

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

030509

太陽能板發電效益之研究

學校名稱：桃園市立文昌國民中學

<p>作者：</p> <p>國二 余勝詠</p> <p>國二 陳育楷</p> <p>國二 張子麟</p>	<p>指導老師：</p> <p>呂嘉瑋</p>
------------------------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：太陽能發電、太陽能板架設、綠能發電

太陽能板發電效益之研究

摘要

我們想探討學校的太陽能板是否有效益，學校的太陽能板皆是傾斜 6 度且按屋頂的面向方位架設。我們使用 2W 的太陽能板做實驗，從太陽能板特性曲線發現：在室內、室外發電功率最大的電阻分別為 3900 與 28.8 歐姆。而光強度越強，電壓電流越大，在可見光範圍內，光的波長對發電效益並無顯著影響。接著，我們設計不同傾斜角度、面向方位對太陽能板發電的影響，發現最佳傾斜角度是讓太陽可以直射太陽能板；我們自製太陽能板旋轉裝置，發現轉動的比固定面向南方傾斜 30 度的發電功率大。學校太陽能板安裝的優先考量為無遮蔽物，在北部，夏季的發電功率最佳，夏季時傾斜角度很小，面向方位對太陽能板的發電功率影響不大，傾斜還可以排水以及清除灰塵。

壹、前言

一、研究動機

學校的屋頂上安裝許多太陽能板，每棟樓頂太陽能板的面向方位及傾斜角度不盡相同，面向東邊、西邊、南邊和北邊的都有，若屋頂比較斜太陽能板傾斜角度會比較大，若屋頂是平的，太陽能板還是會傾斜一點點。這引起我們的好奇：這些太陽能板究竟能發多少電，不同方位以及不同傾斜角度對發電情形產生何種影響。除此之外，我們想自製一個可以定時旋轉的太陽能板裝置，使太陽光一直垂直照射太陽能板，預測裝置面向南邊時，發電情形最佳；而面向東邊及西邊兩個方位所得到結果會差不多。



本圖源自 google 衛星圖

二、研究目的

我們利用 Arduino 編寫程式，透過電壓電流感測器偵測太陽能板發電的數據，記錄在 Excel 中，並進一步地分析各種不同變因對太陽能板發電的情形。最後找出在何種條件之下，太陽能板的發電情形最佳，並探討學校的太陽能板發電是否有效益。

以下是我們的變因設計：

- (一) 太陽能板特性曲線測量
- (二) 不同光照強度對太陽能板發電情形之影響
- (三) 不同波長的光對太陽能板發電情形之影響

(四) 不同地面夾角對太陽能板發電情形之影響

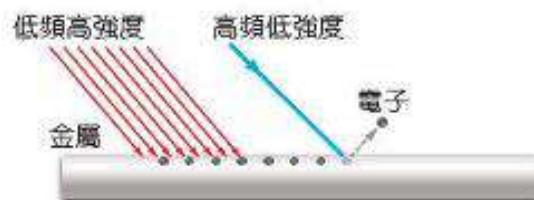
(五) 不同面向方位對太陽能板發電情形之影響

(六) 太陽能板轉動對發電情形之影響

三、文獻回顧

(一) 光電效應原理

光電效應是指金屬表面受到光的照射，釋放出電子的現象，這種電子稱為光電子。要產生光電子的條件就是入射光的頻率要大於一個特定的頻率，入射光頻率若太小則不會產生光電子。

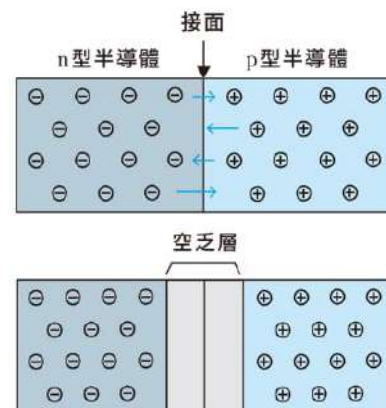


本圖源自翰林雲端學院「光電效應」

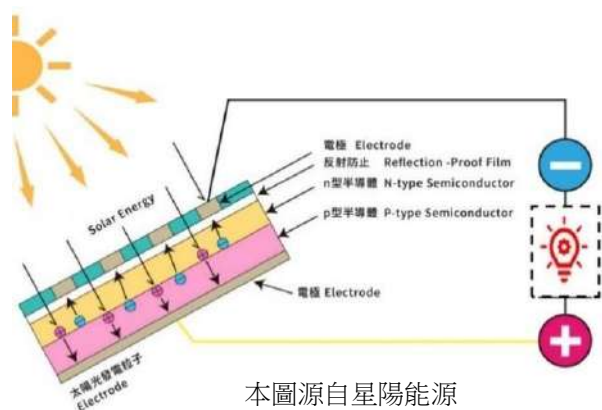
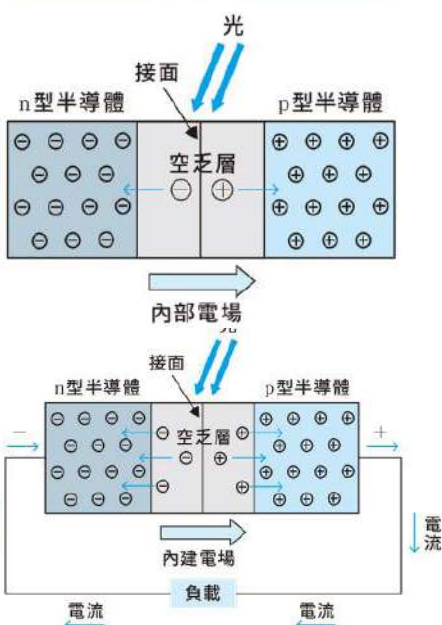
這個頻率會因金屬材質不同而有不同的值，稱為低限頻率。當入射光的頻率大於低限頻率，那麼只要入射光的光強度越大，金屬所釋放的光電子就越多。另外光電子所帶有的動能與入射光強度無關，但會隨入射光頻率提高而增加。

(二) 太陽能板工作原理

p 型半導體有電洞，n 型半導體有電子，p 型與 n 型半導體接合後，接合面附近的 n 型、p 型半導體互相消滅，形成空乏層。陽光照入空乏層，產生新的電子與電洞，新的電子會往 n 型半導體移動，新的電洞則往 p 型半導體移動。於是，電子便會在外部電路產生推動電流的力，稱為電動勢。



在光照射半導體的同時，電動勢會一直持續發生，愈來愈多電子被擠入外部電路，於外部電路供應電力，被擠出至外部電路的電子會再回到 p 型半導體，與電洞結合。我們可以觀察到這個過程所產生的電流。

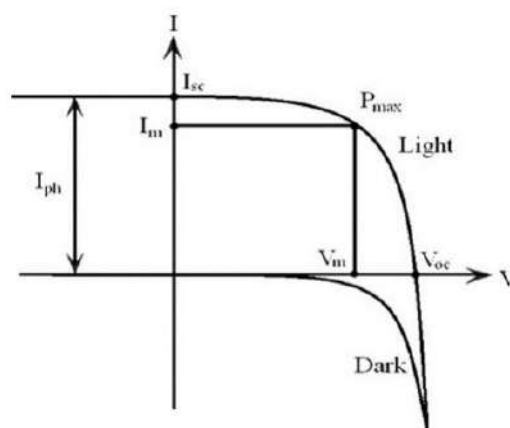


本圖源自星陽能源

本圖源自泛科學《圖解半導體》

(三) 東海大學應用物理系「太陽能實驗」

我們從這份資料看到很多有關太陽能板的實驗，其中，關於太陽能板特性曲線測量的部份對我們最有幫助，他們利用不同大小的電阻測出太陽能板的開路電壓、最大功率點以及短路電流。於是我們也想用他們的方法測出我們的太陽能板特性曲線。



本圖源自東海大學應用物理系「太陽能實驗」

(四) 第 55 屆科展作品：「陽」「仰」得「意」－探討太陽能板擺設最佳角度

這篇文獻主要在計算最佳的太陽能板擺放方式，他們算出當太陽光垂直照射太陽能板時有最大的發電效益，公式一：若太陽仰角 $=\theta$ ，則熱量吸收率為 $\sin \theta$ ；公式二：若太陽入射角為 α 、方位角差為 β ，則熱量吸收 $=\cos \alpha \times \cos \beta$ 。還有提到陽光直射和斜射所照射的面積和單位接受光量不同，吸收率比等於與的太陽光照射面積的倒數比。但是此公式只適用於太陽能板向南傾斜時，他們也沒有實際的去做實驗，而只是利用計算、畫圖，去推出一些概念，所以我們利用透明半球模擬天球，畫上方位和太陽在不同季節與時間的位置點，並用手電筒照射來探討太陽在不同季節、時刻的照射面積，測試不同面向方位以及不同傾斜角度，並且做實驗觀測驗證公式。

(五) 第 56 屆科展作品：真的全自動－全球免設定日光追蹤系統！

這篇文獻研究方向是透過讓太陽能板轉動，來發出更大的電壓、電流，所以我們也想製作可以旋轉的太陽能板，來和固定的太陽能板比較，看是否可以提升發電效益。

貳、研究設備及器材

一、實驗器材：

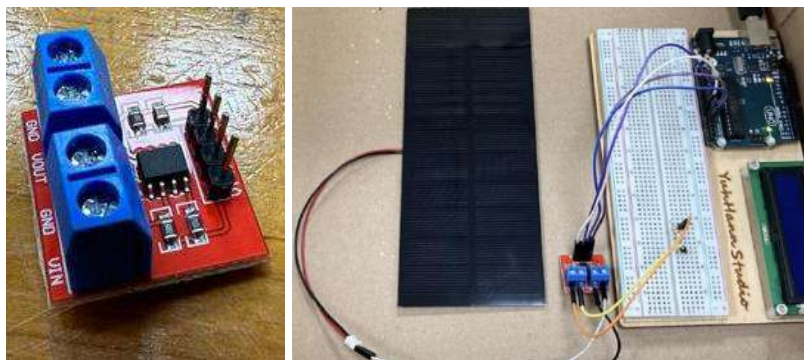
(一) 太陽能板



太陽能板規格	
種類	單晶矽
能源轉換率	17%
功率	2W
典型電壓	5.5V
大小	80*180 mm ²

本圖由作者拍攝

(二)電壓電流感測器－電壓檢測範圍：3-25V、電流檢測範圍：0-3A



本圖由作者拍攝

接法：

感測器藍色接頭	麵包板電路	感測器針狀接頭	Arduino 板
VIN	太陽能板正極	VT	A0
GND	太陽能板負極	AT	A1
VOUT	麵包板上電阻一端	GND	GND
GND	麵包板上電阻另一端	GND	GND

(三)光照強度感測器－測量範圍 0~65535lux



本圖由作者拍攝

感測器	Arduino 板
GND	GND
ADD	不用接
SDA	A4
SCL	A5
VCC	5V

(四)分析軟體

 ARDUINO	 Excel	 ImageJ Image Processing & Analysis in Java
Arduino 程式	Excel 軟體	ImageJ

(五)器材 以下的圖皆由作者拍攝

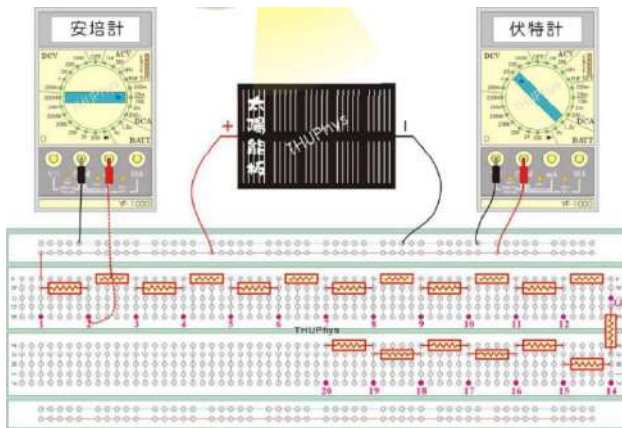
		
Arduino 電路板	照度計	指南針

		
三用電表	玻璃紙	UV 燈(365 nm)

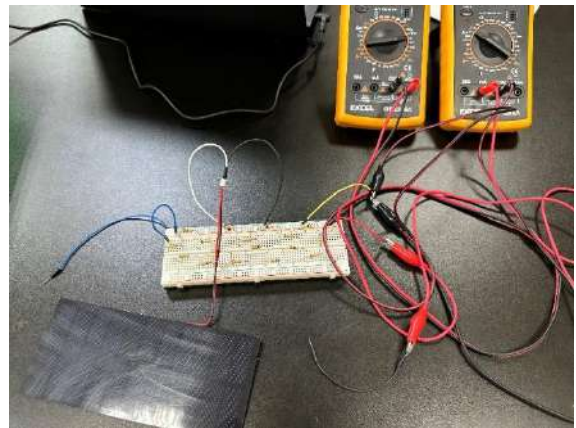
參、研究過程或方法

一、太陽能板特性曲線量測

- (一) 固定光照強度，將太陽能板接上電阻，進行放電，測量電壓、電流。
- (二) 改變電阻大小，測量電壓電流。

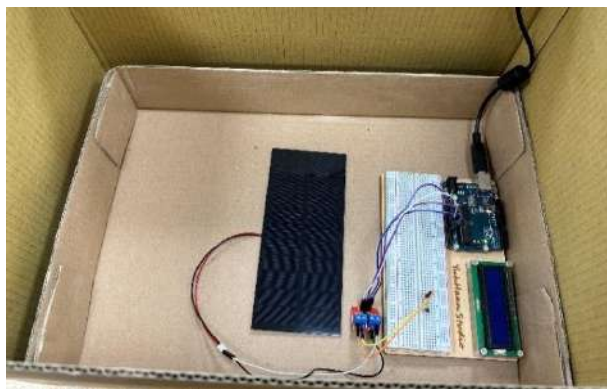


本圖源自東海大學應用物理系「太陽能實驗」



本圖由作者拍攝

二、不同光照強度對太陽能板發電情形之影響



本圖由作者拍攝



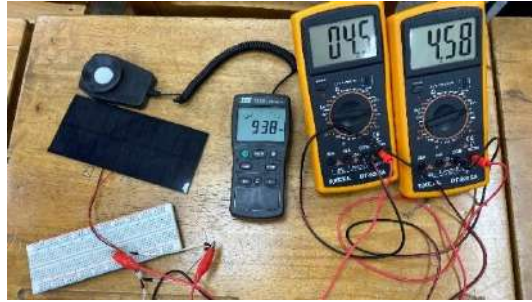
本圖由作者拍攝

- (一) 在暗箱中，將手機光依次提高亮度照射太陽能板，記錄照度與電壓電流。接著，在室內、不放暗箱，重複上述實驗。
- (二) 利用投影機當作光源，改變太陽能板與光源的距離，記錄照度與電壓電流。
- (三) 在室外，利用陽光明暗的變化，記錄照度與電壓電流。

三、不同波長的光對太陽能板發電情形之影響



本圖由作者拍攝



本圖由作者拍攝

- (一) 在室內，分別將綠、橘、紅、藍玻璃紙折成兩層與四層蓋在箱子上，記錄照度以及電壓電流。在室外，重複上述實驗。
- (二) 在暗室中，使用 UV 燈照射太陽能板，改變距離，記錄照度以及電壓電流。
- (三) 使用手機和光譜儀，拍下綠、橘、紅、藍玻璃紙的濾光後情形，並用 imageJ 分析波長與光強度的關係。

四、不同地面夾角對太陽能板發電情形之影響



本圖由作者拍攝



本圖由作者拍攝

- (一) 將電腦放在桌面下的凳子上，桌子鋪桌巾。Arduino 板與太陽能板放在空曠處。
- (二) 太陽能板與地面夾角分別為 0、15、30、45 度，面向同一方位擺放。
- (三) 利用 Arduino 程式每 5 秒紀錄一次電壓、電流，連續測量約 8 小時。

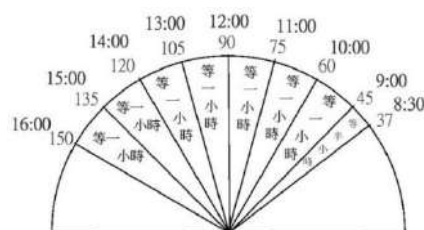
五、不同面向方位對太陽能板發電情形之影響

- (一) 固定太陽能板與地面夾角，分別面向東邊、西邊、南邊、北邊擺放。
- (二) 利用 Arduino 程式每 5 秒紀錄一次電壓、電流，連續測量約 8 小時。

六、自製太陽能板旋轉裝置對發電情形之影響



本圖由作者拍攝

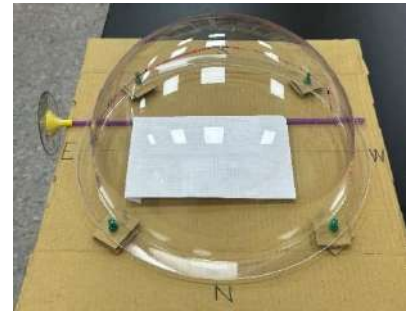


本圖由作者繪製

- (一) 把太陽能板裝在伺服馬達上，利用 Arduino 程式讓伺服馬達每一小時轉 15 度。
- (二) 裝置起始朝向東方，每 5 秒紀錄一次電壓、電流，連續測量約 8 小時。

七、自製半圓球模型模擬天球並計算陽光照射面積

- (一) 在透明半圓球上畫上夏至、冬至以及春秋分的太陽軌跡，並標記時刻 10:00、12:00、15:00。
- (二) 把方格紙當成太陽能板，改變方格紙面向方位與傾斜角度，記錄不同季節、不同時刻陽光照射面積。



本圖由作者拍攝

八、光照強度與發電功率的關係

- (一) 用折四層的玻璃紙把光照強度感測器遮住，以降低光強度，安裝到麵包版上，然後將麵包板放在太陽能板旁邊。
- (二) 利用 Arduino 程式每 5 秒紀錄一次電壓、電流以及光照強度，連續測量約 8 小時。

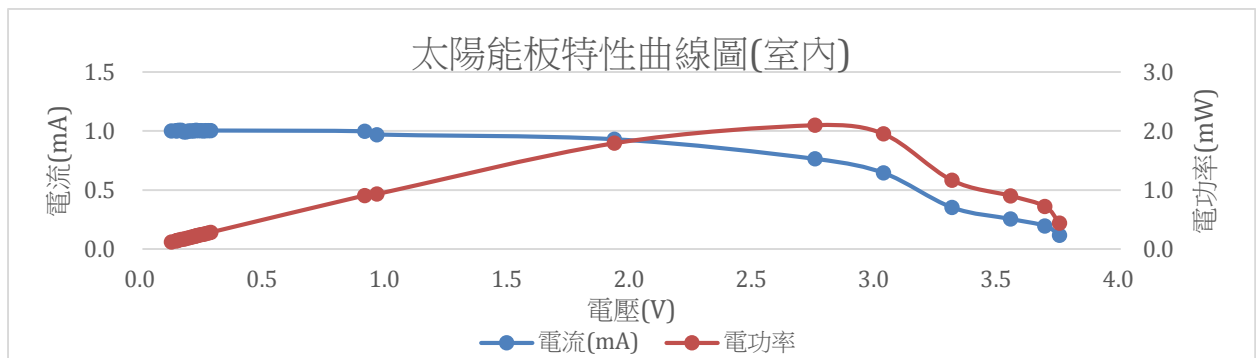


本圖由作者拍攝

肆、研究結果

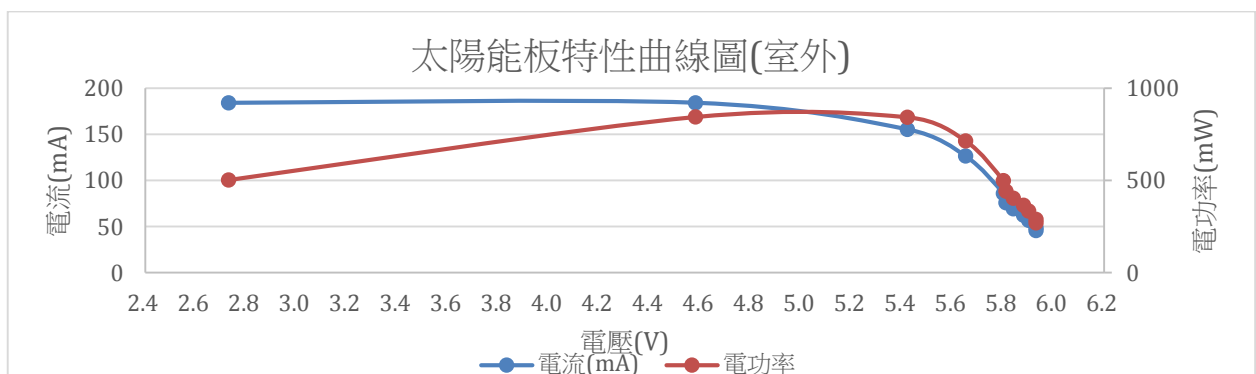
一、太陽能板特性曲線測量

(一) 在室內不同電阻大小和電壓的關係



在室內時，隨著電阻的增加，電壓也持續增加，但電流卻持續變小，而電功率在電阻為 3900 歐姆時最大，所以我們選用 3900 歐姆的電阻作為後續室內實驗測量的電阻。

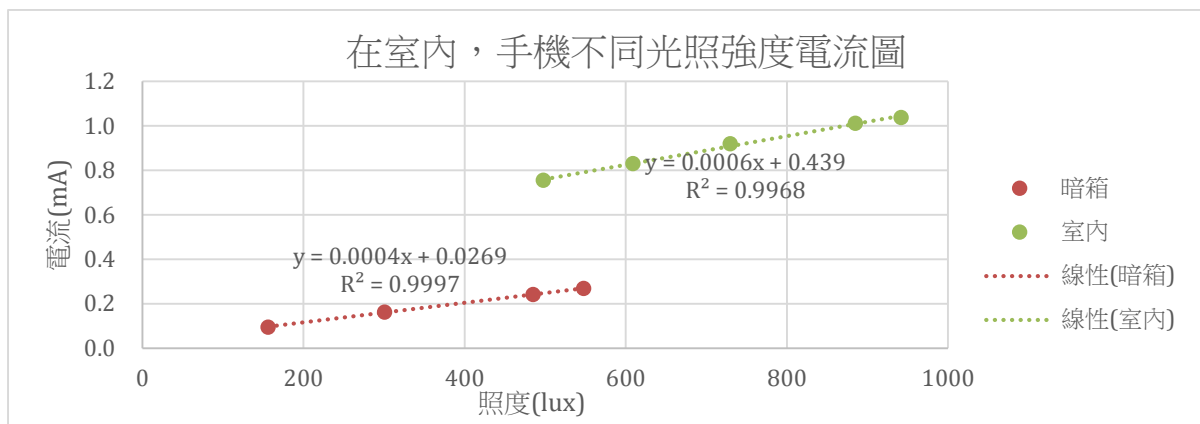
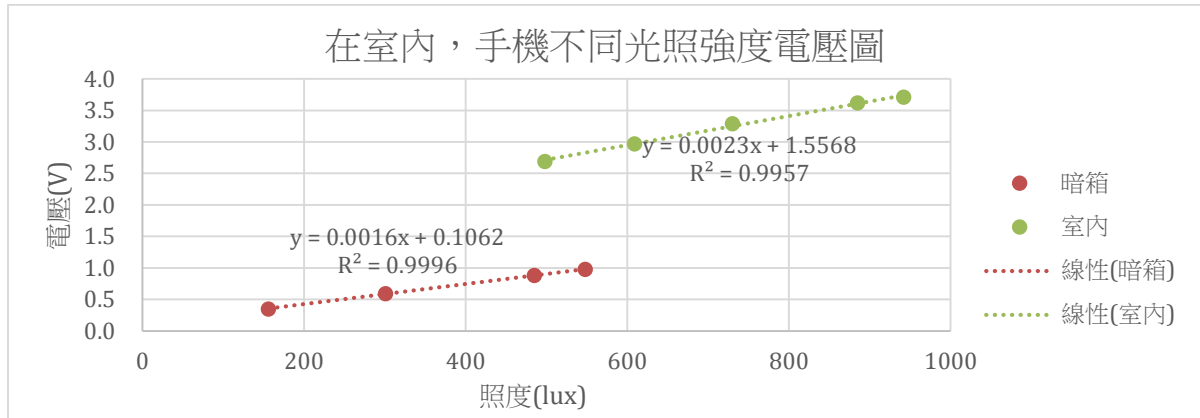
(二) 在室外不同電阻大小和電壓的關係



在室外時，電功率在電阻為 20~30 歐姆之間時最大，所以我們選用 28.8 歐姆的電阻作為後續測量的電阻。

二、不同光照強度對太陽能板發電情形之影響

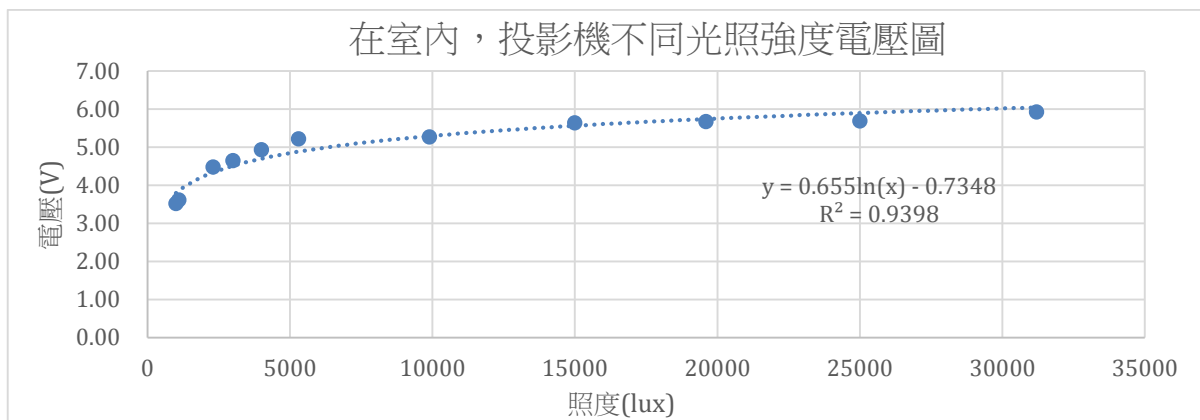
(一) 在室內，手機光照強度對太陽能板電壓電流的影響

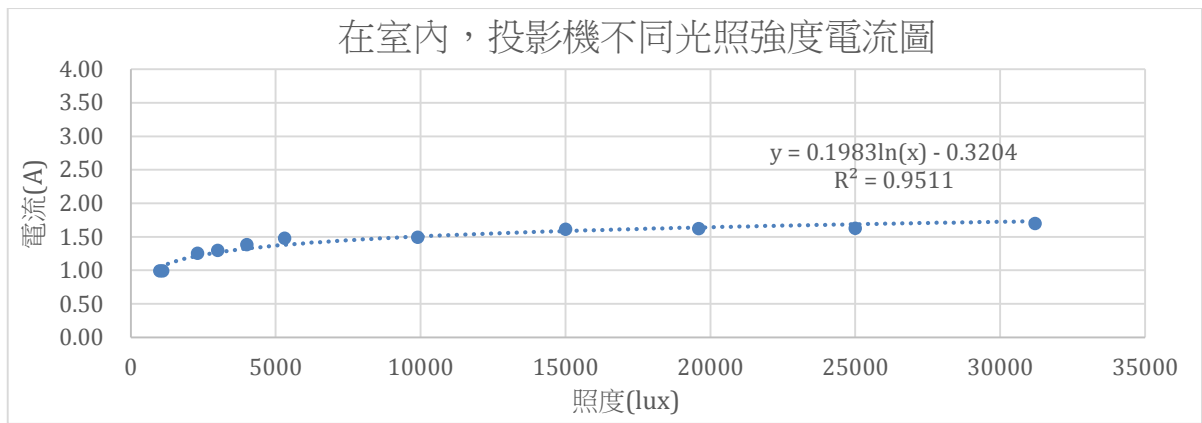


圖中，紅色為暗箱中使用手機光的情形，綠色為室內光源加上手機光，我們發現：

1. 在暗箱中，隨著照度增加，電壓、電流也增加。
2. 在室內光源中，隨著手機光照強度的增加，電壓電流增加的幅度比在暗箱內更明顯。
3. 雖然在暗箱中手機光變成四格亮度時的光照強度比室內無遮蔽無手電筒照亮的還要高，但電壓電流依然比在暗箱內的要低，我們推測是因為照光環境不同所導致。

(二) 在室內，投影機光照強度對太陽能板電壓電流的影響

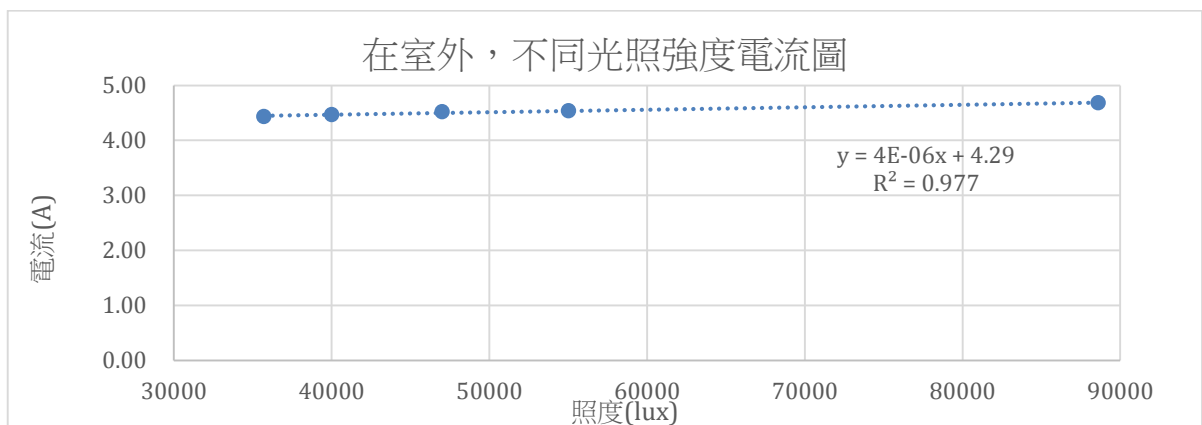
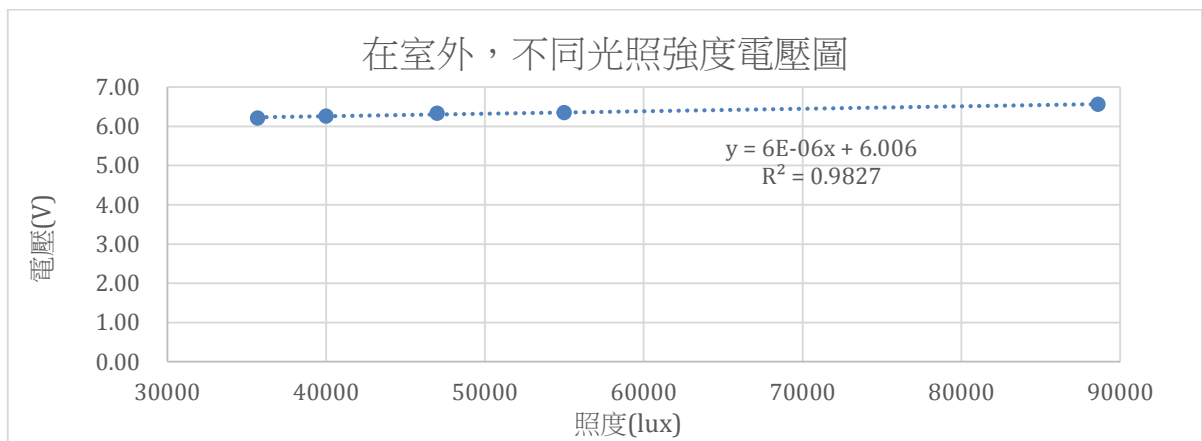




從圖中我們發現：

1. 在一開始隨著光照強度增加，電壓、電流都有明顯提升，趨勢為對數成長。
2. 在光照強度超過 15000 lux 後，電壓、電流的上升幅度都有所減緩，會到達一個飽和現象。

(三)在室外，太陽光照強度對太陽能板電壓電流的影響

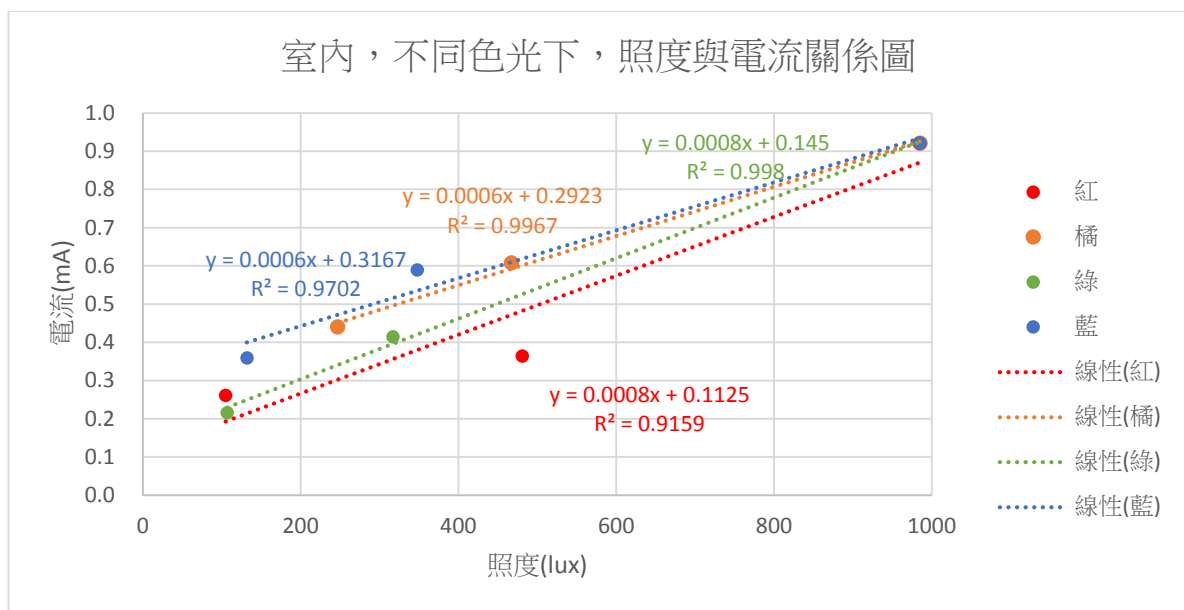
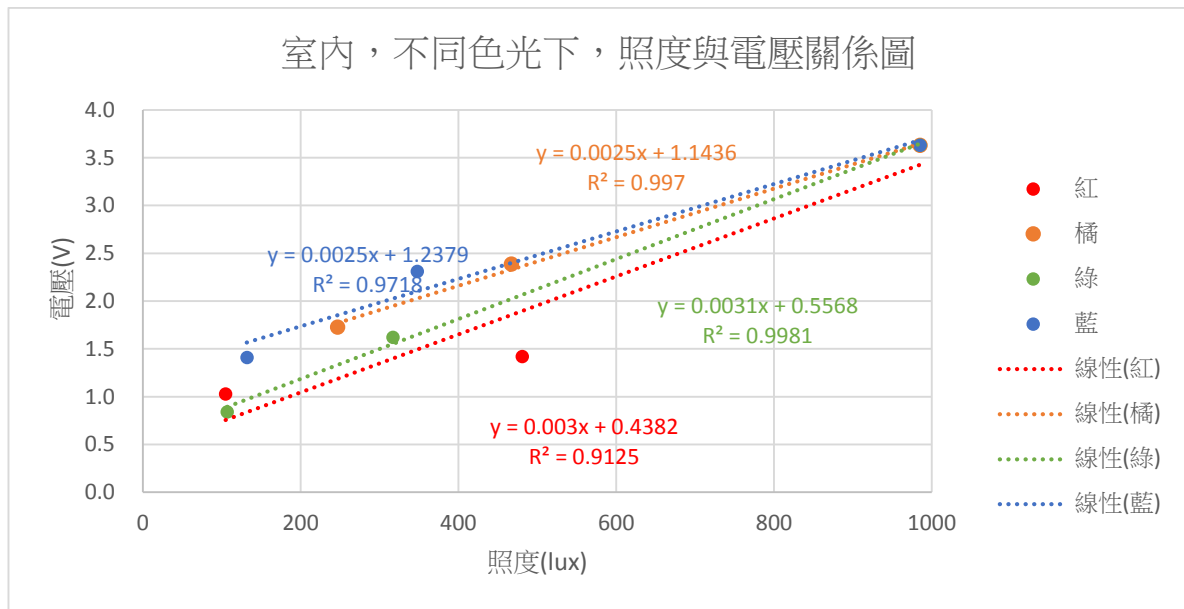


從圖中我們發現：

1. 在室外時，隨著光照強度增加，電壓、電流也增加，但是增加的情形不明顯。
2. 與室內相比，室外產生的電壓、電流高出很多，並且我們原以為兩者的趨勢線產生的方程式會相近，結果卻有很大的差距，我們推測可能是二極體的特性造成的。

三、不同波長的光對太陽能板發電情形之影響

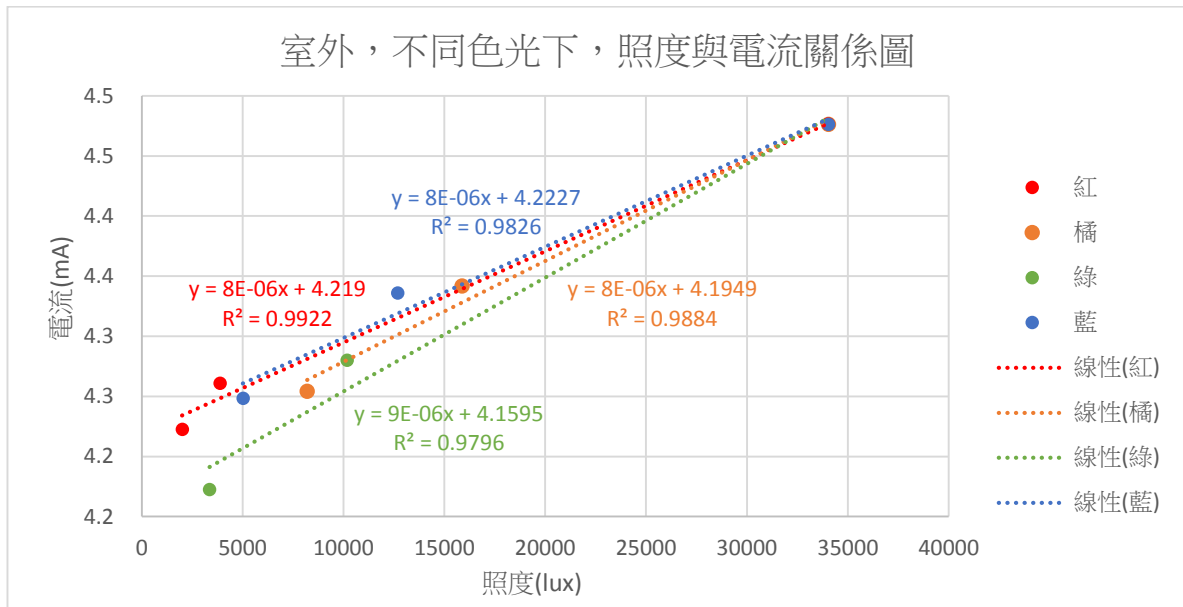
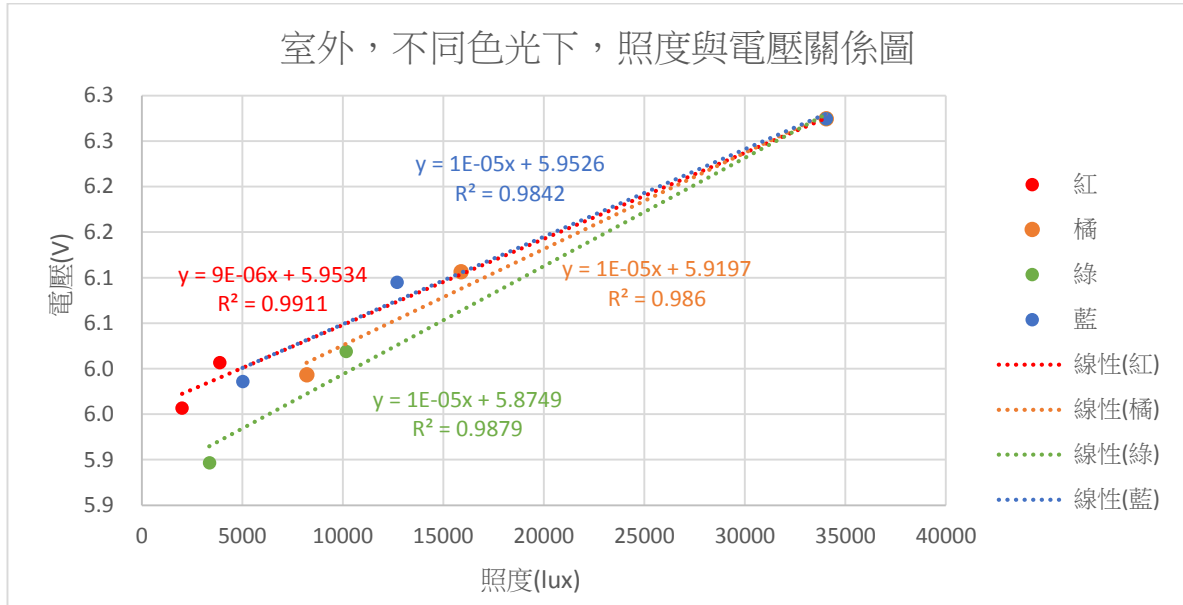
(一) 在室內，不同色光照度與電壓電流的關係



從圖中我們發現：

1. 所有顏色玻璃紙折兩層光照強度都比折成四層的高，表示玻璃紙的確有濾光效果。
2. 紅光的照度是所有顏色當中最底的，代表紅色的濾光效果最好，我們進一步透過 imageJ 分析光譜的光強度與波長的關係，發現：太陽光中僅有紅光範圍(波長 669 nm 左右)的光能通過。
3. 以電壓、電流而言，也是折成兩層的比折成四層的高，是因為光照強度的緣故。

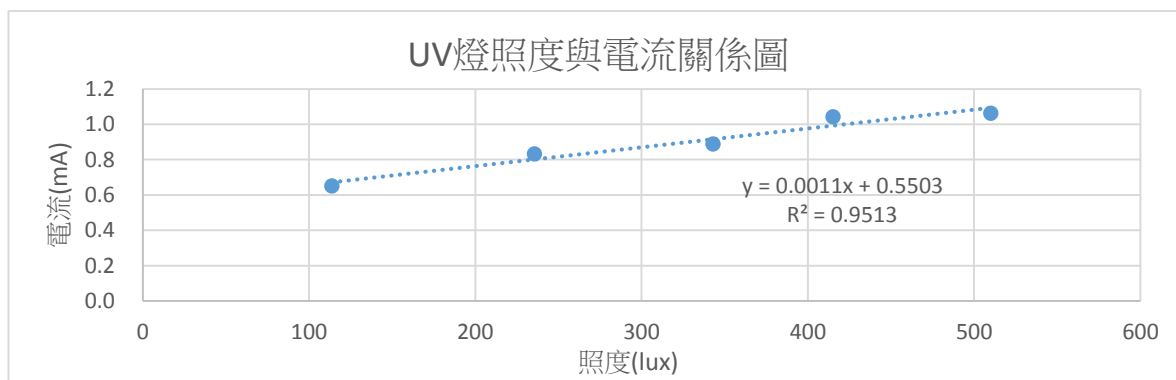
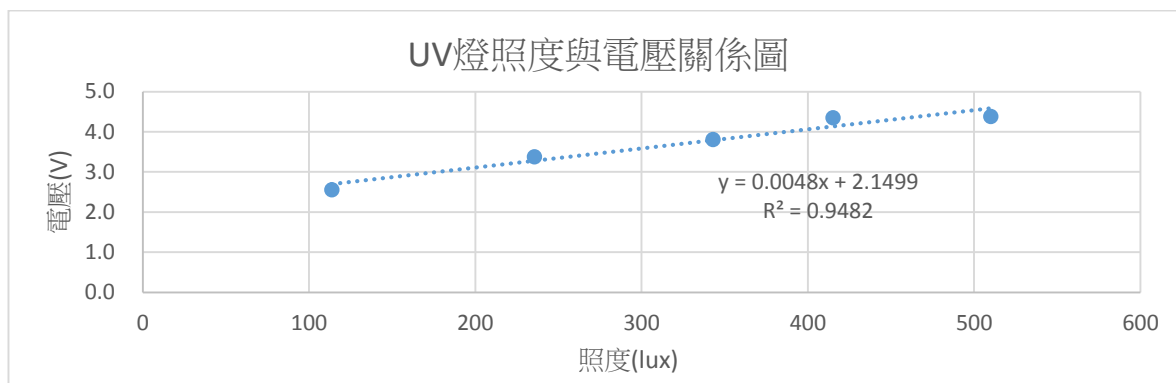
(二) 在室外，不同色光照度與電壓電流的關係



從圖中我們發現：

1. 室外和室內相同，各顏色折兩層玻璃紙的光強度皆較折成四層玻璃紙的高，其中，紅光的光強度依然是各顏色當中最底的。
2. 在室外也因為光照強度的關係使折兩層玻璃紙的電壓、電流比折四層的還要高。
3. 比起室內，室外無遮玻璃的光強度和有遮玻璃紙電壓電流的差距比室內大。
4. 我們透過 **imageJ** 去分析光譜的光強度與波長的關係，推論相同光強度下各色光對太陽能板的影響。

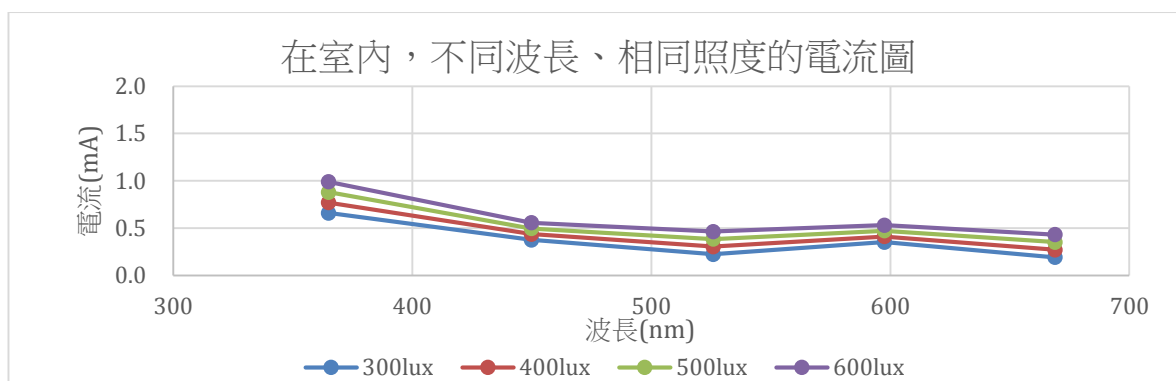
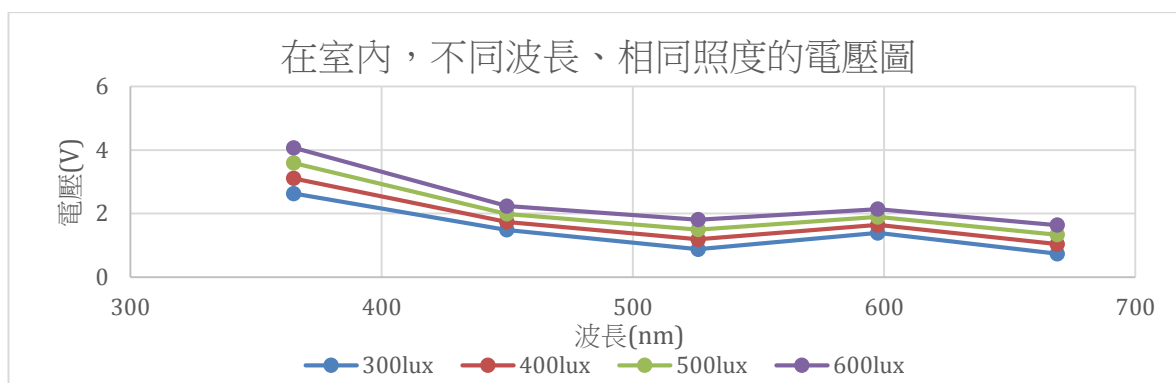
(三) 在暗室，不同 UV 燈照度與電壓電流的關係



從圖中我們發現：

1. 在 UV 燈照射下，隨著光照強度增加，電壓、電流也會增加。
2. UV 燈的光照度雖然比室內的低，但電壓、電流的差距卻沒有很大。

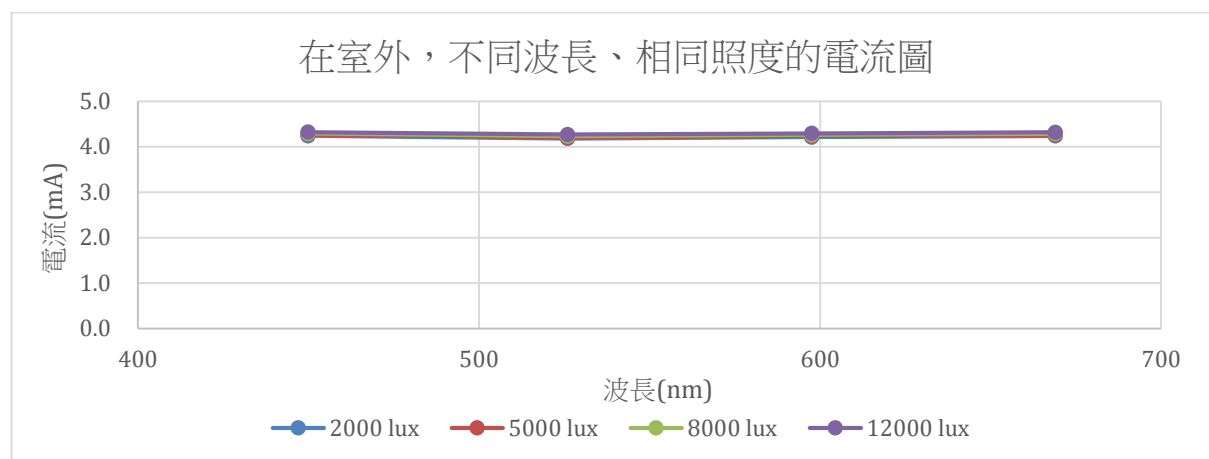
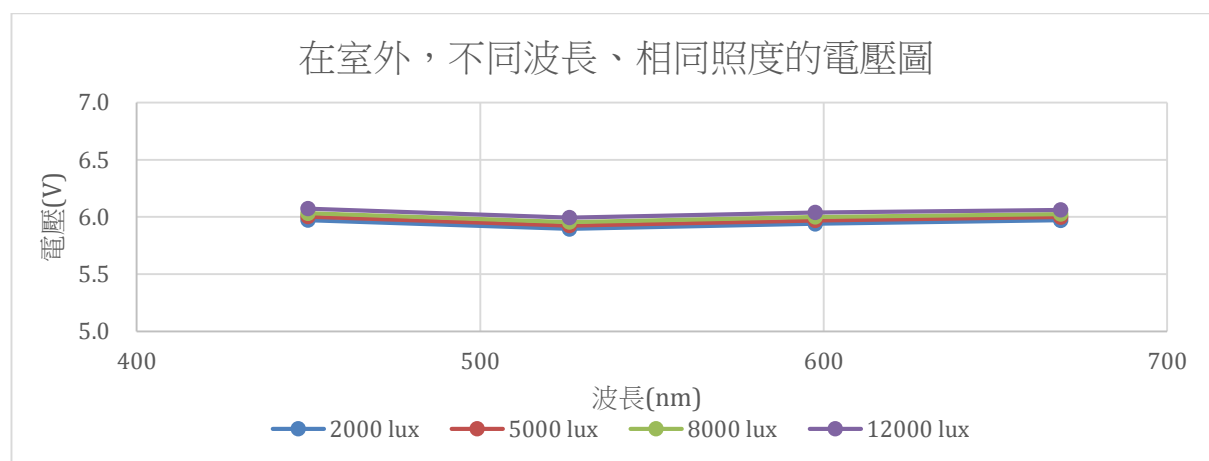
(四) 在室內，相同照度下，不同波長的光與電壓、電流的關係



從圖中我們發現：

1. 利用 imageJ 分析玻璃紙濾光後的光譜得知：波長 450 nm、525 nm、597 nm、669 nm 分別對應藍、綠、橘、紅色玻璃紙，另外，波長 365 nm 是 UV 燈。
2. 我們用趨勢線分析推算出在室內相同照度下的電壓電流值，發現：在相同照度下，各色光的電壓、電流差異並不明顯，這表示在可見光範圍內，各色光對太陽能板的吸光程度影響很小，而 UV 燈在相同照度下可發出的電壓、電流比其他色光稍高一點點。

(五) 在室外，相同照度下，不同波長的光與電壓、電流的關係

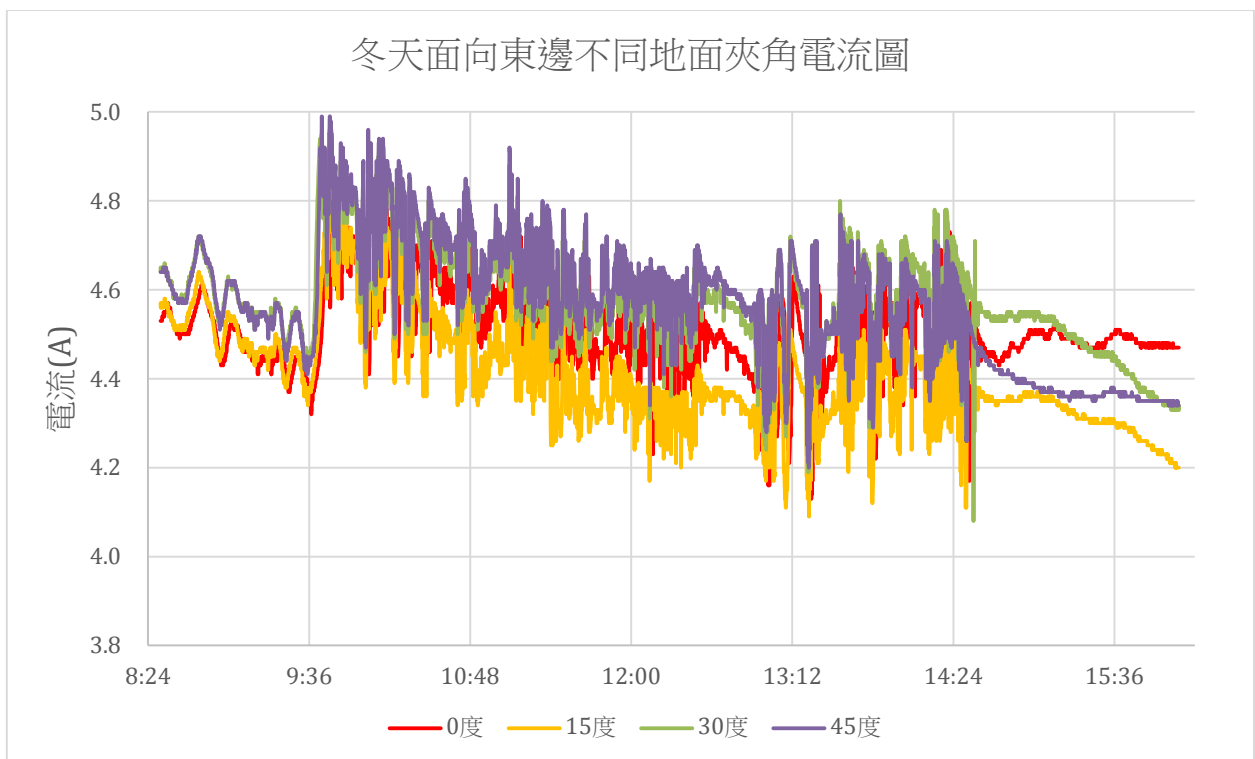
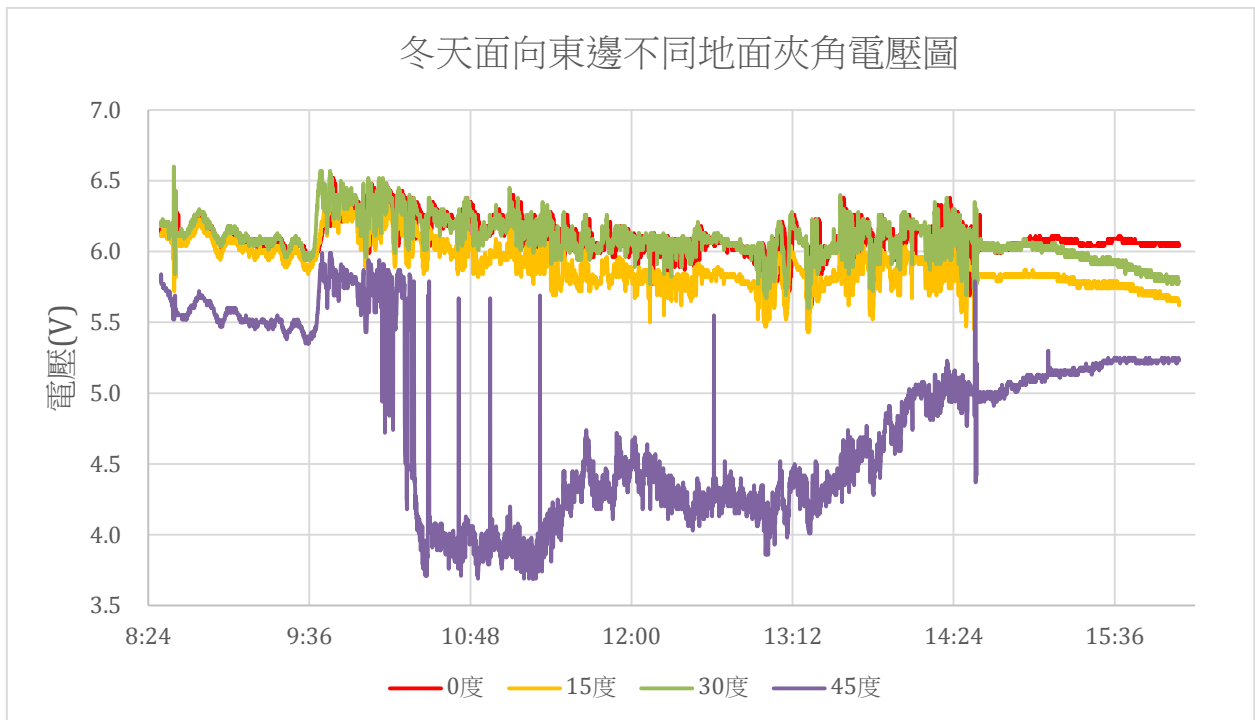


從圖中我們發現：

1. 波長 450 nm、525 nm、597 nm、669 nm 的分別對應藍、綠、橘、紅色玻璃紙。
2. 我們同樣利用趨勢線分析推算出在室外相同光強度下的電壓電流值，發現和室內相似，在相同光照強度下各色光的電壓、電流差異非常小，光照強度越大，電壓電流數值幾乎相同。這表示在可見光範圍內，各色光對太陽能板的吸光程度影響很小。

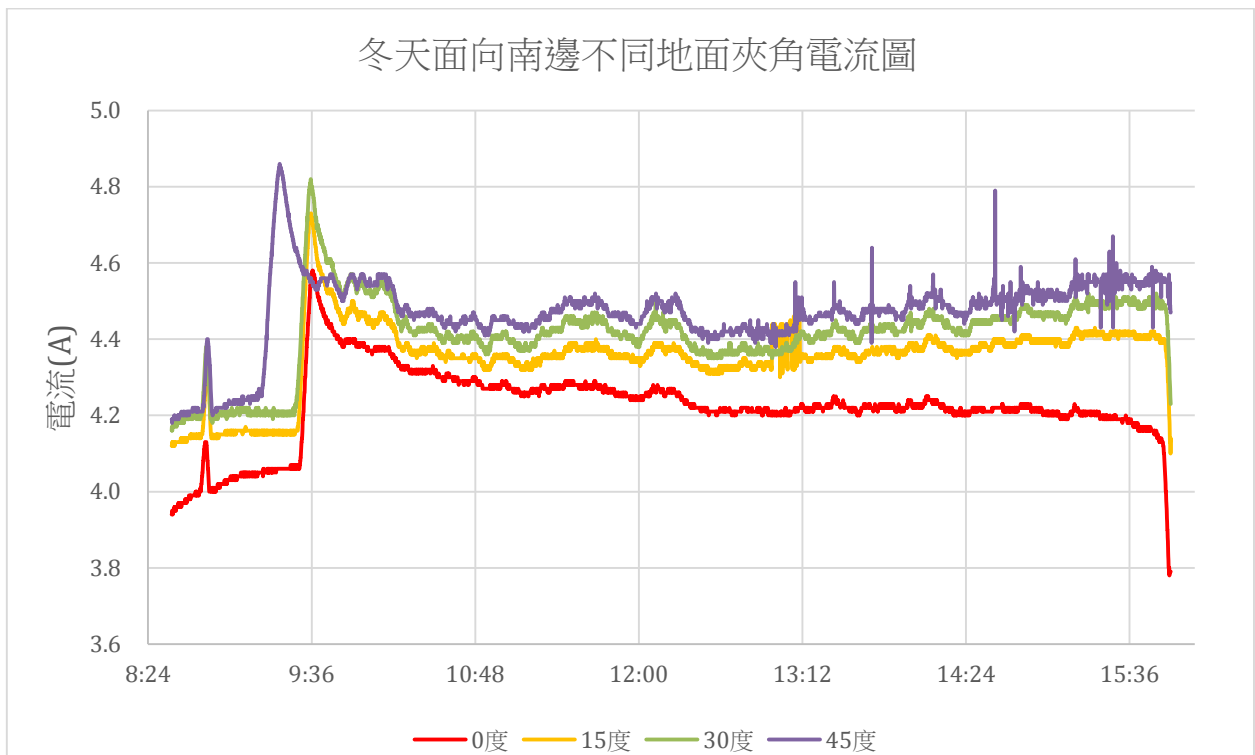
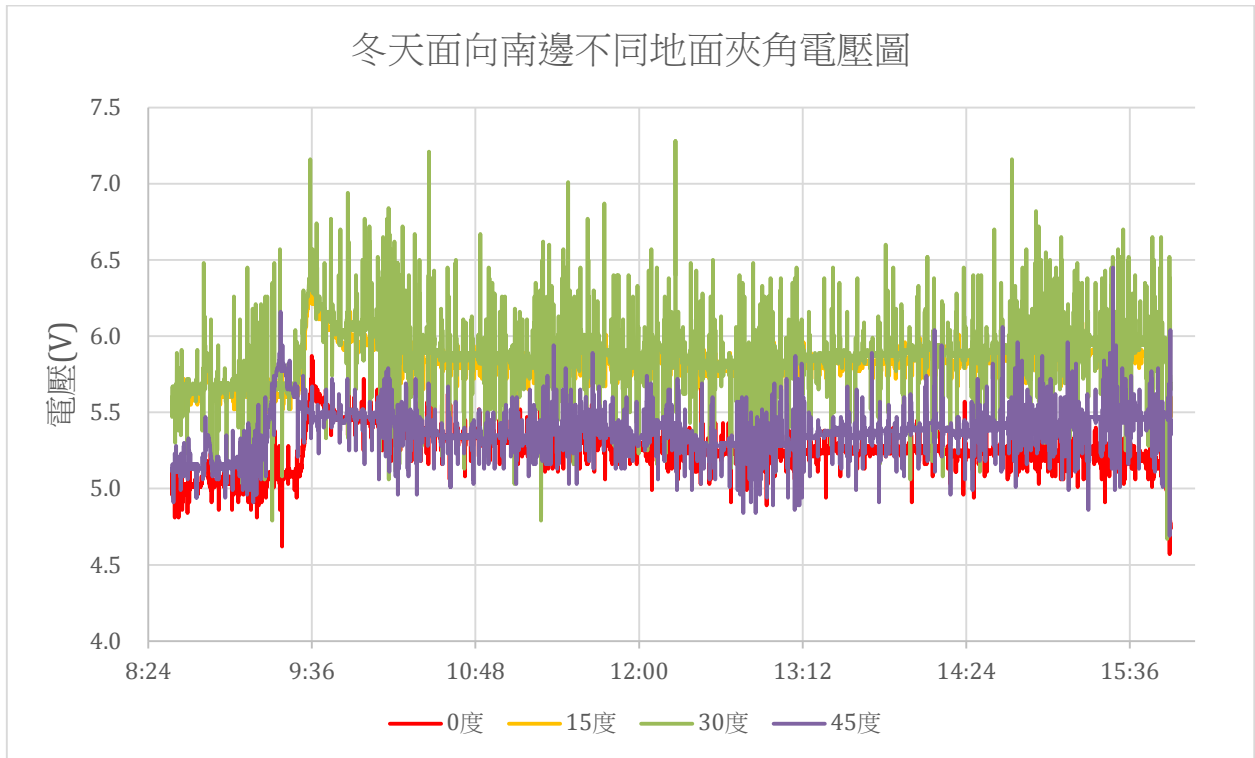
四、不同地面夾角對太陽能板發電情形之影響

(一) 冬天面向東方 (氣溫：12.8-24.2 °C、平均日射量 15.99 MJ/m²、日照時數 8.4 hr)



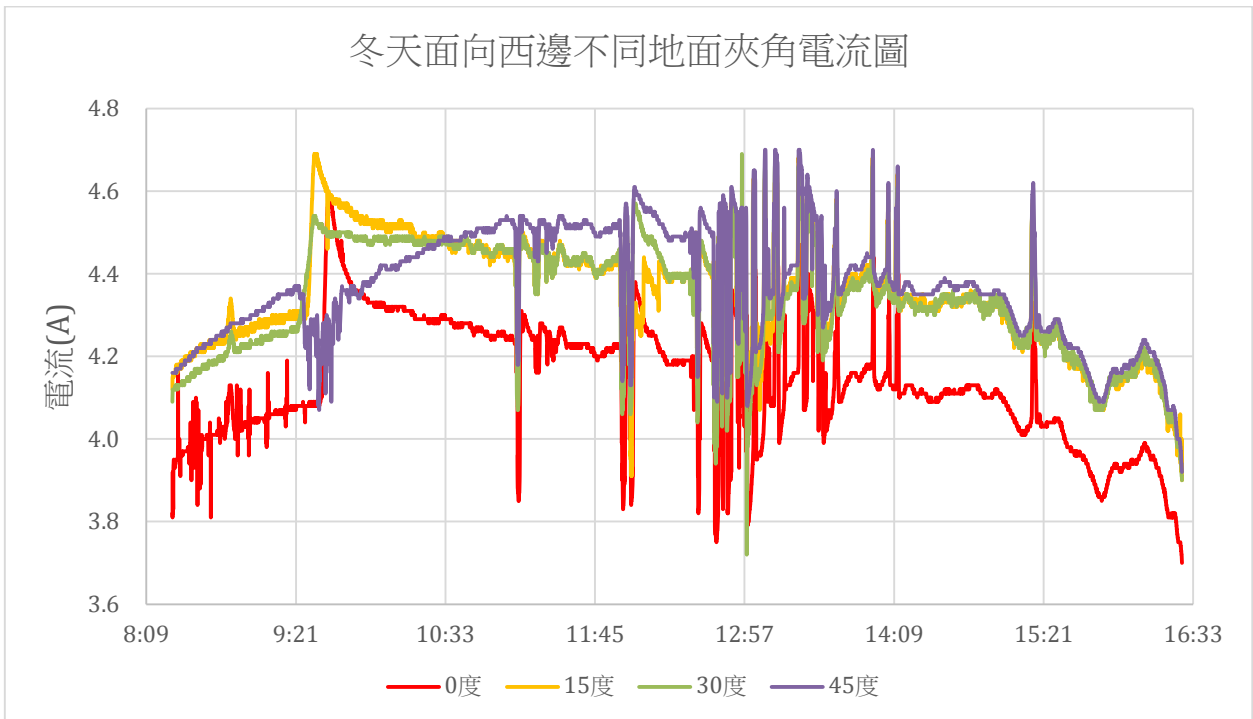
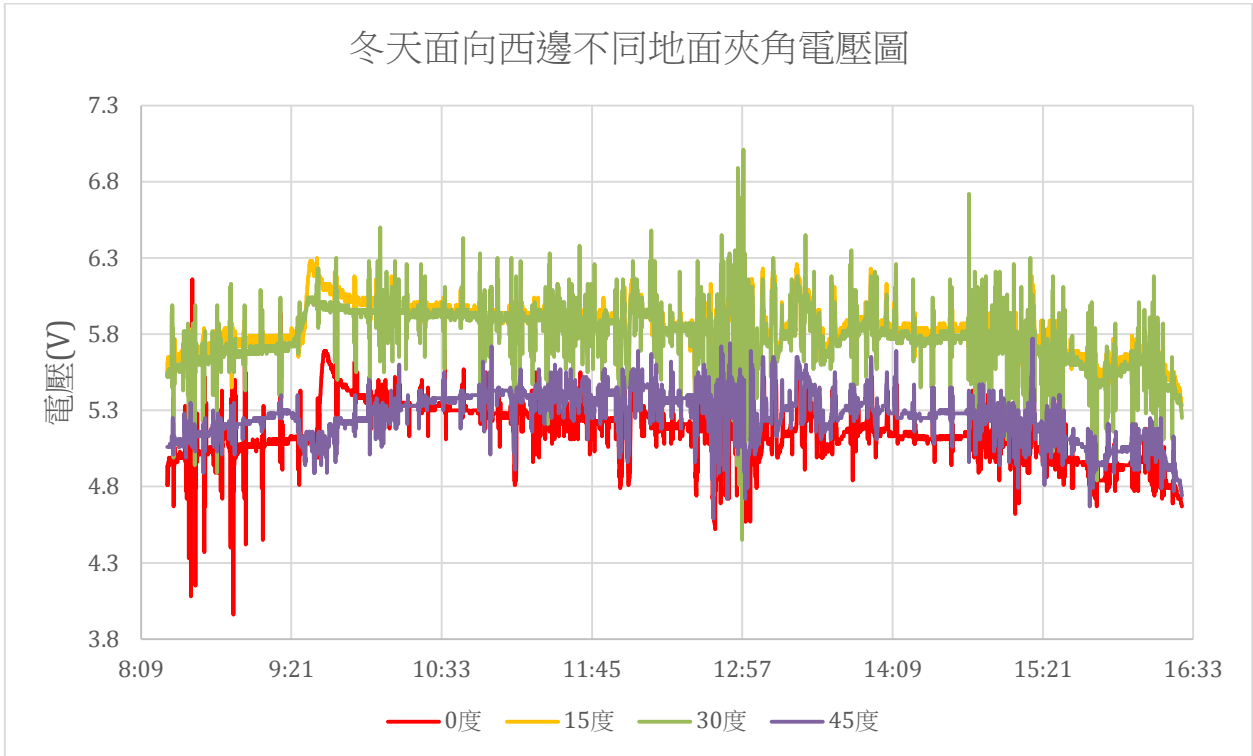
1. 傾斜 0、15、30 度的電壓落在 5.5~6.5 V 之間，而傾斜 45 度的則最低且與其他數值相差較遠。
2. 各傾斜角度的電流相差不明顯，落在 4.0~5.0 A 之間。
3. 無論是電壓電流，在大約九點三十五分時，無論什麼地面夾角的太陽能板產生的電壓電流皆有較大幅度的增加。

(二) 冬天面向南方 (氣溫：16.6-28.1 °C、平均日射量 15.70 MJ/m²、日照時數 8.4 hr)



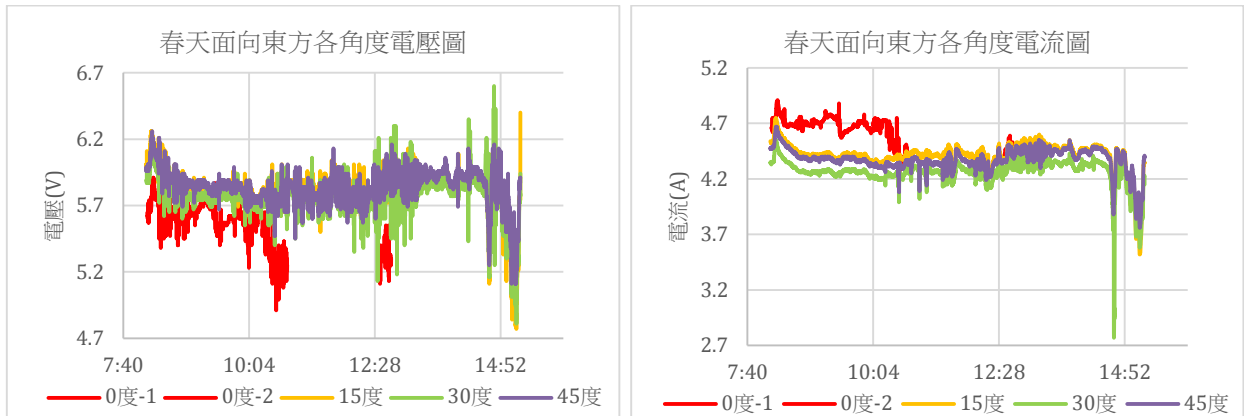
1. 各傾斜角度的電壓電流有所差異，電壓 30 度和 15 度接近且較大、0 度和 45 度接近但較小。電流是 45 度較大，其次是 30 度、15 度，最後是 0 度。
2. 不論夾角幾度的太陽能板產生的電流在九點三十五分左右急遽上升，我們推測並且證實這個時間是太陽光剛好沒有受到任何物體遮蔽，恰好完全照亮太陽能板的時刻。

(三) 冬天面向西方 (氣溫：19.0-28.2 °C、平均日射量 13.36 MJ/m²、日照時數 7.7 hr)



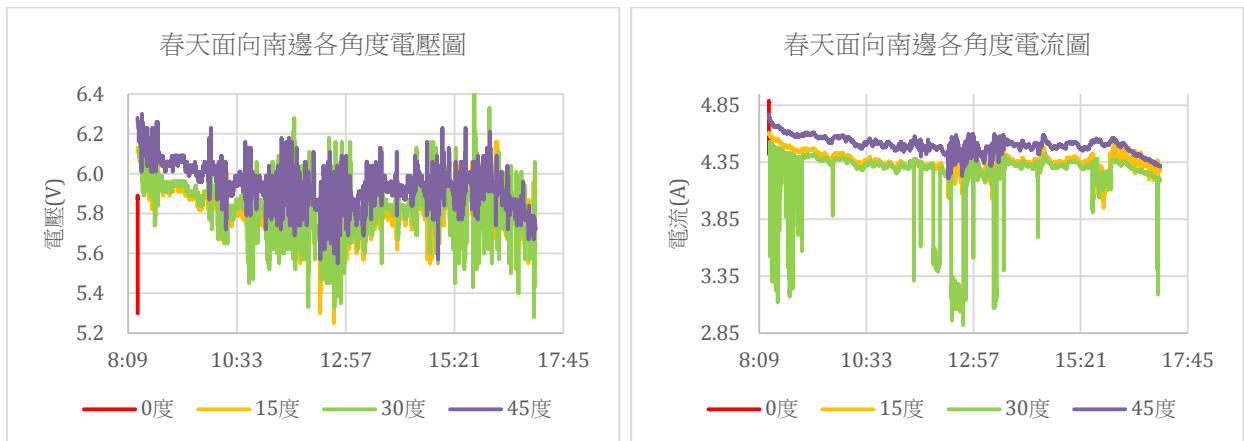
1. 各傾斜角度的電壓電流有所差異，電壓 15 和 30 度的比較高且接近、45 度和 0 度的較低。電流在 3.7~4.8 A 中間。是 45 度偏高，30 度和 15 度的很接近，0 度的最低。
2. 電流在九點三十五分左右急遽上升的現象與南邊相似，都為陽光恰好照到太陽能板的瞬間，後續的電流起伏應是烏雲離開到陽光直射的時候發生的現象。

(四) 春天面向東方 (氣溫：23.3-29.8 °C、平均日射量 18.52 MJ/m²、日照時數 9.8 hr)



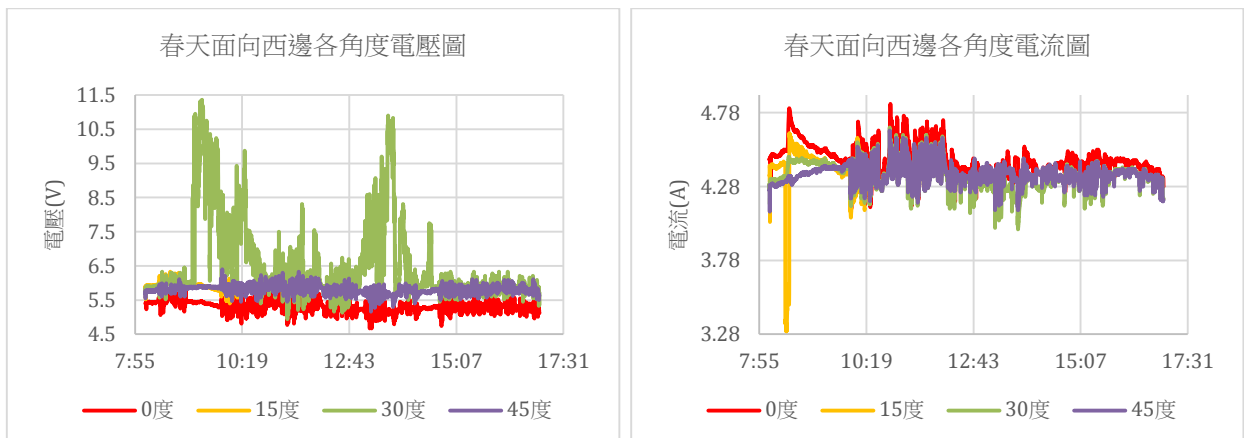
各角度電壓電流的數據皆相差不大，電壓是 45、30、15 較高，0 度較低。電流則是 0 度在上午時比較高，15 度和 45 度非常接近，30 度稍微低一點。

(五) 春天面向南方 (氣溫：21.0-28.8 °C、平均日射量 12.10 MJ/m²、日照時數 8.5 hr)



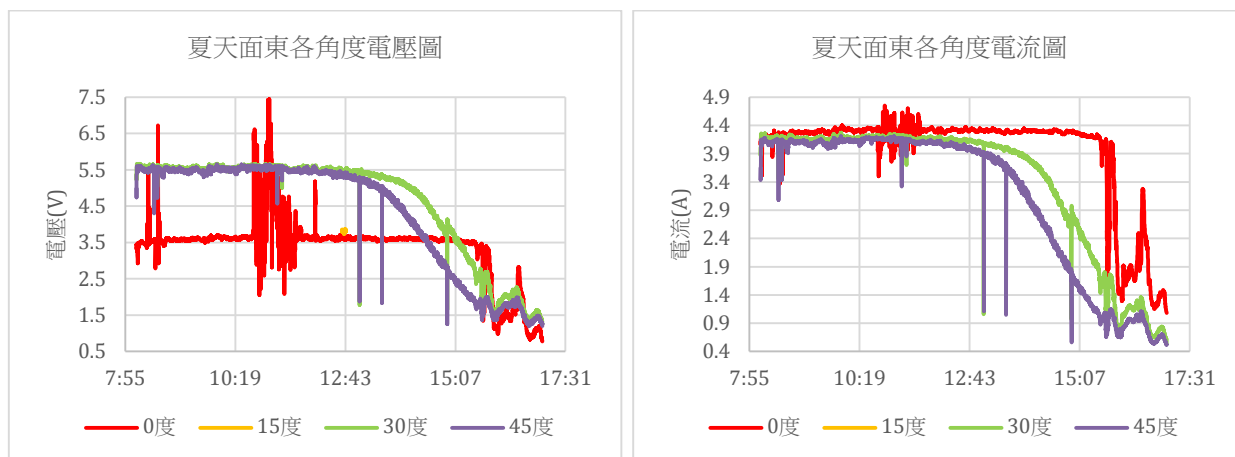
電壓和電流都是 45 度較高，15 度和 30 在電壓上很接近，在電流圖上 30 度起伏比較大。

(六) 春天面向西方 (氣溫：20.8-30.6 °C、平均日射量 21.00 MJ/m²、日照時數 9.1 hr)



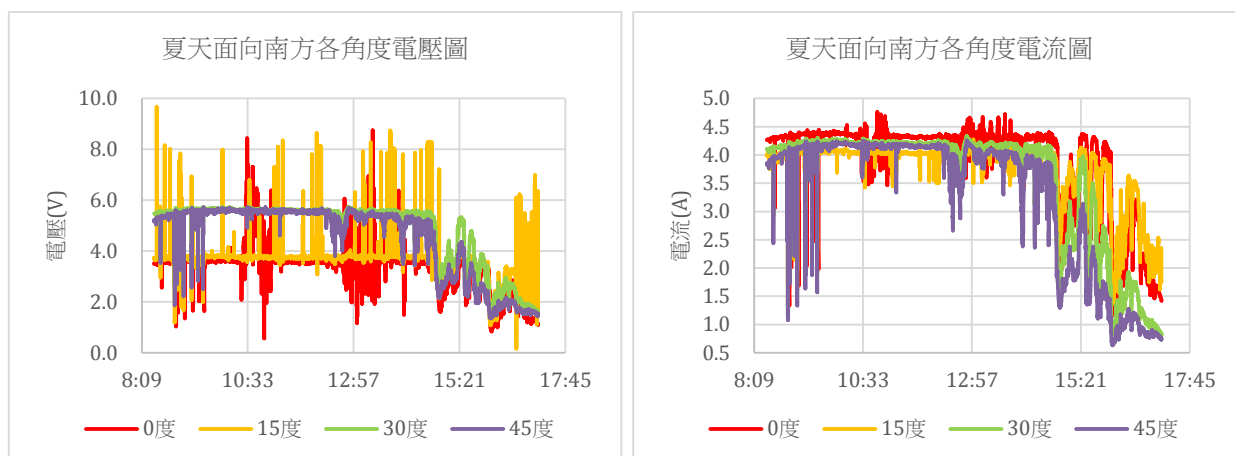
電壓中 30 度的比其他的高很多，15 度和 45 度的近乎重疊，零度的比較低。電流圖是 0 度稍高，15 度在早上時有較明顯的起伏。

(七) 夏天面向東方 (氣溫：19.8-25.9 °C、平均日射量 27.50 MJ/m²、日照時數 11.3 hr)



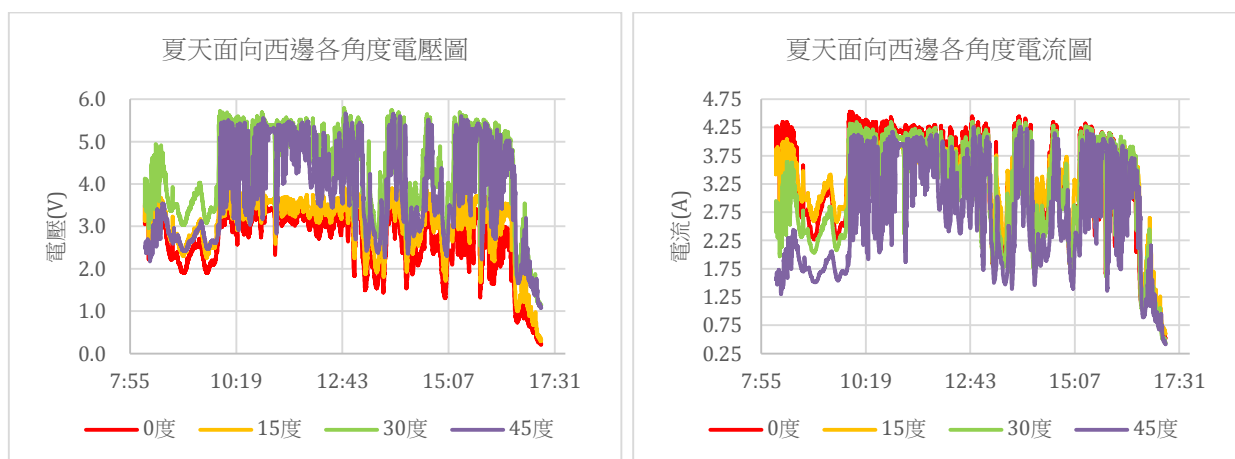
二圖中下午的電壓電流都有下滑的曲線。電壓是 0 度較低，但電流是 0 度較高。

(八) 夏天面向南方 (氣溫：19.3-25.7 °C、平均日射量 26.93 MJ/m²、日照時數 11.4 hr)



電壓是 0 度和 15 度的起伏比較大，總體上 45 度的較高。電流則是 45 度起伏較大，0 度較高。

(九) 夏天面向西方 (氣溫：20.5-28.3 °C、平均日射量 18.81 MJ/m²、日照時數 10.0 hr)



電壓是 45 度和 30 度的較高，電流是度 0 度較高，兩者的起伏都比較大。

不同季節、不同面向方位、不同傾斜角度的總結：

1. 在同一天做實驗，只改變傾斜角度時，電流變化的趨勢都很接近。
2. 在春天和夏天，電流並不會和冬天一樣在九點三十五分左右急劇上升，我們推測是因為季節不同，太陽照射角度不一樣，陽光照到太陽能板的時間不同所導致。

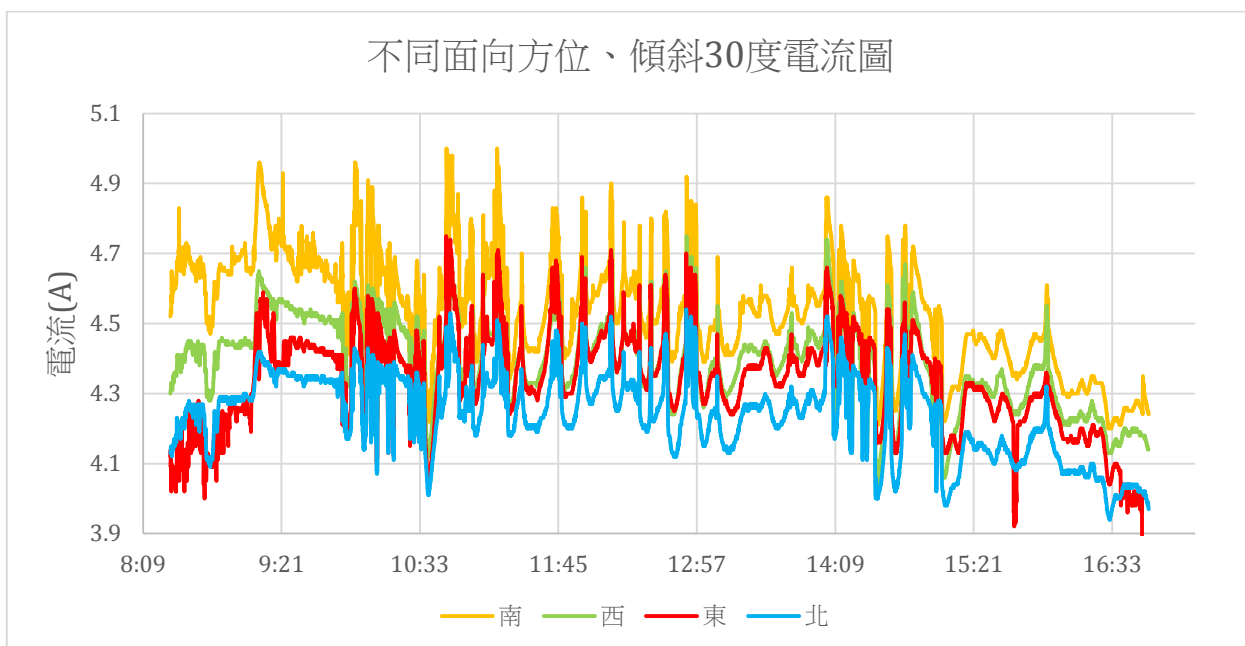
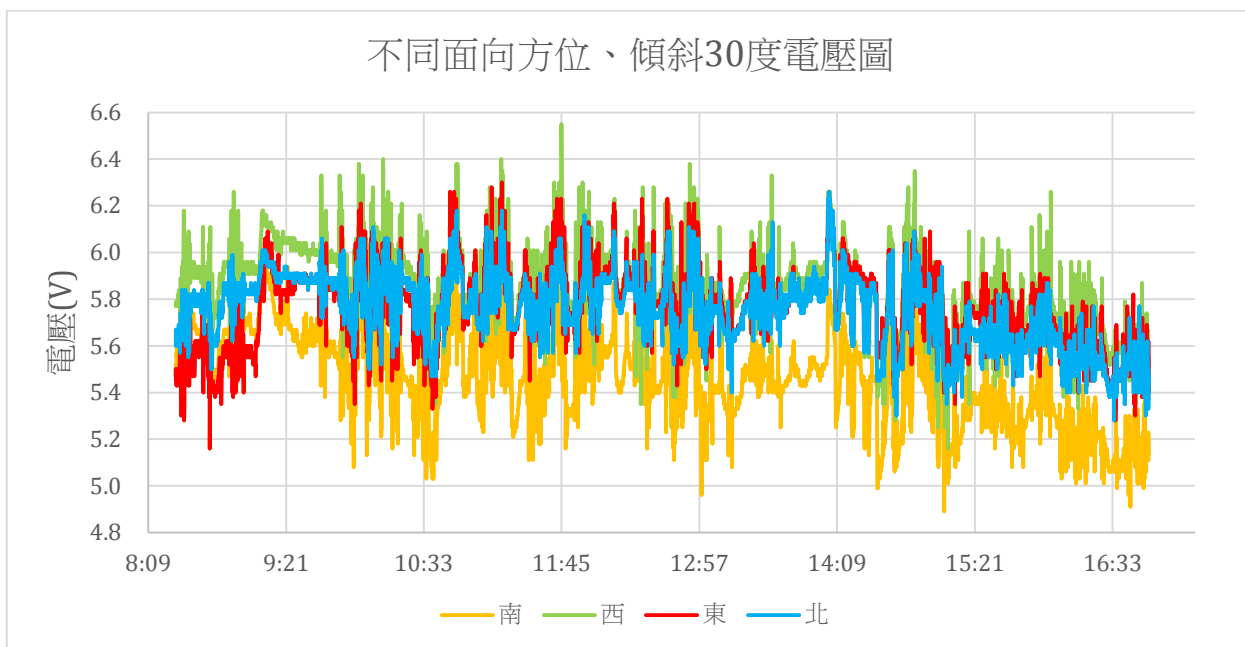
- 在電壓電流圖中，每個夾角的電壓及電流大小趨勢都不盡相同，無法直接判斷大小關係，所以我們將電壓電流數據相乘，得到電功率(P)，取平均後才能作比較。

電功率 (W) 實驗條件	地面夾角			
	0 度	15 度	30 度	45 度
冬天面向東方	27.52	26.10	27.89	21.99
冬天面向南方	22.22	25.33	25.98	24.04
冬天面向西方	21.38	25.41	25.14	23.01
春天面向東方	X	25.75	24.63	25.54
春天面向南方	X	25.39	24.84	26.78
春天面向西方	23.69	26.01	28.54	25.34
夏天面向東方	13.93	15.74	17.54	15.65
夏天面向南方	13.67	13.77	18.56	16.74
夏天面向西方	9.44	10.60	13.96	10.95

由上表可知：

1. 冬天時，太陽能板面向東邊與南邊時，與地面夾角 30 度的太陽能板電功率最高，太陽能板面向西邊時，與地面夾角 15 度的太陽能板電功率最高。
2. 春天時，X 表示沒有資料，因為春天時儀器故障及天候不穩定，導致很多數據遺失。以現有資料而言，面向東方的太陽能板以 15 度的電功率最高，面相南方的以 45 度的電功率最高，面向西方的則以 30 度的電功率最高。
3. 夏天時，面向東南西的太陽能板都以與地面夾角 30 度的太陽能板電功率最高，而夏季的電功率會低於冬季的，可能是因為我們的設備老舊，導致太陽能板的電功率沒那麼高。

五、不同面向方位、相同地面夾角對電壓電流之影響

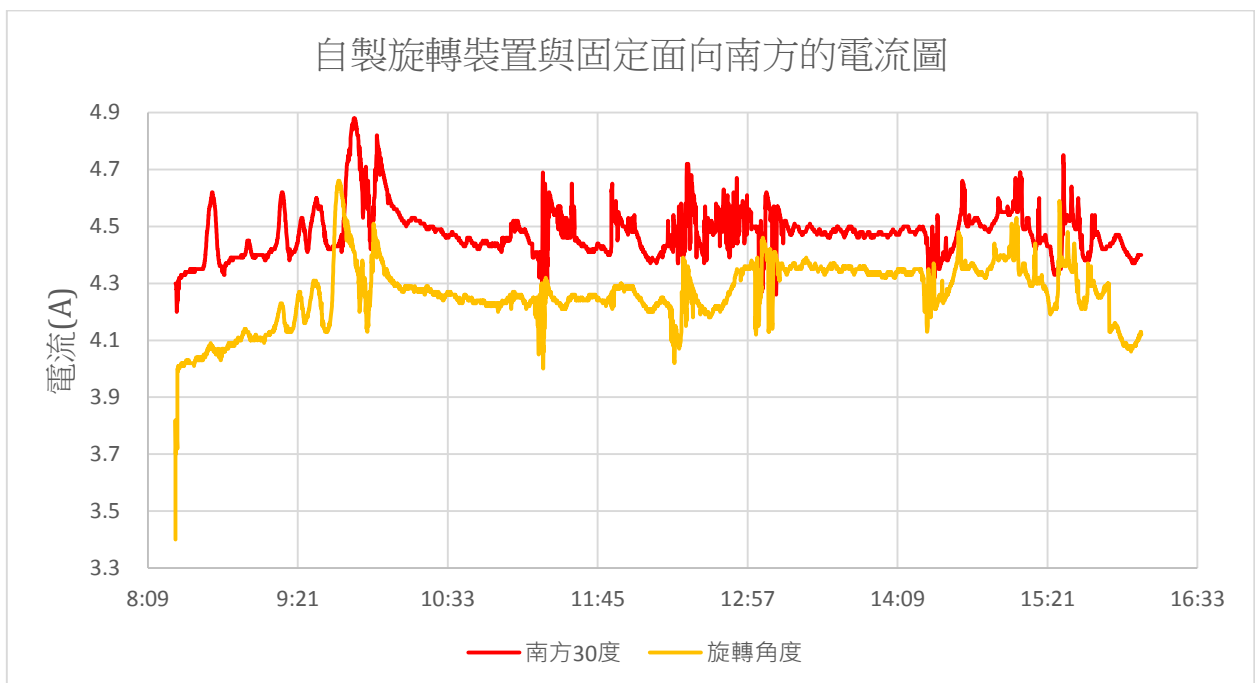
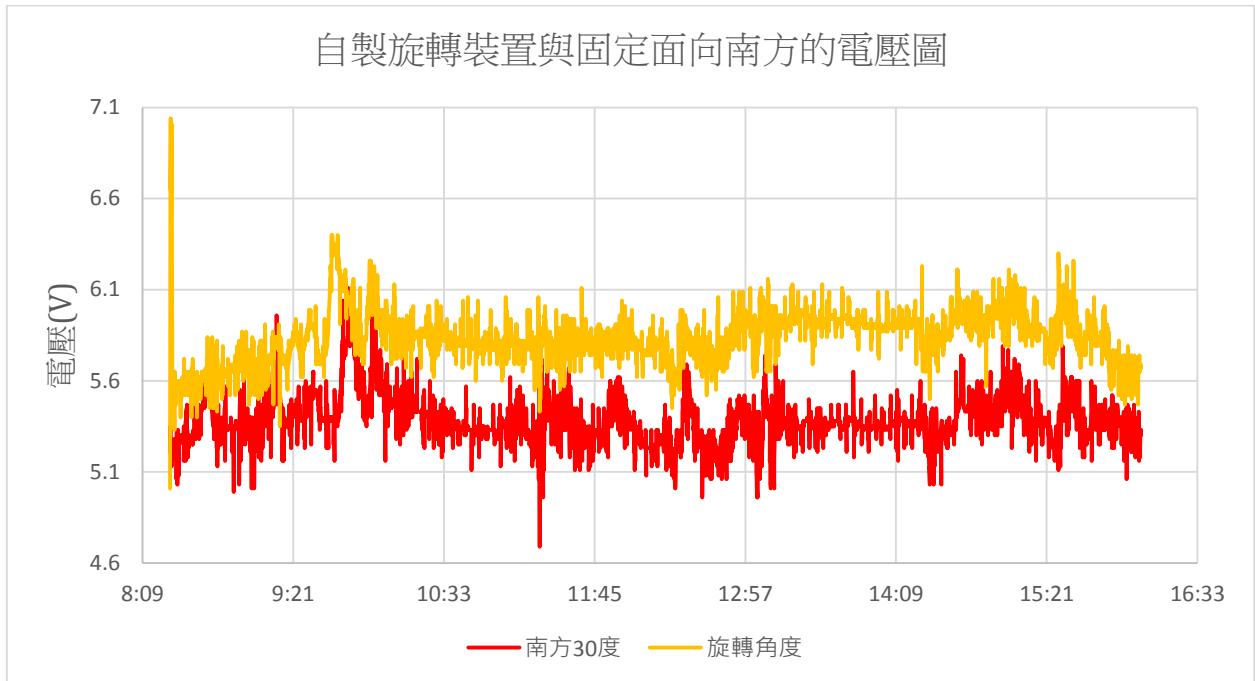


1. 電壓落在 5.0~6.6 V 之間，面向西邊的電壓稍微比其他的高，但整體而言十分接近。面向北邊和東邊的數據高度重疊。過程中面向南邊產生的電壓則略低。
2. 電流最低的是北邊，其次是東邊和西邊，兩個方位產生的電流非常相近。而南邊的電流幾乎都高於其他方位。
3. 在電壓電流圖中，每個方位的電壓及電流大小排序都不盡相同，無法直接判斷大小關係，所以我們將電壓電流數據相乘得到電功率(P)，取平均後才能作比較。

	面向東方	面向南方	面向西方	面向北方
電功率(W)	24.95	24.79	25.70	24.40

由上表得知：面向西方的電功率最高，但四個方位的數據十分相近。

六、自製太陽能板旋轉裝置對發電情形之影響



1. 旋轉裝置產生的電壓幾乎都高於固定面向南方的太陽能板，並且二者大部分的起伏都相同。
2. 固定面向南方產生的電流比旋轉裝置的還高，並且兩者的電流會在同一段時間裡有相似的高低變化。
3. 我們將電壓電流的數據相乘得到電功率，取平均後得知：自製旋轉裝置的電功率為 24.90 W、固定面向南方的電功率為 24.10 W，由此可知：旋轉裝置比固定角度的發電效益好，但差別不明顯。

七、自製半圓球模型模擬天球並計算陽光照射面積

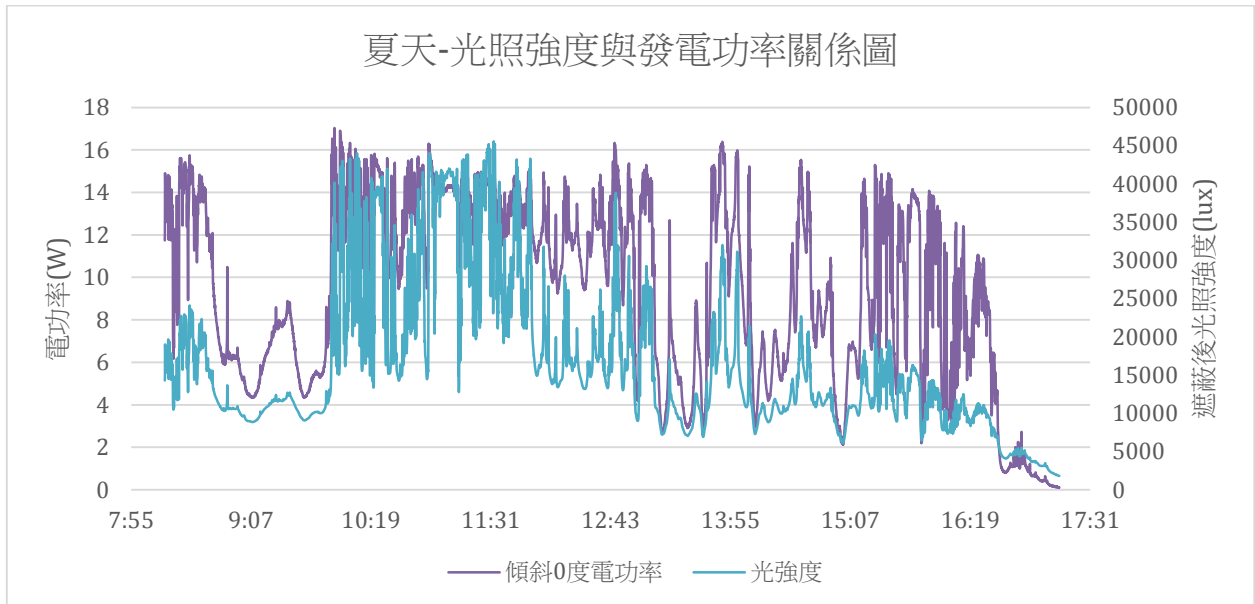
下表為實際面積除以直射時的面積，換算成成 1 的倍數的結果。面積越大，單位面積的光能越少，以深色格子表示。

向南	夏至			春分、秋分			冬至		
傾斜角	10:00	12:00	15:00	10:00	12:00	15:00	10:00	12:00	15:00
0 度	1.000	1.000	1.286	1.286	1.143	1.796	1.959	1.429	2.388
15 度	1.000	1.143	1.286	1.071	1.000	1.633	1.837	1.143	1.837
30 度	1.143	1.143	1.306	1.143	1.000	1.143	1.653	1.000	1.469
45 度	1.286	1.633	1.571	1.306	1.000	1.143	1.469	1.000	1.286
向東	夏至			春分、秋分			冬至		
傾斜角	10:00	12:00	15:00	10:00	12:00	15:00	10:00	12:00	15:00
0 度	1.143	1.000	1.286	1.306	1.143	1.143	1.837	1.633	1.959
15 度	1.000	1.000	1.714	1.306	1.306	1.633	1.653	1.531	2.000
30 度	1.000	1.143	2.000	1.143	1.306	2.122	1.469	1.286	2.286
45 度	1.143	1.429		1.143	1.143		1.286	1.469	
向西	夏至			春分、秋分			冬至		
傾斜角	10:00	12:00	15:00	10:00	12:00	15:00	10:00	12:00	15:00
0 度	1.071	1.000	1.286	1.071	1.224	1.286	1.469	1.429	1.429
15 度	1.214	1.000	1.143	1.571	1.000	1.286	1.571	1.224	1.143
30 度	1.429	1.143	1.000	1.857	1.143	1.306	2.612	1.388	1.684
45 度	2.143	1.286	1.000	2.286	1.214	1.306	4.408	2.020	1.796

由上表可知：

1. 夏至 12:00 陽光直射，傾斜角為 0 度的面積都最小，隨著傾斜角變大、面積也變大。
2. 春秋分 12:00 時，向南傾斜一點的面積最小、向東或向西傾斜的面積變大一點點。
3. 冬至 12:00 時，向南傾斜大角度的面積最小、向東或向西傾斜中角度的面積較小。
4. 向南傾斜的，在夏至 10:00 比 15:00 面積小，因為 10:00 太陽較高；春秋分及冬至時就不一定了，冬至時太陽傾斜角大，反而向南傾斜 45 度的面積較小。
5. 向東傾斜的，無論什麼季節，在 15:00 大角度傾斜的面積都是最大，因為下午陽光在西邊，甚至有量不到面積的情形。
6. 向西傾斜的，在 10:00 大角度傾斜的面積都是最大，因為早上陽光在東邊。
7. 此實驗無法完全模擬真實情形，因為太陽在遙遠的地方，只有完全背對太陽時，無法照到光，根據前面的實驗，我們在冬至 15:00 向東傾斜 45 度的太陽能板仍有數據。

八、光照強度與發電功率的關係



從圖中我們發現：

1. 從整體來看，電功率會隨著光強度的變化而有所改變，呈現類似的高低變化。
2. 在上午時光強度的起伏較劇烈，而下午時則是電功率。

伍、討論

一、太陽能板特性曲線

實驗結果顯示：在室內時，能使電功率最大的電阻是 3900 歐姆，在室外，則是 20~30 歐姆之間，我們推測是因為室內與室外光照強度差異太大所導致的。

二、光照強度對電壓、電流的影響

在暗箱裡，光照強度越大，電壓、電流就越大，呈線性關係，在室內也是一樣的趨勢，由光電效應得知，光強度越大，光電流就越大，與我們的實驗相符。在室外，光照強度越大，電壓、電流也有增加，但不明顯幾乎呈水平。在使用投影機為光源時，我們發現光照強度與電壓電流的趨勢為對數關係，當光照強度超過 15000 lux 後，電壓電流的上升幅度就變很小，幾乎呈水平，與室外一樣，我們推測是已經達到飽和，無法發出更多的電。

三、不同波長的光對太陽能板發電情形之影響

由光電效應可得知：不同頻率的色光射入太陽能板時，大於低限頻率就會釋放光電子；而光強度越強，釋放的光電子就越多；我們的實驗是在同一個介質下進行，波速是固定

的，從波速公式 $v = f \times \lambda$ 中我們知道：波長與頻率為反比關係，波長越大，頻率越小。我們從光波長對太陽能板的實驗得知：波長為 669 nm 的紅光會產生光電流，橘光波長約為 597 nm，綠光波長約為 525 nm；藍光波長約為 450 nm，這些波長比紅光還小的光，頻率都比紅光大，理所當然也會放出光電子。所以，只要入射光的頻率大於低限頻率，在相同光強度下，使用更高頻率的光並不會激發更多光電子，因此，光波長對太陽能板的發電效果影響不大。

四、不同地面夾角對太陽能板發電情形之影響

冬季的實驗結果顯示：傾斜 30 度的太陽能板的發電功率最高。這是因為冬季時太陽運行軌跡偏南，太陽入射角較大、仰角較小所導致的。冬至時陽光直射南回歸線，以台灣北部地區來說(北緯 25 度)，正中午的仰角為 $90 - (25 + 23.5) = 41.5$ 度，我們要盡量讓太陽可以直射太陽能板，所以太陽能板應傾斜 $90 - 41.5 = 48.5$ 度，但是只有冬至那天傾斜角度要最大。春分及秋分時，陽光直射赤道，以台灣北部地區來說(北緯 25 度)，正中午的仰角為 $90 - 25 = 65$ 度，我們要盡量讓太陽可以直射太陽能板，所以太陽能板應傾斜 $90 - 65 = 25$ 度。我們冬季的實驗數據是在 12 月到 2 月之間測量的，此時太陽能板的傾斜角度應在 25~48.5 度之間，實驗結果與理論相符。

五、不同面向方位對太陽能板發電情形之影響

我們在冬季做這個實驗、選用傾斜 30 度的太陽能板來測試，結果是：面向西方的電功率最高，但四個方位的數據十分相近。冬季時陽光直射南回歸線，台灣上空的太陽運行軌跡會偏南，理論上面向南方的太陽能板會接收到的陽光較西方高，但實驗結果是西方較高，我們覺得可能是當天上午與下午光照強度不一致所導致的，下午陽光較強、烏雲遮蔽較少時對西方比較有利。

六、自製太陽能板旋轉裝置和固定面向方位的比較

旋轉裝置比固定角度的發電效益好，但差別不明顯。我們在冬天做實驗，太陽偏向南邊，我們的旋轉裝置只有單軸旋轉，正中午時太陽能板面向正上方而沒有向南方傾斜，會比向南傾斜的效果差，後續我們會將旋轉裝置的底部調整成向南傾斜，再做比較。

七、自製半圓球模型模擬並計算陽光照射面積

(一) 假設陽光垂直入射時邊長為 1 cm，以太陽能板向南傾斜 30 度為例：

<p>15:00 12:00</p> <p>陽光 陽光</p> <p>45° 30°</p> <p>2.√5/3 √2 1 2.√5/3</p> <p>N</p> <p>本圖由作者繪製</p>	<p>夏至中午 12:00 投影面積為長方形 邊長為 1 cm 另一邊為 $1 \times \sec 30^\circ = 1.155 \text{ cm}$ 面積為 1.155 cm^2</p>
	<p>夏至下午 15:00 投影面積為長方形 邊長為 $1 \times \sec 45^\circ = 1.414 \text{ cm}$ 另一邊為 $1 \times \sec 30^\circ = 1.155 \text{ cm}$ 面積為 1.633 cm^2</p>

可推論出面積計算公式為： $\sec 30^\circ$ (向南傾斜角度) $\times \sec$ 時間(每小時 15 度)。

(二) 我們發現僅有面向南方的投影形狀均為長方形，面向東方或西方，投影出來的面積有些會變成平行四邊形，目前尚未找到計算公式，我們試著用 GGB 畫圖求面積。

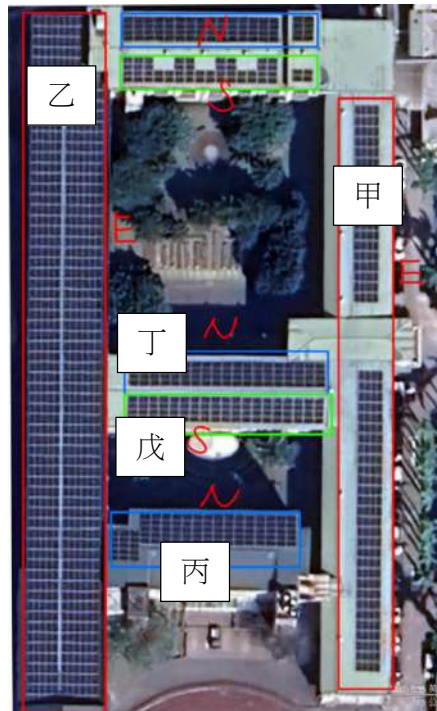
	向東傾斜 30 度	GGB
<p>冬至 10:00</p>	<p>本圖由作者繪製</p>	<p>平行四邊形 面積 1.31 cm^2</p>
<p>冬至 12:00</p>	<p>本圖由作者繪製</p>	<p>平行四邊形 面積 1.7 cm^2</p>
<p>冬至 15:00</p>	<p>本圖由作者繪製</p>	<p>三角形 面積 1.7 cm^2</p>

八、校內太陽能板發電效益

(一) 我們查詢資料與實際考察後發現：校內的太陽能板會依照屋頂的傾斜角度與面向方位搭建，如圖所示，標記為 E 的是面向東方、N 是面向北方、S 是面向南方，全度都是傾斜 6 度，而校內面向西方的屋頂因傾斜角度過大，不宜搭建太陽能板。

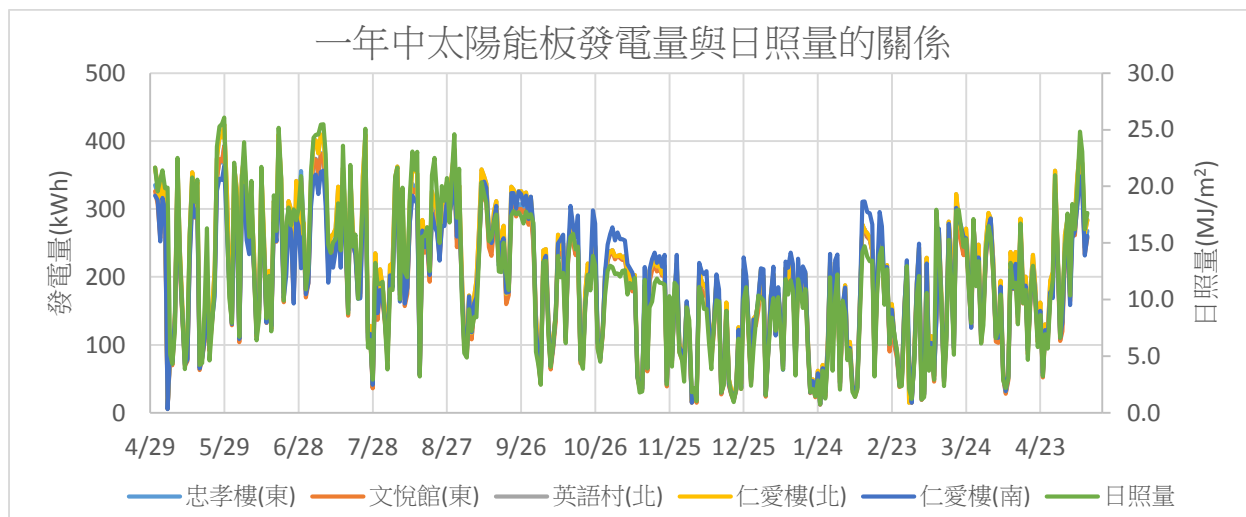
(二) 學校使用 1248 塊 330W 的太陽能板模組，取以下模組的數據來分析：

	模組面向方位	裝置容量(kWp)
甲、忠孝樓	正東	63.36
乙、文悅館	正東	63.36
丙、英語村	正北	29.7
丁、仁愛樓	正北	15.84
戊、仁愛樓	正南	15.84



本圖源自 google 衛星圖，再由作者加註

(三) 我們蒐集上述模組連續一年每天的發電量與日照量的資料作分析，結果如下：



從圖中我們發現：不管是面向東方、南方還是北方，發電量都非相近，而日照量的趨勢和發電量的趨勢非常接近，所以比起太陽能板的傾斜角度或者是面向方位，光照時間對太陽能板的影響最大。

學校安裝的是固定式太陽能板，以北部而言夏季是主要的發電季節，所以太陽能板選擇只傾斜一點角度，能讓夏季發出最多的電，畢竟北部其他季節太陽的光照亮與光強度都不如夏季。而最高的樓頂會蓋滿太陽能板，像是圖中左側為校內最高的建築，圖中丙區下方的建築會受到右方校外高樓的遮蔽，所以沒有蓋太陽能板，應該是優先考量遮蔽物的影響。

(四) 我們還觀察到長時間做實驗會讓太陽能板上積有灰塵，影響發電效益，若太陽能板是傾斜的，下雨時能將灰塵沖乾淨，剛好跟屋頂傾斜的排水概念相同，難怪太陽能板會依屋頂傾斜的角度搭建。

陸、結論

- 一、我們在做完室內與室外的太陽能板特性曲線測量的實驗後發現：在室內使用 3900 歐姆的電阻能有最大的發電功率，而在室外使用 20~30 的電阻能有最大的電功率。
- 二、在光照強度的實驗中，我們發現照度愈大，發出的電壓、電流就會越大。
- 三、在光波長的實驗中，我們發現波長在可見光範圍內，對太陽能板的發電效率並無影響。
- 四、我們發現不管是與地面夾角或者是面向方位，其實影響發電功率最大的還是光照強度。
- 五、以北部地區而言，夏季的發電功率會優於其他季節，而太陽能板的傾斜角度是讓太陽可以直射太陽能板為最佳選擇，在夏季時傾斜角度很小，所以面向方位對太陽能板的發電功率影響不大。
- 六、可旋轉的太陽能板的發電功率比固定面向南邊傾斜 30 度的太陽能板大。
- 七、學校的太陽能板沿著屋頂的面向方位與傾斜角度搭建，是以遮蔽物最少、能接收的光照強度最大為主要考量，再來，因季節不同而產生的影響則是接近平面架設有最大效益，最後，需有傾斜角才能排水清除灰塵。

柒、未來展望

- 一、我們想蒐集台灣不同地區的數據，進一步了解各地區的太陽能發電效益。
- 二、我們自製的太陽能板旋轉裝置只有單軸旋轉，目前只有轉東西向，希望之後能做到三軸旋轉，再搭配光敏電阻，讓太陽能板可以無時無刻追著光、發出最多的電。
- 三、除了考慮面向方位與傾斜角度之外，還要考慮散熱的影響，我們想用 Arduino 溫度模組觀察溫度對太陽能板發電效益的影響。

捌、參考文獻資料

- 一、東海大學應用物理系(年份不詳)。太陽能實驗。台中市。
- 二、臺大電機系教授(年份不詳)。淺談太陽能電池的原理與應用。
- 三、泛科學(2022/11/23)。將陽光轉變成電能的太陽能電池：太陽能電池不是電池——《圖解半導體》。

- 四、吳柏慶，余承恩，張丘(民 104 年)。「陽」「仰」得「意」-探討太陽能板擺設最佳角度。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會地球科學科。
- 五、孫意涵，謝佳岑，閔子庭，楊宇翔(民 105 年)。真的全自動-全球免設定日光追蹤系統!。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會生活與應用科學科。
- 六、康軒文教集團(民 105 年 9 月)。轉動的地球。國中自然與生活科技地球科學全一冊，67 頁。
- 七、翰林雲端學院(年份不詳)。光電效應。

【評語】 030509

本計劃研究太陽能板的發電效率，透過改變太陽能板傾斜角度，並量測不同季節的太陽能板輸出功率。另對太陽能板特性曲線進行測量。所獲得結果以定性成果為主，自制旋轉裝置，尚稱簡略，可以考量增加水平旋轉維度，提升太陽能板的接收效能。

作品簡報

太陽能板發電效益之研究

一、研究動機

學校的屋頂上安裝許多太陽能板，每棟樓頂太陽能板的面向方位和傾斜角度都不一，若屋頂比較斜太陽能板傾斜角度會比較大，若屋頂是平的，太陽能板還是會傾斜一點點。這讓我們好奇：不同方位及傾斜角度會對太陽能板發電效率產生什麼影響？另外，我們想自製一個可以定時旋轉的太陽能板裝置，使太陽光一直垂直照射太陽能板。

二、研究變因

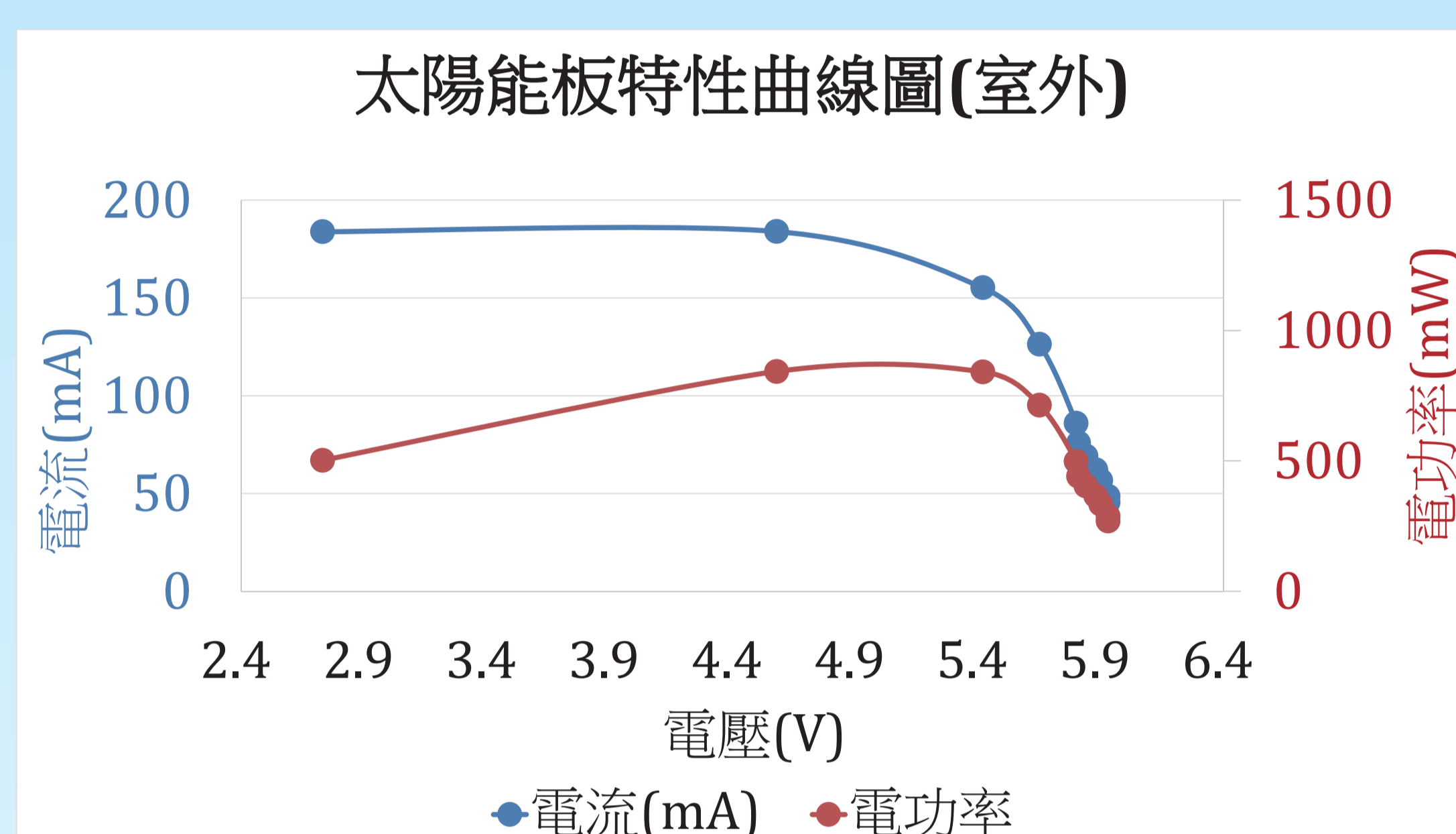
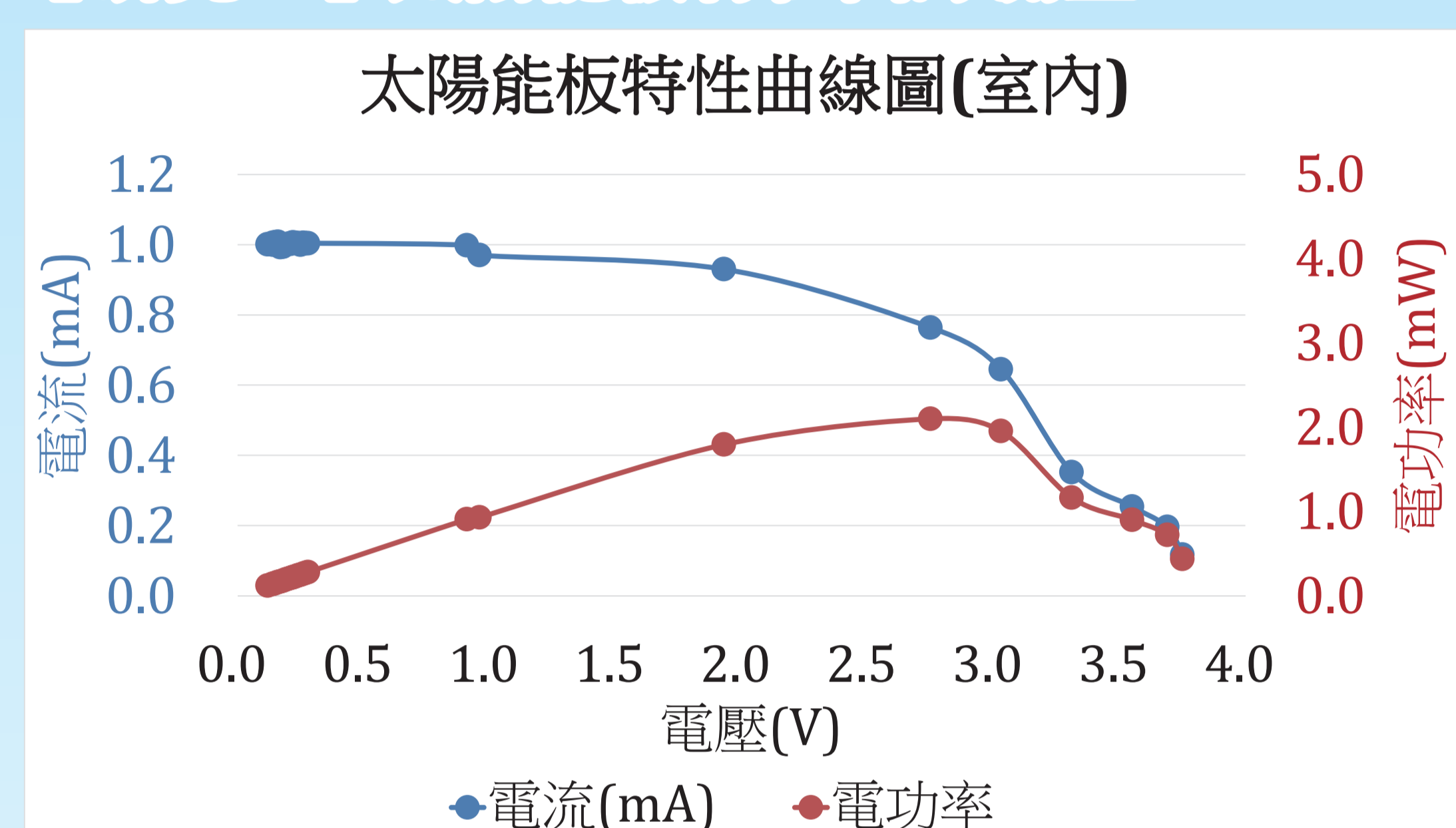
特性曲線(改變電阻)、光照強度、光波長、傾斜角度、面向方位、太陽能板轉動

三、研究設備與器材

太陽能板、照度計、電壓電流感測器、三用電表、投影機、UV燈、玻璃紙、電腦

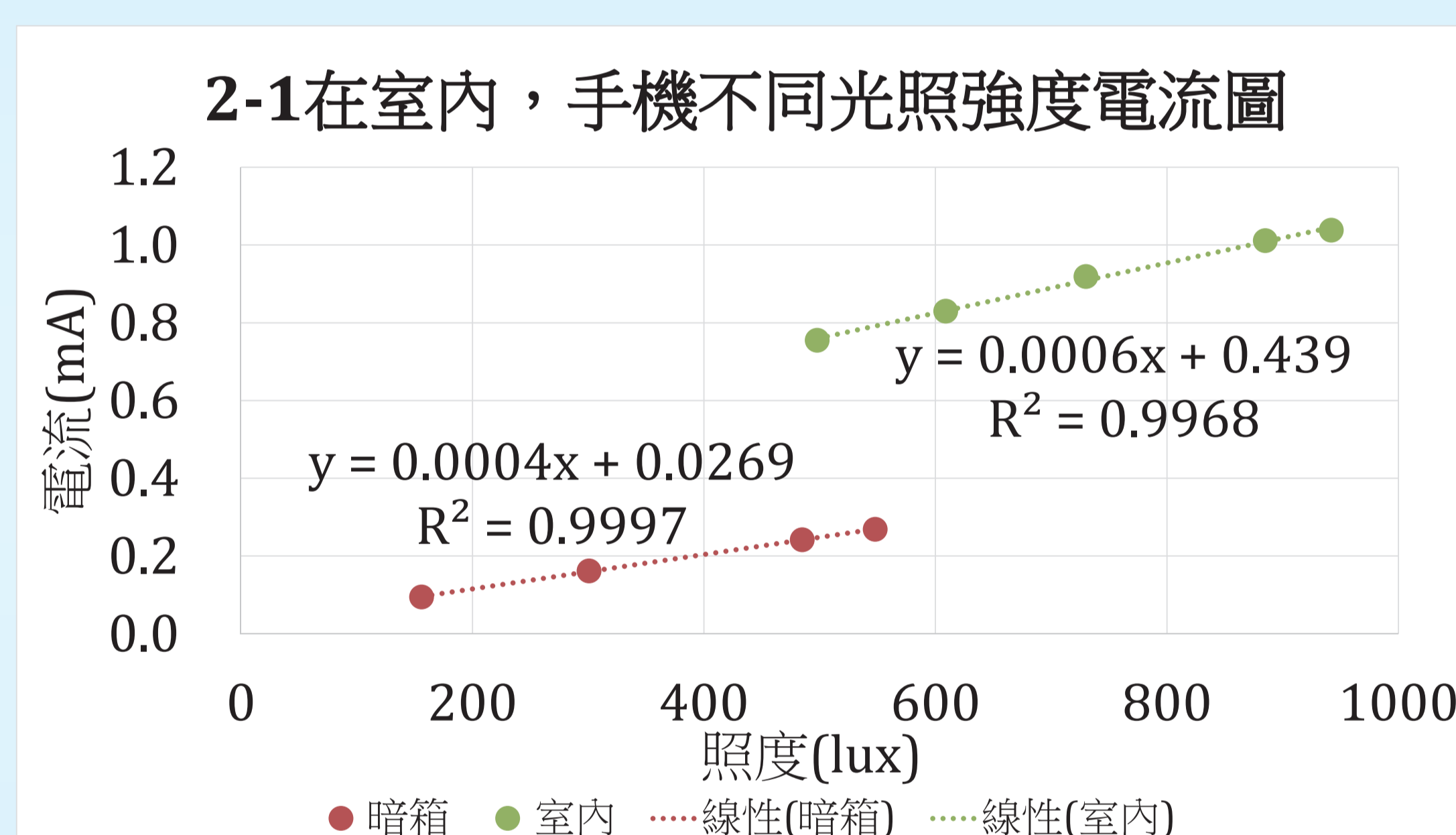
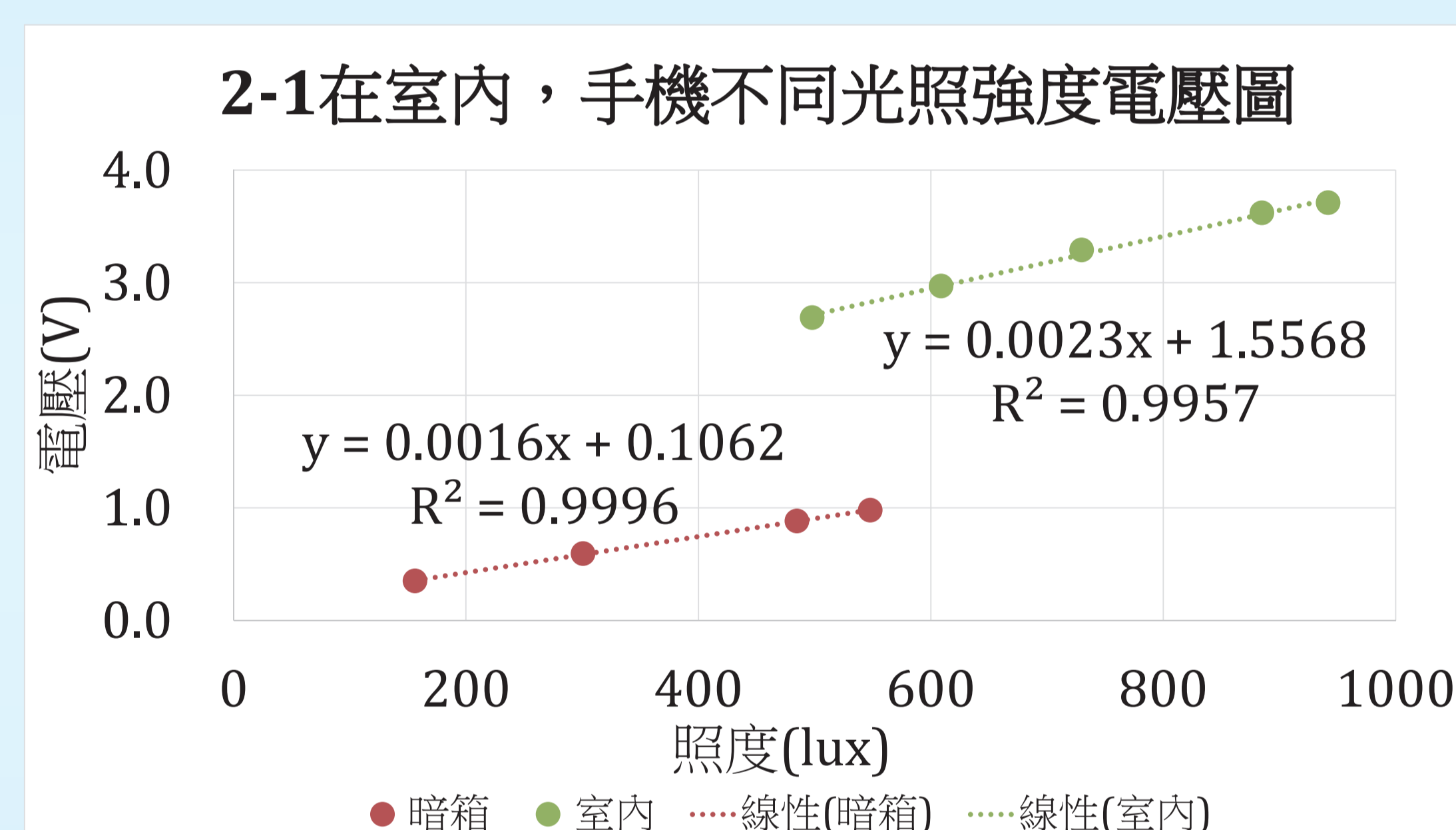
四、實驗結果與討論

【研究一】太陽能板特性曲線測量



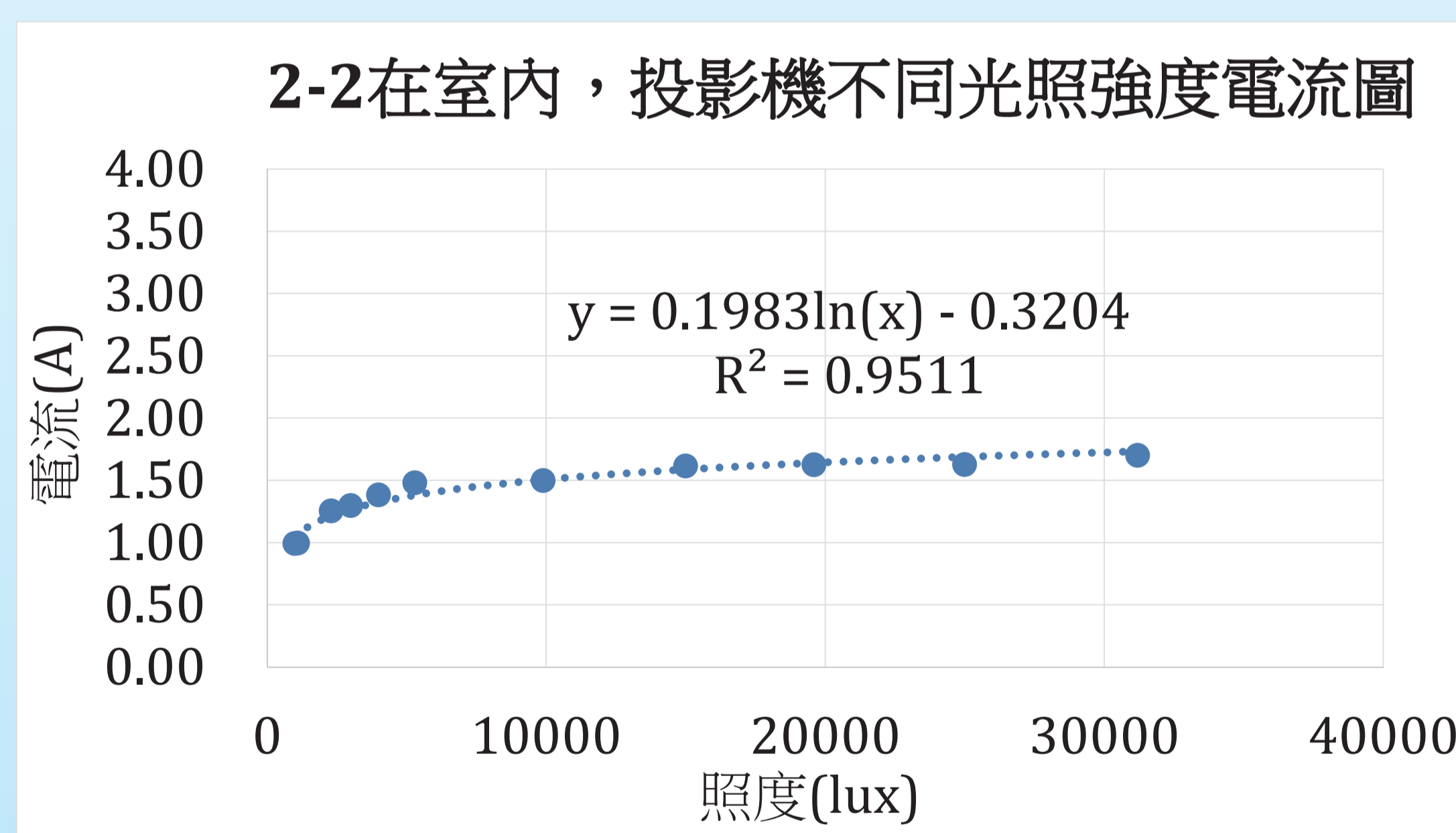
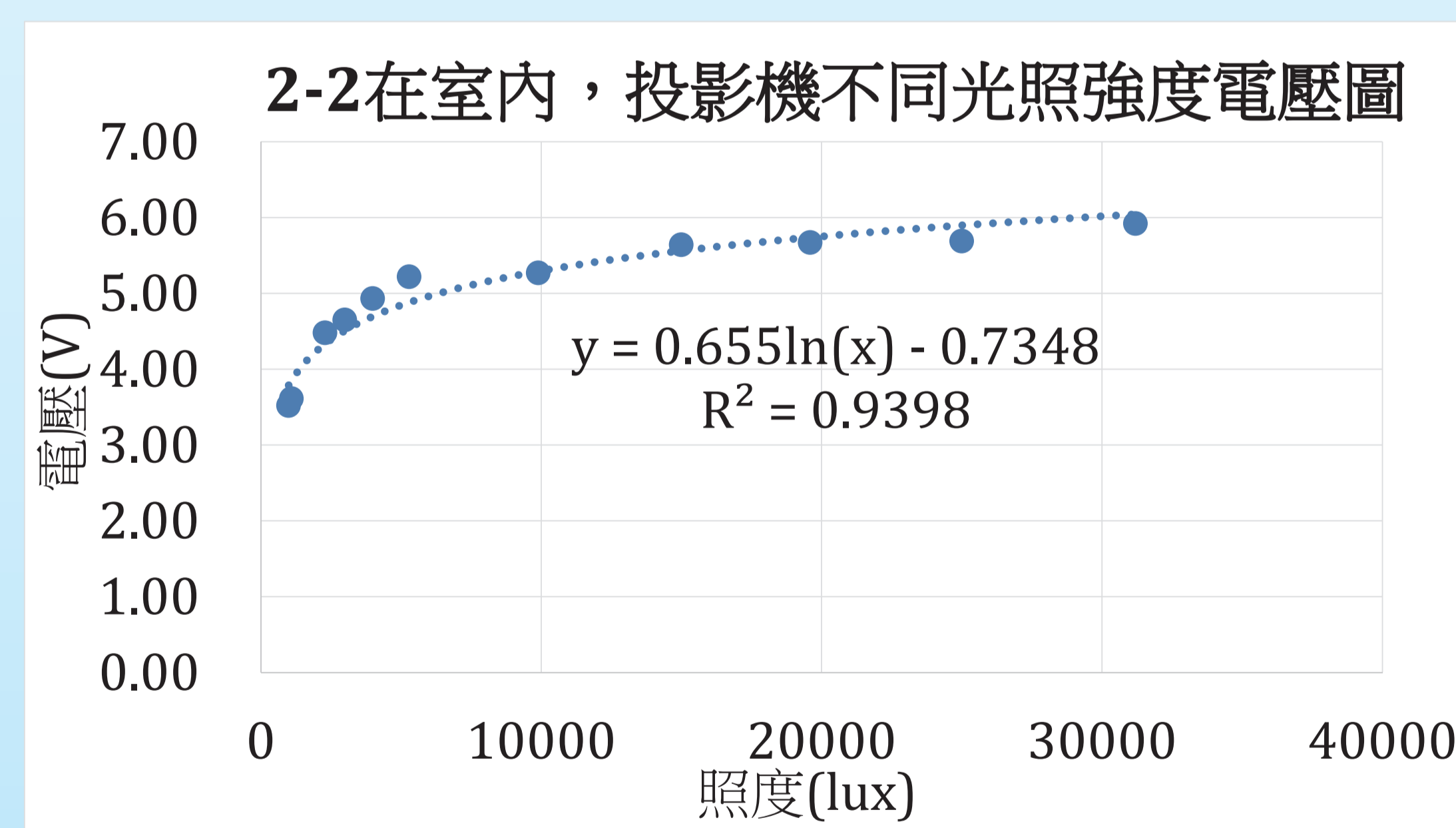
結果：室內使用 3900歐姆、室外使用20~30歐姆的電阻，發電功率最大。

【研究二】不同光照強度對太陽能板發電情形之影響

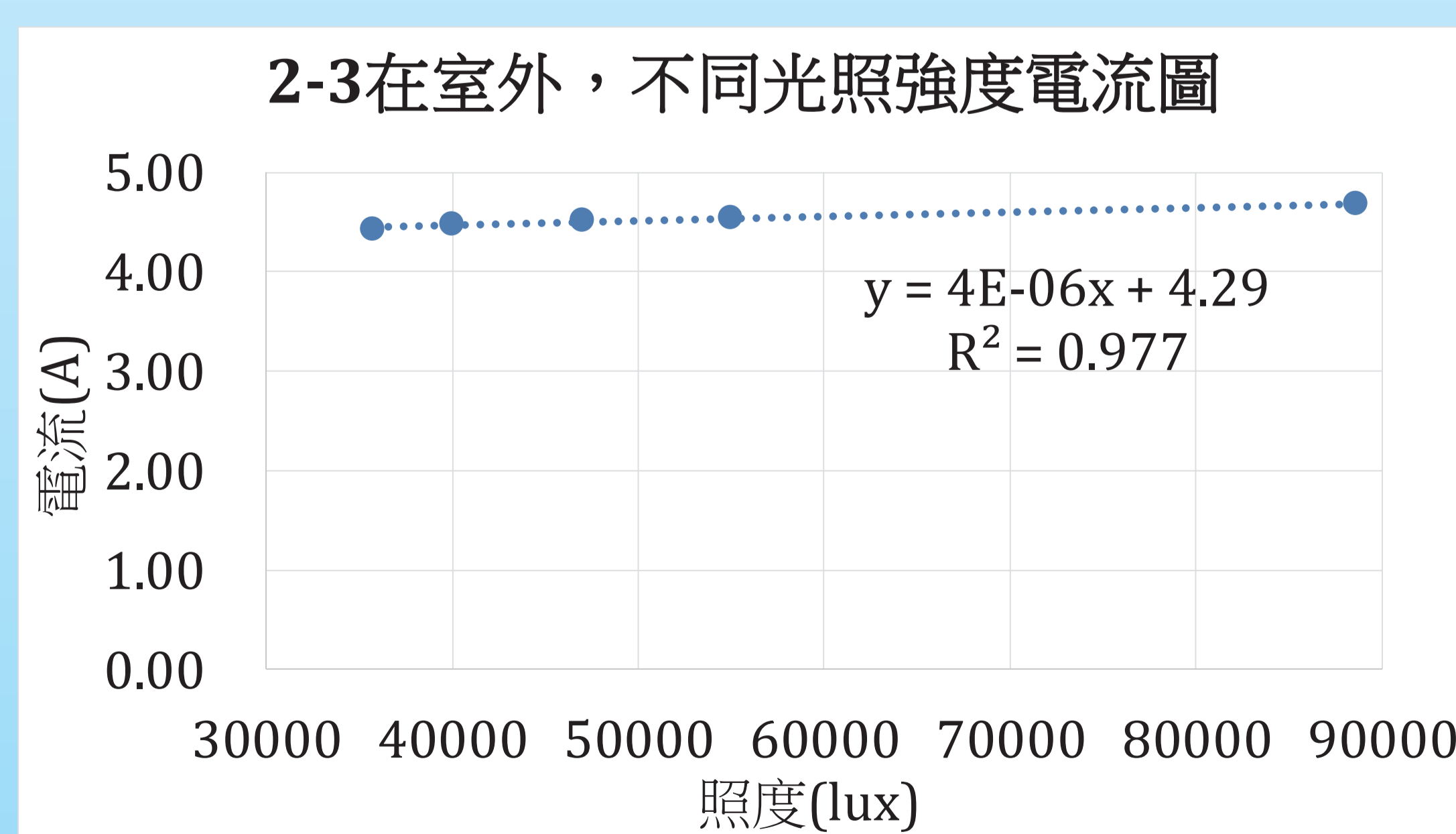
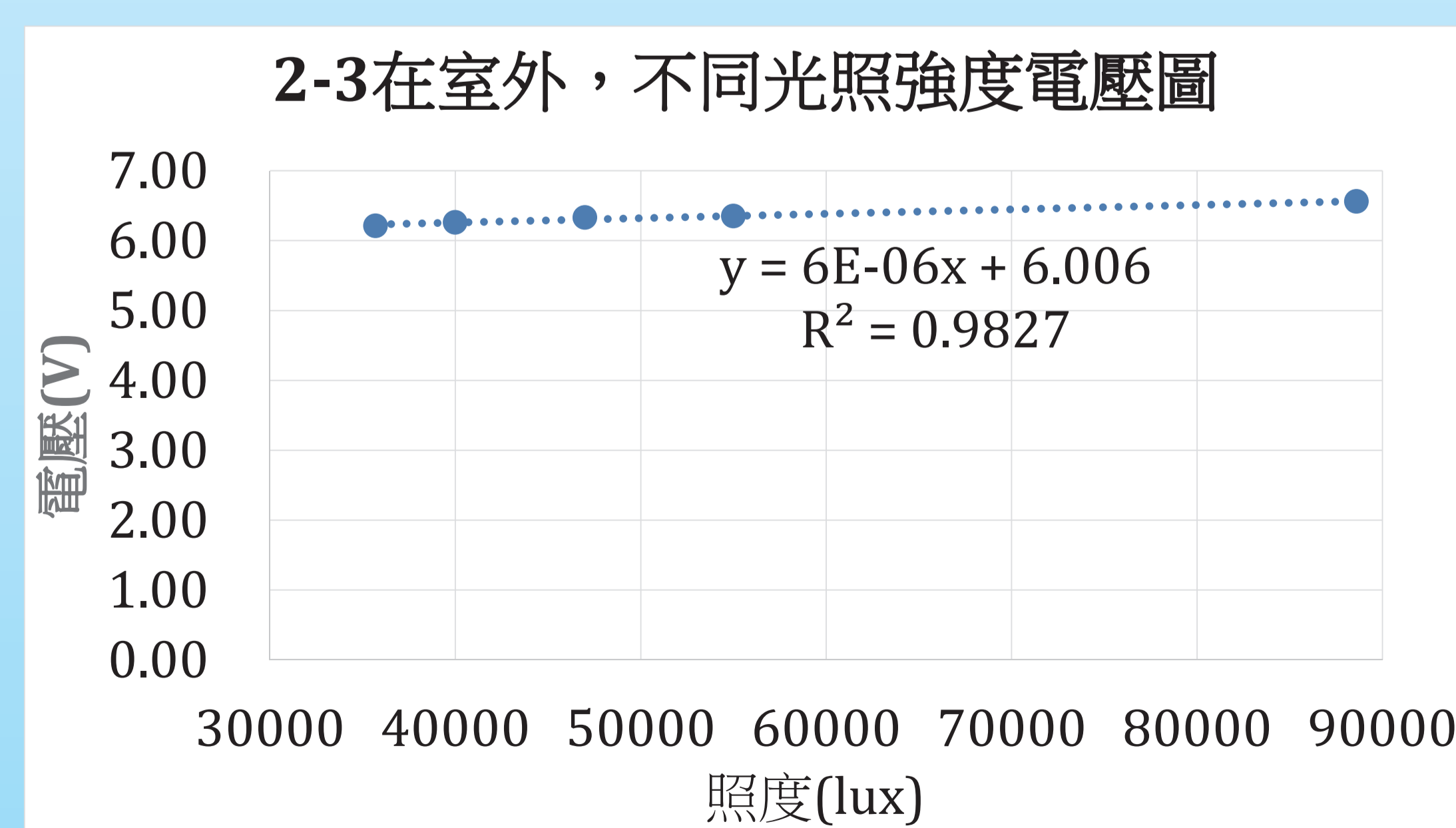


結果：手機光照強度增加，電壓、電流也增加，符合光電效應。

結果：室內光源增加幅度比暗箱內更明顯。

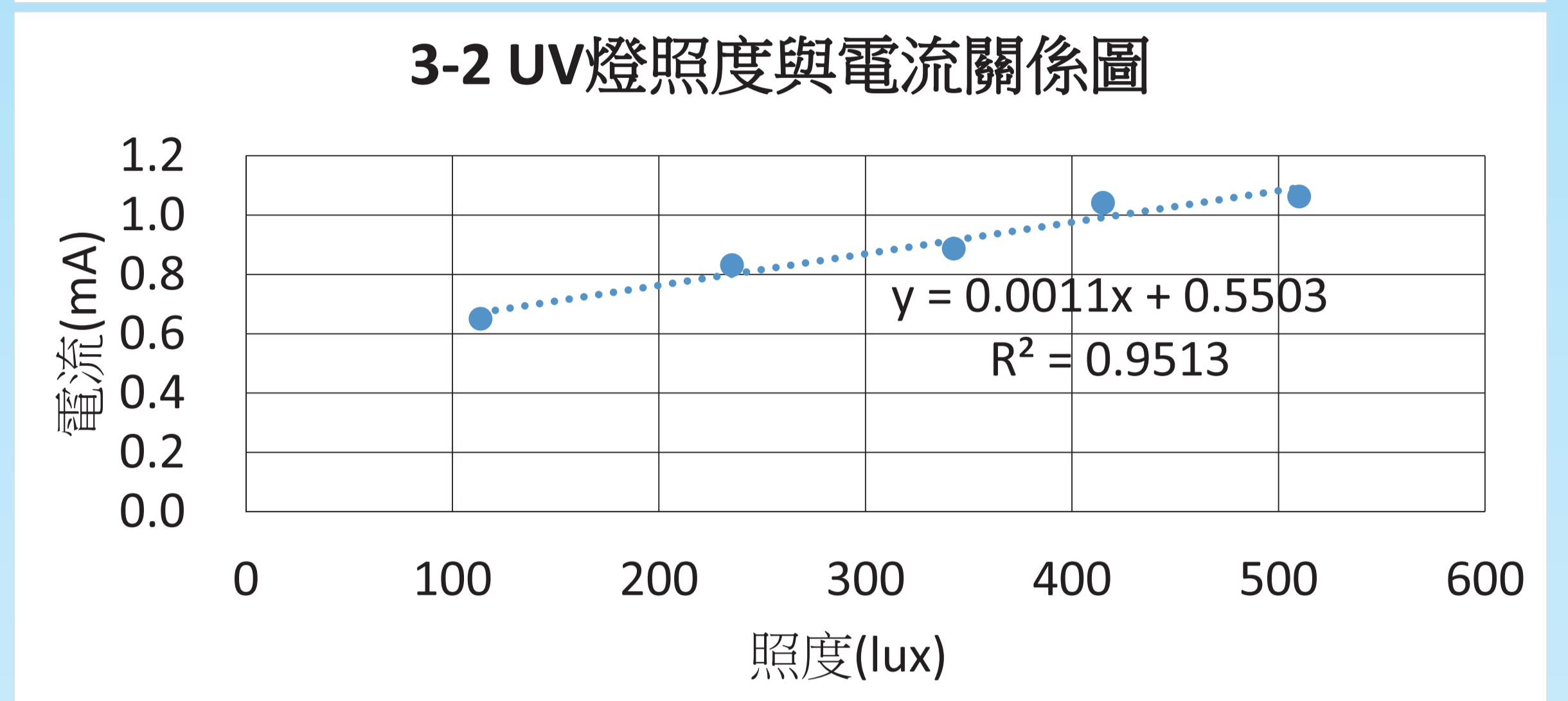
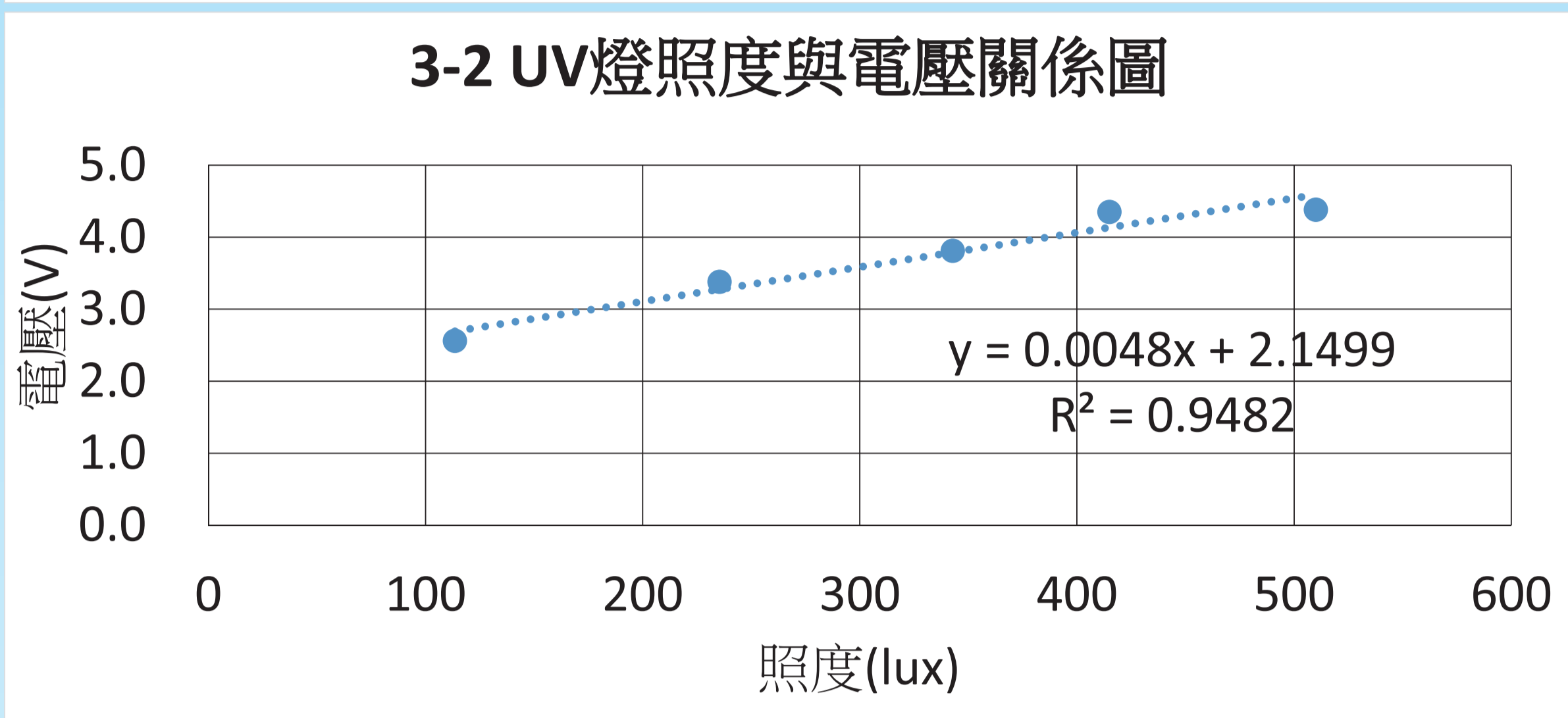
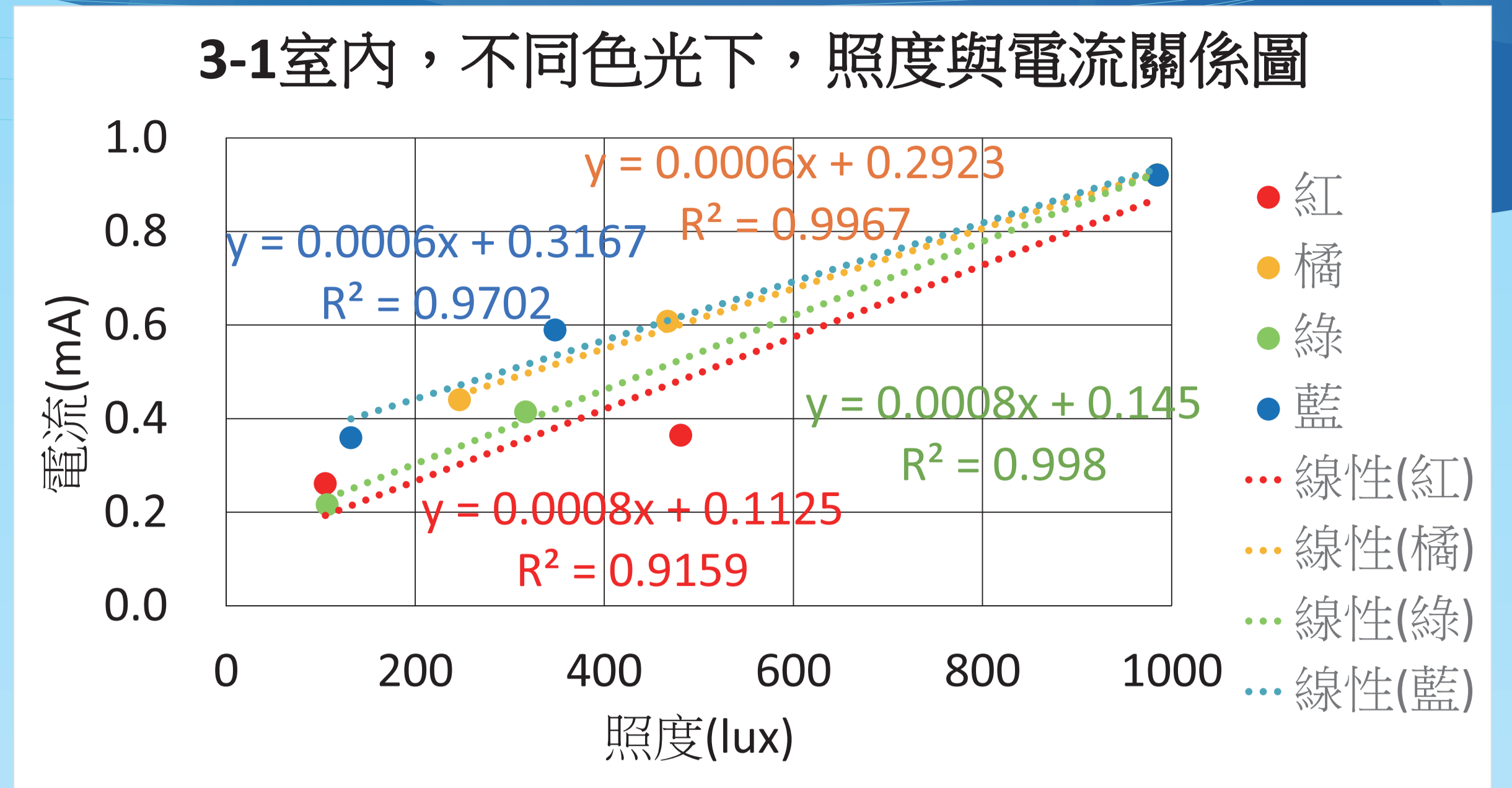
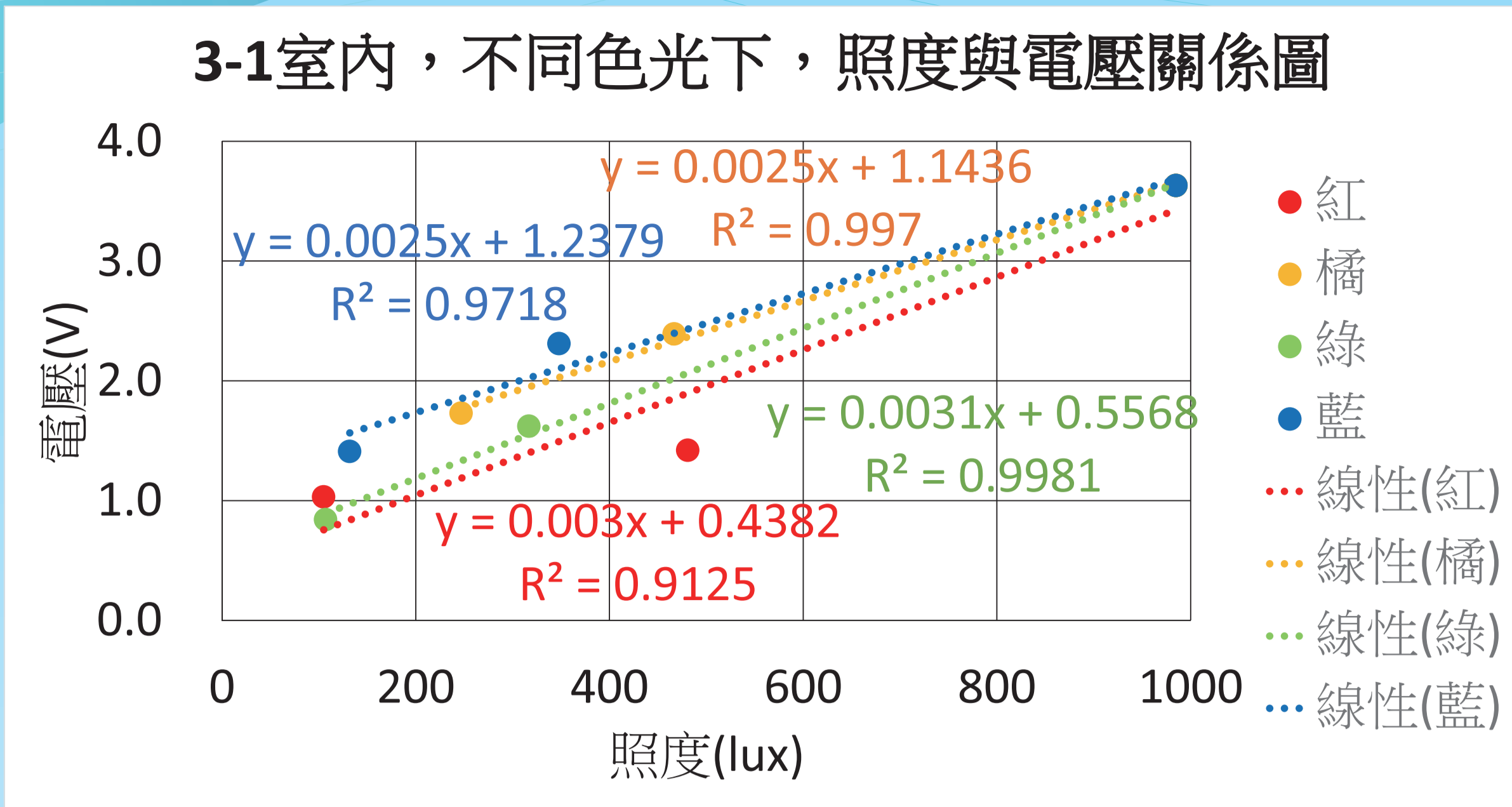


結果：投影機光照強度增加，電壓、電流也增加，成對數成長。

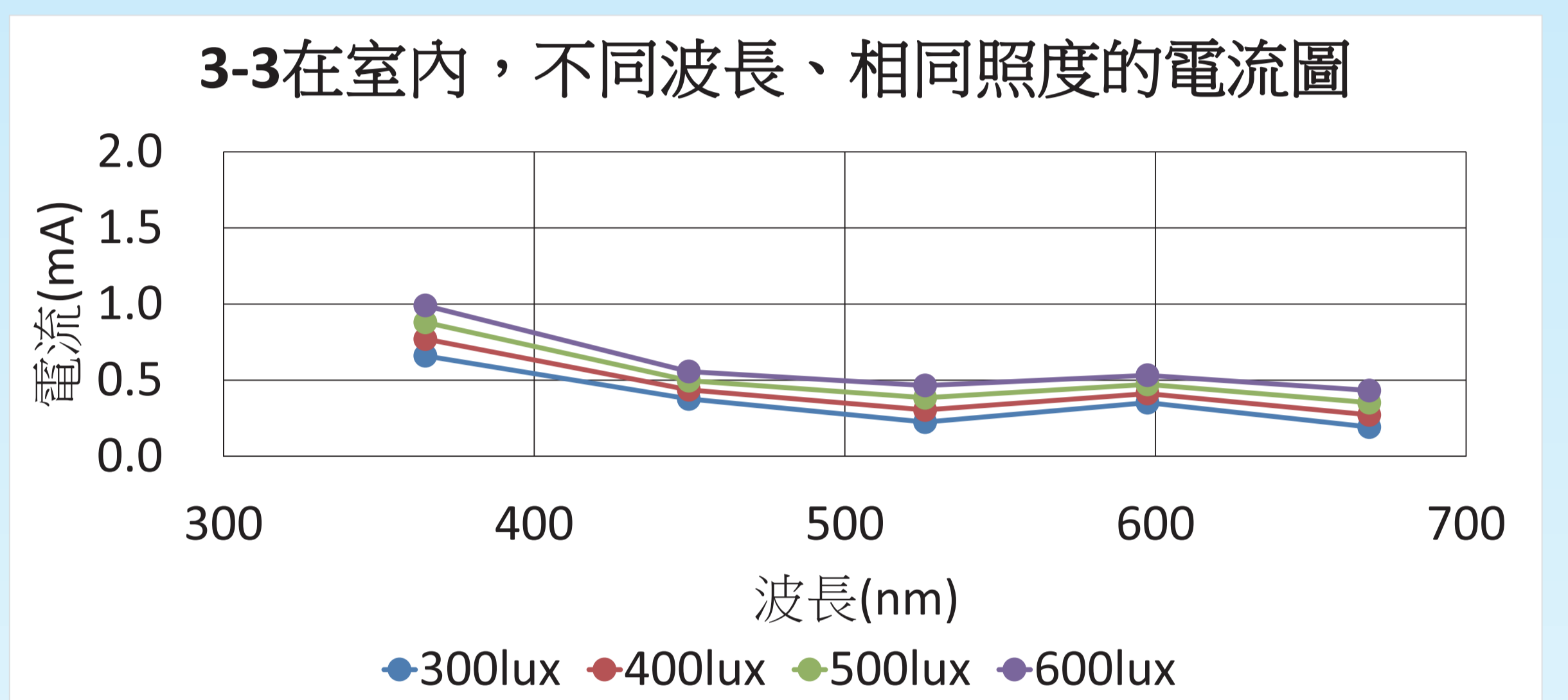
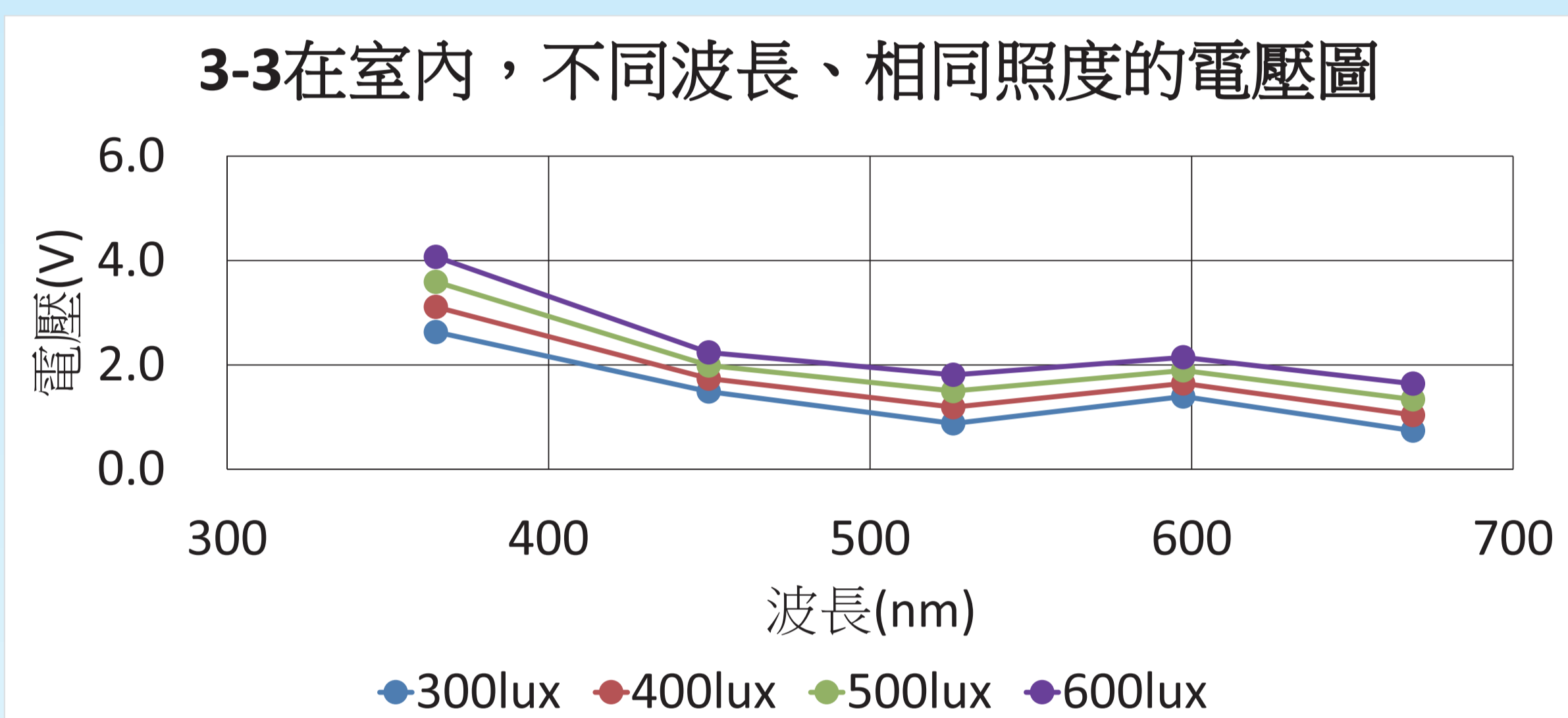


結果：室外光照度增加，電壓、電流也增加，但是不明顯，會達到飽和的現象。

【研究三】不同波長的光對太陽能板發電情形之影響

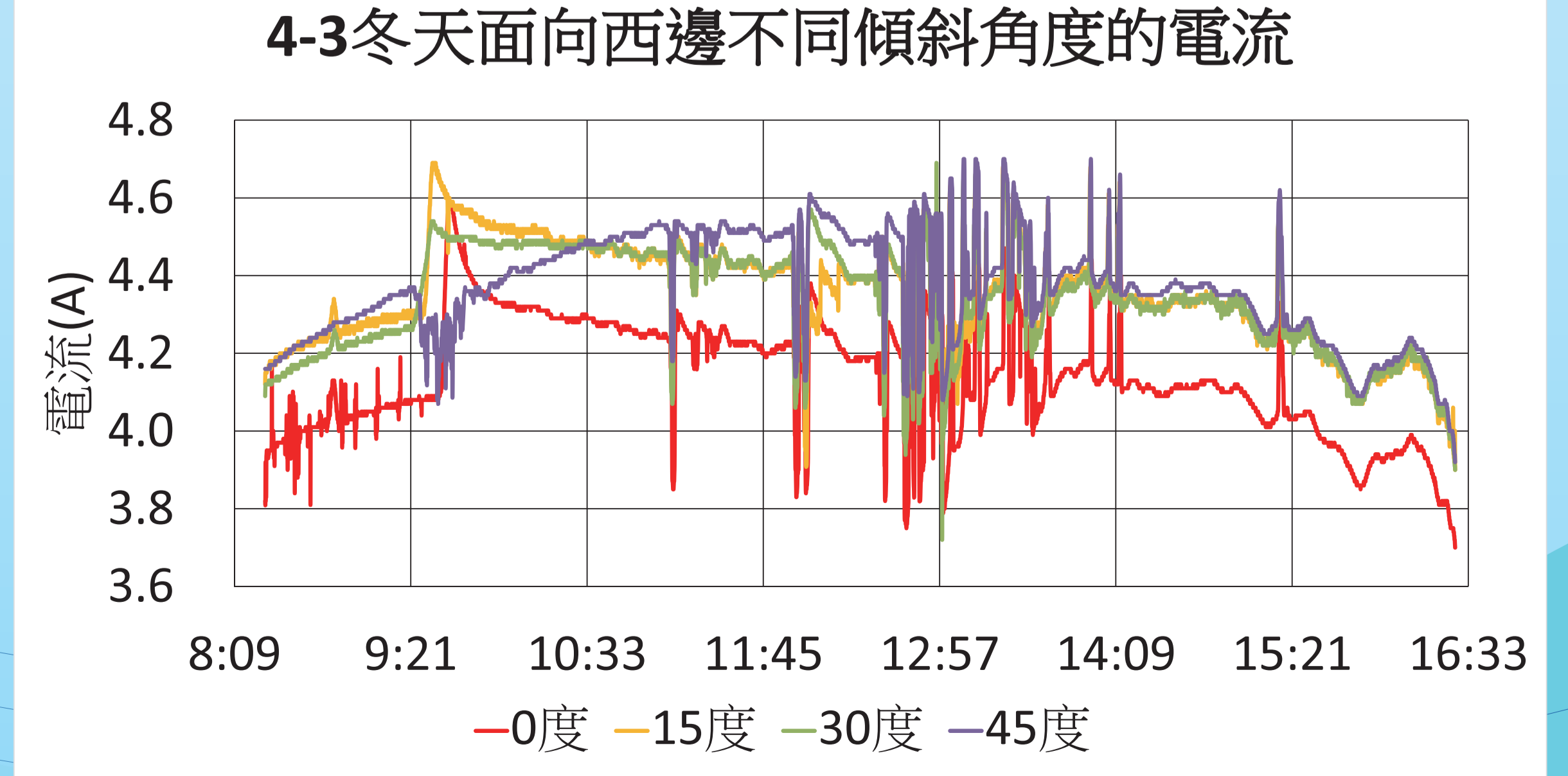
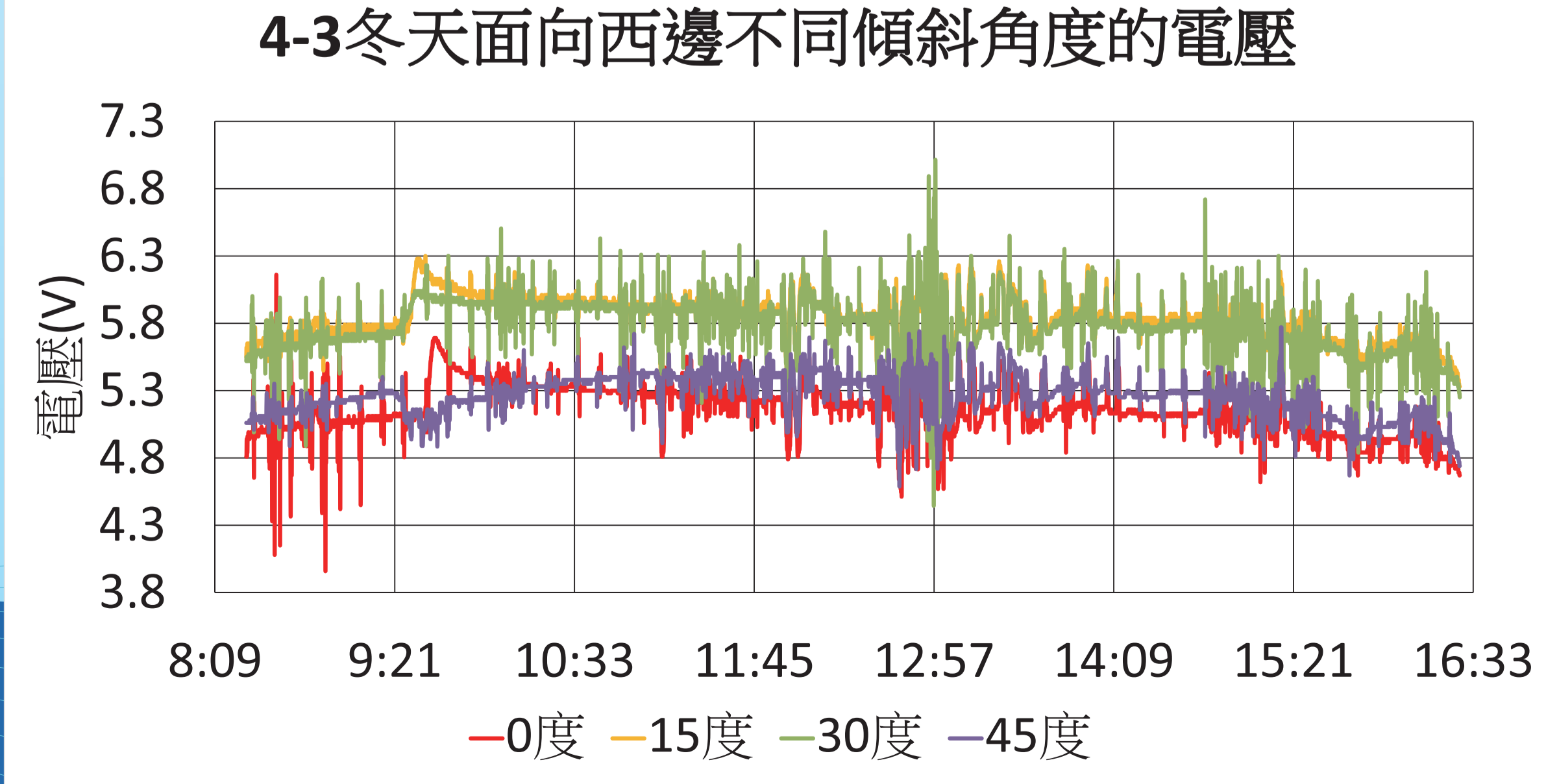
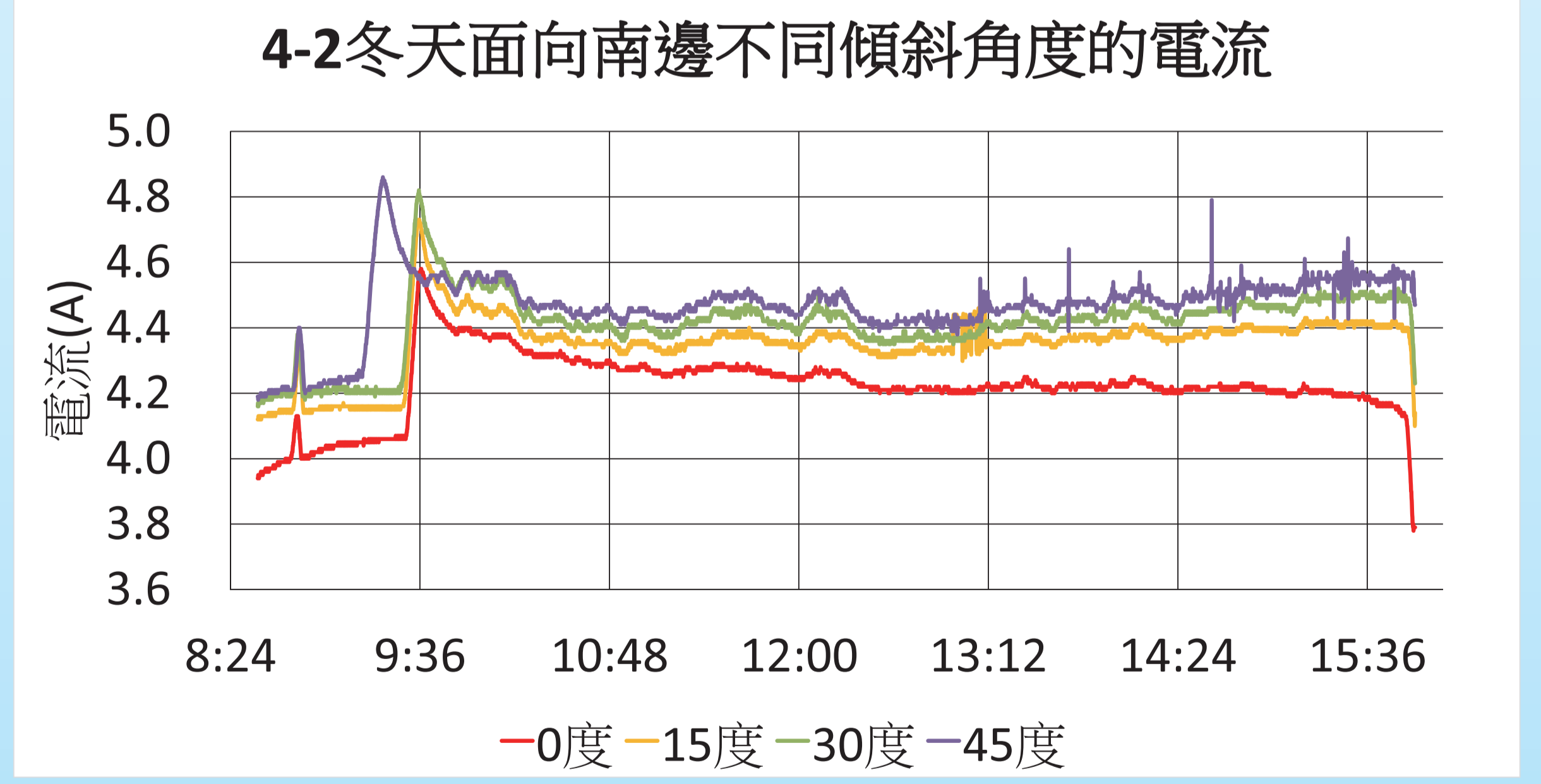
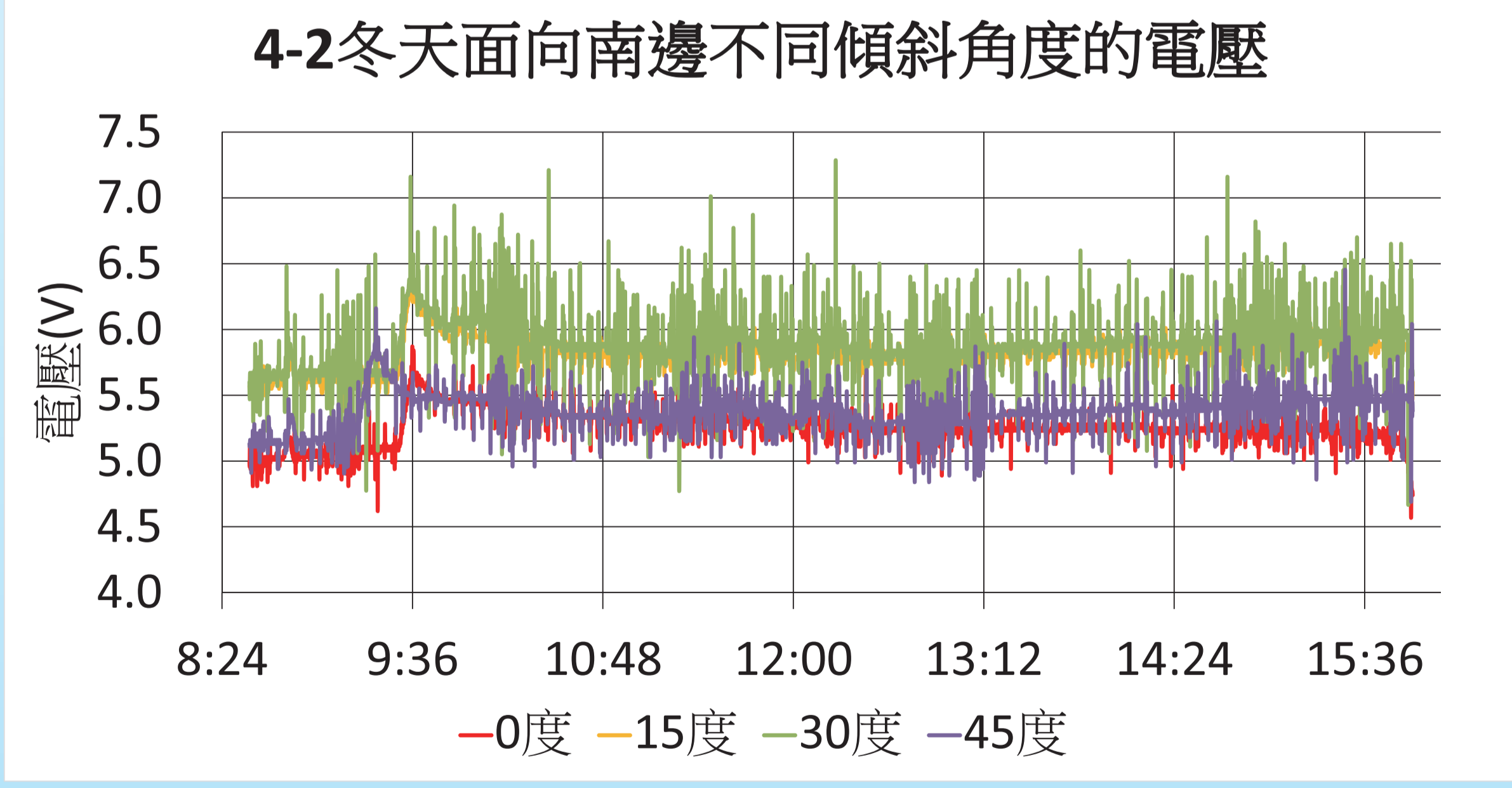
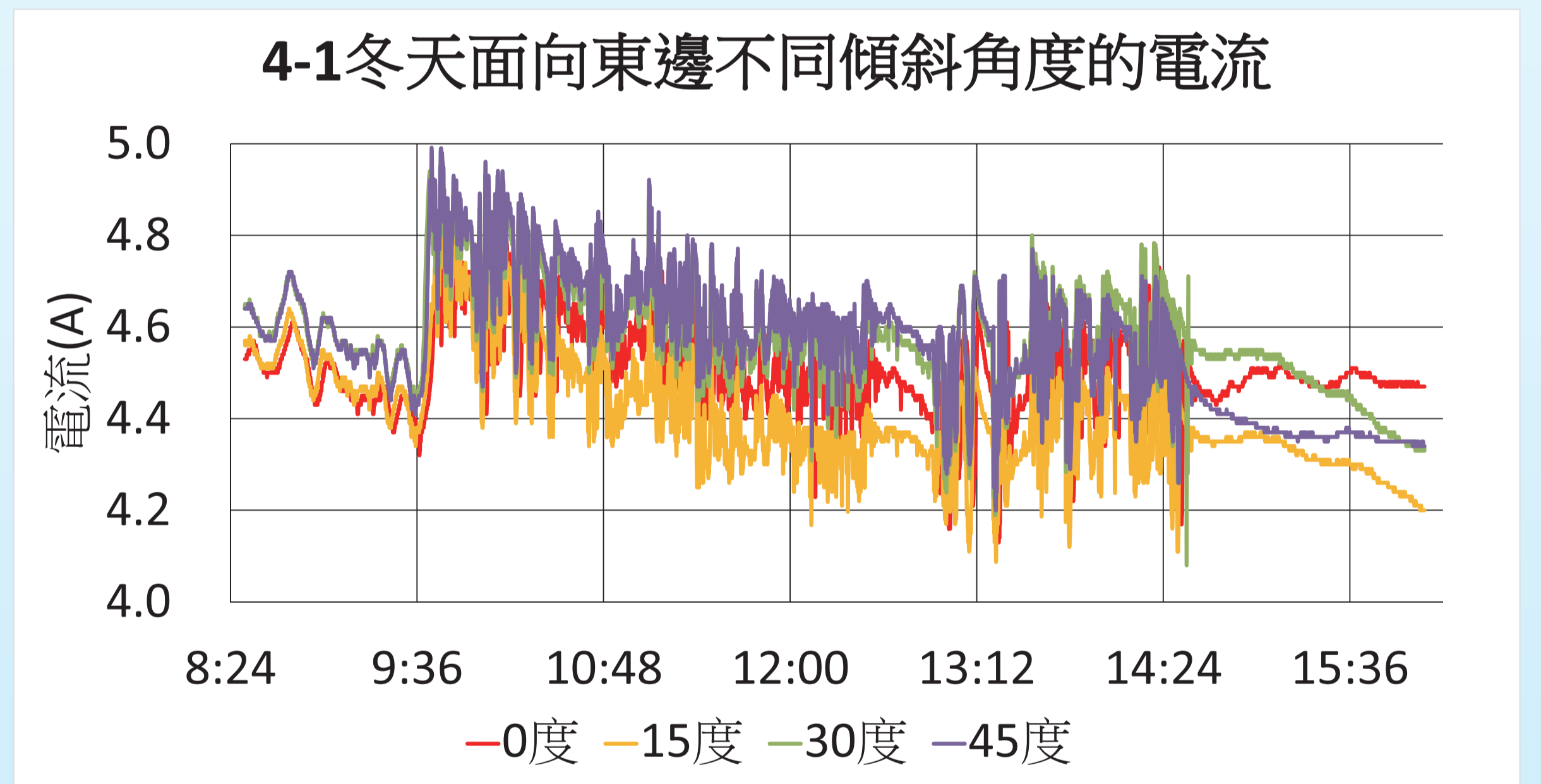
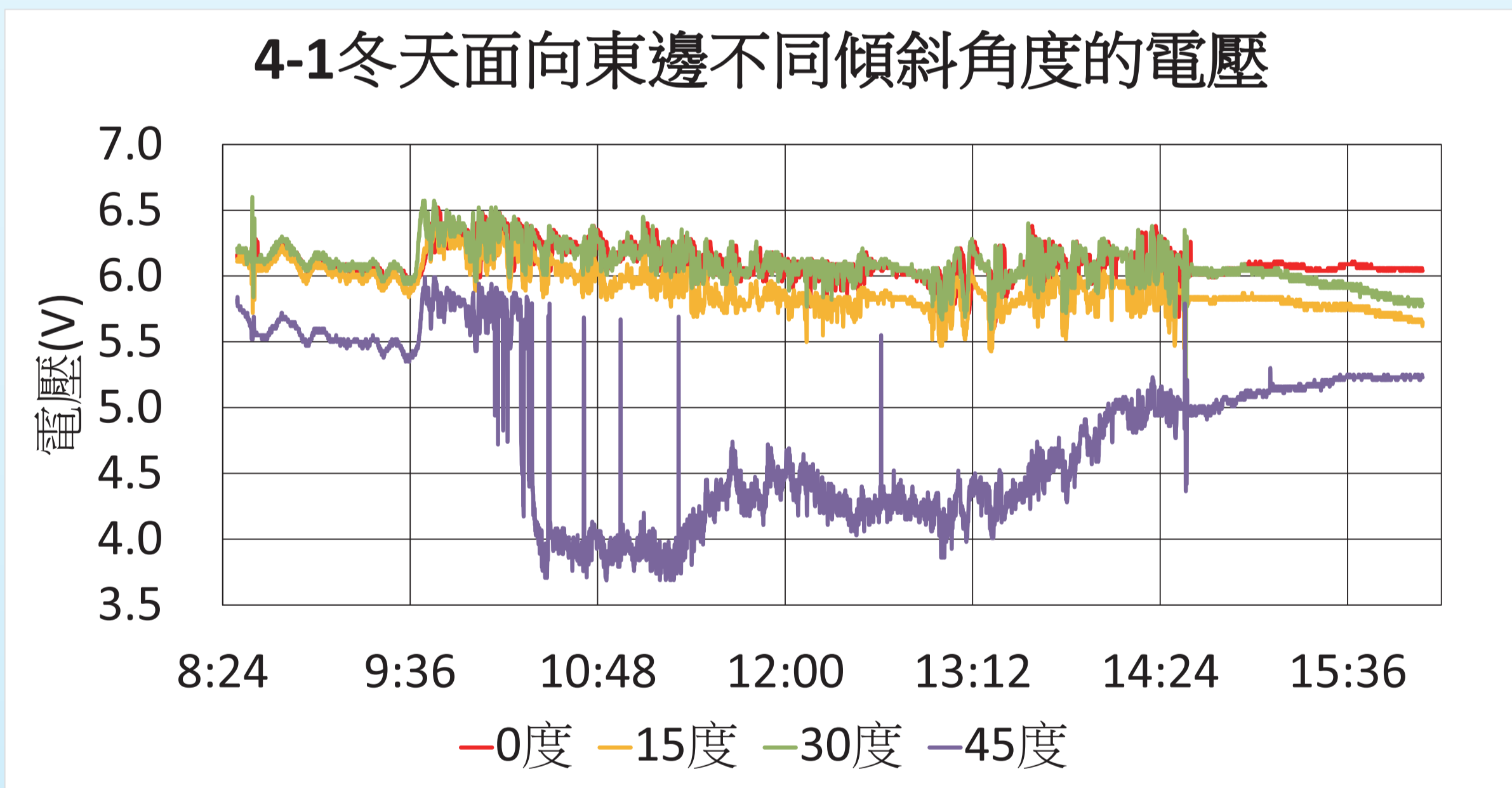


結果：在不同色光及UV燈照射下，隨著光照強度增加，電壓、電流也會增加。



• 波長365nm是UV燈，波長450nm、525nm、597nm、669nm分別對應藍、綠、橘、紅色玻璃紙。
 結果：可見光範圍內，光波長對電壓、電流的影響較小，因為只要入射光的頻率大於低限頻率，在相同光照強度下，使用更高頻率的光並不會激發更多光電子。

【研究四】傾斜角度對太陽能板發電情形之影響



4-1~4-3結果：

電功率(W) 傾斜角度	12月			4月			5月		
	冬天 面東	冬天 面南	冬天 面西	春天 面東	春天 面南	春天 面西	夏天 面東	夏天 面南	夏天 面西
0度	27.52	22.22	21.38	X	X	23.69	13.93	13.67	9.44
15度	26.10	25.33	25.41	25.75	25.39	26.01	15.74	13.77	10.60
30度	27.89	25.98	25.14	24.63	24.84	28.54	17.54	18.56	13.96
45度	21.99	24.04	23.01	25.54	26.78	25.34	15.65	16.74	10.95

【研究五】面向方位對太陽能板發電的影響

實驗條件	面東	面南	面西	面北
電功率(W)	24.95	24.75	25.70	24.40

【研究六】太陽能板轉動對發電的影響

實驗條件	旋轉	固定面南
電功率(W)	24.90	24.10

【研究七】自製模型模擬天球計算光照面積

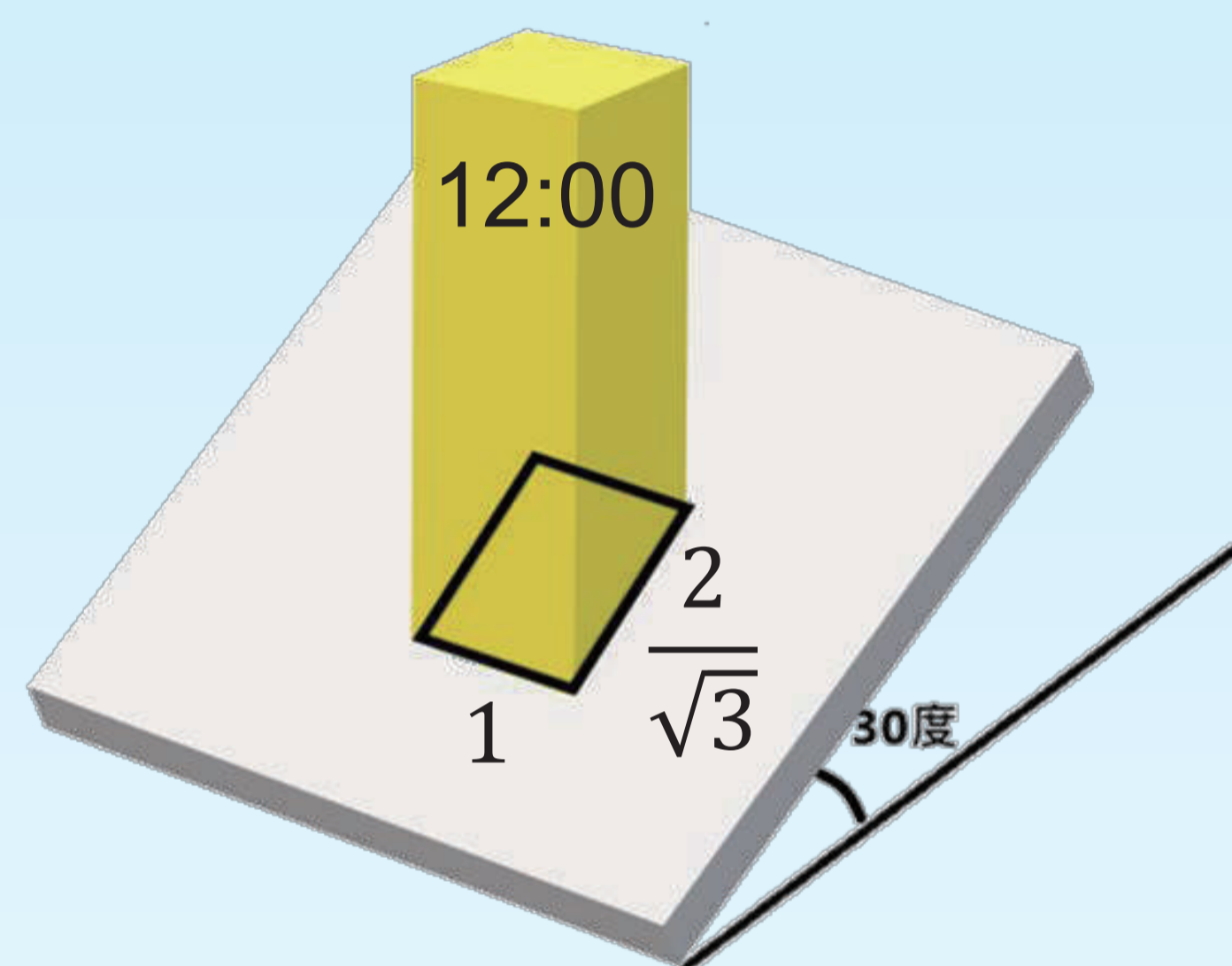
1. 夏至12:00，傾斜0度時，光照面積最小，隨著傾斜角變大、面積也變大。
2. 春秋分12:00時，向南傾斜15度、30度的面積最小。
3. 冬至12:00時，向南傾斜30度、45度的面積最小。
4. 向南傾斜時，在夏至10:00比15:00面積小，冬至時太陽傾斜角大，向南傾斜45度的面積最小。
5. 向東傾斜時，在15:00傾斜角度越大、面積越大。
6. 向西傾斜時，在10:00傾斜角度越大、面積越大。

【討論】盡量讓太陽可以直射太陽能板

冬至時，陽光直射南回歸線，在北緯 25度：
 中午仰角為 $90 - (25 + 23.5) = 41.5$ 度
 太陽能板應傾斜 $90 - 41.5 = 48.5$ 度
 春分及秋分，陽光直射赤道，在北緯 25度：
 中午的角為 $90 - 25 = 65$ 度
 太陽能板應傾斜 $90 - 65 = 25$ 度

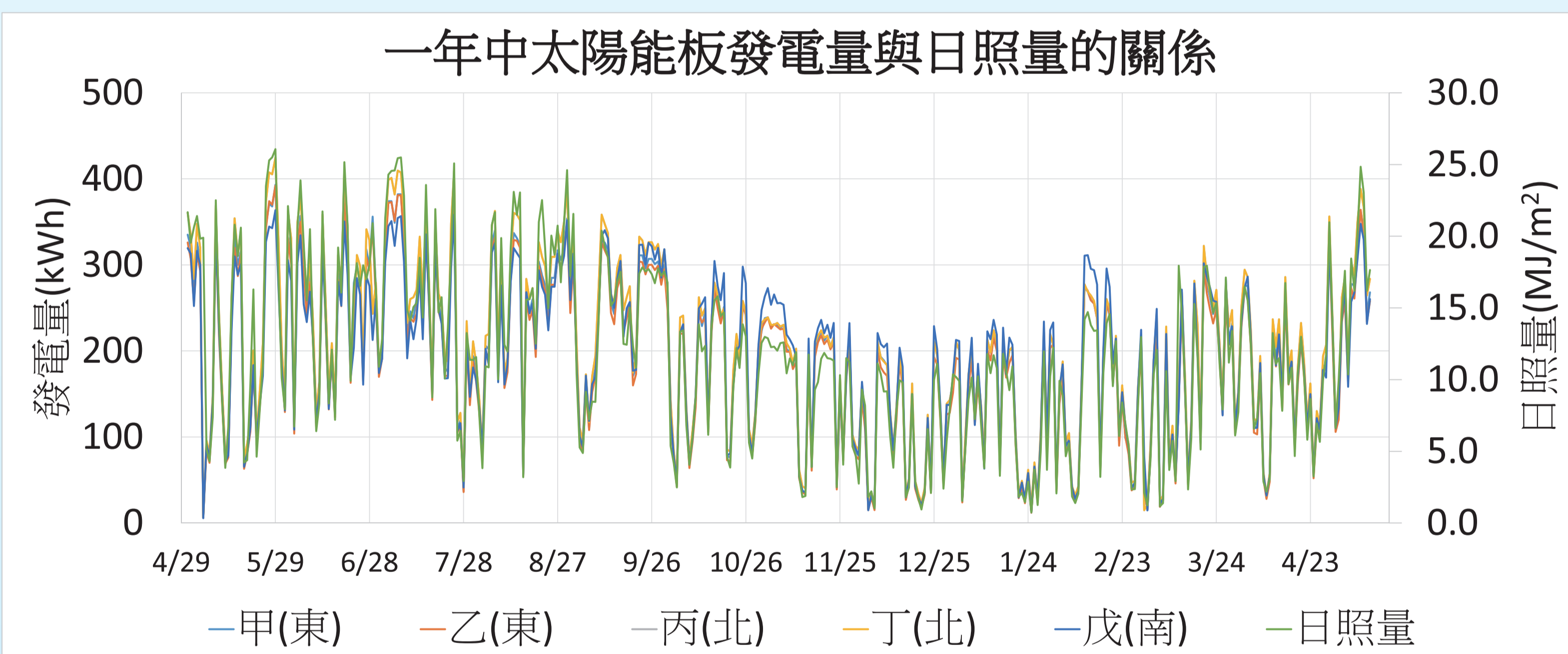
正中午照射面積：

$$1 \times \sec | \text{面南傾斜角} - (90 - \text{正中午仰角}) |$$



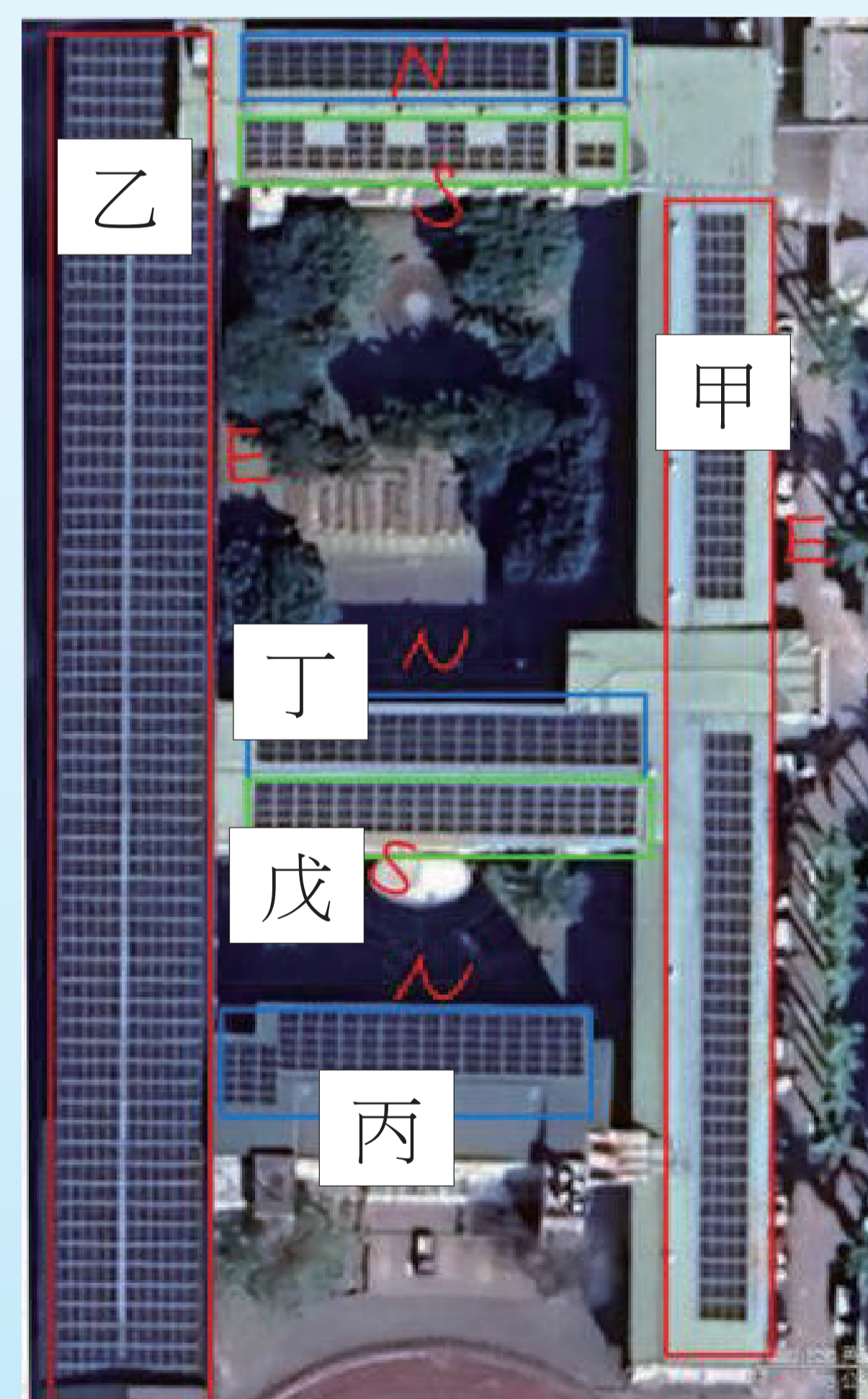
照射面積越大，能量越分散，發電效益越差

【研究八】學校太陽能板發電效益



結果：比起面向方位，發電量與日照量高度相關。

結果：以北部地區而言，夏季的發電量高於冬季。



伍、結論

- 一、室內使用 3900 歐姆、室外使用20~30歐姆的電阻能讓太陽能板發電功率最大。
- 二、光照強度愈大，發出的電壓、電流越大。
- 三、在可見光範圍內，光波長對太陽能板的發電效益影響不大。
- 四、調整傾斜角度與面向方位讓太陽可以直射太陽能板，發電效益會最佳。
- 五、旋轉裝置的發電功率比固定向南的大。
- 六、影響發電效益最大的因素是光照強度，因此北部適合按夏季陽光角度架設。

陸、未來展望

- 一、我們想蒐集台灣不同地區的數據，進一步了解各地區的太陽能發電效益。
- 二、自製的太陽能板旋轉裝置希望能做到三軸旋轉，搭配光敏電阻，讓太陽能板可以無時無刻追著光、發出最多的電。
- 三、我們想用Arduino溫度模組觀察溫度對太陽能板發電效益的影響。