

不同玻璃對室內熱環境和空調能耗影響之研究

何明錦 (Ming Chin Ho)
中國科技大學建築研究所

黃瑞隆 (Ruey Lung Hwang)
國立聯合大學建築系

*姚志廷 (Jyh Tyng Yau)
內政部建築研究所

摘要

在台灣濕熱的氣候條件下，理想的建築節能玻璃應該至少要滿足夏季防熱和晝光利用兩項基本要求。換句話說，建築節能玻璃都以能同時兼顧室內光、熱環境舒適，以及照明與空調節能的要求。所以本研究基於室內光、熱環境的舒適性、能源使用的觀點探討外窗玻璃的有相關參數，透過在內政部建築研究所之全尺度實驗室，實測6種常用的建築玻璃對室內居住者舒適性及空調與照明能耗的影響，為建築玻璃的選擇提供量化研究的科學依據。

關鍵詞：外窗玻璃、冷氣能耗、熱舒適、全尺度實驗

Field experiment of the effect of glass types on indoor environment quality and energy use

Abstract

Window is an important part of the building envelope. Although the presence of large window surfaces could be preferable for daylighting and sightseeing, during the cooling season more attention has to be paid in order to limit the inlet of solar radiation which causes the increment of cooling load. Energy consumption caused by window accounts for a large proportion in the whole building cooling energy consumption. However, the choice of glazing type and the design of windows on a façade may depend on comfort consideration besides energetic evaluations. In other words, energy-saving window glass have to be able to simultaneously take into account the indoor visual and thermal comfort, as well as the energy consumption from lighting system and air conditioning system. Moreover, the quantitative analysis based on the experimental test is lack. Therefore, the aims of this study are to explore the related parameters for selection of suitable window glass in the views of indoor visual, thermal comfort and energy use. Full-scale experiments was carried out in the six test cells in ABRI. Six different types of glass are choose and installed on the test cells for full-scale experiment.

Keywords : Window glass; thermal comfort; cooling energy; full-scale experiment

一、前言

作為開口部件的窗戶是建築外殼的重要組成部分。它是室內與戶外環境交流的主要路徑。通過外窗可以看見室外的景色。陽光進入室內提供自然採光，室內工作者對自然光的感覺可能也會產生更好的工作效率，也可增加室內的寬敞度。但是，另一方面它也是室內與室外能量阻隔最薄弱的環節。在氣候炎熱的地區，夏季透過玻璃窗的室內太陽輻射得熱量占建築外殼負荷的一半以上。透過窗戶的太陽輻射熱得越多，不僅會增加建築的空調能耗，勢必同時嚴重影響建築室內的熱舒適性。室內光、熱環境以及空調能耗相關的玻璃基本性能參數如下三個：(1) 傳熱係數(U值)：建築外窗的U值主要用來衡量由溫差引起的建築外窗的熱傳導量。(2) 遮陽係數(SC)和太陽得熱係數(SHGC)：建築外窗玻璃的SC是透過玻璃與透過3mm厚普通透明平板玻璃的太陽得熱之比。SC用0~1的數值來表示，遮陽係數越大，表明太陽輻射得熱越多，遮陽係數越小，太陽得熱就越少。(3) 可見光透過率(VT)：建築外窗的VT是指可見光部分透過窗戶所占的比例。較高的可見光透射率意味著房間中可以獲得較多光線，自然採光效果好，在設計合理的情況下，可以輔助電氣照明能耗以及降低相關的空調負荷。VT受玻璃類型、玻璃層數以及玻璃塗層等因素的影響，變化範圍較大。

本研究先回顧蒐集玻璃性能相關文獻，來探討玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響的研究與進展；進行雙層低輻射玻璃、雙層微反射玻璃、雙層色板玻璃、單層變色玻璃、單層色板玻璃、單層透明玻璃，6種玻璃的室內光、熱環境和空調與照明能耗測量的全尺度長期實測實驗；解析玻璃的熱力與光學性質對建築物室內光、熱環境品質以及空調和照明耗能的影响。

二、研究方法與材料

2.1 節能玻璃介紹與窗戶熱傳遞

目前市場上對於節能玻璃無準確的定義，也沒有關於節能玻璃的具體的衡量指標。所謂節能玻璃是個相對的概念，是由人們將某些玻璃的性能與普通平板透明玻璃相比較後所提出的。平板透明玻璃的特性為表面平滑整齊，純淨透明，可見光透過率高。如圖1通過窗戶進入或流出房間的熱量包括二部分：由溫差驅動的熱傳遞和太陽輻射獲得熱量。ASHRAE 基礎手冊給出了計算通過窗戶系統進入室內的熱量的關係式。公式(1)等號右邊的第一項是計算溫差驅動的熱傳遞，第二項則是計算太陽輻射獲得熱量。

$$q = U \times (T_{out} - T_{in}) + SHGC \times G \quad (1)$$

公式(1)也表明U值和SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)是影響窗戶傳熱量的主要因素，因此美國的國家門窗評級委員會 NFRC (National Fenestration

Rating Council)將U值和SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)確定為窗戶的主要熱力性能係數。

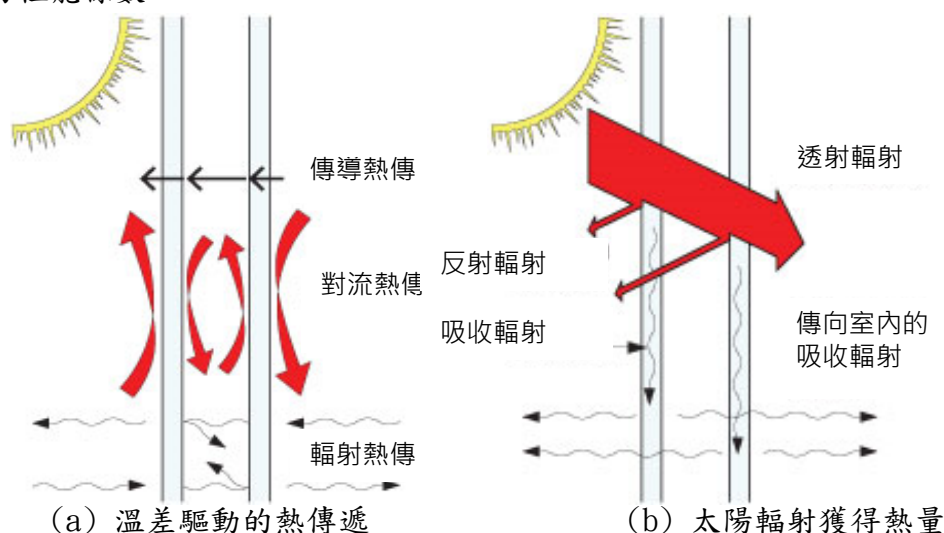


圖1 窗戶傳熱示意圖

溫差驅動之熱傳遞：只要室內空間與室外空間之間有溫差存在，室內與室外就通過窗戶的窗框和玻璃進行由溫差驅動的熱傳遞。如圖1所示，溫差驅動的熱傳遞過程是由傳導熱傳、對流熱傳和輻射熱傳三種傳熱方式綜合作用的結果。NFRC(National Fenestration Rating Council)規定的標準室內外環境條件為[1]：(1)風速：2.5m/s；(2)室內溫度：21℃；(3)室外溫度：-18℃。

太陽輻射得熱：太陽輻射得熱的來源主要是太陽的直接輻射、天空散射輻射，或者地面和其他表面的反射。這2個參數都綜合考慮了直接進入室內的太陽輻射部分和窗戶玻璃吸收太陽輻射溫度升高後向室內傳遞的熱量。

2.2 窗戶和熱舒適

在 ISO7730[2]所述的 PMV-PPD 模型被廣泛用於熱舒適水平的評價。根據 PMV-PPD 模型，與熱舒適相關的主要環境參數是空氣的溫度，平均輻射溫度，相對濕度和空氣速度。Lyons[3]強調為了量化之玻璃窗對居住者的熱舒適的影響，除了建築物內周圍壁面的長波輻射熱外，應該多考慮2個變數，即直接和散射太陽輻射。如圖2所示，Arens等[4]和 Sullivan [5]採用線性算法來估計太陽直接輻射存在時的 PPD，PPD 從是淨 PMV 計算。該 PPD 是從淨 PMV 計算得來的。淨 PMV 是由熱舒適性工具算得之“沒有太陽能”的 PMV 數值，再加上太陽能修正值的總和。一旦“沒有太陽輻射”和“太陽輻射”的 PPD 是已知的，由減法所獲得“只有太陽輻射”的 PPD。亦即淨 PMV 是的“無太陽輻射”PMV 投票的總和，再加上太陽輻射校正。然後 PPD 由於單獨太陽輻射作用 (ΔPPD_{solar}) 的部分可以通過根據在等式所示的關係中從總的 PPD 值 (PPD_{total}) 減去由於表面溫度影響的 PPD ($PPD_{surface}$) 的部分而獲得，如公式(2)所示。

$$PPD_{total} = PPD_{surface} + \Delta PPD_{solar} \quad (2)$$

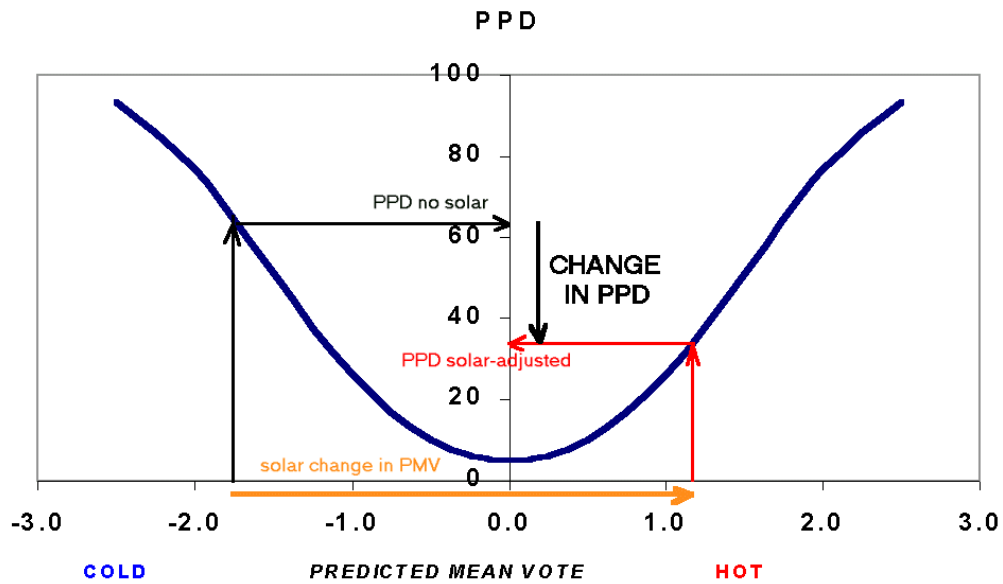


圖2 PPD-PMV模式配合太陽輻射的調整說明

三、實驗規劃

本研究的實驗平台為六座全尺度實驗屋，如圖3及圖4所示。每一座實驗屋都是由20英呎標準貨櫃(20英呎長×8英尺寬×8.5英尺高)改裝而成，面積為14.4平方公尺。六間實驗屋的面積與室內佈置、窗戶氣密性和外殼的隔熱性能基本上完全一致，房間的外窗尺寸為由二片1mx2m的玻璃組成。



圖3 做為實驗平台的節能實驗屋（西側）



圖4 做為實驗平台的節能實驗屋（東側）

配合六間實驗屋原安裝的是8 mm透明玻璃，本研究保留其中一間不變作為對照組，其餘五間進行玻璃換裝。選用的五種玻璃分別是單層色板玻璃、單層光致變色玻璃、雙層色板玻璃、雙層微反射玻璃、雙層低輻射玻璃。它們的規格說明以及SHGC和U值如表1所示。

表 1 實驗用玻璃的 U 值和 SHGC

編號	玻璃組成	U 值 (W-M ² /K)	SHGC
1	8mm 透明玻璃	5.6	0.85
2	8mm 色板玻璃	5.6	0.52
3	8mm 光致變色玻璃	5.2	0.38
4	8mm 色板+8 mm 空氣層+8 mm 透明玻璃	3.0	0.35
5	8mm 反射+8 mm 空氣層+8 mm 透明玻璃	3.0	0.33
6	8mm 低輻射+8 mm 空氣層+8 mm 透明玻璃	2.5	0.28

(資料來源：本研究彙整)

本實驗時期需記錄的參數項目包括冷氣的用電量、熱環境參數以及戶外氣候條件。所使用各項儀器說明如下：

數位電表：在6間實驗屋裡都各裝設一台數位電表用以記錄冷氣的即時耗電量。熱環境參數：本研究測量的熱環境包括空氣乾球溫度、相對濕度、風速和以及室內黑球溫度。於現場測量的測量使用儀器規格如表2所示，在每一間實驗室裡都架設兩套熱環境參數紀錄儀器。一套擺在離窗戶1.5米處，另一套

擺在離窗戶4.5米處。

表 2 用測量熱環境參數的儀器

測量參數	儀器名稱	儀器型號	精密度
溫溼度	溫溼度計	CENTER314	濕度 $\pm 25\%RH$ 溫度 $\pm 0.7^{\circ}C$
黑球溫度	標準黑球	--	$\pm 0.7^{\circ}C$
風速	風速計	DHLTA HD2103.2	$\pm 0.01m/s$
照度	照度計	HE140	$\pm 3\% \text{ rdg}$

(資料來源：本研究彙整)

四、實驗結果

4.1 外氣條件

在05/24-06/06期間的逐時外氣條件變化。在乾球溫度方面，除了5/24和6/2外，每日最高溫度都在 $33.0^{\circ}C$ 以上，日均溫也都在 $30.0^{\circ}C$ 以上。相對濕度則維持日平均值在70%-90%。

4.2 玻璃實驗屋熱環境

玻璃實驗室在05/24-06/06期間的每日全和下午的熱環境彙整，在這段期間，於室內兩個測點量測到的逐時乾球溫度、黑球溫度以及經由換算而得的PMV如圖5所示。

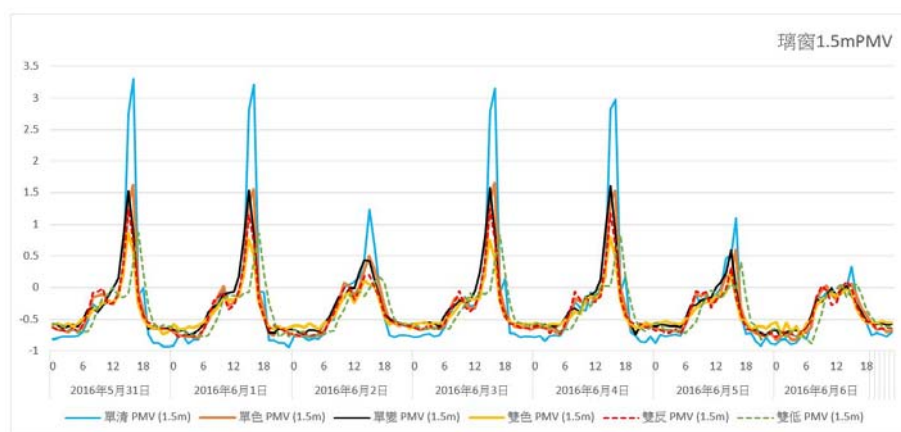


圖5 六間玻璃實驗屋PMV比較圖

單層透明玻璃PPD範圍約5%~20%，距離玻璃1.5m測點每日中午的PPD則接近95%如圖6所示，表示中午的室內環境較不舒適；單層色板玻璃PPD範圍5%~20%，中午時段則超過50%，如圖7所示。

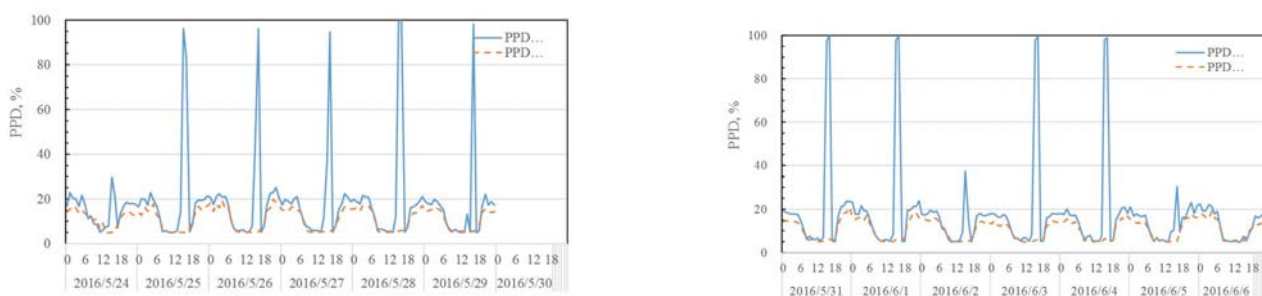


圖6 單層透明玻璃逐時PPD

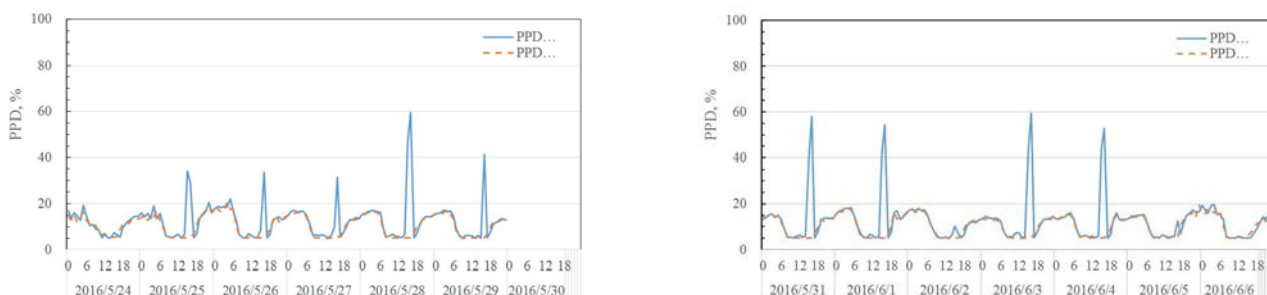


圖7 單層色板玻璃逐時PPD

單層光致變色玻璃PPD範圍約5%~20%，如圖8所示；雙層色板玻璃PPD範圍約5%~15%，如圖9所示；雙層微反射玻璃PPD範圍約5%~15%，如圖10所示；雙層低輻射玻璃PPD範圍約5%~15%，如圖11所示；單層玻璃與雙層玻璃來比較，雙層玻璃的室內環境舒適度較好。

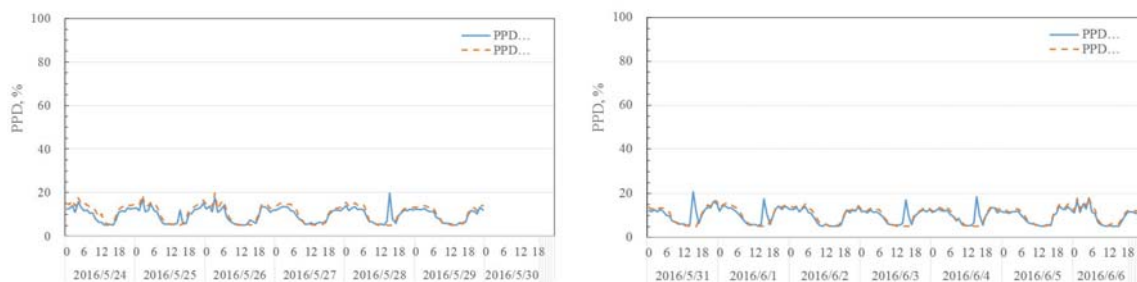


圖8 單層光致變色玻璃逐時PPD

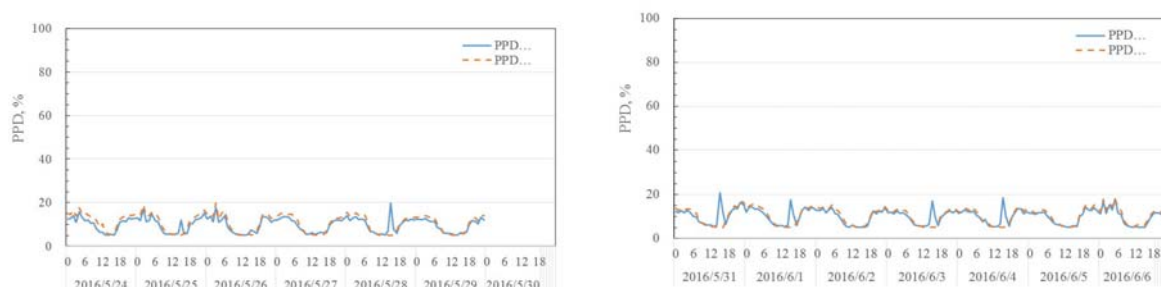


圖9 雙層色板玻璃逐時PPD

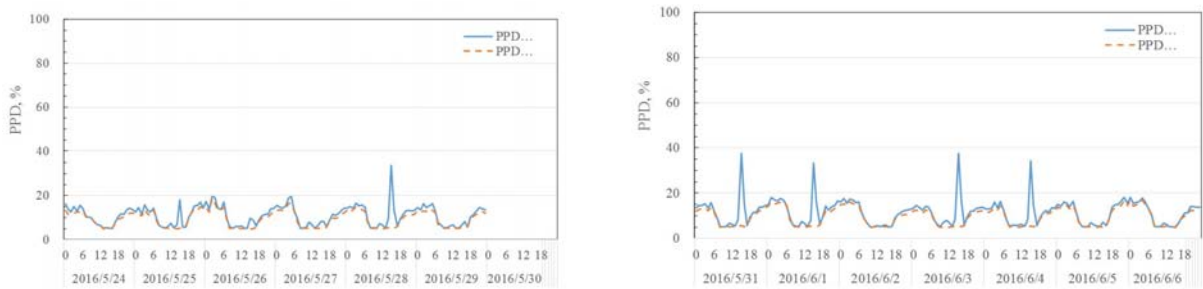


圖10 雙層微反射玻璃逐時PPD

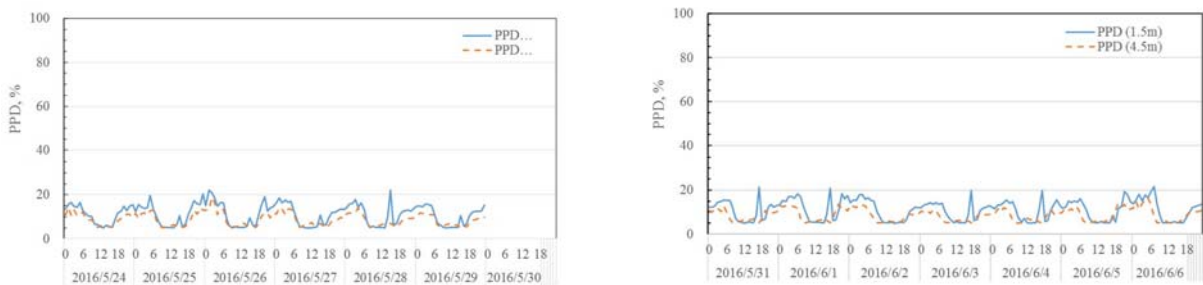


圖11 雙層低輻射玻璃逐時PPD

4.3玻璃實驗屋冷氣用電

玻璃實驗室在05/24-06/06期間的每日冷氣用電彙整如圖12~圖17。配合實驗屋朝向正西的特性，圖中還特別在全日耗電之外，顯示下午(12:00-17:00)的用電累積值。量測結果顯示單層的玻璃，不論是單層透明玻璃、單層色板玻璃、單層光致變色玻璃，其每日冷氣用電量均顯著高於雙層玻璃，雙層玻璃中，雙層低輻射玻璃節能效果又優於雙層微反射玻璃及雙層色板玻璃。

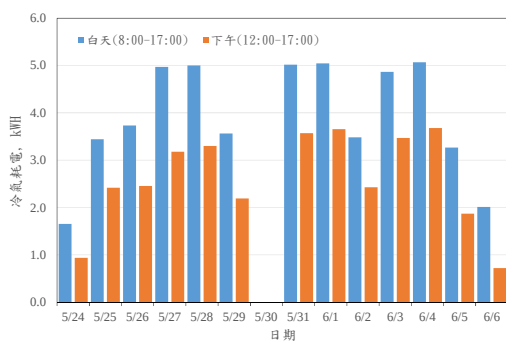


圖12 單層透明玻璃的每日冷氣用電

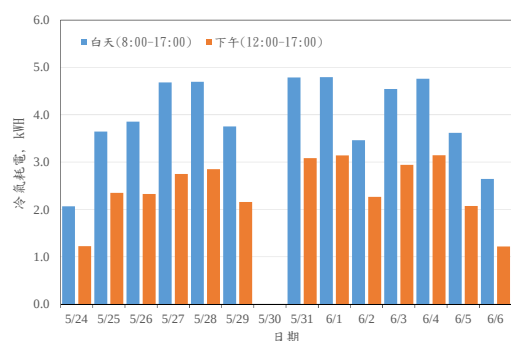


圖13 單層色板玻璃的每日冷氣用電

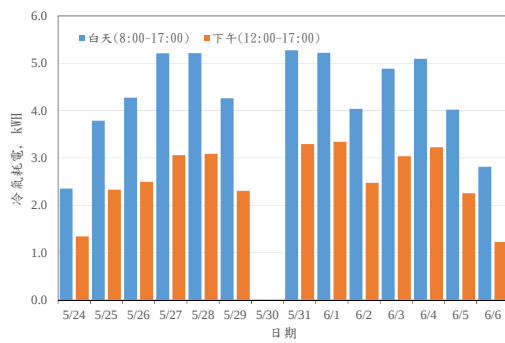


圖14 單層光致變色玻璃的每日冷氣用電

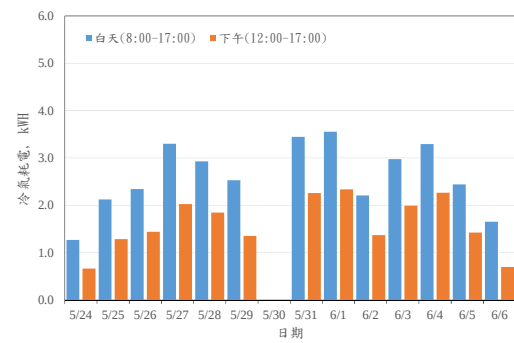


圖15 雙層色板玻璃的每日冷氣用電

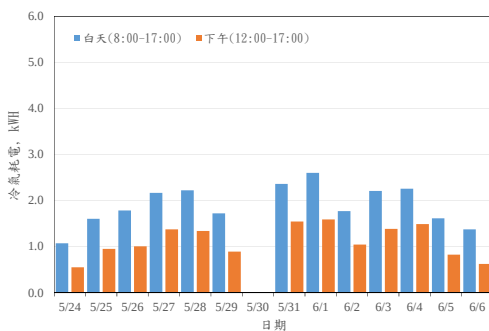


圖16 雙層微反射玻璃的每日冷氣用電

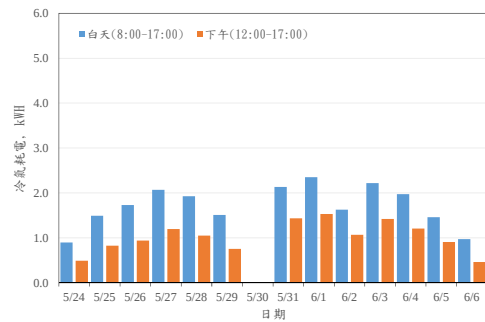


圖17 雙層低輻射玻璃的每日冷氣用電

五、結論建議

本研究建置六座構造及尺寸相同的實驗屋，並分別配置六種玻璃，進行耗能與熱舒適性的實測，實測結果顯示，三組雙層玻璃的熱舒適性與節電能力均明顯優於單層玻璃。而三組不同的單層玻璃，因其 U 值接近，在能耗上並無顯著差異，惟單層光致變色玻璃的遮蔽係數較小，熱舒適性優於單層色板玻璃及單層透明玻璃。而三種雙層玻璃的實測結果顯示，雙層低輻射玻璃節電效果最佳，雙層微反射玻璃次之，惟三種雙層玻璃的熱舒適性差異並不顯著。

窗戶玻璃的選擇對於建築使用者的熱舒適程度和冷氣能耗需求均有重大影響。因此，設計者在進行建築外窗設計時，需同時平衡考慮窗戶的熱傳導係數、窗戶的遮蔽係數。此外，還要根據建築所處的氣象條件選擇玻璃，以符合節能要求，同時兼顧滿足居住者對熱舒適的要求。

六、參考文獻

- [1] Benney J, Evolution in Fenestration Energy Ratings, Construction Specifier, 2005, 58(11):38~43
- [2] ISO EN 7730, Ergonomics of the thermal environment — analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, International Organization for Standardization; 2005
- [3] P.R. Lyons, Window performance for human thermal comfort, ASHRAE Transactions (2000) 594–602
- [4] Arens, E., Gonzalez, R., and Berglund, L. 1986, Thermal comfort under an extended range of environmental conditions, ASHRAE Transactions 92 (1)
- [5] R. Sullivan, Thermal Comfort Issues in the LRI Study, Internal Memorandum/Report, Windows and Day lighting Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, 1986