

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

051809

小圓點的百米賽跑—界面活性劑於水面之擴張
探討

學校名稱：國立基隆高級中學

作者： 高二 吳孟宸 高二 陳彥青 高二 劉彥緯	指導老師： 吳旭明
---	------------------

關鍵詞：表面張力、擴散

摘要

本實驗探討界面活性劑於水中的擴散情形，取各濃度界面活性劑溶液滴入水中，並紀錄漂於水面之塑膠圓片的運動再透過 tracker 軟體進行分析。由數據結果得知，界面活性劑於水面上的擴散速度與濃度無關，其擴散是以水面上一層薄膜的方式擴張，故擴散後中央區濃度幾乎不變且會不斷擴張直至整個表面，但擴張過程其邊緣仍會有短距離的濃度稀釋區域。漂浮物僅有極短的加速時間，乃因界面活性劑擴張速度快於漂浮物的移動，故在啟動後不久物體便被界面活性劑超越並進入中央濃度不變區而無法再加速。不同濃度對相同距離之漂浮物所造成的初期加速度、所達極速及到達極速所需時間差異不大，可推測各濃度擴散至相同遠近時其濃度梯度相近且梯度區域寬度亦相近。

壹、前言

一、研究動機及目的：

在昆蟲頻道看到水黽能在水上行走,能與水面產生微妙平衡，會不會與表面張力有關係? 以及偶然看到洗碗時漂浮的雜質因為洗碗精的加入，而向四處擴散開來,於是就心生好奇心。因此產生想知道是甚麼因素改變物體的移動速度，因此我們設定了如下三個探討的內容：

- (一) 比較同一濃度液滴對各距離之漂浮物其移動狀況之差異
- (二) 比較不同濃度液滴對相同距離之漂浮物其移動狀況之差異
- (三) 比較不同濃度液滴滴落時的擴散速率之差異

二、漂浮物移動原因討論

(一) 表面張力的定義及其具體的表現

表面張力的來源是由液體分子之凡得瓦爾力所造成的內聚力所產生的一個效果，液體會有縮小液面面積的趨勢，在宏觀上的表現即為表面張力現象。若放置一個輕薄的塑膠圓片於水面上時常能使其漂浮於水面上，此原因乃是因為物體的重力會使水面產生少許的凹陷如圖 1 此時因液體欲將其表面積恢復至最小狀態，因為巨觀的表現上就像是在液體的表面會有一層具有張力的薄膜對此物體產生一個平行於水面之拉力，此時因四周均為水分子其表面張力對漂浮物之合力為零，故漂浮物會穩定的停止在水面上。

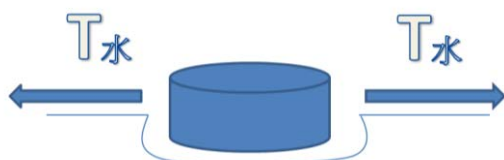


圖 1、水面上表面張力對漂浮物的作用力簡圖

(二) 界面活性劑之表面張力對漂浮物的推動力量分析

在本實驗中，使用了界面活性劑來驅使塑膠漂浮物運動，是因為界面活性劑具有親水基與親油基，其中親水基會破壞了表面張力，因此若於水中滴入界面活性劑水溶液時會因其表面張力較小會造成漂浮物兩側之力量不平衡而產生一個推力使其運動，其受力之簡圖如圖 2，而在不同濃度的界面活性劑又或者在不同距離的差異中，滴入的液滴對漂浮物產生的運動狀態有何不同即是我們要透過實驗來去了解的。

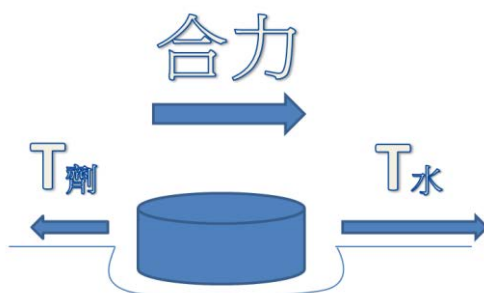






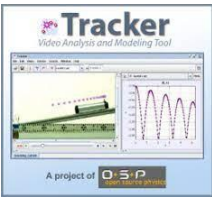




圖 2、界面活性劑與水對漂浮物的作用力示簡圖

貳、研究設備及器材

一、器材列表

圓柱體容器 (直徑 50cm)	相機	直徑 5mm 圓形塑膠片	界面活性劑 Triton X-100	水
				

滴管 NICHIRYO-LE , 每滴 10 μ l	影像分析軟體 Tracker	Excel	攪拌棒	
				

二、 實驗裝置配置

本實驗以支架將相機架起後，於容器正上方由上向下錄影記錄。



圖 3、實驗裝置配置圖

參、 研究過程或方法

一、 實驗步驟

- (一) 以打洞機將塑膠片以打洞機裁成大小一致的圓形並分散放置於水面上。
- (二) 調製實驗中所需的各個濃度
(分別為：0.99%、2.00%、3.01%、3.98%、4.98%、6.00%、8.00%)
- (三) 利用滴管汲取 10 μ l 界面活性劑滴於容器中心處
- (四) 以攝影機紀錄圓片運動軌跡
- (五) 利用影像分析軟體 tracker 追蹤運動軌跡並將其數據化

肆、研究結果

一、比較同一濃度液滴對各距離之漂浮物其移動狀況之差異

(一) 濃度 0.99% 之實驗結果

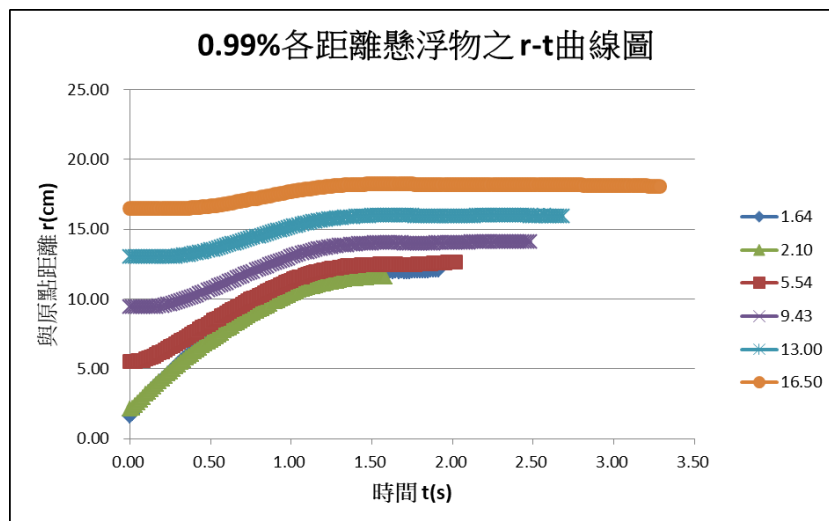


圖 4、濃度 0.99% 之 r-t 曲線

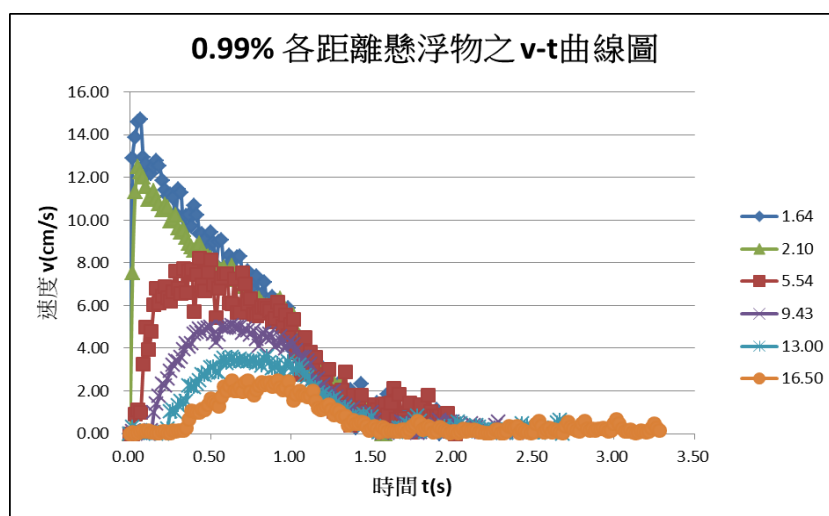


圖 5、濃度 0.99% 之 v-t 曲線

表 1、0.99% 液滴時各漂浮物之距離、啟動時間、最大速度關係

啟動前與原點之距離(cm)	啟動時間(s)	最大速度(cm/s)
1.64	0.000	14.71
2.10	0.000	12.49
5.53	0.017	7.72
9.43	0.133	5.00
13.01	0.233	3.58
16.51	0.350	2.50

1. 啟動時間及液滴擴散速度

由數據中可見在短距離時($r=1.64、2.10\text{cm}$)漂浮物幾乎在液滴滴下後便立即啟動，距離愈遠其啟動時間便愈久，而由各距離之啟動時間我們可以推估界面活性劑由圓心向外擴散的平均速度。

我們以最遠 16.51cm 處的漂浮物在液滴滴入後 0.350s 開始啟動來計算，可推算 0.99% 濃度之界面活性劑由圓心向外擴散的平均速度約為 $\frac{16.51}{0.350} = 47.17\text{ cm/s}$ 。

2. 不同距離之漂浮物的最大速度

距原點較近之漂浮物達最大速度之時間較短，且其最大速度之量值也較大。

(二) 濃度 2.00% 之實驗結果

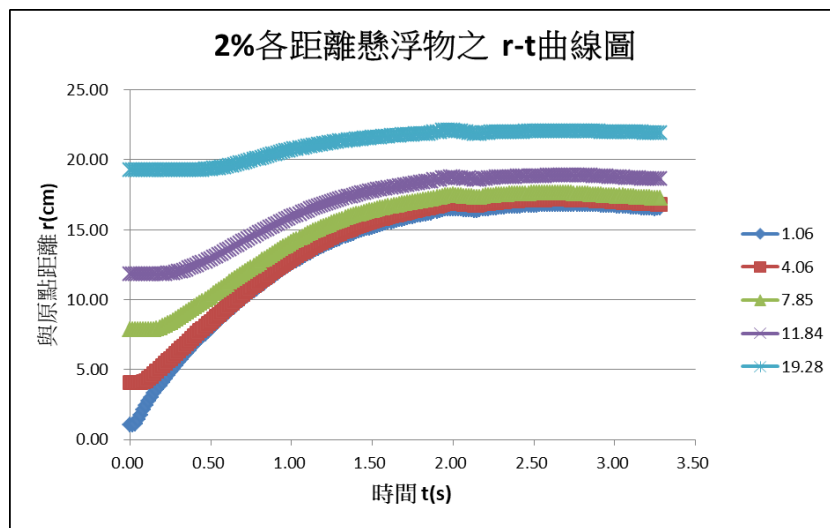


圖 6、濃度 2.00% 之 r-t 曲線

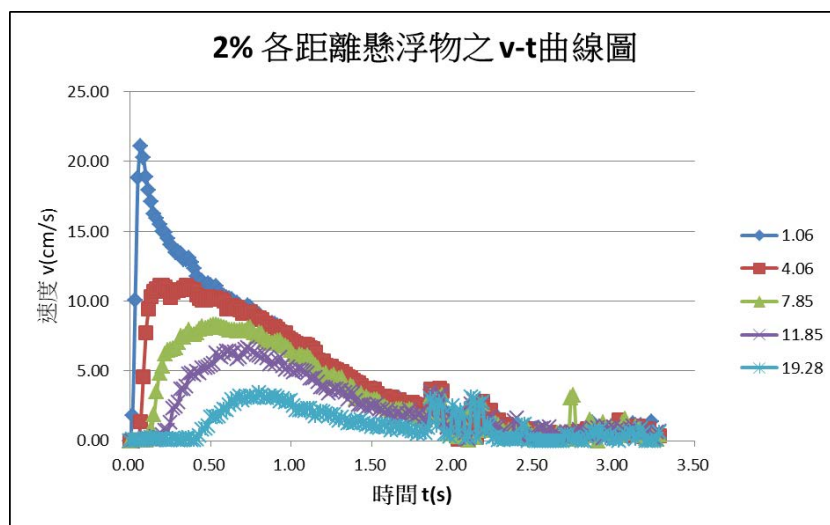


圖 7、濃度 2.00% 之 v-t 曲線

表 2、2.00%液滴時各漂浮物之距離、啟動時間、最大速度關係

啟動前與點之距離(cm)	啟動時間(s)	最大速度(cm/s)
1.06	0.017	21.08
4.06	0.067	11.2
7.86	0.133	8.21
11.85	0.200	6.25
19.28	0.433	3.44

1. 啟動時間及液滴擴散速度

由 19.28cm 處之啟動時間為 0.433s 來計算可推算 2.00%濃度由圓心向外擴散的平均速度約為 44.52cm/s。

2. 不同距離之漂浮物的最大速度

距原點較近之漂浮物達最大速度之時間較短，且其最大速度之量值也較大。

(三) 濃度 3.01%之實驗結果

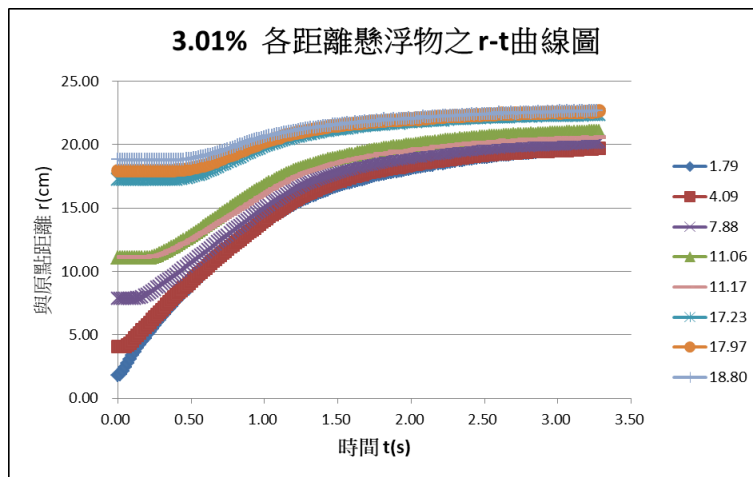


圖 8、濃度 3.01%之 r-t 曲線

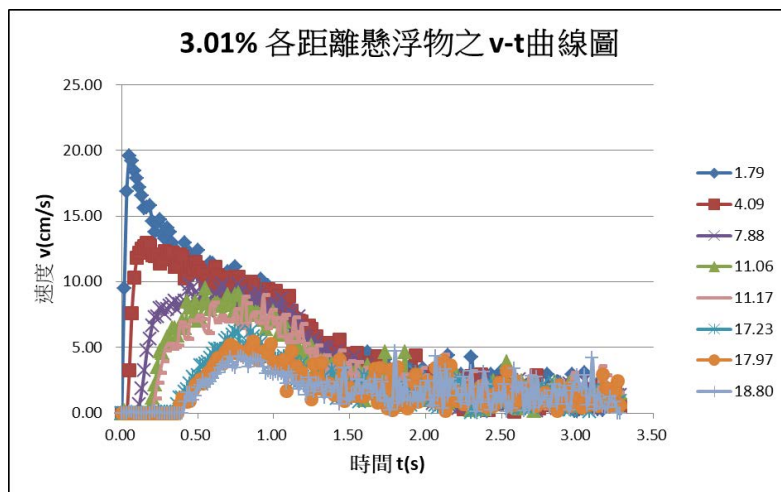


圖 9、濃度 3.01%之 v-t 曲線

表 3、3.01%液滴時各漂浮物之距離、啟動時間、最大速度關係

啟動前與原點之距離(cm)	啟動時間(s)	最大速度(cm/s)
1.79	0.000	19.60
4.09	0.050	12.96
7.88	0.117	9.51
11.06	0.183	8.60
11.17	0.200	7.67
17.23	0.367	6.19
17.97	0.383	5.01
18.80	0.417	3.86

1. 啟動時間及液滴擴散速度

由 18.80cm 處之啟動時間為 0.417s 來計算可推算 3.01%濃度由圓心向外擴散的平均速度約為 45.08cm/s。

2. 不同距離之漂浮物的最大速度

距原點較近之漂浮物達最大速度之時間較短，且其最大速度之量值也較大。

(四) 濃度 3.98%之實驗結果

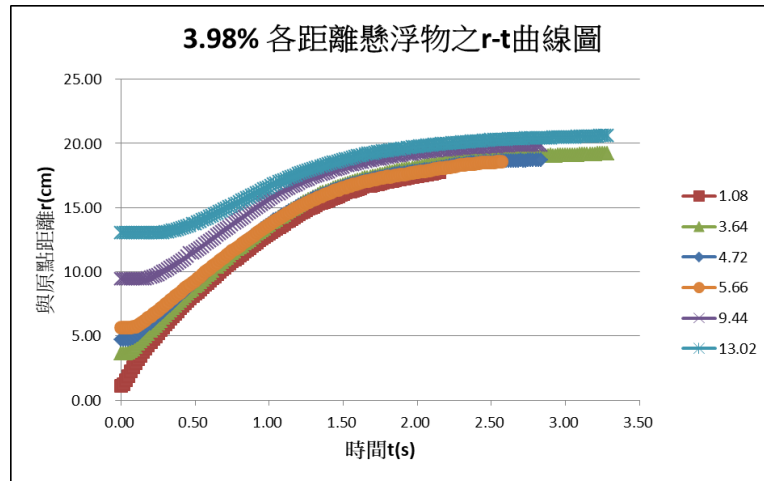


圖 10、濃度 3.98%之 r-t 曲線

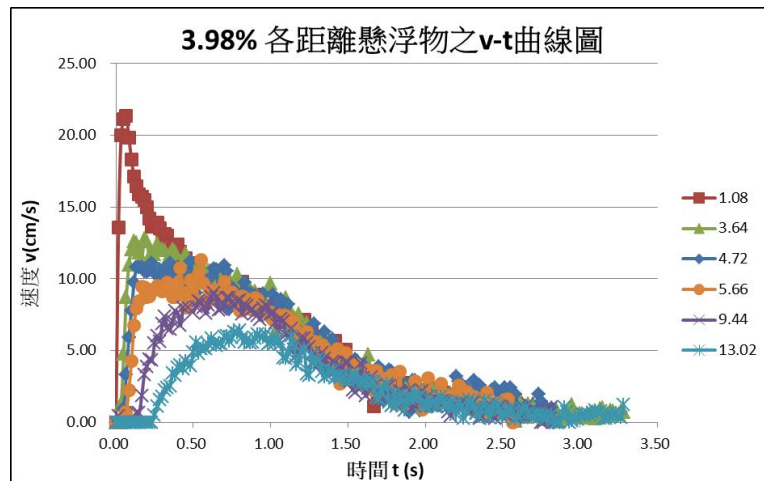


圖 11、濃度 3.98%之 v-t 曲線

表 4、3.98%液滴時各漂浮物之距離、啟動時間、最大速度關係

啟動前與原點之距離(cm)	啟動時間(s)	最大速度(cm/s)
1.08	0.000	21.32
3.64	0.033	12.77
4.72	0.050	11.18
5.66	0.067	9.88
9.44	0.170	8.16
13.02	0.250	5.95

1. 啟動時間及液滴擴散速度

由 13.02cm 處之啟動時間為 0.250s 來計算可推算 3.98%濃度由圓心向外擴散的平均速度約為 52.08cm/s。

2. 不同距離之漂浮物的最大速度

距原點較近之漂浮物達最大速度之時間較短，且其最大速度之量值也較大。

(五) 濃度 4.98%之實驗結果

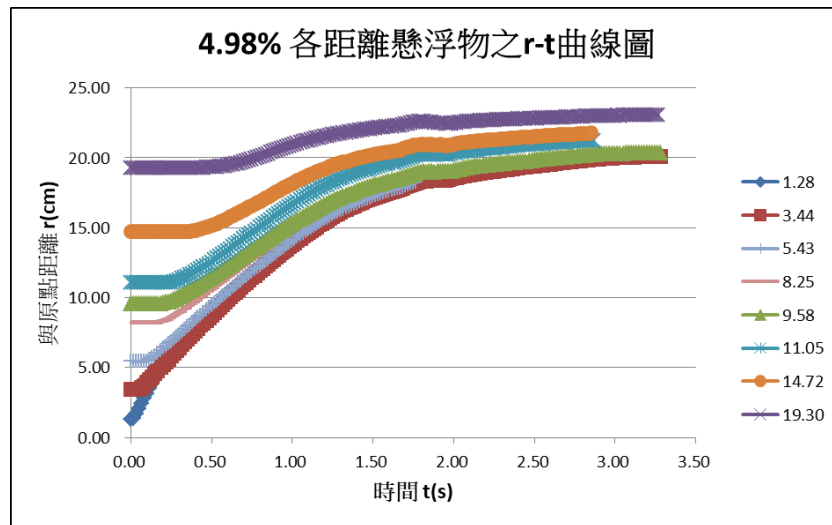


圖 12、濃度 4.98%之 r-t 曲線

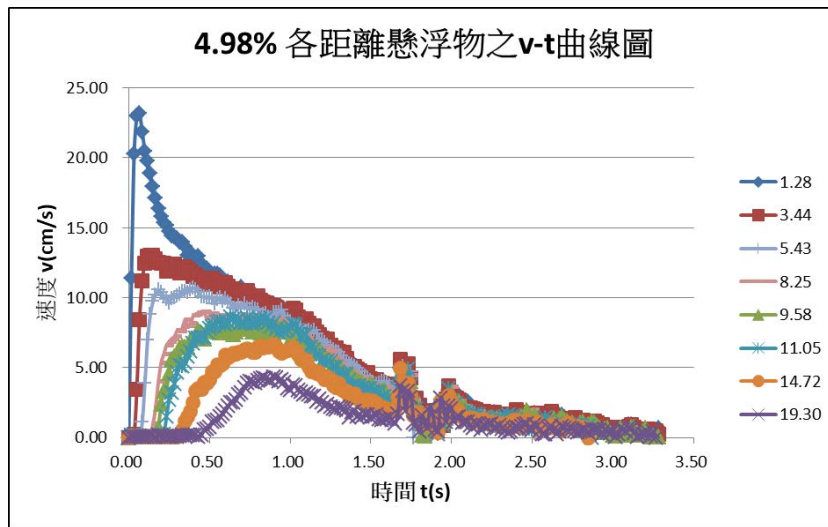


圖 13、濃度 4.98% 之 v-t 曲線

表 5、4.98%液滴時各漂浮物之距離、啟動時間、最大速度關係

啟動前與原點之距離(cm)	啟動時間(s)	最大速度(cm/s)
1.28	0.000	23.17
3.44	0.050	13.02
5.43	0.083	10.54
8.25	0.150	8.79
9.58	0.183	7.81
11.05	0.233	8.19
14.72	0.333	6.44
19.30	0.450	4.20

1. 啟動時間及液滴擴散速度

由 19.30cm 處之啟動時間為 0.450s 來計算可推算 4.98%濃度由圓心向外擴散的平均速度約為 42.89cm/s。

2. 不同距離之漂浮物的最大速度

距原點較近之漂浮物達最大速度之時間較短，且其最大速度之量值也較大。

(六) 濃度 6.00%之實驗結果

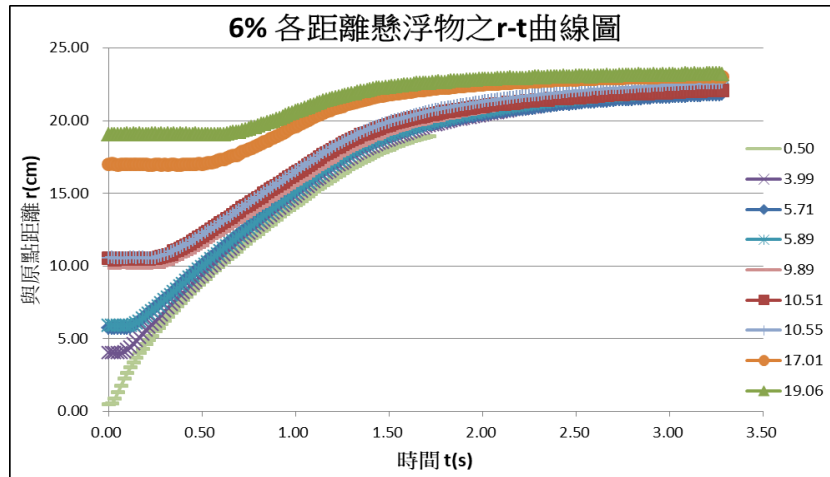


圖 14、濃度 6.00%之 r-t 曲線

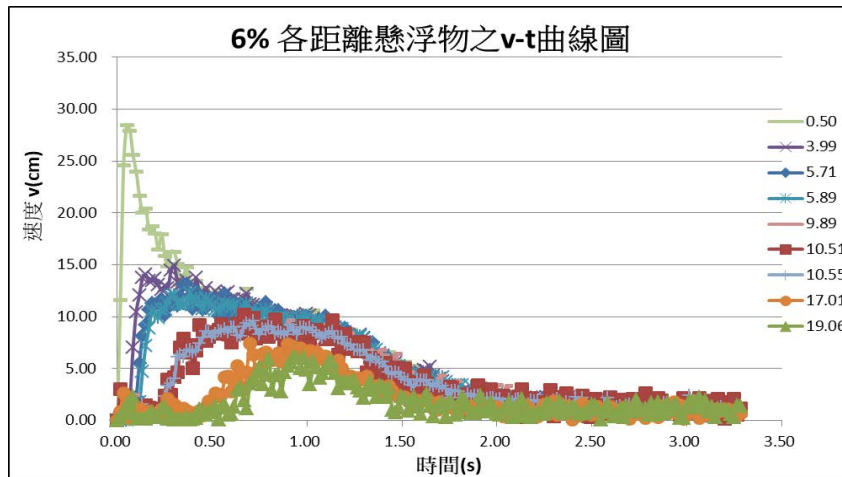


圖 15、濃度 6.00%之 v-t 曲線

表 6、6.00%液滴時各漂浮物之距離、啟動時間、最大速度關係

啟動前與原點之距離(cm)	啟動時間(s)	最大速度(cm/s)
0.50	0.000	11.60
3.99	0.050	7.029
5.71	0.067	2.23
5.89	0.100	1.75
9.89	0.233	1.74
10.51	0.250	3.92
10.55	0.250	3.32
17.1	0.500	2.63
19.06	0.600	2.90

1. 啟動時間及液滴擴散速度

由 19.06cm 處之啟動時間為 0.60s 來計算可推算 6.00%濃度由圓心向外擴散的平均速度約為 31.77cm/s。

2. 不同距離之漂浮物的最大速度

距原點較近之漂浮物達最大速度之時間較短，且其最大速度之量值也較大。

(七) 濃度 8.00%之實驗結果

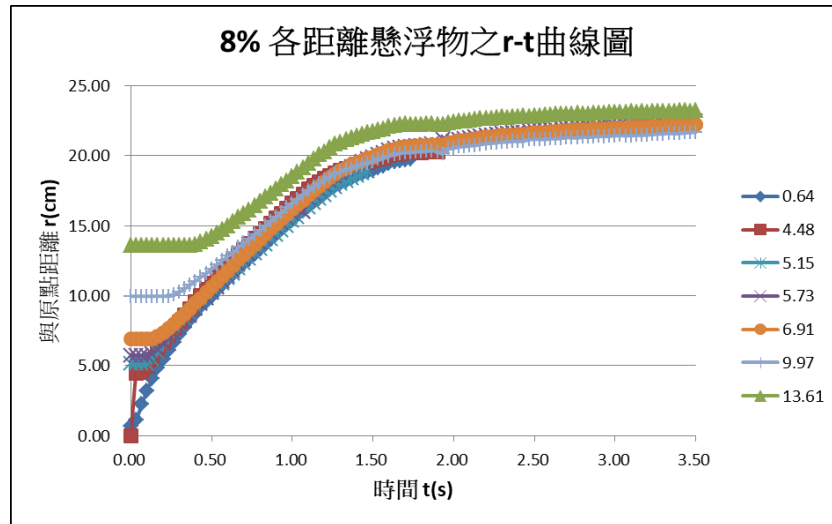


圖 16、濃度 8.00%之 r-t 曲線

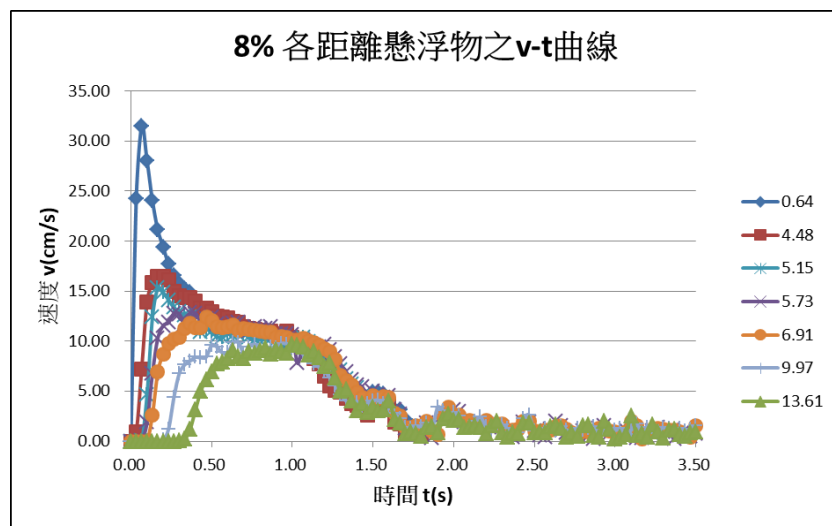


圖 17、濃度 8.00%之 v-t 曲線

表 7、8.00%液滴時各漂浮物之距離、啟動時間、最大速度關係

啟動前與原點之距離(cm)	啟動時間(s)	最大速度(cm/s)
0.64	0.000	24.24
4.48	0.033	7.22
5.15	0.100	12.37
5.73	0.100	6.75
6.91	0.133	6.91
9.97	0.230	4.40
13.61	0.300	1.204

1. 啟動時間及液滴擴散速度

由 13.61cm 處之啟動時間為 0.300s 來計算可推算 8.00%濃度由圓心向外擴散的平均速度約為 45.37cm/s。

2. 不同距離之漂浮物的最大速度

距原點較近之漂浮物達最大速度之時間較短，且其最大速度之量值也較大。

二、比較不同濃度液滴對相同距離之漂浮物其移動趨勢之差異

取出五種濃度（0.99%，2%，3.01%，3.98%，4.98%）之各漂浮物的時間(t)和與原點距離（r）還有速度（v），把初始位置相近的漂浮物歸類集中，並且算出各相近點之平均距離，因此取出與原點平均距離（r）約為 1.58、3.81、5.64、7.87、11.35cm 的五個點，並做出各濃度漂浮物之 $r-t$ 與各濃度漂浮物之 $v-t$ 圖，各五張。

因我們欲討論各點在不同濃度作用下其初期的啟動速度及啟動加速度的比較，所以僅擷取上述各濃度漂浮物之 $r-t$ 、 $v-t$ 圖中漂浮物啟動後約 0.5s 內之數據進行討論。數據中可以發現各濃度漂浮物之 $r-t$ 與 $v-t$ 圖如下。

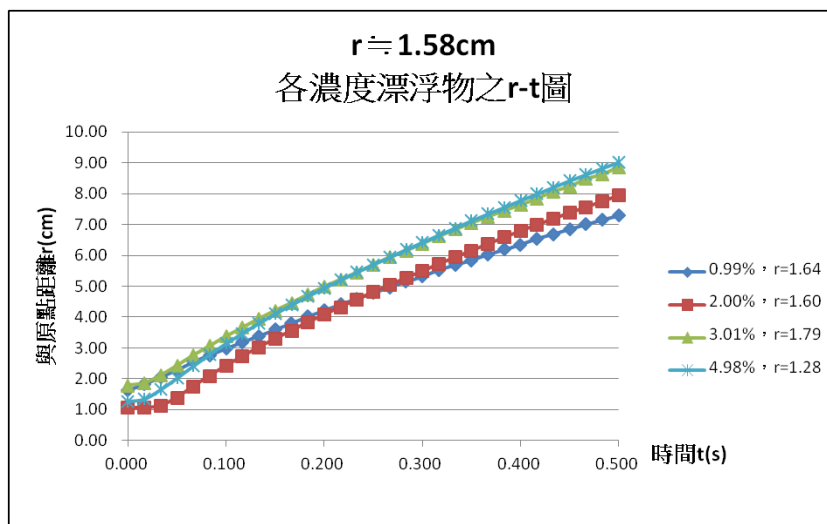


圖 18、距離約 1.58cm 之各濃度對漂浮物之 r-t 曲線

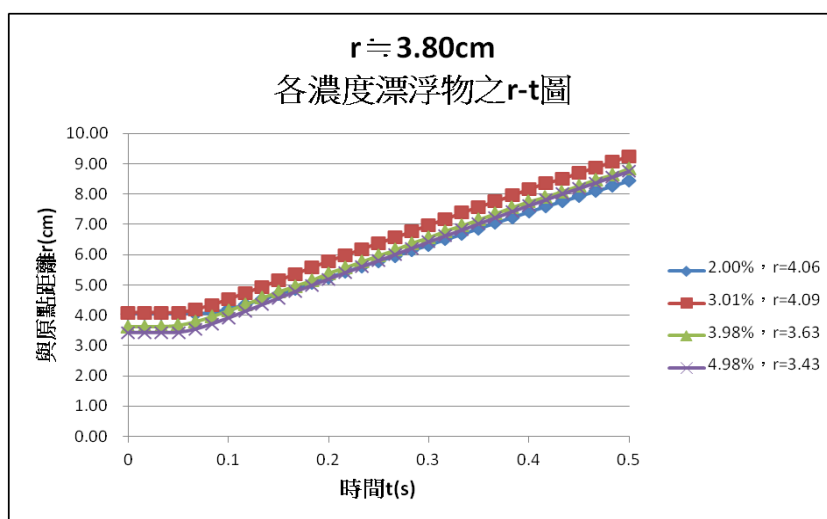


圖 19、距離約 3.80cm 之各濃度對漂浮物之 r-t 曲線

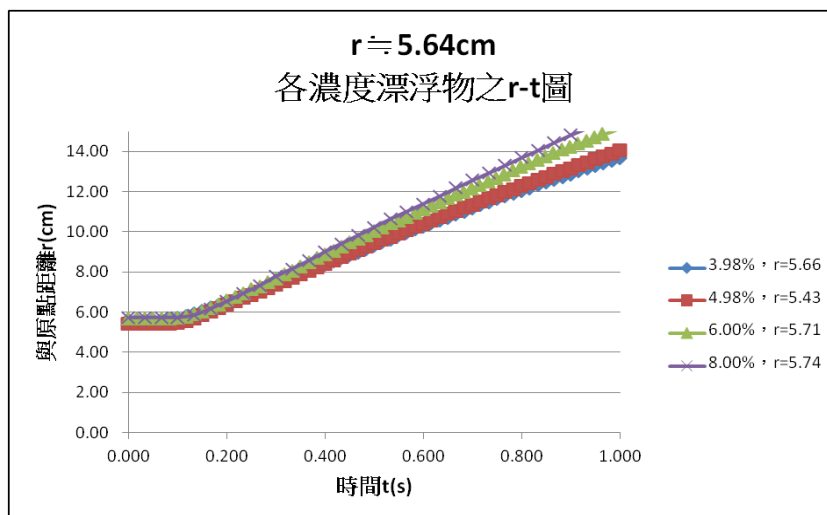


圖 20、距離約 5.648cm 之各濃度對漂浮物之 r-t 曲線

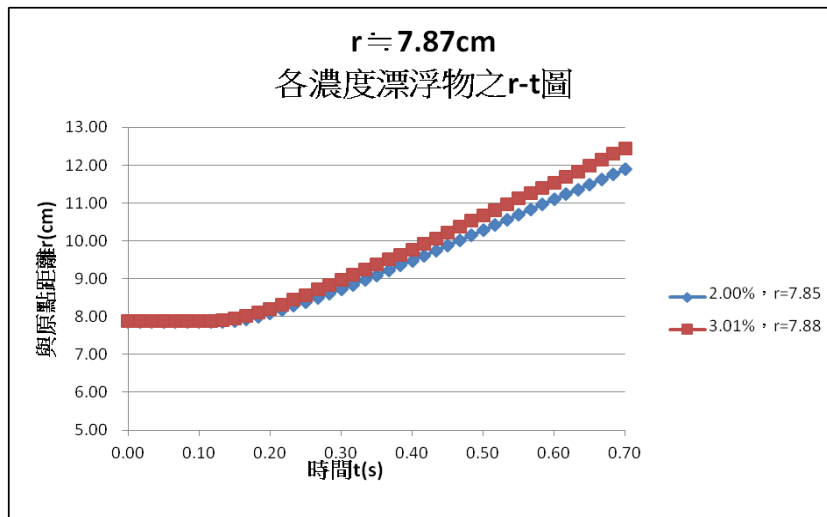


圖 21、距離約 7.87cm 之各濃度對漂浮物之 r-t 曲線

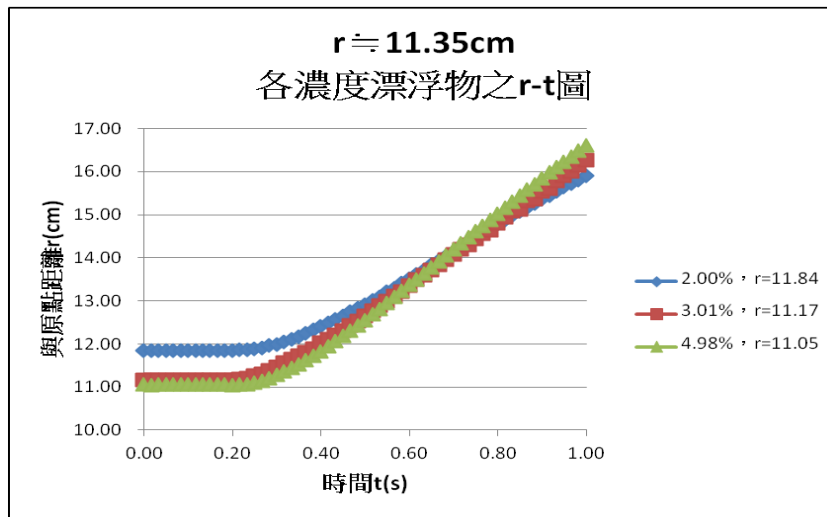


圖 22、距離約 11.35cm 之各濃度對漂浮物之 r-t 曲線

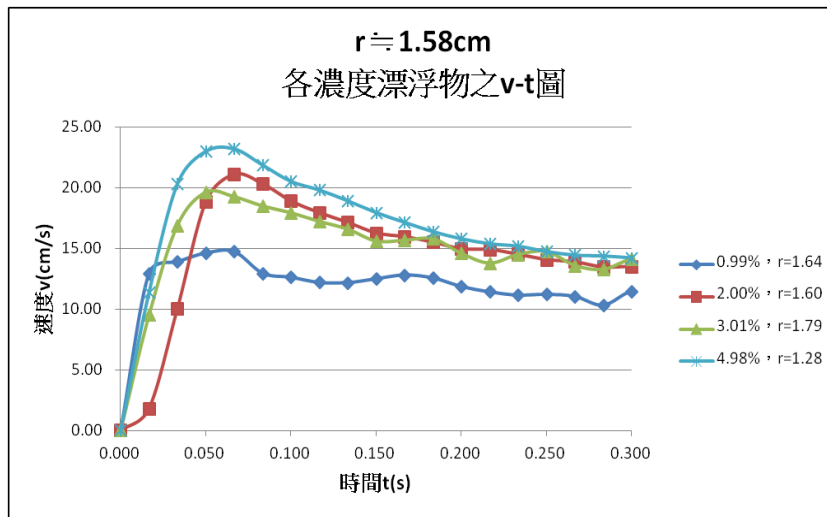


圖 23、距離約 1.58cm 之各濃度對漂浮物之 v-t 曲線

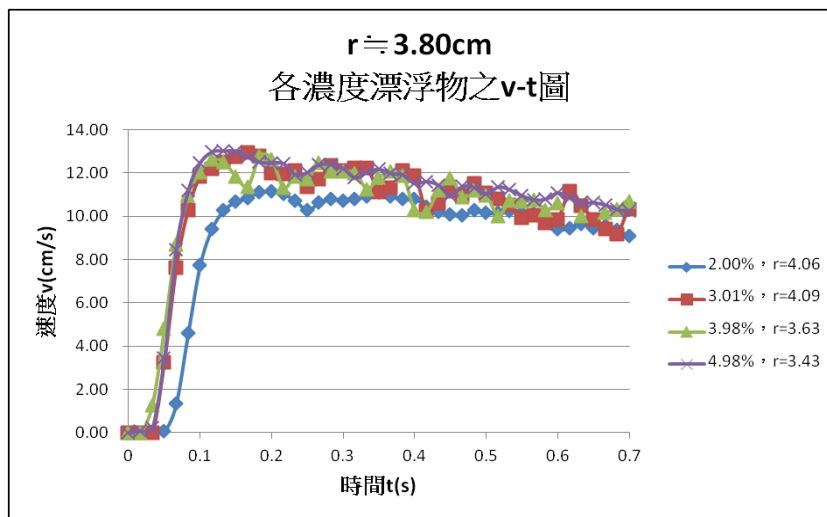


圖 24、距離約 3.80cm 之各濃度對漂浮物之 v-t 曲線

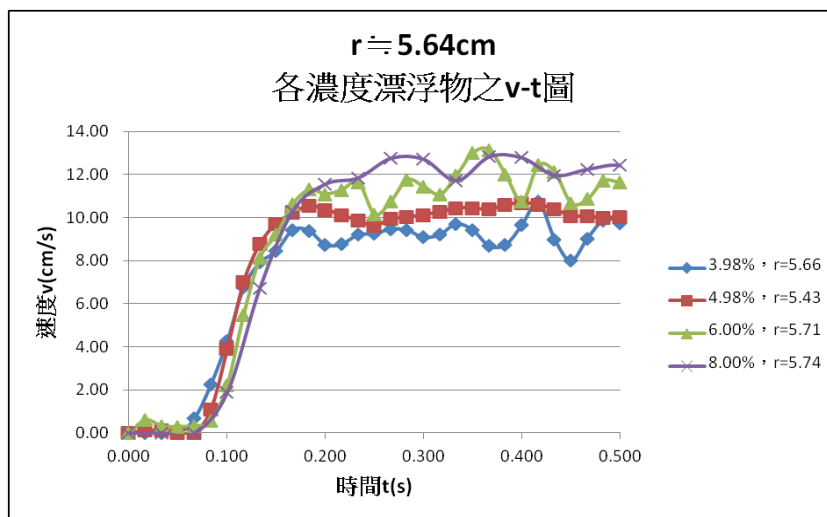


圖 25、距離約 5.64cm 之各濃度對漂浮物之 v-t 曲線

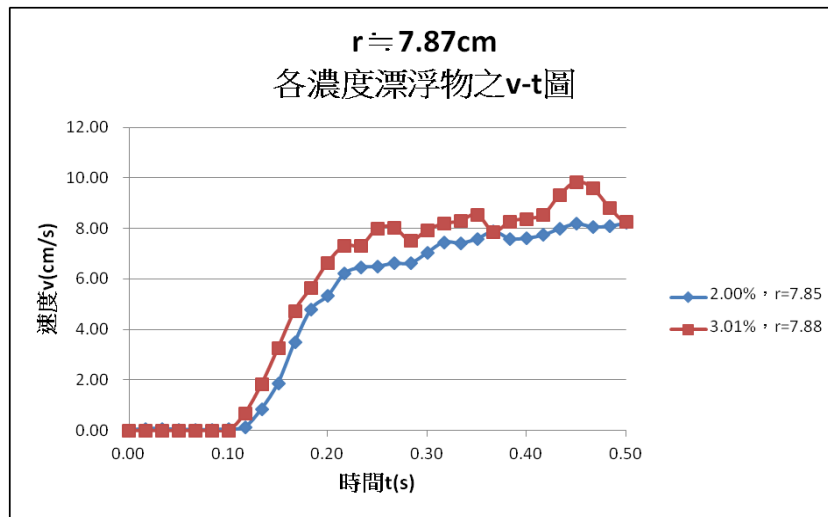


圖 26、距離約 7.87cm 之各濃度對漂浮物之 v-t 曲線

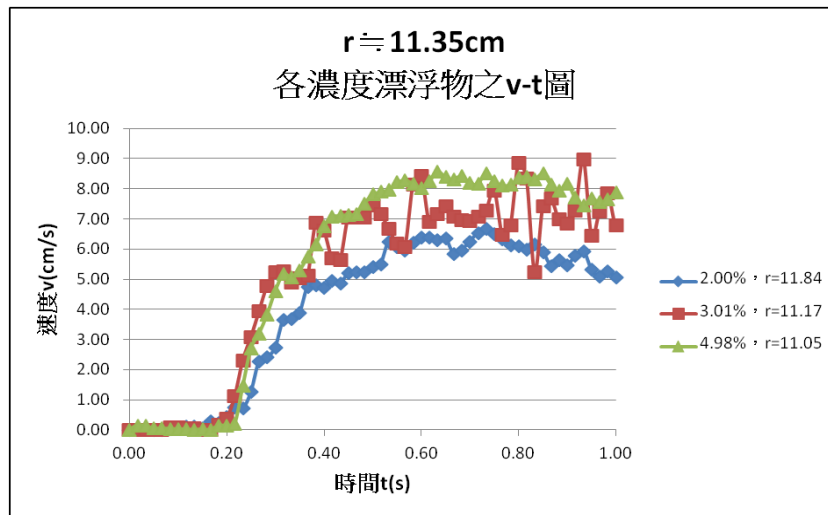


圖 27、距離約 11.35cm 之各濃度對漂浮物之 v-t 曲線

(一) 由圖 18~22 之 $r-t$ 圖斜率可知各濃度對相同距離漂浮物推動之初期初速相近。

(二) 由圖 23~27 之 $v-t$ 圖斜率可知各濃度對相同距離漂浮物推動之初期加速度相近，而漂浮物之極速亦相近，各濃度極速差異約在 $\pm 2\text{cm/s}$ 之內，除圖 23 中之 0.99% 濃度之極速較小。另外也可發現距離較遠之漂浮物需花較長時間才能達到極速。

三、比較不同濃度液滴對各距離之漂浮物其啟動時間之差異

根據我們在實驗一中概算出來濃度由圓心向外擴散的平均速度，發現大差異約都落在 40~50cm/s 之間，這似乎意味著各濃度的擴散速率相近，為了探討這個問題我們在各濃度的實驗中將所有漂浮物的啟動時間找出來並根據各濃度對漂浮物的啟動時間製作了 $r-t$ 圖進行討論（見圖 28）。

從這張圖可以發現，各個濃度的 $r-t$ 圖斜率幾乎相同，可推論在直徑 50cm 的尺度下，不管多少濃度的擴散速度極為相近。

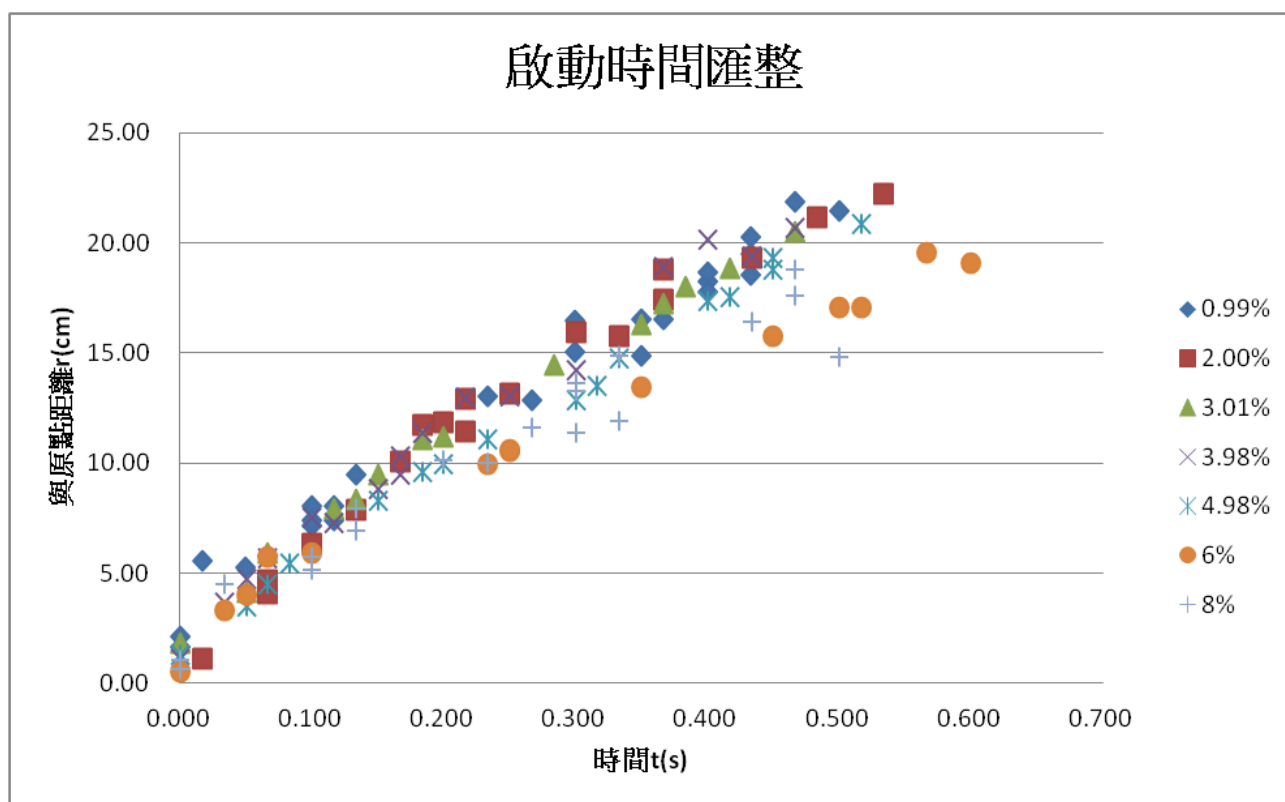


圖 28、各濃度對各距離漂浮物之啟動時間 $r-t$ 關係圖

伍、 討論

一、 比較同一濃度液滴對各距離之其漂浮物移動狀況之差異

圖 5 中，我們在 0.99% 濃度下取 6 個不同距離(分別為 1.64、2.10、5.54、9.43、13.00、16.50cm)作 $v-t$ 圖分析，我們從數據得知距離較近的点較快啟動也可以在較短時間內達到極速，而距離較遠的的点，較晚開始啟動，而其達到極速所花費的時間亦較久，此處分兩點討論。

(一) 由漂浮物均在短時間內到到極速後衰退討論液滴濃度擴散之狀況

漂浮物會移動的原因是因為在中心點滴入液滴時，另一側水的表面張力較大對漂浮物產生一個向外的合力拉著親溶劑端向外擴散使其移動，原本我們認為漂浮物是「一直」受到上述合力而推動它持續做由圓心向外做加速度運動直到撞到牆壁才會停止，但在 $v-t$ 圖中可看到不論遠、近的漂浮物都在啟動後短時間內就達到自己的極

速（近者約 0.05s，遠者約 0.45s），而達極速後其速率變開始衰退，亦即達到極速後向外推進的合力便消失了，而後續的運動則是因為滑行過程中水的阻力使其速度不斷衰退，最終減速至停止或撞上圓盒邊緣後停止。其餘 2%~8% 的 $v-t$ 圖也呈現出相似的結果。

在討論為甚麼會有這樣的情形時，我們可以根據本實驗目的三「不同濃度液滴對各距離之漂浮物其啟動時間之差異」的數據中得知（即圖 28），不論何種濃度的界面活性劑水溶液在水面上的擴散速度約為 45cm/s，其值都遠遠大於漂浮物的移動速度，因此我們推論漂浮物僅在液滴擴散至觸及其一側之初期才有兩邊不平衡的表面張力合力（如圖 29），而因液滴擴散的速度大於漂浮物的移動速度，所以在啟動後不久整個水面便會因界面活性劑的擴散而變成其左右都是同樣的濃度狀況，此時對漂浮物的兩端而言兩側界面活性的濃度差值變會漸小至沒有差別，因此推動的合力便消失如圖 30 並開始慣性滑行。



圖 29、液滴觸及漂浮物時之合力示意圖

圖 30、液滴擴散後漂浮物之合力示意圖

為何我們會說兩端的界面活性劑濃度差值變會漸小至零的原因是因為在實驗過程中我們發現當滴下一滴界面活性劑讓漂浮物移動，待物體不再移動後若立刻再滴一滴相同濃度的液滴在漂浮物旁邊時幾乎無法推動漂浮物，就像是整個容器中的水瞬間變成了該液滴的濃度了，但是將水攪拌過後再滴入該濃度的液滴又有辦法對漂浮物產生移動的效果，因此我們認為界面活性劑的擴散方式是在短時間內在水面上形成一個薄膜的方式來擴散於液體的表面，其擴散方式就像油浮在水面上一樣的感覺，而此短時間內因為是以薄膜攤平的方式在擴散展開所以其體積不會有太大的變化才會造成濃度幾乎與原始濃度相同的現象發生，雖然界面活性劑能溶於水，但仍需一段時間後才會漸漸向下方擴散而稀釋，故我們認為液滴在擴散後於容器表面之濃度會極接近界面活性劑之原始濃度。

不過在液滴外圍擴散的過程中界面活性劑的邊緣濃度勢必還是會減小，我們根據這個理論作出了這個溶液擴散過程示意圖（圖 31），此示意圖中濃度擴散邊緣之濃度衰減梯度我們暫以 0.5% 之差異來討論本實驗結果，如圖 31(1) 中當溶液邊緣觸碰到 A 點漂浮物（下稱 A 點）時，A 點會受到水和界面活性劑的表面張力差值而被往外扯，圖中之 A 點在初時所受之左右濃度示意為 4.5% 與 0%（註：0% 即為水），但如前段所述溶液的擴散速度比漂浮物的移動速度快，因此在(2)~(4)的過程中我們推測源頭處的高度濃區會追過 A 點，此時 A 點就會左右兩邊都是界面活性劑，但因仍處在邊緣的稀釋區域，所以 A 點的左右兩側仍有濃度梯度，故 A 點還是會被往外扯但是合力會比較小，最終到圖 31(5) 時溶液的原始濃度區已經覆蓋住整個 A 點，這時其合力變為零只剩下慣性向外滑行並受到水的阻力而減速停下或是撞到容器邊緣為止。這即是我們由漂浮物均在短時間內便達到極速而後便開始受阻力減速之數據中所推論之液滴外圍濃度衰減梯度狀況。

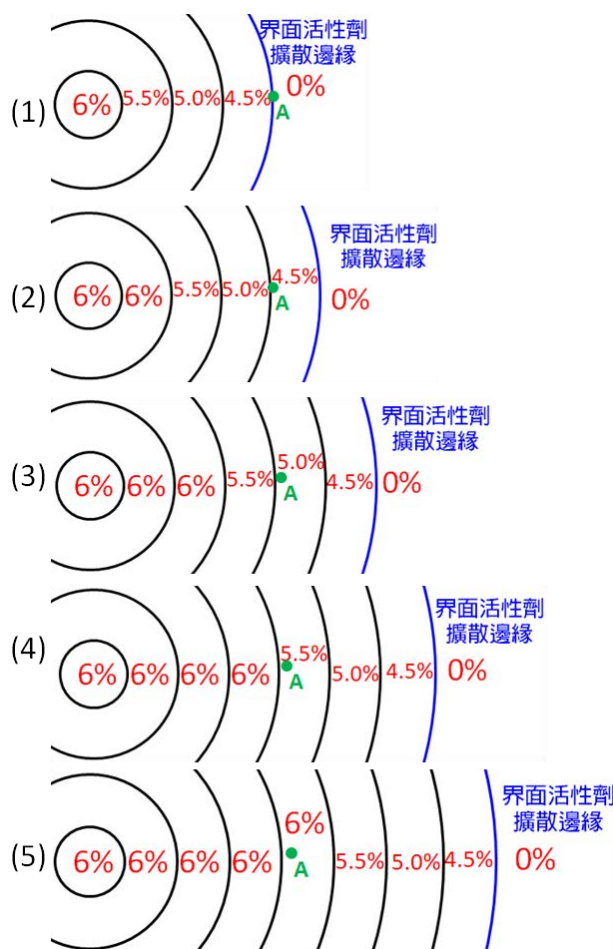


圖 31、濃度擴散過程示意圖

(二) 為何較遠處的漂浮物需要較久的時間才達到極速而其極速又較慢

如前段所述，我們推測濃度在擴散時其外圍是以一個梯度漸小的方式在向外擴散（如圖 31），即使短時間後圓心處的液滴濃度將擴及整個液體表面，但其最外圍之濃度仍會試圖向外稀釋擴散，而其距圓心愈遠其稀釋區的面積會變大，因此擴散至較遠處時液滴邊緣之濃度必定會較小且其濃度梯度亦會較小，故其加速效果便較差而使其極速較慢。

另外我們由遠處極速較慢且需要長時間才達到極速的狀況推測近處的低濃度區域可能僅下降了少少幾個梯度量值，如圖 32 示意圖所示，邊緣濃度僅由圓心的 6% 降三階至 4.5%，因此近處的漂浮物只有短短的三階加速時間，而遠處因有較長的擴散距離，因此其低濃度區域可能較寬，且濃度亦下降了較多個梯度區域，如圖 33 示意圖所示邊緣濃度會由原始濃度的 6% 降五階至 4.1%，因此遠處的漂浮物會有較長的加速時間，但因其梯度差較小故極速仍是較小。另外源頭處的高濃度區域亦會不斷的向外擴張而覆蓋過漂浮物，因此，對近處漂浮物而言，當液滴擴散到其一側使其啟動後源頭處的高濃度會在短時間內快速的追上漂浮物使其兩側均成為同濃度的平衡狀況。而對遠處漂浮物而言，因濃度梯度區域較寬，因此遠處的漂浮物有相對較長的時間被兩側不同濃度的表面張力拉扯而加速移動，但因界面活性劑的梯度差值較小，故漂浮物所受加速度較小，所以其極速仍會小於近處漂浮物的極速。

因此我們推測的擴散梯度為近處的濃度梯度較大但梯度區域較窄，遠處的濃度梯度較小但梯度區域較寬。

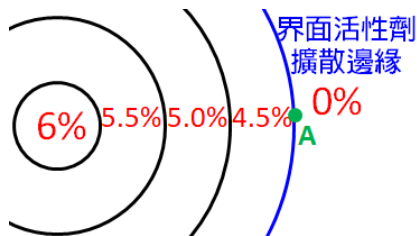


圖 32、近處擴散過程示意圖

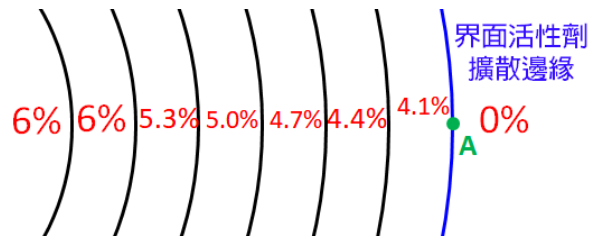


圖 33、遠處擴散過程示意圖

二、比較不同濃度液滴對相同距離之漂浮物其移動狀況之差異

由圖 23-27 可見，不論何種濃度之液滴對相同距離之漂浮物的初期推動加速度、所達極速及達極速所需時間均相當接近，而距離較遠之漂浮物需花較長時間達到極速。

延續實驗一之濃度擴散猜想，及實驗數據之結果，我們推測不管是哪個濃度，他們在擴散至相同距離時的濃度衰減梯度應該是一樣的且其濃度區域亦會一樣寬，如下方圖 34~36 之示意圖所示，不論在圓心滴下 2%或 6%的界面活性劑，當其外擴至相同距離時，其梯度差值會相近，如此便能解釋各濃度對相同距離漂浮物所造成的加速均相同的狀況，此圖中所模擬的為遠處的狀況，各階層梯度假設均以 0.3%之差異來討論本實驗結果，雖然界面活性劑擴散邊緣剛接觸 A 點時其所受的左右濃度差分別為 0.1% vs 0%及 4.1% vs 0%，但因濃度擴散速度大於漂浮之移動速度，故漂浮物很快便會進入界面活性劑的梯度濃度區域，此時漂浮物之兩側濃度將如圖 35、37 所示均達到相同的濃度梯度(濃度相差 0.3%)，故其運動加速度才會相同，且因由實驗數中我們得知各濃度使同距離漂浮物達極速所需時間差異不大，故我們可推測各濃度擴散至相同遠近時其濃度梯度的寬度也相近如下圖示意均差五格區域。

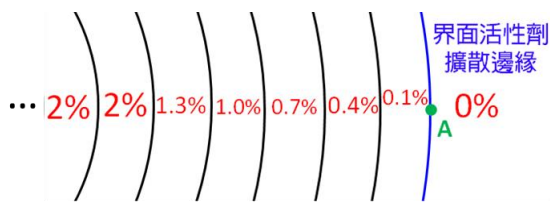


圖 34、2%濃度擴散示意圖

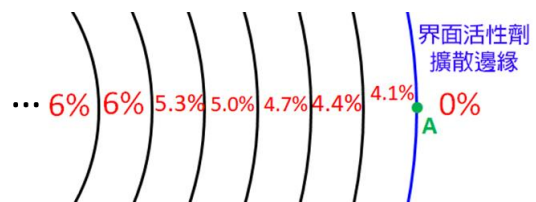


圖 35、6%濃度擴散示意圖

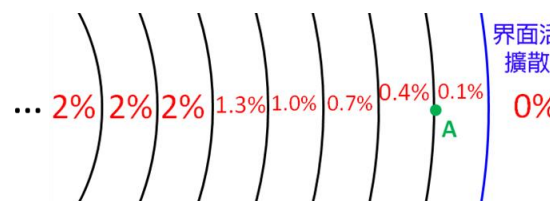


圖 36、2%濃度擴散示意圖

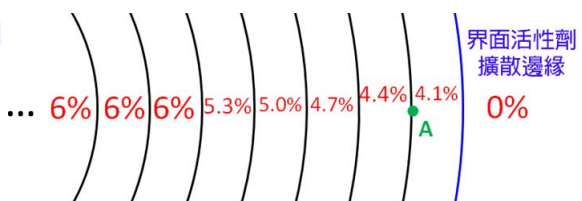


圖 37、6%濃度擴散示意圖

由圖 23~27 的 $v - t$ 圖中，我們利用曲線的斜率計算出前期漂浮物在不同距離之加速度量值如表 8 所示，在近處加速度量值約為 510cm/s^2 ，中距離加速度量值約為 127cm/s^2 ，遠距離時加速度量值約為 55cm/s^2 。

表 8、各濃度液滴對各距離漂浮物所產生的初期加速度

與原點距離(cm)	1.58	3.80	5.64	7.87	11.35
初期加速度(cm/s^2)	510	304	127	84	55

我們可以發現到越近的加速度量值越大，也就代表說擴散到近距離時的濃度梯度差值較大，而且越遠的加速度越小所以濃度梯度差值較小，所以我們藉由數據及圖表 畫

了一張溶液擴散假想圖（圖 38）。

由於較近點加速量值較大所以他們一開始的梯度量值差較大假設差值為 0.5%。中心濃度區開始推動稀釋區域至中距離時加速度量值變小，所以在中距離時各個梯度差又會再更小假設變成 0.3%。在遠端距離時加速度量值變得更小，從最近點的加速度 550 cm/s² 降到了 55 cm/s²，所以在遠處的梯度量值差應該會再減小假設為 0.1%。

另外，還可以從圖表計算出，漂浮物受到加速的時間多寡如表 9 所示，在近處加速時間約為 0.06 秒，在中距離加速時間約為 0.11 秒，遠距離時加速時間約為 0.19 秒。

表 9、各濃度液滴對各距離漂浮物所影響的加速時間

與原點距離(cm)	1.58	3.80	5.64	7.87	11.35
加速時間(s)	0.06	0.08	0.11	0.14	0.19

我們可以得知近距離加速時間較短，離越遠可以加速的時間越長。由於近距離加速時間較短，所以我們推測近距離時濃度稀釋區會較窄，假設為稀釋三階段，中距離加速時間較多，因此推測稀釋區增加為五階段，而到遠距離時，加速時間也變更多，因此推測稀釋區增加為七階段。綜合上述我們假設的擴散示意圖便如下所示。

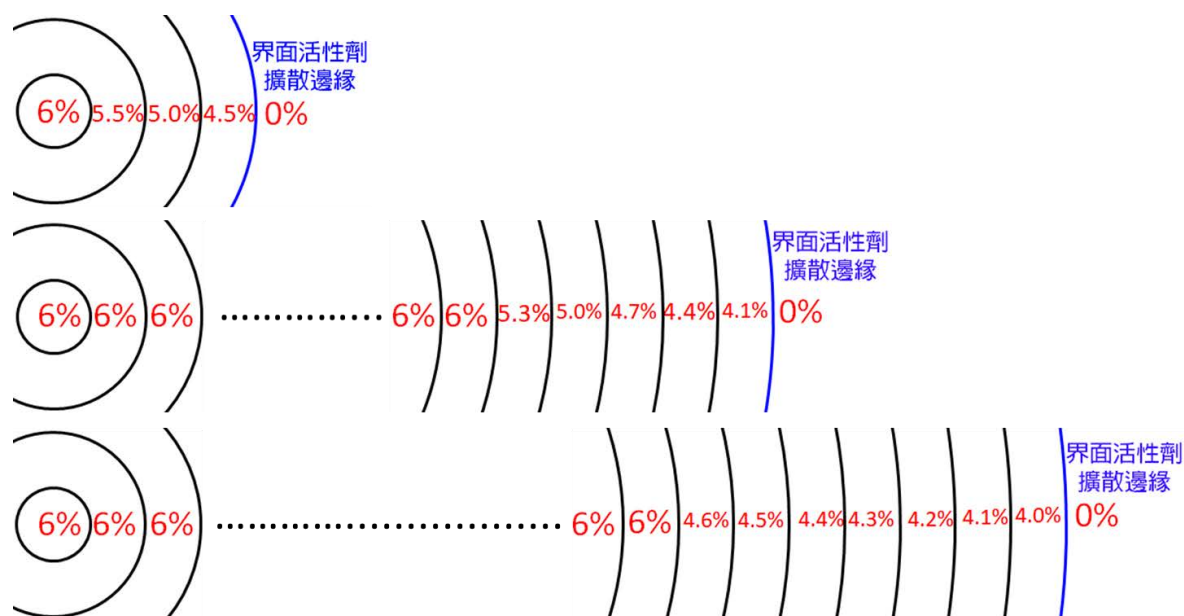


圖 38、濃度擴散至近、中、遠處之邊緣梯度示意圖

三、比較不同濃度液滴對各距離之漂浮物其啟動時間之差異

由圖 28 得知各濃度液滴於水面之擴散速度極為接近，因此可輔佐我們於實驗一中認為界面活性劑的擴散方式在短時間內是如同油滴入水面一樣以薄膜的狀態平貼於水

面迅速擴張，而此過程似乎便與液滴的濃度無太大的相關性。

由此結果我們可以回頭解釋實驗一所提及實驗小插曲（當已滴第一滴液滴後，再滴同濃度液滴並不會再對漂浮物有太大的推動效果），因液滴滴落後以薄膜狀態存在故其體積並無太大變化，亦即濃度幾乎不會有過多的稀釋，所以當我們再滴第二滴時對漂浮物就沒有兩側表面張力的差異也不會有推力的效果出現。

陸、 結論

一、 比較同一濃度液滴對各距離之其漂浮物移動狀況之差異

- (一) 距離較近的漂浮物較快啟動也可以在較短時間內達到極速，距離較遠的點較晚開始啟動，而其達到極速所花費的時間亦較久。
- (二) 由漂浮物在極短時間便達極速推論因液滴擴散的速度大於漂浮物的移動速度，所以漂浮物僅在剛啟動初期極短時間內，受到兩側水及界面活性劑的表面張力合力，不久後原始濃度區便超越漂浮物使其兩側變為幾乎是相同濃度，此時合力消失漂浮物達極速之後便開始向外滑行，最後因為水的阻力而使其速度不斷衰退。
- (三) 界面活性劑水溶液其擴散邊緣的濃度衰減梯度為近處的濃度梯度較大但梯度區域較窄，遠處的濃度梯度較小但梯度區域較寬。

二、 比較不同濃度液滴對相同距離之漂浮物其移動狀況之差異

- (一) 因不同濃度之界面活性劑對相同距離之漂浮物所產生之初期推動加速度以及所達極速之影響均相當接近，故推測不同濃度之液滴在擴散時其濃度衰減梯度相近。
- (二) 因近處加速度量值較遠處大，且近處加速時間較遠處短，故各濃度溶液擴散至相同距離時，離圓心較近處之濃度梯度差較大但梯度區域較窄。離圓心較遠處之濃度梯度差較小，但梯度區域較寬。
- (三) 因同距離時各濃度推動漂浮物達極速所需時間差異不大，可推測各濃度擴散至相同遠近時其濃度梯度相近且梯度區域寬度亦相近。

三、 比較不同濃度液滴對各距離之漂浮物其啟動時間之差異

各濃度液滴於水面之擴散速度極為接近，可推論界面活性劑的擴散方式在短時間內以薄膜方式擴散於液體的表面，故其體積無太大變化，因此擴散後其濃度幾乎與其

原始濃度相同，時間久了才會漸漸向下方擴散而稀釋。

柒、參考文獻資料

- 一、許至廷 (2001) 奇妙的表面張力。水的力量真奇妙 (62-77 頁)。新店: 泛亞文化。
- 二、許良榮 (2018) 表面張力趣味競賽 玩出創意 5 : 50 個魔法科學實作。台北市:五南
- 三、國立台中教育大學科學教育與應用科學系「科學遊戲實驗室」-表面張力
(<http://scigame.ntcu.edu.tw/>)

【評語】 051809

本作品探討各濃度界面活性劑在水中的擴散行為，紀錄界面活性劑的運動軌跡，據以計算位移與速度，聚焦在現象的觀察。界面活性劑的擴散速率快，擴散過程僅涵蓋短時間(2~3 秒)，作品中未見據以分析界面活性劑動態擴散的錄影運動紀錄，無法明確檢驗分析運算的適確性。建議實驗可採用界面活性劑與背景溶液對比色較高的系統，或擴散速率較慢的界面活性劑，以明確顯露實驗數據及分析的可信度，並討論主控實驗系統裡擴散的物理機制，以顯現新穎物理現象。

作品簡報



小圓點的百米賽跑 - 界面活性劑於水面之擴張探討

組別：高級中等學校

科別：物理與天文科學

壹、前言

一、研究介紹與動機

生活中常見用洗碗精推動水面上胡椒粉的趣味遊戲，本實驗便透過觀察漂於水面上的塑膠圓片受界面活性劑推動的運動情形來分析界面活性劑於水面之擴張現象。

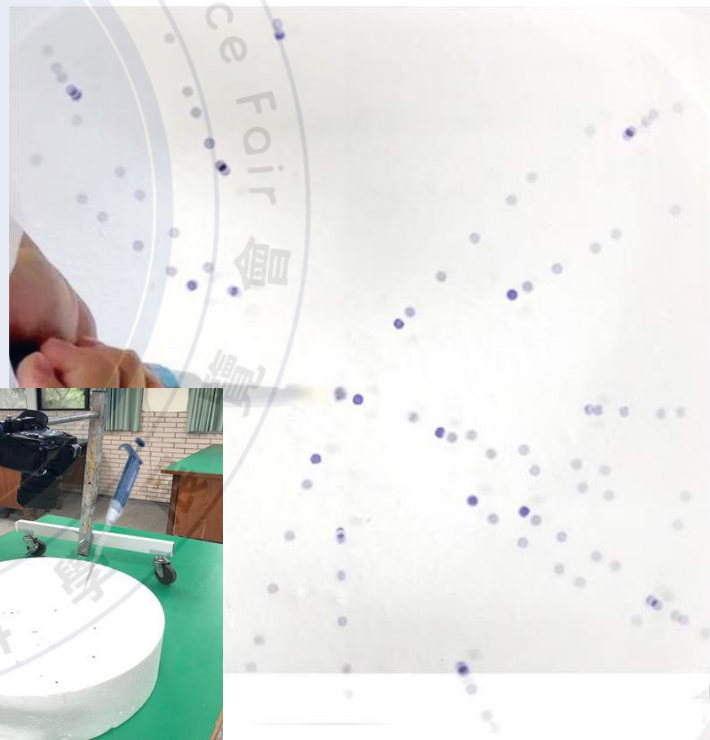
二、研究方法與目的

塑膠片分散
放置於水面

汲取 10 μ l 各濃度界面
活性劑滴於圓心

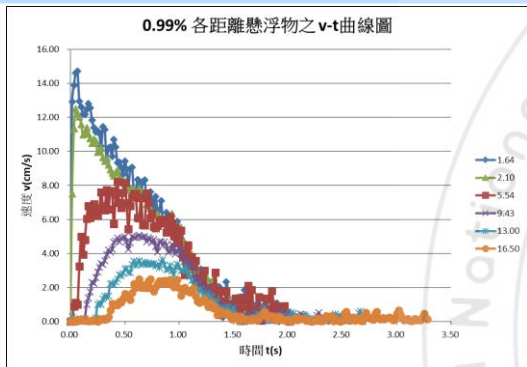
tracker 追蹤軌跡
Excel 數據化分析

- (一) 界面活性劑對各距離漂浮物之影響
- (二) 各濃度界面活性劑對相同距離漂浮物之影響
- (三) 各濃度界面活性劑的擴散速率差異

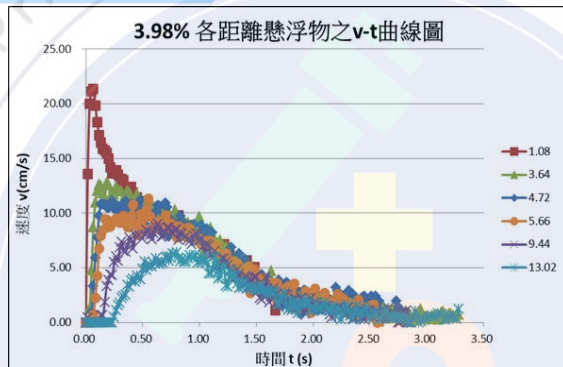


貳、研究結果與討論

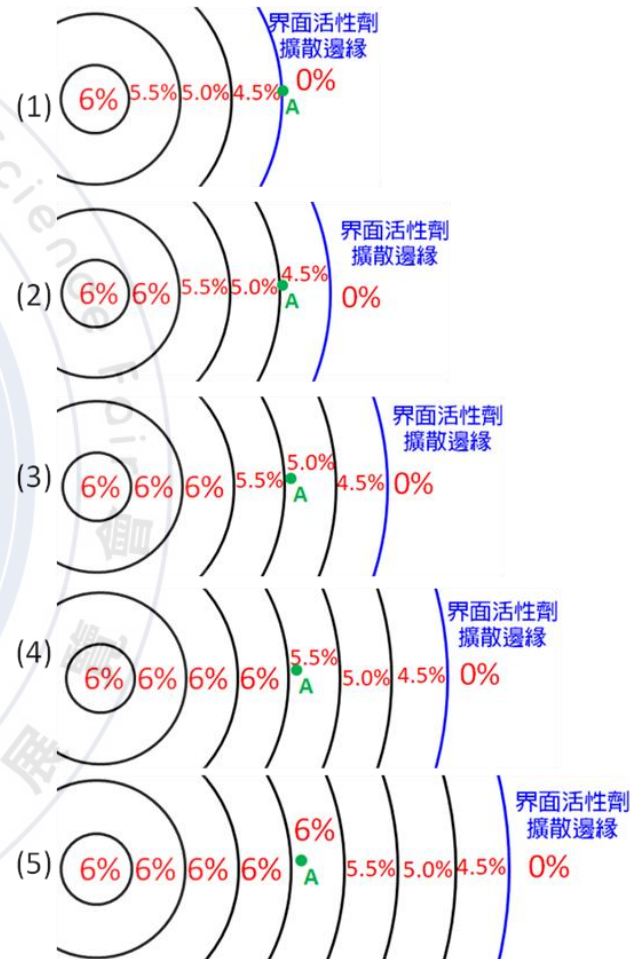
一、界面活性劑對各距離漂浮物之影響



▲圖1、0.99%之濃度擴散v-t圖

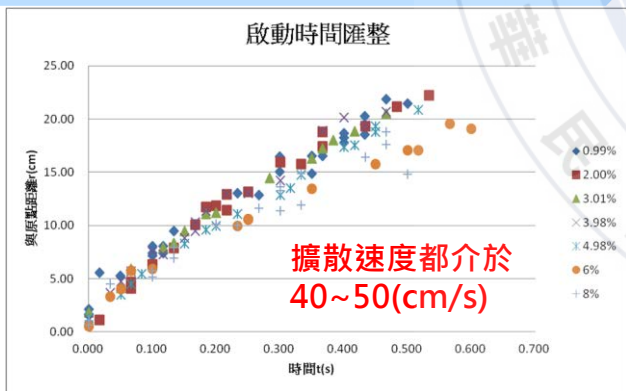


▲圖2、3.98%之濃度擴散v-t圖



▲圖5、濃度擴散示意圖

三、各濃度界面活性劑的擴散速率差異



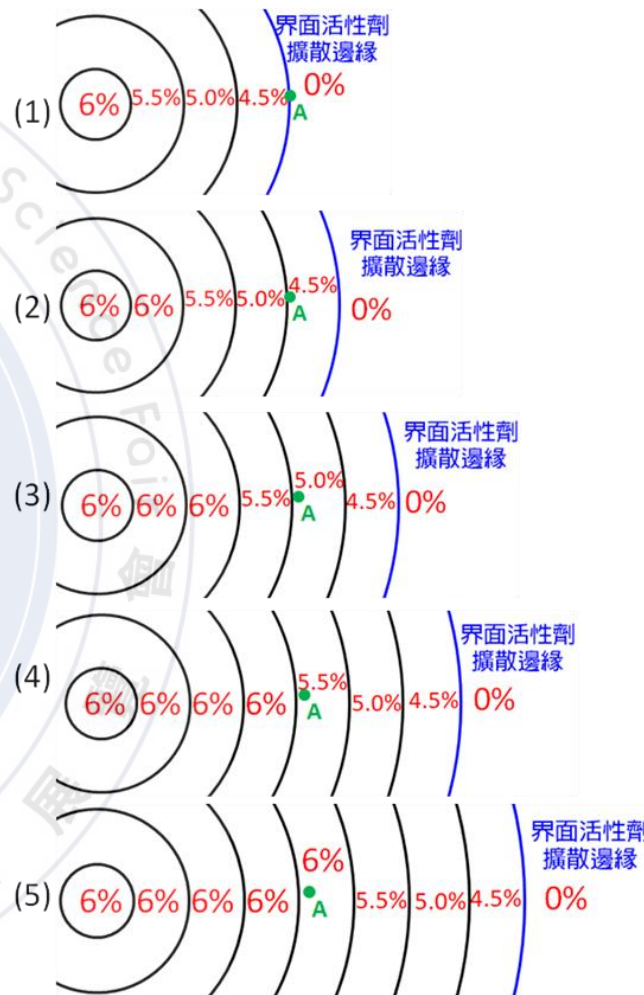
◀圖3、各濃度界面活性劑的擴散速率差異



▲圖4、液滴觸及漂浮物及液滴擴散後之合力示意圖

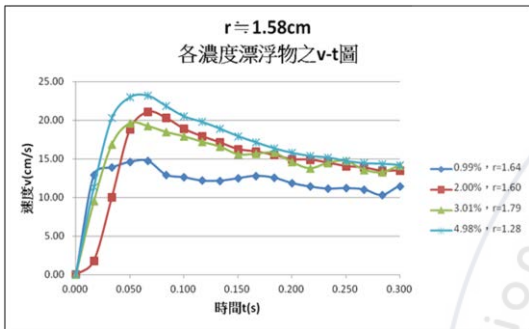
一、界面活性劑對各距離漂浮物之影響

- 1、因為介面活性劑是以薄膜的方式擴散，且速度都介於40~50cm/s，所以漂浮物都在極短的時間內到達急速。
- 2、界面活性劑的擴散方式如右圖。

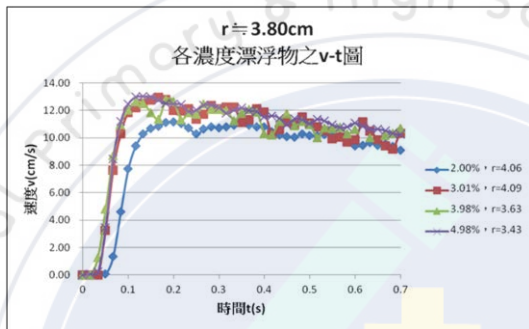


▲圖5、濃度擴散示意圖

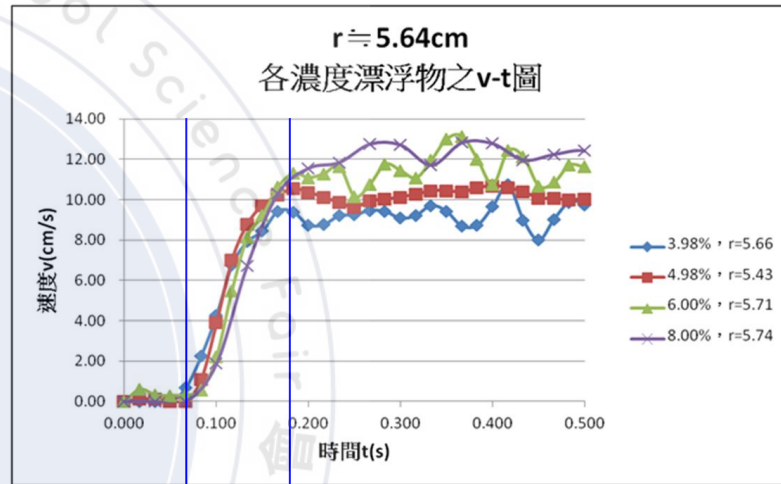
二、各濃度界面活性劑對相同距離漂浮物之影響



▲圖6、距離約1.58cm之各濃度對漂浮物之v-t曲線



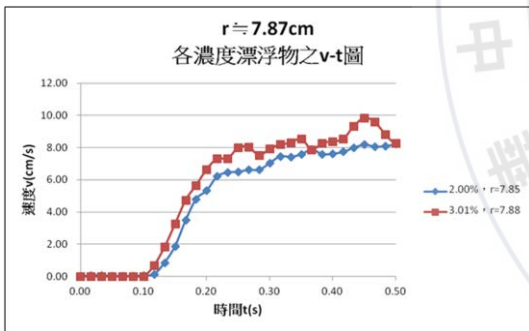
▲圖7、距離約3.80cm之各濃度對漂浮物之v-t曲線



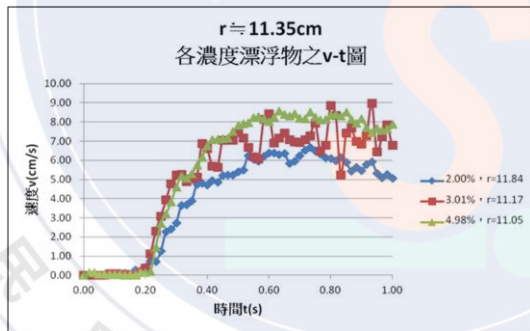
▲圖8、距離約5.64cm之各濃度對漂浮物之v-t曲線

0.11(s)

不同濃度在相同距離漂浮物在前期加速度以及加速時間大致相同

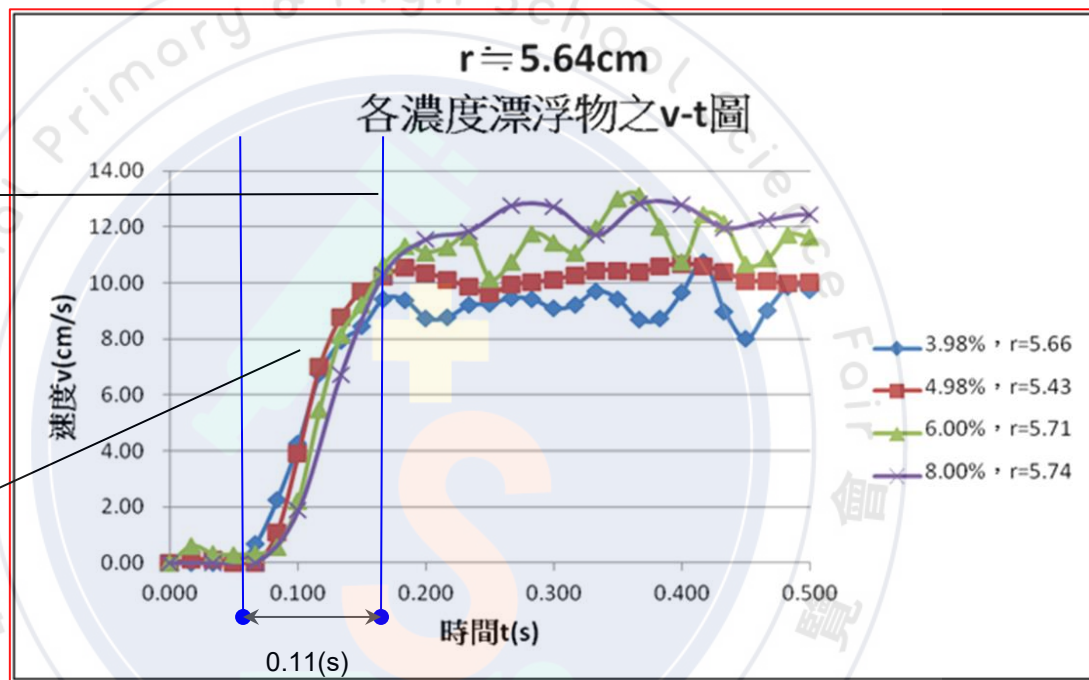


▲圖9、距離約7.87cm之各濃度對漂浮物之v-t曲線



▲圖10、距離約11.35cm之各濃度對漂浮物之v-t曲線

二、各濃度界面活性劑對相同距離漂浮物之影響



達到極速
所需時間
幾乎相同

初期加速度
 127cm/s^2

▲圖8、距離約5.64cm之各濃度對漂浮物之v-t曲線

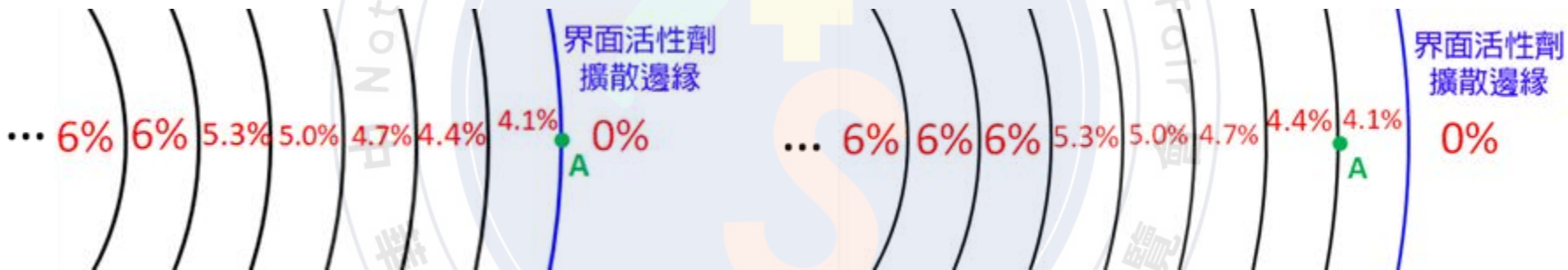
初期**加速度**與**達到極速所需時間**大致**相同**

相同距離下**不同濃度**對它的**影響**大致**相同**

二、各濃度界面活性劑對相同距離漂浮物之影響



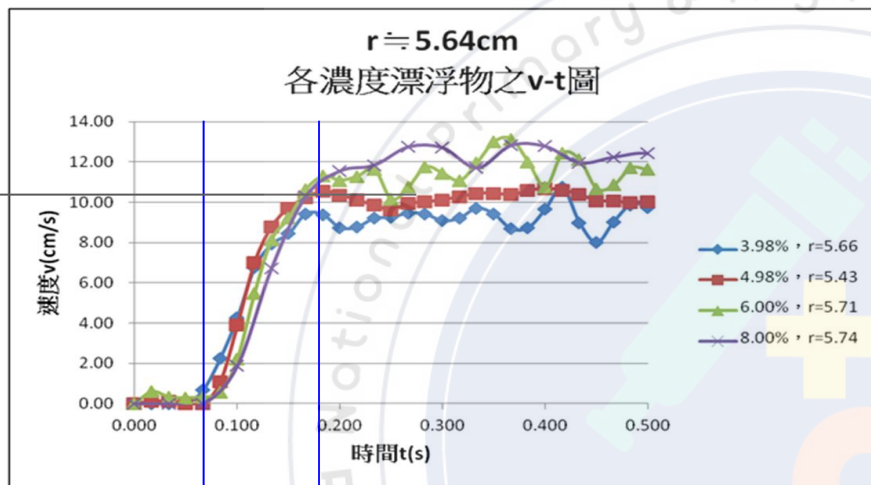
▲圖11、2%濃度擴散示意圖



▲圖12、6%濃度擴散示意圖

- 1.不同濃度界面活性劑擴散至A處時，因左右的濃度高低差使得A受到推力
- 2.在相同距離，不同濃度對其造成影響(推力)大致相同

二、各濃度界面活性劑對相同距離漂浮物之影響



極速

與原點距離 (cm)	1.58	3.80	5.64	7.87	11.35
初期加速度 (cm/s^2)	510	304	127	84	55

表1、各濃度液滴對各距離漂浮物所產生的初期加速度

與原點距離 (cm)	1.58	3.80	5.64	7.87	11.35
加速時間(s)	0.06	0.08	0.11	0.14	0.19

表2、各濃度液滴對各距離漂浮物所影響的加速時間

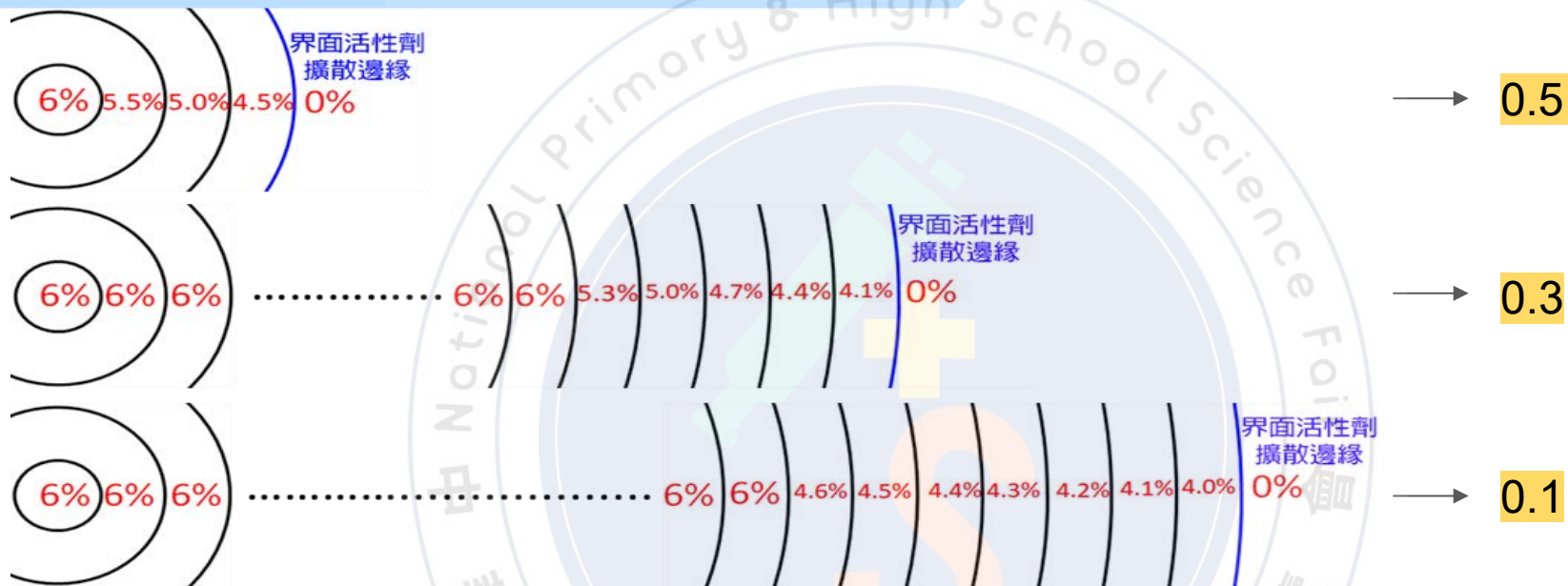
計算漂浮物在前期
加速度量值及加速時間

▲圖8、距離約5.64cm之各濃度對
漂浮物之v-t曲線

近處加速時間較遠處短
近處加速度量值較大

同距離時各濃度漂浮物
達極速所需時間差異不大

二、各濃度界面活性劑對相同距離漂浮物之影響



▲圖13、濃度擴散至近、中、遠處之邊緣梯度示意

近處加速度量值較遠處大，且近處加速時間較遠處短

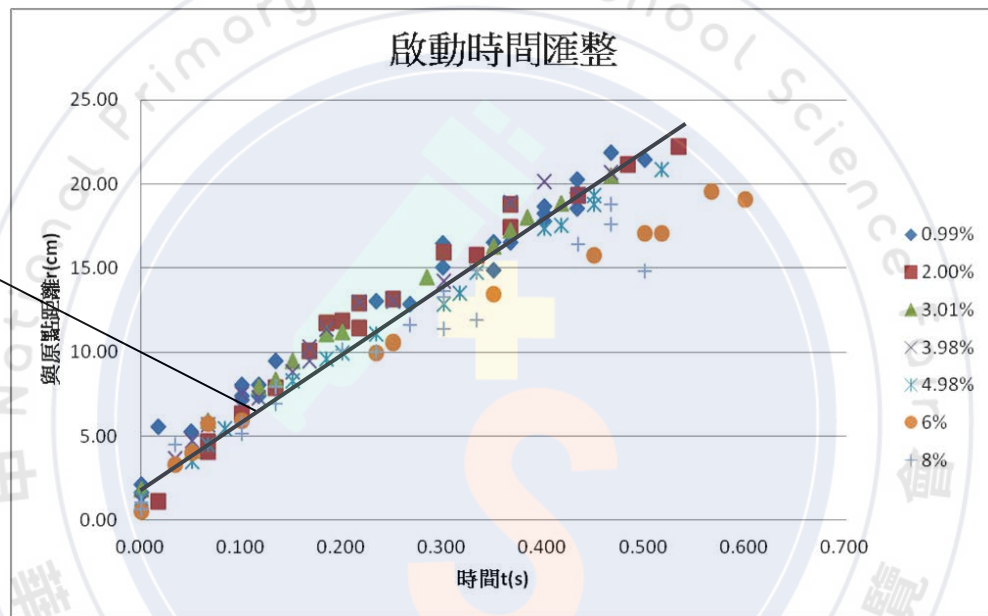
⇒各濃度溶液擴散時，離圓心之距離
近處之濃度梯度差較大，但梯度區域較窄
遠處之濃度梯度差較小，但梯度區域較寬

同距離時達極速所需時間差異不大

⇒各濃度擴散至相同遠近時
其濃度梯度相近且梯度區域寬度亦相近。

三、各濃度界面活性劑的擴散速率差異

各濃度擴散速度
 $\approx 40\text{cm/s}$



▲圖3、各濃度界面活性劑的擴散速率差異

- 1.各濃度液滴於水面之**擴散速度極為接近**
- 2.界面活性劑的擴散方式在**短時間內以薄膜方式擴散**於液體的表面

參、結論

一、比較同一濃度液滴對各距離之其漂浮物移動狀況之差異

- (一)距離較近的漂浮物較快啟動也可以在較短時間內達到極速，距離較遠的點則較晚開始啟動，而其達到極速所花費的時間亦較久。
- (二)液滴擴散速度大於漂浮物的移動速度，故漂浮物到達極速時合力消失受慣性滑行到停止。

二、比較不同濃度液滴對相同距離之漂浮物其移動狀況之差異

- (一)初期推動加速度以及所達極速所需時間相當接近，故其濃度衰減梯度相近。
- (二)近處加速度量值較遠處大，且近處加速時間較遠處短，
 - 離圓心較近處之濃度梯度差較大，但梯度區域較窄。
 - 離圓心較遠處之濃度梯度差較小，但梯度區域較寬。
- (三)濃度擴散至相同遠近時其濃度梯度相近且梯度區域寬度亦相近。

三、比較不同濃度液滴對各距離之漂浮物其啟動時間之差異

各濃度液滴於水面之擴散速度極為接近界面活性劑的擴散方式在短時間內以薄膜方式擴散於液體表面

肆、未來展望

未來期待做出能夠佐證**界面活性劑擴散方式**
(是否在水面上擴散、擴散的深淺差異等等)

- 使用**燈光照射水面**觀察反射光之波動來輔助界面活性劑擴散狀況之判讀
- **改變漂浮物質量大小**，觀察界面活性劑對於不同質量之推動能力或方式
(堆疊多層小圓點)
- 把水以不同深度作區間，**染不同色**，或以直徑不同區間染製不同顏色，
由顏色變化來觀察擴散情形。

伍、參考文獻資料

- 一、許至廷 (2001) 奇妙的表面張力。水的力量真奇妙 (62-77 頁)。新店: 泛亞文化。
- 二、許良榮 (2018) 表面張力趣味競賽 玩出創意 5 : 50 個魔法科學實作。台北市: 五南
- 三、國立台中教育大學科學教育與應用科學系「科學遊戲實驗室」-表面張力
(<http://scigame.ntcu.edu.tw/>)