

# 自製照度計

林宣安

臺中縣自然科輔導團

## 壹、前言

「眼睛」是學習的主要工具，然而眼睛的功能卻得完全依賴「光」才能發揮，在沒有光線的情況之下，眼睛幾乎是無用武之地；或者在光線微弱的場所裡，對眼睛而言不但工作量大增，對自己的學習情緒也是大受影響。但若光線過強，不但眼睛容易疲勞，更可能會有頭暈目眩的不適。所以適當的光線，在這個追求知識的時代佔有一個不可或缺的角色。

只是，到底怎樣的光線才是最適當的呢？根據經濟部中央標準檢驗局參酌先進國家的檢驗標準，於民國 76 年訂定照度(註 1)標準；一般工作場所，包含教室、辦公室、保健室、會議室等等至少都應有 200 至 750Lux(註 2)的照度。但，我們如何知道自己的工作或讀書環境合乎標準呢？當然最簡單的方法就是買一台照度計，一般行情約在數千元左右，如果只是用一兩次似乎不是很經濟。在此筆者利用太陽能板與數位型三用電表自己製作照度計，經度量衡矯正之後還滿準的喔！而且自己設計的東西，更是充滿樂趣與成就感。提供給各位老師及同學參考。

## 貳、所需器材

1.5V 太陽能板〔SANYO AM-1407

型〕、數位型三用電表〔ST&T 605 型〕、照度計〔Lutron LX-101 型，矯正度量衡用〕、Excel 軟體。

成品如圖 1。



圖 1、自製照度計所需器材

## 參、設計原理

一般太陽能板只要接收到光線就會將其轉換成電能；且光線越強，轉換出來的電壓和電流也就越大。我們製作的照度計即是用這樣的原理，將不同光線下所呈現的電壓〔電流〕經過標準化轉換後就成為簡單又實用的照度計了。

## 肆、利用電壓標準化

一、將太陽能板的正負極和三用電表相

接；電表切換至直流電壓最低檔。試試看！在不同光線強度的情況下，電壓是否隨著改變。

- 二、將太陽能板用膠帶固定在照度計的光源接收器上，如此才能確保太陽能板和照度計接收到相同的光量。如圖 2。

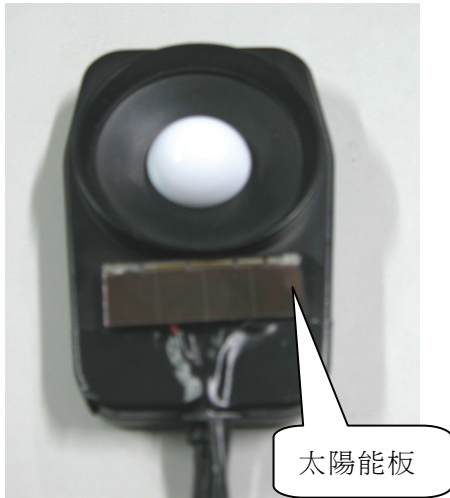


圖 2、將太陽能板用膠帶固定在照度計的光源接收器上

- 三、在不同亮度下，紀錄下照度計及電表的讀數。可先以照度計為主，在 100~1000Lux 的區塊(註 3)內先找出十組數值。
- 四、將兩組數據輸入 Excel，以「圖表」功能將兩組數據繪成折線圖(註 4)。
- 五、在折線圖上按滑鼠右鍵選取「加入趨勢線」，照度計部分選取「線性」分析；電表部分選取「對數」(註 5)分析。
- 六、剛開始分析數據，其 R-squared 值(註

6)可能偏小，這時就要開始進行「微調」的工作；將偏離趨勢線過多的數據重測，使其 R-squared 值慢慢趨近 1。因為同時需兼顧兩個趨勢線，所以可斟酌要先以電壓為主或照度為主。

- 七、標準化後可到兩個方程式，以筆者實驗後的數據為例：如表 1。

照度數值的趨勢方程：

$$\text{Lux}=110.57X+22.722\cdots\cdots(1)$$

$$R^2=0.9979$$

電壓數值的趨勢方程：

$$V=0.827\text{Ln}(X)+125.9\cdots\cdots(2)$$

$$R^2=0.999$$

將(1)、(2)式合併可得到

$$\text{Lux} = 110.57 \text{ EXP} [ ( V-125.9 ) / 0.827 ] + 22.722$$

- 八、將以上所得的轉換公式以 Excel 處理，即可輕易將太陽能板的電壓轉成標準化的照度。如圖 3。亦可將公式輸入一些可載入方程的工程用計算機〔如 CASIO FX-4000P 型〕，方便轉換數值，如圖 4。

## 伍、成果驗收

將自製的照度計在不同亮度的地方測試，為方便起見，直接以檯燈調整高度(如圖 5)以獲得不同的照度。結果如表 2。

表 1、照度計與太能板電壓(放大 100 倍)的對照表

Lux	142	248	328	480	562	701	790	915	1014
V(X100)	126.2	131.6	135.6	138.1	140.0	141.8	143.2	144.2	145.4

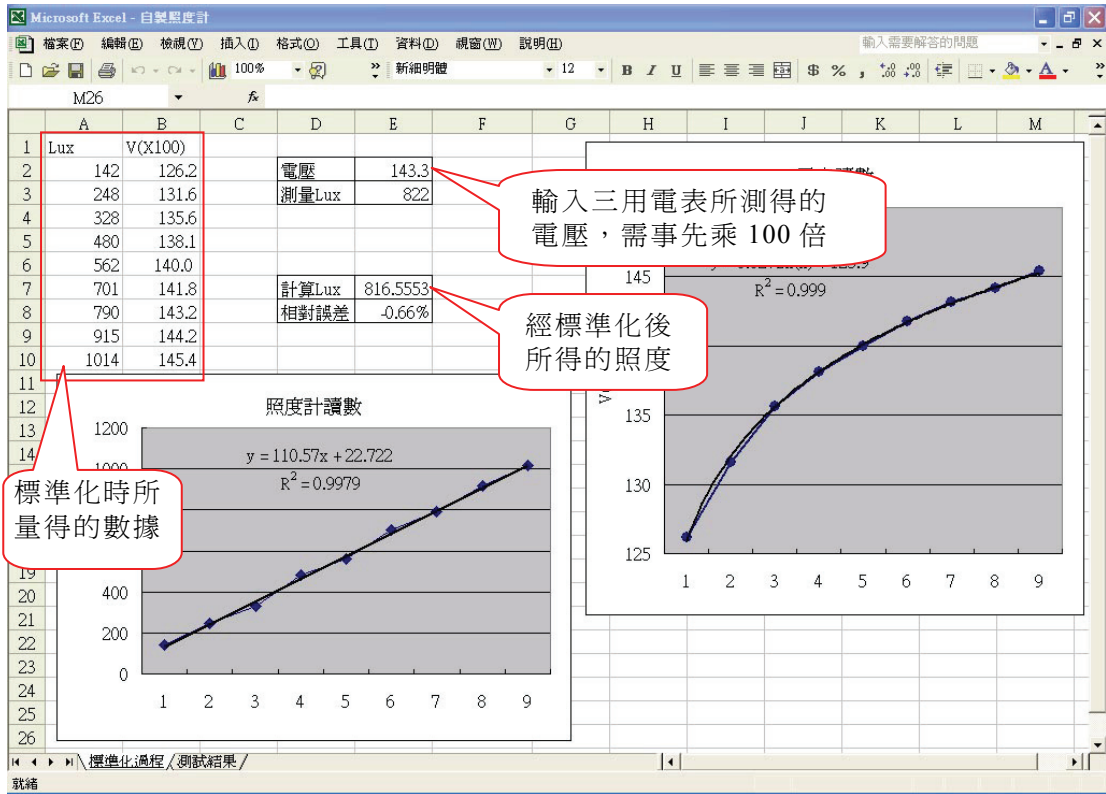


圖 3、整個實驗數據利用 Excel 即可處理，對於中小學師生而言是很簡便的

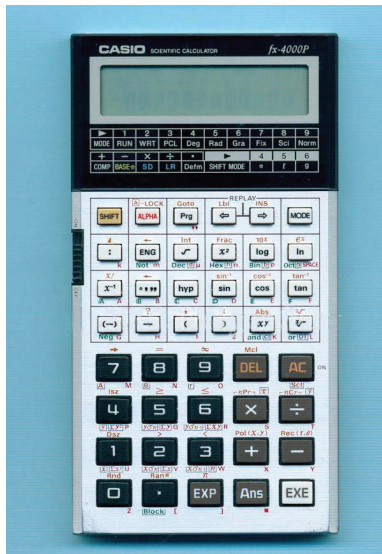


圖 4、CASIO FX-4000P 型計算機可直接輸入方程，處理代數運算後的結果，宰此時驗便可取代電腦的功能，真正可以方便攜帶。



圖 5、調整檯燈高度以測量不同照度的結果

表 2、不同照度下所獲得的測量值與計算值結果

測量電壓 (X100V)	92.8	108.6	117.3	125.4	130.9	136.4	138.6	139.5	140.3
測量照度 (Lux)	20	36	61	134	238	393	496	546	598
計算照度 (Lux)	25.32	38.30	64.46	127.20	217.55	386.00	488.83	538.86	587.82
測量與計算的差值 (Lux)	5.32	2.30	3.46	-6.80	-20.45	-7.00	-7.17	-7.14	-10.18
相對誤差 (%)	<b>26.61</b>	<b>6.38</b>	<b>5.67</b>	<b>-5.07</b>	<b>-8.59</b>	<b>-1.78</b>	<b>-1.45</b>	<b>-1.31</b>	<b>-1.70</b>

測量電壓 (X100V)	143.3	144.4	145.4	146.5	147.4	148.1	149.4	150.7	152.7	154.8	155.8
測量照度 (Lux)	822	923	1030	1166	1274	1386	1591	1845	2290	2890	3020
計算照度 (Lux)	816.56	921.91	1029.77	1163.42	1285.86	1390.11	1607.08	1858.48	2325.31	2943.76	3294.15
測量與計算的差值 (Lux)	-5.44	-1.09	-0.23	-2.58	11.86	4.11	16.08	13.48	35.31	53.76	274.15
相對誤差 (%)	<b>-0.66</b>	<b>-0.12</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.22</b>	<b>0.93</b>	<b>0.30</b>	<b>1.01</b>	<b>0.73</b>	<b>1.54</b>	<b>1.86</b>	<b>9.08</b>

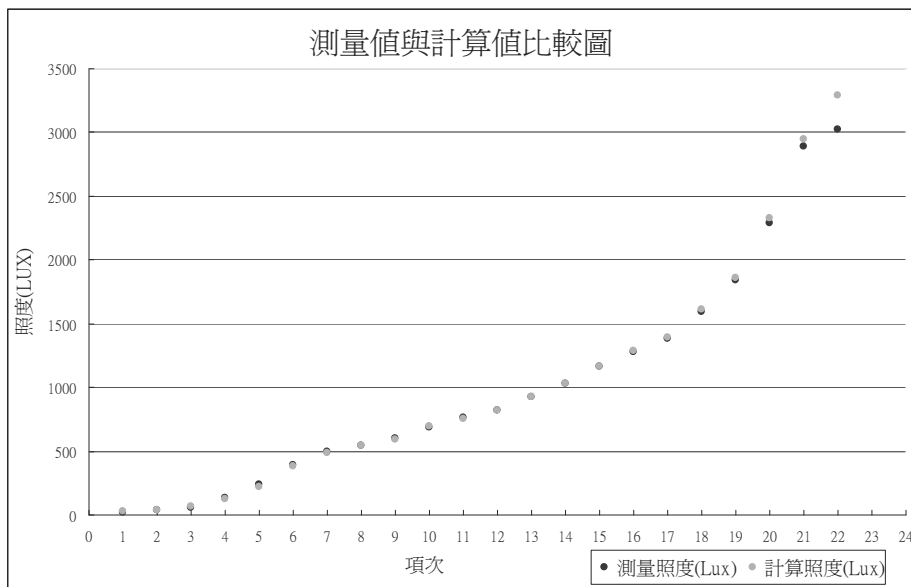


圖 6、測量值與計算值的比較圖

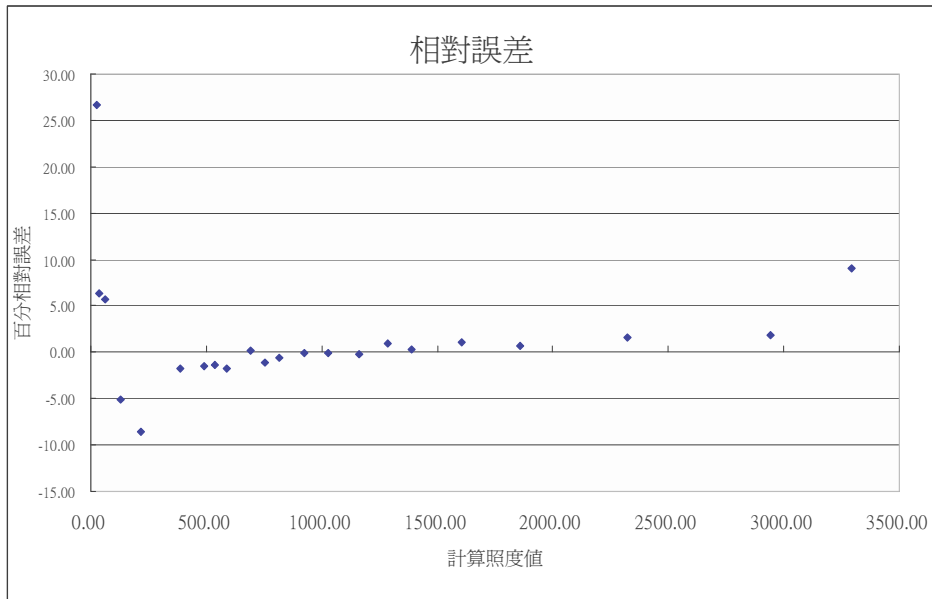


圖 7、測量值與計算值的相對誤差圖

## 陸、結論與建議

雖然在標準化的過程中筆者只做到 100~1000Lux，但測試時發現，在 3000Lux 以下相對誤差都還能維持在 1% 左右；3000Lux 以上相對誤差就衝到了 9%。在較低照度〔300Lux 以下〕的時候相對誤差就比較大了〔約在 5%~8%〕，至於更低的照度〔20Lux 以下〕誤差就高達了 27%！

所以根據以上的測試結果，我們自製的照度計在 300~3000Lux 之間其數值是足以參考的〔原本標準化所使用的照度計本身就有 5% 的誤差〕；但當照度太高或太低時，太陽能板的電壓就容易脫離我們的預測值，誤差也就提高了！

實驗的過程中因為希望以一般國小小教師可以方便取得的材料為原則，所以以檯燈當作光源，利用高度產生不同的照度，嚴格說來是容易產生「是否真的標準化」的疑慮(最好當然是利用標準光源，這

在一般中小學是不太可能會有的設備)，但這樣的實驗可以簡單讓學生明白太陽能板的運作原理與另類應用，這一點應該是可以清楚表達的。

## 柒、延伸實驗—利用電流測量

筆者這個實驗早在 2005 年就已完成(投稿日：2008 年 3 月)，最近又心血來潮……如果利用電流測量呢？結果十分有趣，對應出來的方程式非電壓須採對數分析，照度與電流呈現正比的關係。結果如下：

將三用電表調整至 100mA 的檔位，如上述利用電壓標準化的方法(結果如表五)，找出電流和照度的趨勢線 R-squared 值均接近 1 時，可得兩個方程。和電壓不同的是，利用電流所標準化的結果，兩組數據都呈線性方程，如圖 29。

照度數值的趨勢方程：

$$\text{Lux}=64.75X+290.25\cdots\cdots(1) \quad R^2=0.9994$$

電壓數值的趨勢方程：

$$\text{mA}=3.7833+22.194\cdots\cdots(2) \quad R^2=0.9976$$

將(1)、(2)式合併可得到

$$\text{Lux}=[(\text{mA}-22.194)/3.7833] * 64.75 + 290.25$$

再將以上所得的轉換公式以 Excel 處理，即可輕易將太陽能板的電流轉成標準化的照度。

當然，利用電流所呈現的照度，應該和電壓一樣會有上下極限的問題，作法就如電壓的方式來尋找，筆者礙於版面就不再呈

現，也可當作留給讀者的另一個思考空間。

### 捌、後記

在偶然的情況下，發現太陽能板的如此另類功能，雖然在標準化的過程中經歷了無數次的失敗，測量的數據也超過數百組，器材雖然簡陋，數據也需再更進一步的檢驗，但可以利用這樣簡單的材料，初步得到如此的結果也算感到欣慰！筆者的能力有限，如有需要改進的地方還請各位先進不吝指教，也算是提供給各位讀者另類照度計的選擇參考！

表 3、照度計與太能板電流(放大 1000 倍)的對照表

Lux	350	416	492	548	620	680	745	805	870
V(X100)	26	30	34	37	41	44	49	52	57

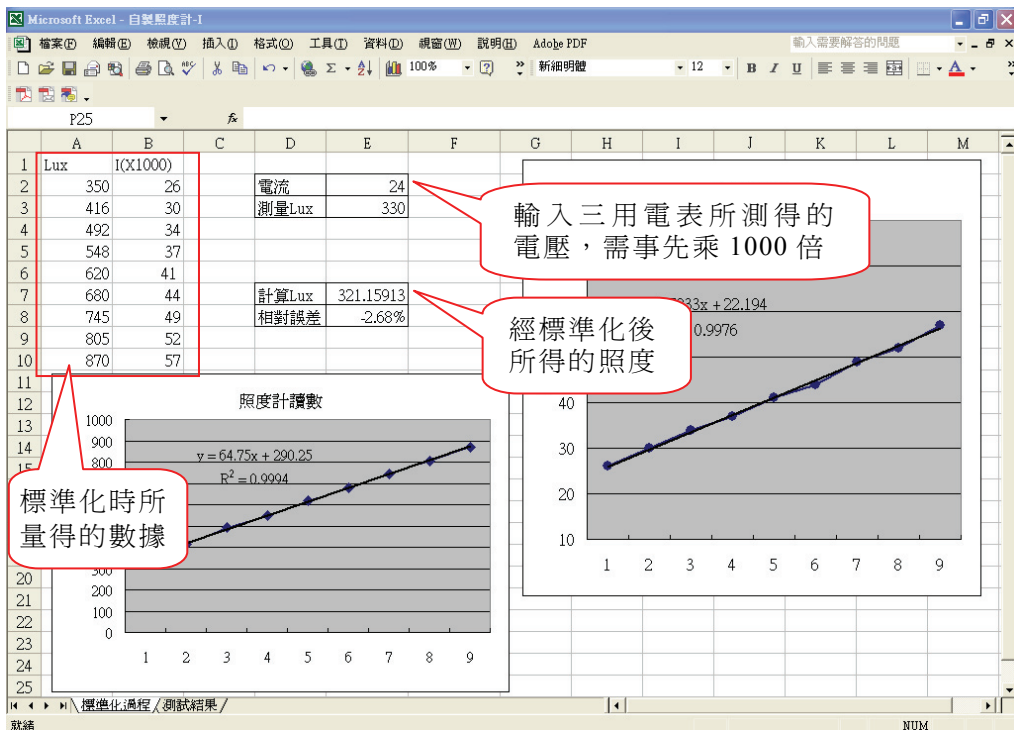


圖 8、同樣利用 Excel 來處理實驗數據

## 備註說明

- 註 1：光通量：光源發出的總光量，又稱光束，單位為流明(LM)。
- 註 2：照度：背光源所照射的面，它的單位面積( $m^2$ )所接受的光通量，單位為勒克司(Lux)。
- 註 3：1. 一般我們會測量的範圍大多在 100~1000Lux 內，且為配合太陽能板的功率上限，故先以 1000Lux 為限。
2. 標準化時要注意地點的選擇需為均勻的光線，避免造成照度計接收的光量和太陽能板不同

註 4：電壓部分為配合照度數字不要差距過大，事先統一放大 100 倍。

註 5：太陽能板的電壓有上限的限制，所以採對數分析。

註 6：1. 這個步驟最為重要，牽涉到自製照度計標準化的結果，需要一些耐心來調整！

2. R-squared 值是指測量值與趨勢線的相關係數，越接近 1 表示相關性越高。