

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：物理科

作 品 名 稱：氣泡在黏滯性液體中的運動

得 獎 獎 項：第一名
西班牙正選代表:西班牙 2006 年科學博覽會

學 校 / 作 者：高雄市立左營高級中學 王筱婷
 高雄市立左營高級中學 趙貞盈

作者簡介



我出生在一個小康家庭，從小父母就給我「要腳踏實地認真去做每件事」的觀念，培養了我獨立自主、負責、謙遜的個性；對所做的事情也有強烈的責任感與自我要求。積極學習、吸收不同事物，培養多方面的興趣；也積極參與競賽、活動、社團，增加各方面的經驗和能力。對於環境中發生的現象有強烈好奇心；勇於嘗試各種新鮮、有趣事物，有時也會因此得到許多意外的收穫。 王筱婷(圖右)

我生長於熱情又充滿活力的高雄縣,在這環境裡造就了我活潑又愛冒險的個性。喜歡帶著微笑過著每一天的我,最愛與不同背景的人互相分享生活中的經驗,也經常與朋友一起到外地見識各區的特色,以增廣見聞。我是一位完美主義的人，常要求自己一定要做的比別人更好，也因為這樣的態度，常得到一些師長的肯定與讚美。「勇於嘗試，不怕困難，也不怕後悔」是我的座右銘，每當自己在嘗試一些事物時，常會有意想不到的收穫，這也是我喜歡冒險的原因。 趙貞盈(圖左)

氣泡在黏滯性液體中的運動

摘要

本研究目的在探索不同大小之氣泡在不同黏滯性液體中運動情形。實驗結果發現大氣泡向上運動的速度較大，其下方會漸漸向內凹。並且觀察到氣泡間結合時的相互作用：氣泡在相同黏滯性膠水中上升時，若下方氣泡體積較大，其較快的速率會使距離縮短。此時小氣泡的下半向內凹，大氣泡的下半則向外呈現流線型尖端並且在接近小氣泡時速率增加，最後與小氣泡結合。若上方氣泡體積很小，與下方大氣泡的距離縮短至相互貼合，小氣泡會先停留在大氣泡的上半表面，再沿大氣泡表面下滑至大氣泡的下半才與大氣泡結合。

Bubble Motion in Viscid Fluid

This research traces the motions of bubble with different volume in viscid liquid. The experimental results show that the bigger bubble rises at faster speed. The shape of the small bubble is round. As the volume of the bubble increases, it turns hamburger-like. And if the bubble is big enough, its underside would be concaved. In viscid liquid, the speed of the bubble is not smooth but waved. The smaller the bubble is, the more the variation in speed is. The interaction of two bubbles is also studied. There are two types of the combination of two bubbles. While the big one closes to the small one, it is accelerated. The underside of the small one becomes concave. And the big one becomes streamline shape. If the difference in volume between two bubbles is significant, the small one slides along the surface of the big one, and goes into the concave beneath it, then combines with it.

壹、前言

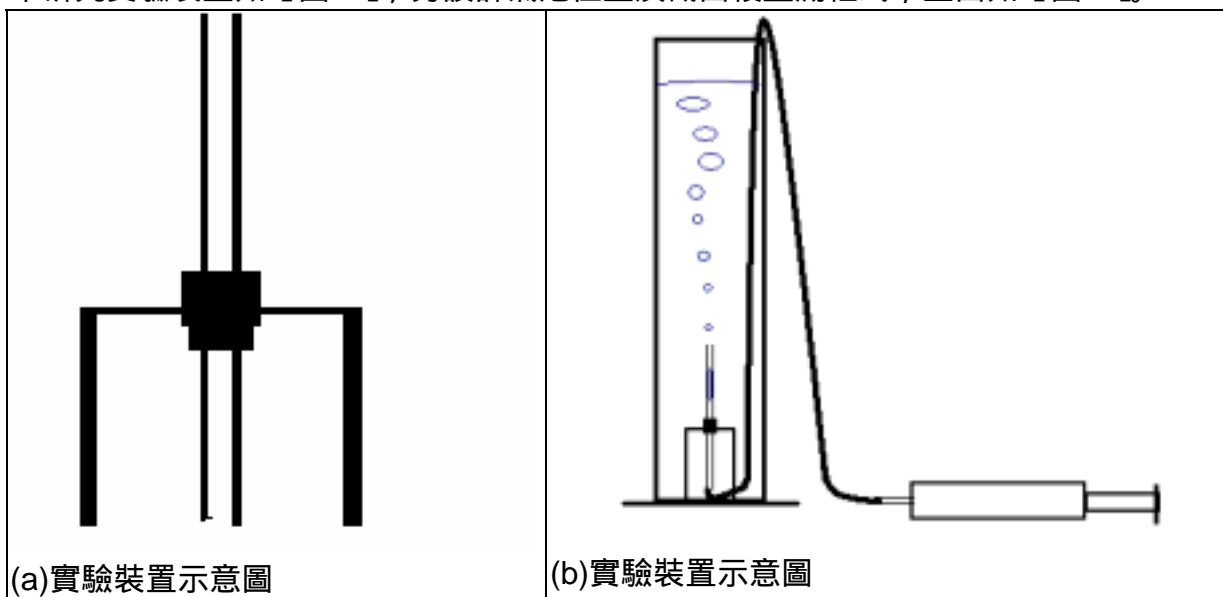
觀察魚缸內幫浦打出的氣泡時，發現大小不同的氣泡上升時形狀、上升方式均有所不同，使我們很好奇，究竟是什麼原因影響這些因素改變呢？在實驗室裡觀察了不同氣泡在水中上升的情形後，我們發現了一些有趣的現象。但因為氣泡在水中的上升速度很快，且打出的氣泡大小也很難掌控；為整理出其規律性，於是在黏滯性較強的液體中實驗，探討氣泡的行為。

本研究的目的為：

- 一、不同大小的氣泡上升時的速度變化；氣泡形狀有什麼不同？
- 二、在不同黏滯性液體中有什麼影響？
- 三、氣泡上升時附近液體的流動情形。
- 四、探討大氣泡與小氣泡間結合時的相互作用。
- 五、探討影響這些變動情形發生的因素。

貳、研究方法

本研究實驗裝置如【圖一】；另設計氣泡位置及截面積量測程式，畫面如【圖二】。

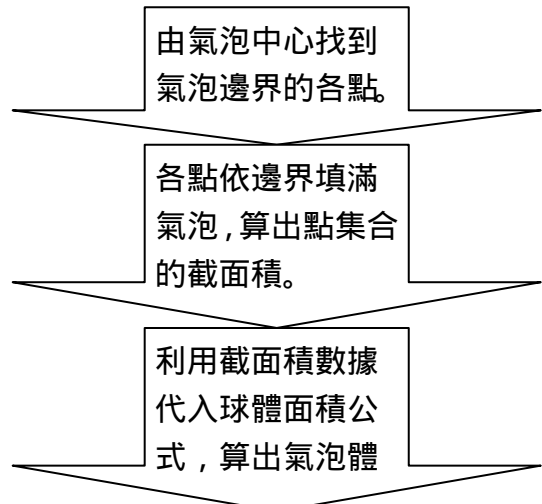




(c)實驗裝置-右起為投影機、實驗水槽（長 15cm、寬 15cm、高 1m）、數位攝影機
【圖一】



(a)氣泡位置及截面積計算程式
【圖二】



(b)計算程式應用原理步驟

參、研究過程



【圖三】研究過程流程圖

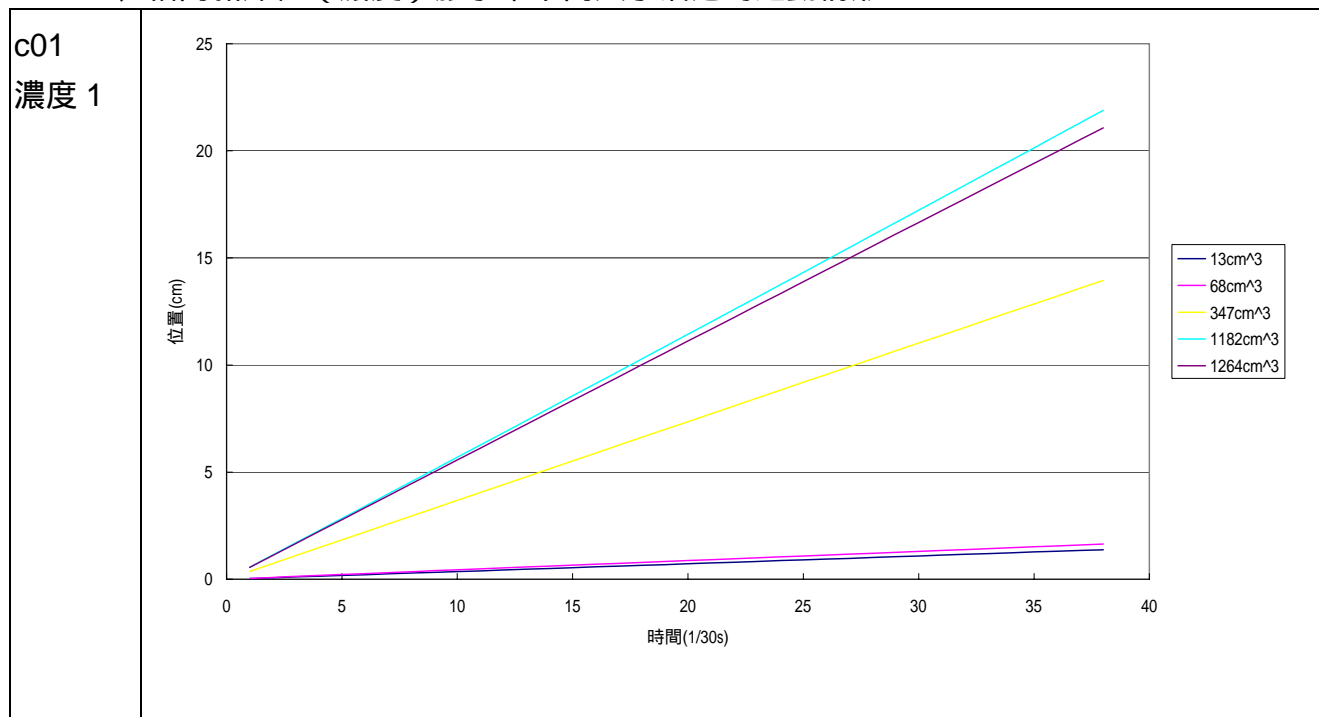
- 一、把裝有玻璃管的軟木塞塞在架子上如【圖一-a】，將橡皮管套在軟木塞下方玻璃管，架子兩邊各加上重物（250g 砝碼），防止其放入水槽後浮起。
- 二、將步驟一組裝好的器具放入水槽內，使橡皮管的另一端置於水槽外套上打氣筒，如【圖一-b】。
- 三、打氣筒畫上刻度，以刻度間隔及改變打氣速度控制，並用兩種不同口徑玻璃管替換，產生不同體積氣泡。
- 四、水槽（長 15cm、寬 15cm、高 1m）內裝入膠水至高 60cm 處。
- 五、為了清楚拍攝氣泡在水中移動情形，我們在水槽其中一壁外貼上有刻度的描圖紙，使投影機光源投射，數位攝影機則架設於另一面拍攝如【圖一-c】。
- 六、錄下氣泡上升過程，利用「威力導演 4」軟體，將影像轉錄成 DV-AVI 檔案。
- 七、將實驗影片逐一播放，用程式求得氣泡中心點在程式圖表中所在位置距離，計算上升速度、加速度；氣泡截面積。如【圖二】。
- 八、為改變膠水黏滯度，每次拿出水槽內高 10 cm 的膠水，並放入水至原來高度(60cm)攪拌均勻。為了方便整理及討論，以代號表示膠水濃度：

【表一】膠水濃度代號

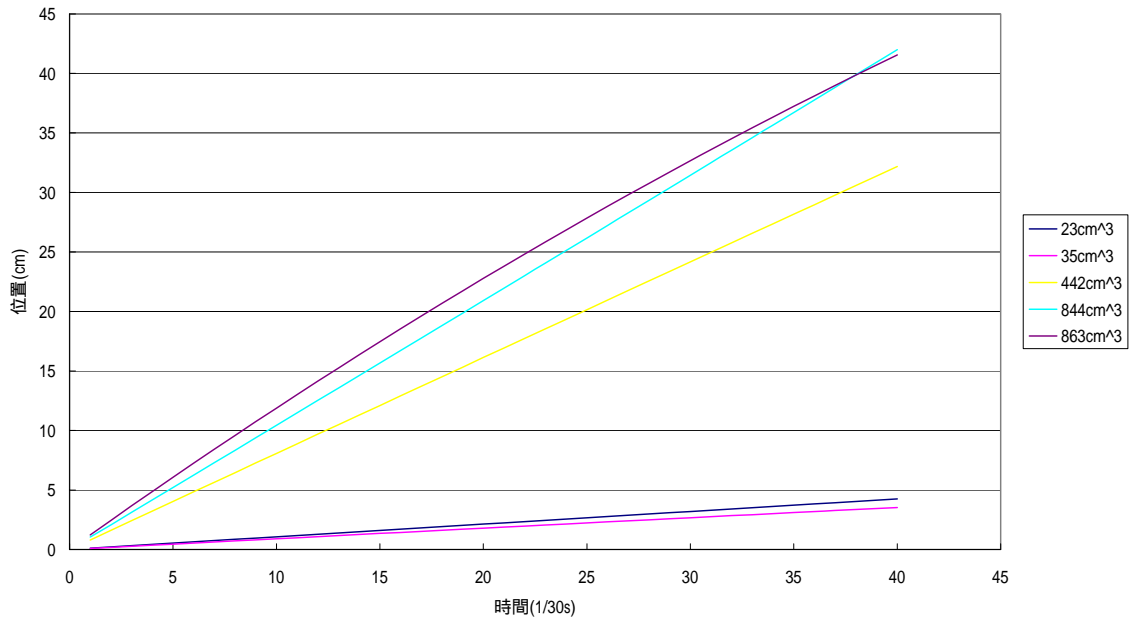
膠水代號	c01	c02	c03	c04
濃度	設未稀釋時為 1	5/6	25/36	125/216

肆、研究結果

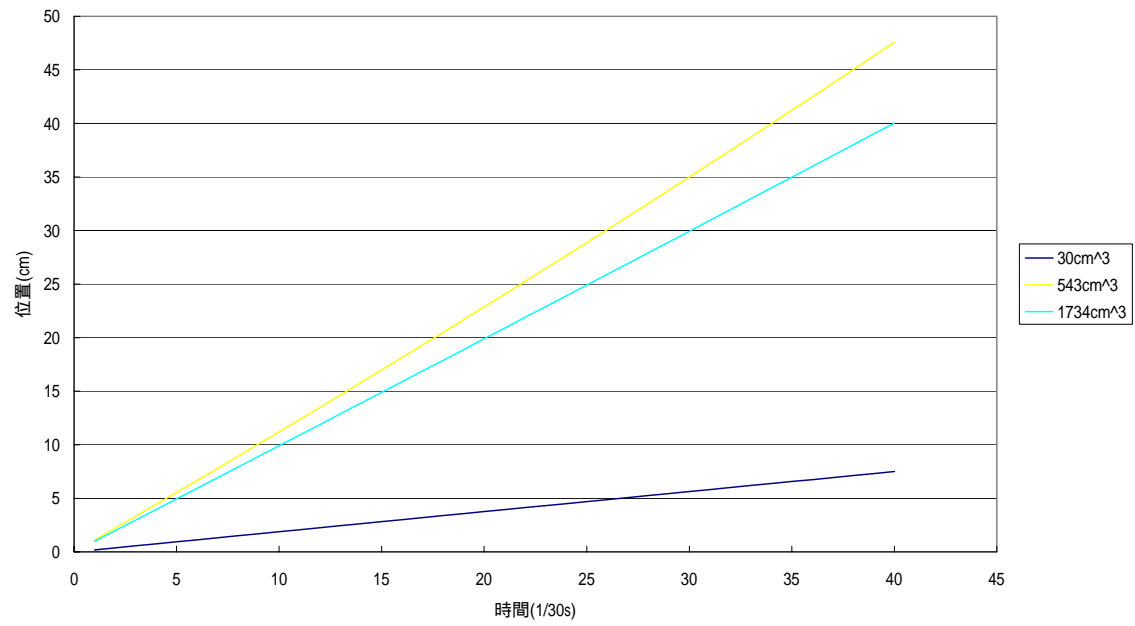
一、相同黏滯性（濃度）膠水中不同大小氣泡的運動情形



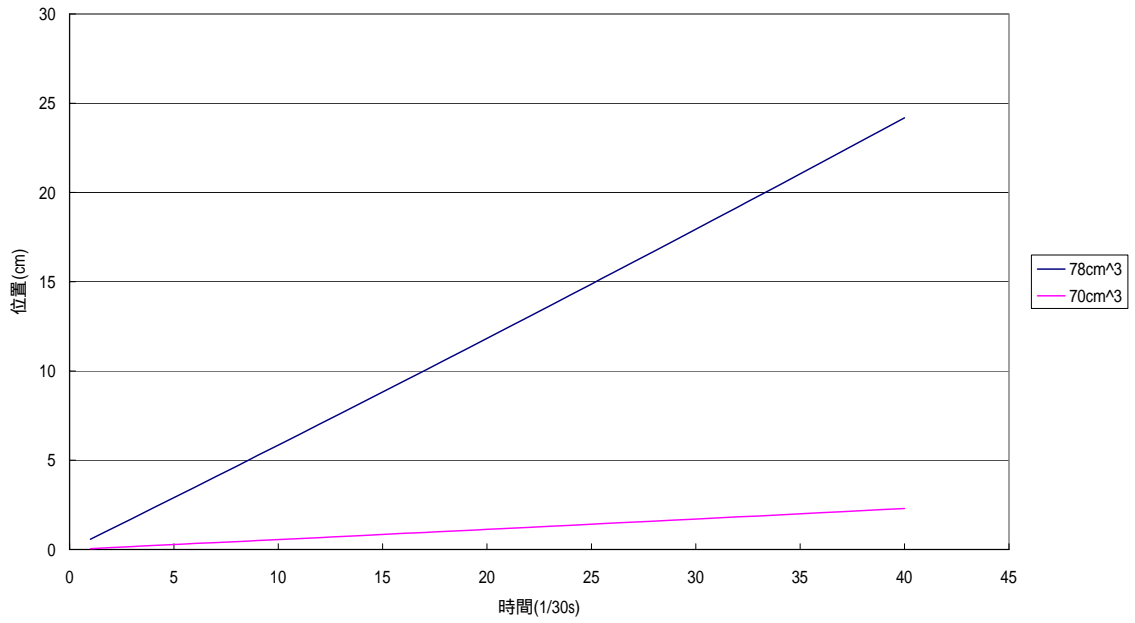
c02
濃度 5/6



c03
濃度
25/36

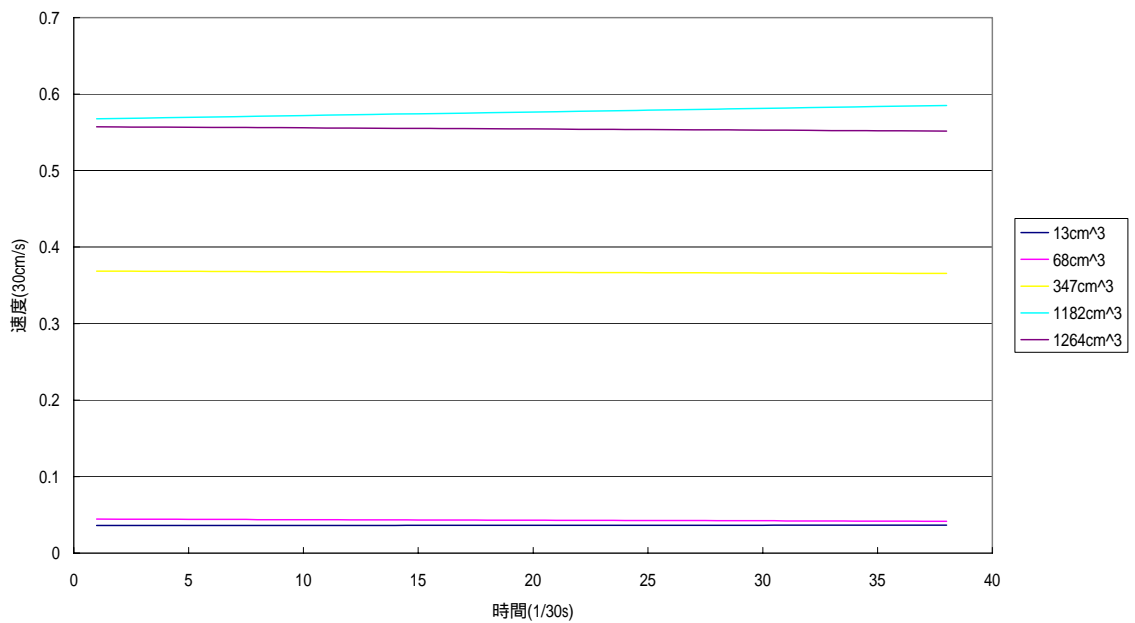


c04 濃度
125/216

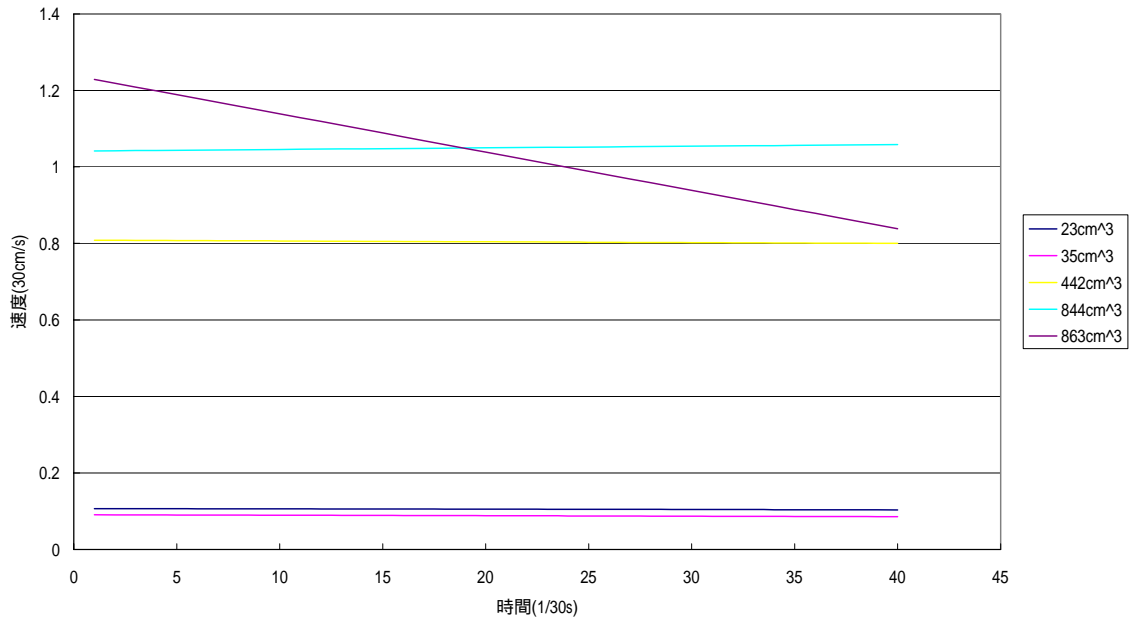


【圖四】相同黏滯性（濃度）膠水中不同大小氣泡運動情形的位置對時間關係。

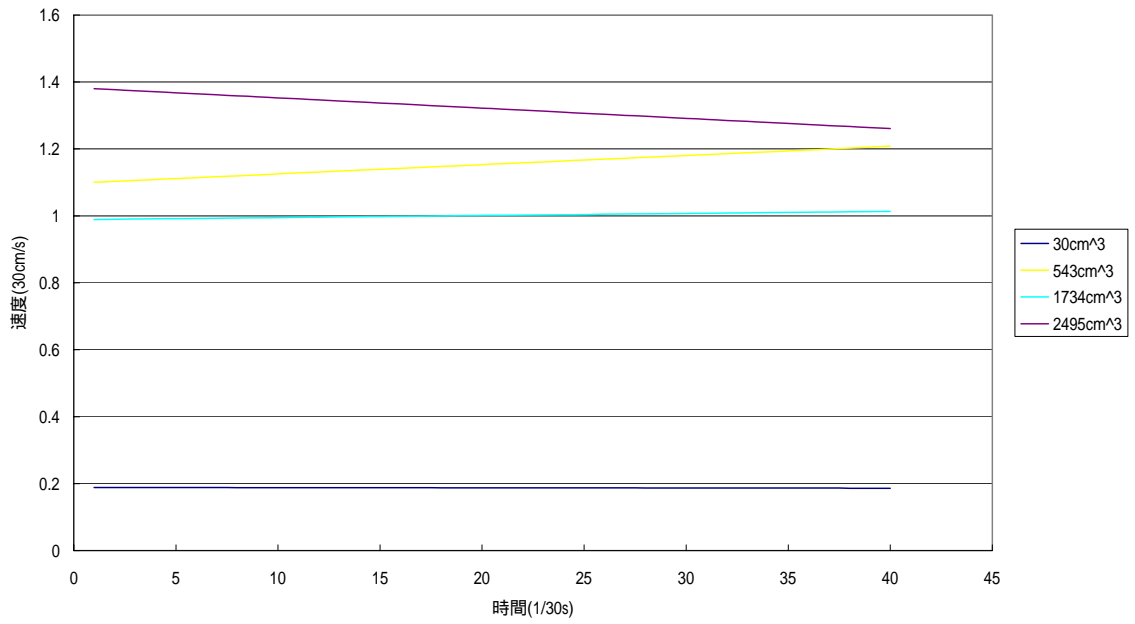
c01
濃度 1



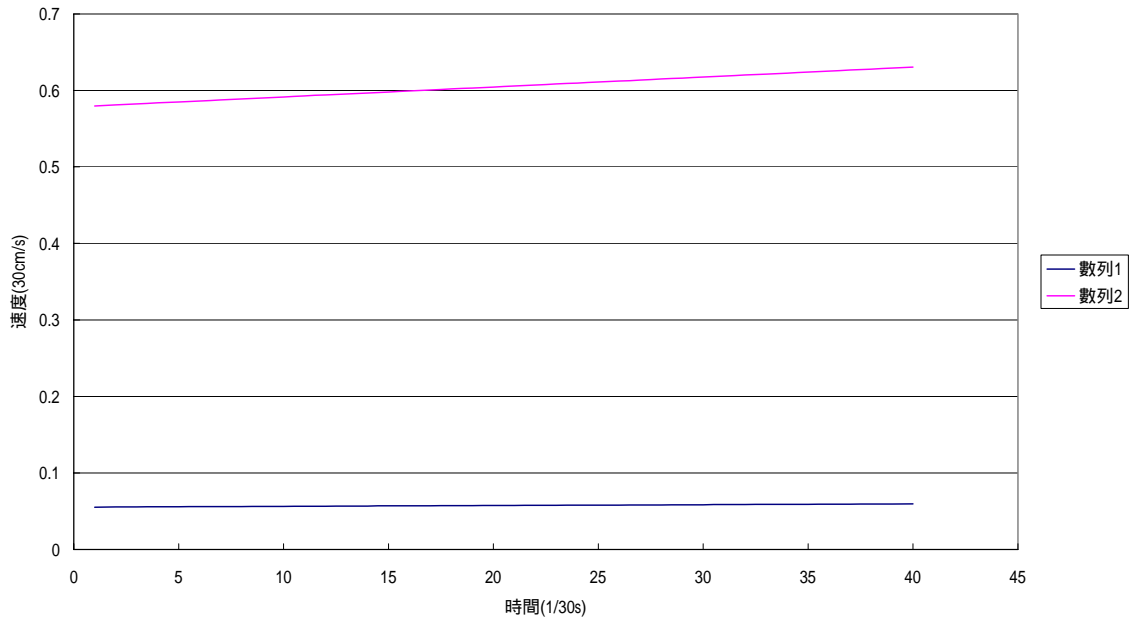
c02
濃度 5/6



c03
濃度
25/36

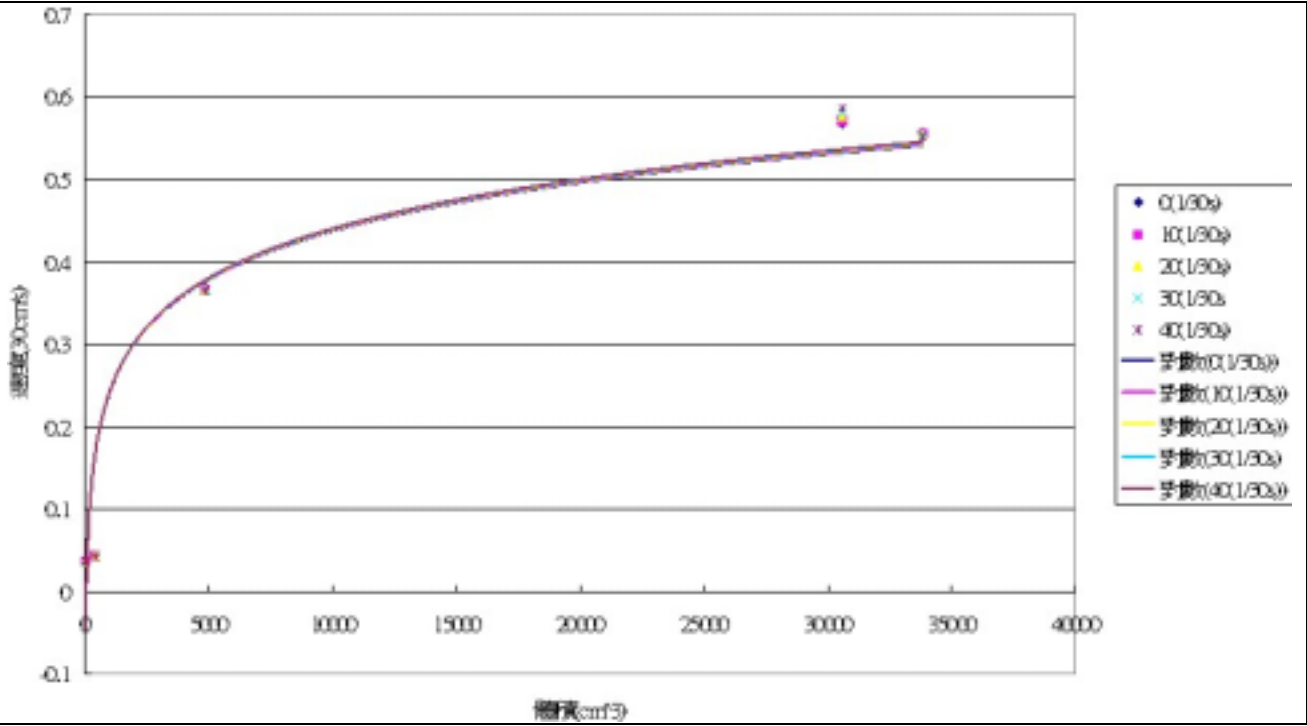


c04
濃度
125/216

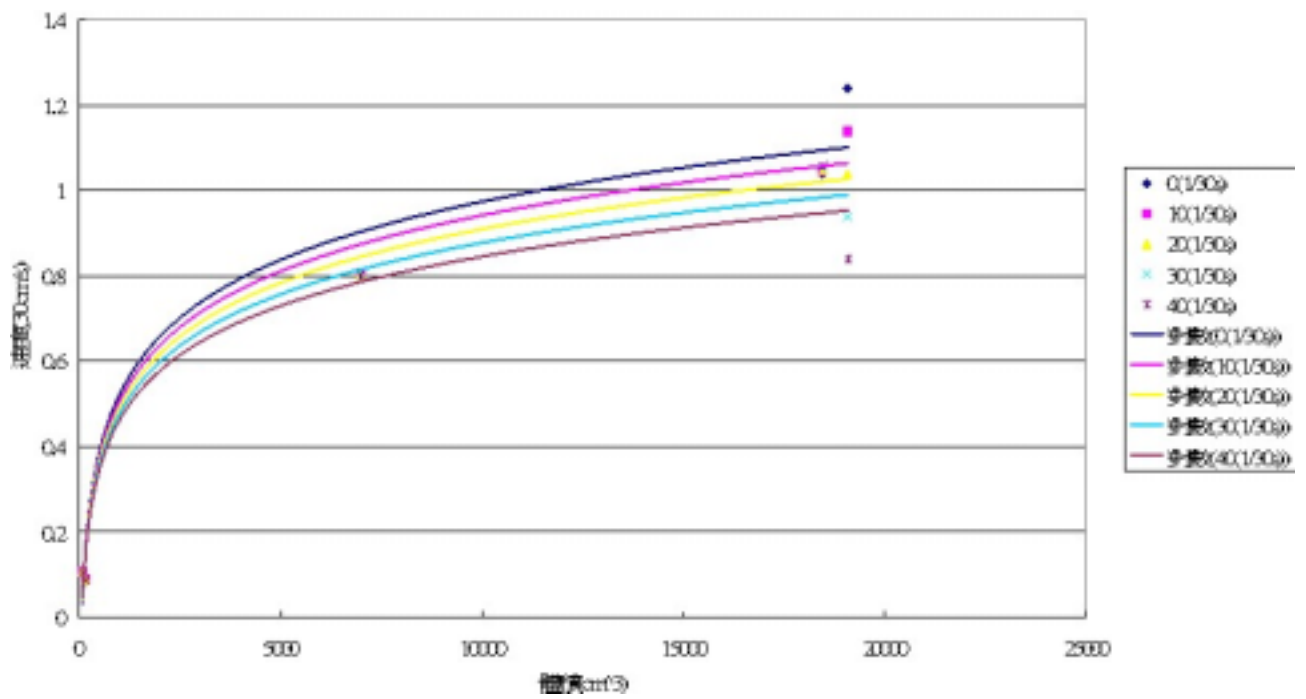


【圖五】相同黏滯性（濃度）膠水中不同大小氣泡運動情形的速率對時間關係。

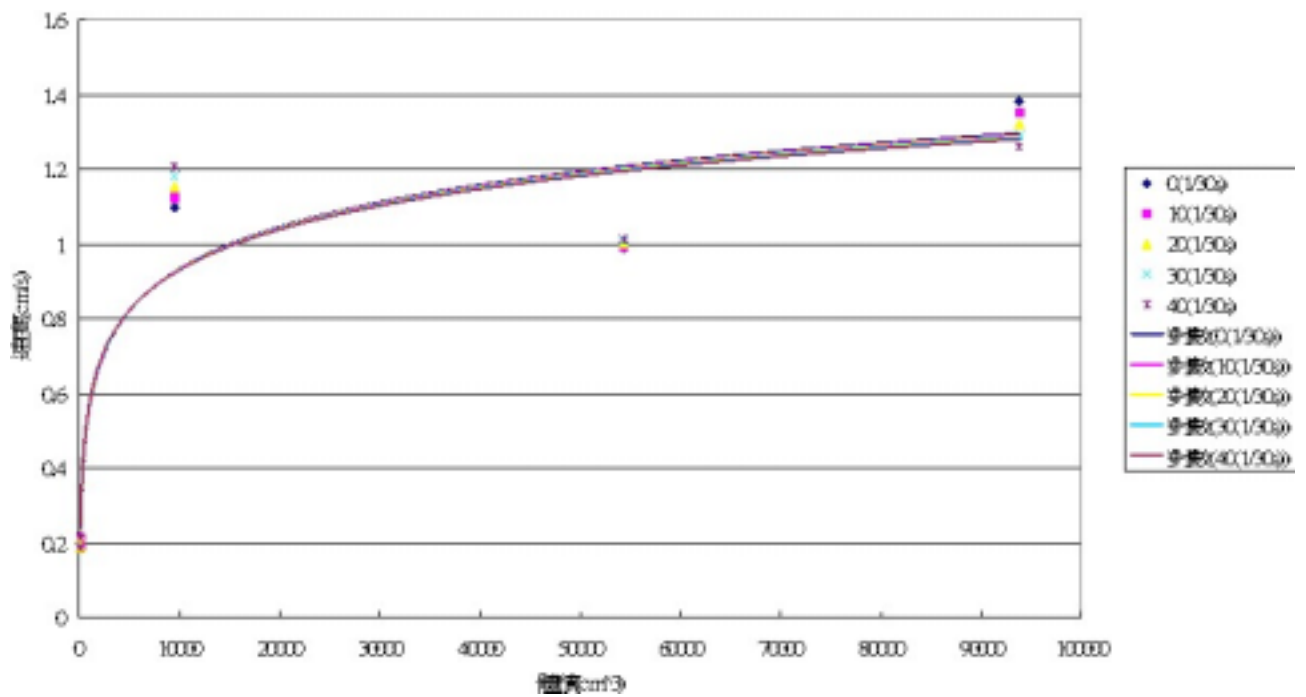
c01
濃度 1



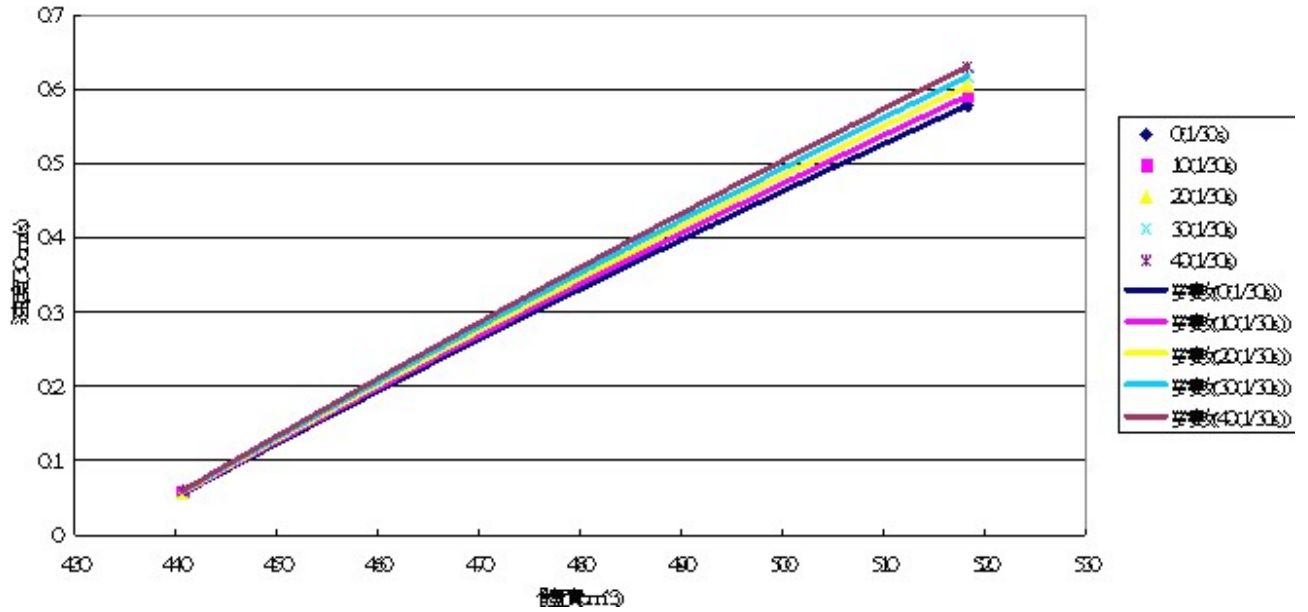
c02
濃度 5/6



c03
濃度
25/36



c04 濃度
125/216



【圖六】相同黏滯性（濃度）膠水中不同大小氣泡在不同時間上升時體積與速度的關係。

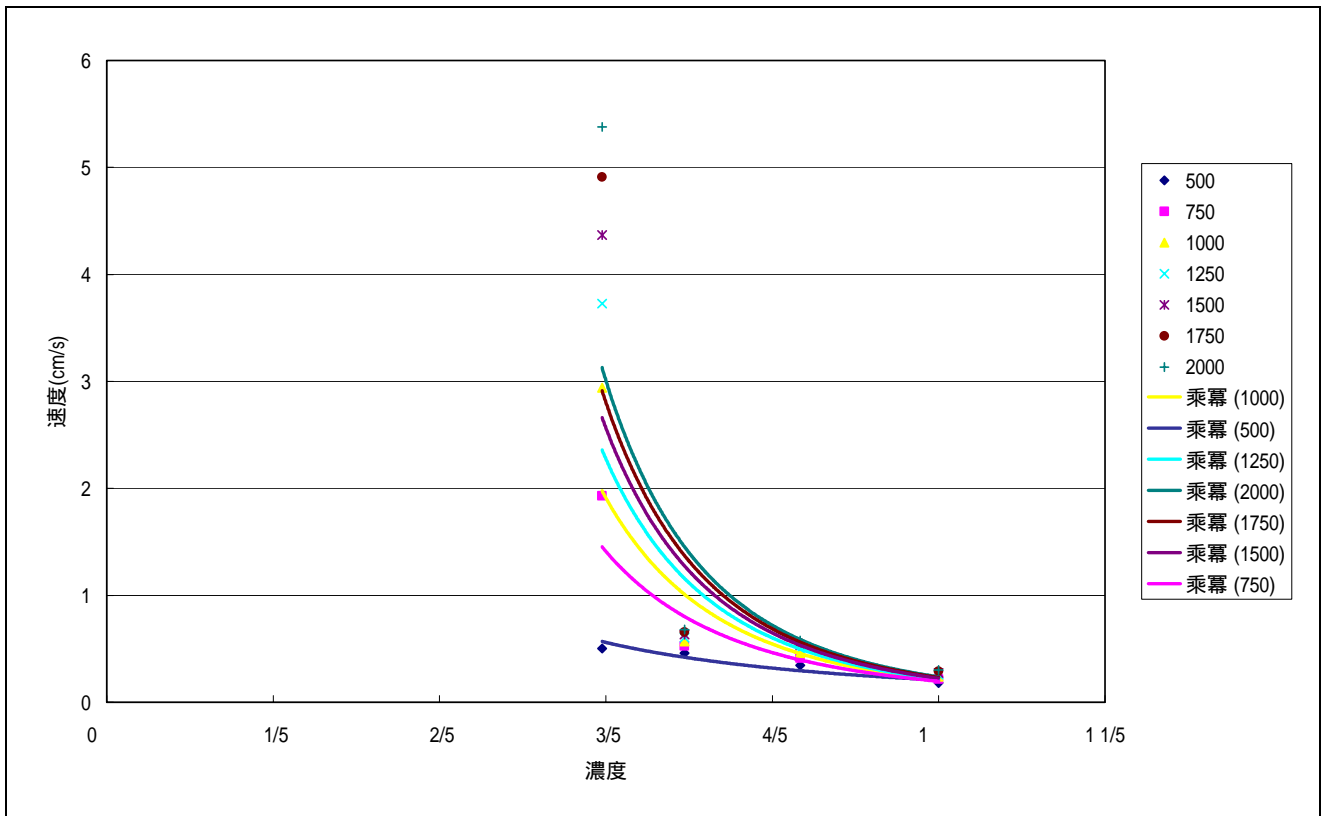
結果：

(1)相同黏滯性（濃度）的液體中，氣泡體積越大，終端速率越大；速率的起伏程度越小。

體積(cm^3)	0.065	0.268	5.58	20.6
速度(cm/s)	0.98	1.71	17.1	19.5

(2)黏滯性(濃度)較小的液體中較大的氣泡變得不穩定且有左右搖晃及散開的現象。

二、體積相同之氣泡在固定黏滯性（濃度）之膠水中的運動情形

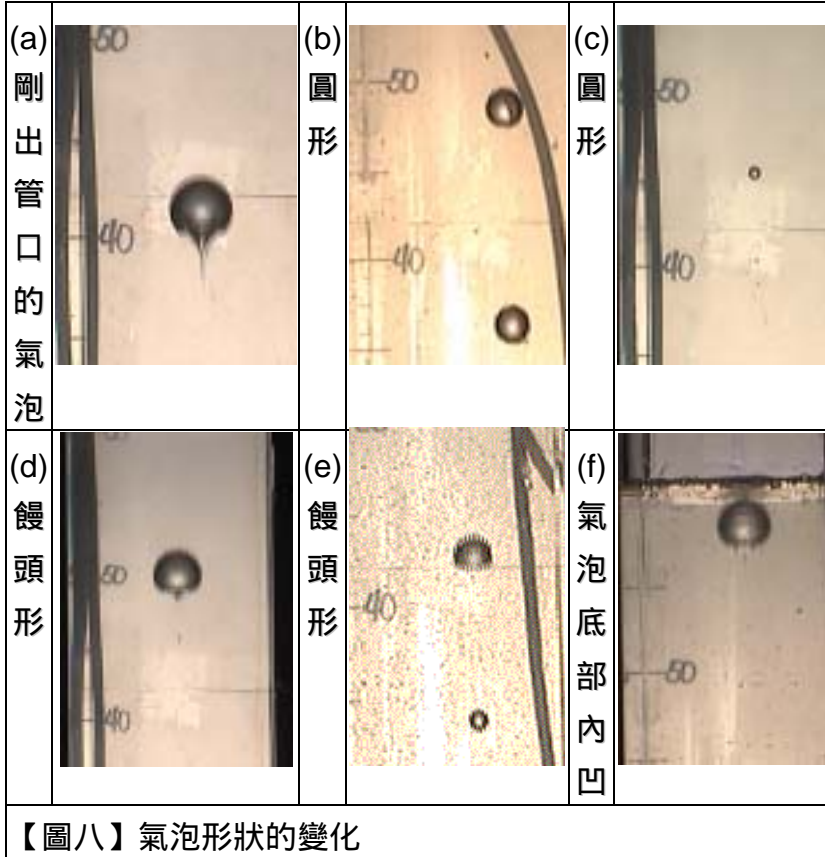


【圖七】體積相同之氣泡在固定黏滯性（濃度）之膠水中的運動情形

結果：

- (1)同體積下黏滯性（濃度）越小的液體中，速率越大。
- (2)氣泡體積越大，終端速率越大。

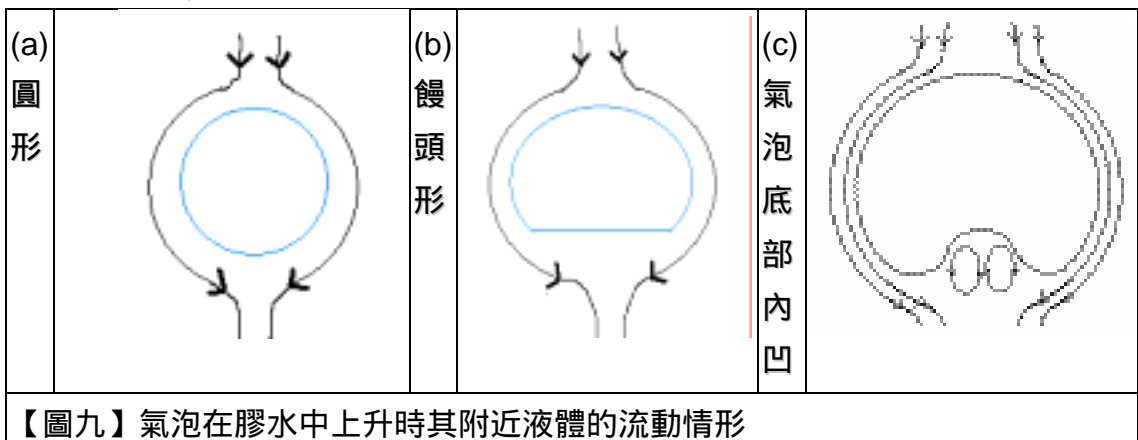
三、氣泡形狀的變化



結果：

- (1)較小的氣泡呈球形，大氣泡則呈饅頭狀，再大則氣泡底部內凹。
- (2)大氣泡向上運動先為球形，速度增加後變為饅頭狀，繼續加速則底部內凹。

四、氣泡在膠水中上升時其附近液體的流動情形

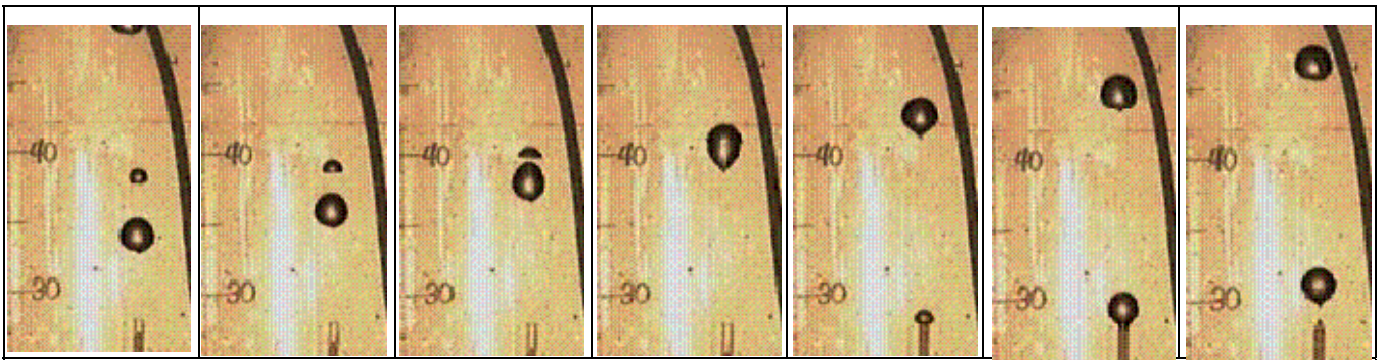


結果：

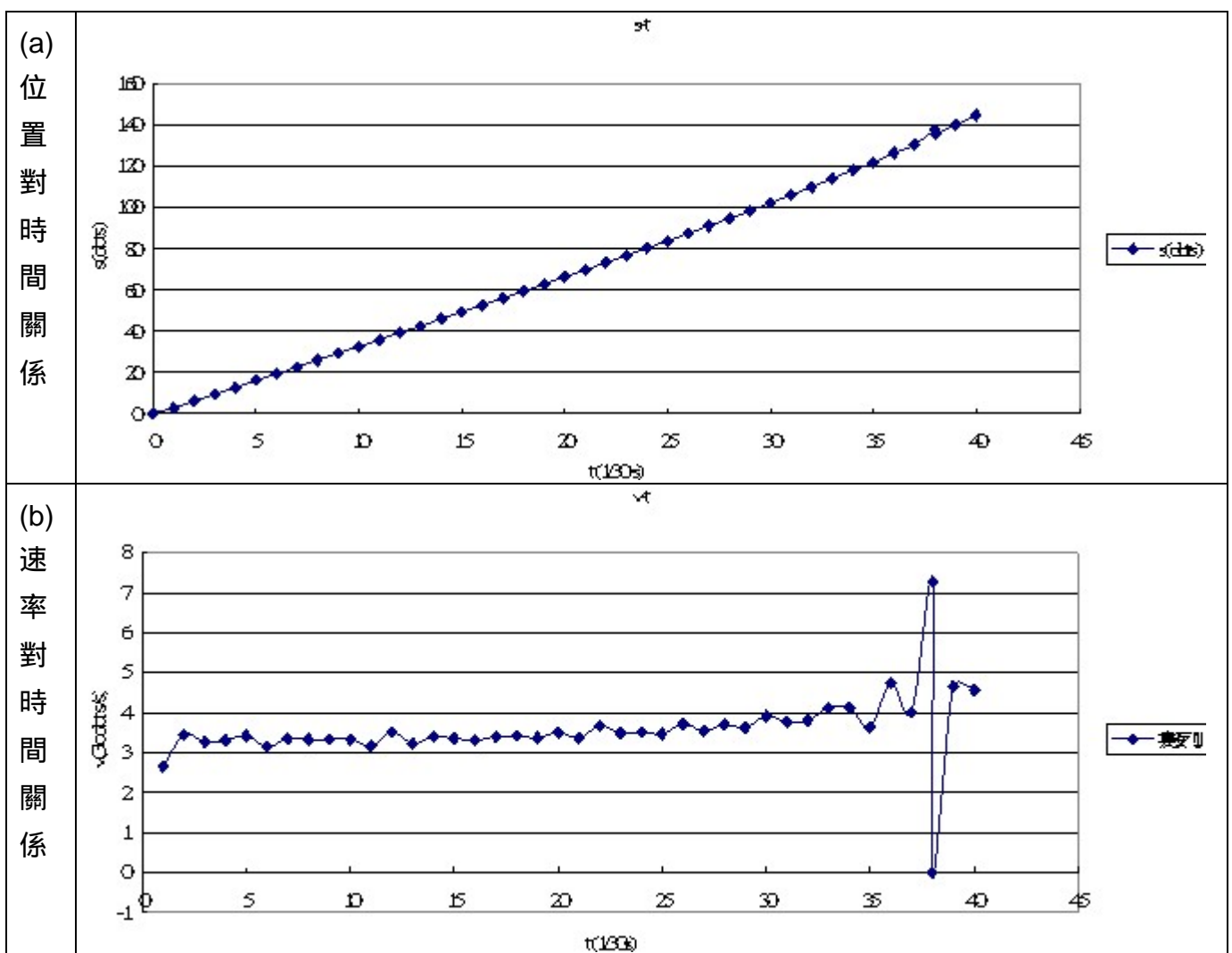
液體相對於氣泡流動情形如【圖九】，箭頭代表流動方向。

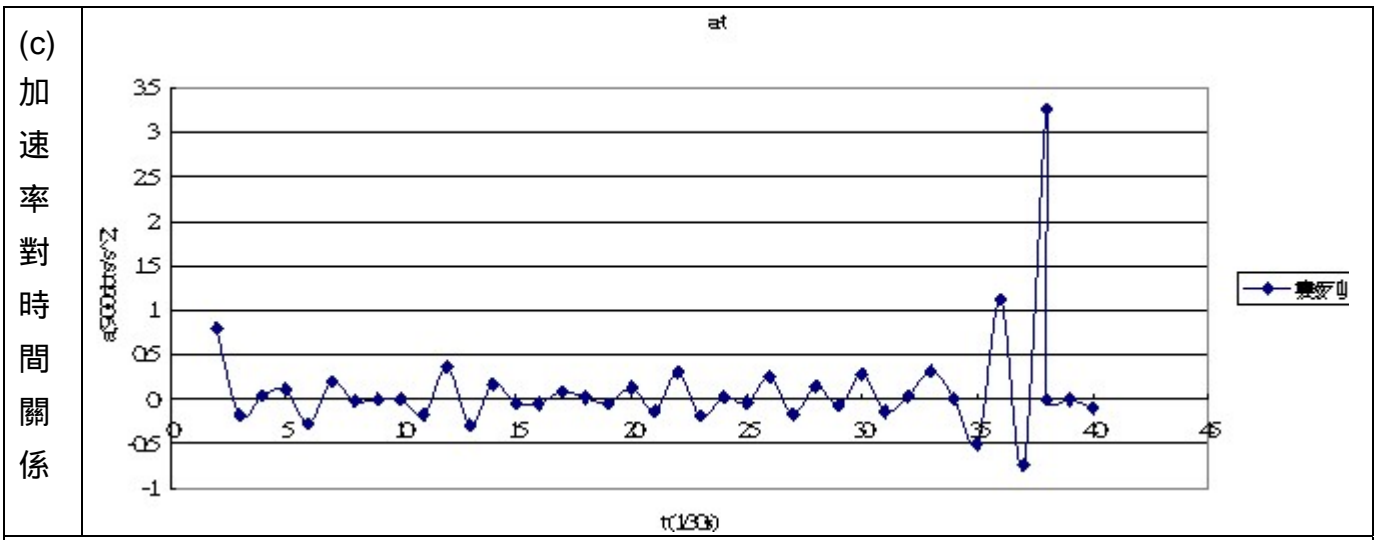
五、大氣泡與小氣泡間結合時的相互作用

1. 結合類型 a

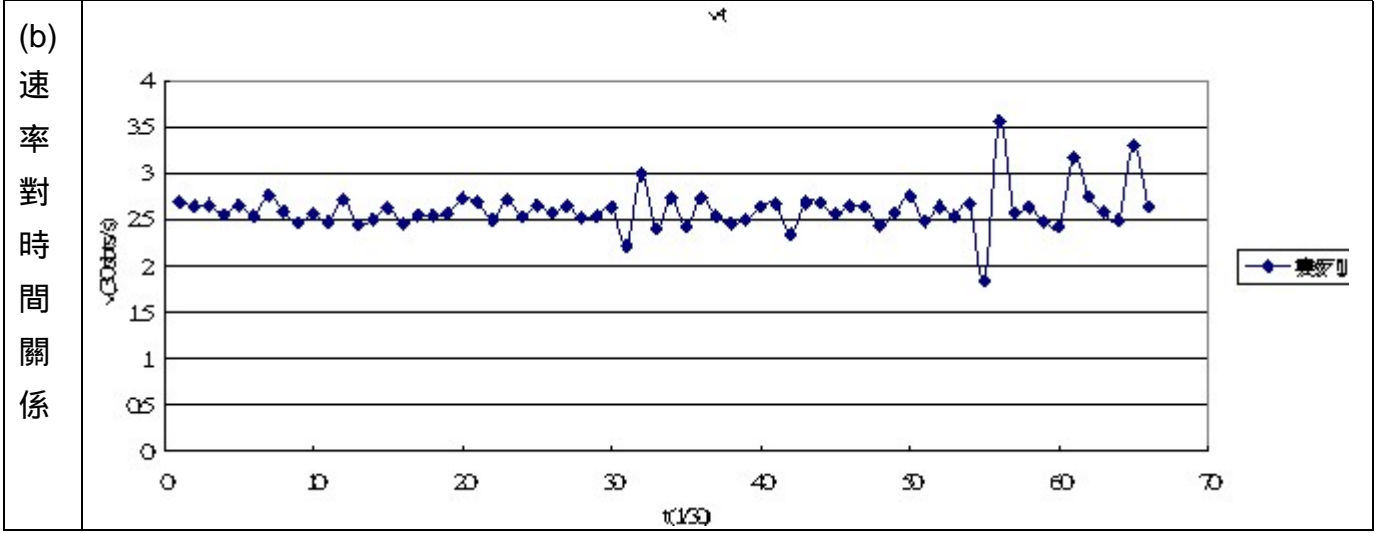
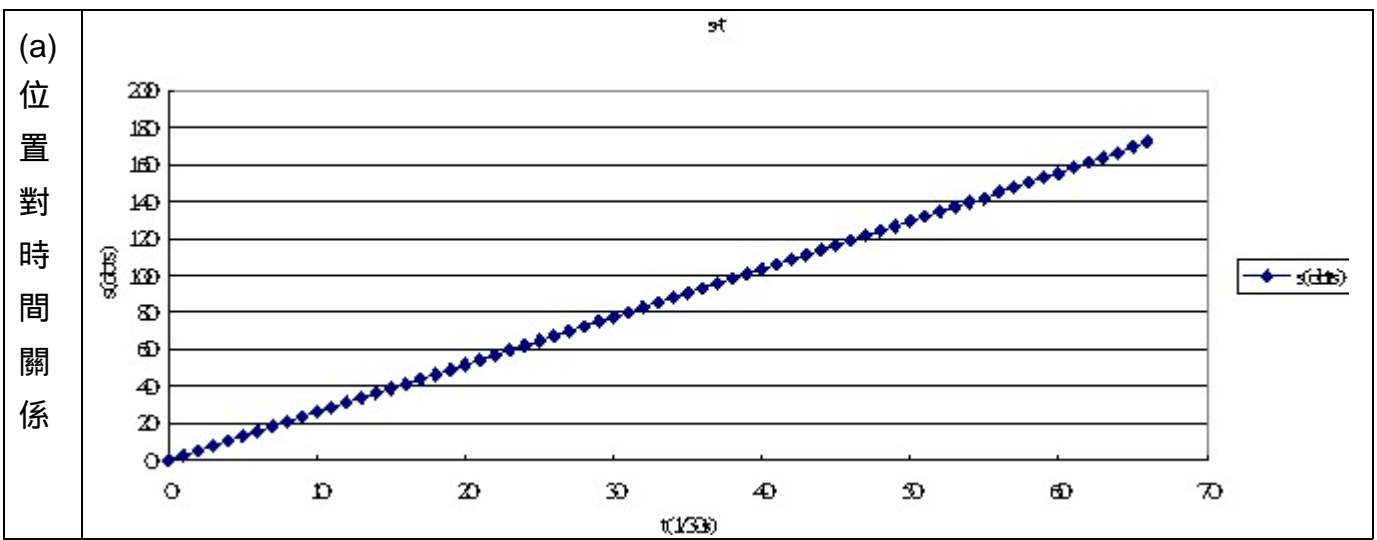


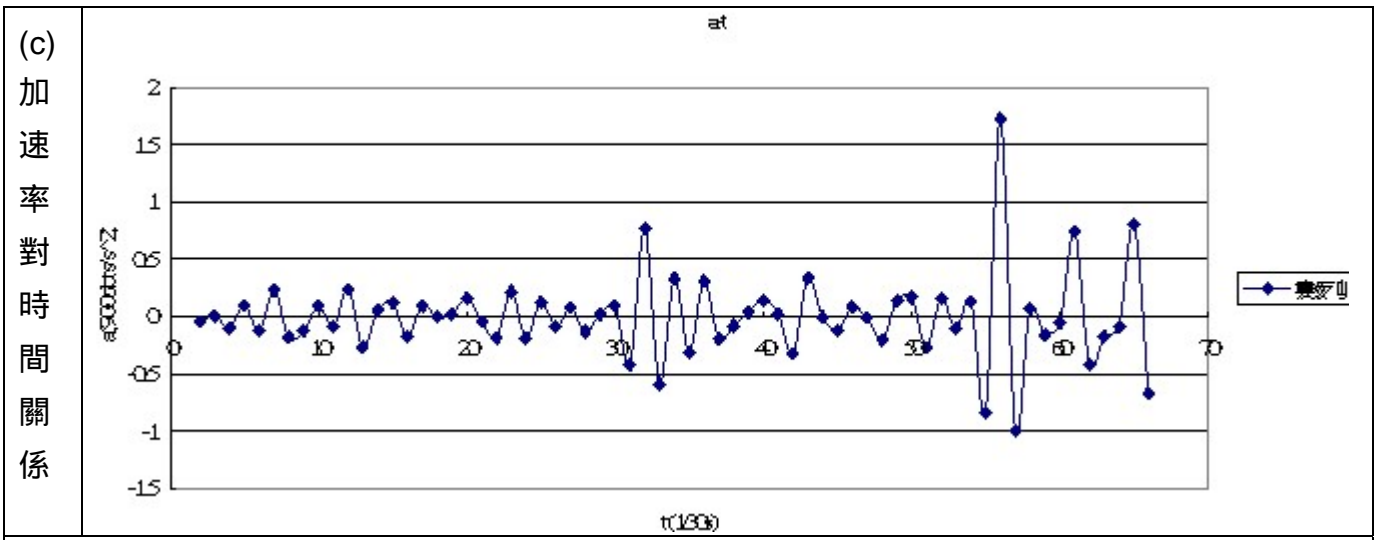
【圖十】C01 中的結合情形(每隔 1/6 秒)



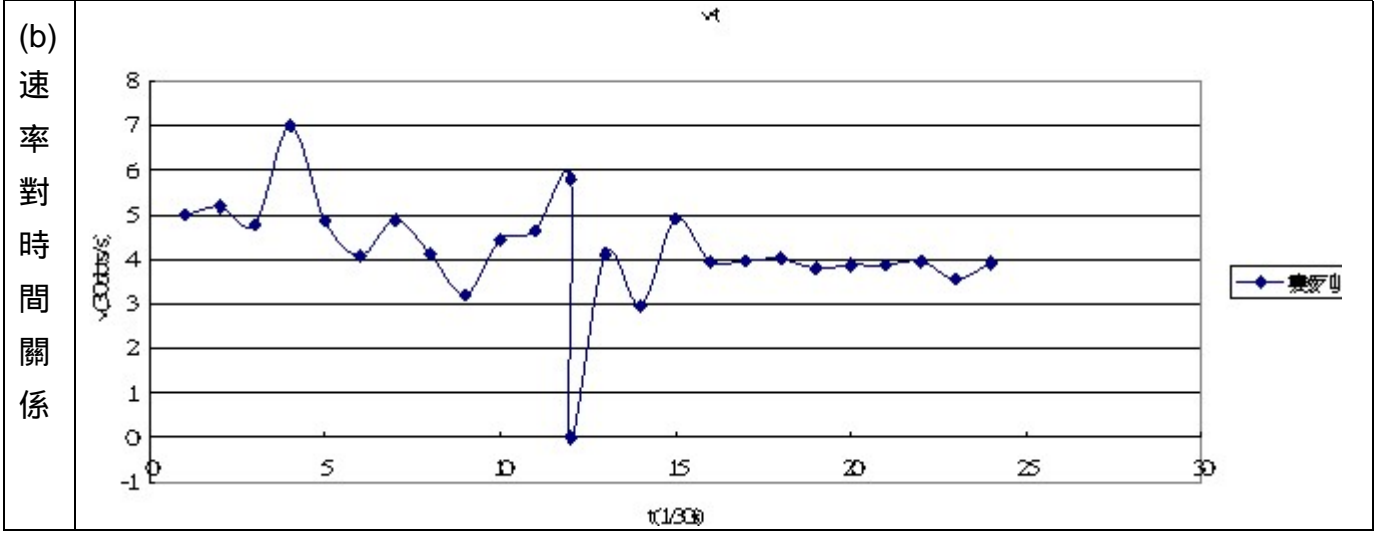
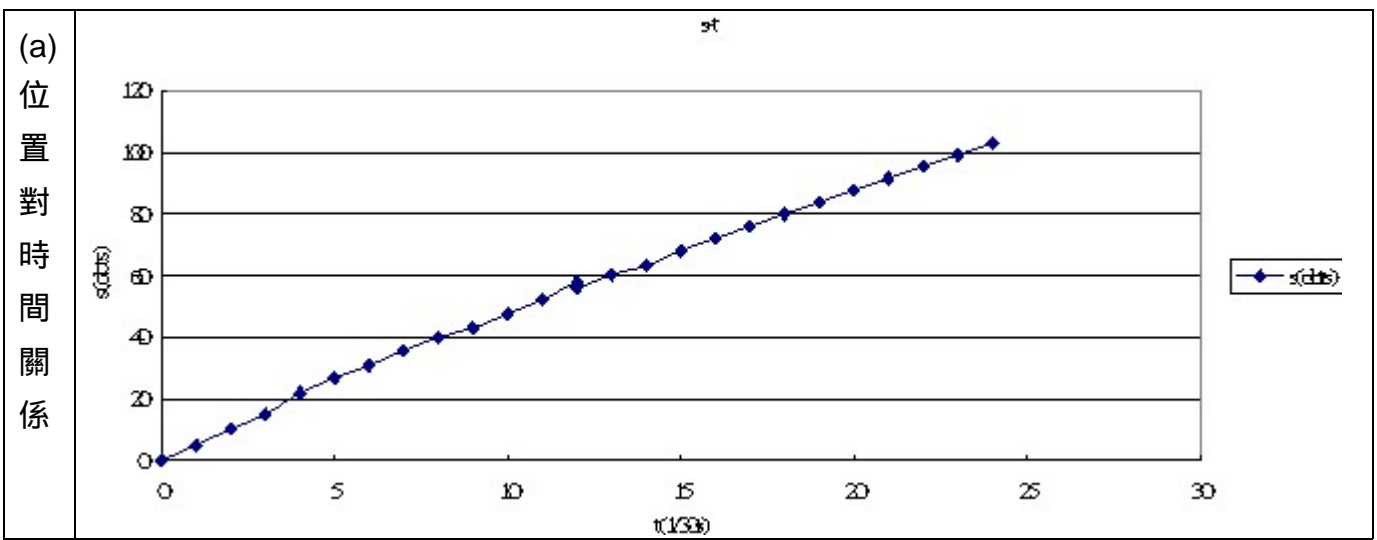


【圖十一】結合時下方大氣泡上升的數據圖

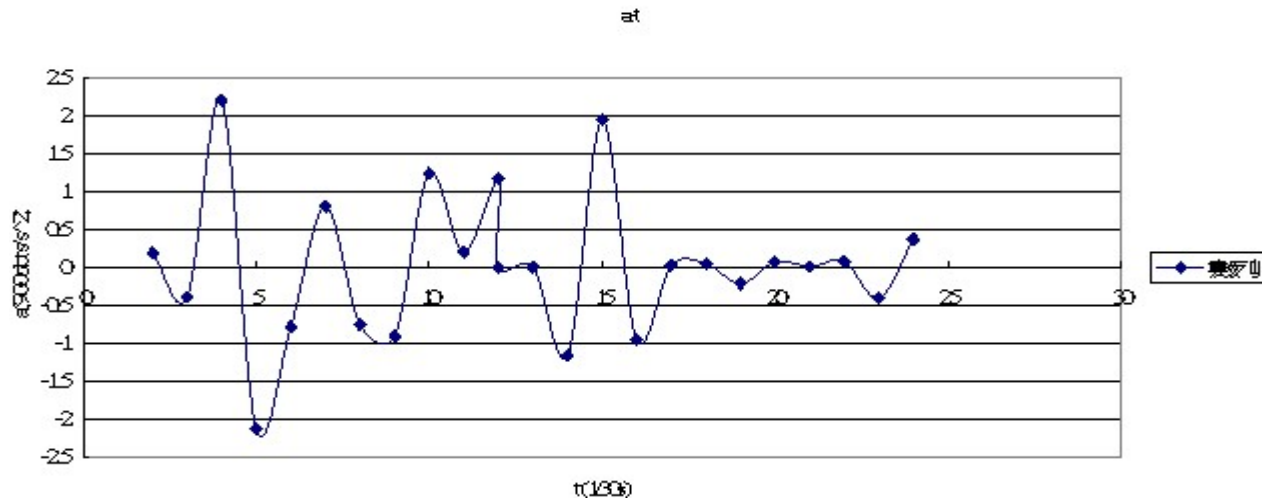




【圖十二】結合時上方小氣泡上升的數據圖



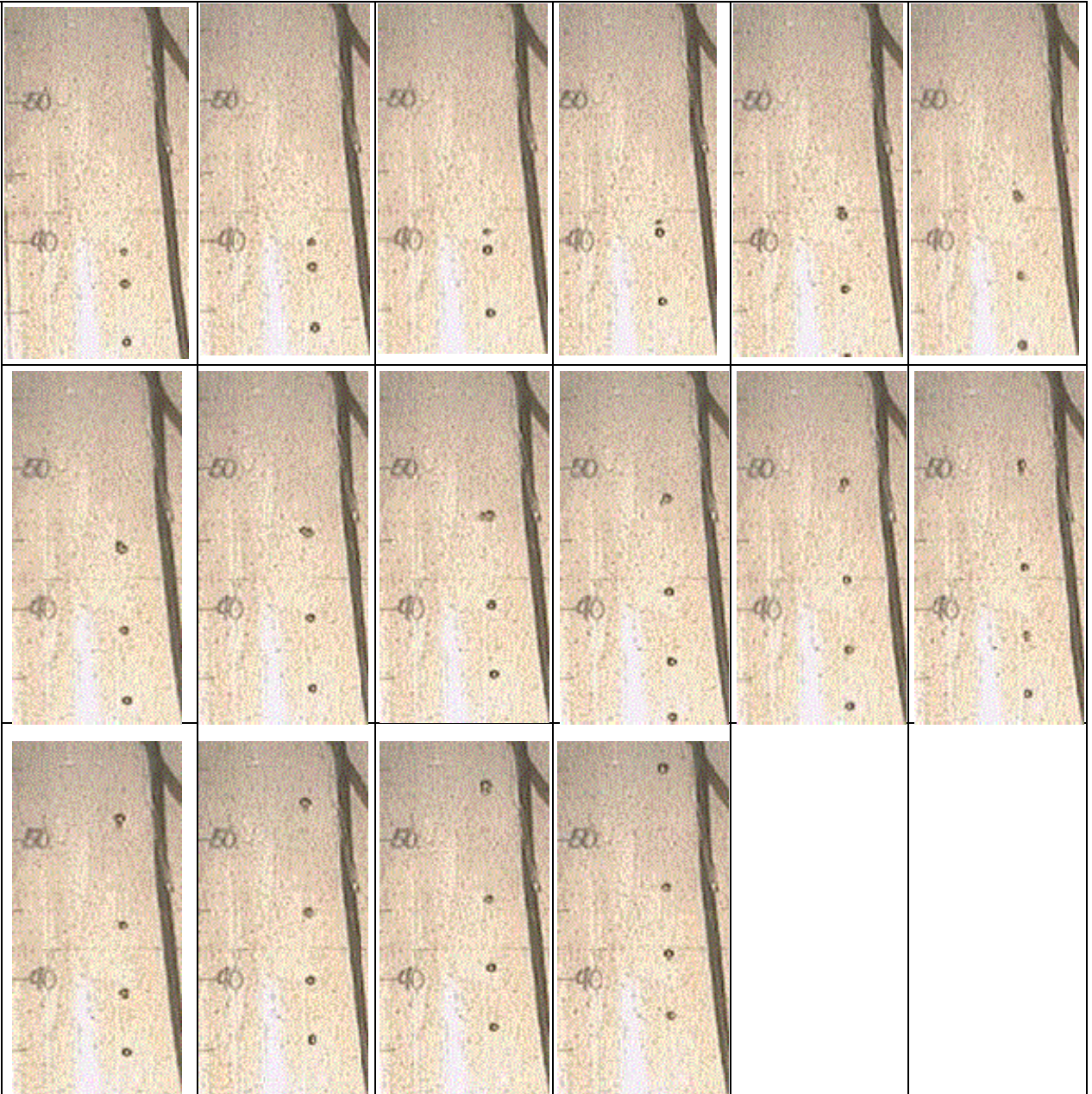
(c) 加速率對時間關係



【圖十三】大小氣泡結合後的的數據圖

2. 結合類型 b

【圖十四】
CO₂中的結合情形(每隔 1/3 秒)



結果：

(1)大氣泡會追小氣泡：兩氣泡在相同黏滯性膠水中上升時，若下方氣泡體積較大，其較快的速率使間距縮短。此時小氣泡的下半向內凹；大氣泡的下半產生流線型尖端，在接近小氣泡時速率增加最後結合。

(2)契合的相同點：兩氣泡在相同黏滯性膠水中上升時，若上方氣泡體積很小與下方氣泡體積差距大；上升同時小氣泡會貼合在大氣泡表面，再沿表面下滑至下端與其結合。

(3)黏滯性（濃度）越小的液體中，氣泡的結合情況較不緊密，有左右搖晃及散開的現象。

伍、討論

一、為什麼相同黏滯性的液體中，氣泡體積越大，速率的起伏程度越大？

氣泡最初從管口出來時阻力並不大，而浮力帶動氣泡向上使速率增加，此時和速率成正比的阻力也變大使速率減少進而浮力增加，循此規則而向上移動。由於大氣泡上升速率較小氣泡大，使速率的起伏程度也大。

二、為什麼大氣泡向上運動先為球形，速度增加後變為饅頭狀，繼續加速則底部內凹【圖八】、【圖九】？

因為大氣泡速率增加，流體的壓力越來越小；氣泡下方流動現象相對減弱，壓力增加而使形狀改變。

三、大氣泡與小氣泡間的結合現象是如何產生的？

1.大氣泡會追小氣泡【圖十】

(1)為什麼小氣泡的下半會向內凹：在這些距離及速率差距的條件下，下方的大氣泡足以“追”上小氣泡使距離縮短，這段距離中的膠水流動現象減弱，使小氣泡的下方壓力變大而向內凹。

(2)為什麼大氣泡下半會向外呈現流線型尖端：受到小氣泡的下方流線牽引，所以大氣泡下半向外呈現流線型尖端。

(3)為什麼大氣泡在接近小氣泡時速率會增加【圖十一】：由於大氣泡的形狀改變成流線型，上升時受到的阻力變小；同時受到小氣泡的下方流線牽引，使速率增加。

2.契合的相同點【圖十四】

為什麼小氣泡滑到大氣泡下端才結合：

(1)起先認為因膠水中分布表面活性劑分子，在氣泡上升時吸附其上，使其上半結構較強而下半較弱，因此小氣滑至大氣泡下端才結合。查證後瞭解膠水中並不含有表面活性劑分子。

(2)大氣泡與小氣泡因體積差距太大，受到膠水黏滯性的影響，它們彼此只貼合在一起而不結合；隨著大氣泡上升小氣泡受其周圍流動影響，沿大氣泡表面下滑，至下端時才被渦流捲入結合。

四、實驗可能產生的誤差：

1.氣泡體積的估算

(1)氣泡上升同時體積也會改變但影響較小，數據顯示的都是氣泡在出管口後固定距離的數值。

(2)不同大小氣泡有形狀上的差異，其體積是利用截面積推導入球體面積公式算出，因此有些許誤差。

2.膠水折射的影響

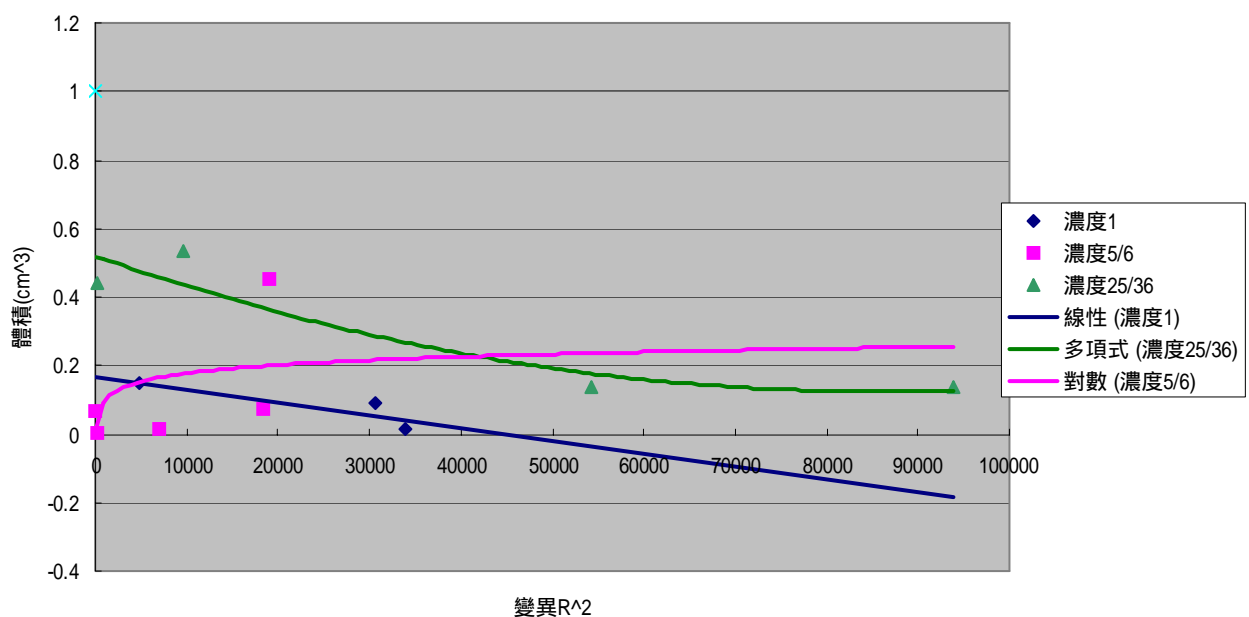
考慮膠水折射的影響，因此實驗裝置設計為平面的方形水槽【圖一-c】，以直射光源打在水槽壁的描圖紙觀測，降低其影響。在電腦上也將其刻度換算比對，了解幾乎不受到影響。

3.管壁對氣泡上升方式產生的影響

在水中做觀測時，發現量筒管壁對氣泡上升方式有所影響，因此設計實驗裝置時特別加大水槽空間（長 15cm、寬 15cm、高 1m）【圖一】。但對氣泡上升時附近液體的流動仍有影響，可能造成速率有些許誤差。

陸、結論

- 一、氣泡在膠水中運動，很快即達到終端速度。氣泡體積相同時，膠水濃度越大達終端速度所需時間越短，終端速度越小。
- 二、氣泡上升的過程中速率有些微忽快忽慢的變動，中間的變動較小，開始及結束時變動較大。
- 三、膠水濃度越稀，速率的起伏程度增加。
- 四、氣泡在相同黏滯性的液體中，體積越大終端速率越大，速率起伏程度越小【圖十五】。



【圖十五】氣泡速率的變異

五、氣泡形狀會隨速度、體積及液體黏滯性改變，大致分為球形、饅頭狀或呈現底部內凹【圖八】。體積較小、速率較小液、體黏滯性越高的氣泡為球形；當體積增加速率增加黏滯性越小氣泡變為饅頭形；體積更大速率更大黏滯性越稀則氣泡底部內凹【表二】。

【表二】氣泡形狀（藍色-圓形、綠色-饅頭形、紅色-底部內凹；1.0、0.8、0.7 分別為三種濃度的值）

速度(cm/s)	35.3	83.0	123.6	155.8	421.9	4863.7	6992.1	9520.8	18449.6	19076.1	30577.4	33813.8	54331.0	93773.4
0.0	1.0				1.0	1.0					1.0	1.0		
0.1		0.8		0.8			0.8		0.8	0.8				
0.2			0.7					0.7					0.7	0.7
0.5	1.0				1.0	1.0					1.0	1.0		
1.4		0.8		0.8			0.8		0.8	0.8				
2.4			0.7					0.7					0.7	0.7
2.8		0.8		0.8			0.8		0.8	0.8				
4.1		0.8					0.8		0.8	0.8				
4.9			0.7					0.7					0.7	0.7
7.3			0.7					0.7					0.7	0.7
8.8							1.0				1.0	1.0		
13.2							1.0				1.0	1.0		

六、兩氣泡在相同黏滯性膠水中上升時，若下方氣泡體積較大，其較快的速率使間距縮短。此時小氣泡的下半向內凹；大氣泡的下半產生流線型尖端，在接近小氣泡時速率增加最後結合【圖十-十三】。

七、兩氣泡在相同黏滯性膠水中上升時，若上方氣泡體積很小與下方氣泡體積差距大；上升同時小氣泡會貼合在大氣泡表面，再沿表面下滑至下端與其結合【圖十四】。

柒、可能的發展與方向

泥火山泥漿中有許多氣泡，這些大小不一的氣泡結合成大氣泡，氣泡下方渦流帶動不同重量的碎石，形成現在泥火山附近出現碎石的現象。可以深入探討此一氣泡攜帶現象，解釋對地球科學環境產生的影響。

捌、參考資料

- 一、李傑-貝拉 (2003)。金色泡泡的無邊魔力。科學人雜誌，13，60-63。
- 二、楊金龍、楊惠閔、蘇璽任(2000)。An Investigation On The Eruptd Breccias of Mud Volcanoes at Wushanding in Southern Taiwan。左營高中學報，2，101-112
- 三、Bubble Hydrodynamics. Retrieved March 11, 2005 From <http://www.bubbleology.com/Hydrodynamics.html#BubTPaper>

評語

有趣的主題，觀察的裝置設計頗有創意。實驗觀測記錄詳實。對於氣泡產生的控制可以再求精確，氣泡的動態變化可以再以高速相機精密攝錄分析。