

# 能源與材料科技系

## 實務專題論文

### 方位與傾斜角對太陽能板發電效能 之影響



指導老師：揭由志博士

班級	學號	姓名
能材三甲	BB105006	林致賢

修 平 科 技 大 學

中 華 民 國 108 年 5 月 27 日

## 致謝

從這三年以來，我從懵懂無知開始學習，這都要感謝指導老師揭由志博士的指導，其實我也曾經想過是否放棄做這專題並轉到別的科系，但被同學勸了下來才拋棄了這些想法。

在專題進行的過程中，難免都會出現一堆問題，太多問題因為是第一次接觸所以不知道怎麼處理、解決，也讓我免不了了一些老師的責罵，但老師也會適時給我指引好讓我繼續做下去，老師也跟我說要自己學會解決問題，直到現在，雖然我解決問題的能力不是很好，但我之後會在更加努力加強這方面的能力，老師為我們這團體貢獻了很多心血，在此我要感謝老師為我們的種種付出，謝謝老師您的關心。

## 摘要

太陽能板設置的方位以及其傾斜角對其發電功率有明顯影響，本專題即是以 100W 之實驗型太陽能板組列，改變其方位以及傾斜角度，以不同日照輻射度( $W/m^2$ )下之電壓電流變化計算出功率，探討方位及傾斜角對太陽能板發電功率之影響。實驗是以 Arduino MCU 開發板配合電壓與電流模組，k-type 熱電偶模組，RTC 時間模組，以及 SD 卡模組，並自行撰寫之程式碼作為記錄數據之用，將模組連接 100W 實驗型太陽能板組列，並以固定阻值之水泥電阻作為負載，記錄太陽能板在不同方位及傾斜角之條件下，觀察及記錄電壓電流及溫度隨日照輻射度( $W/m^2$ )及時間之變化，而日照輻射度是以太陽光電檢定場全天空日照計(Pyranometer)之數據為基準，以此探討方位、傾斜角以及溫度對太陽能板發電效能之影響。

結果顯示，傾斜角對太陽能板發電功率有明顯之影響，以傾斜 22 度發電量最高，符合台灣之緯度；由於本專題方位角變化不大，發電功率並無顯著變化。太陽能板之溫度變化則隨日照成正比關係。

# 目錄

致謝 .....	I
摘要 .....	II
目錄 .....	III
圖目錄 .....	V
表目錄 .....	VI
一、前言 .....	1
二、理論模式 .....	2
2-1 特性曲線 .....	2
2-2 熱電偶感溫原理 .....	3
2-3 電壓變化 .....	4
2-4 太陽能電池電力與傾斜度的關係 .....	5
2-5 太陽四季仰角與方位角 .....	5
三、實驗方法 .....	6
3.1 實驗模組接線圖及各模組介紹 .....	6
3.2 實驗材料 .....	7
3.3 特性說明 .....	9
3.4 實驗流程 .....	11
3.4.1 實驗流程圖 .....	11
3.4.2 實驗步驟 .....	11
四、結果與討論 .....	12
4.1 方位南向、傾斜角 0.4 度 .....	12
4.2 方位南南西向、傾斜角 0.4 度 .....	14
4.3 方位南向、傾斜角 22 度 .....	17
4.4 方位南南西向、傾斜角 22 度 .....	19
4.5 方位南向、傾斜角 85 度 .....	21
4.6 方位南南西向、傾斜角 85 度 .....	23
4.7 不同方位與傾斜角下 100W 太陽組列的發電效率 .....	26

五、結論 .....	29
參考資料 .....	30
附件、專題模組成品照片以及實驗照片 .....	32

## 圖目錄

圖一、太陽能板 I-V、P-V 特性曲線圖.....	2
圖二、熱電偶感溫原理圖.....	3
圖三、太陽能電池接線圖.....	4
圖四、各日照下的特性曲線圖.....	4
圖五、黃道與赤道關係圖.....	5
圖六、模組接線示意圖.....	6
圖七、實驗流程圖.....	11
圖八、方位南向、傾斜角 0.4 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據.....	14
圖九、方位南南西向、傾斜角 0.4 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據.....	16
圖十、方位南向、傾斜角 22 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據.....	18
圖十一、方位南南西向、傾斜角 22 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據.....	20
圖十二、方位南向、傾斜角 85 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據.....	22
圖十三、方位南南西向、傾斜角 85 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據.....	24
圖十四、各方位與傾斜角的發電功率.....	26

## 表目錄

表一、各模組及材料規格 .....	7
表二、不同方位與傾斜角在各日照下之功率數據 .....	27
表三、不同方位與傾斜角在各日照下之功率標準差 .....	28

## 一、前言

近幾年太陽能發電為推廣最多的一項再生能源發電，但每個地區裝設太陽能板的條件卻不太相同，為了能讓太陽能板達到最好的發電效率，本專題使用了可以調整角度的太陽組列來進行實驗，在三種不同角度下電壓、電流及溫度的數據變化，並比對檢定場日照輻射度及溫度數據，在從中整理數據做出發電效率曲線圖，得到在三個傾斜角度中，哪一個角度的發電效率最佳。

而傾斜角的調整則需要看地球的緯度來決定，地球上各地區的緯度不同，傾斜角也會有所不同，而溫度也是其影響之一，大多數太陽能板較適合在低溫且多日照的地方，這時太陽能板的發電效率最佳，而高溫地區的發電效率可能不是太好。

本專題研究目的是以 Arduino MCU，以自行撰寫之程式碼，配合電壓與電流模組，以及 k-type 熱電偶，並以固定阻值之水泥電阻作為負載，記錄太陽能板在不同方位及傾斜角度下，電壓、電流和溫度隨日照輻射度( $W/m^2$ )的數據變化。日照輻射度是以太陽光電檢定場全天空日照計(Pyranometer)之數據為基準。從中探討方位、傾斜角以及溫度對太陽能板發電效能之影響。



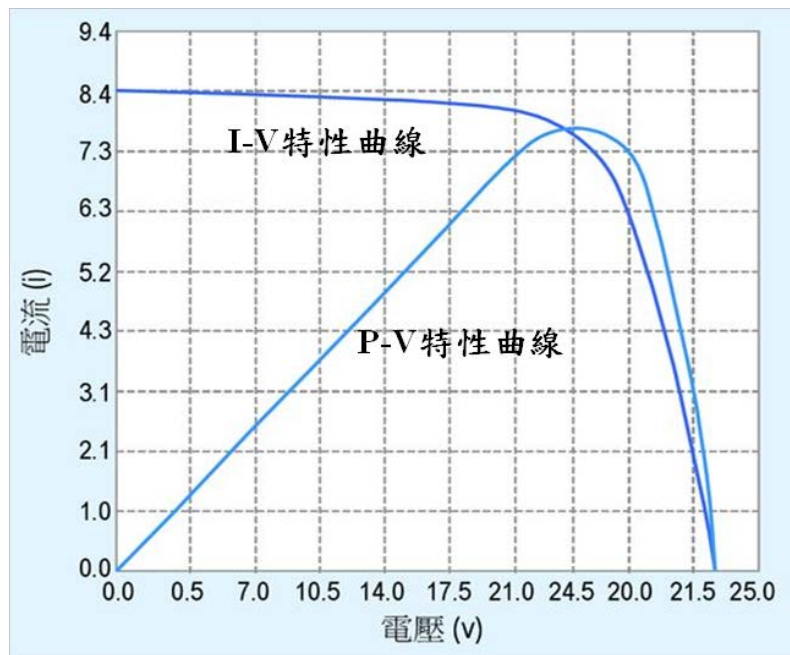
## 二、理論模式

### 2-1 特性曲線

I-V 特性曲線：電流增加時，電壓跟著下降，直到電壓小於最大功率、電流超過最大功率後，隨著電流的增加電壓將開始急速下降，直到電壓下降至零，如圖一。

P-V 特性曲線：功率隨著電壓增加而上升，當電壓到達最大功率時，功率為最大值，電壓繼續增加時功率會快速下降直至零，如圖一。

太陽能板的輸出功率會因為日照強度以及長時間日照下，使面板表面的溫度升高等因素影響而改變。在強日照影響下，電流獲得提升，輸出功率將會增加。在高溫影響下，電壓開始下降，輸出功率也跟著下降<sup>[1]</sup>。



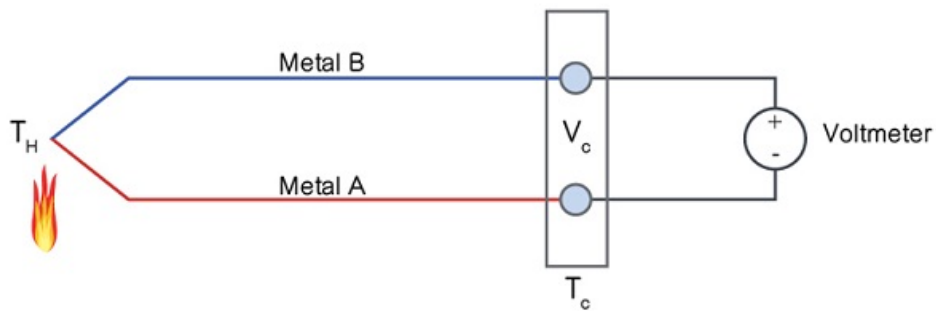
圖一、太陽能板 I-V、P-V 特性曲線圖<sup>[2]</sup>

## 2-2 熱電偶感溫原理

熱電偶的動作原理又稱為席貝克效應。是由兩種不同的金屬材質所連接成的一個迴路，在接合點給予溫度差時便會產生熱電動勢，而材質的選擇也會反應到電流上 [3]。

### 熱電偶測溫原理

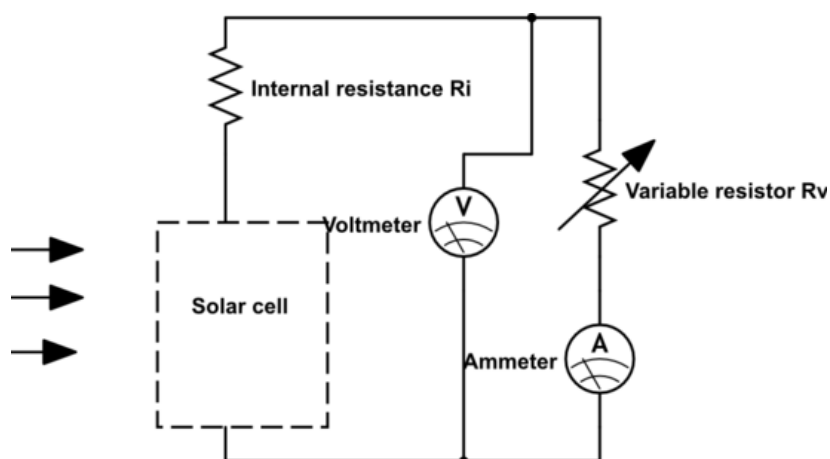
如圖二，使用兩種不同的金屬材料 A、B 為熱電極，焊接的一端為測量端，連接顯示儀表的兩端為參比端。



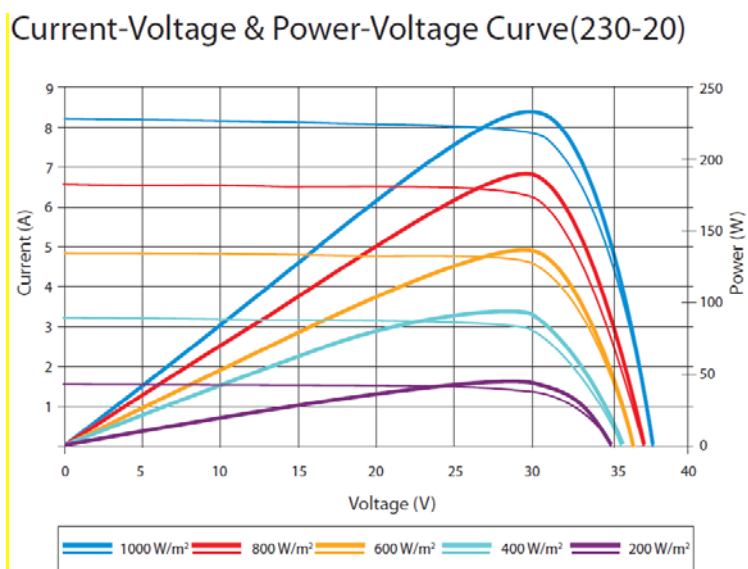
圖二、熱電偶感溫原理圖 [4]

## 2-3 電壓變化

“太陽能電池相當於具有與受光面平行之大面積極薄 PN 接面的等效二極體”<sup>[5]</sup>，就像是把太陽能電池當做是一個電路內部的組件一樣，如圖三。所以電壓取決於從太陽光接收的能量和汲取的電流量，如圖四，並且電壓值會隨負載電阻而改變。



圖三、太陽能電池接線圖<sup>[6]</sup>



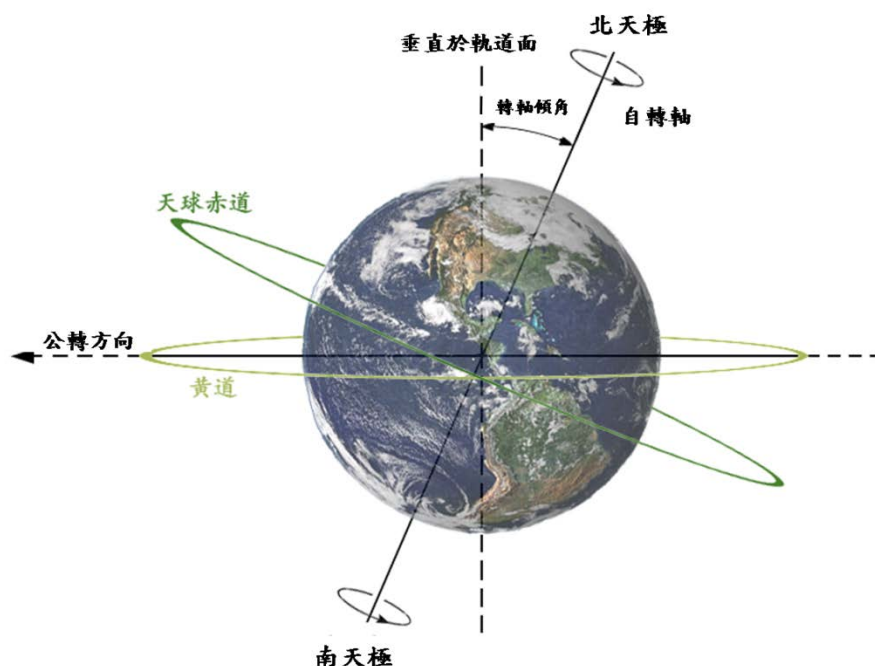
圖四、各日照下的特性曲線圖<sup>[7]</sup>

## 2-4 太陽能電池電力與傾斜度的關係

太陽能板若想獲得較高的發電效率，不僅需要高日照，太陽能板的傾斜角也要調整好。如有高日照的情況下，傾斜角沒調整好，獲得的發電效率會比預計的低，所以最好的角度為“太陽能板的法線與陽光的入射線保持一直線”<sup>[8]</sup>。若想持續獲得較高的發電效率，太陽能板也必須跟隨著太陽移動而自動調整方位與傾斜角。

## 2-5 太陽四季仰角與方位角

太陽繞著天球運轉時的軌道，我們稱之為黃道。地球因地軸傾斜，所以黃道和赤道不會重合，如圖五。因此地球有了春、夏、秋、冬四個季節，在這四季中，春季和秋季時太陽處於黃道。在夏季時，太陽往北偏移直到最北，便是北回歸線。冬季時，太陽往南偏移直到最南，便是南回歸線<sup>[9]</sup>。

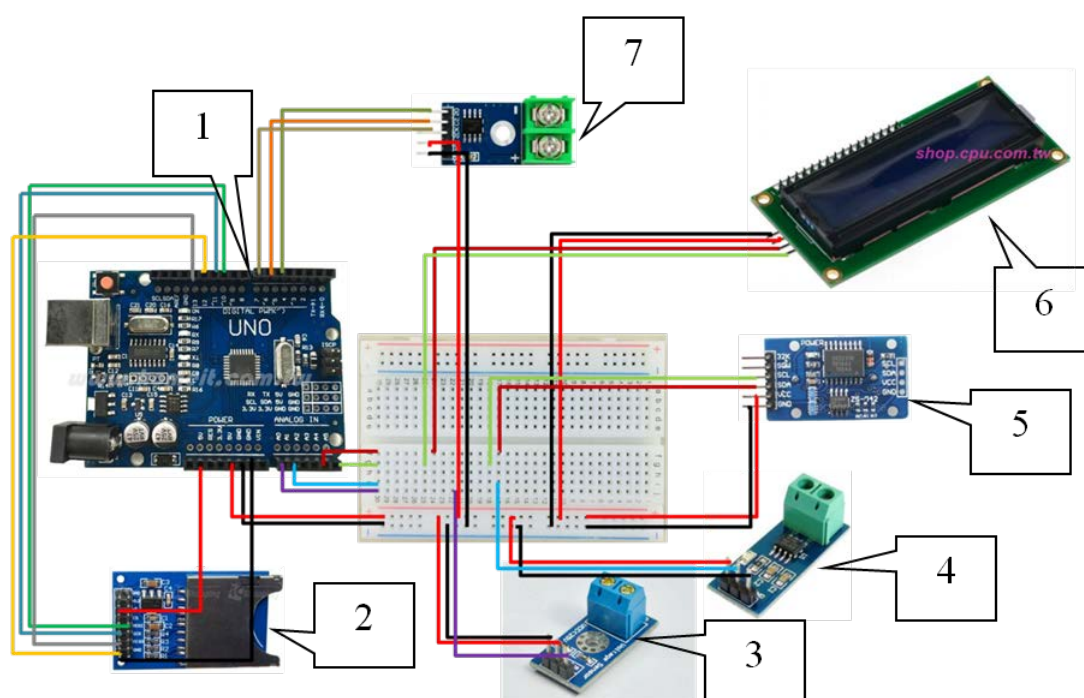


圖五、黃道與赤道關係圖<sup>[10]</sup>

### 三、 實驗方法

#### 3.1 實驗模組接線圖及各模組名稱

圖六為本專題各模組名稱及線路連接圖，使用網路圖片以及 PowerPoint 拉線製成。(模組圖片來源為露天拍賣、蝦皮網站)






圖六、模組接線示意圖

1. Arduino UNO SMD R3 板
2. SD 卡模組
3. 電壓感測模組
4. ACS712 電流感測模組
5. DS3231 RTC 時鐘模組
6. LCD1602 液晶顯示器
7. max6675+k-type 熱電偶溫度感測模組

## 3.2 實驗材料

表一為本專題所使用到的模組以及負載，使用 Arduino 板以及各模組的原因是因為價格相較便宜、攜帶方便以及安裝容易等原因。(下表的 100W 太陽組列追日系統圖片以及水泥電組圖片為自行拍攝，其它模組圖片來源為蝦皮網站上抓取)

表一、各模組及材料規格

<p>100W 太陽 組列追日 系統</p>	<p>輻照度和電池：<math>100\text{W}/\text{m}^2</math> 溫度：AM1.5 25°C Voc：21V、Vpm：17V Isc：4.76A</p>	 <p>The image shows a 100W solar panel system mounted on a black tripod stand. Below it is a technical specification label for the photovoltaic module. The label includes a warning, model information, and a table of electrical characteristics.</p> <table border="1" data-bbox="1034 1189 1241 1480"> <thead> <tr> <th colspan="3">WARNING</th> </tr> <tr> <td colspan="3">DANGER: HIGH VOLTAGE! CAUTION: HIGH VOLTAGE! DO NOT TOUCH TERMINALS!</td> </tr> <tr> <th colspan="3">PHOTOVOLTAIC MODULE</th> </tr> <tr> <td>MODEL</td> <td colspan="2">ST</td> </tr> <tr> <td>IRRADIANCE AND CELL TEMPERATURE</td> <td colspan="2">1000W m<sup>2</sup> AM1.5 25°C</td> </tr> <tr> <td>Voc</td> <td colspan="2">21V</td> </tr> <tr> <td>Vpm</td> <td colspan="2">17V</td> </tr> <tr> <td>1W</td> <td>5W</td> <td>10W</td> </tr> <tr> <td>15W</td> <td>20W</td> <td>25W</td> </tr> <tr> <td>30W</td> <td>35W</td> <td>40W</td> </tr> <tr> <td>45W</td> <td>50W</td> <td>55W</td> </tr> <tr> <td>60W</td> <td>65W</td> <td>70W</td> </tr> <tr> <td>75W</td> <td>80W</td> <td>85W</td> </tr> <tr> <td>90W</td> <td>95W</td> <td>100W</td> </tr> <tr> <td colspan="3">CE ETL SEMKO</td> </tr> <tr> <td colspan="3">IP65 IEC61215</td> </tr> <tr> <td colspan="3">REF: NAJSHR11366-001</td> </tr> </thead></table>	WARNING			DANGER: HIGH VOLTAGE! CAUTION: HIGH VOLTAGE! DO NOT TOUCH TERMINALS!			PHOTOVOLTAIC MODULE			MODEL	ST		IRRADIANCE AND CELL TEMPERATURE	1000W m <sup>2</sup> AM1.5 25°C		Voc	21V		Vpm	17V		1W	5W	10W	15W	20W	25W	30W	35W	40W	45W	50W	55W	60W	65W	70W	75W	80W	85W	90W	95W	100W	CE ETL SEMKO			IP65 IEC61215			REF: NAJSHR11366-001		
WARNING																																																					
DANGER: HIGH VOLTAGE! CAUTION: HIGH VOLTAGE! DO NOT TOUCH TERMINALS!																																																					
PHOTOVOLTAIC MODULE																																																					
MODEL	ST																																																				
IRRADIANCE AND CELL TEMPERATURE	1000W m <sup>2</sup> AM1.5 25°C																																																				
Voc	21V																																																				
Vpm	17V																																																				
1W	5W	10W																																																			
15W	20W	25W																																																			
30W	35W	40W																																																			
45W	50W	55W																																																			
60W	65W	70W																																																			
75W	80W	85W																																																			
90W	95W	100W																																																			
CE ETL SEMKO																																																					
IP65 IEC61215																																																					
REF: NAJSHR11366-001																																																					
<p>k-type 溫度感測器</p>	<p>規格：線長 50cm 範圍：最高耐溫為 600°C 靈敏度：約為 <math>41\mu\text{V}/^\circ\text{C}</math></p>	 <p>The image shows a k-type temperature sensor module with a green PCB and a 50cm long cable with a metal probe at the end.</p>																																																			
<p>max6675 模組</p>	<p>測溫範圍：0°C~ 1024°C 工作電壓：DC 3.0~5.5V 電流範圍：AC 50mA</p>	 <p>The image shows a max6675 temperature sensor module with a green PCB and a blue PCB, featuring a metal probe and a 5-pin header.</p>																																																			

<p>Arduino UNO SMD R3 開發板</p>	<p>工作電壓：5V 輸入電壓：7~12V 數字 I/O 接腳：28 (12 個提供 PWM 輸出)</p>	
<p>電壓模組</p>	<p>輸入範圍：DC 0~25V 檢測範圍： DC 0.02445V~25.00V 類比解析度：0.00489V</p>	
<p>ACS712 20A 電流模組</p>	<p>可測量正負 20 安電流 對應模擬量輸出 100mV/A 精度：約 0.048A</p>	
<p>1602 I2C LCD 模組</p>	<p>工作電壓：5V 輸入電壓：5~9V I2C 地址：0x27</p>	
<p>SD 卡模組</p>	<p>工作電壓： 支援外接 2 種供電模式 (3.3V 和 5V 供電) 直流電流：80mA</p>	
<p>DS3231 RTC 時鐘模組</p>	<p>工作電壓：5V 工作溫度：0~70°C</p>	
<p>水泥電阻</p>	<p>20W2Ω x1 20W5.1Ω x2  使用方式： 2Ω 電阻串聯 2 個並聯的 5.1 Ω 電阻作為負載 總電阻：4.6 Ω</p>	

### 3.3 特性說明

#### Arduino 板電源供應要求

1. 使用 USB 接口供電需使用穩定的 5V 的直流電壓。
2. 使用電源接口供電，使用的直流電壓為 9V~12V，低於 9V 可能使 Arduino 板工作不穩定，高於 12V 可能會使 Arduino 板毀壞。

#### I2C 與 SPI 的特性

I2C 特性：使用兩條線路進行傳輸工作，用在晶片間的聯繫傳輸。

可以同時連接多個裝置，理論上 I2C 可以連接 128 個裝置，甚至有更多數目的封包格式定義，但實務上無法接那麼多，但接 10 個上下多無大礙<sup>[11]</sup>。缺點是接收數據時無法發送，反之發送時無法接收。

SPI 特性：可接多個裝置，但是傳輸速度比 I2C 更快，並且發送與接收可同時進行，而 MOSI、MISO 腳位為 SPI 介面的數據傳輸腳位。

不過 SPI 也有缺點，一是隨著連接裝置數的增加，線路也是要增加的，每增加一個連接裝置，至少要增加一條，不像 I2C 可以一直維持只要兩條。而 SPI 在一對一連接時需要四條，一對二時要五條，一對三時要六條，即 N+3 的概念<sup>[11]</sup>。

#### k-type 溫感器溫度係數

1. 正極：約 90% 鎳和 10% 鉻製成的合金，溫度係數為  $3.2 \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$ <sup>[12]</sup>。
2. 負極：約 95% 鎳、2% 鋁、2% 錳和 1% 矽組成的合金，溫度係數為  $23.9 \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$ <sup>[13]</sup>。



## 電壓模組類比解析度及檢測範圍計算

1. 類比解析度計算： $5V/1023=0.00489V$

2. 檢測電壓範圍計算：

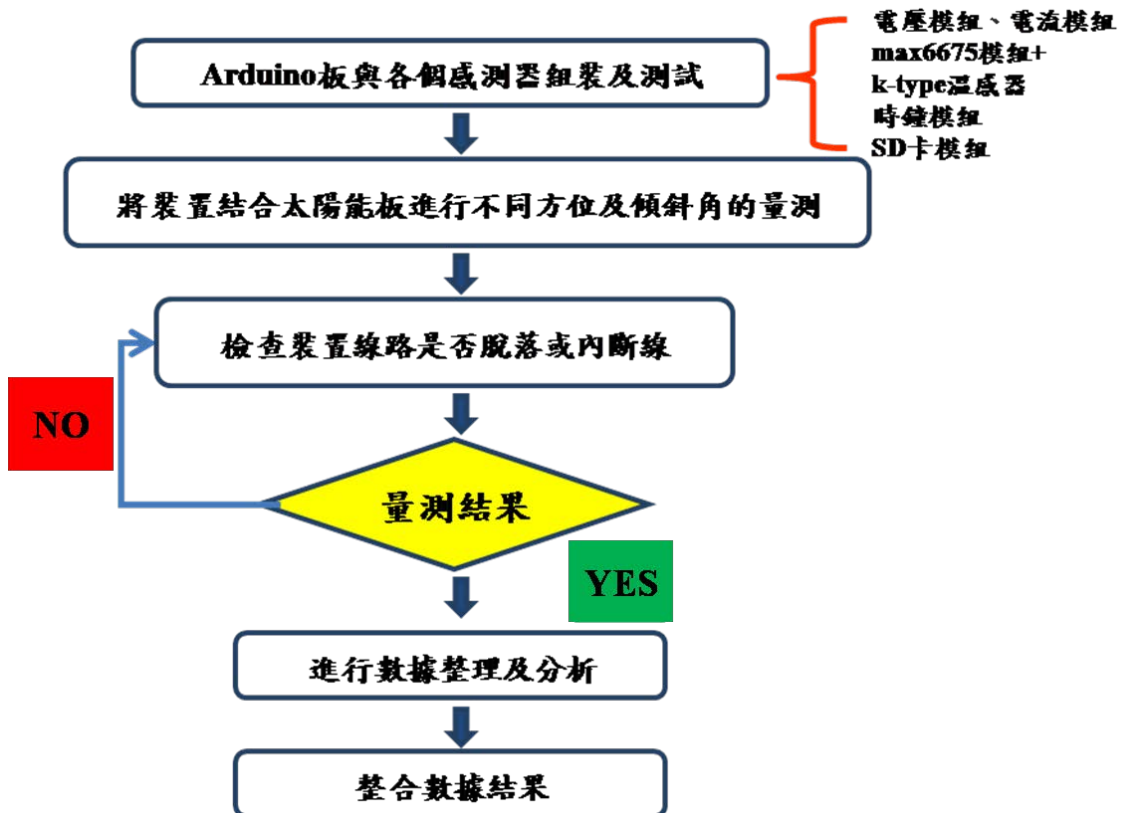
最小電壓： $0.00489V \times 5=0.02445V$ ，最大電壓： $5V \times 5=25.00V$

## 使用 $4.6\Omega$ 水泥電阻原因

假如測得之電壓最高為  $16V$ 、電流為  $3A$ ，發電功率為  $48W$ ，使用一顆  $20W5\Omega$  水泥電阻會因無法承受導致損壞，使用串並聯方式的  $4.6\Omega$  水泥電阻因發電功率在承受範圍內則不會有損壞的情況。

## 3.4 實驗流程

### 3.4.1 實驗流程圖



圖七、實驗流程圖

### 3.4.2 實驗步驟

調整 100W 太陽組列的方位及傾斜角，在 100W 太陽組列的正極接上 4.6Ω60W 水泥電阻作負載，然後接入電流模組的正極，100W 太陽組列負極直接接上電流模組負極，電壓模組的正、負極接在水泥電阻的兩端，k-type 溫度感測器黏貼在 100W 太陽組列的背後，將 SD 卡插入 SD 卡模組卡槽，插上供應電源給 Arduino，開始記錄在不同方位與傾斜角的數據，將獲得到的數據在特定日照的條件下取五個數值並求出平均值再加入標準差。

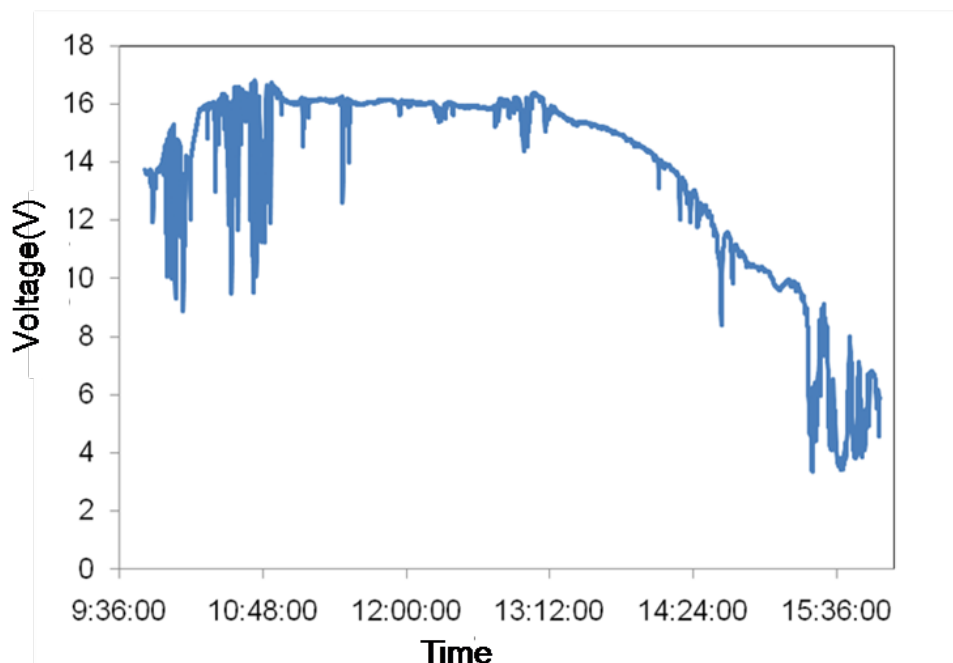
## 四、結果與討論

在角度的選擇上，因為南南西向是本校太陽能檢定場內的太陽能板所設置的方位，並且在中午時能有效接受高日照，達到較大的發電功率，而南向是從檢定場太陽能板的方位觀察後，太陽早晨時的方位。

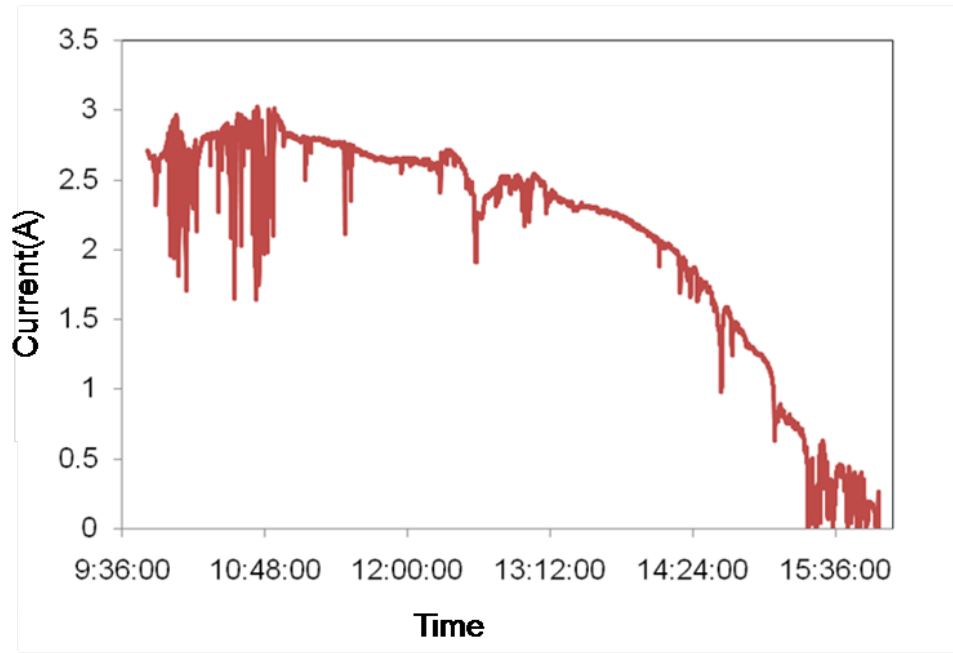
傾斜角的選擇，22 度是與本校檢定場內太陽能板相近的角度，並探討在高傾斜角與低傾斜角下，在相同方位中，各自的發電功率變化，以下為量測時的第一次數據。

### 4.1 方位南向、傾斜角 0.4 度

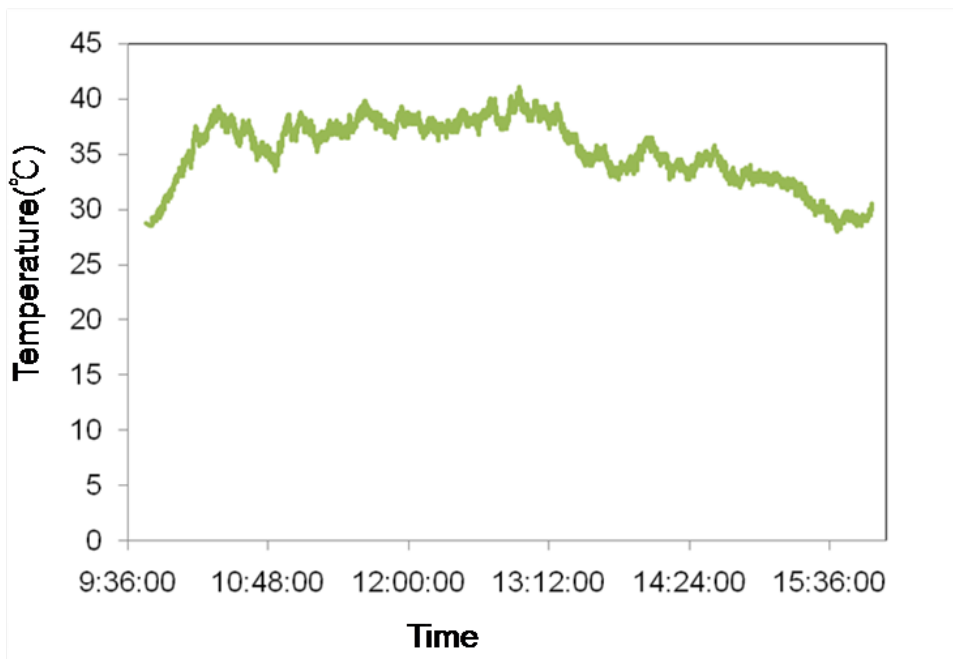
這是 11 月份做的紀錄，目的是為了記錄在此次條件下，100W 太陽組列的電壓、電流、溫度的數據以及比對崗位的日照數據。



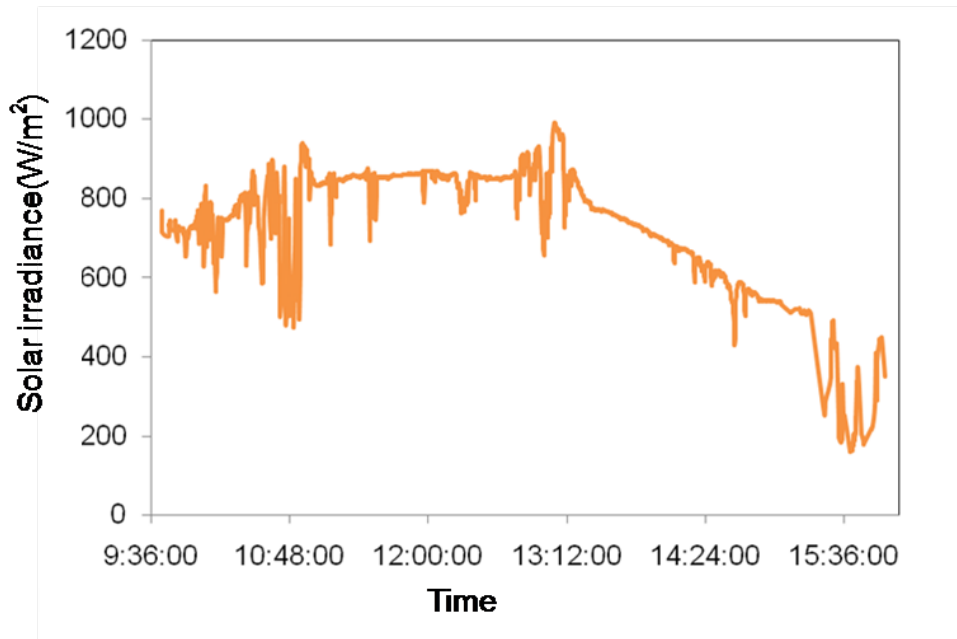
(a)



(b)



(c)

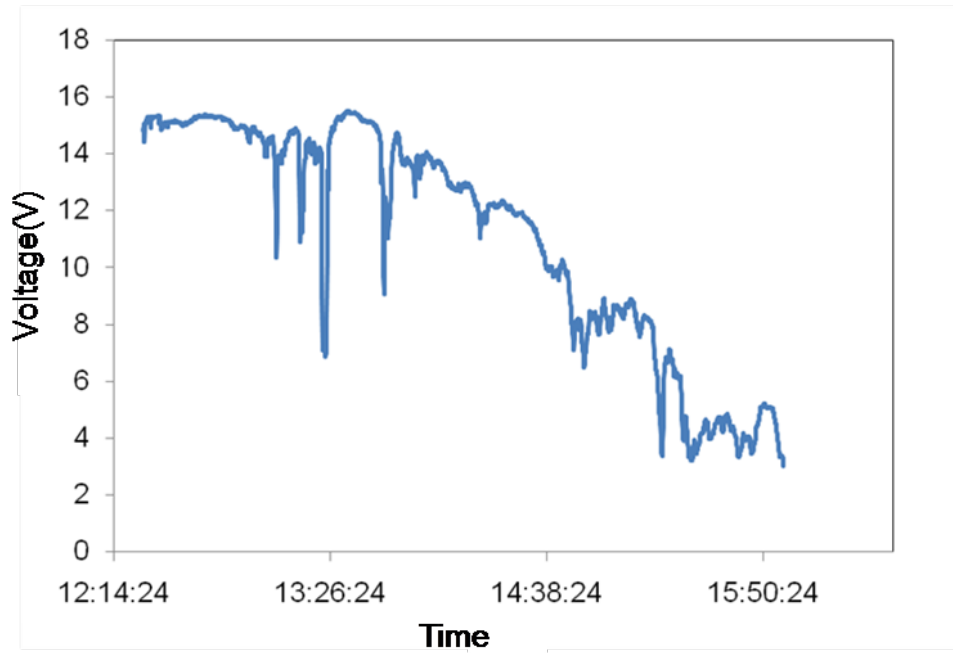


(d)

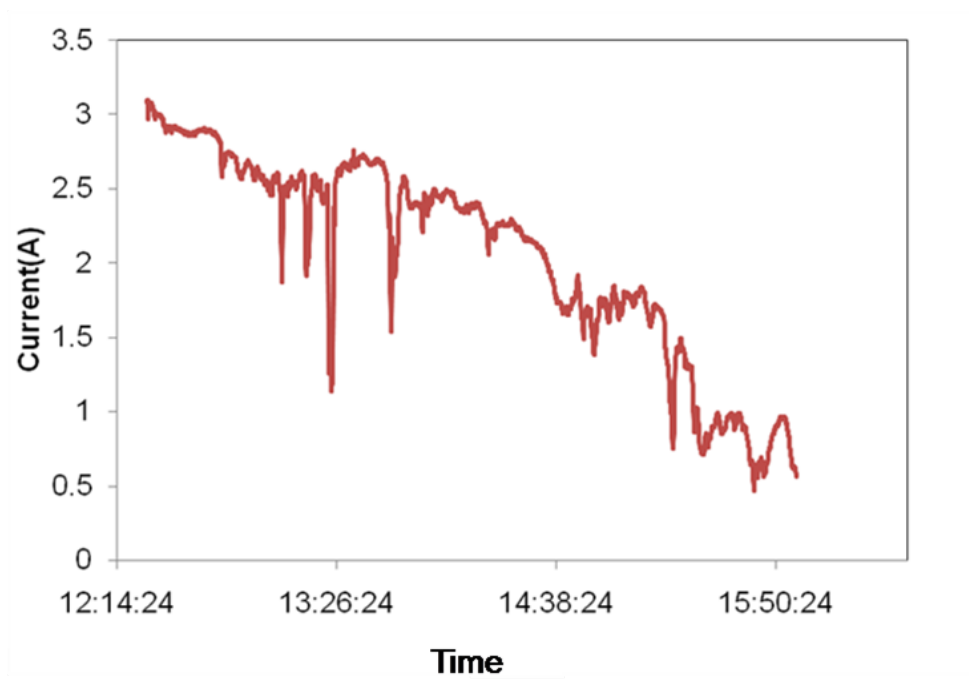
圖八、方位南向、傾斜角 0.4 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、  
(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據

## 4.2 方位南南西向、傾斜角 0.4 度

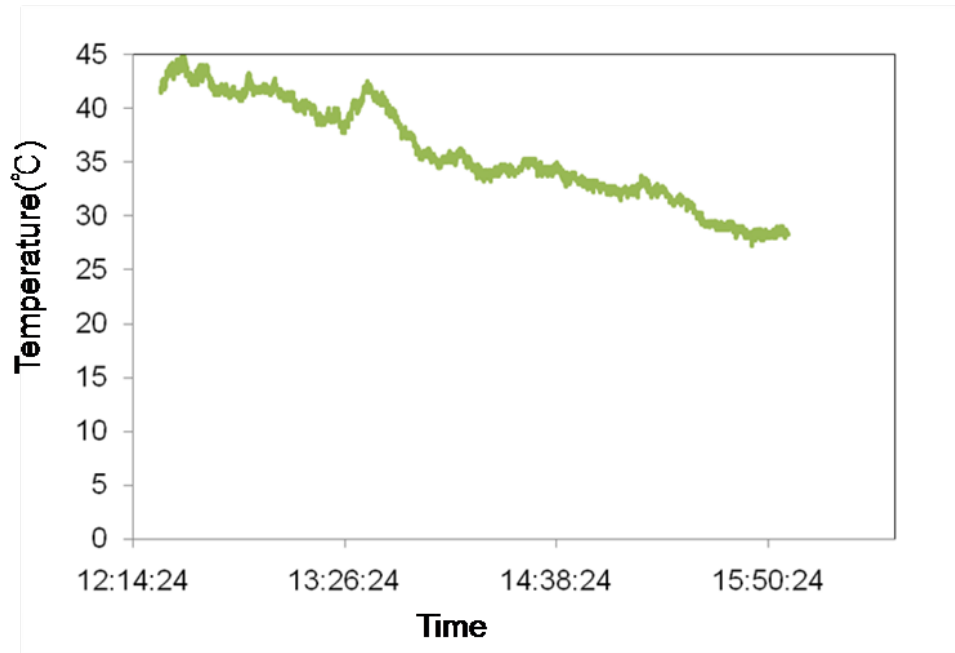
這是 11 月份做的紀錄，目的是為了記錄在此次條件下，100W 太陽組列的電壓、電流、溫度的數據收集以及比對崗位的日照數據。



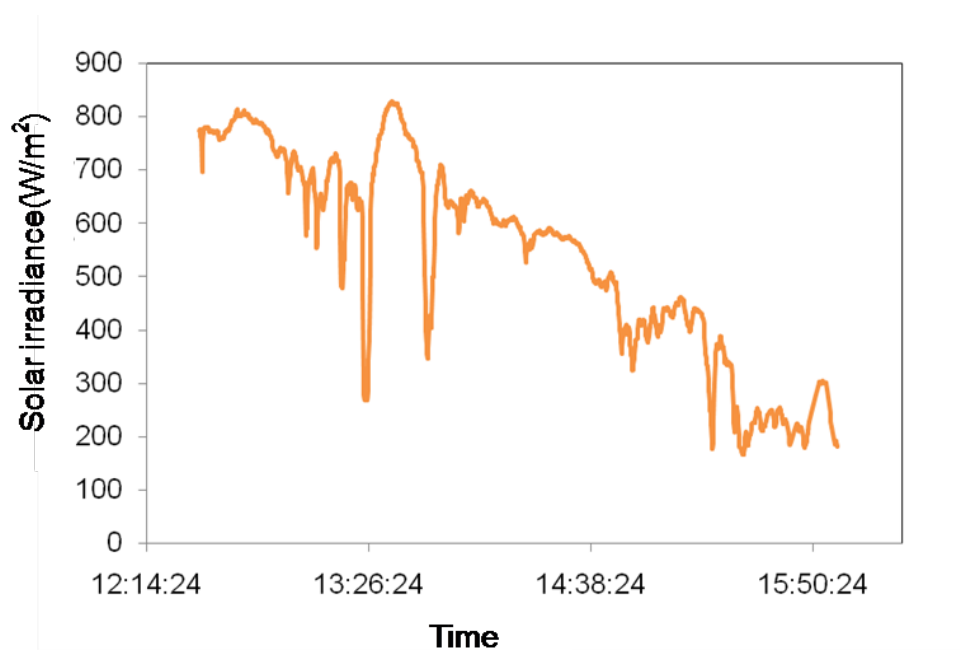
(a)



(b)



(c)

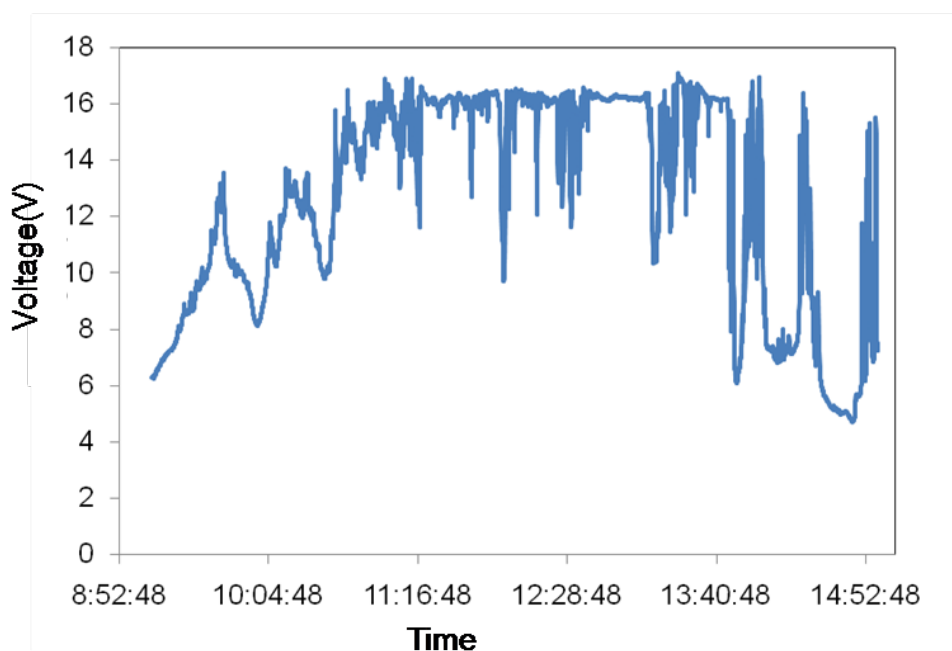


(d)

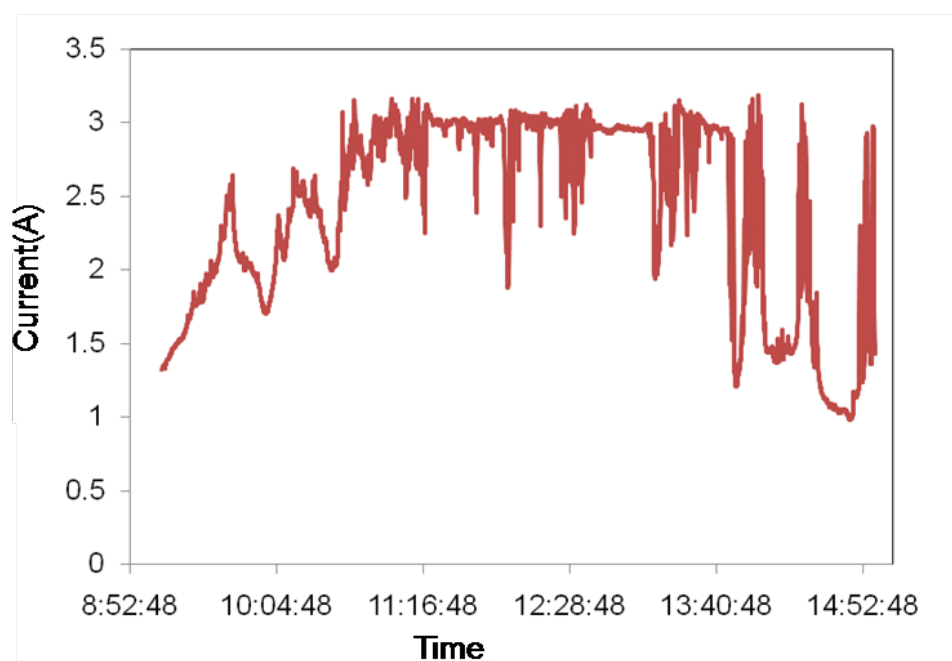
圖九、方位南南西向、傾斜角 0.4 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據

### 4.3 方位南向、傾斜角 22 度

這是 12 月份做的紀錄，目的是為了記錄在此次條件下，100W 太陽組列的電壓、電流、溫度的數據收集以及比對崗位的日照數據。

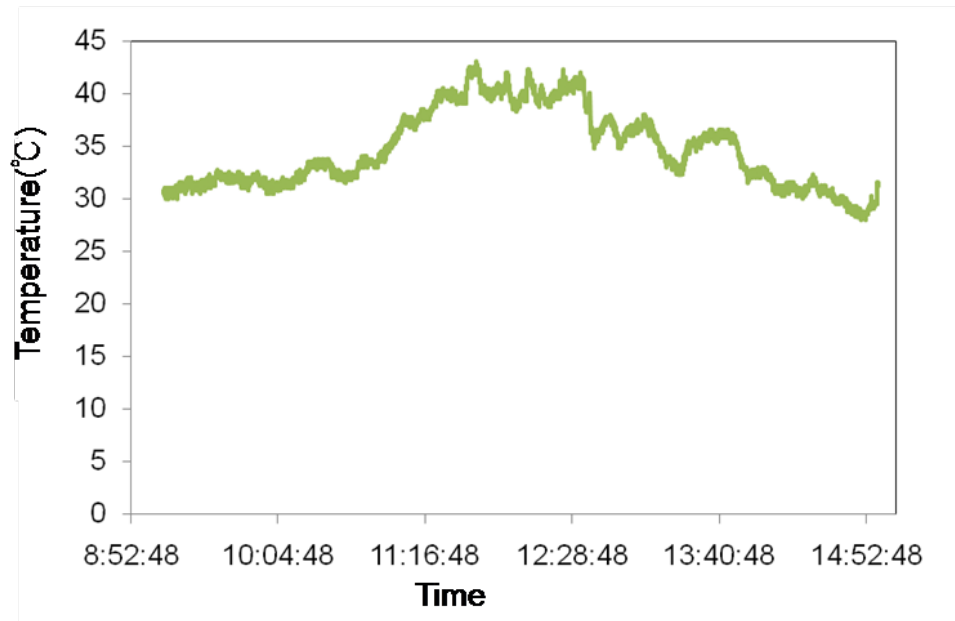


(a)

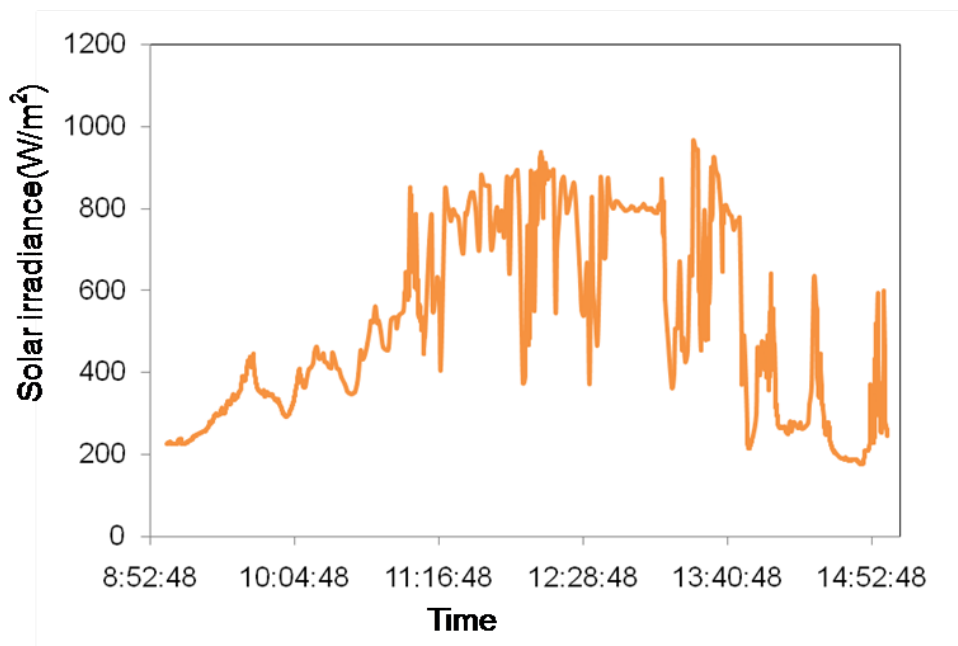


(b)





(c)

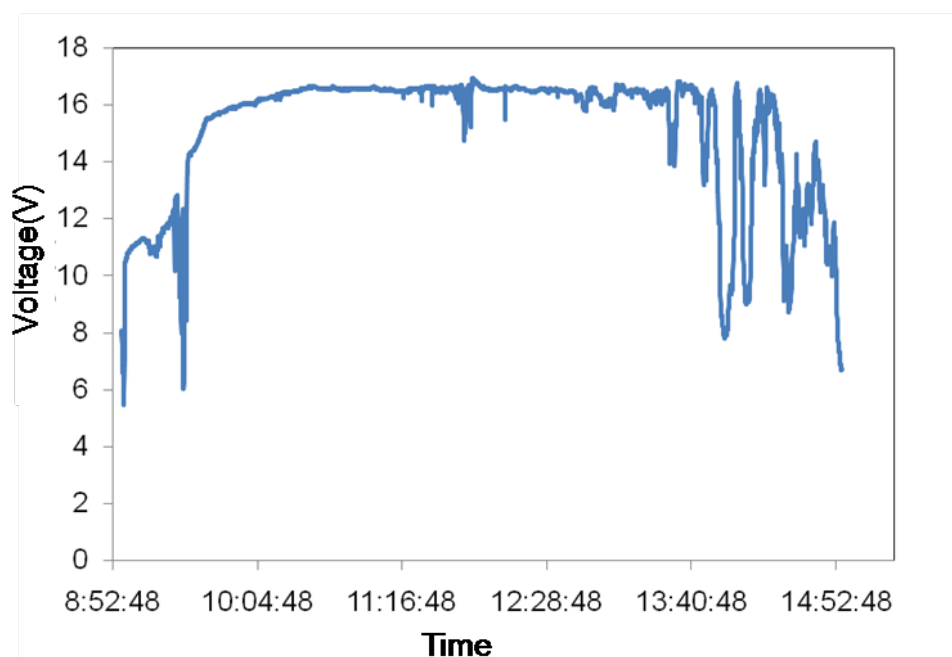


(d)

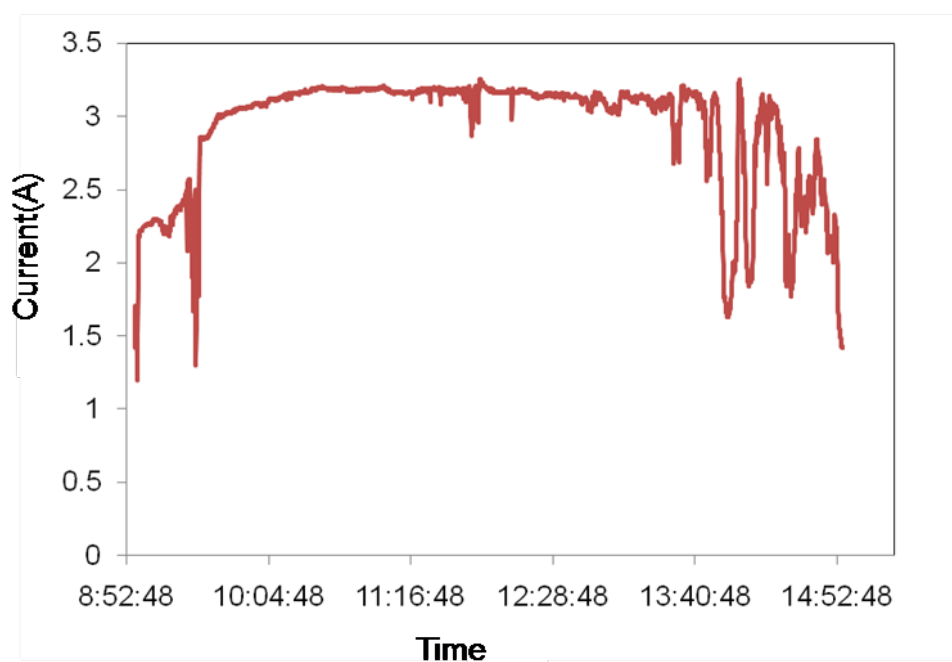
圖十、方位南向、傾斜角 22 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、  
(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據

## 4.4 方位南南西向、傾斜角 22 度

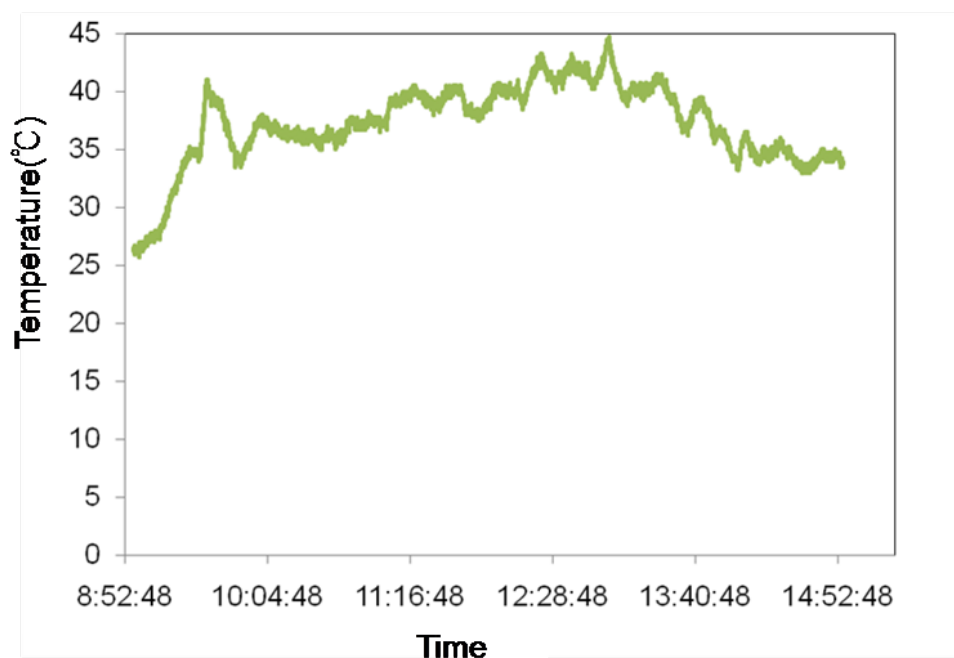
這是 12 月份做的紀錄，目的是為了記錄在此次條件下，100W 太陽組列的電壓、電流、溫度的數據收集以及比對崗位的日照數據。



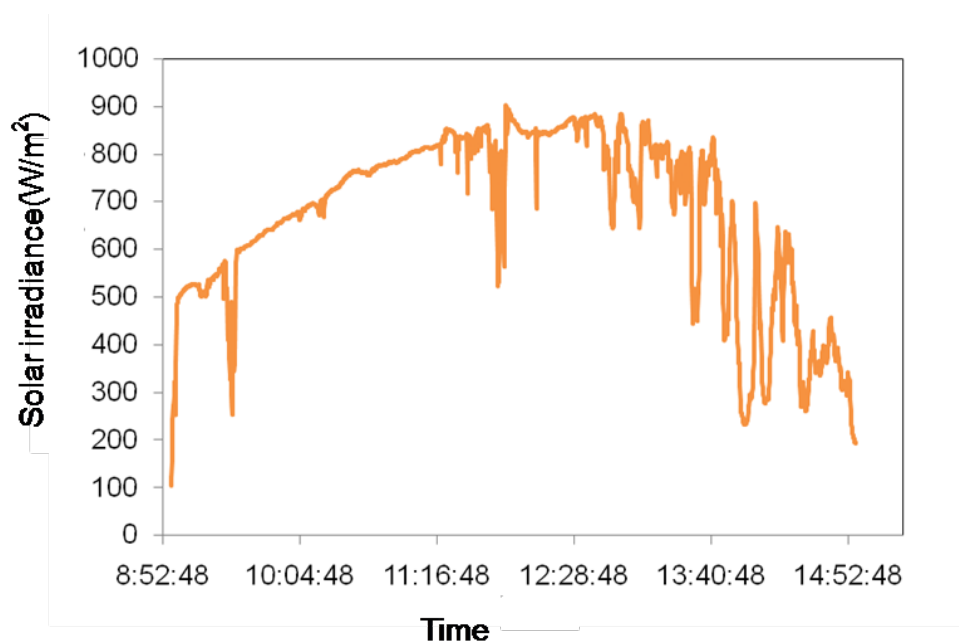
(a)



(b)



(c)

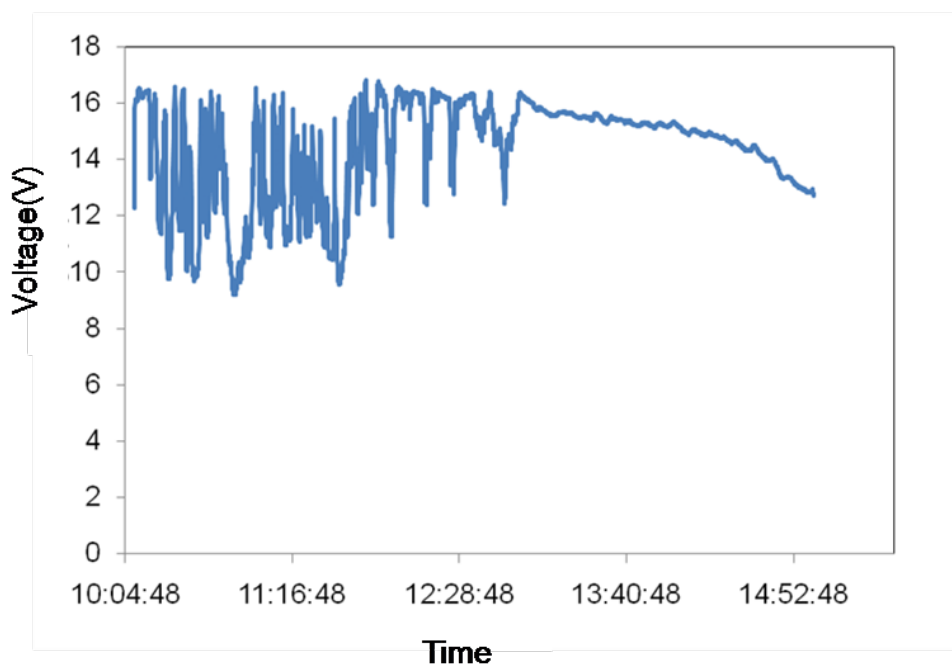


(d)

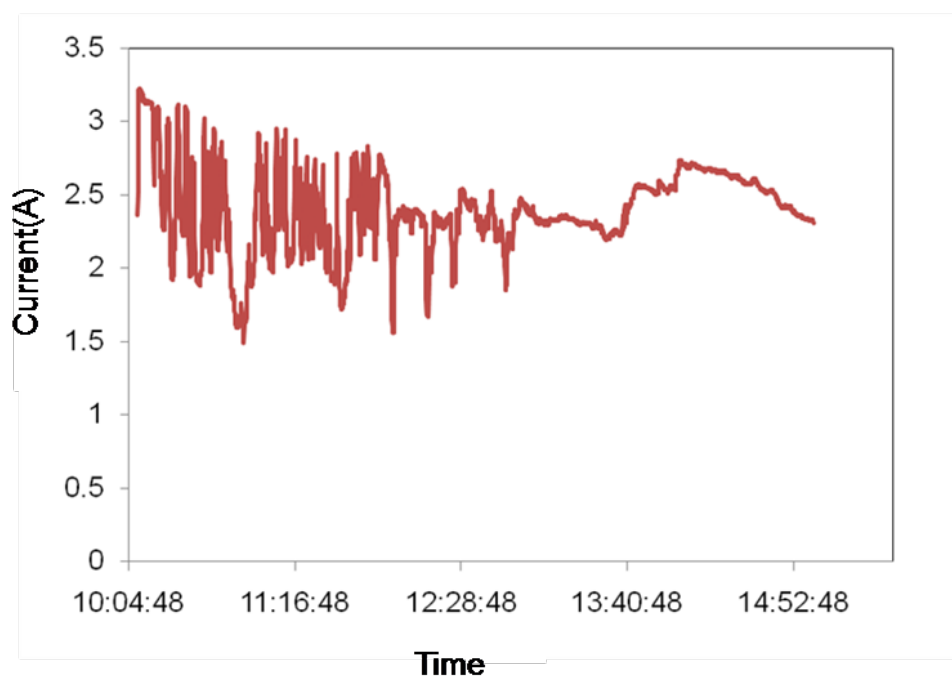
圖十一、方位南南西向、傾斜角 22 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據

## 4.5 方位南向、傾斜角 85 度

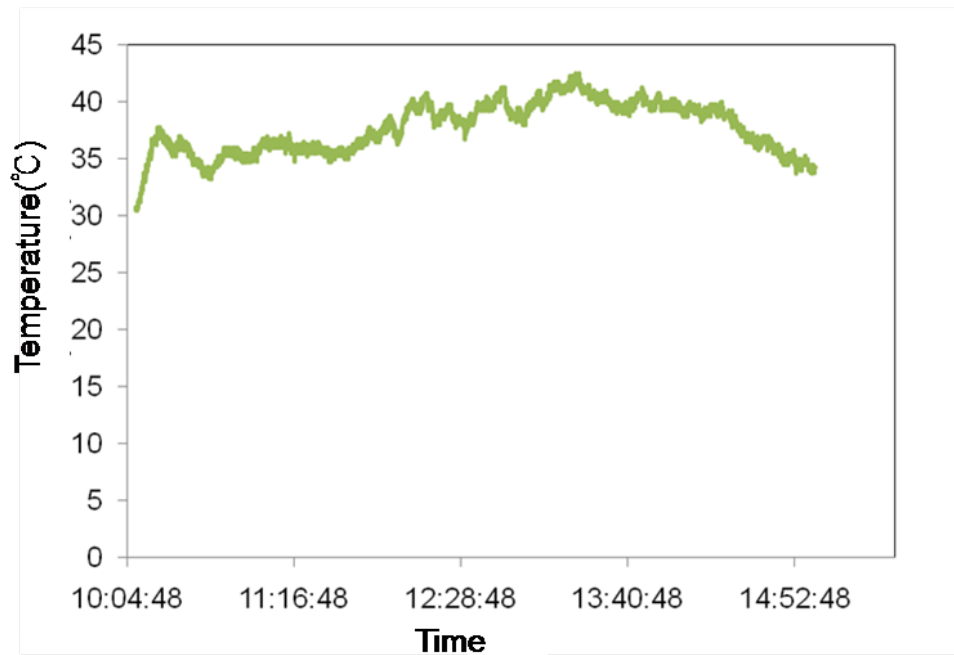
這是 12 月份做的紀錄，目的是為了記錄在此次條件下，100W 太陽組列的電壓、電流、溫度的數據收集以及比對崗位的日照數據。



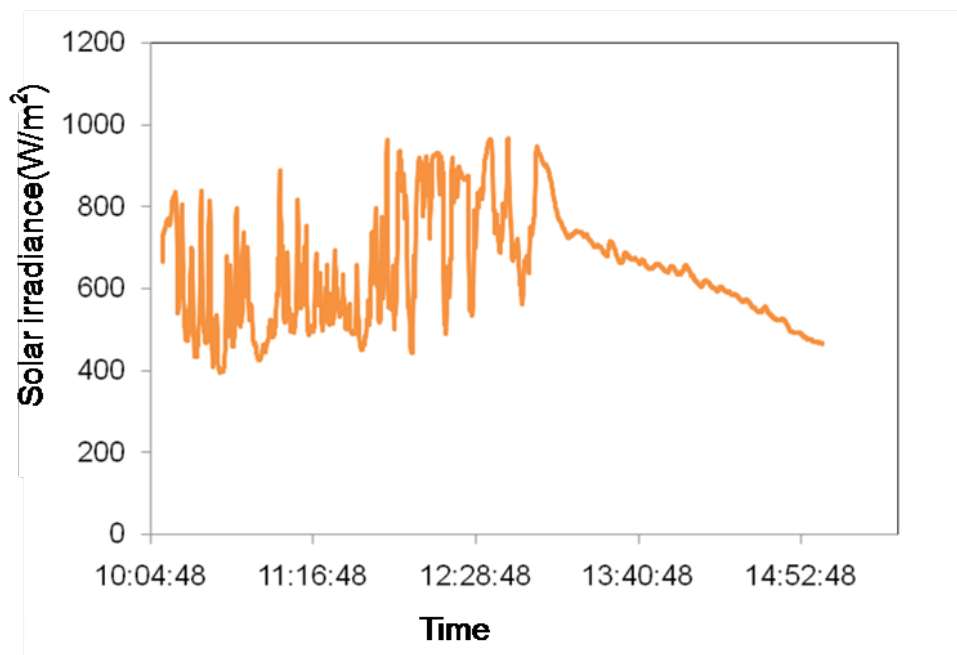
(a)



(b)



(c)

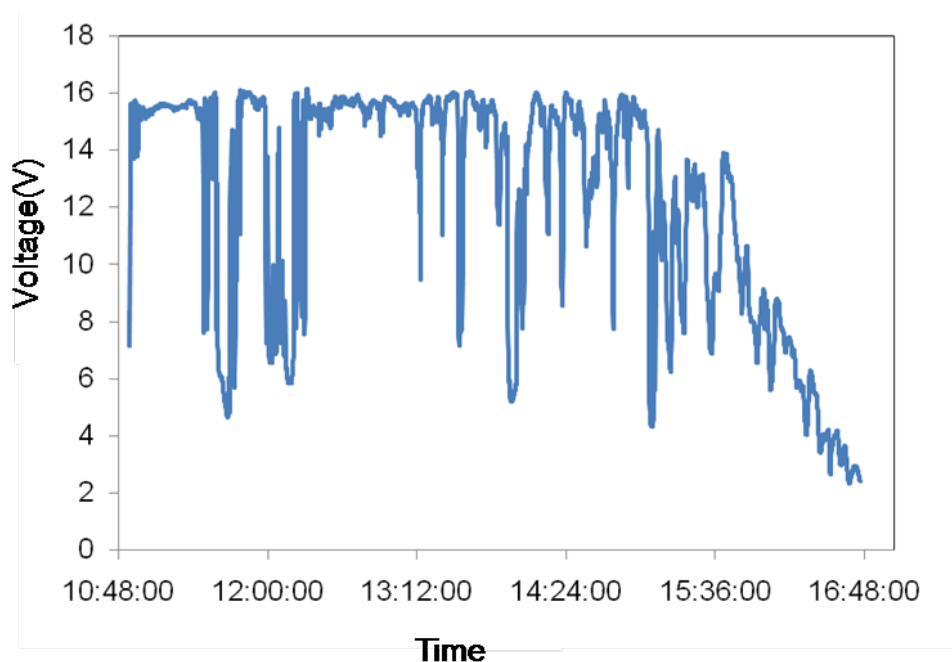


(d)

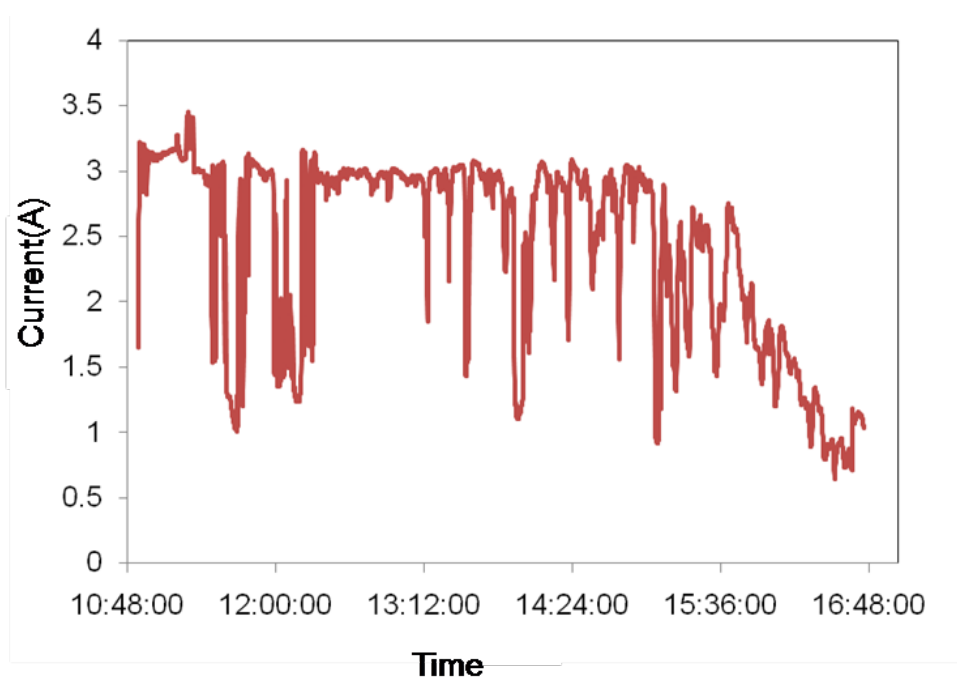
圖十二、方位南向、傾斜角 85 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據

## 4.6 方位南南西向、傾斜角 85 度

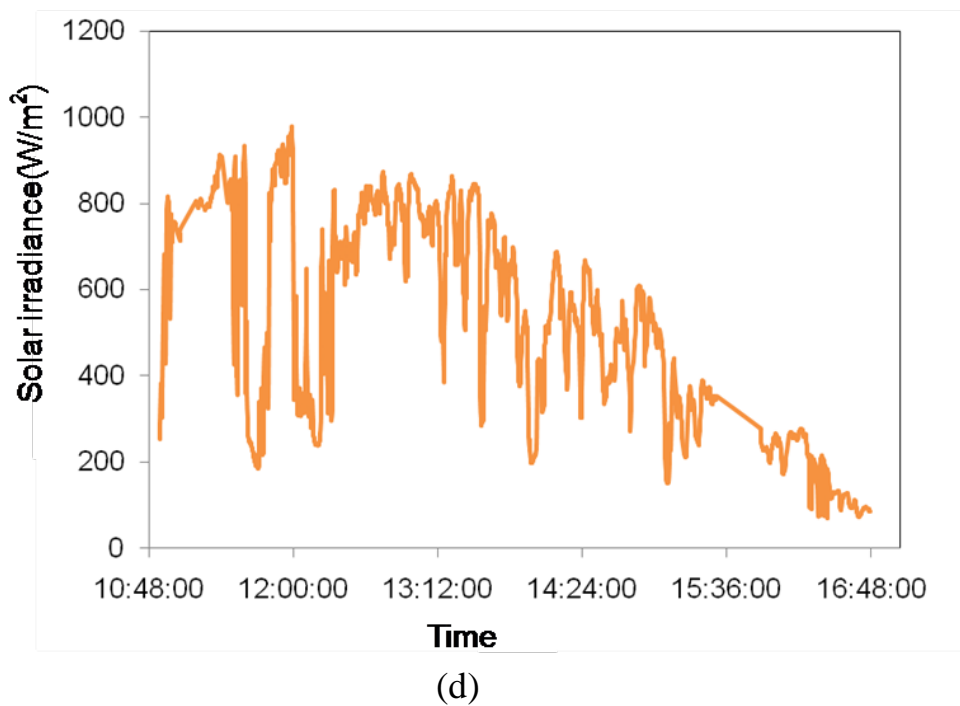
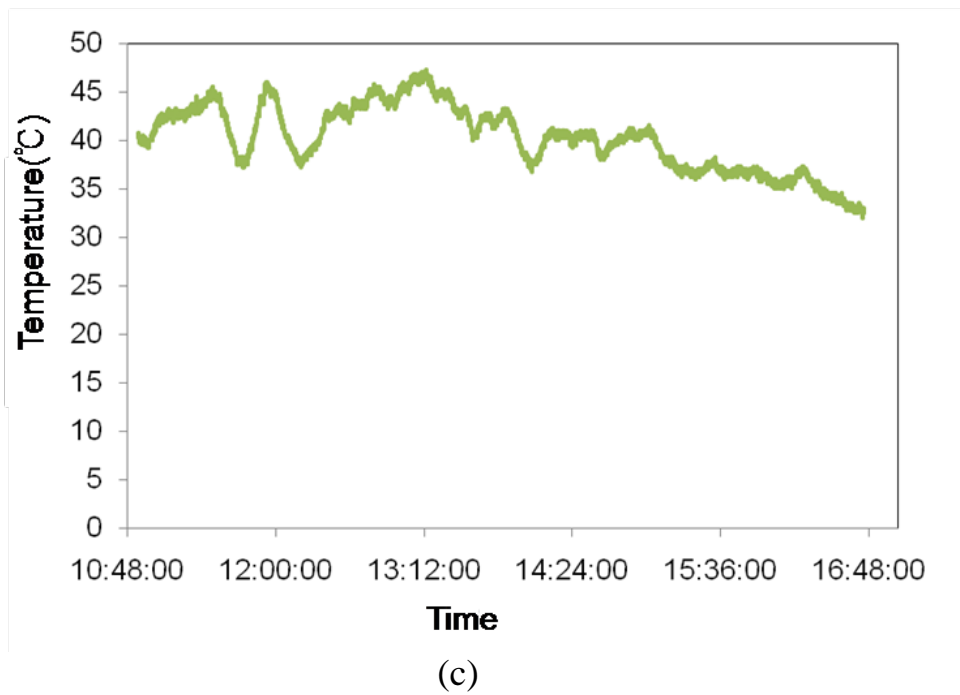
這是 12 月份做的紀錄，目的是為了記錄在此次條件下，100W 太陽組列的電壓、電流、溫度的數據收集以及比對崗位的日照數據。



(a)



(b)



圖十三、方位南南西向、傾斜角 85 度時 100W 太陽組列(a)電壓、(b)電流、(c)溫度的量測數據以及(d)檢定場日照輻射度數據

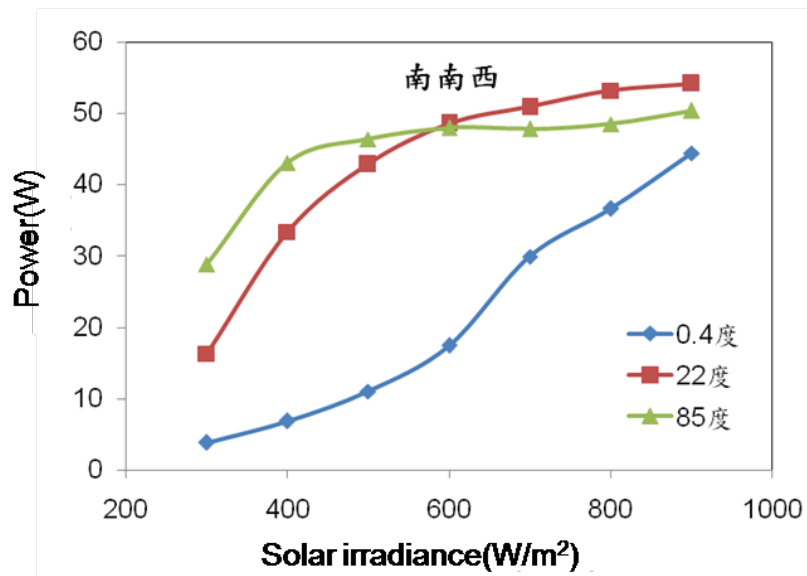
太陽能板在固定負載條件下，不同方位及傾斜角之所量測得到之電壓、電流及溫度之變化與日照輻射度( $W/m^2$ )成正比。日照輻射度數據( $W/m^2$ )是由組員使用 RS458 模組擷取檢定場崗位上的全天空日照輻射計所得到的讀值。使用 k-type 溫感器貼置太陽能板背面，雖然感測到的溫度只能當作參考值，但與日照都呈現一致的變化。

從以上的數據結果圖來看，無法從中看出日照與電壓、電流之間的關係趨勢，所以需要進一步的將數據整理出來分析。在穩定的特定日照(900W、800W...300W)條件下截取電壓、電流所相乘的功率數據，統整出兩個方位及三個不同角度下的趨勢圖。

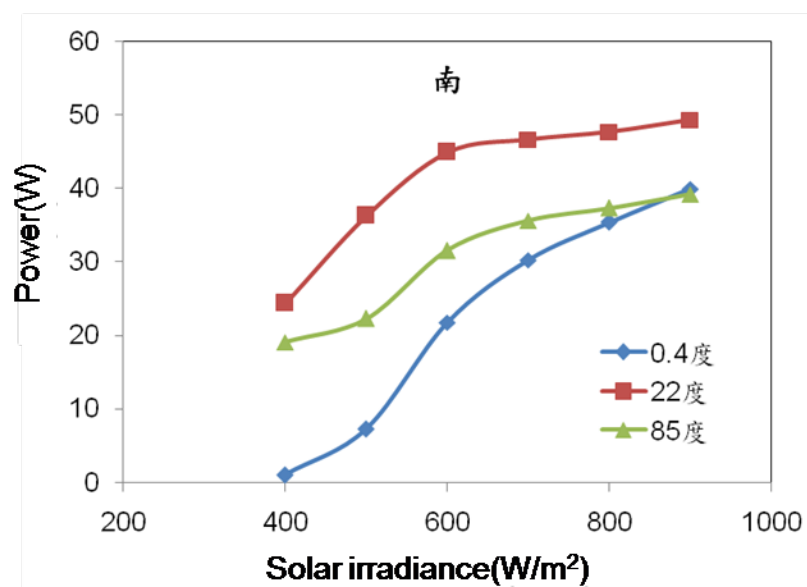


## 4.7 不同方位與傾斜角下 100W 太陽組列的發電效率

圖十四為在特定日照條件下，選擇差距在 $\pm 5 \sim \pm 10$ 之間的日照數據，並比對記錄時間擷取本專題當時的發電功率數據，整理出來的不同方位及傾斜角的發電效率數據圖。



(a)



(b)

圖十四、各方位與傾斜角的發電功率

由圖十四(a)、(b)可得出，在日照充足的情況下，22 度是三種角度中發電效率最佳的傾斜角度，而台灣的地理位置處在北緯 23.5 度，所以地理位置對於傾斜角度有很大的影響。

而 0.4 度的發電功率也跟 22 度傾斜角一樣有著隨日照上升而提升的趨勢，但是可明顯看出 85 度雖是高傾斜角度，在日照最強時接收到的照度不足形成平緩趨勢，但發電量仍高於 0.4 度傾斜角，如表二。

表二、不同方位與傾斜角在各日照下之功率數據

方位 傾斜 W/m <sup>2</sup>	南南西 0.4 度	南南西 22 度	南南西 85 度	南 0.4 度	南 22 度	南 85 度
900	44.4	54.2	50.4	40.0	49.4	39.2
800	36.6	53.2	48.5	35.4	47.7	37.4
700	29.9	50.9	47.8	30.3	46.7	35.7
600	17.4	48.6	48.0	21.8	44.9	31.6
500	11.0	42.9	46.4	7.3	36.3	22.4
400	6.9	33.4	43.1	1.1	24.4	19.1
300	3.9	16.4	28.9			

在特定日照條件下，選擇差距在 $\pm 5 \sim \pm 10$ 之間的日照數據，並比對記錄時間擷取本專題當時的發電功率數據，取出一定數量後再計算出來的平均功率數值。對照表二的功率數據，從中瞭解當下的發電功率誤差範圍並確定其可信度，如表三。

表三、不同方位與傾斜角在各日照下之功率標準差

方位 傾斜 W/m <sup>2</sup>	南南西 0.4 度	南南西 22 度	南南西 85 度	南 0.4 度	南 22 度	南 85 度
900	0.34	0.22	0.44	0.46	0.22	0.31
800	0.13	0.09	0.17	0.15	0.13	0.19
700	0.49	0.37	0.09	0.10	1.30	0.07
600	0.11	0.61	0.13	0.50	0.36	0.17
500	0.40	1.14	0.62	0.21	2.88	0.84
400	0.69	0.46	1.04	0.06	0.58	0.62
300	0.02	0.82	0.51			

至於南南西向比南向的發電功率要高，方位是其中一個原因，而太陽光照射的行徑路線也是影響的條件，因為隨著季節不同，太陽光照射的行徑路線也會不同，而 0.4 度傾斜角因為呈現水平所以平穩的吸收太陽光，致使太陽光的行徑路線對其影響不大，但在傾斜狀況下影響較大，所以需要考慮地理位置及方位來獲得最大的發電功率。除了傾斜角之外，太陽能板方位角也會明顯影響到太陽能板的發電效能，但實際場域建置太陽能板往往受到建物及地形限制，所以大多是依照現地方位，調整最適當的傾斜角以獲取整年最佳發電效能。

## 五、 結論

本專題使用 Arduino MCU 結合 RTC 時間模組及 SD 卡模組，在不同方位及傾斜角度下記錄電壓、電流與溫度的讀值變化，並再特定日照的條件下進一步的分析功率趨勢，從中了解不同方位與傾斜角對於太陽能板發電效率的影響。

實驗結果顯示 22 度傾斜角在三種角度中為最佳發電角度，原因和台灣地理位置有關，所以本專題實驗條件中，以傾斜角為 22 度時發電效率是最好。0.4 度傾斜角因接近水平，所以發電效能僅為 22 度時之約 50-70%。而 85 度傾斜角，因為太陽能板已呈現接近垂直狀態，在日照充足的情況下，太陽能均以高角度進入太陽能板，所以在不同日照下，功率產生程度的分別率降低，在不同日照條件之變化相對要小。

除了傾斜角之外，太陽能板方位角也會明顯影響到太陽能板的發電效能，此與不同月份太陽運行角度有關。

## 參考資料

- 【1】 鍾宜成，(2016)，利用串列太陽能板短路電流之全域最大功率追蹤法，國立中山大學電機工程學系碩士論文，高雄市。
- 【2】 太陽能電池的基本特性。  
<http://eportfolio.lib.ksu.edu.tw/~T093000134/repository/fetch/太陽能電池的基本特性.pdf> (2019/04/16)
- 【3】 Thermocouple 熱電偶。  
[http://www.chancemore.com.tw/pdf/02\\_thermocouple.pdf](http://www.chancemore.com.tw/pdf/02_thermocouple.pdf)  
(2019/04/16)
- 【4】 熱電偶的基本原理與設計要點  
<https://www.eettaiwan.com/news/article/20161222TA31-Thermocouples-Basic-principles-and-design-essentials> (2019/04/16)
- 【5】 蕭德仁，(2005)，提升太陽能電池發電效率參數與機構之研究，正修科技大學電機工程研究所碩士論文，高雄市。
- 【6】 IV relation changing load resistor of a solar cell  
<https://electronics.stackexchange.com/questions/289250/iv-relation-changing-load-resistor-of-a-solar-cell> (2019/04/16)
- 【7】 Do solar panels generate variable current or variable voltage?  
<https://electronics.stackexchange.com/questions/306379/do-solar-panels-generate-variable-current-or-variable-voltage> (2019/04/16)
- 【8】 沈仲晃，(2005)，太陽能電池安裝角度與電能輸出之研究，技術學刊，第 20 卷第 1 期，pp.15~20。
- 【9】 臺灣四季太陽仰角與方位角  
<https://www.cwb.gov.tw/Data/astronomy/season.pdf> (2019/04/16)
- 【10】 維基百科，黃道  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%BB%84%E9%81%93>  
(2019/04/24)

【11】認識 UART、I2C、SPI 三介面特性

<https://makerpro.cc/2016/07/learning-interfaces-about-uart-i2c-spi/>

(2019/04/16)

【12】維基百科，Chromel

<https://en.wikipedia.org/wiki/Chromel> (2019/04/17)

【13】維基百科，Alumel

<https://en.wikipedia.org/wiki/Alumel> (2017/04/17)

# 附件、專題模組成品照片以及實驗照片

