空穴來風—風扇流場之探討

高中組應用科學科第三名

台南女中　　作　　者：吳慧芬、林蔚玲、張庭芳、彭欣儀
指導教師：廖淑惠

一、研究動機

資源教室的設備一向都很老舊，尤其是嘎嘎作響搖搖欲墜的吊扇，在需要安靜思考時聽起來格外刺耳。在燥熱的天氣下忍痛將風扇關了，四個人盯著天花板發呆，一位同學自言自語道：「吊扇…為什麼葉片有個角度？」就因這句話，其他人紛紛附和：「風車好像也是…」「飛機的螺旋槳…」「CPU散熱用的小風扇…？」「嗯…抽油煙機呢？」「還有竹蜻蜓！」沒想到，這麼多日常用品都有類似的應用，大家精神一來，靈機一動，興起了研究的念頭....。

二、研究目的

最初的疑問是對於偏轉角度所產生的好奇，不同角度對風速有何影響？在一直線或一平面上風速分布如何？我們希望在實驗中能看出各種角度所造成的風速差異。

三、研究設備器材

電風扇（伺服馬達[SERVO MOTOR]+扇葉組）	一台
電扇調速器	一台
三軸自動移動架構	一座
扇葉組（壓克力製20×7㎝）	五組
轉速計	一個
微壓量測裝置	一組
皮托管	一組

（※註：一般電扇轉速約為300rpm，因此本實驗以電扇調速器調整電壓固定轉 速在300rpm。）

四、實驗方式及過程

《實驗一：角度對軸向風速的影響》

（一）實驗步驟：平常使用電扇都位於風扇前方，我們稱之為軸向，也就是在圖1中座標上的X軸，實驗一的目的是想要觀察不同角度在軸向遠近不同各點所形成不同的風速分布。

（二）實驗結果：繪成比較圖2、3；由皮托管量測紀錄結果發現，當扇葉角度60°時，量得壓力差為負值，因此多取一組75°數據，發現壓力差亦為負值；此乃流場本身發生變化所致，欲得到一較準確之風速量測，必須改變量測儀器，如利用熱線測速儀。然而為了有效分析不同角度對軸中心向速度分布之影響，本實驗乃以15°、30°、45°為依據，分析扇葉角度變化之影響。

（三）討論：圖2、3為扇葉角度15°、30°、45°時，中心軸向風速之分布折線圖及曲線配置圖，由圖可知扇葉角度較小時，其最大風速所產生的位置較遠，且其速度的變化較緩，相反的當其扇葉角度增大時，最大風速的位置會向軸心靠近，且速度分布較急遽，如45°的圖形；而15°則明顯呈現緩升緩降的圖形。而45°之最大值雖然較其他兩角度大，但45°風速在遠處即下降至比30°和15°還小，因此可推測在30°~45°間乃有一最佳設計角度，使得此角度所產生最大風速大於30°所產生最大值，在遠處風速又不致下降至比15°小。而圖2中可發現三種角度所產生風速在遠處都呈現上下起伏的情形，由於不明瞭是由何種原因造成，所以將由實驗三的水桌探討。另外，60°和75°所測得的壓力在一開始就呈現負值，所以在45°~60°間很可能有某個臨界角度，使得大於此臨界角之葉片所造成流場並不適宜以皮托管測量。而前述的15°、30°、45°軸向風速並不能顯示出整個立體的流場，以扇葉觀之：扇葉擾動空氣，分離後形成一個流場，三片扇葉形成的三個卜流場可能相互干擾，也可說是三個流場再形成一個大流場；所以軸向風速只能看出一直線上的風速流場再形成一個大流場；所以軸向風速只能看出一直線上的風速分布，欲了解整個流場，量測二維平面上風速的分布是必要的。

《實驗二：二維平面上的風速分布》

（一）實驗步驟：為充分了解軸向垂直面風速分布情形，取扇葉角度15°時軸向位置5cm及32cm（軸向風速最大值處）的yz平面進行y軸和z軸的風速量測，30°時取x = 5cm、18cm（最大值）、26cm的三截面，45°時取x = 5cm、16cm（最大值）兩截面量測。

（二）實驗二的結果與討論：實驗二紀錄繪成函數圖4~10，比較圖12~15；圖11為風由軸向向外擴出示意圖。

圖6、7、8為扇葉角度30°時，軸向為5cm、18cm、26cm之截面分布圖，其中可發現y軸和z軸之速度分布十分相似，故可知風扇轉動時所造成

尾流速度分布不隨截面之角度變化，即表示若以軸中心為圓心，半徑相同處各點速度相同。同時藉由不同截面速度可發現：軸向位置5cm時，速度影響範圍約為16cm，隨軸向位置增加，影響範圍逐漸擴散（見圖12、13），然而在速度分布曲線可發現，其變化趨勢會漸趨組緩和；此乃因流體向下游移動時，為達總能之平衡，會向外擴散，故其較大速度之流體會被減速，因此速度減緩。為充分說明此現象，故利用圖11加以說明，當風由軸向向下游移動時，其最大速度會漸漸減，且影響範圍漸增大。然而15°和45°的截面（圖4、5、9、10）亦呈現對稱的流場結構如30°所求。求取截面上風速與相關位置之經驗公式，以利用風扇設計之參考，並藉由所得之曲線公式可比較不同截面之差異。而將各種角度在距軸心5cm處的yz平面之y軸及z軸分布曲線各自相疊合，得圖14中可看出30°和45°的y軸風速擴散範圍相近，15°則稍大，而在z軸的比較圖（圖15）中也可見到類似情形。另外可發現：在距軸中心近處，同距離的風速大小順序皆為45° > 30° > 15°，可知45°風力較強。

（三）水桌實驗（實驗三）的推展：由實驗中不同扇葉角度之風速分布現象引起了我們對風扇流場之興趣，於是我們藉由水桌實驗觀察角度改變時流場之變化情形。因水流黏滯性較空氣為大，故較易觀察。實驗中以染針釋放染液至葉片，模擬風扇流場。因扇葉擾動空氣，為動態葉片相對於靜態空氣，而水桌中動態水流相對於靜止葉片，皆為一動一靜之相對狀態，因此葉片不需轉動即可模擬風扇流場。藉由水桌我們可對流場有更具體的概念。

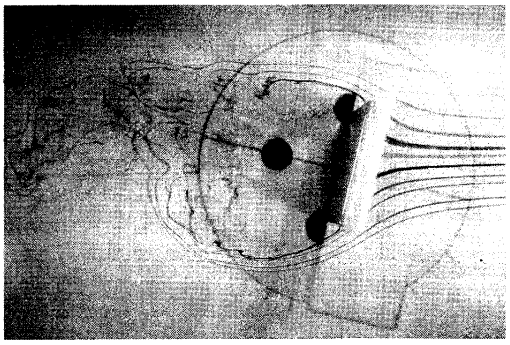
《實驗三 水桌實驗》

（一）水桌實驗結果與討論：為充分瞭解扇葉角度對風扇尾流之影響，其角度變化範圍有15°、30°、45°、60°、75°，由照片可發現當扇葉角度增大時，扇葉對尾流之影響範圍會縮小，即相同軸向截面分布區會減少。在扇葉角度較大時，其尾流區內形成或許多結構明顯的小渦漩，可知其帶有較大能量，由觀察得知，這些渦漩在較近處即匯集，造成風速驟升，而匯集的渦漩形成紊亂流場使能量耗損，此時風速驟降；小角度釋放能量則較緩和，此現象可印証圖3中大角度風速分布呈驟升驟降，小角度則分布較和緩。且由觀察得知，30°和45°尾流區範圍近似，15°則有較寬的尾流區。對照圖14、15中30°和45°風速分布範圍類似，且15°範圍較廣，可互相佐證。而圖2中風速在遠處呈現上下起伏情形，可能是因為誤差，也可能因水桌中所見渦漩在旋轉前進時，不斷改變方向，造成皮托管所量測單向風速有波動之曲線分

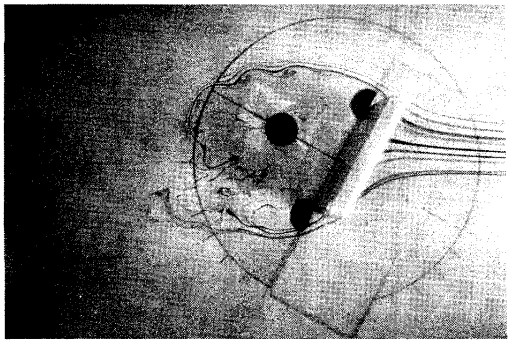
布。是故水桌流場之觀察，可明白風扇流場結構，與速度場量測相比較，便更了解速度分布合理性。

（二）水桌照片：

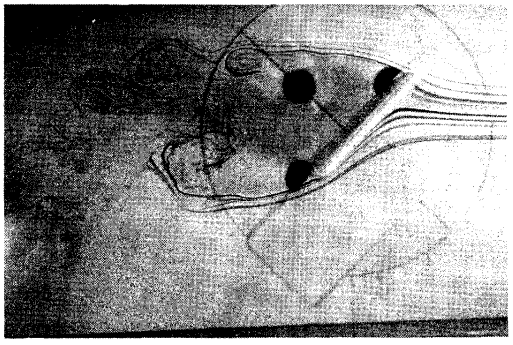
▼ 15°



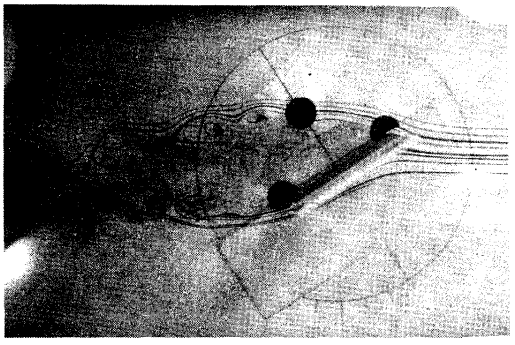
▼ 30°



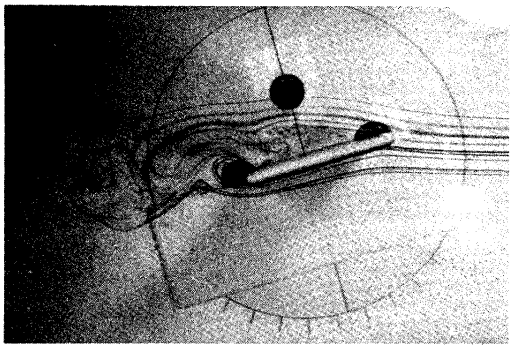
▼ 45°



▼ 60°



▼ 75°



五、結論

（一）當扇葉角度愈小，其最大風速在X軸上出現的位置較遠，且速度曲線的上升和下降趨勢亦較和緩，在應用上，如果多取幾組不同角度的X軸向風速分布圖，將最大風速座標連成一線，求出其方程式，就可利用此方程式求得各角度下最大風速位置；實用方面，可根據不同距離之需要，而調整不同角度，以產生最大風速而達最大功效。例如使用於CPU之小風扇或其他散熱功能，得到較強風力以得最大助益。

（二）60°和75°扇葉所得流場所測得壓力差為負值，此乃因尾流場結構增強，使得皮托管中側孔壓力大於正孔壓力，皮托管無法正確量測，故必須改變測量儀器，如利用熱線測速儀。

（三）軸向之速度分布，起先穩定上升和下降，在越遠離X軸則開始出現波動，藉由水桌觀察，推測可能為風扇尾流會產生一波波釋放的渦漩，因許多渦漩旋轉，使風向改變頻繁，影響所得壓力差，故風速曲線有上下起伏情形；因此推測渦漩釋放之行為是影響皮托管量測之主因。

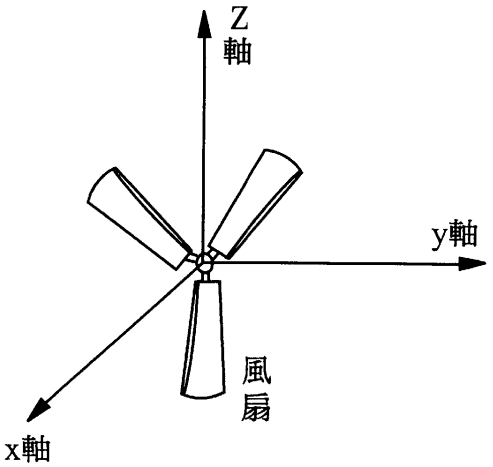
（四）在水桌中我們可見角度大扇葉流場結構較集中，且影響範圍變小，藉由風由軸向噴出的速度模型得知，從扇葉吹出的風會向外擴散，由軸向截面分布知風速最大值出現在距旋轉中心12cm處，且以此為中心向外或向內擴散。

（五）由軸向分布速度之結果，發現扇葉角度15°及30°其速度分布趨勢一致，但二者間速度變化較大。當扇葉角度在45°時，其速度分布會呈現驟升驟降之現象，由此可知角度在30°以下之速度分布較和緩，但45°以上較陡。同時發現45°和30°間速度變化較15°與30°間差值來得小，故可知扇葉在30°~45°間有一較佳設計角度，使其最大值大於30°之最大值，在遠處又不致下降至比15°小。

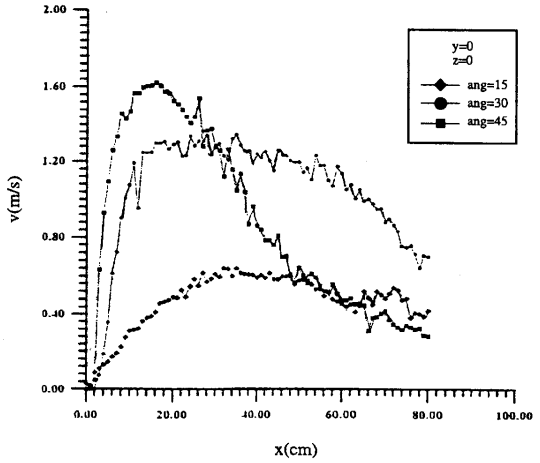
（六）由軸向垂直截面之速度分布，可知風扇流場是一以軸中心上下左右對稱的立體結構。

（七）在不同角度平面上風速，距軸中心5cm的平面，y軸和z軸上同一點風速以45°最大，30°次之，15°最小，擴散範圍45°和30°相差不多，而15°的範圍稍大。

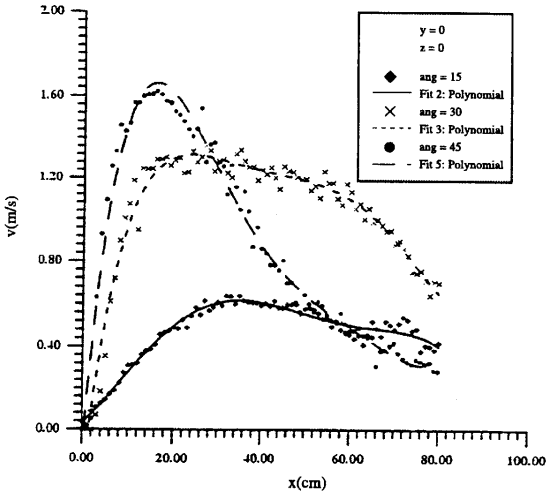
《附錄圖表》



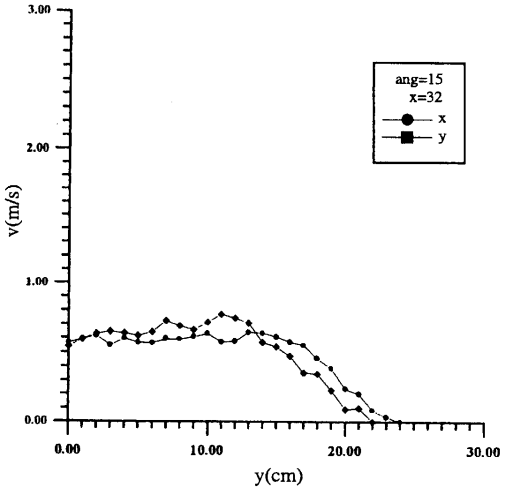
（圖1）方向圖示



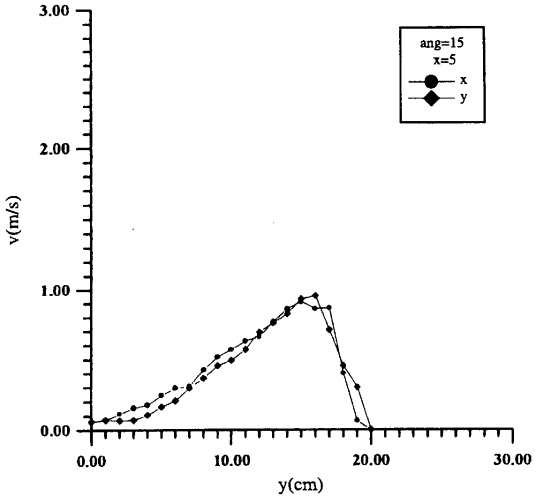
（圖2）X軸向15、30、45度的實驗折線比較圖



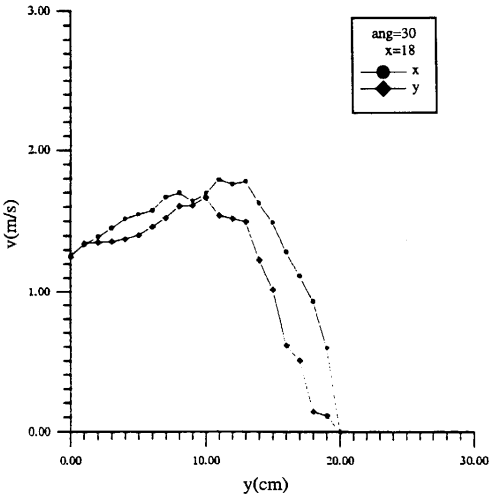
（圖3）X軸向15、30、45度曲線配置比較圖



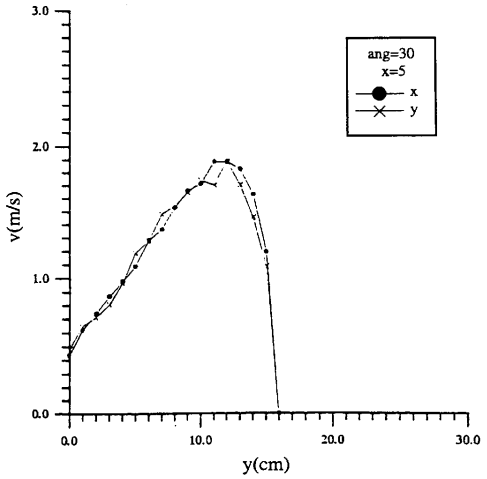
（圖5）15度X軸向32cm處的二維平面y-z比較圖



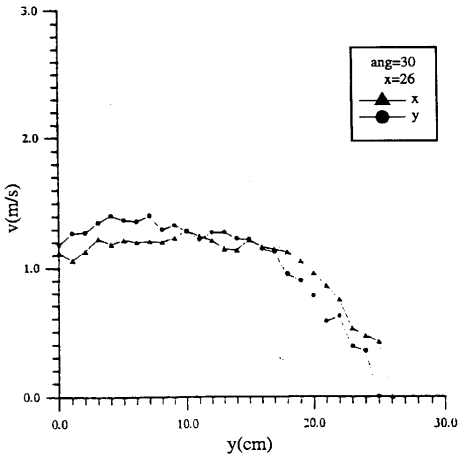
（圖4）15度X軸向5cm處的二維平面 y - z 比較圖



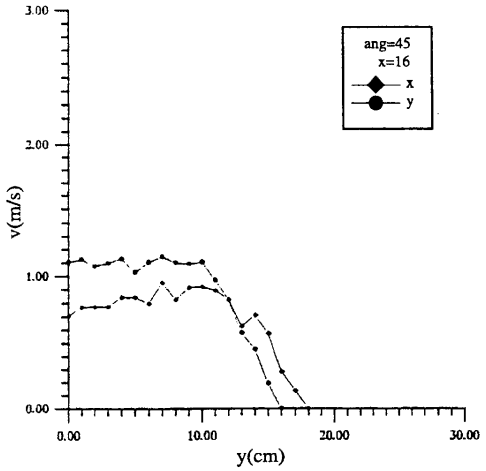
（圖6）30度X軸向Vmax的二維平面y - z 比較圖



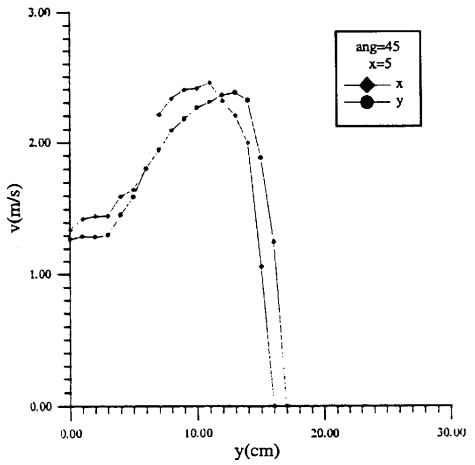
（圖7）30度X軸向5cm處的二維平面 y - z 比較圖



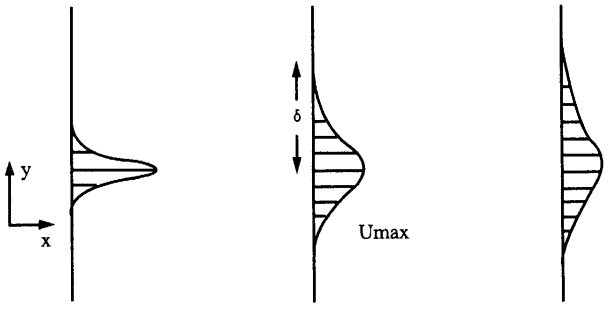
（圖8）30度X軸向26cm處的二維平面 y - z 比較圖



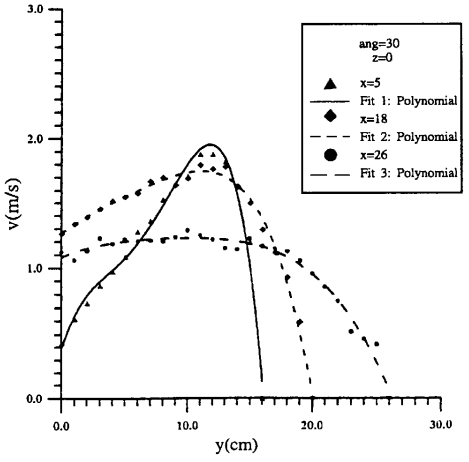
（圖9）45度X軸向Vmax的二維平面y - z 比較圖



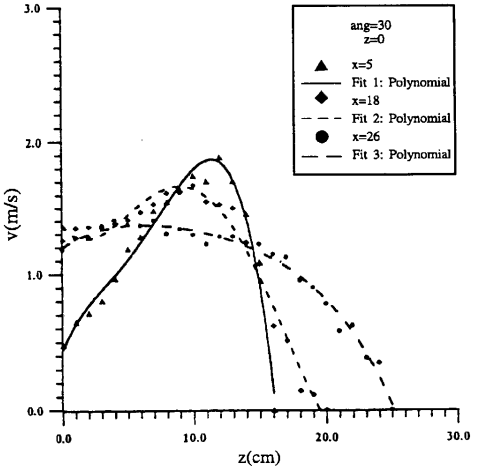
（圖10）45度X軸向5cm處的二維平面 y - z 比較圖



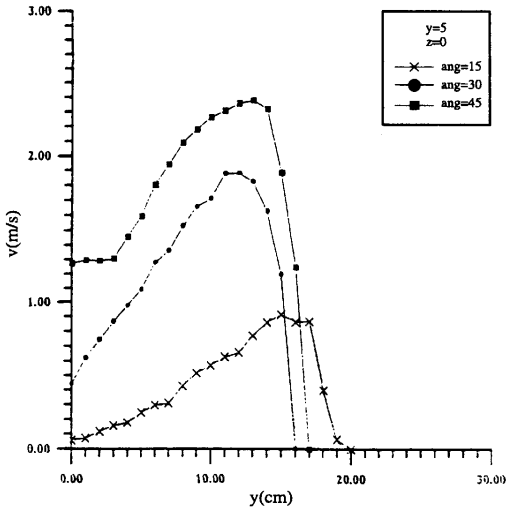
(圖11)風由軸向向外擴出表示圖



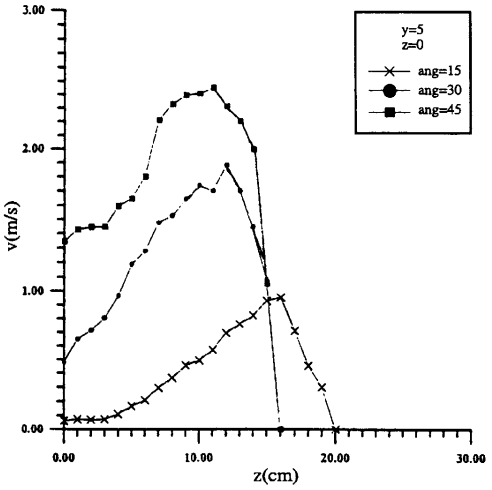
（圖12）30度y軸向5、18、26cm處風速曲線配置比較圖



（圖13）30度Z軸向5、18、26cm處風速曲線配置比較圖



（圖14）15、30、45度二維平面y軸的比較



（圖15）15、30、45度二維平面z軸的比較

評語

1.以三片扇葉片鎖於馬達轉軸上，改變葉片之位置、角度，並以皮托管測壓計，量測風速，探討流場是具創意的主題。

2.量測及理論演算，數據分析合乎科技研究的方法，思考嚴謹，呈現良好的研究態度。

3.研究報告及壁報論文撰寫良好。作者現場表達清楚，呈現完整性。