

中華民國 第 49 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

第三名

030817

養殖新選~微泡泡水機

學校名稱：宜蘭縣立復興國民中學

作者：	指導老師：
國三 方雯儀	方琮民
國三 李庭萱	吳欣怡
國三 李侑承	
國一 方琮儀	

關鍵詞：微泡泡水機、白努利定律、溶氧量

養殖新選~微泡泡水機

摘要

水產養殖場以打水車攪動液面，目的為增加溶氧量，然而有下列缺失：

- 1.打水車只在液面翻動，養殖池底部無法充分得到氧氣。
- 2.空氣氣泡體積大，氧氣停留在水中的時間很短暫。
- 3.打水車機械裝置易損壞，常常需要維修。
- 4.水車要不停轉動才能維持高含氧，必須消耗大量電能。

為改善以上缺失，我們利用白努利原理，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，並經由漸擴的管子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。



養殖新選~微泡泡水機

壹、研究動機：

濱海公路旁，打水車持續轉動揚起水花，增添了一些鄉間景致。魚塢養殖場以「打水車」攪動液面，目的就是爲了增加溶氧量；經由討論，我們認爲打水車存在著下列缺失：

- 1.打水車只在液面翻動，養殖池底部無法充分得到氧氣。
- 2.空氣氣泡體積大，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.水車要不停轉動，必須消耗大量電能。

爲了解決以上問題，於是，我們展開了製造微泡泡水之旅。期望能製造一個供氣裝置，將空氣變成小分子溶入水中，除了可以增加溶氧量，又能讓空氣在水中停留的時間增長。如此，水質因爲高含氧而活化清澈，養殖成本也因爲電費減少而大幅降低。

貳、研究目的：

- 一、利用壓克力製造「微泡泡水機」，製造高含氧裝置以取代打水車。
- 二、了解喉管截面積對喉部空氣流速、壓力與空氣吸入量的影響。
- 三、了解入水角度、出水角度對喉部空氣流速、壓力與空氣吸入量的影響。
- 四、了解水流流量對喉部水流流速、壓力差的影響。
- 五、了解微泡泡水機可產生微小體積的空氣，增加溶氧量。
- 六、了解微泡泡水機可增長溶氧時間，減少電能浪費。

參、研究設備及器材

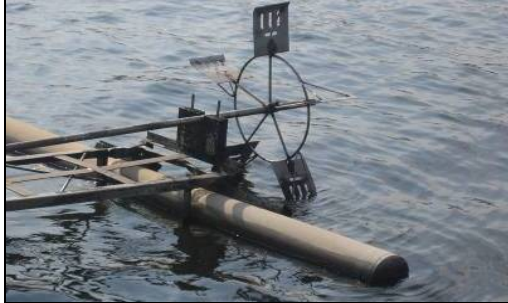
抽水馬達(110V、1/2Hp)、水量控制閥、溶氧計、溫度計、水槽、水銀、點滴導管、尺。
各式規格的微泡泡水機(空氣入口孔徑 1mm)

喉部管徑	入水口角度	出水口角度
2mm	30°	30°
4mm	15°、30°、45°	15°、30°、45°
5mm	15°、30°、45°	15°、30°、45°
10mm	30°	30°

肆、實驗步驟：

一、現況調查

1. 以「打水車」攪動水面，氣泡體積大易消失，池底水流流動循環情形不佳，為增加溶氧量必須不停的消耗電能。(養殖池大小：10m×10m×0.8m)

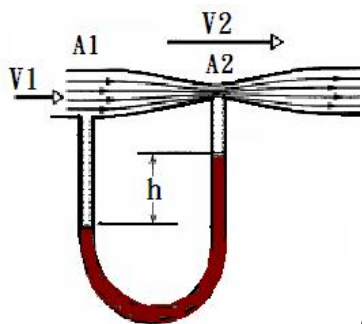


2. 使用「鼓風機」，雖然溶氧較多，但是大量的消耗電能，讓每個月的電費高達數十萬元，除了增添養殖成本與風險，更形成能源的浪費。(養殖池大小：5m×2.5m×0.7m)

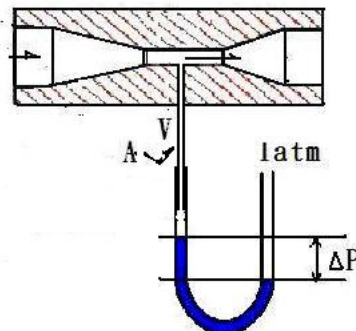


二、原理討論：

1. 如圖一，依白努利方程式 $P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gy = \text{常數}$



(圖一)



(圖二)

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gy_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gy_2 \quad \dots\dots(1)$$

同一水平高度

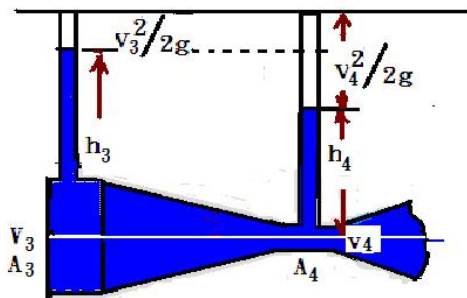
$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho V_2^2 - \frac{1}{2}\rho V_1^2 \quad \dots\dots(2)$$

2. 將裝置改成圖二，開口端空氣流速 $V_1 = 0 \quad \therefore \Delta P = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad \dots (3)$

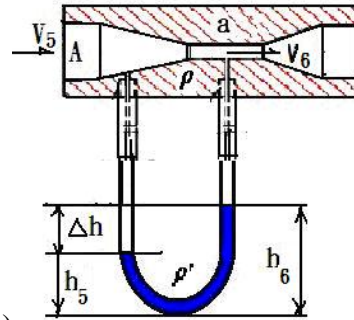
空氣吸入口半徑 R 則空氣流量 $Q = VA = V(\pi R^2) \quad \dots (4)$

因此只要知道空氣吸入口面積並測量大氣與空氣入口的壓力差，即可算出空氣吸入速度 V 及空氣流量 Q 。

3. 如圖三



(圖三)



(圖四)

設水不可壓縮、無能量耗損，單位時間內入水量 = 出水量 ($Q_3 = Q_4$)

由白努利連續方程式可得 $V_3 A_3 = V_4 A_4 \quad \therefore V_3 = \left(\frac{A_4}{A_3}\right) V_4 \quad \dots (5)$

依能量守恆 $\frac{1}{2} m V_4^2 - \frac{1}{2} m V_3^2 = m g h_3 - m g h_4 \quad \therefore V_4^2 - V_3^2 = 2g(h_3 - h_4) \quad \dots (6)$

將(5)代入(6)得到 $V_4 = \sqrt{\frac{2g(h_3 - h_4)}{1 - (A_4 / A_3)^2}} \dots (7) \quad Q = V_4 A_4 = A_4 \sqrt{\frac{2g(h_3 - h_4)}{1 - (A_4 / A_3)^2}} \quad \dots (8)$

4. 如圖四，因壓力差很大，水急速上升且高度差變化太大，因此將導管下方改裝水銀，則：

$$V_6 = \left(\frac{A}{a}\right) V_5 \quad V_5 = a \sqrt{\frac{2(\rho^* - \rho)g\Delta h}{\rho(A^2 - a^2)}} \quad \dots (9)$$

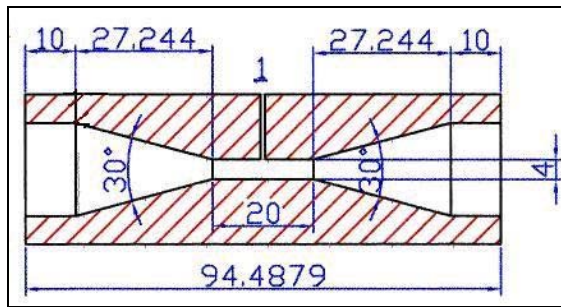
$$V_6 = \frac{\sqrt{2(\rho^* - \rho)g\Delta h}}{\sqrt{\rho \left[1 - \left(\frac{A_6}{A_5}\right)^2\right]}} \quad \dots (10) \quad Q = V_6 A_6 = A_6 \sqrt{\frac{2(\rho^* - \rho)g\Delta h}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_6}{A_5}\right)^2\right]}} \quad \dots (11)$$

\therefore 不論式(8)或式(11)，若管徑大小固定 $Q^2 = K_1 V_6^2 = K_2 \Delta h$ 即 $Q^2 \propto V^2 \propto \Delta h$

即固定喉部管徑，流量與速度成正比，流量平方與壓力差成正比

三、微泡泡水機設計與操作：

- 1.設計與製作：產品設計包含入水口、出水口、喉部、以及空氣入口四部份，另外在出、入水口製造螺紋以利組裝。

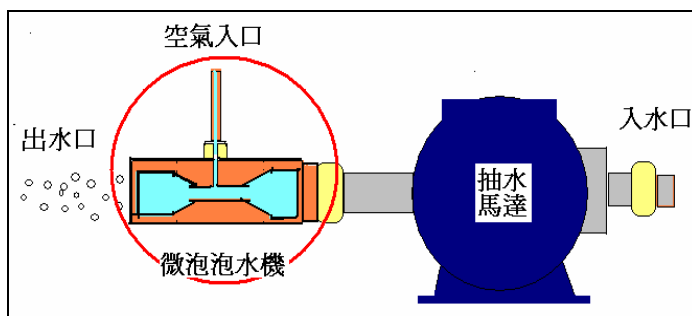


▲設計圖(單位 mm)



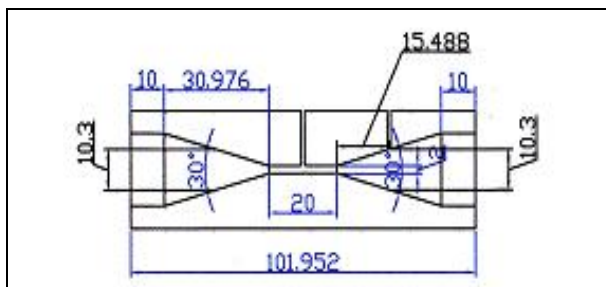
▲完成圖

- 2.操作方法：將「微泡泡水機」裝設於抽水馬達(110V、1/2Hp)的出水口，開啓電源讓水流在管徑內形成「高速低壓」的噴射水柱，若喉部壓力小於1大氣壓將產生負壓現象，讓空氣由「微泡泡水機」側邊小孔進入管徑中與噴射水柱混合，形成高含氧的微泡泡水。

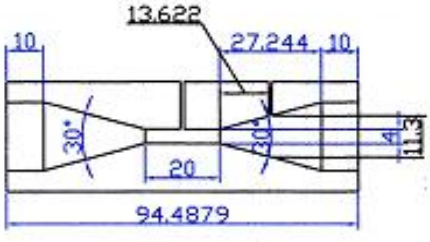
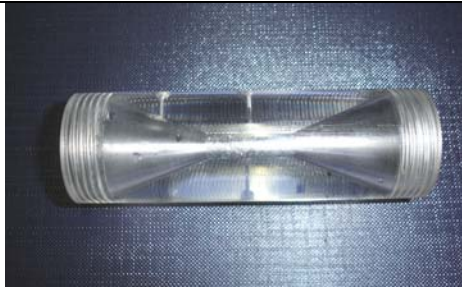
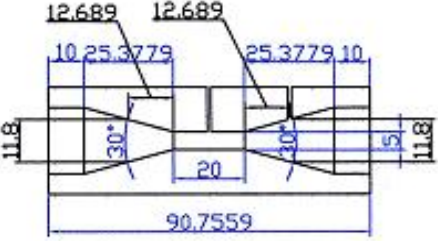

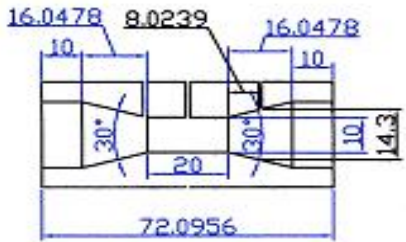



四、了解喉部截面積對喉部壓力的影響：

- 1.如圖二所示，在喉部接上裝有水銀的 U 形管，打開抽水馬達讓水流流經微泡泡水機，測量左右兩端水銀的壓力差，計算喉部空氣流速及空氣吸入量。
- 2.改變喉管直徑(2mm、4mm、5mm、10mm)，重覆上述實驗。

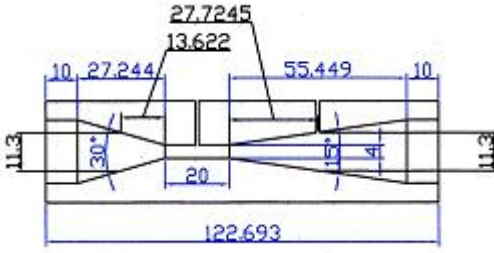



入出口直徑 = 18.3mm 喉管直徑 = 2mm 空氣吸入口直徑 = 1mm ($\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$)

	
<p>入出口直徑=18.3mm 喉管直徑=4mm 空氣吸入口直徑=1mm ($\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$)</p>	
	
<p>入出口直徑=18.3mm 喉管直徑=5mm 空氣吸入口直徑=1mm ($\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$)</p>	
	
<p>入出口直徑=18.3mm 喉管直徑=10mm 空氣吸入口直徑=1mm ($\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$)</p>	

五、改變入水口、出水口的角度，測量喉部壓力

1. 如圖二，入水口角度固定($\theta = 30^\circ$)、出水口角度分別為 $\theta = 15^\circ$ 、 30° 、 45° ，測量水銀高度差，並求喉部空氣流速 V 及計算空氣吸入量 Q 。
2. 承上，入水口角度分別為 $\theta = 15^\circ$ 、 30° 、 45° ，固定出水口 $\theta = 30^\circ$ ，測量水銀高度差，並求喉部空氣流速 V 及計算空氣吸入量 Q 。
3. 改變喉部管徑大小重覆上述 1、2 實驗。

	
<p>入出口直徑=18.3mm 喉管直徑=4mm ($\theta_1 = 30^\circ$ $\theta_2 = 15^\circ$)</p>	

<p>入出口直徑 = 18.3mm 喉管直徑 = 4mm($\theta_1 = 30^\circ$ $\theta_2 = 30^\circ$)</p>	
<p>入出口直徑 = 18.3mm 喉管直徑 = 4mm($\theta_1 = 30^\circ$ $\theta_2 = 45^\circ$)</p>	
<p>入出口直徑 = 18.3mm 喉管直徑 = 5mm($\theta_1 = 30^\circ$ $\theta_2 = 15^\circ$)</p>	
<p>入出口直徑 = 18.3mm 喉管直徑 = 5mm($\theta_1 = 30^\circ$ $\theta_2 = 30^\circ$)</p>	
<p>入出口直徑 = 18.3mm 喉管直徑 = 5mm($\theta_1 = 30^\circ$ $\theta_2 = 45^\circ$)</p>	

六、改變水流流量，測量喉部壓力變化：

- 1.將水打入水桶中，測量每分鐘出水流量（L/min）。
- 2.如圖四裝置，將裝有水銀的一端接在喉部一端皆再開口端，測量壓力差。
- 3.以控制閥改變入水流量，測量壓力差。
- 4.比較水流量與壓力差的關係。

七、養殖場溶氧比較：

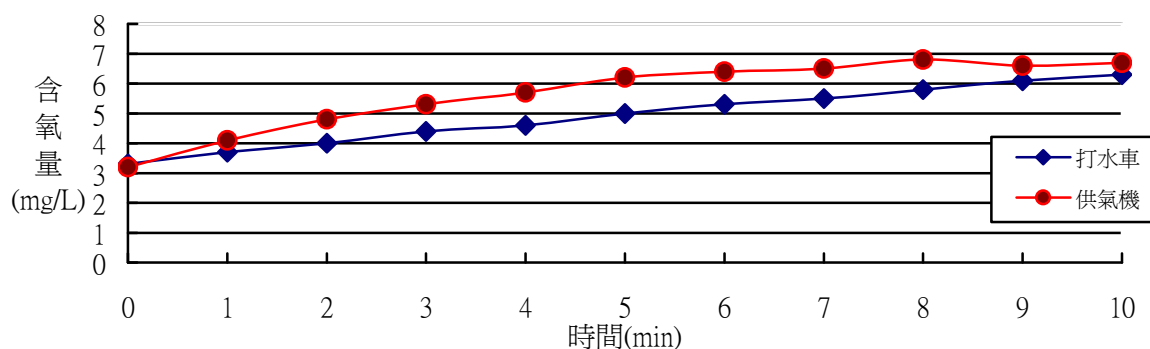
- 1.淡水池：至八甲錦鯉養殖場(2m×2m×0.8m)實測打水車供氣，在供氣 10min 後停止供氣，每分鐘測量溶氧大小一次；再以微泡泡水機重覆以上實驗做比較。
- 2.海水池：至竹安九孔養殖池(5m×2.5m×0.6m)實際以打氣機供氣，在供氣 10min 後停止供氣，每分鐘測量溶氧大小；再以微泡泡水機重覆以上實驗做比較。

伍、實驗結果：

一、使用打水車、打氣機 10min 後溶氧值都由 3.2mg/L 上升約至 6.5mg/L。但是停止供電，大約 6min 後，溶氧恢復原來 3.2mg/L。（T=24°C，距離 2m，測試深度 0.4m）

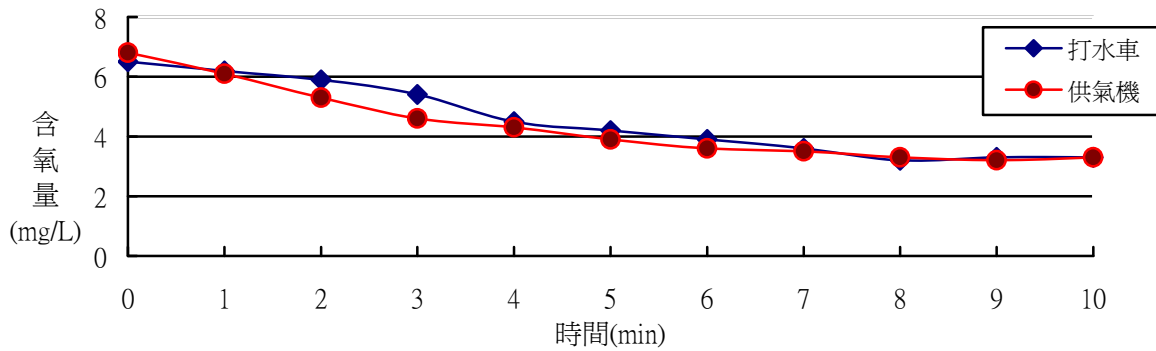
1.溶氧量測試：

時間(min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
打水車(mg/L)	3.3	3.7	4.1	4.6	4.9	5.3	5.6	5.9	6.3	6.4	6.3
供氣機(mg/L)	3.2	4.1	4.8	5.4	5.9	6.2	6.5	6.6	6.8	6.6	6.7



2.停止供氣溶氧量：

時間(min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
打水車(mg/L)	6.5	6.2	5.9	5.4	4.5	4.2	3.9	3.6	3.2	3.3	3.3
供氣機(mg/L)	6.8	6.1	5.3	4.6	4.3	3.9	3.6	3.5	3.3	3.2	3.3

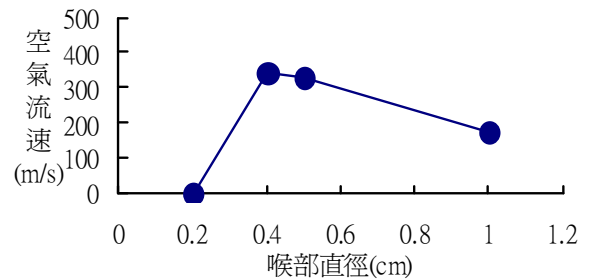
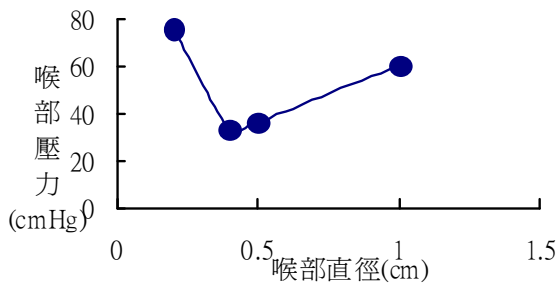


二、喉部截面積對壓力的影響： $\rho=1\text{Kg/m}^3$ $g=10\text{m/s}^2$ $R=0.5\times 10^{-3}\text{m}$ $1\text{m}^3=1000\text{L}$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho V^2 = \Delta h \times 1.36 \times 10^5 = \frac{1}{2} \times 1 \times V^2 \quad \therefore V = 521.5 \times \sqrt{\Delta h} \quad Q = \pi \times R^2 \times V (\text{L/sec})$$

入出口直徑 = 18.6mm 空氣入口直徑 = 1mm 入口角度(θ_1) = 出口角度(θ_2) = 30°

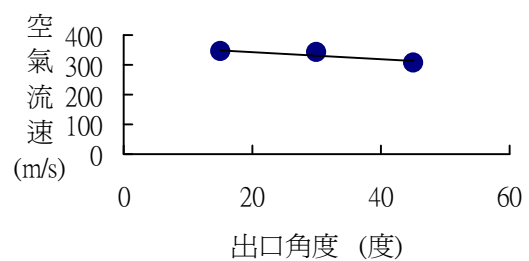
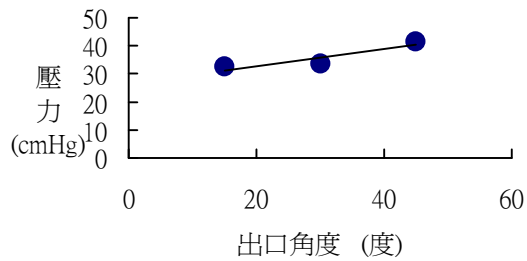
喉部直徑 (cm)	外管直徑 (cm)	h1 (cmHg)	h2 (cmHg)	Δh (cmHg)	P (cmHg)	V (m/s)	空氣吸入量 Q (L/s)
0.2	1.86	40.1	40.2	-0.1	76.1	0	0×10^{-3}
0.4	1.86	59.3	16.7	42.6	33.4	340.4	267.4×10^{-3}
0.5	1.86	72.0	32.5	39.5	36.5	327.8	257.3×10^{-3}
1.0	1.86	47.2	35.8	11.4	60.6	176.1	138.3×10^{-3}



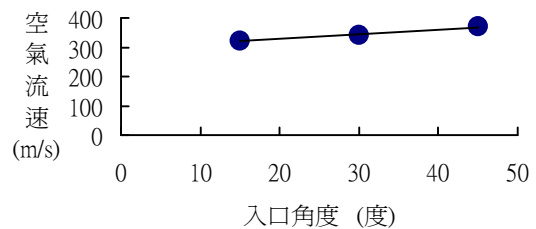
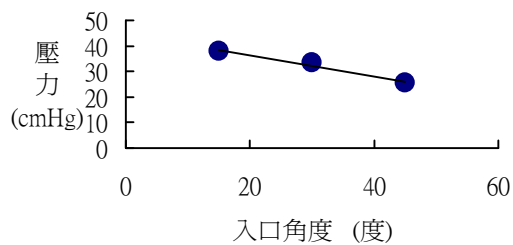
1. 喉部面積越小、壓力越小、出水速度越快，吸入空氣的量越多。但是，當管徑過小(2mm) 水流堆積壓力大增雖然經過喉部減壓，但壓力比 1 大氣壓力大，水由喉部空氣入口流出，無法造成負壓，以致於無法將空氣吸入。
2. 喉部面積太大、水的流速變化不大時，吸入的空氣量變少。
3. 本實驗喉部直徑 4mm 與入水管直徑 18.3mm 產生最高的空氣吸入量。

三、改變入水角度、出水角度測流速與流量

入出口直徑 = 18.6mm 空氣入口直徑 = 1mm 喉管直徑 = 4mm								
	入口 θ_1	出口 θ_2	h1 (cmHg)	h2 (cmHg)	Δh (cmHg)	P (cmHg)	V (m/s)	空氣吸入量 Q(L/s)
1	30°	15°	60.5	17.0	43.5	32.5	344.0	270.2×10^{-3}
2	30°	30°	59.3	16.7	42.6	33.4	340.4	267.4×10^{-3}
3	30°	45°	57.7	23.2	34.5	41.5	306.3	240.6×10^{-3}
4	15°	30°	59.0	20.8	38.2	37.8	322.3	253.1×10^{-3}
5	30°	30°	59.3	16.7	42.6	33.4	340.4	267.4×10^{-3}
6	45°	30°	69.8	19.3	50.5	25.5	370.6	291.1×10^{-3}

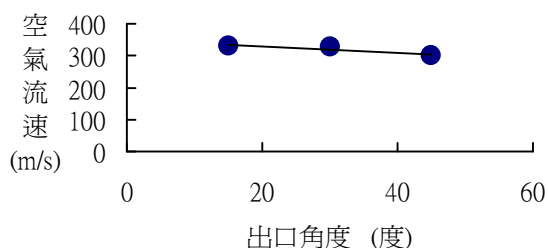
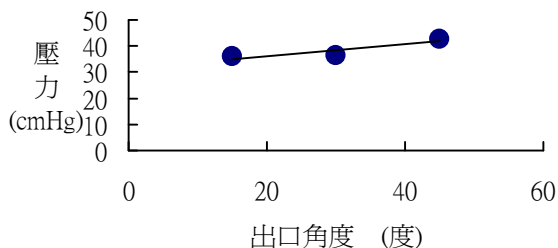


▲ 入口角度固定(θ=30°) 出口角度越小，則流速越快、壓力越小

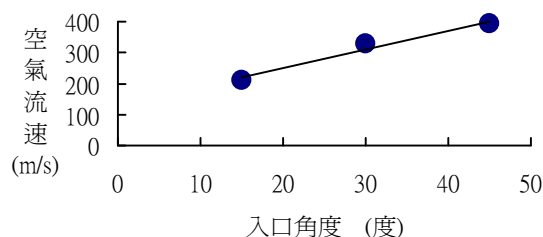
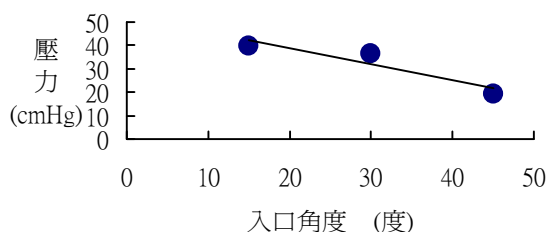


▲ 出口角度固定(θ=30°) 入口角度越大，則流速越快、壓力越小

入出口直徑 = 18.6mm 空氣入口直徑 = 1mm 喉管直徑 = 5mm								
	入口 θ_1	出口 θ_2	h1 (cmHg)	h2 (cmHg)	Δh (cmHg)	P (cmHg)	空氣 V (m/s)	空氣吸入量 Q(L/s)
1	30°	15°	66.8	26.8	40.0	36.0	329.8	259.0×10^{-3}
2	30°	30°	72.0	32.5	39.5	36.5	327.8	257.5×10^{-3}
3	30°	45°	58.4	25.2	33.2	42.8	300.5	236.0×10^{-3}
4	15°	30°	49.6	33.3	16.3	39.7	210.5	165.3×10^{-3}
5	30°	30°	72.0	32.5	39.5	36.5	327.8	257.5×10^{-3}
6	45°	30°	77.0	20.4	56.6	19.4	392.3	308.1×10^{-3}



▲入口角度固定($\theta = 30^\circ$)出口角度越小，則流速越快、壓力越小

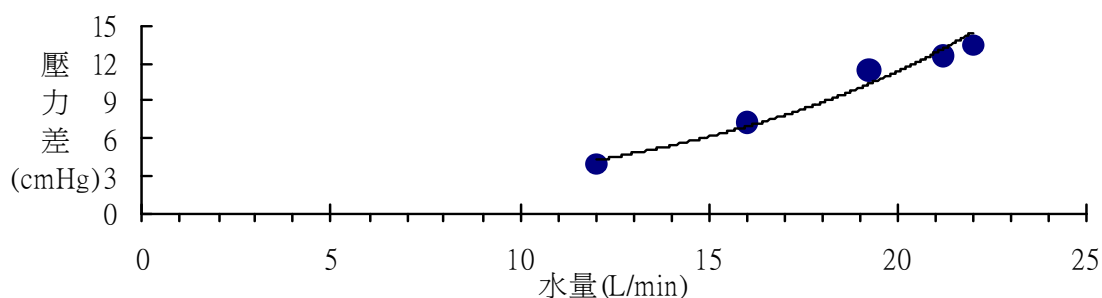


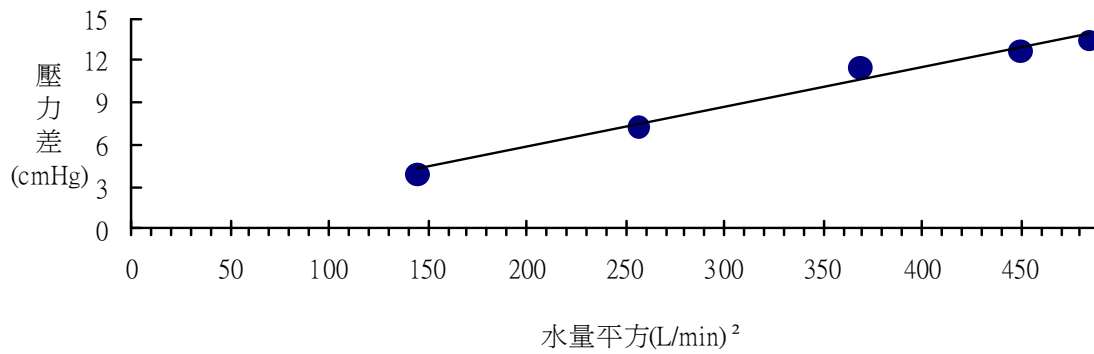
▲出口角度固定($\theta = 30^\circ$) 入口角度越大，則流速越快、壓力越小

1. 固定入水角度(30°)，出水角度越小(15°)，壓力最低，此時喉部水流速度最快。
2. 固定出水角度(30°)，入水角度越大(45°)，壓力最低，此時喉部水流速度最快。
3. 以上實驗 $d = 4\text{mm}$ 或 5mm 結果相同，不受喉部管徑大小影響。
4. 依白努利原理：水流速度越快，使得喉部壓力小，造成較大負壓，以利將空氣吸入。

四、改變入水流量，測量壓力變化： 喉部直徑 = 4mm

水流量(L/min)	水量平方比	h1(cmHg)	h2(cmHg)	Δh (cmHg)
12.0	144.0	23.6	19.6	4.0
16.0	256.0	25.3	18.0	7.3
19.2	368.6	27.4	15.9	11.5
21.2	449.4	28.0	15.3	12.7
22.0	484.0	28.3	14.8	13.5





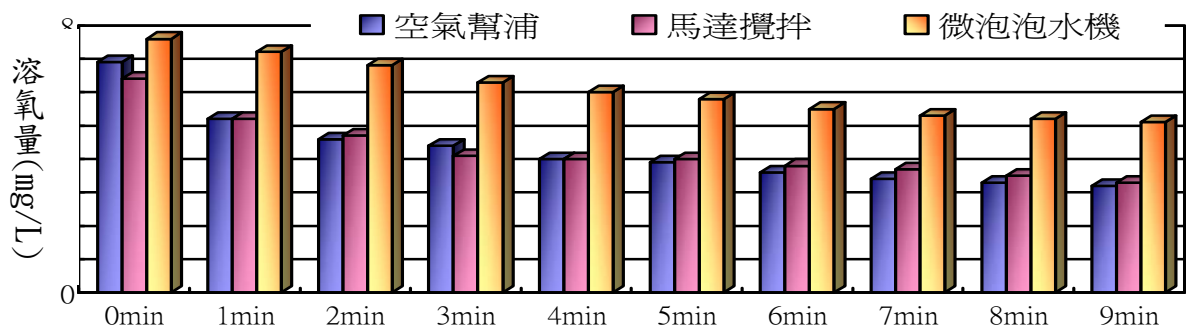
五、了解微泡泡水機的溶氧效果：(T=21°C)



實驗前：水質清澈	約 10sec：微泡泡水產生	1min 後：高含氧微泡泡水
溶氧量：3.2mg/L	溶氧量：5.7mg/L	溶氧量：7.6mg/L

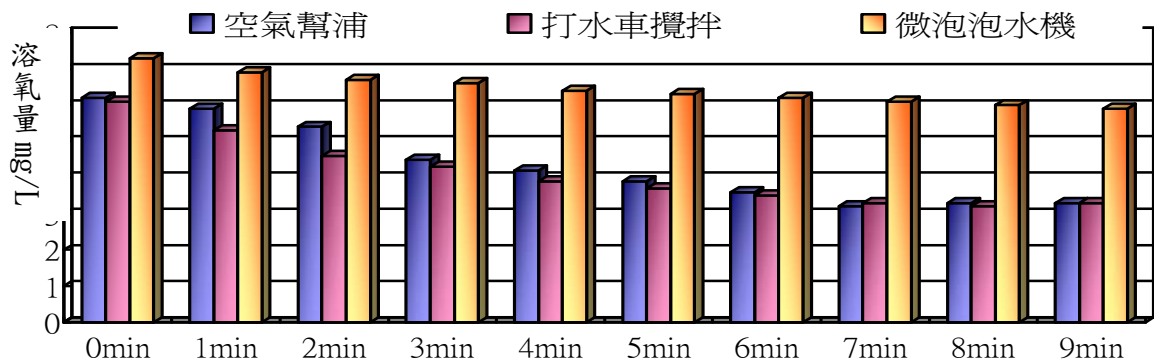
六、淡水養殖池溶氧下降比較：(T=23°C 養殖池水量 3200L 未打入空氣前含氧為 3.2mg/L)

溶氧量	0min	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min
空氣幫浦	6.9	5.2	4.6	4.4	4.0	3.9	3.6	3.4	3.3	3.2
馬達攪拌	6.4	5.2	4.7	4.1	4.0	4.0	3.8	3.7	3.5	3.3
微泡泡水機	7.6	7.2	6.8	6.3	6.0	5.8	5.5	5.3	5.2	5.1



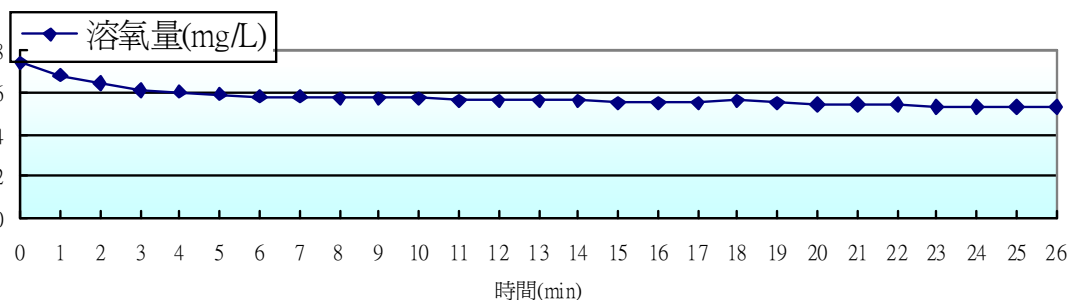
七、海水養殖場溶氧下降比較：(T=22°C 養殖池水量 7500L 未打入空氣前含氧為 3.2mg/L)

溶氧量	0min	1min	2min	3min	4min	5min	6min	7min	8min	9min
空氣幫浦	6.2	5.9	5.4	4.5	4.2	3.9	3.6	3.2	3.3	3.3
打水車攪拌	6.1	5.3	4.6	4.3	3.9	3.7	3.5	3.3	3.2	3.3
微泡泡水機	7.3	6.9	6.7	6.6	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	5.9



八、微泡泡水機溶氧下降實驗(T=22°C)

時間(min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
溶氧量(mg/L)	7.4	6.8	6.4	6.1	6.0	5.9	5.8	5.8	5.7	5.7
時間(min)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
溶氧量(mg/L)	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.5	5.5	5.5	5.6	5.5
時間(min)	20	21	22	23	24	25	26			
溶氧量(mg/L)	5.4	5.4	5.4	5.4	5.3	5.3	5.3			



陸、討論

一、氣泡上升的速度與氣泡大小及浮力有關

$Vdg(\text{浮力}) - mg(\text{重力}) = ma$ 其中 d 為水的密度 = 1g/cm^3 a = 上升加速度

$(m/D)1g - mg = ma$ D 為氣泡密度

$D = \frac{g}{g+a}$ 即氣泡上升(水壓減少、體積變大、密度變小)加速度變大

因此，氣泡體積大所受浮力大，上升的速度快，而停留在水中的時間短。

所以打水車產生的氣泡除了溶解在水中之外，停留時間無法太久。也因此，當停止裝置作用時，儀器觀測的溶氧值迅速下降。

- 二、當水流過微泡泡水機，因為管徑變小、流速增快，造成低壓區而將空氣吸入。水流再經過逐漸變大的管徑，流速變慢、壓力變大，此時空氣與水混合，變成粒徑很小的泡泡，而使得溶氧增加。此點與白努利方程式 ($P + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g y = \text{常數}$) 所載吻合。
- 三、圖二 U 形管中裝水，因為壓力差很大，需要的管子很長，所以改用水銀($d=13.6g/cm^3$)
- 四、固定入水管角度，喉部直徑越小，水流速度越快，壓力越小，吸入的空氣量也越多。
1. 但是若喉部太細，反而會阻止水流前進，此時入水口壓力很大，喉部壓力雖然因為流速快而變小，但仍大於外界氣壓，因此水由空氣入口噴出。
 2. 而喉部太大，且水流流速不足以產生負壓時，一樣無法吸入空氣。
 3. 本實驗以喉部直徑 4mm 效果最好。
- 五、固定喉部管徑，流量與速度成正比，流量平方與壓力差成正比，此點與原理討論一致。
即管徑大小固定 $Q^2 = K_1 V_0^2 = K_2 \Delta h$ 即 $Q^2 \propto V^2 \propto \Delta h$
- 六、出水角度固定，入水角度越大，截面積變化率越大，流速越快、水壓越小。但是若角度太大，因反射定律將產生阻力而降低流速。所以本實驗入水角度在 45° (與水平夾角 $\theta = 22.5^\circ$) 較適當。
- 七、入水角度固定，出水角度越小，此時空氣與水的混合物會沿著管壁噴出，形成高含氧水。若出水的角度太大，水柱直接噴出。所以本實驗出水角度在 15° (與水平夾角 $\theta = 7.5^\circ$) 較適當。
- 八、由討論四、六、七可知，微泡泡水機在管徑 18.3mm 時，選擇喉部管徑=4mm，入水角度 45° ，出水角度 15° ，單位時間內空氣吸入量最多。
- 九、使用微泡泡水機讓養殖池溶氧增加一倍以上，與打水車相較溶氧增加約 20%。微泡泡水機因為產生細微泡泡，比傳統打水車產生的氣泡小，氣泡總表面積大所以溶氧值高。因為氣泡可壓縮，體積不固定，本實驗氣泡粒徑大約 $1\sim 50\mu m$ 。在九孔養殖池養殖範圍($5m \times 2.5m \times 0.6m = 7500L$)約 10min 即達到高含氧值 $7.4\sim 7.6mg/L$ ($T=22^\circ C$)。
- 十、產生的高含氧細緻泡泡水，可以在池底多存留 10min~20 min 以上，大量提供魚蝦養殖所需的含氧量，增加存活率。因為微泡泡水體積很小，受到水的浮力小，因此上升至水面的時間增長。
- 十一、「微泡泡水機」可定時開啓，減少「打水車」所浪費的電能與養殖成本。微泡泡水機產生的溶氧值高，降至原來溶氧值約有 25min，也就是說，啓動微泡泡水機 10min 即可關閉電源 20min，若利用定時開關控制，就能省下 2/3 的電能。
- 十二、在常溫下，微泡泡水機皆能安全、節能，發揮高溶氧效能。微泡泡水採用負壓原理將

空氣吸入，因此不會有爆炸的危險，加上安裝方便、拆取容易，更無維修的困難，也能使用不鏽鋼當材料，發揮其效能。

十三、微泡泡水可吸附在雜質表面、去除懸浮顆粒，藉由浮力作用去除細小懸浮固體物。

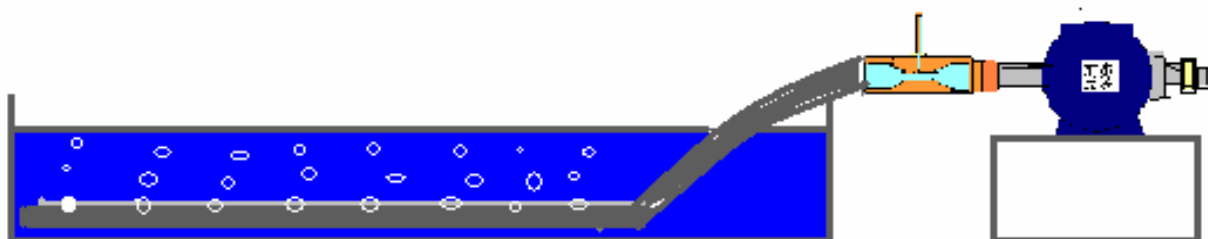
柒、結論：

微氣泡製造方式，係利用泵浦進氣閥之特性，吸入少量氣體經蓄壓釋壓擴散後，即可得直徑很小的細微氣泡，其氣泡相當細膩在水中擴散後狀如牛奶般，由於摒棄傳統以空壓機打入空氣之方法，不但減少設備佔地面積，管理維護容易，且氣泡擴散均勻，水中停滯時間長達 10 分鐘以上。總之，微泡泡水機具有下列優點：

- 一、**材料簡易**：壓克力製品質，使用壽命長、裝設簡便容易、減少維修費用。
- 二、**安全可靠**：以壓力差吸入空氣，所以壓力不會超過最大出水壓力，沒有爆裂的危險。
- 三、**效果顯著**：養殖池溶氧量增加一倍，與打水車相較溶氧量增加約 10%~20%。
- 四、**節省能源**：高含氧泡泡水，在池底多存留 20min，可增長溶氧時間，節省大量電費。
- 五、**環境維護**：適合魚蝦養殖的底棲息性，避免害菌滋生、活化水資源、減少換水率、穩定底層溶氧濃度，減少抽取地下水用量，有效減緩沿海地層下陷情形。

捌、檢討改進：

- 一、宜蘭地區車床工無法依照設計的尺寸鑽孔。外地精密加工又很貴，限於研究經費，雖然製造出各種尺寸微泡泡水機 10 餘支，然而還需更多尺寸，讓實驗數據更精確。
- 二、現場實測設計如圖，希望能繼續研究微泡水機的效果。



玖、參考資料及其他

- 一、高雄海洋科技大學 白努利教學網站 <http://www.shl.nkmu.edu.tw/shl/index.php>
- 二、李秀峰 流體機械 新文京開發出版有限公司 92 年 3 月
- 三、葉有仁 水質環境對魚類之影響 養魚世界雜誌 2003 年 3 月號
- 四、行政院環保署水質淨化處理網
http://wqp.epa.gov.tw/ecological/ClassRoom.aspx?Num=01#01_05
- 五、郭育嘉、蔡易縉 微氣泡形成粒徑大小之探討氣 資源與環境學術研討會, 2006, 花蓮
http://www.erm.dahan.edu.tw/re_and_en_paper/2006/09_2006_02.pdf
- 六、感謝宜蘭大學 何正義教授指導

【評語】 030817

學生關心週遭環境，以理論定理推導，設計本作品，提升水中溶氧量，造福養殖業，具有實用價值，但實測可再增加不同季節。