

# 太陽光電系統導入建築構造計畫及外殼設計之研究

鄭政利\* 詹肇裕\*\* 徐豪廷\*\*\*

\* 國立台灣科技大學建築系  
e-mail:CCL@mail.ntust.edu.tw

\*\* 華夏工商專科學校建築科  
e-mail:jan@cc.hwh.edu.tw

\*\*\* 國立台灣科技大學建築系  
e-mail:haotingbox@sinamail.com

(收件日期:91年11月29日;接受日期:92年07月10日)

## 摘要

本論文針對太陽光電系統導入建築設計之課題，透過建立實體模型實作安裝，驗證太陽光電板應用於建築外殼構造之可行方式。太陽光電板與建築物外殼構造材料一體化，成為建築物的部份構材或建築材料的一部份，理論上可以減少太陽光電設備設置的成本。建築設計上太陽光電板作為建築外殼構材時，要求必須滿足的建築性能包括安全性、耐久性、防水氣密等，同時必須考量建築之造形、外觀與材質顏色等設計意象之配合。太陽光電系統應用上發電效益固然是重要的基本評估要項，但是以建築規劃設計的觀點而言，現階段投資採用之業者及建築師或設計工程師，皆抽象的附加價值或設計意象表現之配合考量應該不容忽視。本論文結論指出太陽光電板導入建築構造規劃與外殼設計整合，創意性的開發應為優先目標，結合建築物與太陽能組件的可能性相當多，也為有創造力的設計者提供了新的設計意象與造型新構想。

關鍵詞：太陽光電系統、建築構造、建築外殼、設計意象

## 一、前言

我國 1999 年以來推動「綠建築標章制度」以七大評估指標為評定綠建築之標準，其中節約能源是重要的門檻指標之一。台灣地區日照條件良好，尤其是長達半年以上的炎熱夏季，加上國人生活工作對於建築空調冷氣的依賴，全國的空調耗電量持續大幅提高，相當夏季尖峰時段用電經常受到供電不足及限電之苦。台灣地區就建築規劃設計的角度來看，考慮將太陽光電系統導入建築應用並與建築外殼造型及構造系統結合，將是值得深入探討評估之課題。隨著全球能源枯竭，二氧化碳溫室效應以及地球臭氧層破洞等環境問題的惡化，地球環境保護之課題日益受到重視，而太陽光是取之不盡用之不竭的乾淨能源，為了地球環境的永續發展，開發應用太陽能及其他再生能源也是全球重要之課題。過去十年以來，歐美、日本等許多先進

國家政府紛紛鼓勵將太陽能系統導入民生供電用途，做為建築之輔助電力系統；安裝太陽能光電板在屋頂或外牆上，或將太陽能光電板與建築外殼構造結成一體，成為建築外殼非承載性構材，同時也可取代部分建材之使用，除了設備與構造之改良以外，也同時創造新的建築造型樣式與環境景觀。雖然國外先進國家已經有許多開發經驗與案例，但是國內建築師或設計工程師實際導入建築設計的應用而言，仍有許多本土性之課題尚待探討[11]。

本論文將從建築設計角度，探討太陽能光電板導入於建築構造及外殼設計之整合應用，主要研究目的說明如下：

- (1) 分析檢討國內一般建築物普遍之外殼構造方式，以及設計上太陽能光電板應用於建築外殼構造之可行方式與本土性相關問題。
- (2) 建立實體模型檢討實作安裝之實際問題，驗證太陽能光電板應用於建築外殼構造之可行方式。
- (3) 探討太陽能光電板結合建築外殼規劃設計之可行評估，整理建築設計上導入設置應用之相關注意事項。

本研究首先以文獻整理方式，探討建築設計上導入太陽能光電板應用於建築外殼構造之可行方式，包括建築物屋頂、外牆、遮陽裝置等構造部位。其次係以實驗方法實作太陽能光電板應用於建築外殼構造之安裝，分別選定代表性之建築構造型式與可結合部位之光電板安裝，建置光電板應用之實體模型，最後檢討建築規劃設計作業中，太陽能光電板整合應用設計之相關問題與注意事項。並且提出太陽能系統建制之程序。

## 二、文獻回顧

隨著太陽能系統應用技術的成熟，將太陽能系統導入民生供電用途做為建築之輔助電力系統，已逐漸為一般民眾所接受，建築師在建築規劃中也逐漸將其納入為設計上考量評估之設備項目之一。太陽能光電板可以架空方式安裝在屋頂或以吊掛方式安裝在外牆上，或將光電板與建築外殼構造結成一體，成為建築外殼非承載性構材以取代部分建材。近年來國外有關光電板應用於建築外殼構造實作之相關文獻不少，關於外牆吊掛式光電板之空氣層熱流性能實驗研究者[14,15]，已明確驗證得光電板與外牆之間空氣層內垂直自然熱對流有助於降低光電板表面溫度，如此亦可提升光電板發電效率，並且光電板可以降低外牆熱傳透率，有助於減少空調冷房負荷。另外，也有部份研究學者集中於進行關於光電板發電效益實測與推估之研究[18]。至於建材一體型光電板之開發研究課題，歐美國等先進國家已有相繼研究開發之應用構件發表[17,20]，包括：屋瓦用、屋面板用、玻璃帷幕牆用、金屬帷幕牆用之建材一體型光電板等；由日本經實驗結果，一體型光電板可以符合熱漲冷縮量、氣密性、水密性、抗風壓力等日本法定之建築構造性能試驗[20]；同時研究結果顯示，光電板與建材結成一體型構件，是降低太陽能光電系統設備成本之有效對策之一。目前太陽能光電系統應用於建築外殼構造之發展趨勢[4,17]，包括太陽能電池尺寸配合建築模組設計，太陽能電池接合元件之隱藏化與最小化，接合元件與旁通二極體之整合，小型分散式線形直交流轉換器之應用等等。

國內目前有關於太陽能系統應用於建築構造與設計之既有研究文獻[13]，曾探討國內建築

法亦對太陽能光電系統設置之法規可行性，分析太陽能光電系統與建築設計、構造與設備之界面整合之問題。在發電效益方面，成大碩論曾以弦式模型理論推估將建築設計上應用光電板於各方位斜面時之光電板逐月發電力，這些研究大多以文獻整理及理論方式推估探討，比較缺乏實作驗證[10]。另外，作為建築構造材料或外牆構材的功能上，光電板架空方式安裝或吊掛方式安裝，也有助於降低光電板表面溫度，可提升光電板發電效率，並減少建築外殼熱得。總而言之，太陽能光電板與構造結合成建材一體方式，理論上可降低太陽光電設備成本，同時又有創造新的建築造型潛力。筆者研究團隊曾針對太陽光電系統應用於建築外殼之發電效益進行實證評估，建立太陽光電系統之簡易效益評估模式，並實測不同方位、傾角斜面太陽電池之發電量加以驗證，唯當時研究並未探討太陽光電系統與建築構造之界面[11]。本論文將延續該研究成果，針對國內建築師或設計工程師實際導入建築設計的應用角度，探討太陽光電系統導入建築構材結合應用之可行性相關課題。

### 三、太陽光電板應用於建築外殼構造方式之分析與實作

太陽光電板應用於建築外殼構造之方式，依外殼部位別大致上可區分為應用於建築物屋頂，包括架空安裝型、屋頂建材一體型、光電板替代入窗玻璃型。其次是應用於建築物外牆，包括外牆吊掛型、建材一體型、替代窗玻璃型，以及應用於建築物外牆的遮陽雨庇裝置，包括水平遮陽、垂直遮陽等[6]。本章將分別就光電板應用於建築屋頂、外牆、遮陽裝置構造之方式及實作檢討予以分析闡述。

#### 3-1 光電板整合屋頂構造之分析與實作

##### 3-1.1 光電板整合屋頂構造之分析

屋頂構造設置太陽光電板之型式可分為三種，包括光電板架空安裝於屋頂層上，光電板與屋頂建材一體型，以及係以光電板作為入窗使用等，如圖 1 所示。

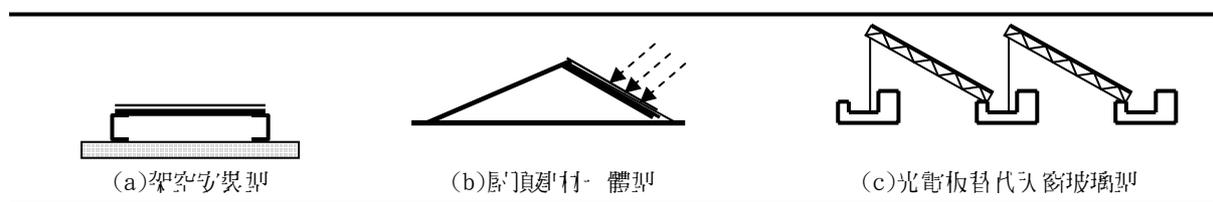


圖 1 光電板應用安裝於屋頂之方式

##### 3-1.2 光電板整合屋頂構造之實作

在太陽光電板應用於屋頂上之實作方式，本研究採用輕型鋼製桁架做支撐材，以架空方式安裝於屋頂，將單晶硅太陽光電板置放於桁架中，利用光電板之外框以螺絲與鋼製桁架做接

式採用可動式，如圖 2 所示。一般建築物應用多將相架固定於屋頂板，此種型式是較容易設置之類型，太陽能光電板背面與屋頂板之間留置 15 公分左右間距，除了線路安排之考量外，可以避免太陽光電板緊貼於屋頂上導致板面溫度過高而降低效率，並且有助於降低外殼傳透熱。

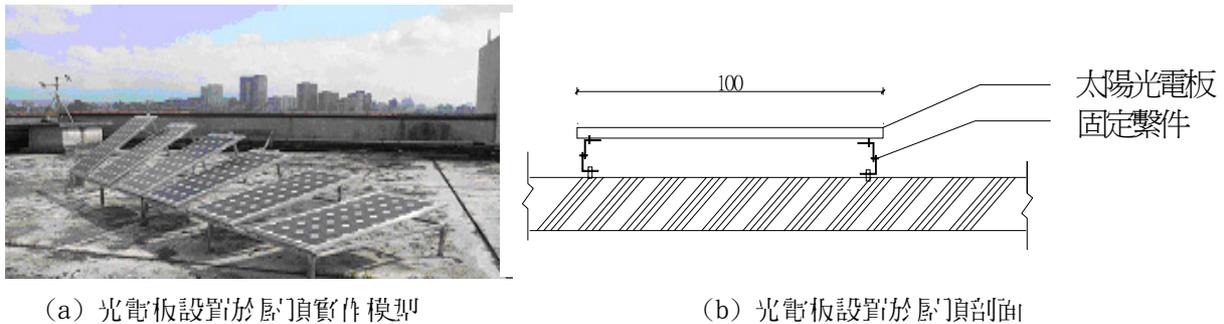


圖 2 太陽能光電板設置於屋頂實作與構造大樣

### 3-1.3 光電板整合屋頂構造之實作檢討

依據太陽能光電板應用於屋頂上之實作經驗，提出應用上需注意之事項如下：

- (1) 太陽能光電系統設計時，需先評估屋頂上光電板之可裝置面積。
- (2) 設置位置應避免受屋突或鄰棟建築物等之陰影遮蔽。
- (3) 設置方位應選擇南向較佳，傾斜角度以當地緯度為傾角較佳；傾斜安裝方式有助於利用雨水自淨光電板板面，避免積塵。
- (3) 光電板安裝相架可以採自由調整傾斜角度方式，方便於因應季節日赤緯變化，調整光電板之傾斜角度以收受較多日射量；
- (4) 光電板應與屋頂樓板保持適當距離，以方便施工及促進光電板散熱。
- (5) 光電板支撐架與基座安裝施工時，避免破壞屋頂防水層。
- (6) 光電板直接安裝於屋頂上相較於安裝於其他部位是比較施工容易，且安裝位置選擇之自由度較高；理論上，光電板安裝可以降低外殼受日射熱，有助於降低建築物外殼耗能量。
- (7) 新建之建築物可考慮採用光電板與屋頂建材一體型，如天窗型式、屋瓦型式等，有利於降低建築成本。

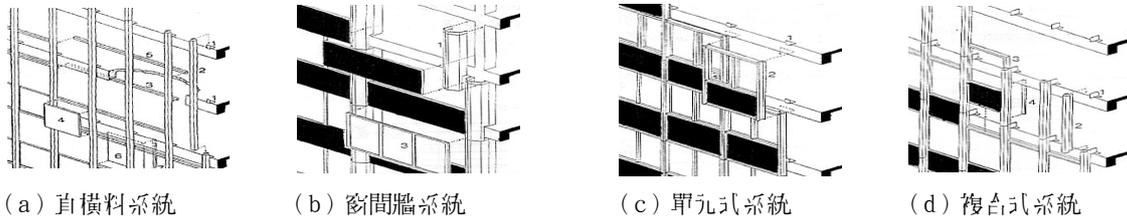
## 3-2 光電板整合建築外牆構造之分析與實作

### 3-2.1 建築外牆構造方式分析

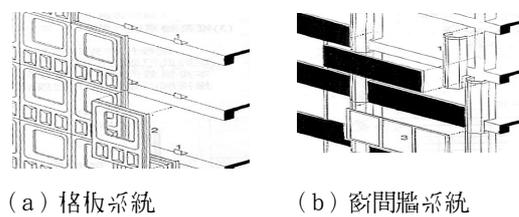
太陽能光電板應用於外牆構造之方式，以本性質一般建築之構造方式整合太陽能光電板設備而言，大致上可區分為應用於帷幕牆與應用於鋼筋混凝土外牆兩類。建築帷幕外牆工法依其組立型式之不同，可區分為直橫料系統、窗間牆系統、單元式系統、格板系統及複合式系統。隨著設計創意之巧思，加上帷幕牆構法之日新月異，建築實務上應用之帷幕牆種類相當多元，從材

料觀點及系統組立型式兩方向，本論文根據文獻[9]將帷幕牆系統整理如圖 3 所示，實際應用案例概要則如圖 4 所示。

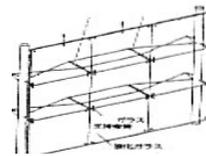
1. 金屬帷幕牆



2. 預鑄混凝土帷幕牆



3. 玻璃帷幕牆



4. 石材帷幕牆

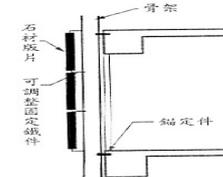


圖 3 帷幕牆系統分類(取自文獻[13])

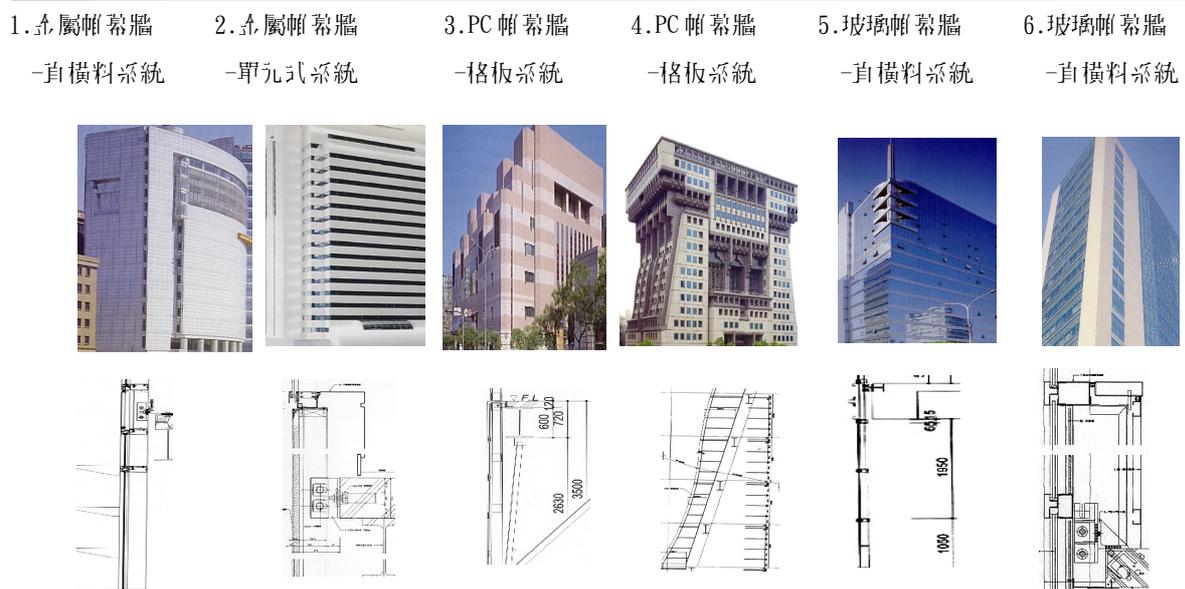


圖 4 各種帷幕牆系統案例(整理自文獻[14])

3-2.2 光電板整合建築外牆構造之分析

1. 光電板應用於帷幕牆構造之方式

太陽光電板安裝於金屬帷幕牆、預鑄混凝土帷幕牆及玻璃帷幕牆之方式，包括以金屬鐵件將光電板外掛於帷幕牆外，或將光電板與帷幕牆構造結合成建材一體型，以及由光電板取代部分帷幕牆面飾材。至於配電線路則可由光電板背側安排，再由垂直收邊將線路拉至管道間或天花板，以及以光電板取代部分帷幕牆面上開窗部玻璃材之方式，如圖 5 所示。帷幕牆部分構

材以太陽光電板取代之方式，國內目前尚有其實用上之困難，主要是帷幕牆構造有其嚴謹之性能測試規範與驗證制度，因此以構件外掛於混凝土帷幕牆外側之方式目前較為可行。依國家標

準對於帷幕牆之性能測試要求項目，包括防火性能、層間變位吸收性能、氣密性能、隔熱性能、隔音性能等。由日本已有太陽光電板通過日本帷幕牆測試之案例[20]，性能試驗種類包括：溫度伸縮量、氣密性、水密性、抗風壓性能等，顯示國外以光電板作為建築物外牆材料已經有成熟之發展。國內既有之建築物外牆，以鋼筋混凝土外牆所佔比例較高，其本身具備有防火、隔熱及隔音之性能，於其外側安裝之光電板無須經過性能測試即可安裝，所以初期以混凝土外牆應用方式之可行性較高。

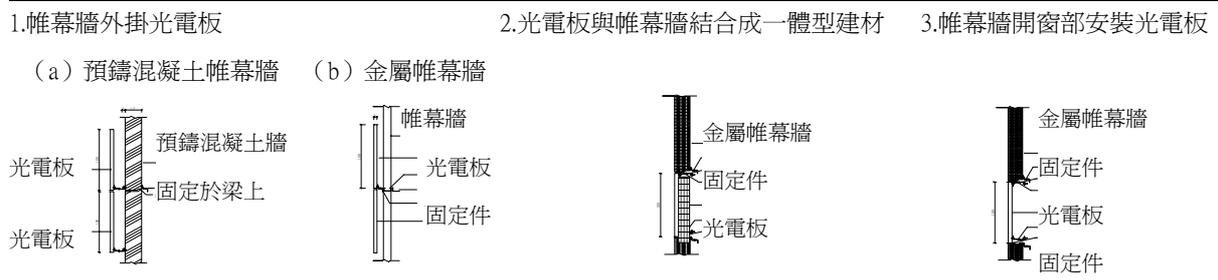


圖 5 光電板應用安裝於帷幕牆構造之方式 (本研究繪製)

## 2. 光電板應用於鋼筋混凝土外牆構造之方式

鋼筋混凝土外牆安裝光電板之型式可分為兩種，一是直接外掛安裝於外牆不透光部位，此種方式對於既有建築物安裝上較容易，可增加外牆之熱阻係數提高隔熱性能，有助於降低建築物外殼耗能量。另一種是安裝於透光部位，此種方式可降低既有建築物開口部之透光率，也有助於降低建築物外殼耗能量，但是相對的也降低開窗部之視覺穿透性，規劃設計上必須同時考量，如圖 6 所示。

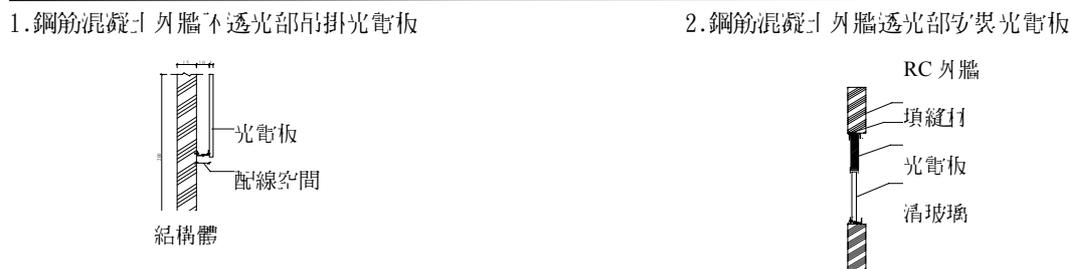


圖 6 光電板應用安裝於鋼筋混凝土外牆構造之方式 (本研究繪製)

### 3-2.3 光電板整合建築外牆構造之實作

#### 1. 外牆外掛光電板型之實作

本研究牆面外掛型太陽光電板應用之實作模型安裝於大樓實驗塔立面，採用角鋼焊接於 H 型鋼上，再將角鋼與光電板之外框以螺栓做接合。分別於東南向及西南向方位各設置 10 片單晶系光電板，如圖 7 所示。輸電配線由樓梯間之開口部引入集線盒及實驗量測裝置處。外掛型是較容易安裝之設置類型，既有建築物外牆安裝光電板，建議可採用外掛方式，可外掛於鋼

筋混凝土外牆上或預鑄帷幕牆上。

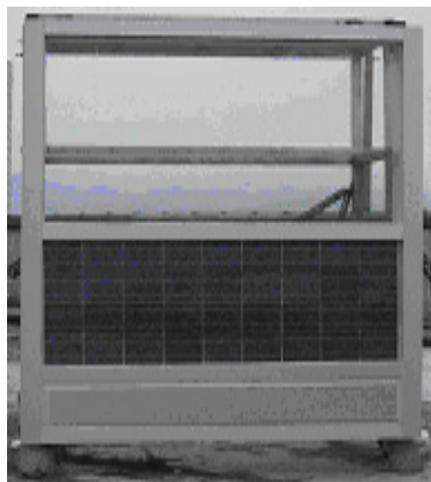
## 2. 帷幕外牆建材與光電板一體型之實作

太陽光電系統導入建築構造計畫及外殼設計之研究

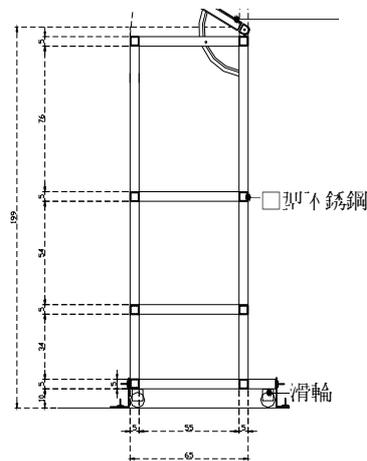


圖 7 光電板外掛於外牆構造之實作模型

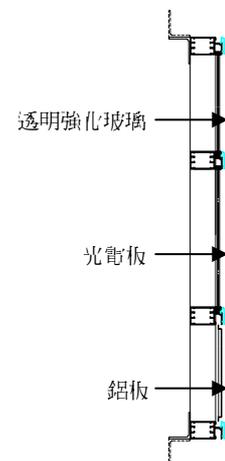
結合鋁帷幕牆與太陽能光電板之施工技術，本研究建立實驗性光電板結合鋁帷幕牆之實體模型如圖 8 所示，方位朝向南方。以不銹鋼架模擬建築物結構體之樓板與橫樑，光電板是鋁帷幕牆單元面裝飾材之一部份，而帷幕牆則吊掛於不銹鋼架上。帷幕牆尺寸是 173.5cm(H)×131cm(W)，台座高度皆為 90 公分，台座上方安裝 8mm 厚透明強化玻璃；光電板本身不透光，因此設計安裝於台座下方位置做為牆面裝飾材。實作模型帷幕牆與多晶硅光電板結合，多晶硅之太陽能光電板高度 53 公分，台座下方剩餘部份則設置金屬鋁板飾面，固定上藉 L 型角鐵接合鐵件，將鋁帷幕牆以螺栓及焊接接合方式安裝於不銹鋼架上。



(a) 光電板結合帷幕牆實作模型裝置



(b) 不銹鋼架剖面



(c) 鋁帷幕牆剖面

圖 8 光電板結合帷幕牆成建材一體型實作模型與構造大樣

### 3-2.4 光電板整合建築外牆構造之實作檢討

依據太陽光電板應用於外牆上之實作經驗，提出應用上需注意之事項如下：

#### 1. 外牆外掛光電板型

無論是外掛於混凝土外牆上或外掛於帷幕外牆上，外掛型光電板背面與外牆之間應留置 10 公分左右間隔，有利於安排配電線；理論上，也有助於利用自然通風使光電板散熱，避免

光電板因溫度過高而降低發電效率；另外對於建築物降低外殼耗能量亦有幫助。

## 2. 帷幕外牆建材與光電板一體型

42

設計學報第8卷第3期

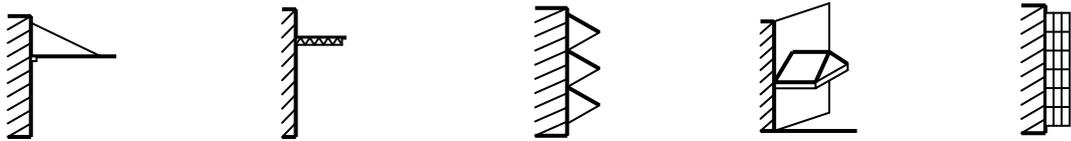
- (1) 太陽光電板製品出廠時，其板片周圍不可以鋁框封邊，應採兩層玻璃封裝，如此才可安裝於帷幕牆鋁擠框溝槽內。
- (2) 光電晶片 (cell) 以玻璃封裝時，光電晶片 (cell) 距離玻璃四周應有 2 公分以上間隔，如此當玻璃嵌入鋁擠框溝槽內時，光電晶片不至於被鋁擠框遮蔽。
- (3) 光電板與帷幕牆結合其施作方式與玻璃相同，厚度應低於 2 公分以下。
- (4) 光電板背面之收納盒位置應距離玻璃外周 2 公分以上，如此才可將光電板安裝於帷幕牆鋁擠框溝槽內。
- (5) 選擇適當之光電板模組尺寸與形狀，以配合建築立面開窗尺寸與間隔。
- (6) 考慮建築立面外觀設計，選擇適當之光電板顏色與材質。

### 3-3 光電板整合遮陽雨庇構造之分析與實作

#### 3-3.1 光電板整合遮陽雨庇構造之分析

光電板應用於遮陽裝置可以有各種之型式，分別為水平固定式、傾斜固定式、垂直固定式、水平可調式、傾斜可調式；做法上可採用金屬材料與光電板組合設計而成。水平固定式光電板之安裝，又分為懸吊式以金屬線斜拉光電板，以及桁架式以桁架支撐光電板。另有傾斜固定式，或可作為入口處雨遮使用或垂直固定式之做法。可調式安裝又可分為水平、垂直可調式遮陽板，分別如圖 9 所示。

#### 1. 光電板固定式安裝



(a) 懸吊式水平遮陽 (b) 桁架式水平遮陽 (c) 傾斜式遮陽裝置 (d) 雨遮裝置 (e) 垂直遮陽裝置

#### 2. 光電板可調式安裝

(a) 可調式垂直遮陽裝置 (a) 可調式水平遮陽裝置



圖 9 光電板應用於遮陽裝置之型式 [1, 7, 12]

#### 3-3.2 光電板整合遮陽雨庇構造之實作

本研究設計模擬光電板應用於遮陽裝置上，結合方式是將光電板放置於不銹鋼製遮陽桁架上，遮陽桁架安裝於前述不銹鋼架之頂部；不銹鋼架皆朝正南方位，遮陽桁架為可調傾斜角度

方式，光電板面朝正南向可調整斜面傾角自 0° 至 90°，安裝光電板之遮陽桁架如圖 10 所示。

### 3-3.3 光電板整合遮陽雨庇構造之實作檢討

太陽光電系統導入建築構造計畫及外殼設計之研究

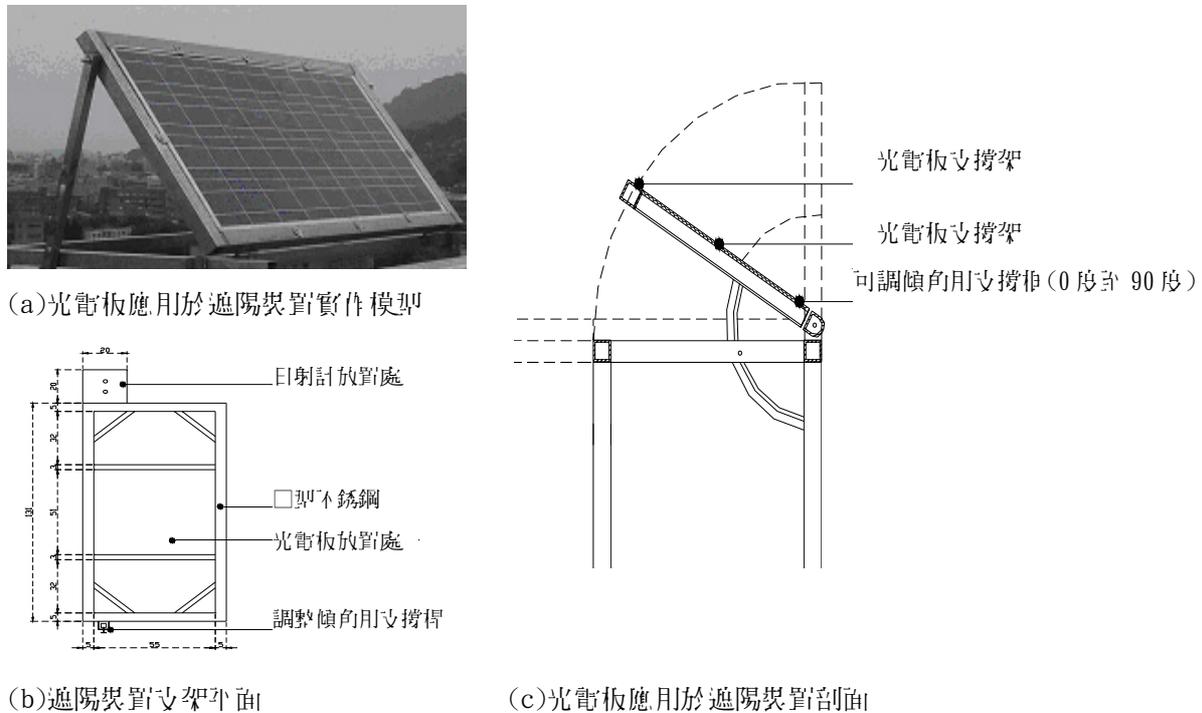


圖 10 光電板整合可調傾角遮陽裝置實作模型與構造大樣

依據太陽光電板應用於屋頂上之實作經驗，提出應用上需注意之事項如下：

- (1) 光電板之周圍可以鋁框封邊，再安裝於有足夠強度之遮陽雨庇構造上，以避免光電板因自重而變形。
- (2) 光電板應避免被陰影遮蔽。
- (3) 光電板背面之收納點位置應距離玻璃外周邊 2 公分以上，如此可不致影響遮陽板桁架與光電板之結合。
- (4) 水平遮陽板突出建築物牆面以不超過 50 公分為原則，超過部分應計入建築面積。
- (5) 本研究之實驗裝置係先安裝支撐架，再將光電板安裝於支撐架上。新建之建築物建議將光電板與遮陽板支撐架做結合，於工廠即可先安裝完成，運到工地僅需將支撐架固定於結構體上即可。

## 3-4 太陽光電板應用於建築物外殼之評估

本論文將太陽光電板應用於建築物外殼之部位分為三部分，分別評估其應用之優劣概要，評估內容包括：成本、發電效益、施工性、維護成本及隔熱性等五個項目做評估，同時據此建議適用之建築類型。成本方面主要是評估太陽光電板取代建材後省下之成本，其中以建材一體型較有利，發電效益方面以水平設置之效益高於垂直設置。施工性方面，主要是比較建材一體

型直接於工廠施作完成後運到工地安裝組立，相較於外掛式二次施工容易。維護成本方面是以是否需要輔助工具才可到達光電板安裝處來評估，若安裝位置可直接到達進行維護作業者，則其維護成本較低。光電板結合建築外殼各部位分別有其優缺點，使用者應評估使用之建築類型及需求之重要性來決定設置之型式。本論文彙整建築外殼各部位及各類型之整合應用，概要

評估其優劣比較結果如表 1 所示。

表 1 太陽光電板應用於建築物外殼之評估項目表

部位	型式	成本	發電效益	施工性	維護成本	隔熱性	適用建築
外牆	外掛式	△	X	X	X	○	辦公類、百貨類、旅館類
	建材一體型	○	X	△	△	X	辦公類、百貨類、旅館類
屋頂	外加安裝	△	○	X	○	○	學校類、住宅類
	建材一體型	○	○	△	X	X	體育館、住宅類
遮陽	水平	△	○	△	X	△	各類建築
	垂直	△	X	△	X	△	各類建築

註：○表示較佳、△表示適中、X表示較差

## 四、太陽光電板與建築外殼結合之可行性檢討

太陽光電板可以考慮與建築外殼或構造系統結合成爲一體，成爲建築物的部份構材或建築材料的一部份。安裝在屋頂或外牆上的太陽光電板形成建築物的外部構材，可以替代傳統的屋頂與外牆組成元件。結合建築物與太陽能組件的可能性相當多，也爲有創造力的設計者提供了新的設計意念與造型新構想[12]。本節對外牆及屋頂設置之可行性，說明如下：

### 4-1 光電板與外牆結合之可行性

傳統的太陽光電板經常無法與建築外殼結合成爲一體，然而符合這種新需求的太陽光電板技術上已逐漸獲得解決。太陽光電板元件的安裝，與外牆構造系統的結合，在技術上的問題較與屋頂結合的方式容易，太陽光電板與外牆結合的裝置可行方式，如圖 11 所示，整合建築外牆之部位包括陽台遮陽設施。

### 4-2 光電板與屋頂結合之可行性

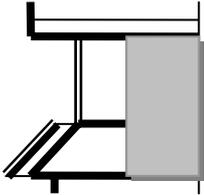
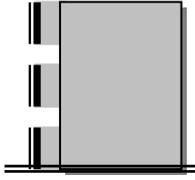
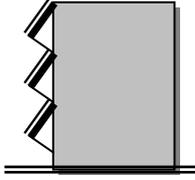
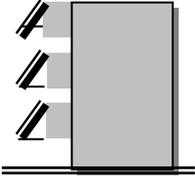
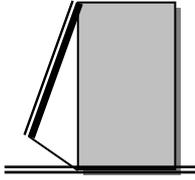
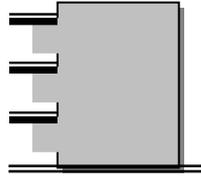
		
1. 設置於窗戶下緣面	2. 設置於窗戶之垂直面	3. 設置於外牆側之傾斜面
		
4. 設置於窗戶外側之傾斜面	5. 設置於外牆側之傾斜面	6. 設置為遮陽裝置使用

圖 11 太陽光電板與外牆結合之可行方式概念圖[16,19]

設置於屋頂之太陽光電板，不像設置於牆面之太陽光電板有牆面構材可以搭接，太陽光電板通常都是與外固定於屋頂面上，因此對於太陽光電板的安全性需特別注意，需考慮的因素包括屋頂的風壓、載重等因素。近期歐美等國家也有將太陽光電板作為屋頂的造型元素，此做法不但解決了搭接的問題，也增加了建物的造型新意匠，應是未來值得開發的方向。太陽光電板與屋頂結合的裝置關係，如圖 12 所示。

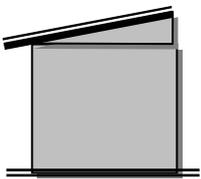
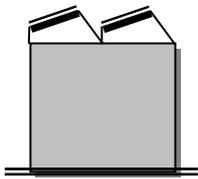
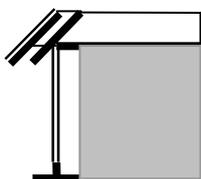
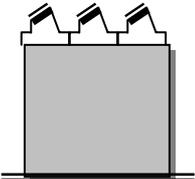
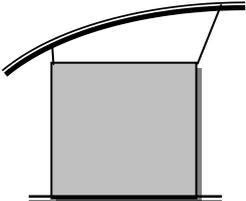
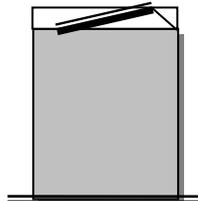
		
1. 緊接於斜屋頂上	2. 排列於屋頂上	3. 緊接於屋簷上
		
4. 排列於小的脊狀屋頂	5. 緊接於曲線屋頂上	6. 固定搭接於屋頂面

圖 12 太陽光電板與屋頂結合之可行方式概念圖[16,19]

屋頂形式配合太陽光電板的架設，一般而言有如下四項原則，如圖 13 所示，(1)屋頂障礙物應放在北邊，而在南向屋頂設置光電板，(2)光電板應設置在南向的斜屋頂面，(3)設置在朝南的大面積屋頂，(4)屋脊自東到西較適合光電板的裝置使用。設置原則之圖示化優劣比較，如圖 13 所示。目前，太陽光電板技術已漸趨成熟，且材料有不同顏色可供選擇。因此未來的太陽光電板開發也可能是配合建築構件之完成薄片或模板單元，並可以考慮色彩光澤與造形意匠作整體之配合規劃。

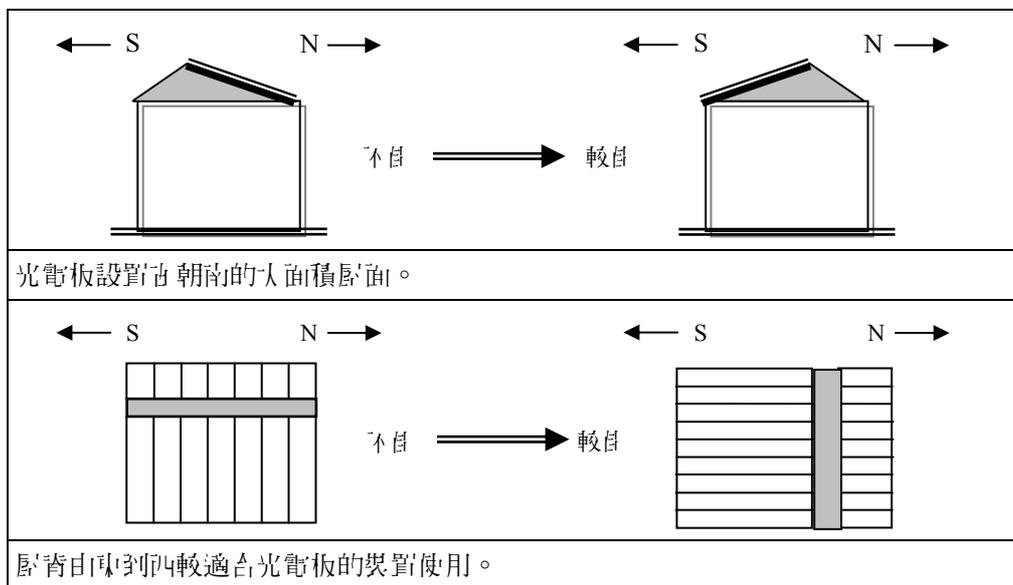
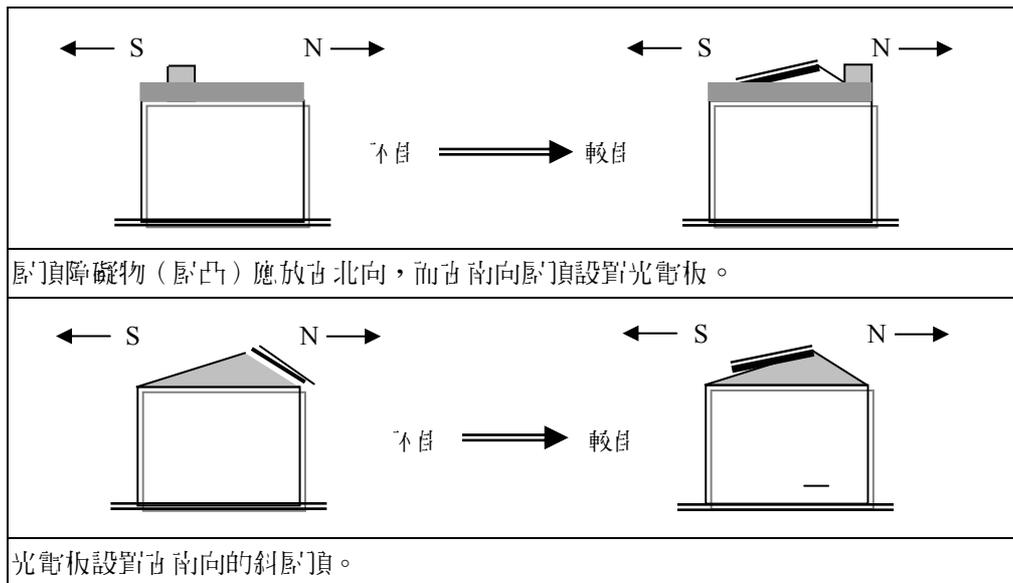


圖 13 太陽光電板裝置於屋頂之概念圖[19]

#### 4-3 建築外殼構造設置太陽光電板應注意事項

##### 1. 光電板設置之方位角、傾斜角決定

太陽光電板系統的發電量大致上與照射於光電板表面的太陽輻射能量成比例，而影響發電量的因素，包括遮蔽、積聚在太陽光電板上的塵埃、太陽入射角、太陽輻射之光譜分布情形、氣溫等。其中以光電板之設置傾斜角與方位角對於發電效益影響最大；光電板與水平面之夾角稱為傾斜角，光電板與正南方的夾角稱為方位角。以半球地區而言，太陽光電板之最佳發電效率傾角理論值是由所在位置之緯度來推算，其方位是面向南方，如台北地區為南向傾角 $23.5^\circ$ 。設計者若希望光電板於冬季能收受得最大量之直射日光，理想傾角約等於當地緯度加 $11.5^\circ$ ，設計者若希望光電板於夏季能收受得最大量之直射日光，理想傾角約等於當地緯度減 $11.5^\circ$ ，

如圖 14 所示。冬季時在高緯度地區，外牆上傾斜面光電板安裝方式之發電效益比屋頂上水平面光電板之發電效益為佳。反之，冬季時在低緯度地區，外牆上光電板之發電效益比屋頂上水平面光電板為低。

## 2. 光電板設置之障礙物陰影判斷

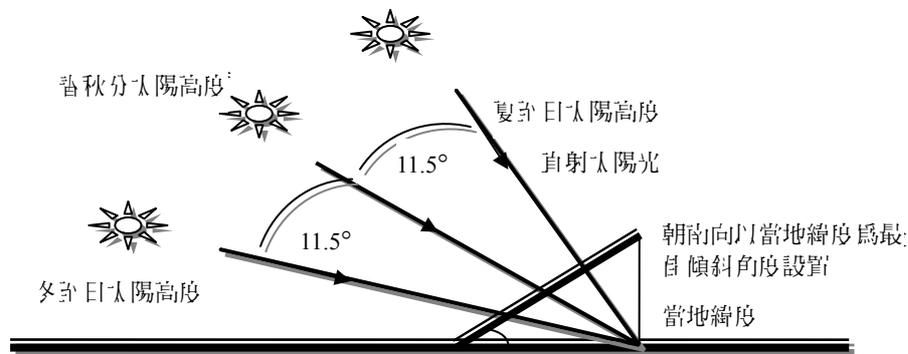


圖 14 最佳太陽光電板設置傾斜角示意圖

設置太陽光電板時除了考慮方位和傾斜角外，光電板設置地點鄰近之障礙物，如樹木或鄰棟建築之投射陰影也需留意。如圖 15 所示，設置光電板的地點與障礙物的高度及距離，以冬至日上午 9:00 到下午 3:00 的太陽高度角作為比較的基準條件，因為在冬至日的太陽高度最低，以障礙物的高度至光電板的設置高度為  $H$ ， $L$  以障礙物至光電板的設置位置為  $L$ ，來判斷其較適當的比值。由經驗判斷得  $L/H$  之比至少應在 2 以上，也就是讓光電板約有至少 20~30 度仰角以上的照射範圍較為適當[8]。

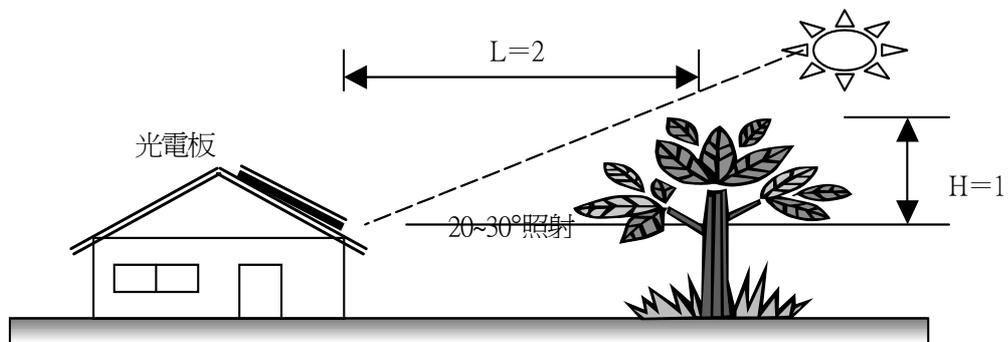


圖 15 障礙物陰影概略判斷方法示意圖[8]

## 3. 光電板設置之外殼部位與構造方式之選擇

光電板設置部位可選擇：空地上、屋頂、外牆、遮陽裝置等。無論設置於建築外殼何部位，皆需考慮光電板之容許安裝面積及範圍。安裝方式可選擇：貼附式或懸掛架空式或建材一體式、固定式或可動調節式。設計上也需考慮光電板模組尺寸與建築構材模矩尺寸之配合，光電板模組安裝程序與建築構材製造施工之配合。在屋頂或外牆設置光電板，採用懸掛架空式安裝是較容易施工之方式，光電板背面與建築外殼構造之間可以留置適當間隔配置電線及維持通風散熱，並且可以避免光電板表面溫度過高而降低效率。新建之建築物可採用光電板與帷幕牆結

合成建材一體型或光電板與屋頂版結合成建材一體型之方式；可以降低建築總成本，國內由於技術尚未成熟，因此尚無採用之案例。在遮陽雨庇構造設置光電板，其建築物必需有足夠之開口面積且方位以南向為宜；採用可動調節式是較為有利與方便之方式，可以因應季節變化而調整傾斜角，增加受日射量；也可以利用雨水自淨光電板面，避免積塵而降低光電轉換效率。

## 五、建築物太陽能光電系統建置程序及規劃設計探討

### 5-1 太陽光電系統規劃設計程序

太陽光電系統導入建築規劃之設計工作，主要可分為建築及電氣兩部分。在建築師協調規劃下進行系統整合的規劃設計工作，包括了建築方面的屋頂與牆面計劃以及電氣設備規劃。主要工作除了實際的建築規劃設計作業外，為了與輸電網路併聯操作使用，相關電力供應公司之核准使用與相關法令也必須遵守配合。相關作業之工作項目與配合流程[19]，大致如圖16所示。

設計學報第8卷第3期

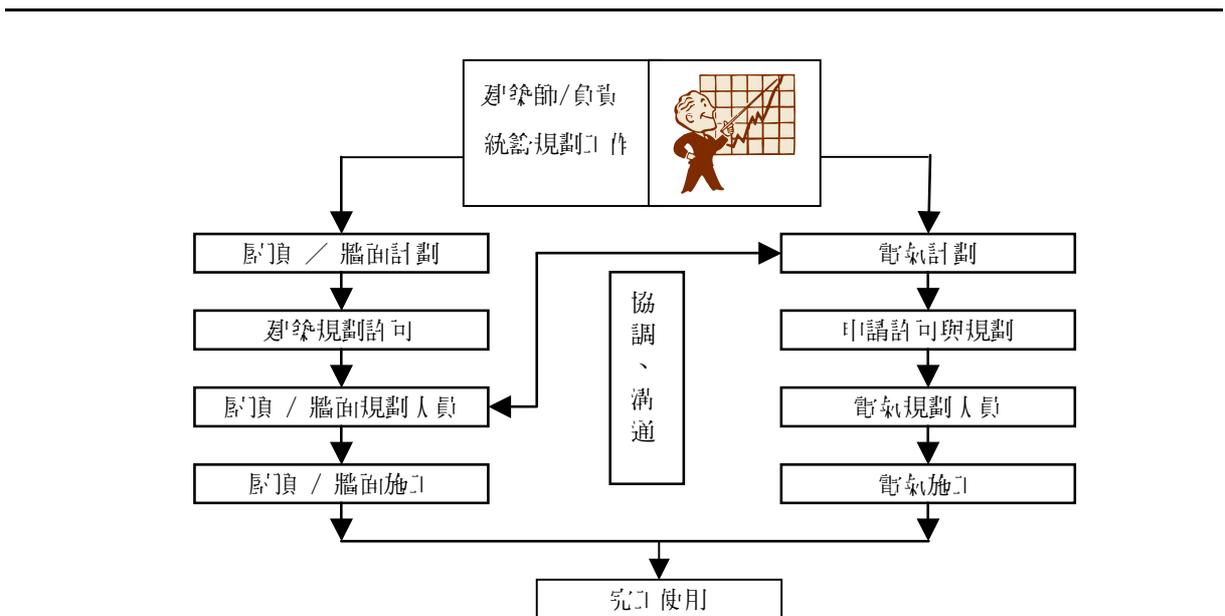


圖 16 太陽光電系統規劃設計流程圖[19]

目前太陽光電設備系統之開發應用方式，大致上可分為二種趨勢，一為獨立發電系統，一為與市電併聯系統。獨立發電系統係指不與其他電力系統聯結之太陽光電系統，系統構件包括太陽光電板、蓄電池、直交流轉換器、充放電控制器。當光電板工作時可產生直流電，經由直交流轉換器將直流電轉換成交流電，再輸出電力提供負載所需。若有多餘直流電力則儲存於蓄電池中，以備於日射量不足時使用，若有需要可併聯柴油發電機供電；獨立發電系統一般以設置於市電不易輸送之地區較能發揮其效益。其次是市電併聯系統，為太陽光電系統與市電系統併聯，二者之電力供給可互換使用，此系統運用於有市電輸送之地區。主要構件包括光電板、直交流轉換器、電力控制與保護裝置，此種方式可不裝設蓄電池，光電板發電後直接供電。系

統型式又可細分為：有逆潮流與無逆潮流兩類，「有逆潮流」係指可將剩餘電力售回市電公司；「無逆潮流」為指不能將太陽電池所產生之電力回送市電系統者。如圖 17 所示，為個人住宅用市電併聯型太陽光電系統之使用概念圖，當白天及天氣較好時以光電板所產生之電力供給住宅電器所需電量；而夜晚或天氣不佳時則與當地電力網路連結以供給用電，當白天光電板產生電力多於室內電器所需用電負荷時，則可回送電力賣給當地電力業者，以獲取電費利益。

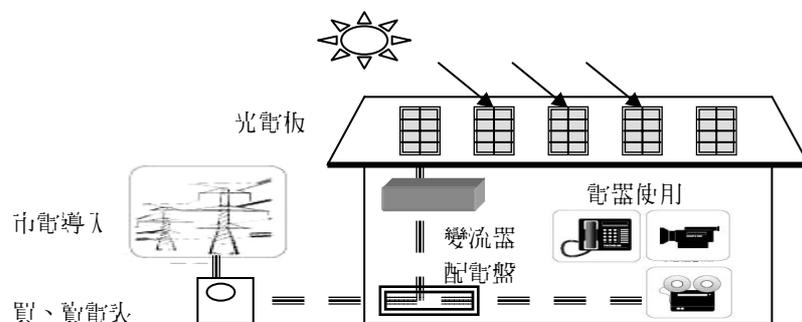


圖 17 個人住宅用太陽能發電系統使用概念圖[19]

## 5-2 建築物設置太陽光電系統應考慮事項

建築規劃設計導入太陽光電設備系統時，設備計畫上之作業事項，包括：設計條件調查、設備空間設計、系統設計等三部份，其相關考慮項目如下。

### 5-2.1 設計條件調查

對於設計條件之調查整理與確認，是必要之規劃要項之一。設計條件的調查與整理內容包括：相關法規檢討、基地環境條件、設置場所建物條件、地區氣象條件等。主要項目如下：

#### 1. 相關法規檢討

- (1) 建築法規：就建築技術規則中有關太陽光電系統設置之相關內容，包括建築材料、設計通則、建物防火、構件承載、基礎設計、構件及結構等規定。
- (2) 電氣法規：就台灣電力公司營業規則，汽電共生系統規定及屋內外線路設置規則中有關太陽光電系統設置之相關內容，包括：系統電壓規定、系統線路之電壓降、系統導線之規格和施工方法、系統導線之安全容量、系統電路之絕緣、系統配電等規定[2]。
- (3) 地方相關規定限制：不同地方之相關規定或限制應事先調查，如各地縣市政府對建築上的限制，或不要引起鄰家、社區居民之間日照權的糾紛等，都需要與設置者事前做充分的溝通。

#### 2. 基地環境調查

基地坡向及方位、建物外殼是否受陰影遮蔽(植栽、鄰棟建物、山影、屋突、燈窗、電線桿等之影子)、空地面積、施工吊裝、作業場所及搬出入路徑。材料設備放置空間；其他環境為害因子(鹽害、風害、雷雨、鳥糞、腐蝕性氣體)。

### 3. 設置場所建物條件調查

- (1) 建築條件：建物外殼之形狀、構造及面積，建物方位及日照條件。
- (2) 建物電氣設備：建物電力系統、電力設備容量、分電盤位置、電池設備設置空間、電力負荷及負荷變化。
- (3) 建物用電負荷調查：用電密度、用電量變化。
- (4) 業主需求：經費預算、施工期限。

### 4. 地區氣象條件調查

逐月日射量變化、逐月日照時數變化、逐月連續晴雨日。

## 5-2.2 太陽光電設備空間設計

### 1. 光電板配置設計

- (1) 安裝部位、安裝方式、安裝之方位角、傾斜角、安裝面積及範圍。
- (2) 光電板與建築外殼結合方式、架台設計。
- (3) 光電板模矩尺寸與建築構材模矩之配合、光電板安裝與建築構材施工之配合。

### 2. 系統組件設置空間

系統組件包括：蓄電池、控制器、開關儀錶等設備。考慮：位置、構造、環境條件、面積。

### 3. 配管配線空間

50

設計學報第8卷第3期

管線路徑、位置，管線空間及管道間尺寸。

## 5-2.3 太陽光電設備系統設計

### 1. 太陽光電系統設計

太陽光電系統選擇、用電種類選擇、供電方式選擇、供電對象選擇、光電板種類選擇。

### 2. 光電板容量估算

考慮：建物用電負荷、負荷替代率、電池設置面積、地區日射條件等，以決定光電板總容量。

### 3. 光電板規格選擇及組列配置

選擇光電板尺寸、重量、安裝法、發電性能，配置光電板組排列方式、設計組列發電性能。

### 4. 太陽光電系統組件選定及容量設計

選定系統供電規格，設計充放電控制器、蓄電池、直交流轉換器、保護開關、計量儀錶、配線配管等組件之容量。設計支撐架台及基座之規格。

### 5. 太陽光電系統發電量推估

依據光電板面積及安裝方位角、高度角、地區日射條件，以計算逐月平均發電量。

### 6. 太陽光電系統效益評估

評估設備費、運轉費、發電效益、回收年限。

## 六、結論

本論文從建築規劃設計角度，檢討太陽光電板導入於建築構造規劃及外殼設計之整合應用課題，主要研究目的在於分析檢討國內一般建築物普遍之外殼構造方式，以及設計上太陽光電

板應用於建築外殼構造之可行方式與本計畫相關問題。研究內容與成果茲簡要歸納如下：

1. 本研究透過建立實體模型之實作安裝，驗證太陽能光電板應用於建築外殼構造之可行方式，太陽能光電板與建築外殼或構造系統結合成一體，可取代建築物的部份構材，安裝在屋頂或外牆上的太陽能光電板也有助於建築外殼之隔熱性能。
2. 設計上需考慮光電板模組尺寸與建築構材模組尺寸之配合，光電板模組安裝程序與建築構材製造施工之配合，俾預留材料施工餘裕尺度。
3. 太陽能光電板與建築物外殼構造構材一體化，理論上可以減少太陽能系統設備設置的成本，而建築設計上太陽能光電板作為建築外殼構材時，要求必須滿足的建築性能包括安全性、耐久性、防水氣密等，同時也必須考量建築之造形、美觀與材質顏色等設計意象之符合。
4. 太陽能系統發電效益固然是重要的基本評估要項，但是以建築規劃設計的觀點而言，現階段投資使用之業習及建築師或設計工程師，皆抽象的附加價值或設計意念實現之配合考量應該不容忽視，太陽能板導入建築構造規劃與外殼設計整合，創意性的開發應為優先目標。

結合建築物與太陽能組件的可能性相當多，也為有創造力的設計者提供了新的設計意念與造型新構想。現階段太陽能板結合建築外殼構造設計的成本可能比較高且不具經濟性，但未來隨著石化燃料發電成本增加，地球環境問題、氣候異常、溫暖化等全球環境問題的惡化，會促使太陽能電池的需求增加，同時也會加速應用於建築設計之可行趨勢，相關產業及研究機構應該共同致力研究開發與進一步深入探討。

## 參考文獻

1. 日本建築學會編，2001.08，建築設計，彰國社，p.33。
2. 太陽電池實驗室，1999.7，太陽光電發電系統設置指南，工業技術研究院工業材料研究所。
3. 石川 修，1999.1，做為屋頂材料用之太陽光發電系統，日本空氣調和衛生工學月刊，Vol.73 No.01，pp.19-22。
4. 吉田亨男，1999.01，外壁-體型太陽電池，空氣調和衛生工學月刊，Vol.73 No.1，pp.23-217。
5. 抽原 尚，2000.05，建材-體型太陽光發電之開發，能源月刊，Vol.33 No.5，pp.85-87。
6. 孫豪廷，2002.06，太陽能光電導入建築設計與構造應用之研究—針對構造概念整合及發電效益之實作探討，國立台灣科技大學建築研究所碩士論文。
7. 康沛實業股份有限公司型錄，2001。
8. 桑野 斗徳，1995，外壁-體型太陽電池太陽光發電住宅。
9. 陳震亨，2000.06，帷幕牆之裝鐵件接合機制之研究，國立成功大學建築研究所碩士論文。
10. 張子文，2001.07，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。
11. 彭聖皓，2001.06，太陽能光電系統在建築上應用之研究，國立台灣科技大學建築研究所碩士論文。
12. 輕而堅金屬股份有限公司，帷幕牆產品型錄，2002。
13. 賴榮平，2000.10，太陽電池與建築結合方式之規劃設計，財團法人成大研究發展基金會，工業技術研究院工業材料研究所。
14. H.X.Yang ,R.H.Marshall , B.J.Brinkworth ,1996, "Validated Simulation for Thermal Regulation of Photovoltaic Wall Structures", IEEE 25th PVSC 1996 ,pp.1453-1457.
15. Hongxing Yang , John Burnett , Jie Ji ,2000, "Simple approach to cooling load calculation through PV wall", Energy and Building, Vol.31, pp.285-290.
16. I.F.R.D Dickinson , The Solar House , 1978 。
17. Joachim Benemann , Oussama , Chehab , Eric Schaar-Gabriel ,2001, "Building-integrated PV modules", Solar Energy Materials and Solar Cells, 2001.1, Vol.67, pp.345-354.
18. Masahiro Yoshino , Tomohiro Mori , Masami Mori , Masanobu Takahashi , Shin-ichirou Yoshida , Katsuhiko Shirasawa ,1997, "Development of photovoltaic modules integrated with a metal curtain wall", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol.47, pp.235-242.
19. Othmar Humm Peter Toggweiler, 1993, "Photovoltaik und Architektur Photovoltaics in Architecture", Birkhauser, p.28.
20. Sadami Toyokajwa , Shinji Uehara ,1997, "Overall Evaluation for R&D of PV modules integrated with Construction materials", IEEE 26th PVSC 1997, pp.1333-1336.
21. Seung-Ho Yoo , Eun-Tack Lee , Jong-Keuk Lee , 1998, "Building integrated photovoltaic: a Korea case study", Solar Energy, Vol.64 No.4-6, pp.151-161.

## 誌謝

本論文感謝國家科學委員會九十年度專題研究計畫案之經費補助，計畫編號：NSC 90-2211-E-011-039，特此致謝。

# Solar Generation System Apply in Building Construction and Envelope Design

Cheng-Li Cheng\*    Chao-Yu Chan\*\*    Hao-Ting She\*\*\*

\* Department of Architecture, National Taiwan University of Science and Technology  
e-mail:CCL@mail.ntust.edu.tw

\*\* Department of Architecture, Hwa Hsia College of Technology and Commerce  
e-mail:jan@cc.hwh.edu.tw

\*\*\* Department of Architecture, National Taiwan University of Science and Technology  
e-mail:haotingbox@sinamail.com

(Date Received : November 29,2002 ; Date Accepted : July 10,2003)

## Abstract

This paper focuses on the application of solar generation system compromising building construction design. Through the performance of model experiment, we verified the compromising possibility of Photovoltaic System and building construction. It is a reasonable concept that solar cell could instead of part envelope material of building and could reduce cost theoretically. As the envelope material, it must satisfy the performance of safety, durability, water protection etc.. Meanwhile, solar cell must combine with the concept of build form, textures and design concept. Although the efficiency of solar generation system is important, we cannot ignore the factors of design concept or additional value in compromising design work. Therefore, the conclusion indicates that a creative development is priority goal for this compromising job in solar generation system application.

Keywords: Solar Generation System, Building Construction, Building Envelope, Design Concept