

彰化縣 107 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選

作品說明書

作品編號： 22042

組別：
國小組
數學類
國中組
自然與生活科技類
人文社會類

作品名稱：真的是 23.5 度嗎？

第一階段 研究訓練階段

一、近二年學校獨立研究課程之規劃

為培養學生主動探究解決問題的能力，學校長期致力於專題課程的設計，鼓勵學生透過團隊合作，對於引發他們好奇心、感興趣的主題做深入的探討與研究。學期初辦理獨立研究說明會，藉由獲獎師生的經驗分享，激發學生們投入研究享受思考的興趣，鼓勵學生從生活中去發現主題。進行研究的指導與規畫方面，資優資源班學生於課程中即排定獨立研究課程，普通班學生則協助安排指導老師，透過老師的引導，利用課餘時間進行研究。課程內容規劃方面如下：

- 1.講授科學研究方法
- 2.講授實驗記錄、數據處理與誤差分析。
- 3.文獻探討與整理。
- 4.問題解決教學。
- 5.實驗操作及分工合作實驗與操作。
- 6.實地考察、參訪野外考察與實地參訪。
- 7.資訊科技融入研究專題報告，規劃並進行專題探討。

二、學校如何提供該生獨立研究訓練

兩位學生為二年級學生，因緣際會之下參加了師大的綠能科技相關營隊，便開始對太陽能產生濃厚興趣，因此藉由自然科學類探究與實作方式，培養其科學研究態度技能及合作情誼。

訓練階段	106.10-106.11	基本電學與太陽能源認識
	106.11-106.12	太陽光線問題探討
	106.12-107.1	太陽能板問題探討
	107.1-107.2	資訊科技融入(報表製作學習)
研究階段	107.2-107.12	彙整發電資料與模擬太陽能板發電量
	107.10-107.12	研究報告的撰寫
	107.12~	獨立研究發表會

第二階段 獨立研究階段

一、研究動機

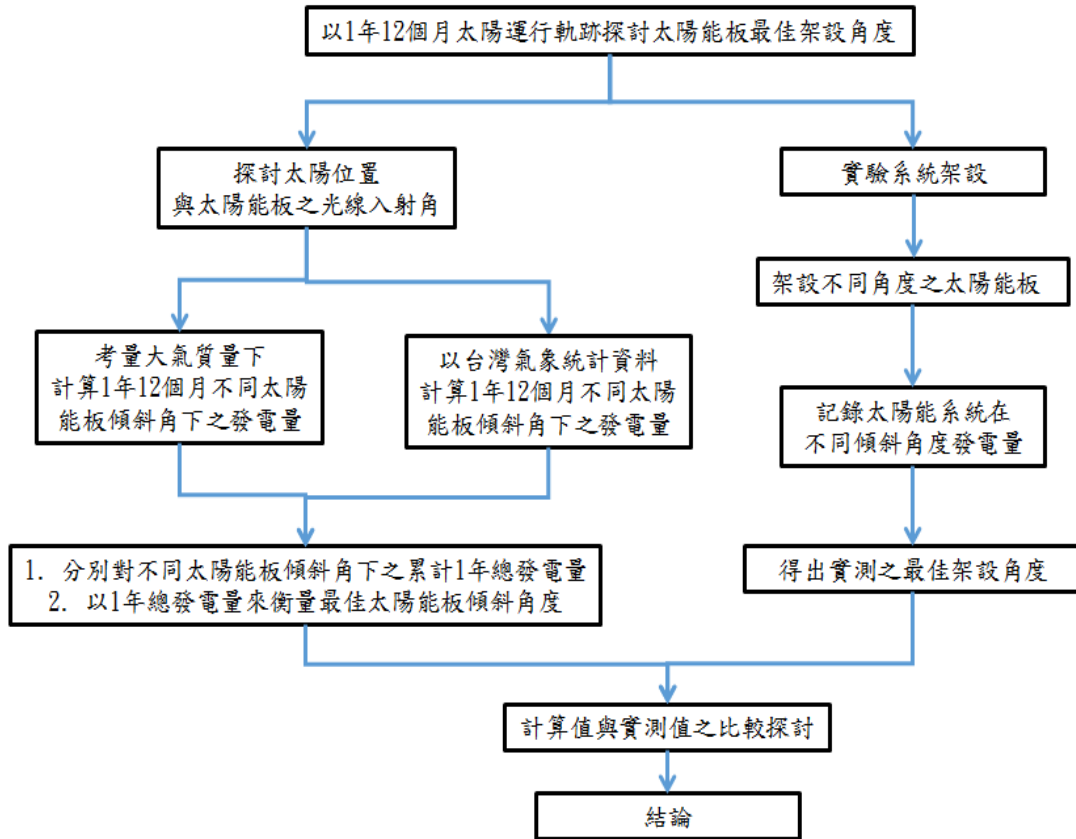
隨著環保意識抬頭與綠色能源科技的發展，彰化到處各地都看到太陽能發電系統的架設，小至太陽能路燈，大至整個雞舍或豬舍。仔細觀察覺得很特別，太陽能板幾乎都朝南架設，並有一傾斜角。經上網查詢，其答案為因台灣位於北半球，故架設方位朝南；又因台灣位於北迴歸線，緯度為 23.5 度，故傾斜角為 23.5 度，接著查到之前也有科展作品說是 40 幾度，可是詢問太陽能業者又大多架設於 10 度左右。這引起我們的好奇，太陽能傾斜角為 23.5 度是否為最佳角度？到底太陽能板最佳傾斜角是如何決定？

台灣位於北回歸線，在春分、夏至、秋分與冬至之太陽仰角，分別為 66.5 度、90 度、66.5 度與 43 度。若太陽能板傾斜角架設 0 度，夏天可正對太陽，發電效率會最高，然在冬天時會因太陽入射角度偏離 90 度太大而發電效率會大幅低落。反之，若太陽能板傾斜角架設 47 度，冬天會因太陽入射角度幾乎呈 90 度，發電效率會大幅提高，然在夏天時同樣會因太陽入射角度偏離 90 度太大而發電效率也會大幅低落。故取春分與秋分之太陽仰角為 23.5 度為最太陽能板傾斜角最適合。也就是目前大家所認為：架設太陽能板時，其傾斜角要等於架設地點的緯度。然此認知似乎犯了嚴重的假設錯誤，也就是當一年四季日照量均一致，才會成立。

所以，我們的研究以太陽運行軌跡，探討一年 12 個月在不同太陽能板傾斜角的有效日射量。接著，進一步考量大氣質量，探討一年 12 個月在不同太陽能板傾斜角的發電量，以及整年累計發電量。最後，並以實際台灣經典氣象年之全日空輻射量來相互比對探討驗證之。本研究也同時實際架設 4 種傾斜角：7 度、15 度、24 度(彰化位於北緯 24 度)與 31 度的太陽能板，實際量測記錄發電量，來探究太陽運行軌跡與發電量之關係，以及驗證在彰化太陽能板的傾斜角等於架設地點的緯度 24 度是否有最高的發電量？

二、擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

(一)擬定正式計畫



(二)研究問題:

1. 以太陽運行軌跡，探討一年 12 個月對不同太陽能板傾斜角的有效日射量影響。
2. 以太陽運行軌跡以及大氣質量，探討一年 12 個月對不同太陽能板傾斜角的發電量影響。
3. 以氣象資料與天文資料模擬發電量，探討太陽能板最佳傾斜角。
4. 架設不同傾斜角太陽能板，實測發電量之大小，探討太陽能板最佳傾斜角。

(三)工作進度表

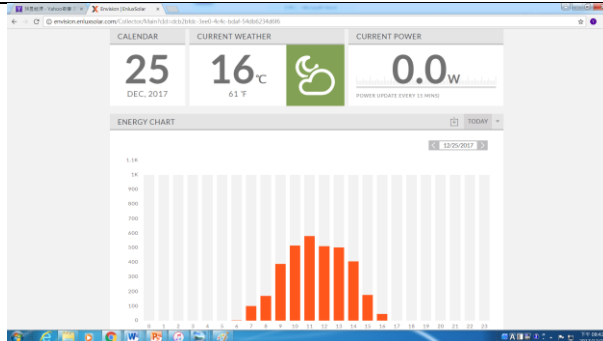
	106 / 11	106 / 12	107 / 1	107 / 2	107 / 3	107 / 4	107 / 5	107 / 6	107 / 7	107 / 8	107 / 9	107 / 10	107 / 11	107 / 12
資料與文獻收集	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
台灣日射量分佈探討與資料比對			■	■	■	■	■							
光線入射角與發電量之探討						■	■	■	■					
估算太陽能系統在每月不同架設角度發電量								■	■	■				
求得理論之最佳太陽能系統架設角度										■	■	■		
不同傾斜角度太陽能系統架設	■	■												
記錄太陽能系統發電資料			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
最佳太陽能系統架設角度理論與實測值之比較探討											■	■	■	
報告撰寫												■	■	■

(四)實驗設備

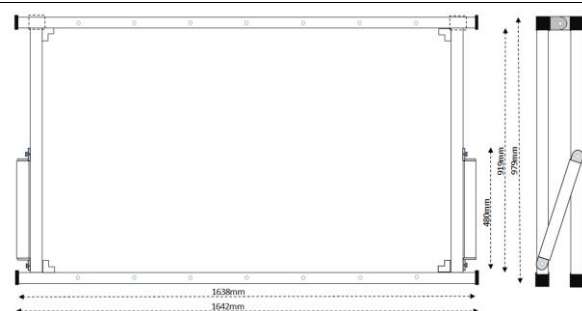
1. 太陽能發電板(260W)*4 塊



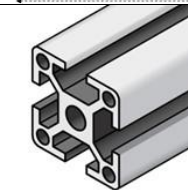
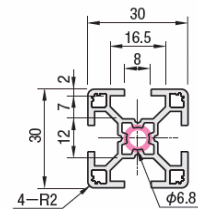
變頻器+電力紀錄器 *4 組



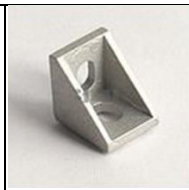
2. 可調角度太陽能腳架*4 組



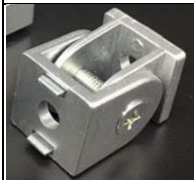
NFSL6-3030
HFSL6-3030
(輕量型)
HFSLB6-3030
(輕量型・黑色陽極處理)



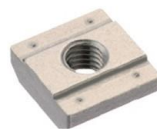
鋁擠型 3030 系列
1638mm * 16 支
919mm * 16 支
400mm * 8 支



直角連接支撐架
48 個



鋁擠型 3030 系列
角度調整連接塊
8 個



鋁擠型用預裝螺帽
M6 200 個



SUS 六角螺栓
M6*8mm *60 支



SUS 內六角螺栓
M6*10mm *150 支
SUS 內六角螺絲
M8*20mm 16 支

3. 太陽能板組裝及清潔工具

帶鋸機	捲尺	角度量測器	沙包
			
電鑽	內六角扳手	扳手組	棘輪扳手
			
指南針(手機)	電表	尖嘴鉗	老虎鉗
			
C 型萬力鉗	香檳槌	剪刀	起子組
			
掃把	畚斗	水桶	拖把
			

三、彙整相關文獻：

隨著環保意識抬頭與綠色能源科技的發展，世界各國均投入相當多的人力與資源進行綠電的建置與發展。其中又以太陽能發電最為普及，累計至 2017 年，裝置容量已達 402GW，並快速繼續增加。402GW 有多大?若以台灣核一廠 0.66GW 發電機組來算，全世界的太陽發電裝置容量約等於 615 座核一廠 0.66MW 發電機組。行政院綠能科技產業創新推動方案中提到台灣 2016 年太陽發電裝置容量約 1.2GW，預計到 2025 年會成長到 20GW。所以如何提高太陽能發電效率不僅對台灣也是對地球非常重要的研究課題。

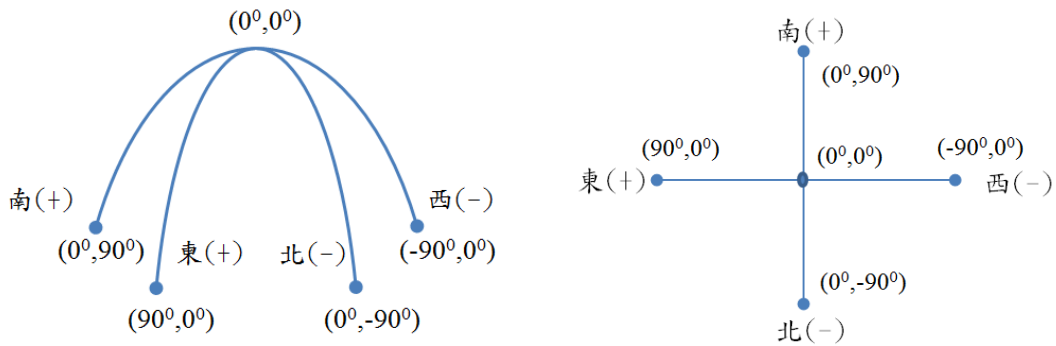
如果以太陽能發電系統之架設方式，其可分為追日型與固定型。顧名思義，追日型就是太陽能板會追隨太陽的位置而改變其太陽能板的方向與仰角。而固定型太陽能發電系統其太陽能板是固定的，所以不能改變其方向與仰角。以發電效率而言，追日型太陽能發電系統明顯高於固定型太陽能發電系統，約可高 15%-45%。可是追日型長久以來有兩大問題為人所詬病：第一，機構容易毀損、維護不易。第二價格昂貴。因此，追日型已退出主流商業市場，目前僅見於示範系統或一些特殊應用。由此可知，改進固定型太陽能發電系統才能對全球太陽能發電量起作用，而改進其發電效率除光電材料的改良外，就是架設角度了。

已經有一些文獻與科展作品探討光線入射角對太陽能發電效率之影響，從資料可看出光線垂直於太陽能板，發電效率最好，隨著角度偏移越大，發電效率也隨之遞減。不過，上述的研究探討均是瞬間或一天短周期的，而我們規劃的研究是以一整年長周期來探討在實際應用上的情況，這點是非常不同的。此外，上述的一些研究也忽略了太陽能板最大功率點追蹤(MPPT)問題，也就在不同照度下，太陽能板需工作在不同電壓與電流，才能保持最高的光-電轉換效率，也就是最大的功率輸出，若用固定負載進行實驗會導致錯誤的結果。以一整年來看，太陽位置是會變的，如何根據太陽運行軌跡，決定固定型

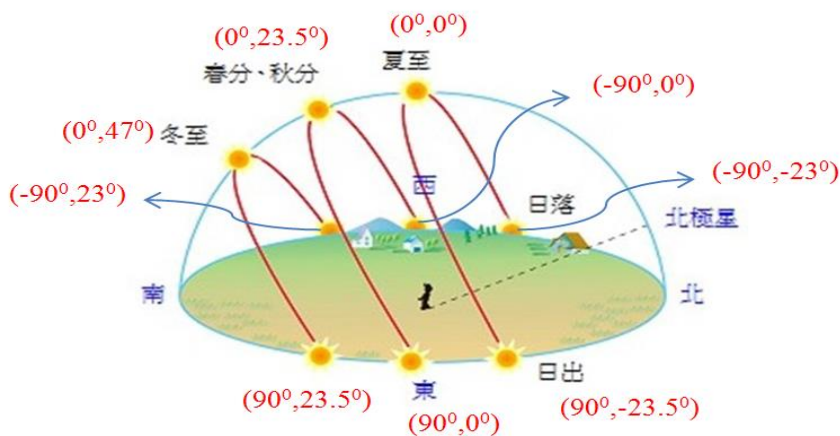
太陽能發電系統的最佳角度是值得探討的。因此，我們的研究主要從天文的太陽運行軌跡與大氣質量著手探討之。

因太陽能板最佳架設方向角為 180 度(正南方)，所以我們的研究設定太陽能板架設方向角為 180 度(正南方)下，探討一年 12 個月太陽的仰角對不同太陽能板傾斜角之發電量影響。

在描述太陽運行軌跡方面，我們使用東西向太陽入射角 θ_{EW} 與南北向太陽入射角 θ_{SN} 來表示太陽的位置 $(\theta_{EW}, \theta_{SN})$ ，如左下圖所示，而右下圖為從天頂所看之座標平投影圖。



太陽入射角座標的原點定在所處位置，也就是與地面成 90° 垂直之法線處。每天太陽東昇西落，所以每天東西向入射角 θ_{EW} 從 90° 變化至 -90°，而南北向入射角 θ_{SN} 會隨季節不同而改變。下圖為在北緯 23.5° 位置，在春、夏、秋、冬於日出、中天與日落時之太陽入射角座標。



因太陽能板有效日射量是直接由太陽入射角所決定。假設每個太陽能板每平方公尺在傾斜角 θ_{Solar} 下所接收之有效日射量L可由下

式求得：

$$L = 1000 \cdot \cos(\theta_{EW})\cos(\theta_{Solar} - \theta_{SN}) \quad \dots\dots(1)$$

若太陽能板的面積為 A ，轉換效率為 η ，則太陽能板發電量 P 可表示為：

$$P = 1000 \cdot A \cdot \eta \cdot \cos(\theta_{EW})\cos(\theta_{Solar} - \theta_{SN}) \quad \dots\dots(2)$$

而太陽能最大發電功率 P_{max} 可表示為 $1000 \cdot A \cdot \eta$ ，故(2)式太陽能板發電量 P 也可以表示為：

$$P = P_{max} \cdot \cos(\theta_{EW})\cos(\theta_{Solar} - \theta_{SN}) \quad \dots\dots(3)$$

由於太陽入射角不同，穿過大氣層的厚度隨之也會不同，通常用大氣質量 (air mass, AM) 來表示。並規定太陽入射光與地面的夾角為 90° 時大氣質量為 AM1。其他入射角的大氣質量可以用入射光與地面的夾角 γ 的關係表達，即 $AM=1/\cos\gamma$ 。也就是說，**若考量大氣質量，(3)式應修正為**

$$P = P_{max} \cdot \cos(\theta_{EW})\cos(\theta_{Solar} - \theta_{SN})\cos(\gamma) \quad \dots\dots(3)$$

而角度 γ 為東西向太陽入射角 θ_{EW} 與南北向太陽入射角 θ_{SN} 的最大值。有關太陽日出時刻、日沒時刻，中天時仰角與方位角等資料，我們可直接參考中央氣象局中天文星象的資料，並使用(1)式、(2)式與(3)式，即可算出有效日射量與太陽能板發電量，用以探討最適合的太陽能板傾斜角。

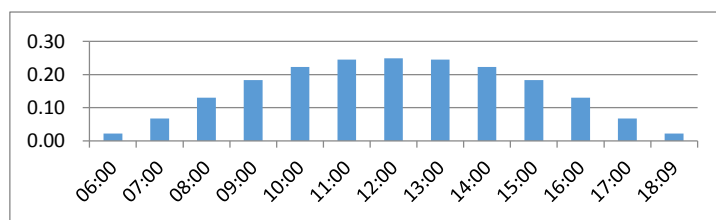
另外關於太陽日射量，我們上網有找到以年或月為時間單位的資料，後來討論之後決定要採用文獻中計算出經典氣象年之全日空輻射量 (MJ/m^2)。

四、資料分析

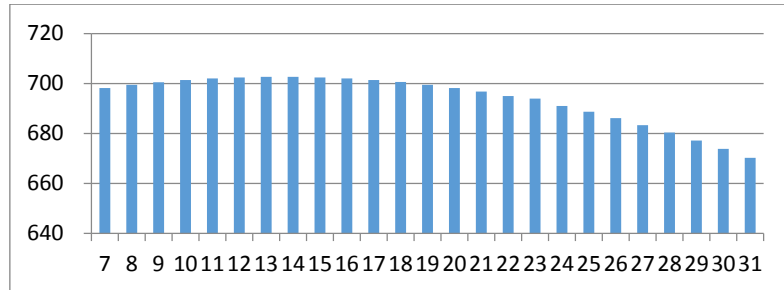
為方便計算，我們使用 Excel 來計算一天中每小時發電量(kWh)，如下表所示，以春分 3 月 21 日為例。首先，由中央氣象局網站，可查出 3 月 21 日日出時間為 6:00、方位角為 89° ，日落時間為 18:09、方位角為 271° ，中天時之仰角為 24 度，並將其鍵入表中，以及太陽能板傾斜角度也鍵入表中。接著，以均分法，填入每小時之東西向太陽入射角 θ_{EW} 與南北向太陽入射角 θ_{SN} 。

太陽能板最大功率 0.26KW	春分日期 3/21	日出方位 89	台中彰化											日落方位 271
		06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:09
東西向太陽入射角		85.0	75.0	60.0	45.0	30.0	15.0	0.0	15.0	30.0	45.0	60.0	75.0	85.0
南北向太陽入射角		-1.00	3.17	7.33	11.50	15.67	19.83	24.00	19.93	15.87	11.80	7.74	3.67	-1.00
太陽能安裝傾斜角度	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	夾角	8.00	3.83	-0.33	-4.50	-8.67	-12.83	-17.00	-12.93	-8.87	-4.80	-0.74	3.33	8.00
太陽與太陽能板南北向入射角 (絕對值)		8.00	3.83	0.33	4.50	8.67	12.83	17.00	12.93	8.87	4.80	0.74	3.33	8.00
太陽與太陽能板東西向入射角		85.00	75.00	60.00	45.00	30.00	15.00	0.00	15.00	30.00	45.00	60.00	75.00	85.00
時發電量		0.02	0.07	0.13	0.18	0.22	0.24	0.25	0.24	0.22	0.18	0.13	0.07	0.02
日發電量		1.978233997												

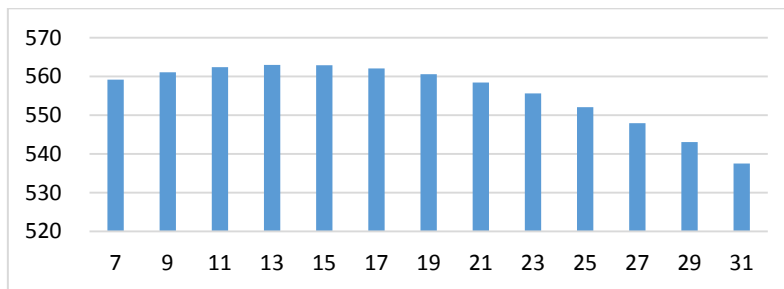
再來使用(3)即可算出太陽能板每小時發電量，如下圖所示，最後將其累計即可得到日發電量 1.978 度(kWh)。為減少計算量以及與太陽日射量以月為時間單位計算，我們取每個月 21 日之資料為參考值，並算出其日射量與發電量，最後乘上該月之天數當為該月之日射量與發電量。



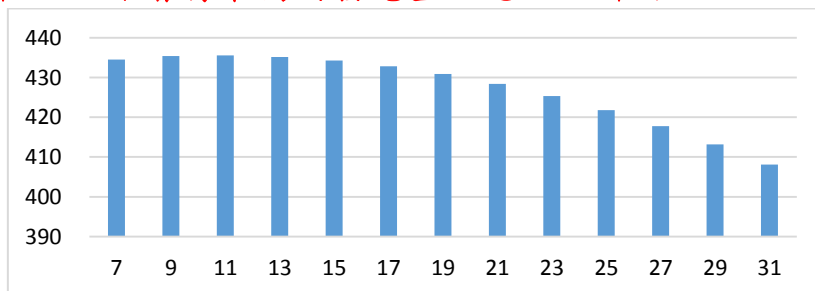
如此重複上述步驟，可得出太陽能板傾斜 7° 下每月之發電量，加總後可得整年之發電量。重複上述步驟依序求出太陽能板傾斜角 8° - 31° 整年發電量，並使用長條圖繪製如下圖。由圖可清楚看出，太陽能板傾斜 23.5° 不會有最高的發電量，應該傾斜約 12° - 16° 。



接著我們將大氣質量考量下去，太陽能板傾斜角 7° - 31° 整年發電量如下圖，可看出，太陽能板傾斜 23.5° 不會有最高的發電量，應該傾斜約 11° - 17° 。



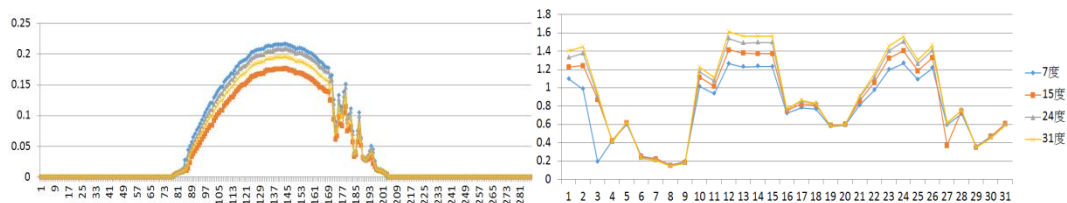
接著我們也以經典氣象年之全日空輻射量(MJ/m^2)來考量，將台中的資料帶入，並經 0.7 倍正規化，得出結果如下圖。可看出，太陽能板傾斜 23.5° 不會有最高的發電量，應該傾斜約 9° - 13° 。



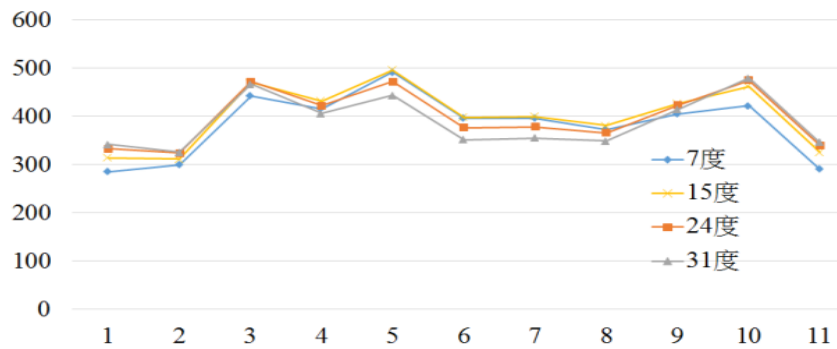
為驗證上述的分析，我們也實際架設 4 塊太陽能板，其傾斜角度分別為：7°、15°、24° 與 31°。



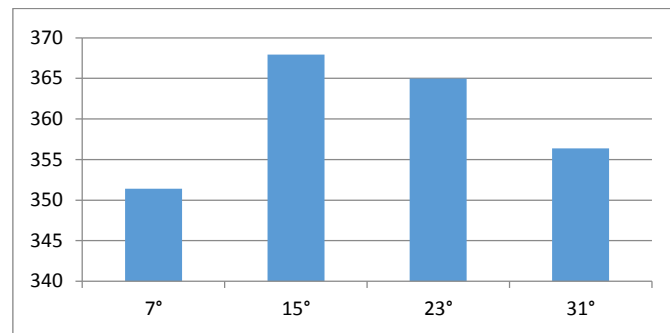
在實際量測資料中，我們可將每 5 分鐘所量測的資料用 Excel 用曲線圖繪出，如左下圖所示。可看出，在 1 月 1 日當天因太陽在中天時之仰角為 43 度，故發電量的大小依序為太陽能板傾斜 31°、24°、15° 與 7° 是合理的。接著，我們將該天的發電功率乘上時間並累加起來，就可得到當天的發電量。重複上面的步驟，也將 1 月 2 日到 1 月 31 日的發電量算出，即可得到 1 月份的發電量曲線，如右下圖所示。從 1 月份的發電量曲線可看出，當日照充足時，太陽能板傾斜 31° 的發電量明顯最大，接著依次為 24° 與 115°，7° 最小。



接下來，我們將該月的發電量累加起來，就可得到 1 月份的發電量。重複上面的步驟，也將 2 月到 11 月的發電量算出，即可得到 2018 的發電量曲線，如下圖所示。從圖中我們可觀察太陽能板傾斜 31 度與 7 度的曲線可清楚看出，在春秋兩季(例如 4 月、9 月)兩者發電量差異不大，然在冬季(例如 10 月、11 月)，太陽能板傾斜 31 度的發電量明顯高於 7 度的發電量，而在夏季(例如 5-7 月)，太陽能板傾斜 7 度的發電量明顯高於 31 度的發電量。以上說明了太陽的運行軌跡，確實直接影響不同太陽能傾斜角的發電量，可以直接由中天時太陽之仰角約略判斷合適之太陽能傾斜角。



最後，我們分別將太陽能板傾斜 7° 、 15° 、 24° 與 31° 在 2018 年(缺 12 月份)的發電量累計，可得出其發電量分別為 351.4 kWh、367.9 kWh、365.0 kWh、356.4 kWh，如下圖所示，可算出太陽能板架設 15 度的發電量比架設 24 度多出 0.8% 發電量。



五、研究結果與討論

根據上述的資料分析，我們得出三個結果一個問題，並對於發生的問題進行原因探討，分別敘述如下：

結果 1：完成以 1 年 12 個月不同太陽運行軌跡對不同太陽能傾斜角之發電量數值計算，結果顯示太陽能傾斜 23.5° 並不會得到最大發電量，而是大約傾斜 12° - 16° 。若考量大氣質量，太陽能最佳傾斜角約約 11° - 17° 。若以台中經典氣象年之全日空輻射量(MJ/m^2)來考量，太陽能最佳傾斜角約約 9° - 13° 。

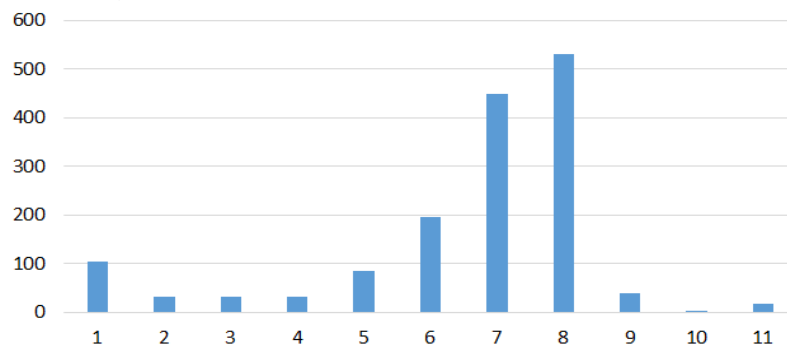
結果 2：完成架設 4 塊太陽能板，其傾斜角度分別為： 7° 、 15° 、 24° 與 31° ，並成功收集 2018 年 1 月至 11 月發電數據。累計量測結果顯示太陽能傾斜 23.5° 也不會得到最大發電量。太陽能傾斜 15° 發電量最高，比傾斜 23.5° 高約 0.8%。

結果 3：綜合數值計算結果與實際量測結果，“太陽能發電系統架設的傾斜角要等於所處位置的緯度”這句話是非常有疑慮。至少從我們研究所獲得數據中，它是不成立的！這也讓我們學習到科學要有追根究柢與存疑求真的精神。



問題 1：理論上夏天太陽日射量明顯大於其他季節，為何整體量測資料顯示 7、8 月之發電量較 5 月與 10 月低？

問題探討：找出今年 108 年之降雨資料，如下圖所示，可看出在 6、7、8 月之降雨量，尤其是 7、8 月明顯高於其他月份。所以我們推測 7、8 月之發電量較低之原因在於受氣候（陰雨天多）的影響。



六、評鑑與檢討

(一) 尋找研究動機的出發點

發覺問題：

現在太陽能發電系統越來越普遍，但即使相隔不遠太陽能發電系統，它們的架設傾斜角都不盡一致。大家都說傾斜角要 23.5 度，真的嗎？為什麼？

解決方法：

1. 上網找尋相關文獻資料。

網址	內容摘要
http://www.tec.url.tw/solarview.php?id=34	台灣的緯度在北緯 22~25 度之間，傾斜 25 度時可以使冬天太陽光直射在集熱板上，該角度可以達到最佳的集熱(或發電)效果。
http://www.hengs.com/solar-product%20qa.html#03	以並聯系統而言一般採用當地緯度作為適當傾斜角度
http://mypaper.pchome.com.tw/fanyoungchi/post/1321242230	以台灣地理位置而言，裝設角度以 23.5 度較合適

2. 訪問太陽能發電系統業主與工程人員。

施工業者	內容摘要
A 業者，已有超過 10 年經驗	以前有架設 23.5 度，甚至有一個是 34.5 度，但近幾年都安裝在 10 度左右，甚至有些小於 8 度，從發電情況來看，感覺有比 23.5 度好。另一原因是受風面小，比較安全。
B 業者，已有約 5 年經驗	以我的經驗，角度由好至差依序是 15 度左右、23 度左右、10 度左右。
C 業者，已有約 8 年經驗	雖然工研院跟我們說 23.5 度，但我們公司架設是以 12 度為主，若建築物朝北會架到接近 0 度

心得收穫：

發現理論似乎跟業者在實際現場的經驗有出入，而我們的研究結果跟實際上業者裝設的角度較為接近，或許也有幫大家解惑呢！

(二)擬定正式計畫及研究問題的困難及解決方法

發覺問題：

閱讀文獻資料後，了解到日射量與太陽照射角度對太陽能發電系

統的發電量是最主要因素。日射量資料可由中央氣象局或文獻資料取得，太陽照射角度也可由太陽運行軌跡公式求得或由中央氣象局量測資料取得。然依然面臨下列問題：1、太陽能發電實驗設備要如何取得或製作；2、太陽能發電實驗場地。

解決方法：

1. 太陽能板取得不是問題，但如何長期量測並記錄是個問題。因我們學校長期與縣內某大學合作，故向他們請教更借得**市電並聯器**(可將電送給台電且5分鐘會自動記錄一次發電量)。他們不僅教我們架設與操作方法，還幫我們上太陽能的入門課程，太感謝了。

2. 為配合市電並聯器的規格，需改採用較大片的太陽能板，但因為隊員家的屋頂不是被其他建築物擋住太陽，就是斜屋頂，我們學校的屋頂也都是斜的，很難架設又危險。我們只好厚著臉皮請老師問該大學可否協助，很幸運，我們可以在一個平坦的大樓頂樓架設。

心得收穫：

沒想到可以獲得大學的幫助，老師說，當有心要做一件事的時候，天地萬物都會來幫你，感謝他們的幫忙。過程中也讓我們見識到許多從來不知道的科學研究的設備，還有許多研究的主題原來一直有人持續在研究，這次的獨立研究讓我們更加覺得自然科學真的很有趣！

(三)彙整相關文獻資料

發覺問題：

在尋找台灣一年12個月之每月平均日射量，發現不同文獻有不同數值。

解決方法：

與老師討論後，老師建議採用已在學術期刊發表的資料，所以我們採用張克勤、嚴偉倫、劉家維的《國內2004-2013年間經典氣象年之日射量調查分析》的平均日射量數值。

心得收穫：

影響一個實驗的變因真的很多，所以在決定要採用哪一個研究的

數據也會影響我們研究的結果，老師建議使用曾經在期刊發表的文獻，因為能被期刊採用的研究都很嚴謹。

(四)整理統計資料與資料分析

發覺問題一：

需要進行很多數據的運算，且實測的數據也很多，該如何處理與呈現？

解決方法：

由指導老師和家長的解說數據以及公式，並用 Excel 軟體來進行數據的運算，並做出統計圖進行資料分析。

心得收穫：

開發 Excel 軟體的人真是太棒了，有這個好幫手，我們既不用慢慢手算，也不用擔心計算錯誤，可以節省很多時間。

發覺問題二：

為何之前科展的實測數據指出最佳傾斜角約40幾度，和我們的研究數據不同？

探討：

因為之前科展的實驗是量測1天24小時短周期的發電量，又加上是在冬季或春季作實地量測，此時太陽的仰角均偏低，所以才有此結果。而本研究是以一整年長周期的總發電量來判斷，故不同。

心得收穫：

雖然已經有人研究過這個主題，但是當考慮的因素不同、實驗的地點不同、季節不同、時間長短不同，實驗的結果也可能會不同，所以可以研究的問題真是無窮無盡。

(五)提出研究成果與討論

發覺問題：

覺得獨立研究的寫作很難，該如何很明確與簡潔描述一件事情或概念？

解決方法：

閱讀相關研究報告，看看大家怎麼寫，模仿它們的用詞，並請指導老師和家長協助看，提供修改意見。

心得收穫：

這是我們第一次完成這樣的研究報告，花了蠻長的時間進行記錄，夏天架設太陽能板時真是超級熱，暴露在太陽下的皮膚一下子就覺得好痛，不容易懂的文獻總是要讀好幾次，但是還好有爸媽跟老師的支持跟幫助，學到很多課本以外的知識，是很難得的經驗。

(六)未來可改善：

1. 礙於設備數量，我們只進行4個不同太陽能板傾斜角度的量測。模擬數據與實測數據都證明傾斜角15度的發電量高於23.5度。但不能說傾斜角15度就是在彰化的最佳角度。未來應架設更多的不同太陽能板傾斜角度來探討最佳傾斜角。
2. 目前的實測僅在彰化進行1年，未來應在更多地方進行實驗，也應該持續進行更長的實測，如此準確度會更高。
3. 應該加裝日射計，如此可進一步精準探討。

七、參考文獻：

- (一) <http://www.tec.url.tw/solarview.php?id=34>
- (二) <http://www.hengs.com/solar-product%20qa.html#03>
- (三) <http://mypaper.pchome.com.tw/fanyoungchi/post/1321242230>
- (四) 照過來!看我為太陽能板擺 POSE, 第 44 屆全國中小學科展
- (五) 「陽」「仰」得「意」-探討太陽能板擺設最佳角度, 第 55 屆全國中小學科展
- (六) http://apvi.org.au/wp-content/uploads/2018/04/IEA_PVPS-A_Snapshot_of_Global_PV-1992-2017.pdf
- (七) <https://www.ey.gov.tw/File/3B2B1097239AF08?A=C> 行政院綠能科技產業創新推動方案
- (八) <http://www.green-source.com.tw/tw/SolarPowerStation>
- (九) <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%9C%80%E5%A4%A7%E5%8A%9F%E7%8E%87%E7%82%B9%E8%BF%BD%E8%B8%AA>, 最大功率點追蹤
- (十) 張克勤、嚴偉倫、劉家維, 《國內2004-2013年間經典氣象年之日射量調查分析》臺灣能源期刊, 第三卷、第一期、第89-101頁, 中華民國 105 年 3 月
- (十一) 大氣質量AM <https://www.itsfun.com.tw/am/wiki-987235-021205>
- (十二) 中央氣象局-天文星象, <https://www.cwb.gov.tw/V7/astronomy/sunrise.htm>