



彰濱工業區水面型太陽能發電系統工程概述

辰亞能源(股)公司董事長 / 胡劭德

辰亞能源(股)公司專案總監 / 游祥益

中興工程顧問(股)公司副總經理 / 林根勝

中興工程顧問(股)公司協理 / 余遠添

中興工程顧問(股)公司副理 / 朱玉亭

關鍵字：水面型太陽能電站、浮力型、基樁型

一、前言

為落實減碳目標，邁向低碳社會，政府已將綠能產業列為五大創新產業之一，全力發展低碳綠能的再生能源，以民國114年規劃再生能源發電占比達20%為目標。行政院於105年6月23日成立「能源及減碳辦公室」，協助經濟部完成「太陽光電2年推動計畫」，加速我國太陽能再生能源發電量，力拼2年內達到1.52 GW，以民國114年達成太陽光電規劃20 GW的設置目標。

經濟部工業局為推動政府「促進產業創新」、「改善產業環境」及「提升產業競爭力」等政策，爰辦理「彰化縣鹿港鎮崙海段土地

出租」，提供土地承租人興辦綠能發電計畫。

辰亞能源股份有限公司經由投標程序與收購方式，分別取得崙尾東區臨1號及臨2號土地開發權，預計設置180 MW水面型太陽能電站，本計畫完成後，將成為全球最大水面型太陽能電站，預定於民國109年底完成併聯發電。

二、水面型太陽能電站之發展

太陽能電站除屋頂型、地面型或建築整合型的裝置應用之外，現階段全球亦大力推廣水面型的太陽光電系統技術，包括利用水庫、滯洪池、埤塘、魚塭、淨水場及堤防等



場域，安裝太陽光電系統。截至2018年9月全球水面型太陽能电站總裝置容量已將近1.1 GW，其中最大的設置容量案場國家為中國，其次為日本。目前全球共計約有至少157個水面型电站於25個國家被設立，而全球水面型太陽能系統商已有24家之多，又以法國的Ciel & Terre及中國的SunGrow占大部分市場。

利用水面發展太陽能电站的優點：

（一）提高發電效率

水體具有冷卻太陽能電池板的效果，與在屋頂以相同角度設置的太陽能板相比，水上太陽能板的發電量增加了14%，其原因為結晶矽型太陽能電池板在高溫時發電損失會增大、降低轉換效率，而在水面設置太陽能板發電獨具的冷卻效果將可降低發電損失。

（二）減少水的蒸發與改善水質

太陽能板在水面的遮蔽效果可以有效減少水域水體的蒸發量，還可抑制藻類等水草異常生長的作用，避免造成優養化。

（三）節約用地

土地可留作更高價值性開發，並提升水域空間的經濟價值。

三、工程規劃

本計畫工作事項包含進行電力系統衝擊分析、設置太陽能發電廠裝置容量180 MW、混凝土結構水上設備平台、161 kV變电站及併接至台電電力系統網絡。設置範圍如圖1所示。



圖1 設置範圍

（一）設置地點環境

本計畫區位於彰濱工業區崙尾東區，現況為未填造之潮間帶，高程約EL1.12~2.26。計畫區屬於現代沖積層，以砂性土層及沉泥層或黏土層為主，層次呈交互分佈，於深層的砂土層中則偶夾有礫石，沉泥、黏土層的層次較為複雜且不規律。

沿海之海潮流，大流速成分主要集中在南與北兩主軸方向，其中往南為東北季風風力較大期間之風驅流與退潮流合併所引起的較大流動；往北則是漲潮受洋流之帶動現象。小流速時期則涵蓋較廣，主要是對應到流向轉換時期，漲退潮之流向主要以潮水漲退所引起之東北-西南往復流動，南方之洋流



表 1 浮力型 VS. 基樁型比較表

程序	浮力型		地面基樁型	
現場水文	內海海水	√	內海海水	√
水位落差	4 米	√	4 米	√
連續延伸大小	10 MW	★★★	1 MW	★
錨定(固定)方式	水底鑽錨 鑽孔船隻	★★★	打水泥樁需重型機械	★
固定深度	<10 米	★★★	>10 米	★
纜繩需求	必須	★	非必須	★★★
組裝定位	岸邊組裝船隻拖曳 依照潮汐拖曳	★★★	全水上組裝 材料重運輸難施工難	×
抗風能力	貼近水面 模組開口風壓小	★★★	距水面較遠 水位下降時風壓增強	★
抗震能力	無須依靠地面承載 無須考慮地震因素	★★★	需依靠地面基礎樁支撐 地震震度影響基樁強度	★
維運能力	24 hr 隨時可進入 隨時由浮筒走入	★★★	水位低於 3 米無法維運 設備在高處屬高空作業	×
拆除方式	船隻拖回遷走 安裝拆除程序相同	★★★	拆除拔樁須另行考量 拆除風險高於安裝	×

會使退潮仍有大量往東北之分量。園區海域以半日潮為主，在歷年施測成果可看出近岸水域潮流呈現穩定趨勢，漲退潮水位差異不大，採用之水面型電站設備可正常運作。

(二) 太陽能光電發電設施規劃

1. 浮力型電站

本案場址為內海地形，每日有兩次潮汐漲退起伏，有時潮間帶幾乎呈現乾涸，有時整片都是水域的狀況，依現地環境分析，設置太陽能電站的方式，分為施打水泥樁及水上浮力式兩種施工模式，考量長期的環境共生，本案分別就對環境的衝擊、景觀調和、氣候風險、施工技術可行性及投資效益等，做為選擇設置方式的重要指標。

經評估分析（詳表1），浮力型太陽能電

站的建置方式，因為開挖較小、泥作量體較少，對於環境的衝擊較小。另就施工技術可行性而言，基於本案地質太軟及水位不深之特殊條件，浮力式水面型太陽能電站的設置，不需使用太多大型輻重設備及車輛進入案場施工之考量，較施打水泥樁方式更為可行。

模組與浮筒的組裝，預計於設置區域之岸邊搭設臨時木棧平台固定於岸上後延伸至潮間帶，並依照潮汐排班組裝，水深50公分以上時，即可派小型工作船搭配船外機將已組裝好之陣列，拖拉至預定放置位置後，直接與水底錨定鏈結，即可防止海流對陣列之偏移影響。模組及浮筒組裝示意圖如圖2及圖3所示。

2. 太陽能光電設施規劃

本案臨一地號及臨二地號案場預計分別

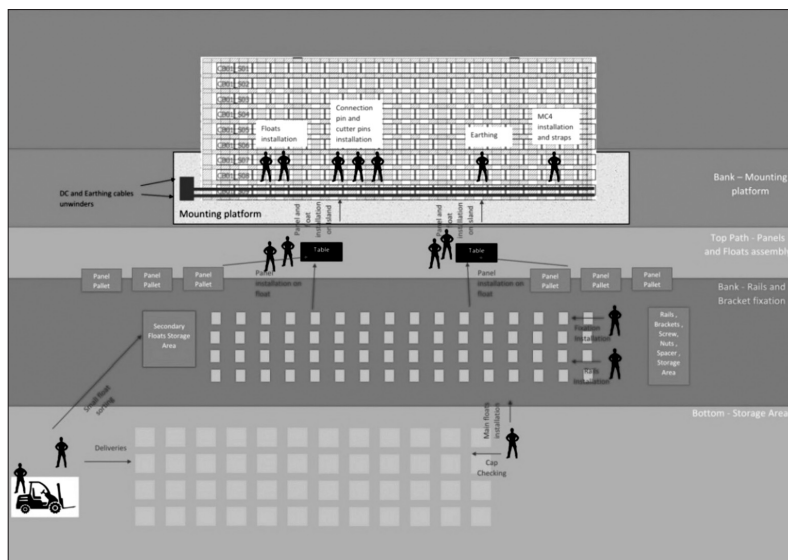


圖 2 模組及浮筒組裝示意圖



圖 3 浮筒水上拖曳作業示意圖

設置太陽能系統裝置容量為88,038.72 kW及92,979.81 kW，採用輸出功率315 W之雙玻模組，配合2套國際大廠生產的1,250 kW變流器及20呎貨櫃做為一單元，每單元負責9,856片模組運作，變流器皆放置於水上固定之設備平台上，水上模組線路串接將整併於直流轉

接箱，為避免線損過高與線路過多的困難，轉接後再將線路拉至設備平台上與變流器連結。

變流器輸出端直接採用戶外油浸式變壓器，昇壓至22.8 kV，經多組環路開關連接後，引接至自設161 kV昇壓變電站後，經地下線路與台電彰濱特高壓變電所之161 kV匯



圖 4 系統配置圖



圖 6 變流器整合貨櫃示意圖

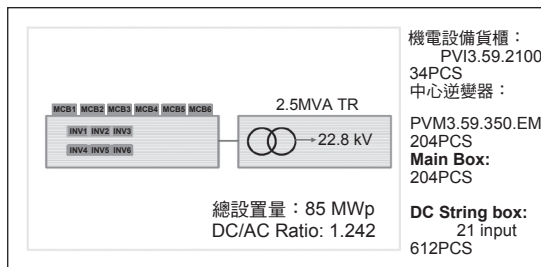


圖 5 太陽能變電設施架構圖

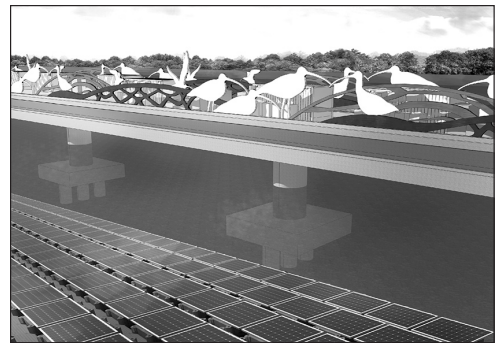


圖 7 設備平台景觀造型示意圖

流排併聯，系統配置詳如圖4~圖6所示。

3. 設備平台及161 kV昇壓變電站規劃

海上設備平台之構想源自於海上鑽油平台的概念與跨海大橋的想法，主要目的即是將太陽能交直流轉換設備與高低壓變壓器放置於模組近端區域的固定平台上，除可放置上述設備外，亦可方便維修更換與車輛進出。設備平台設計為10 m寬之平台路面，兩側可供放置設備外，中間空間尚可供小型車輛進出，並於平台末端設置迴旋區域。

在設備平台上，運用基地海灘退潮時常見的地貌-微微隆起的沙痕地景及波紋，作為立面裝飾元素，並以基地內保育物種大

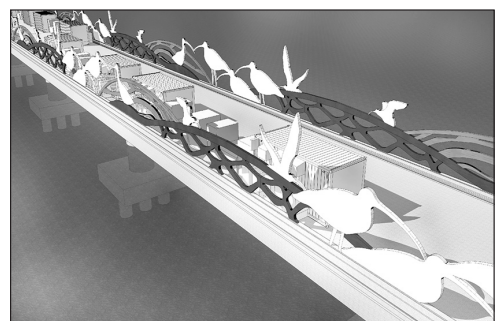


圖 8 設備平台局部景觀造型示意圖

杓鵲冬候鳥為主體意象，規劃設計設備平台之立面，進而融入當地整體景觀意象（詳圖7~8）。



圖 9 昇壓變電站配置示意圖

昇壓變電站以具備太陽能电站教育與太陽能博物館展示之教育功能為規劃設計構想，景觀設計構想與營造理念運用「沙丘、波紋起伏」的設計語彙，結合生態有機體發展形式，營造整體景觀，融入地景。

戶外空間則以太陽能光電園區為發展核心，透過水上展示解說光電設施設計原理、光電能源教學互動，讓參觀者實際感受體驗，強化環境教育及科學技術交流的重要性。整體配置及透視如圖9及圖10所示。



圖 10 昇壓變電站透視示意圖

(三) 克服環境挑戰之技術

1. 如何克服海水環境

針對海水使用的環境，除加強金屬扣件

的防鏽能力，也針對不同的部品提出不同的替代方案，全面性的提昇性能與品質。

例如扣件等金屬物件採用碳鋼加上 RESIN 抗腐蝕層、316 不鏽鋼等；另透過 JIS H 8502 標準之鹽霧測試結果，顯示陽極處理



厚度需大於10 μm ，以確保品質無虞。

2. 如何達到最大抗風等級

本案採用提供法國C & T系統浮筒平台系統，經法國航空航天實驗室(ONERA)風洞測試結果，得出C & T浮動平台能夠抵抗瞬間風速58.3 m/s的結論。

本案浮力式太陽能發電系統之浮動平台及錨定系統結構分析，經依10年回歸期之10分鐘平均基本設計風速37.5 m/s、標的物設置地況、離地高度及用途係數等因素檢討，其相關組件及固定桿件之結構設計，符合建築法規之結構物安全設計規定。

3. 如何使潮汐對太陽能系統的衝擊損害最低

本案水面型太陽能發電系統設置地點屬於半開放海上區域，每日皆有潮汐的漲退變化，週而復始從不間斷，加上每年的颱風及東北季風影響，如採用一般的設計將逆變器及高壓設備放置於水上浮動平台上，從安全的角度，投資建設的初期可省下可觀的成本，但對未來的營運安全性而言是一大的挑戰；經過慎重評估及討論後，決定採用混凝土構造機電平台的方式設計，將主要的重要設備放置於堅固的平台上，有效避免潮汐漲退所帶來的影響，且在颱風季節及東北季風來臨時，不會因強風產生晃動導致線路及固定位置鬆動，造成系統不可回復的損壞，雖然初期的投資成本較高，但就系統長遠的安全性及營運成本角度分析，應可符合投資原則。

其次，本次浮筒錨定系統設計主要採用懸垂式繫纜型態(single point catenary mooring)，從纜繩張力的觀點來看，採用懸垂式繫纜設計時，平台可以隨波浪起伏與縱移之運動，纜繩不易因發生瞬間緊拉現象導

致繩索產生極大的張力而斷裂(breaking)。

四、系統發電效益

本案二案場分別預計設置太陽能系統裝置容量為88,038.72 kW及92,979.81 kW，採用輸出功率315 W之雙玻模組，經電腦模擬(詳圖11~圖14)預期發電效益如表2所示。

表二 系統發電效益

案場別	發電量 (MWh/y)	排碳量 (ton/y)	系統效率
臨1號	118,572	65,569	83.5%
臨2號	125,723	69,524	84.6%

五、結論

水面型太陽能電站的設置技術較為新穎，國人對此技術並不熟悉，但實際上，水面型太陽能電站因具備多項優勢，已受世界各國大量推廣。

本案除積極配合政府發展綠色能源政策，規劃設立太陽能發電的展示空間，提供展示產品及教育素材，並開放現有案場做為參觀教學場地，讓國人可以更加瞭解建置水面型太陽能電站的優勢，以及它兼顧環境生態維護的能力，力求對臺灣社會做最大的回饋。

	PVSYST V5.06	26/04/19 Page 1/3	
彰濱工業區海尾東家-臨1區 陸上電力傳輸處			
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Chang-Bing First Area Case		
Geographical Site	Chang-Bing	Country	Taiwan
Situation	Latitude 24.10N Longitude 120.40E	Altitude	1 m
Time defined as	Legal Time Time zone UT+8	Albedo	0.20
Meteo data :	Chang-Bing, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	New simulation variant		
	Simulation date 26/04/19 03h16		
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 12 deg	Azimuth	0 deg
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)			
PV module	Si-mono	Model REC315TP2M	Manufacturer REC
Array#1: Number of PV modules Total number of PV modules Array global power Array operating characteristics (500c)	In series 22 modules Nb. modules 275968 Nominal (STC) 86930 kWp U mpp 664 V	In parallel 12544 strings Unit Nom. Power 315 Wp At operating cond. 78759 kWp (500c) I mpp 118584 A	
Array#2: Number of PV modules Total number of PV modules Array global power Array operating characteristics (500c)	In series 22 modules Nb. modules 3520 Nominal (STC) 1109 kWp U mpp 664 V	In parallel 160 strings Unit Nom. Power 315 Wp At operating cond. 1004 kWp (500c) I mpp 1513 A	
Total Arrays global power	Nominal (STC) 88039 kWp Module area 466738 m2	Total 79488 modules Cell area 255688 m2	
Inverter	Model SG1250UD Manufacturer SUNGROW	Unit Nom. Power 1250 kW AC	
Array#1:	Number of inverter 56	Total Power 70560 kW AC	
Array#2:	Number of inverter 1	Total Power 1250 kW AC	
Total	Number of inverter 57	Total Power 71820 kW AC	
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor => Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m ² , Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)	Uc (const) 29.0 W/m ² K Uv (wind) 0.0 W/m ² K / m/s	NOCT 45 °C	
Wiring Ohmic Loss	Array#1 0.093 mOhm Array#2 7.3 mOhm Global	Loss Fraction 1.5 % at STC Loss Fraction 1.5 % at STC Loss Fraction 1.5 % at STC	
Module Quality Loss	Module Mismatch Losses	Loss Fraction 2.0 % at MPP	
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter 0.05	
User's needs :	Unlimited load (grid)		

圖 11 臨 1 號案場太陽能發電模擬 (1/2)

	PVSYST V5.06	26/04/19 Page 1/3	
彰濱工業區海尾東家-臨2區 厚面光電傳輸處			
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project : Chang-Bing Second Area Case			
Geographical Site	Chang-Bing	Country	Taiwan
Situation	Latitude 24.10N Time defined as Legal Time	Longitude 120.40E Altitude 1 m	
Meteo data :	Chang-Bing, Synthetic Hourly data		
Simulation variant :	No shading effects		
	Simulation date 26/04/19 03h54		
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt 5 deg	Azimuth	0 deg
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Arrays Characteristics (2 kinds of array defined)			
PV module	Si-mono Model Manufacturer	CS3K-315MS CanadianSolar	
Array#1:	Number of PV modules In series 22 modules	In parallel 13216 strings	
Total number of PV modules	Nb. modules 290752	Unit Nom. Power 315 Wp	
Array global power	Nominal (STC) 91857 kWp	At operating cond. 82757 kWp (500c)	
Array operating characteristics (500c)	U mpp 618 V	I mpp 125300 A	
Array#2:	Number of PV modules In series 22 modules	In parallel 201 strings	
Total number of PV modules	Nb. modules 4422	Unit Nom. Power 315 Wp	
Array global power	Nominal (STC) 1393 kWp	At operating cond. 1259 kWp (500c)	
Array operating characteristics (500c)	U mpp 660 V	I mpp 1906 A	
Total Arrays global power	Nominal (STC) 93250 kWp	Total 295174 modules	
	Module area 453141 m ²	Cell area 274158 m ²	
Inverter	Model SG1250UD Manufacturer SUNGROW	Unit Nom. Power 1250 kW AC	
	Operating Voltage 520-850 V	Total Power 74340 kW AC	
Array#1:	Number of inverter 59	Total Power 1250 kW AC	
Array#2:	Number of inverter 1	Total Power 75600 kW AC	
Total	Number of inverter 60	Total Power 75600 kW AC	
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const) 29.0 W/m ² K	Uv (wind) 0.0 W/m ² K / m/s	
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m ² , Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT 45 °C		
Wiring Ohmic Loss	Array#1 0.068 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC	
	Array#2 5.8 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC	
	Global	Loss Fraction 1.5 % at STC	
Module Quality Loss	Module Mismatch Losses	Loss Fraction 0.8 %	
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter 0.05	
User's needs :	Unlimited load (grid)		

圖 13 臨 2 號案場太陽能發電模擬 (1/2)

PVSYST V5.06

26/04/19 Page 2/3

彰濱工業區海尾東家-臨1區
陸上電力傳輸處

Grid-Connected System: Main results

Project : Chang-Bing First Area Case

Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters

PV Field Orientation	System type	Grid-Connected		
PV modules	tilt	12 deg	azimuth	0 deg
PV Array	Model	REC315TP2M	From	315 Wp
Inverter	Nb. of modules	275968	From total	88039 kWp
Inverter pack	Model	SG1250UD	From	1250 kW ac
User's needs	Nb. of units	57.0	From total	71820 kW ac
	Unlimited load (grid)			

Main simulation results

System Production	Produced Energy	118572 MWh/year	Specific prod.	1347 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	83.5 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 88039 kWp

Left Chart: Globror and T Amb

Month	Globror (W/m²h)	T Amb (°C)
January	81.0	15.12
February	84.3	15.08
March	109.4	17.63
April	127.8	20.48
May	151.8	23.21
June	171.9	24.90
July	207.4	25.70
August	189.4	25.67
September	153.3	24.77
October	127.7	22.86
November	92.0	20.08
December	62.8	16.35
Year	1075.2	21.10

Right Chart: Globror and E-GR

Month	Globror (W/m²h)	E-GR (W/m²h)
January	707920	684377
February	708718	684248
March	859187	825413
April	949309	907039
May	1103666	1030306
June	1294766	1204766
July	1425961	1425961
August	1270009	1270009
September	1158415	1158415
October	1014319	1014319
November	720271	720271
December	476564	476564
Year	1185720	1185720

New simulation variant

Balances and main results

	Globror W/m ² h	T Amb °C	Globror W/m ² h	Globror W/m ² h	Airway W/m ² h	E_GH W/m ² h	E_GH W/m ² h	E_GH W/m ² h	E_GH W/m ² h
January	81.0	15.12	89.3	89.3	707920	684377	17.05	16.93	
February	84.3	15.08	89.3	89.3	708718	684248	16.97	16.86	
March	109.4	17.63	112.4	108.5	809187	825413	16.32	16.50	
April	127.8	20.48	128.2	124.2	949309	907039	16.77	16.83	
May	151.8	23.21	148.3	143.3	1103666	1030306	16.82	16.70	
June	171.9	24.90	168.2	163.2	1294766	1204766	16.92	16.82	
July	207.4	25.70	198.9	194.2	1425961	1425961	16.91	16.82	
August	189.4	25.67	180.8	183.5	1270009	1270009	16.92	16.84	
September	153.3	24.77	158.1	154.1	1158415	1158415	16.86	16.87	
October	127.7	22.86	132.7	133.2	1014319	1014319	16.89	16.75	
November	92.0	20.08	102.0	98.2	720271	720271	16.71	16.74	
December	62.8	16.35	71.2	67.8	476564	476564	16.52	16.56	
Year	1075.2	21.10	1012.4	1059.7	12520219	11807178	16.88	16.78	

Legends:	Globror 7 Field Globror Globror Globror	Horizontal global irradiation Ambient Temperature Global incident on tilted plane Effective GHI, GHI, for 30° tilt and windage	Airway E_GH E_GH E_GH	Effective energy at the output of the array Energy related to the output Eff. Cool array / nough area Eff. Cool array / nough area
----------	---	---	--------------------------------	---

圖 12 臨 1 號案場太陽能發電模擬 (2/2)

UNIVERSITÉ
DE
CAEN

PVSYST V5.06

26/04/19 Page 2/3

彰濱工業區海尾東家-臨2區
厚面光電傳輸處

Grid-Connected System: Main results

Project : Chang-Bing Second Area Case

Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters

PV Field Orientation

PV modules

PV Array

Inverter

Inverter pack

User's needs

System type

Grid-Connected

Model

Nb. of modules

Model

Nb. of units

Unlimited load (grid)

5 deg

SC3K-315MS

295174

SG1250UD

60.0

azimuth

0 deg

From total

92500 kWp

From total

12500 kW ac

From total

75600 kW ac

Main simulation results

System Production

Produced Energy

125723 MWh/year

Performance Ratio PR

84.6 %

Specific prod.

1352 kWh/kWp/year

84.6 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 92500 kWp

Performance Ratio PR

New simulation variant

Balances and main results

	Globror W/m ² h	T Amb °C	Globror W/m ² h	Globror W/m ² h	Energy W/m ² h	E_GH W/m ² h	E-GR W/m ² h	E-GR %
January	81.0	15.12	84.9	81.2	718955	672048	17.48	16.42
February	84.3	15.08	86.7	83.1	730708	688895	17.44	16.39
March	109.4	17.63	111.1	109.8	859148	880745	17.43	16.40
April	127.8	20.48	128.5	129.9	949162	910762	17.38	16.34
May	151.8	23.21	148.8	154.8	1104702	1108768	17.28	16.26
June	171.9	24.90	168.8	168.8	1294048	1230908	17.19	16.19
July	207.4	25.70	199.2	199.2	1427763	1407316	17.13	16.22
August	189.4	25.67	180.5	184.5	1272070	1405297	17.14	16.24
September	153.3	24.77	158.1	151.1	1158251	1225824	17.14	16.23
October	127.7	22.86	132.7	127.5	1014346	1041446	17.22	16.25
November	92.0	20.08	102.0	92.0	720371	720371	17.16	16.15
December	62.8	16.35	71.2	62.8	476564	476564	17.22	16.22
Year	1075.2	21.10	1050.1	1043.7	1257234	1257234	17.22	16.27

Legends: Globror

T Amb

Globror

Globror

Globror

Globror

Horizontal global irradiation

Ambient temperature

Global incident on cell plane

Effective Global, for IAM and shading

Energy

E_GH

E-GR

E-GR

E-GR

E-GR

Effective energy at the output of the array

Energy related to the grid

E-GR: Grid array, roughness

E-GR: Grid array, roughness

E-GR: Grid array, roughness

E-GR: Grid array, roughness

圖 14 臨 2 號案場太陽能發電模擬 (2/2)