

臺南區商辦建物之窗牆比與窗玻特性對整體節能效率的影響

陳恩仕^{1*} 蔡明瑞¹ 蔡丁貴²

摘 要

商辦建築為公認的耗能建築，尤其照明與空調用電佔整體用電之大宗。商辦建物安裝節能玻璃可減輕冷房的熱負荷，另一方面以自然採光代替照明可減少照明負荷。安裝節能玻璃是常見之降低冷房負擔的方法，然節能玻璃常不具高度可見光穿透率，與採光節能互相牽制。本研究以模擬的方法探討臺南地區一高度照明使用的商辦建物，其節能玻璃與採光配置的優先順序，以達照明加冷房用電的最佳整體節能效率。建物室內以自然採光搭配自動控制照明系統作採光節能；節能玻璃方面以數種不同特性之玻璃與採光節能搭配進行比較；百葉窗的影響亦納入比較。本研究結果，窗牆比在0.08~0.64的範圍內，以採光節能為優先；當窗/牆比高於0.2，應當進一步使用有效隔絕太陽輻射熱能力之節能玻璃；使用可見光透光度74.4%且SHGC 0.489之節能玻璃，在此窗/牆比之內，整體節能效率達24.77~48.21%。

關鍵詞：模擬、節能玻璃、太陽輻射熱取得率、採光、整體節能

1. 前 言

數次石油危機造成世界各國對能源供應枯竭的覺醒，逐年升高的氣溫及海平面不斷對人類發出警訊，促使人們正視能源利用以及抑制溫室效應的問題。在工業國家中，總體用電除了工業部門外，住商部門的用電佔總用電達37~40% (林鴻文等，2014)。臺灣地處亞熱帶，人口密度及都市化程度非常高，具有龐大數量的商辦建築；而商辦建物耗電強度高，其冷房用電量佔整體耗能三至五成(林憲德及賴柏亨，2010；財團法人臺灣綠色生產力基金會，2013)，近年來夏季高溫屢創紀錄，提升商辦冷房節電之效率乃節約能源之重要途徑之一。

在臺灣夏季日照強烈，於開窗上採用太陽

輻射取得率(Solar Heat Gain Coefficient, SHGC)低的節能玻璃可有效的阻絕太陽熱能進入室內，以降低室內的冷房負荷來節省冷房用電。臺灣地區商辦建物常為求建築設計理念，窗戶之使用量多寡不一，建物之窗牆比(Window to Wall ratio, WWR, 為窗戶總面積對外牆面積的比值，不含屋頂面積)高者如玻璃帷幕大樓，低者如舊式商辦樓房。然而建物開窗的多寡直接影響了入射陽光的通量，開窗越多越易引入陽光而增加熱負荷，此類建物理當安裝節能玻璃以節冷房用電。

冷房之外，照明用電在各類型建築的用電比例中，亦佔了15%~30% (財團法人臺灣綠色生產力基金會，2013)。照明除了提供人員作業所需之光線，其消耗的電力最終由冷房系統負

¹行政院原子能委員會核能研究所助理研究員

²行政院原能會核研所副研究員

*通訊作者, 電話: 03-471-1400#7323, E-mail: ensihh@iner.gov.tw

收到日期: 2016年02月03日

修正日期: 2016年05月16日

接受日期: 2016年06月29日

擔(財團法人臺灣綠色生產力基金會, 2013)(內政部營建署, 2011), 故節約照明除可節約燈具用電, 另可得到節省冷房的用電的效果。最經濟節約照明的手法是利用自然光的採光, 開窗增加使更多光線進入, 但在應用採光增加室內照度的同時, 照明應能自動感測室內照度大小以決定其明滅狀態, 亦即使用晝光照明, 再利用自動控制照明系統補足照度不足的區域, 才有採光節能的意義。

然而, 當採光增加時, 雖可節省照明用電, 但引入之太陽輻射能可能反使冷房的運作消耗更多電力; 當節能玻璃SHGC非常低, 雖阻擋了太陽輻射, 卻易因窗面透光不佳而須增加照明(財團法人臺灣綠色生產力基金會, 2013)。因此, 採光與阻擋太陽輻射熱乃一體兩面, 互相牽制, 故如何將兩者合理搭配以提升節能效率是重要課題(財團法人臺灣綠色生產力基金會, 2013)。

討論以採光節省照明用電及阻擋太陽輻射對建築物節能的研究一直在進行, Danny H.W. Li等人研究了香港地區一個全面空調的開放式辦公室安裝燈光控制及貼隔熱膜於窗玻璃對照明及冷房用電的影響(Li *et al.*, 2008)。其以實測的方式發現貼隔熱膜後照明的需求增加了。然而該研究的測量結果雖顯示同一辦公室在2005年夏季的冷房用電低於2004年未安裝隔熱膜的夏季冷房用電, 但該實測非於同年夏天比較, 該作者以模擬的方式比較安裝照明控制與隔熱膜對年度整體用電(照明+冷房)的效果, 發現僅安裝照明控制的節電率與照明控制加隔熱膜並行的節電率幾乎相等。

J. W. Lee等人則以WWR、U值、窗玻之 T_v (可見光穿透率)及窗玻之SHGC等參數在照明控制下, 對亞洲地區之辦公建築耗能進行優化的研究(Lee *et al.*, 2013)。其結論為WWR在各地區大致上以 $WWR = 0.25$ 最能將照明及空調(冷暖氣)用電優化; 從較熱到較冷氣候的地區, 較高SHGC及較高 T_v 的窗玻對節能較有幫助; 而U值阻擋傳導熱的貢獻在節省暖房用電較明顯。

Yu Huang等人以模擬的方式研究在冷房為主的地區一些常用節能窗(energy-efficient windows)對一20層 $WWR = 0.35$ 之辦公建築的採光節能及熱負荷的表現(Huang *et al.*, 2014)。所選擇的節能窗有雙層窗、低輻射(Low-E)窗、室內百葉窗及遮陽板等。採光方面雙層窗及低輻射窗相當, 優於百葉窗及遮陽板; 而低輻射窗對於降低熱負荷的能力優於所選的各式窗, 亦即低輻射窗能兼顧採光及降低熱負荷的功能。

Elisa Moretti等人以實測與模擬並行的方式探討隔熱膜(solar control film)對義大利一高度開窗之建築之照明與空調(冷暖氣)的個別影響(Moretti & Belloni, 2015)。貼隔熱膜可在晴天時較未貼隔熱膜之室內降低溫度 $2-3^{\circ}\text{C}$, 對於提升室內舒適度及降低冷房負載約30%; 但同時隔熱膜也降低了採光約59%, 使照明用電需求增加。

然而既有建物占現有建物的絕大多數, 將其座向或開窗等特性加以優化來達到最低的照明需求與熱負荷是不可行的方式; 在某些情況下, 阻擋太陽熱與採光節能之效應相互抵消(Li *et al.*, 2008), 然在其他情況下又顯得有相佐之作用(Huang *et al.*, 2014)。本研究以位於臺南一具有普遍特徵之商辦建物探討其照明加冷房的整體用電受窗牆比與窗玻特性的影響, 並剖析採光節能及冷房用電節能的貢獻度。窗玻為數款不同性能的節能玻璃, 建物採光特性主要考慮之參數有WWR以及其窗玻之可見光透光度 T_v ; 影響冷房的考慮因素則為窗玻之SHGC。除了節能玻璃, 另外亦使用了自動控制之百葉窗做比較, 期研究結果能對節能減碳之落實有所裨益。

2. 研究方法

本研究以模擬的方式探討一般商辦建物的冷房加照明的整體用電受到窗之SHGC與採光節能的影響程度, 其最終目的是探索更有效的節能途徑。模擬軟體採用DesignBuilder公司出

品的DesignBuilder 4.5軟體，本軟體以3D的方式建立建物外殼及室內隔間模型，可詳細地設定建物外殼物理參數、人員活動、窗面物理參數、空調機參數及照明參數等；其耗能計算採用美國能源部開發的EnergyPlus 8.0建物耗能計算程式，為目前最先進的建築用電計算核心程式之一。DesignBuilder 4.5將建物的外殼幾何及物理參數送至其內建的EnergyPlus 8.0，進行所需的計算分析，再送回DesignBuilder 4.5進行數據報表輸出。本模擬的建模及參數的選用分述如後。

2.1 基地模型

本研究所使用之商辦建築，長寬各35 m，高度35 m，為十層樓方形建物。通常商辦建物的四個方向的牆面皆開窗，本模型為四面平均開窗，如圖1所示，其中一面朝北方；開窗大小依WWR不同而有所不同，WWR共有0.08、0.16、0.32及0.64等比例。一般商辦建物室內擺設複雜且隔間格局不一，本建物之內部格局如圖2所示，分為四周辦公區與中央茶水區及電梯間，中央區域為 $16.65\text{ m} \times 16.65\text{ m}$ 之隔間，辦公

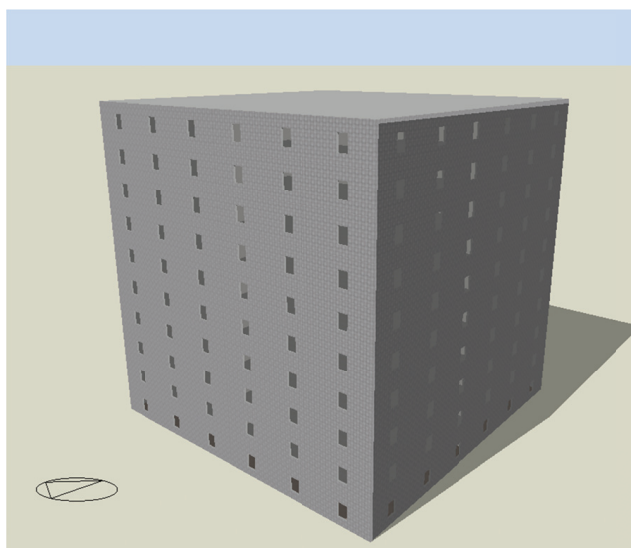


圖1 商辦大樓外觀圖。此圖之WWR為0.08 (本研究繪製)

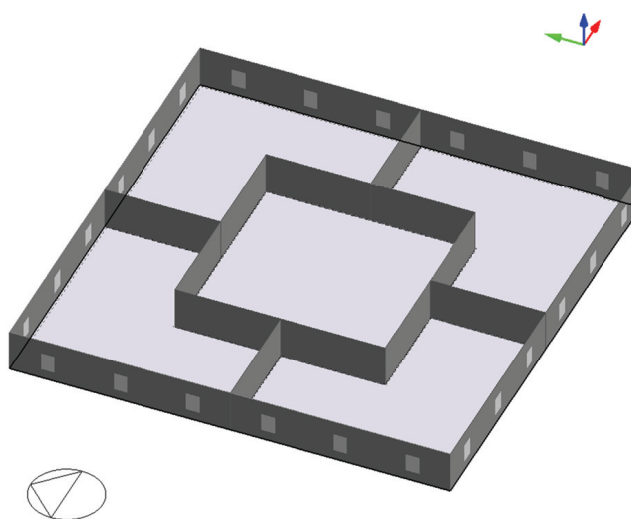


圖2 商辦內部格局圖(本研究繪製)

區依圖示平均隔間。由於綠建築尚未普及，既有建築仍以RC結構佔大多數(林法勤&塗三賢，2007)，建物的外殼參數校正參考Chi-Ming Lai及Yao-Hong Wang的研究(Lai & Wang, 2011)，RC牆U值(每平方公尺之平面，其正反面溫差1°C時，所傳導的熱流量W) 3.675 W/m²-K；屋頂U值1.157 W/m²-K。

2.2 室內燈具及採光節能

臺灣地狹人稠，都市商辦建物人員密度高，燈具的設置遍及每一角落，以提供足量的照明予人員使用。本模擬假設商辦採用當前常用高效率T5節能燈管，T5的等照度用電密度為2.99 W/m²-100lux (光電科技工業協進會，2008)。本模型各樓層之外圍辦公區域按CNS辦公室照度標準，燈具提供照度500 lux之照明，相當於14.95 W/m²之用電密度；在中央茶水區則固定150 lux不受採光影響。於模擬採光節能時，採光不足之區域燈具依線性調整的控制方式維持500 lux；採光高於500 lux之區域不開照明。通常調整燈具發光強度並非必與燈具耗電成正比，如鹵素燈。本研究所用T5燈管之耗電正比於燈具所提供之照度，其耗損之電力將成為室內熱負荷，對冷房之影響由EnergyPlus 8.0的演算法求得。

2.3 節能玻璃與百葉窗

節能玻璃大致可分為有色玻璃、鍍膜玻璃及隔熱膜貼膜玻璃等；透明清玻璃於本研究中亦視為節能玻璃的一種，為最不能遮陽的節能玻璃。本研究的節能玻璃採用透明清玻璃、有色玻璃及隔熱膜貼膜玻璃。節能玻璃的性能就隔熱性而言，在冷房為主的地區以太陽輻射熱取得率(Solar Heat Gain Coefficient, SHGC)為指標參數，SHGC越低越能隔絕太陽輻射。既有商辦之窗面為求成本起見通常安裝單層玻璃，其厚度約為5 mm~8 mm，U值則在5~6 W/m²-K左右；就採光性而言，以可見光透光率(Visible Transmittance, Tv)為參數，Tv值越高採光效果

越佳。兩者之定義參考CNS-12381 R3161規範所定義之意涵。表1為本模擬所使用的節能玻璃參數。

表1 節能玻璃參數表(本研究整理)

編號	SHGC (無單位)	Tv (%)	U (W/m ² -K)
A	0.824	87.3	5.74
B	0.489	74.4	5.96
C	0.490	33.5	6.00
D	0.245	10.0	5.24

表中之A為8 mm透明玻璃作為對照組，B為本所研發之紅外線反射型隔熱膜貼膜玻璃。為了瞭解隔熱性與採光性的影響，B與C具有相近隔熱性但B之採光性優於C；C及D採光性較差，但D之隔熱性較佳。

百葉窗為國人常用之遮陽工具之一，亦具阻擋太陽熱能的效用。百葉窗功能的發揮，除了需有高的反射率來阻擋太陽熱(Huang *et al.*, 2014)，尚賴使用者操作的模式而定。然百葉窗的操作模式並無標準，本研究參考Hui Shen等人之研究，當室外陽光強度達20 W/m²即關閉百葉窗(Shen, 2012)。依臺灣氣候及國人習慣，百葉窗僅六~九月份操作，其他季節百葉窗打開；本模擬之百葉窗反射率為0.8。

2.4 冷房及人員密度設定

本商辦建物的冷房定溫為26°C，當室內氣溫高於26°C則冷房運作，室內氣溫低於此溫度時則冷房運作停止；為維持大樓內之舒適度，室內須有固定之新鮮空氣，本模擬大樓之換氣率為每人17.85 cfm (行政院環境保護署，2016)，換算為8.33 l/s-person，新鮮空氣進入室內供人員使用前須先降溫，於夏季亦為冷房的主要負擔之一；空調機COP為3.45 W/W (Lai & Wang, 2011)。人員密度為0.15 person/m² (內政部營建署，2011)，並假設室內無其他辦公電器使用。

2.5 氣候資料

本模擬之商辦位於臺南，模擬所需之氣候資料為臺南TMY3 (Typical Meteorological Year, TMY)格式的資料，資料來源為中央氣象局，為中央氣象局一級測站之實際觀測資料，資料時間自1998至2012年，參考美國Sandia Method標準流程研製而成，是一假想的氣象年，其意義在於以一年份之標準氣象來代表當地之長期氣候最平均之變動情況，以作為建築能源解析輸入之外界氣象條件標準(內政部建築研究所，2013)。

2.6 比較基準

在各WWR之下，皆以編號A之玻璃(8 mm 清玻璃)與照明全開的方式做為比較基準，以計算整體節能效率。

2.7 採光與照明節能模型

近年由於電腦計算的發達，採光研究多以電腦模擬計算的方式進行，亦有對既有建物做現地量測的採光研究。吾人描述採光之程度常以採光係數(daylight factor)作為指標，採光係數可用於描述室內任一點的採光特性。然而，採光係數並未與建物的外殼參數如WWR，及室內參數如地板面積等做連結，若進一步以採光係數推算照明節能勢必須整理非常大筆之資料，較不具便利性。Moncef Krarti等人以DOE-2.1E軟體模擬數種不同形狀之建物，並調變各建物的地板面積、窗戶面積及外圍地板面積(perimeter floor area)等，研究其對照明節能的影響，並提出一統合性的公式加以描述建物參數與照明節能間的關係(Krarti *et al.*, 2005)，如下式

$$f_d = b[1 - \exp(-a\tau_w A_w / A_p)] A_p / A_f \quad (1)$$

其中 τ_w 是窗的可見光透光率，介於0~1之間， $\tau_w * 100\%$ 即為Tv； A_w 為窗的面積； A_p 為樓層外圍地板面積； A_f 為樓地板面積。a、b為一

常數，與該建物的所在地、室內照度設定及燈具控制方式有關，b更與一年中室外所提供的採光使室內照度高於需求的時間比例有關(Krarti *et al.*, 2005)。式(1)在Moncef Krarti的研究中可解釋另一研究之結果(Onaygil & Guler, 2003)。Pyonchan Ihm等人亦研究了該公式在不同的 τ_w 、 A_w/A_p 、地區及操作模式下之敏感度，得知公式的預測仍能吻合電腦模擬計算的結果；並且在其實測中，印證其適用性(Ihm *et al.*, 2009)。故本研究除了以DesignBuilder 4.5進行採光模擬，亦採用公式(1)進行擬合以作為採光節能評估的模型。

3. 結果與討論

3.1 節能玻璃之隔熱效能

圖3表示大樓僅安裝節能玻璃不開燈所造成的年度冷房用電。由於各玻璃的U值相近，在其餘條件不變的情況下，各節能玻璃的SHGC所引入的不同的太陽熱能便為影響冷房負載的主要因素，SHGC越低則冷房耗電量越少，各款節能玻璃的冷房的耗電量對WWR近乎呈一直線。

另外，當大樓僅安裝A玻璃且照明全開的情況，其冷房用電情形亦示於圖3。大樓照明全開所需照明電力在WWR = 0.08時對無照明情形的冷房增加了55.89%的負擔，在WWR = 0.64增加了26.08%的負擔，顯示全面照明對冷房的負荷佔了一個不可忽視的比例。

3.2 採光節能效率

建物的採光靠窗的引光入室，窗開口開得大、開口多且窗玻璃透明度高，自是採光效果佳。建物的格局設計，各樓層平面的面積不一，在固定的樓層高度下，樓層面積大者該樓層顯得扁平，反之則否。窗的採光受到陽光入射角度及窗開口的限制，只能進入室內一個有限的範圍，因此樓層的扁平與否會影響採光面

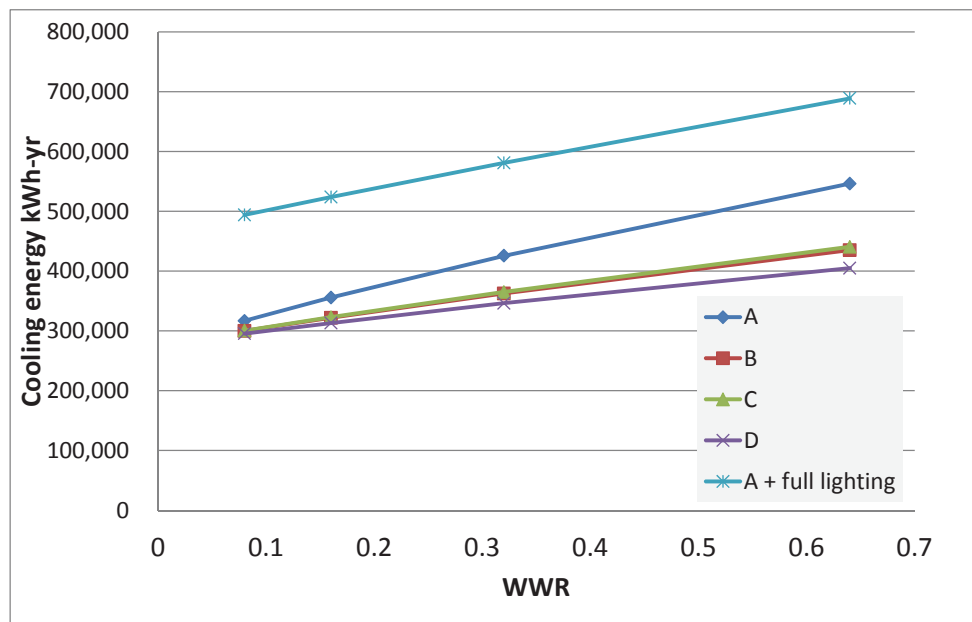


圖3 大樓安裝不同節能玻璃且不開照明的年度冷房耗電。大樓安裝A玻璃且照明全開的冷房耗電亦一同比較(本研究繪製)

積之佔比，從而影響整樓層採光的效率。

式(1)之 $\tau_w A_w$ 正比於光通量，是影響採光節能的重要參數，而 A_w 除以牆面面積即為WWR；當 $\tau_w A_w / A_p$ 值達2.3時， f_d 達最大值之90%，表示已達充分採光，陽光已儘可能深入該樓層。

圖4說明大樓安裝不同節能玻璃的採光節

能效率，並且改變WWR觀察其變化情形。採光節能效率指在各WWR下，相對於8 mm清玻璃照明全開的用電效率，即本研究之照明節能效率。以式(1)描繪本大樓的照明節能曲線，亦顯示於圖4中，以fitting A...D的虛線表示。使用的參數 $a = 22$ ， $b = 95$ ，乃參Moncef Krarti等人作法，以臺南區TMY3氣候檔為基礎，模擬

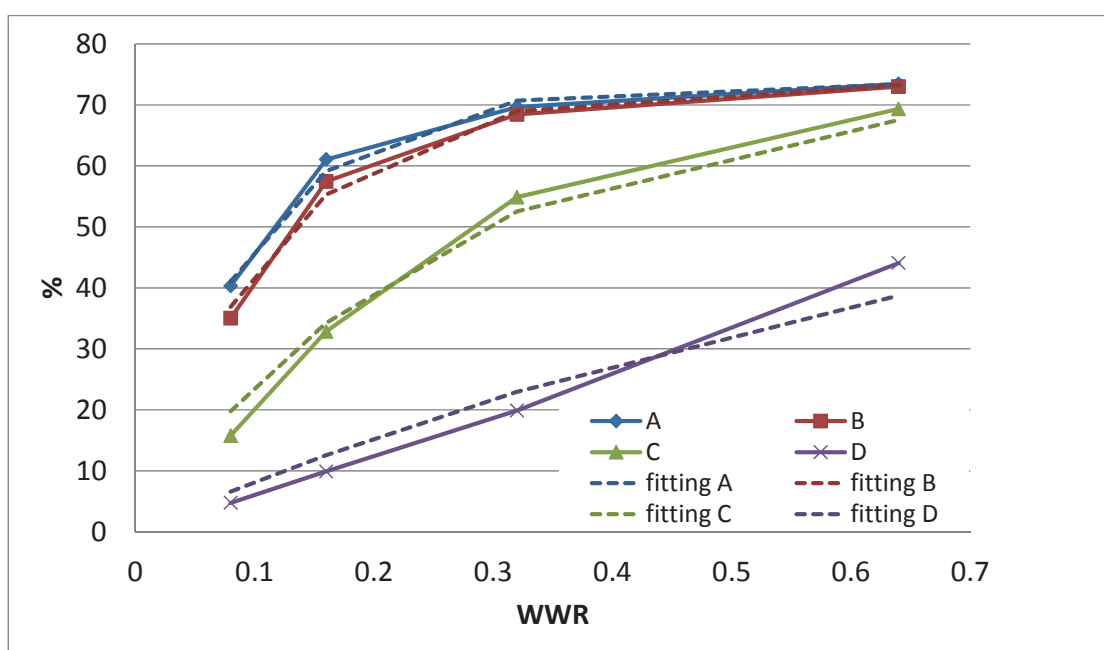


圖4 不同WWR之大樓安裝不同節能玻璃的採光節能效率，實線為DesignBuilder 4.5模擬結果，虛線為公式擬合結果(本研究繪製)

採光節能曲線，再以公式(1)擬合而得。式(1)對參數 a 、 b 的敏感性，可將 f_d 分別對 a 及 b 微分來探討，可得 $\Delta f_d = (\partial f_d / \partial a) \Delta a + (\partial f_d / \partial b) \Delta b$ ，而在 $a=22$ 及 $b=95$ 附近，各玻璃所對應之係數 $\partial f_d / \partial a = 0.03 \sim 1.2$ 及 $\partial f_d / \partial b = 0.06 \sim 0.77$ ，因此 a 、 b 的個位數誤差對 f_d 並不嚴重，故 a 、 b 值可合理代表本研究的情境。模擬的採光節能對WWR的結果，與公式所描繪的曲線十分接近。

如前述，窗的採光節能效率受制於 $\tau_w A_w$ 之積，亦可說 $T_v * WWR * A_{wall} / 100\%$ 之值，以本大樓之情形 $T_v * WWR / 100\% = 0.1967$ 即達最大採光效率 f_d 的90%，為充分之採光。可從圖中看出各組的採光節能效率因WWR升高而提升。當中A的採光效率高於其他節能玻璃，效率在40.31%~73.45%；B的採光效率在 $WWR > 0.32$ 幾乎與A重合，因B的 $T_v * WWR / 100\% > 0.1967$ 已使式(1)達飽和；但在 $WWR < 0.3$ ，開窗面積小，B的表現低於A。而C與D是因 T_v 不高，採光效率不及A與B。C的採光節能效率在 $WWR = 0.64$ 時接近B與A的表現，此是其 $T_v * WWR / 100\% = 0.2144 > 0.1967$ ，陽光可有足夠的窗面積透過較不透光的C。

3.3 整體節電率

圖5顯示所有玻璃種類在 $WWR = 0.32$ 時，

相對於基準所產生的整體節能效率、採光節能效率及冷房節能效率。採光節能效率最高者為A，達69.7%，而D的採光節能效率為19.9%；A的冷房節能效率18.5%而D為16.3%；A的整體節能效率為41.8%，D為17.9%。此亦顯示了整體節能效率以採光節能為先決要素；當採光不佳，如D，除了需增加照明外，照明產生的熱亦增加了冷房負擔，終使D的冷房節能效率低於A。圖5的A與B之比較，B的整體節能高於A約4.9%，主因為B使冷房節能高於A約10%；B同時具有高透光且SHGC相對較低的特性，可比A更進一步得到隔熱節能的效率。因此在充分採光之後，隔熱的能力SHGC是增進整體節能的進一步參數。

圖6顯示大樓安裝節能玻璃A、B、C及D在不同的WWR的情況下，相較於比較基準之照明加冷房的整體節能效率。欲得最佳的整體節能效率，節能玻璃的特性以 $WWR = 0.2$ 為分水嶺，當 $WWR < 0.2$ ，僅須考慮充分採光即可。當 $WWR > 0.2$ ，須先充分地採光，其次才考慮最低的SHGC。就能量守恆的觀點，不可能製造出 T_v 值極高但SHGC近於0的節能玻璃，實際上SHGC較低的節能玻璃常須犧牲 T_v ，因此往往不能達到充分採光的條件(本研究中以 $T_v * WWR / 100\% = 0.1967$ 為充分採光條件)，在

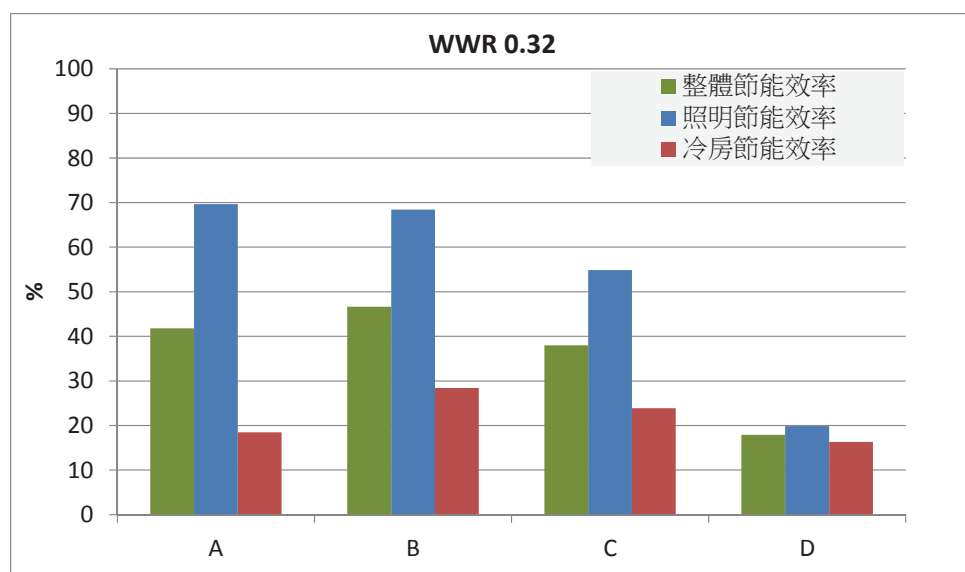


圖5 當 $WWR = 0.32$ ，各式玻璃對整體節能效率、照明節能效率及冷房節能效率(本研究繪製)

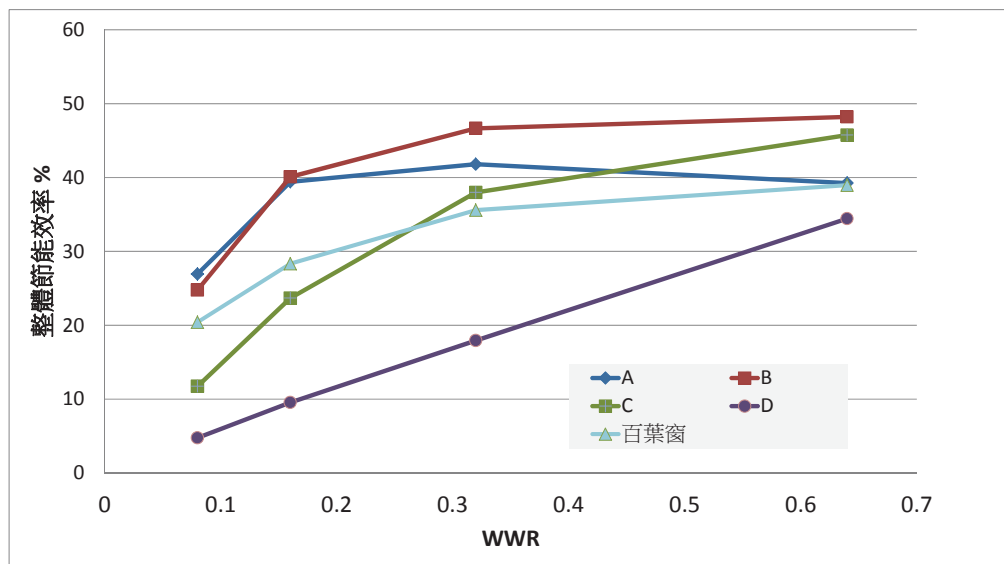


圖6 整體節電率對WWR的曲線圖(本研究繪製)

實品之比較與選擇上，以最接近充分採光條件者較採光不佳者優先擁有較高的整體節能效率。

當 $WWR < 0.2$ 時，由窗戶透入的太陽熱能尚不多，對冷房負擔影響不大，但 T_v 高之窗有助於採光節能，故 A 之整體節能效率相較 C、D 玻璃高，B 僅與 A 相當，如圖所示；當 $WWR > 0.2$ ，採光的效率依然優先，故 A、B 效率高於 C、D，且 C 高於 D；其次是 SHGC 的效率，B 的 SHGC 較 A 低，可得更進一步的整體節能效率，使 B 的效率高於 A。B 的 $T_v \cdot WWR / 100\%$ 在 $WWR = 0.2 \sim 0.64$ 時為 $0.1488 \sim 0.4762$ ，雖有部分不滿足充分採光，但相對於 C、D 而言 B 之採光優勢明顯較高，且具有良好的 SHGC 表現，故在 $WWR = 0.2 \sim 0.64$ 之整體節能效率優於其他玻璃。反觀節能玻璃 D，雖其 $SHGC = 0.245$ 為最低，但其 T_v 僅 10%，並未先滿足充分採光的條件，在 $WWR = 0.64$ 時並未得到最高的整體節能效率，顯示 T_v 值過低將不利於各式開窗的整體節能；在 $WWR = 0.64$ ，依充分採光的條件， T_v 應至少提升至 30.7%。

圖 7 表示各節能玻璃與百葉窗在不同 WWR 對照明的節能貢獻圖。採光節能的貢獻為藉採光所節省之照明用電除以各 WWR 之比較基準之整體用電。圖 8 則表示各節能玻璃與百葉窗在

不同 WWR 對冷房的節能貢獻圖。冷房節能的貢獻為所節省之冷房用電除以各 WWR 之比較基準之整體用電。可以觀察到採光節能普遍為冷房節能的 2~3 倍，顯示採光節能的考慮應置於 SHGC 隔熱之前，當充分採光後再運用 SHGC 進行隔離太陽熱，各地區各不同建物的充分採光條件值得吾人投入更多研究。採光節能的影響高於 SHGC 隔熱的原因之一為採光節能為終年皆可行，而隔熱節能僅夏季方有成效。美國國家能源局 DOE 的研究也有類似之結論，該研究以在不同地區之屋頂採光的建築為對象，指出採光的整體節能影響力優於冷房及暖房 (U.S. Department of Energy, 2008)。百葉窗的整體節電效率，由於其在全開(葉片水平)的情形下，對陽光仍有遮擋作用，在 $WWR < 0.64$ 的範圍，採光效率不及 A 窗，而百葉窗的隔熱能力約與 A 窗相當，致使整體節能率不及 A 窗，如圖 6。而兼具 SHGC 隔熱性及高度 T_v 的節能玻璃 B 在 $WWR = 0.16 \sim 0.64$ 之整體節能效率高於其餘選用之節能玻璃。

4. 結 論

商辦大樓為具有高度能源使用之特性，其冷房與照明大約佔總能耗的 40%~60%。臺灣地

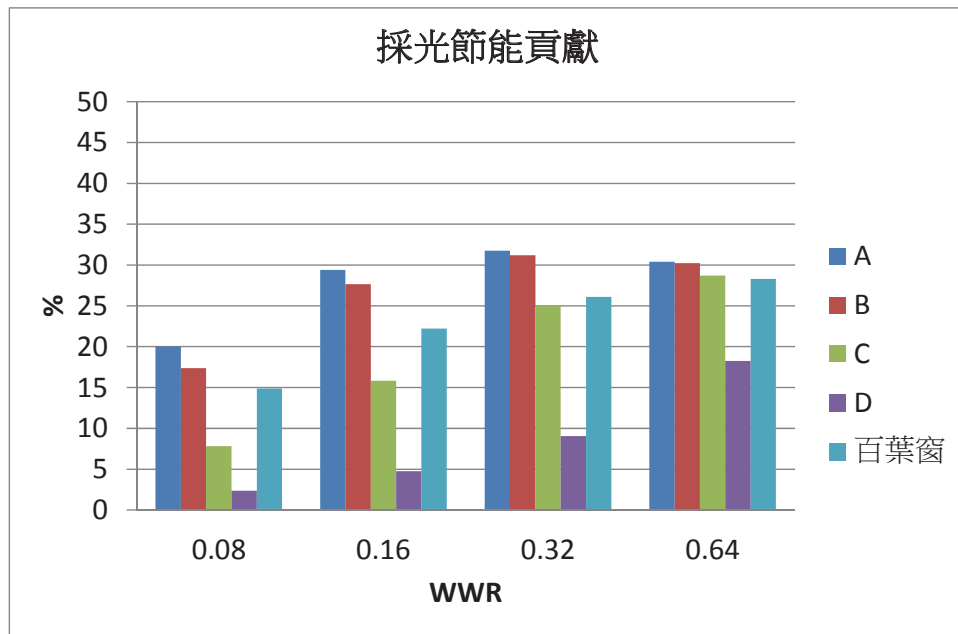


圖7 節能玻璃與百葉窗的採光節能貢獻圖(本研究繪製)

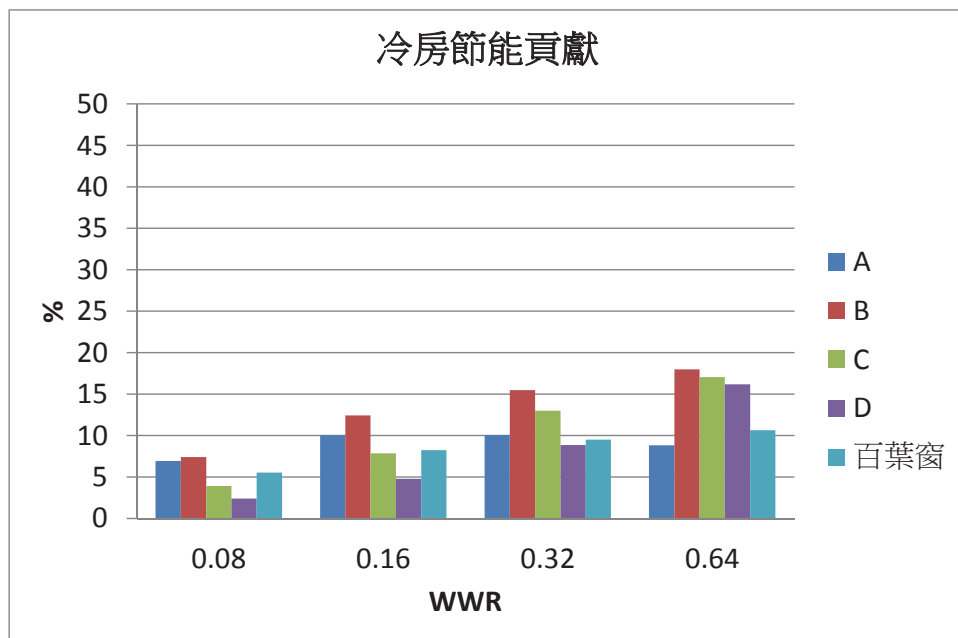


圖8 節能玻璃與百葉窗對冷房節能貢獻圖(本研究繪製)

區，國人常以安裝節能玻璃的方式避免陽光照射，以減輕冷房負擔；另一方面，亦希望能增加採光以節省照明。然而安裝節能玻璃往往犧牲採光，與採光是有所衝突的，本研究以電腦模擬的方式模擬一位於臺南之商辦大樓之遮陽與採光的年度整體節電效率。在室內，燈具用電所發的熱最終會變成熱能成為冷房負荷，在

照明全開不加以控制的情況，辦公區 14.95 W/m^2 的照明用電強度所發的熱對冷房造成電力負擔佔年度整體電力約 $12.12\% \sim 18.06\%$ 。採光節能在本研究中，於不同的WWR之年度效率可達 $40\% \sim 73\%$ ，並且採光節能對減輕冷房負擔有相當助益。整體節能方面，當 $\text{WWR} < 0.2$ ，首重採光節能較有節能效果，可達 $25\% \sim 40\%$ ；

當 $WWR > 0.2$ ，太陽輻射熱的重要性提升，整體節能須在滿足採光節能的前提下(本研究中 $T_v \cdot WWR / 100\% = 0.1967$)，再選擇隔絕太陽輻射熱性能佳的玻璃，即 SHGC 低的窗玻璃。本研究中，使用可見光穿透度 74.4%，SHGC = 0.489 之貼膜玻璃，在 $WWR = 0.08 \sim 0.64$ 之整體節能效率達 24.77~48.21%。

參考文獻

- 內政部營建署，2011，辦公廳類建築物節約能源設計技術規範，內政部營建署，http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=10532&Itemid=57。
- 內政部建築研究所，2013，建築能源模擬解析用 TMY3 標準氣象年資料，內政部建築研究所，http://smartgreen.abri.gov.tw/download_list.php?no=38&SubJt=建築能源模擬解析用TMY3標準氣象年資料。
- 光電科技工業協進會，2008，第二章 光源與照明之應用，光電科技工業協進會，http://www.pida.org.tw/report/html/member/2008_q2_ch_02.pdf。
- 行政院環境保護署，2016，室內空氣品質資訊網，行政院環境保護署，http://iaq.epa.gov.tw/indoorair/page/7_1.aspx。
- 林法勤、塗三賢，2007，臺灣木構造房屋建築市場現況，林業研究專訊 Vol. 14 No. 6，第10-13頁。
- 林憲德、賴柏亨，2010，辦公大樓空調形式與耗能特性之研究，建築學報，第74期，第27-44頁。
- 林鴻文、蘇梓靖、劉學銓、李浩銓、張文奎、杜威達、張鈺炯，2014，建築節能評比策略、挑戰與評估工具開發，臺灣能源期刊，第1卷，第5期，第589-600頁。
- 財團法人臺灣綠色生產力基金會，2013，建築節能應用技術手冊，財團法人臺灣綠色生產力基金會，<http://www.ecct.org.tw/print/index.htm>。
- Huang, Yu, Jian-lei Niu, Tse-ming Chung, 2014, Comprehensive Analysis on Thermal and Daylighting Performance of Glazing and Shading Designs on Office Building Envelope in Cooling-Dominant Climates, Applied Energy 134 PP. 215-228.
- Ihm, Pyonchan, Abderrezek Nemri, Moncef Krarti, 2009, Estimation of Lighting Energy Savings from Daylighting, Building and Environment 44 PP. 509-514.
- Krarti, Moncef, Paul M. Erickson, Timothy C. Hillman, 2005, A Simplified Method to Estimate Energy Savings of Artificial Lighting Use from Daylighting, Building and Environment 40 PP. 747-754.
- Lai, Chi-Ming, Yao-Hong Wang, 2011, Energy-Saving Potential of Building Envelope Designs in Residential Houses in Taiwan, Energies 4 PP. 2061-2076.
- Lee, J. W., H. J. Jung, J. Y. Park, J. B. Lee, Y. Yoon, 2013, Optimization of Building Window System in Asian Regions by Analyzing Solar Heat Gain and Daylighting Elements, Renewable Energy 50 PP. 522-531.
- Li, Danny H. W., Tony N.T. Lam, S. L. Wong, Ernest K. W. Tsang, 2008, Lighting and Cooling Energy Consumption in an Open-plan Office Using Solar Film Coating, Energy 33 PP. 1288-1297.
- Moretti, Elisa, Elisa Belloni, 2015, Evaluation of Energy, Thermal, and Daylighting Performance of Solar Control Films for a Case Study in Moderate Climate, Building and Environment 94 PP. 183-195.
- Onaygil, Sermin, Onder Guler, 2003, Determination of the Energy Saving by Daylighting Responsive Lighting Control

- System with an Example from Istanbul, Building and Environment 38 PP. 973-977.
- Shen, Hui, Athanasios Tzempelikos, 2012, Daylighting and Energy Analysis of Private Offices with Automated Interior roller shades, Solar Energy 86 PP. 681-704.
- U.S. Department of Energy, 2008, Commercial Building Toplighting: Energy Saving Potential and Potential Paths Forward, U.S. Department of Energy, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/commercial_initiative/toplighting_final_report.pdf

The Effect of Window- to-Wall Ratio and the Glazing on the Total Energy Efficiency of A Commercial Building in Tainan

En-Shih Chen^{1*} Ming-Jui Tsai¹ Ding-Guey Tsai²

ABSTRACT

Commercial Buildings are known as high energy consuming sectors. Using proper energy efficient glazing can reduce interior cooling loads for the air-conditioning. Employing daylight can save the artificial lighting energy. However energy efficient glazing usually oppose to daylighting for their low visible transmittance. This study conducted a simulation to investigate the priority of solar heat rejection of the glazing and the daylighting for a highly lighting demanding commercial building in Tainan to get the best total energy saving benefit in the lighting and cooling energy. The lighting system linearly adjusts the lights to meet the illumination requirement as the daylight energy saving method. Several energy efficient glazing were used and compared in conjunction with the daylighting. A window blind was also included for comparison. In conclusion, for window to wall ratio (WWR) of 0.08~0.64, the daylight energy saving has the priority. And for WWR > 0.2, glazing with effective low solar heat gain are to be employed in advance. Using a glazing with visible transmittance of 74.4% and SHGC of 0.489 are able to reach a total efficiency of 24.77~48.21% over the WWR of 0.08~0.64.

Keywords: simulation, glazing, SHGC, daylighting, total energy efficiency

¹ Assistant Researcher, Physics Division, Institute of Nuclear Energy Research, Atomic Energy Council, Executive Yuan.

² Associate Researcher, Physics Division, INER.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-471-1400#7323, E-mail: enshih@iner.gov.tw

Received Date: February 3, 2016

Revised Date: May 16, 2016

Accepted Date: June 29, 2016