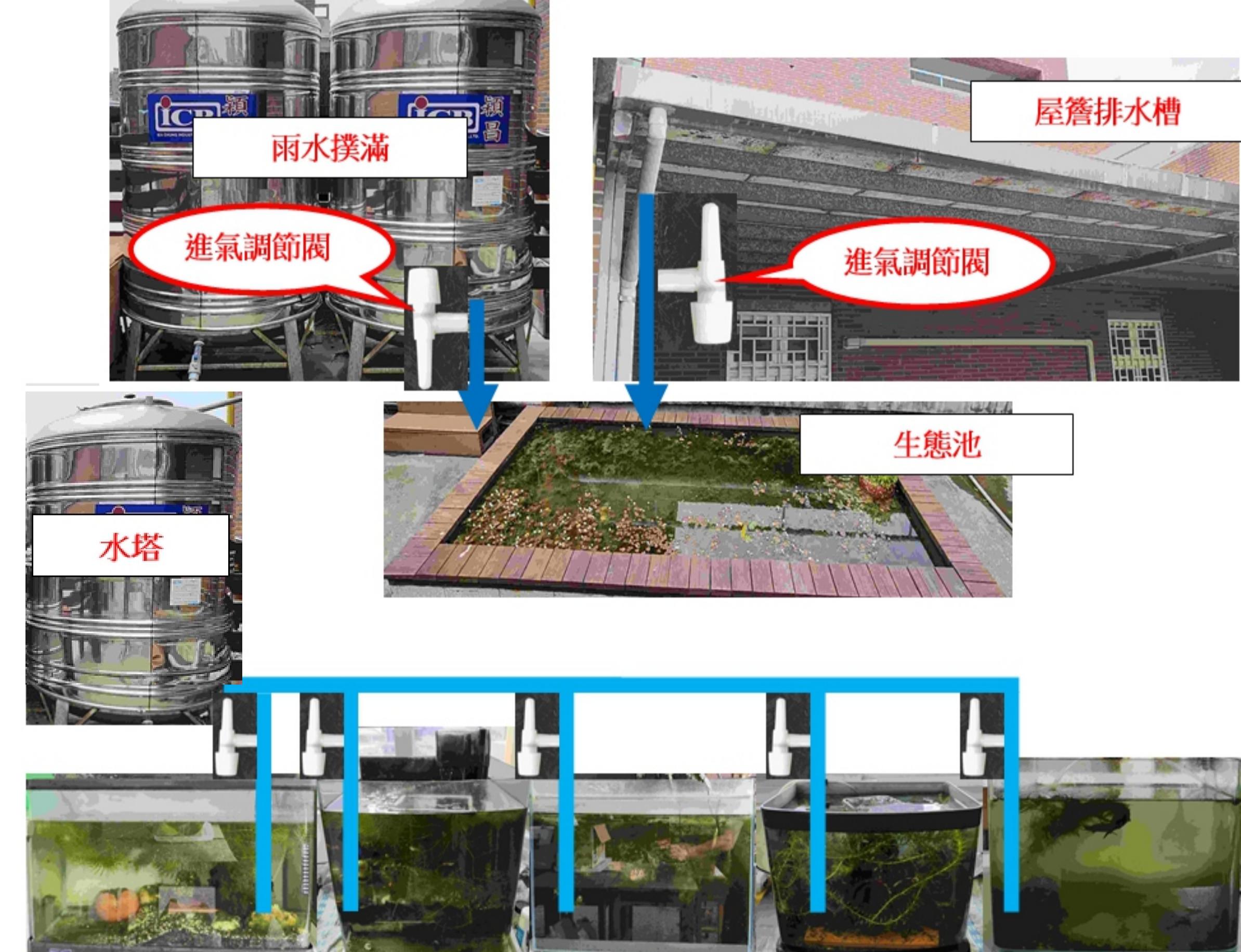
1. 小型水體：家庭水族箱

(1)透過人工補水方式，補充上層水體，利用本裝置在魚缸注水同時增加水中溶氧。

(2)外掛式過濾器亦可結合本研究設計裝置在過濾的同時又增加溶氧量。

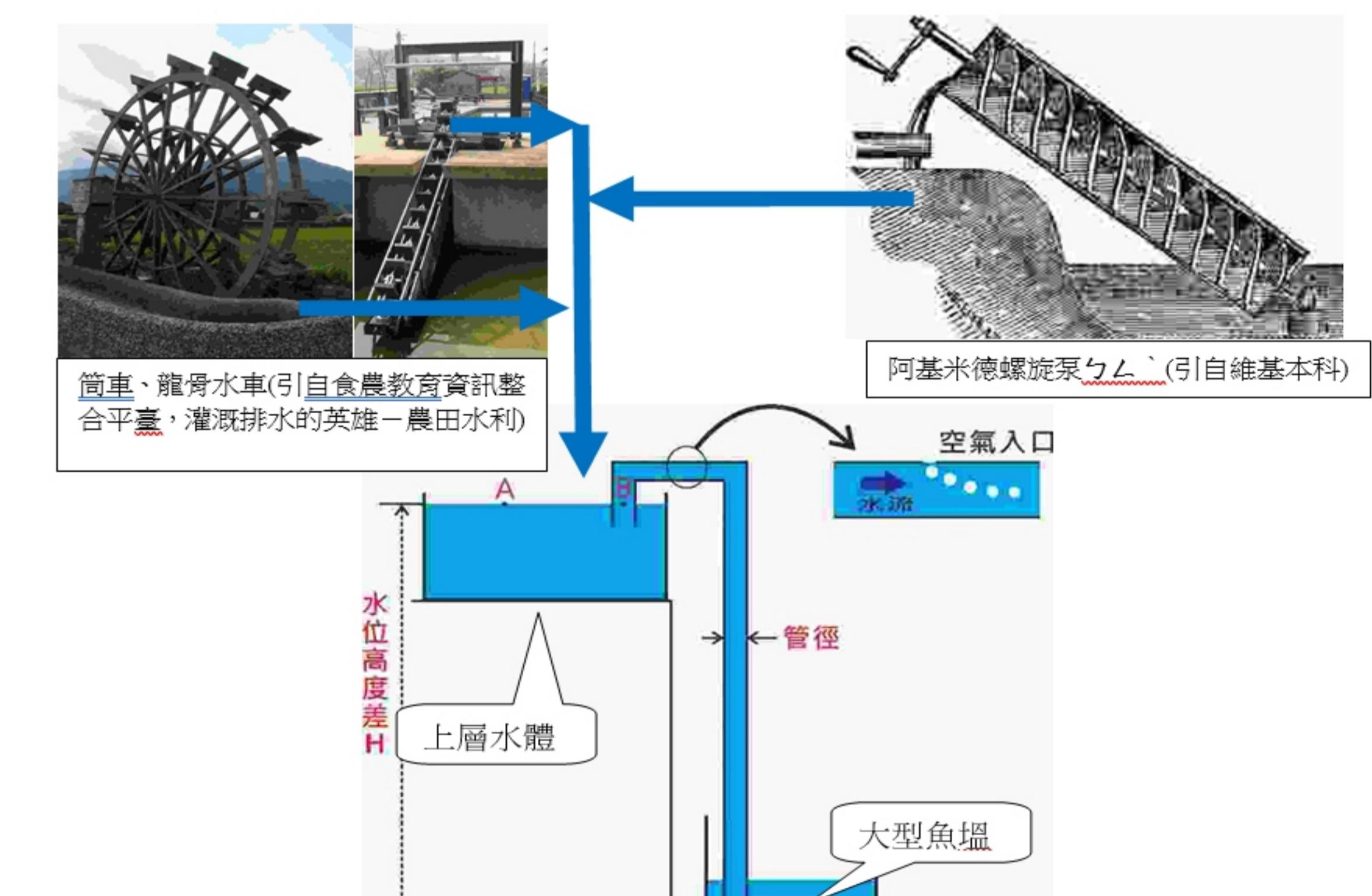
2. 中型水體：水族量販店、生態魚池

透過屋頂集水系統或水撲滿補充上層水體，連結至本研究的無動力溶氧裝置，並透過連通管原理建構智慧注水裝置，以持續增加水中溶氧量，如下圖裝置。



三、大型水體：魚塭及水產養殖場

結合農業灌溉系統，例如水車、阿基米德螺旋泵等，利用風力或水圳的水動能，持續補充上層水體，在連結至本研究的無動力溶氧裝置，整體能維持無動力狀態以達到節能減碳效果。



八、結論

(一)提高水溫會降低水中溶氧。

(二)提高高度差會增快流速，降低水壓，由進氣閥吸入的空氣泡會較小，且因壓力差變大造成溶氧量增加。

(三)擴大(縮收)管徑並未明顯增加溶氧量，擴大管徑過大會阻礙氣泡流動，影響溶氧效果。

(四)曝氣時間愈久，氣泡上升距離愈長，能有效提升溶氧。

(五)高度差180cm，30G針頭產生微氣泡能有效提升溶氧量，針頭數目愈多，溶氧量愈高，但會逐漸接近飽和。

(六)使用10個30G針頭在曝氣10分鐘內，可在出氣口50cm範圍內，提升生態池溶氧量約16~28%。

九、參考文獻資料

一、李宜真、李庭榮、李偉承、方慶東(2010)。養殖新選微泡充氣機。中華民國第49屆科展。

二、莊相然、吳培綱、邱佩庭(2013)。水生溶氧度的探討。中華民國第53屆科展。

三、黃子瑋、陳文娟、李佩綱、黃新穎(2020)。尋找「水車增氧妙招」。中華民國第60屆科展。

四、環境部 全國環境水系監測資訊網。

五、水資源局 水質定期評定報告。

六、Dissolved oxygen Understanding its Importance in Water Quality 取自 <https://www.noaa.gov/tewop/zh/Encyclopedia/WaterKnowledge/Encyclopedialist.aspx>

七、Amartrastrafarm.blogspot.com/2014/10/blog-post_3.html?m=1

八、Amartrastrafarm.blogspot.com/2014/10/blog-post_3.html?m=1