

# 被動式太陽能應用之陽光室空調負荷研究 — 以台大綠房子二樓陽光室為例 —

## The Air Conditioning Load Research of Sunspace — A Case Study of N.T.U. 「Smart Home」 —

國立台灣大學生物環境系統工程學系教授

國立台灣大學生物環境系統工程學系碩士生

韓選棠\*

黃建勳

Siian-Tang Han

Jian-Syun Huang

### 摘 要

玻璃陽光室為一種在寒帶或溫帶大陸性氣候地區國家常見的被動式太陽能應用在建築設計上的手法，除了透過溫室效應的原理有效減少建築物冬季空調耗能外，也具有許多其他附加價值。但對於亞熱帶地區的台灣來說，由於熱濕氣候條件的不同，陽光室如何適用於台灣建築是一值得探討的問題。在設計時座向與玻璃建材該如何選擇，應是主要的研究課題。本研究是以准入係數法為基礎，利用 Ecotect 軟體進行陽光室熱環境數值模擬計算，並在「台大綠房子」建築陽光室中，於不同季節進行實際熱環境測量，以與模擬計算比較。

研究結果顯示 1.將實測與模擬結果比對，發現利用准入係數法確能有效模擬陽光室內溫度變化。2.對於室內空調冷負荷量來說，陽光室在夏季需透過一些隔排熱設施來有效控制，在冬季低溫造成的影響則不明顯，陽光室仍能發揮貯熱功能。3.在台北的地理位置及氣候條件之下，陽光室一般使用綜合來說最佳的選擇方位應為方位角 337.5 度之北北西向，而正北向至正西向的範圍內皆為不錯的選擇範圍。4.台灣目前習用的單層玻璃並不適合做為陽光室建材，應用熱傳透率較低的複層 Low-E 玻璃可有效減少夏季空調負荷量，對於冬季陽光室貯熱也有幫助。

**關鍵詞：**陽光室，空調負荷，准入係數法，數值模擬，熱環境實測。

### ABSTRACT

The glass sunspace is a kind of passive solar design method commonly applied to the architecture in area of the Frigid Zone or the temperate continental climate zone. Sunspace not only can reduce the cooling load of the building effectively in winter

\*通訊作者，國立台灣大學生物環境系統工程學系教授，106 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號，smarthouse@ntu.edu.tw

through the greenhouse effects, but also have a lot of other additional value too. Taiwan, a subtropical area, due to its hygrothermal climate, how the sunshine room is suitable for the building of Taiwan is an important area of research. How to choose orientation and glass of the sunspace should be the main subject for research. The numerical simulation utilizes Ecotect software to calculate the temperature of the sunspace of 'N.T.U. Smart Home' by the admittance method as the foundation theory. Besides, the real temperature is obtained by actual measurement method in different seasons, in order to compare with simulation result.

The result of research shows that 1. After comparing actual measurement with simulation result, the analysis result proves admittance method can really simulate the temperature of the sunspace effectively. 2. For the sunspace cooling load in summer, it should be controlled effectively through some of thermal insulated or exhausted facilities. The influence from lower temperature is not obvious in winter. The sunspace can still store heat effectively. 3. Under the geographical location and climatic conditions in Taipei, the best orientation of the sunspace is NNW (azimuth 337.5°), and it is recommended that northward to westward is also good choice range. 4. The conventional single layer glass is unsuitable to make for the sunspace building materials in Taiwan. Using Double Low-E glass which is lower U-value can reduce cooling load effectively in summer, it is also helpful to store heat in sunspace during winter.

**Keywords:** Sunspace, Air conditioning load, Admittance method, Ecotect, Numerical simulation, Actual measurement.

## 一、前言

二十一世紀傳統污染性能源短缺的問題將日益嚴重，世界各先進國家紛紛開始尋找乾淨可再生的替代能源，其中太陽能利用便是各國發展的重要方向之一。對於建築物來說，應用太陽能的方式主要有主動式的利用(active solar design)或是被動式的利用(passive solar design)兩種方式。陽光室(sunspace)的設計為目前溫帶地區一種常見的被動式太陽能利用設計手法，在高緯度溫帶或寒帶地區的國家，主要在冬天可蓄積太陽熱能以提供室內暖房及除濕所需能源。但對於台灣地區來說，陽光室設計也可能造成夏季空調負荷，是否適用於台灣及如何透過方位及建材的選擇來改善便是相當重要的課題。

本研究選擇的為例為台灣大學校區內的台大綠房子，利用熱環境實測及動態空調耗能模擬的方式來進行研究。透過實測數據來確定數值模型的準確程度後，再利用數值模型進行全年的

動態空調負荷模擬。本文首先介紹數值模擬理論與模擬方法，並說明數值模型建立之相關參數，繼之將數值模擬與熱環境實測結果做比較分析，最後則利用數值模型對於建材及方位等因素進行參數式分析以為應用之參考。

## 二、數值模擬理論與模擬方法

本研究數值模擬所採用的軟體為 Ecotect V5.20，而 Ecotect 是基於准入係數法來進行建築熱環境模擬。准入係數法假設任何建築物的內部溫度總是趨向當地的平均室外溫度。即使會受到熱容量的影響產生延遲或抑制的效果，及建築體本身的阻隔作用，室外溫度或是日射量的波動仍會使室內氣溫造成類似情況的波動。因此當總熱損失與總熱得相等時，室內溫度會達到穩定狀態。在准入係數法中，溫度與負荷分為兩個步驟做計算。首先，大量作用在建築物上的潛在熱得與熱損失以每天每小時的時間尺度做計算，由此便可決定每日的平均負荷係數。稱為負荷係數的

原因是因為它與平均情況相關而並非實際情況。瞬時負荷的變化相對於每天平均負荷，可以被用來決定每個區域熱應力於每天每小時受支配的情況。這個變化的應力導致內部溫度的循環波動，因此便能夠由此求得每小時的區域溫度。

一旦我們知道每小時的溫度後，第二個計算步驟便是執行並確定絕對冷熱負荷。給定各空間的內部與外部氣溫後，建築體、通風與滲透的負荷便可以隨著太陽與內部負荷而被精確的確定。但內部區域的負荷較為複雜，由於無法得知內部溫度，因此它無法被納入第一步驟計算。如此一來，必須重複進行第一與第二步驟的運算，然後將其結果疊加到鄰接空間的建築體及滲透熱得上。

總之，准入係數法是一個簡化的方法，它假設傳導熱從建築體進入，滲透與通風從開口部進入，直達太陽熱得從透明的建材進入，間接太陽熱得從不透明的建材進入，而內部熱得來自設備、燈光、人及內部區域熱流的效果。而在計算上，准入係數法也有其計算限制，包含了：無法處理氣溫及日射量突然改變的情況、無法追蹤單獨內部表面上的太陽輻射、無法徹底處理自然通風等項目。以下便簡述其計算流程及公式：

### 流程一：來自各熱源的平均熱得

平均熱得的來源為建築物開窗的部位所接收到之熱量，可分為平均太陽熱得與平均臨時負荷兩個部份，其計算公式如下：

#### 1. 平均太陽熱得

$$Q'_s = S' I_T A_g \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中： $Q'_s$ ：平均太陽熱得(W)、 $S'$ ：平均太陽熱得係數、 $I_T$ ：平均總日射輻照度(W/m<sup>2</sup>)、 $A_g$ ：陽光照射玻璃面積(m<sup>2</sup>)

其中平均太陽熱得係數  $S'$  代表輻射最後進入建築空間的比率，因為部分輻射會被玻璃吸收、部份會被反射且部分會從室內再往室外輻射。平均總日射輻照度  $I_T$  代表給定時段內的輻照量與該時段持續時間之商，亦可說是給定時段內的若干次輻照度測定值與測定次數之商。

#### 2. 平均臨時熱得

$$Q'_c = \frac{(g_{c1} \times t_1) + (g_{c2} \times t_2) + \dots}{24} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中： $Q'_c$ ：平均臨時負荷(W)、 $g_{c1}, g_{c2}, \dots$ ：瞬間臨時負荷(W)、 $t_1, t_2, \dots$ ： $g_{c1}, g_{c2}, \dots$  持續時間(hours)

在此瞬間臨時負荷指的是室內人員活動或是燈光等變動熱源所產生的負荷，與其持續時間之商，便等於該空間之平均臨時負荷。

### 流程二：內部環境平均溫度

求平均內部環境溫度之前，首先必須要計算總內部環境平均熱得，總內部環境熱得的值，等於平均太陽熱得與平均臨時熱得，其計算公式如下：

$$Q'_t = Q'_s + Q'_c \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中： $Q'_t$ ：總平均熱得(W)、 $Q'_s$ ：平均太陽熱得(W)、 $Q'_c$ ：平均臨時負荷(W)

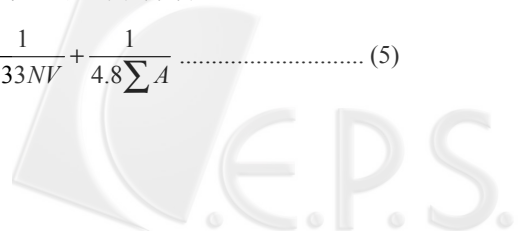
求得總內部環境熱得的值之後，與建築外殼透光、不透光的面積大小及建材 U 值、室外氣溫資料、平均綜合溫度及對流估計值代入下式，則可推導出平均內部環境溫度  $\theta'_{ei}$ 。

$$Q'_t = \left( \sum A_g U_g + C_v \right) (\theta'_{ei} - \theta'_{ao}) + \sum A_f U_f (\theta'_{ei} - \theta'_{eo}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中： $A_g$ ：透光面面積(m<sup>2</sup>)、 $A_f$ ：不透光面面積(m<sup>2</sup>)、 $U_g$ ：透光面 U 值(W/m<sup>2</sup>)、 $U_f$ ：不透光面 U 值(W/m<sup>2</sup>)、 $C_v$ ：對流傳導計值(W/K)、 $\theta'_{ei}$ ：平均內部環境溫度(°C)、 $\theta'_{ao}$ ：平均外部空氣溫度(°C)、 $\theta'_{eo}$ ：平均綜合溫度(°C)

在上式中，平均綜合溫度指的是在計算空調房間外殼熱得量時，所採用的一種假想室外空氣溫度，在該溫度的作用下進入建築外殼外表面的熱量，等於在室外空氣溫度和太陽輻射共同作用下進入該外表面的熱量。另外，上式中對流傳導估計值的計算，則以下式求得：

$$\frac{1}{C_v} = \frac{1}{0.33NV} + \frac{1}{4.8 \sum A} \quad \dots\dots\dots (5)$$



式中：N：有效通風率( $\text{hr}^{-1}$ )、V：空間容積( $\text{m}^3$ )、 $\sum A$ ：總內牆面面積( $\text{m}^2$ )

### 流程三：各來源的波動(平均值到峰值)熱得

爲了決定波動的強度，我們必須決定內部溫度峰值可能發生的時間，並且計算峰值發生該小時進入的有效熱量大小。要是不確定峰值發生時刻，則必須對不同的時間進行相同程序的計算，以確定峰值發生時刻。在波動熱得部分，共分爲有效太陽波動熱得、結構熱得、臨時熱得、空氣間波動熱得四個部份，其計算公式如下：

#### 1. 效太陽波動熱得

$$\tilde{Q}_s = S_a A_g (I_p - I'_T) \dots\dots\dots (6)$$

式中： $\tilde{Q}_s$ ：有效波動太陽熱得(W)、 $S_a$ ：交替太陽熱得係數、 $A_g$ ：透光面面積( $\text{m}^2$ )、 $I_p$ ：太陽輻射峰值強度( $\text{W}/\text{m}^2$ )、 $I'_T$ ：平均總日射輻照度( $\text{W}/\text{m}^2$ )

上式中的交替太陽熱得係數爲用來修正太陽輻射照射到玻璃面與實際有效對室內空氣溫度加熱間的比率關係，係數的決定依賴下列幾項因素：

- (1) 玻璃本身傳遞光線的特性或是其他控制陽光的參數
- (2) 輻射線在表面與內部空間中傳遞的分配情況
- (3) 建築外牆的表面係數。在此是根據外殼建材產生時滯現象的時間作爲計算依據。

#### 2. 結構熱得

$$\tilde{Q}_f = f A_f U_f (\theta_{eo} - \theta'_{eo}) \dots\dots\dots (7)$$

式中： $\tilde{Q}_f$ ：有效波動結構熱得(W)、 $A_f$ ：不透光面面積( $\text{m}^2$ )、 $U_f$ ：不透光面 U 值( $\text{W}/\text{m}^2$ )、 $f$ ：衰減係數、 $\theta_{eo}$ ：綜合溫度( $^{\circ}\text{C}$ )、 $\theta'_{eo}$ ：逐時綜合溫度的平均值( $^{\circ}\text{C}$ )

#### 3. 臨時熱得

$$\tilde{Q}_c = Q_c - Q'_c \dots\dots\dots (8)$$

式中： $\tilde{Q}_c$ ：臨時熱得(W)、 $Q_c$ ：峰值發生時的臨時熱得(W)、 $Q'_c$ ：平均臨時熱得(W)

#### 4. 空氣間波動熱得

空氣間波動熱得的計算是由於我們必須了解外氣溫度在峰值與在平均值間波動的情況對室內熱得所造成的影響，而此溫度的差異程度還會受到區域面積、玻璃 U 值與通風所造成的熱損失而產生加乘的效果。

$$Q'_a = (\sum A_g U_g + C_v) \theta'_{ao} \dots\dots\dots (9)$$

式中： $\tilde{Q}_a$ ：根據外氣溫波動計算之有效熱收益(W)、 $A_g$ ：透光面面積( $\text{m}^2$ )、 $U_g$ ：透光面積 U 值( $\text{W}/\text{m}^2$ )、 $C_v$ ：對流傳導估計值( $\text{W}/\text{K}$ )、 $\tilde{\theta}_{ao}$ ：外界氣溫波動( $^{\circ}\text{C}$ )

### 流程四：內部環境溫度波動(平均值到峰值)

$$\tilde{Q}_t = \tilde{Q}_s + \tilde{Q}_f + \tilde{Q}_c + \tilde{Q}_a \dots\dots\dots (10)$$

式中： $\tilde{Q}_t$ ：總波動(W)、 $\tilde{Q}_s$ ：有效波動太陽熱得(W)、 $\tilde{Q}_f$ ：有效波動結構熱得(W)、 $\tilde{Q}_c$ ：臨時負荷(W)、 $\tilde{Q}_a$ ：根據外氣溫波動計算之有效熱收益(W)

在之前我們假設，室內溫度與室外平均溫度值相同，而根據上式計算出來的熱得量，則是造成溫度波動的來源，而這些熱量來源則與外殼建材的准入係數及通風所造成的熱損失有關係。因此，根據上式計算之結果，再代入下式中，配合各建材的准入係數，便可以求得內部環境溫度波動的值。

$$\tilde{Q}_t = (\sum AY + C_v) \tilde{\theta}_{ei} \dots\dots\dots (11)$$

式中： $\tilde{Q}_t$ ：總波動(W)、A：物體表面積( $\text{m}^2$ )、Y：物體准入係數( $\text{W}/\text{m}^2$ )、 $C_v$ ：對流傳導估計值( $\text{W}/\text{K}$ )、 $\tilde{\theta}_{ei}$ ：內部環境波動溫度( $^{\circ}\text{C}$ )

### 流程五：由步驟二與步驟四計算內部環境溫度的峰值

步驟二中我們計算出平均內部環境溫度，而在步驟四中則計算出波動熱得所造成溫度變化的量。因此，若我們將兩個值相加，最後便可以得到該時間內環境溫度實際的數值。



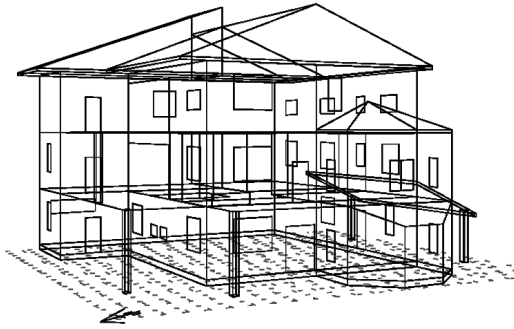


圖 3-1 Ecotect 介面下之數值模型

$$\tilde{\theta}_{ei}'' = \theta'_{ei} + \tilde{\theta}_{ei} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中： $\tilde{\theta}_{ei}''$ ：內部環經溫度峰值(°C)、 $\theta'_{ei}$ ：平均內部環境溫度(°C)、 $\tilde{\theta}_{ei}$ ：內部環境波動溫度(°C)

### 三、研究案例模型建立與實測方法

本研究選定之建築案例為「台大綠房子」，該建築物位於台灣大學農業試驗場內，其正向立面面對農場作物區、背向立面為基隆路、左向立面面對農場一層樓高之玻璃溫室建築而右向立面則鄰進一層樓高的日式建築群。為了解決噪音、空氣汙染與景觀的問題，本建築的座向採用座南朝北的方位配置，但為了解決陽光室所必須的日照需求，而將建築物北向的角度再偏西六十度角(西偏北三十度)。在午後太陽西曬的時間陽光室便可以接受到太陽輻射而發揮其儲存熱量的功能，也避免了太陽射入過多的困擾。與之前文獻所提及之陽光室最佳設計座向「座北朝南」相比，本案例之座向是否能夠發揮陽光室的效能，也是接下來研究過程中，可供探討的議題。

台大綠房子陽光室共分為兩層，一樓陽光室水平面可受光，而二樓之陽光室只有垂直面可受光照，水平面則完全受屋頂遮擋，在形式上類似一般高層建築大片落地窗的設計手法，也與一般公寓建築常見的陽台加窗類似。因此，以台灣地區目前的建築物現況做考量，以二樓之陽光室在台灣可應用的可能性較高，固本研究以二樓陽光室作為案例探討。以下則分別介紹數值模型建立方法及熱環境實測方法：

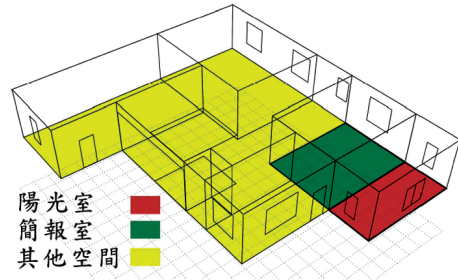


圖 3-2 綠房子二樓熱量計算區域劃分

#### 1. 值模型建立

圖 3-1 即為利用本研究案例實際尺寸所建立之 3D 建築模型，由於本研究所研究的空間為二樓陽光室及其鄰接空間，因此在建模時有必要特別將這兩個空間與二樓其他空間作熱量區域劃分，在此將二樓分為三個熱量區域進行計算。如圖 3-2 所示，根據本研究計算上的需要，在建模時共將二樓分為陽光室(紅色區塊)、簡報室(綠色區塊)及其他空間(黃色區塊)三個區域。

Ecotect 軟體建模時，將一個基本空間區域分為牆、地板與天花板等三個組合元素，開口部則分為門、窗、鑲板及洞四個元素，此外屋頂的部份則獨立成一個元素。在本次模擬中，我們必須對陽光室的天花板，玻璃牆及地板等建材賦予其適當的建材參數，但由於建材本身熱傳計算相關參數很難準確得知，且天板及地板等元素又因施工的原因而必須以複合材的方式來做計算，因此，在本次模擬中，部分建材除了考量實際參數之外，也利用軟體本身內建之熱傳數值賦予其參數。

#### 2. 實測方法

為了獲取一年中各個不同季節之實測資料，本研究擬於一月、四月、七月及十月四個月份中進行實測。其中一月代表冬季氣候、四月代表春季氣候、七月代表夏季氣候而十月代表秋季氣候。在每一次的實測過程中，為避免影響綠房子其他活動的進行，於四個月份中皆選取五天可供實測的時間進行研究。其中，為了了解陽光室於冬季及夏季兩個季節室內溫度表現情況，在一



表 3-1 陽光室實驗模組

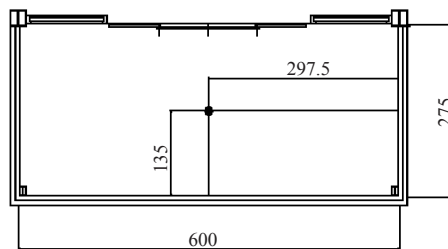
實測模組	預定實測時間	取樣天數	其他實驗條件
冬季	一月	五天	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 室外環境溫度低(寒流)</li> <li>• 有明顯降雨情況</li> </ul>
春季	四月	五天	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 無</li> </ul>
夏季	七月	五天	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 室外環境溫度高</li> <li>• 晴朗的天氣型態</li> </ul>
秋季	十月	五天	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 無</li> </ul>

月的實測過程中特別選擇氣溫特別低及有明顯降雨的日期進行實測，以了解陽光室於冬季濕冷的氣候條件下與室外溫度是否有明顯差異，能否達到保溫的要求。而在七月的實測則特別選擇天空雲量較少且氣溫較高的日期進行實測，以了解在夏季晴朗的氣候條件下，陽光室高溫的情形是否嚴重。表 3-1 即為本次實驗預擬條件設定一覽表。

實測資料來源共分為兩項，室外氣候實測資料由於本研究之後的空調負荷模擬是以台北氣象站觀測之氣候資料推導而來。所採用的是中央氣象局台北氣象站之溫度、溼度及輻射量資料。而室內溫度及溼度資料則採用溫溼度計(型號 TES-1365)及溫溼度感測晶片(型號 SHT15)進行實測。為了簡化實驗的過程，測點位置選擇放置在陽光室中央，可以避免溫度梯度所造成的影響。圖 3-3 及 3-4 為本研究測點位置平面圖及剖面圖。

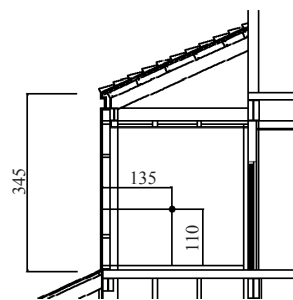
#### 四、數值模擬理論與熱環境實測比較分析

為了評估模型對於實際情況的解釋力，本研究採用效率係數評估方法對於實測值及模擬值進行評估。效率係數方法乃是基於變異數分析的觀念衍生而來，效率係數可視為模擬值與觀測值的變異數和觀測值本身變異數之比值，當該係數在 1.0 的時候表示模擬結果與實測值完全符合，而達到 0.0 時則表示模式表現已經實測結果平均變異相當。以下便介紹效率係數之計算方式：



● 測點位置

圖 3-3 測點位置平面圖



● 測點位置

圖 3-4 測點位置剖面圖

$$EFFIC = \left( \frac{\sigma_0^2 - \sigma_e^2}{\sigma_0^2} \right) \cdot 100\% \dots\dots\dots (13)$$

其中  $\sigma_e^2$  代表觀測溫度與模擬溫度的變異數、 $\sigma_0^2$  則代表觀測溫度本身變異數的值，其計算公式如下：

$$\sigma_e^2 = \sum_{i=1}^n (T_{obsi} - T_{simi})^2 / n \dots\dots\dots (14)$$

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^n (T_{obsi} - \bar{T})^2 / n \dots\dots\dots (15)$$

式中  $\bar{T}$ ：觀測值平均溫度(°C)、 $T_{obsi}$ ：時間  $i$  的觀測溫度(°C)、 $T_{simi}$ ：時間  $i$  的模擬溫度(°C)

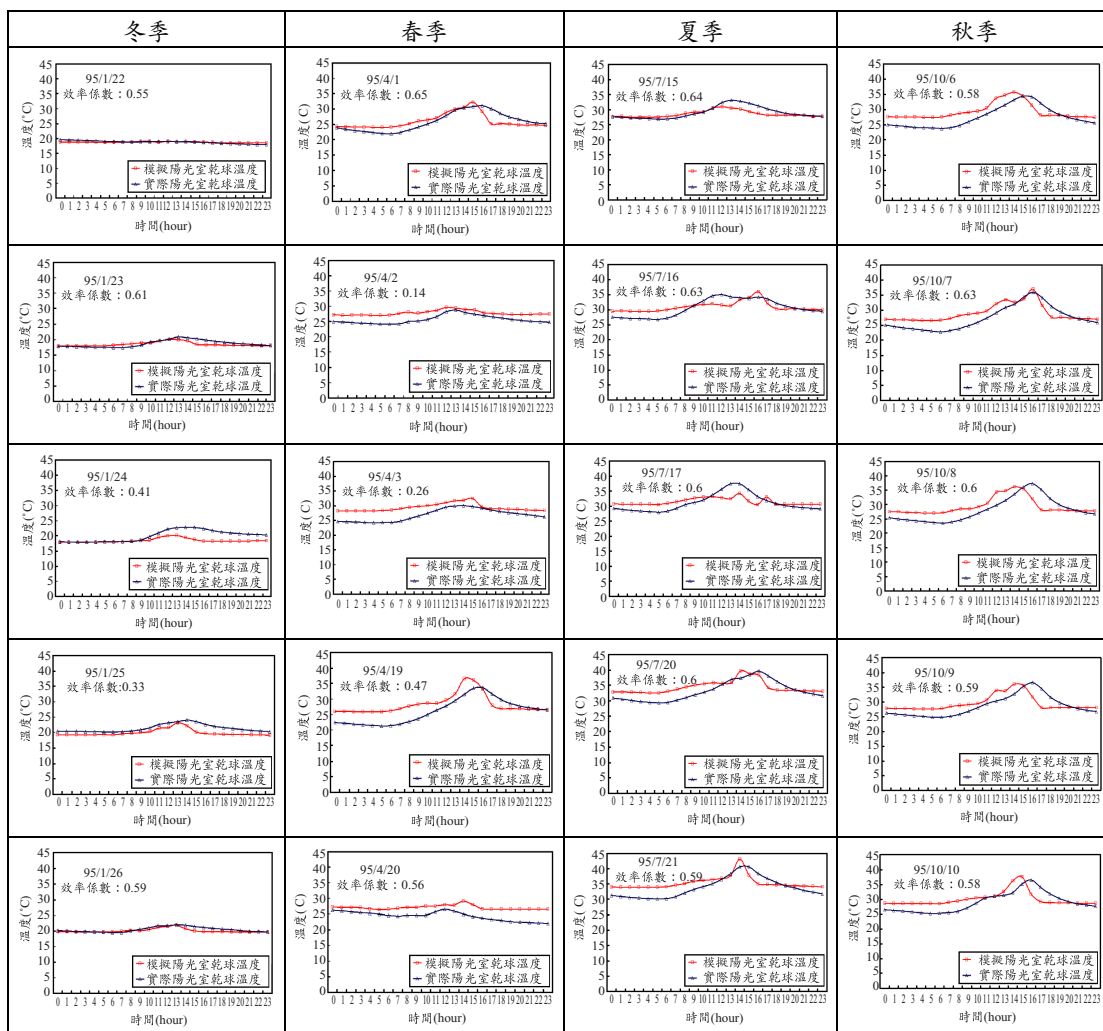
在計算出效率係數之後，我們可以再將效率係數利用邏輯回歸的概念標準化，使其數值介於 0~1 之間，其計算公式如下：

$$Y = EXP(x)/(1 + EXP(x)) \dots\dots\dots (16)$$

式中  $x$  即代表效率係數的值。當效率係數進行標準化之後，其數值在大於 0.5 時達到平均水準，而在 1 時模擬值與實測值完全符合。



表 4-1 各季節抽樣日模擬與實測溫度比較圖



經過計算之後，各抽樣日實測溫度與模擬溫度之效率係數標準化後計算結果如表 4-1 所示，其中效率係數達到平均值的天數共有十五天，未達平均值的天數共有五天，最高值為 4 月 1 日的 0.65，最低值為 4 月 2 日的 0.14。另外，從表中也可看出，模型在冬、夏及秋季的模擬結果較為準確，而春季的結果誤差產生的情況較大。

分析之後，誤差產生的可能原因有下列幾點：

### 1. 在數值模擬理論方面

本研究利用准入係數法進行模擬，此方法準

確度較差即為其缺點之一，而利用效率係數方法檢定，若要達到 0.0 的標準並不容易，若要達到效率係數的 0.0 的平均水準可能較為困難。因此，准入係數法本身精確度應是造成誤差出現的原因之一。

### 2. 在數值模型建立方面

由於本研究以實際建築為研究案例，因此在建築模型建立上，許多材質的熱傳參數設定，可能會與實際有所誤差，材質之熱傳透率，熱延遲時間，皆無法準確的得之，只能以文獻中所查詢到之數值進行設定，因此在建模過程中熱傳參數

的設定，亦是造成模擬結果誤差發生的原因之一。

### 3. 在氣象參數資料品質方面

本研究為由於研究內容主要為陽光室空調負荷，因此必須使用氣象局之觀測資料所推導出之 TMY2 資料進行模擬。模擬計算時，室外氣候之溫度及輻射量等數值皆以台北氣象站資料為準，雖然該測站接近研究案例所在地，但其數值與案例基地環境之氣候數據仍可能有些微差異，亦是造成誤差發生的可能原因。

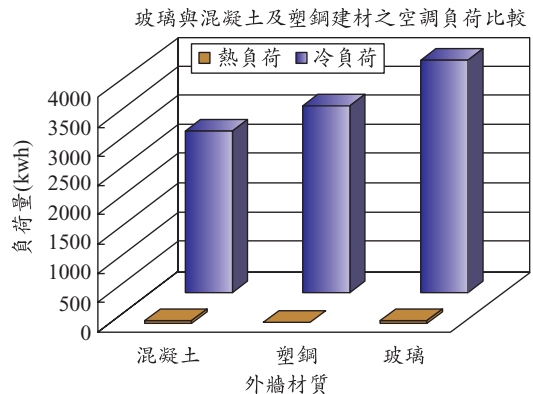
### 4. 周圍活動及氣候劇烈變化的影響

由於利用准入係數法模擬時，無法考慮基地周邊活動或是氣候突然變化的影響，可能也是模擬產生誤差的可能原因之一。之前曾提到在本研究中夏季、秋季及冬季的模擬結果與實際吻合程度高，可能是因為夏季及秋季實測的日期氣候狀況全天都為晴朗的天氣型態，而冬季全天皆為濕冷的降雨氣候。因此，一日之中氣候狀況的改變，對陽光室溫度變化所造成的影響，是否是造成模擬值與實測值差異的原因，也是未來可以深入探討議題。

透過准入係數法的驗證之後，發現本研究所建立之數值模型所得到的模擬結果雖無法達到相當精確的程度，但是模型所模擬出之數值已足夠說明案例實際的情況，其結果也是具有參考價值的。此外，由於本研究之後內容是要進行全年空調負荷的模擬，並針對不同方案進行比較分析，對於數值模型所要求的是達到相對精確的水準，而准入係數法在過去研究中已證實其模擬值具有相對精確的程度，在此透過效率係數的檢定，可發現研究中所建立的數值模型其計算結果甚至已達到絕對精確的水準，因此之後的研究工作若以此模型進行模擬計算，所獲得的研究成果相信也更具有參考價值。

## 五、陽光室空調負荷計算與參數式分析

在確認本研究所建立之數值模型能充分解釋陽光室實際溫度表現情況之後，接著便可利用



資料來源：本研究數值模擬計算結果

圖 5-1 陽光室設計與一般建築空間之空調負荷比較圖

Ecotect 軟體進一步對案例陽光室之全年空調負荷量進行計算及參數式分析。本章之參數式分析共分為三個部份，分別為陽光室設計與一般建築空間之空調負荷比較、陽光室不同座向選擇之空調負荷比較及陽光室不同玻璃建材選擇之空調負荷比較，以下分別就這三個模擬結果進行結果分析討論工作：

### 1. 陽光室設計與一般建築空間之空調負荷比較

傳統觀念認為，建築空間若設計成陽光室，相較於一般的建築空間，夏季空調負荷量會大量增加，在溼冷的冬季氣候條件下又會因輻射冷卻的關係，無法提供保溫效果，甚至會增加暖房空調的耗能。在此首先計算研究案例陽光室之空調負荷量，接著將陽光室之玻璃建材轉換為目前常見的混凝土建材及台大綠房子所使用的塑鋼建材後，再進行空調耗能計算，便可了解三者間空調耗能之差異性。

從圖 5-1 中可以看出，在空間密閉的情況之下，上述三者的空調冷負荷量遠超過空調熱負荷量，其中混凝土牆空間冷負荷量佔總空調負荷量 98.79%、塑鋼牆空間佔 100%，而陽光室佔 99.12%，因此影響三者之空調負荷主因皆為空調熱負荷。如表 6-5 所示，三者之空調冷負荷量由低至高為：混凝土牆、塑鋼牆、陽光室；空調熱負荷由低至高依序為塑鋼、混凝土、陽光室；而



表 5-1 各方位全年空調負荷比較

方位	真實方位角	熱負荷 (kwh)	冷負荷 (kwh)	總空調負荷 (kwh)
正北	0	35.321	3749.42	3784.741
東北	45	36.373	4631.43	4667.803
正東	90	35.598	5177.958	5213.556
東南	135	32.9	5573.001	5605.901
正南	180	38.581	5389.322	5427.903
西南	225	32.152	5254.983	5287.135
正西	270	31.959	4429.051	4461.01
西北	315	35.616	3746.7	3782.316

資料來源：本研究數值模擬計算結果

總空調負荷量由低至高為混凝土、塑鋼及陽光室。因此建築空間若設計成陽光室，空調負荷量的確明顯較高，總空調負荷量達到 3992.531kwh，較混凝土牆建築高出 43.3%，亦較塑鋼牆高出 25.9%。而陽光室熱負荷量與一般常見的混凝土建築物相比並沒有明顯增加，為 35.129kwh，僅較混凝土建築高出 4.66%。若再以陽光室冬季供暖的功能提出來討論，台北地區一月及二月明顯有供暖的需求量，若空間設計成陽光室，空調冷負荷量為一般混凝土牆空間的 50.95 倍，換句話說陽光室於冬季便可以有效的提供熱量來源至其他需要暖氣的空間使用。

歸納上述內容，共有下列幾點結論：1. 建築物若要附建陽光室，必須仔細考量各種隔熱及排熱設備的設計，以有效降低空調冷負荷量。2. 陽光室於冬季確實能夠達到貯存熱量之功能，可提供暖氣來源以供其他空間使用。

## 2. 陽光室不同座向選擇之空調負荷比較

表 5-1 將陽光室採不同座向之空調負荷計算結果以表列方式顯示，其中空調熱負荷量由低至高依序為：正西、西南、正西、正北、正東、西北、東北、南，其中正西向空調熱負荷為 31.959kwh，正南向為 38.581kwh，兩者之間相差 6.622kwh。不同方位陽光室空調冷負荷由低至高依序為：西北、正北、案例、正西、東北、正東、西南、正南、東南，其中西北向空調冷負荷值為

陽光室不同座向空調負荷量比較

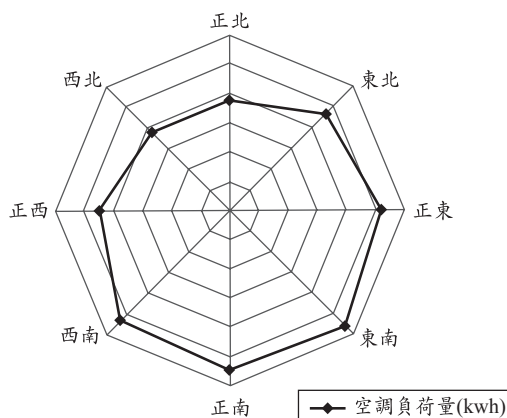


圖 5-2 不同座向陽光室空調冷熱負荷比較

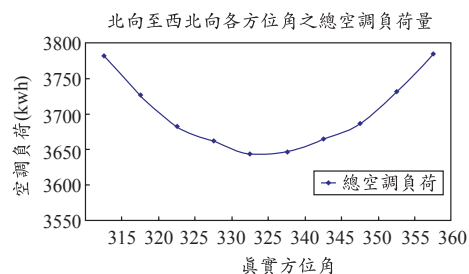
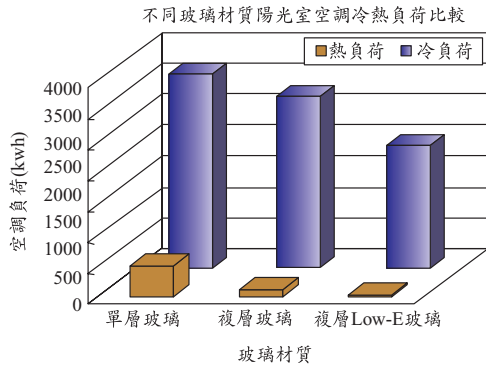


圖 5-3 北向至西北向各方位角之總空調負荷量

3746.700kwh，東南向為 5573.001kwh，兩者之間相差 1826.301kwh。因此不同座向設計對於陽光室熱負荷影響並不大，換句話說，在台灣地區在不同的方位設計陽光室，其冬季供暖效果並不會產生太大的差異。但是對於夏季空調負荷量來說，不同座向的設計卻會對於空調負荷造成相當大的影響，若是選擇了錯誤的方位，則陽光室經常會處於過熱狀態，在使用時也會造成無謂的空調耗能。

圖 5-2 中所顯示的是各方位的總空調負荷量，從圖中可以很清楚的看出若陽光室座向朝正北至西北向總空調負荷量會達到最小值，而東南至正南向空調負荷量則會達到最大。

因此，我們可以再針對北向至西北向這個範圍進一步深入分析，以找出最佳的陽光室設計方位。圖 5-3 為北向至西北向各方位角的陽光室空調負荷量計算結果，計算時以五度為一個單位進



資料來源：本研究數值模擬計算結果

圖 5-4 不同玻璃材質陽光室空調負荷分析圖

行計算，共可獲得 10 筆資料。從圖中可以看出在正北至西北向的範圍中，總空調負荷量最低的值約在兩者之間，也就是北北西向。至此，我們可以獲至一個結論，在台北氣候條件下，陽光室最佳的設計方位應為北北西向，在北向至西北向範圍間應為可以接受的設計範圍。

### 3. 陽光室不同玻璃建材選擇之空調負荷比較

陽光室的主要建材為玻璃，玻璃的種類有很多，在此以目前較常見的單層玻璃、複層玻璃及案例所使用的複層 Low-E 玻璃進行參數式分析，以了解使用這三種玻璃建材設計陽光室，對於空調耗能的影響。分析結果如圖 5-4 所示，空調熱負荷由低至高分別為 Low-E 複層玻璃、一般複層玻璃、單層玻璃。空調冷負荷由低至高分別為複層 Low-E 玻璃、一般複層玻璃、單層玻璃。因此陽光室若使用單層玻璃，冬季保溫效果差，於夏季又會造成過高的熱負荷量，相較之下，Low-E 複層玻璃應是較佳的選擇。

表 5-2 為陽光室使用不同玻璃建材之空調負荷比較，進一步仔細分析其數值可以發現，對於空調熱負荷量來說，單層玻璃的熱負荷量為複層玻璃的 4.63 倍，為 Low-E 複層玻璃的 27.81 倍；對於空調冷負荷量來說，使用單層玻璃的冷負荷量為複層玻璃的 1.13 倍，更為 Low-E 複層玻璃的 1.59 倍。因此，無論就陽光室冬季貯熱或夏季空調節能的觀點來看，使用熱傳導係數越低的玻璃，越適合應用在台北地區的陽光室設計上。

表 5-2 陽光室使用不同玻璃建材之空調負荷比較

玻璃材質	熱負荷 (kwh)	冷負荷 (kwh)	總空調負荷 (kwh)
單層玻璃	977.032	6289.536	7266.568
複層玻璃	210.829	5563.566	5774.395
Low-E 複層玻璃	35.129	3957.402	3992.531

資料來源：本研究數值模擬計算結果

## 六、結 論

本研究以台大綠房子二樓陽光室為例，透過實測與模擬比較確立數值模型可信度後，再進行空調負荷參數式分析。透過效率係數的檢定結果，證實了利用准入係數理論對陽光室內空調負荷進行模擬計算之結果，可達到一定的絕對準確程度。影響其準確度的因素可能是因准入係數法模擬精確度本身就較差、建模誤差、室外氣象資料因案例與測站位置不同而有所差異及案例基地周邊活動及氣候變化過大所產生的影響等四項。未來可再對數值模型的建立及氣象資料對於模擬結果影響進行深入分析，以增加模擬的準確程度。

透過全年空調負荷動態模擬及案例熱環境實測，本研究發現：1. 陽光室在夏季白天室內外溫差約可達 5°C，因此需透過一些隔排熱設施來有效控制室內空調冷負荷量，而在冬季輻射冷卻的影響並不明顯，全天室內外溫差皆達 5°C，可發揮保溫功能。2. 透過方位參數化分析，可得知在台北的氣候條件之下，陽光室最佳的設計選擇方位為北北西向，而正北向至正西向的方位也是較為適當的選擇範圍。東南方則會產生最大的空調負荷量，應避免在此方位設計陽光室。3. 以陽光室玻璃材質進行分析，可得知一般的單層玻璃並不適合做為陽光室建材，玻璃材質的熱傳透率越低，不但可以減少夏季空調冷負荷的量，於冬季的情況下，甚至也能夠達到減少空調熱負荷量的效果，對於陽光室冬季保溫的效能上，也有所助益。

經由本研究證實陽光室在台北的氣候條件下，空調冷負荷的量相當高，約佔全年空調負荷量九成以上。因此在台灣地區設計陽光室時，除

了選擇適當的方位與熱傳透率低的玻璃之外，對於隔熱及排熱等相關設計的考量必須相當完善，如：空氣垂直對流、水平對流設計及外遮陽設備的使用，以避免陽光室夏季白天溫度過高的情況發生。或者可以利用陽光室高溫，透過開口部設計使陽光室產生旺盛的空氣對流現象，來幫助其他室內空間換氣，也是可以思考的設計方式。未來針對陽光室設計方式，政府應制定一套可供遵循的標準設計方式，如設計方位、建材使用以及空間安排及細部設計手法等等，都可納入設計規範中。另外，在完工之後，對於陽光室熱性能的檢測也必須提出一套標準，以供設計者及驗收單位依循。

### 參考文獻

1. 王福軍。2004。計算流體動力學分析。初版，25-26。北京：清華大學出版社。
2. 中國冷凍空調資源網。2005。利用太陽能採暖的技術發展。中國：中國冷凍空調資源網。網址：<http://www.hvacrr.com>。上網日期：2005-12-27。
3. 台灣玻璃工業公司。2005。台玻低輻射雙層玻璃光學數據。臺北：台灣玻璃工業公司。網址：[www.taiwanglass.com/tc/index.html](http://www.taiwanglass.com/tc/index.html)。上網日期：2006-2-20。
4. 林清源。1987。台灣地區住宅附建玻璃溫室可行性及實用技術研究。碩士論文。桃園：中原大學建築研究所
5. 林憲德、黃國倉。2004。台灣 TMY2 標準氣象年之研究與應用。建築學報 53：79-94
6. 哈爾濱晨怡熱管技術有限公司。2005。被動式太陽房簡介。哈爾濱：哈爾濱晨怡熱管技術有限公司。網址：<http://rg.nx8.net/>。上網日期：2005-12-14
7. 陳啓中。2000。建築物理概論。二版，67-137。台北：詹氏書局。
8. 國家技術監督局。1994。被動式太陽房技術條件和熱性能測試方法。北京：中國標準出版社。
9. 彰國社。2004。被動式太陽能建築設計。初版，北京：中國建築工業出版社。
10. CIBSE Guide Book A. 1986. Admittance Method. London: Chartered Institution of Building Services Engineer.
11. Ecotect. 2003. Ecotect Help. Ver. 5.20. Joondalup, WA: Square One research Pty Ltd
12. Ecotect. 2003. Ecotect Tutorial. Ver. 5.20. Joondalup, WA: Square One research Pty Ltd
13. G. Mihalakakou, A. Ferrante. 2000. Energy conservation and potential of a sunspace: sensitivity analysis. Energy Conversion & Management. 41:1247-1264
14. G. Mihalakakou. 2002. On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe. Renewable Energy. 26:415-429
15. I. Blasco Lucas, L. Hoese, D. Pontoriero. 2000. Experimental study of passive systems thermal performance. Renewable Energy. 19:39-45
16. J.J. Rouxa, C. Teodosiu, D. Covallet, R. Chareille. Validation of a glazed space simulation model using full-scale experimental data. Energy and Buildings. 36:557-565
17. Jane Tresidder, Stafford Cliff. 1986. Living Under Glass. 1rd ed:98-161. New York: Clarkson N. Potter, Inc.
18. NCSC. 2005. Passive Solar Options for North Carolina Homes.: North Carolina Solar Center. Available at: [www.ncsc.ncsu.edu/default.cfm](http://www.ncsc.ncsu.edu/default.cfm). Accessed 18 November 2005.
19. Southface. 2005. Passive Solar Design. Atlanta: Southface. Available at: [southface.org](http://southface.org). Accessed 30 October 2005.
20. SketchUp. 2005. SketchUp 5 User Guide. Ver 5.0.260. Boulder, CO: Last Software, Inc

收稿日期：民國 95 年 11 月 20 日

修正日期：民國 96 年 1 月 18 日

接受日期：民國 96 年 1 月 19 日

