

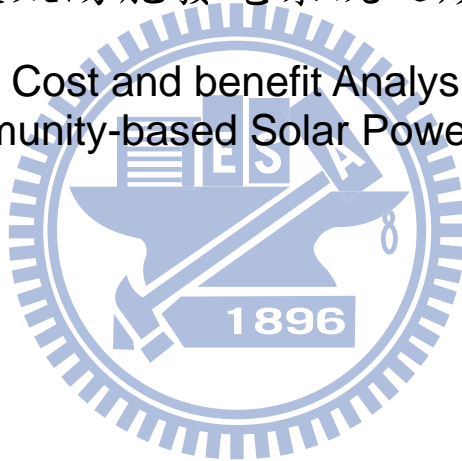
國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩 士 論 文

社區發展太陽能發電系統之成本效益評估

Cost and benefit Analysis of
Community-based Solar Power Systems



研 究 生：施華

指導教授：蔡春進 教授

中 華 民 國 九 十 八 年 八 月

摘要

本研究蒐集中央氣象局2004~2008年期間全天空日射量與溫度等氣候資料，並據以探討台北、台中、高雄、台東、花蓮五個地區，已建置太陽能發電系統的住宅或機構，計算系統的模擬發電量、成本效益及回收時程等數據。

依據氣候資料統計結果，2008年之平均全天空日射量，台東地區高達 $4.26\text{KW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，平均1KW日發電量為3.06KWH；台中市、高雄市全年度日射量幾乎達到 $3\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ 的水準，平均1KW日發電量為2.88~2.92KWH，顯示此三地全年均具發電潛能。台北年平均日射量較弱，1KW日平均發電量為2.21KWH；但是夏季日射量可達 $4\text{ kW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，花蓮、台東更達到5~6 $\text{KW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，1KW日發電量可增至3.28~4.39 KWH的水準，說明台北、花蓮夏季相對發電潛力強，有利舒緩季節性尖峰用電。在1KWH之發電成本計算結果，以台東最低為11.14元，台北最高達15.42元。換算設置成本回收時程，扣除政府補助，台東須43年，台北市則須59.54年方可回收。

比較2004~2008年期間各地區系統的模擬發電量、成本效益及回收時程等結果均與2008年相似，台東地區之平均全天空日射量達 $4.27\text{KW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，1KW平均日發電量略增為3.07KWH；其他地區則微幅減少，四個地區1KW平均日發電量介於2.12~2.84 KWH間。比較1KWH的發電成本發現，以台東最低為11.14元，台北最高達15.82元。回收時程台東為43年，台北市為61年。

本研究發現1997~2008年的平均日射量及溫度有升高趨勢。最近五年各地氣溫增加1.01~1.03倍；在日射量變化方面，台東增加1.04倍、台北、高雄、花蓮增加1.14~1.18倍，台中則增加了1.26倍之多，各地區1KW平均日發電量也與日射量同步增加。除了台東地區有最高之發電量外，台中市的系統發電量提升最多。

ABSTRACT

This research collected the daytime weather data of Central Weather Bureau from year 2004 to 2008. The data were used to investigate the energy efficiency and the payback period from the buildings or institutes equipped with solar power generation systems at five areas including Taipei, Taichung, Kaohsiung, Taidong and Hualien in Taiwan.

According to the historical weather data, average of sunlight is $4.26\text{KW}/\text{m}^2\text{-day}$. The daily power output per 1 KW of the solar power system is 3.06KWH. The average amount of sunlight reaches $3\text{KW}/\text{m}^2\text{-day}$ in Taichung and Kaohsiung. The daily power output per 1KW is around 2.88 to 2.92KWH. It shows that these three areas have the potential to develop solar power generation systems. The average amount of sunlight in Taipei is less than in other areas since its daily average power output is only 2.21KWH; but it can reach $4\text{KW}/\text{m}^2\text{-day}$ during summer season. Hualien and Taidong can reach $5\sim 6\text{KW}/\text{m}^2\text{-day}$ during the same summer season with the average daily power output of 3.28~4.39 KWH. That is, both Taipei and Hualien can have higher solar energy efficiency in summer which can ease the shortage of electric power during high peak season.

Compared with simulated data from year 2004 to 2008, the solar power generation, efficiency and payback period are similar to the data in year 2008. In Taidong area, the average daily sunlight is around $4.27\text{KW}/\text{m}^2\text{-day}$ and daily power output per kw is around 3.07 KWH. The power output per kw at another four areas is between 2.12 to 2.84 KWH. Comparison of the cost of 1 KWH power output shows that Taidong has the lowest price at NT\$11.14 and Taipei has the highest price at NT\$15.82. Therefore, the payback period will be 43 years for Taidong and 61 years for Taipei.

It was found that solar radiation and temperature increased consistently from 1997 to 2008. Temperature is 1.01 to 1.03 times higher at every area in the last five years. Solar radiation increased 1.04 times in Taidong, increased 1.14 to 1.18 times in Taipei, Kaohsiung and Hualien, and 1.26 times in Taichung. The average daily

power output per kilowatt increased with increasing solar radiation as well. Taidong was found to have the highest solar power generation while Taichung had the highest increasing rate.



誌謝

感謝恩師 蔡春進教授 在碩士班的修習過程中，對於學識經驗的傳授與悉心解惑，並協助論文研究方向的確立與指導，使學生獲益良多，在此，致上最深的謝意與敬意。

感謝 論文口試委員吳宗信教授 李壽南博士 余榮彬博士於論文評審期間，以專業豐厚之學養，對本研究提出精闢之指正與寶貴之建議，均使本論文更臻完整。

感謝 張振光技師 賴明雄長官 劉劍銘同學 謝榮木同學，謝謝你們提供相關文獻資料，給予適切的幫助。

感謝 我的兄弟施韋和施成，謝謝您們在我趕製論文的期間，不斷的給予精神上與論文內容的鼎力相助，手足情深，感銘於心！

感謝 摯愛的父親，您的關懷與期望，永遠是我心靈上最大的支柱，謝謝您。

最後，感謝我的妻子，岳母與兒女，他們的關心、包容、鼓勵與體諒，是我完成這篇論文最大的動力。



總目錄

摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
誌謝.....	V
總目錄.....	VI
一. 前言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究內容與範圍.....	4
1.4 研究方法與流程.....	5
二. 文獻回顧.....	7
2.1 太陽能電池介紹.....	7
2.1.1 太陽能電池的原理.....	7
2.1.2 太陽能電池的種類與特性.....	10
2.1.3 太陽能電池發電系統種類.....	11
2.1.4 太陽電池之優點與缺點.....	13
2.2 太陽能電池發展過程與應用.....	15
2.3 太陽能光電補助政策.....	16
2.4 台灣地區能源政策.....	20
2.5 發展太陽能系統社區實施效益 SWOT 分析.....	22
2.5.1 外部環境分析.....	22
2.5.2 內部因素分析.....	23
三. 研究方法.....	24
3.1 氣候因子資料蒐集.....	24
3.1.1 標準氣象年.....	25
3.1.2 台灣地區之日射量研究.....	26
3.2 選定欲研究的太陽能發電示範社區.....	28
3.2.1 太陽能系統發電之示範案例範圍選擇.....	28
3.3 太陽能電池溫度效應進行全天日射量之校正.....	30
3.4 太陽能發電系統整體效率推估.....	32
3.4.1 影響系統整體發電損失之因素.....	32
3.4.2 太陽能發電系統發電量之修正.....	32
3.4.3 首座陽光社區 2008 年太陽能系統發電成本之試算.....	32
四. 研究結果與分析.....	35
4.1 模擬計算 2008 年之各地區太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	35

4.1.1	台北市李宅之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	35
4.1.2	台中林宅之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	37
4.1.3	高雄市洪宅太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	38
4.1.4	花蓮慈濟醫院太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	39
4.1.5	台東馬偕醫院太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	40
4.1.6	各地區全天日射量之分析	41
4.1.7	各地區氣溫之分析	42
4.1.8	各地區 1KW 日發電量之分析.....	43
4.1.9	各地區太陽能發電系統成本效益	44
4.1.10	各地區各季節二氧化碳減量成果	45
4.2	模擬計算 2004 年~2008 年之各地區太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	47
4.2.1	台北市李宅太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	47
4.2.2	台中市林宅太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	48
4.2.3	高雄市洪宅之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	49
4.2.4	花蓮市慈濟醫院之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	50
4.2.5	台東市馬偕紀念醫院之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	51
4.2.6	各地區全天日射量之分析	52
4.2.7	各地區氣溫之分析	54
4.2.8	各地區 1KW 日發電量之分析.....	55
4.2.9	各地區太陽能發電系統成本效益	56
4.2.10	各地區各季節二氧化碳減量成果	57
4.3	以 1997~2006 年標準氣象年模擬各地區太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程.....	58
五.	結論與建議.....	62
5.1	研究成果與結論	62
5.2	後續研究建議.....	63
	參考文獻.....	65

表目錄

表 1	三種不同氣候因子.....	5
表 2	太陽能電池種類表.....	10
表 3	太陽電池應用範圍表	15
表 4	「陽光社區民間建築」與「太陽光電發電示範系統設置補助辦法(半額部助)」	17
表 5	各國設置太陽能電池系統之獎勵補助政策表.....	19
表 6	再生能源成長率.....	20
表 7	氣象資料之氣候因子.....	24
表 8	台灣日射量資料庫[5]	27
表 9	台灣各地區發電量推估表[5].....	28
表 10	各地區太陽能發電系統示範案例詳細資料	30
表 11	氣候因子	33

表 12 模擬 2008 年彰化縣和美鎮太陽能發電系統發電量各月統計表	34
表 13 模擬 2008 年台北市李宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表	36
表 14 模擬 2008 年台中市林宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表	37
表 15 模擬 2008 年高雄市洪宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表	38
表 16 模擬 2008 年花蓮慈濟醫院示範太陽能發電系統發電量計算月統計表	39
表 17 模擬 2008 年台東市馬偕醫院示範太陽能發電系統發電量計算月統計表	40
表 18 2008 年各地區全天空日射量一覽表	41
表 19 2008 年各地區氣溫變化一覽表	42
表 20 2008 年各地區 1KW 日發電量比較一覽表	44
表 21 2008 年各地區 1KW 相對日發電量之比值對照表(以台東地區為基準)	45
表 22 2008 年各地區太陽能系統發電成本與回收年限一覽表	45
表 23 2008 年地區各季節減少 CO2 排放量一覽表	45
表 24 模擬 2004-2008 年台北李宅示範太陽能發電系統發電量月統計表	47
表 25 模擬 2004-2008 年五年平均氣候計算台中林宅示範太陽能發電系統發電量月統計表	48
表 26 模擬 2004-2008 年五年平均氣候計算高雄洪宅示範太陽能發電系統發電量月統計表	49
表 27 模擬 2004-2008 年五年平均氣候計算花蓮慈濟醫院示範太陽能發電系統發電量月統計表	50
表 28 模擬 2004-2008 年五年平均氣候計算台東馬偕紀念醫院示範太陽能發電系統發電量月統計表	51
表 29 2004~2008 年各地區全天空日射量一覽表	52
表 30 2004~2008 年各地區氣溫變化一覽表	54
表 31 2004~2008 年各地區 1KW 日發電量比較一覽表	55
表 32 2004~2008 年各地區 1KW 相對日發電量之比值對照表(以台東地區為基準)	56
表 33 2004~2008 年各地區太陽能系統發電成本與回收年限一覽表	57
表 34 2004~2008 年各季節減少 CO2 排放量一覽表	57
表 35 1997~2006 年年平均日射量及年平均溫度統計表(本研究整理)	58
表 36 模擬 1997~2006 年太陽能發電系統發電量計算年平均統計表	59
表 37 年度氣候與各地區年平均日射量比較表	59
表 38 年度氣候與各地區年平均溫度比較表	59
表 39 年度氣候與各地區 1KW 日發電量比較表	59
表 40 年度氣候與各地區減少 CO2 排放量比較統計表	60

圖目錄

圖 1 各國生產力之比較	1
圖 2 各國油價之比較 (普通無鉛汽油)	2
圖 3 各國油價之比較 (柴油)，資料來源：經濟部能源局	2
圖 4 各國家用電價之比較	2
圖 5 各國產業電價之比較	3
圖 6 研究步驟流程圖	6
圖 7 太陽能電池可將光能轉換為電能	7
圖 8 太陽能電池模組列構成圖	8
圖 9 太陽能電池發電系統構成圖	8

圖 10 不同日照強度下太陽電池 I-V 特性曲線	9
圖 11 不同溫度下太陽電池 I-V 特性曲線	9
圖 12 太陽能電池的種類	10
圖 13 太陽能電池發電系統	11
圖 14 太陽能電池獨立型發電系統	12
圖 15 太陽能電池並聯型發電系統	12
圖 16 太陽能電池混和型發電系統	13
圖 17 緊急防災型(獨立/併聯混合型)	13
圖 18 彰化縣和美鎮為國內首座的太陽光電社區住宅	17
圖 19 台灣日射量分布圖 (單位: KWH/m ² DAY) [5]	26
圖 20 各地區年平均日射量	27
圖 21 各地區預估每日發電量	27
圖 22 溫度與單晶片太陽能輸出功率曲線	31
圖 23 模擬 2008 年全天空日射量與台北李宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖	36
圖 24 模擬 2008 年全天空日射量與台中林宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)	37
圖 25 模擬 2008 年全天空日射量與高雄洪宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖	38
圖 26 模擬 2008 年全天空日射量與慈濟醫院太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖	39
圖 27 模擬 2008 年全天空日射量與馬偕醫院太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖	40
圖 28 2008 年各地區全天空日射量一覽表(本研究整理)	41
圖 29 2008 年各地區四季全天空日射量之比較(本研究整理)	42
圖 30 2008 年各地區氣溫變化一覽表(本研究整理)	43
圖 31 2008 年各地區四季氣溫比較表(本研究整理)	43
圖 32 2008 年不同地區 1KW 日發電量比較	44
圖 33 2008 年各地區四季 1KW 日發電量比較	44
圖 34 2008 年各地區太陽能系統發電成本與回收年限	45
圖 35 2008 年各季節減少 CO ₂ 排放量比較圖	46
圖 36 2004-2008 年全天空日射量與台北李宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖	48
圖 37 模擬 2004-2008 年全天空日射量與台中林宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)	49
圖 38 模擬 2004-2008 年全天空日射量與高雄洪宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)	50
圖 39 模擬 2004-2008 年全天空日射量與花蓮慈濟醫院太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)	51
圖 40 模擬 2004-2008 年全天空日射量與馬偕醫院太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)	52
圖 41 2004~2008 年各地區全天空日射量 一覽表(本研究整理)	53
圖 42 2004~2008 年各地區四季全天空日射量之比較(本研究整理)	53
圖 43 2004~2008 年各地區氣溫變化一覽表(本研究整理)	54
圖 44 2004~2008 年各地區四季氣溫比較表(本研究整理)	55
圖 45 2004~2008 年各地區四季 1KW 日發電量比較	56
圖 46 2004~2008 年各地區太陽能系統發電成本與回收年限比較圖	57

圖 47 2004~2008 年各季節減少 CO2 排放量比較.....	58
圖 48 年度氣候與各地區減少 CO2 排放量比較圖	60



一. 前言

1.1 研究背景

工業革命後，生產技術不斷的改進，隨著經濟成長，世界各國對能源的需求日益增加，到了 20 世紀，終於產生能源耗竭的危機。根據 2007 年統計，目前石油儲藏量約剩下 1 兆 238 億桶，尚可使用 41.6 年；天然氣儲藏量剩下 177.36 兆立方公尺，可使用 60.3 年；煤儲藏量剩下 8474 億噸，尚可使用 133 年；鈾礦儲藏量剩下 420 億噸，尚可使用 66 年[1]；當石油、天然氣、煤炭等不可再生能源頻頻告急時，能源問題已成為制約國際社會經濟發展的瓶頸。

台灣地小人稠，缺乏天然資源，卻又是世界重要的工業密集地區，為了支持高密度的經濟活動和工業生產，我國每年消耗的能源中有百分九十八以上仰賴進口，而大量使用化石燃料所造成的空氣污染、溫室效應、資源耗竭等負面影響也日益嚴重。正當國際間致力減少溫室氣體排放，希望降低到 1990 年的標準以下時，台灣地區 1990 至 2006 年的二氧化碳排放量卻成長了 137.38%，在 2006 年燃燒化石燃料產生的二氧化碳的總量達 2.65 億公噸，占台灣溫室氣體排放總量的 74%，占世界二氧化碳排放量的 0.96%，排第 22 名；換算出人均排放量更高居世界第 16 名。台灣人口僅佔全世界千分之三，所排放的二氧化碳卻達全世界百分之一。

根據經濟部能源委員會 93 年的統計資料顯示，2006 年台灣平均每個人消耗的能量能源，是全世界平均值的 2.6 倍，但是在能源生產力方面（即國內生產毛額／能源使用量，1995 年美金幣值），台灣卻比歐盟及日本分別低了 47% 及 65%（參見圖 1）。而台灣的能源生產力降低主要原因有二，一為 1996 到 2006 年能源密集產業佔全國能源消費比重，不斷提升，由 31.8% 提高到 35.9%，二是低於國際水準的能源價格，目前台灣的油、電價格為世界上非產油國中最低者。偏低的能源價格，鼓勵耗能產業的發展，更不利高能源效率技術的推廣（參見圖 2 至圖 5）。

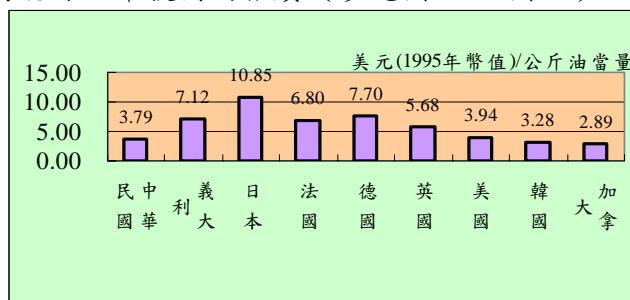


圖 1 各國生產力之比較

資料來源：經濟部能源委員會 93 年的統計資料

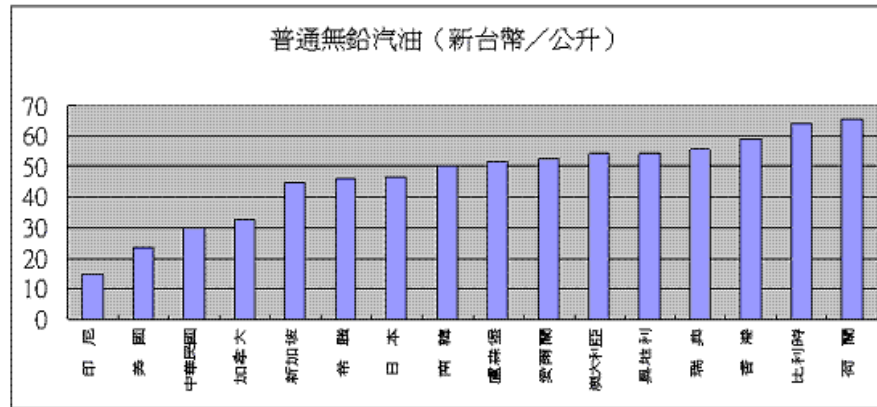


圖 2 各國油價之比較（普通無鉛汽油）

資料來源：經濟部能源局

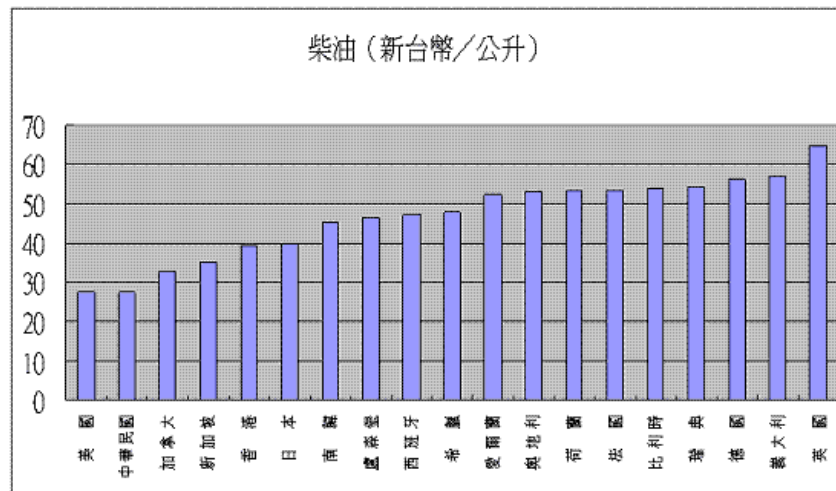


圖 3 各國油價之比較（柴油），資料來源：經濟部能源局

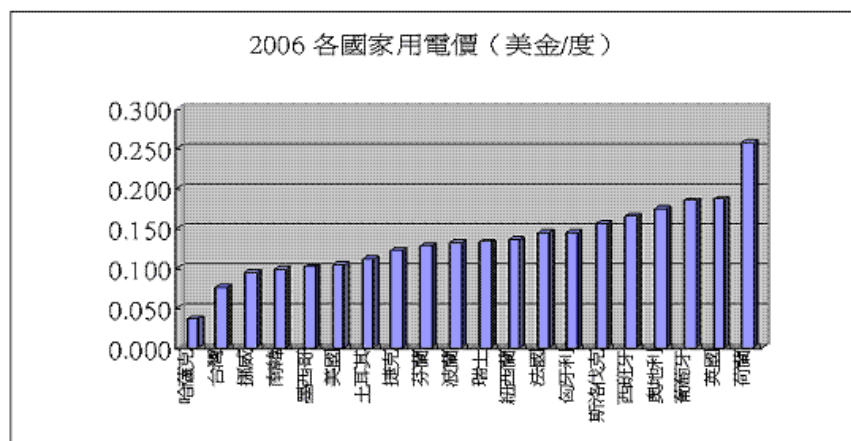


圖 4 各國家用電價之比較

資料來源：美國 Energy Information Administration，2007 年 7 月

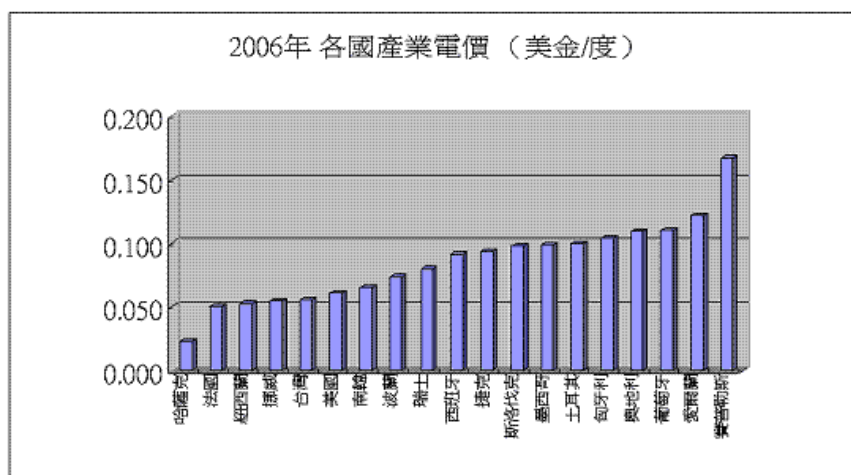


圖 5 各國產業電價之比較

資料來源：美國 Energy Information Administration，2007 年 7 月

由於臺灣地區的整體能源消費，約有 46 % 以電能的形式使用，39.14 % 以石油產品方式運用；而在這些主要的消費中，煤炭用於發電佔 57.2 %，石油 8.9 %，而天然氣則有 68.1 % 用於發電，過程中均產生大量的二氧化碳，由此可見，我國若要減少溫室氣體之排放，能源產業的轉型將扮演舉足輕重的角色。[15]

台灣地區能源政策於 1973 年經行政院核定公布，其後歷經能源危機衝擊、國際油價波動與能源產業自由化及國際環保趨勢，歷經 4 次修正，由行政院核定「臺灣地區能源政策及執行措施」，建立一個自由、秩序、效率與潔淨的永續能源供需體系，同時明確揭示六大政策方針，依序為：「穩定能源供應」、「提高能源效率」、「開放能源事業」、「重視環保安全」、「加強研究發展」及「推動教育宣導」。政府於 1998 年第一次全國能源會議中，因應全球溫暖化，降低 CO₂ 之排放，規劃全面節約能源及提升能源效率推動計畫，2005 年為因應溫室氣體減量京都議定書之生效，經濟部於 2005 年 6 月再度召開全國能源會議，規劃節能目標為至 2025 年再降低能源密集度 22~27%。並於 2009 年通過「再生能源發展條例」，以風能、太陽能、核能、生物質能等清潔能源和可再生能源為現階段能源政策的新考量，政府預計於五年內投入 303 億元經費啟動「能源國家型科技計畫」，希望到 2025 年時，能達到再生能源的發電裝置占 15%，發電量占總發電量之 8% 的目標。

由於太陽能具有無污染、無公害、取之不盡與能夠自由利用等特性，而台灣的地理位置位於低緯度地區，日照時間長，正適合此一再生能源的使用與發展，隨著各國政府訂定再生能源法案並大力推行，使得太陽能科技產業蓬勃發展，例如美國到 2010 年可建置 100 萬座太陽能屋頂，每年所產生的電力，相當於可減少 85 萬輛汽車所製造的二氧化碳排放量。台灣的太陽能光電產業技術，也因為全球太陽光電

(Photovoltaics，簡稱 PV)市場需求的急速擴增帶動下，進一步提升光電轉換率效率，使太陽能的發電成本逐年趨降，目前太陽能電池成本以每年五%的幅度下滑，更增加了太陽能電池的競爭力；是一相當適合替代傳統電力的新能源。

政府為了鼓勵民眾建置太陽能發電系統，經濟部能源局於 2000 年頒佈「太陽光電發電示範系統設置補助要點」，對於民眾、法人、政府機關、學校或公立醫院，在台灣或離島地區新設或擴增太陽光電發電示範系統，可補助發電系統總設置費用的百分之五十；並於 2008 年再推動「陽光社區建構補助作業實施計畫」，對「陽光社區公共設施」與「陽光社區民間建築」進行補助，盼從社區、機關、學校等單位開始，建構國內太陽光電整體社區的應用環境，鼓勵縣市政府、特定區域主管機關及民眾積極參與生活區域之太陽光電發電系統設置利用，建立長遠、制度性之環保與自主供電環境。

1.2 研究目的

太陽能發電系統雖兼具環保、自主供電並享有電價回饋等優點，但由於初期的設置成本過高，回收時間過長，造成本系統無法普及。因此本研究針對台北、台中、高雄、台東、花蓮五個地區，已建置太陽能發電系統的住宅為對象，模擬太陽能發電系統的成本效益，冀能提供我國發展陽光社區之參考依據。

研究目的如下：

- 一、依據中央氣象局各觀測站 2004~2008 年全天空日射量及月平均溫度，計算各社區太陽能發電系統之模擬發電量。
- 二、分析各社區太陽能發電系統之發電成本效益及回收時程，作為欲建置本系統之參考依據。
- 三、分析五個地區日射量對發電成本之比較，提出太陽能發電系統於各地區所產生之發電效益評估。
- 四、因應各社區設置太陽能發電系統的成本效益不同，提出適合發展季節性或全年型發電負載的太陽能系統，冀能提供我國發展陽光社區之參考依據。
- 五、分析各社區設置太陽能發電系統，於各季節對二氧化碳減量的貢獻。
- 六、分析各社區設置太陽能發電系統，對台電尖峰用電的貢獻。

1.3 研究內容與範圍

針對社區發展太陽能發電系統之成本效益評估，本研究擬定之內容與範圍如下：

一、研究內容：

- (一) 整理太陽電池發展現況：對於太陽電池的發電原理、系統組成及發展現況作一整理，使欲建置本系統之民眾，對於太陽電池有一清楚的認識。
- (二) 計算各社區太陽能系統之模擬發電量：以台灣地區氣象資料為基礎，推估在

不同氣溫與日射量影響下，太陽電池之發電效率。

- (三) 設置太陽能發電系統的成本效益分析：探討不同社區發電成本效益及回收時程，作為選擇最適合發展的系統之參考依據。

二、研究範圍：

本研究僅針對社區發展太陽能發電系統之成本效益評估作一初步之探討，故將研究範圍界定如下：

- (一) 空間範圍：以台灣北、中、南、花東共五個地區的示範住宅社區為對象，考慮氣候因素、地理位置的差異進行探討。
- (二) 時間範圍：選取2004年至2008年中央氣象局觀測之氣象資料加以分析。
- (三) 系統種類：本研究分析的示範住宅社區，系統種類為市電併聯型。

1.4 研究方法與流程

一、研究方法

本研究主要透過文獻分析、氣候資料蒐集與公式的模擬計算等方法，分析社區發展太陽能發電系統之成本效益，說明如下：

- (一) 統計分析：由文獻回顧可知，影響太陽電池發電效率最大之氣象因子分別為日射量與氣溫兩大因素，故本研究以 2008年、2004~2008年五年平均值、1997~2006年十年的平均氣象年修正數值等三種之氣候因子(日射量及氣溫資料)為對象，計算各地區太陽能發電系統之發電量。

表 1 三種不同氣候因子

氣候因子	2008年	2004~2008年 五年平均值	1997~2006年 平均氣象年修正數值
日射量	月平均值	月平均值	年平均值
氣溫	月平均值	月平均值	年平均值

- (二) 發電效率的計算：透過氣候模擬結果，考慮各項發電效率影響因子，推估太陽電池於各地區所產生之發電量。
- (三) 成本效益分析：分析各個月份及季節與負載模式，推估太陽電池所產生之發電效率。

二、研究流程

本研究對於所欲進行之研究步驟流程圖(如圖6)：

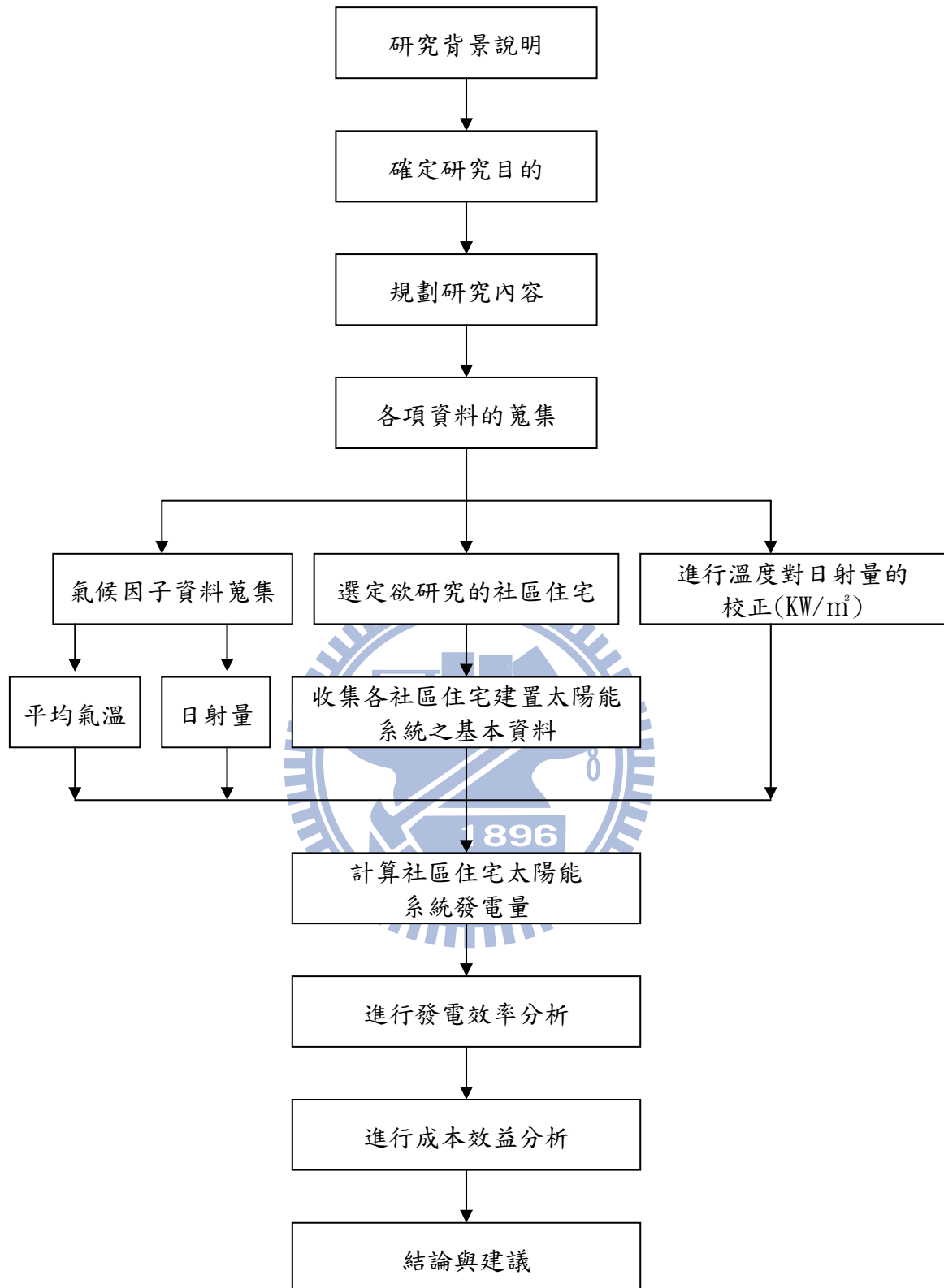


圖 6 研究步驟流程圖

二. 文獻回顧

2.1 太陽能電池介紹

2.1.1 太陽能電池的原理

太陽能電池的發電能源來自太陽光，而太陽輻射的光譜主要是以可見光為中心，波長從 0.3 微米的紫外光到數微米的紅外光是主要的分布範圍。如果換算成光子的能量，則大約在 0.3 到 4 電子伏特之間，因此能隙大小在這個範圍內的材料，像矽材，會具有比較好的光電轉換效率。利用電位差發電，無電磁波產生 太陽能電池(solar cell)是以半導體製程的製作方式做成的，其發電原理是將太陽光照射在太陽電池上，太陽光能量會使半導體材料內的正電荷與負電荷分離，產生電子(負極)及電洞(正極)，正電荷-電洞(Hole)與負電荷-電子(Electron)分別往正極(p-型)半導體及負極(n-型)半導體方向移動並且聚集，分離電子與電洞而形成電壓降，正、負極接上負載時，將有電流流出，可以對負載作功。太陽光電的發電原理，是利用太陽電池吸收 $0.2\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ 波長的太陽光，將光能直接轉變成電能輸出的一種發電方式 (圖 7)。

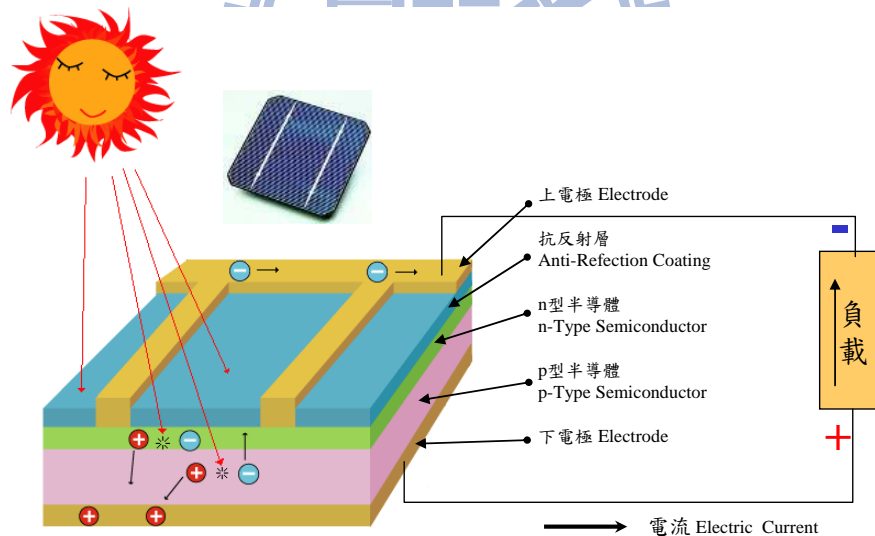


圖 7 太陽能電池可將光能轉換為電能

資料來源：太陽光電資訊網[16]

由於單一太陽電池所輸出的電力有限，為提高其發電量，將許多太陽能電池經串並聯組合封裝程序後，做成模組，再將若干太陽電池模組組合而成方陣或列陣 (array) (圖 8)。

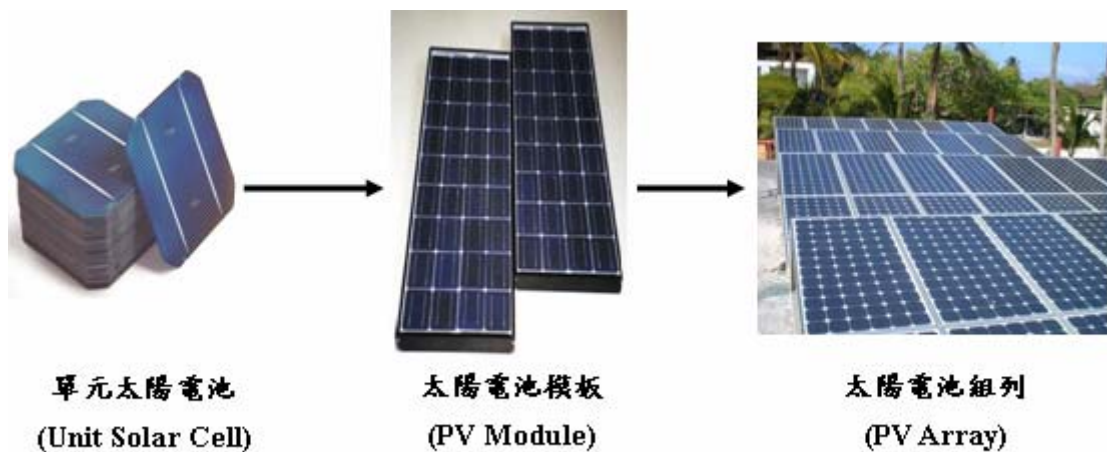


圖 8 太陽能電池模組列構成圖

因太陽電池產生的電是直流電，因此若需提供電力給家電用品或各式電器則需加裝直/交流轉換器，將直流電轉換成交流電，才能供電至家庭用電或工業用電，其包含過充放電保護控制（controller）、蓄電池以及轉換器（inverter，直流轉變為交流）合稱為太陽能電池發電系統（如圖 9）

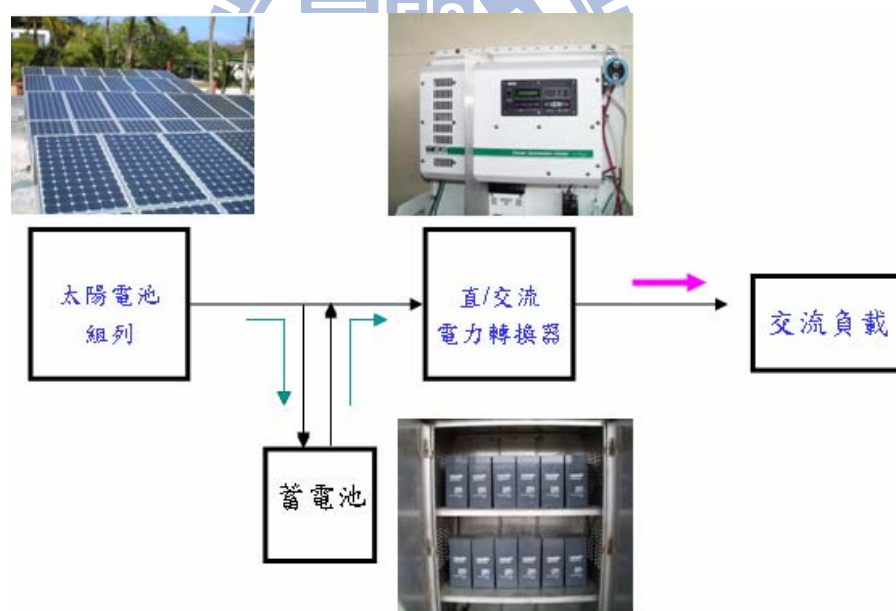


圖 9 太陽能電池發電系統構成圖

日射量與外氣溫為影響太陽電池發電效率最主要的兩項因素，如圖 10 與圖 11。而風向、風速與濕度亦有所影響，但程度不大，故於評估時可予以省略（莊嘉琛，1997、08）。

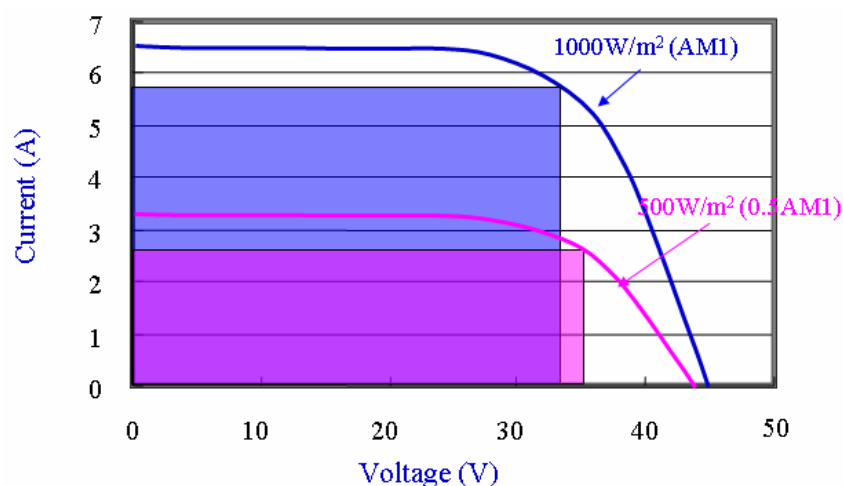


圖 10 不同日照強度下太陽電池 I-V 特性曲線

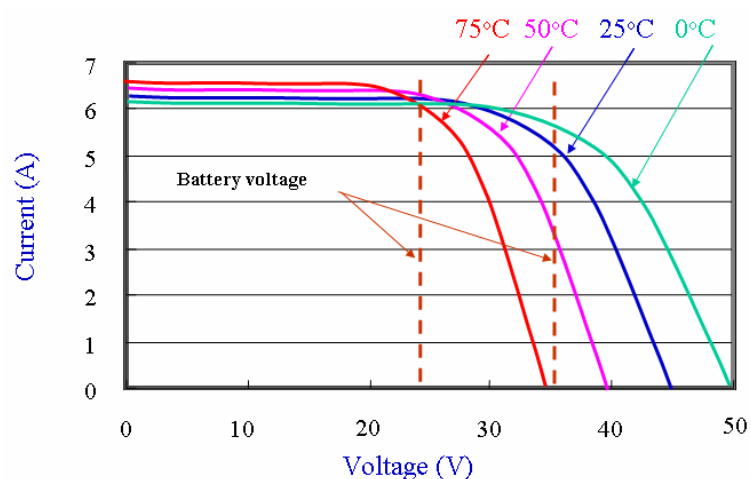


圖 11 不同溫度下太陽電池 I-V 特性曲線

由圖 10 可以看出日射量對輸出功率的影響，太陽電池和一般直流電源最大的不同，是在於它既非電壓源也非電流源。在日照強度變大時，其輸出電壓會往上升，幅度的變化不大，但其輸出電流卻很明顯的增加了許多，所以其輸出功率會隨之增加，也就是成正比的關係；而圖 11 可以看出溫度的影響，當電池表面溫度上升時，雖然輸出電流會有些微增加，但其輸出電壓卻降低了很多，整體而言的輸出功率會略為降低。所以，電池的溫度和輸出功率是呈反比的關係。

日射強度與發電量（電壓×電流）的關係，日射量大時，其發電量越大，一般發電量之計算式為：

$$W_p = G \times A \times \eta \dots \dots \dots (\text{式 2.2.1-1})$$

W_p ：太陽電池發電量 (W) G ：全天空日射量 (W/m²) A ：太陽電池面積 (m²)

η ：太陽電池發電轉換效率 (%)，一般計算方式為在日射量 1000 W/m²，太陽電池溫度為 25°C

2.1.2 太陽能電池的種類與特性

太陽能電池(solar cell)也有人稱之為光伏電池(photovoltaic)，可由多種材料製成且效率也不同，其中主要之原料為矽（silicon，簡寫為 Si）矽是太陽能電池的材料，主要可以分為單晶矽、多晶矽和非晶矽 三大類。

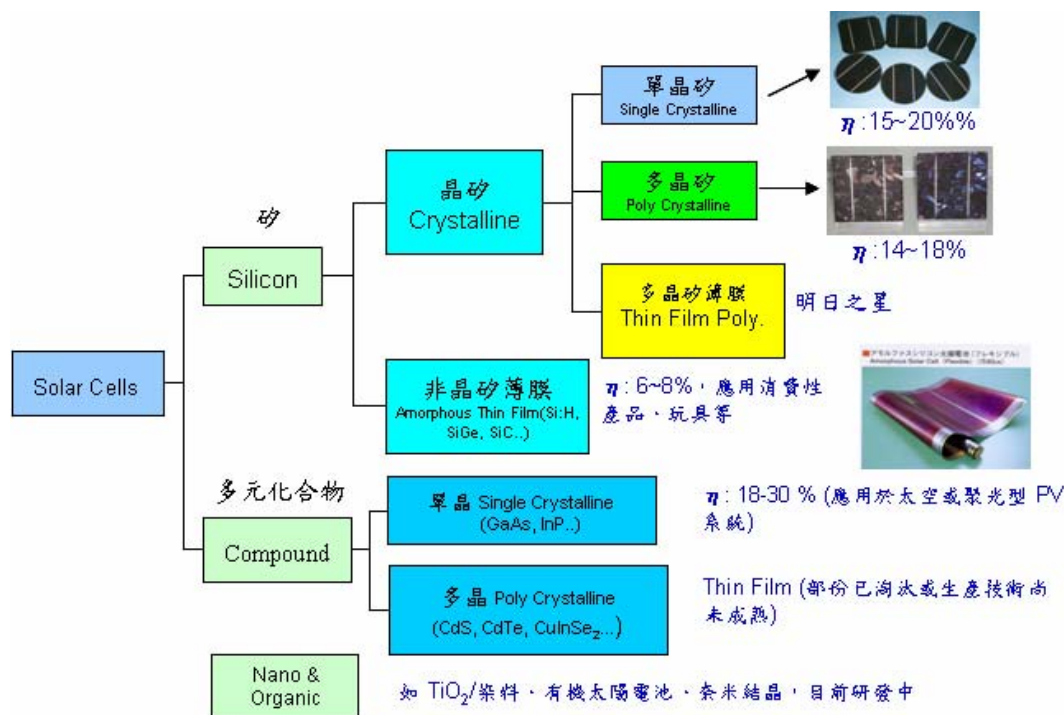


圖 12 太陽能電池的種類

表 2 太陽能電池種類表

太陽能電池種類		半導體材料	市場模組發電轉換效率
矽(硅) silicon 目前太陽光電系統中應用最為廣泛	晶矽 Crystalline	單晶矽 Single Crystalline	12~20%
		多晶矽 Poly Crystalline	10~18%
	非晶矽 Amorphous	Si、SiC、SiGe、SiH、SiO	6~9%
多化合物 Compound 應用於太空及聚光型太陽光電系統	單晶 Single Crystalline	GaAs、InP	18~30%
	多晶 Poly Crystalline	CdS、CdTe、CuInSe	10~12%
奈米及有機 Nano & Organic 應用於有機太陽能電池，屬研發階段	TiO ₂		1%以下

一、 單結晶矽太陽能電池

在單晶矽的材料中，矽原子具有高度的周期性排列。單結晶矽電池轉換效率高(約 17%)，使用年限約 20 年。

二、 多結晶矽太陽能電池

多晶矽是指材料由許多不同的小單晶所構成，它的製作方法是把熔融的矽鑄造固化而形成。其製程與單晶系類似，但，用不同的材料設計出太陽能電池時，它們的光電特性也會有所不同。多晶矽太陽能原料成本比單晶系低(約 2%)，其轉換效率亦比單晶矽太陽能低，轉換效率約在 14%~18%。

三、 非結晶矽太陽光電池

非晶矽電池為目前成本最低的商業化太陽能電池，主要是利用輝光放電氣相沉積或濺鍍等方法，使 SiH_4 經分解後在基板上沉積出一層非晶矽薄膜，但其發電轉換效率最差約達 7%~10%，多設置於日照量較少或設置於建築物外壁，不過垂直架設之發電量因法線面日射量較少，其發電量約只有水平架設時的 60%。

非晶矽薄膜太陽能電池生產設備的資本支出較結晶矽太陽能電池高出 3~5 倍扣除其他的架設、設備等成本，非晶矽薄膜模組的轉換效率至少要與結晶矽太陽能模組差 2%，才能相互競爭，即達到 12% 的模組轉換效率。

2.1.3 太陽能電池發電系統種類

太陽能電池發電系統主要是由太陽電池與 Power Conditioner (轉換器、系統聯繫設備等) 所構成 (如圖 13)。由於太陽電池輸出為直流電，無法直接與目前常用之 AC 室內電源共用，必須透過轉換器，將直流電轉換成交流電。

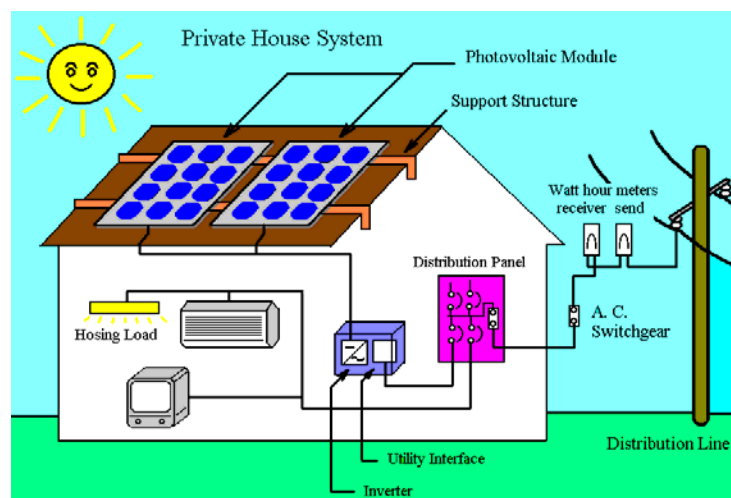


圖 13 太陽能電池發電系統

資料來源：太陽光電資訊網

太陽能電池發電系統通成可分為以下幾種：

一、 獨立型系統

- (一) 主要構件包括太陽電池、蓄電池、轉換器（Inverter）。（如圖14）
- (二) 運用於市電不易輸送之地區，如高山、離島、基地台...等市電無法到達處。
- (三) 當太陽電池工作時，白天PV發電提供所需之負載能量，若有多餘則儲存於蓄電池中，以備於無日照或日照量不足時使用，若有需要，可併聯其他發電設備，如柴油發電機。

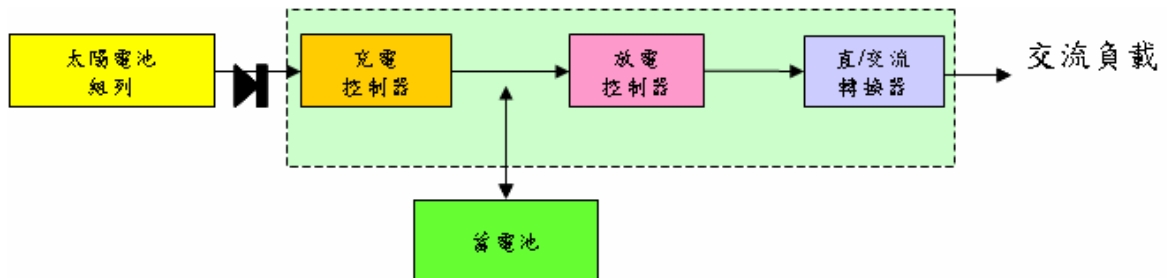


圖 14 太陽能電池獨立型發電系統

資料來源：太陽光電資訊網

二、 市電併聯型系統

與市電併聯系統之定義為太陽電池與市電系統二者的電力可互換使用，其特性如下：

- (一) 主要構件包括太陽電池、轉換器（Inverter）。（如圖15）
- (二) 運用於有市電輸送之地區，以市電作為輔助電源使用，其工作方式為白天PV系統併聯發電、夜間由市電供電將市電電力系統當作一個無限大、無窮壽命的免費蓄電池
- (三) 太陽電池產生之電力大於負載時可回售於市電或儲存於蓄電池中，當無日照或日照量不足時由市電供電。

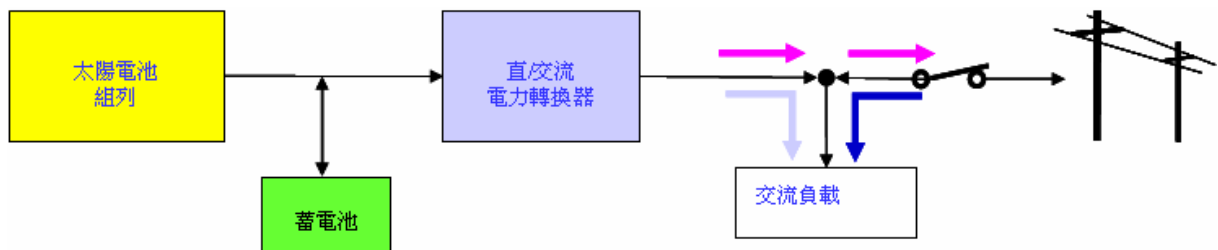


圖 15 太陽能電池並聯型發電系統

資料來源：太陽光電資訊網

三、 混合型太陽光電系統

混合型太陽光電系統是結合其它輔助發電系統像是風力發電機、汽(柴)油發電機整合為混合型系統。此系統較適合離島、偏遠地區、農業用等供電。主要由太陽光電陣列、其它輔助電力系統、充放電控制器、直交流轉換器以及蓄電池所組成。

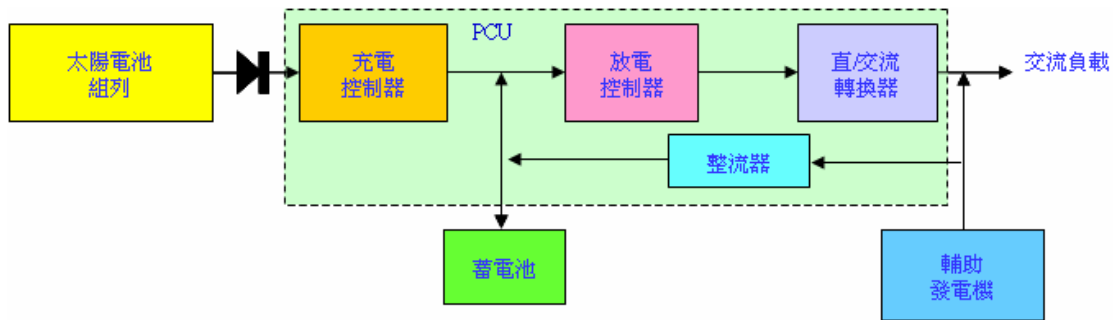


圖 16 太陽能電池混和型發電系統

資料來源：太陽光電資訊網

四、 緊急防災型(獨立/併聯混合型)太陽光電系統

屬於緊急防災型太陽光電系統同時操作為併聯模式或獨立模式之太陽光電發電系統，需要有足夠的蓄電池以避免長時間停電時在日間時供電並充電，夜晚時則利用儲存於蓄電池的剩餘電力供電，作為救災用之電力來源。此系統較適合有防災需求(照明、汲水、通信等)之公共設施。主要由太陽光電陣列、充放電控制器、直交流轉換器以及蓄電池所組成。

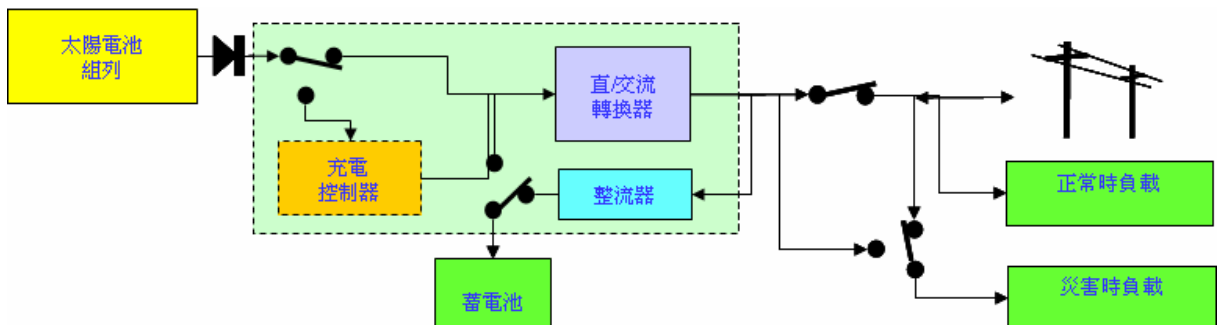


圖 17 緊急防災型(獨立/併聯混合型)

資料來源：太陽光電資訊網

2.1.4 太陽電池之優點與缺點：

由於太陽電池受其材料、製程與發電原理之因素影響，主要之優劣點如下：

一、 太陽電池之優點：

- (一) 彈性設計：可因負載型式不同，作不同設計應用，具彈性設計空間，不受地理地形的限制。應用廣泛(小至消費性產品--如計算機，大至發電廠皆實用)。
- (二) 環保、節能：無需燃料、無廢棄物與污染，具節能效益，所以不會對地球造成溫室效應的破壞以及廢料具有幅射線的潛在危險更不會破壞環境與生態平衡等問題。若裝置在建築物上，同時可避免太陽對建築物的直射，間接可降低建築物的熱效應。
- (三) 安靜：由於操作簡易並不需要轉動任何組件所以也不會製作任何噪音問題，安全性也相對較高但須注意有無接地漏電等問題。
- (四) 使用年限久：太陽光電電池壽命長久，使用年限可達二十年以上。
- (五) 電力輔助：當日光強度高時日射量也較高，然而太陽光電發電量亦可有較多能源產出，由於夏季日間用電較高，因此可以配合夏季尖峰用電提供電力，降低市電的尖峰負載亦可降低因夏季而提高的電力開銷費用。
- (六) 與建築物結合：設計為阻隔輻射熱或半透光型模板，將可與建築物結合。提供建築物於都市環境的另一種新的科技面貌。
- (七) 來源不於匱乏：太陽所供給地球的能量僅是它向外輻射能量的22 億分之一，但已高達173,000TW，也就是說太陽每秒鐘照射到地球上的能量就相當於500萬噸煤。地球上的風能、水能、海洋溫差能、波浪能和生物質能以及部分潮汐能都是來源於太陽；即使是地球上的化石燃料（如煤、石油、天然氣等）從根本上說也是遠古以來貯存下來的太陽能，所以廣義的太陽能所包括的範圍非常大，狹義的太陽能則限於太陽輻射能的光熱、光電和光化學的直接轉換。太陽能既是一次能源，又是可再生能源。它資源豐富，既可免費使用，又無需運輸，對環境無任何污染。
- (八) 運轉成本低、維護費用低：太陽光電並沒有使用動力機械等零件更不需要使用燃料，所以運轉過程不需要高成本花費；在維修方面比較重視組件構件定期檢查以及太陽光電陣列表面清潔問題，比起其它能源的組件構件維修問題來得容易解決而其費用也相較於低廉。

二、 太陽電池之缺點：

- (一) 成本偏高：目前設備成本及發電成本與傳統能源相較仍屬偏高，推廣較為不易，目前太陽電池模組價格平均約為 25 萬元/kW（太陽光電資訊網），發電成本為 12.03 元/度（邱錦松，2000）、13.7元/度（劉析，2006年），我國目前之電價，每度約在約在 2.1 至 3.3 元台幣之間。
- (二) 不適用於所有地區：因太陽能之特色為稀薄性（能量密度低）、間歇性（隨季節及早晚變化）、隨機性（來源受天候影響，不易預測），故受天候之影響極大，並非所有地區均能適用。
- (三) 發電量受架設面積之限制：以轉換效率 10% 估計，若需產生 1kW 之電力，則需有 10m²之面積[16]。

- (四) 增加環境負擔：若需裝設蓄電池，不但會提高設備成本，並會對環境造成污染（蓄電池之壽命約 2000 次循環，以每年 250 循環計算，約可使用八年）。

2.2 太陽能電池發展過程與應用

一、 太陽光電發電科技之重要歷史：

- (一) 1954年 Bell Labs發展出矽太陽電池 (Chapin等人，轉換效率約6%)
- (二) 1958年 開始太空應用(GaAs)
- (三) 1970年 開始太陽光發電系統地面應用(Si) (能源危機)
- (四) 1976年 Carlson製作出第一個非晶薄膜太陽電池
- (五) 1980年 消費性薄膜太陽電池應用(a-Si, CdS/CdTe)
- (六) 1990年 與公用電力併聯之太陽光發電系統技術成熟(Grid-Connected PV System, Si) (電力電子技術)
- (七) 1992年起 歐美、日各國推動PV補助獎勵
- (八) 2000年 建材一體型太陽電池應用(Building-integrated photovoltaic, BIPV)

二、 太陽能電池之應用：

目前太陽電池之應用範圍極為廣泛，除建築外，農業、交通、通訊醫療等等許多領域均有使用，大多是用於偏遠及電力不易到達之處，其應用範圍整理如表 3

表 3 太陽電池應用範圍表

領域	範例
民生消費	計算機、手錶
交通安全	照明、交通號誌、警告標誌燈、緊急電話
通訊	中繼微波站、無線電話、收音機、氣象資料傳送
電力	大型太陽能電廠、偏遠山區及離島供電
居住	發電系統、照明、通風及空調、保全系統
汽車工業	太陽能動力車
農業	灌溉系統、給水系統、溫室、病蟲害防制
海事	燈塔、浮標、太陽能動力船、漁業餵食器、海水淡化系統
工業	獨立發電系統、廣告牌、照明
公共設施	照明、時鐘、裝飾、監視及控制器
醫療	疫苗及藥品冷凍庫、緊急醫療之照明及空調
航太	太陽能動力飛機、衛星

資料來源：山口真實，2000

2.3 太陽能光電補助政策

由於全球暖化的現象日益嚴重，各國的減碳壓力漸增，因此再生能源的利用成為各國能源政策的重要議題，不過現階段由於各種再生能源的成本過高，在自由市場機制下，再生能源尚無法與傳統能源競爭，必須藉由各種補助政策，促進再生能源的發展，而各國政府政策補助的方向與力道，對於再生能源的發展有重大的影響。

在台灣方面，經濟部能源局於 2000 年實施「太陽光電發電示範系統設置補助辦法」，提供國內民眾太陽光電發電系統之設置補助，每峰瓩裝置容量以新臺幣十五萬元為上限，最高為發電系統總設置費用百分之五十，藉以鼓勵民眾使用太陽光電。政府於 2008 年 3 月 28 日頒布陽光社區建構補助作業實施計畫，目的為：

- 一、建構國內太陽光電整體社區應用環境，鼓勵縣市政府、特定區域主管機關及民眾積極參與生活區域之太陽光電發電系統設置利用，建立長遠、制度性之環保與自主供電環境。
- 二、塑造以再生能源供電之優質居住型態、結合區域特色，推動我國太陽光電之「陽光社區」建置，藉以帶動國內太陽光電發展與系統設置技術，達到太陽光發電永續發展。

「陽光社區」是為「經濟部能源局陽光社區建構補助作業實施計畫」與「太陽光電發電系統設置補助要點」的結合運用，「陽光社區建構補助作業實施計畫」為針對「縣市政府」、「陽光社區」整體性要求及「陽光社區公共設施」進行規範「陽光社區民間建築」補助，另依「太陽光電發電系統設置補助要點」（半額補助）辦理

「陽光社區民間建築」一指於「陽光社區」計畫區域內，以呈現太陽光電社區為意念，規劃設置太陽光電發電系統之建築物，其申請條件及規模為，15 棟建築或逾 120 戶可居住使用戶數，總設置容量至少 40kWp，每棟建築物系統設置容量應有 1kWp，居住使用戶數逾 50 戶者，該棟建築物至少應設 5kWp，依「太陽光電發電系統設置補助要點」補助每 1 峰瓩（kWp）新台幣 15 萬元，其 PV 產權為設置民眾；太陽能發電系統無申請容量上限，依「陽光社區建構補助實施計畫」並提供「陽光社區民間建築」設置容量每 1 峰瓩（kWp）新台幣 5,000 元作為陽光社區設置推動規劃、業務管理等相關費用。

「陽光社區公共設施」一指於「陽光社區」計畫之區域內，或座落於「陽光社區民間建築」或其鄰接週邊，以呈現太陽光電社區為意念，規劃設置太陽光電發電系統之供公眾使用設施，如區域內政府大樓、公有停車場、停車塔、候車亭、社區內公眾使用設施、陽光社區範圍內休閒運動設施、警衛室、公園噴水池、夜間照明相關設施，依「陽光社區建構補助作業實施計畫」補助每 1 峰瓩（kWp）新台幣 30 萬元，其 PV 產權為縣市政府，「陽光社區公共設施」每案可補助容量上限 300kWp，太陽光電發電系統設計應以併聯型為主，獨立型系統設置，不得逾總補助設置容量百分之三十並

應取得系統設置廠商系統安裝後五年以上保固維修服務承諾。[15]，關於「陽光社區民間建築」與原有「太陽光電發電示範系統設置補助辦法(半額部助)」效益差別，如表 4。

表 4 「陽光社區民間建築」與「太陽光電發電示範系統設置補助辦法(半額部助)」

比較	適用法規	補助標準	計畫推動	縣市政府獎勵優惠	公共設施開發	縣市政府協助設置	整體居住環境形象
半額補助	「太陽光電發電系統設置補助作業要點」	15 萬/kWp	設置者自行進行	無	無	無	無
陽光社區	同上	同上	設置者與縣市政府共同規劃配合	有	社區週邊，縣市政府以「公共設施」進行設置開發	縣市政府協助推動整理「陽光社區」	「陽光社區」整體形象塑造

資料來源：工研院 太陽光電科技中心-熊谷秀

社區型的群聚式太陽光電系統設置利用在國外已十分普遍，而台灣推動太陽能社區於 2008 年才開始推動，彰化縣和美鎮為國內首座的太陽光電社區住宅完成建造(圖 18)，這座陽光社區共 15 五戶每戶設置 2.1kWp，能源局補助太陽光電發電設備百分之五十經費，可供一般住宅日常用電量。



圖 18 彰化縣和美鎮為國內首座的太陽光電社區住宅

資料來源：科學人雜誌

其他國家政府的補助與推廣政策下，2008 年全球太陽光電市場規模大幅成長，全球總裝置量達到 5.5GW，為 2007 年裝置量 2.4GW 的 2.3 倍，主要原因即在於各國相繼推出極具投資誘因的補助條件，其中西班牙為全球最大市場，裝置量為 2,281MW，其次為德國 1,532MW 與美國 333MW，韓國裝置量大幅成長至 274MW，超越日本，成為全球第四大太陽光電市場。

然而西班牙初期由於無裝置量上限與極為優厚條件的補助方案，成為 2008 年全球最大的太陽光電市場；而韓國在政府大力的補助政策推動下，裝置量亦暴增為 2007 年的六倍。然而兩國不但未能促成國內太陽光電產業發展與市場持續成長的目標，相反地造成諸多嚴重傷害，包括超乎預期的政府財政負擔、全球性太陽光電市場泡沫，以及補助金額未實質流入國內廠商以達經濟提振效果等，可說是失敗的補助政策。有鑑於此，可預期各國在制定與修正 2009 年後的補助方案時將更為謹慎，如德國在 2000 年至 2005 年間，德國 PV 市場每年約成長 38%，預期隨著新再生能源法案逐年削減 5% 的補助金額，2006 年至 2009 年的年增率會降至 25%，但是這並不會影響德國 PV 市場的發展，預估到 2010 年，德國 PV 系統發電量將達 3.2TWh，應以德國長期規劃與漸進式調降的成功補助方式作為依據求取各國國內市場與產業的持續發展，真正落實應用普及。[13]

在各國對於太陽能電池發電系統應用方面，由於各國太陽光電補助的方向的不同，將造成應用呈現的不同，德國、英國、荷蘭、美國以屋頂應用比例居多，然而西班牙則是以地面電廠的應用居多，法國則是以 BIPV (Building Integrated Photovoltaic；建材一體型太陽光電) 為主，造成各國應用比例不同，主要因各國補助方向的差異所致。[14] 其他國家之太陽能電池系統獎勵補助政策如表 5。

表 5 各國設置太陽能電池系統之獎勵補助政策表

地區	國家	政策內容與現況	目標
歐洲	德國	2000 年通過可再生能源法案(EEG)，法案中明定針對不同再生能源保證固定 20 年買回行為，自 2010 年開始補助金額將逐年減少 8~10%(預估 2010 年為 8%)	再生能源比重預估 2020 年為 30%，其中太陽能將達 5%
歐洲	西班牙	屋頂太陽能補助政策，政策內容為單一安裝量不得大於 2MW，其中大於 20KW 的每度電補助金額 0.33 歐元，而小於 20KW 的補助金額為 0.31 歐元。地面型(Ground Mounted)太陽能發電系統每度電補助金額為 0.30 歐元	-
歐洲	義大利	太陽能補助案將保證施行保證 20 年，補助金額根據不同安裝量及系統，從每度電 0.35~0.50 歐元不等，其中補助金額較高的為 BIPV，預估 2009 年起補助金額將減少 2%	2016 年目標為總安裝量達 2,500MW
歐洲	法國	2008 年推出再生能源法案，針對屋頂與地上型每度電補助 0.32 歐元，BIPV 則是每度電補助 0.57 歐元。在離島的部分，屋頂與地上型每度電補助 0.42 歐元，BIPV 則是每度電補助 0.57 歐元	預估 2020 年再生能源將佔全國發電量 20%
歐洲	希臘	政策補助內容安裝量小於 100KW，每度電補助 0.46 歐元，安裝量大於 100KW，每度電補助 0.42 歐元。在離島部分，安裝量小於 100KW，每度電補助 0.5 歐元，安裝量大於 100KW，每度電補助 0.45 歐元，每年補助金降幅約在 1~2%	-
亞洲	日本	2009 年日本政府宣布重啟太陽能補助計畫，補助金預算總額為 90 億日圓，補助金額 7 萬日圓/千瓦	預估 2020 年全國有 7 成以上的新建房屋安裝太陽能發電系統
亞洲	中國	可再生能源法於 2006 年 1 月 1 日生效後，對安裝太陽能系統的用戶，每瓦補助約 0.25 元人民幣的電價，2008 年下半年提供內蒙古自治區，以及上海市 2 個太陽能發電廠每瓦 4 元人民幣的補助，推動多座示範性電廠、西部偏僻地區之大型供電系統及 BIPV 建設	-
亞洲	韓國	2008 年計劃要落實「10 萬陽光住宅計劃」政策，每度電將依安裝量不同，補助 473~650 韓圓	2011 年再生能源使用比重達 5%；2012 年太陽能系統累計安裝量將達 1.5GW

2.4 台灣地區能源政策

一、 台灣與全球再生能源發電

全球再生能源發電量將由 2005 年的 33,210 億度增加至 2015 年的 48,920 億度，平均年成長率為 3.9%，其中，太陽能發電量將由 2005 年的 30 億度增加至 2015 年的 370 億度，平均年成長率為 27.4%

單位：億度；%

表 6 再生能源成長率

	1990	2005	2015	2030	2005-2015 成長率	2005-2030 成長率
水力	21,450	29,220	37,990	48,420	2.7	2.0
生質能	1,240	2,310	4,070	8,400	5.8	5.3
風力	40	1,110	5,490	12,870	17.3	10.3
太陽能	10	30	370	1,610	27.4	16.9
地熱能	360	520	990	1,730	6.7	4.9
海洋能	10	10	10	120	9.9	12.8
總計	23,110	33,210	48,920	73,150	3.9	3.2

資料來源：IEA, World Energy Outlook 2007.

二、 全球再生能源發電量預測

目前各國紛紛致定推廣再生能源發展政策，全球太陽能產業因此正蓬勃發展中，雖然太陽能發電成本仍高，發電量亦未達經濟規模，然而因較不受地理環境限制，其能量較風力與水力還大，為目前各國政府政策鼓勵的主要再生能源——全球太陽能產業產值前景看好，目前產業尚處成長初期，全球約有 40 多國基及設置太陽能發電系統。2005 年整體矽晶電池產業產值為 239 億美元，2006 年增至 368 億元，成長率達 50% 以上。

全球太陽能電池產量預測樂觀，2000-2006 年平均成長率為 43.7%，至 2010 年全球產量可達 10GWp(gigawatt peak)，平均成長率約 40-60%。

全球太陽能發電系統市場維持高度成長，2001-2006 年平均成長率 38.4%，至 2010 年設置量可達 5.7GWp，平均成長率約 30-43%。[17]

三、 台灣地區能源政策執行策略

為減少進口能源的依存度，及因應國際高能源價格時代、溫室氣體減量趨勢，從供給面及需求面規劃之執行策略：

(一) 供給面

1. 穩定能源供應，推動能源多元化：

- (1) 積極發展無碳之再生能源推廣使用：未來以達成占總發電裝置容量 12%為目標。
- (2) 擴大低碳(天然氣)之淨潔能源使用：預定天然氣總用量在 2010 年達 1,050 萬公噸，2020 年達到 1,600~2,000 萬公噸，2025 年達到 2,000~2,200 萬公噸。
- (3) 核能四廠 270 萬瓩依計畫進行，核一、二、三廠 514 萬瓩正常營運。

2. 改善電力結構，提升發電效率：

- (1) 新設及更新擴建燃煤機組熱效率由目前的 35%提升到未來 40%。
- (2) 新設及更新複循環燃氣機組由 2004 年 45%調高至 2020 年 53%。
- (3) 改善輸電線路損失，期望長期線路損失降至 5%以下。
- (4) 推廣汽電共生系統：2010 年目標 800 萬瓩，2020 年 1,000 萬瓩。

3. 開放能源事業，進一步促進能源市場自由化：

- (1) 研議再降低石油業者進入市場之門檻。
 - (2) 考量電力負載需求及區域供電平衡，繼續開放民營電廠設置。
 - (3) 加速推動完成「電業法」修法及「天然氣事業法」立法程序，落實能源市場自由化。
4. 加強研究發展，擴張科技能量：規劃整合型能源科技發展計畫，著重支持提高能源效率、再生能源技術等研發工作，以達成國家未來再生能源與淨潔能源發展目標。
5. 重視環保安全，調合 3E(能源、環保、經濟)發展：積極建立能源部門因應溫室氣體減量能力。

(二) 需求面：

1. 加強能源效率管理：規劃 2006 至 2025 年每年下降 2~2.2%，至 2025 年較 2005 年累計降低 22~27%。
2. 提升市場價格機能，促進能源價格合理化：電價應依燃料成本變動機動調整，倘依未來躉售物價波動情形估計，至 2025 年較 2005 年大約調高 49~99%，若進一步考慮未來再生能源發展、擴大天然氣使用等能源發電結構變化及外部成本內生化等因素，電價將再提高；另落實經續會決議「促使能源價格合理化，短期反應燃料成本上漲；中長期合理反映外部成本，將外部成本內生化，建立能源價格結構合理化及程序透明化之機制」，實施浮動油價機制。
3. 推動教育宣導，擴大全民參與：節約能源工作，除了經濟部積極推動各項節能工作外，也需要各部會及各縣市政府的通力合作與全民共同的參與，從產業發展、建築設計、交通管理、教育宣導、價格稅制等層面逐一推動落實，鼓勵全民及地方政府共同參與節能與 CO₂ 減量。[15]

2.5 發展太陽能系統社區實施效益 SWOT 分析

2.5.1 外部環境分析

一、 機會分析(Opportunities)

- (一) 經濟部能源局於 2000 年 5 月 31 日頒佈「太陽光電發電示範系統設置補助要點」，以獎勵推廣太陽光電之利用，補助標準為每峰瓩裝置容量以新臺幣十五萬元，補助發電系統總設置費用百分之五十。
- (二) 經濟部能源局於 2008 年實施「陽光社區建構補助作業實施計畫」，其為對「縣市政府」、「陽光社區」整體性要求及「陽光社區公共設施」進行規範「陽光社區民間建築」補助，另依「太陽光電發電系統設置補助要點」辦理，藉以帶動國內太陽光電發展與系統設置技術，以達太陽光發電永續發展。
- (三) 我國「再生能源發展條例」於 2009 年 6 月 12 日立法通過，有利太陽能產業發展。
- (四) 台電公司配合政府推廣再生能源應用政策，於 96 年 4 月奉經濟部核定執行，完成「台電太陽光電第一期計畫」規劃，總預算為 35.7 億元，擬訂太陽能發電目標，以 97 年完成 500 瓩，98 年完成 1500 瓩，99 年完成 3500 瓩，100 年完成 4500 瓩。預計自 97 年至 100 年期間共完成設置 1 萬瓩之太陽光電發電系統。
- (五) 我國半導體與電子工業發達，可運用其競爭優勢與產業群聚完整，開發先進製程技術和產品，建立上中下游完整太陽電池工業。
- (六) 太陽能發電成本(每度發電成本約 14-5 元台幣)約當傳統能源發電(2.1-3 元台幣)的 5-7 倍。隨著太陽能技術的改進，預計到 2015 年時其發電成本將接近目前火力發電的成本。

二、 威脅分析(Threats)

- (一) 台灣地區雖地處亞熱帶，惟因氣候因素，日照時間不如同緯度之其他地區。
- (二) 台灣本島地狹人稠，寸土寸金。
- (三) 夏秋期間颱風頻仍。
- (四) 太陽能電池設備投資費用相當昂貴，限制了台灣地區太陽能發電之發展，
- (五) 國內現階段太陽光電系統的主要相關產品仍以進口為主，導致成本偏高(裝置成本約為新台幣 19~26 萬元/瓩，發電成本約為 12.2~25.1 元/度)。
- (六) 由於我國電價遠低於世界主要國家的電價水準，電力網普及，一般民眾對潔淨能源的認知有限。
- (七) 我國發展太陽能產業面臨先天條件上的弱勢，內需市場規模不大、材料技術落後。

2.5.2 內部因素分析

一、 優勢分析(Strengths)

- (一) 我國太陽能產業上中下游供應鏈結構漸趨完整且將能充分發揮產業群聚效應。
- (二) 半導體產業發達，晶圓製造技術成熟可提供 PV wafer 生產之必要支援。
- (三) 光電產業群聚，供應鏈完整，研發技術不斷成長、製程人才充裕。
- (四) 高等教育人力豐沛，注重研發人才培育、產學合作密切。
- (五) 政府獎參鼓勵、租稅優惠、金融服務制度完善，企業募資容易。

二、 劣勢分析(Weaknesses)

- (一) 設備成本及發電成本與傳統能源相較偏高，推廣較為不易，以 1999 年台灣地區為例，與太陽電池模組價格為 29.9 萬元/kW (王耀諄等，2000)，發電成本為 12.03 元/度(邱錦松，2000)，我國目前之電價，每度約在約在 2.0 至 3.3 元台幣之間。
- (二) 太陽能受天候之影響極大，並非所有地區均能適用。
- (三) 太陽能發電量受架設面積之限制，以轉換效率 10% 估計，若需產生 1kW 之電力，則需有 10m² 之面積。
- (四) 若需裝設蓄電池，將提高設備成本，並會對環境造成污染。
- (五) 輸出之電力為直流電，仍須透過轉換(過程中會損失一些能量)方能為一般家庭負載使用。

三. 研究方法

目前政府積極鼓勵民眾裝設太陽光電發電系統，並給予設置補助，希望太陽光電發電系統能普遍設置於各地區，本研究透過文獻分析、氣候資料蒐集與公式的模擬計算等方法，來分析氣候因素與地理位置的不同，是否影響社區發展太陽能發電系統之成本效益。

本研究將以台北市、台中市、高雄市、花蓮市、台東市五個區域探討示範之社區太陽能發電系統之發電量及發電成本分析，在模擬計算太陽能系統之發電量及成本效益時，主要的工作有三：

- 一、蒐集五個地區2008年、2004~2008年五年平均值與1997~2006年十年的平均氣象年修正數值等三種之氣象因子資料。

表 7 氣象資料之氣候因子

氣候因子	2008年	2004~2008年五年平均值	1997~2006平均氣象年修正數值
日射量	月平均值	月平均值	年平均值
氣溫	月平均值	月平均值	年平均值

- 二、蒐集五個地區之示範社區各項基本資料。

- 三、模擬計算示範地點之發電量及成本，由於太陽能電池會因為溫度升高而影響輸出功率，故須進行溫度與全天空日射量的校正工作，再進行成本分析，以做為本研究評估之依據。

3.1 氣候因子資料蒐集

由於日射量的觀測，容易受到氣象參數變化的多樣性、隨機性及觀測器材的妥善率等因素影響，數據之品質管制相當不易。國內以中央氣象局（Central Weather Bureau, CWB）的地面一級測候站之觀測項目最齊全、測站分布最多、設備堪稱精良、資料年限最長，而且數據取得便利等因素，因此其氣象數據最為各界廣泛引用。

本研究採用的 2004~2008 年的台灣氣象資料，購自中央氣象局地面觀測站，並計算出各年度之平均日射量。

3.1.1 標準氣象年

中央氣象局觀測站自 1896 年開始紀錄全台各地氣候資訊，並逐年更新設備，但常因機器建置系統時期差異、設備更替、器材故障或維護等諸多因素影響，降低了數據的連貫性或準確度，更增添了分析數據的困難度。有鑑於此，國內外學者常希望能藉由其他可信任的氣候參數，藉以推估出準確的日射量。因此先進國家開發一套「典型的（或稱標準的）」氣象資料檔，來代表當地全年中各項氣象要素的逐時、逐日、逐月變動，稱為「標準氣象年」。

所謂「標準氣象年」格式製作，即採用一「典型的」一年 8760 小時的氣溫、濕度、日射量、雲量、風速等逐時氣象數據構成的「氣象年」來代表當地長期氣象的「典型」變化情形。其各項氣象數值都由當地過去的實測的逐時數據來組成，因此各氣象值之間具有同時發生的關連性。以此「氣象年」資料進行工程上的解析可確保氣象變化的合理性及信賴性。這種「氣象年」在美國以 WYEC (Weather Year for Energy Calculation)，TRY (Test Reference Year)，TMY (Typical Meteorology Year) 為代表，在日本則以「標準氣象資料平均年」為代表，在台灣則以林憲德教授的「平均氣象年 AYWD (Average Year of Weather Data)」為代表。[11]

一般「標準氣象年」可分為三類：

- 一、一種為真實的一年氣象資料所構成。它是由長期氣象資料中，找出具氣候或能源計算值代表性的全年資料，而成為一個「氣象年」。
- 二、第二種是將長期觀測的數據，直接以算數平均法統計而得。實際上此一年份並不存在，而是人為製作的一種平均狀況。
- 三、第三種則由各月份氣象要素中選取出具代表性的「平均月」，再將十二個「平均月」連結成一個「氣象年」。然其意義在於能夠以一年的假想氣象數據來代表長期間的氣象變化，剔除極端、異常氣候之數據，以提升分析結果的信賴度。

由於本研究關心的議題為各地區之氣候因子對太陽能電池發電效率影響的評估，而台灣地區二氧化碳的平均排放量已為亞洲之冠，溫室效應的日益嚴重，伴隨著溫度升高是否降低了太陽能電池的發電效率。故在研究流程上，首先採用第一種氣象年的概念，直接分析去年 2008 年五個不同的地區，計算氣溫與日射量的差異，對太陽電池發電效率之影響。

另外，本研究也統計分析 2004 至 2008 年氣溫與日射量的氣候資料，計算氣候差異，對太陽系統發電效率的影響。以避免因為單一年度氣候異常或觀測數值的誤謬引起的誤差，本方法屬於第二種標準氣象年的概念。

本研究也蒐集內政部建築研究，依據中央氣象局氣象資料，所建立的台灣地區 1997~2006 十年間之日射量數據[5]，來進行各區域太陽能發電系統之發電量及發電

成本的模擬試算，一方面可以客觀的確認本研究結果的正確性；也同時分析最近五年(2004 至 2008 年)與 1997~2006 年 十年間的氣候變化，太陽發電系統效率的影響。

3.1.2 台灣地區之日射量研究

雖然中央氣象局（Central Weather Bureau, CWB）的地面一級測候站之觀測項目齊全且資料年限較長，然而觀察原始氣象資料卻常發現，觀測站所記錄的日射量數據常有紀錄不全(例如觀測日數不足)或矛盾(例如日出以後，卻無記錄到日射量或是日落以後，仍記錄到日射量；白天雲量大，且日射量也大或是白天雲量少，而日射量仍低的矛盾現象)之問題，這些數據必須加以排除，以提高統計結果的精確度。經內政部建築研究所歐文生、何明錦、陳瑞鈴、陳建富、羅時麒等研究員，檢視 1997~2006 年共十年原始氣象資料後，特別逐筆檢視日射量異常數據方式，根據其他氣象參數，剔除極端異常數據並逐筆檢視與篩選後，將數據進行算術平均數統計，最後整理成一地之年平均日射量[4]。圖 19 與表 8。

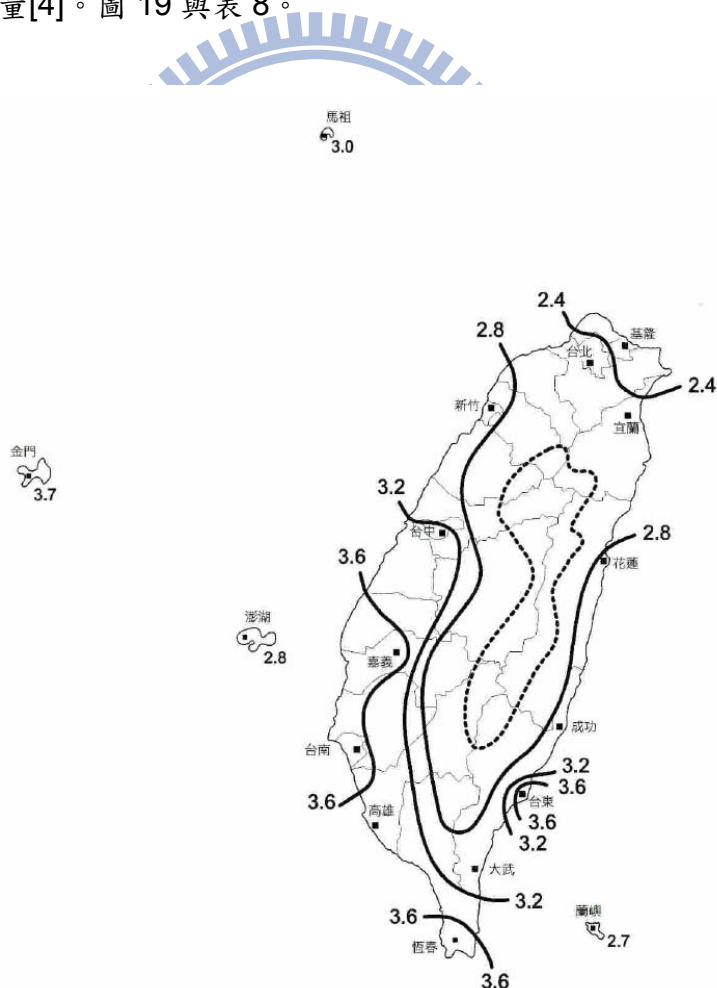


圖 19 台灣日射量分布圖（單位：kWh/m² day） [5]

表 8 台灣日射量資料庫[5]

站號	城市	海拔高度 (公尺)	經度	緯度	年平均日射量 (kJ/m ² day)	年平均日射量 (kWh/m ² day)
466880	臺北縣（板橋站）	9.7	121°26' 02" E	24°59' 58" N	11,814	3.3
466900	臺北縣（淡水）	19.0	121°26' 24" E	25°09' 56" N	8,748	2.4
466910	臺北市（鞍部）	825.8	121°31' 12.66" E	25°11' 11.45" N	9,425	2.6
466920	臺北市（臺北）	5.3	121°30' 24.15" E	25°02' 22.62" N	9,498	2.6
466930	臺北市（竹子湖）	607.1	121°32' 10.58" E	25°09' 53.95" N	8,334	2.3
466940	基隆市（基隆）	26.7	121°43' 55.66" E	25°08' 05.18" N	7,943	2.2
466990	花蓮縣（花蓮）	16.0	121°36' 17.98" E	23°58' 37.10" N	10,489	2.9
467060	宜蘭縣（蘇澳）	24.9	121°51' 51.93" E	24°36' 06.24" N	9,697	2.7
467080	宜蘭縣（宜蘭）	7.2	121°44' 52.55" E	24°45' 56.04" N	9,486	2.6
467110	金門縣（金門）	47.9	118°17' 21.4" E	24°24' 26.6" N	13,206	3.7
467350	澎湖縣（澎湖）	10.7	119°33' 18.71" E	23°34' 01.84" N	10,148	2.8
467410	台南市（台南）	13.8	120°11' 49.18" E	22°59' 42.81" N	13,905	3.9
467420	臺南縣（永康）	8.1	120°13' 43" E	23°02' 22" N	11,821	3.3
467440	高雄市（高雄）	2.3	120°18' 28.92" E	22°34' 04.40" N	12,376	3.4
467480	嘉義市（嘉義）	26.9	120°25' 28.21" E	23°29' 51.81" N	13,388	3.7
467490	臺中市（臺中）	34.0	120°40' 33.31" E	24°08' 50.98" N	11,463	3.2
467530	嘉義縣（阿里山）	2413.4	120°48' 18.39" E	23°30' 37.42" N	11,942	3.3
467540	臺東縣（大武）	8.1	120°53' 44.48" E	22°21' 27.26" N	11,253	3.1
467550	嘉義縣（玉山）	3844.8	120°57' 06.26" E	23°29' 21.49" N	12,527	3.5
467571	新竹縣（新竹）	34.0	121°00' 22" E	24°49' 48" N	10,593	2.9
B2Q810	屏東縣（恆春）	22.1	120°44' 16.99" E	22°00' 19.56" N	16,840	4.7
467610	臺東縣（成功）	33.5	121°21' 55.36" E	23°05' 57.17" N	11,236	3.1
467620	臺東縣（蘭嶼）	324.0	121°33' 02.10" E	22°02' 19.38" N	9,702	2.7
467650	南投縣（日月潭）	1014.8	120°53' 59.62" E	23°52' 58.78" N	10,368	2.9
467660	臺東縣（臺東）	9.0	121°08' 47.55" E	22°45' 14.51" N	14,705	4.1
467770	臺中縣（梧棲）	31.7	120°30' 54.24" E	24°15' 31.44" N	10,227	2.8
467990	連江縣（馬祖）	97.8	119°55' 23.4" E	26°10' 10.1" N	10,679	3.0

由表 8 台灣日射量資料庫整理台北、台中、高雄、花蓮、台東五個地區的年平均日射量繪如圖 20 與圖 21，可知年平均日射量大小依序為台東、高雄、台中、花蓮、台北；南部地區太陽電池之發電效能大於北部地區。

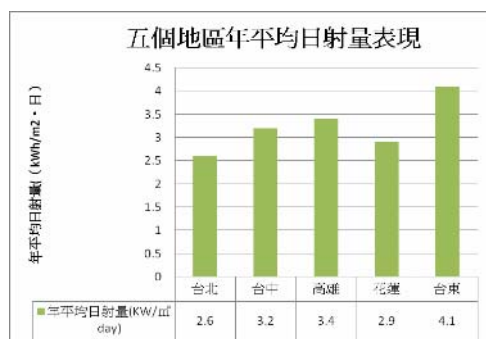


圖 20 各地區年平均日射量

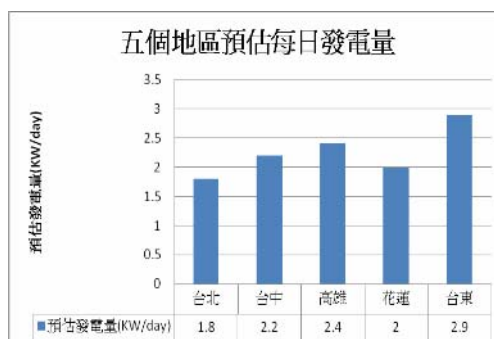


圖 21 各地區預估每日發電量

表 9 台灣各地區發電量推估表[5]

城市	海拔高度 (公尺)	年平均日射量 (kJ/m ² day)	年平均日射量 (kWh/m ² day)	預估發電量 kW/(kWh/日)
臺北縣（板橋站）	9.7	11,814	3.3	2.3
臺北縣（淡水）	19.0	8,748	2.4	1.7
臺北市（鞍部）	825.8	9,425	2.6	1.8
臺北市（臺北）	5.3	9,498	2.6	1.8
臺北市（竹子湖）	607.1	8,334	2.3	1.6
基隆市（基隆）	26.7	7,943	2.2	1.5
花蓮縣（花蓮）	16.0	10,489	2.9	2.0
宜蘭縣（蘇澳）	24.9	9,697	2.7	1.9
宜蘭縣（宜蘭）	7.2	9,486	2.6	1.8
金門縣（金門）	47.9	13,206	3.7	2.6
澎湖縣（澎湖）	10.7	10,148	2.8	2.0
台南市（台南）	13.8	13,905	3.9	2.7
臺南縣（永康）	8.1	11,821	3.3	2.3
高雄市（高雄）	2.3	12,376	3.4	2.4
嘉義市（嘉義）	26.9	13,388	3.7	2.6
臺中市（臺中）	34.0	11,463	3.2	2.2
嘉義縣（阿里山）	2413.4	11,942	3.3	2.3
臺東縣（大武）	8.1	11,253	3.1	2.2
嘉義縣（玉山）	3844.8	12,527	3.5	2.4
新竹縣（新竹）	34.0	10,593	2.9	2.1
屏東縣（恆春）	22.1	16,840	4.7	3.3
臺東縣（成功）	33.5	11,236	3.1	2.2
臺東縣（蘭嶼）	324.0	9,702	2.7	1.9
南投縣（日月潭）	1014.8	10,368	2.9	2.0
臺東縣（臺東）	9.0	14,705	4.1	2.9
臺中縣（梧棲）	31.7	10,227	2.8	2.0
連江縣（馬祖）	97.8	10,679	3.0	2.1

3.2 選定欲研究的太陽能發電示範社區

3.2.1 太陽能系統發電之示範案例範圍選擇

自 2008 年開始，政府推展陽光社區之建置，首座完成之陽光社區位於彰化和美鎮，總戶數為 15 戶，每戶之太陽能系統發電量為 2.1KW。由於國內其他之陽光社區仍陸續建置中，因此除了和美鎮之陽光社區外，本研究以台北市、台中市、高雄市、

花蓮市、台東市等五個地區，已設置太陽光發電系統之案例，做為本研究之選用示範系統範圍。

在進行資料蒐集時，因示範網站[16]提供之數據有限，可提供之數據僅有示範地點名稱、示範地點位置、設置總容量、模板種類、系統種類、模板製造廠商及模組最大輸出功率等，缺乏完整模擬太陽能系統發電量所需要之資料，如：太陽能模組尺寸、模組發電效率及安裝模組總面積，這些都是模擬計算太陽能發電系統的必要條件；對於缺乏的資料，本研究採行的步驟如下，第一步先確定各社區或住宅等機構所設置太陽能發電系統模組廠牌，第二步查詢該發電容量型式之模板尺寸，第三步再由模板尺寸計算出模板發電效率及設置總面積。

取得模組尺寸後，計算太陽能單一模組效率之計算式如下：

(測定條件：日照強度 AM1.5、1000W/m²，Module 溫度為 25°C)

$$\eta \text{ (Efficiency)} = P_{\max} / (A \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2) \times 100\% \dots \dots \dots (\text{式 3.2.1-1})$$

η ：太陽能發電模組效率

P_{\max} ：太陽能模組最大輸出功率

A ：太陽能模組面積

例如某社區選用之太陽能發電系統模組，其單一模組最大輸出功率為 167W，經查詢該廠牌之模組尺寸為 1319mm×894mm=1.18 m²，則可計算出其模組效率為 14.15%→(167÷1.18÷1000=14.15%)

本研究所選擇五個區域之示範案依序為：台北市李宅、台中市林宅、高雄市洪宅、花蓮慈濟醫院、台東馬偕醫院等五個太陽能發電系統示範案例。其設置之太陽光發電系統，資料詳如下表 10。

表 10 各地區太陽能發電系統示範案例詳細資料

	台北市李宅	台中市林宅	高雄市洪宅	花蓮市慈濟醫院	台東市馬偕醫院
設置地點	台北市中山區 遼寧街81巷1號	台中市南屯區 博愛街106號	高雄市小港區 立群路25巷2號 7樓	花蓮縣花蓮市介仁 街178號	台東市長沙街303 巷1號
設置容量	3.006kWp	3.15kWp	5.2kWp	19.95kWp	19.95kWp
設置場所	臺北市遼寧街 81巷1號7樓(樓 頂)	台中市南屯區 博愛街106號3 樓頂	高雄市前鎮區 中安路71之22 地號(5樓頂)	花蓮市介仁街178號 (行政大樓屋頂)	台東市長沙街303 巷1號(6F屋頂)
模板種類	單晶矽	單晶矽	多晶矽	單晶矽	多晶矽
系統種類	併聯型	併聯型	併聯型	併聯型	併聯型
模板製造商	SANYO	SHARP	Kyocera	SHARP	Kyocera
模板最大輸出 功率	167W	175W	130W	175W	175W
模組尺寸	1319mm×894mm	1575mm×826mm	1425mm×652mm	1575mm×826mm	1290mm×990mm
模組效率	14.15%	13.46%	13.98%	13.46%	13.67%
模組總面積	22.2m ²	23.4m ²	37.2m ²	148m ²	145.92m ²
模組片數	18片	18片	40片	114片	114片

3.3 太陽能電池溫度效應進行全天日射量之校正

日射量是影響太陽電池發電量之主要因素，而太陽能電池溫度升高，會造成輸出電壓下降與輸出功率的降低(如圖 22)，故應對氣象局蒐集之全天空日射量進行修正以避免產生過大的誤差，在太陽電池溫度 25°C 以上，每增加 1°C 所造成整體效率低減，以廠牌 SHARP 公司之模組約為 -0.485% /°C，廠牌 SANYO 公司之模組為 -0.3% /°C，將以此兩家太陽電池為假設對象，並將計算係數取其平均值，即 -0.393% /°C。

例如模組於 25°C 時之發電效率為 η ，溫度大於 25°C 所降低之效率為 ε ，則：

$$\varepsilon = 0.00393 (T_c - 25^\circ\text{C}) \eta \dots\dots\dots (\text{式 3.3-1})$$

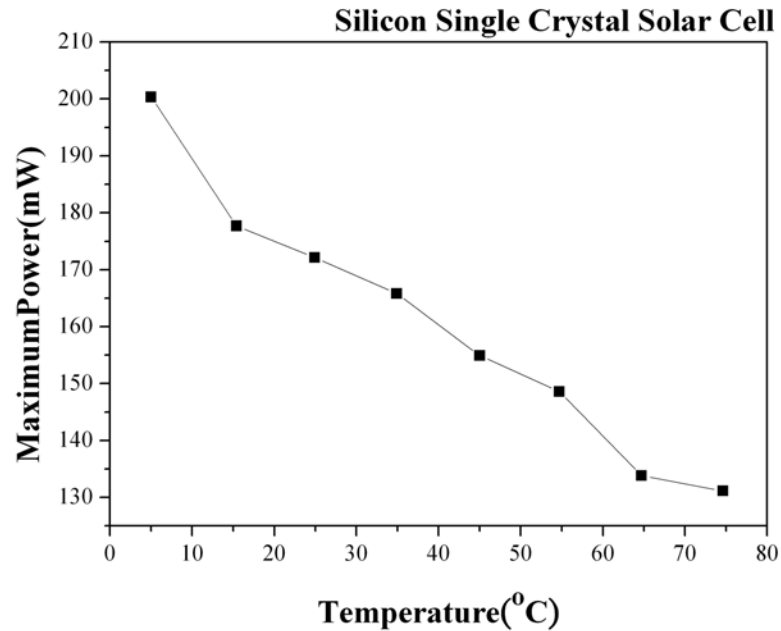


圖 22 溫度與單晶片太陽能輸出功率曲線

資料來源：2008,趙尉世,國立台北科技大學)

將溫度造成之衰減換算為日射量之衰減，如此便可簡單推估出發電量之多寡，其概念如下：

假設太陽電池之直流發電量為 P_{dc} ，法線面全天空日射量為 $G\beta$ ，模組於 25°C 時之發電轉換效率為 η （式 4），溫度大於 25°C 所降低之效率為 ε ，

一般太陽電池直流發電量之計算式為 [12]

$$P_{dc} = G\beta(\eta - \varepsilon) \dots \dots \dots (\text{式 3.3-2})$$

本式可改寫為

$$P_{dc} = G\beta(1 - \varepsilon / \eta) \eta = G\beta[1 - 0.00393(T_c - 25^{\circ}\text{C})] \eta$$

$$G\beta[1 - 0.00393(T_c - 25^{\circ}\text{C})] \text{ 即為溫度修正後之全天空日射量} \dots \dots \dots (\text{式 3.3-3})$$

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

故本研究對於溫度對太陽電池的效率影響也帶入模擬發電量計算中，得到溫度修正後之全天空日射量的值，進而模擬計算出較精確之太陽能發電量。

3.4 太陽能發電系統整體效率推估

3.4.1 影響系統整體發電損失之因素

日射量是影響太陽電池發電量之主要因素，但尚有其他因素會影響發電效率，說明如下：

- 一、線路損失：輸電線路會造成損失，必須慎選正確線徑以降低損失；通常應控制在4%或更低的水準。
- 二、轉換損失：太陽光電陣列輸出直流電，當轉換為交流電時會造成損失，因此必須慎選轉換效率高的轉換器，現在並聯型轉換器的尖峰效率通常在92%以上，平均轉換效率也都在90%以上。
- 三、變壓損失：如果並聯型轉換器輸出規格與當地電力規格不同，必須在光電系統與市電間加裝變壓器，此電力變壓會造成損失，應選擇變壓效率95%以上高效率機型，以盡量減低此方面損失。

3.4.2 太陽能發電系統發電量之修正

目前太陽能系統設計廠商對於系統產生之整體發電損失，一般 DC 段(太陽能板產出 DC 電源)的因數為 0.8；AC 段(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 $0.9 \times 0.8 = 0.72$ ，這也是目前工研院驗收最低標準。

故可推估出台灣地區太陽電池之發電量（交流電，單位 $\text{kW/m}^2\text{-day}$ ）為：

溫度修正日射量($\text{kW/m}^2\text{-day}$) $\times 0.72 \times$ 太陽電池發電轉換效率(%)..(式 3.4.2-1)

例如若該日溫度修正後日射量為 $3\text{kW/m}^2\text{-day}$ ，而太陽電池之轉換效率為 15% 時，則 1 m^2 之面積於該日可發出 337.5Wh ($3000 \times 0.72 \times 0.15 = 337.5\text{ Wh} = 0.3375$ 度)之交流電。

綜合上述之影響因子，可得較準確之值避免產生過大的誤差。

3.4.3 首座陽光社區 2008 年太陽能系統發電成本之試算

- 一、氣候因子資料：

表 11 氣候因子

類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
全天空日射量 (KW/m ² day)	3.08	3.15	4.33	4.02	4.53	4.52	4.79	4.91	3.89	4.24	3.61	3.39
溫度 (°C)	17.9	15	20.3	24.3	25.8	27.5	28.1	28.7	27.6	26.8	21.9	18.1

資料來源：中央氣象局 2008 年資料整理

二、 基本資料：

- (1) 設置地點：彰化縣和美鎮仁和段736號。
- (2) 設置容量：2.1kWp×15戶=31.5KWp (社區共15戶，每戶單獨系統)。
- (3) 設置場所：彰化縣和美鎮仁和段736號(樓頂)。
- (4) 模板種類：單晶矽。
- (5) 單一模組尺寸：826mm x 1575mm=1.3m²。
- (6) 系統種類：併聯型。
- (7) 模板製造商：SHARP。
- (8) 模板最大輸出功率(W)：175W。
- (9) 模組效率：13.46%。
- (10) 模組片數：12片。
- (11) 模組合計面積：15.6m² (一戶)。
- (12) 設置費用：2.1KWp×250,000元=525,000元 (參考太陽光電網站目前設置之平均費用1KWp=25萬元)。
- (13) 政府補助費用=262,500元、自負額=262,500元。

三、 發電成本試算：

- (1) 由(式3.4.2-1)模擬計算太陽能發電系統每日發電量=溫度修正日射量 (kW/m² day) × 0.72 × 太陽電池發電轉換效率 (%)。

- (2) 以2008年一月為例，計算如下：

$$\begin{aligned}\text{溫度修正日射量 (kW/m}^2\text{-day)} &= G \beta [1 - 0.00393(T_c - 25^\circ\text{C})] \\ &= 3.08 [1 - 0.00393(17.9 - 25)] = 3.16\end{aligned}$$

每日發電量 = 溫度修正日射量 (kW/m²-day) × 0.72 × 太陽電池發電轉換效率 (%)

$$= 3.16 \times 0.72 \times 13.46\% = 0.3062 \text{ (kW/m}^2\text{-day)}$$

$$\begin{aligned}\text{每月發電量} &= \text{每日發電量} \times \text{日數} \times \text{模組總面積} = 15.6 \times 31 \times 0.3062 = \\ &148.1(\text{KWH})\end{aligned}$$

以此類推，可計算出每月發電量如下表12所示。

表 12 模擬 2008 年彰化縣和美鎮太陽能發電系統發電量各月統計表

取自中央氣象局2008年資料整理													
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
中部	全天空日射量 (KW/m ² -day)	3.08	3.15	4.33	4.02	4.53	4.52	4.79	4.91	3.89	4.24	3.61	3.39
	溫度 (°C)	17.9	15	20.3	24.3	25.8	27.5	28.1	28.7	27.6	26.8	21.9	18.1
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	3.16	3.28	4.41	4.03	4.52	4.47	4.73	4.84	3.85	4.21	3.66	3.48
	計算月發電量值 (KWH)	148.1	138.9	206.7	182.8	211.8	202.7	221.7	226.8	174.6	197.3	166	163.1

(本研究整理)

$$(3) \text{ 太陽能系統年總發電量(KWH/year)} = 148.1 + 138.9 + \dots + 166 + 163.1 \\ = 2240.53(\text{KWH/year})$$

$$\text{平均日總發電量(KWH/day)} = \text{年總發電量} / \text{總日數}$$

$$= 2240.53 / 365 = 6.14(\text{KWH/day})$$

$$\text{平均 1KW 日發電量(KWH/day)} = \text{總發電量} / \text{設置容量}$$

$$= 6.14 / 2.1 = 2.92(\text{KWH/day})$$

$$\text{平均電費} = \text{總設置成本} / \text{總發電度數}$$

$$= 525,000 / 2240.53 \text{KWH/yea} \times 20 \text{year} = 11.72 \text{ 元/KWH}$$

$$\text{目前每度電之平均電費} = 2.59 \text{ 元/KWH (台電資料)}$$

$$\text{故補助後成本回收年限} = \text{設置成本} / (\text{年總發電量} \times \text{平均電費})$$

$$= 262,500 / (2.59 \times 2240.53) = 45.24 \text{ 年}$$

四. 研究結果與分析

本研究以台北市、台中市、高雄市、花蓮市、台東市五個區域為對象，分析 2008 年與 2004~2008 年五年平均氣候因子(氣溫與全天日射量)的差異，對各地區太陽能發電系統模擬發電量、發電成本效益、回收時程、各季節對二氧化碳減量的貢獻，以及適合發展季節性或全年型發電負載的太陽能系統等五種項目進行評估。並參照 1997~2006 平均氣象年之修正數據，作一客觀之對照比較，以做為我國發展陽光社區之參考。

本研究的結果呈現，依序如下：

- 一、在 4-1 章節，首先依據 2008 年氣象數據分析五個區域之示範住宅，提出上述五項探討因子的表現。
- 二、在 4-2 章節，繼續依據 2004~2008 年五年期的平均氣象數據，分析五個區域之示範住宅，各項探討因子的表現。
- 三、在 4-3 章節，參照 1997~2006 平均氣象年之修正數據，整理五個區域之示範住宅，五項探討因子的表現。

4.1 模擬計算 2008 年之各地區太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

4.1.1 台北市李宅之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

設置場所：臺北市遼寧街（樓頂）

設置容量：3.006kWp 模板種類：多晶矽

單一模組尺寸：1319mm×894mm=1.18 m² (取自 Kyocera 網站模組規格表)

系統種類：併聯型 模板製造商：SANYO

模板最大輸出功率(W)：167W

模組效率：14.15% 模組片數：18 片

模組合計面積：21.2 m²

設置費用：3.006KWp×250,000 元=751,500 元(設置費用以 1KWp=25 萬元計算)

政府補助費用= 375,750 元

自負額= 375,750 元

模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 13。

表 13 模擬 2008 年台北市李宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表

2008 年台北市李宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台北市	全天空日射量 (KW/m ² -day)	1.70	0.98	3.33	2.94	3.93	3.56	4.36	4.64	3.41	3.23	2.03	2.32	3.04
	溫度 (°C)	16.5	14.1	19.3	22.5	24.9	27.5	29.6	29.7	27.8	25.9	21.6	18.4	23.15
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	1.76	1.03	3.4	2.97	3.94	3.53	4.28	4.56	3.37	3.22	2.06	2.38	3.04
	計算月發電量值 (KWH)	118.06	69.09	228.08	199.23	264.3	236.8	287.11	305.89	218.77	216	133.73	159.65	203.06
	1KW 日發電量(KWH)	1.27	0.82	2.45	2.21	2.84	2.63	3.08	3.28	2.43	2.32	1.48	1.71	2.21

(本研究整理)

太陽能系統年總發電量=2436.71KWH/year

平均日總發電量=(2436.71KWH/year)/365day=6.68KWH/day

平均 1KW 日發電量=6.68KWH/day/3.006=2.21KWH/day

平均電費=751,500/(2436.71KWH/year*20year)=15.42 元/KWH

台電電費=2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限=375,750/(2436.71KWH/year×2.59 元)=59.54 年

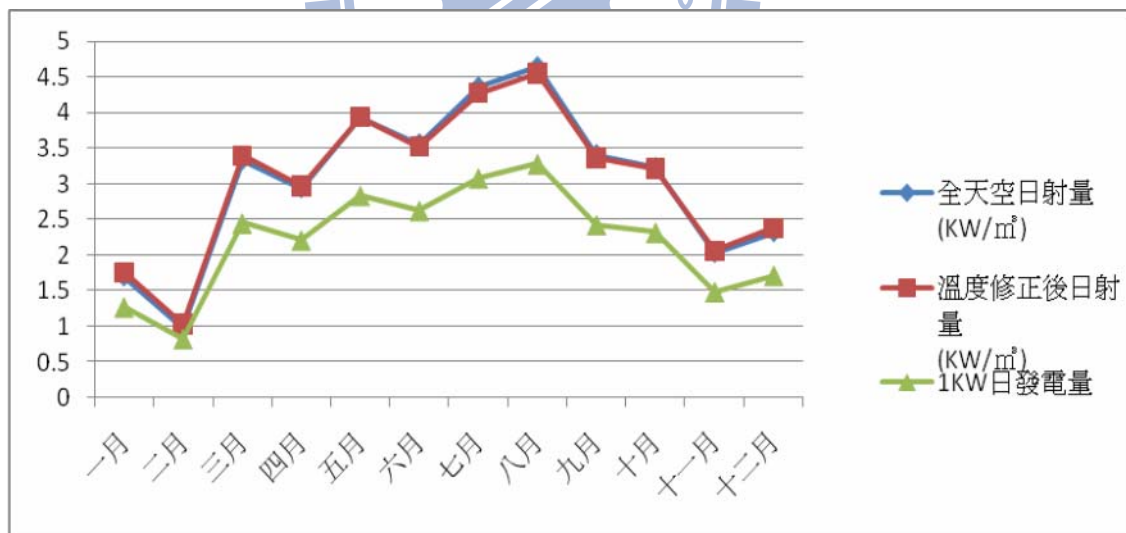


圖 23 模擬 2008 年全天空日射量與台北李宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖

資料來源：本研究整理

4.1.2 台中林宅之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

設置場所：台中市南屯區博愛街(樓頂) 設置容量：3.15kWp 模板種類：單晶矽

單一模組尺寸：1575mm×826mm=1.3 m² (取自 SHARP 網站模組規格表)

系統種類：併聯型 模板製造商：SHARP 模板最大輸出功率(W)：175W

模組效率：13.46% 模組片數：18 片 模組合計面積：23.4 m²

設置費用：3.15KWp×250,000 元=787,500 元 (設置費用以 1KWp=25 萬元計算)

政府補助費用=393,750 元 自負額=393,750 元

模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 14。

表 14 模擬 2008 年台中市林宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表

2008 年台中市林宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台中市	全天空日射量 (KW/m ² -day)	3.08	3.15	4.33	4.02	4.53	4.52	4.79	4.91	3.89	4.24	3.61	3.39	4.04
	溫度 (°C)	17.9	15	20.3	24.3	25.8	27.5	28.1	28.7	27.6	26.8	21.9	18.1	23.50
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	3.16	3.28	4.41	4.03	4.52	4.47	4.73	4.84	3.85	4.21	3.66	3.48	4.05
	計算月發電量值 (KWH)	222.15	208.3	310.02	274.17	317.8	304.1	332.52	340.25	261.92	296	249	244.64	280.06
	1KW 日發電量(KWH)	2.27	2.36	3.17	2.90	3.25	3.22	3.41	3.48	2.77	3.03	2.63	2.51	2.92

(本研究整理)

太陽能系統年總發電量=3360.76KWH/year

平均日總發電量=(3360.76KWH/year)/365day=9.21KWH/day

平均 1KW 日發電量=9.21KWH/day/3.15=2.92KWH/day

平均電費=751,500/(3360.76KWH/year*20year)=11.72 元/KWH

台電電費=2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限=393,750 元/(3360.76KWH/year×2.59 元)=45.24 年

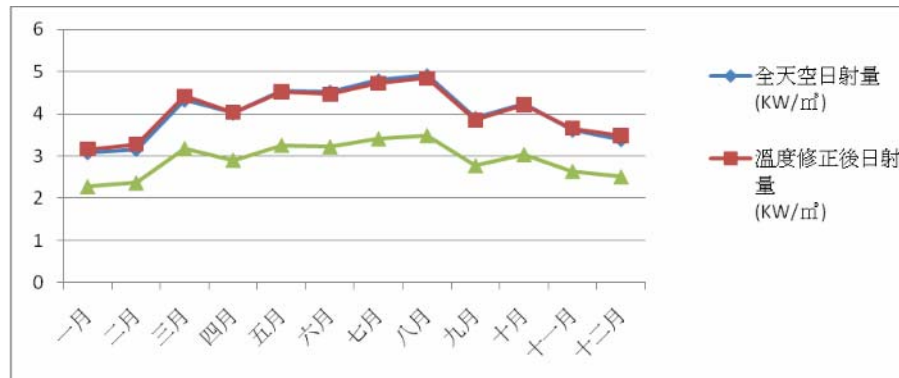


圖 24 模擬 2008 年全天空日射量與台中林宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)

4.1.3 高雄市洪宅太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

設置場所：高雄市前鎮區中安路(樓頂) 設置容量：5.2kWp 模板種類：多晶矽

單一模組尺寸：1575mm×826mm=1.3 m² (取自 SHARP 公司網站模組規格表)

系統種類：併聯型 模板製造商：Kyocera 模板最大輸出功率(W)：130W

模組效率：13.98% 模組片數：40 片 模組合計面積：37.2 m²

設置費用：5.2kWp×250,000 元=1,300,000 元 (設置費用以 1kWp=25 萬元 計算)

政府補助費用=650,000 元 自負額=650,000 元

模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 15。

表 15 模擬 2008 年高雄市洪宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表

2008 年高雄市洪宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
高雄市	全天空日射量 (KW/m ² -day)	2.77	3.25	4.28	4.49	4.91	4.48	4.79	4.93	4.00	4.09	3.05	3.17	4.02
	溫度 (°C)	20.5	17.8	23.1	26.3	27.6	28	28.7	28.7	28.3	27.8	23.9	20.8	25.13
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	2.82	3.34	4.32	4.46	4.86	4.43	4.72	4.86	3.94	4.04	3.06	3.22	4.01
	計算月發電量值 (KWH)	327.34	350.2	501.45	501	564.1	497.6	547.88	564.13	442.59	469	343.74	373.77	456.90
	1KW 日發電量(KWH)	2.03	2.41	3.11	3.21	3.50	3.19	3.40	3.50	2.84	2.91	2.20	2.32	2.88

(本研究整理)

太陽能系統年總發電量=5482.79KWH/year

平均日總發電量=(5482.79KWH/year)/365day=15.02KWH/day

平均 1KW 日發電量=15.02KWH/day/5.2=2.88KWH/day

平均電費=1,300,000/(5482.79KWH/year*20year)=11.86 元/KWH

台電電費=2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限=650,000 元/(5482.79KWH/year×2.59 元)=45.77 年

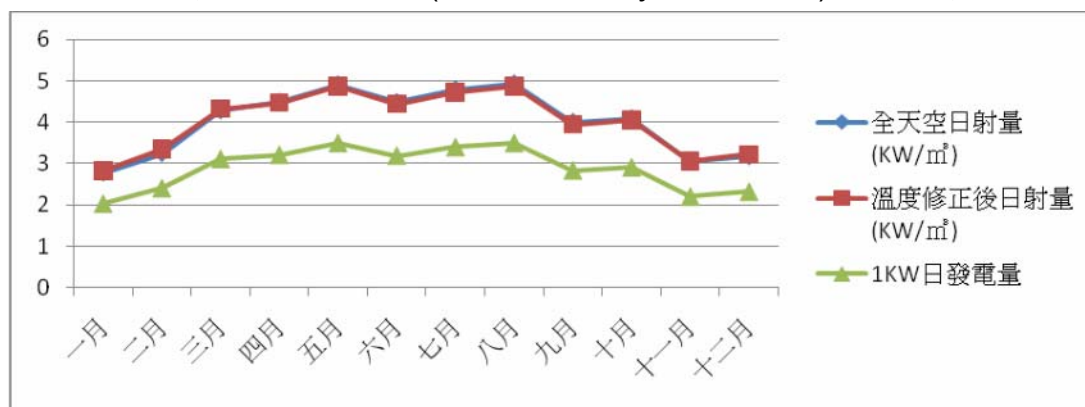


圖 25 模擬 2008 年全天空日射量與高雄洪宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖

4.1.4 花蓮慈濟醫院太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

設置場所：花蓮市介仁街（行政大樓屋頂） 設置容量：19.95kWp 模板種類：單晶矽
單一模組尺寸：1575mm×826mm=1.3 m²（取自 SHARP 網站模組規格表）

系統種類：並聯型 模板製造商：SHARP 模板最大輸出功率(W)：175W

模組效率：13.46% 模組片數：114 片 模組合計面積：148 m²

設置費用：19.95KWp×250,000 元=4,987,500 元（設置費用以 1KWp=25 萬元計算）

政府補助費用=2,493,750 元 自負額=2,493,750 元

模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 16。

表 16 模擬 2008 年花蓮慈濟醫院示範太陽能發電系統發電量計算月統計表

2008 年花蓮慈濟醫院示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
花蓮市	全天空日射量 (KW/m ² -day)	1.73	1.58	2.75	2.73	3.75	5.05	5.42	5.70	3.43	3.27	2.58	2.55	3.38
	溫度 (°C)	19	17.1	20.2	23	25	27.3	28.4	28.3	27.2	25.7	22.7	19.6	23.63
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	1.77	1.63	2.8	2.76	3.75	5.01	5.34	5.62	3.4	3.26	2.6	2.61	3.38
	計算月發電量值 (KWH)	788.06	655.5	1246.7	1189.2	1670	2159	2377.5	2502.2	1465	1451	1120.3	1162.1	1482.18
	1KW 日發電量(KWH)	1.27	1.17	2.02	1.99	2.70	3.61	3.84	4.05	2.45	2.35	1.87	1.88	2.43

（本研究整理）

太陽能系統年總發電量=17786.18KWH/year

平均日總發電量=(17786.18KWH/year)/365day=48.73KWH/day

平均 1KW 日發電量=48.73KWH/day/19.95=2.43KWH/day

平均電費=4,987,500/(17786.18kwh/day*20year)=14.02 元/KWH

台電電費=2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限=2,493,750 元/(17786.18kwh/day×2.59 元)=54.13 年

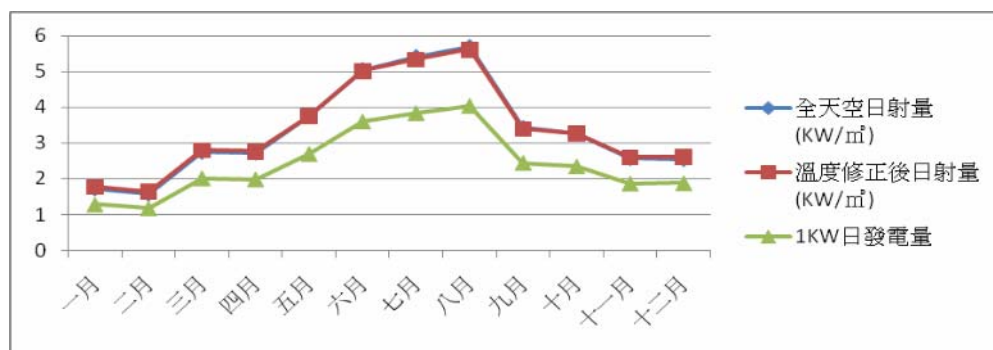


圖 26 模擬 2008 年全天空日射量與慈濟醫院太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖

4.1.5 台東馬偕醫院太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

設置場所：台東市長沙街（屋頂） 設置容量：19.95kWp 模板種類：多晶矽

單一模組尺寸：1425mm×652mm=1.28 m² (取自 Kyocera 網站模組規格表)

系統種類：併聯型 模板製造商：Kyocera 模板最大輸出功率(W)：175W

模組效率：13.67% 模組片數：114 片 模組合計面積：146 m²

設置費用：19.95KWp×250,000 元=4,987,500 元 (費用以 1KWp=25 萬元 計算)

政府補助費用=2,493,750 元 自負額=2,493,750 元

模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 17。

表 17 模擬 2008 年台東市馬偕醫院示範太陽能發電系統發電量計算月統計表

2008 年台東市馬偕醫院示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台東市	全天空日射量 (KW/m ² -day)	2.58	2.59	3.59	3.93	5.01	5.64	6.07	6.18	4.49	4.47	3.39	3.21	4.26
	溫度 (°C)	20.2	18.4	21.3	24.3	26	27.6	28.7	28.4	28.2	26.5	23.4	20.7	24.48
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	2.63	2.66	3.64	3.94	4.99	5.58	5.98	6.1	4.43	4.45	3.41	3.27	4.26
	計算月發電量值 (KWH)	1170.9	1070	1620.6	1697.6	2222	2404	2662.4	2715.9	1908.7	1981	1469.2	1455.9	1864.84
	1KW 日發電量(KWH)	1.89	1.91	2.62	2.84	3.59	4.02	4.31	4.39	3.19	3.20	2.45	2.35	3.06

(本研究整理)

太陽能系統年總發電量=22378.04KWH/year

平均日總發電量=(22378.04KWH/year)/365day=61.31KWH/day

平均 1KW 日發電量=61.31KWH/day/19.95=3.06KWH/day

平均電費=4,987,500/(22378.04KWH/year*20year)=11.14 元/KWH

台電電費=2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限=2,493,750 元/(22378.04KWH/year×2.59 元)=43.03 年

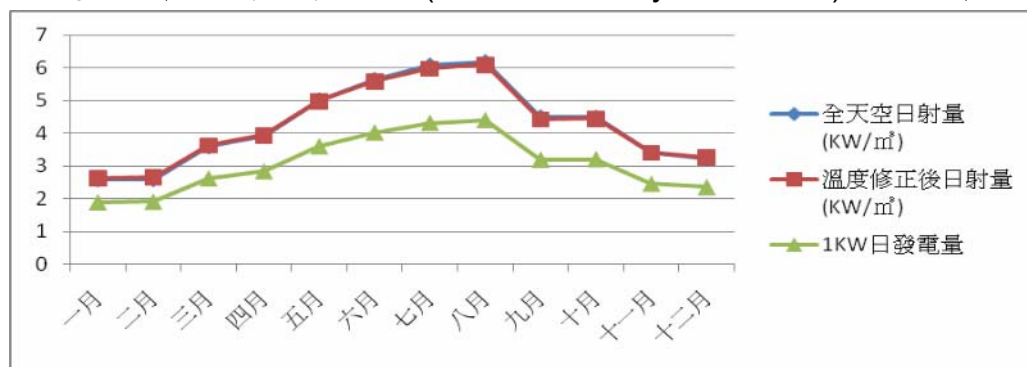


圖 27 模擬 2008 年全天空日射量與馬偕濟醫院太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖

要探討各地區太陽能發電系統發電量與成本效益與對二氧化碳減量的貢獻，首先須對氣候因子進行統計分析，並將結果依序整理如下。

4.1.6 各地區全天日射量之分析

由 2008 年中央氣象局所提供的氣候資料可發現，台灣的日射量分布情形，大致上呈現由北往南方向遞增的現象，台北市的年平均日射量為每日 $3.04\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，台中市的年平均日射量為 $4.04\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，高雄市的年平均日射量每日 $4.02\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ 。另外在東海岸狹長帶狀平地之日射量，從花蓮到台東也有遞增的趨勢，花蓮的年平均日射量為每日 $3.38\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，台東市的年平均日射量為 $4.26\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，是五個地區中全天日射量最高的地區，如表 18 與圖 28 所示。

表 18 2008 年各地區全天空日射量一覽表

2008 年各地區全天空日射量 一覽表													(KW/m ² -day)
地區	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均值
台北市	1.70	0.98	3.33	2.94	3.93	3.56	4.36	4.64	3.41	3.23	2.03	2.32	3.04
台中市	3.08	3.15	4.33	4.02	4.53	4.52	4.79	4.91	3.89	4.24	3.61	3.39	4.04
高雄市	2.77	3.25	4.28	4.49	4.91	4.48	4.79	4.93	4.00	4.09	3.05	3.17	4.02
花蓮市	1.73	1.58	2.75	2.73	3.75	5.05	5.42	5.70	3.43	3.27	2.58	2.55	3.38
台東市	2.58	2.59	3.59	3.93	5.01	5.64	6.07	6.18	4.49	4.47	3.39	3.21	4.26

(本研究整理)

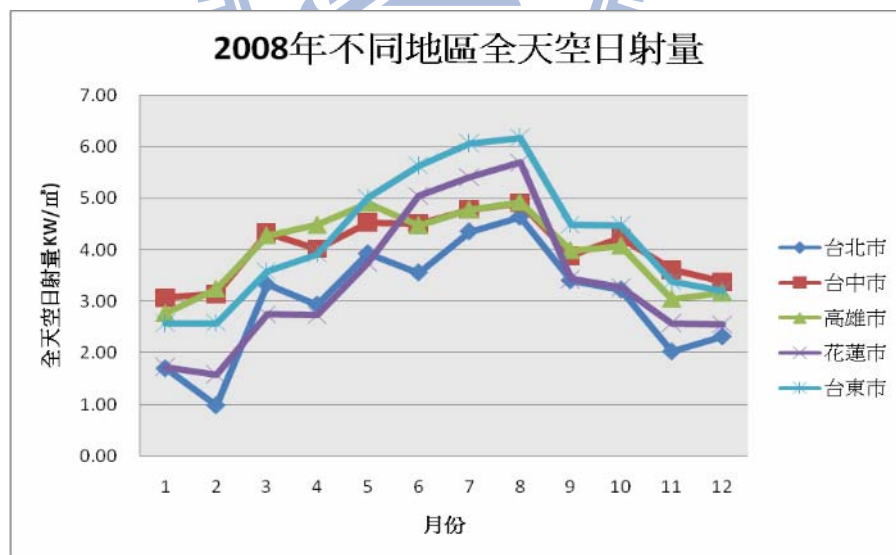


圖 28 2008 年各地區全天空日射量一覽表(本研究整理)

另外由圖形的趨勢可看出台北市、花蓮、台東市的年平均日射量曲線變化趨勢呈現山形，意即日射量在夏季達到高峰，而台中市與高雄市的年平均日射量曲線變化趨勢較為平緩，全年度幾乎都達到 $3\text{ kW}/\text{m}^2\text{-day}$ 的水準，從 3 月至 10 月的平均日射量更達到 $4\text{ kW}/\text{m}^2\text{-day}$ 以上，若以日射量強度高於 $3.0\text{ kW}/\text{m}^2\text{-day}$ 視為發電量較佳的區

段，則台北市與花東三個地區，春夏季節較具有發電潛力，可利用於舒緩季節性尖峰用電；而台中市與高雄市則較無季節性限制，全年度都具有具有高度太陽能發電潛能，2008 年各地區四季全天空日射量之比較如圖 29，可看出各地區最具發電潛能的季節。

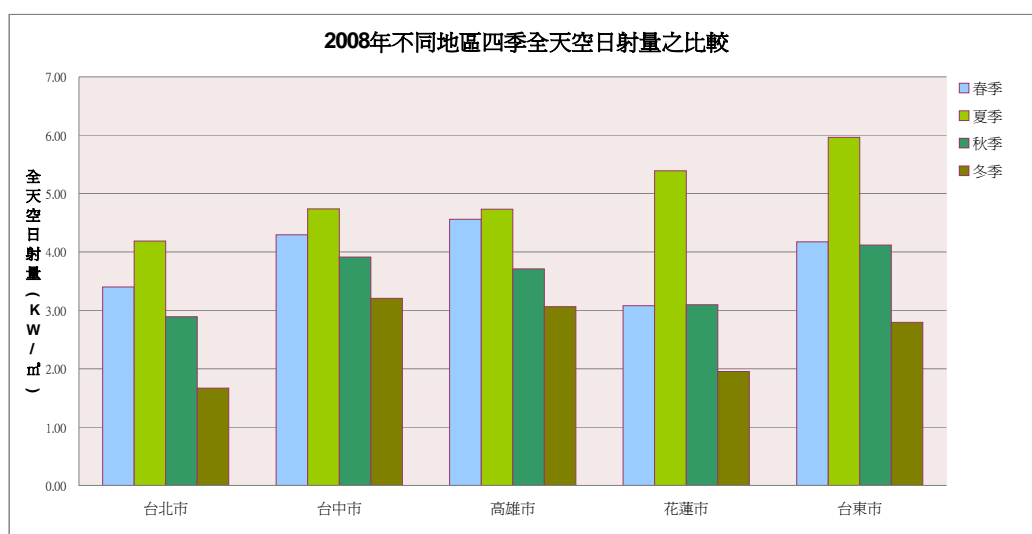


圖 29 2008 年各地區四季全天空日射量之比較(本研究整理)

4.1.7 各地區氣溫之分析

表 19 2008 年各地區氣溫變化一覽表

2008 年不同地區氣溫變化 一覽表													
地區	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均值
台北市	16.5	14.1	19.3	22.5	24.9	27.5	29.6	29.7	27.8	25.9	21.6	18.4	23.15
台中市	17.9	15	20.3	24.3	25.8	27.5	28.1	28.7	27.6	26.8	21.9	18.1	23.50
高雄市	20.5	17.8	23.1	26.3	27.6	28	28.7	28.7	28.3	27.8	23.9	20.8	25.13
花蓮市	19	17.1	20.2	23	25	27.3	28.4	28.3	27.2	25.7	22.7	19.6	23.63
台東市	20.2	18.4	21.3	24.3	26	27.6	28.7	28.4	28.2	26.5	23.4	20.7	24.48

(本研究整理)

由 2008 年中央氣象局所提供的氣溫資料顯示，台灣地區因地理位置之緯度差異不大，氣溫隨緯度降低而增加，各月份的氣溫變化如圖 30。由表 19 計算出台北市的年平均溫度為每日 23.15°C，台中市的年平均溫度為每日 23.50°C，高雄市的年平均溫度為每日 25.13°C，花蓮的年平均溫度為每日 23.63°C，台東市的年平均溫度為每日 24.48°C，以高雄市之溫度最高。五個地區之春、夏、秋、冬四季氣溫表現趨勢相仿，高雄市與台北市之年平均溫差僅 1.98°C。

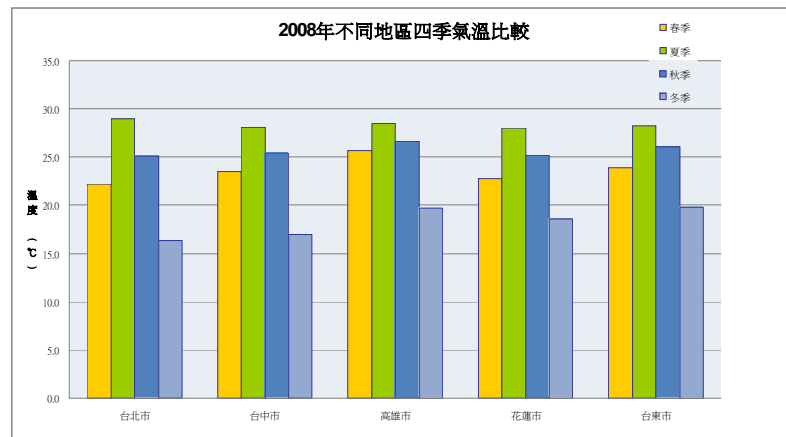


圖 30 2008 年各地區氣溫變化一覽表(本研究整理)

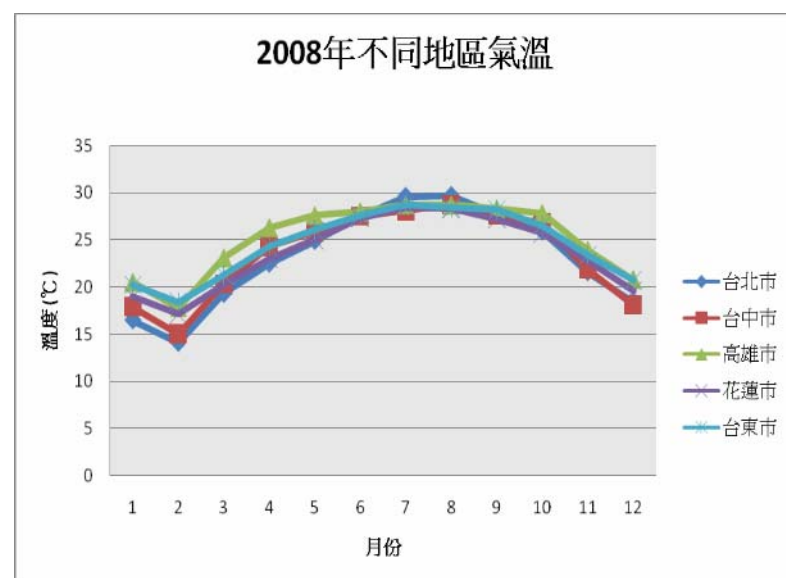


圖 31 2008 年各地區四季氣溫比較表(本研究整理)

4.1.8 各地區 1KW 日發電量之分析

由於 2008 年各地區的氣溫變化差異不大，在比較各地區全天空日射量與 1KW 日發電量之關係圖後可推知日射量是影響太陽電池發電量之主要因素，如表 20 與圖 32 所示。在台北市、台中市、高雄市、花蓮、台東市的年平均 1KW 日發電量分別為 2.21、2.92、2.88、2.43 與 3.06KWh。台北市與花東三個地區 5 月到 8 月 1KW 日發電量較高，而台中市與高雄市從 3 月份開始，都具有較高之日發電量。進一步由圖 33 各地區四季 1KW 日發電量比較，可看出台中市與高雄市在春季與夏季最具發電潛能，台東市則在春、夏、秋三季的發電量都相當高，1KW 之日發電量可達 3KWh，是台灣地區最適合推廣太陽能發電系統之地區。

表 20 2008 年各地區 1KW 日發電量比較一覽表

2008 年不同地區 1KW 日發電量 一覽表													
地區	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均值
台北市	1.27	0.82	2.45	2.21	2.84	2.63	3.08	3.28	2.43	2.32	1.48	1.71	2.21
台中市	2.27	2.36	3.17	2.90	3.25	3.22	3.41	3.48	2.77	3.03	2.63	2.51	2.92
高雄市	2.03	2.41	3.11	3.21	3.50	3.19	3.40	3.50	2.84	2.91	2.20	2.32	2.88
花蓮市	1.27	1.17	2.02	1.99	2.70	3.61	3.84	4.05	2.45	2.35	1.87	1.88	2.43
台東市	1.89	1.91	2.62	2.84	3.59	4.02	4.31	4.39	3.19	3.20	2.45	2.35	3.06

(本研究整理)



圖 32 2008 年不同地區 1KW 日發電量比較

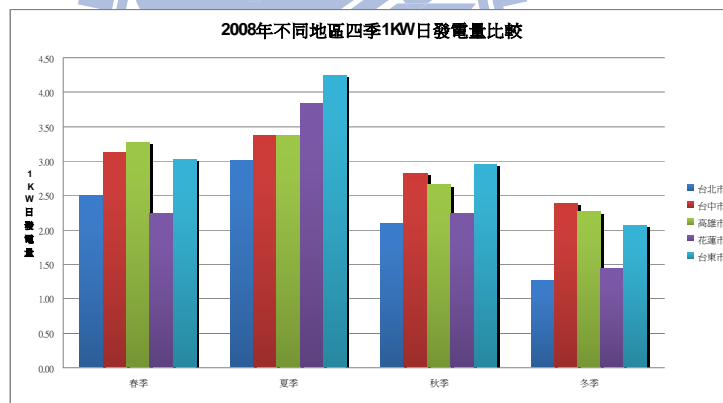


圖 33 2008 年各地區四季 1KW 日發電量比較

4.1.9 各地區太陽能發電系統成本效益

若進一步以台東地區為基準來探討五個地區 1KW 相對日發電量比值的差異，可知台北市年平均之為 1KW 日發電量僅有台東地區的 72%的水準；台中市為 95%、高雄市為 94%、而花蓮僅高於台北市達台東地區 79%之水準。由本研究模擬成本試算可推估，台東地區因 1KW 日發電量較高，可降低了太陽能發電系統產生電力之成本，1 KWH 平均電費為 11.14 元，成本回收年限可減至 43.03 年，其次為台中市與高雄市，1 KWH 平均電費分別為 11.72 與 11.86 元，成本回收年限為 45.24 與 45.77 年，台北

市 1 KWH 平均電費分別為 15.42 元，成本回收年限需要 59.54 年，詳如表 21。

表 21 2008 年各地區 1KW 相對日發電量之比值對照表(以台東地區為基準)

2008 年不同地區 1KW 相對日發電量之比值對照表(以台東地區為基準)													
地區	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均值
台北市	0.67	0.43	0.93	0.78	0.79	0.65	0.72	0.75	0.76	0.72	0.60	0.73	0.72
台中市	1.20	1.23	1.21	1.02	0.91	0.80	0.79	0.79	0.87	0.95	1.07	1.06	0.95
高雄市	1.07	1.26	1.19	1.13	0.97	0.79	0.79	0.80	0.89	0.91	0.90	0.98	0.94
花蓮市	0.67	0.61	0.77	0.70	0.75	0.90	0.89	0.92	0.77	0.73	0.76	0.80	0.79
台東市	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

(本研究整理)

表 22 2008 年各地區太陽能系統發電成本與回收年限一覽表

地區	平均電費(元/KWH)	補助後回收年限(年)
台北市	15.42	59.54
台中市	11.72	45.24
高雄市	11.86	45.77
花蓮市	14.02	54.13
台東市	11.14	43.03

(本研究整理)



圖 34 2008 年各地區太陽能系統發電成本與回收年限

4.1.10 各地區各季節二氧化碳減量成果

參考台電網站之我國 97 年 CO₂ 電力排放係數為 0.636KG/度，計算各地區減少 CO₂ 排放量

表 23 2008 年地區各季節減少 CO₂ 排放量一覽表

2008 年各季節減少 CO ₂ 排放量統計表					
地區	類別	春季	夏季	秋季	冬季
台北市	可減少 CO ₂ 排放量(KG)/季	146.15	175.33	120.13	72.52
台中市	可減少 CO ₃ 排放量(KG)/季	181.98	197.14	162.77	136.26
高雄市	可減少 CO ₄ 排放量(KG)/季	191.57	196.76	153.37	140.31
花蓮市	可減少 CO ₅ 排放量(KG)/季	130.72	224.24	128.61	101.74
台東市	可減少 CO ₆ 排放量(KG)/季	176.49	247.96	170.69	117.58

(本研究整理)

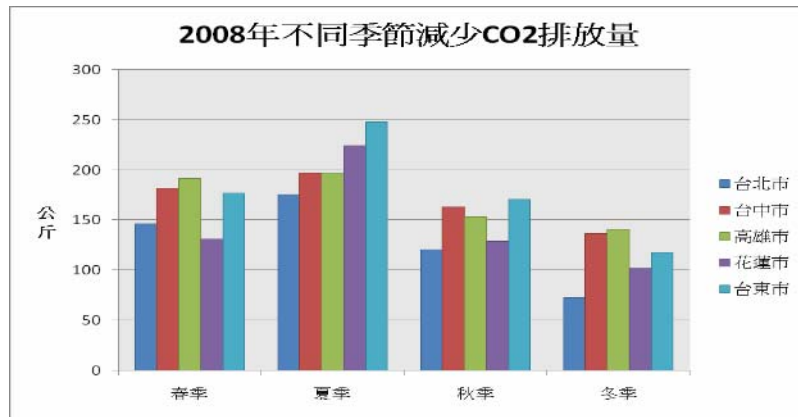


圖 35 2008 年各季節減少 CO2 排放量比較圖

由表 23 及圖 35 可得之，以季來比較五個地區，發現 CO2 減量最高之季節為夏季，其次為春季、秋季、東季，而五個地區均為夏季(六月~八月)對 CO2 的減量貢獻最高，地區為台東市，達 247.96 公斤 CO2/季，其次為花蓮市 224.24 公斤 CO2/季，台中市為 197.14 公斤 CO2/季、高雄市為 196.76 公斤 CO2/季，台北市為 175.33 公斤 CO2/季。所以以單一夏季來看，各地區的 CO2 當量反而花蓮市貢獻度僅次於台東市，但從年平均來看，花蓮市只高於台北市。

4.2 模擬計算 2004 年~2008 年之各地區太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

4.2.1 台北市李宅太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

設置場所：臺北市遼寧街（樓頂） 設置容量：3.006kWp 模板種類：多晶矽
 單一模組尺寸：1319mm×894mm=1.18 m²（取自 Kyocera 網站模組規格表）
 系統種類：併聯型 模板製造商：SANYO 模板最大輸出功率(W)：167W
 模組效率：14.15% 模組片數：18 片 模組合計面積：21.2 m²
 設置費用：3.006KWp×250,000 元=751,500 元（費用以 1KWp=25 萬元計算）
 政府補助費用= 375,750 元 自負額= 375,750 元
 模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 24

表 24 模擬 2004-2008 年台北李宅示範太陽能發電系統發電量月統計表

2004~2008 年台北市李宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台北市	全天空日射量 (KW/m ² -day)	1.61	2.03	2.47	2.89	3.61	3.58	4.46	4.20	3.60	2.96	2.26	1.90	2.96
	溫度 (°C)	16.48	16.92	18.52	22.34	25.76	27.78	29.96	29.40	27.68	24.86	22.18	18.52	23.37
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	1.66	2.09	2.53	2.92	3.6	3.54	4.38	4.13	3.56	2.96	2.28	1.95	2.97
	計算月發電量值 (KWH)	111.36	140.2	169.72	195.88	241.49	237.47	293.82	277.05	231.11	198.56	148.01	130.81	197.96
	1KW 日發電量(KWH)	1.20	1.50	1.82	2.10	2.59	2.55	3.15	2.97	2.48	2.13	1.59	1.40	2.12

(本研究整理)

太陽能系統年總發電量=2375.48KWH/year

平均日總發電量=(2375.48KWH/year)/365day=6.51KWH/day

平均 1KW 日發電量=6.51KWH/day/3.006=2.17KWH/day

平均電費=751,500/(2375.48KWH/year*20year)=15.82 元/KWH

台電電費=2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限=375,750 元/(2375.48KWH/year×2.59 元)=61.07 年



圖 36 2004-2008 年全天空日射量與台北李宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖

4.2.2 台中市林宅太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 25

表 25 模擬 2004-2008 年五年平均氣候計算台中林宅示範太陽能發電系統發電量月統計表

2004~2008 年台中市林宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台中市	全天空日射量 (KW/m ² -day)	3.13	3.50	3.66	3.79	4.64	4.10	4.97	4.28	4.26	4.30	3.48	3.22	3.94
	溫度 (°C)	17.04	17.42	19.52	23.56	26.54	27.58	28.72	28.30	27.56	25.48	22.48	18.54	23.56
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	3.23	3.60	3.74	3.82	4.61	4.05	4.89	4.22	4.22	4.29	3.52	3.30	3.96
	計算月發電量值 (KWH)	227.07	228.59	262.92	259.88	324.08	275.53	343.77	296.67	287.10	301.59	239.47	224.51	272.60
	1KW 日發電量(KWH)	2.33	2.59	2.69	2.75	3.32	2.92	3.52	3.04	3.04	3.09	2.53	2.30	2.84

(本研究整理)

太陽能系統年總發電量=3271.18KWH/year

平均日總發電量=(3271.18KWH/year)/365day=8.96KWH/day

平均 1KW 日發電量=8.96KWH/day/3.15=2.85KWH/day

平均電費=751,500/(3271.18KWH/year*20year)=12.04 元/KWH

台電電費=2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限=393,750 元/(3271.18KWH/year*2.59 元)=46.47 年



圖 37 模擬 2004-2008 年全天空日射量與台中林宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)

4.2.3 高雄市洪宅之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 26

表 26 模擬 2004-2008 年五年平均氣候計算高雄洪宅示範太陽能發電系統發電量月統計表

2004~2008 年高雄市洪宅示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
高雄市	全天空日射量 (KW/m ² -day)	2.80	3.54	3.72	4.50	5.09	4.58	4.89	4.30	4.08	3.83	3.02	2.77	3.93
	溫度 (°C)	19.66	20.38	22.46	25.88	28.1	28.44	29.2	28.76	28.26	27.02	24.46	20.9	25.29
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	2.86	3.6	3.75	4.49	5.03	4.52	4.81	4.24	4.03	3.8	3.03	2.81	3.91
	計算月發電量值 (KWH)	331.98	377.44	435.29	504.37	583.86	507.74	558.33	492.16	452.7	441.09	340.37	326.17	445.96
	1KW 日發電量(KWH)	2.06	2.59	2.70	3.23	3.62	3.25	3.46	3.05	2.90	2.74	2.18	2.02	2.82

(本研究整理)

太陽能系統年總發電量=5351.5KWH/year

平均日總發電量=(5351.5KWH/year)/365day=14.66KWH/day

平均 1KW 日發電量=14.66KWH/day/5.2=2.82KWH/day

平均電費=1,300,000/(5351.5KWH/year*20year)=12.15 元/KWH

台電電費=2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限=650,000 元/(5351.5KWH/year*2.59 元)=46.90 年

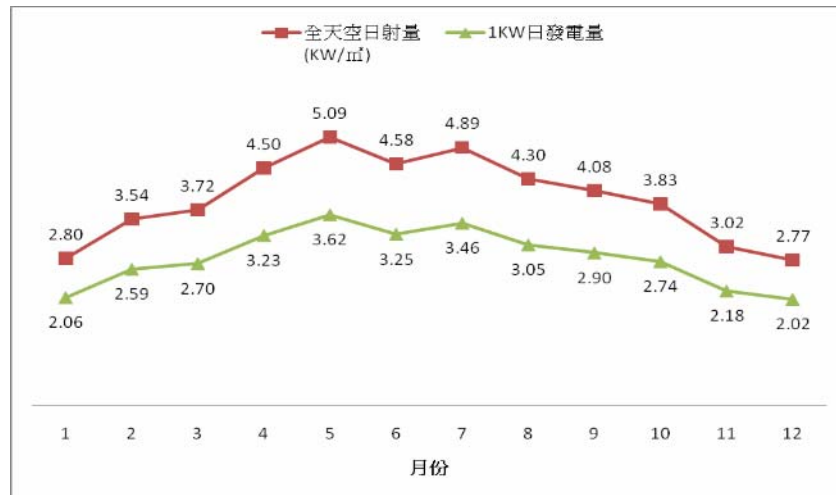


圖 38 模擬 2004-2008 年全天空日射量與高雄洪宅太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)

4.2.4 花蓮市慈濟醫院之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 27

表 27 模擬 2004-2008 年五年平均氣候計算花蓮慈濟醫院示範太陽能發電系統發電量月統計表

2004~2008 年花蓮慈濟醫院示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
花蓮市	全天空日射量 (KW/m²-day)	1.70	2.28	2.49	3.22	4.21	4.45	5.80	4.98	3.52	3.39	2.40	2.23	3.39
	溫度 (°C)	18.28	18.72	19.66	22.72	25.48	27.00	28.48	28.14	26.96	25.08	22.62	19.62	23.56
	溫度修正後日射量 (KW/m²-day)	1.74	2.34	2.54	3.25	4.21	4.41	5.72	4.92	3.49	3.39	2.42	2.28	3.39
	計算月發電量值 (KWH)	774.7	941.0	1130.9	1400.3	1874.4	1900.1	2546.7	2190.6	1503.7	1509.3	1042.7	1015.1	1485.8
	1KW 日發電量(KWH)	1.25	1.68	1.83	2.34	3.03	3.17	4.12	3.54	2.51	2.44	1.74	1.64	2.44

(本研究整理)

太陽能系統年總發電量 = 16186.8KWH/year

平均日總發電量 = (16186.8KWH/year)/365day = 44.35KWH/day

平均 1KW 日發電量 = 44.35KWH/day/19.95 = 2.22KWH/day

平均電費 = 4,987,500/(16186.8kwh/day*20year) = 15.41 元/KWH

台電電費 = 2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限 = 2,493,750 元 / (16186.8kwh/day*2.59 元) = 59.48 年



圖 39 模擬 2004-2008 年全天空日射量與花蓮慈濟醫院太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)

4.2.5 台東市馬偕紀念醫院之太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

模擬計算太陽能發電系統發電量，如表 28

表 28 模擬 2004-2008 年五年平均氣候計算台東馬偕紀念醫院示範太陽能發電系統發電量月統計表

2004~2008 年台東馬偕醫院示範太陽能發電系統發電量計算月統計表														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台東市	全天空日射量 (KW/m ² -day)	2.58	2.68	3.59	3.93	5.01	5.64	6.07	6.18	4.49	4.47	3.39	3.21	4.27
	溫度 (°C)	19.8	20.3	21.28	24.3	26.96	27.98	28.98	28.62	27.74	26	23.76	20.84	24.71
	溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	2.63	2.73	3.64	3.94	4.97	5.57	5.98	6.09	4.44	4.46	3.41	3.26	4.26
	計算月發電量值 (KWH)	1170.9	1097.8	1620.6	1697.6	2212.8	2399.9	2662.4	2711.4	1913.0	1985.7	1469.2	1451.4	1866.1
	1KW 日發電量(KWH)	1.89	1.97	2.62	2.84	3.58	4.01	4.31	4.38	3.20	3.21	2.45	2.35	3.07

(本研究整理)

太陽能系統年總發電量=22392.85KWH/year

平均日總發電量=(22392.85KWH/year)/365day=61.35KWH/day

平均 1KW 日發電量=61.35KWH/day/19.95=3.08KWH/day

平均電費=4,987,500/(22392.85KWH/year*20year)=11.14 元/KWH

台電電費=2.59 元/KWH (台電資料)

補助後回收年限=2,493,750 元/(22392.85KWH/year*2.59 元)=43.00 年

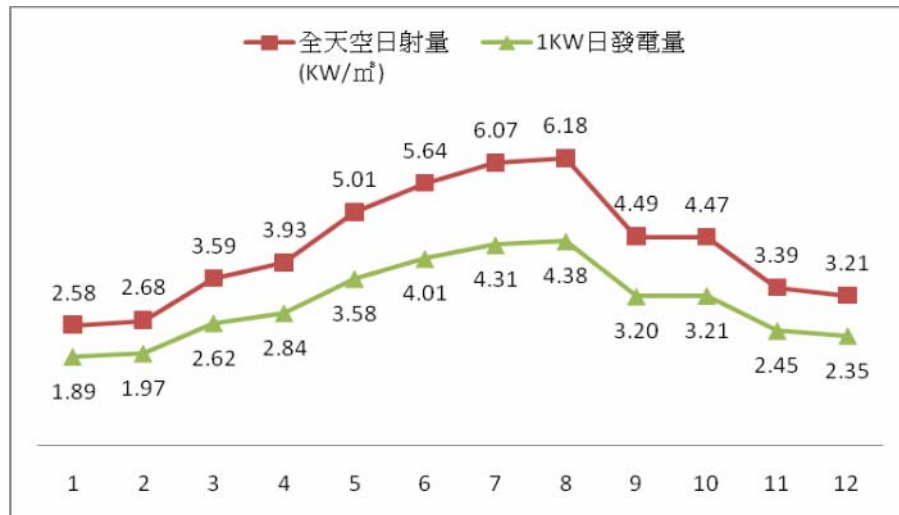


圖 40 模擬 2004-2008 年全天空日射量與馬偕醫院太陽能發電系統 1KW 日發電量曲線圖(本研究整理)

4.2.6 各地區全天日射量之分析

由 2004~2008 年中央氣象局所提供的氣候資料可發現，台灣的日射量分布情形，大致上呈現由北往南方向遞增的現象，台北市的年平均日射量為每日 $2.96\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，台中市的年平均日射量為 $3.94\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，高雄市的年平均日射量每日 $3.93\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ 。另外在東海岸狹長帶狀平地之日射量，從花蓮到台東也有遞增的趨勢，花蓮的年平均日射量為每日 $3.39\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，台東市的年平均日射量為 $4.27\text{kW}/\text{m}^2\text{-day}$ ，是五個地區中全天日射量最高的地區，如表 29 與圖 39 所示。

表 29 2004~2008 年各地區全天空日射量 一覽表

2004~2008 年各地區全天空日射量 一覽表													(KW/m ² -day)
地區	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台北市	1.61	2.03	2.47	2.89	3.61	3.58	4.46	4.20	3.60	2.96	2.26	1.90	2.96
台中市	3.13	3.50	3.66	3.79	4.64	4.10	4.97	4.28	4.26	4.30	3.48	3.22	3.94
高雄市	2.80	3.54	3.72	4.50	5.09	4.58	4.89	4.30	4.08	3.83	3.02	2.77	3.93
花蓮市	1.70	2.28	2.49	3.22	4.21	4.45	5.80	4.98	3.52	3.39	2.40	2.23	3.39
台東市	2.58	2.68	3.59	3.93	5.01	5.64	6.07	6.18	4.49	4.47	3.39	3.21	4.27

(本研究整理)

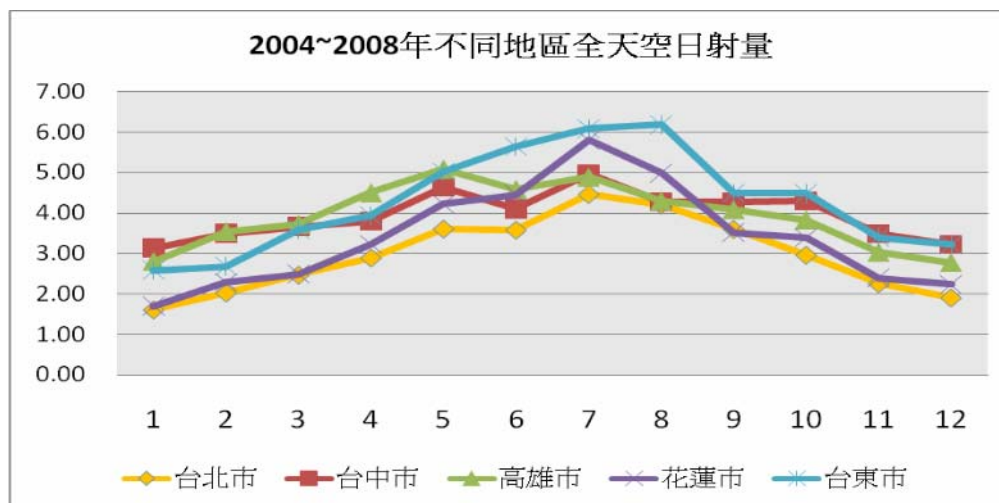


圖 41 2004~2008 年各地區全天空日射量 一覽表(本研究整理)

另外由圖形的趨勢可看出台北市、花蓮、台東市的年平均日射量曲線變化趨勢呈現山形，意即日射量在夏季達到高峰，而台中市與高雄市的年平均日射量曲線變化趨勢較為平緩，全年度幾乎都達到 $3 \text{ kW/m}^2\text{-day}$ 以上的水準，從 3 月至 10 月的平均日射量更達到 $4 \text{ kW/m}^2\text{-day}$ 以上，若以日射量強度高於 $3.0 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$ 視為發電量較佳的區段，則台北市與花東三個地區，春夏季節較具有發電潛力，可利用於舒緩季節性尖峰用電；而台中市與高雄市則較無季節性限制，全年度都具有具有高度太陽能發電潛能，2004~2008 年各地區四季全天空日射量之比較如圖 42，可看出各地區最具發電潛能的季節。

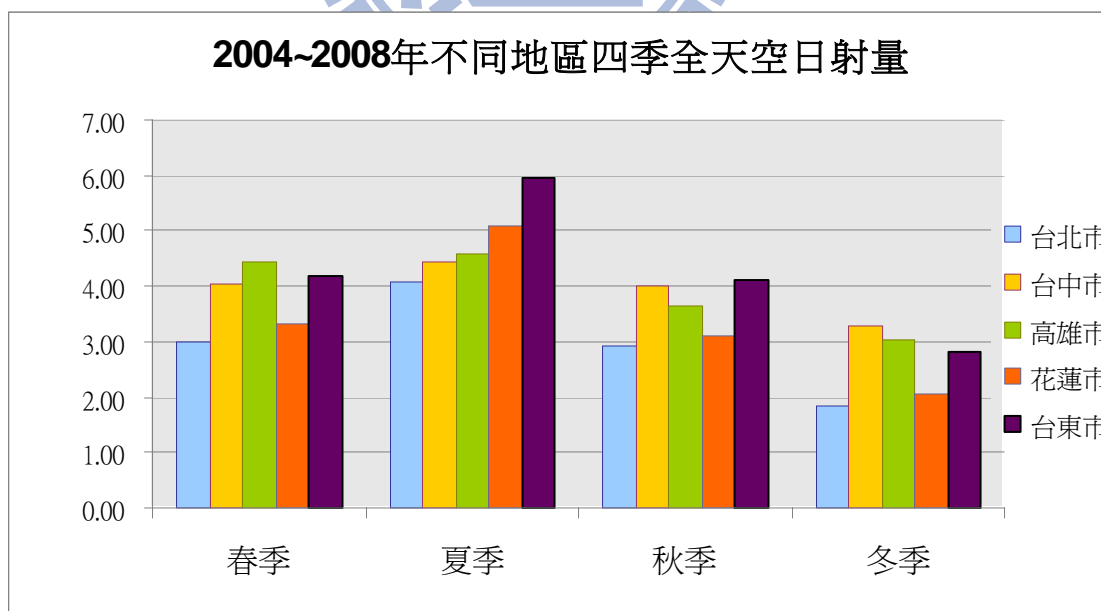


圖 42 2004~2008 年各地區四季全天空日射量之比較(本研究整理)

4.2.7 各地區氣溫之分析

表 30 2004~2008 年各地區氣溫變化一覽表

2004~2008 年各地區氣溫變化一覽表													
溫度 (°C)	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台北市	16.48	16.92	18.52	22.34	25.76	27.78	29.96	29.40	27.68	24.86	22.18	18.52	23.37
台中市	17.04	17.42	19.52	23.56	26.54	27.58	28.72	28.30	27.56	25.48	22.48	18.54	23.56
高雄市	19.66	20.38	22.46	25.88	28.1	28.44	29.2	28.76	28.26	27.02	24.46	20.9	25.29
花蓮市	18.28	18.72	19.66	22.72	25.48	27.00	28.48	28.14	26.96	25.08	22.62	19.62	23.56
台東市	19.8	20.3	21.28	24.3	26.96	27.98	28.98	28.62	27.74	26	23.76	20.84	24.71

(本研究整理)

由 2004~2008 年中央氣象局所提供的氣溫資料顯示，台灣地區因地理位置之緯度差異不大，氣溫隨緯度降低而增加，各月份的氣溫變化如圖 41。由表 30 計算出台北市的年平均溫度為每日 23.37°C，台中市的年平均溫度為每日 23.56°C，高雄市的年平均溫度為每日 25.29°C，花蓮的年平均溫度為每日 23.56°C，台東市的年平均溫度為每日 24.71°C，以高雄市之溫度最高。五個地區之春、夏、秋、冬四季氣溫表現趨勢相仿，高雄市與台北市之年平均溫差僅 1.92°C。

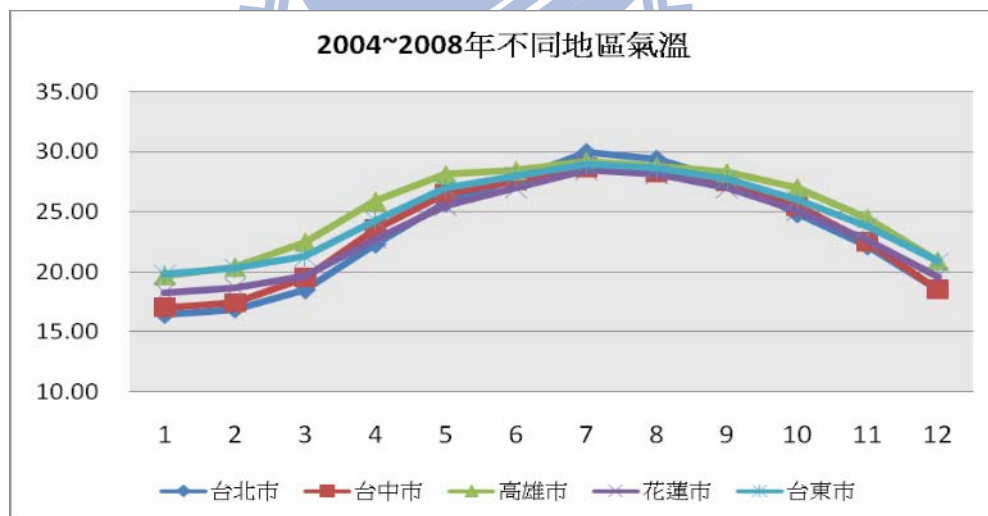


圖 43 2004~2008 年各地區氣溫變化一覽表(本研究整理)

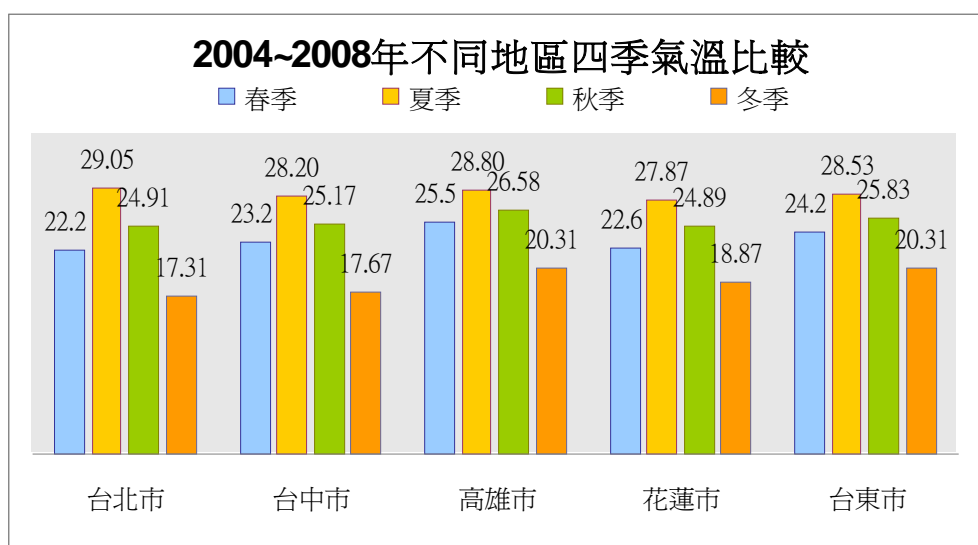


圖 44 2004~2008 年各地區四季氣溫比較表(本研究整理)

4.2.8 各地區 1KW 日發電量之分析

由於 2004~2008 年各地區的氣溫變化差異不大，在比較各地區全天空日射量與 1KW 日發電量之關係圖後可推知日射量是影響太陽電池發電量之主要因素，如表 31 與圖 43 所示。在台北市、台中市、高雄市、花蓮、台東市的年平均 1KW 日發電量分別為 2.12、2.84、2.82、2.44 與 3.07KWh。台北市與花東三個地區 5 月到 8 月 1KW 日發電量較高，而台中市與高雄市從 3 月份開始，都具有較高之日發電量。進一步由圖 44 各地區四季 1KW 日發電量比較，可看出台中市與高雄市在夏季與秋季最具發電潛能，台東市則在春、夏、秋三季的發電量都相當高，1KW 之日發電量可達 3KWh，是台灣地區最適合推廣太陽能發電系統之地區。

表 31 2004~2008 年各地區 1KW 日發電量比較一覽表

2004~2008 年各地區 1KW 日發電量比較一覽表 (KWH)													
1KW 日發電量	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台北市	1.20	1.50	1.82	2.10	2.59	2.55	3.15	2.97	2.48	2.13	1.59	1.40	2.12
台中市	2.33	2.59	2.69	2.75	3.32	2.92	3.52	3.04	3.04	3.09	2.53	2.30	2.84
高雄市	2.06	2.59	2.70	3.23	3.62	3.25	3.46	3.05	2.90	2.74	2.18	2.02	2.82
花蓮市	1.25	1.68	1.83	2.34	3.03	3.17	4.12	3.54	2.51	2.44	1.74	1.64	2.44
台東市	1.89	1.97	2.62	2.84	3.58	4.01	4.31	4.38	3.20	3.21	2.45	2.35	3.07

(本研究整理)

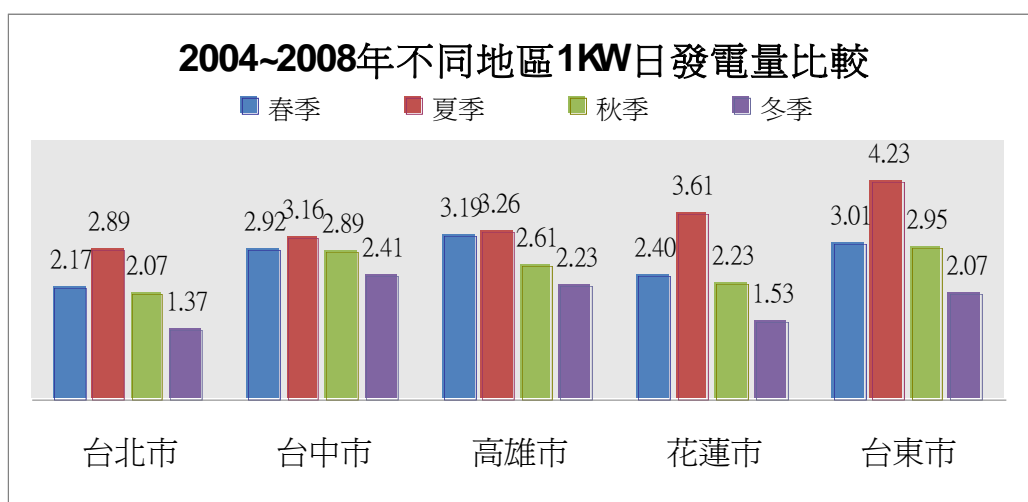


圖 45 2004~2008 年各地區四季 1KW 日發電量比較

4.2.9 各地區太陽能發電系統成本效益

若進一步以台東地區為基準來探討五個地區 1KW 相對日發電量比值的差異，可知台北市年平均之為 1KW 日發電量僅有台東地區的 69% 的水準；台中市為 93%、高雄市為 92%、而花蓮僅高於台北市達台東地區 80% 之水準。由本研究模擬成本試算可推估，台東地區因 1KW 日發電量較高，可降低了太陽能發電系統產生電力之成本，1 KWH 平均電費為 11.14 元，成本回收年限可減至 43.00 年，其次為台中市與高雄市，1 KWH 平均電費分別為 12.04 與 12.15 元，成本回收年限為 46.47 與 46.90 年，台北市 1 KWH 平均電費分別為 15.82 元，成本回收年限需要 61.07 年，詳如表 32。

表 32 2004~2008 年各地區 1KW 相對日發電量之比值對照表(以台東地區為基準)

2004~2008 年各地區 1KW 相對日發電量之比值對照表(以台東地區為基準)														
地區	類別	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	average
台北市	1KW 日發電量(KWH) (e)	1.20	1.50	1.82	2.10	2.59	2.55	3.15	2.97	2.48	2.13	1.59	1.40	2.12
	(e/a)	0.63	0.77	0.70	0.74	0.72	0.64	0.73	0.68	0.78	0.66	0.65	0.60	0.69
台中市	1KW 日發電量(KWH) (d)	2.33	2.59	2.69	2.75	3.32	2.92	3.52	3.04	3.04	3.09	2.53	2.30	2.84
	(d/a)	1.23	1.32	1.03	0.97	0.93	0.73	0.82	0.69	0.95	0.96	1.03	0.98	0.93
高雄市	1KW 日發電量(KWH) (c)	2.06	2.59	2.70	3.23	3.62	3.25	3.46	3.05	2.90	2.74	2.18	2.02	2.82
	(c/a)	1.09	1.32	1.03	1.14	1.01	0.81	0.80	0.70	0.91	0.85	0.89	0.86	0.92
花蓮市	1KW 日發電量(KWH) (b)	1.25	1.68	1.83	2.34	3.03	3.17	4.12	3.54	2.51	2.44	1.74	1.64	2.44
	(b/a)	0.66	0.86	0.70	0.82	0.85	0.79	0.96	0.81	0.79	0.76	0.71	0.70	0.80
台東市	1KW 日發電量(KWH) (a)	1.89	1.97	2.62	2.84	3.58	4.01	4.31	4.38	3.20	3.21	2.45	2.35	3.07
	(a/a)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

(本研究整理)

表 33 2004~2008 年各地區太陽能系統發電成本與回收年限一覽表

地區	平均電費(元/KWH)	補助後回收年限(年)
台北市	15.82	61.07
台中市	12.04	46.47
高雄市	12.15	46.90
花蓮市	13.99	54.00
台東市	11.14	43.00



圖 46 2004~2008 年各地區太陽能系統發電成本與回收年限比較圖

4.2.10 各地區各季節二氧化碳減量成果

參考台電網站之我國 CO₂ 電力排放係數為 0.636KG/度，計算各地區減少 CO₂ 排放量

表 34 2004~2008 年各季節減少 CO₂ 排放量一覽表

2004~2008 年各季節 1KW 減少 CO ₂ 排放量統計表					
地區	類別	春季	夏季	秋季	冬季
台北市	可減少 CO ₂ 排放量(KG)/季	127.07	169.19	119.60	78.29
台中市	可減少 CO ₃ 排放量(KG)/季	170.88	184.78	167.08	137.69
高雄市	可減少 CO ₄ 排放量(KG)/季	186.37	190.58	150.86	142.99
花蓮市	可減少 CO ₅ 排放量(KG)/季	140.41	211.32	129.16	109.82
台東市	可減少 CO ₆ 排放量(KG)/季	176.21	247.68	170.97	118.40

(本研究整理)

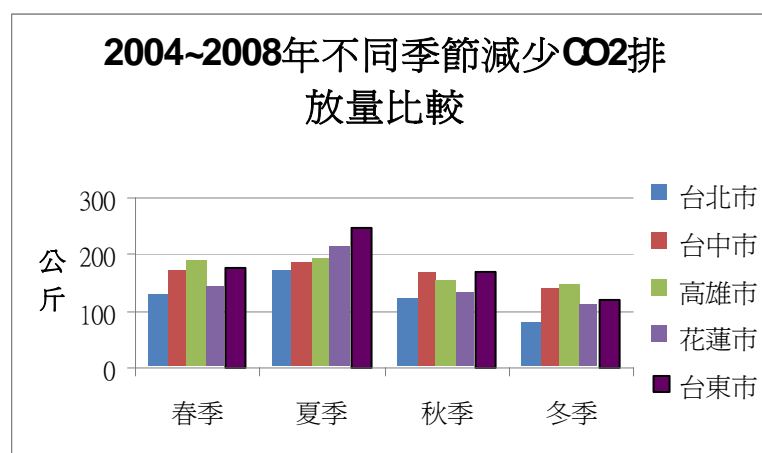


圖 47 2004~2008 年各季節減少 CO₂ 排放量比較

由表 34 及圖 47 可得之，以季來比較五個地區，CO₂ 減量最高之季節為夏季，其次為春季、秋季、東季，而五個地區均為夏季(六月~八月)對 CO₂ 的減量貢獻最高，地區為台東市，達 247.68 公斤 CO₂/季，其次為花蓮市 211.32 公斤 CO₂/季，高雄市為 190.58 公斤 CO₂/季、台中市為 184.78 公斤 CO₂/季，台北市為 169.19 公斤 CO₂/季。

4.3 以 1997~2006 年標準氣象年模擬各地區太陽能發電系統發電量、發電成本與回收時程

一、標準氣象年之氣候因子資料：表35台灣日射量資料庫[5]

表 35 1997~2006 年年平均日射量及年平均溫度統計表(本研究整理)

取 1997 年~2006 年標準氣象年平均資料整理					
	台北市	台中市	高雄市	花蓮市	台東市
年平均日射量 (KW/m ² -day)	2.6	3.2	3.4	2.9	4.1
年平均溫度 (°C)	22.6	23	24.7	23.3	24.3

(本研究整理)

二、模擬對象及發電量之計算與選定之五個案例相同進行計算，可得下表36

表 36 模擬 1997~2006 年太陽能發電系統發電量計算年平均統計表

取 1997 年~2006 年標準氣象年平均資料整理					
	台北市	台中市	高雄市	花蓮市	台東市
年平均日射量 (KW/m ² -day)	2.6	3.2	3.4	2.9	4.1
年平均溫度 (°C)	22.6	23	24.7	23.3	24.3
溫度修正後日射量 (KW/m ² -day)	2.62	3.23	3.4	2.92	4.11
計算日發電量值(KWH)	5.67	7.32	12.73	41.94	59.03
1KW 日發電量(KWH)	1.89	2.32	2.45	2.10	2.96

(本研究整理)

將三種氣象資料做年平均日射量比較(表 37)、年平均溫度比較(表 38)及算出 1KW 之日發電量來做比較(表 39)，可以看出日射量、溫度有逐年升高之趨勢，所以太陽能發電量亦相對升高

表 37 年度氣候與各地區年平均日射量比較表

年度氣候與各地區年平均日射量比較表 (KW/m ² -day)					
	台北市	台中市	高雄市	花蓮市	台東市
2008 年氣象資料	3.04	4.04	4.02	3.38	4.26
2004~2008 年氣象資料	2.96	3.94	3.93	3.39	4.27
1997~2006 年氣象資料	2.60	3.20	3.40	2.90	4.10

表 38 年度氣候與各地區年平均溫度比較表

年度氣候與各地區年平均溫度比較表					
年度	台北市	台中市	高雄市	花蓮市	台東市
2008 年	23.15	23.50	25.13	23.63	24.48
2004~2008 年	23.37	23.56	25.29	23.56	24.71
1997~2006 年	22.60	23.00	24.70	23.30	24.30

表 39 年度氣候與各地區 1KW 日發電量比較表

年度氣候與各地區 1KW 日發電量比較表(KWH)					
年度	台北市	台中市	高雄市	花蓮市	台東市
2008 年	2.21	2.92	2.88	2.43	3.06
2004~2008 年	2.12	2.84	2.82	2.44	3.07
1997~2006 年	1.89	2.32	2.45	2.10	2.96

若以 1997~2006 年之地區 1KW 發電量為基準來探討 2008 年與 2004~2008 年各地區與季節之平均值 1KW 相對日發電量比值的差異，可知台北市 2008 年平均值為基準年(1997~2006 年)的 1.17 倍、2004~2008 年為基準年的 1.13 倍；台中市 2008

年為基準年的 1.26 倍、2004~2008 年為基準年的 1.22 倍；高雄市 2008 年為基準年的 1.18 倍、2004~2008 年為基準年的 1.15 倍；花蓮市 2008 年與 2004~2008 年相同都為基準年的 1.16 倍；台東市 2008 年與 2004~2008 年相同都為基準年的 1.04 倍。可知，各地區在 2008 年與 2004~2008 年對 1997~2006 年標準基準年比較值都相差不多，甚至花蓮市與台東是相同。

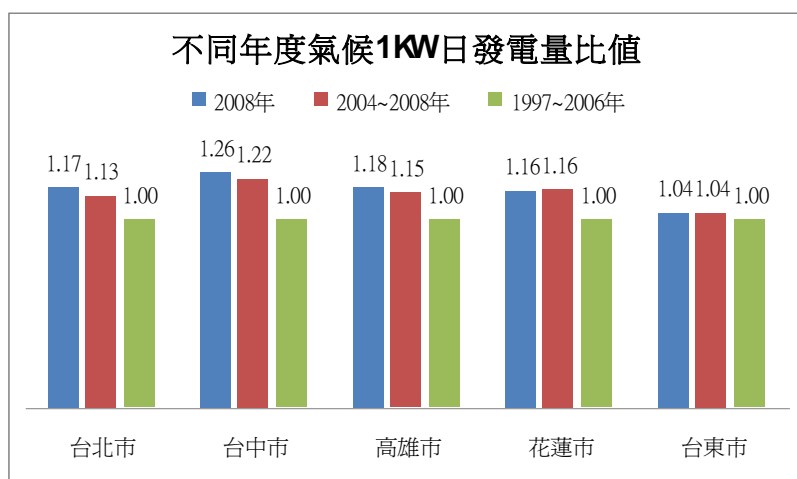


圖 48 各年度氣候 1KW 日發電量比值

表 40 年度氣候與各地區減少 CO2 排放量比較統計表

各年度不同地區 1KWH 減少 CO2 排放量比較統計表(KG/年)					
地區	台北市	台中市	高雄市	花蓮市	台東市
2008 年	512.84	677.4	669.61	564.73	711.36
2004~2008 年	493.14	659.9	654.29	566.96	711.92
1997~2006 年	437.87	539.45	568.3	488.02	686.88

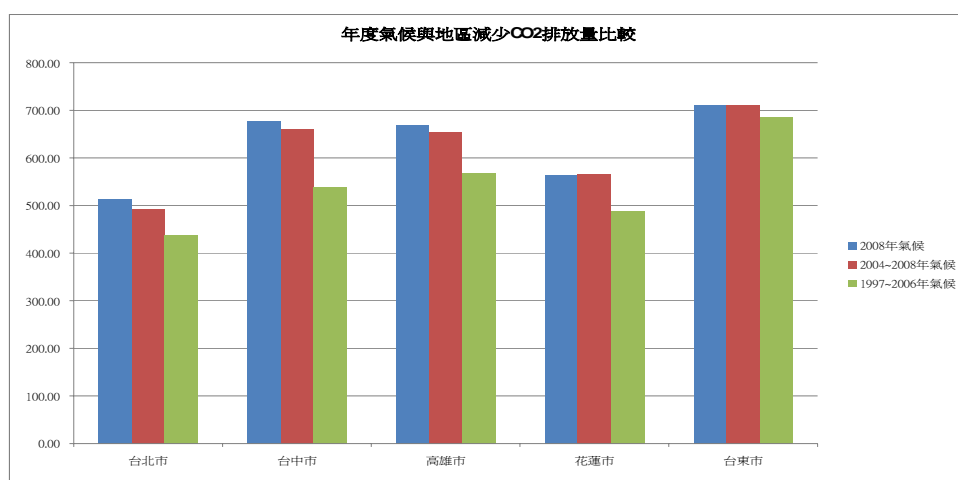
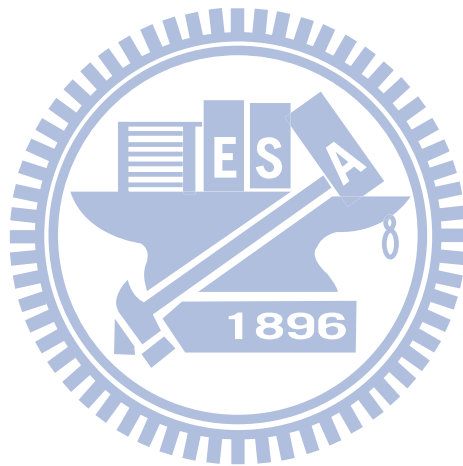


圖 48 年度氣候與各地區減少 CO2 排放量比較圖

在 CO₂ 排放量貢獻部分以三個氣象資料做比較，以 1997~2006 年為基準來探討 2008 年與 2004~2008 年各地區與季節之平均值來做比值的差異，可知台北市 2008 年平均之為 CO₂ 當量為基準年(1997~2006 年)的 1.17 倍、2004~2008 年為基準年的 1.13 倍；台中市 2008 年為基準年的 1.26 倍、2004~2008 年為基準年的 1.22 倍；高雄市 2008 年為基準年的 1.18 倍、2004~2008 年為基準年的 1.15 倍；花蓮市 2008 年與 2004~2008 年相同都為基準年的 1.16 倍；台東市 2008 年與 2004~2008 年相同都為基準年的 1.04 倍。可知，各地區在 2008 年與 2004~2008 年對 1997~2006 年標準基準年比較值都相差不多，甚至花蓮市與台東是相同。



五. 結論與建議

5.1 研究成果與結論

本研究想探討不同社區發展太陽能發電系統其成本效益的評估。首先選取地理位置與氣候條件不同的台北市、台中市、高雄市、花蓮市、台東市已建置太陽能發電系統的住宅或機構為研究對象，並蒐集 2008 年、2004~2008 年五年平均氣象資料，計算各地區太陽能發電系統之模擬發電量、發電成本效益、成本回收時程、二氧化碳減量多寡等項目進行評估分析。並參照 1997~2006 平均氣象年之修正數據，作一客觀之對照比較。依據上述章節的分析，本研究的得到以下幾點成果與結論：

一、 台灣地區過去一年、五年與十年的全天空日射量及氣溫概況：

本研究透過統計，計算台灣地區 2008 年、2004~2008 年的日射及氣溫資料，作為發電量模擬之基礎。發現台灣地區在 2008 年的年平均日射量數據，以台東地區最高，達 $4.26\text{KW}/\text{m}^2$ ，而台北市、台中市、高雄市的年平均日射量都高於 2004~2008 年的年平均值；花蓮市、台東市年平均日射量則相同。但是本研究計算過去一年與五年的年平均日射量數據較 1997~2006 氣象平均年的修正數值為高，台北市、台中市、高雄市、花蓮市、台東市分別多出 16%、26%、18%、16%與 4%。

在氣溫方面，2008 年各地區年平均氣溫，介於 23.15°C 至 25.13°C 之間，2004~2008 年各地區年平均氣溫，介於 23.37°C 至 25.29°C 之間，差距均為 1.9°C 。而 1997~2006 平均氣象年的修正數值，為 22.6°C 至 24.7°C 之間，顯示最近 5 年的年平均氣溫較高。

二、 過去一年、五年與十年各地區 1KW 日發電量比較：

本研究計算台灣地區 2008 年、2004~2008 年各地區 1KW 日發電量，2008 年 1KW 日發電量以台東地區達 3.06KWH 為最高，其他地區 1KW 日發電量則介於 2.21 至 2.92KWH 之間。2004~2008 年也以 1KW 日發電量以台東地區達 3.07KWH 為最高，其他地區數值與 2008 年相似。本研究計算台北市、台中市、高雄市、花蓮市、台東市過去一年與五年的 1KW 日發電量數據較 1997~2006 年平均氣象年的修正數值為高，分別多出 16%、25%、17%、15%與 3%，可推估為日射量較高的緣故。

三、 評估各社區不同季節太陽能發電系統的發電潛力

分析 2008 年、2004~2008 年的氣候統計資料趨勢，台北市、花蓮、台東市的年平均日射量曲線變化呈現山形，日射量在夏季達到高峰，而台中市與高雄市的年平均日射量曲線變化趨勢較為平緩，全年度幾乎都達到 $3\text{KW}/\text{m}^2\text{-day}$ 的水準，從 3 月至 10

月的平均日射量更達到 $4 \text{ KW/m}^2\text{-day}$ 以上。若以日射量強度高於 $3 \text{ KW/m}^2\text{-day}$ 視為發電量較佳的區段，則台北市與台北市、花蓮、台東三個地區，春夏季節較具有發電潛力，可利用於舒緩季節性尖峰用電；而台中市與高雄市則較無季節性限制，全年度都具有具有高度太陽能發電潛能。

另外，觀察 2008 年平均全天空日射量與 1KW 日發電量之統計資料，台中市與高雄市的數值表現一致，分別為 4.04 與 4.02 KW/m^2 ； 2.92 與 2.88KWH ，顯示台中市的太陽能發電系統發電潛力良好，是本實驗較特出的分析結果。

四、評估各社區太陽能發電系統之發電成本效益與回收時程

本研究計算各社區 2008 年、2004~2008 年太陽能發電系統之發電成本，台北市、台中市、高雄市、花蓮市、台東市過去一年的平均電費以台東市為最低， 1KWH 之發電成本為 11.14 元，台中市、高雄市次之，為 11.72 與 11.86 元，花蓮市、台北市之發電成本較高，分別為 14.02 與 15.42 元。2004~2008 年之發電成本，各地區平均電費與 2008 年相似，介於 11.14 致 15.82 元間。設置成本的回收時程，以台東市較短，扣除政府補助 50%後須 43 年方可回收，台北市則須 60 年。

五、分析各社區太陽能發電系統，對二氧化碳減量的貢獻

本研究計算各地區 1KW 之太陽能發電系統一年總發電量換算成 CO_2 當量，2008 年台東市對二氧化碳的貢獻最高，達 $711.36\text{KG}/\text{CO}_2\text{-年}$ ，是台北市($512.84\text{KG}/\text{CO}_2\text{-年}$)的 1.39 倍。2004~2008 年之二氧化碳減量貢獻最高的台東市為 $711.92\text{KG}/\text{CO}_2\text{-年}$ ，與 2008 年相當，但台北市的二氧化碳為 $493.14\text{KG}/\text{CO}_2\text{-年}$ ，降低至 $500\text{KG}/\text{CO}_2\text{-年}$ 以下，其於台中市與高雄市二氧化碳減量之貢獻相當均在 $677.4\text{KG}/\text{CO}_2\text{-年}$ 與 $654.29\text{KG}/\text{CO}_2\text{-年}$ 之間，顯示這兩個地區城市減量潛力相當大。

5.2 後續研究建議

本研究選定台北市、台中市、高雄市、花蓮市、台東市五個地區已建置太陽能發電系統的住宅或機構為研究對象，對各社區在發展太陽能發電系統的成本效益做一初步的模擬與推估，在後續研究方向本研究建議如下：

一、研究對象的設定應更精確與多樣性：

由於本研究期望針對一般社區在發展太陽能發電系統的成本效益進行評估，然而目前已完成「陽光社區」建置的案例不多，研究對象之資料搜尋不易，因而改採以台北市、台中市、高雄市、花蓮市、台東市五個地區，已完成太陽能發電系統建置的住宅或機構為分析對象，關於研究對象的設定部分，有進一步須修正的空間，也是未來繼續努力的方向。

二、氣候資料的確認：

本研究初期規劃能蒐集台灣各地區長期的氣候資料，來對一般社區太陽能發電系統的成本效益進行評估，以提高分析之準確度；但是初步分析由中央氣象局網站紀錄的各項原始氣象資料，卻發現紀錄不全或錯誤矛盾之問題非常嚴重。因此改由購買中央氣象局過去五年的氣候資料，來進行全天空日射量及氣溫概況之分析，以了解最近幾年，台灣地區大量使用化石燃料所造成的空氣污染、溫室效應、資源耗竭等因素是否對太陽能發電系統的發電量造成影響，根據第四章的分析結果，台灣地區過去一年與五年的各項表現，如各地區太陽能發電系統之模擬發電量、發電成本效益、成本回收時程、二氧化碳減量多寡等項目均有一致的變化，但是與1997~2006氣象平均年的修正數值相較，則無一致變化，此部分仍須進一步探究，以確認其原因。

三、推廣太陽電池發電系統之建議：

本研究計算各社區 2008 年、2004~2008 年太陽能發電系統之發電成本，以日射量最高的台東市而言，1KWH 之發電成本為 11.14 元；日射量低的台北市則高達 15.42 元。目前台電以每度電售價 2 元補貼太陽光電系統之發電成本，補助不足，對政府推動太陽能發電系統的建置而言是一大困境，幸而「再生能源發展條例」已通過，未來生產太陽能、生質能、風力、水力等再生能源，政府均能保證收購、獲利及回收成本，應可大幅縮短成本回收年限。

台灣要改變太陽能推廣環境，仍然需要長期政策的配合，例如積極進行新技術研發以提高發電效率、將太陽能設備與建築體結合以增加太陽能吸收面積；此外，都市計畫可朝向低樓層建築與分散式小鄉鎮發展，以增加裝設面積，以達到環保與節能雙贏的目標。

參考文獻

- [1] BP Statistical Review of World Energy 2007
- [2] 梁啟源，98 全國能源會議：「能源管理與效率提升」議題分組分區會議引言報告--政策工具規劃與整合，98 年 2 月 27 日。
- [3] 梁啟源，台日改善能源效率之比較分析與策略研擬，工業技術研究院分包學術機構研究計畫，97 年 3 月。
- [4] 梁啟源，「我國永續發展之能源價格政策」，台灣經濟預測與政策，中研院經濟所，96 年 3 月。
- [5] 何明錦，建築物建置太陽能光電最佳化設計模型之研究，內政部建築研究所協同研究報告，96 年 12 月。
- [6] 歐文生，台灣太陽能設計用標準日射量之研究，中華民國建築學會「建築學報」第 64 期，103~118 頁，2008 年 6 月
- [7] 西澤義昭，1998、02，「太陽光發電初步住宅應用」，理工圖書株式會社。
- [8] 王耀諄等，2000，「太陽能發電與市電饋線擴充之成本分析與比較」，八十九年節約能源論文發表會論文專輯 44-57 頁。
- [9] 邱錦松，2000、07，「太陽能光電系統補助問題探討」，太陽能學刊第五卷第一期 23-26 頁。
- [10] 山口真實，2000、07，「太陽能發電的技術及其應用之現況與發展」，太陽能學刊第五卷第一期 69-91 頁。
- [11] 林憲德、張思源，1987,04，〈建築空調耗能分析用平均氣象年資料之研究〉，國科會計畫編號 NSC75-0410-E006-33，pp.3，台南。
- [12] 張子文，“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，中華民國 89 年，6 月
- [13] 林原慶、王孟傑，2009 年全球太陽光電補助政策與市場概況—歐洲，2009/04
- [14] 康志堅，太陽光電補助政策之探討，2008/03
- [15] 經濟部能源局，<http://www.moeaboe.gov.tw/>
- [16] 太陽光電資訊網，<http://solarpv.itri.org.tw/memb/main.aspx>
- [17] 台灣經濟金融月刊 第 45 卷第 5 期，2009 年