

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

第二名

030113

狗尾草的靈動～「震」的很有趣

學校名稱：臺南市立海佃國民中學

作者：  國二 謝安玗  國二 許珍瑤  國二 黃宜茜	指導老師：  林承賢  盧建名
---	-----------------------------

關鍵詞：倒刺結構、駐波、摩擦力

## 摘要

本實驗由龍爪草在橡皮筋上的運動，推論它朝特定方向移動的原因。進而發現有倒刺結構的狗尾草也可以經由震動而向前運動。研究影響狗尾草移動快慢的因素，發現喇叭響度愈大，吸管震幅愈大，狗尾草移動愈快；頻率對移動速率有些許影響，當某些頻率使吸管形成駐波時，速率變化明顯。為研究倒刺角度是否影響速率，我們製作倒刺模型來探討，結果發現在角度  $70^\circ$  時有最大移動速率。

實驗因發現駐波而利用產生的駐波測量吸管的波速，測得的波速隨頻率增加而變快。我們還發現倒刺密度和倒刺長度對移動速率影響不大，但此結果對做成機器蛇在地面移動的性能和穩定性有相當的幫助。而最終我們製作倒刺機器蛇模型與倒刺潛水艇，希望將來能有更大的實用性。

## 壹、研究動機：

小時候爸爸曾做給我一種有趣的玩具，將龍爪草放在以二根釘子繃緊的橡皮筋上，用石頭磨釘子，龍爪草就會往前進，看起來就像毛毛蟲在往前爬。這個有趣的畫面深深的烙印在我的腦海，一直到現在。因此當有機會參加科展時，就想以這個主題為研究對象，解決長久以來心中的疑惑。

## 貳、研究目的：

- 一、觀察龍爪草如何前進並推測原因
- 二、狗尾草取代龍爪草進一步研究影響前進速率的因素
- 三、利用駐波的概念測量吸管的傳聲速度
- 四、製作倒刺構造的模型印証推論以及倒刺角度對前進速率的影響
- 五、製作倒刺構造的模型以研究倒刺密度對前進速率的影響
- 六、製作倒刺構造的模型以研究倒刺長度對前進速率的影響
- 七、製作倒刺構造的機器蛇以研究其在地面的移動情形
- 八、製作倒刺構造的潛艇以研究模型在水中的移動情形

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗材料：

木板、龍爪草、狗尾草、橡皮筋、鵝卵石、吸管、塑膠牙籤、壓克力膠、螺絲、R型端子、木板、鐵釘、電線、強力黏著膠、保特瓶、黏土、直尺、雙面膠、鐵線、導線、剪刀、電源開關、3M 泡綿、鋼刷、梳子、塑膠罐、塑膠盒、捲髮器。

### 二、實驗器材：

頻率產生器軟體 VB-Generator Standalone (圖 1)、電腦(圖 2)、電腦喇叭(圖 3)、震動馬達(圖 4)、相機、馬錶、三號電池、燈泡、切割機、電子天平。

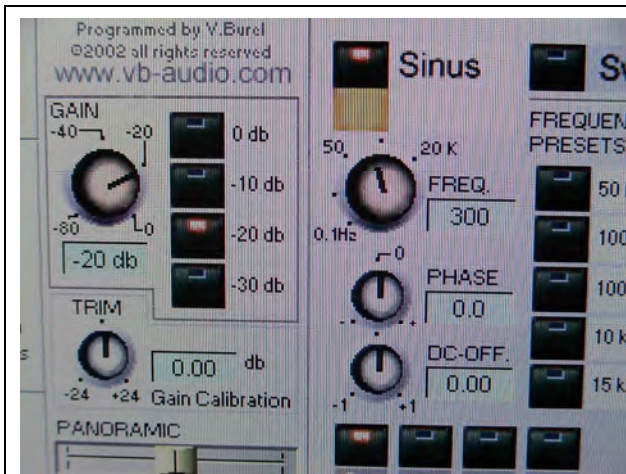


圖 1 VB-Generator Standalone

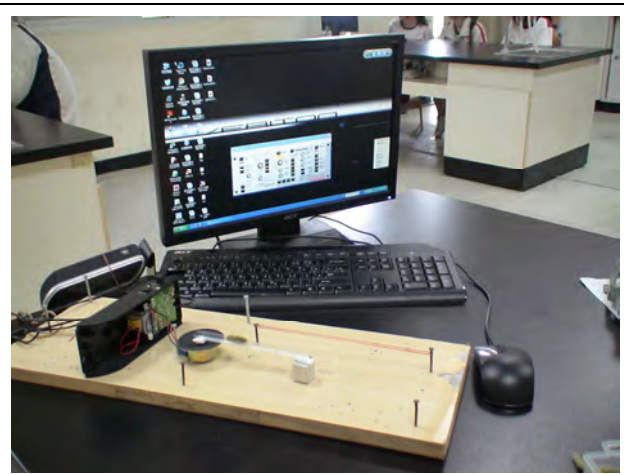


圖 2 電腦的示波器軟體與喇叭



圖 3 120W 電腦喇叭與吸管通道



圖 4 震動馬達

## 肆、研究過程或方法

我們的研究由開始觀察龍爪草的花序(圖 5，爾後簡稱龍爪草)，在橡皮筋上的運動情形，進而發現只要有類似倒刺構造的植物器官，就可以藉由震動使其運動。因此改用狗尾草的花序(圖 6，爾後簡稱狗尾草)做研究。以不同的頻率和響度測試狗尾草的運動速率。後來我們嚐試製作倒刺構造的模型，研究倒刺角度、倒刺密度與倒刺長度對運動速率的影響。最後我們思考這發現可以應用在生活上或未來能對人有何幫助，因而製作了簡單的倒刺機器蛇與倒刺潛水艇，以模擬我們想預期的結果。實驗流程如下圖 7。

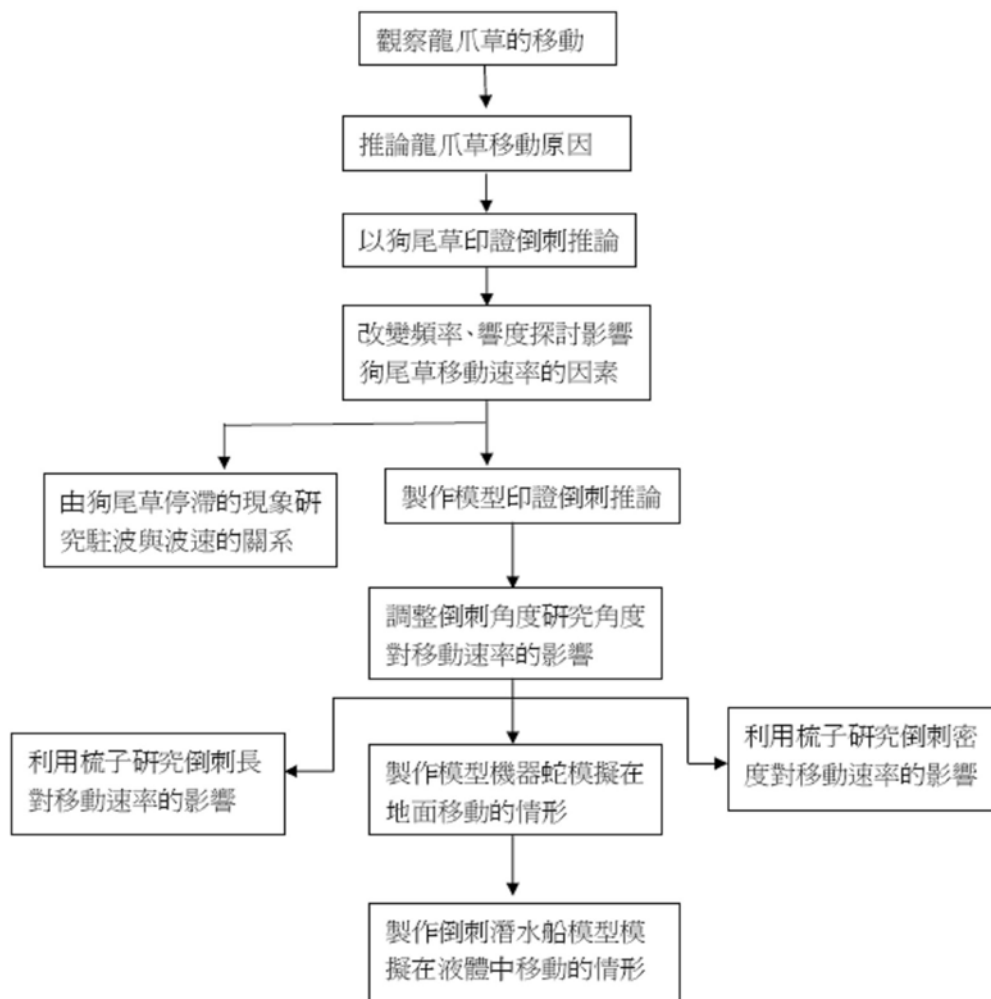


圖 7 實驗流程

## 一、觀察龍爪草運動的情形並推測其前進的原因

### (一)實驗說明：

我們利用假日先到郊區採樣，太嫩以及太成熟的龍爪草花序不採，以減少不必要的狀況出現(例如太成熟花序容易脫落)。

### (二)實驗步驟：

- 1.首先我們分別將二根鐵釘以相距 20 cm釘在木板，再將橡皮筋套在二根鐵釘上。將龍爪草剪取 2.5 cm長，放在橡皮筋上。然後以鵝卵石在其中一根鐵釘上磨擦，觀察龍爪草的運動情形，如下圖 8。
- 2.改變龍爪草的方向，觀察石頭磨擦後龍爪草的運動情形。
- 3.改變橡皮筋的斜率，觀察石頭磨擦後龍爪草能爬升的最大角度，如下圖 9。

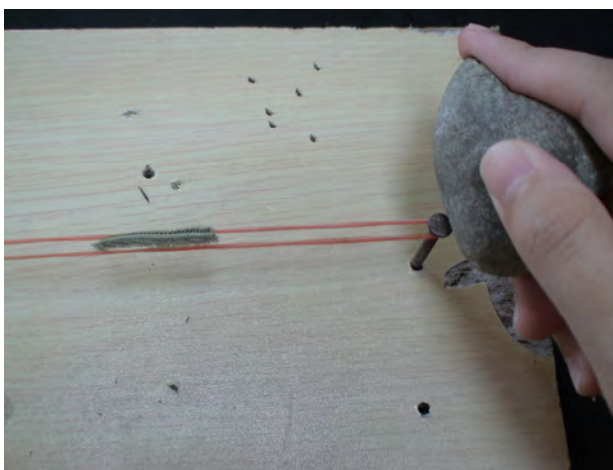


圖 8 龍爪草在橡皮筋上的移動

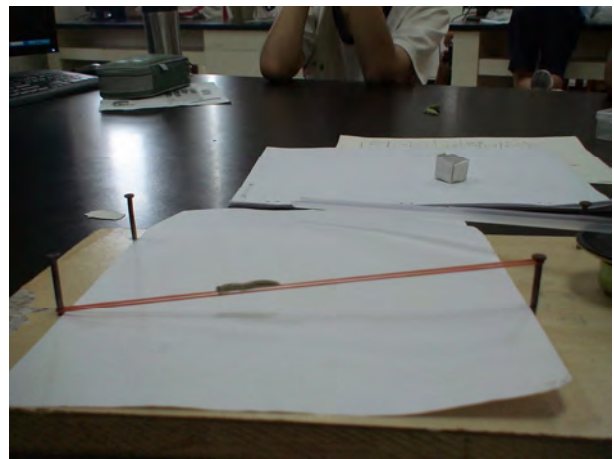


圖 9 龍爪草的爬升(10°)

## 二、以狗尾草取代龍爪草進一步研究影響前進速率的因素：

### (一)實驗說明

當我們推測龍爪草會前進的原因後，我們就想找類似構造的植物以印證我們的推論。因此我們到了「狗尾草」(如圖 6)。狗尾草圓錐花序緊密呈圓柱形，剛毛粗糙，是非常符合我們想要的一種樣本。當我們將狗尾草花序放在橡皮筋上並以石頭磨擦鐵釘後，果然狗尾草花序就朝著我們預測的方向移動。我們想研究影響移動速率的因素，以改變振動頻率、振幅以及剛毛的角度為操縱變因。然而石頭的磨擦無法產生可控制的頻率，所以我們上網找到可產生特定頻率的軟體，以及取電腦喇叭來產生震動，並以吸管取代容易將樣本震落的橡皮筋。

### (二)實驗步驟：

- 1.剪取 2.5cm 長的狗尾草花序(以下簡稱狗尾草)，五種樣本(如圖 10)，測量其質量與長度。
- 2.以頻率 300Hz、350Hz、400Hz、450Hz、500Hz，響度-15dB 的喇叭振動吸管跑道，測量狗尾草在吸管跑道(圖 11)移動 10cm 所花的時間，每個頻率測量 5 次，求其平均值。
- 3.將喇叭的振動頻率固定為 300Hz，分別改變響度由-20dB、-15dB、-10dB，測量狗尾草在吸管跑道移動 10cm 所花的時間。

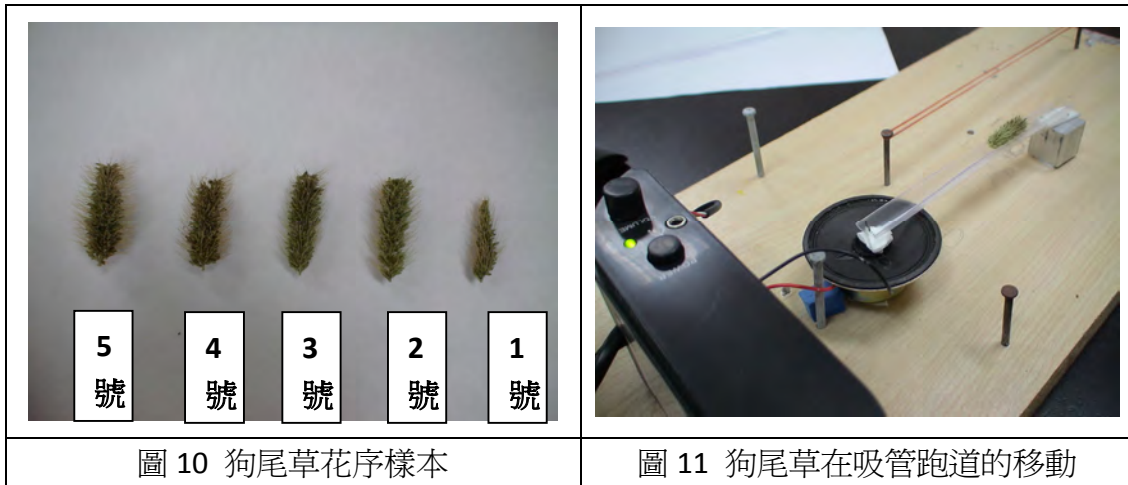


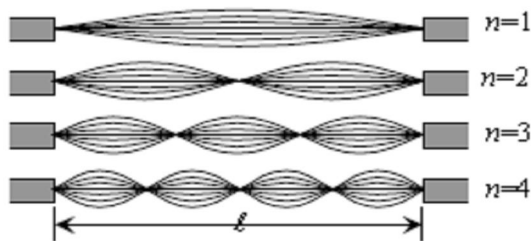
圖 10 狗尾草花序樣本

圖 11 狗尾草在吸管跑道的移動

### 三、利用駐波的概念測吸管的傳聲速度

#### (一)實驗說明：

當我們使用吸管當狗尾草的跑道時，發現狗尾草在某個點附近會變慢或停滯不前，過了那個位置，又可以順利移動。檢查了器材並改善，卻還是常常會出現這個現象。我們試著把吸管剪短，只剩 13cm，就很少有這困擾了。老師說可能是產生了駐波，而出現節點使狗尾草停滯不前。因此我們去查了一下駐波的資料，並試著利用駐波來測吸管的波速。



因為喇叭對吸管強迫振動時，聲波在吸管中傳遞時，吸管二端可視為二端閉口端，其形成駐波的條件圖形如左圖 12。

圖 12 二閉口端的形成的駐波圖

狗尾草花序在這各季節取得比較不易，因此我們改以龍爪草來找尋節點。因吸管長 20.5 公分，能形成駐波的位置可以確定，由於節點與節點間的距離為半個波長，即可得知波長  $\lambda$ 。試著調整頻率  $f$  直到出現形成駐波的節點，使龍爪草移動到此處會停頓或變慢。此時即可以由波速=頻率 $\times$ 波長計算出波速。而我們用來實驗的電腦喇叭在頻率 1000Hz 以上時對吸管強迫震動使龍爪草移動的現象很不明顯，因此只做了三種不同駐波的波速測量，求平均值。

#### (二)實驗步驟：

1. 取 20.5 公分的吸管通道，以龍爪草為樣本，輸入響度-15dB，頻率由 100Hz 開始，每次增加 10Hz 的訊號，直到龍爪草出現停滯點在 10.3cm 的位置(圖 12， $n=2$ ， $\lambda=20.5\text{cm}$ )，記錄此頻率，並推算出波速。
2. 重覆步驟 1，頻率由 400Hz 開始，每次增加 10Hz，直到龍爪草出現停滯點在 6.8cm、13.6cm(圖 12， $n=3$ ， $\lambda=13.6\text{cm}$ )，記錄此頻率，並推算出波速。
3. 重覆步驟 1，頻率由 800Hz 開始，每次增加 10Hz，直到龍爪草出現停滯點在 5.1cm、10.3cm、15.4cm(圖 12， $n=4$ ， $\lambda=10.3\text{cm}$ )，記錄此頻率，並推算出波速。
4. 將步驟 1~3 所計算出的波速做平均，得其平均速率。

#### 四、製作倒刺構造的模型印証推論以及倒刺角度對前進速率的影響

##### (一)實驗說明：

因為狗尾草的質量都很輕，因此我們推測狗尾草剛毛的角度可能才是使樣本在其他條件相同的情況下造成移動速率不同的主要原因。但因無法控制狗尾草花序上剛毛的角度，因此我們必須動手製作類似的倒刺構造模型，以了解角度對移動速率的影響。

##### (二)製作模型：

- 1.取一小盒蓋鑽洞成陣列，將 R 型端子以螺絲鎖在盒蓋上，剪取 2CM 塑膠牙籤固定在 R 型端子上(如圖 13)。
- 2.將馬達套上 R 型端子與螺絲，即成震動馬達。再將馬達固定在小盒蓋的另一方，即成倒刺模型(如圖 14)。



圖 13 R 型端子與牙籤陣列

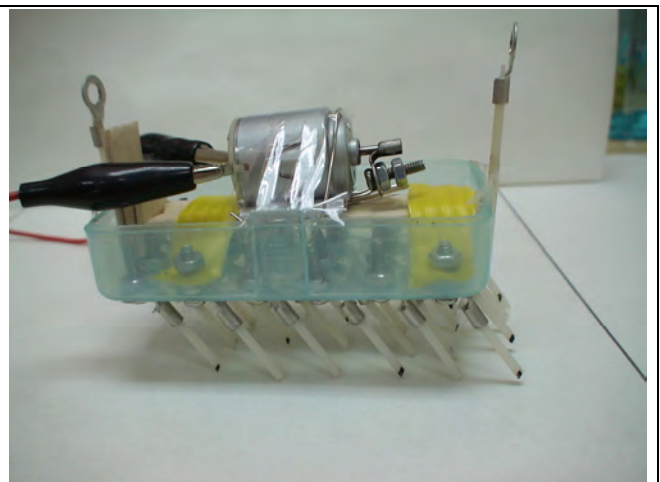


圖 14 可震動的倒刺模型

##### (三)實驗步驟：

- 1.以鐵線穿過雙環，使模型震動前進時能保持直線移動 20cm(圖 15)，調整倒刺與主體夾  $30^\circ$ 角(如圖 16)，以電壓 3V 使馬達震動，測量模型前進 20 cm所需的時間。
- 2.重覆步驟 1，將剛毛與主體的角度依次調整為  $40^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $80^\circ$ (圖 17~21)，測量模型前進 20 cm所需的時間。

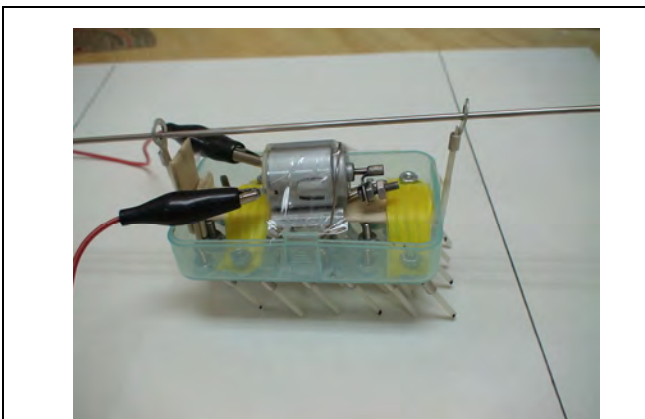


圖 15 模型與鐵線



圖 16 倒刺角  $30^\circ$



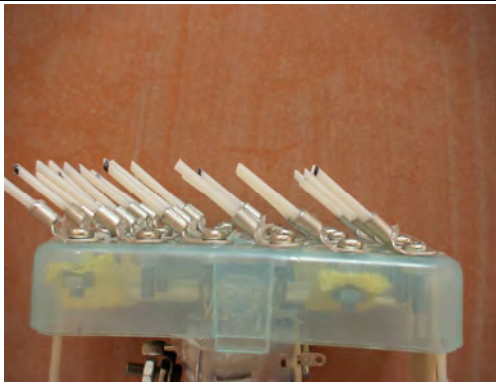


圖 17 倒刺角 40°

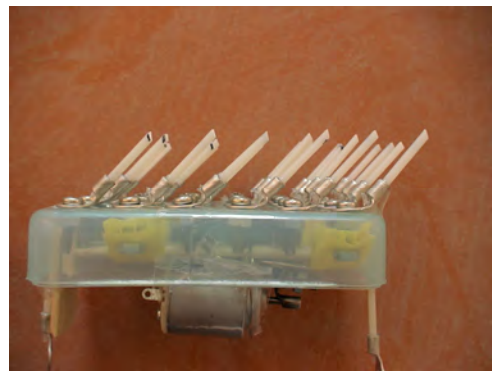


圖 18 倒刺角 50°

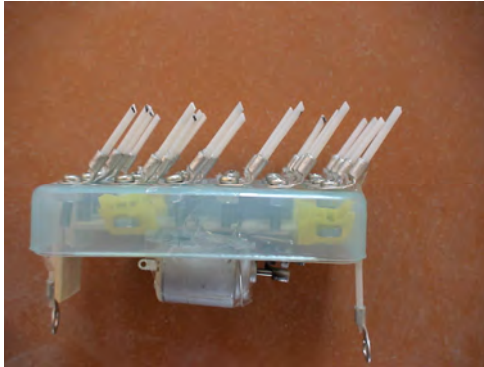


圖 19 倒刺角 60°

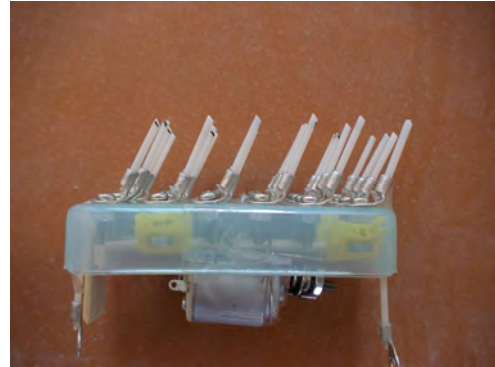


圖 20 倒刺角 70°

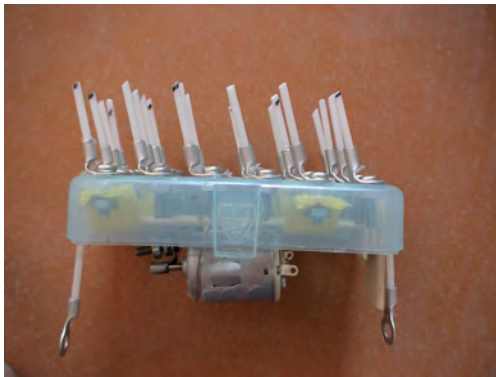


圖 21 倒刺角 80°

## 五、製作倒刺構造模型以研究倒刺密度對前進速率的影響

### (一)實驗說明：

我們想要知道倒刺密度對於移動速率的影響，一來是想知道愈密是不是會跑得愈快，再來是因為若倒刺構造愈密集，則刺與刺間的距離愈小，模型在凹凸不平的地面行進時，較不易被凸起的障礙物卡住。不過相對的倒刺愈密集，製作難度與成本也會相對比較高。

### (二)實驗步驟：

- 1.將塑膠盒利用切割機，切割出十個凹槽(如圖 22)。
- 2.將震動馬達固定在塑膠盒背面中間。
- 3.取 2 個 R 型端子固定在塑膠盒二端，並以一金屬線過此二孔。使模型在移動時能沿此直線前進(如圖 23)。

- 4.將塑膠梳子切割成適當長度，將 2 支梳子對稱固定在塑膠盒凹槽中(如圖 24)，將馬達通電，測量 5 次模型移動 20cm 所需的時間，求其平均時間。
- 5.重覆步驟 5，將梳子數量改以 4 支、6 支、8 支(如圖 25~27)，將馬達通電，測量 5 次模型移動 20cm 所需的時間，求其平均時間。

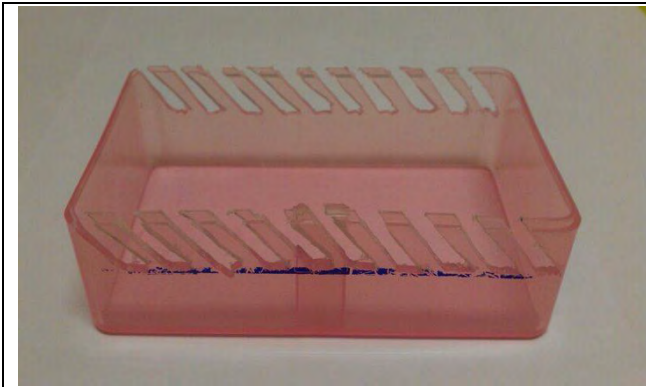


圖 22 塑膠盒切割凹槽



圖 23 二端以 R 端子導引方向



圖 24 二支倒刺梳子

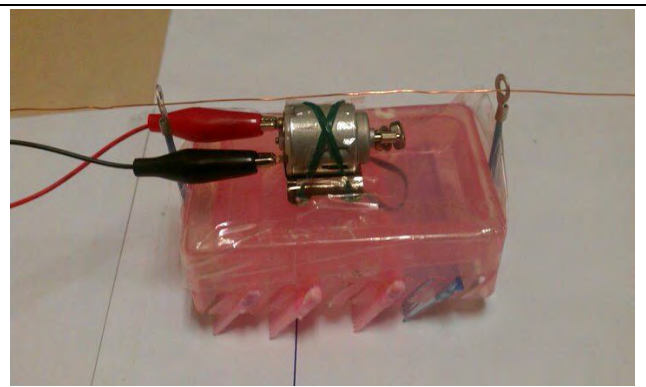


圖 25 四支倒刺梳子

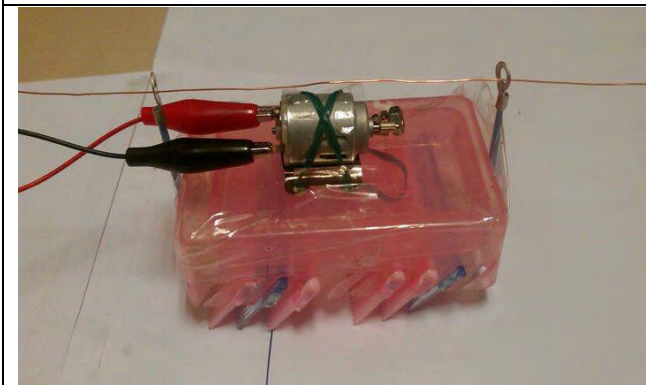


圖 26 六支倒刺梳子

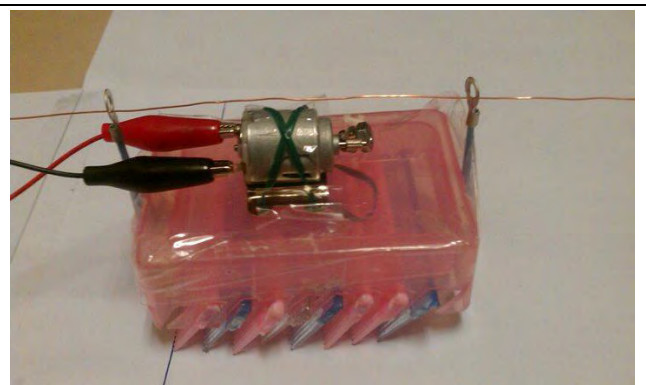


圖 27 八支倒刺梳子

## 六、製作倒刺構造模型以研究倒刺長度對前進速率的影響

### (一)實驗說明：

我們想知道倒刺的長度是否對速率有影響，因此開始尋找適合實驗的器材，剛好找到可以摺收的梳子(如圖 28)，而且倒刺排列整齊，還可以調整我們想要的角度。我們把手握把的部分利用工藝教室的切割機鋸掉，盡量只留下可調角度的部分。這一部分因為彎曲時向下，太長會卡到地面。也因為如此，當我們逐漸剪去梳子毛的

長度時，也只能剪到剩 0.9 公分。剪更短則調角度的頭會卡到地面影響移動。在這實驗中我們固定倒刺角度為  $70^\circ$  是因為之前的實驗模型發現此時有很好的移動速率。

(二)實驗步驟：

- 1.將震動馬達固定在梳子上，並在梳子前後加上 R 型端子。
- 2.調整倒刺角度為  $70^\circ$ (如圖 29)，前將金屬直線穿過二個 R 型端子並拉直。使模型移動時能直線前進。
- 3.梳子倒刺長度為 1.5 cm，倒刺角  $70^\circ$ ，測量五次梳子模型移動 20cm 時所需的時間(如圖 30)，求得平均時間。
- 4.重覆步驟 3，將梳子倒刺長度依次剪成 1.3cm、1.1cm、0.9cm，倒刺角  $70^\circ$ (如圖 31~33)，測量五次梳子模型移動 20cm 所需的時間，求得平均時間。



圖 28 可伸縮梳子



圖 29 調整梳子角度成  $70^\circ$  角

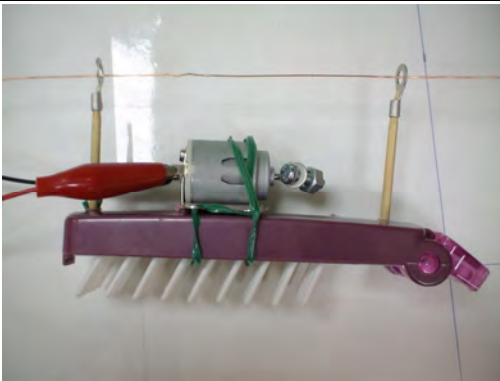


圖 30 梳子長度為 1.5 cm

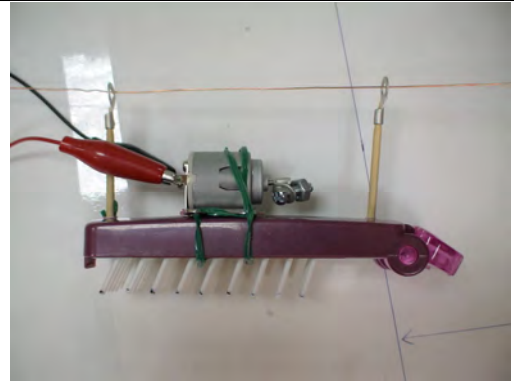


圖 31 梳子長度為 1.3 cm

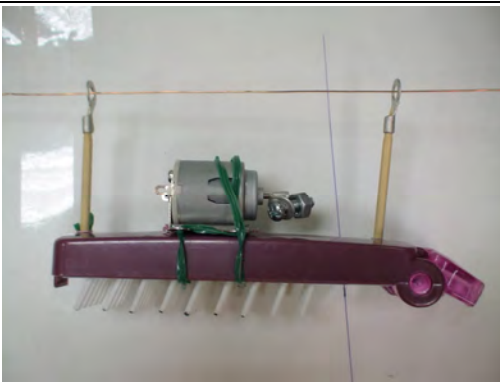


圖 32 梳子長度為 1.1 cm

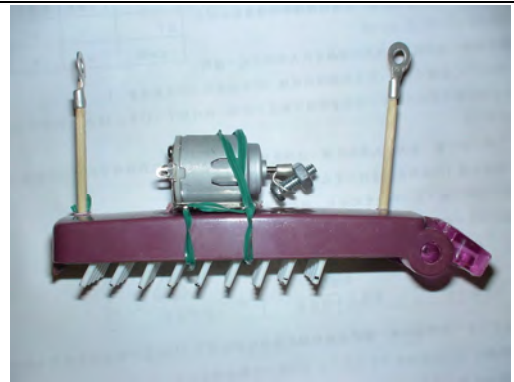


圖 33 梳子長度為 0.9 cm

## 七、製作倒刺構造的機器蛇以研究其移動情形

### (一)實驗說明：

我們發現龍爪草和狗尾草受震動會前進的現象後，我們第一個製成的試驗模型是將鋼刷毛綁在塑膠盒上的「鋼刷毛毛蟲」(如圖 34)，印証推論後才有調角度的模型和梳子模型。不過我們還是希望能有更實用性的應用。後來日本發生了 311 地震，而剛好有看到某些科技實驗室在研發地震搜救機器蛇，期待能在倒塌的環境救援。他們開發的機器蛇動力構造複雜，成本昂貴。我們無法製作那麼精密的機器蛇，不過我們還是很想試試用簡單的震動馬達和倒刺構造做成機器蛇。

我們找到燙頭髮的髮捲(如圖 35)，只剪取其中垂直的部分製作(如圖 36)，非垂直的部分(如圖 37)震動時會向側邊移動而不用。因成本的關係，所以我們每個圓柱盒只貼二片，沒有全部貼滿倒刺。理想狀況則應全面都是倒刺。

### (二)模型製作：

1. 剪取髮捲垂直的部分二片，利用強力膠則在圓柱狀塑膠盒上。
2. 利用吹風機熱風軟化塑膠後用手將刺推成倒刺狀。
3. 將震動馬達置入，調整重心固定後，則震動時倒刺面仍能保持接觸地面(如圖 38)。
4. 利用 R 型端子與螺絲及漆包線串連各節(如圖 39)。
5. 第一節除了有震動馬達可前進外，還裝上燈泡模擬搜救所需的光源與針孔攝影機(如圖 40)。
6. 第二節馬達可順轉、逆轉第一節。控制第一節轉動使蛇改變方向(如圖 41)。
7. 第三到第六節主要是提供前進動力。
8. 利用 CD 盒作成控制盒與電池座(如圖 42~43)。
9. 將導線連結完成機器蛇(如圖 44)。

### (三)實驗操作：

1. 啟動電源，看模型是否能前進。
2. 切換方向開關，看模型機器蛇是否能改變方向。

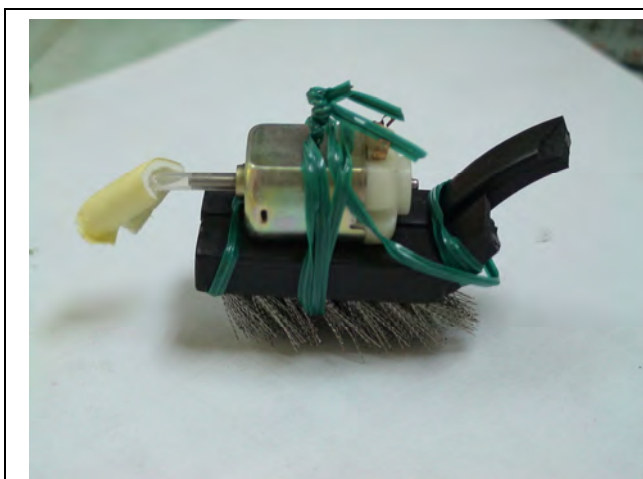


圖 34 鋼刷毛毛蟲



圖 35 髮捲



圖 36 垂直部分



圖 37 非垂直部分



圖 38 馬達位置與重心



圖 39 導線、R 型端子與螺絲連接各節

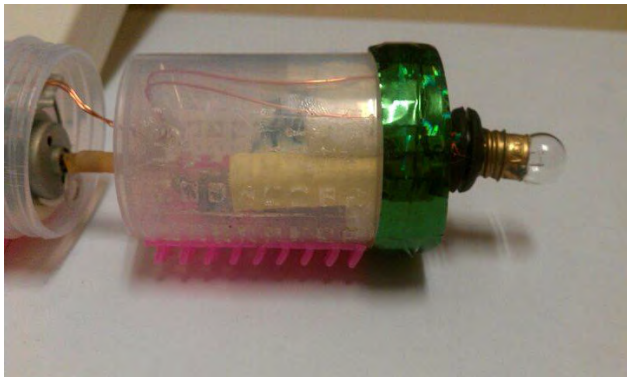


圖 40 第一節與燈泡

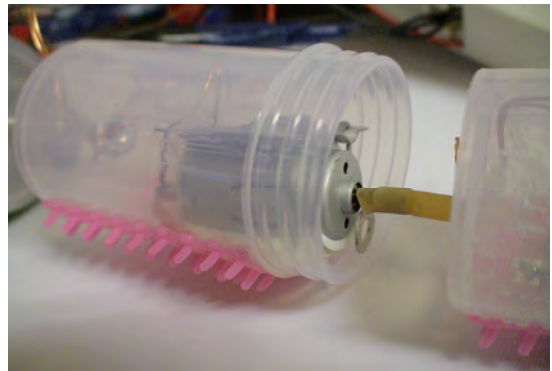


圖 41 第二節順、逆轉方向馬達

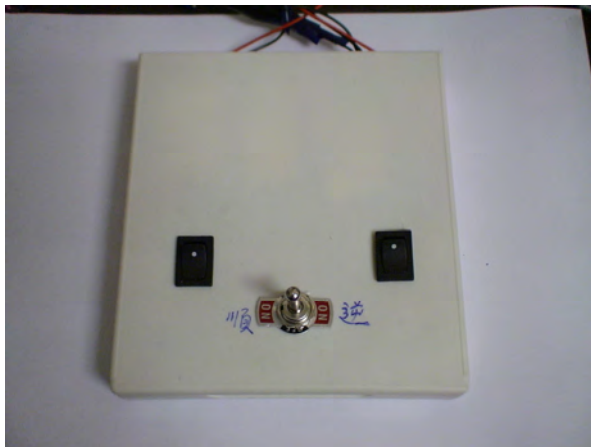


圖 42 各控制開關

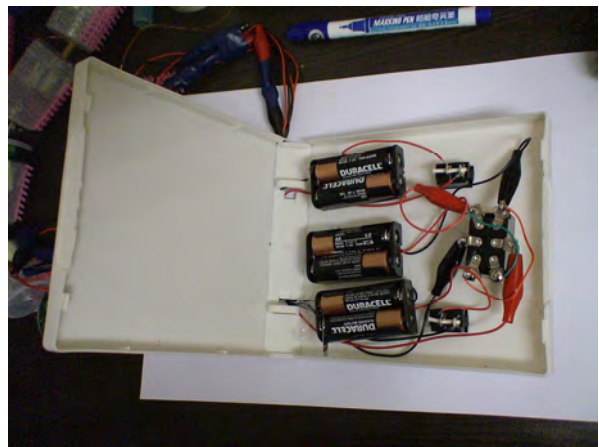


圖 43 電池座與切換器

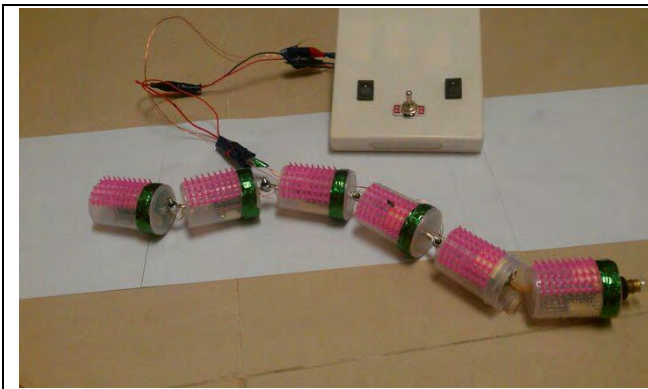


圖 44-1 完成機器蛇裝置(倒放)

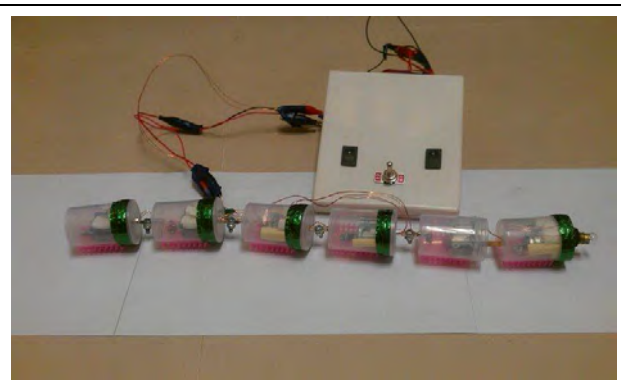


圖 44-2 機器蛇(正放)

## 八、製作倒刺構造模型以研究模型在水中的移動情形

### (一)實驗說明：

我們發現倒刺結構在震動時會朝一方運動的情形，就積極的想研究這有趣的構造到底可以有什麼樣的用途。剛好看到電視播報因膽固醇或油脂累積在血管壁造成血壓升高以及中風的情形，突然有一個靈感，如果將來科技進步到奈米化機器人技術成熟時，可以利用倒刺機器人(形如刺蝟)去清除血管阻塞物。要控制機器人可以前進或改變方向，因此我們需要製作四個倒刺面各附上一個震動馬達，如潛水艇的形狀，模擬在水中的運動。

### (二)模型製作：

- 1.利用瓦楞板作成  $45^\circ$  小格，再將塑膠牙籤排列成倒刺裝，利用壓克力膠將牙籤黏在塑膠盒蓋上(如圖 45)。
- 2.用螺絲將震動馬達圖定在塑膠盒蓋背面(如圖 46)。
- 3.將方型保特瓶四面割出四個框，將四面倒刺結構固定在框中，以泡綿黏合並做好防水措施(如圖 47)。
- 4.安裝導線與馬達的電源，每具馬達的使用 3V 電壓，完成模型(如圖 48)。

### (三)實驗操作：

- 1.將模型置入水槽中，調整模型的重量與浮力，使模型盡量能懸浮於水中。
- 2.將四具馬達同時開啓，觀察模型移動情形。
- 3.改變所開啓的不同位置馬達，觀察模型方向改變的情形。

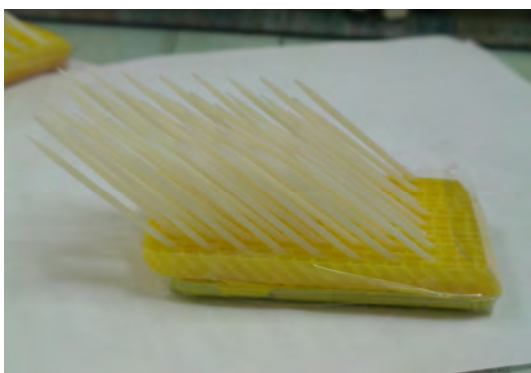


圖 45 瓦楞板小格與牙籤排成的倒刺陣列



圖 46 震動馬達鎖在倒刺板

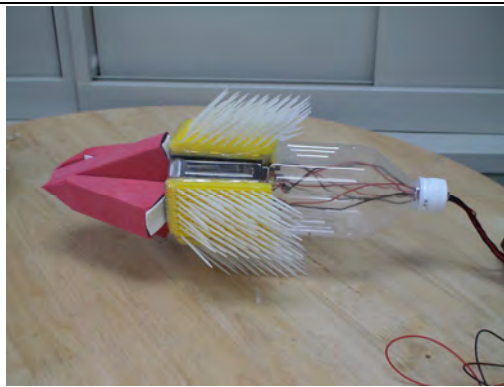


圖 47 將震動馬達及倒刺結構與保特瓶接合

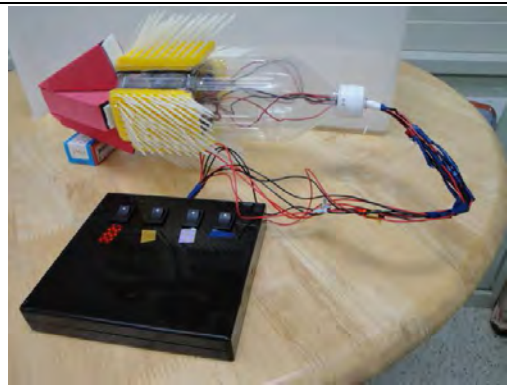


圖 48 接上電源完成模型

## 伍、研究結果

### 一、龍爪草的運動情形：

由實驗的結果，我們發現龍爪草始終朝向頭的一方移動。把龍爪草改變方向實驗，結果發現龍爪草還是朝頭的一方移動。而且當我們改變橡皮筋的斜率時，龍爪草可以由低處往高處爬升，其爬升的角度最大可以達到約  $10^\circ$ ，超過則易掉落。

### 二、不同質量的狗尾草、不同頻率的震動以及不同震幅對狗尾草速率的影響

表 1 狗尾草五個樣本的長度與質量

	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號
長度	2.4cm	2.5cm	2.5cm	2.4m	2.5cm
質量	75mg	92mg	102mg	104mg	170mg

表 2 響度-15d，頻率 200Hz 時，狗尾草移動 10cm 所需的時間(秒)

編號	時間(秒)	第 1 次 時間	第 2 次 時間	第 3 次 時間	第 4 次 時間	第 5 次 時間	平均時間
	質量(mg)						
1	75	1"13	1"32	1"28	1"41	1"31	1"29
2	92	1"55	1"36	1"46	1"65	1"43	1"49
3	102	1"26	1"29	1"28	1"20	1"17	1"24
4	104	1"01	1"06	0"96	1"12	1"05	1"04
5	170	0"95	1"05	1"11	0"92	0"97	1"00

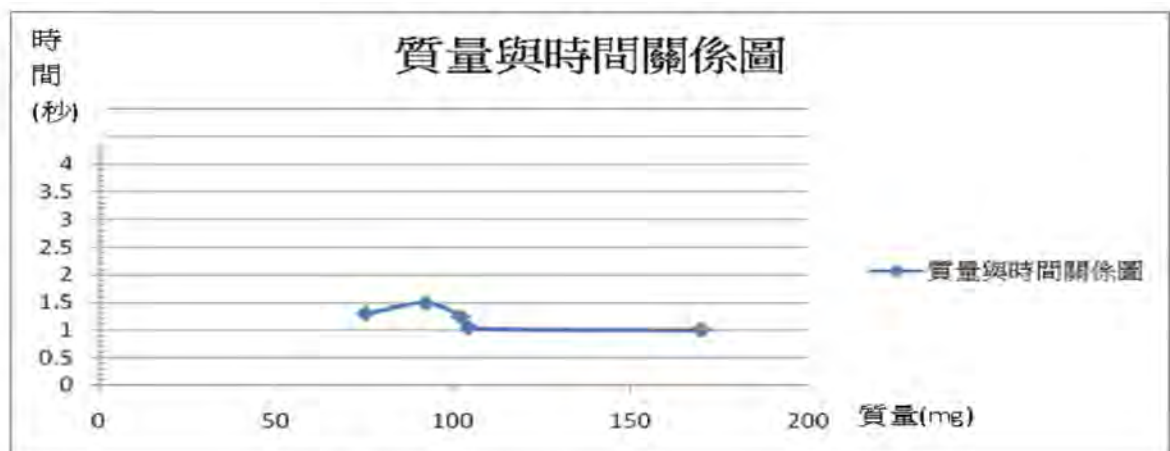


圖 49 質量與移動時間的關係

表 3 響度為-15dB，在不同頻率震動時，狗尾草移動 10cm 時測量 5 次的平均時間(秒)

樣本	200Hz	250Hz	300Hz	350Hz	400Hz	450Hz	500Hz
1 號	1"29	1"59	3"34	2"25	3"62	3"43	3"53
2 號	1"49	2"40	2"63	2"22	4"09	2"44	2"43
3 號	1.24	3"20	3"08	2"29	2"43	1"60	2"79
4 號	1"04	2"42	3"21	2"02	2"71	3"05	3"05
5 號	1"00	1"42	1"96	1"23	3"16	2"28	3"32

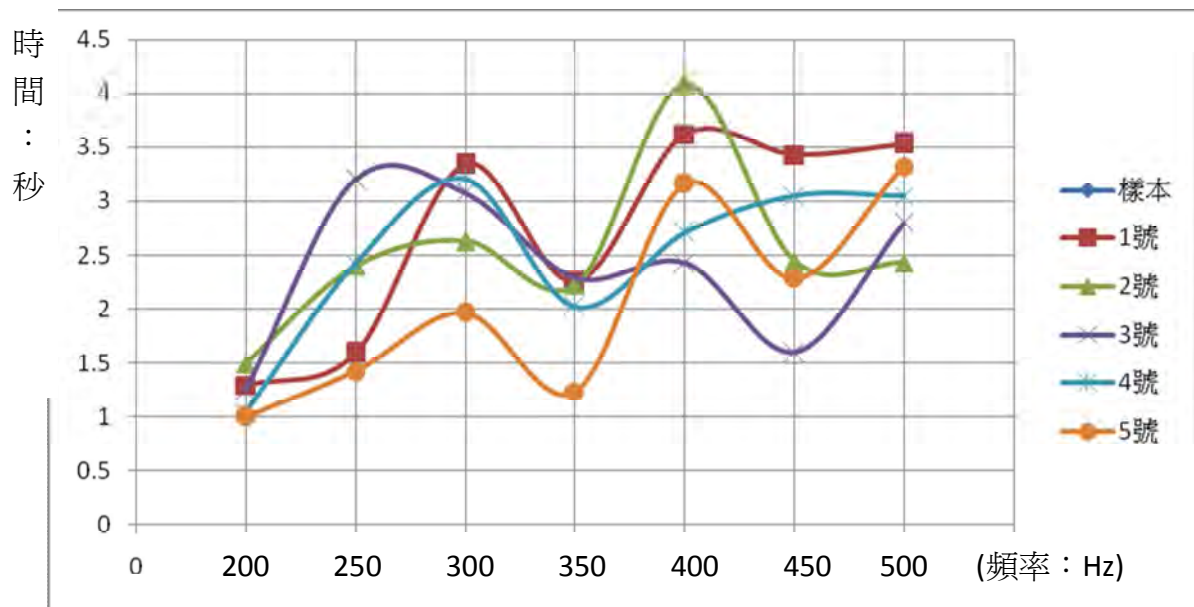


圖 50 不同頻率對狗尾草移動時間關係圖

表 4 響度：

樣本	-20dB	-15dB	-10dB
1 號	7"66	6"00	5"00
2 號	6"31	4"38	2"06
3 號	7"82	3"69	1"88
4 號	10"11	3"56	3"00
5 號	12"03	2"22	1"31



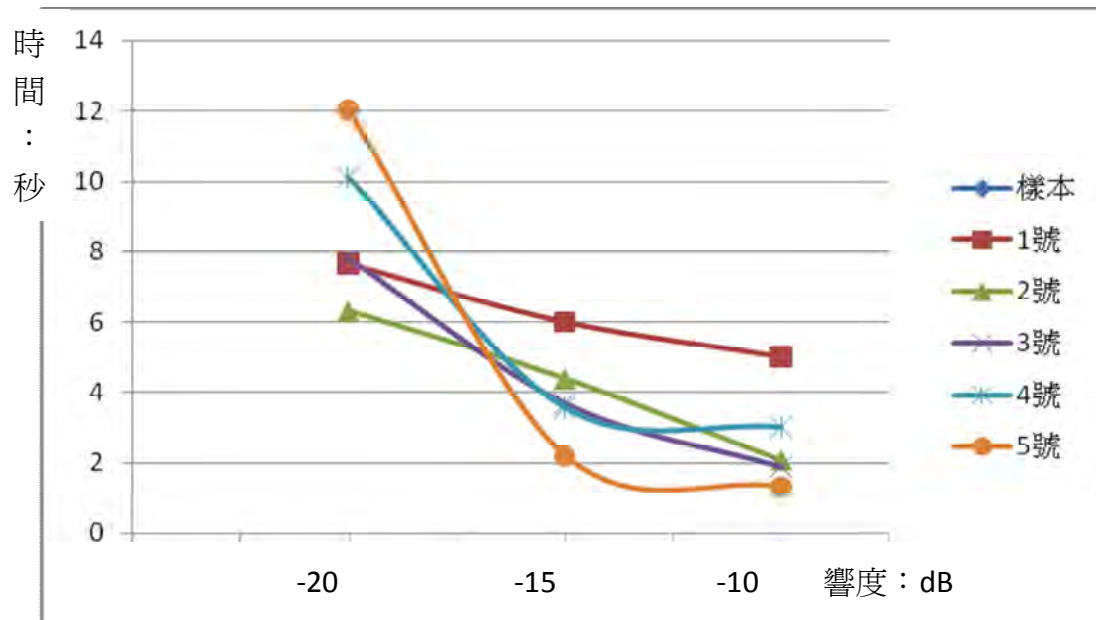


圖 51 不同響度對狗尾草移動時間的關係圖

### 三、利用龍爪草與駐波測量吸管的波速

我們在 20.5cm 的吸管上放置 1cm 的龍爪草，將響度定為-15dB，頻率由 100Hz 開始每次增加 10Hz，直到龍爪草停滯或變慢的位置出現在我們預定的節點上，記錄其頻率與波速如下表。

表 5 龍爪草在預定節點停滯時的頻率與計算出的波速

吸管長	波形	波長( $\lambda$ )	頻率(f)	波速( $f \times \lambda$ )
20.5cm	圖 52	20.5cm	370Hz	75.85 m/s
20.5cm	圖 53	13.6cm	650Hz	88.40 m/s
20.5cm	圖 54	10.3cm	1060Hz	100.87 m/s

平均波速 = 88.37 m/s

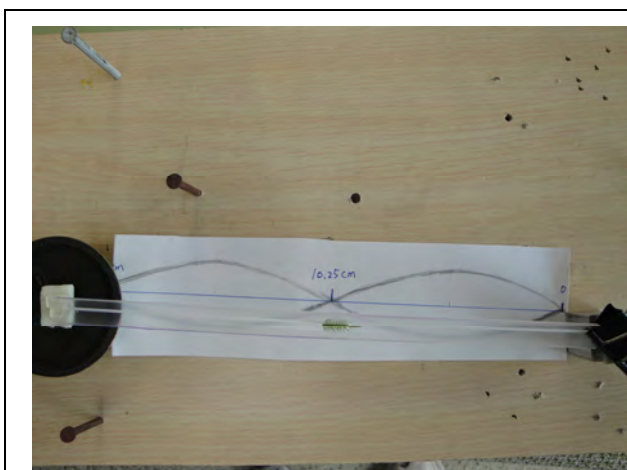


圖 52 頻率 370 時在節點附近停滯(一處)

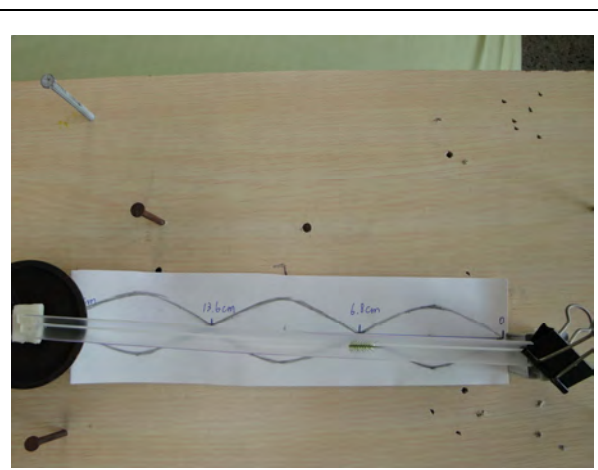


圖 53 頻率在 650Hz 時在節點停滯(二處)

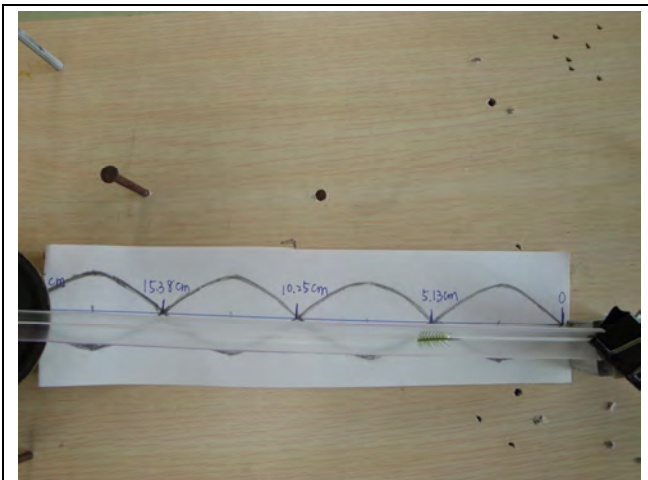


圖 54 頻率在 1060Hz 時在節點停滯(三處)

四、不同倒刺角度對模型移動速率的影響

表 6 不同倒刺角度使模型移動 20cm 所需的時間(秒)

時間(秒) 角度(°)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
30	7"78	7"47	7"09	7"35	6"31	7"20
40	5"20	5"19	4"56	5"06	4"47	4"90
50	1"91	1"94	1"81	1"82	1"88	1"82
60	1"33	1"28	1"37	1"25	1"31	1"31
70	0"68	0"88	0"84	0"72	0"69	0"76
80	1"19	1"03	1"03	0"88	0"91	1"01

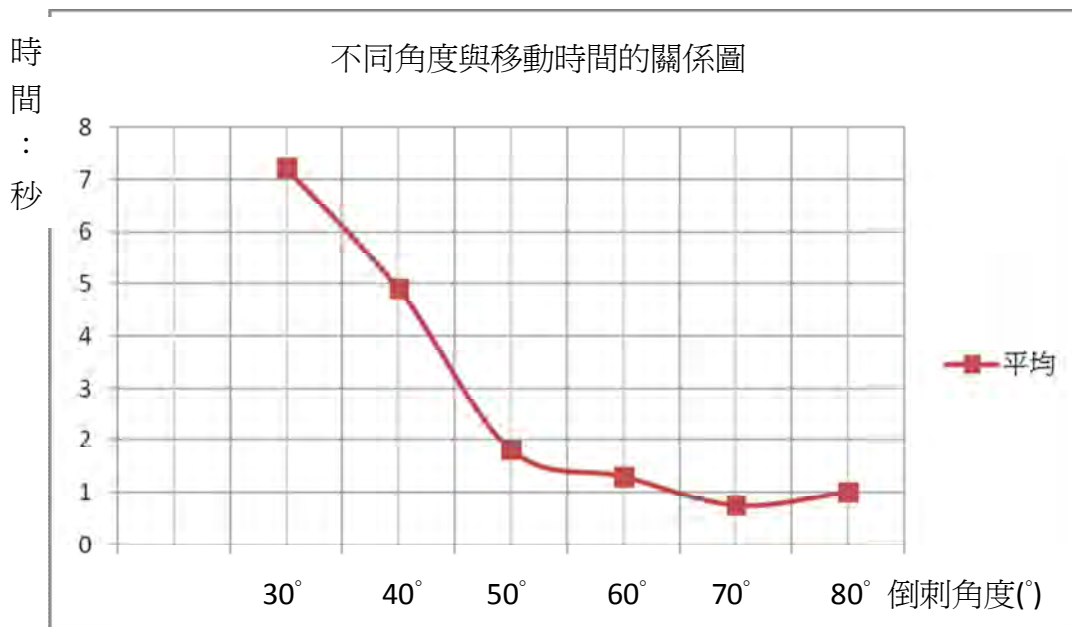


圖 55 不同倒刺角度與移動時間的關係圖

五、倒刺構造的模型研究倒刺密度對前進速率的影響

表 7 不同倒刺密度使模型移動 20cm 所需的時間(秒)

時間(秒) 梳子數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
2 排	1"2	1"1	1"2	1"2	1"2	1"2
4 排	1"2	1"2	1"1	1"1	1"2	1"2
6 排	1"4	1"4	1"5	1"5	1"4	1"4
8 排	1"3	1"2	1"2	1"3	1"2	1"2

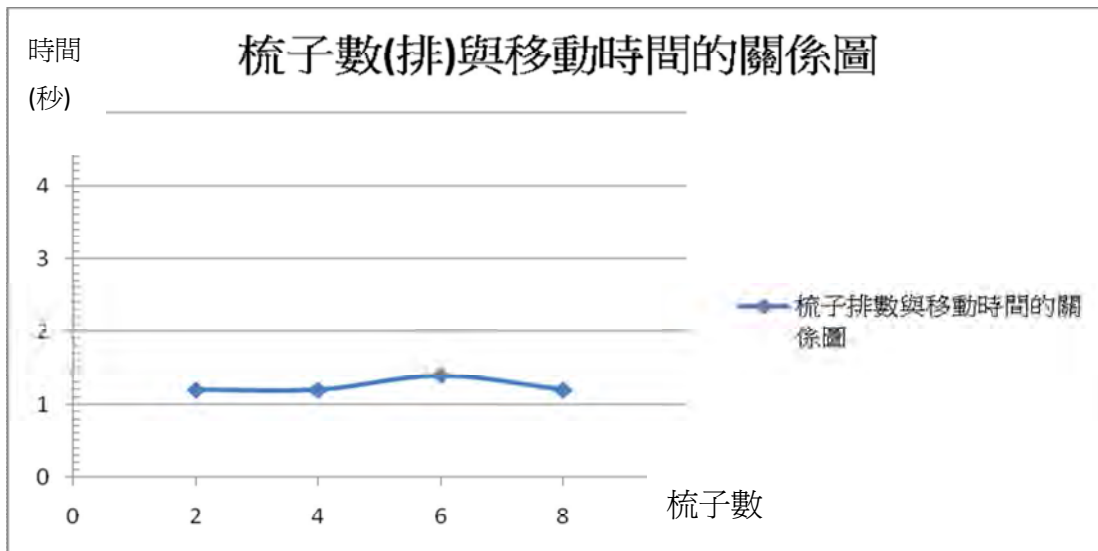


圖 56 倒刺密度(梳子排數)與移動時間的關係圖

六、倒刺構造的模型研究倒刺長度對前進速率的影響

表 8 不同倒刺長度使模型動 20cm 所需的時間(秒)

時間(秒) 長度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
0.9cm	1"00	1"09	1"12	1"10	1"03	1"07
1.1cm	1"03	1"06	1"00	1"31	1"09	1"10
1.3cm	1"12	1"00	1"03	1"00	0"97	1"02
1.5cm	1"19	1"09	1"07	1"21	0"90	1"10

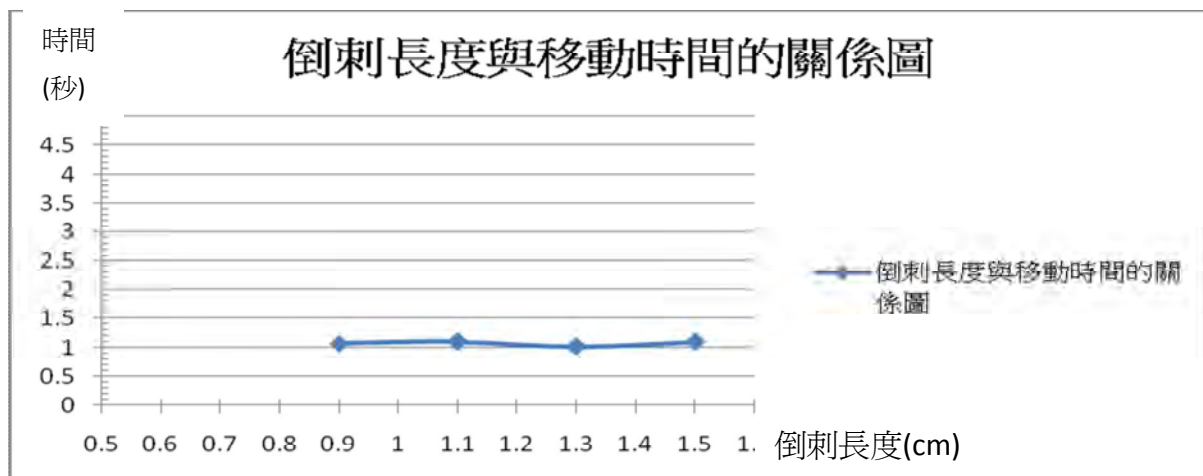


圖 57 倒刺長度與移動時間的關係圖

### 七、倒刺構造的機器蛇在地面的移動情形

電源開啓後，機器蛇可前進，移動 10cm 約 2 秒鐘。控制第二節馬達使第一節順轉或逆轉時，機器蛇可明顯改變方向(圖 58~59)。

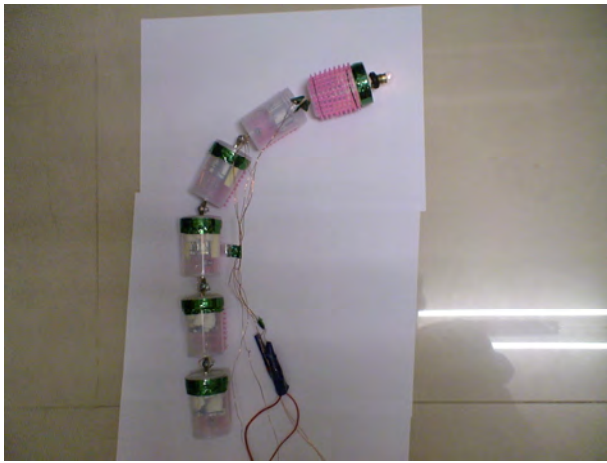


圖 58 機器蛇移動時順轉

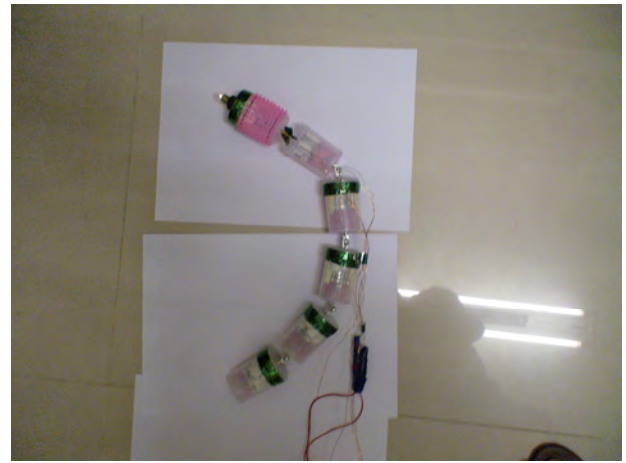


圖 59 機器蛇移動時逆轉

### 八、倒刺構造的模型在水中的移動情形

馬達動力啓開後，可使水面產生明顯波動，但移動比較緩慢，開啓不同方向馬達時，尚無法觀察出方向明顯變化(圖 60~61)。

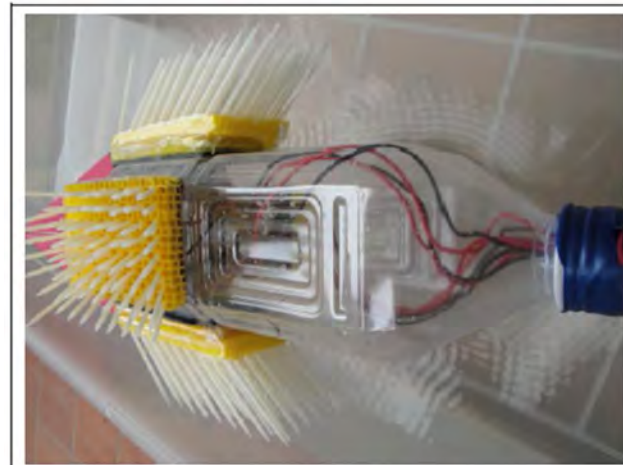


圖 31 模型船震動時所產生的水波

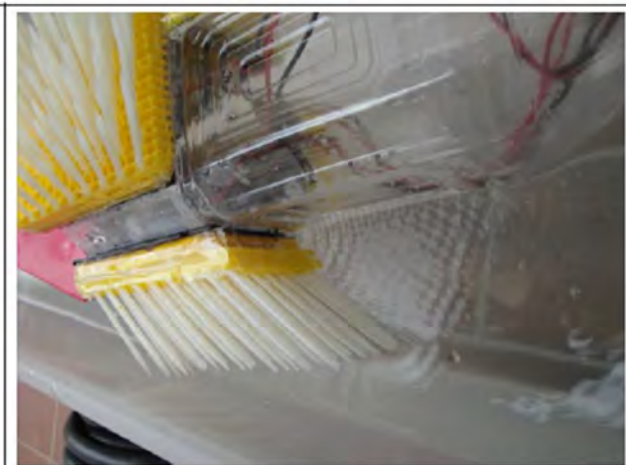


圖 32 模型船震動時所產生的水波

## 陸、討論

### 一、觀察龍爪草如何前進並推測原因

爲什麼龍爪草都朝向同一方移動呢？我們觀察龍爪草的花序結構發現它穗狀花序粗短，小穗密集呈覆瓦狀排列，形如倒刺狀，如圖 62。



圖 62 龍爪草的倒刺花序模擬圖

我們推測：當摩擦石頭在鐵釘上使橡皮筋震動時，震動的能量傳到小穗的倒刺結構。因倒刺尖端與橡皮筋的靜摩擦力，以及倒退必需對倒刺的抗力作功，使龍爪草不易後退(圖 63)。因此震動產生的彈力，在水平方向的分力迫使龍爪草往前移動(如圖 64)。



圖 63 倒刺結構使龍爪草不易後退

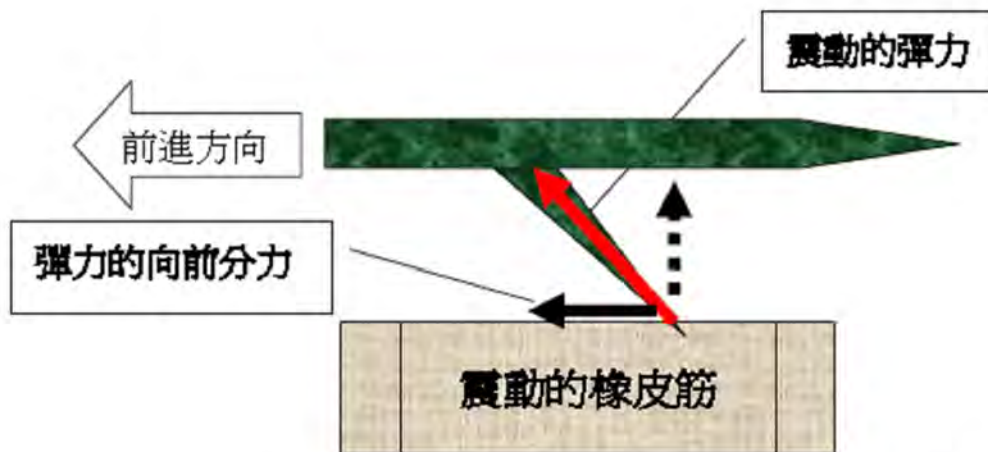


圖 64 震動的能量傳給龍爪草使其往前方移動

二、以狗尾草取代龍爪草進一步研究影響前進速率的因素：

- (一)、由表 2 與圖 49，五個不同質量的狗尾草所測出來的結果我們發現質量對移動速率的影響並不大。尤其是 5 號的質量比其他的約大了 2 倍，可是移動也不會比別的樣本慢。我們認為質量應該會影響物質的移動速率的，只是我們的樣本很輕，約只有 100~200mg，而震動的能量相對大上很多，所以不易看出質量不同在移動速率上有顯著差異。
- (二)、由表 3 與圖 50，改變頻率由 200Hz~500Hz 的幾個測量發現，頻率低時，如 200Hz，樣本移動速率比較快，而頻率為 500Hz 時，移動速率較慢。之所以會出現低頻比較快的原因，可能因為示波器軟體設定的響度雖然都是-15dB，但所使用的電腦喇叭性能較差在頻率愈高時，無法產生額定的響度(即實際響度沒有-15dB)，因此在高頻時就可感覺聲音比較小聲，樣本移動速率的也比較慢。圖 50 中還可發現頻率在 350Hz 時，五個樣本移動時間都明顯變少，速率比較快。我們推測可能原因是此頻率與吸管在波的傳遞產生了共振而有較大的振幅。
- (三)、由表 4 與圖 51，以相同的振動頻率(300Hz)，響度愈大，震動能量愈大，狗尾草移動的愈快。

### 三、利用駐波的概念測吸管的傳聲速度

(一)、我們在實驗中發現龍爪草在預測的節點附近有時候並非停止不動而是緩慢通過，因為片狀吸管在震動產生的聲音是一大堆不同振幅及頻率的諧波所重疊的結果，因此該有的節點只形成振幅較小的區域，且此時的頻率也約有前後 10Hz 的誤差，都可使龍爪草在此處變慢，其結果類似圖 65 的合成波。

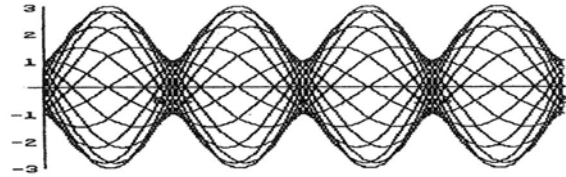


圖 65 相向波不同振幅相同波長的合成波(引自不均勻介質中弦波形成駐波的研究，第 34 屆全國科展物理組)

(二)、由表 5，我們利用駐波測出來的波速，發現頻率愈大，波速愈快。這與課本「相同介質的波速相同」有出入。查相關資料發現課本繩波為實驗對象，其波速與線密度及張力有關，與頻率無關。然而我們的吸管傳遞的並非直線波，而是凹面的波。我們的實驗無法檢驗頻率提高時是否造成線密度或張力改變。但反覆實驗的結果均是頻率愈高所得到吸管的波速愈快。參考歷屆科展有做過金屬板與肥皂膜實驗的，與我們的結果相似，也就是平面介質測出來的波速都有頻率愈高，波速愈快的現象。但我們知道波速不可能隨頻率無限大，我們推測最後會趨向一個極限值，就像數學上的自然對數  $e$  一樣。

(三)當我們頻率超過 1200Hz 之後，很難再發現龍爪草有明顯的停滯或快慢變化的位置，一來是受限我們的喇叭性能，無法產生夠大的振幅，再來可能就是頻率愈高駐波波腹愈密集，而使得節點區域壓縮，龍爪草長度超過節點區因此就沒有明顯停頓。

### 四、不同倒刺角度對模型移動速率的影響

(一)、由表 6 與圖 55，不同的倒刺角度( $30^\circ \sim 80^\circ$ )對模型移動速率的影響，可以明顯發現角度變大時，移動 20cm 所需的時間愈短，移動速率愈快，在  $70^\circ$  時速率最快。這與我們原來的預測有很大出入。我們預測角度在  $45^\circ$  時在水平分力最大，小於  $45^\circ$  時比較多的能量在使牙籤向後擺動而只有少量使模反震前進，所以倒刺角小於  $45^\circ$  移動很慢，實驗結果符合我們的預期，然而為什麼  $70^\circ$  比  $45^\circ$  快呢？

(二)、由實驗結果我們知道第一點的力圖討論跟實際有不同的地方。圖 64 我們很直覺把地面的反彈力沿牙籤方向作用。可是實際上馬達只是上、下方向的震動，並不是斜前推動。因此我們必需重新修定我們的力圖：

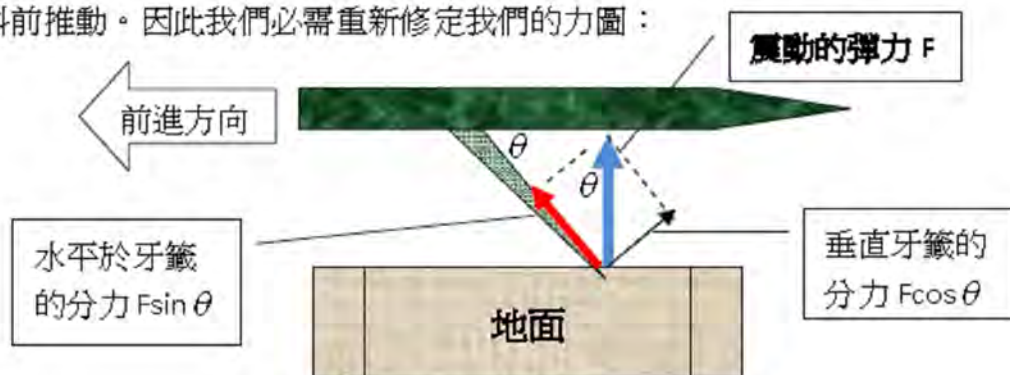


圖 66 彈力  $F$  對牙籤產生的推力  $F \sin \theta$

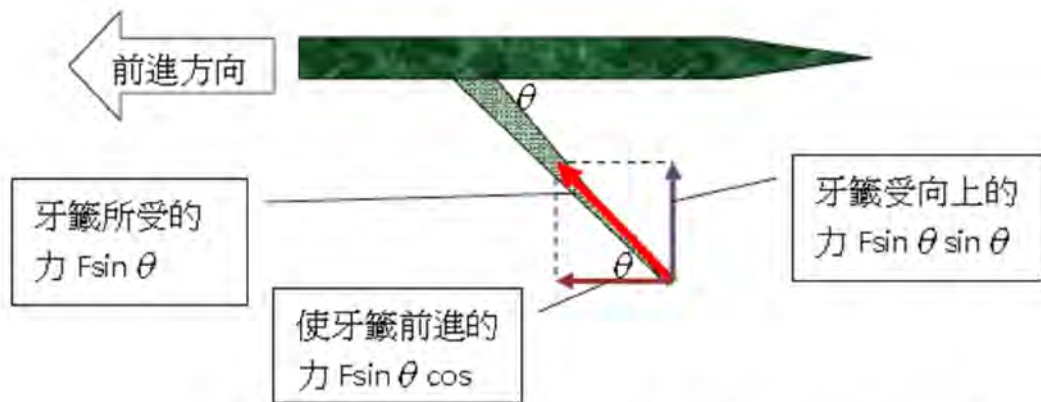


圖 67 牙籤受力後在水平方向產生的分力  $F \sin \theta \cos \theta$

- (三)、由圖 66、圖 67 分析出來的結果，牙籤受向前的分力為  $F \sin \theta \cos \theta$ 。由數學的函數可求出在  $45^\circ$  時  $F \sin \theta \cos \theta$  有最大值，這也就是我們一開始預測  $45^\circ$  會最快的原因，但結果確是  $70^\circ$  最快。
- (四)、若以作用力與反作用力的觀點來說明模型的前進，靜摩擦力提供了向前的分力而使模型移動。若模型中所有倒刺都同時受此相同的分力前進(跳動前進)，則應為  $45^\circ$  最快並沒有錯。然而問題就出在我們製作的震動馬達所產生的震動對整個倒刺面並不是均勻受力，因此有些倒刺受力彈起前進時，有些倒刺確是貼地而產生了動摩擦。此時倒刺角度愈大會使牙籤垂直向上的分力  $F \sin \theta \sin \theta$  愈大，因而減少滑動摩擦的正向作用力，使動摩擦力變小，結果使得角度在  $70^\circ$  測出最快的速率了，但若角度太大，則向前進的分力  $F \sin \theta \cos \theta$  會太小，使得  $80^\circ$  的速率又變慢。

#### 五、倒刺密度對前進速率的影響

由表 7 與圖 56 可以看出，倒刺的密度由二排梳子增加到八排梳子時，其移動 20cm 的時間變化並不大，只介於 1.2 秒~1.4 秒之間，與倒刺角度對速率的影響比較起來，不同的倒刺密度在固體表面移動的影響很小。因為只要震動那一瞬間少數倒刺受力就會前進，倒刺密度大並不會使受的力疊加而變快，但也不會使速率變慢。倒刺密集而不會使移動速率變慢的重要性是機器蛇或其他模型表面的倒刺愈密集，在凹凸不平的表面行進時愈不易被卡住。

#### 六、倒刺長度對前進速率的影響

由表 8 與圖 57 可以看出，倒刺長度由 0.9cm~1.5cm，模型在地面移動 20cm 的時間只介於 1.00 秒~1.10 秒之間，也就是說倒刺長度對移動速率的影響非常小，因為動力的來源是倒刺與地面的靜摩擦力有關，而不是倒刺的長度。如果我們的模型只需要在固體表面行進，則短的倒刺不會影響速率卻可降低模型的重心，增加移動的穩定性。

#### 七、倒刺構造的機器蛇在地面的移動情形

製作完成的機器蛇可以很輕易的在水泥地面與起伏不大的土地前進。利用第二節馬達順、逆轉也可以順利的帶動第一節完成轉彎的動作。目前比較大的困難是在爬坡與階梯無法通過，仍需想辦法克服。

## 八、倒刺構造模型在水中的移動情形

製作船形倒刺模型以了解在液體中運行的情況，結果發現模型有產生明顯震動的水波，用手在旁邊也可明顯感覺到水所傳來震動的能量，模型也有緩慢的向前移動，但無法明顯控制方向。我們認為可能的原因是我們使用的是塑膠牙籤，震動時對水的受力面積太小，在水中產生的反作用力太小，反作用力太小使質量大的船只能產生很小的加速度。目前我們正在尋找取代牙籤的材料，形狀如同有蹼的鴨掌，保留尖端而還能增加受力面積。相信找到後在動力與方向的控制上就會有明顯的進步。

## 柒、結論

- 一、龍爪草和狗尾草因皆具有倒刺結構，經震動後都朝頭的一方前進，甚至能由低處經震動而往高處爬。
- 二、影響狗尾草移動速率的因素最主要是喇叭的響度，響度愈大移動愈快。而頻率則發現由 200Hz~500Hz 時，低頻的移動速率比高頻的大。但在 350Hz 時，可能因強迫共振恰形成駐波(圖 12， $n=1$ )而使移動速度明顯變快許多。
- 三、藉由龍爪草在吸管中運動發生停滯的現象而發現駐波，並利用駐波測出吸管的平均波速為 88.37 m/s。而且我們發現對片狀彎曲的吸管傳聲速度並非定值，隨頻率增加而變快。
- 三、製作單面倒刺震動模型探討倒刺角度對移動速率的影響。結果發現在 70°時有最大的移動速率，原因可能是減少正向作用力使移動時的動摩擦力變小。
- 四、倒刺排烈愈密集，移動速率並不會有很明顯不同。不過倒刺愈密集，則在凹凸不平的地面愈不會被卡住。
- 五、倒刺長度愈短，在固態地面移動速率不受影響，但可以降低重心，增加模型移動時的穩定性。
- 四、製作船形四面倒刺模型以模擬水中運動，發現船移動比較緩慢。需尋找代替牙籤的結構，增加倒刺面積，使船可以受到水所產生更大的反作用力。
- 五、目前某些先進的實驗室完成的機器蛇大部分使用輪子或履帶，需較複雜的結構，而且若在液體中可能會故障。我們的倒刺機器蛇動力來源與結構簡單，震動馬達可包覆在工作艙不需外露，因此可在液體、真空或氣壓很大的環境中運行，對環境的容忍度很大。我們期待將來可以把這種倒刺結構運用到火星或其他星體的探索。
- 六、等將來奈米技術更成熟時，希望倒刺膠囊機器人，可應用在醫療上。比起以螺旋槳產生前進動力的膠囊機器人。倒刺構造的奈米機器人在血管中前進時，則不僅能清除血管上的阻塞物，而且比螺旋槳動力更能在細胞間穿梭，因為倒刺結構在固體面能得到更大的反作用動力，這也是未來我們想要製作模型的藍圖。目前我們想改進的是把方型的四面倒刺船改良到膠囊形狀潛艇，以更接近實際型體，並思考如何控制移動方向。



## 捌、參考資料及其他

- 一、不均勻介質中弦波形成駐波的研究，第 34 屆全國中小學科學展覽會，高中組物理科，作者：蔡金吾、洪瑞聰、黃奎綱、蕭錚。
- 二、膜上的波扭，第 49 屆全國中小學科學展覽會，高中組物理科，作者：呂伊庭、鄭惟允、洪家琪。
- 三、都是駐波，為什麼差這麼多，第 42 屆全國中小學科學展覽會，高中組物理科，作者：李俊瑩、楊昱恆、黃耀正、莊敦榮。
- 三、<http://www.phy.ntnu.edu.tw/wiki/index.php/%E9%A7%90%E6%B3%A2> 台灣師範大學物理系討論區：駐波

## 【評語】 030113

1. 研究內容具有仔細探討與分析的精神。
2. 建議增加數據的取樣樣本數，則分析的關係圖將會更佳。
3. 宜再深入探討模型各變因與龍爪草的關係。