農業工程學報　第 49 卷第 3 期
中華民國 92 年 9 月出版

Journal of Chinese Agricultural Engineering
Vol. 49, No. 3, September 2003

生態建築之日射量模擬－以宜蘭市爲例

Simulation of Solar Radiation for Ecological Architecture – A Case Study of Ilan City

國立宜蘭技術學院土木工程系
副教授

喻　新

Hsin Yu

摘　要

生態建築的設計包括調整建築物外殼的材料、面積、開口方位及傾角，以阻隔日射量之熱源並有效收集太陽能之日射量，所以模擬日射量依平面的方位與傾角之定量變化爲本文之研究目的。三種等向散射模式包括 Liu and Jordan (1962)之二維等向模式、Klein and Theilacker (1984)之等向散射模式以及 Badescu (2002)之三維等向散射模式作一比較後，採用 K-T 模式爲本文之理論基礎。模擬宜蘭市在不同方位及傾斜角之各月平均日射量，結果發現建築物夏季東西向立面日射量最大，南向立面在夏季以外時間可有較大日射量。太陽能收集板除在水平面有最大之日射量外，全年以南向傾角 30° 爲最佳選擇；涼爽季節仍以南向傾角 30° 之平面可以得到較高之日射量，炎熱季節則以東西向傾角 30° 之平面可得到較高日射量；上述結果可提供生態建築設計之準則。

關鍵詞：生態建築，日射量，等向，散射，模擬。

ABSTRACT

The design of ecological architecture includes blocking the heat from solar radiation and collecting solar energy by adjusting material, area, opening orientation, and slope of architecture's shell. The objective of this study is to simulate solar radiation by numerical method with varied orientation and slope. Three isotropic diffused models, which include the 2-D model developed by Liu and Jordan (1962), the model derived by Klein and Theilacker (1984), and the 3-D model suggested by Badescu (2002), are compared and resulted that the K-T model is appropriate for simulation. Simulation of monthly average

daily solar radiation of architecture's facades in Ilan city by using K-T model results that vertical surface facing east and west has more solar radiation than facing other orientation. The south facing vertical surface has the most solar radiation during seasons other than summer. Simulation of monthly average daily solar radiation of solar collector results that the horizontal surface has the most irradiance. Surface facing south with tilted angle of 30° is the better choice for solar collector during the whole year. The same orientation and slope is appropriate for cooling season. Surface facing east or facing west with tilted angle of 30° is suitable for hot season. The simulation results could help the design criteria of ecological architecture.

Keywords: Ecological architecture, Radiation, Isotropic, Diffuse, Simulation.

一、前　言

當前國際面臨主要的全球環境問題包括臭氧層破壞使幅射增加，溫室效應使全球暖化以及酸雨等，使國際社會已有「地球生命共同體」之危機意識；至目爲止已相繼訂定蒙特婁議定書、巴爾塞公約、氣候變化綱要公約、京都議定書等，希望以國際共同力量來減緩全球氣候變遷，延續環境之永續經營。

台灣爲能源缺乏之島國，96%以上能源消耗包括石油、煤炭、核燃料均依賴進口能源(易洪庭，1999)，對節約能源及開發新的替代能源更應重視。建築在生命週期中，使用階段之耗能量佔將近 80%(張世典，1998)，所以建築物使用階段之節約能源爲減少能源消耗的重點。尤其建築技術規則修改後建築物耗能減少，20 年後預計至少可降低 16%的建築空調尖峰用電量，爲全國尖峰用電量的 7%；就全年的累積效果而言，每年可節約空調用電量約 46 億度，每年相當可減少 700 萬公噸的二氧化碳排放量(1995 年全國總排放量爲 150.5 百公噸)。由上述數據可知，建築物在夏季高溫期的空調降溫爲影響能源消耗及氣候變遷的重要課題。

台灣的夏季在 6 月至 8 月高溫可達 30℃以上，大部份建築及住宅使用空調降溫造成電力與能源的極大負荷，而常有跳電、限電之虞。一般的低層建築(例如廠房、倉庫、住宅、休閒木屋等)、臨時建築(檳榔攤、工地事務所、組合教室、組合房屋等)因建築材料及外殼組合熱傳導性高，熱負荷較高，而使得空調的冷氣負載更高，消耗更多能源。爲解決夏季建築物(住宅、溫室、宿舍等)的高溫問題，降低空調冷卻的能源消耗，並減少因電力消耗所產生的溫室氣體影響全球環境變遷，利用配合自然環境並符合原有生態系統的環境控制方式，應爲日後建築物控制降溫的重要手段。在生態方式之環境控制中，被動控制(Passive control)方式即爲最重要且最有效之方法；它是以「開源節流」之理念著手，例如調整建築方位、造型、開口，以提高利用自然通風量移除室內熱量，並減少建築物得到熱流量爲環境控制之方法。此種環境控制的生態方法，即是符合目前世界潮流趨勢的生態建築設計(在歐洲多稱爲生態建築，美國稱爲綠建築，日本稱爲環境共生建築)。

此外，太陽能是最有效、乾淨、廉價且永續的綠色能源，對地球生態不具衝擊；太陽能源的利用可於建築物屋頂設置太陽能熱水系統以得到熱水(唐震寰，2001)；或於建築物外殼覆蓋太陽光電系統(photovoltaic 簡稱 PV)，將太陽能直接轉換成電能而利用(楊冠雄，2001)，此種太陽能之利用收集系統均需與建築設計配合，以調整收集板方位及傾斜角度得到最佳之日射量，提供建築內部之能源利用，減少對傳統能源(如石油、天然氣等)之依賴，而符合生態建築之設計理念。

本研究擬對減少熱流方式具有顯著效果之建築外殼方位與日射量之關係進行研究，同時可

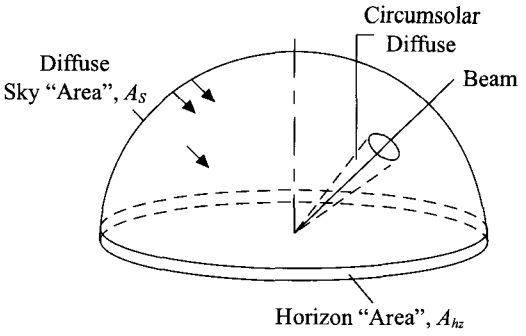


圖 1　天空圓頂之散射輻射方式圖

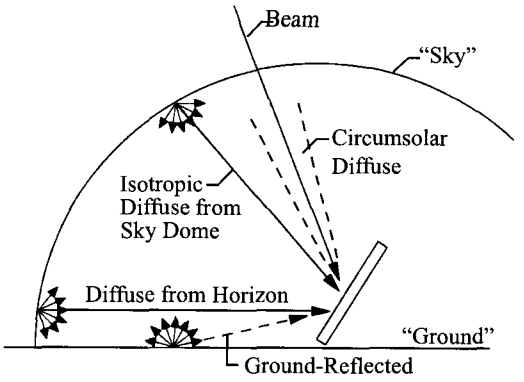


圖 2　傾斜面接受光束輻射、散射輻射及地面反射方式圖

得到建築物與太陽能收集板之方位傾角與日射量之數值關係，提供建築設計者以生態方式達到建築環境控制及最佳太陽能利用之效果，並減少能源消耗與環境破壞，建立生態建築之設計模式。

二、理論背景

(一) 等向散射模式與非等向散射模式

一般平面所接受之日射量包括太陽輻射(solar radiation)、散射輻射(diffuse radiation)以及地表反射輻射(ground-reflected radiation)；其中散射輻射又包括三部分(圖 1)，首先爲等向部分(istotropic part)：係由天空圓頂等向均勻散射；其次爲太陽周圍散射(circumsolar diffuse)：係集中在太陽周圍天空區域之散射；第三部分則爲水平生輝(horizon brightening)：係集中於水平周圍之散射，在晴朗天氣尤其明顯(Duffie and Beckman, 1991)。Hottel and Woertz 提出散射及地表反射可假設爲等向性(isotropic)，則太陽散射部分僅等向部分存在。雖然等向散射模式有簡單易懂之優點，但因其簡化也會產生總日射量之估計誤差情形，所以許多修正模式陸續將太陽周圍散射及水平生輝散射列入考慮(圖 2) (Duffie and Bechman, 1991)。

Hay and Davies (1980)將太陽周圍散射列入考量，但水平生輝仍未列入散射估計。Reindl et al. (1990)將水平生輝散射加入 Hay and Davies 的模式中，再加入 Klucher (1979)的研究內容成爲 HDKR 模式。Perez et al. (1988)發展出更完整分析三種散射方式之非等向散射模式。

許多研究曾經比較等向散射模式與非等向散射模式之準確性；Gopinathan (1990)以義大利羅馬的斜面月平均日射量作比較，發現兩者有相同之準確性。Ma and Iqbal (1983)比較加拿大安大略省在 30°、60°及 90°斜面之日射量後，發現兩種非等向散射模式(Klucher 模式與 Hay 模式)較等向散射模式(Liu and Jordan 模式)準確。Nijmeh and Mamlook (2000)比較約旦安曼的實測值後，得到 Liu and Jordan 等向散射模式在夏季較準確，其餘時間則以 Hay 之非等向散射模式較佳。Badescu (2002)將 Liu and Jordan 之二維等向散射模式發展成爲更爲可靠之三維等向散射模式；在地表反射大時，三維模式之散射估計值較二維模式低；在傾斜角度小之斜面，二維及三維等向模式之日射量估計值相當，三維模式稍微準確，但都比非等向模式高；在傾斜角度大之斜面，二維等向模式估計值明顯較高，三維等向模式之估計值非常接近非等向模式之平均估計值。

綜上所述，等向散射模式具有簡單易懂之優點，其準確性在部分研究(Gopinathan,1990; Nijmeh and Mamlook, 2000)並不比非等向散射模式差，尤其在台灣是注重夏季高溫時期之日射量模擬，夏季時等向散射模式較爲準確(Nijmeh and Mamlook, 2000)；此外，在傾斜角度較大之斜面(例如建築物立面)，三維等向模式與非等向散射模式有非常接近之結果(Badescu, 2002)，所以在

本研究中，將以模式較簡化且被廣泛應用之等向散射模式爲主，並比較二維及三維等向散射模式之差異作爲模擬日射量之理論基礎，使建築設計者可以在設計生態建築之環境控制及有效利用太陽能時，瞭解日射量與建築外殼或太陽能收集器在不同方位及傾角時之定量關係。

(二) L-J 模式

Liu and Jordan (1963)發展之等向散射模式係將傾斜面接受之輻射量分爲：太陽光束(beam)、等向散射(isotropic diffuse)及因太陽輻射散射至地面後所產生之反射等三部分，此一模式亦被廣泛應用於月平均日輻射量之計算，列如下式：

$$\overline{H}_T = \overline{H}(1-\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}})\overline{R}_b + \overline{H}_d(\frac{1+\cos\beta}{2}) + \overline{H}\times\rho_g(\frac{1-\cos\beta}{2}) \quad \text{.....(1)}$$

上式等號右邊三項即分別代表光束輻射、散射輻射及地面反射輻射。$\overline{R}_b$ 代表在斜面之平均光束輻射量與平面比率，可以下式表示

$$\overline{R}_b = \frac{\overline{H}_{bT}}{\overline{H}_b} \quad \text{.....(2)}$$

如果在北半球之平面向南傾斜，則 $\gamma = 0°$

$$\overline{R}_b = \frac{\cos(\phi-\beta)\cos\delta\sin\omega'_s + (\pi/180)\omega'_s\sin(\phi-\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + (\pi/180)\omega_s\sin\phi\sin\delta} \quad \text{.....(3)}$$

且 $\omega'_s = \min\begin{bmatrix}\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta)\\ \cos^{-1}(-\tan(\phi-\beta)\tan\delta)\end{bmatrix}$；若在南半球之平面向北傾斜則 $\gamma=180°$

$$\overline{R}_b = \frac{\cos(\phi+\beta)\cos\delta\sin\omega'_s + (\pi/180)\omega'_s\sin(\phi+\beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + (\pi/180)\omega_s\sin\phi\sin\delta} \quad \text{.....(4)}$$

且 $\omega'_s = \min\begin{bmatrix}\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta)\\ \cos^{-1}(-\tan(\phi+\beta)\tan\delta)\end{bmatrix}$

$\overline{R}_b$ 的計算僅能應用於傾斜面方位角爲 0°±15°(朝南)或 180°±15°(朝北)才有較小誤差。

$\overline{H}_d/\overline{H}$ 爲月平均晴朗指數(monthly average clearness index) $\overline{K}_T$ 之函數，其求法如下：如 $\omega_s \le 81.4^0$ 及 $0.3 \le \overline{K}_T \le 0.8$ 則

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 1.391 - 3.560\overline{K}_T + 4.189\overline{K}_T^2 - 2.137\overline{K}_T^3 \quad (5)$$

如 $\omega_s > 81.4^0$ 及 $0.3 \le \overline{K}_T \le 0.8$ 則

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 1.311 - 3.022\overline{K}_T + 3.427\overline{K}_T^2 - 1.821\overline{K}_T^3 \quad (6)$$

ρ_g 則爲地表反射率(albedo)，反射率大之地表(例如雪地可達 0.7)可將輻射大量反射至天空，其他部分才使平面更爲明亮。

(三) 三維等向散射模式

Badescu (2002)依據 Liu and Jordan 之二維等向散射模式所發展之三維等向散射模式，其主要差異是以天頂角(zenith)及方位角(azimuth)來決定天空單元位置；依據 Liu and Jordan 之二維等向散射模式傾斜面散射量爲：

$$D_T = \overline{H}_d(\frac{1+\cos\beta}{2}) \quad \text{.....(7)}$$

二維等向散射模式傾斜面之地表反射量爲：

$$R_T = \overline{H}\times\rho_g(\frac{1-\cos\beta}{2}) \quad \text{.....(8)}$$

修正之三維等向散射模式之傾斜面散射量爲：

$$D_T = \overline{H}_d(\frac{3+\cos 2\beta}{4}) \quad \text{.....(9)}$$

三維等向散射模式傾斜面之地表反射量爲：

$$R_T = \overline{H}\times\rho_g(\frac{1-\cos 2\beta}{4}) \quad \text{.....(10)}$$

其餘之直接太陽幅射量則均相同。

(四) K-T 模式

Klein and Theilacker (1981)發展另一較複雜的等向散射模式，但可應用於模擬任何方位角之傾斜面上之月平均日輻射量。此一模式與 L-J 模式均基於相同的假設，即散射與地面反射爲等向性。其主要計算式爲：

$$\overline{H}_T = \overline{R} \times \overline{H} \quad \text{.....(11)}$$

其中 $\overline{R} = D + \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}(\frac{1+\cos\beta}{2}) + \rho_g(\frac{1-\cos\beta}{2})$ (12)

上式等號右邊三項分別代表光束輻射、散射輻射及地面反射之斜面與平面比率。在光束輻射方面

$$D = \begin{cases} \max\{0, G(\omega_{ss}, \omega_{sr})\} & if\omega_{ss} \geq \omega_{sr} \\ \max\{0, [G(\omega_{ss}, -\omega_s) + G(\omega_s, \omega_{sr})]\} & if\omega_{sr} > \omega_{ss} \end{cases} \quad \text{.....(13)}$$

其中，

$$G(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{2d}[(\frac{bA}{2} - a\,B)(\omega_1 - \omega_2)\frac{\pi}{180}$$
$$+ (a\,A - bB)(\sin\omega_1 - \sin\omega_2) - a\,C(\cos\omega_1 - \cos\omega_2)$$
$$+ (\frac{bA}{2})(\sin\omega_1\cos\omega_1 - \sin\omega_2\cos\omega_2)$$
$$+ (\frac{bC}{2})(\sin^2\omega_1 - \sin^2\omega_2) \quad \text{.....(14)}$$

上式中之各項參數計算如下：

$$A = \cos\beta + \tan\phi\cos\gamma\sin\beta \quad \text{.....(15)}$$

$$B = \cos\omega_s\cos\beta + \tan\delta\sin\beta\cos\gamma \quad \text{.....(16)}$$

$$C = \frac{\sin\beta\sin\gamma}{\cos\phi} \quad \text{.....(17)}$$

$$a = 0.409 + 0.5016\sin(\omega_s - 60) \quad \text{.....(18)}$$

$$b = 0.6609 - 0.4767\sin(\omega_s - 60) \quad \text{.....(19)}$$

$$a' = a - \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} \quad \text{.....(20)}$$

至於日出及日落時間角度(sunrise and sunset hour angles)計算如下：

$$|\omega_{sr}| = \min[\omega_s, \cos^{-1}\frac{AB + C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2}] \quad (21)$$

$$\text{其中}\ \omega_{sr} = \begin{cases} -|\omega_{sr}| if(A > 0 and B > 0) or (A \geq B) \\ +|\omega_{sr}| otherwise \end{cases}$$

$$|\omega_{ss}| = \min[\omega_s, \cos^{-1}\frac{AB - C\sqrt{A^2 - B^2 + C^2}}{A^2 + C^2}] \quad (22)$$

$$\text{其中}\ \omega_{ss} = \begin{cases} +|\omega_{ss}| if(A > 0 and B > 0) or (A \geq B) \\ -|\omega_{ss}| otherwise \end{cases}$$

其餘兩項之散射輻射比率($\overline{H}_d / \overline{H}$)以及地面反射率之計算方式均與 L-J 模式相同。

三、結果與討論

本研究係以宜蘭市爲研究對象，經緯度若以中央氣象局宜蘭氣象站爲準，即位於東經 121°44'52.55''，北緯 24°45'56.04''（緯度角 ϕ=24.77°)；平面爲水平面及垂直面時，傾斜角爲β=0°及 90°；立面朝向東、南、西、北方向時，平面方位角爲 γ=-90°、0°、90°、180°；自然素材表面之日射反射率依據日本建築學會(1981)的資料顯示，地面反射率(ρ_g)在自然草地、森林、曠野、耕地、岩、砂等均在 0.2 至 0.25 左右；故取 0.2 代入本研究之模擬。

(一) 宜蘭市之水平面月平均日射量

宜蘭市之月平均日射量係根據中央氣象局宜蘭氣象站從民國 81 年至民國 90 年近十年之月平均輻射量記錄(表 1)而得到月平均日輻射量，若與水平面上接收之日大氣層外輻射量(daily extraterrestrial)來比較(圖 3)，即可得到宜蘭市的月平均晴朗指數 $\overline{K}_T$ (圖 4)；此值即代表月平均日射量照射在宜蘭市的水平面與在大氣層外水平面之比值，其減少量係因大氣層覆蓋及雲層遮蔽之影響。宜蘭市在近十年之水平面累積月平均輻射量在 118MJ/m^2 至 494 MJ/m^2 之間，月平均日輻射量則在 3.81 MJ/m^2 至 15.94 MJ/m^2 之間，水平面在外氣層月平均日射量介於 23 MJ/m^2 至 40 MJ/m^2 之間，即可得到月平均晴朗指數介於 0.17 至 0.40 間。

(二) 三種等向散射模式之比較

本研究比較 Liu and Jordan (1963)所發展之二維等向散射模式(簡稱二維模式)，Klein and Theilacker (1984)所發展之等向散射模式(簡稱 K-T 模式)以及 Badescu (2002)所發展之三維等向散射模式(簡稱三維模式)等三種等向散射模式，

表 1　宜蘭市月累積日射量及月平均日射量統計表

(單位：MJ/m²)

年/月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均
81	162	193	253	307	328	411	580	479	359	217	213	174	306
82	164	216	238	226	368	421	524	525	365	318	188	148	308
83	151	158	194	344	360	442	538	450	380	278	248	139	307
84	182	125	231	325	347	396	523	513	383	236	174	135	297
85	185	189	265	290	279	527	526	502	388	242	154	167	309
86	160	152	285	316	438	389	494	358	254	198	215	116	281
87	112	134	227	302	306	328	470	427	273	176	142	64	247
88	107	161	220	246	264	384	386	429	349	195	134	86	247
89	130	79	175	186	320	360	428	364	317	212	94	10	223
90	155	176	255	227	241	408	468	501	259	207	180	144	268
平均月累積日射量	151	158	234	277	325	406	494	455	333	228	174	118	279
月平均日射量	4.87	5.64	7.55	9.23	10.48	13.53	15.94	14.68	11.10	7.35	5.80	3.81	9.0

資料來源：中央氣象局宜蘭氣象站

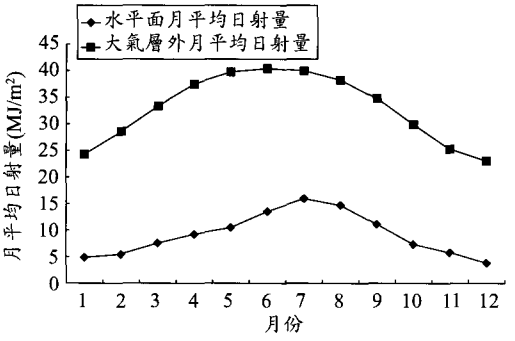


圖 3　宜蘭市水平面月平均日射量與大氣層外月平均日射量之比較

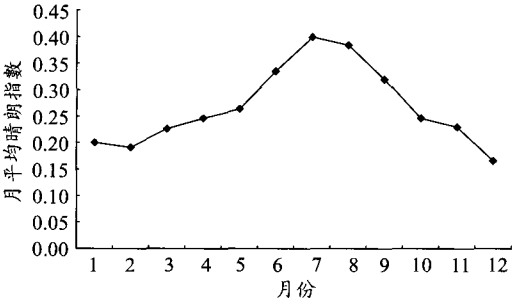


圖 4　宜蘭市之月平均晴朗指數變化

以瞭解其差異情形。因爲二維模式僅能應用於傾斜面之方位角朝南或朝北之日射量，故以南向方位來比較三種不同的等向散射模式在宜蘭市 7 月份月平均日射量最大之月份差異情形。

圖 5 顯示月平均日射量隨傾斜角增加而減少，其中 K-T 模式與二維模式模擬之月平均日射量極爲接近，三維模式模擬之結果稍低；但二維與三維模式在傾斜角爲 0° 及 90° 時，其月平均日射量相同。

圖 6 則爲光束輻射，散射輻射及地面反射輻射之各分量隨傾斜角度變化之情形。在光束輻射部份，三種模式之模擬結果均極爲接近，但以 K-T 模式較大。在散射輻射部份，K-T 模式與二維模式相同，但三維模式之散射較兩者爲低。在地面反射輻射部份，K-T 模式與二維模式亦相同，但三維模式之地表反射量爲最高，此一結果與 Badescu(2002)之研究相符。

因爲二維及三維等向散射模式在傾斜面垂直時(β=90°)，其模擬日射量均相同，故再以宜蘭市南向傾斜面在傾斜角爲 60°時，各月份之月平均日射量來做比較。由圖 7 發現 K-T 模式與二維模式之模擬結果較爲接近，三維模式則較低。三種模式模擬各分量在各月份之變化情形(圖 8)與圖 6 之結果類似，即 K-T 模式與二維模式在各分量均極爲接近；三維模式則在散射輻射較低，而在地面反射輻射較高。

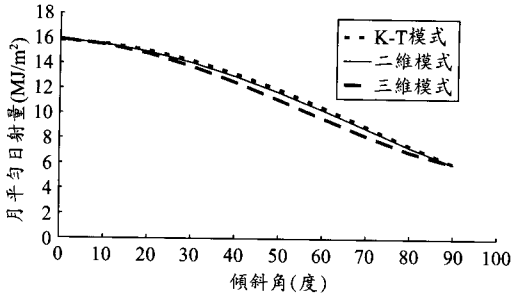


圖 5　三種等向散射模式在宜蘭市 7 月份南向平面月平均日射量隨傾斜角變化之比較

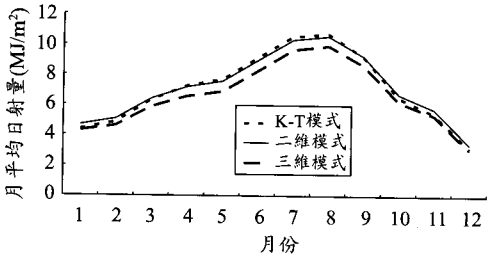


圖 7　三種等向散射模式在宜蘭市傾斜角為 60° 南向平面月平均日射量隨月份變化之比較

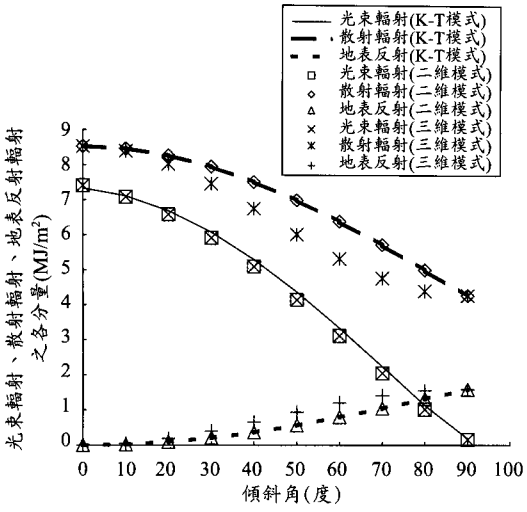


圖 6　三種等向散射模式在宜蘭市 7 月份南向平面光束輻射、散射輻射及地表反射輻射隨傾斜角變化之比較

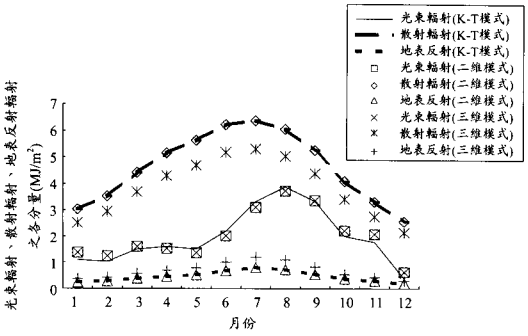


圖 8　三種等向散射模式在宜蘭市傾斜角為 60° 南向平面光束輻射、散射輻射及地表反射輻射隨月份變化之比較

本研究利用二種統計測定值用來比較各模式之差異情形，一爲均方根誤差(RMSE root mean square error)，另一則爲平均偏差(MBE mean bias error)，其計算方式如下：

$$\mathrm{RMSE}=\left(\frac{\Sigma(Ci-Mi)^2}{n}\right)^{1/2} \quad \text{.....(23)}$$

$$\mathrm{MBE}=\frac{\Sigma(Ci-Mi)}{n} \quad \text{.....(24)}$$

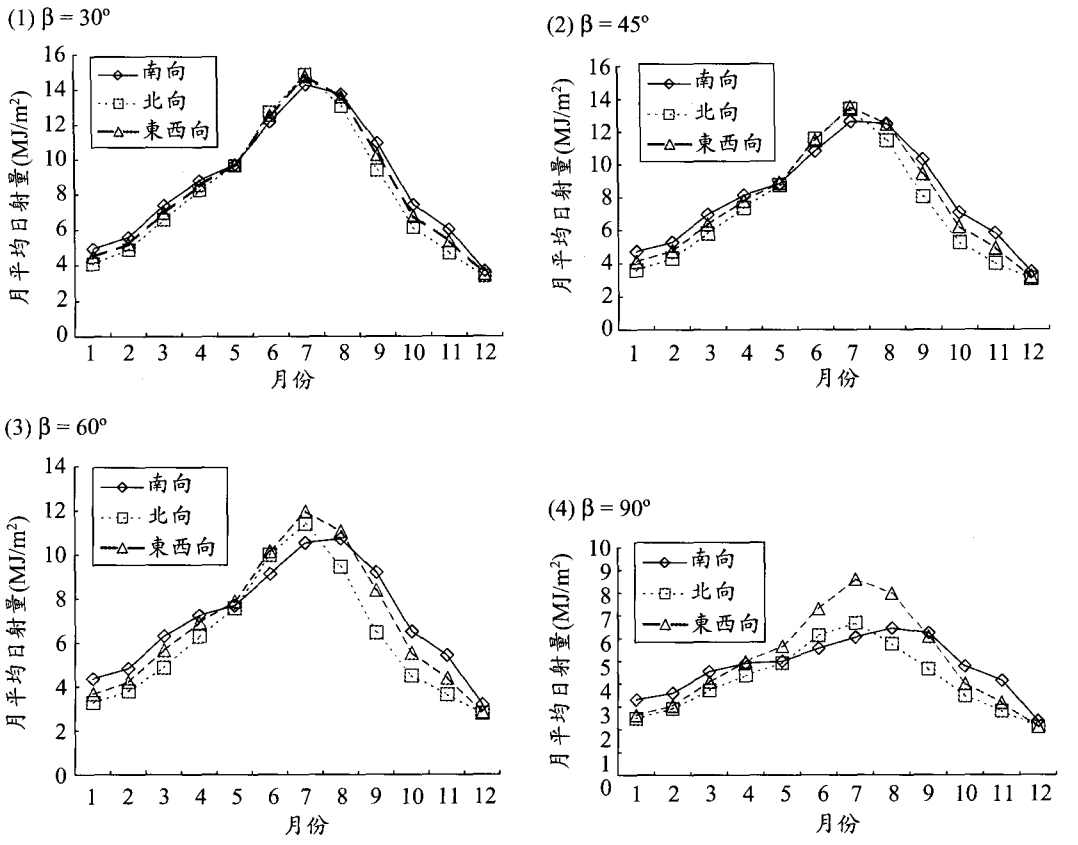
其中 Ci 爲第 i 個計算值，Mi 爲第 i 個觀測值，n 則爲觀測值的數目。若以 K-T 模式之模擬結果爲觀測值，其他模式之模擬結果爲計算值，則

表 2　三種等向散射模式之統計差異情形

項目		傾斜面在不同角度之月平均日射量	傾斜面在不同月份之月平均日射量
K-T 模式與二維模式	RMSE	0.15	0.20
	MBE	0.12	-0.05
K-T 模式與三維模式	RMSE	0.56	0.58
	MBE	0.45	0.49

RMSE 值及 MBE 之計算結果如表 2 所示。由表 2 發現 K-T 模式與二維等向散射模式有較接近的模擬結果，但 K-T 模式與三維等向散射模式的差異則較大。

由於等向散射模式因簡化模擬日射量之計算而產生低估總日射量之疑慮，所以在三種等向散射模式中模擬值較低之三維等向散射模式暫不予考慮；Liu and Jordan (1963)的二維等向散射模式則因其僅對南向或北向傾斜面有較佳之模



(1) β = 30° (2) β = 45° (3) β = 60° (4) β = 90°

圖 9 以 K-T 模式模擬宜蘭市各方向在不同傾斜角之各月平均日射量

擬結果而不予採用，本研究係以 Klein and Theilacker (1981)所發展之等向散射模式爲理論基礎。

(三) 以 K-T 模式模擬生態建築日射量

以 K-T 模式模擬宜蘭市在東、西、南、北各方向依傾斜角爲 30°、45°、60°及 90° 時之各月平均日射量如圖 9 所示，各傾斜角及水平面之月平均日射量及全年或季節累積日射量如表 3 及表 4 所示。大致而言，南向之傾斜面在不同傾角時，在涼爽季節(春、秋、冬季)之 1 月至 4 月及 9 月至 12 月得到之日射量均較高，炎熱季節之 5 月至 8 月則較低。北向傾斜面在春、秋、冬季所獲得日射量最少，炎熱季節次高。東西向傾斜面之日射量在炎熱季節最高，其他季節次高。

由上述之模擬結果可以得知，建築物立面之東西向爲減少日射量，應減少量體曝露面積；例如連棟建築應將長軸朝東西向，以減少東西向日照而增加南北向在冬季日照之機會。此外，開口及玻璃材料的使用應儘量置於南向之牆面，以增加冬季日照的機會。遮蔭的使用則應置於東西向之牆面或開口，以降低夏季日射量。不過，建築環境是綜合各項環境因素(熱、風、光、聲等)而形成，並不能只考慮日照影響，而必須考慮整體之生態環境。

若須利用太陽輻射以得到太陽能時，收集板或鋪設外殼最佳方位則以得到最大日射量來考慮。若僅以全年各月平均日射量總和作比較，則以水平面得到之日射量最高，南向傾斜角度 30° 爲次佳方位及傾角。但若考慮冬季熱水量及能

表 3　宜蘭市各方向在不同傾斜角之月平均日射量

(單位：MJ/m²)

傾斜角	0°	30°			45°			60°			90°		
度方向	水平面	南向	北向	東西向	南向	北向	東西向	南向	北向	東西向	南向	北向	東西向
1 月	4.9	4.9	4.1	4.5	4.7	3.6	4.1	4.4	3.3	3.7	3.3	2.5	2.6
2 月	5.6	5.6	4.9	5.2	5.3	4.3	4.8	4.8	3.8	4.2	3.6	2.9	3.0
3 月	7.4	7.4	6.6	7.0	7.0	5.8	6.4	6.3	4.9	5.7	4.5	3.7	4.1
4 月	9.2	8.8	8.3	8.5	8.1	7.4	7.8	7.2	6.3	6.9	4.9	4.4	5.0
5 月	10.5	9.7	9.6	9.7	8.8	8.7	8.9	7.7	7.6	7.9	5.0	4.9	5.7
6 月	13.5	12.2	12.7	12.5	10.8	11.6	11.5	9.1	10.0	10.2	5.6	6.1	7.3
7 月	15.9	14.3	14.8	14.7	12.6	13.4	13.5	10.5	11.4	12.0	6.1	6.7	8.6
8 月	14.7	13.7	13.0	13.6	12.5	11.4	12.4	10.7	9.5	11.1	6.4	5.8	8.0
9 月	11.0	11.0	9.4	10.3	10.3	8.0	9.4	9.2	6.5	8.4	6.2	4.6	6.1
10 月	7.4	7.4	6.1	6.8	7.1	5.3	6.2	6.5	4.5	5.5	4.8	3.5	4.0
11 月	5.8	6.0	4.7	5.4	5.8	4.0	4.9	5.4	3.6	4.4	4.1	2.8	3.2
12 月	3.8	3.7	3.4	3.5	3.5	3.1	3.2	3.2	2.8	2.8	2.4	2.1	2.1

表 4　宜蘭市各方向在不同傾斜角之累積月平均日射量

(單位：MJ/m²)

傾斜角度	0°	30°			45°			60°			90°		
方向	水平面	南向	北向	東西向	南向	北向	東西向	南向	北向	東西向	南向	北向	東西向
涼爽季節	55.1	54.7	47.3	51.0	51.7	41.4	46.8	47.0	35.6	41.6	33.8	26.5	30.1
炎熱季節	54.6	49.9	50.2	50.5	44.7	45.1	46.3	38.1	38.4	41.0	23.0	23.5	29.5
全年合計	109.7	104.6	97.5	101.5	96.4	86.5	93.0	85.1	74.0	82.6	56.9	50.0	59.6

註：涼爽季節爲 1 月至 4 月及 9 月至 12 月，炎熱季節爲 5 月至 8 月。

源消耗較多之狀況，則可將月平均日射量分爲炎熱季節及涼爽季節後，水平面在涼爽季節及炎熱季節的到之日射量均爲最高，南向傾斜角度 30° 在涼爽季節有次高之日射量，東西向傾斜角度 30°在炎熱季節有較大之日射量。所以太陽能接收方位及傾角若爲固定式，除水平面爲最佳接收方向外，則可選擇前述的任一種次佳方位及傾角；若爲移動式，則在炎熱季節及涼爽季節調整兩種次佳方向即可得到較多之能源。

四、結論與建議

依據中央氣象局宜蘭氣象站之實測資料，宜蘭市在近十年之水平面累積月平均輻射量在 118 MJ/m² 至 494 MJ/m² 之間，月平均日輻射量則在 3.81 MJ/m² 至 15.94 MJ/m² 之間，月平均晴朗指數介於 0.17 至 0.40 之間。若比較三種等向散射模式之差異情形，發現 K-T 模式與二維模式較爲接近，但 K-T 模式與三維模式差異較大；且三維模式模擬之日射量較其他二種模式的結果稍低。

以 K-T 模式模擬宜蘭市在不同方位及傾斜角之各月平均日射量後，發現建築物夏季東西向立面日射量最大，南向立面在夏季以外時間可有較大日射量。太陽能收集板除在水平面有最大之日射量外，全年以南向傾角 30° 爲最佳選擇；涼爽季節以南向傾角 30° 之平面可以得到最高之日射量，炎熱季節則以東西向傾角 30° 之平面可得到最高日射量。

本文之研究目的集中於以等向性模式模擬日射量，具有方法簡單與簡化模式之優點，但是有部分散射方式被忽略，所以改善等向性模式之非等向性模式是值得考慮之方法，並可比較兩種模式之模擬結果，以瞭解兩者之差異情形。

由等向性模式模擬結果已可瞭解建物各方向立面以及太陽能收集板之日射量，對於生態建築提供基本之設計理念。但是如何能有效利用或隔絕日射量，亦牽涉到開口位置、方向、大小、遮蔽方式、透過性材料(如玻璃)之整體組合與應用、以及太陽能收集板之性能與設置等。所以如何在不同季節以生態方式設計建築物外殼(包括屋頂、立面、陽台等)的材料組合、開口形式、建築造型等，以得到最佳的日射量，亦是值得未來研究的方向。

符號說明

$A\ B\ C\ a'\ b\ d$ ：常數

D ：傾斜面對水平面總輻射量比率(L-J 模式)

D_T ：傾斜面月平均日散射量(MJ/m²)

$\overline{H}$ ：水平面大氣層外月平均日總輻射量(MJ/m²)

$\overline{H}_b$ ：水平面月平均日光束輻射量(MJ/m²)

$\overline{H}_{bT}$ ：傾斜面月平均日光束輻射量(MJ/m²)

$\overline{H}_d$ ：水平面月平均日散射量(MJ/m²)

$\overline{H}_o$ ：水平面月平均日總輻射量(MJ/m²)

$\overline{H}_T$ ：傾斜面月平均日總輻射量(MJ/m²)

$\overline{K}_T$ ：月平均晴朗指數

$\overline{R}$ ：傾斜面對水平面總輻射量比率(L-J 模式)

$\overline{R}_b$ ：傾斜面對水平面光束輻射比率(L-J 模式)

R_T ：傾斜面月平均日反射量(MJ/m²)

W ：時間角(°)

W_S ：日落時間角(°)

W_{SS} ：平面方位之日落時間角(°)

W_{SR} ：平面方位之日出時間角(°)

β ：平面傾角(°)

δ ：正午時太陽傾斜角(°)

ψ ：緯度(°)

γ ：方位角(°)

ρ_g ：反射率(°)

參考文獻

日本建築學會 1981 建築的省能計畫 日本東京：日本建築學會。

易洪庭 1999 我國能源供需展望與全球環境變遷 礦冶 43(2)：17-25。

唐震宸 2001 再生能源—綠建築之太陽能熱水系統應用 中華民國建築師雜誌 27(7)：139-141。

張世典 1998 從建築省能到「綠」建築 中華民國建築學會會刊雜誌 42：20-33。

楊冠雄 2001 適當的替代能源比率是必須的—太陽光電與風力於綠建築之設計應用 中華民國建築師雜誌 27(8)：138-139。

Badescu, V. 2002. 3D isotropic approximation for solar diffuse irradiance on tilted surfaces. *Renewable Energy* 26:221-233.

Duffie J. A. and W. A. Beckman. 1991. *Solar engineering of thermal processed.* John Wiley & Sons, Inc. New York.

Gopinathan, K. K. 1990. Solar-radiation on inclined surfaces. Solar Energy 45 (1): 19-25.

Hay, J. E. and J. A. Davies. 1980. Calculation of the solar radiation incident on an inclined surface. In Proc. First Candian Solar Radiation Data Workshop. Ministry of Supply and Services Canda, 59.

Hottel, H.C. and B.B. Woertz. 1942. Performance of flat-plate solar heat collectors. *Transactions of ASME* 64(91).

Klein, S. A. 1977. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. *Solar Energy* 19: 325-329.

Klein S. A. and J. C. Theilacker. 1981. An algorithm for calculating monthly-average radiation on inclined surfaces. *Transactions of ASME, J. Solar Energy Engineering* 103:29-33.

Klucher, T. M. 1979. Evaluation models to predict insolation on tilted surfaces. *Solar Energy* 23: 111-114.

Liu, B. Y. H. and R. C. Jordan. 1963. The long-term average performance of flat-plate solar energy collectors. *Solar Energy* 7(2):53-74.

Ma, C. and M. Iqbal. 1983. Statistical comparison of models for estimating solar radiation on

inclined surface. *Solar Energy* 31:313-317.

Nijmeh, S. and R. Mamlook. 2000. Testing of two models for computing global solar radiation on tilted surfaces. *Renewable Energy* 20:75-81.

Perez, R., Rr. Stewart, R. Seals and T. Guertin. 1988. The development and verification of the Perez diffuse radiation model. Sandia National Laboratories Contractor Report SAND 88-7030.

Reindl, D. T., W. A. Beckman and J. A. Duffie. 1990. Evaluation of hourly tilted surface radiation models. *Solar Energy* 45(1):9-17.

收稿日期：民國 92 年 3 月 28 日
修正日期：民國 92 年 6 月 10 日
接受日期：民國 92 年 6 月 16 日