

# 中華民國第 55 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

030819

暗「潮」洶湧

—以 3D 列印技術，探討洋流發電之研究

學校名稱：臺中市立居仁國民中學

作者：  國二 黃允劭  國二 賴柏翔  國二 鄭琮諺	指導老師：  林昆龍  黃智偉
---	-----------------------------

關鍵詞：3D 列印、白努利定律、洋流發電

## 摘 要

本研究主要是利用水箱設計模擬洋流的模型，並建構穩定的模擬測試流場，進一步以 **Maker** 概念，結合 3D 列印技術，設計並印製各種型式扇葉及葉框導流等變因模型，用以探討其對洋流發電的影響。

研究結果發現：水平式阻流型渦輪機其扇葉面呈 30 度傾斜角及 8 片扇葉數時有較好的發電效能；若加上適當比例長度的圓錐導流尖角及加裝分離的導流罩框，並調整導流罩框的高度與距扇葉面的距離，和適當比例開口，均能達到較好的集流發電的效能。參考比較相關的風力發電研究報告，本實驗相關的研究結果符合理論探討。因此，本研究以 3D **Maker** 的概念技術，建構探討洋流發電的模型確實可行。未來，應可用此技術作為探究洋流發電系統的一項思維與工具。

## 壹、研究動機

近來核四廠應該停建或續建的問題，引發了許多討論。因此尋求更乾淨、安全的替代能源也成為當前最重要課題。想起之前我們曾經到過海邊，看著表面平靜海面突然興起了驚濤駭浪，讓我們思考海洋中必存在某種能量，也引起了我們對海浪及洋流所產生的威力感到興趣與好奇。翻找文獻資料及收集的資料顯示 [2、4]，海洋中可利用的能源有波浪能、洋流能、海流能、海水溫差能、潮汐能……等，而台灣東岸正好有一股的黑潮洋流，根據學者調查，「黑潮」洋流寬約 100 到 800 公里、深約 200 到 500 公尺，並以每秒約 1 公尺速度往琉球、日本方向流去，是一股強勁又穩定洋流 [8]。

根據台大黑潮發電研究團隊評估，黑潮潛在的發電可達 60GW [7]。更有學者表示「黑潮是上天給台灣最好的禮物。也是台灣能源自主的唯一希望」 [9]。但因為種種考量及技術限制，目前仍在評估尚待開發中。因此，我們想到能否在家裡以 **DIY** 方式，自行組裝不同的渦輪扇葉及建構相關的導流條件，研組模擬洋流發電的水槽，如果能模擬並探究影響洋流發電的相關變因，建構出較好的發電模型，便能挖掘出洋流的真正價值，讓黑潮發電的想法成真，也能為台灣能源的永續發展盡一份心力。

## 貳、研究目的

洋流發電是利用海洋中海流的流動動力來推動渦輪扇葉發電，一般大多設置在海流流經之截流涵洞的沉箱中，其內設置一座渦輪扇葉及發電機 [5]，儘管理論上以這樣的作法來發電是可行的，但目前仍遇到一些技術困境，因此無法具體大規模的實施，例如：發電機組的防水問題、動力能源的轉變、機體維護保養問題……等，在實際運作上的發電效益、條件等都還有許多討論的空間 [4、8]。因此，我們設定的研究方向，僅就模擬洋流場和影響渦輪機變因及如何提升發電效能的變因來進行研究。共分下列三項說明：

一、設計模擬洋流水槽的條件，建立研究渦輪機變因之可行性。

1.洋流發電機組的測試與選用。

2.確認實驗環境設備與裝置條件(模擬洋流水槽流場系統分析，並找到穩定及最佳流速)。

二、以免費 3D 軟體 Tinkercad 及 SketchUp Make 建構模型，並用 3D 列印機列印扇葉等變因模型及組裝模型實體，用以探討洋流發電可行性之相關因素研究。

1.探討渦輪機中不同形式的扇葉變因，對洋流系統發電效能的影響及提升發電效能的方法。

(1).扇葉(水平式阻流型)傾斜角度對發電效能的影響。

(2).扇葉葉數對發電效能的影響。

(3).扇葉面積大小對發電效能的影響。


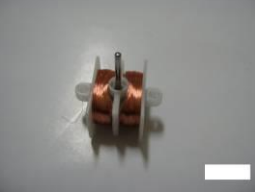





(4).扇葉中軸導流圓錐導角對發電效能的影響。

2.探討扇葉的導流罩框變因對發電效能的影響。

3.利用防水墊皮帶及齒輪組等來提升發電效能。

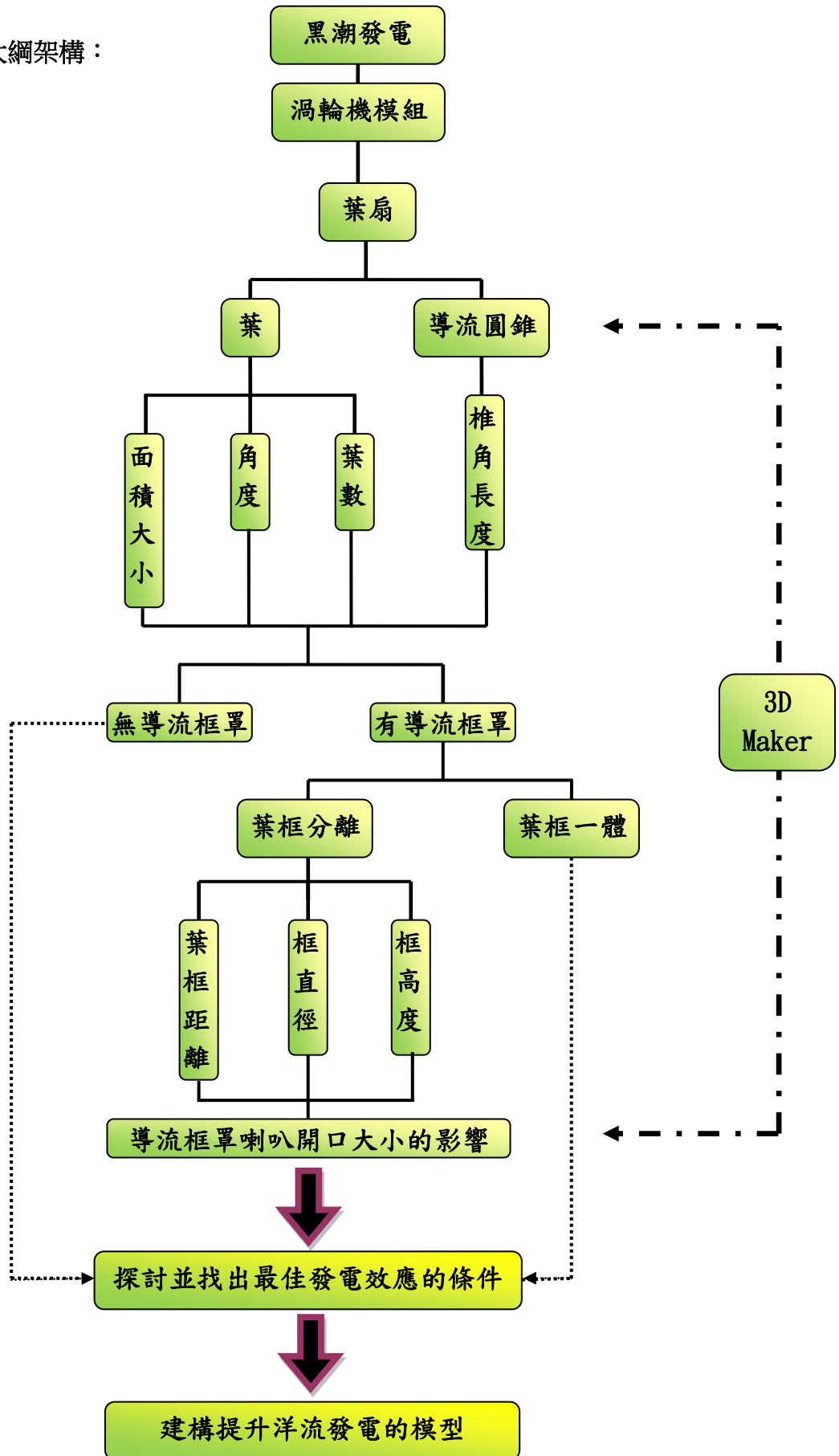
三、運用「Maker」概念延伸變化，用以探討洋流發電可行性之相關因素研究。

## 參、研究器材及設備

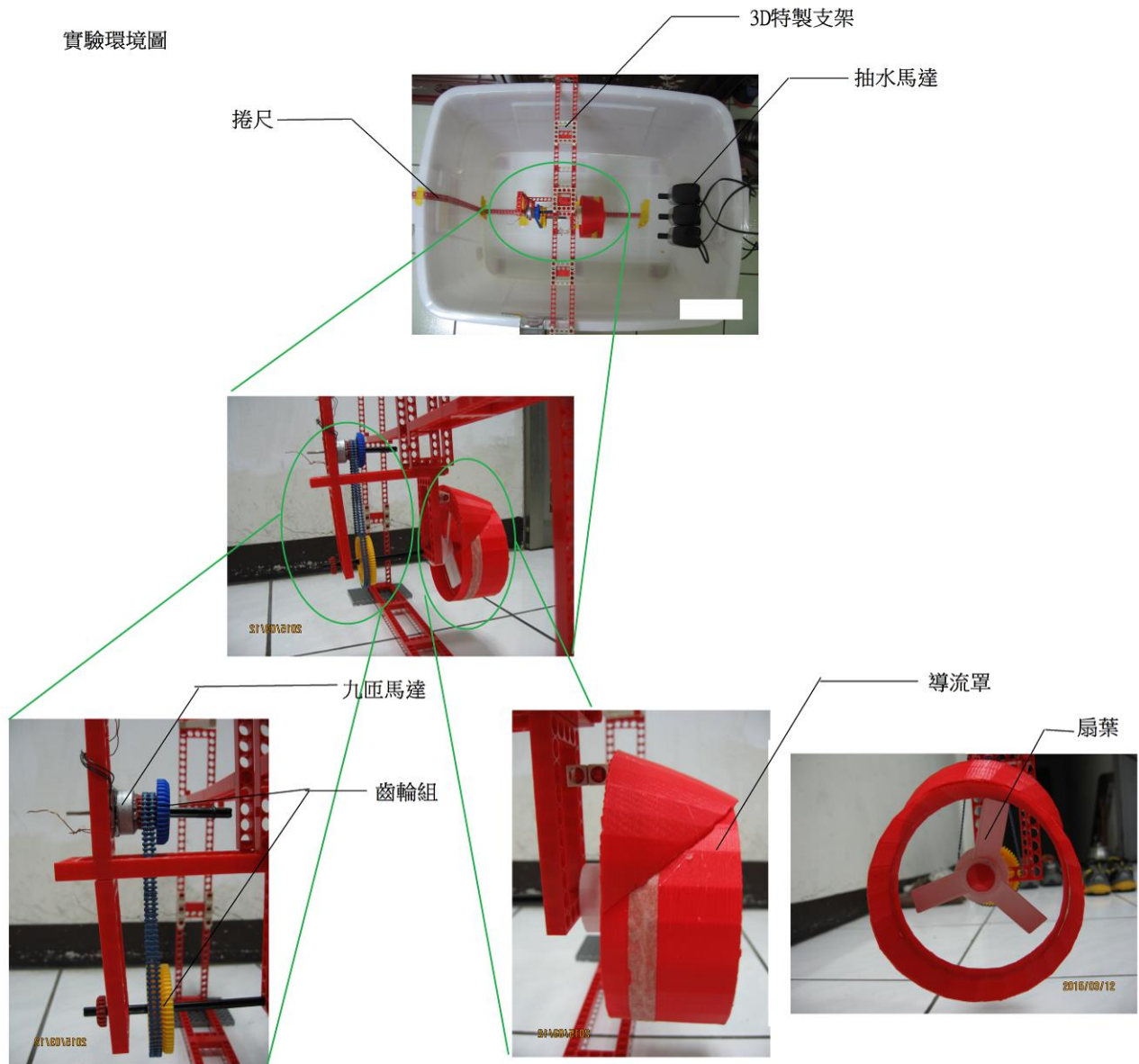
研究器材型號規格	設備相片圖示	設備相片圖示	設備相片圖示
長軸無刷發電機<九匝> 圓徑 29mm 固定片 30*30mm 軸長 30mm 軸徑 3mm			
防水無刷發電馬達<兩 匝>圓徑 2.5*1.6 mm 定 片 30*30mm 軸長 30mm 軸徑 1.5mm			
流速儀 general oceanics			
3D 列印機 da Vinci 1.0/1.0A/1.0AiO			
智高積木自製支架 gigo			
AZOO1800 型沉水馬 達，流量:1800L/hr			
三用電表 YF-1000MULTIMETER			
實驗水槽 130 L	大型收納箱 760mm *560mm *460mm		

# 肆、研究流程與方法

## 一、研究流程大綱架構：

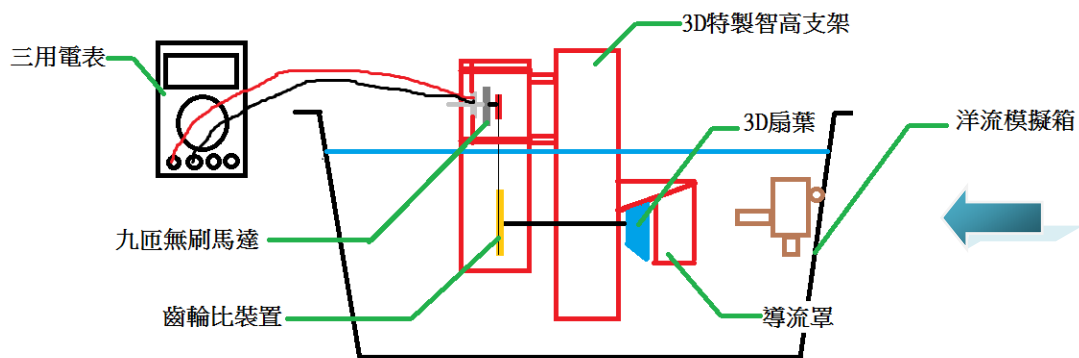


## 二、研究方法：實驗實體裝置及模型示意圖



實驗環境圖(側面)

實驗環境側視示意圖





## 伍、研究結果與討論

### 一、設計模擬洋流水槽的條件，建立研究渦輪機變因之可行性

#### 【實驗一】：確認實驗環境設備與裝置條件(模擬洋流水槽，並找到穩定及最佳流速)

##### 1.實驗 1-1 —洋流發電機組的測試與選用

(一)在此選用 2 種微型發電機進行比較，用以建構模擬水槽的發電效率，依前測實驗結果發現，九匝無刷馬達較二匝無刷馬達集電效應較好。因此，以下實驗的發電效能，結果均以三用電表測量九匝無刷馬達發電的電壓及電流來表示。

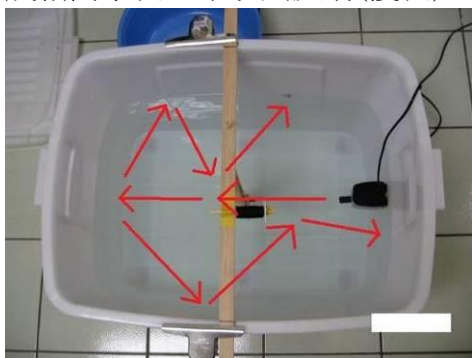
(二)討論：

(1)傳統的海流發電和風力發電類似，即由葉輪回收流體動能，產生轉矩轉動葉輪，再帶動發電機。

(2)無刷馬達：外側轉子是永磁磁極，轉動轉子會讓內側定子的線圈切割磁場而生電力，感應電流由定子端輸出。由於磁鐵所產生的磁場強度在水中和空氣中相差很小，只要做適當的腐蝕防護，磁鐵可以直接泡在水中，適合用做海流發電機。

##### 2.實驗 1-2 —確認實驗環境設備與裝置條件(模擬洋流水槽)

(一)根據文獻在洋流特性的分析資料顯示：黑潮以大面積及流速約 1 m/s 向北流動 [8]。考慮到無法到黑潮流場中進行實測，又礙於實驗室空間及流場流速限制問題，我們選用特大收納置物箱及一顆 1800 型抽水馬達，再配合特製支架安裝 DIY 扇葉進行前測實驗，裝置如下圖(1)所示，用以模擬黑潮流場的環境測試。結果發現 DIY 扇葉在轉動過程中遇到轉速不均問題。實測發電電壓及電流均得到不穩定的數據，因此推測可能是水流衝擊箱壁，造成箱內水流呈不規則反射(擾流)，如下圖(1)紅色箭頭標示圖例說明：



圖(1)



圖(2)

(二)為此，我們將水箱改以圓型大型臉盆，配合特製支架及固定葉扇裝置，配合圓形水道弧

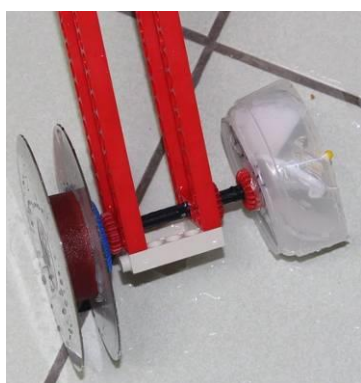
型擺設之抽水馬達，如上圖(2)所示，以減少不規則擾流，最後以投以裝水氣球運作，將水球流動情形以攝影分析方式進行流速分析，結果發現仍有部分積流及流速變慢的問題。

(三) 回顧研究目的，再次思考我們的實驗重點應在探討洋流場中發電效應，若能在擾流場發生前測得穩定又較大的流速，便可以忽略擾流的問題。因此設計了下列實驗來探討流速。

### 3.實驗 1-3 —在模擬水箱中找到穩定的測試流場，並進行流速的測定

#### (一)實驗步驟

- 1.採用 130 公升整理箱作為水槽。使用 3 顆 1800 型抽水馬達排成一列，製造固定水流，用吸盤固定在距離底部 30cm 處。利用自製流速計，裝置如下圖(3)~(5)所示，測量不同位置的流速。
- 2.利用塑膠杯及珍珠板製作扇葉，將扇葉固定在發電機外測，測試轉動。
- 3.分別使用木條及智高積木製作渦輪機支撐架，將扇葉分別裝置在距離水流噴口處不同距離約 12~36cm 處，用自製特殊支架固定，測試運轉情形。



圖(3)



圖(4)



圖(5)

#### (二)自製流速計及標準流速計的測量

(1)關於流速的測量，我們設計在扇葉的後方捲上毛線，測量在固定 30 秒內，以固定流速衝擊扇葉後測量轉動時所捲動的毛線長度距離，將距離長度除以時間得到速率，用以間接判斷流速的快慢及穩定性，但後來發現毛線會吸水，重量增加後會影響捲動的快慢。所以接著改用釣魚線測量，結果只能大約判斷部分流場大致穩定，可以進行分析。

(2)我們為證實此推論，後來商借到標準流速儀，直接使用流速計分距離測量，如下圖(6)所示，的確發現不同段距離的流速不一，但每固定一小段內的流速大多十分平均，驗證了模擬實驗流場的設計應為可行。我們緊接著再安裝捲尺，使每段流速都有實際可觀測的距離(cm)，並將不同段距離測量到的流速進行比較，結果如下表(1)及圖(7)所示。



(三)標準流速計在模擬流場中分析測量結果(3 顆抽水馬達並排)

(1)表 1.距離抽水馬達噴水孔不同位置流速紀錄表

依據流速計使用計算公式轉換：圈數 \* 26873/999999 再除以 30 秒 = ? m/s

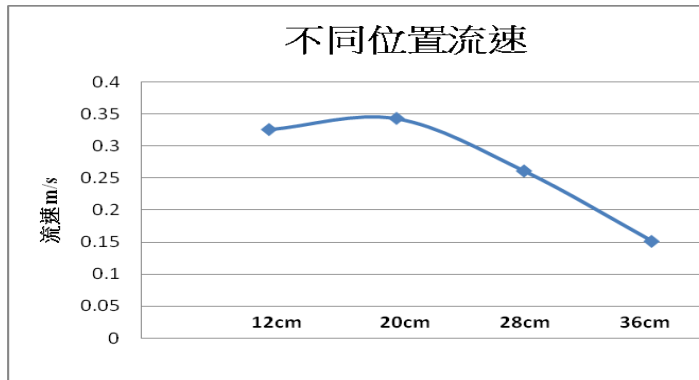
位置(距離馬達噴水孔)	第一次	第二次	第三次	平均圈數	平均流速(m/s)
12 公分	365	363	363	363.6667	0.325760804
20 公分	381	385	383	383	0.343078976
28 公分	271	309	295	291.6667	0.261265539
36 公分	193	151	164	169.3333	0.151683307

※ 備註：已去掉極大極小值

表(1)



圖(6)



圖(7)以標準流速計測得距離噴水孔不同位置平均流速圖

(2)結論：

- ①在距離 1800 型抽水馬達噴水孔 20cm 處，有一較大及穩定的流速 0.34m/s，相較於黑潮流速 1m/s 的比約為 1：3。因此，在較小的實驗水槽中建構一穩定比例流速模型應為可行。
- ②畢竟，因為海底有不同地形及高低起伏等因素，真實海流中不可能毫無擾流，所以採取較好的位置，應該是一種不錯的考量。
- ③再者，就真實與模擬兩種情境模式的安全性考量與所採用的設備經費來比較，後者的選擇應該更為安全與划算。
- ④至少，在塑膠水槽及模擬扇葉的結構上，應該可以承受此流速測試的探究，並可藉實驗之數據比例轉換推算，模擬實際應用在黑潮時的情況。就數據而言，此種模擬水槽也的確是不錯的選擇。
- ⑤另外使用淡水和鹽水(模擬海水)的差異，將另行比較探討。

## 二、探討渦輪機中不同形式的扇葉變因，對洋流系統發電效能的影響及提升發電效能的方法

1. 探討扇葉(水平式)傾斜角度對發電效能的影響
2. 探討扇葉葉數對發電效能的影響
3. 探討扇葉面積大小對發電效能的影響
4. 探討扇葉中軸導流圓錐對發電效能的影響



圖(8)

### 【實驗二】：探討不同形式的扇葉對發電效能的影響(渦輪機)

#### 1. 實驗 2-1 一自製測量葉扇的演進(從自製珍珠板、胖胖杯扇葉到 3D 列印扇葉)

(一)前測實驗：一開始，當我們決定題目及方向時，在前測實驗中，曾經過多次嘗試用不同的素材製作扇葉，來進行變因素的探討，最後選擇用較堅固及規格統一的胖胖杯及珍珠板來裁切製作葉扇，並進行模擬實驗，設計如圖(8)所示。但仍產生了以下幾個問題：

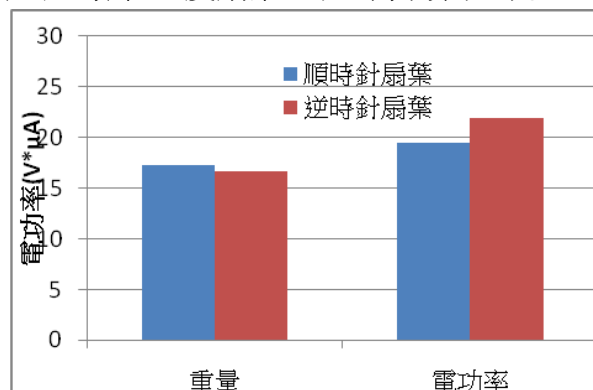
- (1). 每個組員手工皆不盡相同，導致條件雖然一樣，但成品剪裁標準不一，不易進行比較。
- (2). 因為葉片受制於杯子壁緣的大小，導致葉片形狀必須配合杯壁，造成形狀無法統一。

(二)標準實驗：之後，為了解決上述問題，思考使用 Maker 的概念，運用 3D 列印技術，精準的印製實驗設計的扇葉及部分組裝套件。在本實驗中我們運用免費 3D 軟體如：TinkerCad 及 SketchUp Make 等軟體繪製建構不同規格扇葉圖，並用 3D 列印機列印實體，並進行組裝(詳細的 3D 繪圖及輸出步驟請參考文末：玖、附錄)。因此，以下實驗有關的扇葉、葉框導流及零組件等變因對發電效能的影響，均以 3D 印製後進行模組化組合探究。

#### 2. 實驗 2-2 一阻流型扇葉(適用於水平軸流體系統)扇葉面傾斜角度對發電效能的影響

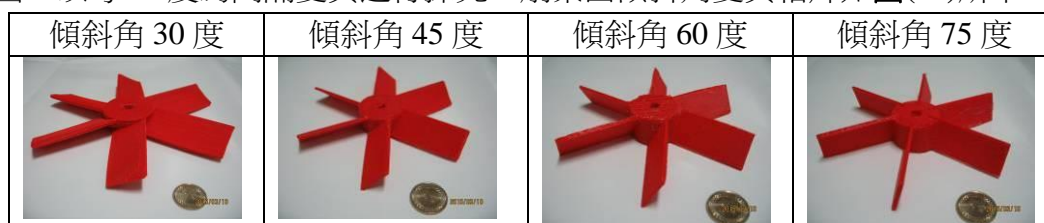
(一)前測實驗：因為扇葉的轉速與抽水馬達的出水速度與衝擊角度息息相關。只要出水口偏移，便會造成扇葉的轉速不定。因此我們分別設計了順、逆時針 30 度扇葉來驗證：由實驗圖(9)結果顯示：以扇葉八葉，分別設計了順、逆時針 30 度扇葉，若出水方向、流量穩定，則數據相差不多。

結果證明：只要水的流向與扇葉軸平行，且流量穩定。順、逆時針轉向並未造成發電效能明顯的差異。因此，後面的扇葉設計，均設計成逆時針轉動的扇葉型作為控制變因。



(二)標準實驗：

(1)模型圖：以每 15 度為間隔變異進行探究，扇葉面傾斜角變異相片如圖(10)所示



圖(10)

(2)數據圖表分析：①實驗初期以六葉 DIY 扇葉進行實驗 表(2)

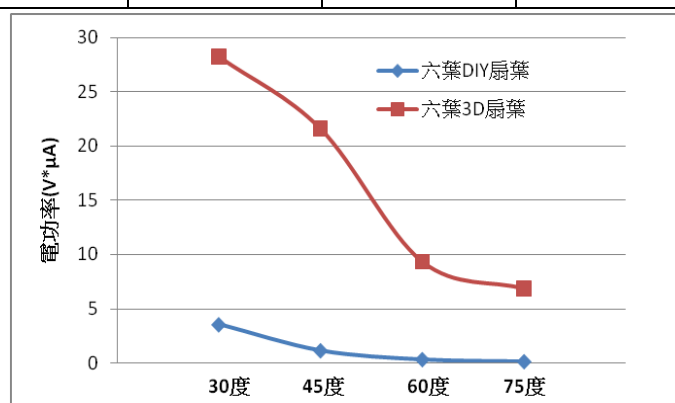
變因\平均數據	平均電壓(V)	平均電流( $\mu$ A)	電功率(V* $\mu$ A)
30 度角	0.37	9.6	3.55
45 度角	0.25	4.6	1.15
60 度角	0.13	2.5	0.33
75 度角	0.07	1.98	0.14

②以下實驗以六葉 3D 扇葉做實驗：

變因\平均數據	平均電壓(V)	平均電流( $\mu$ A)	電功率(V* $\mu$ A)
30 度角	1.1	25.71	28.27
45 度角	0.9	24.01	21.60
60 度角	0.5	18.61	9.31
75 度角	0.4	17.00	6.82

③整理比較：

扇葉工法變因 \ 角度	30 度角	45 度角	60 度角	75 度角
六葉 DIY 扇葉	3.55	1.15	0.33	0.14
六葉 3D 扇葉	28.27	21.60	9.31	6.82



圖(11)

(3)結論：如圖(11)

①3D 列印扇葉發電效應明顯較 DIY 扇葉好，適合作為本實驗研究的素材。

②對阻流型葉扇而言，扇葉面傾斜角度變異，會明顯影響發電的效能。

③由本實驗數據證明，在扇葉面傾斜角度 30 度時能產生最高發電功率。

④所以，以下扇葉的實驗探討，皆使用扇葉面傾斜角 30 度角之扇葉進行發電效能的測量。

#### (4)討論：

- ①我們在此次實驗中改變了扇葉面的傾斜角度。因為在改變角度的同時，扇葉受力的面積便會改變，扇葉受力能不同，產生的電力就不同。因此推論扇葉面在與地面水平傾斜 30 度時，對水流接觸面積最大，所以發電功率最佳，但本實驗未做更小角度的實驗探討。
- ②其次，水在沖擊扇葉後反射的水流會再次對此變因造成影響，例如：沖擊後水的流向會再次沖擊到其他的扇葉面變成阻力或反射干擾流入的沖擊流。
- ③因此若能找到較好的傾斜角度，則在實際應用上也能發揮較好的發電效應。
- ④根據文獻討論〔3〕，對阻流型葉扇角度進行合理有效的受力分析中指出：

❶葉片角度大轉速慢；葉片角度小轉速快：

因為葉輪直徑相同，葉片形狀大小相同，葉片角度大，其旋轉過程當中所受的阻力大，不利於葉輪轉動，導致葉輪轉速慢；反之葉片角度小，其旋轉過程當中所受的水流阻力小，有利於葉輪轉動較快。

❷葉片角度大，側壓力大，啟動流速小；葉片角度小，側壓力小，啟動流速大：

葉輪由靜止狀態下接受水流啟動時，葉片只受到正面水流的壓力，由於葉輪沒有旋轉不擠壓葉片旋轉方向上的水流，所以沒有水流帶來的旋轉阻力。相同外界條件下，葉片角度大，側壓力大，葉輪沿旋轉方向上的合力大，有利於葉輪啟動。

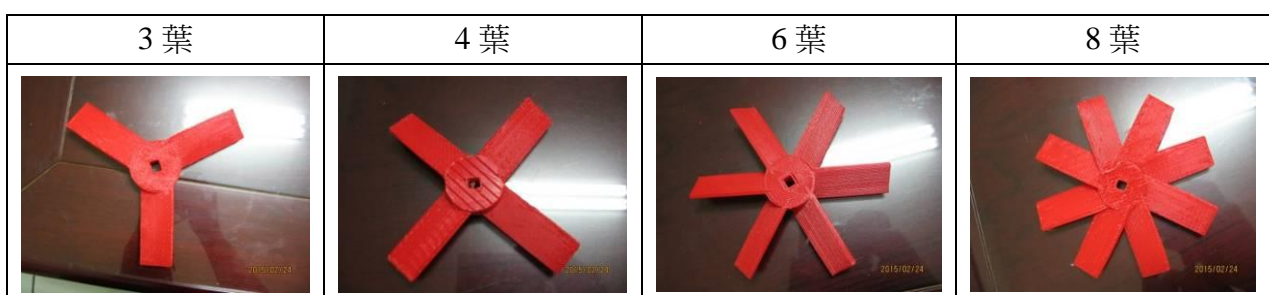
### 3.實驗 2-3 一扇葉數對發電效能的影響

(一)前測實驗推論：找到傾斜 30 度是最能利用水的沖擊之後。我們接著想到，如果傾斜 30 度真的是最好的，都是因為受力面積變大所造成。那是不是增加了較多的扇葉數，便能增加更多的接觸面積，對發電效果越好？是否會因扇葉數的增加、重量的增加而導致結果與推測結果相反？因此我們接著再進行以下實驗來進行驗證。

#### (二)標準實驗：

##### (1)模型圖：不同扇葉數的設計

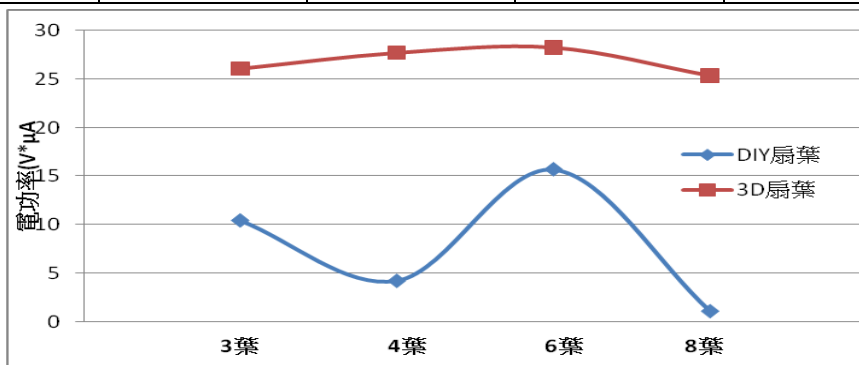
圖(12)



(2)數據圖表分析：(以下實驗以 30 度角扇葉進行實驗) 表(3)

扇葉變因	3 葉	4 葉	6 葉	8 葉
DIY 扇葉	10.42	4.21	15.68	1.09
3D 扇葉	26.04	27.71	28.27	25.31

圖(13)



(3)結論：

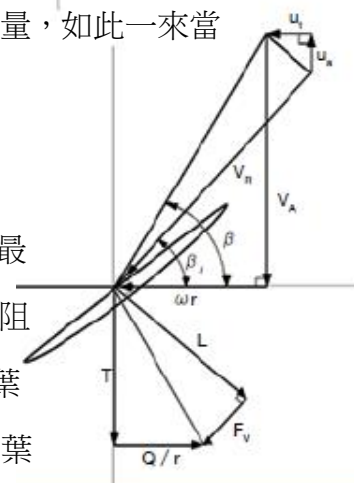
- ①3D 列印扇葉發電效應明顯較 DIY 扇葉好，應該適合作為本實驗研究的素材。
- ②其中 6 葉有較好的發電效應，適合作為本實驗的控制條件。

(4)討論：

- ①在 3 葉與 6 葉的比較中，扇葉數增加，受力面積增加，對發電效能亦增加，但 8 葉的受力面積更大，卻沒有比 6 葉的效能大，推論應該是此時扇葉重量亦增加了，轉動慣量增加，不利於轉動。根據趨勢判斷，此款設計的 6 扇葉的數據應已達到最大利用極限。
- ②葉輪的設計目的是為了利用流動的液體的動能，而得到帶動發電機旋轉的機械能；葉輪本體的運動性質是葉片控制輪軸旋轉，葉片是主動、輪軸是被動；因此：
  - ❶葉片多，洋流能利用率高，葉片少，洋流能利用率低。
  - ❷葉片厚，轉速慢，葉片薄，轉速快。
  - ❸葉片重量大，轉速慢，葉片重量輕，轉速快。
- ③根據文獻在風力發電系統研究中指出〔3〕：(1)扇葉太密會對低風速(3m/sec ~15m/sec) 的自然風的流量產生很大阻力，對提取系統有效功率的效能大打折扣。(2)扇葉數愈多，扇葉會有較大的質量，旋轉時慣性也會較大，但自然風力是很不穩定的流量，如此一來當風速由快轉慢時，因為慣性較大發電效能變差。

④根據文獻討論〔5〕，對葉扇數進行合理有效的受力分析中指出：

- ❶水平軸流式葉輪發電機的效率是最好的原因是，每個葉片都處於面流的最佳狀況，而且是以升力來驅動葉輪。依流體機械的概念得知升力通常是阻力的幾十倍。因此利用升力作功，能量轉換最有效。如圖例(14)說明：葉輪則是由入流速度  $V_A$  驅動葉片旋轉，使葉片產生負升力  $L$ ，再由升力和葉



圖(14)



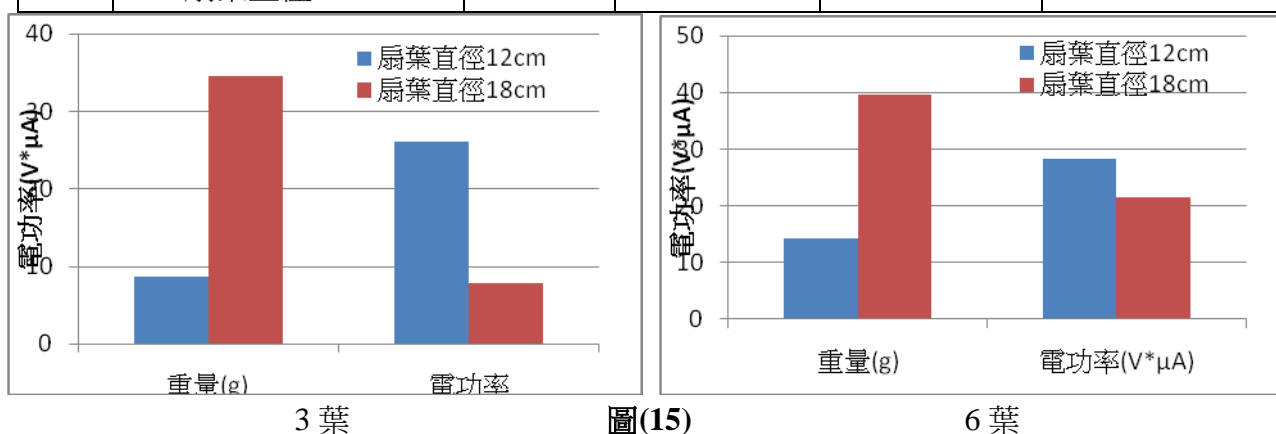
片表面阻力  $F_v$  的合成，在葉輪旋轉方向產生轉矩  $Q$ 。轉矩的旋轉方向和螺槳相反，這時葉輪的推力為負，即和入流  $V_A$  方向相同。葉片拱高的方向剛好和螺槳相反，同時葉輪的軸向誘導速度  $U_a$  和入  $V_A$  反向，可知葉輪做功後，軸向流速是下降的，即入流的動能會被葉輪回收。

- ②在觀察阻流型葉扇的設計中發現，平面式葉片並不能充分利用流體之動能，因為撞擊扇葉後的流體會從平面葉片四周流散無法集中推力產生最大效能。考量傳統水力發電機扇葉入水的模式，因扇葉前方平整，會導致前進阻力過大而抵銷了葉扇後方的受流體撞擊的能量，因此在考量面積的因素同時，亦需要兼顧阻流的問題。

#### 4.實驗 2-4 —扇葉面積對發電的效能影響

##### (一)標準實驗：表(4)

3 葉	扇葉面積大小	重量(gw)	平均電壓(V)	平均電流( $\mu$ A)	電功率(V* $\mu$ A)
	扇葉直徑 12cm	8.7	0.93	28.01	26.04
	扇葉直徑 18cm	34.6	0.5	15.72	7.83
6 葉	扇葉面積大小	重量(gw)	平均電壓(V)	平均電流( $\mu$ A)	電功率(V* $\mu$ A)
	扇葉直徑 12cm	14.3	1.1	25.71	28.27
	扇葉直徑 18cm	39.6	0.9	24.02	21.60



##### (二)結論：如表(4)及圖(15)

- ①不論葉扇數是 3 葉或 6 葉，葉輪直徑 12cm 的發電效能均較葉輪直徑 18cm 來得好。
- ②其中 6 葉數的面積又比 3 葉數的面積大，發電的效能更好。
- ③以增加的面積與增加的重量比較，增加了一點面積，卻增加好幾倍的重。

##### (三)討論：

- ①同上述扇葉數分析討論：6 葉與流體受力面積較大，因此會比 3 葉面積大，發電效能較高。
- ②經實驗證明增加扇葉受力面積，確實使得發電效應提升，理論推測亦應如此。但在面積放大的同時，扇葉架構的重量亦相對增加，因此必須配合考慮到沖擊的力道大小，若力



道不足，轉動慣量變大，扇葉面積的增加只是增加了重量負擔，發電效應的呈現便不見得可以得到比例增加的效果，甚至會變得更小。

③根據文獻在風力發電系統研究討論中，有關葉扇面積受力的分析中指出〔3〕：

- ❶風力發電機的目的是要由風力中提取能量，因此設計成細長的葉片，越靠近軸心的葉片面積必須越大。但葉片長轉速慢，葉片短轉速快。
- ❷寬葉片與窄葉片相比，寬葉片在旋轉過程當中產生的阻力較大。但是，同時寬葉片迎風面受風壓力也比窄葉片大。風輪之所以轉動是因為葉片所受風的正壓力大於風輪旋轉過程中葉片所受阻力，而壓力和阻力均遵循物理學受力等於壓力乘以受壓面積，即  $F=P*A$ （F，葉片所受的力；P，葉片單位面積所受壓力；A，葉片受壓有效面積）。因為同等條件下風壓不變，所以葉片受力大小與葉片的有效受壓面積有關。
- ❸但風力發電的葉片越大的話，其製造成本就會越貴，而且風力發電的基座也必須承受更重的重量，但最重要的是，必須要有更大的風速才能使之轉動。
- ❹由於葉片小所以使用發電功率較小的發電機，更容易使葉片轉動，由於大風並不是無時無刻的，因此，小功率的發電機會有更好的效能。所以說，葉片形狀應該越靠近軸心處越窄，距離軸心越遠處應該越寬。即葉片每一點的寬度應與這個點的線速度相吻合，葉片頂部越寬其獲得的風能也將越大，風的利用率也會提高。
- ❺同理推論洋流發電的渦輪扇葉設計，亦可參考風能發電機，扇葉面越大發電效應越佳。

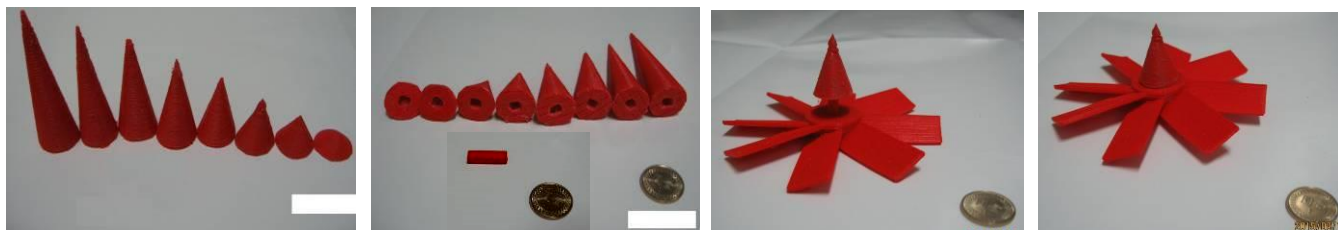
## 5.實驗 2-5—扇葉中軸導流圓錐對發電效能的影響

(一)前測實驗：

在 DIY 扇葉前測實驗中發現，不同材料杯體形狀不同，前方導角亦有不同的流線，似乎也具有導流之功能，因此我們設計增加圓椎導角長度，來探討導流圓錐對發電效能的影響。

(二)標準實驗：

(1)模型圖：中軸導流圓錐及裝置組裝示意圖 圖(16)



(2)數據圖表分析：

①以下實驗以 **2cm** 直徑的圓角錐進行實驗，搭配 8 扇葉及 30 度傾斜角扇葉進行實驗，以每一公分為單位，來增加中軸長度，重量維持相等，加墊片後重量均為 **3.5 克** 表(5)

變因\平均數據	重量(gw)	平均電壓(V)	平均電流(μA)	電功率(V*μA)
1cm	0.6	0.316	18.76	5.93
2cm	1.0	0.424	21.88	9.28
3cm	1.5	0.85	21.32	18.12
4cm	1.8	1.026	27.66	28.38
5cm	2.2	1.276	31.82	40.60
6cm	2.8	0.982	22.1	21.70
7cm	3.1	1.064	19.48	20.73
8cm	3.5	0.902	17.61	15.88

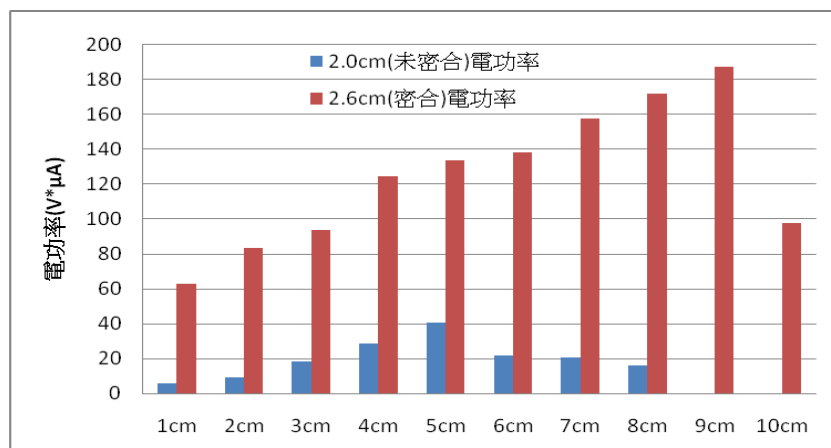
②以下實驗以 **2.6cm** 直徑的圓角錐進行實驗，搭配 8 扇葉及 30 度傾斜角扇葉進行實驗，重量維持相等，加墊片後重量均為 **6 克**(中軸半徑與圓錐底面積吻合) 表(6)

變因\平均數據	重量(gw)	平均電壓(V)	平均電流(μA)	電功率(V*μA)
1cm	1.3g	2.45	25.58	62.62
2cm	2.5g	2.92	28.64	83.51
3cm	2.0g	3.09	30.32	93.82
4cm	2.7g	3.51	35.60	124.61
5cm	3.4g	3.62	37.18	133.85
6cm	3.9g	3.67	37.64	138.06
7cm	4.5g	4.07	38.82	157.92
8cm	5.1g	4.41	39.02	172.16
9cm	5.7g	4.79	39.08	187.27
10cm	6.0g	2.92	33.62	97.50

③整理比較：表(7)

變因\平均數據	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm
2.0cm(未密合)電功率	5.93	9.28	18.12	28.38	40.60	21.71	20.73	15.88		
2.6cm(密合)電功率	62.62	83.51	93.82	124.61	133.85	138.06	157.92	172.16	187.27	97.5

圖(17)



(3)結論：如圖(17)

- ①加裝導流圓錐，可以明顯提高發電效應。
- ②圖中可看出中軸半徑與導流圓錐半徑吻合時，錐角長度在 9cm 時有最佳的導流效果。
- ③若導流錐角基部中軸直徑不密合，則導流效果明顯較密合的圓錐差，且相差 7 倍以上。

(4)討論：

- ①加裝導流圓錐，推測是因為將原先衝擊中軸無效的水流導流到扇葉上，使集流效應明顯，能讓洋流動能的獲得較大的利用。
- ②根據趨勢，圓錐隨中軸增長至 9 公分時，此時大部份可利用的洋流能可能已經達到利用轉換的極限。
- ③另一原因，軸長超過 9cm 後，可能因距離沉水馬達過近而導致水流不穩；或軸心過長導致前端導角重心前移，轉動慣量變大，使之轉速下降，進而影響發電效能。

### 三、扇葉的導流罩框對發電效能的影響

關於導流罩框的設計想法—我們思考大範圍面積的流場，水流沖擊扇葉的角度可能不同而互相干擾，推測必定會造成不規則能量的流動，使得能量無法集中。因此思考，若能將洋流能量集中，提升扇葉的阻流效應。其中導流罩框的設計應可以將水的流向引導、集中，使扇葉能不受其它擾流影響、也許能使扇葉所受之沖擊單一且密集，能有效增加發電功率，但這只是推測。因此，我們設計了以下幾項變因：包含導流罩框的有無、一體成型或葉框分離、流罩框大小、長度及與扇葉距離等因素進行比較探究。

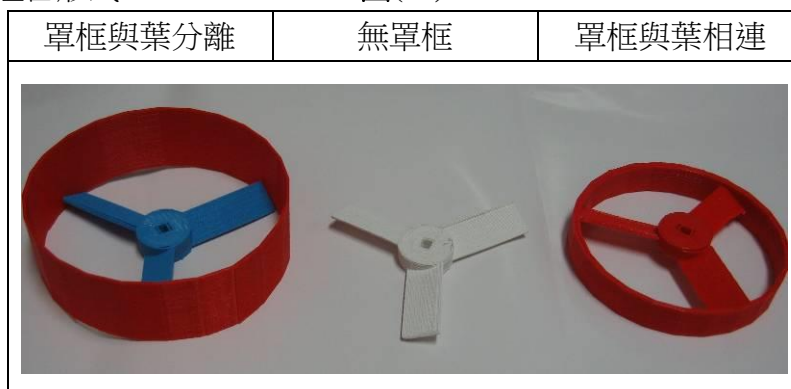
#### 【實驗三】：建構導流條件，探討流場中提升海洋能集中的方法

##### 1.實驗 3-1—導流罩框模式(葉框一體成型及葉框分離) 對發電的效能影響

(一)標準實驗：

(1)模型圖：框葉組合形式

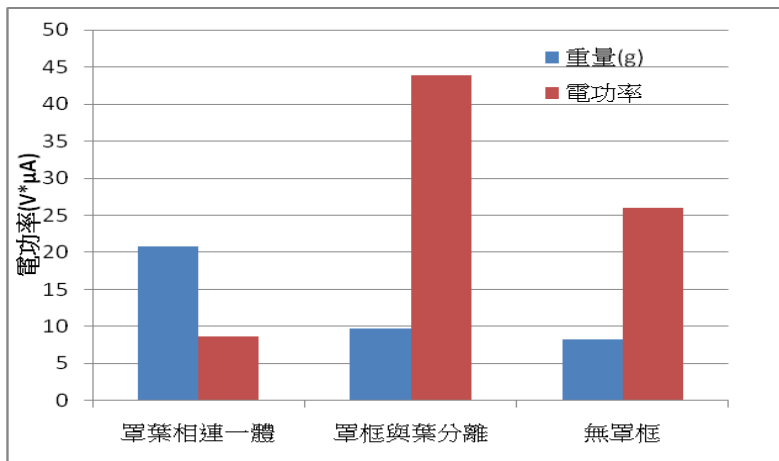
圖(18)



(2)數據圖表分析：表(8)

(以下實驗以 2cm 直徑的圓角椎進行實驗，在扇葉數 3 葉，30 度傾斜角度下進行實驗)

變因 \ 平均數據	重量(gw)	平均電壓(V)	平均電流(μA)	電功率(V*μA)
罩框葉相連一體	20.81	0.27	32.30	8.73
罩框與葉分離	9.82	1.41	31.31	43.82
無罩框	8.31	0.93	28.01	26.04



圖(19)

(3)結論：

- ①由實驗結果可看出，罩葉分離的重量較輕，發電效應效果最佳，無罩框的效能較差。
- ②罩框與扇葉一體，雖然有罩框，但重量較重，發電的效應最差。
- ③若渦輪扇葉模組重量愈大，轉動慣量大，發電的效應愈差。

(4)討論：

- ①無罩框和罩葉框分離差異則在於扇葉利用水力的幅度，因為導流罩框的增加使罩框分離的扇葉利用水力的幅度也相對提高所致。
- ②罩葉相連效果明顯較差是由於需帶動罩、葉，造成重量過重，水力不足以迅速推動，所以發電效應效果差。因此，後半部導流實驗均以罩框、扇葉分離的模式來進行測試比較。

2.實驗 3-2—導流罩框模式(扇葉導流罩框的有、無)對發電效能的影響

(一)標準實驗：

(1)模型圖：右圖(20)為加裝導流罩框的實驗裝置圖



圖(20)

(2)數據圖表分析：表(9)

以下實驗均以 2.6cm 直徑的圓椎角，長度 9cm，在 30 度傾斜角度，搭配不同扇葉數，比較罩框有、無的實驗對發電效能的影響(罩框和扇葉分離)，此處罩框高度為 6 cm：

①以下實驗為未加裝導流罩框的實驗：

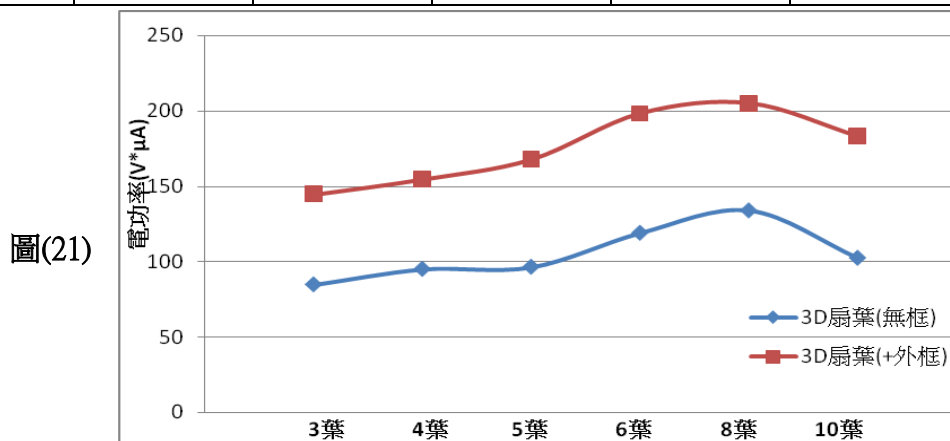
變因\平均數據	平均電壓(V)	平均電流( $\mu$ A)	電功率(V* $\mu$ A)
3 葉	2.72	31.14	84.70
4 葉	2.96	32.08	94.96
5 葉	2.92	33.00	96.36
6 葉	3.46	34.38	118.95
8 葉	3.68	36.36	133.81
10 葉	3.28	31.21	102.34

②以下實驗為加裝導流罩框的實驗：

變因\平均數據	平均電壓(V)	平均電流( $\mu$ A)	電功率(V* $\mu$ A)
3 葉	3.74	38.66	144.59
4 葉	4.04	38.28	154.66
5 葉	4.18	40.16	167.89
6 葉	4.34	45.7	198.35
8 葉	4.41	46.49	205.03
10 葉	4.01	45.68	183.20

③整理比較：

扇葉變因	3 葉	4 葉	5 葉	6 葉	8 葉	10 葉
3D 扇葉(無框)	84.70	94.96	96.36	118.95	133.81	102.34
3D 扇葉(+外框)	144.59	154.66	167.89	198.35	205.03	183.20



(3)結論：如圖(21)

①根據結果可以看出，外加導流框罩的發電效應較無導流罩框來得高，平均約提高 50%。

②不論有、無導流罩框，扇葉數為 8 葉時，均有較好的發電效應。

(4)討論：

①推測：導流罩框的有、無，兩者差異在於扇葉利用水力的幅度，因為導流罩框的增加使罩框分離的扇葉，因為集流的效應，使得利用水力的幅度相對提高所致。

②若將上述導流現象以白努利定律來解釋〔1〕，便可說明導流可增加流速，推論理由如下：

- ❶ 白努利定律主要描述了理想流體在流管中穩定流動時，每單位體積的動能和重力勢能以及該點的壓力之和是常數，其方程可表示為：

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 = \text{const. (常數)}$$

⇒ 亦即：壓力 + 動能 + 位能 = 定值

⇒ 「流動流體兩點間壓力差」& 「流速平方差」& 「兩點間的垂直高度差」有關。

$$\Rightarrow P + \frac{\rho v^2}{2} + mgh = \text{const. (常數)} \dots\dots\dots (1)$$

在許多實際問題中，液體通常是在水平或接近水平的管子中流動的，這時候式 (1) 中  $h=0$ 。即式(1)變為：

$$\Rightarrow P + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const. (常數)} \dots\dots\dots (2)$$

$P$  與流體是否流動無關稱為靜壓；式中  $\frac{\rho v^2}{2}$  是與流速有關的量，稱為流體的動壓；上述的常數稱為全壓，即為靜壓與動壓的總合： $P_{\text{靜}} + P_{\text{動}} = P_{\text{全}}$

$$\Rightarrow P_{\text{全}} - P_{\text{靜}} = P_{\text{動}} = \frac{\rho v^2}{2} \dots\dots\dots (3)$$

- ❷ 由前述(1)~(3)的計算式中推論得知：在流管中心處的速度均勻，整個流管的平均速度與中心速度之比是雷諾數的函數，因此只要測得流管中心處全壓與靜壓之差(即動壓)，並獲知流體的密度，便可知流速。也說明了導流的結果可以增加動壓，動壓增加即流速增加，流速增加則發電效應增大。

- ❸ 因此推論：不論是導流或集流的結果，均可增加洋流的動能的收集，提升發電的效能。

### 3.實驗 3-3—導流罩框高度的變異對發電的效能影響(高度 2cm、4cm、6cm)

(一)標準實驗：

(1)模型圖：不同高度導流罩框

圖(22)



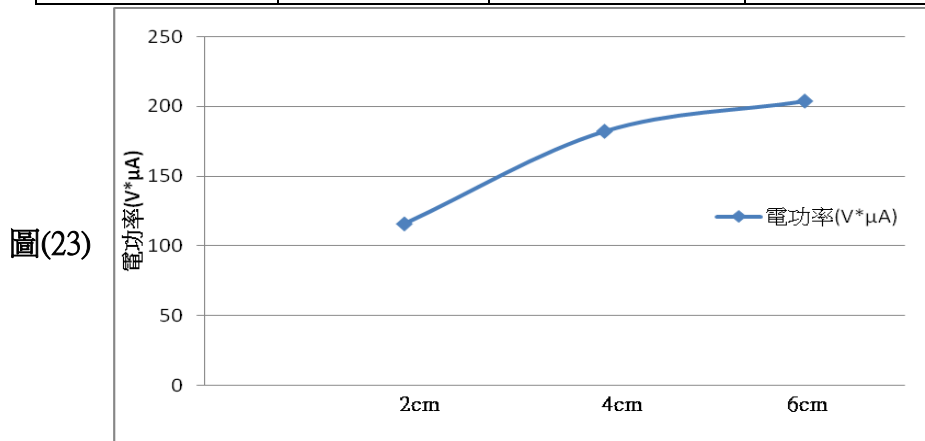


(2)數據圖表分析：

(以下實驗以 2.6cm 直徑的圓角椎，椎長 9cm，搭配 8 扇葉，傾斜角 30 度進行實驗)

【所有罩框外圈直徑長 12.5cm 內圈直徑長 12.3cm】進行實驗： 表(10)

變因\平均數據	平均電壓(V)	平均電流( $\mu$ A)	電功率(V* $\mu$ A)
2cm	3.91	29.67	115.67
4cm	4.66	39.12	182.30
6cm	4.88	41.80	203.98



(此時罩框後圓底部幾乎與扇面貼齊，距扇葉底部約為 3cm)

(3)結論：如圖(23)

①在葉框高度 4 及 6cm 時，有較大的發電效能；2cm 葉框高度的發電效能較差。

②在葉框底部貼近葉面時均能有較好的發電效能。

(4)討論：

①理論上導流罩框越高，集流及導流的效果會越好，發電效能應該越高。礙於空間限制，因此沒有做更多的長度組合，無法確認是否能以框無限制增高且無限制提高電功率。

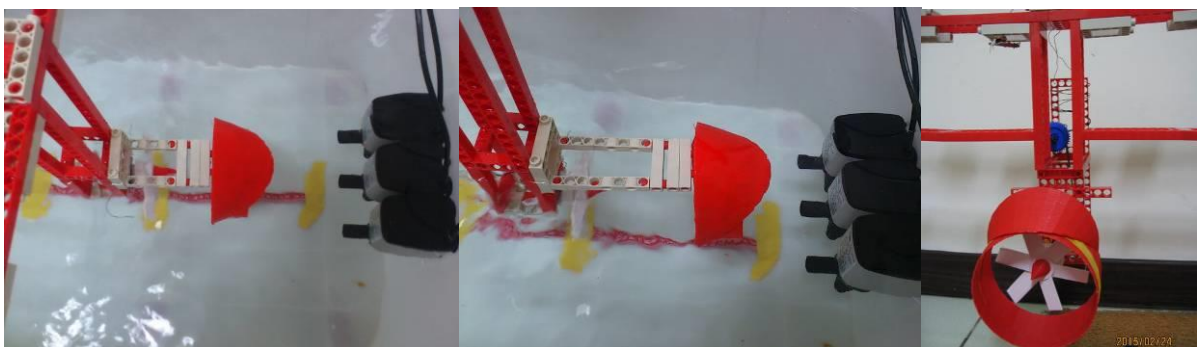
②因為無法到實際環境中進行測量，所以無法明確定論導流罩高度是否真的越高越好。

#### 4.實驗 3-4—導流罩框與葉扇距離的變異對發電的效能影響(1、2、3、4、6、8、11、13cm)

(一)標準實驗：

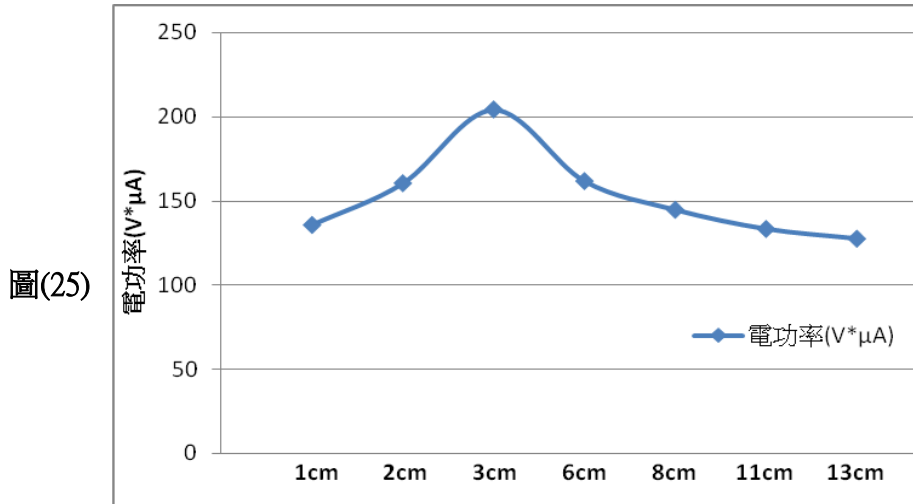
(1)模型圖：

圖(24)



(2)數據圖表分析：表(11)

框葉距離	1cm	2cm	3cm	6cm	8cm	11cm	13cm
平均電壓(V)	3.68	3.91	4.88	3.94	3.74	3.56	3.36
平均電流( $\mu\text{A}$ )	36.92	41.16	41.82	41.06	38.72	37.42	38.02
電功率( $\text{V}*\mu\text{A}$ )	135.87	160.52	203.98	161.78	144.81	133.51	127.75



※3cm 為扇面底部到框緣之距離(此時罩框後圓底部幾乎與扇面貼齊)

(3)結論：如圖(25)

- ①不論 4 及 6cm 高度的框罩，在距離扇葉底 3cm 時(此時框罩幾乎與扇葉密合)，發電效能均較好。
- ②扇葉在罩框內 1~2 cm 時，一樣也導有導流效果；超過太多，距離太遠，則失去導流效能。
- ③換成不同的框罩高度，三者大約仍呈現一致的趨勢。

(4)討論：

- ①在扇葉完全與框密合且無摩擦時，推論所有的流體能集中無散逸沖擊扇葉，因此可獲得大部分的洋流能。而後端的空間，應恰可讓阻流或紊流順勢導出，減少了亂流的產生。
- ②扇葉在罩框內時流體雖然均限流在罩框內，應有較好得集流作用，推測效能不高的原因可能是因為流體受力被壓縮，擾流密度變大，阻力提升，使得發電效能降低。
- ③當扇葉與框中間距離加大時，集中的流能可能散失，加上框外的擾流，發電效能會變差。
- ④因此推測，若設計一喇叭型開口擴散型導罩，應用在一個漸縮式的導流罩加在渦輪機前，應該可以讓前面更大範圍的流體進入導流罩內，使葉輪處的流速增加。因此，我們設計以下的實驗來驗證討論。

5.實驗 3-5—喇叭型導流罩框設計：

(一)標準實驗：

(1)模型圖：(喇叭型導流罩框及組裝圖)

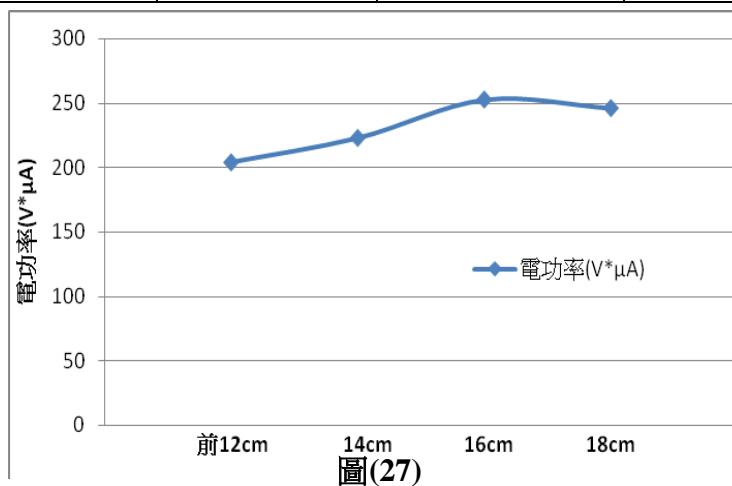


圖(26)

(2)數據圖表分析：表(11)

導流罩框構造後圓直徑為 12cm，前對流圈開口直徑為變因(12cm~18cm)，其餘條件同上。

變因\平均數據	平均電壓(V)	平均電流( $\mu$ A)	電功率(V* $\mu$ A)
後 12cm~前 12cm	4.88	41.80	203.98
後 12cm~前 14cm	5.16	43.18	222.81
後 12cm~前 16cm	5.48	46.06	252.41
後 12cm~前 18cm	5.36	45.86	245.81



(3)結論：如圖(27)

①根據結果可以看出，為導流罩框前端調整為喇叭開口時能有效提高發電效應。

②其中後圓直徑為 12cm，前端喇叭開口為 16cm 時，有較好的集流效應。亦即，開口縮放比例前比後約為 4：3 時有較好導流效果。

(4)討論：

① 12cm-14~16cm 時能有效提升發電效果，我們推測前端喇叭開口為 14cm~16cm 時，因為導流罩傾斜度，剛好能以最大的集流效應來帶動扇葉的轉動。

②而接下來的喇叭開口為 18cm 的發電減降，可能是因為導流罩內側撞流斜度過大，造成水流在導流罩中反彈，因而產生紊流。(後圓直徑保持 12 公分，加大前端開口，水流入射角度亦變大，造成反射干擾)

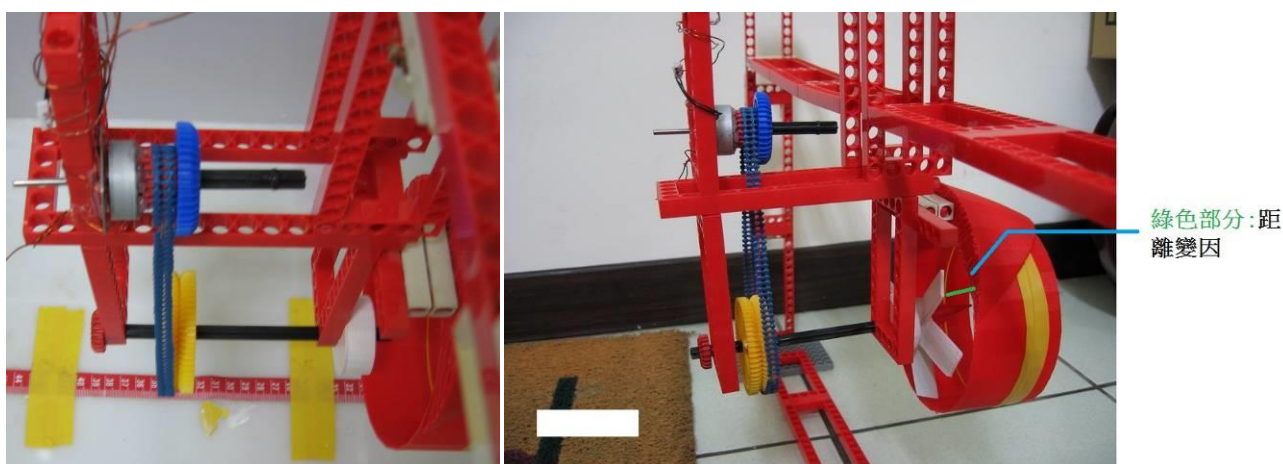
③喇叭型開口擴散型導罩，應用在一個漸縮式的導流罩加在渦輪機上，應該可以讓它前面更大範圍的流體進入導罩內，使葉輪處的流速增加。而這裡的所指的流速增加，其實是葉輪前方流體的靜壓轉成動壓而來，這也是白努利定律所產生的現象，使葉輪處的動能大幅提高。而推動葉輪的動能愈大，葉輪回收的功率就愈高。

#### 四、利用防水墊皮帶及齒輪組來提升發電效能

##### 【實驗四】：驗證皮帶及齒輪組是否能提增水中的發電效能？

(一)標準實驗：

(1)模型圖：防水墊皮帶及齒輪組裝置 圖(28)



(2)數據圖表分析：表(12)

依前述最佳實驗條件：以 8 葉葉扇，30 度傾斜角，錐長 9cm，內圈直徑 12.3cm，框高 6cm，前端喇叭開口比 12-16cm，框罩距離扇葉 3cm 時，設計增速齒輪比為 1：3 來進行驗證。

變因\平均數據	平均電壓(V)	平均電流( $\mu$ A)	電功率(V* $\mu$ A)
未加齒輪	5.48	46.06	252.41
齒輪比 1：3	8.18	63.51	505.03

(3)結論：

- ①加裝齒輪雖有機械效應的損耗，但發電效率仍較未裝齒輪組的來得高。
- ②本實驗因現有積木組件增速齒輪比例只有 1：3 的組合，得到發電效益增加約為 2 倍。

(4)討論：

- ①此處用智高積木的大小齒輪與皮帶連接轉換，因阻抗及摩擦力等因素，機械效益變差，再加上在水中的損耗，雖用齒輪比 1：3 增速齒輪，但並未達到三倍的效能。
- ②另外推測，此模擬洋流系統的流速最大效能只能到此限度，因此無法突破更高的發電效

能；以及本實驗所使用的無刷馬達的發電機，可能也已經達到最大效能。

- ③若結合增速齒輪的概念並減少機械損耗及阻抗，或許仍可研發提升發電機的效能。此種裝置也非常適合應用在水平軸風力發電、洋流發電及河水發電系統中。

## 五、運用「Maker」概念延伸變化，用以探討洋流發電可行性之相關因素研究

### (一)有關 Maker 的概念

「Maker」即所謂的「自造者」，過去對於 Maker 的概念，普遍停留在於一群自己 DIY 動手完成實作物品的人，像是傳統木工或傢俱師傅等，但是，隨著 21 世紀網路快速發展，帶來新的數位製造革命，也賦予了 Maker 新的意義〔6〕。現在它所代表的更是一群能利用數位製造工具，例如，3D 印表機、雷射切割機、數控工具機（CNC）等，將自己的創新或創作想法透過動手實作把它完成，透過網路公開分享自造過程與想法的人。「自造者文化」應是一種 DIY 文化在科技基礎上所延伸出來的當代文化或次文化，換句話應稱為 DIT(Do It Together)〔6〕。而現代的 Maker 更是善用科技及網路的 DIY 者，因工具民主化和網路普及，開啟創造、創新、創意的可能性。因此，自己想要的東西可以自己造，只要喜歡做中學、學中做，人人都可以成為 Maker，也可以成為是一種生活態度與學習方式。

### (二)我們的 Maker 實驗：(從 3D DIY 進階到 3D Maker)

因為市面上沒有我們想要探究這麼多類型的扇葉及零組件，因此，我們必須依據自己需求來設計自製，因此參考選用了 3D 列印技術，而藉此科展的機會，順風搭上這股時代風潮，也讓我們走在學習的先端。

#### (1)模型圖：

圖(29)



#### (2)討論：

- ①因為 3D 列印一體成型規格的扇葉模型較為耗時，且因探究項目及變因組合太多，初期僅就前測實驗找主要因素來探討，忽略多變因的交互作用影響。後來思考，若以組件模型



組合方式設計了模組化的零件來進行拼裝施測，應可以更細緻的來比較更多的變因。

②另外，初步印製的模組化零件，明顯減少了輸出耗材及縮短了列印時間。提升了探究的效益，更重要的是模型質量減為原來的 1/3，讓渦輪機扇葉質量更輕，轉動慣量較小，發電效能應可以大大的提升。

③因時間上來不及重新以新的模組來進行實驗，僅完成初步模型零件印製及部分組裝模型，有關輕量化及模組化的驗證，就留待下回再做進一步的研究討論。

## 六、綜合討論

統整文獻上探究洋流發電的關鍵因子〔5〕，並根據流體力學解釋說明如下〔1〕：

(1)洋流發電和風力發電相同，產生的電功率  $P_w$  可以表示如下：

$P_w = \rho \cdot V^3 \cdot A \cdot C_p$	$P_w$ 電功率	$C_p$ 轉換功率係數
	$V$ 海流進入葉輪前的速度	$\rho$ 水的密度
	$A$ 葉輪的圓盤面積 $(\pi/4) D^2$	$D$ 葉輪直徑

①由上可知，海流發電的關鍵因子是海流的速度，因發電量和這因子成三次方關係，這也代表回收功率密度和這因子成三次方關係。依據柏努利定律，壓力是和流速平方成正比，而壓力乘以面積  $A$  就是力量，力量再乘以速度就是功率，因此是和流速成三次方的關係，這是流體機械共同的特性。

②其次是葉輪直徑，這因子和發電量成二次方關係。然而要靠增加直徑來提高回收功率，得付出很高的成本，因為這因素會影響系統結構的尺度。

③另外， $C_p$  是轉換功率係數，即轉換效率。一般軸流式葉輪的轉換功率係數約在 0.42~0.45 之間，若考慮到軸系、齒輪和發電機的損失，它的值大約只有 0.35。

④水的密度大約是空氣的 800 倍，因此在相同直徑下，若風力發電的流速是海流的 9.3 倍，則兩者所發的電力大約相同。

(2)我國可能開發的洋流(黑潮)海域平均流速約為 1.1m/s，因此大約相當於 10 m/s 的風速。

而一般的大型風力發電機的設計風速大約在 12m/s 左右，也就是風場的流速若可以持續維持在 12m/s 左右，則它可發的電力會略高於海流發電。但台灣不處於信風帶，因此有很大一部分的時間低於這速度；而且每年發生颱風的機率很高，常造成風機的破壞。這就是洋流發電可被考慮的優勢，因為較為穩定，尤其是台灣東部海域的「黑潮」。



## 陸、結論

- 1.自製的洋流模擬水槽可提供穩定的流場，並加上 3 組抽水馬達以提供適當的流速，因此本實驗可以建構縮小模型的水槽，來做為模擬洋流系統的探究環境。
- 2.水平式阻流型渦輪機扇葉在扇葉面做小角度的葉片傾斜，可得較好的發電效能，本實驗以扇葉 30 度傾斜角效果最好。
- 3.葉扇數越多，發電效能明顯較佳效果較好，未加圓導流錐前，以 6 葉數較佳；加裝導流錐後，本實驗以最後發現，以 8 片扇葉的發電效能最好。
- 4.在質量相同的條件下，扇葉面積越大，受力集能的效應應該越好；但面積增加後，質量亦隨之增加，導致轉動慣量大而降低了發電的效能。
- 5.扇葉面積大小要跟水流強度成比例性的增加。但面積太大會因為重量的緣故，導致轉速下降；面積太小會因為扭力不足，無法適時的把水流衝擊的力量轉換至發電馬達。
- 6.扇葉前端加裝適當比例長度的圓錐導角，能有效提升集電的效應。本實驗所設計的密合型中軸圓錐角中，以長度 9cm 的圓錐導角的導流效果最好，發電效應增大約 7 倍以上。
- 7.有導流罩能提升發電效率；且扇葉和導流罩必須分開，分開後可使渦輪機扇葉組的重量減輕，減少了轉動慣量，又兼有導流的效果，能讓轉速提高，發電效能更好。
- 8.導流罩框大小要盡量和葉扇輪吻合，並與導流罩保持適當距離(此時罩框後圓底部幾乎與扇面貼齊，本實驗條件為 3cm)。此外，一定比例高度的導流罩框有較佳的集電效應(本實驗最好的框罩高度條件為 6cm)。
- 9.設計喇叭型開口擴散型導罩，可以讓前面更大範圍的流體進入導罩內，使葉輪處的流速增加。開口縮放比例，前開口比後圓孔直徑比約 4：3 時，可得較好集流效應。
- 10.以現有積木組件設計增速齒輪比例為 1：3 的組合，可增加約 2 倍的發電效應。
- 11.以 Maker 概念結合 3D 列印技術，應可用作未來探究洋流發電系統的一項思維及工具技術。

## 柒、未來展望

- 1.本實驗尚未真實在洋流中模擬，真正在海中影響的相關變因很多，我們希望之後能將我們的實驗結果應用在真實的洋流系統中來，來直接證明洋流發電的實用性。
- 2.在尾端設計並研發追流系統裝置，使渦輪機在亂流或流體動能不穩定的時候，能自動對準流向，隨時能有效的尋找流體動能的方向並加以利用。
- 3.將 Maker 概念結合資訊及開放源碼組件，變成自動化偵測及記錄系統，可以是遠端遙測、遙控，甚至能設計成為自動化修正微調系統。
- 4.至於洋流發電會不會影響生態？會不會因為截能而影響全球能量循環？洋流會不會轉向？以及會不會因為自然因素而損毀等……？這些議題都有待持續做進一步的探討。
- 5.海洋，是世界上能源開發的一塊璞玉，生命是從海中誕生。因此，在海洋中除了有我們可以利用能量外，還有其他更多我們值得去珍惜的。認識海洋，親近海洋，到愛護海洋，就是我們人類這個萬物之靈該做的。當今人類遇到大自然的反撲，絕對不可能以人力抵擋住的，唯有敬畏的認識它，珍惜的利用它，才是海洋資源永續發展之道。

## 捌、參考資料

- 1.王鴻烈(2006)。流體力學概論。臺北縣：高立。
- 2.華健、吳怡萱(2008)。再生能源概論。臺灣：五南。
- 3.方慎偉(2010)。小型垂直軸風力發電透平機應力分析。碩士論文。國立高雄海洋科技大學，高雄市。
- 4.蘇達貞(2004)。海洋能源的魅力。科學發展。383。28-33。
- 5.柯永澤(2012)。海流變電流。科學發展。471。20-25
- 6.鄭鴻旗(2015)。Maker 運動在台灣。科學研習。54(1)。20-27
- 7.黑潮發電 台灣能源救世主？  
取自 [http://mail1.ctsh.mlc.edu.tw/~ctsh\\_h/cthchem/psweb/newspaper/ocean\\_current\\_power.html](http://mail1.ctsh.mlc.edu.tw/~ctsh_h/cthchem/psweb/newspaper/ocean_current_power.html)
- 8.綠世界／日本綠能「潮」男 洋流發電量等同 30 座核電廠  
取自 <http://www.nownews.com/n/2013/08/28/646812>
- 9.海流發電 台灣環境資訊協會 取自 <http://e-info.org.tw/taxonomy/term/28474>

## 玖、附錄

### 1.3D列印繪製及輸出流程示意：



### 2.詳細操作步驟：

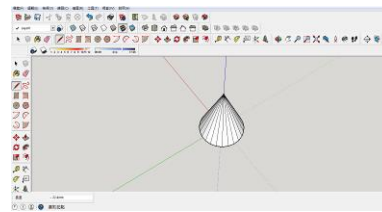
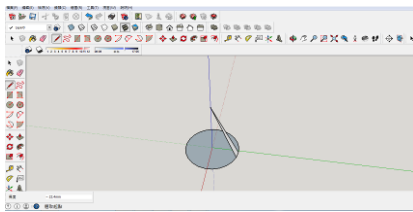
#### (1)如何操作免費 3D 軟體 SketchUp Make 建構各類型 3D 模組

※以圓錐導角的製作為例：

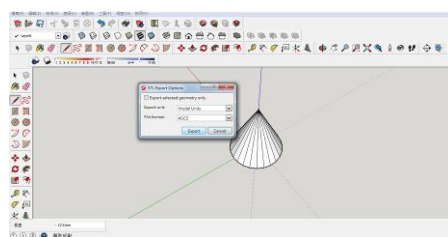
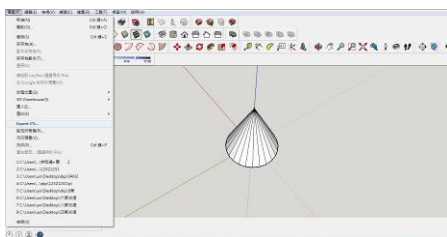
步驟一：畫圓，並找出角錐頂點和圓邊作圖。

步驟二：重複步驟一即成一角錐。

步驟三：連線並作第二條線即成一面。



步驟四：開啟轉存成 STL 檔功能指令。



步驟五：存成 STL 檔（輸出 3D 列印格式檔），即為完成。



#### (2)如何操作免費 3D 軟體 Tinkercad 建構各類型 3D 模組

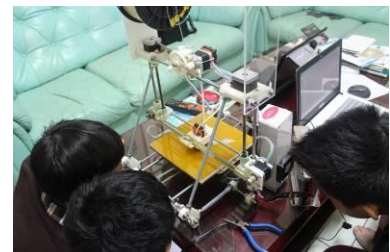
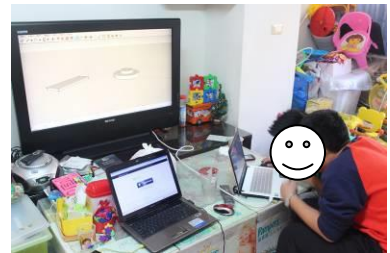
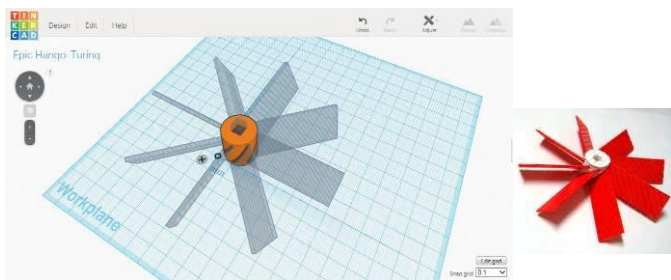
※以渦輪扇葉的製作為例：

步驟一：畫圓柱，並使用挖空元件將圓柱挖空。

步驟二：調整扇葉傾斜角度，轉為簍空物件，複製簍空物件並設定轉動角度，再次搬移調整配置適當位置。



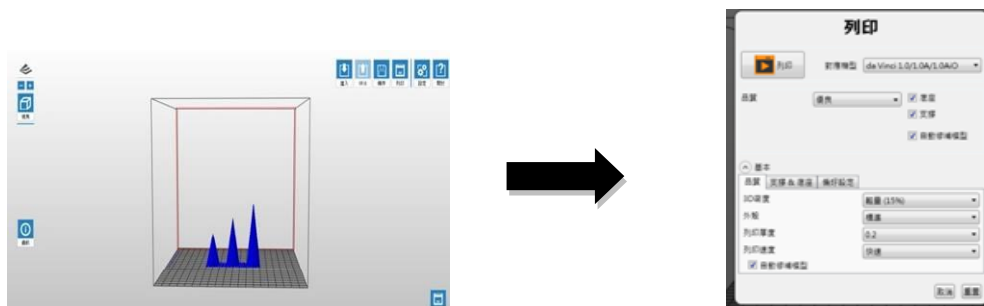
步驟三：另存檔為 STL 檔（輸出 3D 列印檔案格式）。



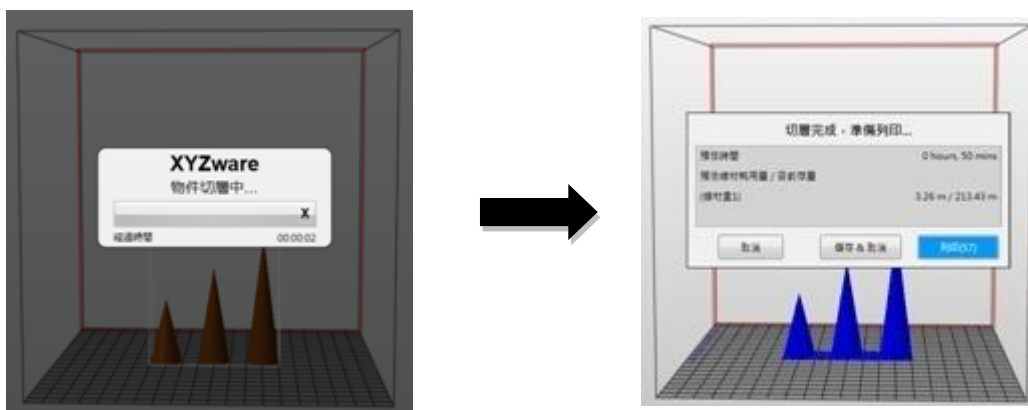
### (3)如何操作 3D 輸出軟體 列印出各類 3D 模型

※以圓錐導角的製作為例：

步驟一：匯入先前所繪製的 STL 圖檔，並選取輸出格式。



步驟二：物件切層並進行列印。



## 【評語】 030819

能深入探討海流與發電效能的關係，值得鼓勵。唯引用資料時，須注意比例原則，如第 25 頁的綜合討論。另第 6 頁的無刷馬達解釋不太適宜。