

太陽能光電系統應用於照明之研究

吳曜圳(Yao Chan Wu)*

吳韻吾(Yun Wu Wu)

林欣怡(Hsin Yi Lin)

中國科技大學建築研究所碩士生

中國科技大學建築系教授

中國科技大學建築研究所碩士生

摘要

本研究從永續、環保及節能的角度著手，針對太陽能系統發電量以公式計算的模式，探討其發電量供應居家照明電力之可行性。首先對相關文獻進行整理，了解PV系統模組電流與電壓會隨模組溫度升高而下降。研究中利用之3種計算公式皆有對太陽能光電板的溫度效應及發電損失等加入修正係數，用以精確計算出實際之系統發電量。最後，以溫度效應修正後之公式計算，結果不僅較為符合實際發電量約87%，也可完全提供居家照明負載100%之用電量。

關鍵詞：太陽能系統、溫度效應、照明負載

Keywords: solar systems, temperature effects, lighting load

姓名	服務單位	職稱	地址	電話	E-mail	是否出席?
*吳曜圳	漢龍營造股份有限公司	工程師	新北市汐止區樟樹二路251巷11號12樓	0987-505027	hot578@hotmail.com	是
吳韻吾	中國科技大學建築系	教授	台北市文山區興隆路三段56號	0958-317539	davidwu@cute.edu.tw	是
林欣怡	銓歆管理顧問有限公司	專案顧問	台北市大安區仁愛路四段408巷18號2樓	0931-114372	sing.co@msa.hinet.net	是

Lighting application of solar PV systems

Abstract

In this study, sustainable, environmental and energy point of view begin to explore the feasibility of home lighting electricity generating capacity for the supply of solar power generation in formula mode. First, sort out the relevant literature, to understand the system PV module current and voltage decreases with increasing temperature module. Three kinds of formulas to study the use of the solar panels Jie effect of temperature and power losses added to the correction factor to accurately

calculate the actual power output of the system. Finally, the revised formula for the temperature effect calculated result is not only more in line with actual power generation of about 87% can be fully provide home lighting load of electricity.

一、前言

1.1 研究動機

由於台灣位置處在亞洲大陸東南方中低緯度的海島，屬於亞熱帶季風氣候，一年中四季分明，日照時間充足。且太陽能源具有普遍、長久、無害等特性，並在使用過程中幾乎沒有足以汙染生態的廢棄物排放，至於在日常耗能中以空調及照明用電占了相當大的比例【1】。

1.2 研究目的

基於永續、環保、節能減碳的理念，研究居家照明如何運用乾淨能源、利用科技手法節省能源消耗，並維持原有之照明效率是具有研究之價值。所以，一般的用電家戶中若能使太陽能發電系統成為家戶中主要電力的來源設備之一，利用太陽能源達到照明零耗能，更進一步使用其他再生能源及智慧電網等相關輔助，就能達到永續發展的理念和節能減碳之目標【2】，也可使每棟建築物成為一座真正的零耗能建築。

1.3 研究範圍與方法

本研究運用文獻資料研究和節能屋模型分析與系統發電量演算，對於太陽能光電系統(Photovoltaic Power Generating System，簡稱PV系統)提供照明負載電能的可行性及發電成本效益。

二、文獻回顧

2.1 日射量

影響太陽能光電系統之因素中最主要為日射強度，因此日射量較大的地區相對可提升系統之轉換效率。根據研究指出，台灣地區日射量由北至南遞增【3】；所以，依中央氣象局統計月日射量強度及月平均溫度數值，可推估出台灣南部安裝太陽能發電系統的效益大於北部地區。

2.2 太陽光電模組

太陽能電池是一種能量轉換的光電元件，經由太陽光照射後，將光的能量轉換成電能，依目前太陽能電池常用之主要材料的種類來區分，可分為單晶矽 (Single Crystal Silicon)、多晶矽 (Polycrystal Silicon)、非晶矽 (Amorphous Silicon, 簡稱a-Si) 【4】。

2.3 發光二極體(LED)

發光二極體 (Light Emitting Diodes) 俗稱LED，具有高光電轉換效率，體積小、壽命長及低熱源等優點，在全球能源短缺的狀況之下，發光二極體的前景備受矚目【5】。近年來的技術提升，高亮度LED 的開發成功，更是朝向高附加價值的方向邁進，根據研究指出，高亮度LED 與螢光物質結合可產生白光LED，其效能可達10 lm/W【6】。

2.4 模擬太陽能光電系統發電量之必要條件

在進行資料蒐集模擬計算PV系統發電量時，數據的地點、位置、設置總容量(KW)、模組種類、系統種類、模組最大輸出功率、模組尺寸、發電效率及安裝模組總面積等，皆為必要之條件【7】。

依據文獻研究指出，在日照強度變大時，其輸出電壓與輸出功率成正比的關係。【圖1】；而當太陽能電池表面溫度上升時，其輸出電流會有些微上升，但輸出電壓則為遞減。所以，太陽電池的溫度和輸出功率是呈反比的關係。【圖2】

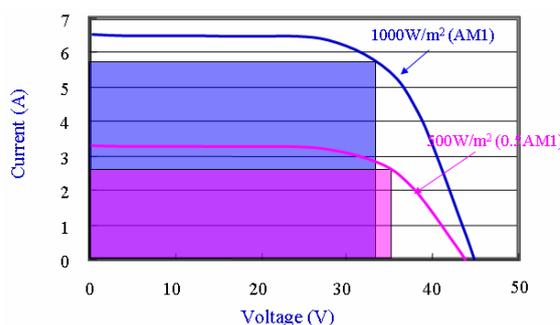


圖1 不同日照強度下太陽電池 I-V特性曲線

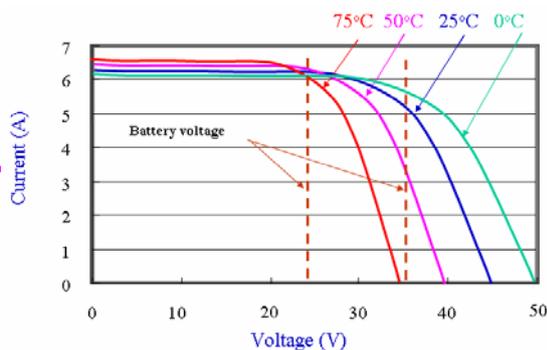


圖2 不同溫度下太陽電池 I-V特性曲線

依據上圖可得出太陽電池在日照強度及溫度對於I-V特性的正反比關係。經濟部能源局太陽光電模組發電效率計算公式：

$$\text{效率}(\%) = \left[\frac{W/m^2}{1,000 W \cdot m^2} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (式2.4-1)$$

W：最大模組輸出功率。

m^2 ：模組外框面積。

$1,000W \cdot m^2$ ：千瓦/平方公尺(kW/m^2)。

2.5 太陽能發電效率推估

由相關文獻可知，影響系統發電量及成本回收時程的因素有氣候因子（日射量、氣溫）、PV 系統發電效率、系統發電量及電能躉購費率等；而氣候資訊蒐集必須仰賴中央氣象局的統計資料及文獻學者對於系統發電量的計算方式，加以推估出近趨於實際發電量的數據【7】。

三、研究方法

主要透過文獻資料分析、氣候資料蒐集與公式的模擬計算方法，分析太陽能發電系統發電量與成本效益；本研究系統發電量數據蒐集 3 種較為常用的計算方法進行模擬試算，並以比較法對公式計算出之數值進行分析。

3.1 氣候資料蒐集

本研究為計算太陽光電發電系統之年發電量，蒐集 2015 年中央氣象局台北觀測站(466920)的氣象統計資料，如下【表1】：

中央氣象局 2015 年資料整理		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
台北地區	全天空日射量 (MJ/m ²)	262	271	282	447	377	558	607	462	462	375	309	183
	月平均氣溫℃	16.7	17.2	19	22	26.3	30	29.9	28	27.4	25	23.5	18.9
	全天空日射量 (KW/m ² -day)	2.35	2.43	2.53	4.01	3.38	5	5.44	4.14	4.14	3.36	2.77	1.64

表1 2015年全年度氣候資料(資料來源：中央氣象局)

3.2 太陽能發電系統發電量計算

3.2.1 太陽能電池溫度效應修正計算公式

依據不同溫度下太陽電池 I-V 特性曲線【圖 2】得知，太陽能電池之輸出電壓與輸出電流會隨著溫度升高而下降。本研究以 AplyTek 太陽電池模組（型號：6MN6A260）為假設對象。其電壓溫度衰減率為 $-0.32\%/^{\circ}C$ ，太陽電池模組於 $25^{\circ}C$ 時之發電效率為 η ，大於 $25^{\circ}C$ 時下降的效率為 ε 。則【7】：

$$\varepsilon = 0.0032 (T_c - 25^\circ\text{C}) \eta \dots\dots\dots(\text{式 3.2.1-1}).$$

根據文獻，一般太陽電池直流發電量之計算式可改寫為：

$$P_{dc} = G\beta(1 - \varepsilon / \eta) \eta = G\beta[1 - 0.0032(T_c - 25^\circ\text{C})] \eta$$

$$\text{溫度修正後之全天空日射量} = G\beta[1 - 0.0032(T_c - 25^\circ\text{C})] \dots(\text{式 3.2.1-2})$$

P_{dc} ：太陽能電池之直流發電量。

$G\beta$ ：日射量。

η ：模組於 25°C 時之發電轉換效率。

ε ：溫度大於 25°C 時所降低之效率。

根據文獻太陽能系統設計廠商對於系統產生之整體發電損失，一般太陽能板產出 DC 電源的因數為 0.8；太陽能板產出至 AC 並聯點因數為 0.9，故從太陽能板發電量至並聯點有效發電量不得低於 $0.9 \times 0.8 = 0.72$ 【7】。

$$\text{太陽能發電系統每日發電量(單位：kW/m}^2\text{-day)} =$$

$$\text{溫度修正日射量} \times 0.72 \times \text{太陽電池發電轉換效率}(\%) \dots\dots\dots(\text{式 3.2.1-4})$$

3.2.2 綠建築評估手冊之計算公式

依據 EEWH-EC 說明，如採用太陽能光電板為再生能源時，其計算方式為【10】：

$$\text{每年平均發電量(kWh/yr)} =$$

$$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{day} \times 0.8(\text{m}^2/\text{kW}) \times \text{設置容量(kW)} \times 365(\text{day/yr}) \dots(\text{式 3.2.2-1})$$

$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{day}$ ：每日平均日射量

$0.8(\text{m}^2/\text{kW})$ ：修正係數(係指日射量變動、光電板積塵、電池效率、溫度、電力回路、蓄電池、轉換器等，造成發電量下降之係數)

3.2.3 以熱量換算發電量之計算公式：

根據文獻將日射量的熱量單位換算成發電量單位，以 $1\text{kWh/m}^2 = 3.6\text{MJ/m}^2$ 作單位換算。其中綜合設計係數 K 值取 0.7 代入，並以發電量公式計算出年度太陽能發電量。Pas 以單位太陽電池組列計算【1】。

$$E_p = P_{as} \times H_{ax} \times K \times 365 \dots\dots\dots(\text{式 3.2.3-1})$$

E_p ：年發電量 (kWh)

P_{as} ：太陽電池組列容量 (kW)

Ha：設計場所的累計日射量 (kWh/m² · day)

K：綜合設計係數

四、研究結果與分析

為了解太陽能光電系統與家戶照明用電部分的供需狀況，模擬計算一般家戶安裝LED燈具照明及安裝PV系統後，可否達到供需平衡狀態。

再生能源類別	分類	裝置容量級距	第一期上限費率 (元/度)	第二期上限費率 (元/度)
太陽光電	屋頂型	1 瓩以上不及 20 瓩	6.4813	6.4813
		20 瓩以上不及 100 瓩	5.2127	5.2127
		100 瓩以上不及 500 瓩	4.8061	4.8061
		500 瓩以上	4.6679	4.6679

表 2 105 年度再生能源電能躉購費率及其計算公式(經濟部公告)

4.1 照明負載計算

本研究以節能模型為例，三層樓照明負載部分設定為LED燈具，使用時段為每日1700時至2300時，每盞LED照明耗電功率為10 lm/W，共計45盞，使用上需為6小時處於啟動狀態。

每月照明負載總用電量計算如下：

$$\text{◎照明(負載)用電：} 10 \text{ (W)} \times 6 \text{ (hr)} \times 45 \text{ (盞)} \times 30 \text{ (day)} = 81/\text{KWhA}$$

每年照明負載總用電量計算如下：

$$\text{◎每年照明負載總用電量(yr)} = 81/\text{KWha} \times 12/\text{月} = 972 \text{ KWha/yr}$$

4.2 太陽系統發電量及成本效益計算

本研究節能模型設定使用之太陽能發電模組為單晶矽太陽能光電板；而系統發電量計算擬以中央氣象局統計資料2015年全年日射量與平均氣溫為依據【表1】，並據以文獻蒐集之三種估算方法進行系統發電量試算。

(1)基本資料：

1	安裝面積	14.8m ² 。(頂樓)	6	製造商	AblyTek
2	設置容量	2600W=2.6KW	7	最大輸出功率	260W
3	模組種類	單晶矽	8	模組效率	15.9%
4	模組尺寸	1640×992×40 mm/組	9	模組片數	9片
5	系統種類	市電併聯型	10	設置費用	2.6KW x 79,700元=207,220元

註：設置費用參考太陽光電網站(日前目前市面上的系統單價約為57,400至79,700元/瓩)

表3 太陽光電系統基本資料(本研究整理)

(2)發電成本計算：

◎以2015年1月為例【表1】，由溫度修正日射量公式(式2.4-1)、(式3.2.1-2)、(式3.2.1-4)進行PV系統發電量計算如下：

$$\begin{aligned} \text{◆溫度修正日射量(KW/m}^2\text{-day)} &= G\beta [1 - 0.0032(T_c - 25^\circ\text{C})] \\ &= 2.35[1 - 0.0032(16.7 - 25)] = 2.41 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆每日發電量(kW/m}^2\text{-day)} &= \text{溫度修正日射量 (kW/m}^2\text{-day)} \times 0.72 \times \text{太陽電池發電轉換效率 (\%)} \\ &= 2.41 \times 0.72 \times 15.9\% = 0.2759(\text{kW/m}^2\text{-day}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆每月發電量} &= \text{每日發電量} \times \text{日數} \times \text{模組總面積} \\ &= 0.2759 \times 31 \times 14.8 = 126.7(\text{KWH}) \end{aligned}$$

以此類推，每月發電量如下【表4】：

中央氣象局 2015年資料整理		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
台北 地區	溫度修正後 日射量	2.41	2.49	2.58	4.05	3.37	4.92	5.35	4.10	4.11	3.36	2.78	1.67
	月發電量值 (KWH)	126.7	130.8	135.4	212.6	176.8	258.4	281.2	215.4	215.8	176.5	146.2	87.8

表4 太陽光電系統電量各月份統計表(本研究整理)

$$\begin{aligned} \text{◆太陽能系統年總發電量(KWH/yr)} &= 126.7 + 130.8 + \dots + 146.2 + 87.8 \\ &= 2163.7(\text{KWH/yr}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆平均日總發電量(KWH/day)} &= \text{年總發電量} / \text{總日數} \\ &= 2163.7 / 365 = 5.93(\text{KWH/day}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆平均 1KW 日發電量(KWH/day)} &= \text{總發電量} / \text{設置容量} \\ &= 5.93 / 2.6 = 2.28(\text{KWH/day}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆平均電費} &= \text{總設置成本} / \text{總發電度數} \\ &= 207,220 / 2163.7(\text{KWH/yr}) \times 20\text{yr} = 1.92\text{元/KWH} \end{aligned}$$

$$\text{◆目前2016年每度電之平均電費} = 2.35\text{元/KWH}(\text{台電})$$

$$\begin{aligned} \text{◆成本回收年限} &= \text{設置成本} / (\text{年總發電量} \times \text{平均電費}) \\ &= 207,220 / (2163.7 \times 2.35) = 40.8\text{年} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆經濟效益} &= \text{台電躉購費率} \times (\text{年總發電量} - \text{年照明用電量}) \\ &= 6.4813 \times (2163.7 - 972) = 7723.8\text{元/年} \end{aligned}$$

◎以2015年1月為例【表1】，由綠建築評估手冊公式(式3.2.2-1)進行PV系統發電量計算如下：

$$\begin{aligned} \text{◆每年平均發電量(kWh/yr)} &= \\ & \text{kWh/m}^2 \cdot \text{day} \times 0.8(\text{m}^2/\text{kW}) \times \text{設置容量(kW)} \times 365(\text{days/yr}) \\ &= 2.35 \times 0.8 \times 2.6 \times 365 = 1784.1(\text{kWh/yr}) \end{aligned}$$

- ◆平均日總發電量(KWH/day)=年總發電量/總日數
= 1784.1/365 = 4.89(KWH/day)
- ◆平均 1KW 日發電量(KWH/day)=總發電量/設置容量
= 4.89/2.6 = 1.88(KWH/day)
- ◆平均電費=總設置成本/總發電度數
= 207,220/1784.1(KWH/yr) x 20yr = 2.32元/KWH
- ◆目前2016年每度電之平均電費 = 2.35元/KWH(台電)
- ◆成本回收年限=設置成本/(年總發電量x平均電費)
= 207,220/(1784.1 x 2.35)= 49.4年
- ◆經濟效益=台電躉購費率x(年總發電量-年照明用電量)
= 6.4813 x (1784.1 - 972) = 5263.5 元/年

◎以 2015 年 1 月為例【表 1】，由熱量換算發電量公式(式 3.2.3-1)進行 PV 系統發電量計算如下：

- ◆年發電量(E_p)= $P_{as} \times H_{ax} \times K \times 365$
= 2.6 x 0.7 x 2.35 x 365 = 1561.1(kWh/yr)
- ◆平均日總發電量(KWH/day)=年總發電量/總日數
= 1561.1/365 = 4.29(KWH/day)
- ◆平均 1KW 日發電量(KWH/day)=總發電量/設置容量
= 4.29/2.6 = 1.65(KWH/day)
- ◆平均電費=總設置成本/總發電度數
= 207,220元/1561.1(KWH/yr) x 20yr = 2.65元/KWH
- ◆目前2016年每度電之平均電費 = 2.35元/KWH(台電)
- ◆成本回收年限=設置成本/(年總發電量x平均電費)
= 207,220/(1561.1 x 2.65)= 56.48年
- ◆經濟效益=台電躉購費率x(年總發電量-年照明用電量)
= 6.4813 x (1561.1 - 972) = 3818.13 元/年

4.3 照明負載量評估

本研究以文獻資料中，全台灣日射量較低的北部地區做為基礎進行評估，計算結果 2015 年各月份皆可達成照明負載零耗能的表現，而每年經由 PV 系統發電產生的電量皆可達到供需平衡的狀態。更有多餘的電力可供應至其他家電產品或回售予台灣電力公司。

以溫度效應修正之計算式：

$$2163.68(\text{KWH/yr}) - 972 \text{ KWh/yr} = 1191.68 \text{ KWh/yr(年剩餘電力)}$$

以綠建築評估手冊之計算式：

$$1781.1(\text{KWH/yr}) - 972 \text{ KWh/yr} = 809.1 \text{ KWh/yr(年剩餘電力)}$$

以熱量換算發電量之計算式：

$$1561.1(\text{KWh/yr}) - 972 \text{ KWh/yr} = 589.1 \text{ KWh/yr}(\text{年剩餘電力})$$

4.4 小結

本研究系統發電數據蒐集3種估算方法進行模擬試算，整體系統發電量比較經濟部能源局(太陽光電資訊網)補助設置雙北市太陽能發電系統之日發電量平均值後，以經過溫度修正日射量的估算結果，最接近實際系統發電量。分析結果如下：

縣市	年平均發電量 kWh/kWp	年度日平均發電量 kWh/day/kWp
基隆市	897	2.46
台北縣市	958	2.63
桃園縣	1058	2.90
新竹縣	1113	3.05
苗栗縣	1209	3.31
宜蘭縣	931	2.55
連江縣	1148	3.15
台中縣市	1205	3.30
彰化縣	1324	3.63
雲林縣	1269	3.48
南投縣	1142	3.13
嘉義縣	1231	3.37
花蓮縣	767	2.10
金門縣	1140	3.12
澎湖縣	1271	3.48
台南縣市	1285	3.52
高雄縣市	1204	3.30
屏東縣	1147	3.14
台東縣	969	2.66

表5 經濟部能源局2014年補助各縣市之發電量平均值(太陽光電資訊網)

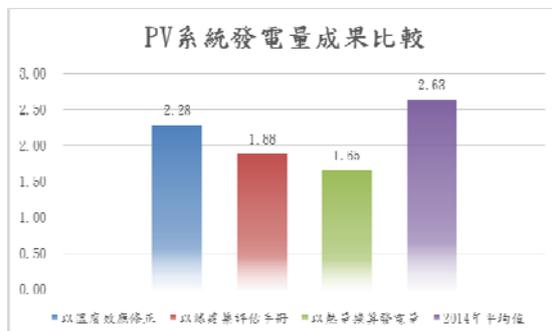


圖3 1KW發電量成果比較(本研究整理)

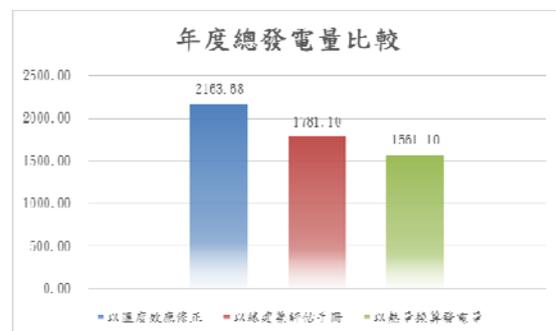


圖4 年度發電量成果比較(本研究整理)

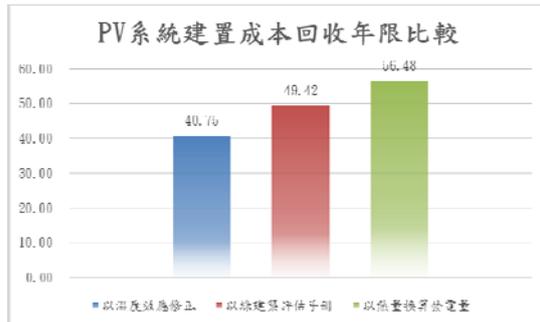


圖5 PV系統建置成本回收年限比較
(本研究整理)

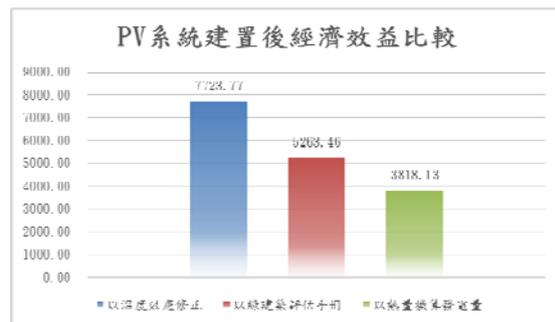


圖6 系統建置後經濟效益比較
(本研究整理)

五、 結論

本研究以 3 種太陽能發電量計算公式，探討太陽光電系統應用於居家照明之可行性與成本及經濟效益評估。結果證明經過溫度效應修正後之計算公式【7】，較為接近實際日發電量數值約 87%且成效良好；PV 系統建置後之年發電量足以供應家戶照明用電負載，更有因再生能源產生後的額外收入及台電公司承諾保證收購 20 年之誘因，可使一般民眾更有意願建置並使用再生能源，共同邁向非核家園目標前進。

參考文獻

- (1) 高豪駿，2010，台灣平均日射量特性之研究，環球技術學院，碩士論文。
- (2) 何明錦，2014，綠建築評估手冊-基本型，內政部建築研究所，新北市。
- (3) 張子文，2001，太陽電池應用於建築上之研究，國立成功大學建築研究所，碩士論文。
- (4) 徐翠華，台灣地區太陽輻射及太陽能發電潛力之研究，國立臺灣師範大學，碩士論文，2002。
- (5) 張聖懿，「太陽能光電系統結合發光二極體之規劃設置研究-以立德管理學院景觀照明設施為例」，立德管理學院碩士論文，民 93。
- (6) Benner, J. P. and Kazmerski, L., "Photovoltaics Gaining Greater Visibility." IEEE Spectrum, pp.34~42, 1999
- (7) 施華，2009，社區發展太陽能發電系統之成本效益評估，交通大學，碩士論文。