

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(二)科

佳作

032911

風「升」電起

—升力式扇葉發電裝置的設計及探討

學校名稱：新北市立安溪國民中學

作者：  國二 詹富翔  國二 蘇映佳	指導老師：  劉明元  解宗翰
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：升力型扇葉、力矩、發電效率

## 摘要

風力發電是最近全球極為關心的議題，故我們決定探討垂直式風扇在升力型扇葉、阻力型扇葉和蜻蜓仿生扇葉的效能比較。經由實驗可得以下結論：升力式扇葉採垂直軸組裝，其啟動風速高，在受力面積較大、攻角為 25 度，扇葉面平行旋轉軸可以得到最大轉速，發電效能達最高。在高風速下，其發電效能提高較多，但因有力矩拮抗作用，有最高轉速限制。阻力型扇葉在受風面及背風面所受之力大小不同，當風速快時正反力矩的拮抗作用明顯，造成不轉動的現象。蜻蜓仿生式扇葉，經風洞測試，發現其升力效果與升力型扇葉相近，但以垂直式發電裝置組裝測試時，其升力效應完全消失，所表現的特性卻與阻力式扇葉相同。


## 壹、研究動機

乾淨能源的取得，是現今世界各國共同的需求，而風力發電的探索一直是一個熱門的選項。觀察過許多研究及裝置，大多採用阻力型扇葉組成的水平式風扇，主要原因是發電的效能較高。但是水平式風扇有其風向、風量的限制，要達特定標準才具有發電價值。如果今天有風力發電機可以不受風向限制，在較低風量、風速下，也可以進行有效的微型發電，似乎更可以在一般家庭或個人使用，藉以減低對大型發電廠的依賴。因此我們想要探討，直立式風扇加上升力式的扇葉，是否可以達成此一目標？

## 貳、研究目的

1. 探討**升力型**扇葉在不同**攻角**、不同**風速**的效能比較
2. 探討**升力型扇葉**和**阻力型扇葉**以及**蜻蜓仿生扇葉**的效能比較
3. 探討**旋轉力臂長短**的效能高低比較
4. 探討**受風面積不同**、**片數不同**、**傾斜角不同**的效能比較
5. 設計**正反轉風扇**組合探討電磁感應效能的變化

## 參、研究設備及器材

				
線鋸機	NACA4415 模型	蝴蝶補土	凡士林	
				
汽球棒拖	玻璃纖維	保力樹脂硬化劑	轉速計	三用電表
				
調光器	工業用風扇	鋁管	發電馬達	培鈴

## 肆、研究過程及方法

### 一、研究歷程

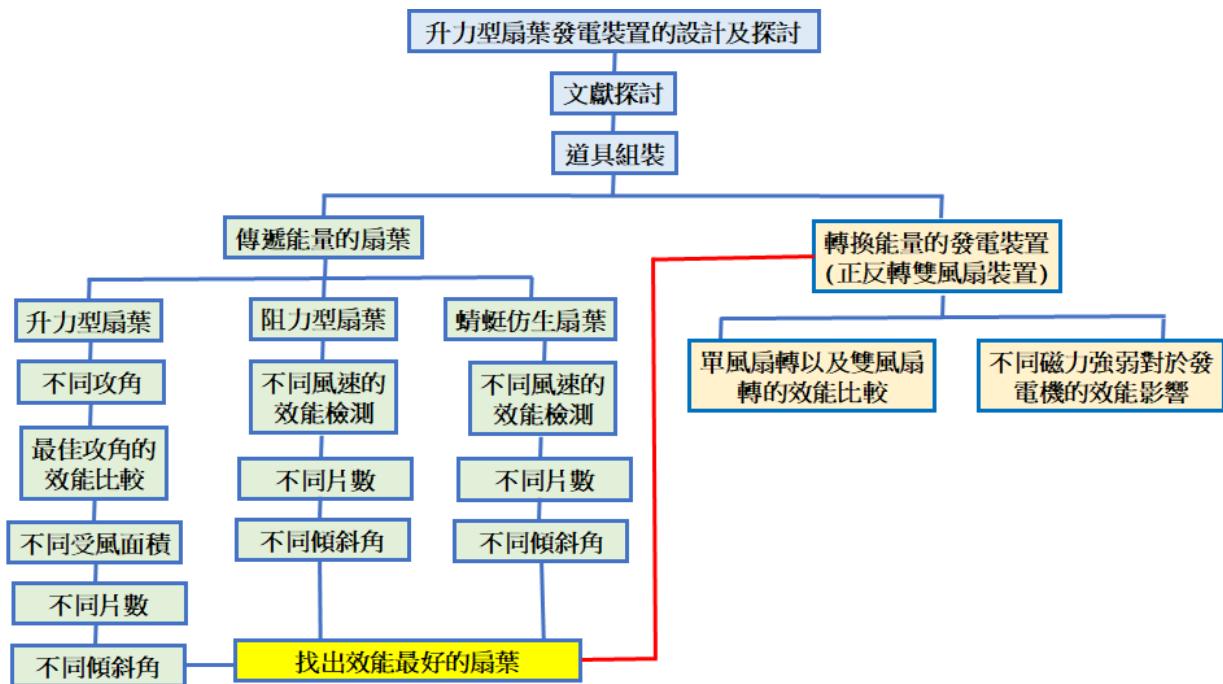


圖 1、研究流程圖

### 二、歷屆科展及論文報告

我們蒐集以下四篇科展作品，所得到的結論呈現如下：

#### (一) 風力罩得住酷炫發電機：

探討阻力型垂直式風力發電機，經由研究結果，可歸納出以下幾個結論：

1. 有加整流層效能較佳，因為它可以把吹出來的風導向同一個旋轉方向
2. 導流板與中心夾角加大，集風與導流效果可以加成
3. 磁浮軸承可以在微弱風速下旋轉，因為摩擦力較小，只有底下接觸的摩擦力
4. 自製的發電機線圈轉 500 圈，磁鐵選用釹鐵硼磁鐵

#### (二) 閃電二號 水平式感應發電機之研究：

探討線圈對於發電的研究以及應用，結論為

1. 線圈圈數和發電大小成正比
2. 磁鐵的排列方式以 NSNS 排列為佳

3. 線圈太大或太小所感應磁力下降，電流電壓也下降
4. 磁鐵形狀和發電大小關係不大(不要長條形就好)
5. 漆包線粗細不同和電壓大小無關，電流則漆包線越粗則越大
6. 單位長度內線圈數多和磁鐵距離近則發電效能佳
7. 磁鐵數量轉換次數和電壓大小成正比
8. 線圈串聯電壓增加，並聯則電流增加
9. 磁力以強力磁鐵電壓約等於一般磁鐵的 1.06 倍
10. 線圈中心加裝鐵塊所產生的電壓電流較強

(三) 垂直軸風力發電的製作與測試：

這篇論文主要是在探討垂直式的風力發電，設計為採用線圈發電，而線圈為 0.5 毫米。電源採用三相整流，將交流電轉換成直流電。扇葉則採用玻璃纖維 NACA4415 做模型，並運用磁浮的概念去做轉軸，而磁鐵排列方式為 NSNS 排列方式。

(四) 小型風力發電機葉片之設計與製作：

這篇論文主要是在探討水平式的風力發電而以設計與製作小型風力發電機葉片為目標，結論為

1. 在風速 8m/s 可得到的最大功率為 240W，風速 9m/s 可得到的最大功率為 300W，風速 10m/s 可得到的最大功率為 350W
2. 在低風速下之實驗數據與模擬分析預測值較為符合。而較高風速皆為陣風，轉子可能還在加速中而無法達到該風速的極速。
3. 它們採用的扇葉為 NACA4412

### 三、發電機原理:

(一)發電機：是將動能轉變為電能的裝置，構造如右圖所示。

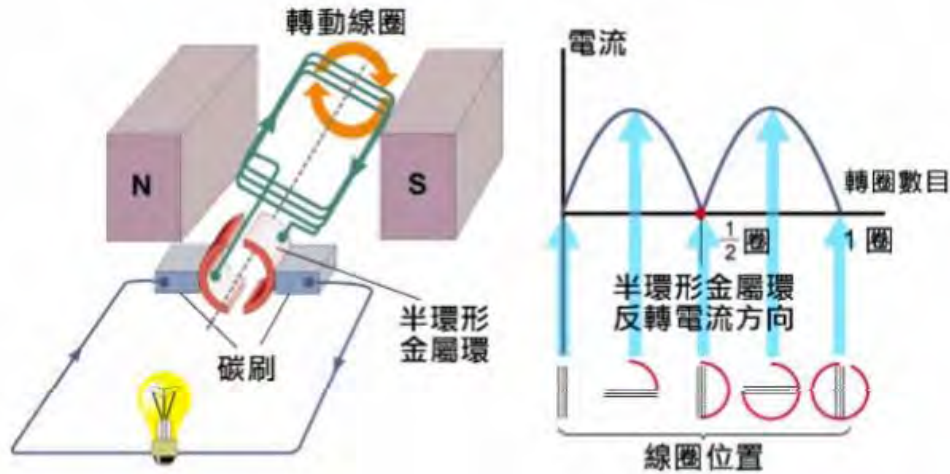


圖 2、發電機示意圖

(二)構造：

1. 場磁鐵：產生磁場的磁鐵。
2. 電 樞：置於磁鐵中間，能自由轉動的多匝線圈。
3. 集電環：連接線圈的兩個金屬環。
4. 電 刷：與集電環微微接觸，當感應電流產生，此電流可經電刷導出。

(三)原理：

以動力使線圈在磁鐵的兩極間快速轉動時，通過線圈的磁場大小就不斷的隨時間改變，此時線圈就有感應電流產生。理論上感應的線圈數愈多，轉動的速度越快則產生的電能越多。

### 四、其他相關理論

(一) 冷次定律: 線圈內的磁場發生變化時，線圈會產生電流。此感應電流方向使此電流產生之磁場，以及反抗原有磁場的變化。此定律能夠找到由電磁感應產生的電動勢和感應電流的方向。由德國物理學家海因里希·冷次在 1834 年發現的。

(二) 法拉第定律: 感應電流大小和線圈內磁場變化速率成正比。

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

也就是說感應電動勢(電壓) = 線圈圈數  $\times$   $\frac{\text{磁通量(磁力線數)變化量}}{\text{時間變化量}}$

$\Phi_B$  是磁通量，也就說  $\frac{\text{磁力線數目}}{\text{單位面積}}$   $\times$   $d$  是變化量 而公式中的負號是指電動勢的方向，由楞次定律提供(上面已做說明)由此公式可以推出線圈數目和感應電動勢成正比。也就是說只要線圈數夠多再加上使用磁力較強的磁鐵所產生出來的感應電動勢會更大。

(三)蜻蜓翅膀仿生: 蜻蜓的翅膀和鳥類不同，牠翅膀有凹凸的形狀。當牠在飛行時，翅膀表面的前緣會產生渦流，減少摩擦力進而空氣流動較快，根據伯努利定律可知流速快，壓力小；流速慢，壓力大，所以蜻蜓翅膀上方的流速較快，下方的流速慢：壓力大往壓力小移動，產生一股壓力差使其產生一股向上的升力

### 三、研究過程

#### (一) 扇葉裝置製作

##### 1. 第一代升力型扇葉製作

###### (1) 垂直升力型扇葉製作

材料: 玻璃纖維、蝴蝶補土、硬化劑、砂紙、保力樹脂、電子秤、凡士林、吹風機、組合木、NACA4415 模型、線鋸機、膠帶

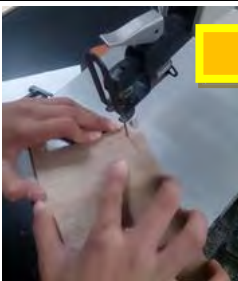

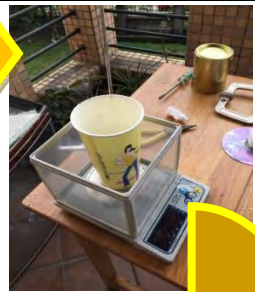



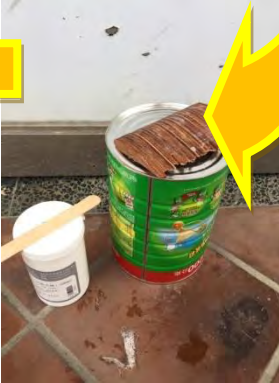
			
切割模具	NACA4415 模型	將 15 片模型黏合	調樹脂膠
			
上鋁箔膠帶	硬化後脫膜	鋪玻璃纖維	塗上一層凡士林

圖 3、第一代垂直升力型扇葉製作過程

### (2)主軸製作

材料:組合木、鋁管、線鋸機、保麗龍膠

步驟: A.將木頭切成邊長 6 公分的正三角形、

長 6 公分寬 2.5 公分的長方形 6 個

B.將三角形木頭中間鑽洞並裝上鋁管

C.將長方形木頭 6 個黏在三角型木頭的周圍

D.切割 6 個角度 20 度的直角三角形並黏在長方形

E.將扇葉黏上去即可完成



圖 4、主軸及扇葉完成圖

### (3)底座製作：

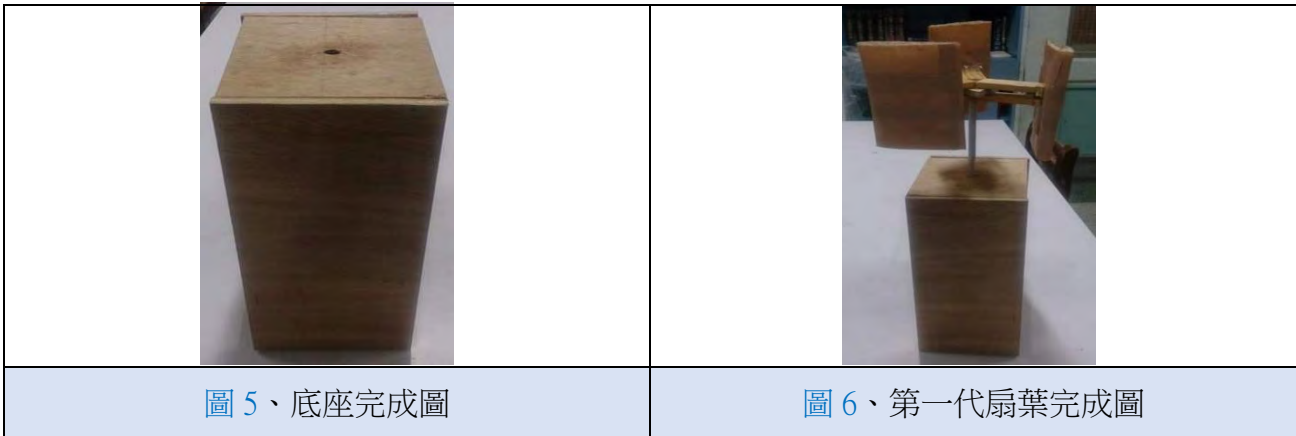
材料：組合木、線鋸機、釘子

步驟: A.將組合木切割成長 30 公分寬 11 公分兩片，長 15 公分寬 11 公分兩片



B.將這四塊利用釘子作固定

C.在上下兩片鑽洞即可完成



最後我們將主軸、扇葉和底座結合，形成我們的**第一代扇葉(如圖 6)**

## 2.測試第一代升力型扇葉

我們將組好的扇葉放置在工業用風扇前 30 公分，用強風(風速 7.40m/s)吹向扇葉裝置，發現轉不動，就算有轉動但轉速也不高，所以經過討論之後我們得到以下幾個缺點:

- 1.主軸和底座的**摩擦力**會影響扇葉在轉動時的轉動速率
- 2.在扇葉方面我們做的是**不可以調的攻角**，只能維持**攻角 20 度**
- 3.因為**鋁箔膠帶**不易黏在玻璃纖維上，轉動時較易脫落
- 4.因為製作的玻璃纖維扇葉**表面不平整**而造成**氣流擾動**，不利於轉動

根據第一代扇葉裝置的缺點: **摩擦力、攻角和扇葉材質**，改進了裝置，製作第二代裝置：

- 1.我們將扇葉的材質改為**鋁片**，因為**質量輕且容易塑成形狀**
- 2.有關攻角方面由於往後會測試，於是我們利用螺絲和螺帽做成**可調式攻角**
- 3.為了減少摩擦力，我們在主軸和底座之間加了**培鈴**，以**減少摩擦力**

## 3.第二代升力型扇葉製作

### (1) 升力型扇葉及主軸製作

材料:鋁片、切割機、L 型固定架、螺絲

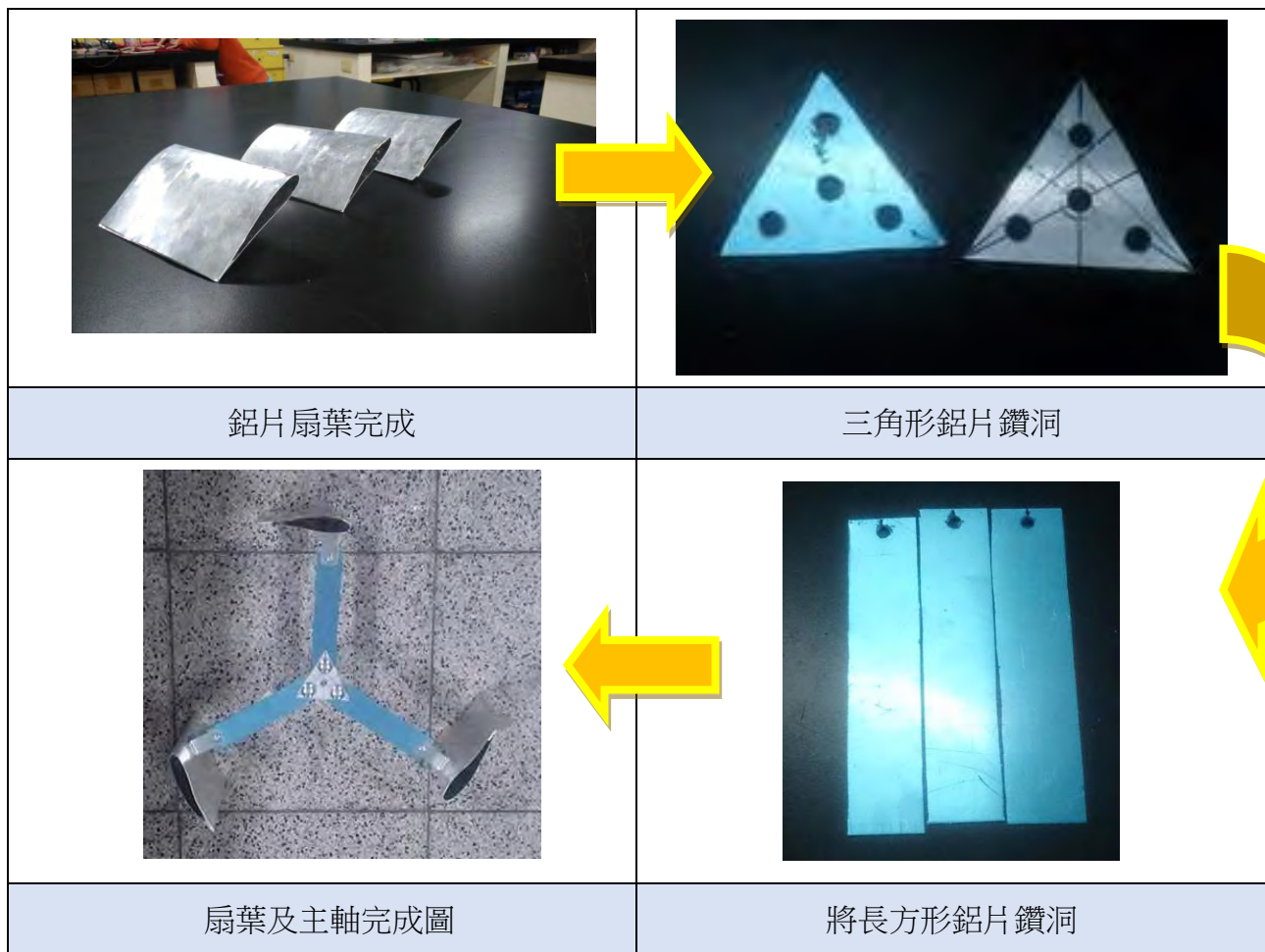


圖 7、第二代垂直升力型扇葉製作過程

**(2)底座製作**

材料:組合木、線鋸機、釘子、培鈴

步驟: A.將組合木切成長 15.5 公分寬 11 公分兩片長 15 公分寬 11 公分兩片

B.將這四塊利用釘子作固定

C.在上下兩片鑽洞並加上培鈴即可完成



圖 8、第二代扇葉完成

**4.測試第二代升力型扇葉**

我們依照第一代扇葉裝置測試的方式，將組好的扇葉放置在工業用風扇前 30 公分，用強風(風速 7.40m/s)吹向扇葉裝置，發現它較第一代轉動快，且運轉的很順暢，於是我們將此代裝置做為測試依據。

### (3)發電機座

材料: 樂高積木、發電馬達、瓶蓋、氣球棍棒拖

		
<p>組裝樂高積木平台</p>	<p>將扇葉底座和樂高平台結合</p>	<p>將瓶蓋和氣球棍棒拖結合</p>
		
<p>裝置完成圖</p>	<p>將裝置主軸和發電馬達結合</p>	<p>瓶蓋氣球棍棒拖和主軸結合</p>

圖 9、發電機座完成圖

## 5.第一、二代升力型扇葉裝置比較

表1、第一、二代升力型扇葉裝置比較

	第一代	第二代
儀器圖片		
優點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.裝置小</li> <li>2.易攜帶</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.可調式攻角</li> <li>2.在主軸和底座之間加裝培鈴，摩擦力較小</li> <li>3.扇葉改成用鋁片製作，兼具容易塑成及質量輕</li> </ol>
缺點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.主軸和底座摩擦力較大</li> <li>2.不能調扇葉的攻角</li> <li>3.黏接扇葉的膠帶較容易脫落</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.儀器較大</li> <li>2.不容易攜帶</li> </ol>

## 4.阻力型扇葉製作

材料:鋁片、水管模具

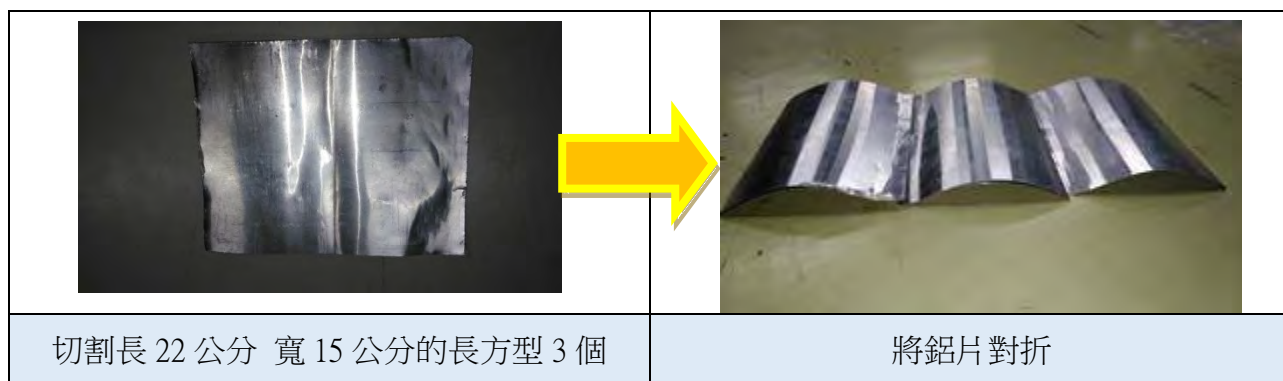


圖 10、阻力型扇葉製作過程

## 5. 蜻蜓仿生扇葉製作

材料: 鋁片

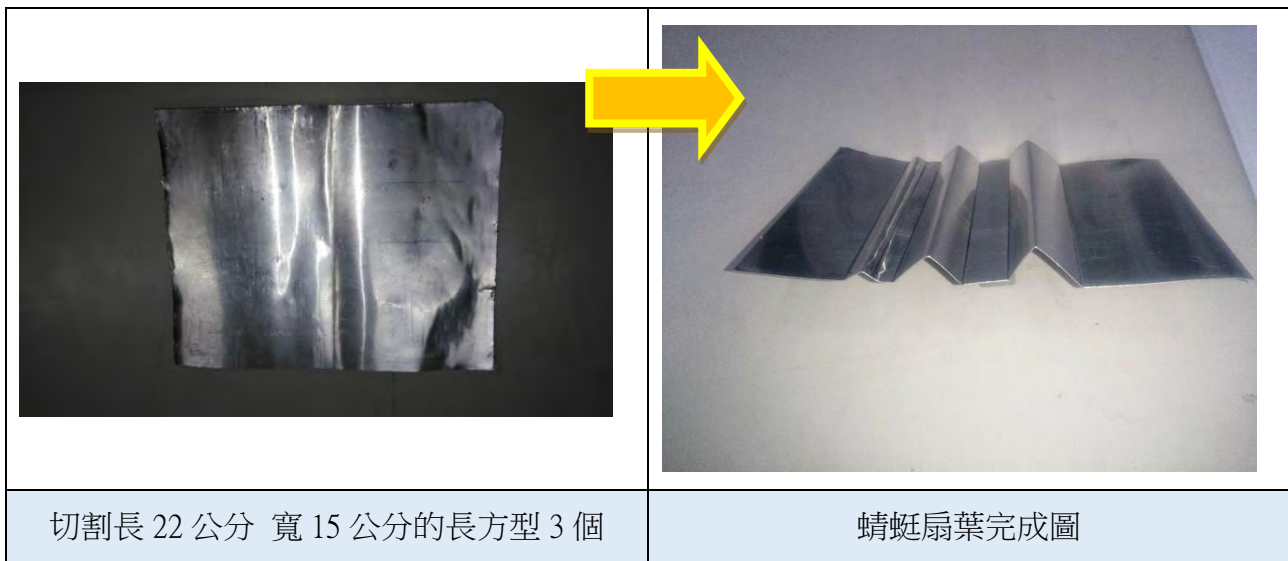


圖 11、蜻蜓仿扇葉製作過程

### (二) 升力型扇葉正反轉裝置製作

經由文獻探討，我們可知發電機是藉由線圈以及電磁的相對運動，進而造成磁通量的改變而發電。也就是說當單位時間內磁通量變化越大，所輸出的電力也會越大。於是我們想設計出一個能讓單位時間內磁通量變化較大的裝置。我們運用扇葉的正轉以及反轉，使線圈以及磁鐵的相對運動較劇烈，使得單位時間內磁通量變化較大而發電。我們選用的扇葉是升力型扇葉長 15 公分，發電機組部分是將**四驅車馬達**拆成兩部分：線圈裝在上方扇葉的主軸；磁鐵以及外殼裝在下方扇葉主軸(如圖 12 右方)

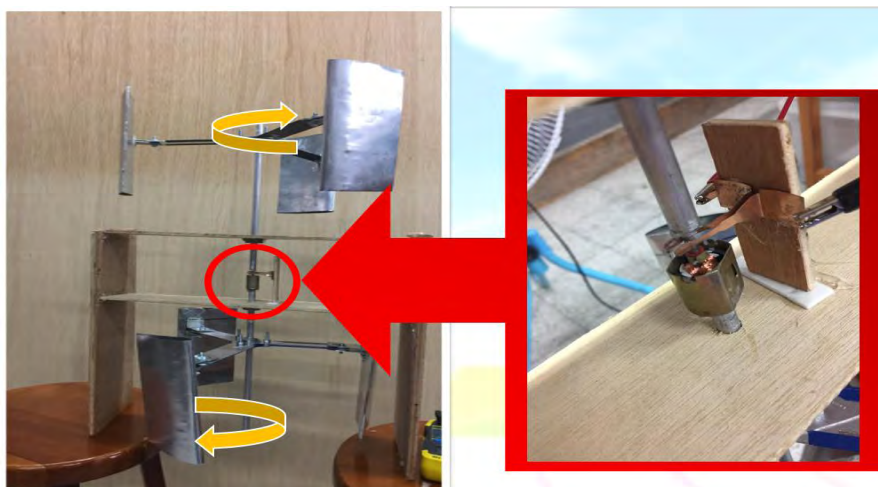
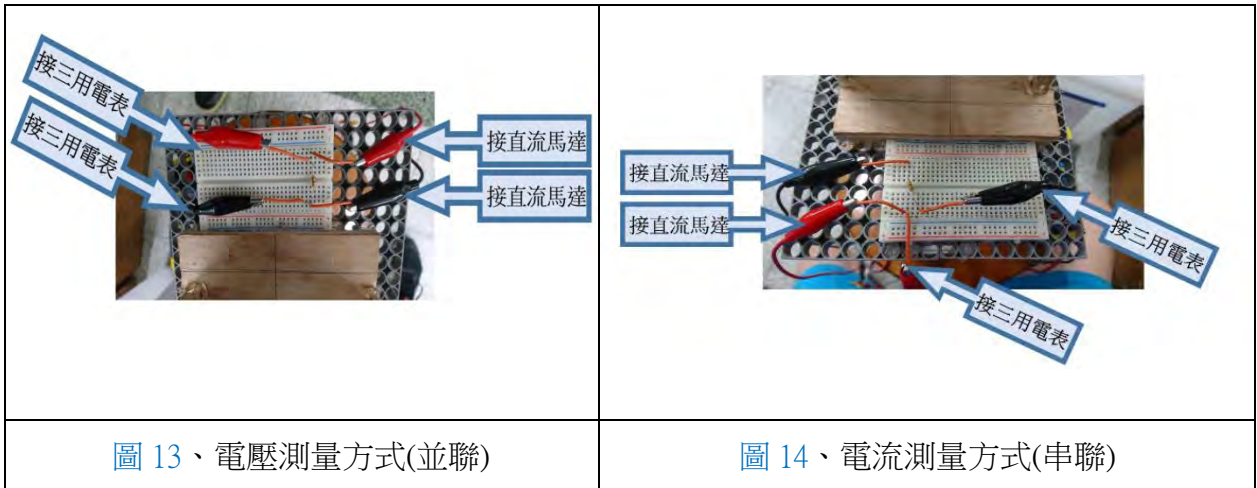


圖 12、升力型正反轉裝置完成圖及裝置介紹

### (三)測量方式

#### 1.電流與電壓

本實驗我們有探討電流電壓所輸出的功率，所以我們在三用電表以及直流馬達之間加裝了一個電阻，運用串聯以及並聯的原理測量電流以及電壓，再運用電壓以及電流算出電功率(下圖為電壓以及電流的連接方式)。



#### 2.轉速測量

有關轉速的測量是將三個旋臂當中的其中兩個貼上黑色膠帶，另外一個貼上銀色反光膠帶。當裝置在轉動時，運用雷射光的反射測量接收到光訊號的兩次時間，即為轉動週期，經由機器處理將週期轉換成轉速頻率即為我們所測出的轉速數據。



圖 15、轉速測量情境圖

#### (實驗一)裝置擺放的設置

我們將扇葉裝置的發電機連接至三用電表以及電阻，並將工業用風扇放置在扇葉裝置前 30 公分處，並在延長線上裝上調光器，以便調整風速大小。



圖 16、裝置擺放位置

## 四、研究方法

### 第一部分 扇葉的效能探討

#### (實驗二) 探討升力型扇葉在不同攻角下的效能

本實驗我們要探討升力型扇葉在哪種攻角下的效能最佳。我們要探討的攻角有 0 度、10 度、15 度、20 度、25 度、30 度、35 度、40 度、45 度、50 度、60 度這幾個攻角去做測試，我們要測試的目的有

目的一、最低啟動風速

測試哪個攻角的最低啟動風速最佳

目的二、在風速 4m/s 下的轉速及發電功率



圖 17、測試最低啟動風速

#### (實驗三) 測試升力型扇葉在最佳攻角下不同風速的效能比較

根據實驗二的數據結果，我們找出升力型扇葉的最佳攻角，並用此攻角去探討在風速 4m/s、5m/s、6m/s、7m/s 當下的效能去做比較

#### (實驗四) 改變力臂長短並測試其最低啟動風速

本實驗我們探討不同扇葉到鋁管主軸的距離(12 公分以及 10 公分)，然後跟實驗二的測試方式相同，探討的攻角有 0 度、10 度、15 度、20 度、25 度、30 度、35 度、40 度、45 度、50 度、60 度這幾個去做測試，並跟力臂 12 公分的最低啟動風速去做比較

#### (實驗五) 改變力臂長短並在不同風速下探討攻角 25 度不同攻角的效能比較

本實驗將力臂長短從 12 公分改成 10 公分，探討在風速 2m/s、3m/s、4 m/s 下，不同攻角的電壓(V)、電流(mA)、和轉速(rpm)，由於之前我們所測出的數據發現攻角 25 度是最佳攻角，所以我們主要探討攻角 25 度

#### (實驗六) 測試阻力型扇葉的效能比較

本實驗我們在探討阻力型扇葉的效能比較

目的一、最低啟動風速

目的二、在不同風速下的效能比較

我們要探討的風速有 2m/s、3m/s、4m/s、5m/s、6m/s、7m/s

### (實驗七) 測試升力型扇葉長度 30 公分和 15 公分攻角 25 度的效能比較

本實驗我們做了一個長 30 公分的升力型扇葉，並將原本 15cm 的升力型扇的質量加重到與長度 30 公分的升力型扇葉一樣重，並進行兩者效能之比較。

目的一、最低啟動風速

目的二、在不同風速下的效能比較

我們要探討的風速有 2m/s、3m/s、  
4m/s、5m/s、6m/s、7m/s



圖 18、30 公分和 15 公分的升力型扇

### (實驗八) 測試攻角 25 度升力型扇葉兩片

本實驗我們將升力型扇葉從三片改至兩片，測試其效能及比較

目的一、最低啟動風速

目的二、在不同風速下的效能比較

我們要探討的風速有 2m/s、3m/s、4m/s、  
5m/s、6m/s、7m/s



圖 19、攻角 25 度升力型扇葉兩片

### (實驗九) 測試傾斜角 45 度攻角 25 度的升力型扇葉

本實驗我們將三片升力型扇葉傾斜 45 度角並測試其效能及比較

目的一、最低啟動風速

目的二、在不同風速下的效能比較

我們要探討的風速有 2m/s、3m/s、4m/s、5m/s、6m/s、7m/s



圖 20、傾斜角 45 度升力型扇葉



### (實驗十) 測試阻力型扇葉兩片

本實驗我們將阻力型扇葉從三片改至兩片，測試其效能及比較

目的一、最低啟動風速

目的二、在不同風速下的效能比較

我們要探討的風速有 2m/s、3m/s、4m/s、5m/s、6m/s、  
7m/s



圖 21、阻力型扇葉兩片

### (實驗十一) 測試傾斜角 45 度攻角 25 度的阻力型扇葉

本實驗我們將三片阻力型扇葉傾斜 45 度角並測試其效能及比較

目的一、最低啟動風速

目的二、在不同風速下的效能比較

我們要探討的風速有 2m/s、3m/s、4m/s、5m/s、6m/s、  
7m/s



圖 22、傾斜角 45 度阻力型扇葉

### (實驗十二) 測試傾斜角 45 度攻角 25 度的蜻蜓仿生扇葉

本實驗我們將三片蜻蜓仿生扇葉傾斜 45 度角並測試其效能及比較

目的一、最低啟動風速

目的二、在不同風速下的效能比較

我們要探討的風速有 2m/s、3m/s、4m/s、5m/s、  
6m/s、7m/s



圖 23、傾斜角 45 度蜻蜓仿生扇葉

## 第二部分 發電機的效能探討

### (實驗十三) 單風扇轉以及雙風扇正反轉的效能比較

為了驗證我們的升力型扇葉正反轉裝置所輸出的效能會比單風扇轉的佳，於是我們探討單風扇轉以及雙風扇轉的效能比較

### (實驗十四)不同磁力強弱對於發電機效能比較

經由文獻探討我們發現磁力會影響發電效能，所以我們在發電裝置外加裝了一般型磁鐵以及強力磁鐵來探討不同的磁力大小的效能檢測



圖 24、不外加磁鐵



圖 25、外加一般型磁鐵



圖 26、外加強力磁鐵

## 伍、研究結果

### 實驗二 探討升力型扇葉不同攻角的效能

#### 一、最低啟動風速

由實驗數據圖 27 可以發現: 攻角 25 度能達到最佳的最低啟動風速，當攻角 0 度到 10 度時，我們轉到風速 7 m/s 的時候都無法啟動，攻角 20 度到 25 度時，啟動風速有隨著攻角的加大而降低，但到了攻角 25 度之後，啟動風速就會隨著角度加大而增加，到了攻角 45 度以後便無法啟動

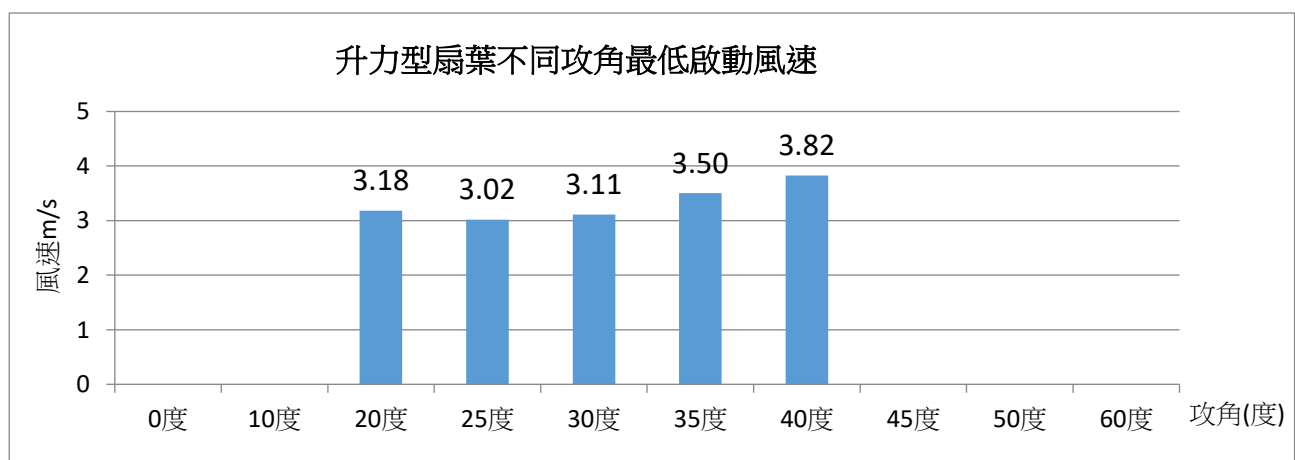


圖 27、升力型扇葉不同攻角下的最低啟動風速

## 二、在不同風速下探討攻角的效能比較

由實驗數據圖 25、圖 26 發現:扇葉裝置在風速 2m/s、3m/s 下無法轉動,而當風速轉至 4m/s 的時候,攻角 10 度和 15 度皆無法轉動,之後隨著攻角的增加,發電效能有增加的趨勢,攻角 25 度時能達到最佳效能,大於攻角 25 度之後,效能會下降,到攻角 50 度左右就會無法轉動

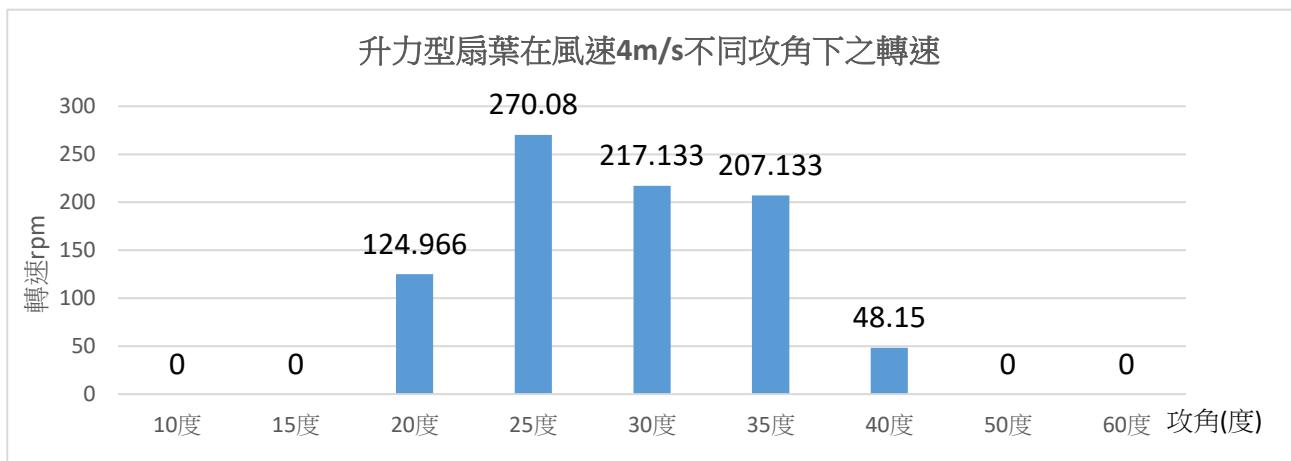


圖 25、升力型扇葉在風速 4m/s 不同攻角下之轉速

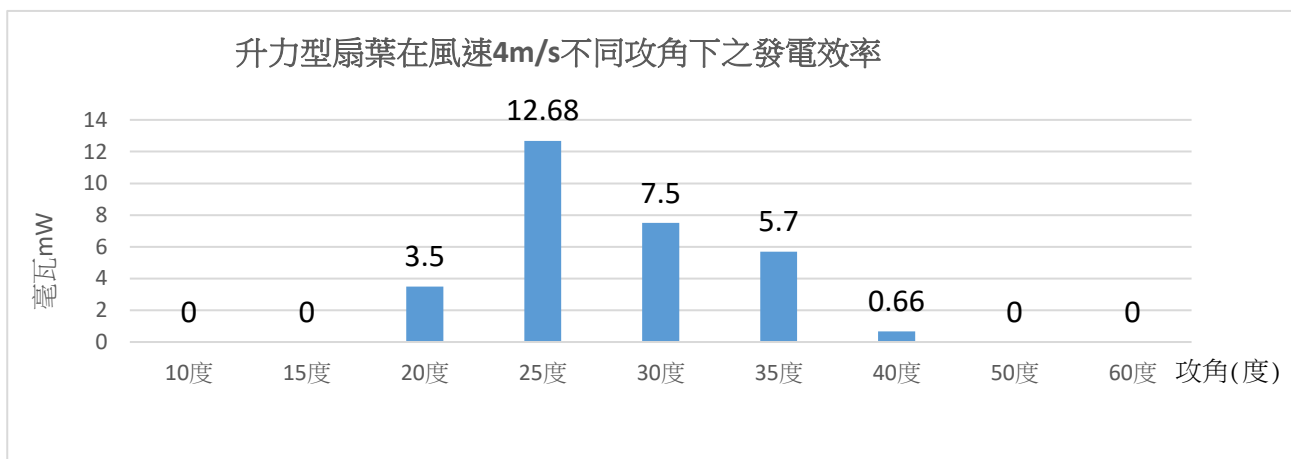


圖 26、升力型扇葉在風速 4m/s 不同攻角下之發電功率

## 實驗三 測試升力型扇葉在最佳攻角下不同風速的效能比較

由實驗數據圖 27、圖 28 可以發現:隨著風速增加之後,攻角 25 度的電壓、電流、發電功率以及轉速都有上升的趨勢,而當風速來到 7m/s 的時候,轉速達到 350rpm 以上,發電功率輸出能達到 36mW 左右,且是原本風速 4m/s 的 3 倍

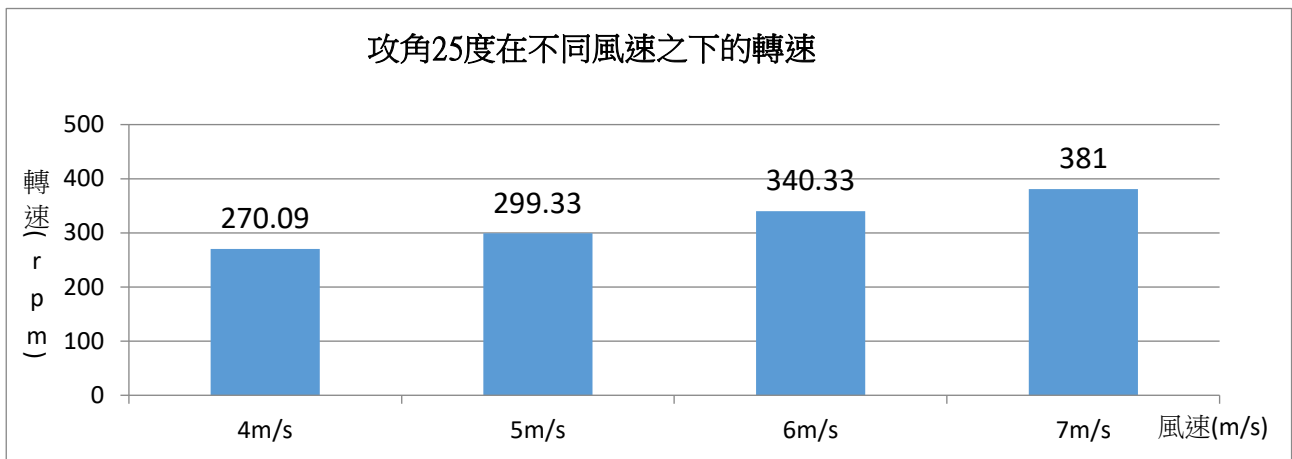


圖 27、攻角 25 度在不同風速之下的轉速

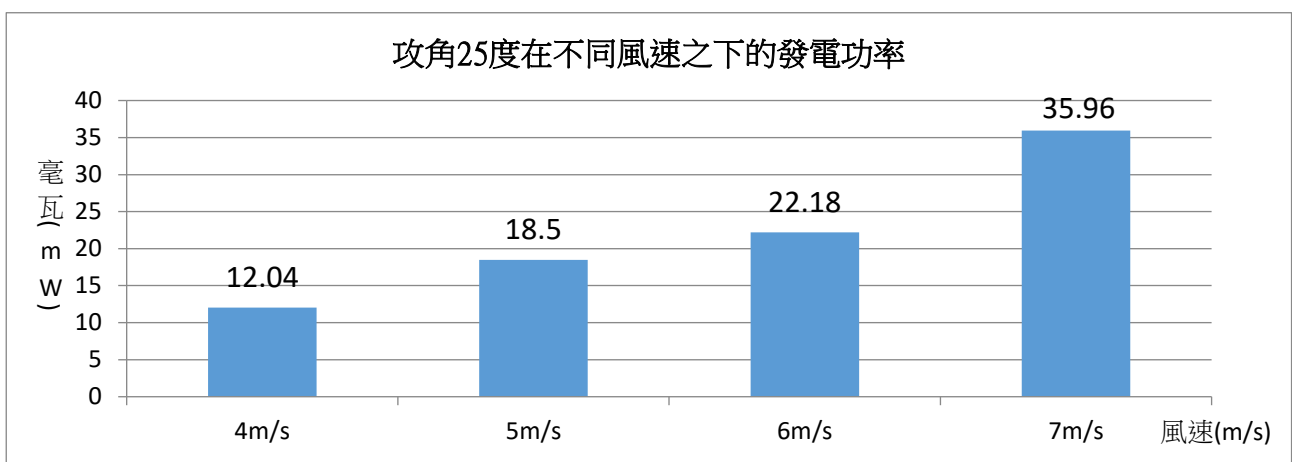


圖 28、攻角 25 度在不同風速之下的發電功率

#### 實驗四 改變力臂長短並測試其最低啟動風速

##### 一、力臂 12 公分與力臂 10 公分在不同攻角下的最低啟動風速

由實驗數據圖 29 可以發現: 力臂 12 公分的最低啟動風速大約落在風速 3~4m/s 左右; 力臂 10 公分的最低啟動風速大約落在風速 5~6m/s 左右。不論是力臂 12 公分還是 10 公分在攻角 25 度的最低啟動風速皆為最好的。

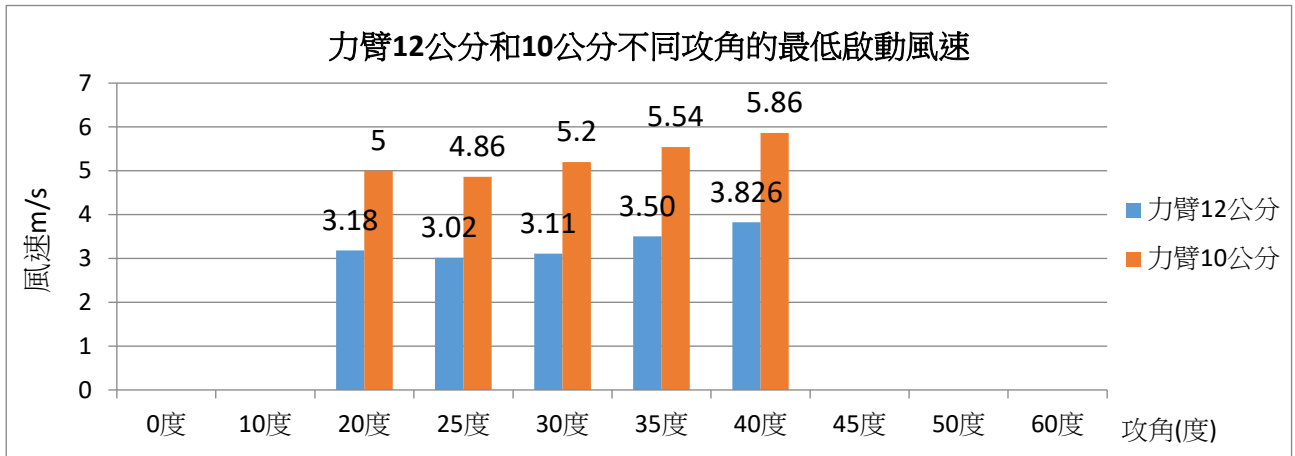


圖 29、力臂 10cm 與力臂 12cm 在不同攻角下的最低啟動風速

### 實驗五 改變力臂長短並在不同風速下探討不同攻角的效能比較

由實驗數據圖 30、圖 31 可以發現：**力臂 12 公分**所表現出來的效能較力臂 10 公分的效能好。我們推測可能是**力矩**的關係，也就是說當力臂越短，要使他轉動的力要比力臂長的**費力**。

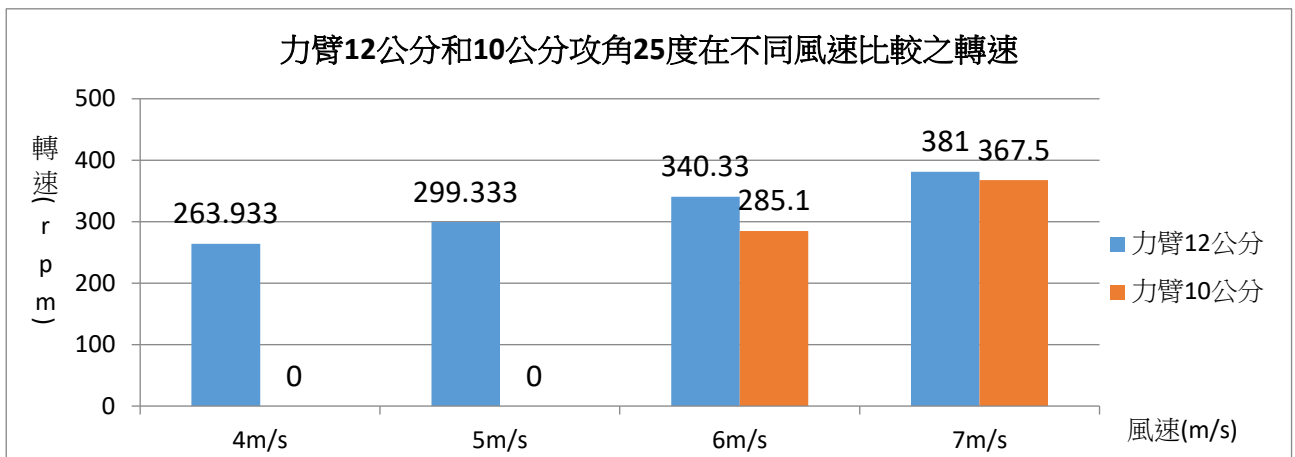


圖 30、升力型扇葉力臂 12 公分和 10 公分在攻角 25 度下不同風速之轉速

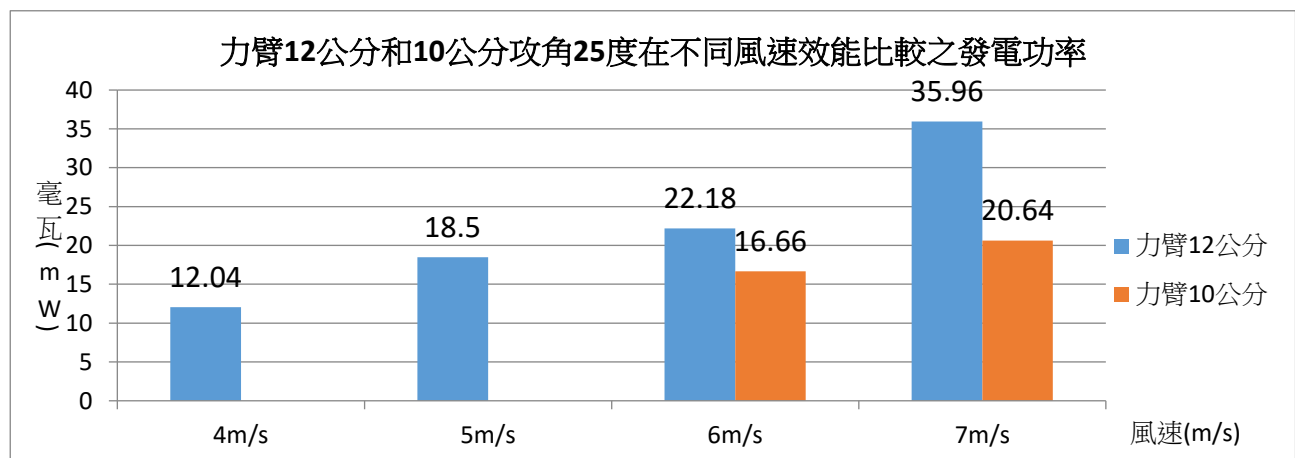


圖 31、升力型扇葉力臂 12 公分和 10 公分攻角 25 度在不同風速效能比較之發電功率

## 實驗六 測試阻力型扇葉的效能比較

### 一、最低啟動風速

由實驗數據表 2 可以發現: 阻力型扇葉的最低啟動風速範圍是風速 3m/s 左右

表 2、阻力型扇葉的最低啟動風速

	1	2	3	平均
風速(m/s)	2.98	3.13	3	3.03

### 二、在不同風速下的效能比較

由實驗數據圖 32、圖 33 可以發現: 可以觀察到在風速 2m/s 下時, 扇葉無法轉動。當風速來到 3m/s、4m/s 轉速及毫瓦會隨著風速的上升而有明顯的增加, 風速 4m/s 所輸出的轉速及發電效能為最大值。但當風速來到 5m/s 之後, 扇葉變無法轉動。

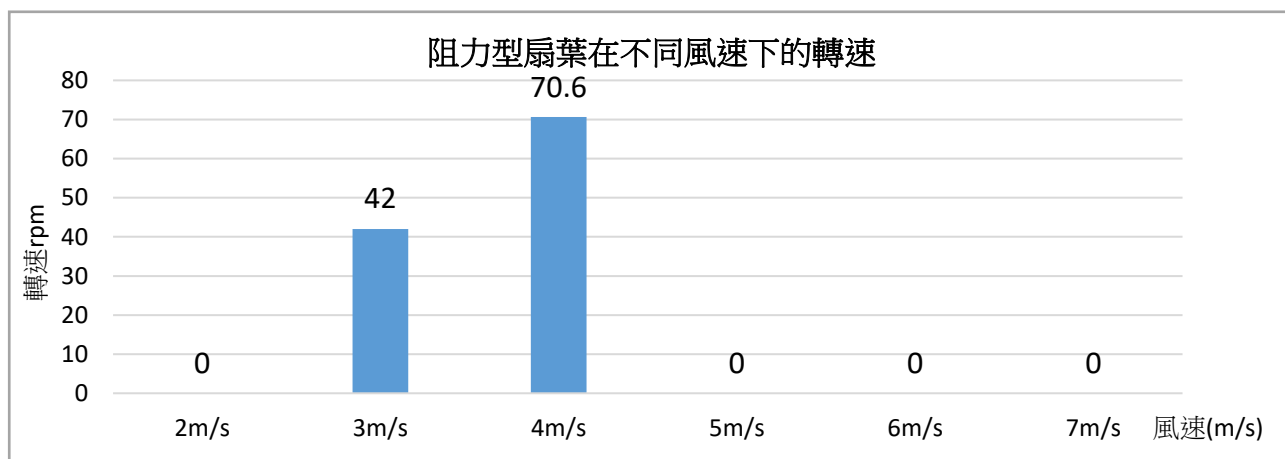


圖 32、阻力型扇葉在不同風速下的轉速比較

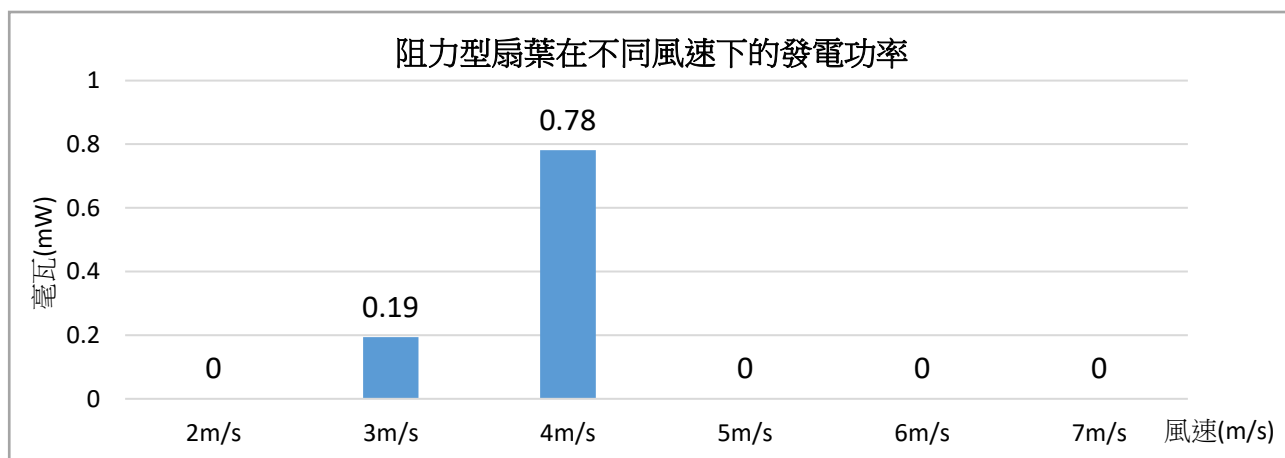


圖 33、阻力型扇葉在不同風速下的發電功率比較

## 實驗七 測試升力型扇葉長度 30 公分和 15 公分在相同配重且攻角 25 度下的效能比較

### 一、最低啟動風速

由實驗數據圖 34 可以發現: 在**相同的質量下**，**加長扇葉 (30cm 長)**會因為**受風面積較大**，所以啟動風速較**原先 15cm 升力型扇葉低**

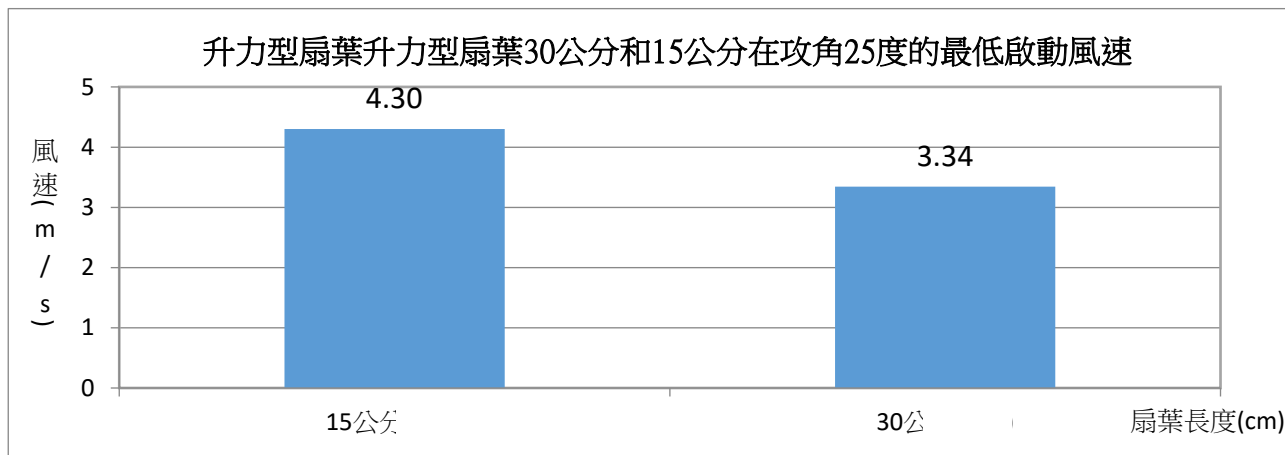


圖 34、測試相同配重下攻角 25 度不同長度的升力型扇葉之最低啟動風速

### 二、在不同風速的效能比較

由實驗數據圖 35、圖 36 可以發現：在**風速 4m/s** 的情況下，**長 30 公分**的升力型扇葉所輸出的功率是長 15 公分的**好幾倍**，所以**效能較佳**，但由於長 30 公分的升力型扇葉會因風速太大而脫落，容易造成危險，因此我們只做風速 4m/s 和 5m/s

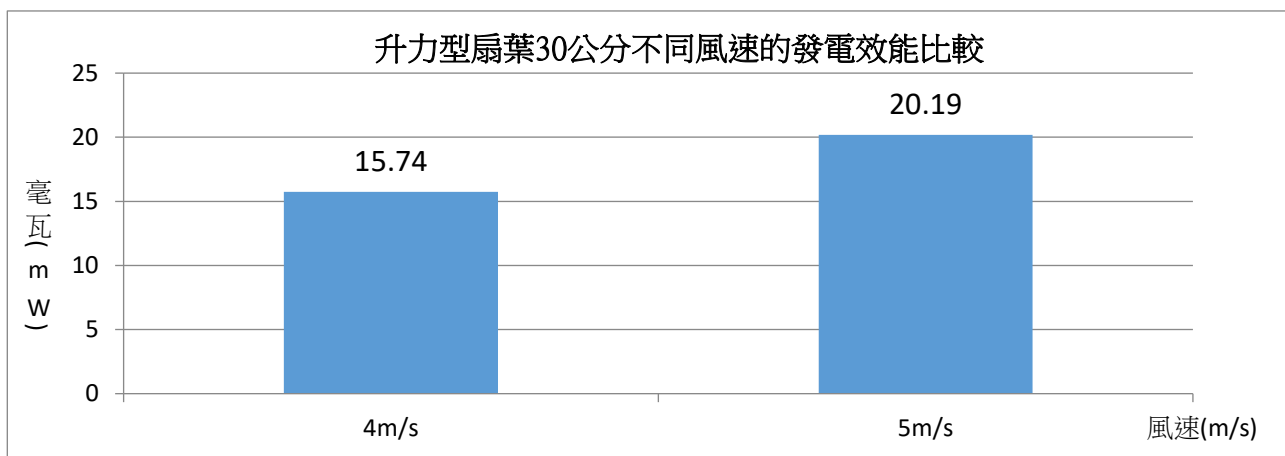


圖 35、升力型扇葉 30 公分不同風速的發電效能比較

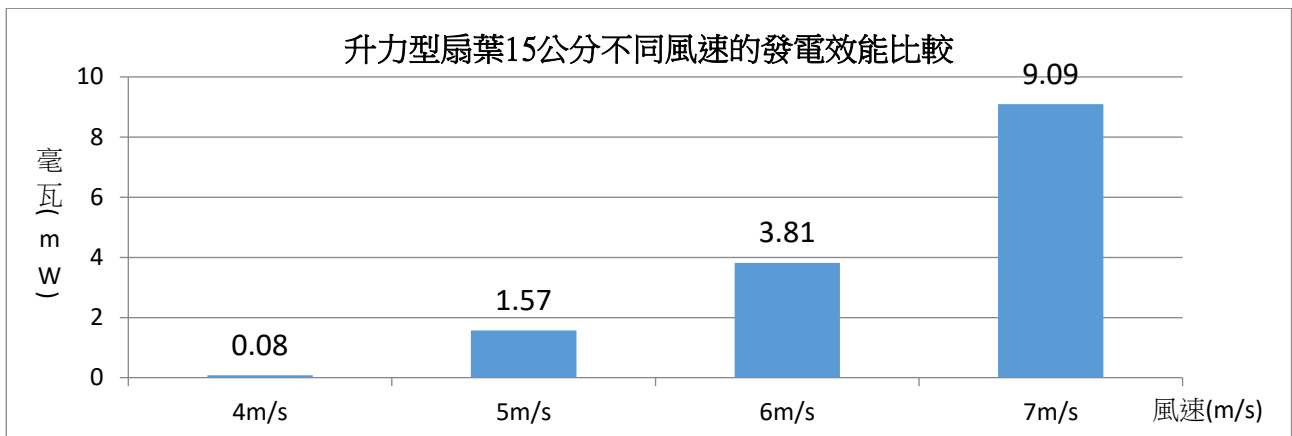


圖 36、升力型扇葉 15 公分不同風速的發電效能比較

### 實驗八 測試升力型扇在攻角 25 度、力臂 12 公分葉片數為兩片情況下

#### 一、最低啟動風速

由實驗數據表 3 可以發現：攻角 25 度下升力型葉扇的最低啟動風速大約落在**風速 5m/s** 左右

表 3、升力型扇葉攻角 25 度葉片數兩片的最低啟動風速

	1	2	3	平均
風速(m/s)	5.03 m/s	5.2 m/s	5.37 m/s	5.2 m/s

#### 二、在不同風速的效能比較

由實驗數據圖 37 可以發現：效能會隨著**風速的增加**，所輸出的**發電功率也會大幅提升**

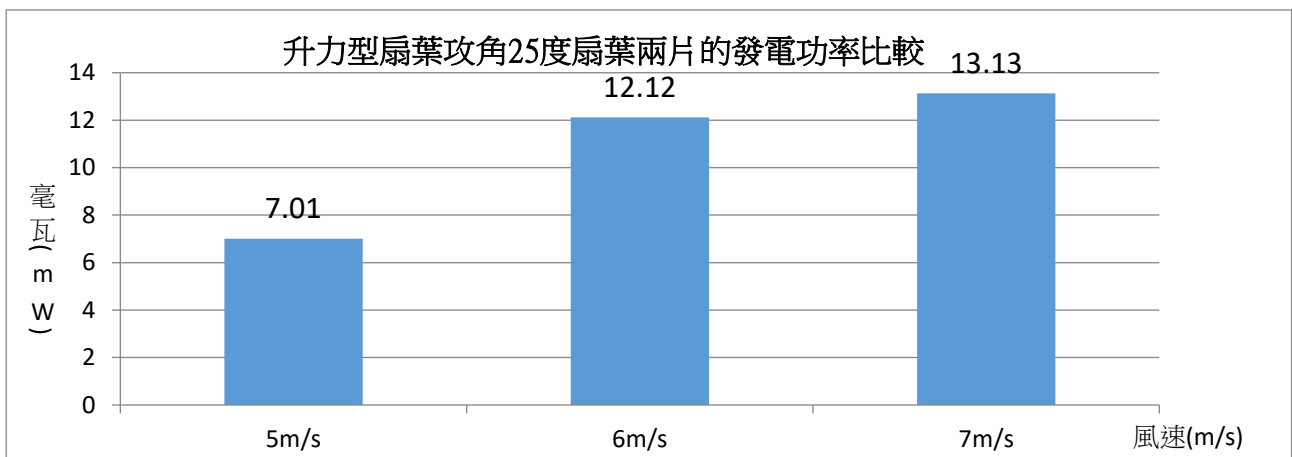


圖 37、升力型扇葉攻角 25 度扇葉兩片在不同風速下的發電功率比較



## 實驗九 測試升力型扇葉在攻角 25 度、傾斜角 45 度下

### 一、最低啟動風速

由實驗數據表 4 可以發現：升力型扇葉在攻角 25 度、傾斜角 45 度下的最低啟動風速大約在 5m/s 左右

表 4、攻角 25 度、傾斜角 45 度下的升力型扇葉之最低啟動風速

	1	2	3	平均
風速(m/s)	5.03 m/s	4.9 m/s	4.86 m/s	4.93 m/s

### 二、在不同風速的效能比較

由實驗數據圖 38 可以發現：效能會隨著風速的增加，所輸出的發電功率也會大幅提升

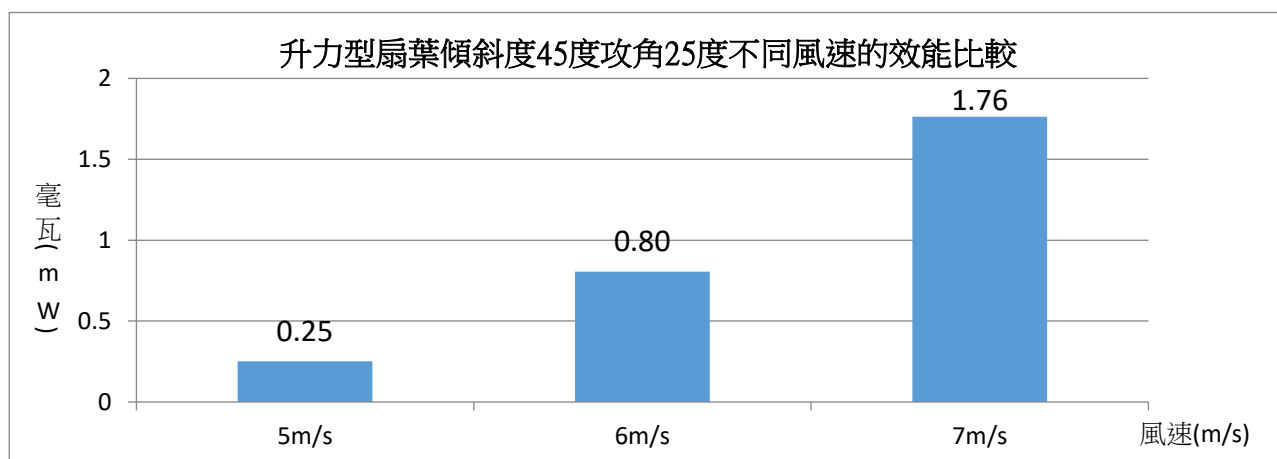


圖 38、升力型扇葉攻角 25 度、傾斜角 45 度時不同風速的發電功率比較

## 實驗十 測試阻力型扇葉攻角 25 度、扇葉兩片情況下

### 一、最低啟動風速

由實驗數據表 5 可發現：阻力型扇葉攻角 25 度、扇葉兩片情況下的最低啟動風速大約落在 6m/s 左右

表 5、攻角 25 度的阻力行扇葉兩片的最低啟動風速

	1	2	3	平均
風速(m/s)	5.72 m/s	5.89 m/s	5.86 m/s	5.82m/s

## 二、在不同風速的效能比較

由實驗數據圖 39 發現: 效能較三片時較佳，可能是因為三片扇葉有比較大的阻抗效果，進而使得轉動合力矩較小。

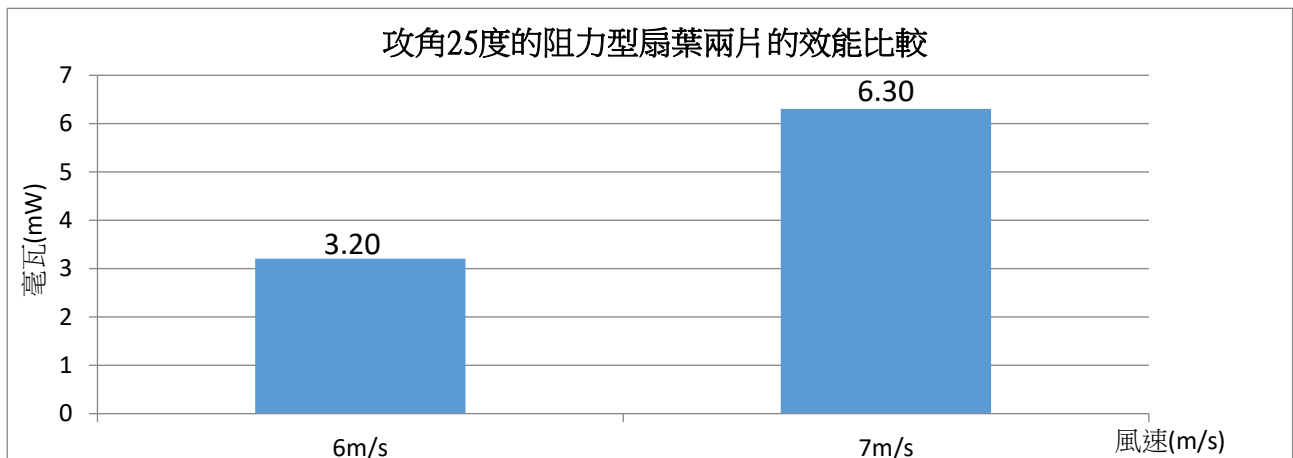


圖 39、阻力型扇葉在攻角 25 度、扇葉兩片下之不同風速發電功率

## 實驗十一 測試阻力型扇葉在攻角 25 度、傾斜角 45 度

### 一、最低啟動風速

由實驗數據表 6 可以發現: 傾斜角 45 度攻角 25 度的阻力型扇葉之最低啟動風速大約在風速 4.5m/s 左右

表 6、傾斜角 45 度攻角 25 度阻力型扇葉的最低啟動風速

	1	2	3	平均
風速(m/s)	4.65 m/s	4.68 m/s	4.30 m/s	4.54m/s

### 一、在不同風速的效能比較

由實驗數據圖 40 可以發現: 當風速 5m/s 到風速 6m/s 之間時, 效能會隨著風速的增加而提升, 風速 6m/s 為最佳效能, 到了風速 7m/s, 效能會降低

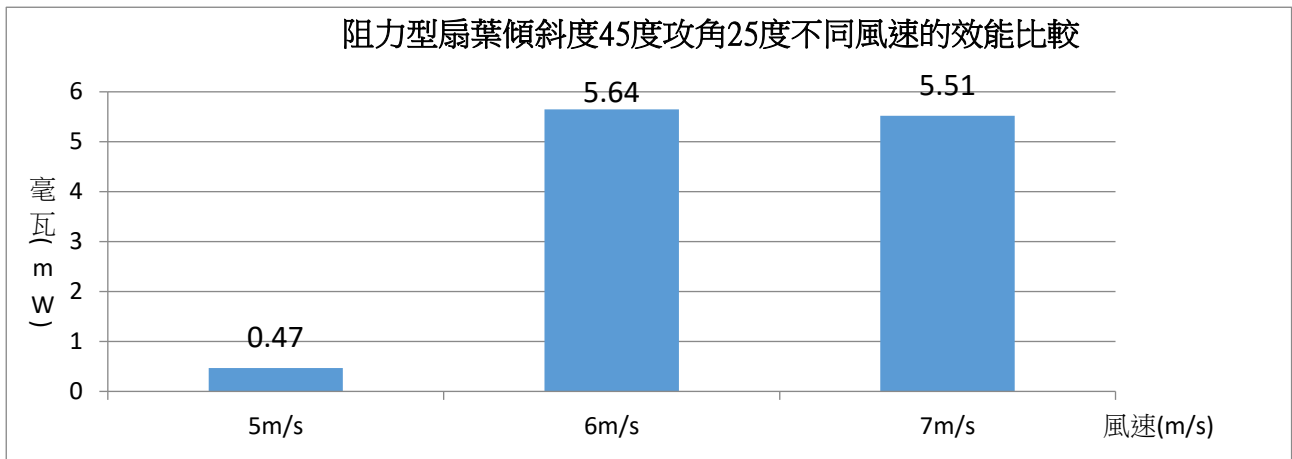


圖 40、阻力型扇葉在攻角 25 度、傾斜角 45 度下的發電功率比較

### 實驗十二 測試蜻蜓仿生扇葉攻角 25 度、傾斜角 45 度

#### 一、最低啟動風速

由實驗數據表 7 可以發現:蜻蜓仿生扇葉在攻角 25 度、傾斜角 45 度下之最低啟動風速大約在 **風速 5m/s** 左右

表 7、蜻蜓仿生扇葉在攻角 25 度、傾斜角 45 度下的最低啟動風速

	1	2	3	平均
風速(m/s)	5.31 m/s	5.2 m/s	5 m/s	<b>5.17 m/s</b>

#### 二、在不同風速下的效能比較

由實驗數據圖 41 發現: 效能較其它的差, 即使開到**風速 7m/s** 所**輸出功率也不多**。

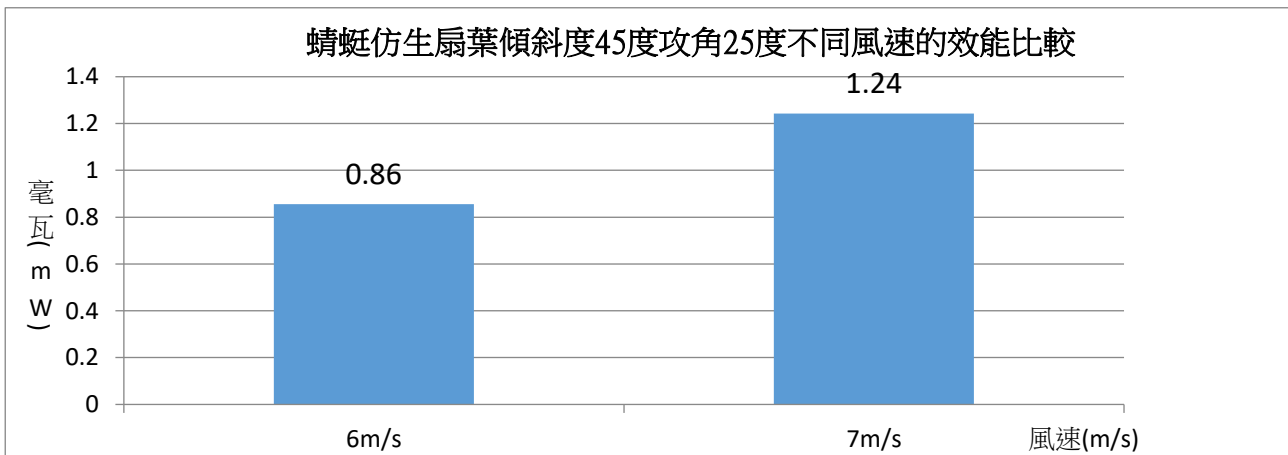


圖 41、蜻蜓仿生扇葉在攻角 25 度、傾斜角 45 度下不同風速的發電功率比較

### 實驗十三 單風扇轉以及雙風扇轉的效能比較

由圖 43 可知在等受風面積條件下，我們測出雙風扇轉的效能偏低，跟原先預期有落差，將來我們將更進一步實驗，看看是否正確。

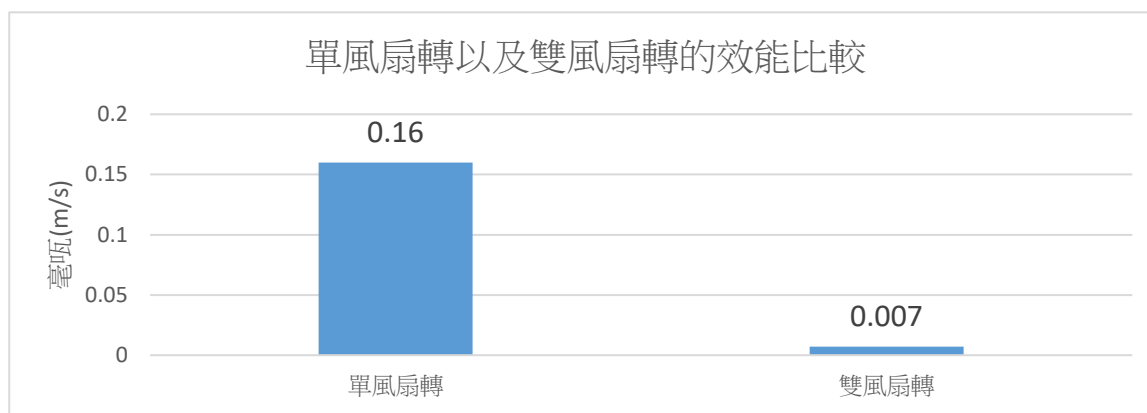


圖 43、等受風面積下，正逆反轉風扇與 30cm 升力型扇葉的發電效能比較

### 實驗十四 不同磁力強弱對於發電機的效能比較

由實驗數據圖 44 發現：當磁力在適當範圍時，輸出的磁力越強，所輸出的功率愈大，但當換上磁力太強的釹鐵硼磁鐵時，因為磁力太強而導致轉不動。由於我們所選用的發電機組為四驅車馬達與先前所使用之發電馬達不同，因此所表現出的發電功率較差

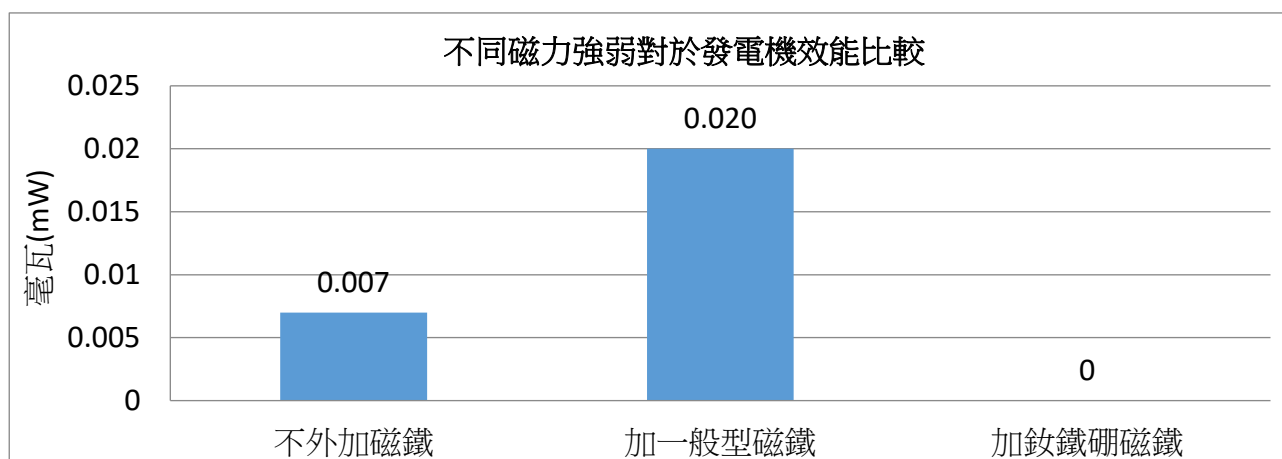


圖 44、不同磁力對於發電機之效能比較

## 陸、討論

- 一、風力發電裝置影響其發電功能除了發電機的電磁組裝(有最大輸出功率限制)以外,扇葉受力傳遞能量的效果也是一大因素。扇葉轉動受到風力所造成的力矩效果影響所接收的能量效率,所以扇葉面所受的升力或阻力大小是關注的重點;而所產生之力矩是否產生拮抗的現象則是另一重點,扇葉的傾斜角,攻角及風力方向則容易影響力矩的方向。
- 二、根據實驗的結果發現,垂直式風扇若採用凹曲面阻力式扇葉,可以在較低的風速開始轉動發電,但是因其扇葉在受風及背風時所受力矩大小有差異,曲面曲度越大差異越大,當風速快時力矩的拮抗作用及為明顯,造成不轉動的現象。而在低風速時,正反曲面受力均小力矩差異小,呈現來回震盪現象。以本實驗裝置而言,相近受力面積扇葉,阻力式扇葉最佳發電功率大約只有升力式扇葉的一半左右。
- 三、依實驗結果得知,升力式扇葉式以扇葉兩側風速差異造成對扇葉的推力,因此扇葉輕、受力面積大、扇面垂直轉軸、攻角為 25 度可得到最佳轉速及發電效應。但是扇葉在啟動風速上,可能需要有足夠風速差,故啟動風速較高,相對的在較高的風速才會產生力矩的拮抗效應(比阻力式高),根據文獻探討,高風速時升力式扇葉可能因此接受足夠風阻力,產生反向力矩造成轉速降低,所以我們推測升力式扇葉應有一個最高轉速。而且在高風速下發電功率提升很高,提升率大於阻力式扇葉。
- 四、仿生式扇葉(蜻蜓翅膀),經風洞測試,其升力效果與我們使用的升力型扇葉相近,但組裝成垂直軸風扇時,其升力效應完全看不到,所表現的特性卻與阻力式扇葉相同,我們由受力面積與力矩方向測試得知。為何如此,我們推測可能是受力面積較大,阻力效應大於升力效應。確實原因有待進一步研究。
- 五、在等受風面積下,初步測量正逆反轉風扇的發電效能較單風扇長 30cm 風扇來的小,而正逆反轉風扇若把馬達的磁場增強可以增加發電效能,但有其極限存在,當達一定磁場強度以上會因磁力過強而無法轉動。

## 柒、結論

升力式扇葉採垂直軸組裝，在受力面積大，攻角 25 度，傾斜角 0 度及力臂較長可到最大轉速，發電效能最高。關於電磁感應裝置我們採用垂直式雙風扇配合升力式扇葉，希望提升電磁感應的效能，初步試驗證明概念可行，但在受力面積，攻角，感應線圈跟磁鐵的列陣形式可進一步精進。扇葉的排列方式是否影響其發電效能，也是將來可以進一步探討的研究。

## 捌、參考資料及其他

- 一、陳亭儒、陳玟葳、黃翊(2017)。風力罩得住酷炫電機。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/030812.pdf>
- 二、林家湄、林翌蓁、陳麒安、施芳妤、葉宇翔、羅晨光。閃電二號 水平感應發電機之研究與應用。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會，取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/elementary/080825.pdf>
- 三、李萌稻(2012)。垂直軸風力發電機的製作與測試。國立高雄應用科技大學機械工程所。
- 四、藍暉愷(2007)。小型風力發電機葉片之設計與製作。私立長庚大學機械工程所。
- 五、牛山泉(2010)。圖解風力發電入門學。世茂。
- 六、牛三泉、三野正洋(2010)。小型風車手冊。國立台灣大學出版中心。
- 七、牛三泉(2009)。風車工學入門:從基礎理論到風力發電技術。全華圖書。
- 八、洪俊卿、蔡尤溪、郭仰(2016)。流體力學 3e。台北:東華書局。

## 【評語】 032911

本作品參考了四項科展作品，結合其成果與發電機之理論基礎更進一步設計以升力式扇葉垂直軸組裝之裝置，有系統地比較多項操作變因對發電效能的影響，並將其與阻力型扇葉和仿生扇葉之效能做比較。其實一般風力發電也都採用升力式水平軸發電機，並須藉由尾舵(風向感測元件)針對風向調整其扇葉方向，本研究於無尾舵情形下探討其風速限制，並於極低風速下進行微型發電。雖然主題符合社會需求，但已被廣泛討論與研究，第54屆中小學科展已報導過升力式比阻力式扇葉發電效能高。本作品在馬達外部加裝磁鐵，發現強力磁鐵的發電效果較一般磁鐵差，並與48屆科展作品相比較，結果相反，然而兩者實驗方法不同不易比較。雖然雙風扇的實驗結果效能偏低，作者仍建議採用雙風扇，其理由不明確(P.27)。結果圖表之項目編號有誤，不易閱讀(P.17-18)。

# 前言

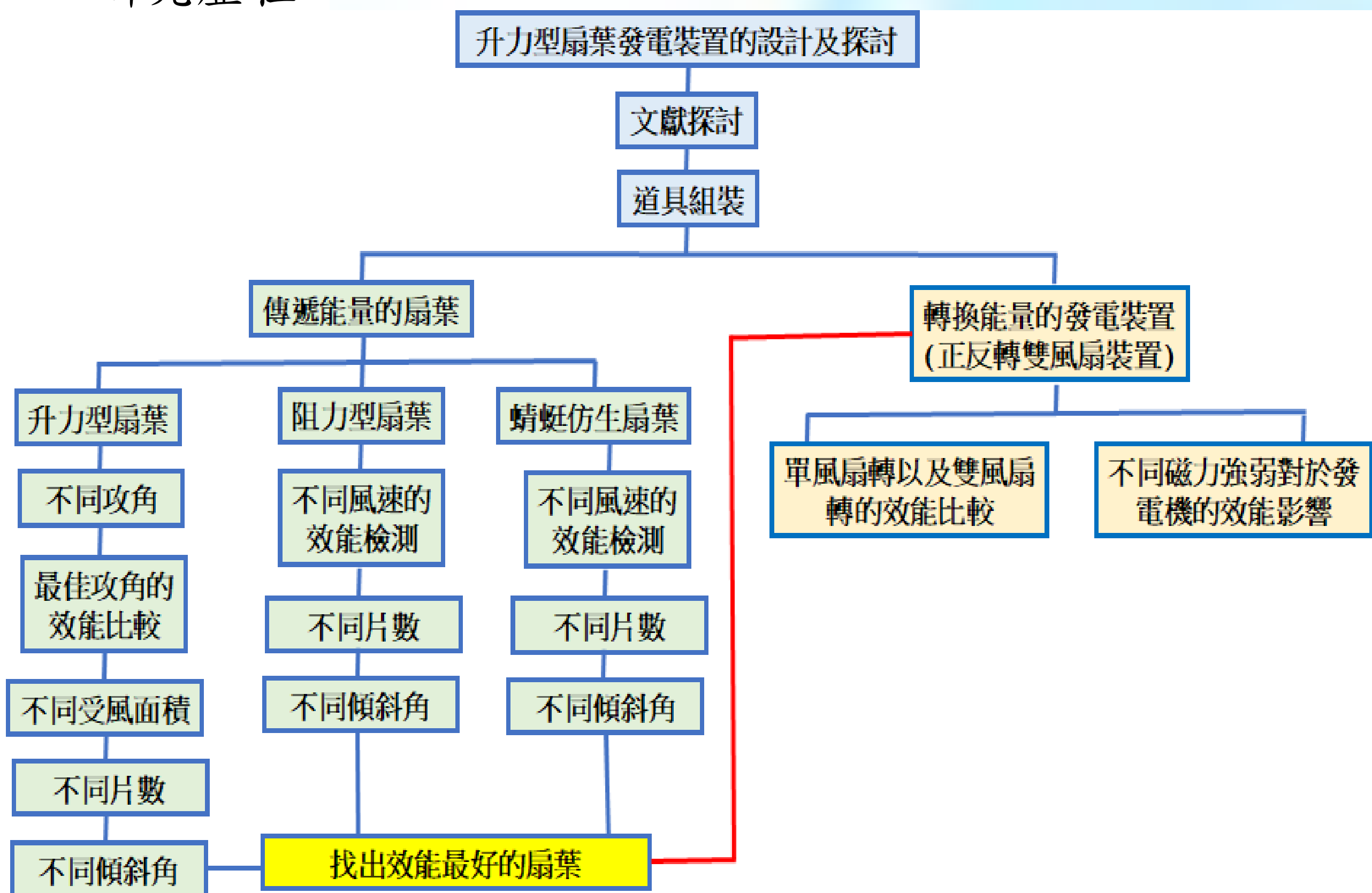
乾淨能源的取得是現今社會共同面臨的問題，風力發電是一個重要的選擇。風力發電裝置主要分成傳遞能量的扇葉組合與轉換電能的電磁組合，許多風力發電裝置都是以阻力型扇葉以水平式風扇組合，但容易受到風向限制；而阻力型扇葉若以垂直式風扇組合容易產生拮抗效應，所以我們採用升力式扇葉以垂直式風扇組合。我們主要探討升力型、阻力型以及蜻蜓仿生扇葉的效能比較。另外我們設計以升力型扇葉組成正反轉雙風扇的裝置，藉以提升電磁感應的效能。

## 研究目的

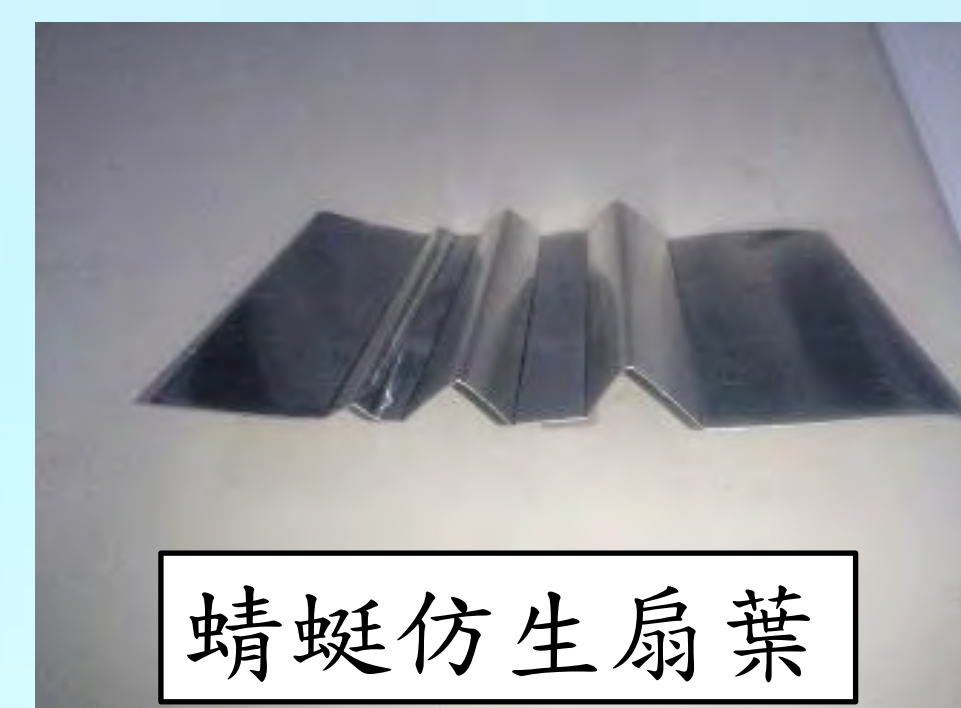
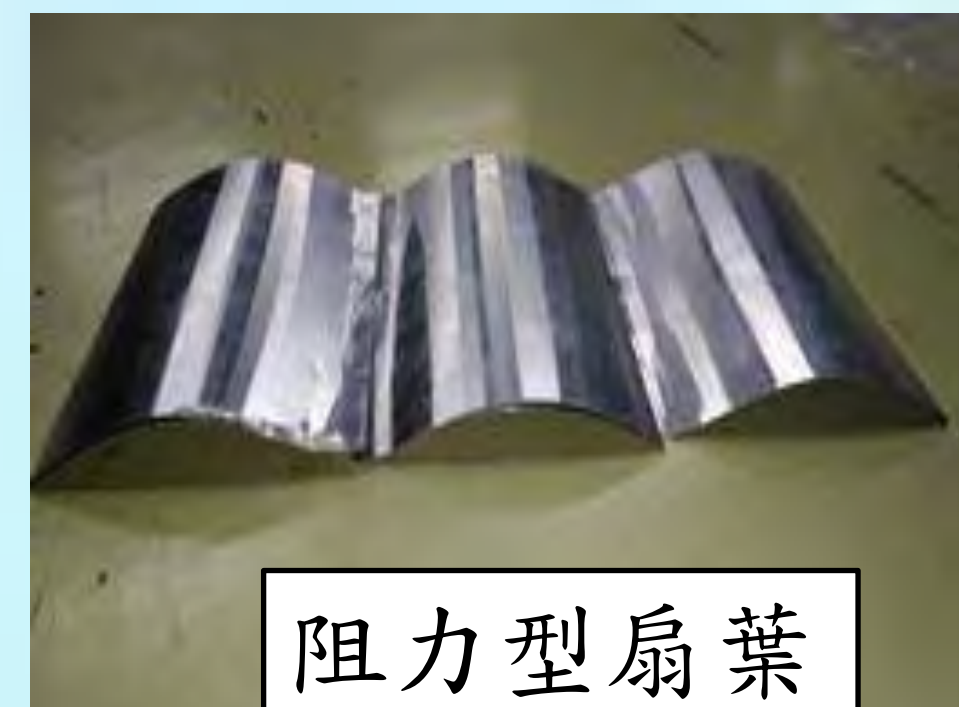
1. 探討**升力型**扇葉在不同**攻角**、不同**風速**的效能比較
2. 探討**升力型扇葉**和**阻力型扇葉**以及**蜻蜓仿生扇葉**的效能比較
3. 探討**旋轉力臂長短距離**的效能高低比較
4. 探討**受風面積不同**、**片數不同**、**傾斜角不同**的效能比較
5. 設計**正反轉風扇**組合探討電磁感應效能的變化

## 研究方法及歷程



### 一、研究歷程



### 二、研究裝置—扇葉



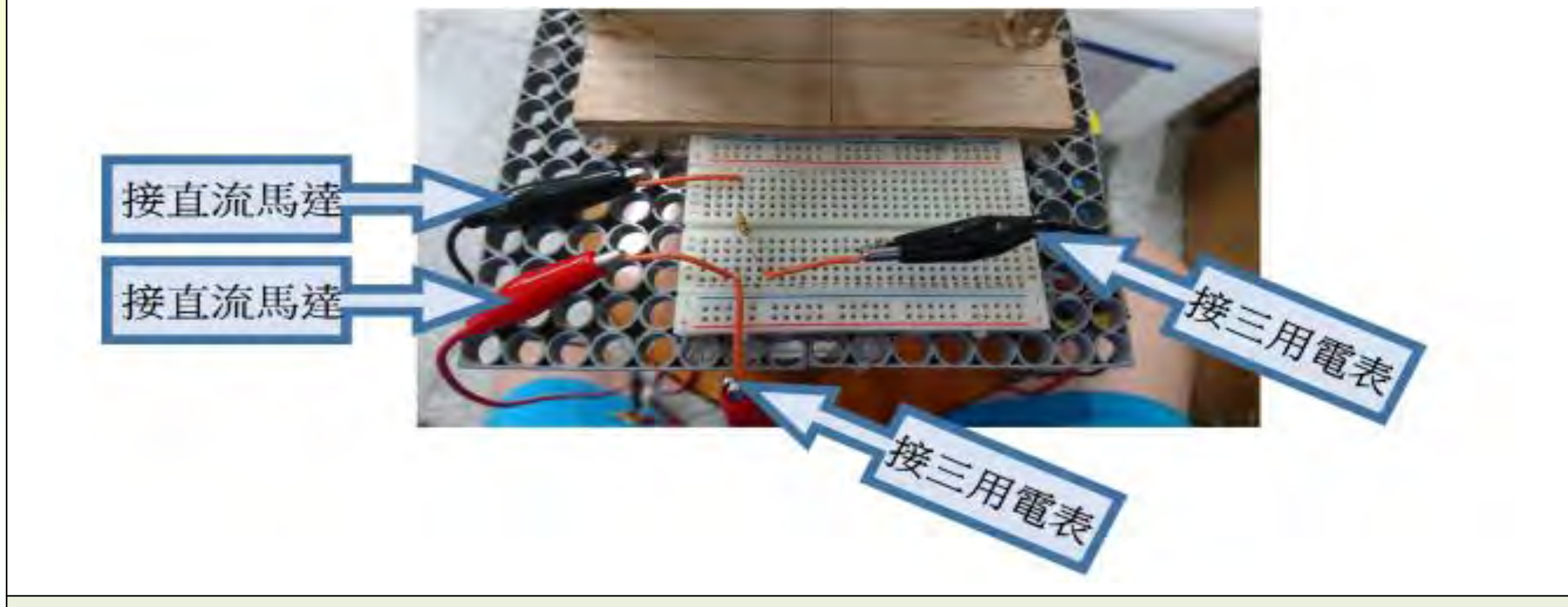
### 三、第一、二代裝置比較

	第一代裝置	第二代裝置
裝置照片儀介紹		
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 主軸和底座的摩擦力較大。</li> <li>2. 在扇葉方面我們做的是不可以調的攻角。</li> <li>3. 因為我們所製作的玻璃纖維扇葉表面不平整，因而造成氣流擾動，影響效能。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 我們將扇葉的材質改為鋁片，因為質量輕且容易塑成形狀。</li> <li>2. 為了探討不攻角下的效能，而改裝成可調式攻角。</li> <li>3. 在主軸和底座間加了培鈴，以減少摩擦力。</li> </ol>

### 四、裝置測量方式



電壓測量方式(並聯)



電流測量方式(串聯)

### 五、裝置擺放位置

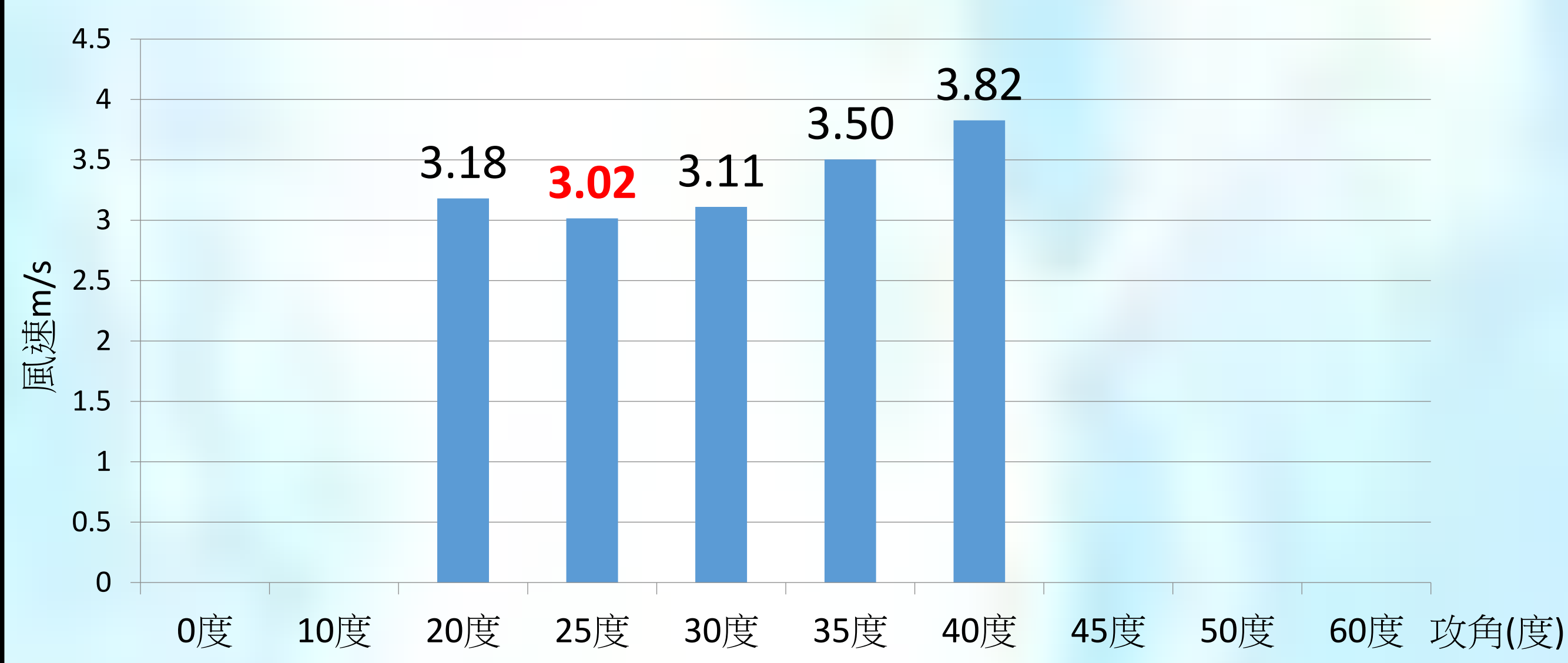




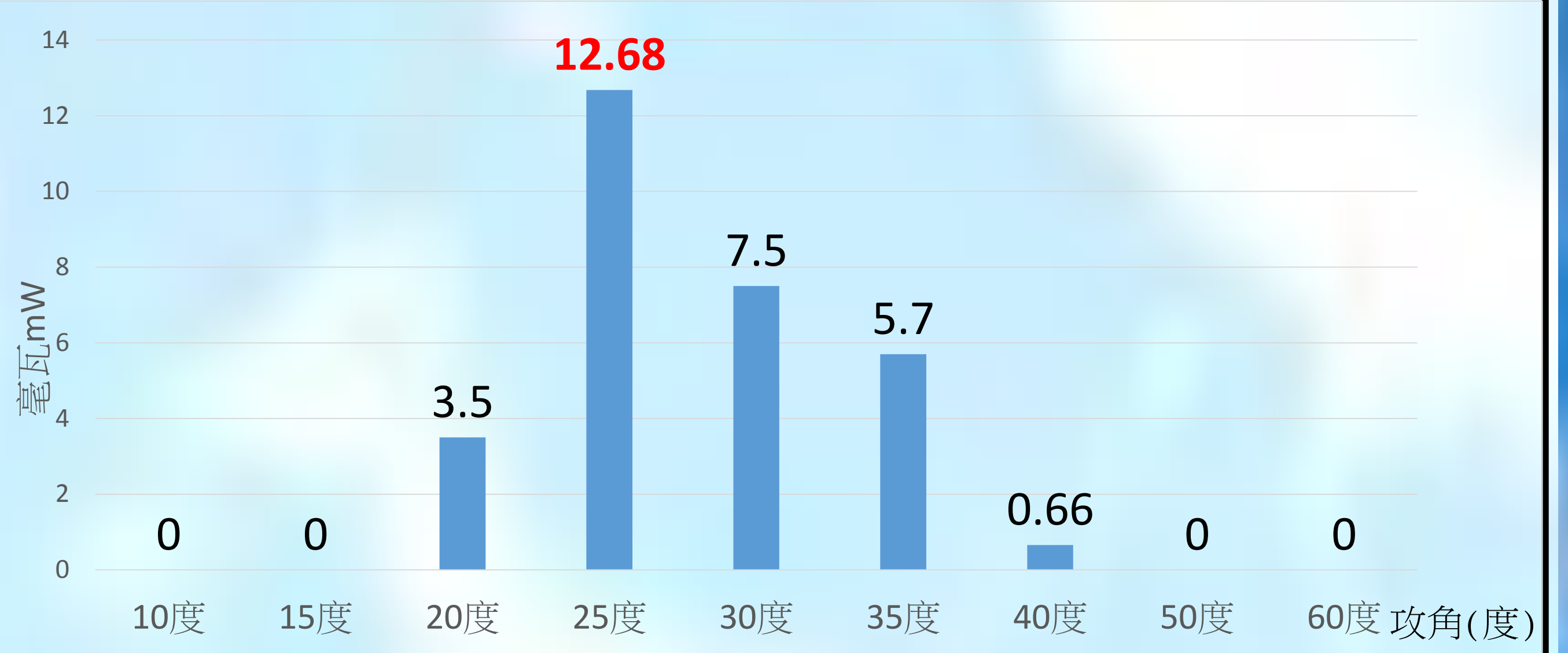
# 研究結果

## 一、升力型扇葉研究結果

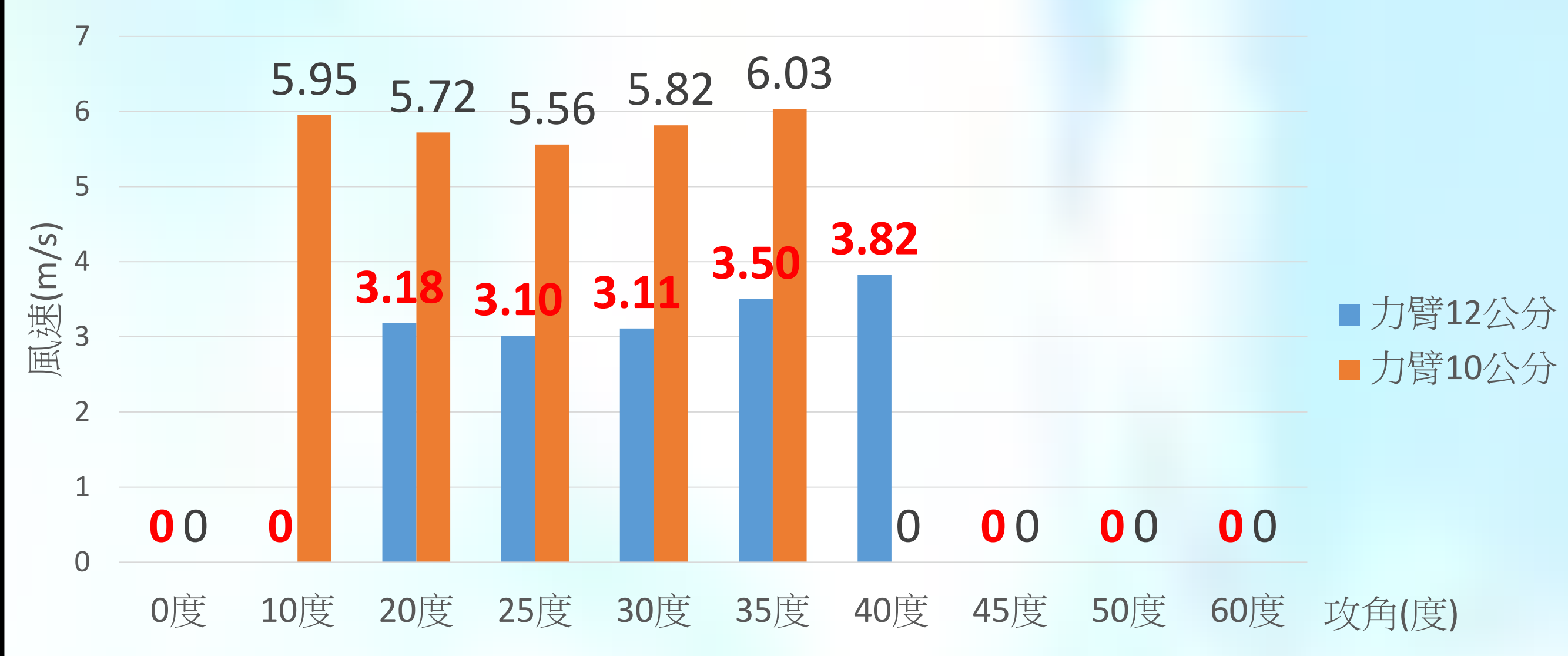
(圖一)探討不同攻角的最低啟動風速



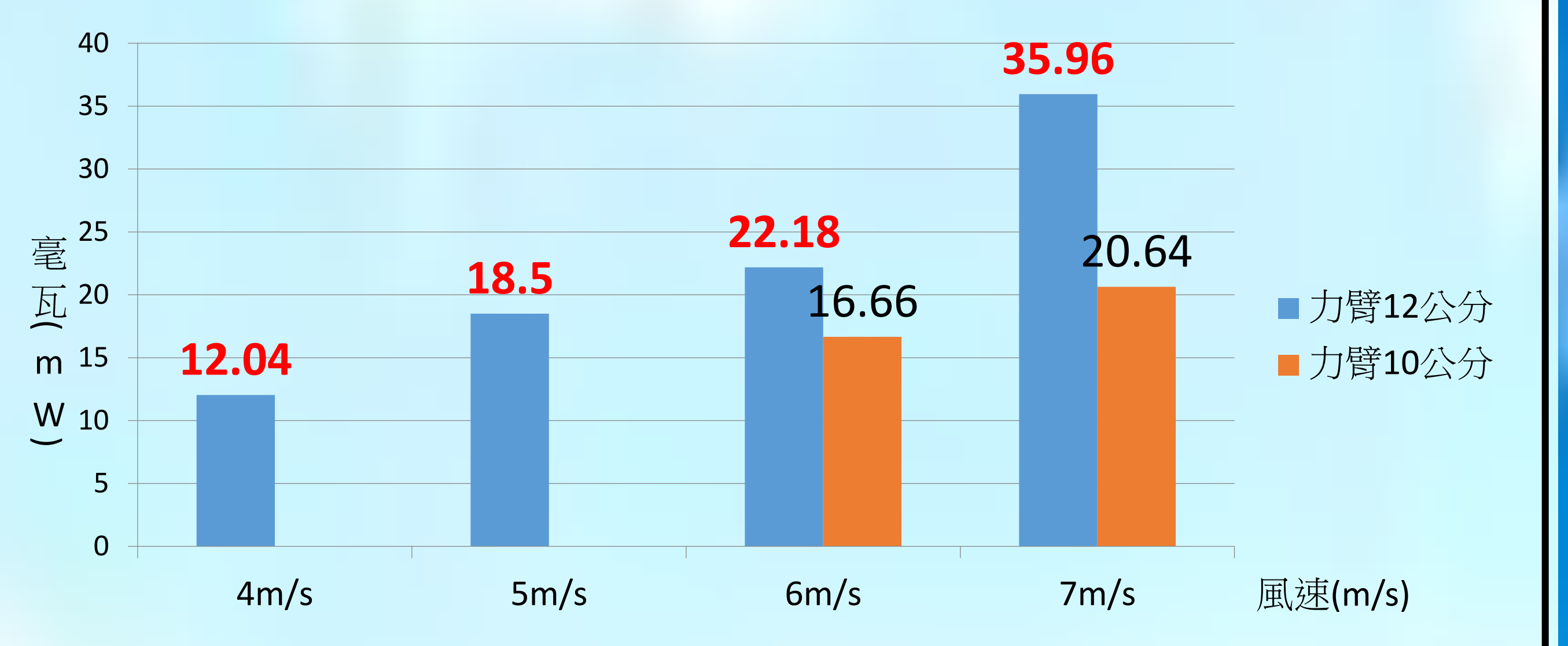
(圖二)探討不同攻角相同風速下的效能比較



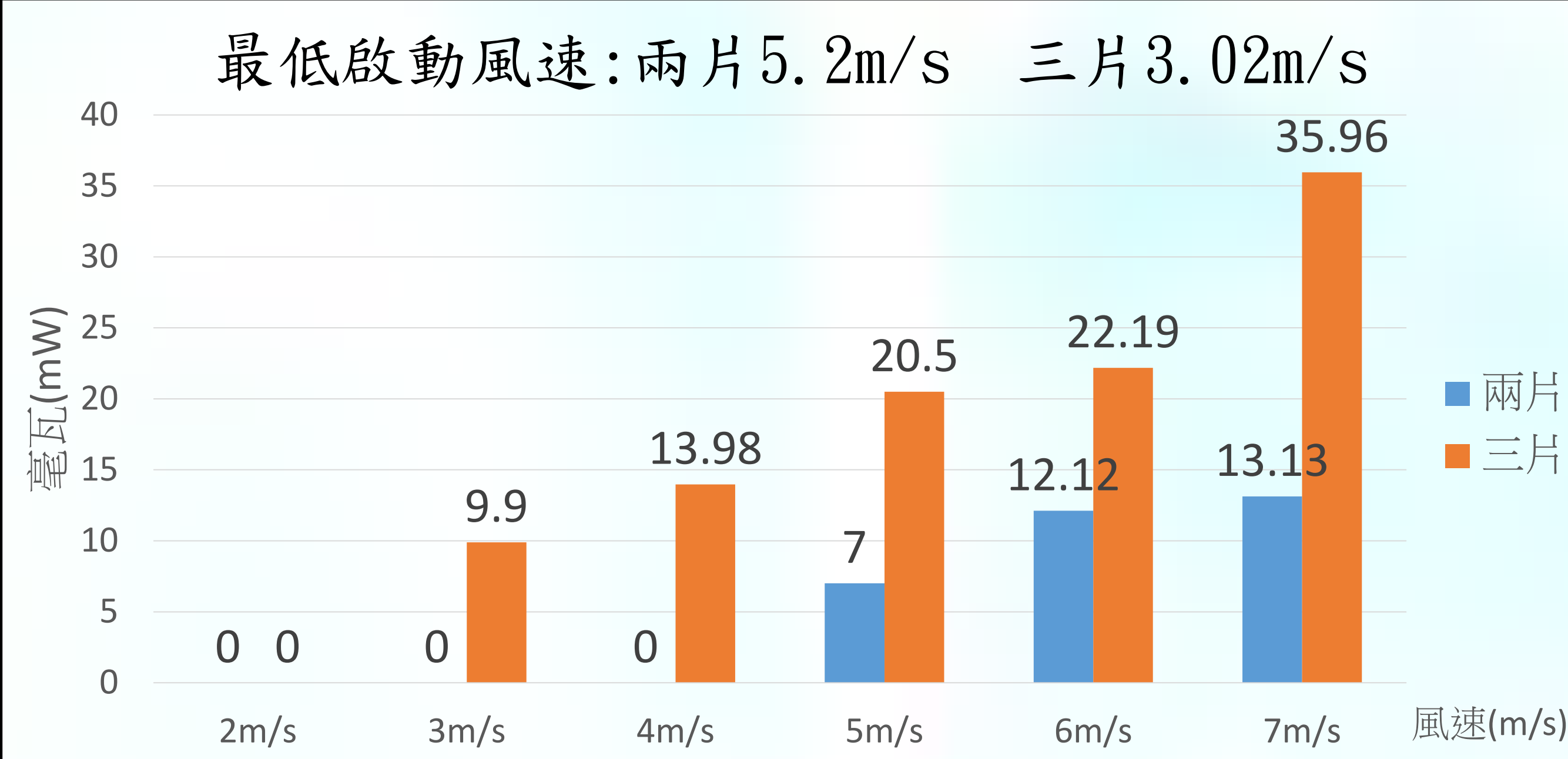
(圖三)力臂長短(12公分和10公分)最低啟動風速



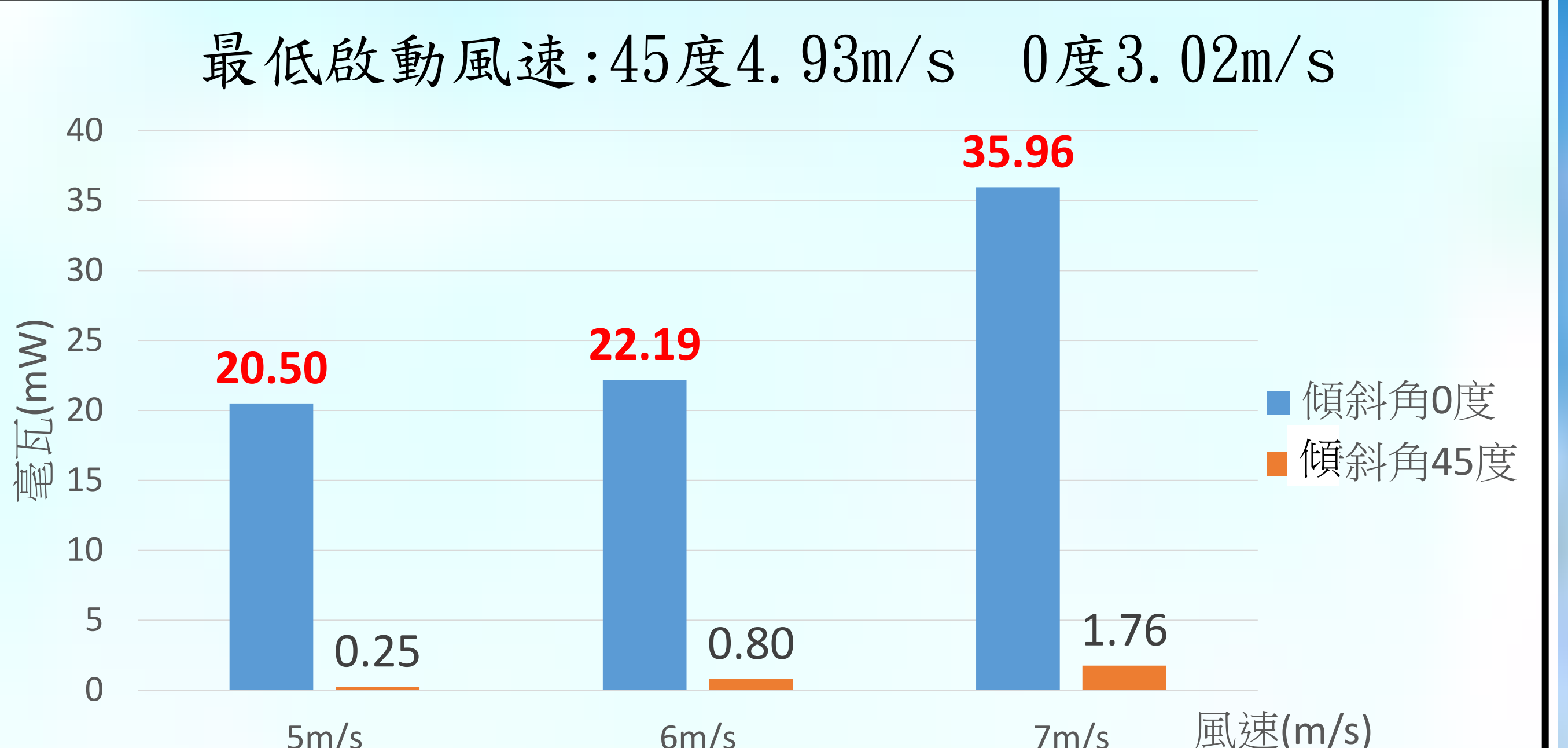
(圖四)力臂長短(12公分和10公分)不同風速效能比較



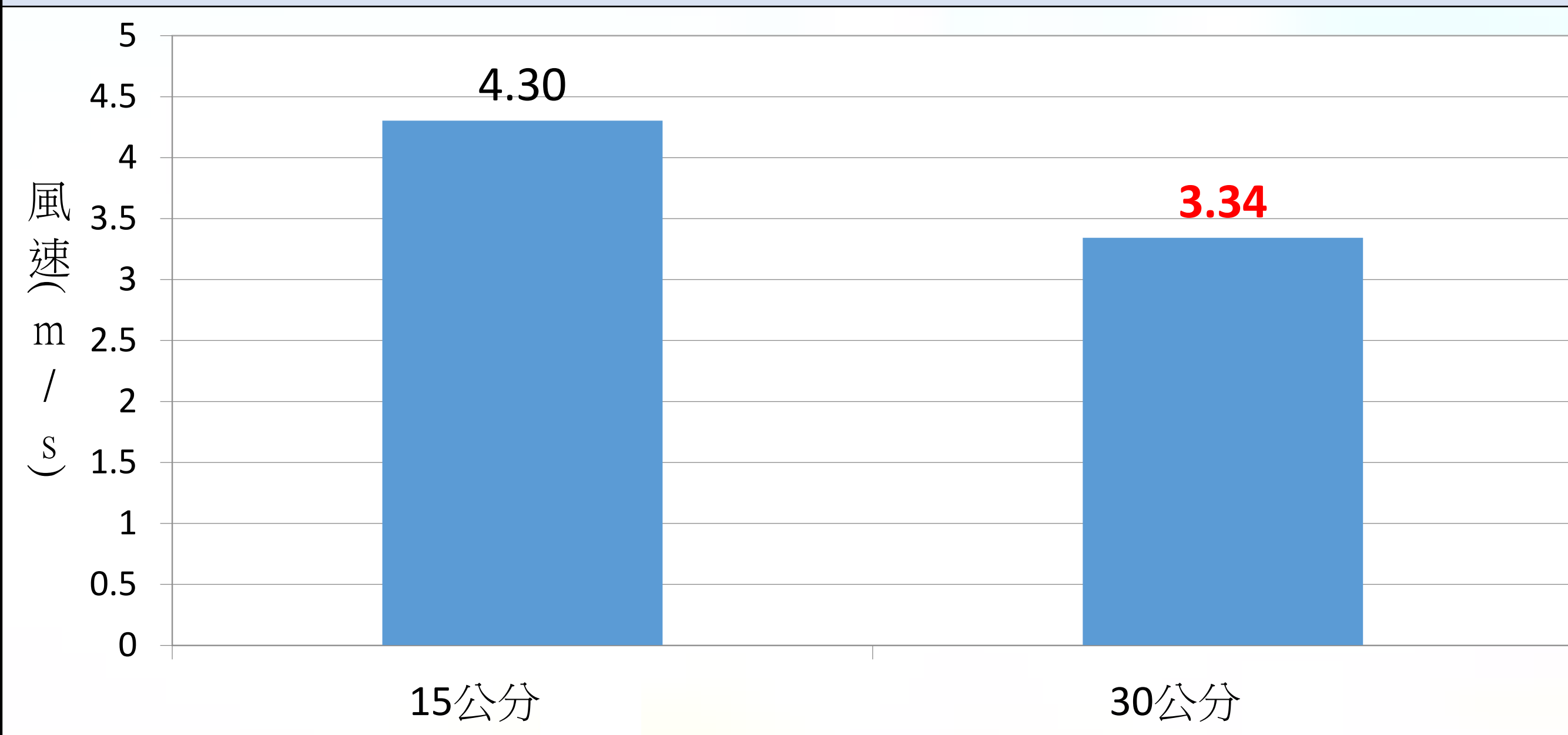
(圖五)不同片數(兩片和三片)之發電效能比較



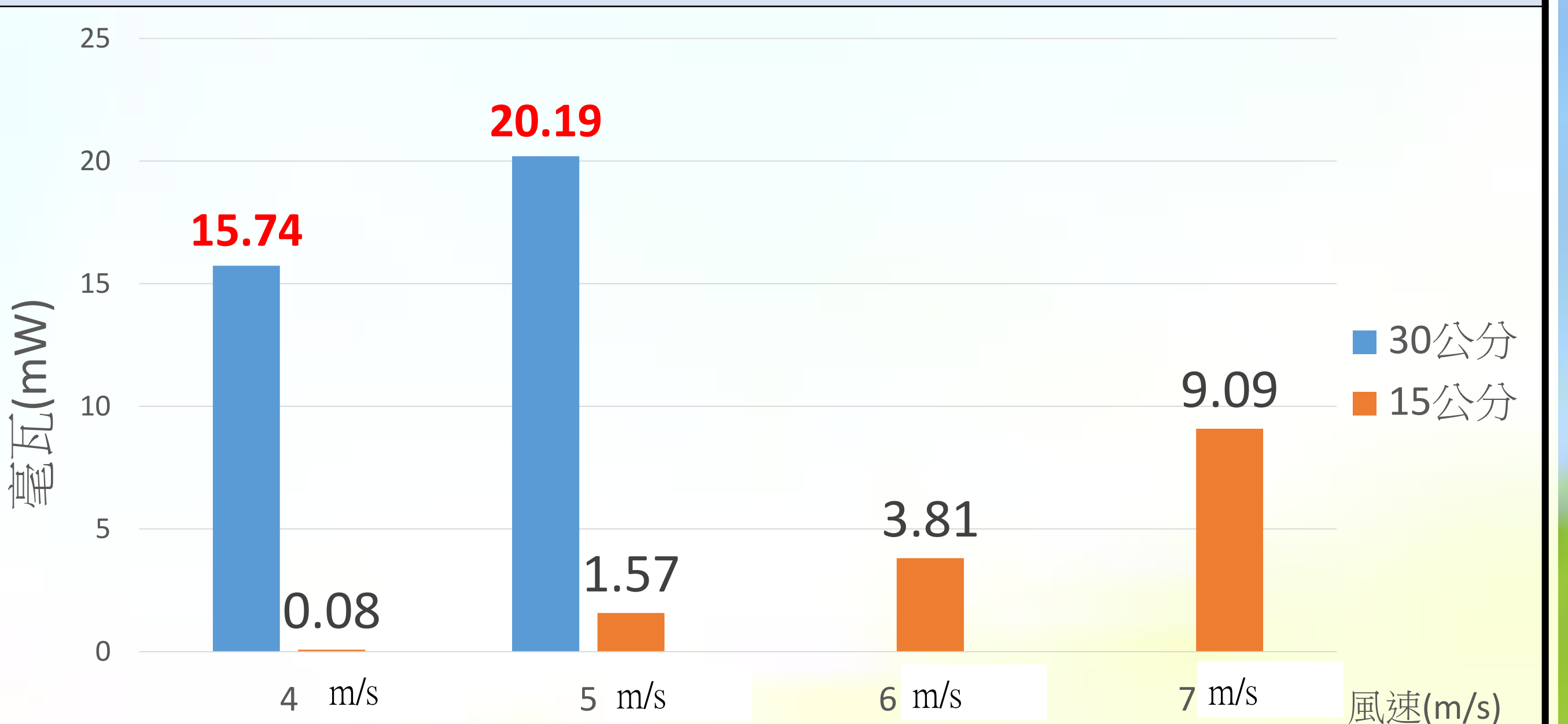
(圖六)傾斜角不同(傾斜角45度和0度)之發電效能比較



(圖七)不同受風面積(30公分、15公分)最低啟動風速



(圖八)不同受風面積(30、15公分)不同風速效能比較

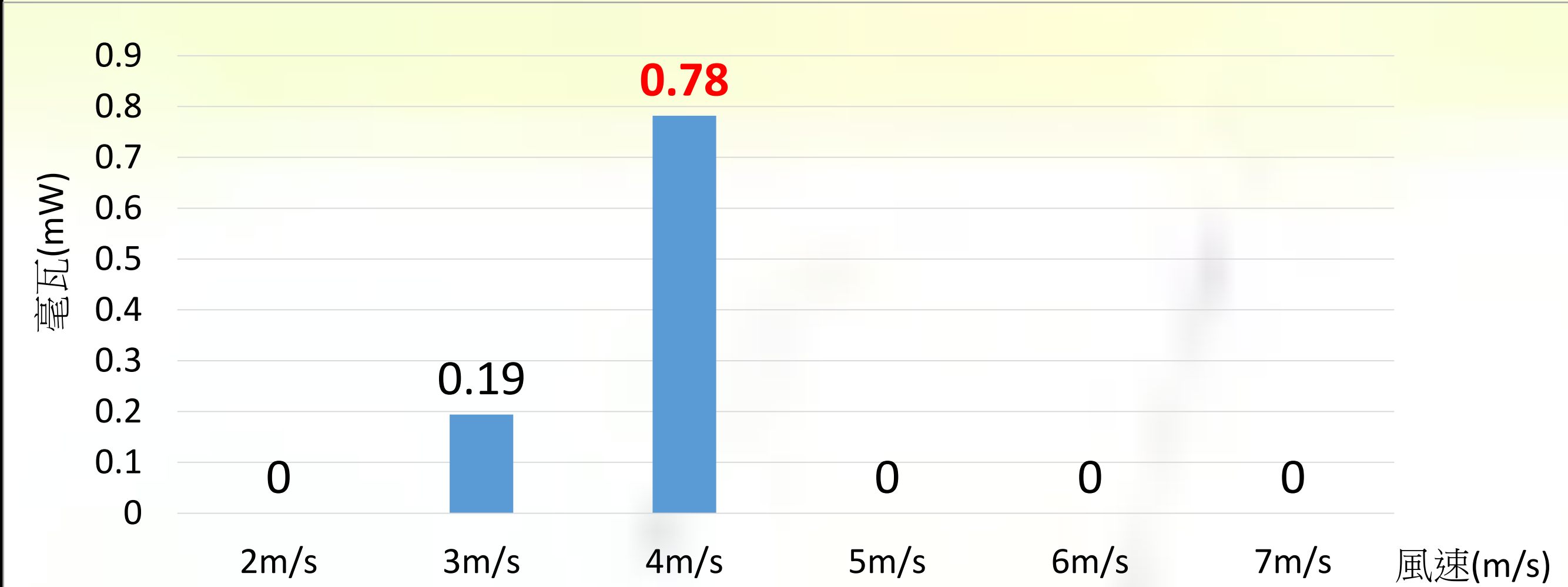


### 討論:

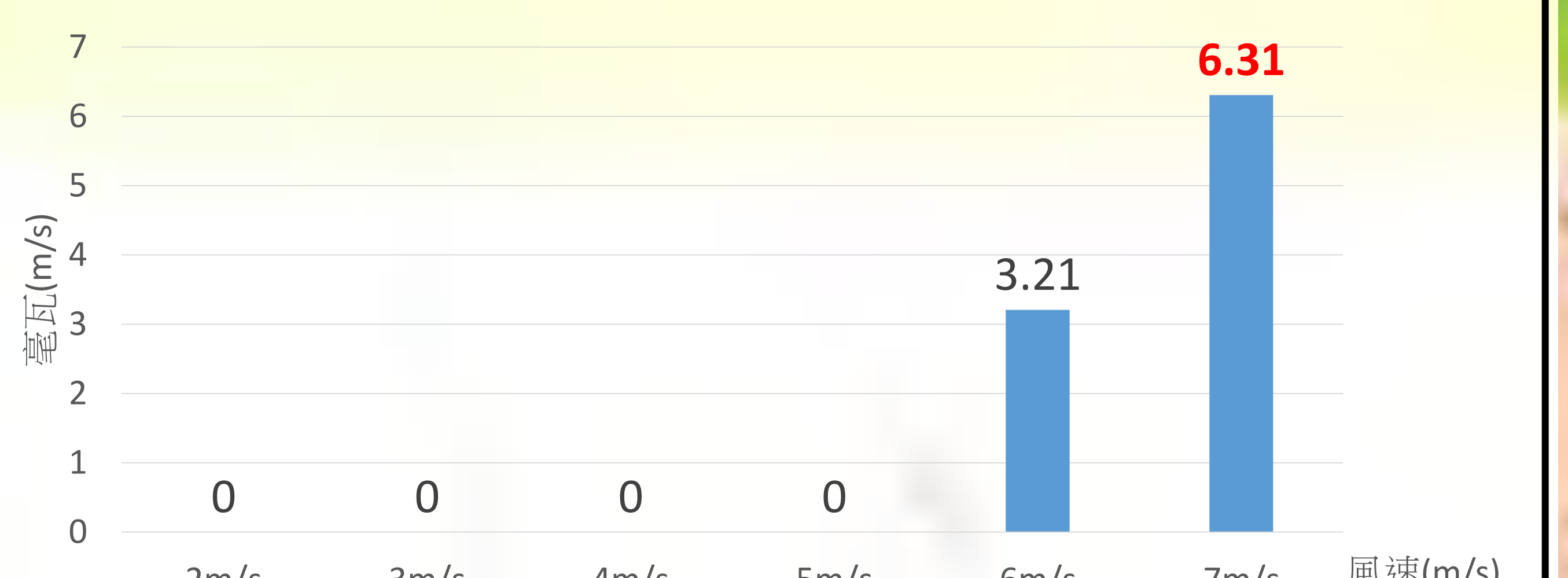
由圖一和圖二可以得知，攻角25度為最佳攻角。圖三和圖四可以知道，旋轉力臂12公分的效能較好。圖五可以知道在升力型的情況之下以片數3片為效能好。圖六可以知道傾斜角0度在升力型扇葉的狀況下效能較好。最後由圖七和圖八可知受風面積大，效能越好。

## 二、阻力型扇葉研究結果

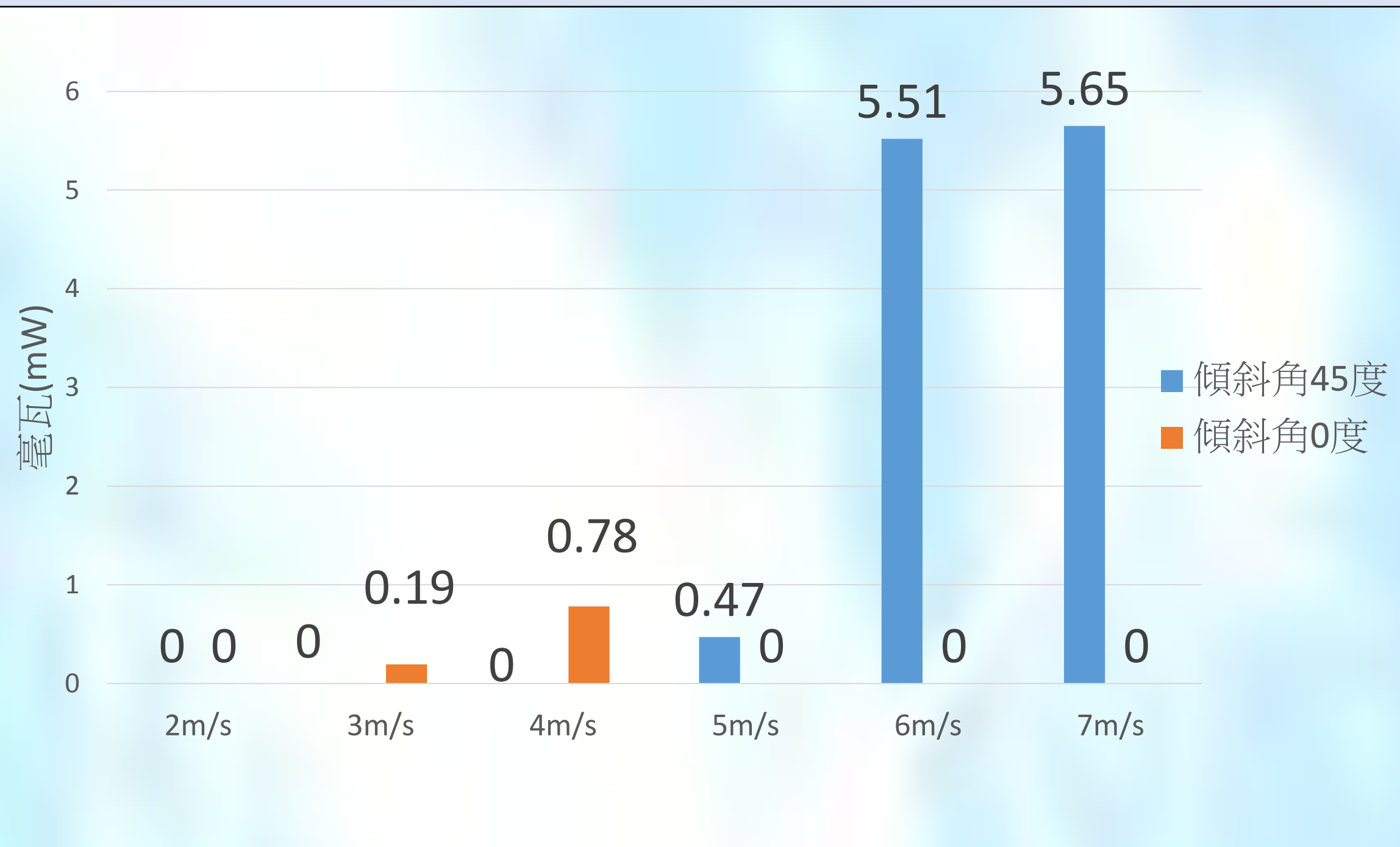
(圖九)不同片數(三片)之發電效能比較



(圖十)不同片數(兩片)之發電效能比較



(圖十一)傾斜角不同(傾斜角45度和0度)之發電效能比較

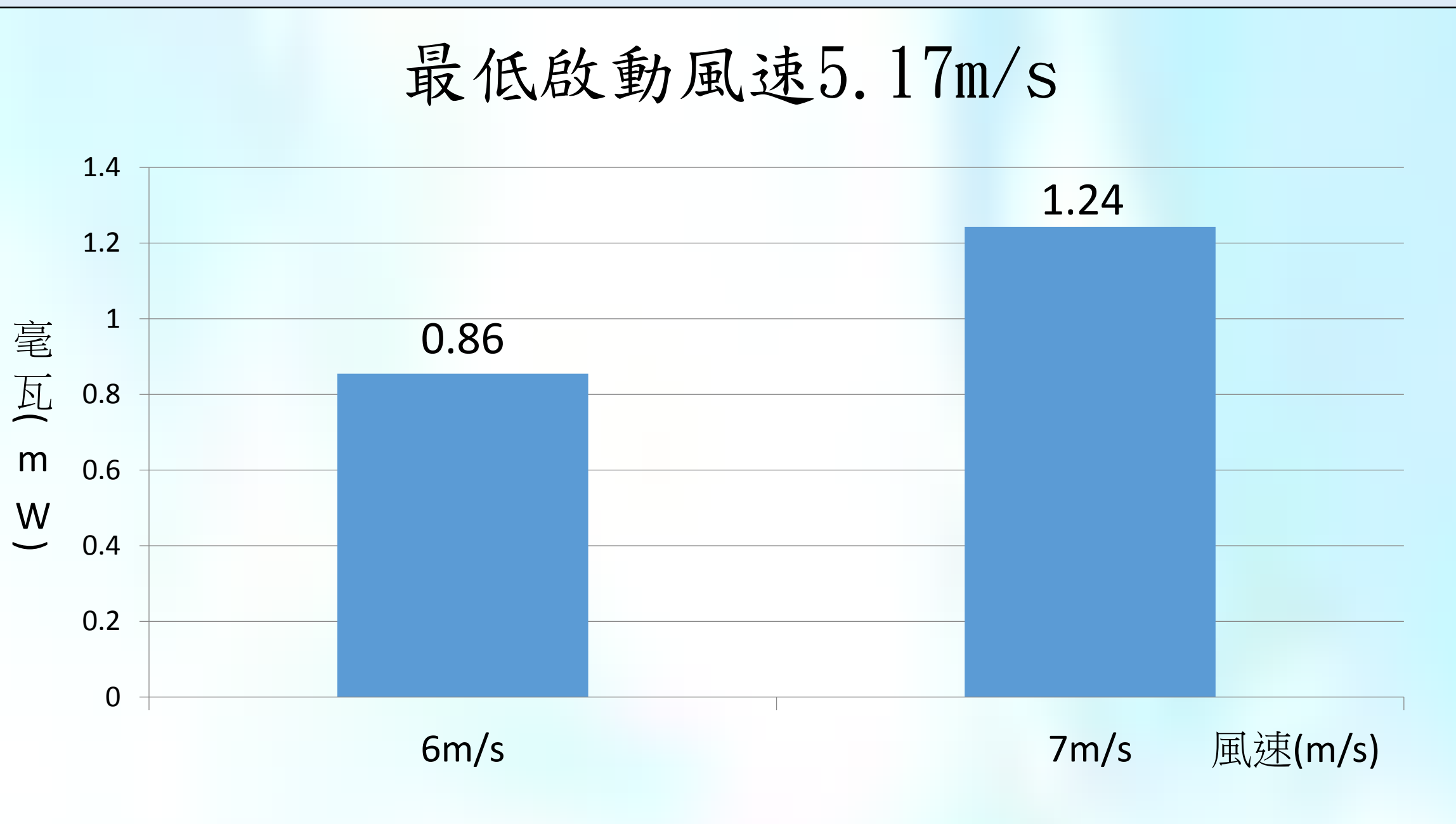


討論:

由圖九和圖十可以知道，阻力型扇葉在兩片扇葉的情況下的效能較高，我們推論是因為風會同時吹向凹曲面扇葉以及凸曲面扇葉，凹曲面扇葉能將風集中，而風吹向凸曲面扇葉時，風會容易隨著扇葉的弧度表面而流走，故風吹像凹曲面的力矩比風吹向凸曲面的力矩還要來的大，進而造成轉動。三片扇葉可能因為拮抗作用明顯而導致效能較低。最後由圖十一得知傾斜角45度的效能較0度好

### 三、蜻蜓仿生扇葉研究結果

(圖十二)傾斜角45度之發電效能比較



討論:

經由一系列的實驗我們發現蜻蜓仿生扇葉在片數三片以及兩片時轉不動。我們把此扇葉和一般升力型扇葉拿去風動作測試，發現升力效應差不多，但我們在側傾斜角效能比較時(如圖十二)，其所表現的特性卻和阻力型扇葉相同，我們推測是因為他在低風速時雖然有表現出升力效應，但這不足以使它運轉；當風速提高時會因為受風面積大，阻力效應大於升力效應而旋轉。

### 四、升力型雙風扇設計及研究結果

#### 1. 裝置成品及介紹



裝置介紹:

本裝置主要是在測試發電機方面的效能比較，是運用扇葉正轉以及反轉進而使磁鐵和線圈相對運動，造成磁通量的改變進而發電。扇葉我們選用升力型扇葉長15公分。本裝置我們探討兩個目的:

- (1)單風扇轉與雙風扇轉的效能比較
- (2)磁鐵的強弱的效能比較



不外加磁鐵



外加普通磁鐵

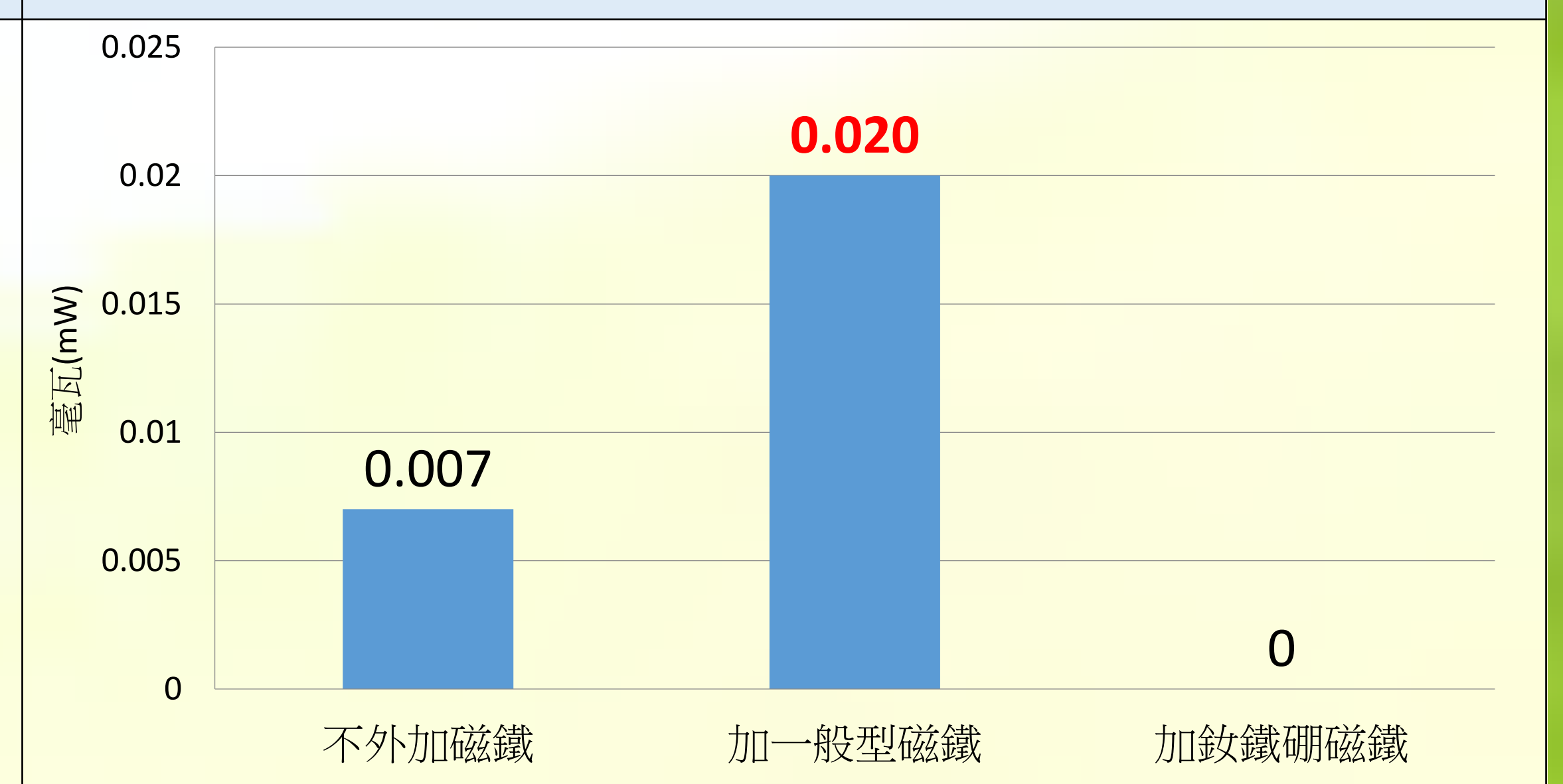


外加強力磁鐵

(圖十三)單風扇轉與雙風扇轉的效能比較



(圖十四)磁鐵的強弱的效能比較



討論:單風扇轉與雙風扇轉的效能比較時，由圖十三可知，雙風扇轉較佳。探討不同磁鐵強弱對發電效能的比較，由圖十四可知，當磁力在適當範圍時，輸出的毫瓦數較強，但當換上磁力太強的鈹鐵硼磁鐵時，因為磁力太強而轉不動。本實驗將四驅車馬達拿去改造，所以測的數值較低。未來我們將自製發電機，探討在不同線圈下，磁鐵磁力大小和不同列陣排列，探討單相及三相整流，希望能測出較高的數值。

## 結論

升力式扇葉採垂直軸組裝，在受風面積大，攻角25度，傾斜角0度及力臂較長可到最大轉速，發電效能最高。關於電磁感應裝置我們採用垂直式雙風扇配合升力式扇葉，希望提升電磁感應的效能，初步試驗證明概念可行，但在受風面積，攻角，感應線圈跟磁鐵的列陣形式可進一步精進。