

國內使用太陽能熱水器之太陽分率及所需輔助電能 估算分析

曾喜祥¹ 陳佳群² 張克勤^{3*}

摘 要

太陽能熱水系統技術在國內已相當成熟，多數家戶以安裝平板型太陽能熱水器來產生熱水，本研究以全國30個氣象站之經典氣象年數據作為氣象資料來模擬太陽能面蓋式熱水器，並據以計算太陽能熱水器所配置輔助電熱棒所需電量，及使用太陽能熱水器的太陽分率；此處所指之太陽分率為太陽能熱水器所吸收太陽能與實際洗澡或其他熱能應用所使用熱能二者間之比率。在模擬夏季及冬季之洗澡水時，水溫分別設定40度及45度，若洗澡前儲水桶溫度未達到55度設定值，則啟動電熱棒加熱至設定值。北部地區輔助電熱棒所需年耗電量在1,208到2,041度電間，年太陽分率落在58.9到71.6%間，其中竹子湖與鞍部之耗電量相對最高且太陽分率在59%上下，原因為這兩氣象站位於山區易形成雲霧導致日射量低，環境溫度也低。中部地區年耗電量在630到920度電間，年太陽分率落在78.3到84.8%間。南部地區年耗電量在496到666度電間，年太陽分率落在83.6到87.4%間，而以恆春的年太陽分率87.4%居全國之冠。東部地區年耗電量在633到1,368度電間，年太陽分率落在67.8到84.1%間，其中宜蘭、蘇澳與花蓮因秋、冬之際會受到東北季風的影響，年耗電量因此居高且年太陽分率變低。離島部分因所處地理位置差異大，年耗電量在828到1,656度電間，年太陽分率落在65.5到80.4%間。高山地區年耗電量在1,471到2,872度電間，年太陽分率落在58.4到69.8%間。整體來看，本島的年耗電量/太陽分率呈現中南部低/高於東北部的走向。

關鍵詞：太陽能熱水器，太陽熱能，太陽分率，TRNSYS

1. 緒 論

生活與能源息息相關，全球性氣候變遷也是當代重要的環境議題。行政院於2022年3月公告「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」，提供臺灣至2050年淨零排碳之軌跡與行動路徑，涵蓋「能源轉型」、「產業轉型」、「生

活轉型」、「社會轉型」等四大轉型，及「科技研發」、「氣候法制」兩大治理基礎。

使用再生能源與淨零碳排放已成為國內今後發展的重要趨勢，而其中最具環境親和力之綠色能源包含：太陽能、風能、水力、生質能、地熱、潮汐與洋流等，這其中目前於臺灣最有發展潛力的是太陽能與風能。臺灣位處熱

¹國立成功大學能源國際碩士學程 研究生

²國立成功大學能源研究中心 研究助理

³國立成功大學航空太空工程系 名譽教授

*通訊作者，電話：06-275-7575#63679，電郵：kcchang@ncku.edu.tw

收到日期: 2022年10月31日

修正日期: 2022年12月07日

接受日期: 2023年01月09日

帶與亞熱帶的交界，太陽日射量相對豐沛，故太陽能應用是具較好發展前景的再生能源之一。太陽能的應用主要分為光電及光熱兩大部分，其中太陽能熱水器是最早發展且成功運用之範例。

1.1 國內太陽能熱水器使用現況

太陽能熱水系統為迄今太陽熱能最普及之應用項目，太陽能集熱器主要分為四大類型：(1)面蓋式、(2)無面蓋式、(3)真空管式、(4)儲置式，主要利用能吸收太陽輻射能量之集熱板，並藉由流經集熱板之水接收板面所吸熱後提升水溫，且因水的密度因升溫而下降，形成一個向上的動力(浮力)，構成熱虹吸系統，其構造簡單。唯獨有時太陽日射量的不穩定性(如陰雨天)，必須搭配輔助熱源的電熱棒加熱，確保洗澡前水溫達到理想溫度(張克勤等，2010)。

政府在推廣太陽能利用、增加能源供應及節約傳統能源消費的前提下，經濟部能源局之前身：能源委員會於民國75年1月公佈實施第一期「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」。自政府實施第一期(民國75-80年)太陽能熱水系統推廣獎勵措施後，國內太陽熱能產業持續成長一段時間，但是在民國84年以後，因國內建築業景氣下滑而安裝量隨之減緩，但為因應「聯合國氣候變化綱要公約」之要求及促進我國經濟之持續成長，經濟部能源委員會於民國89年3月公佈實施第二期「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」，再次透過政府之獎勵補助，激勵國人購置太陽能熱水系統，以加速國內太陽能熱水系統的普及應用。經濟部能源局本次太陽能熱水系統補助作業自民國89年起至107年在臺灣本島部分結束，共核撥365,739件申請案、集熱面積1,842,341.89平方公尺，107年只剩連江、澎湖及金門三個離島縣境內安裝之太陽能熱水

系統方有經濟部能源局補助，當年度共受理申請140件，折合1,070.51平方公尺之申請安裝補助量(李清安等，2018)。由89-107年間之受補助安裝統計資料分析(李清安等，2018)，可以看出我國太陽熱能運用仍以家用熱水為主，件數甚至佔了所有受補助件之99.1% (面積比則為94.4%)，其他用途僅宿舍熱水使用在面積上佔4.6% (件數比為0.83%)，其餘用途(如工業製程、溫水游泳池等)不論在件數或集熱面積上之佔比皆不及百分之一。

近年來由於社會風氣崇尚自由、自主，家庭組成也走向小家庭化，大家庭逐步解構，加上少子化，不婚不生的人口增多，雙人或單人戶越來越多，造成總人口數增得少，戶口數卻大幅增多，以至於家庭戶人口數逐年下降，由內政部資料得知近年來平均約3人/戶；此外依據內政部營建署106年12月公布的「104年住宅狀況抽樣調查報告」，統計出有人經常居住住宅數7,289,571宅，可計算出臺灣到107年的太陽能熱水系統安裝率約為5.02%；所安裝太陽能熱水器則是以平板型集熱器最為廣泛(佔所有安裝量約93%) (李清安等，2018)。以目前市場上平板型集熱器產品一人1-1.5平方公尺集熱面積之設計量，以及我國目前市場上主流產品面蓋式集熱器一片約2平方公尺來看，主要安裝太陽能熱水器之規模為一套由儲熱水桶搭配2-4片集熱板所組成。反映在統計數字上，國內太陽能熱水系統安裝大小主要在3-10平方公尺集熱面積之規模，幾乎佔了全數安裝太陽能熱水器之八成5以上。

1.2 太陽分率(solar fraction)

太陽分率在使用太陽能熱水器上的定義為太陽能熱水器所吸收太陽能與實際洗澡或其他熱能應用所使用熱能二者間之比率，若太陽能熱水器所需能量全由太陽能提供，則太陽分率

之值為1；反之，若全由輔助熱源的電熱棒加熱提供，則太陽分率之值為0。因此，太陽分率可用來評估國內各地所具有太陽能環境下使用太陽能熱水器可行性之評估工具。

1.3 模擬分析工具

Transient System Simulation Tool (TRNSYS) 軟體(TRNSYS, 2017)為學術界與業界常用於分析太陽能系統(太陽能熱能和光電系統)的模擬工具。Tiwari *et al.* (2017)使用TRNSYS模擬強制循環太陽能熱水系統，用以評估印度的Ahmadabad地區一年太陽能熱水系統使用情形，並找出最佳化每人所需平板式集熱板面積。Antoniadis and Martinopoulos (2019)使用TRNSYS優化具有季節存儲功能的建築整合強制循環太陽能熱水系統，評估不同太陽能集熱板陣列。該所模擬系統可以滿足希臘Thessaloniki一棟典型建築的總共熱水負載需求的近67%，經過優化後之系統可獲得至少39%的季節性組合太陽分率。Shrivastava *et al.* (2017)的研究認為TRNSYS是瞬態系統仿真軟件，可在5%至10%的誤差範圍內提供與實際運用情形良好的一致性。國內部份，陳雅鈴(2011)使用TRNSYS模擬與驗證中壢地區(緯度25°N，經度121°E)的聚光型太陽光電系統電力性能，並與實際量測的實驗數據做比較。尤冠翔(2011)以電腦模擬研究使用家用自然循環太陽能熱水系統模組串接成大型太陽能熱水系統之性能，結合TRNSYS.16系統模擬程式並輸入臺北、臺中、嘉義、臺南、高雄、花蓮六個地區的TMY2氣象資料，進行動態模擬太陽能熱水系統在熱水使用整年度中所能提供的太陽能負荷比。黃于城(2020)則針對地理差異對臺灣地區太陽能熱水器所需輔助電能影響進行研究，利用TRNSYS來模擬強制循環太陽能熱水系統，以國內2004-2013年間之TMY2數據(張

克勤等，2016)配合TRNSYS內建模型及內建系統參數進行運算。在論文報告最後他提出使用TRNSYS前，其軟體內部分參數設定須配合使用的地區氣候特性先進行驗證，方能確保模擬結果之正確性。

1.4 研究目的

本研究以電腦套裝軟體TRNSYS來模擬計算國內目前安裝使用最多的自然循環之面蓋式太陽能熱水器之運用情形，採用謝宗恩(2022)所建立國內在2004-2018年間經典氣象年版本3(Typical Meteorological Year third edition, TMY3)中的全天空輻射量、環境溫度及風速等資料庫為氣象資料依據，並利用陳佳群(2018)對國內平板太陽能集熱器熱性能測試數據來先行驗證TRNSYS內設定參數，以確保計算結果之正確性。本研究中將進行臺灣本島與離島共30個氣象站進行模擬分析，分析各地區使用太陽能熱水器所需輔助消耗電量之估算研究，藉此估算對再生能源使用具參考價值的太陽分率結果，期望對於國內使用太陽能熱水器之節能與成效有所全盤瞭解。

2. 國內氣象資料與經典氣象年(TMY)介紹

2.1 氣象資料

本研究之氣象資料以中央氣象局全國各地氣象站(參見表1，其分布圖如圖1所示)所提供之觀測資料(如表2所示臺南氣象站2022年9月1日之數據為例)。故每站每年從1月1日至12月31日每小時紀錄，會有8,760筆觀測資料，使用者可至中央氣象局網頁下載氣象資料，或直接向氣象局申購所需年份資料。

表1 中央氣象局各氣象站一覽表(共30站)

站號	站名	海拔高度 (m)	經度	緯度	資料起始 日期	備註
466910	鞍部	837.6	121.5297	25.1826	1943/1/1	
466930	竹子湖	607.1	121.5445	25.1621	1943/1/1	
466900	淡水	19.0	121.4489	25.1649	1942/10/1	
466940	基隆	26.7	121.7405	25.1333	1946/10/1	
466920	臺北	5.3	121.5149	25.0377	1896/8/11	
466880	板橋	9.7	121.4420	24.9976	2002/1/1	
467571	新竹	26.9	121.0142	24.8279	1991/7/1	
467770	梧棲	31.7	120.5234	24.2560	1978/7/1	
467490	臺中	84.0	120.6841	24.1457	1897/1/1	
467650	日月潭	1017.5	120.9081	23.8813	1941/11/1	
467530	阿里山	2413.4	120.8132	23.5082	1933/4/1	
467550	玉山	3844.8	120.9595	23.4876	1943/10/1	
467480	嘉義	26.9	120.4329	23.4959	1968/9/1	
467780	七股	2.9	120.0862	23.1470	2001/11/1	此站於2016/6/1廢止
467420	永康	8.1	120.2367	23.0384	1947/6/1	
467410	臺南	40.8	120.2048	22.9932	1897/1/1	
467440	高雄	2.3	120.3157	22.5660	1931/4/1	
467590	恆春	22.3	120.7463	22.0039	1896/11/20	
467540	大武	8.1	120.9038	22.3557	1940/1/1	
467660	臺東	9.0	121.1546	22.7522	1901/1/1	
467610	成功	33.5	121.3734	23.0975	1940/1/1	
466990	花蓮	16.1	121.6133	23.9751	1910/11/1	
467060	蘇澳	24.9	121.8574	24.5967	1982/1/1	
467080	宜蘭	7.2	121.7565	24.7640	1935/12/6	
466950	彭佳嶼	101.7	122.0797	25.6280	1936/5/1	
467620	蘭嶼	324.0	121.5583	22.0370	1941/11/1	
467350	澎湖	10.7	119.5631	23.5655	1896/11/21	
467300	東吉島	43.0	119.6675	23.2570	1963/1/1	
467990	馬祖	97.8	119.9234	26.1693	2004/1/1	
467110	金門	47.9	118.2893	24.4073	2004/1/16	

資料來源：中央氣象局站況資訊，https://e-service.cwb.gov.tw/wdps/obs/state.htm#existing_station

2.2 經典氣象年資料

經典氣象年資料是對一特定地區長時間之數據經選取後的代表性氣象數據，常用於再生能源、建築等領域效率估算時使用。數據必須在一段年限中分別選取12個各自月份的經典

氣象月(Typical Meteorological Month, TMM)，再綜整列出一整年期間太陽輻射和其他相關氣象資料每小時的代表數值所構成的經典氣象年(Typical Meteorological Year, TMY)。每個經典氣象月代表該地區當月長期觀察之當月代表氣候，在評估該地區太陽能系統運作成效時，

日報表 (daily data) 測站:467410_臺南 467410_臺南 觀測時間:2022-09-01 CSV下載 資料定義請詳見 網頁說明Readme																
	Press		temperature	dew point	RH	WD/WS				Precp		Sun Shine		visibility	UVI	Cloud
觀測時間 (hour)	測站氣壓 (hPa)	海平面氣壓 (hPa)	氣溫 (°C)	露點溫度 (°C)	相對濕度 (%)	風速 (m/s)	風向 (360degree)	最大陣風 (m/s)	最大陣風風向 (360degree)	降水量 (mm)	降水時數 (h)	日照時數 (h)	全天日照量 (MJ/m²)	能見度 (km)	紫外線指數	總雲量 (0-10)
ObsTime	StrnPres	SeaPres	Temperature	Td dew point	RH	WS	WD	WSGust	WDGust	Precp	PrecpHour	SunShine	GlobiRad	Visib	UVI	Cloud Amount
01	1003.5	1006.6	28.6	24.6	79	1.5	80	4.8	360	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...
02	1002.7	1005.7	28.8	24.4	77	1.5	140	4.0	120	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...
03	1002.3	1005.3	28.8	24.4	77	0.9	150	3.3	150	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...
04	1001.5	1004.5	28.3	24.5	80	1.7	160	3.7	150	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...
05	1002.1	1005.2	28.2	24.4	80	1.6	120	3.3	110	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...
06	1002.6	1005.7	27.8	24.2	81	2.9	90	4.7	100	0.0	0.0	0.0	0.01	...	0	...
07	1002.7	1005.8	28.4	24.4	79	1.8	50	4.7	90	0.0	0.0	0.0	0.26	...	0	...
08	1003.2	1006.2	29.3	25.3	79	3.5	30	6.9	40	0.0	0.0	0.4	0.77	12.0	1	9.0
09	1003.1	1006.1	30.1	25.2	75	2.1	40	7.3	20	0.0	0.0	0.2	1.15	10.0	3	10.0
10	1002.5	1005.5	31.6	25.0	68	2.5	320	5.0	310	0.0	0.0	0.7	1.90	...	6	...
11	1002.2	1005.2	31.4	25.5	71	2.9	290	6.1	300	0.0	0.0	0.4	1.80	10.0	6	10.0
12	1001.4	1004.4	32.5	24.0	61	3.0	340	6.2	300	0.0	0.0	0.4	1.82	...	7	...
13	1000.6	1003.6	32.7	24.2	61	6.5	350	11.9	350	0.0	0.0	0.5	2.08	...	8	...
14	1000.6	1003.6	32.4	24.2	62	5.8	350	12.5	350	0.0	0.0	0.1	1.61	10.0	6	10.0
15	999.9	1002.9	31.4	23.8	64	7.8	360	14.2	20	0.0	0.0	0.0	1.45	...	4	...
16	999.8	1002.8	30.9	23.8	66	8.7	360	16.8	10	0.0	0.0	0.0	0.79	...	2	...
17	999.4	1002.4	30.3	23.5	67	9.5	360	17.4	350	0.0	0.0	0.0	0.84	10.0	1	10.0
18	999.6	1002.6	29.6	23.1	68	7.6	10	15.9	10	0.0	0.0	0.0	0.30	...	0	...
19	999.6	1002.6	28.6	22.8	71	8.9	360	15.9	10	0.0	0.0	0.0	0.01	...	0	...
20	999.6	1002.6	28.3	20.6	63	7.9	10	19.4	10	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...
21	1000.3	1003.3	28.2	20.8	64	7.9	10	16.0	10	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...
22	1000.3	1003.3	27.8	21.4	68	9.0	360	17.6	10	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...
23	1000.0	1003.1	27.6	20.4	65	8.8	10	17.4	10	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...
24	999.8	1002.9	27.4	19.0	60	7.7	360	14.5	350	0.0	0.0	...	0.00	...	0	...

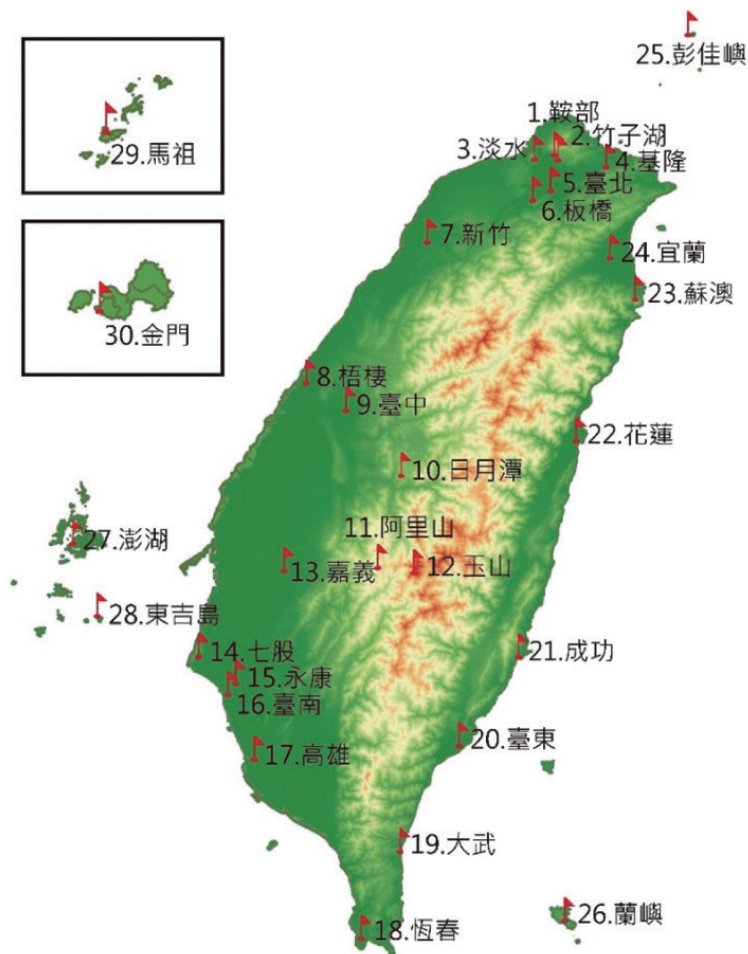


圖1 中央氣象局全國各地氣象站分布圖

可使用經典氣象年資料庫當作評估時的基本氣象資料。由Wilcox and Marion (2008)之報告可知，製作TMY3所需數據年份最好為15年，至少也須有10年以上，用以進行TMY篩選、建構。

本研究採用之氣象資料為謝宗恩所建立國內在2004-2018年間的太陽能資料庫所建立之TMY3經典氣象年論文(謝宗恩，2022)，此數據運用持續性檢測可排除掉具有連續過冷、過熱及連續日射量不足之候選月(極端氣候)，使得數據更居於中位數，詳細篩選、建構方式請參閱謝宗恩論文(2022)。此外，因為七股氣象站已於2016年廢止，因此該站數據將僅採用2004-2016年區間進行篩選。

2.3 氣象站資料篩選與估算

本研究資料以由中央氣象局所提供之各測站氣象資料，並採用其中之全日空輻射量(Global Radiation)與環境溫度(Ambient Temperature)、風速(Wind speed)數據來進行TRNSYS模擬計算。由於中央氣象局各測站偶爾會發生設備故障或維修之情況，在這

些期間數據不會被提供(參見表3)，如表3中之：「-」代表讀數為零、「/」代表資料不明(Unknown)、「X」代表設備故障(Equipment is malfunction)、「9997或-9997」代表讀數異常。以上之情況可能會出現在經典氣象年的數據欄位。在進行數據運算時必須注意將其歸零或以內插法估算來將所有數據欄位文字資料轉成為數字資料，否則TRNSYS套裝軟體將無法進行運算。

3. TRNSYS參數設定與模擬分析

3.1 TRNSYS參數驗證和設定

本研究依據陳佳群(2018)對國內平板太陽能集熱器熱性能測試之研究可知，實際系統熱效率與諸多參數條件有關，例如環境溫度，當環境溫度與系統間溫差越小時，系統熱散失越少。另入射角修正常數(Incidence Angle Modifier (IAM) constant)與集熱板接收太陽光的角度有關，由於臺灣四面環海，水氣豐沛導致

表3 氣象站提供數據異常情況範例

站號	日期	全天空日射量 (MJ/m ²)	站號	日期	全天空日射量 (MJ/m ²)	站號	日期	氣溫(°C)
467490	2004062701	-	467550	2013031801	-9997	467550	2005011501	-10.6
467490	2004062702	-	467550	2013031802	-9997	467550	2005011502	X
467490	2004062703	-	467550	2013031803	-9997	467550	2005011503	/
467490	2004062704	-	467550	2013031804	-9997	467550	2005011504	/
467490	2004062705	-	467550	2013031805	-9997	467550	2005011505	-10
467490	2004062706	-	467550	2013031806	-9997	467550	2005011506	-10.1
467490	2004062707	0.05	467550	2013031807	-9997	467550	2005011507	-10.2
467490	2004062708	0.35	467550	2013031808	-9997	467550	2005011508	-9.4
467490	2004062709	0.91	467550	2013031809	-9997	467550	2005011509	-8.6
467490	2004062710	0.91	467550	2013031810	-9997	467550	2005011510	-7.2
467490	2004062711	1.63	467550	2013031811	-9997	467550	2005011511	-6.4
467490	2004062712	2.33	467550	2013031812	-9997	467550	2005011512	-6.2
467490	2004062713	2.14	467550	2013031813	-9997	467550	2005011513	-5.9
467490	2004062714	1.86	467550	2013031814	-9997	467550	2005011514	-5.4
467490	2004062715	1.92	467550	2013031815	-9997	467550	2005011515	-5.2
467490	2004062716	X	467550	2013031816	-9997	467550	2005011516	-6.8
467490	2004062717	X	467550	2013031817	-9997	467550	2005011517	-8.3
467490	2004062718	X	467550	2013031818	-9997	467550	2005011518	-9.8
467490	2004062719	-	467550	2013031819	-9997	467550	2005011519	-10.2
467490	2004062720	-	467550	2013031820	-9997	467550	2005011520	/
467490	2004062721	-	467550	2013031821	-9997	467550	2005011521	-10.3
467490	2004062722	-	467550	2013031822	-9997	467550	2005011522	-10.5
467490	2004062723	-	467550	2013031823	-9997	467550	2005011523	-10.7
467490	2004062724	-	467550	2013031824	-9997	467550	2005011524	-10.8

漫射率居高，因此可合理將入射角修正係數設定為零。此研究並依據成大能源研究中心太陽熱能檢測實驗室所進行實際檢測驗證，將太陽能熱水氣系統之效率斜率(efficiency slope)定為 $5.953 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ，並依據強(日射量 $> 20 \text{ MJ/m}^2$)、中($13 \text{ MJ/m}^2 < \text{日射量} \leq 20 \text{ MJ/m}^2$)、弱(日射量 $\leq 13 \text{ MJ/m}^2$)三段不同全日空輻射量強度，進行不同系統效率截距(intercept efficiency)參數設定驗證。依據實驗值進行模擬比對之結果整理如表4，並依據各組效率截距相對誤差最小之數據

(表4中底線部分)做為模擬參數設定值，故強全日空輻射量為0.83、中全日空輻射量為0.79、弱全日空輻射量為0.71，TRNSYS太陽能熱水器模擬架構圖，如圖2所示。

3.2 太陽能熱水系統之熱散係數設定

由成大能源研究中心太陽熱能檢測實驗室所進行實際檢測驗證得知，面蓋式平板太陽能熱水系統白天的系統熱散對流係數為 $5.953 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ，但本研究目的為模擬一年的太陽能熱水

表4 不同全日空輻射量強度實驗模擬比對結果

強全日空輻射量不同效率截距模擬誤差									
測試日期	日射量 ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)	初始平均 桶溫 ($^{\circ}\text{C}$)	最終平均 桶溫 ($^{\circ}\text{C}$)	效率 截距 0.82	相對 誤差	效率 截距 0.83	相對 誤差	效率 截距 0.84	相對 誤差
2012/5/1	20.74	38.90	72.96	72.71	0.35%	<u>73.15</u>	<u>0.26%</u>	73.60	0.88%
中全日空輻射量不同效率截距模擬誤差									
測試日期	日射量 ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)	初始平均 桶溫 ($^{\circ}\text{C}$)	最終平均 桶溫 ($^{\circ}\text{C}$)	效率 截距 0.78	相對 誤差	效率 截距 0.79	相對 誤差	效率 截距 0.80	相對 誤差
2018/7/15	15.99	53.79	71.78	71.50	0.39%	<u>71.83</u>	<u>0.07%</u>	72.16	0.53%
弱全日空輻射量不同效率截距模擬誤差									
測試日期	日射量 ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)	初始平均 桶溫 ($^{\circ}\text{C}$)	最終平均 桶溫 ($^{\circ}\text{C}$)	效率 截距 0.70	相對 誤差	效率 截距 0.71	相對 誤差	效率 截距 0.72	相對 誤差
2018/7/4	7.87	51.55	55.88	55.80	0.15%	<u>55.93</u>	<u>0.09%</u>	56.07	0.34%

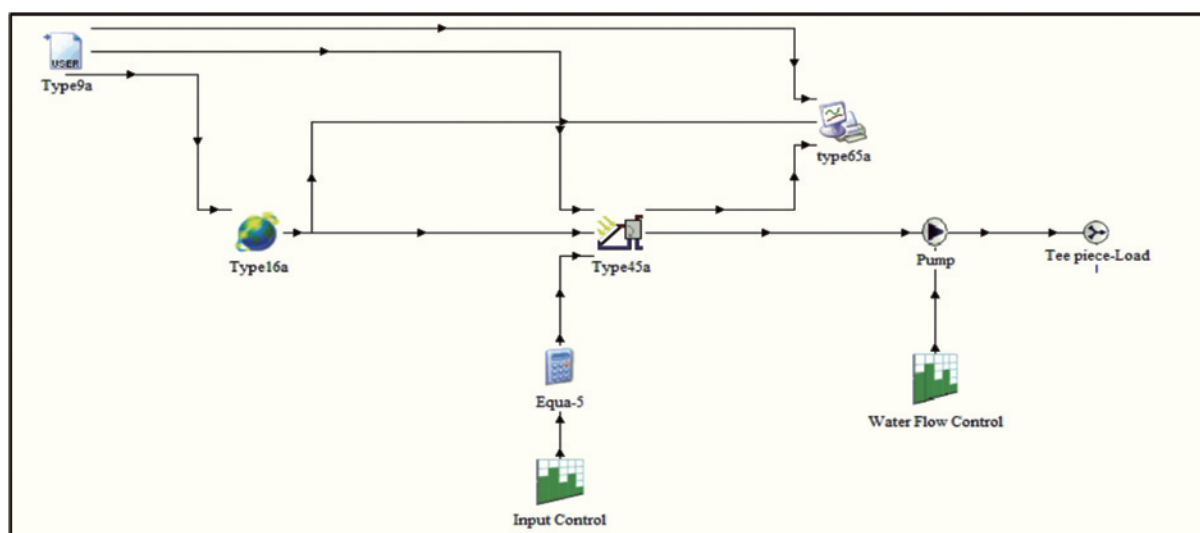


圖2 TRNSYS太陽能熱水器模擬架構圖

系統運作，因此需要考慮到夜晚的熱損失。依據陳佳群論文(2018)中對太陽能熱水器日夜間熱損失研究結果來設定夜間熱損失對流係數如下：

$$\text{If } T_{\text{amb}} < 20^{\circ}\text{C}, h = 0.016 x_1 - 0.041 T_{\text{amb}} + 1.710 \quad (1)$$

$$\text{If } T_{\text{amb}} \geq 20^{\circ}\text{C}, h = 0.007 x_1 - 0.053 T_{\text{amb}} + 2.423 \quad (2)$$

其中： T_{amb} ：環境溫度($^{\circ}\text{C}$)、 x_1 ：風速(m/s)、 h ：夜間熱散對流係數($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

3.3 TRNSYS模擬計算條件值設定

如前所分析，國內家庭目前所安裝使用之太陽能熱水器主要型號其規格為：以裝設2片平板型集熱板居多，其總面積為 3.82 m^2 ，儲水桶體積為300公升，廠商裝設集熱板時斜率通常固定在20度。依據經濟部水利署家庭節約用水技術手冊(2007)資訊，通常一次洗澡時間約8分鐘，用水量能達到50-60公升。以小家庭一家五口(3男2女)為計，每次用水量男生為50公升、女生60公升，可估算每日總需求為270公升，

使用完後儲水桶熱水會有餘溫，留置隔日再加熱使用。Kawahara *et al.* (2005)之研究指出，在 25°C 的浴室中以 39°C 水溫沐浴感到溫暖舒適，而在 14°C 的浴室中以 42°C 水溫沐浴會感到溫暖。考慮到管路與環境溫度的熱散失(夏季熱散失約 $0-1^{\circ}\text{C}$ 、冬季熱散失約 $2-3^{\circ}\text{C}$)，因此本模擬夏季熱水需求溫度設定為 40°C ，冬季則設定為 45°C ，TRNSYS模擬計算條件設定值整理如表5。

3.4 熱水需求溫度對輔助電熱器所需消耗電量之影響

當太陽能熱水器所能加溫之熱水溫度未達到設定溫度時，則須啟動輔助電熱器將之加溫至設定溫度。以下估算提升水溫所需之對輔助消耗電量：儲水桶體積為300公升，水溫每上升一度所需熱量為 $300 \text{ l} \times 1,000 \text{ cc/l} \times 1^{\circ}\text{C/cc} = 300,000 \text{ 卡} = 300 \text{ 仟卡}$ 。1卡為4.19焦耳，換算成增加輔助電能為 $300 \times 4.19 = 1,257 \text{ kJ}$ 。而1度電相當於 $1 \text{ kW h} = 1 \text{ kJ/s} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ kJ} \times 3,600 \text{ s} = 3,600 \text{ kJ}$ ，可換算得需求溫度每提高1度所需消

表5 模擬計算條件設定值

項目	設定值	單位	備註
集熱板面積	3.82	m^2	市售太陽能集熱板2片
儲水桶體積	300	公升	假設每日消耗所需熱水，使用完有餘溫
系統效率斜率	5.953	$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$	
測試流量	0.02	$\text{kg}/\text{s} \cdot \text{m}^2$	The flow rate (per unit collector area) at which the collector efficiency test was performed.
入射角修正常數	0		This parameter is b_0 in the equation $\text{IAM} = 1 - b_0 * S$, where $S = (1/\cos(\text{incidence angle}) - 1)$.
系統效率截距	低日射量 = 0.71 中日射量 = 0.79 高日射量 = 0.83		低日射量 $\leq 13 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ $13 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day} < \text{中日射量} \leq 20 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ $20 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day} < \text{高日射量}$
集熱板斜率	20.0	degrees	集熱板面南的傾斜角度
地面反射率	0.3		若是在草地上為0.2，水泥屋頂為0.3
夏季熱水設定	55	$^{\circ}\text{C}$	4月~9月儲水桶電加熱溫度
冬季熱水設定			10月~3月儲水桶電加熱溫度
夏季洗澡水溫	40	$^{\circ}\text{C}$	儲水桶熱水與環境中冷水，混合後水溫
冬季洗澡水溫	45	$^{\circ}\text{C}$	儲水桶熱水與環境中冷水，混合後水溫
儲水桶加熱時間	18:00-18:59		若儲水桶桶溫未達到設定溫度，即加熱
洗澡時間	19:00-19:59		一家五口(3男2女:男生使用50公升、女生使用60公升)，洗澡水量使用270公升

耗輔助電量為 $1,257/3,600=0.35$ 度電。

依據經濟部能源局公告之貯備型電熱水器中華民國國家標準(以下簡稱CNS) 11010 (2007)規定，合格電熱水器轉換效率為95%以上。本研究考慮電熱損失5%，則需求溫度提高1度會增加輔助電量為 $0.35/(95\%)=0.37$ 度電。

3.5 太陽能分率計算

太陽能熱水系統中太陽所提供的能量(E_{solar})除以加熱至所需熱水溫度的總能量(E_{load})，即為太陽能分率，代表太陽能可以提供該系統運作的能量百分比。分率為100%表示由太陽能提供所有所需的能量。若是太陽能未達到設定水溫所需熱量，則由輔助電熱器(E_{aux})來補充至設定溫度。太陽能分率表示式為：

$$F = \frac{E_{\text{solar}}}{E_{\text{load}}} \times 100\% = \frac{E_{\text{load}} - E_{\text{aux}}}{E_{\text{load}}} \times 100\% \quad (3)$$

3.6 儲水桶及熱水使用量之計算

以太陽能熱水系統儲水桶水溫(T_{tank})與環境溫度(T_{amb})的冷水做混合，計算出洗澡熱水使用量(V_{heat})，針對每日洗澡水總需求為270公升，洗澡需求溫度(T_{mix})夏季與冬季不同，本研究採用夏季40度，冬季45度來計算。計算式為：

$$V_{\text{heat}} = \frac{270(T_{\text{mix}} - T_{\text{amb}})}{(T_{\text{tank}} - T_{\text{amb}})} \quad (4)$$

3.7 自然循環太陽能熱水器設定

本節採用TRNSYS (Type 45a)模組，集熱板吸收太陽輻射用來提高水溫並與儲水桶的水進行自然循環，達到加熱儲水桶水溫的目的，主要設定為集熱板面積 3.82 m^2 、熱損失為 $5.953 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 、集熱板子傾斜20度與儲水桶300公升，其餘設定為本研究所模擬市售自然循環太陽能熱水器之集熱板管路數、桶高、板高、管距與比熱等。

此節另一重要項，沐浴前太陽能熱水器若水溫小於需求溫度設定(夏、冬季皆設為 55°C)時，則須啟動輔助電加熱器，以達到需求水溫。輔助電加熱器與市售相同定為6 kW，目的是在洗澡前水溫不足時，能迅速加熱至設定溫度。

使用端設定一家五口，共使用270公升的洗澡水(夏天40度，冬天45度)，將洗澡前的儲水桶熱水溫度與環境溫度的冷水去做計算，計算出熱水使用量，隨後需補入儲水桶相同使用量的冷水。

3.8 模擬分析範例

本節依據上述的計算條件與設定，先以裝置於臺南地區的自然循環平板式太陽能熱水器為範例，進行日、月及年的所需輔助電能與太陽分率之模擬分析。針對每日19:00 (TMY紀錄時間區段為18:00:01至19:00:00)的儲水桶溫度(T_{tank})比對需求溫度(T_{setting})設定，若發生低於需求溫度，則進而計算每日所需之輔助電能。

以臺南地區經典氣象年1月1日之氣象資料與計算條件設定進行模擬分析，自當日早上7時至晚上8時的模擬結果整理於表6。於18:00時因儲水桶溫度未達到設定輔助加熱棒加熱溫度 T_{setting} (55°C)，如表3-3。若當日18:00儲水桶溫度大於需求溫度時，輔助電熱棒不啟動加熱，則該日將不消耗任何電量。

當月份為1月，冬季洗澡需求溫度 T_{mix} 為 45°C ，實際所需輔助電能計算如下：

- (1) 所需輔助電能 $E_{\text{aux}} = 23,558.38 \text{ kJ}$
- (2) 1度電為 $1 \text{ kWh} = 1 \text{ kJ/s} \times 3,600 \text{ s} = 3,600 \text{ kJ}$
- (3) 換算所需輔助電量為 $E_{\text{aux}} / 3,600 = 6.54 \text{ kWh}$
- (4) 考慮電熱轉換損失5%， $E_{\text{kwh}} = 6.54 / 95\% = 6.88 \text{ kWh}$

計算當日太陽分率步驟如下：

情況1，18:00儲水桶溫度低於需求溫度(如

表6 臺南地區1月1日太陽能熱水器模擬結果及耗電量分析

Date-Time	Ambient Temp (°C)	Global Radiation (MJ/hr.m ² •K)	Average Tank Temp (°C)	Tank Temp setting (°C)	Auxiliary Heat (kJ)	Flowrate to Load (liter/hr)
Jan/1 07:00	13.3	0	13.68	55	0	0
Jan/1 08:00	14.4	0.34	14.19	55	0	0
Jan/1 09:00	15.4	0.62	15.68	55	0	0
Jan/1 10:00	16.8	1.19	18.85	55	0	0
Jan/1 11:00	19.6	1.61	22.64	55	0	0
Jan/1 12:00	20.9	1.98	27.00	55	0	0
Jan/1 13:00	21.5	2.02	31.01	55	0	0
Jan/1 14:00	22.2	1.78	34.10	55	0	0
Jan/1 15:00	22	1.42	36.11	55	0	0
Jan/1 16:00	21.6	0.68	36.39	55	0	0
Jan/1 17:00	20.2	0.17	36.39	55	0	0
Jan/1 18:00	18.8	0	36.39	55	0	0
Jan/1 19:00	18.3	0	55.13	55	23558.38	0
Jan/1 20:00	18.3	0	30.45	55	0.00	199.41

臺南地區1月1日狀況)：

- (1) 無太陽能或輔助電能情況下，輔助加熱棒設定溫度(T_{setting})與18:00的環境溫度(T_{amb})之差異代表總需求能量： $T_{s-a} = T_{\text{setting}} - T_{\text{amb}}$ (1月1日：55–18.8°C)
- (2) 利用太陽能加熱情況下，以18:00的儲水桶溫度(T_{tank})與環境溫度(T_{amb})之差異代表太陽能提供的能量： $T_{t-a} = T_{\text{tank}} - T_{\text{amb}}$ (1月1日：36.4–18.8°C)
- (3) 當日太陽分率 Solar Fraction, $F = (E_{\text{solar}} / E_{\text{load}}) \times 100\% = (T_{t-a} / T_{s-a}) \times 100\%$
- (4) 臺南地區1月1日的太陽分率為 $[(36.4 - 18.8) / (55 - 18.8)] \times 100\% = 48.6\%$
情況2，18:00儲水桶溫度高於需求溫度，取 $T_{\text{tank}} = T_{\text{setting}}$ ，當日太陽分率為100%。

4. 國內使用自然循環平板式太陽能熱水器電熱器輔助耗電量與太陽分率計算結果與討論

本章節依據前述計算臺南地區使用自然循環平板式太陽能熱水器所需輔助電熱棒耗電量及太陽分率的計算式，分別將國內30個氣象站的氣象資料套入經典氣象年TMY3 (表7)所對應之逐時相關氣象數據，再於TRNSYS軟體進行模擬，可計算出各氣象站所屬地區的消耗輔助電量與太陽分率。表8列出各氣象站每個經典月的全日空輻射量，可看出各地區在不同月份之全日空輻射量變化情形。

4.1 國內各地區輔助耗電量計算結果

依地理位置與地形將臺灣分為北部、中部、南部、東部、離島與高山(海拔1,000 m以上)共六區來計算並比較分布全國各地30氣象站使用自然循環平板式太陽能熱水器所需輔助電熱棒耗電量及太陽分率，此處地理位置是依照中央氣象局的劃分方法(2022)，而高山的海拔高度是依據地理學對高山的地義來界定。儲水桶的輔助加熱器的啟動設定在55度，冬季洗澡水溫為45度，夏季為40度，計算結果顯示冬

表7 氣象站經典氣象月篩選年份結果(謝宗恩，2022)

站名	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
鞍部	2006	2010	2009	2014	2012	2016	2016	2009	2011	2015	2012	2007
竹子湖	2011	2012	2015	2009	2014	2014	2004	2013	2016	2013	2005	2013
淡水	2007	2011	2014	2012	2015	2004	2017	2006	2017	2018	2006	2014
基隆	2009	2010	2016	2014	2017	2012	2010	2009	2016	2017	2009	2004
臺北	2013	2011	2006	2004	2017	2011	2018	2012	2008	2007	2018	2006
板橋	2006	2006	2014	2009	2004	2017	2005	2016	2018	2015	2013	2005
新竹	2010	2006	2006	2005	2005	2017	2009	2009	2007	2015	2007	2009
梧棲	2007	2004	2010	2012	2007	2009	2005	2013	2016	2004	2011	2013
臺中	2006	2012	2006	2004	2006	2008	2011	2014	2006	2006	2009	2012
日月潭	2010	2014	2005	2008	2015	2008	2015	2014	2009	2013	2009	2012
阿里山	2005	2015	2011	2008	2015	2014	2016	2016	2007	2006	2015	2016
玉山	2017	2017	2011	2005	2010	2013	2011	2015	2016	2015	2016	2009
嘉義	2013	2017	2007	2007	2006	2006	2012	2013	2004	2005	2016	2016
七股	2006	2015	2015	2009	2014	2005	2015	2009	2011	2006	2010	2008
永康	2018	2018	2006	2005	2008	2014	2012	2015	2007	2012	2012	2012
臺南	2010	2012	2017	2012	2014	2012	2015	2012	2004	2011	2007	2016
高雄	2013	2012	2014	2008	2008	2010	2010	2015	2004	2012	2012	2009
恆春	2005	2012	2004	2017	2015	2018	2018	2016	2006	2005	2018	2017
大武	2006	2016	2009	2004	2006	2009	2009	2018	2004	2005	2004	2009
臺東	2017	2012	2006	2006	2005	2013	2011	2012	2008	2012	2017	2017
成功	2015	2012	2007	2012	2011	2013	2013	2015	2012	2015	2007	2016
花蓮	2013	2015	2005	2010	2010	2007	2012	2016	2011	2015	2018	2010
蘇澳	2005	2006	2007	2016	2008	2008	2009	2012	2011	2017	2016	2005
宜蘭	2017	2011	2009	2005	2011	2008	2010	2012	2015	2015	2013	2006
彭佳嶼	2008	2014	2016	2008	2012	2014	2009	2011	2018	2004	2016	2018
蘭嶼	2007	2012	2006	2014	2013	2014	2011	2009	2016	2016	2006	2015
澎湖	2008	2014	2009	2016	2015	2008	2016	2012	2016	2015	2009	2015
東吉島	2013	2011	2015	2014	2007	2005	2015	2016	2013	2017	2009	2017
馬祖	2018	2016	2010	2009	2008	2005	2005	2004	2004	2009	2014	2004
金門	2006	2014	2004	2010	2010	2014	2005	2006	2004	2005	2014	2008

季(10月至3月)因環境溫度低，耗電量有明顯增加，而夏季(4月至9月)亦可能會因梅雨季節或是颱風造成需啟動輔助加熱棒以達到洗澡的需求溫度的狀況發生，詳細分析結果如下。

4.1.1 北部地區

依TRNSYS計算結果並考慮電熱轉換損失5%，得到北部地區使用自然循環平板式太陽能

熱水器輔助電熱棒年耗電量如圖3。其中位處山區的竹子湖(海拔607.1 m)及鞍部(海拔825.8 m)，氣溫偏低且日射量相對不足，年耗電量大。淡水與基隆因地處東北季風迎風面而多陰雨天，太陽能熱水系統散熱快且日射量較少(見表8)，相對於臺北、板橋及新竹為耗電。

4.1.2 中部地區

表8 經典氣象年篩選個氣象站每月全日空輻射量(MJ/m²) 結果(謝宗恩, 2022)

站名	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
鞍部	179.62	208.55	282.76	349.30	354.37	374.06	494.64	440.12	330.78	248.30	186.55	179.65
竹子湖	164.20	179.73	334.12	218.92	335.81	416.09	342.42	429.70	341.63	253.64	197.38	208.13
淡水	190.44	213.37	308.74	321.57	435.22	441.43	580.70	490.31	469.13	309.13	247.17	200.91
基隆	141.76	178.63	252.12	313.84	397.27	445.67	630.05	565.90	354.30	250.23	173.73	137.00
臺北	186.92	209.80	249.61	371.37	438.10	421.69	547.94	429.09	368.22	273.89	248.54	202.06
板橋	214.77	224.03	257.07	318.59	451.30	434.64	603.76	509.89	419.07	304.32	231.09	189.91
新竹	231.26	224.59	276.61	353.47	422.42	460.72	570.72	506.62	456.43	405.70	270.44	212.41
梧棲	263.62	303.24	374.62	429.72	507.76	486.03	560.38	516.30	471.91	453.63	297.14	281.21
臺中	355.97	332.78	416.85	417.28	484.45	487.79	573.82	496.54	486.37	483.21	376.07	326.58
日月潭	311.97	310.18	342.28	318.25	359.59	390.65	457.56	400.69	367.36	388.29	329.75	276.01
阿里山	359.17	331.43	387.33	379.50	372.37	376.03	408.91	330.54	326.02	374.32	359.04	348.19
玉山	400.85	385.51	456.67	412.03	454.42	471.16	547.76	468.82	411.77	524.81	376.57	394.10
嘉義	351.67	332.32	434.81	474.24	566.83	483.25	550.59	480.96	508.74	469.35	320.19	324.11
七股	380.60	391.62	453.95	439.48	527.92	489.00	579.36	483.06	533.14	459.80	348.86	325.76
永康	336.12	351.04	383.23	445.58	539.81	470.92	511.31	464.71	440.55	461.17	341.67	315.96
臺南	366.81	369.90	482.78	498.13	550.66	537.61	572.01	481.67	457.07	464.28	348.68	350.34
高雄	342.94	363.43	463.19	484.57	548.18	518.64	546.12	488.83	447.62	465.65	329.77	327.45
恆春	335.57	414.00	447.52	486.01	518.02	505.44	523.87	460.64	456.74	449.28	375.64	323.97
大武	276.22	319.26	345.00	411.85	499.42	531.17	551.18	516.73	462.86	434.28	325.72	251.87
臺東	289.65	297.98	338.25	430.25	560.46	588.17	678.33	585.66	484.83	451.15	330.13	302.22
成功	232.33	259.12	296.97	328.47	402.78	561.51	661.58	552.57	488.42	416.07	312.95	256.76
花蓮	201.38	220.22	286.63	303.06	420.74	499.39	623.50	552.67	438.94	342.35	255.14	221.22
蘇澳	166.25	189.63	252.48	332.22	385.58	505.51	581.22	582.96	399.17	273.58	191.91	170.51
宜蘭	171.19	212.05	282.50	337.25	402.22	458.92	630.85	559.38	435.54	277.87	189.70	156.94
彭佳嶼	162.32	186.79	290.64	377.78	477.04	533.40	748.67	663.66	516.22	399.85	230.50	186.63
蘭嶼	219.97	240.67	307.95	364.64	419.61	431.12	541.76	423.75	371.95	368.67	251.38	229.60
澎湖	218.22	235.57	343.08	424.50	498.01	527.09	611.54	529.94	478.05	410.44	278.95	256.43
東吉島	283.88	293.42	380.38	470.03	575.94	532.77	621.03	557.39	510.96	455.64	307.64	261.34
馬祖	195.47	247.70	289.66	358.42	419.64	407.83	601.57	518.26	379.56	339.09	215.17	194.03
金門	287.77	258.95	324.43	384.80	442.75	456.21	622.04	545.34	466.73	417.45	311.93	281.43

圖4為中部地區使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量模擬計算結果。因梧棲位於海線，風勢大造成太陽能熱水系統散熱多，相比於臺中年耗電量也變較多。但跟北部地區相比起來，則因日射量較高(見表8)，年耗電量有明顯的下降。

4.1.3 南部地區

圖5為南部地區使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量模擬計算結果。南部地區相比起來中北部地區日射量更為豐沛(見表8)，年耗電量有明顯下降。恆春地區整年環境溫度高且日射強，因此年耗電量最低。

4.1.4 東部地區

圖6為東部地區使用自然循環平板式太陽能

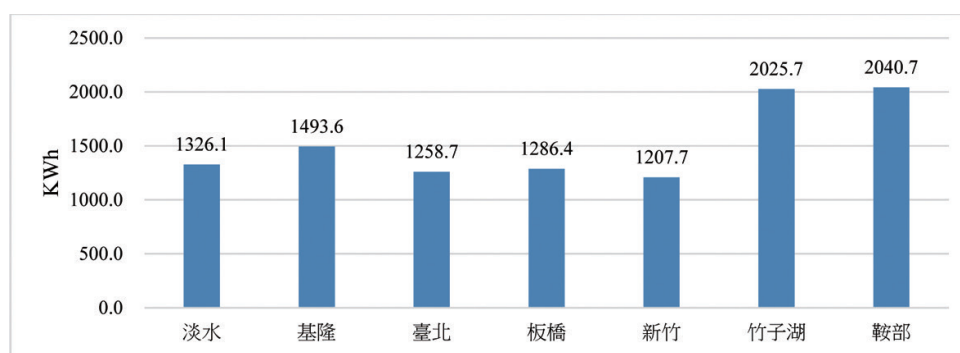


圖3 北部地區使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒之年耗電量比較

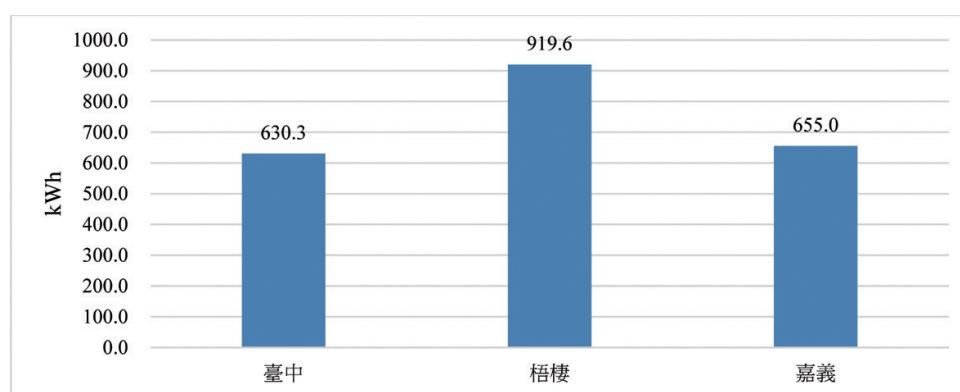


圖4 中部使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量比較

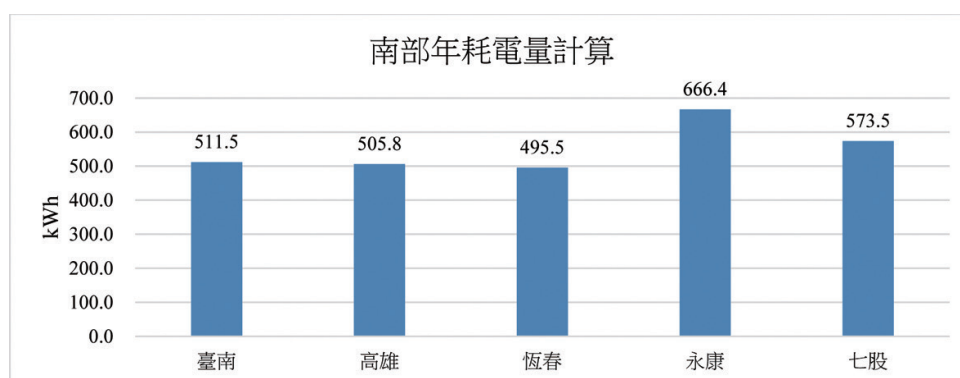


圖5 南部使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量比較

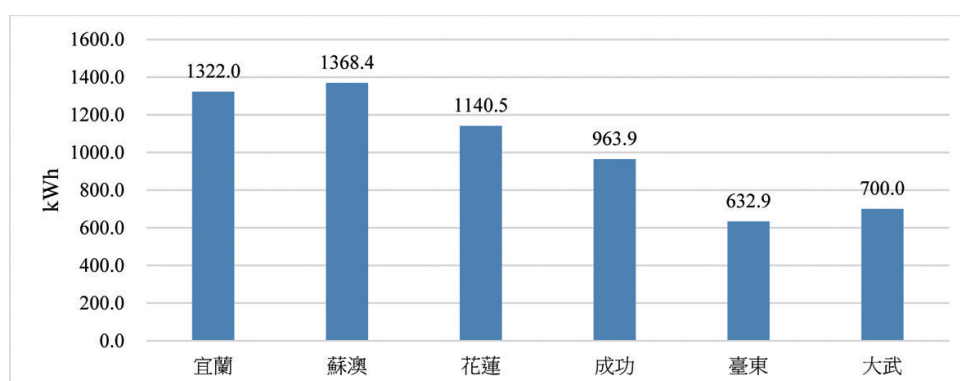


圖6 東部使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量比較

能熱水器輔助電熱棒年耗電量模擬計算結果。花蓮、蘇澳與宜蘭因地處東北季風迎風面因而每年11月至隔年3月多陰雨天，此段時間內太陽能熱水系統散熱快且日射量相對少，因此年耗電量相對變高。

4.1.5 離島地區

圖7為離島地區使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量模擬計算結果。馬祖地區位居國境最北邊，冬季氣溫低且霧季長導致日射量不足，故冬季消耗的輔助電量也較多，導致年度耗電量多。

4.1.6 高山地區

圖8為高山地區(海拔1,000 m以上)使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量模擬計算結果。玉山(海拔3,844 m)與阿里山

(海拔2,413 m)年耗電量均超過2,300度電，尤其冬季玉山環境溫度甚低，導致年耗電量高達2,871.6度電，為全國之冠；位居中部之日月潭(海拔1,017.5 m)之年耗電量1,470度電。

4.1.7 結果綜合分析

圖9綜整全國30站模擬分析年消耗電量結果，可看出國內年太陽能熱水器所需之輔助耗電量由北到南逐漸遞減之趨勢，影響最主要的因子是日射量多寡(表8)與環境溫度高低，尤其是冬季最明顯。所在的地區若位於臺灣東北部的話，會受到東北季風的影響，造成日射量較低，年耗電量也因而會增加。

4.2 國內使用自然循環平板式太陽能熱水器之太陽分率模擬計算結果

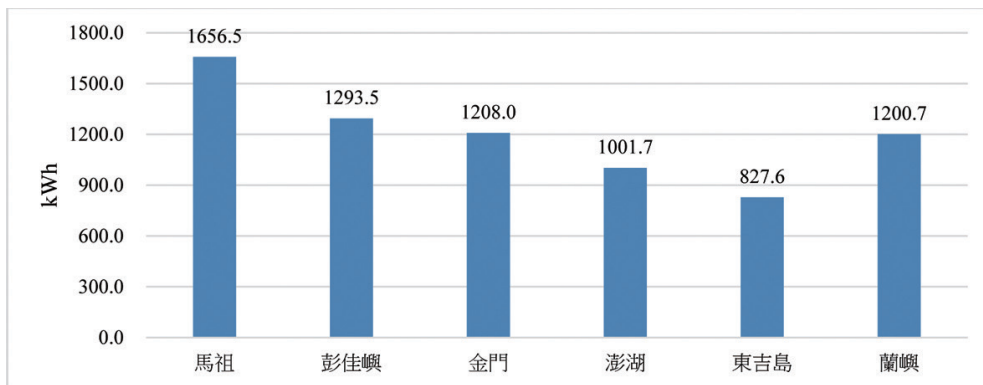


圖7 離島使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量比較

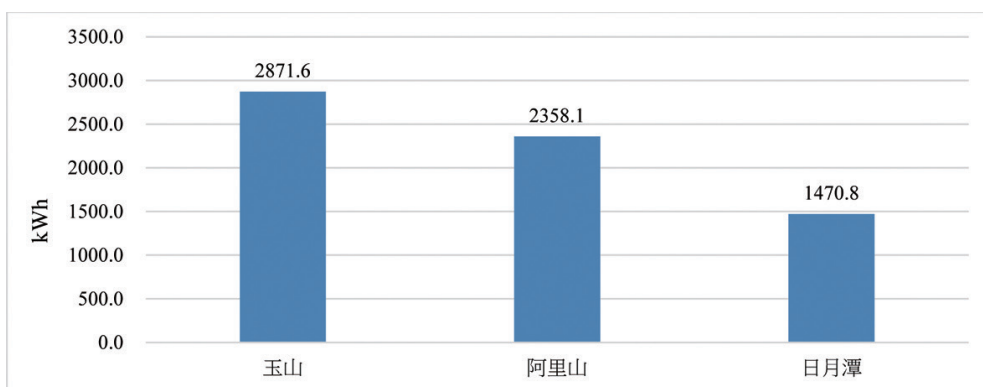


圖8 高山地區使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量比較

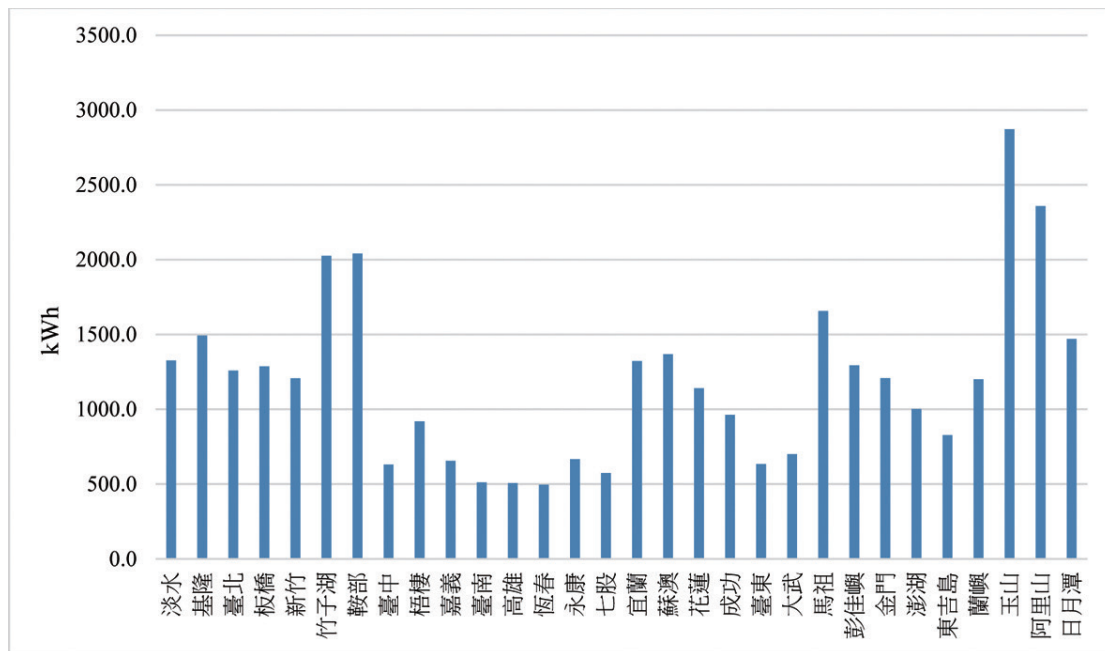


圖9 全國30氣象站使用自然循環平板式太陽能熱水器輔助電熱棒年度消耗電量統計

4.2.1 北部及中部地區太陽分率分析

北部及中部地區整年度太陽分率分析如圖10所示，北部地區的太陽分率大多在69%上下之間，但鞍部與竹子湖則只在59%左右，原因為該兩地氣象站位於陽明山上，山區易形成雲霧導致直射日射量低，同時環境溫度也較低導致太陽能熱水系統散熱快。相對之下，中部地

區的太陽分率都比北部地區還要高。

4.2.2 南部及東部地區太陽分率分析

南部及東部地區整年度太陽分率分析如圖11所示，南部地區的太陽分率大多在83-88%間；東部地區因東北季風造成坐落迎風面的宜蘭、蘇澳與花蓮三處的太陽分率變小，這可由圖12所呈現宜蘭每日太陽分率之變化得到佐

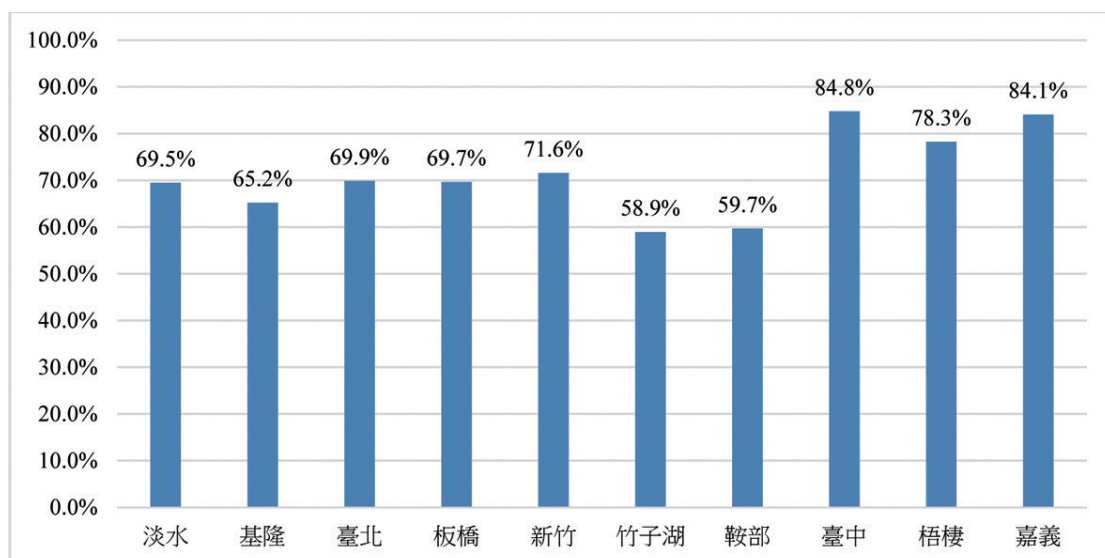


圖10 北部及中部地區使用自然循環平板式太陽能熱水器之太陽分率分布

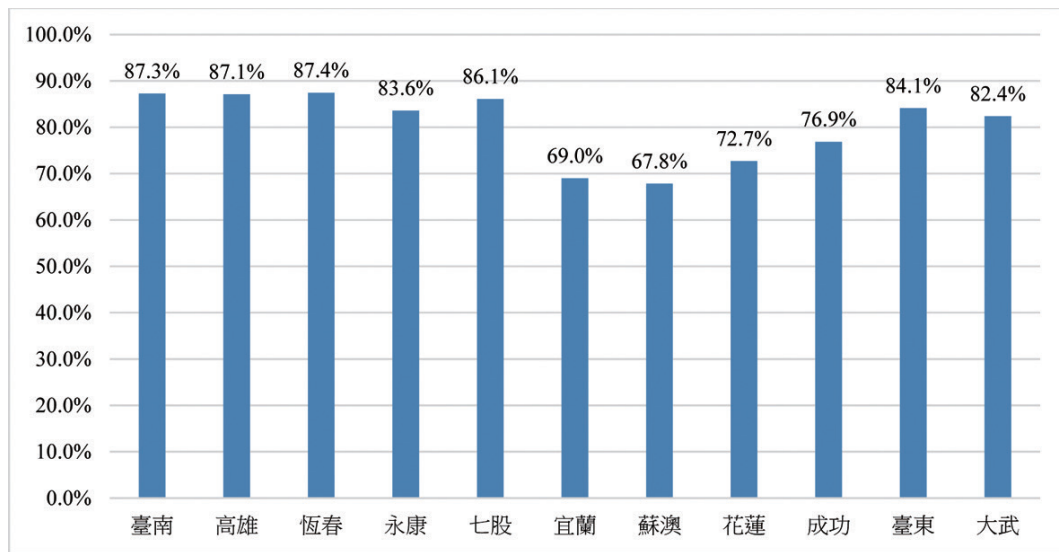


圖11 南部及東部使用自然循環平板式太陽能熱水器之太陽分率分布

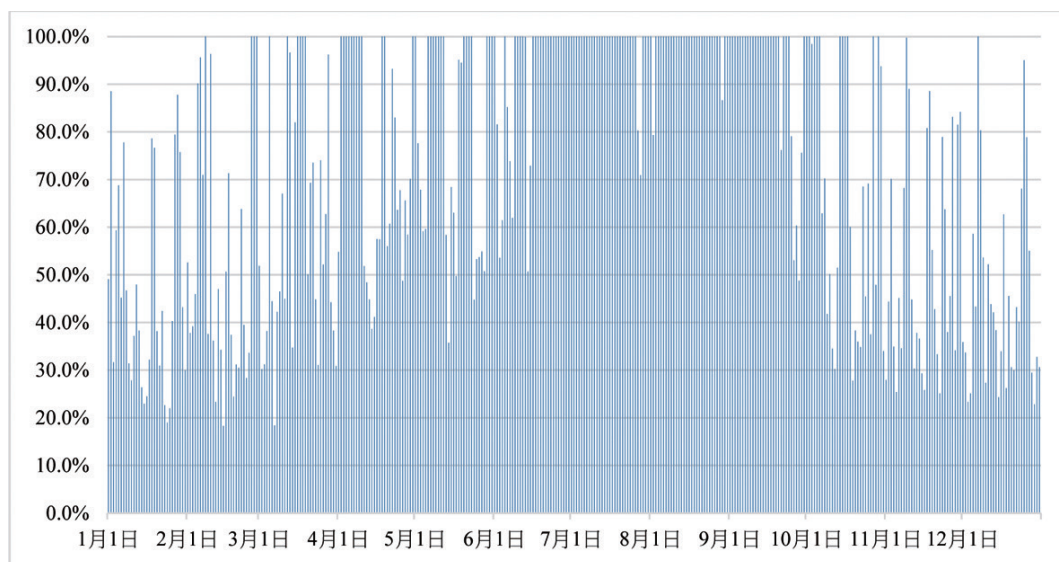


圖12 宜蘭使用自然循環平板式太陽能熱水器之每日太陽分率分布

證：宜蘭冬季時雨天多，導致冬季時太陽分率低，但夏季時的太陽分率也多能達到100%的上限，顯示出本島東北部在夏天使用太陽能熱水器也是有相當良好的效果。

4.2.3 離島地區太陽分率分析

離島地區整年度太陽分率分布如圖13所示，因馬祖位處國境北疆，冬季易起霧且環境溫度較低，造成太陽分率最小。離島中太陽分率最大的為澎湖列島轄內的東吉島(80.4%)。

4.2.4 高山地區太陽分率分析

高山地區整年度太陽分率分布如圖14所示，日月潭(1,018 m)相對於玉山(3,845 m)與阿里山(2,413 m)其海拔較低，因此太陽分率相對較大。

4.3 年耗電量與太陽分率的相關性

以使用自然循環平板式太陽能熱水器年耗電量與太陽分率進行回歸直線分析如圖15所

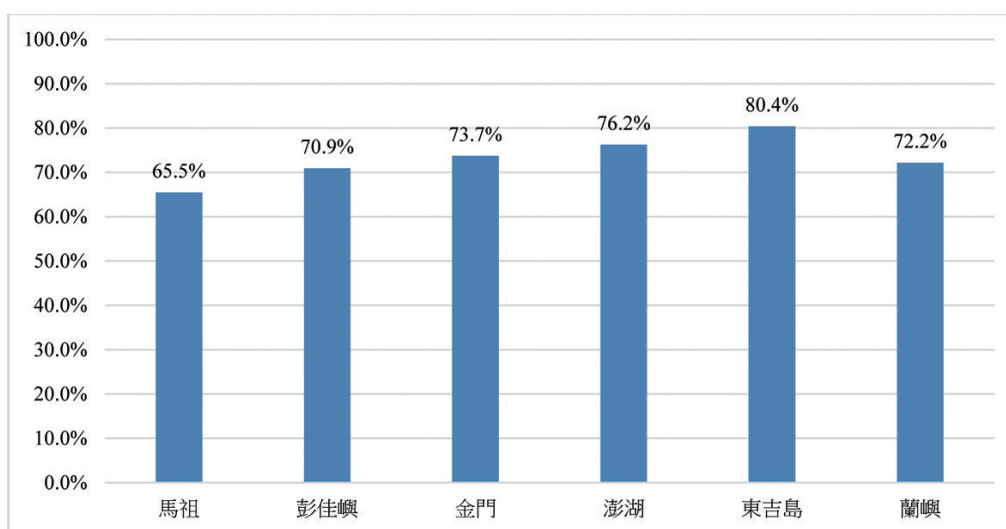


圖13 離島使用自然循環平板式太陽能熱水器之太陽分率分布

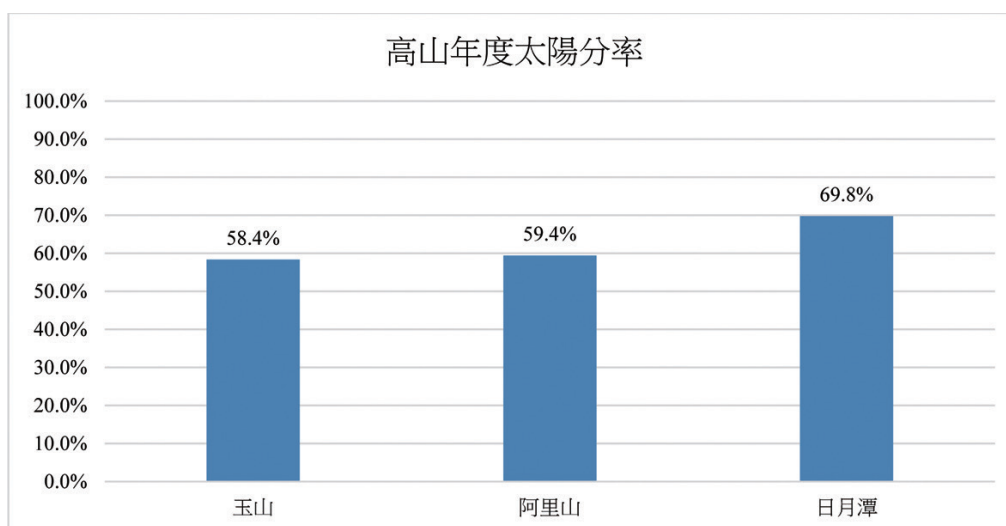


圖14 高山使用自然循環平板式太陽能熱水器之太陽分率分布

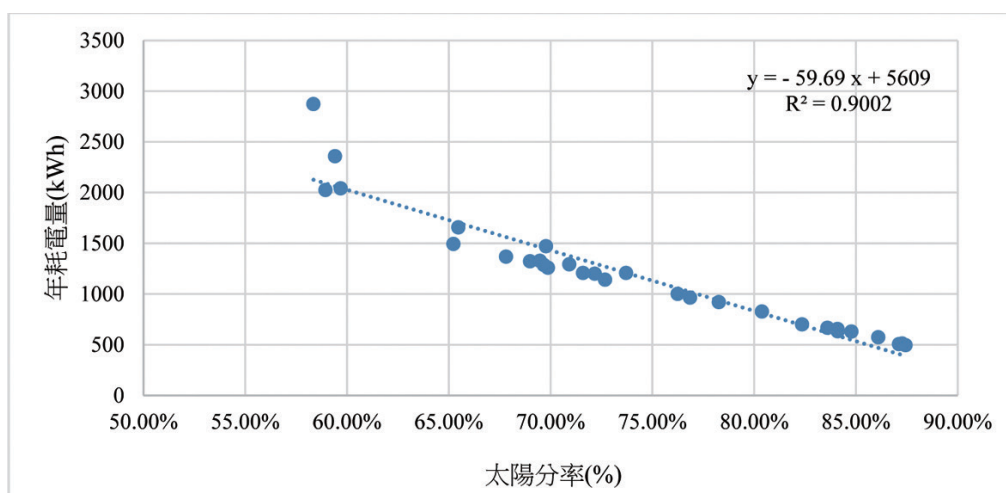


圖15 使用自然循環平板式太陽能熱水器年耗電量與太陽分率之回歸直線分析

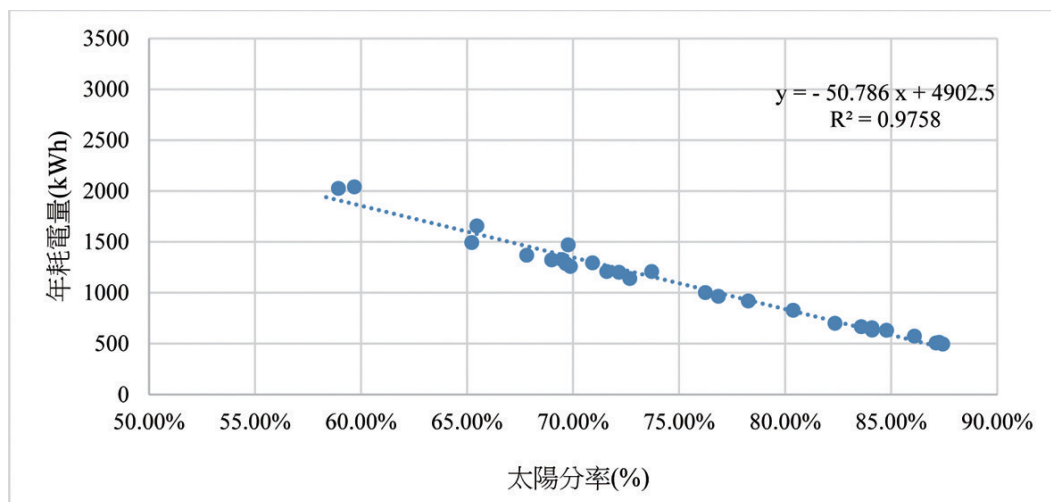


圖16 非高山區(去除玉山與阿里山)使用自然循環平板式太陽能熱水器年耗電量與太陽分率之回歸直線分析

示，發現年耗電量與太陽分率呈現負相關：太陽分率越小輔助電熱器所需年耗電量亦隨之增加。圖中左上角異常高的兩點為玉山與阿里山，海拔高的高山相對於平地，因環境溫度隨海拔高度而快速下降，導致太陽能熱水系統散熱快，熱水儲槽不易保溫，輔助電熱器耗電量亦顯著變高，屬於特殊地理情況。若去除掉這兩個高山異常高點後，回歸直線分析之R平方值亦可從圖15之0.9002提升至0.9758統計關係，如圖16所示。圖16中所分析得之使用自然循環平板式太陽能熱水器年耗電量與太陽分率的相關式可適用於國內一般非高山區來使用。

5. 結 論

TRNSYS模擬太陽能熱水器輔助電熱棒年耗電量的主要影響因子為太陽輻射(日射)量、環境溫度與風速三個因素，而地理位置會大大影響這三個因素。其中日射量決定了太陽能系統水溫上升程度，緯度低相對日射量大；高山地區的低環境溫度則會增大太陽能熱水器輔助電熱棒的年耗電量，且高山地區容易積雲，導致日射量降低；熱水儲槽的使用未完熱水留置

隔天使用，但風速與氣溫會結定夜間熱損失的多寡。

本研究於成功大學歸仁校區的太陽熱能檢測實驗室進行實驗，針對TRNSYS內參數設定值進行分析及驗證。依據實驗結果將日間太陽熱水系統熱損失對流係數參數設定為 $5.953 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ，並另將實驗數據迴歸分析來設定儲水桶夜間熱損失對流係數參數。另依據低(日射量 $\leq 13 \text{ MJ/m}^2$)、中($13 \text{ MJ/m}^2 \leq \text{日射量} \leq 20 \text{ MJ/m}^2$)、高(日射量 $> 20 \text{ MJ/m}^2$)三個不同整日累積之全天空輻射量情況來決定「效率截距」參數值。依實驗數據歸納出全日空輻射量越高下效率截距越高，因此效率截距可由全日空輻射量多寡來決定「效率截距」參數：低全日空輻射量下效率截距為0.71，中全日空輻射量下效率截距為0.79，高全日空輻射量下效率截距為0.83，依此設定值所得運算結果可與實驗中實際儲水桶溫度變化最為相近。

以輔助加熱棒設定 55°C 為啟動條件進行模擬，年耗電量(含電熱損失5%)的結果綜整如下：北部都會區(臺北、板橋、新竹)平均為1,251度電，受到東北季風影響最明顯的地區為基隆，年耗電量為1,494度電；中部地區的梧棲

與臺中，因梧棲的地理位置靠海，海風大造成太陽能熱水系統散熱多，年耗電量為920度電，比鄰近臺中年耗電量630度電還要多；南部地區因緯度較北、中部低，太陽輻射量較高且環境平均溫度也高，平均年耗電量為509度電，尤其是恆春年耗電量僅496度電，是全國30站中最少的；東部地區平均年耗電量為1,021度電，宜蘭、蘇澳與花蓮則是受到東北季風的影響，年耗電量平均為1,277度電；離島地區，全部平均年耗電量為1,198度電，其中位處最北疆的馬祖受東北季風與低溫影響，年耗電量1,657度電為離島中最高。整體來看臺灣本島的東北部年耗電量高於中南部。

依據年度太陽分率來看，除了基隆、鞍部及竹子湖外，北部地區大多位於70%左右，鞍部與竹子湖是受到較高海拔以及山區環境較遮陰率影響，太陽分率約60%。中南部的太陽分率落在78-87%。東部地區年度太陽分率最小的為宜蘭(69%)與蘇澳(68%)，其餘落在72-82%。離島部分太陽分率落在65-80%，位處最北疆的馬祖太陽分率最低為66%。玉山與阿里山的年度太陽分率落在58-59%間，為全臺最小。不論是年度耗量或年度太陽分率，中南部明顯優於其他地區。總的來說，國內使用太陽能熱水器來產生熱水之太陽分率最高之處是位於臺灣最南端的恆春(87.4%)。

年耗電量(y)與太陽分率(x)之回歸直線，去除玉山與阿里山兩處高山區之數據後，可求得 $y \text{ (kWh)} = -50.786 x + 4902$ ，其R平方值為0.9758，式中負的斜率值顯現太陽分率越大，年耗電量越小。

參考文獻

中央氣象局的區域劃分。取於2022年04月15日，<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/P/>

[Rainfall/Rainfall_Area.html](#).

尤冠翔，2011。電腦模擬研究使用家用自然循環太陽能熱水系統模組串接成大型太陽能熱水系統之性能，國立中山大學機械與機電工程學系。

李清安、張克勤與鍾光民，2018。國內第二期(2000-2018)太陽能熱水系統補助作業回顧，國立成功大學能源中心報告。

經濟部水利署家庭節約用水技術手冊，2007。

取於：2022年04月01日，https://www.wcis.org.tw/Home/Home_4.

張克勤、鍾光民與李清安，2010。成功的再生能源運用-太陽能熱水器，科學發展，第446期，44-51頁。

張克勤、嚴偉倫與劉家維，2016。國內2004-2013年間經典氣象年之日射量調查分析，臺灣能源期刊，第3卷，第1期，89-101頁。

陳佳群，2018。國內平板太陽能集熱器熱性能測試之漫射修正研究，國立成功大學航空太空工程系在職專班。

陳雅鈴，2011。使用TRNSYS 模擬與驗證聚光型太陽光電系統電力性能，國立中央大學能源工程研究所。

黃于誠，2020。地理差異對臺灣地區太陽能熱水器輔助電能影響之研究，國立成功大學航空太空工程系在職專班。

謝宗恩，2022。以克利金方法建立臺灣本島經典氣象年太陽輻射量與漫射率之分布，國立成功大學航空太空研究所。

Antoniadis, C. N. and G. Martinopoulos, G., 2019. Optimization of a building integrated solar thermal system with seasonal storage using TRNSYS. *Renewable Energy*, 137, pp. 56-66.
CNS 11010，中華民國「貯備型電熱水器」國家標準。

- Kawahara, Y., M., Nagata, Y., Niimi, C, Miwa and S. Iwase, 2005. Effects of bath water and bathroom temperatures on human thermoregulatory function and thermal perception during half-body bathing in winter. *Elsevier Ergonomics Book Series*, 3, pp. 171-176.
- Shrivastava, R. L., V., Kumar, V., and S. P. Untawale, S. P., 2017. Modeling and simulation of solar water heater: a TRNSYS perspective", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, pp. 126-143.
- Tiwari, A. K., S., Gupta, A. K., S., Joshi, F., A. K., Raval, F., and M. Sojitra, M., 2021. TRNSYS simulation of flat plate solar collector based water heating system in Indian climatic condition. *Materials Today: Proceedings*, 46(11), pp. 5260-5265.
- TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation program), Version 18, University of Wisconsin at Madison, U. S. A., 2017.
- Wilcox, S. and W. Marion, 2008. *Users Manual for TMY3 Data Sets*, National Renewable Energy Laboratory, U. S. A.

Estimation of Solar Fraction and Need of Auxiliary Electricity for Using Solar Water Heater in Taiwan

Si-Sang Zeng¹ Chia-Chun Chen² Keh-Chin Chang^{3*}

ABSTRACT

Application of the solar water heater (SWH) is popular nowadays in Taiwan. The most installed SWHs are of flat-plate type and for household uses. Simulation of a flat-plate SWH is made to calculate electricity need for the auxiliary heating rod and solar fraction using the weather data of a typical meteorological year for thirty weather stations distributed in Taiwan. The bathwater temperatures are respectively set to be 40°C (in summer) and 45°C (in winter). If the water temperature of the hot-water storage tank does not reach the set temperature (55°C) at 17:00 each day, the SWH then turns on the auxiliary heating subsystem to raise water temperature to the set temperature. In the northern Taiwan, the annual electricity consumption and solar fraction are between 1,208 and 2,041 kWh as well as 58.9 and 71.6%, respectively. The annual solar fractions of Zhuzihu and Anbu are around 59% because they are located in a mountainous area with frequent clouds and fog leading to low solar radiation and low ambient temperatures. The annual electricity consumption and solar fraction in the central Taiwan are between 630 and 920 kWh as well as 78.3 and 84.8%, respectively. The annual electricity consumption and solar fraction in the southern Taiwan are between 496 and 666 kWh as well as 83.6 and 87.4%, respectively. Hengchun has the highest annual solar fraction, 87.4% among 30 weather stations in Taiwan. The annual electricity consumption and solar fraction in the eastern Taiwan are between 633 and 1,368 kWh as well as 67.8 and 84.1%, respectively. Hualian, Suao and Yilan are affected by the northeast monsoon and lead to high annual electricity consumptions and low solar fractions. In the outlying islands, the annual electricity consumption and solar fraction are between 828 and 1,656 kWh as well as 65.5 and 80.4%, respectively. The annual electricity consumption and solar fraction in the high mountain areas are between 1,471 and 2,872 kWh as well as 58.4 and 69.8%, respectively. Overall, the average annual electricity consumption/solar fraction is higher/lower in the north-east parts than those in the central and south parts of Taiwan.

Keywords: Solar water heater, Solar thermal energy, Solar fraction, TRNSYS.

¹ Master Student, International Program on Energy Engineering, National Cheng Kung University.

² Energy Research Center, National Cheng Kung University.

³ Professor Emeritus, Department of Aeronautics and Astronautics, National Cheng Kung University.

*Corresponding Author, Phone: +886-6-275-7575#63679, E-mail: kcchang@ncku.edu.tw

Received Date: October 31, 2022

Revised Date: December 07, 2022

Accepted Date: January 09, 2023