

# 玻璃性能對室內光、熱環境和 節能效果影響之實測研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 105 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



# 玻璃性能對室內光、熱環境和 節能效果影響之實測研究

受委託者：國立聯合大學  
研究主持人：黃瑞隆  
協同主持人：黃國倉  
研究助理：邱甯琪  
研究期程：中華民國 105 年 1 月至 105 年 12 月  
研究經費：新臺幣壹佰陸拾萬元

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 105 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



## 目次

目次 .....	I
表次 .....	III
圖次 .....	V
摘要 .....	IX
ABSTRACT.....	XIII
<b>第一章 緒論</b> .....	<b>1</b>
第一節 研究背景 .....	1
第二節 研究目的與預期成果 .....	4
第三節 研究步驟與流程 .....	5
<b>第二章 理論基礎與文獻分析</b> .....	<b>7</b>
第一節 節能玻璃的介紹 .....	7
第二節 窗戶的熱傳遞 .....	14
第三節 玻璃光學性能計算軟體 .....	21
第四節 窗戶和熱舒適 .....	24
第五節 文獻分析 .....	27
<b>第三章 實驗規劃</b> .....	<b>39</b>
第一節 實驗平台 .....	39
第二節 使用儀器 .....	41
第三節 歸零實驗 .....	43
<b>第四章 研究發現</b> .....	<b>45</b>
第一節 外氣條件 .....	45
第二節 單層透明玻璃實驗結果 .....	50
第三節 單層色板玻璃實驗結果 .....	58

第四節	單層光致變色玻璃實驗結果 .....	66
第五節	雙層色板玻璃實驗結果 .....	74
第六節	雙層反射玻璃實驗結果 .....	82
第七節	雙層低輻射玻璃實驗結果 .....	90
第八節	實驗結果比較分析 .....	98
第五章	電腦模擬 .....	105
第一節	建築模型 .....	105
第二節	固定空調設定溫度 .....	106
第三節	不同空調設定溫度 .....	109
第四節	相同舒適程度下的空調設定溫度.....	111
第六章	結論與建議 .....	117
第一節	結論 .....	117
第二節	建議.....	119
附錄一	委託研究計畫案審查意見及廠商回應一覽表.....	121
附錄二	委託研究計畫案期中審查意見回應一覽表 .....	122
附錄三	委託研究計畫案期末審查意見回應一覽表 .....	123
參考書目	.....	125

## 表次

表 1-1 研究進度.....	6
表 2-1 平板透明玻璃和反射鍍膜玻璃對太陽輻射的熱特性.....	8
表 2-2 使用隔熱節能膜製成的夾層玻璃熱性能 .....	10
表 2-3 中空玻璃和單層玻璃的 U 值 .....	10
表 2-4 15 種不同的玻璃系統在熱人體舒適性方面的影響分析.....	31
表 3-1 實驗用玻璃的 U 值和 SHGC.....	40
表 3-2 用測量熱環境參數的儀器 .....	42
表 4-1 實驗期間外氣條件的每日統計數值 .....	45
表 4-2 實驗期間各實驗屋的冷氣用電比較.....	98
表 5-1 溫度設定 26°C 時的空調顯負荷和熱環境分析的結果.....	107

玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

## 圖次

圖 1-1 不同玻璃的 U 值、SHGC 和 VT 比較 .....	2
圖 1-2 目前市面上不同玻璃在 VT、U 值和 SHGC 的分布 .....	3
圖 1-3 研究流程 .....	5
圖 2-1 吸熱玻璃與透明玻璃的太陽輻射熱吸收與透射 .....	7
圖 2-2 低輻射玻璃與平板透明玻璃的透射與反射 .....	9
圖 2-3 變色玻璃在著色態和退色態的光譜曲線 .....	11
圖 2-4 平板透明玻璃貼節能膜前後的熱性能 .....	12
圖 2-5 典型節能玻璃的透射率曲線 .....	13
圖 2-6 窗戶傳熱示意圖 .....	14
圖 2-7 玻璃中心的 U 值計算示意 .....	16
圖 2-8 某種玻璃太陽輻射入射角度與玻璃透射率的關係 .....	17
圖 2-9 不同類型玻璃具有不同的反射、透過、吸收和再輻射特性 .....	18
圖 2-10 不同類型的玻璃對不同的太陽光譜具有不同的透過率 .....	19
圖 2-11 Optic5 計算軟體光譜曲線介面 .....	22
圖 2-12 Window5 計算整窗光學熱工性能介面 .....	23
圖 2-13 透過玻璃窗的太陽輻射與居住者的熱舒適 .....	24
圖 2-14 PPD-PMV 模式配合太陽輻射的調整說明 .....	25
圖 2-15 曼谷氣象條件下不同玻璃和貼模組合的 RHG 和 PPD 比較 .....	28
圖 2-16 玻璃種類對臨窗附近熱舒適的實驗設備和實驗結果 .....	29
圖 2-17 安裝不同玻璃窗朝西房間在溫度、冷氣能耗和照度的比較 .....	32
圖 2-18 Ochoa 等的研究成果圖 .....	33
圖 2-19 Cappelletti 等的研究彙整圖 .....	34
圖 2-20 不同朝向、窗牆比和玻璃類型下重慶地區辦公建築空調能耗 .....	35
圖 3-1 做為實驗平台的內政部建築研究所節能實驗屋 .....	39

圖 3-2 實驗玻璃的換裝 .....	40
圖 3-3 數位電表及照度計 .....	41
圖 3-5 現場的儀器架設與設定.....	42
圖 4-1 5/10-8/2 外氣條件的每日變化 .....	48
圖 4-2 5/10-8/2 外氣條件的日照每日變化 .....	49
圖 4-3 單層透明玻璃的每日冷氣用電.....	51
圖 4-4 單層透明玻璃的每日熱環境條件.....	52
圖 4-5 單層透明玻璃的每日照度變動.....	57
圖 4-6 單層色板玻璃的每日冷氣用電.....	59
圖 4-7 單層色板玻璃的每日熱環境條件.....	60
圖 4-8 單層色板玻璃的每日照度變動.....	65
圖 4-9 單層光致變色玻璃的每日冷氣用電.....	67
圖 4-10 單層光致變色玻璃的每日熱環境條件.....	68
圖 4-11 單層光致變色玻璃的每日照度變動.....	73
圖 4-12 雙層色板玻璃的每日冷氣用電.....	75
圖 4-13 雙層色板玻璃的每日熱環境條件.....	76
圖 4-14 雙層色板玻璃的每日照度變動.....	81
圖 4-15 雙層微反射玻璃的每日冷氣用電.....	83
圖 4-16 雙層微反射玻璃的每日熱環境條件.....	84
圖 4-17 雙層微反射玻璃的每日照度變動.....	89
圖 4-18 雙層低輻射玻璃的每日冷氣用電.....	91
圖 4-19 雙層低輻射玻璃的每日熱環境條件.....	92
圖 4-20 雙層低輻射玻璃的每日照度變動.....	97
圖 4-21 冷氣用電比較 .....	98
圖 4-22 PMV 及 PPD 的比較.....	99

圖 4-23 室內照度的比較 .....	102
圖 5-1 標準的辦公室建築模型.....	105
圖 5-2 SHGC 與顯熱負荷、過熱時數和過熱嚴重度.....	108
圖 5-3 不同夏季空調設計溫度空調顯熱的變化趨勢.....	109
圖 5-4 不同 SHGC 對應的溫度調降的累積分布.....	112
圖 5-5 空調季節的平均調降溫度和玻璃 SHGC 的關係.....	114
圖 5-6 在相同舒適程度下，空調顯熱負荷和 SHGC 的關係.....	114
圖 5-7 在相同舒適程度下，能源懲罰和 SHGC 的關係.....	115

玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

## 摘要

關鍵詞：外窗玻璃、冷氣能耗、熱舒適、全尺度實驗

### 一、研究緣起

21 世紀自然資源日益枯竭，人們意識到建築節能的重要性，因建築外窗損失的空調、保暖、照明能耗佔到建築結構能耗一半以上；建築外窗是戶外與室內環境交流的主要路徑，太陽光線透過外窗進入室內，提供自然採光，熱能透過熱輻射方式經由外窗進入室內，不僅會增加建築的空調能耗，同時嚴重影響建築室內熱舒適性，太陽輻射熱是造成空調能耗大和室內熱環境不良的主要原因。因此，本研究案探討建築外窗的熱傳性能和光學性能，分析研究建築外窗對室內光、熱環境以及空調能耗等的影響，以作為建築外窗選擇策略的參考。

### 二、研究方法及過程

本研究的研究方法為全尺度實測與電腦模擬兩部分，全尺度實驗實測選定六個貨櫃屋為研究平台，架設溫濕度計、照度計等研究設備；正式實測實驗，實驗屋玻璃拆卸更換為單層色板、單層變色、雙層色板、雙層反射、雙層低輻射，光環境、熱環境和空調測量的全尺度長期實測實驗。

電腦模擬的部分，使用的軟體為 EnergyPlus;EnergyPlus，為新一代的建築能耗模擬軟體；選用的建築模型是用於辦公能耗分析的典型辦公室平面，35mx35m 的正方形平面，樓高為 3.0m，建立了基於室內熱舒適的建築能效評價模型，以辦公建築為例，分析不同玻璃的 SHGC 對室內熱舒適和建築能耗的影響。

### 三、重要發現

本研究旨在探討不同玻璃應用對空調耗能及室內環境的影響，在內政部建築研究

所位於台南市歸仁區的實驗屋進行實測實驗外，並執行了相關的電腦模擬。研究發現：

1. 若以單層清玻璃做為比較基準，單層色板、單層變色、雙層色板、雙層反射和雙層低輻射玻璃在實驗分析期間的節能效果分別是 7%、4%、33%、62% 和 57%，由此可知，雙層微反射玻璃與雙層低輻射玻璃節能效果最佳。
2. 實驗結果顯示 5 間實驗室在臨窗區域幾乎都沒有過熱的問題。比較值得一提的是，這 5 間實驗屋的 PMV 最低值分別是 -0.69、-0.87、-0.75、-0.87 和 -0.74，剛剛好在可接受下限  $PMV = -0.75$  左右除了裝設透明玻璃外，其他 5 間的實驗屋都低於 -0.75 的下限值。這也再次證明除了單層透明玻璃外，其他實驗屋的冷氣溫度可以再調高，節省能耗。
3. 在 PPD 部分，最高達 57%，實驗觀察期間 PPD 是介於 52%-12%，剩下的 1/4 時間其  $PPD < 12\%$ 。概括地說，在裝設單層透明玻璃的實驗屋 PPD 幾乎 3/4 的實驗觀察時間其數值是超過可接受上限 20%，而且其對應的 PMV 也都是超過 +1.0。
4. 當使用 SHGC 較低的玻璃時，窗面積的變化對空調顯熱負荷、過熱時數以及過熱嚴重度的變化範圍的差異也相對的縮小；反之，當使用 SHGC 較高的玻璃時，窗面積的變化對空調顯熱負荷、過熱時數以及過熱嚴重度的變化範圍的差異也相對的擴大。以  $SHGC = 0.1$  為例，當窗面積比由 0.33 擴大到 0.67 時，空調顯熱負荷的變動範圍相差  $4.5 \text{ MJ/m}^2$ ，過熱嚴重度相差  $227^\circ\text{C-h}$ ；當使用  $SHGC = 0.8$  的玻璃時，空調顯熱負荷相差範圍從  $4.5 \text{ MJ/m}^2$  擴大到  $109.1 \text{ MJ/m}^2$ ，過熱嚴重度從相差  $30^\circ\text{C-h}$  擴大到  $2920^\circ\text{C-h}$ 。
5. 建築能耗的變化趨勢整體呈線性關係，在相同的開窗比下，即使是不同的 SHGC，空調顯熱負荷隨室內設定溫度變化的斜率幾乎是相同的。當開窗比 = 0.33 時，其斜率為  $-14.1 \text{ MJ/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ 。這表示設定溫度每調降  $1^\circ\text{C}$ ，對模型建築而言，每單位平方米的樓板面積在 4 月到 11 月的空調季節將會增加  $14.1 \text{ MJ}$

的空調顯熱負荷。當開窗比=0.50 時，其斜率為 $-16.9\text{MJ}/\text{m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ ；開窗比=0.67 時，其斜率為 $-19.5\text{MJ}/\text{m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ 。隨著開窗比愈大，斜率也愈大，這表示當開窗越大，調低室內設定溫度將導致更多的冷氣能耗。空調設計溫度較低時，建築能耗相對較高，但不舒適時間相對較短。

#### 四、主要建議事項

根據研究發現，本研究針對行政檢查業務委託民間辦理處理的法制化，提出下列具體建議。以下分別從立即可行建議及中長期建議加以列舉。

##### 建議一

本研究之成果具推廣之效益，建議於相關講習會或成果發表會納入玻璃節能之相關議題，加強相關宣導：立即可行之建議。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

熱性能不佳的玻璃會引進較多的太陽輻射，研究結果發現熱輻射除了增加建築的空調能耗外，也會造成室內熱舒適性的降低，為了提高室內熱舒適性，必須調降室內溫度來做為弭補措施，又間接造成能源消耗。本研究已針對六種不同玻璃進行了分析與探討，此一結果可作為國人選購玻璃時之參考，建議進行相關宣導推廣。

##### 建議二

建議綠建材標章系統針對非傳統之玻璃，例如貼膜玻璃、光致變色玻璃及電致變色玻璃等，研議是否納入既有基準進行評定，或必要時訂定評定基準：中長期建議

主辦機關：財團法人台灣建築中心

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

協辦機關：內政部建築研究所

現行綠建材標章制度已有節能玻璃之基準，並針對玻璃之可見光穿透率、可見光反射率及遮蔽係數進行規範，惟申請之玻璃絕大多數為複層低輻射玻璃，至於貼膜玻璃、光致變色玻璃及電致變色玻璃等，是否可納入評定範圍或是否適用目前基準，並無明確規定，建議於綠建材標章相關會議中進行研議，俾利將更多類型之玻璃材料納入綠建材標章系統中。

## ABSTRACT

Keywords: Exterior window glass, air conditioning energy consumption, thermal comfort, full scale experiment

In the 21st century, natural resources are increasingly being depleted, motivating people to realize the importance of building energy efficiency. The thermal losses due to a building's exterior windows and the consequent energy consumptions for air conditioning, heating and lighting account for more than half of the energy consumption of buildings. Exterior windows are the main path of interaction between the outdoor and indoor environments. Solar light enters through exterior windows, providing natural light; while thermal energy through the exterior window via heat radiation. Solar light and thermal energy not only increase the energy consumption of air conditioning in a building, but at the same time can seriously affect the thermal comfort of a building's indoor environment. Solar radiation heat is the main reason for the huge air-conditioning energy consumption and poor indoor thermal environment of many buildings. Therefore, this study explores the thermal and optical properties of exterior windows; and further analyzes the influences of a building's exterior windows on indoor lighting, thermal environment and energy consumption of air conditioning, etc. The findings are used to determine a selection strategy for building exterior windows.

The research method of this study was divided into two parts, a full-scale test and computer simulation. During the full-scale experimental tests, six container houses were selected for data collection, installed with thermometers, hygrometers, illuminometers and other research equipment. During the official experimental test, the window glass of the experimental houses was removed and replaced with monolayer tinted glass, monolayer color-changing glass, dual-layer tinted glass, dual-layer reflective glass and dual-layer low emissivity (low-e) glass for long-term testing in full-scale experiments of the light environment, thermal environment and air conditioning requirements.

For computer simulation, the software used was EnergyPlus. EnergyPlus is a new generation building energy simulation software. The building model selected was used for energy consumption analysis of a typical office plan. With a square plane of 35mx35m and a floor height of 3.0m, the building energy efficiency evaluation model was established based on indoor thermal comfort. Taking an office building as an example, the influences of the solar heat gain coefficient (SHGC) of different glasses on indoor thermal comfort and building energy consumption was analyzed.

The aim of this study was to investigate the influences of different glass applications on the energy consumption of air conditioning, and building indoor environment. After conducting the real-life data collection in the experimental houses of the Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior, located in the Guiren District in Tainan City, relevant computer simulations were executed. The study revealed the following:

1. Using monolayer clear glass as a comparative benchmark, the energy-saving effects of monolayer color-tinted glass, monolayer color-changing glass, dual-layer color-tinted glasses, dual-layer reflective glass and dual-layer low-e glass during the period of experimental analysis were 7%, 4%, 33%, 62%, and 57%, respectively. As revealed by the results, the dual-layer micro-reflective glasses and the dual-layer low-e glass have the best energy-saving effects.
2. The experimental results indicate that the 5 experimental houses have almost no overheating problems near the window area. It is more worth noting that the minimum values of the predicted mean vote (PMV) for these five experimental houses are -0.69, -0.87, -0.75, -0.87 and -0.74 respectively. These numbers were just about right at the acceptable lower limit of  $PMV = -0.75$ . Except for the house with the installation of transparent glass, the other 5 experimental houses all have the lower limit below -0.75. This also proves again that except for the monolayer

transparent glass, the desired air-conditioning temperature of other experimental houses can be increased to save energy consumption.

3. In terms of the predicted percentage of dissatisfied (PPD), the highest measured value was 57%. During the period of experimental observation, PPD lay in the range of 52% -12%. For the remaining 1/4 of the time, PPD <12%. In summary, the PPD of the experimental house installed with monolayer transparent glass exceeded 20% above the acceptable limit during almost 3/4 of the experimental observation time, the corresponding PMV also exceeded +1.0.
4. When using glasses with lower SHGC, changes to the window area cause only small changes to the air-conditioning sensible heat load, the overheating hours and the difference in range of overheating severity. In contrast, when using glasses with higher SHGC, changes to the window area result in significant changes to the air-conditioning sensible heat load, the overheating hours and the difference in range of overheating severity. Taking SHGC = 0.1 as an example, when the window area ratio expands from 0.33 to 0.67, the variation of air conditioning sensible heat load differs 4.5 MJ/m<sup>2</sup>, and the overheating severity differs by 227°C-h. When using glass with SHGC = 0.8, the range of air-conditioning sensible heat load expands from 4.5 MJ/m<sup>2</sup> to 109.1 MJ/m<sup>2</sup>, and the overheating severity expands from 30 °C -h to 2920 °C -h.
5. The changing trend of building energy consumption appears to be linear overall. Under the same window-wall-ratio, even with a different SHGC, the air-conditioning sensible heat load is almost the same as the slope of set indoor temperature changes. When the window-wall-ratio = 0.33, the slope is -14.1 MJ/m<sup>2</sup>-°C. This means that for every 1 °C decrease in the set temperature, during

the air-conditioning season from April to November, the air-conditioning sensible heat load will increase by 14.1 MJ per unit square meter of floor area of the model building. When the window-wall-ratio = 0.50, the slope is  $-16.9\text{MJ/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ ; when the window-wall-ratio = 0.67, the slope is  $-19.5\text{MJ/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ . It can be observed that with a larger window-wall-ratio, the slope will also have a greater magnitude, which means that when the open window is larger, lowering the set indoor temperature will lead to more energy consumption for cooling air. When the designated temperature of air-conditioning is lower, the building's energy consumption is relatively higher, but the time of discomfort is relatively shorter.

According to the research findings, this study focused on the legalization of administrative inspection on business by entrusting civil handling and processing, and proposed the following specific recommendations. Below are, respectively, an immediate and feasible recommendation, and a middle-to-long-term recommendation.

The outcomes of this study have the benefits of promotion: It is recommended that relevant seminars or conferences include topics related to energy-savings from window glass, and strengthen relevant publicity; this is an immediate and feasible recommendation.

Organized by: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

Co – organized by: Taiwan Architecture & Building Center

Window glass with poor thermal performance will introduce more solar emissivity. The research outcomes reveal that thermal radiation not only increases the building's energy consumption for air conditioning, but also, will cause a reduction in indoor thermal comfort. In order to improve indoor thermal comfort, the indoor temperature must be lowered to make rooms for complement measures, which yet indirectly cause the energy consumption. This study conducted an analysis and discussion on six different types of glasses. The result

described above can be used as a reference when citizens of Taiwan are purchasing window glass. It is recommended to promote the relevance of these findings publicly.

It is recommended that the rating system of Green Building Material considers whether to include non-traditional glasses, such as filmed glass, photochromic glass and electrochromic glass, into the existing benchmarks for assessment, or draft an assessment benchmark when necessary: Medium-to-long-term recommendation

Organized by: Taiwan Architecture & Building Center

Co-organized by: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

The current rating system of Green Building Material already has a benchmark for energy-saving glass, which focuses on the visible light transmittance, visible light reflectivity and shielding coefficient for evaluation. Yet, a vast majority of glasses in window applications are multi-layer low-e glasses. As for filmed glass, photochromic glass, electrochromic glass and so on, whether these glasses can be included in the scope of the assessment or if the current benchmark is applicable; there is no clear provisions. It is recommended that the rating system of Green Building Material deliberates in relevant meetings, so that it prompts the inclusion of more types of glass material in the rating system of Green Building Material.

玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

## 第一章 緒論

### 第一節 研究背景

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。因此，本研究案將主要基於建築外窗的熱傳性能和光學性能，分析研究建築外窗對室內光、熱環境以及空調能耗等的影響，以作為建築外窗選擇策略的參考。

與室內光、熱環境以及空調能耗相關的玻璃基本性能參數有如下三個：(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。由於 SC 值定義了外窗玻璃部分的太陽得熱能力，不包括窗框部分。所以目前有關窗戶的標準正在從 SC 向太陽 SHGC 轉變。SHGC 的定義是透過窗戶進入到室內的太陽輻射得熱與入射到窗戶表面的太陽輻射的比值。SHGC 是針對整窗來說的，因此還受到玻璃的 SC 值、窗框遮陽性以及玻璃和窗框比值等因素影響。SHGC 也可以用 0~1 之間的數值來表示，SHGC 值越大，太陽輻射得熱越多，SHGC 值越小，太陽輻射得熱越少。(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。無塗層的無色透明玻璃的 VT 超過了 90%，而帶有高反射塗層著色玻璃的 VT 連 10% 都不到，如圖 1-1 所示。

玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

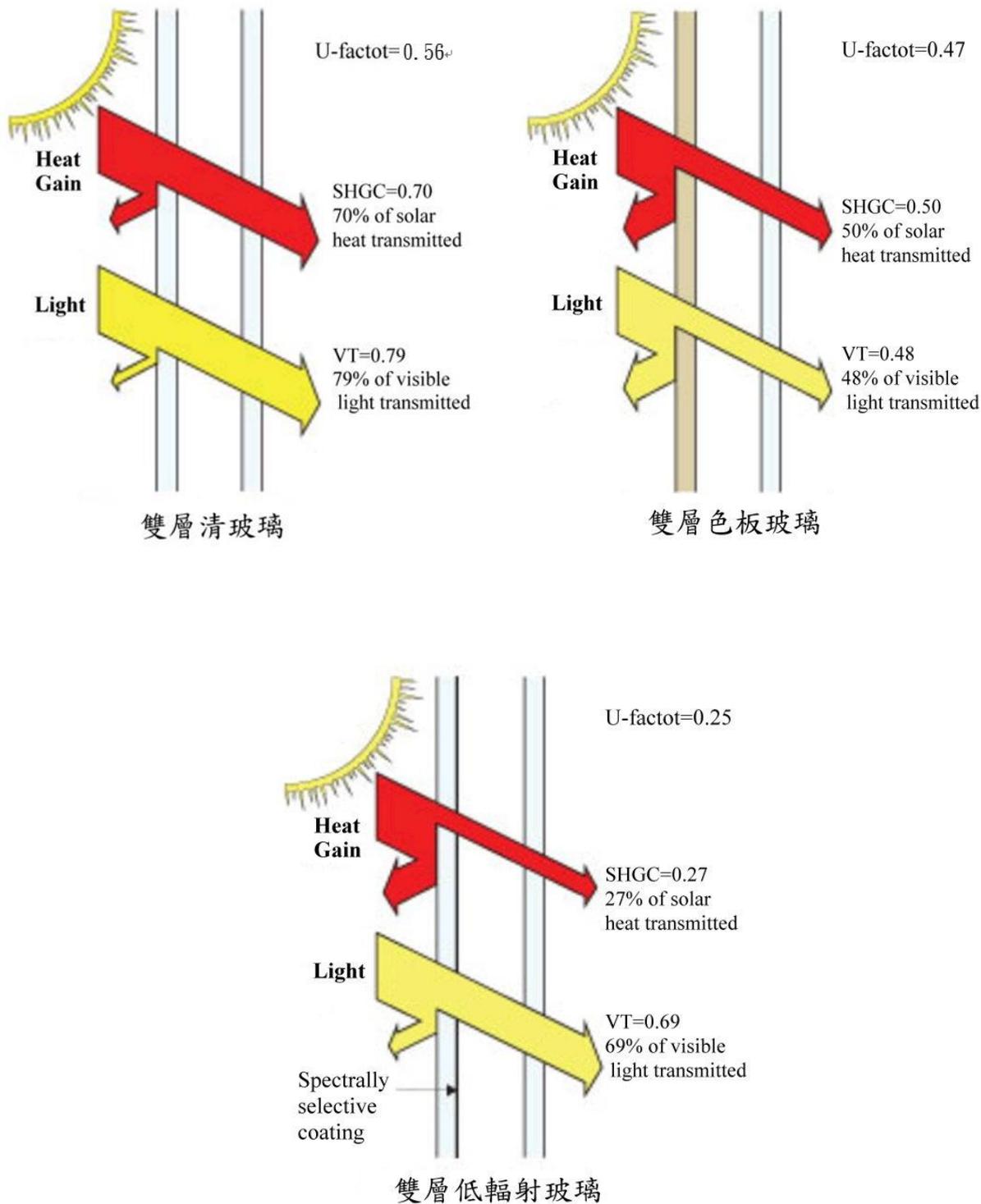


圖1-1 不同玻璃的U值、SHGC和VT比較

(參考資料 <http://www.commercialwindows.org/films.php>)

通常所見的玻璃為普通單層玻璃(透明浮法玻璃)，若在其中加入一些金屬元素即可製成吸熱玻璃，若在其表面鍍膜可以製成熱反射鍍膜玻璃和低輻射(low-E)玻璃，單片玻璃組合後又可以製成中空玻璃和夾層玻璃等。圖 1-2 說明目前市面上不同玻璃在 VT、U 值和 SHGC 的分布。

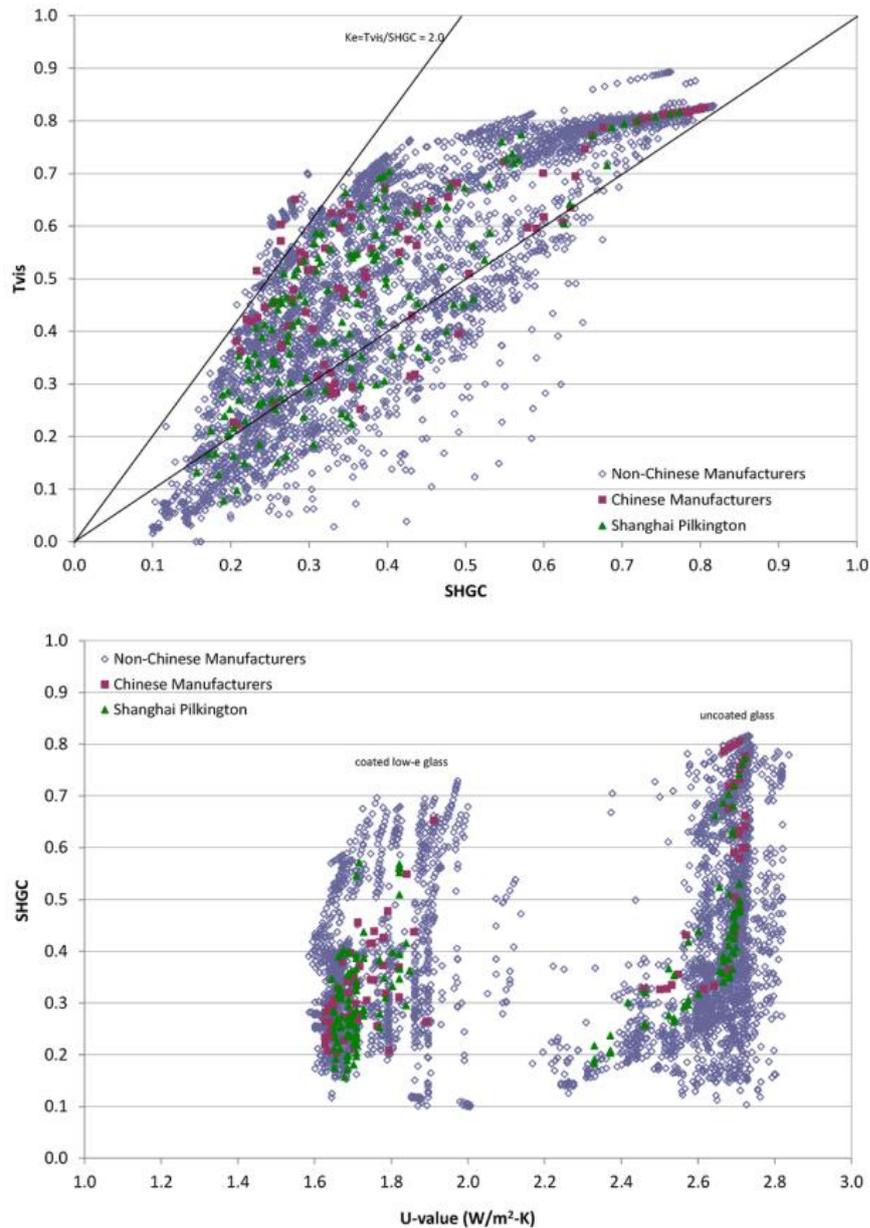


圖1-2 目前市面上不同玻璃在VT、U值和SHGC的分布

(資料來源：<http://www.mdpi.com/2075-5309/5/2/668/htm>)

## 第二節 研究目的與預期成果

為了獲得不同性能外窗玻璃長期氣候下室內熱環境和光環境狀態，以及空調能耗資料，本研究通過改裝位在台南歸仁區的內政部建築研究所節能實驗室的外窗，搭建了實驗測試平臺，開展了不同性能外窗玻璃下，室內外溫度、室內外太陽輻射熱、室內照度、電耗等參數測試，為建築外窗選擇策略參考依據。按照委託研究計畫案需求說明，本案的研究內容：

- (一) 回顧與蒐集玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響的研究與進展。
- (二) 進行包括雙層玻璃、低輻射玻璃、變色玻璃等至少 5 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。
- (三) 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響。

預期成果及效益成果如下

- (一) 完成玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響的研究與進展彙整。
- (二) 完成至少 5 種節能玻璃的室內光、熱環境和空調與照明能耗測量的全尺度長期實測實驗與結果分析。
- (三) 完成建築玻璃對室內居住者舒適性及空調與照明能耗的解析,為建築玻璃的選擇提供量化研究的科學依據。

### 第三節 研究步驟與流程

本計畫的目的是了解五種玻璃之光環境、熱環境和能耗情形，研究工作將包括以下步驟，研究流程與時程安排分如圖 1-3 和表 1-1。

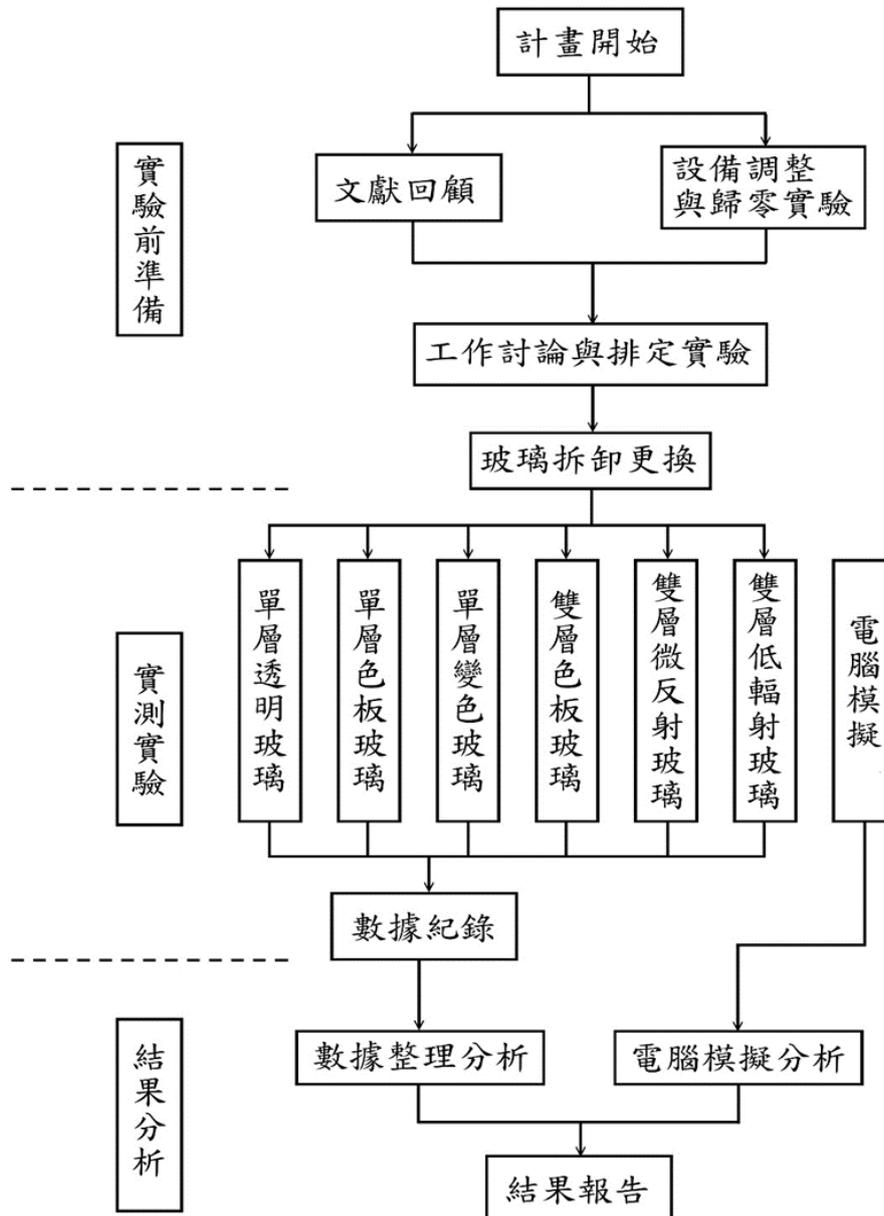


圖1-3 研究流程

(資料來源：本研究繪製)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

藉由回顧先前研究與相關文獻，從玻璃性能原理出發，指出玻璃的正確概念、分類、作用原理，及影響其性能發揮的因素，整理實驗玻璃的性能參數，介紹隔熱玻璃在建築中的具體應用方式。進行實驗規劃設計，選定六個貨櫃屋為研究平台，架設溫濕度計、日照計..等研究設備，做歸零實驗，並進行實驗校正。正式實測實驗，實驗屋玻璃拆卸更換為單層色玻、單層變色玻璃、雙層色板玻璃，雙層微反射玻璃、雙層低輻射玻璃，光環境、熱環境和空調測量的全尺度長期實測實驗。量化分析玻璃的熱環境、光環境、耗能狀況，最室內熱舒適度的影響；確定六種玻璃對室內光、熱環境和節能效果影響，為建築玻璃的選擇提供量化研究科學依據。

表 1-1 研究進度

月次 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	第 11 個 月	第 12 個 月	備 註
文獻回顧整理	■	■	■	■									
設備調整與歸零實驗與排定實驗模式			■	■									
玻璃拆卸更換				■	■								
全尺度實驗						■	■	■					
數據分析							■	■	■				
結果整理								■	■	■			
報告撰寫					■						■	■	
預定進度 (累積數)	5	10	20	35	45	50	60	75	85	90	95	100	

(資料來源：本研究繪製)

## 第二章 理論基礎與文獻分析

### 第一節 節能玻璃的介紹

目前市場上對於節能玻璃上無準確的定義，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。普通平板透明玻璃的透射波長範圍在  $0.3\sim 5\mu\text{m}$ ，其中在可見光和近紅外線波段的透射率超過 80%。一般認為節能玻璃通常是指具有比平板透明玻璃有更佳的隔熱和遮陽性能的玻璃。隨著技術的發展，目前建築節能玻璃種類多樣，性能各異。底下將對幾種常用的節能玻璃及其性能特點作簡要的介紹。

吸熱玻璃：吸熱玻璃是只能吸收大量紅外線輻射又保持良好的可見光透射率的玻璃。生產吸熱玻璃的作法不外乎是在玻璃中添加微量的鐵、鎳、鈷金屬氧化物，或者在玻璃表面鍍上一層或多層金屬氧化物薄膜，來提高玻璃的吸收係數，從而降低玻璃的透射率。不同顏色和厚度的吸熱玻璃對太陽輻射的吸收和透射程度也不同。譬如圖 2-1 所示，6mm 厚的普通玻璃能讓 78% 的太陽輻射透過，但相同厚度的藍色吸熱玻璃僅能透過 54% 的太陽輻射，有明顯阻擋陽光透射的效果。

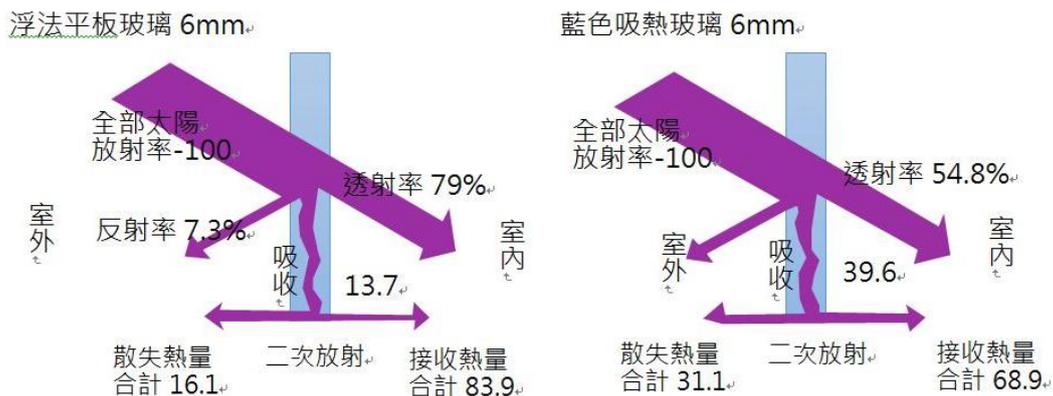


圖2-1 吸熱玻璃與透明玻璃的太陽輻射熱吸收與透射

(資料來源：本研究繪製)

雖然吸熱玻璃阻擋陽光透射的效果優於普通透明玻璃，但圖 2-1 亦表明是由於吸熱玻璃二次輻射過程中向室內放出熱量較多，使得吸熱玻璃的隔熱功能受到一定限制。吸熱和透光經常是矛盾的，況且吸熱玻璃吸收的一部分熱量仍然有相當一部分會傳到室內，因此使用單層吸熱玻璃時，綜合效果不理想。反射玻璃鍍膜玻璃：反射鍍膜玻璃又稱為陽光控制膜玻璃，一般是透過在玻璃表面鍍一至多層金屬或化合物薄膜而成。鍍膜的主要功能是增加玻璃的反射係數，以達到大量反射太陽輻射熱的目的。反射鍍膜玻璃具有良好的遮光性能，能將 40%~80% 的太陽輻射熱阻隔在室外。但可見光透過率也會隨著反射率的提高而減小，因此反射鍍膜玻璃會影響室內的自然採光。另外，由於反射鍍膜玻璃的鏡面效果能賦予建築美感，不過應該強調的是熱反射鍍膜玻璃最主要功能的是節能，其次才是映像裝飾功能。反射鍍膜玻璃和平板透明玻璃在使用的功能上差別很大，表 2-1 比較了 6mm 平板透明玻璃和相同厚度的某種反射鍍膜玻璃它們對太陽輻射的熱特性。由表 2-1 可見，反射鍍膜玻璃阻擋住了 67% 的太陽熱能，只有 33% 進入室內，而普通平板透明玻璃紙阻擋住了 18% 的太陽熱能，卻有 82% 的太陽熱能進入室內。

低輻射鍍膜(Low-e)玻璃：低輻射鍍膜玻璃一般是透過在玻璃表面塗敷一層或多層具有可反射紅外線(波長在 2.5~40  $\mu\text{m}$ )的金屬或金屬氧化物薄膜而得到的。

**表 2-1 平板透明玻璃和反射鍍膜玻璃對太陽輻射的熱特性**

性能	6mm 平板透明	6mm 反射鍍膜 (遮蔽係數 0.38)
入射太陽能(%)	100	100
外表面反射(%)	7	22
外表面再輻射和對流(%)	11	45
透射進入室內(%)	78	17
內表面再輻射和對流(%)	4	16

(資料來源：本研究彙整)

由於上述薄膜與普通平板玻璃相比具有很低的輻射率  $\varepsilon$  (普通玻璃表面的  $\varepsilon$  一般為 0.8 左右，而 Low-e 玻璃的  $\varepsilon$  一般為 0.1~0.4 甚或更低)，因此將鍍有這種薄膜的玻璃稱為低輻射玻璃(low emissivity coating glass)。由圖 2-2 的對比可以看出，相較於平板透明玻璃，低輻射玻璃可以將 80% 以上的紅外線熱輻射反射回去，大幅提高了在中紅外線波段的反射率，從而也降低了吸收率。同時它也降低了近紅外線波段的透射率，因此夏季能減少太陽輻射熱進入室內的程度。在可見光波段上，繼續保留高透射率的特性，能為室內提供一個良好的採光環境，儘可能減少照明消耗。低反射玻璃的節能效果就是既能像平板透明玻璃一樣讓室外太陽的可見光透過，又能像紅外線反射鏡一樣將輻射熱反射回去。

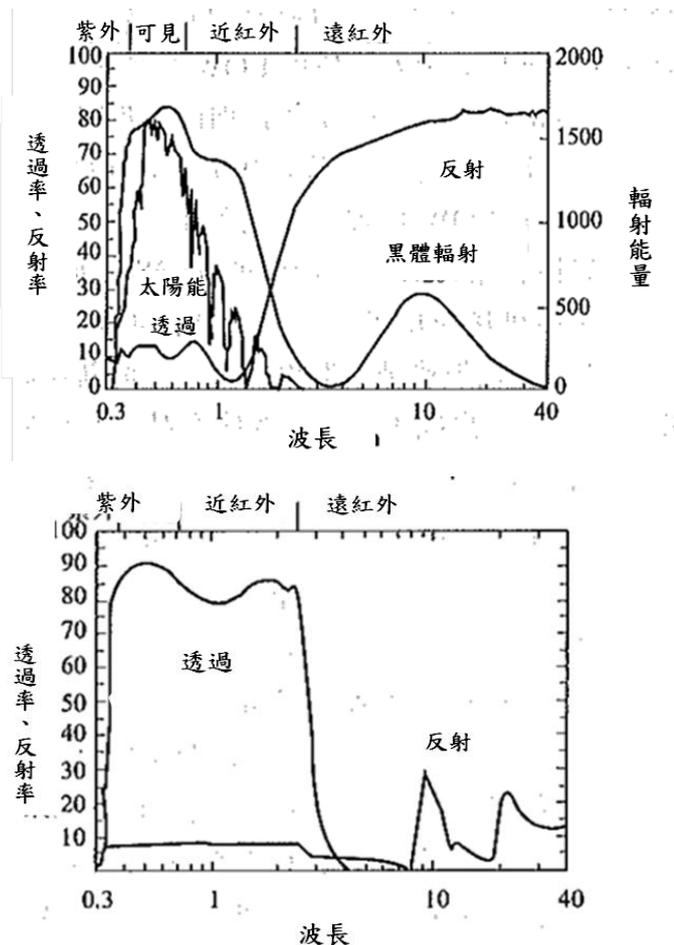


圖2-2 低輻射玻璃與平板透明玻璃的透射與反射

(資料來源：參考文獻[工業材料雜誌 320 期])

膠合玻璃：膠合玻璃是由兩片或者兩片以上的玻璃，用透明的黏結材料牢固黏合而成的複合玻璃。膠合玻璃具有很高的抗衝擊性和抗穿透性，一般情況下外來撞擊物不會穿透，玻璃碎片也不會飛離膠合層，從而起到安全防護的作用。近年來，建築用的膠合玻璃除了重視傳統的安全性能外，也還要求其隔熱性能，所以市面上紛紛推出在經過改良的隔熱中間膜，可以阻隔紅外線。表 2-2 列出了幾種隔熱節能膜製成的膠合玻璃的熱性能參數。中空玻璃：中空玻璃是在兩層或者多層玻璃內部填充入氣體。我們知道玻璃的 U 值是  $0.77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{-K})$ ，而空氣的 U 值是  $0.028 \text{ W}/(\text{m}^2\text{-K})$  可以大大提高節能效率。

表 2-2 使用隔熱節能膜製成的夾層玻璃熱性能

性能	無色	綠色	藍色	灰色
可見光透過率(%)	82.1	71	48.2	48.8
可見光反射率(%)	8.1	7.1	6.4	5.8
太陽能透過率(%)	60.4	49.9	34.6	32.6
太陽能反射率(%)	7.0	5.7	5.8	5.3
太陽得熱係數	0.69	0.61	0.50	0.49
遮陽係數 sc	0.80	0.71	0.58	0.57

(資料來源：本研究繪製)

表 2-3 中空玻璃和單層玻璃的 U 值

材料名稱	厚度/mm	U 值/ $\text{m}^2 \cdot \text{k}$
單片平板玻璃	3	6.84
單片平板玻璃	5	6.72
單片平板玻璃	3	6.69
中空玻璃	3+6A+3	3.59
中空玻璃	3+12A +3	3.22
中空玻璃	5+12A +5	3.17

(資料來源：本研究繪製)

由此可見，玻璃的 U 值空氣的 27 倍，所以在玻璃之間填充入空氣可以降低 U 值。中空玻璃和單層玻璃的 U 值比較如表 2-3，由表中可見中空玻璃的 U 值比單層玻璃的低得多。變色玻璃：變色玻璃是指在光照射或者通過低壓電流等一定條件下改變顏色，且隨條件的改變而變化，當施加條件消失後又可逆的自動恢復到初始狀態的玻璃。該種玻璃可以隨著環境改變自身的透過特性，可以實現對太陽輻射能量的有效控制，以滿足節能要求，如圖 2-3 所示。按照玻璃特性改變的原理不同，可分為隨著溫度升高而透過率降低的熱致變色玻璃、或者隨著溫度升高光強增大而透過率降低的光致變色玻璃，又或者當有電流通過時透過率降低的電致變色玻璃。在建築玻璃帷幕牆的應用上，目前以光致變色和電致變色玻璃受到較多的關注。

目前光致變色玻璃的可見光透射率可以在 25%~75% 的範圍內變化，太陽輻射透過率的變動範圍是 23%~53%；電致變色玻璃可實現可見光透射率 10%~67%，太陽輻射透過率 10%~66% 的變化。Low-E 低輻射膜層及 solar-control 太陽控制膜等膜層即可直接形成於普通玻璃或各種著色玻璃上，也可形成在聚酯膜上再貼附到玻璃上，以提升現有玻璃的熱工性能，這種玻璃就稱為貼膜玻璃。貼膜玻璃：反射鍍膜玻璃和低輻射玻璃是將金屬或金屬氧化物直接於玻璃上形成薄膜，但也可以先將其形成在聚脂膜上再貼附到玻璃上，以提升現有玻璃的熱性能，

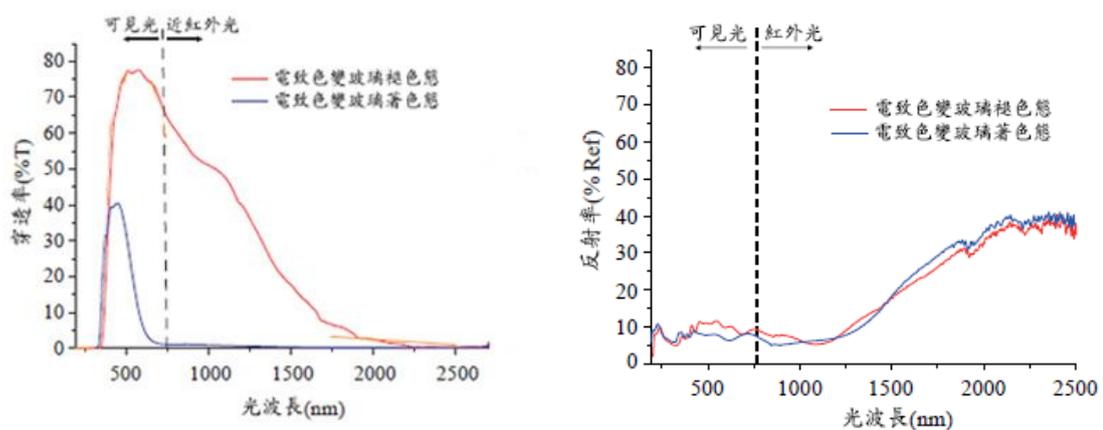


圖2-3 變色玻璃在著色態和退色態的光譜曲線

(資料來源：工業材料雜誌 290 期)

這種玻璃就稱為貼膜玻璃。玻璃貼膜使用起來非常方便，既可用在新建建築上，也可以對既有建築玻璃進行節能改善。圖 2-4 說明了平板透明玻璃貼上某種節能膜後的玻璃熱性能變化。

塗膜玻璃：塗膜玻璃是採用能塗附於建築玻璃表面可塗抹於玻璃之上的塗料中添加奈米級的隔熱顆粒，使得玻璃表面形成類似鍍膜玻璃的膜層，既保持較高的可見光透射比，又能降低玻璃的遮陽係數。該塗料可以有選擇性地讓太陽光透過，盡可能地讓對室內採光有用的可見光透過，又盡可能地阻隔人眼看不到的近紅外線。圖 2-5 為幾種典型的節能玻璃及理想的節能玻璃透過率曲線圖。

特別強調圖 2-5 中所列的幾種典型節能玻璃只是個案，不代表所有產品，每一大類的產品性能存在著差異。從圖 2-5 可知，理想的節能玻璃應是幾乎隔絕近紅外線，而對可見光透射比沒有影響；塗膜玻璃能夠有效阻隔近紅外線的透過，同時又能有較高的可見光透射率，不足的是，絕大多數塗膜玻璃對近紅外線的阻隔是通過吸收來實現的。

變色玻璃：變色玻璃有光致變色與電致變色，所謂的智慧型變色材料是可以藉由電能、熱能或是光能使材料產生變色效果，光致變色智慧窗膜由實驗證實，太陽光熱

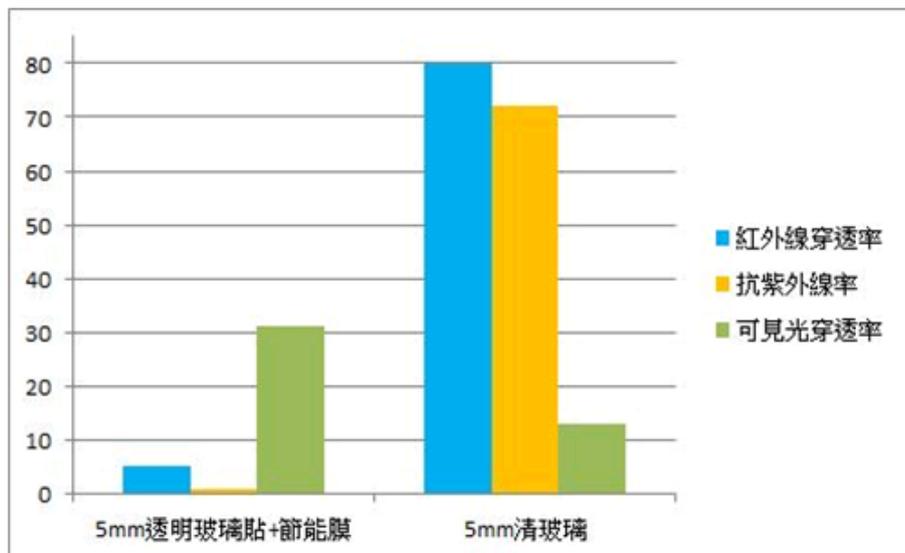


圖2-4 平板透明玻璃貼節能膜前後的熱性能

(資料來源：本研究繪製)

能所導致之空調用電是建築空調用電的一半，進而控制戶外光熱進入建築物內部之能量，降低建築內部照明與冷氣之耗電量，達到節能舒適之目的；太陽光可以藉由光粒子波傳遞光能及熱能為人們帶來光線及溫暖，但同時過強的光線及熱能量必須由人們發揮創意及巧思來對其適當應用。

光致變色材料會隨陽光強烈程度造成顏色深淺變化，進而自動調節對光熱源的遮蓋能力，可以有效遮蔽對太陽光所傳遞的強烈光線(眩光)及熱能源，在白天其保有最大的可見光穿透率，且在夜晚時顏色變淺透視率增加，除可顯著降低油耗節省能源外，達到室內舒適的環境。電致變色是材料的光學屬性（反射率、透過率、吸收率等）在外加電場的作用下發生穩定、可逆的顏色變化的現象，在外觀上表現為顏色和透明度的可逆變化。具有電致變色性能的材料稱為電致變色材料，用電致變色材料做成的器件稱為電致變色器件。電致變色智能玻璃在電場作用下具有光吸收透過的可調節性，可選擇性地吸收或反射外界的熱輻射和內部的熱的擴散，減少辦公大樓和民用住宅在夏季保持涼爽和冬季保持溫暖而必須消耗的大量能源。

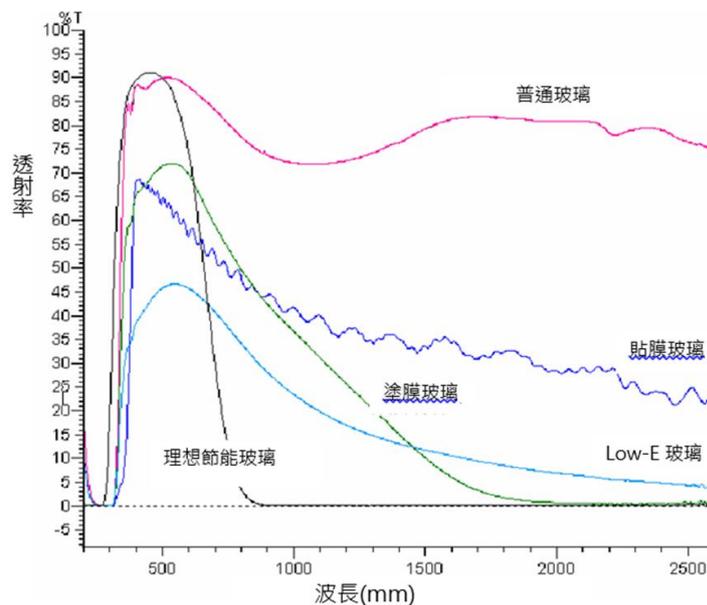


圖2-5 典型節能玻璃的透射率曲線

(資料來源:參考文獻[1])

## 第二節 窗戶的熱傳遞

圖 2-6 表明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(2-1)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。公式(2-1)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。

$$q = U \times (T_{out} - T_{in}) + SHGC \times G \quad (2-1)$$

其中：

- q：熱流密度，W/m<sup>2</sup>；
- U：窗戶傳熱係數，W/ (m<sup>2</sup>-K)；
- T<sub>out</sub>：室外空氣溫度，℃；
- T<sub>in</sub>：室內空氣溫度，℃；
- SHGC：太陽熱得係數，無單位；
- G：太陽輻射，W/m<sup>2</sup>。

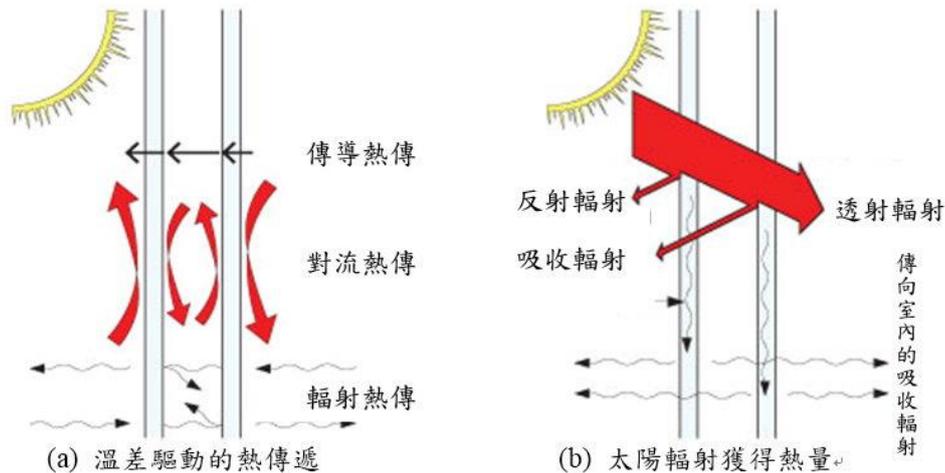


圖2-6 窗戶傳熱示意圖

(資料來源：本研究參考 <http://www.commercialwindows.org> 重繪)

溫差驅動的熱傳遞：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 2-6(a) 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。傳導熱傳發生在窗戶玻璃和窗框部位，單層玻璃的傳熱係數非常大，隔熱主要是靠窗戶兩側表面的空氣層。窗戶的多層玻璃之間的氣體也會發生對流熱傳，通過改變多層玻璃之間的距離，選擇絕熱性能更好的氣體可以有效地減小這部分對流熱傳。輻射熱傳發生在多層玻璃之間、窗戶玻璃和窗框表面與室內外空間之間。所有的物體都在向空間發射熱輻射，溫度高的物體發射的熱輻射多於溫度低的物體。夏季窗戶玻璃表面溫度高，室內空間各個表面溫度低，所以玻璃向室內輻射熱量；冬季窗戶玻璃表面溫度低，室內空間各個表面溫度高，所以室內空間各個表面向窗戶玻璃輻射熱量。窗戶玻璃吸收太陽輻射以後溫度升高，從而會增加溫差驅動的熱傳遞。不管是冬天或者是夏天，熱量總是由溫度高的一側流向溫度低的一側，傳熱量的大小取決於窗戶 U 值的大小。U 值是衡量窗戶隔熱效果的物理參數，它的含義是室內外存在 1°C 溫差時，通過單位面積窗戶傳遞的熱流密度。

U 值越小，單位面積窗戶傳遞的熱量越小。U 值的大小決定於窗戶材料的導熱係數和環境條件(如室內外溫差和風速)。NFRC(National Fenestration Rating Council)規定的標準室內外環境條件為[2]：

- (1)風速：2.5m/s；
- (2)室內溫度：21°C；
- (3)室外溫度：-18°C。

NFRC 以該環境條件下計算得到的窗戶傳熱係數作為鑒定窗戶傳熱性能等級的標準。除了環境條件以外，窗戶的傳熱係數 U 值的大小取決於窗戶本身組成材料的熱力性能，包括窗戶玻璃、窗框、玻璃夾層填充的氣體等都會不同程度地影響窗戶的 U 值。玻璃是窗戶最重要的組成部分，玻璃的面積往往占整個窗戶面積的絕大部分，因此玻璃的 U 值通常用玻璃中心的 U 值衡量，玻璃中心的 U 值主要受到玻璃的層數、相鄰層玻璃之間距離的大小、夾層氣體的類型以及玻璃表面鍍膜的特性的影響。

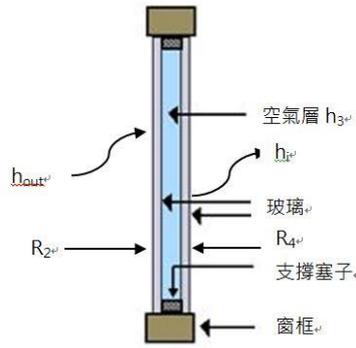


圖2-7 玻璃中心的U值計算示意

(資料來源：本研究繪製)

以圖 2-7 所示的雙層玻璃窗戶為例，玻璃中心的 U 值計算式如下：

$$U = 1/R \quad (2-2)$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad (2-3)$$

$$R_1 = 1/h_o; R_5 = 1/h_i \quad (2-4)$$

$$R_2; R_4 = \delta/\lambda \quad (2-5)$$

$$R_3 = 1/(h_{3c} + h_{3r}) \quad (2-6)$$

其中：

U：窗戶玻璃的傳熱係數，W/(m<sup>2</sup>·K)；

R：窗戶玻璃的總熱阻，(m<sup>2</sup>·K)/W；

R<sub>1</sub>：窗戶玻璃外側對流熱阻，(m<sup>2</sup>·K)/W；

R<sub>2</sub>、R<sub>4</sub>：窗戶玻璃導熱熱阻，(m<sup>2</sup>·K)/W；

R<sub>3</sub>：夾層空氣熱阻，(m<sup>2</sup>·K)/W；

R<sub>5</sub>：窗戶玻璃內側對流熱阻，(m<sup>2</sup>·K)/W；

h<sub>o</sub>：窗戶玻璃外側對流傳熱係數，W/(m<sup>2</sup>·K)；

h<sub>i</sub>：窗戶玻璃內側對流傳熱係數，W/(m<sup>2</sup>·K)；

δ：窗戶玻璃的厚度，m；

λ：窗戶玻璃的導熱係數，W/(m·K)；

h<sub>3c</sub>：窗戶玻璃夾層空氣的對流傳熱係數，W/(m<sup>2</sup>·K)；

h<sub>3r</sub>：窗戶玻璃夾層空氣的輻射傳熱係數，W/(m<sup>2</sup>·K)；

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。其中一部分輻射熱量被反射回外界空間，一部分透過窗戶玻璃直接進入室內，一部分被窗戶玻璃吸收導致玻璃溫度升高隨後間接傳遞進入室內，如圖 2-6 (b)所示。夏季透過窗戶進入室內的太陽輻射成為夏季空調負荷最主要的影響因素，在空調負荷中所占的比重超過室外溫度和濕度引起的傳熱量。衡量透過窗戶進入室內的太陽輻射熱量的大小有兩個參數：太陽熱得係數 SHGC 和遮陽係數 SC(Shading Coefficient)。SHGC 的定義是透過窗戶進入室內的太陽輻射熱量與投射到窗戶表面的太陽輻射熱量的比值。SC 的定義是垂直入射角度下某窗戶系統的太陽得熱與 3mm 透明玻璃的太陽得熱的比值。

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。然而，SHGC 和 SC 側重的點不同，因為 SHGC 更直接反映了太陽輻射入射角度對玻璃透射率的影響(如圖 2-8)，所以 SHGC 比 SC 更常用。雖然可以得到任意入射角度下的 SHGC，最常用的是太陽輻射入射角度為  $0^\circ$  即垂直入射時的 SHGC。

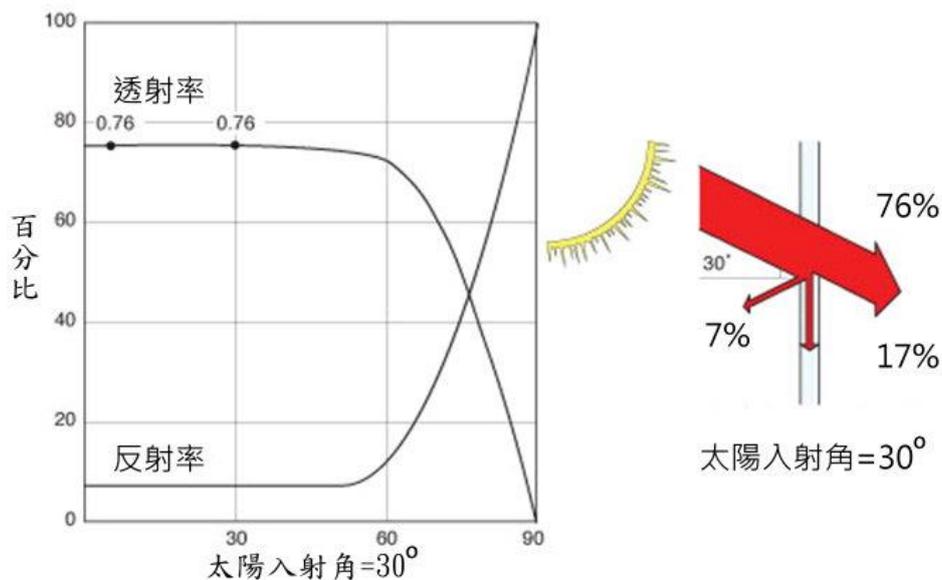


圖2-8 某種玻璃太陽輻射入射角度與玻璃透射率的關係

(資料來源：本研究參考 <http://www.commercialwindows.org> 繪製)

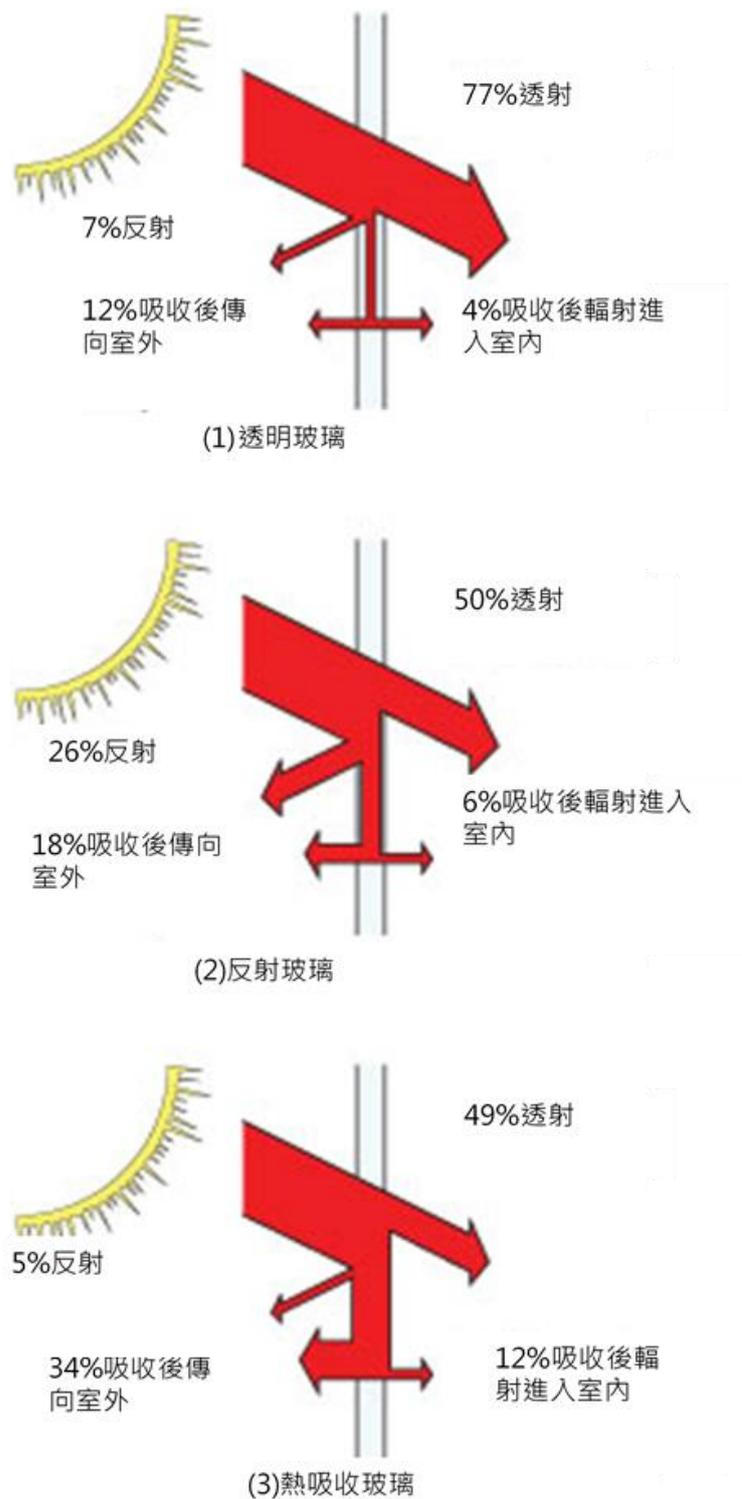


圖2-9 不同類型玻璃具有不同的反射、透過、吸收和再輻射特性

(資料來源：本研究參考 <http://www.commercialwindows.org> 繪製)

控制不同波長的太陽輻射反射、吸收、透射的比例能夠有效地改善窗戶的熱力性能，如圖 2-9。太陽光波長範圍包含極廣，從不可見的短波紫外線到可見光、不可見的長波近紅外線。可見光在太陽輻射的總能量中占 44%，更多的部分(53%)是來自紅外線和少部分(3%)來自紫外線。太陽輻射的這個特性使得太陽輻射本身具有選擇性，也就是說可以人為地阻止部分光譜的能量穿過玻璃進入室內。

如圖 2-10 所示，不同類型的玻璃對不同的太陽光譜具有不同的透過率。利用玻璃的這種選擇性能夠來減小窗戶玻璃 SHGC，在夏季可以減小窗戶的太陽輻射得熱有效地降低空調負荷。

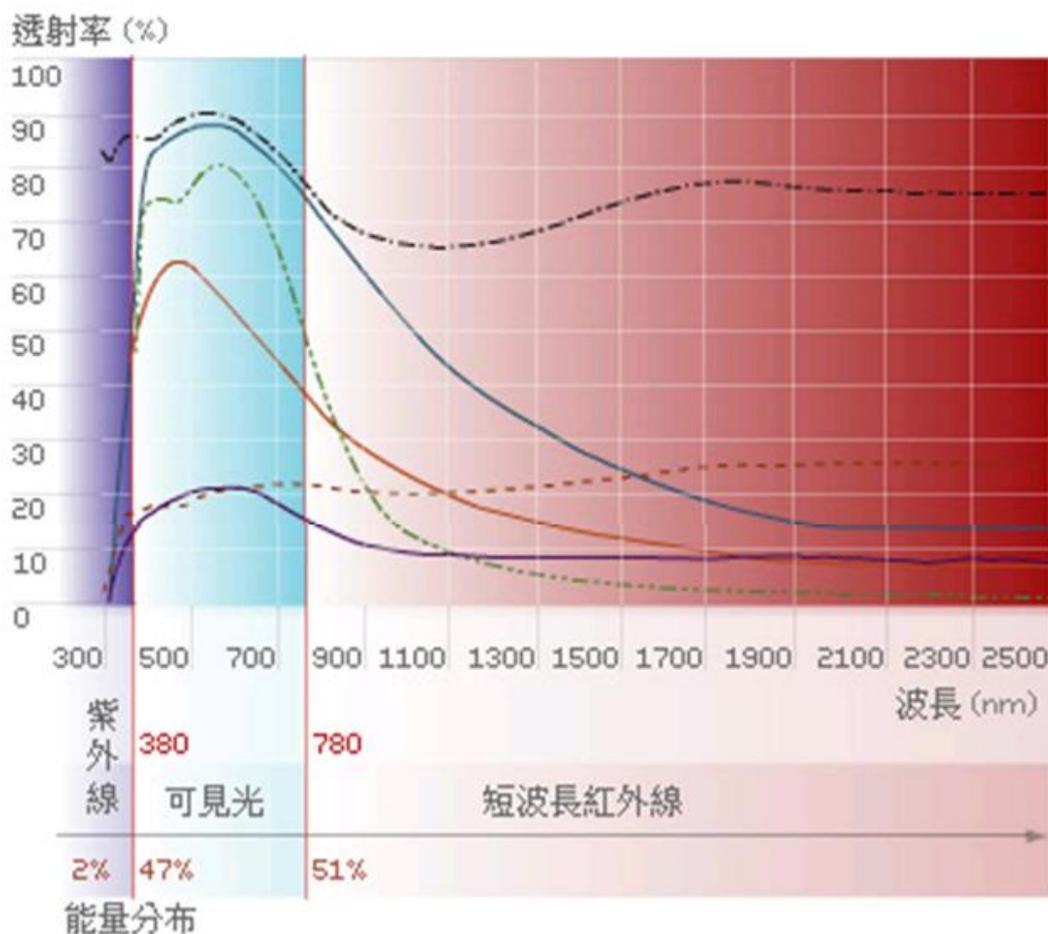


圖2-10 不同類型的玻璃對不同的太陽光譜具有不同的透過率

(資料來源：<http://coating-glass.com.tw>)

太陽熱得係數 SHGC 描述的是整個窗戶系統的性能，在很廣泛的範圍內能夠精確地計算窗戶系統的太陽得熱。SHGC 是一個 0~1 之間的無量綱數，其越高代表窗戶系統的太陽得熱越多。所謂的 SHGC 就是太陽輻射照到窗戶時，直接穿透玻璃而進到室內的熱量，和經由玻璃吸收之後，以對流與輻射的方式再傳到室內的熱量這二個熱量的加總。也就是：

$$SHGC = \tau + N_i \cdot \alpha \quad (2-7)$$

$$N_i = \frac{\left(\frac{1}{A \cdot h_o}\right)}{\left(\frac{1}{A \cdot h_o}\right) + \left(\frac{1}{A \cdot h_i}\right)} \quad (2-8)$$

其中  $\tau$ ：玻璃的穿透率

$\alpha$ ：玻璃的吸收率

$N_i$ ：經玻璃吸收的太陽輻射後再傳進室內的比例

### 第三節 玻璃光學性能計算軟體

玻璃的光學性能計算依據國際 ISO 9050-2003《Glass in building-Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors》計算規則，設計或評價建築門窗、玻璃幕牆定型產品的熱工性能時，應統一採用本規程規定的標準計算條件進行計算，在進行實際的工程設計時候，玻璃熱工性能計算所採用的邊界條件應符合如下規定設計或評價建築門窗的熱工性能時，所採用的環境邊界條件應統一採用下列標準計算條件。

#### 1. 冬季計算標準條件應為：

室內空氣溫度 $T_{in}=20^{\circ}\text{C}$

室外空氣溫度 $T_{out}=-20^{\circ}\text{C}$

室內對流換熱係數 $h_{c, in}=3.6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

室外對流換熱係數 $h_{c, out}=16 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

室外平均輻射溫度 $T_{rm, out}=T_{out}$

室內平均輻射溫度 $T_{rm, in}=T_{in}$

太陽輻射照度 $I_s=300 \text{ W}/\text{m}^2$

#### 2. 夏季計算標準條件應為：

室內空氣溫度 $T_{in}=25^{\circ}\text{C}$

室外空氣溫度 $T_{out}=30^{\circ}\text{C}$

室內對流換熱係數 $h_{c, in}=2.5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

室外對流換熱係數 $h_{c, out}=16 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

室外平均輻射溫度 $T_{rm, out}=T_{out}$

室內平均輻射溫度 $T_{rm, in}=T_{in}$

太陽輻射照度 $I_s=500 \text{ W}/\text{m}^2$

計算傳熱係數應採用冬季標準計算條件，並取  $I_s = 0 \text{ W/m}^2$ 。主要是因為傳熱係數主要是對於冬季節能計算很重要。夏季雖然說傳熱係數與冬季不同，但傳熱係數隨著條件的變化不是很大，對夏季的節能和負荷計算所帶來的影響也不大。計算遮陽係數、太陽能總透射比應採用夏季標準計算條件，並取  $T_{out} = 25^\circ\text{C}$ 。這樣是因為遮陽係數對於夏季節能和空調負荷的計算是非常重要的。冬季的遮陽係數的不同對採暖負荷所帶來的變化也不大。

Optic5、Window5 計算軟體，Window 5.0 由美國伯克利實驗室 LBNL 實驗室開發，採用 ASHRAE SPC142 和 ISO15099 的最新計算方法，如圖 2-12 用於分析窗傳熱性能，包括傳熱係數 U、太陽輻射得熱因子 SHGC、可見光透過率 VT、冷凝指數 CR。Window 5.0 可以與 LBNL 開發的 Therm5、Resfin、Optic5 等其他程式連結，還可以顯示表面溫度圖，介面友好，使用方便。Optic 5 用於玻璃的光譜曲線的導入，Window 5 用於對導入的光譜曲線的單算或者組合計算，最終得到遮陽係數，可見光透射比，和傳熱係數。

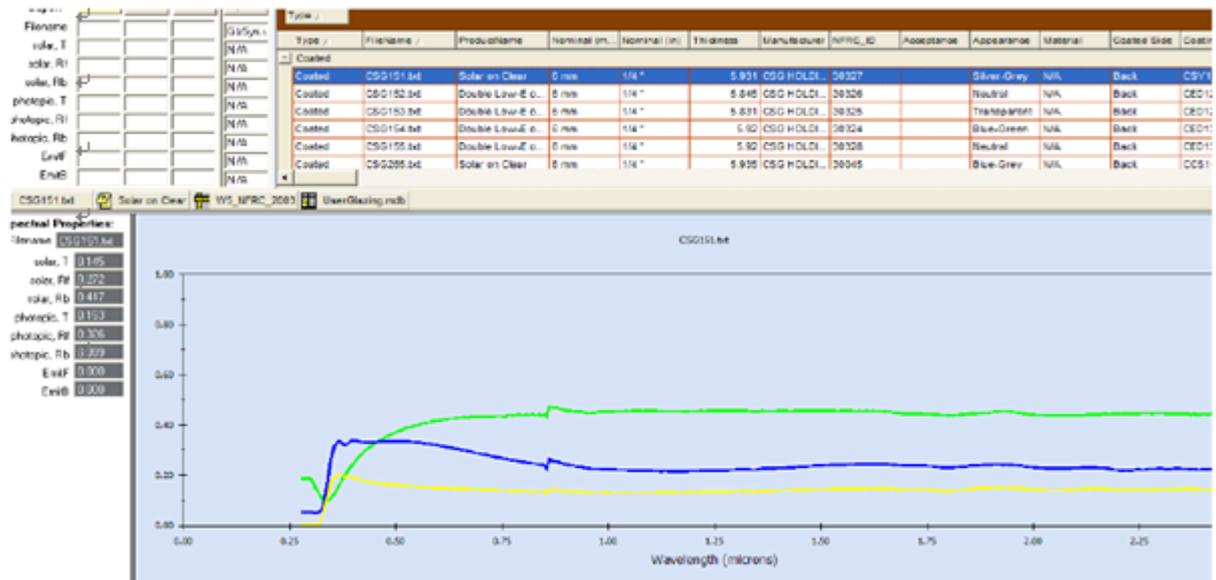


圖2-11 Optic5 計算軟體光譜曲線介面

(資料來源：本研究彙整)

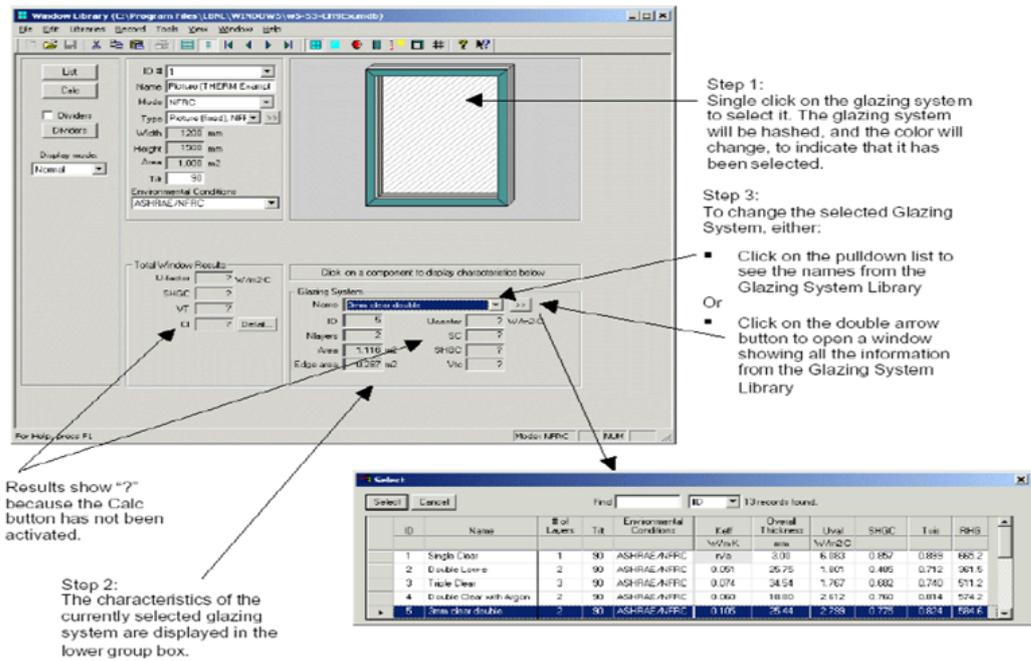


圖2-12 Window5 計算整窗光學熱工性能介面

(資料來源：本研究彙整)

#### 第四節 窗戶和熱舒適

在 ISO7730[3]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[4]強調為了量化如圖 2-13 所示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。La Gennusa 等[5]提供了一種通用的算法來計算位在受太陽照射的玻璃面積附近的居住者因直達和散射輻射而導致的平均輻射溫度升高量。在這樣的情況下，該平均輻射溫度取決於環境的玻璃的內表面溫度和落在人體上的太陽輻射強度。以 La Gennusa 等人開發的一般表達式如下：

$$T_{r,irr}^4 = T_{r,ur}^4 + \Delta T_{r,b}^4 + \Delta T_{r,d}^4 \quad (2-9)$$

$$T_{r,ur}^4 = \sum_i F_{S \rightarrow i} T_i^4 \quad (2-10)$$

$$\Delta T_{r,d}^4 = C_{dn} \frac{\alpha_d}{\epsilon \sigma} \sum_j F_{S \rightarrow j} I_{d,j} \quad (2-11)$$

$$\Delta T_{r,b}^4 = C_{dn} C_s \frac{\alpha_b}{\epsilon \sigma} f_p I_b \quad (2-12)$$

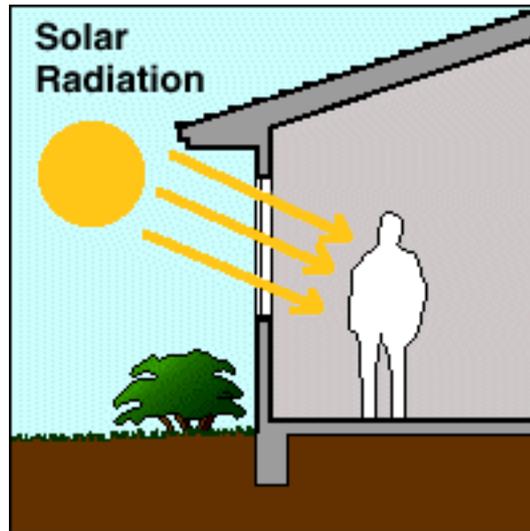


圖2-13 透過玻璃窗的太陽輻射與居住者的熱舒適

(資料來源：本研究彙整)

其中， $T_{r,irr}^4$ 和  $T_{r,ur}^4$ ，分別表示照射到和未照射到陽光的人體的平均輻射溫度； $\Delta T_{r,d}^4$ 和 $\Delta T_{r,b}^4$ 分別表示由於擴散和直達輻射的平均輻射溫度上升； $T_i$ 為環境的第  $i$  個等溫表面的絕對溫度； $F_{s \rightarrow i}$ 和  $F_{s \rightarrow j}$ 是人體分別和第  $i$  個等溫表面或環境與第  $j$  個透明表面之間的角度係數； $I_{d,j}$ 是通過入環境中的第  $j$  個透明表面的散射輻射； $I_b$ 是進入室內並落在人體上的直達太陽輻射； $\alpha_d$  and  $\alpha_b$ 分別指的是瀰漫性和太陽直接輻射的相對吸光度； $f_D$ 是在太陽光束方向上的對象的投影面積因子； $C_{dn}$ 是晝夜係數(1=夜間時段和0=白天期間)；和  $C_s$ 是係數代表對象是否被太陽光線直接照射(1為位在照射區域內，0則否)。

Arens 等[6]和 Sullivan [7]採用線性算法來估計太陽直接輻射存在時的 PPD，如圖 2-14 所示。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。

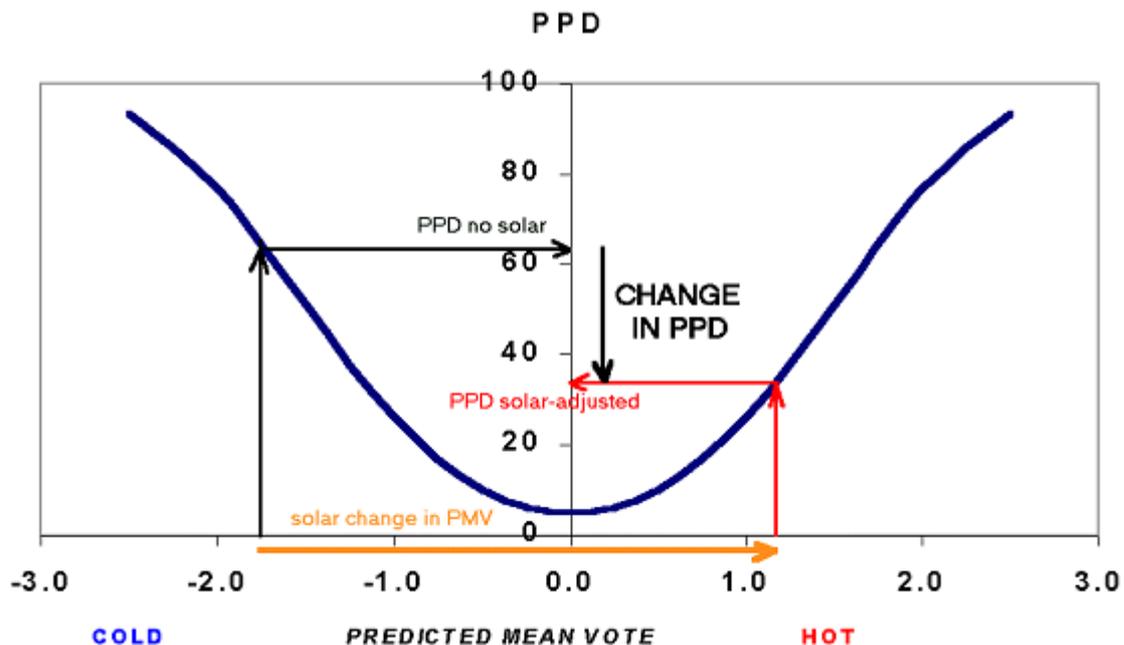


圖 2-14 PPD-PMV 模式配合太陽輻射的調整說明

(資料來源：參考文獻[1])

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 (PPDsolar) 的部分可以通過根據在等式所示的關係中從總的 PPD 值 (PPDtotal) 減去由於表面溫度影響的 PPD (PPDsurface) 的部分而獲得，如公式 (2-13) 所示。

$$PPD_{total} = PPD_{surface} + \Delta PPD_{solar} \quad (2-13)$$

## 第五節 文獻分析

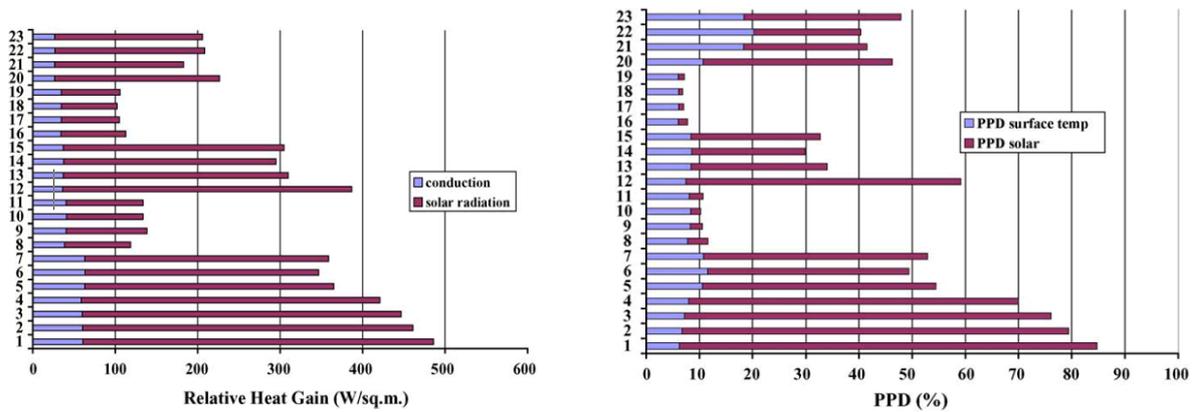
Chaiyapinunt 等[8] 基於曼谷的設計氣象條件進行關於不同類型的玻璃窗和貼膜在熱舒適性和熱傳導方面的研究。在他們的研究中選擇了透明玻璃，色板玻璃、鍍膜玻璃、雙層玻璃面板和 Low-E 玻璃等不同類型的玻璃窗，並且將不同光譜光學性能的玻璃貼膜貼在這些類型的玻璃上。

熱傳導指數 RHG 可細分為由於傳導作用和由於太陽輻射的影響。圖 2-15 表明在該研究所有調查的有或無貼膜玻璃中，RHG 數值來自於太陽輻射的比例遠高於來自傳導作用。以單層和雙層玻璃有最低的 RHG。當與無貼膜的玻璃相比，顯示玻璃貼膜對 RHG 有好的降低效果。玻璃貼膜可降低 RHG 導因於其能降低太陽輻射量，同時玻璃貼膜對於降低來自傳導的 RHG 的效果很小。同時研究也指出 RHG 與玻璃窗戶和玻璃貼膜的總透過率呈線性正比變化，與吸收率呈線性反比改變。

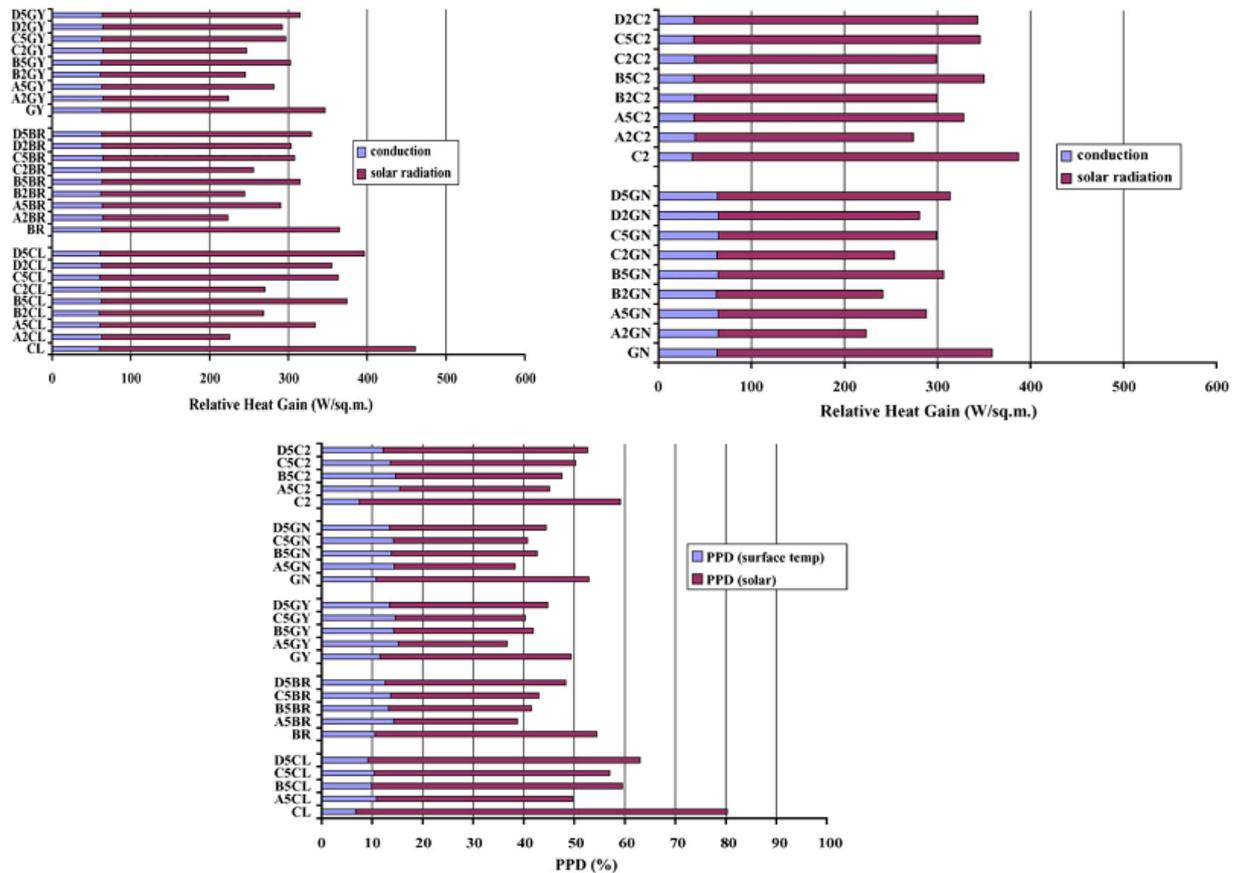
在熱舒適指標部分選用不滿意預測百分比(PPD)做為指標，同樣的將 PPD 細分成起因於表面溫度的 PPD 和太陽輻射的 PPD。圖 2-15 亦顯示了不同玻璃和貼膜組合下的 PPD 比較。該研究表明，除了在反射玻璃外，對於大多數的玻璃窗戶而言，PPD 起因於太陽輻射效果的數值，比起因於表面溫度效果比數值大得多。當選用透明玻璃作為玻璃窗時，會發生的最不舒服的狀態。玻璃窗貼膜會引起由於表面溫度的 PPD 增加，以及導致由於太陽輻射的 PPD 減少。該研究還發現玻璃窗戶和貼薄膜的玻璃窗戶源於太陽輻射作用的 PPD 值與其總透射率呈現線性變化。源於表面溫度效應的 PPD 值與其總吸收率也幾乎呈線性變化。該研究中選用相對熱增益(RHG)為熱傳導指數，圖 2-15 顯示了不同玻璃和貼膜組合下的 RHG 比較。

Khamporn 和 Chaiyapinunt[9]在泰國分析了玻璃種類對坐在臨窗附近的人的熱舒適的作用，如圖 2-16 所示。他們的研究是在分別安裝透明玻璃(具有高透光率)和色板玻璃(具有低透射率、高吸收率)的試驗室中進行實驗研究，如圖 2-16 (a)所示。因為平均輻射溫度是影響坐在臨窗附近的人的熱舒適條件之重要參數，該研究選擇不滿意預測百分比(PPD)的作為熱舒適的評估指數。該研究發現平均輻射溫度和玻璃窗的透射太陽輻射和表面溫度直接相關。較高的平均輻射溫度連帶的產生較高的 PPD 值。

玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究



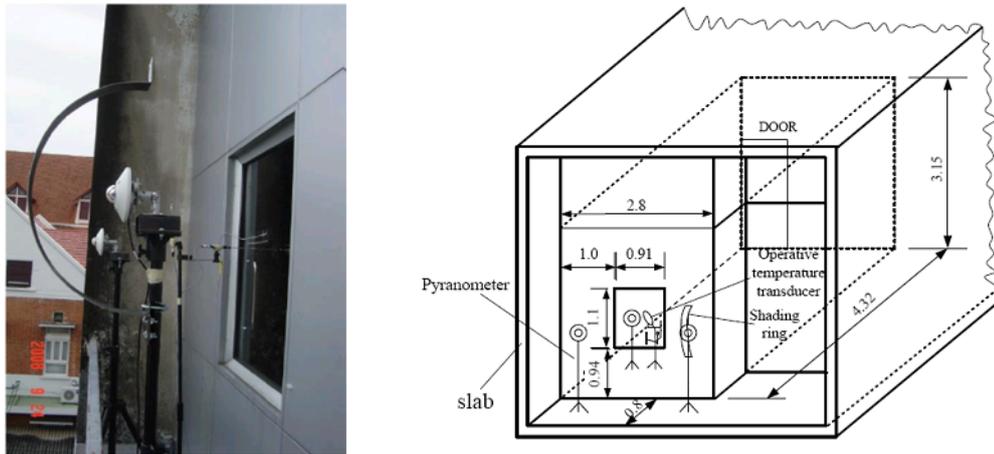
(a)無貼膜玻璃



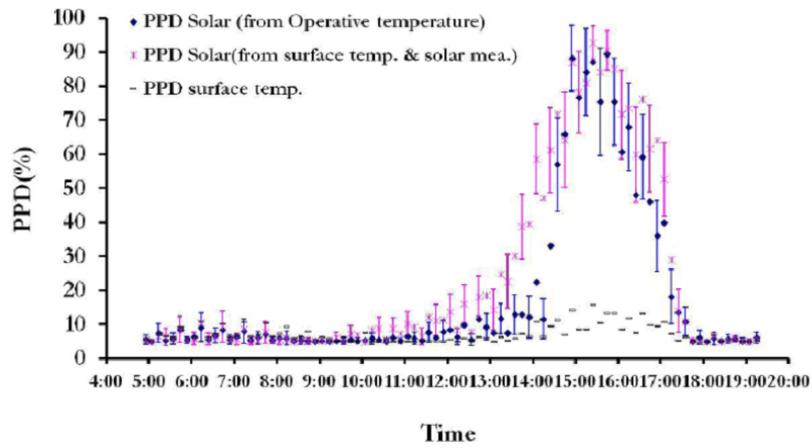
(b)貼模玻璃

圖2-15 曼谷氣象條件下不同玻璃和貼模組合的RHG和PPD比較

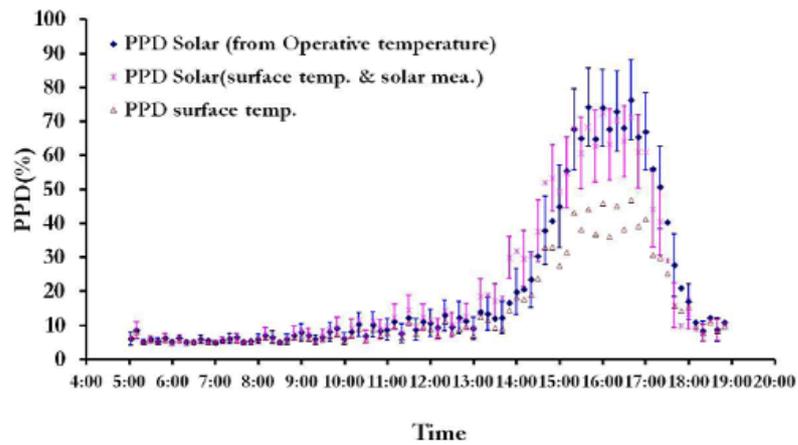
(資料來源：參考文獻[8])



(a) 實驗設備說明



(b) 透明玻璃實驗結果



(c) 色板玻璃實驗結果

圖2-16 玻璃種類對臨窗附近熱舒適的實驗設備和實驗結果

(資料來源：參考文獻[9])

圖 2-16 (b)的實驗結果顯示：在安裝透明玻璃房間裡的 PPD 數值是隨所透射的太陽輻射量直接變化的，由於太陽輻射造成的熱不舒適感遠大於由於表面溫度造成的熱不舒適感。相較於高透射玻璃窗其熱不適感有很高的成分主要來自太陽輻射，在安裝了低透射率(高吸收率)玻璃窗的房間裡，由於表面溫度造成的熱不舒適感變得重要，其影響效果和太陽輻射造成的熱不舒適感不相上下，如圖 2-16(c)所示。

Singh 等[10]基於印度德里(複合氣候)、孟買(濕熱氣候)、班加羅爾(溫和氣候)、焦特布爾(沙漠氣候)、西隆及列城(寒冷氣候)等六個城市的當地天氣條件，進行了從 3mm 單層透明玻璃到雙層低輻射玻璃與太陽能控制塗膜等 15 種不同的玻璃系統在熱人體舒適性方面的影響分析，如表 2-4。

表 2-4 顯示在與台灣同為濕熱氣候區的孟買的分析結果。在夏季室內溫度設定為 25°C 的條件下，表 2-4 顯示玻璃內表面溫度變化從 33.1 至 43.5°C，若僅單獨考慮表面溫度，這意謂它給人一種溫暖的感覺。單純由表面溫度造成的 PPD surface 介於 5% 和 10% 的區間內，基本上這些數值都還是在熱舒適的範圍內之間變化。單純由太陽輻射造成的 PPDsolar，其最小值是 1%，發生在反射率的陽光控制玻璃(編號 13)；而最大值是 66%，發生在 3mm 單層透明玻璃。同時考慮表面溫度和太陽輻射的 PPDtotal 值的範圍從 6% 至 71%。從表 2-4 可以看出對於孟買的濕熱氣候，兩種太陽能控制窗(編號 12 和 13)是最適合的。Yao 和 Zhu[11]透過 DeST 軟體模擬了安裝熱致變色玻璃的典型住宅建築在自然採光、熱舒適和冷氣能耗的情形。

黃瑞隆等[15]針對玻璃帷幕牆對於空調耗能與室內環境熱舒適的影響進行實測研究。主要實驗場所為兩間朝向正西的實驗室，進行開窗率與內遮陽之比對實驗，所用的玻璃為 8mm 的綠色強化玻璃。開窗面積分別改變為 50%，0%。窗簾分別為鋁百葉窗簾、亞麻布百葉窗簾、紗質布簾以及遮光布簾。研究結果顯示，雖然改變開窗率或使用窗簾並無法符操作溫度整日維持終 ISO 7730 建議之範圍，但是對於空調節能與室內環境之熱舒適仍有明顯之改善效果。當開窗簾降為 50% 時，操作溫度可降低 0.5°C。0% 開窗率時可整日維持在 26°C 左右，當裝設鋁百葉窗簾可以降低 1°C，亞麻布百葉窗簾可以降低 2°C，紗質窗簾可以降 2~3°C，遮光布簾可以降低 4°C。在空調耗電的影響

上，降低開窗率可節省約總耗電量的 25%，裝設遮光布簾有較佳之節能效果，垂直亞麻布百葉窗聯與紗質窗簾之節能效果相近，而水平鋁百頁窗簾之節能效果最差。

高甫生和周雪飛[16]熱舒適與輻射換熱之間的關係。根據設定的帷幕牆建築模型的各種參數計算，分析了玻璃類型、窗牆比、表面平均輻射溫度、遮陽措施等因素對人體熱舒適及空調能耗的影響，為玻璃幕牆建築的空調設計和研究提供科學理論依據。

表 2-4 15 種不同的玻璃系統在熱人體舒適性方面的影響分析

編號	縮寫	內表面溫 (°C)	室內太陽輻 射(W/ m <sup>2</sup> )	PPD <sub>surface</sub> (%)	PPD <sub>solar</sub> (%)	PPD <sub>total</sub> (%)
1	S Cl 3	33.4	451	5	66	71
2	S Cl 6	34.9	419	6	62	68
3	S Brz	42.5	247	9	37	46
4	S Gry	43.5	224	10	33	43
5	S Grn	42.7	243	9	36	45
6	D Cl	36.0	336	6	47	53
7	D Brz	37.9	199	7	23	30
8	D Gry	38.3	179	7	20	27
9	D Grn	37.3	200	6	22	28
10	D A SC	37.4	133	6	12	18
11	D A SC	37.5	77	6	6	12
12	D A SC	36.5	71	6	5	11
13	D R SC	32.5	27	5	1	6
14	D LE 1	33.8	246	6	26	32
15	D LE 2	33.1	242	5	25	30

(資料來源：參考文獻[10])

如圖 2-17 的結果表明，若在朝西的房間安裝了熱致變色雙層玻璃窗後，與雙層透明玻璃窗和雙層色版玻璃窗的情況相比，原本高度不舒適的室內熱環境條件的分別可降低 70%和 53%，以及舒適的室內熱環境條件可以提高 14.5%和 2.4%，同時也減少了 19%的冷氣電力需求。此外，它還表現出比雙層透明玻璃窗和雙層色版玻璃有更佳照明均勻性，能提供居住者適當的室內照度條件和降低眩光的風險。該研究的結論為：熱致變色玻璃窗在室內熱環境，能源和自然採光三方面具有高性能，可廣泛適用於夏熱冬冷地區的節能建築。

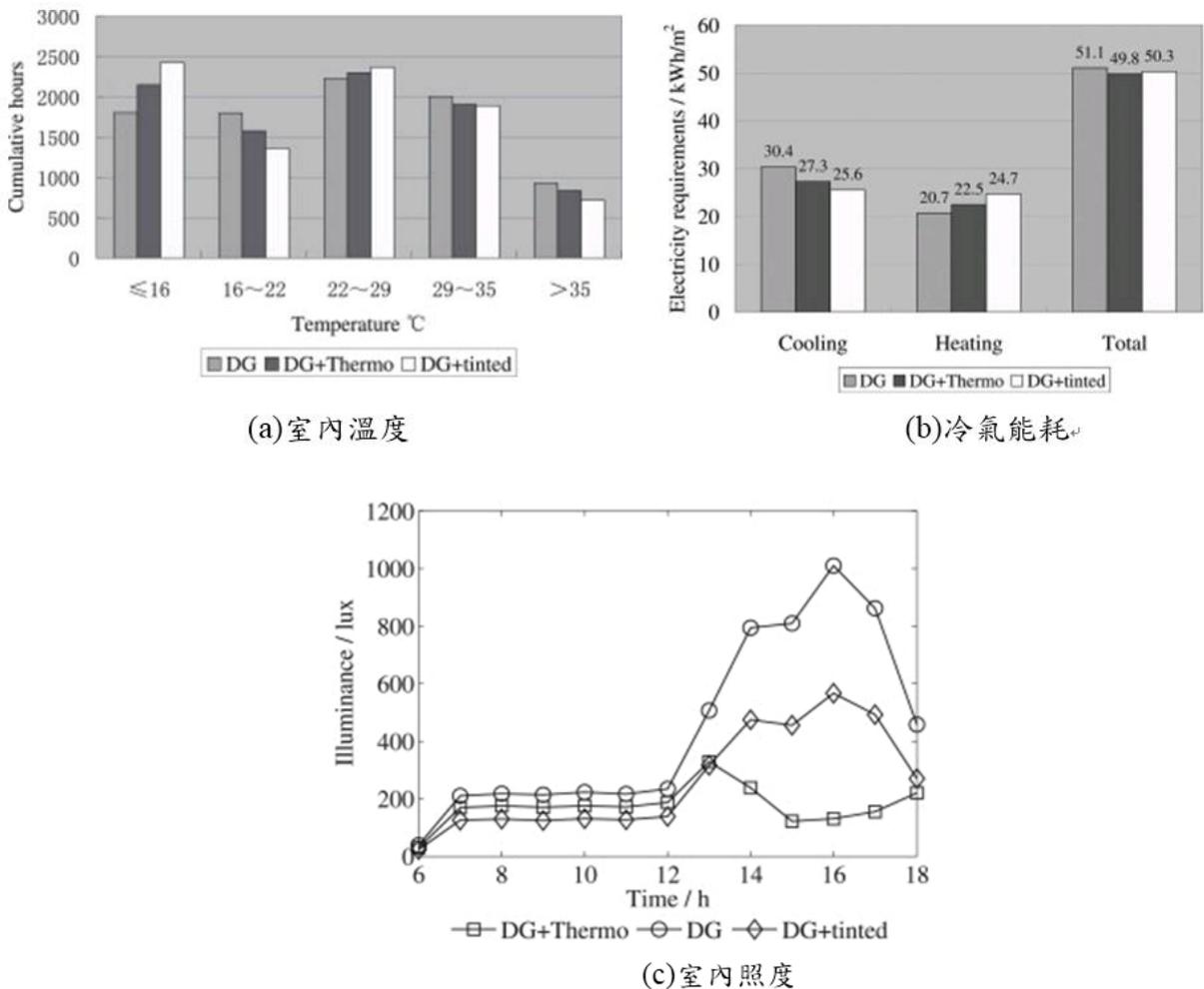


圖2-17 安裝不同玻璃窗朝西房間在溫度、冷氣能耗和照度的比較

(資料來源：參考文獻[11])

Ochoa 等的研究[12]確定了整體考量高視覺舒適性和性能，以及低能耗的窗口大小調整的優化程序。研究透過軟體模擬對位於荷蘭阿姆斯特丹溫帶氣候的標準化辦公室(如圖 2-18(a))，進行的空間在不同的開口大小下(如圖 2-18(b))的視覺舒適性和能源消費(如圖 2-18(c))，得到同時滿足能源和視覺要求的解決方案。

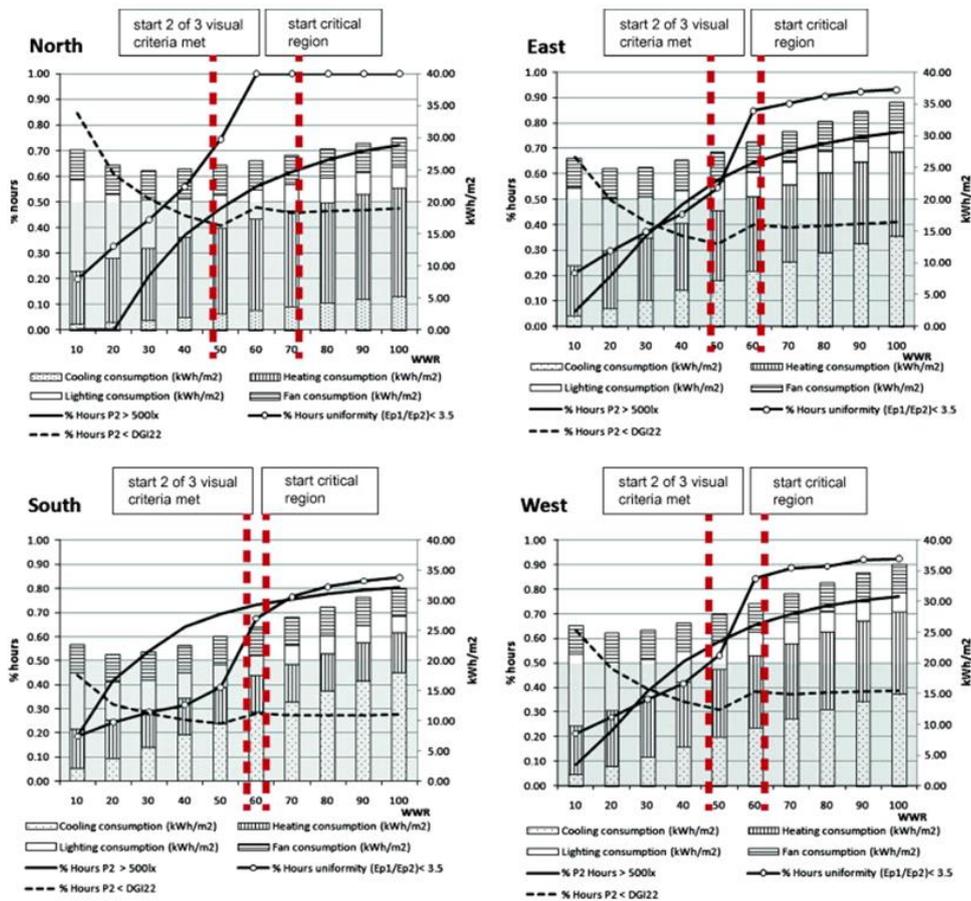
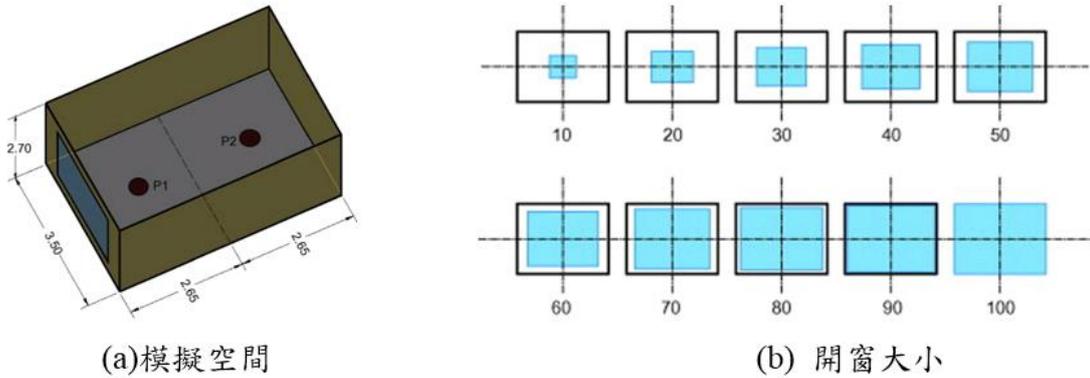
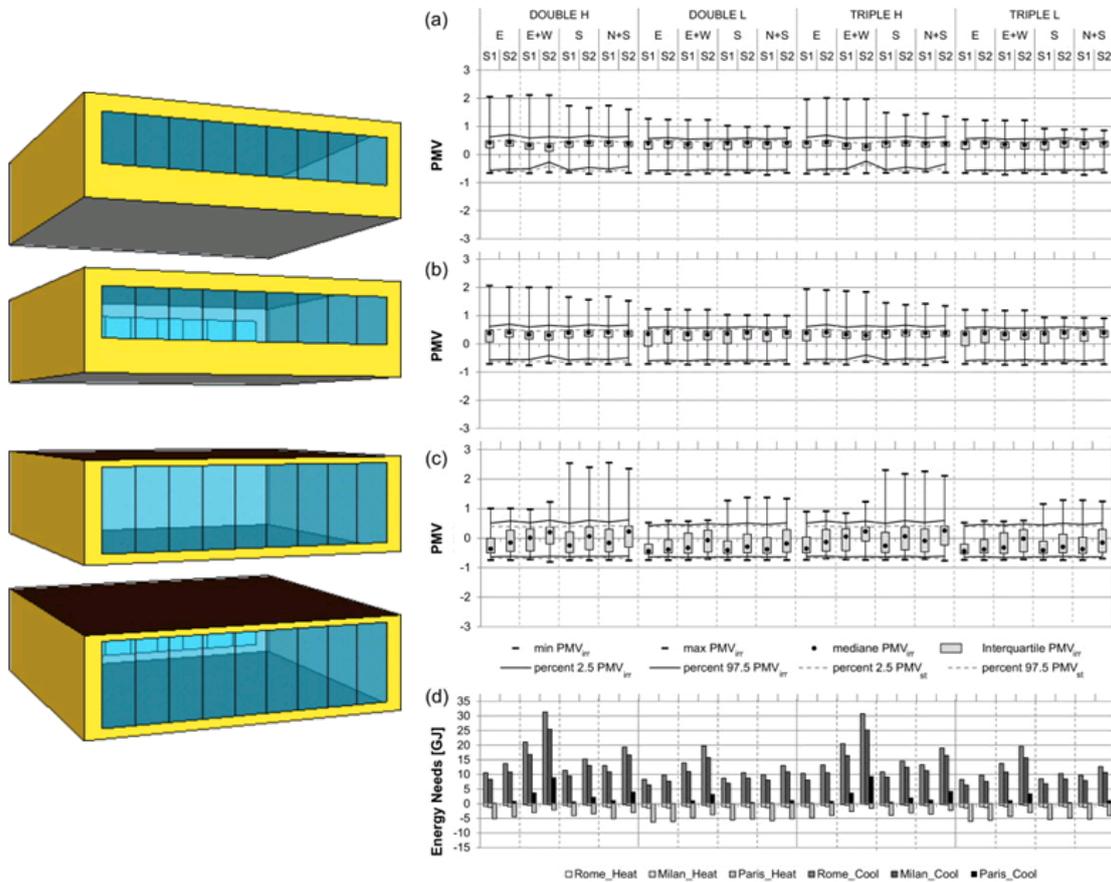


圖2-18 Ochoa等的研究成果圖

(資料來源：參考文獻[12])

Cappelletti 等[13]對一組由不同的窗口配置的開放空間辦公室(圖 2-19(a))，於室內熱環境控制在舒適的條件下，分析了這些辦公室在巴黎，米蘭和羅馬的氣候條件下的暖氣和冷氣能耗需求。圖 2-19(b)顯示了夏季期間的在不同城市的 PMV 變化和冷氣能耗的分析結果。

陳瑞玲[14]等利用熱舒適度測量設備，以及辦公室及中庭為實測對象，採用 ISO 7730 的 PMV 與 PPD 舒適度指標，對玻璃帷幕牆對外周區及中庭的熱環境影響進行實測評估。該研究並著重在探討內、外遮陽的使用、以遮蔽部分開窗面積的方式等各種可能促進室內熱舒適的改善方案。



(a) 模擬對象

(b) 夏季期間的 PMV 和冷氣能耗

圖2-19 Cappelletti等的研究彙整圖

(資料來源：參考文獻[13])

楊鵬翔和丁勇的研究[17]選擇了單層玻璃、中空玻璃、Low-E 中空玻璃三種常見的外窗玻璃，針對重慶地區，研究了不同朝向和窗牆比下，玻璃對辦公建築空調能耗的影響。

楊慧媛和高甫生[18]以某博覽中心為建築模型,採用 EnergyPlus 和自編的熱舒適計算程式類比了玻璃幕牆建築的室內熱環境,著重分析了玻璃類型、窗牆比對室內熱舒適性的影響.對幕牆建築室內不同位置 PMV 值的計算結果表明,人體與玻璃幕牆的相對位置對熱舒適影響較大。

如圖 2-20 所示。研究表明，夏季室內熱環境需求隨朝向、窗牆比的變化而變化。不同玻璃冬夏季對空調製冷、制熱能耗的影響表現存在差異，對辦公建築全年空調能耗的影響表現出不確定性。要權衡考慮各種影響因素，根據實際情況選擇設計辦公建築外窗玻璃。

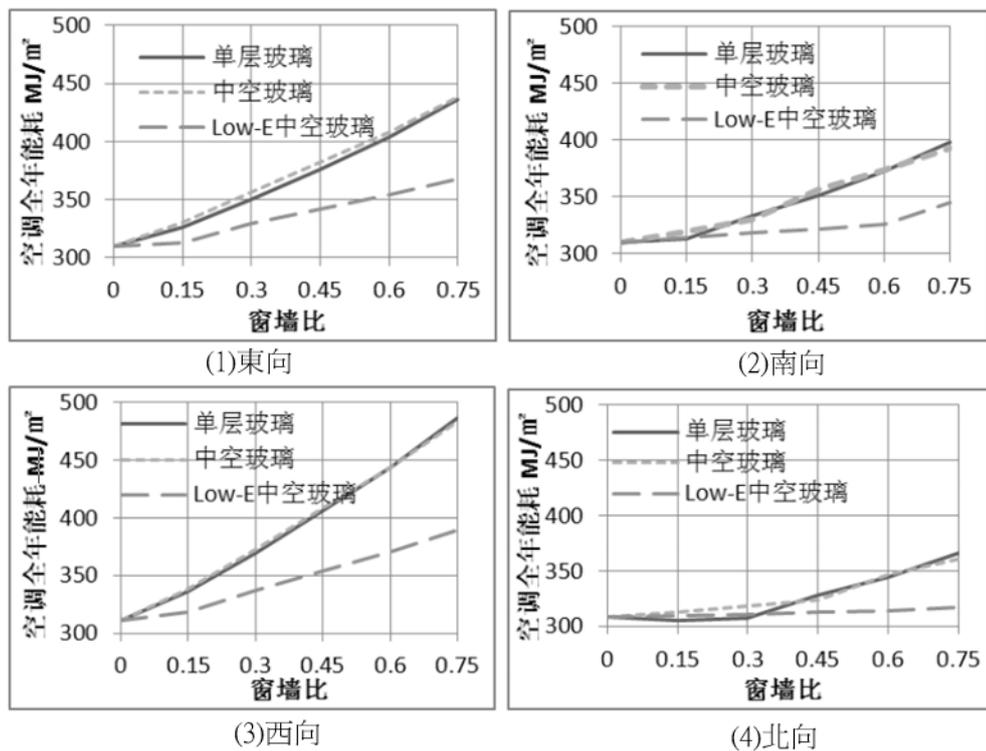


圖2-20 不同朝向、窗牆比和玻璃類型下重慶地區辦公建築空調能耗  
(資料來源：參考文獻[18])

楚洪亮等[19]分別對安裝普通中空和 Low-E 中空玻璃外窗的試驗房的在杭州夏季室內熱環境參數(溫度、熱舒適指標 PMV-PPD)和光環 Low-E 境參數照度進行了測定。試驗結果表明，安裝普通中空和 Low-E 中空玻璃外窗的試驗房室內 PMV 值在-0.7 至 0.7 之間的時間分別約為 50%和 72%，後者熱舒適性明顯優於前者。試驗房工作區域自然光照度大於 110 lx，滿足建築採光設計標準規定的室內自然採光照度的最低要求。

狄育慧等[20]，分析玻璃幕牆對室內熱環境與能耗的影響，西安市某辦公建築玻璃幕牆對室內熱環境的影響。通過現場測試和計算得出 PMV-PPD 值，並調查了辦公室內人們對室內熱環境的滿意度，認為該玻璃幕牆建築室內熱環境能滿足大部分人的要求，其理論依據即當人體處在穩定的熱環境中時，此時如果人體的熱負荷越大，那麼人體偏離熱舒適的狀態就越遠。該研究，通過實驗測試和軟體類比，被測建築的熱舒適指標值令人滿意，只要設計合理，同樣能達到熱舒適。

杜峰等[21]針對福建省福州市的 1 棟玻璃幕牆建築進行了幕牆玻璃的透射、反射和遮陽等參數的實驗室測定，分別為鍍膜玻璃、Low-E 玻璃、塗膜玻璃和貼膜玻璃。結果表明：無論採用哪種類型的幕牆玻璃，室內照度最小值 高達  $1\ 058.03\ \text{kwh}/\text{m}^2$ ，峰值甚至達到了  $4\ 281.96\ \text{kwh}/\text{m}^2$ ，導致了室內光環境的惡化；建築全年冷熱負荷面積指標合計最小值為  $221.6\ \text{kwh}/\text{m}^2$ ，其中較好的是貼膜玻璃、鍍膜玻璃和 Low-E 玻璃。

宋冰等[22] 以西安市典型的辦公建築為研究，實測加主觀問卷相結合的模式從人體主觀熱舒適方面探究造成該類建築能耗高的原因，發現窗地面積比較大的房間受陽光照射時室內溫度波動劇烈，有升溫快、全天高溫持續時間長的特點；通過分析主觀問卷髮現臨窗辦公人員因受到不對稱熱輻射影響其熱中性溫度比靠牆辦公人員低  $1.9\ ^\circ\text{C}$ ，且更易於產生熱感，進而導致提前開啟空調設備進行製冷降溫，增加了建築能耗量。

王嬌[23]該文從實驗與數值模擬角度進行了雙層皮玻璃幕牆夏季對室內熱環境影響的研究。以寒冷地區某高校雙層皮玻璃幕牆實驗樓建築為測試研究物件，搭建了雙層皮玻璃幕牆對室內熱環境影響的實驗研究平臺，設計了多工況測試方案。通過測試

幕牆夾層內溫度和室內溫度分佈，對比分析了夏季雙層皮玻璃幕牆夾層高度、通風口的啟閉、夜間通風方式等對室內熱環境的影響，並對此建築幕牆的合理使用方式給出了建議。實驗研究結果表明：夏季白天，幕牆夾層內的溫度隨高度增加而增大，且該溫度受太陽輻射的影響比受室外溫度的影響更大。

王本娟[24]研究玻璃表皮建築熱環境現狀分析節能改造措施，通過對山東建築大學圖書館的中庭內熱環境的現場問卷調查與實測、計算機對自然通風、PMV、情況的類比、對冬夏兩季室內冷熱負荷的計算與分析，得出了因素對室內熱環境的影響結果，且為室內不同的太陽輻射量區域種植植物的種類作了詳細地分析，提出要對玻璃表皮進行節能改造。

李崢嶸和句俊玲[25]將電致變色玻璃實物安裝于上海閔行一實驗台進行測試。這個實驗台包括2個幾乎相同的辦公建築會議室，南側是玻璃窗。其中一個會議室安裝電致變色玻璃，可見光透過率為0.01~0.59，另一個會議室安裝Low-e玻璃。2個房間均安裝了內遮陽簾。研究中分析了電致變色玻璃對室內光環境和熱環境的控制效果，同時，與安裝Low-e玻璃和內遮陽的會議室的光、熱效果進行對比。結果表明，非空調工況時，電致變色玻璃能夠提供更均勻、穩定和舒適的室內熱環境；同時，電致變色玻璃能夠控制室內照度在一定範圍內，特別適用於辦公建築室內光環境的舒適性。



## 第三章 實驗規劃

### 第一節 實驗平台

本文的實驗平台為六座全尺度實驗屋，如圖 3-1 所示。該實驗屋位於內政部建築研究所台南市歸仁區的實驗群戶外空地。每一座實驗屋都是由 20 英尺標準貨櫃(20 英尺長x8 英尺寬x8.5 英尺高)改裝而成的。每一間實驗屋安裝一台冷氣能力 4.2 kW 的變頻分離式冷氣。每一間實驗屋面積為 14.4 m<sup>2</sup>。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一致完全一致，窗戶的大小、位置也相同，實驗屋，窗戶朝向正西方，窗外無樹木及其它建築物遮擋太陽輻射。

房間的外窗尺寸為由二片 1m x 2m 的玻璃組成。由於實驗測試的主要目的是針對不同玻璃在相同氣候條件下，對室內熱環境、光環境以及冷氣能耗的影響。因此實驗屋必須進行不同性能的玻璃換裝。



**圖3-1 做為實驗平台的內政部建築研究所節能實驗屋**

(資料來源：本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

以利進行對比實驗。配合六間實驗屋現有安裝的是 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版玻璃、單層光致變色玻璃、雙層色版玻璃、雙層低輻射玻璃、雙層反射玻璃。它們的規格說明以及 SHGC 和 U 值如表 3-1 所示。圖 3-2 說明了玻璃的換裝過程。

表 3-1 實驗用玻璃的 U 值和 SHGC

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

(資料來源：本研究彙整)



圖3-2 實驗玻璃的換裝

(資料來源：本研究彙整)

## 第二節 使用儀器

配合實驗目的，實驗期間要記錄的參數項目包括冷氣的用電量、熱環境參數，照度以及戶外氣候條件。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，如圖 3-3。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 3-2 所示。

選用的儀器都符合 ISO 7726 對熱評估儀器設備的要求。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。照度計：照度測量使用如圖 3-4 所示之 HE140 照度計。該儀器的照度量測範圍在 1~40000Lux。在每一間實驗室裡都架設 4 台照度計。擺設位置為距離窗戶 1.1m、2.2m、3.3m、4.4m 處。戶外氣候測量：使用實驗室目前現有的小型氣象紀錄系統，紀錄的參數包括溫溼度、風向、風速和日照強度。各項儀器在現場架設與設定情形，如圖 3-4。



**圖3-3 數位電表及照度計**

(資料來源：本研究彙整)

表 3-2 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	$\pm 3\% rdg$
輻射	輻射計	DHLTA HD2102.2	

(資料來源：本研究彙整)

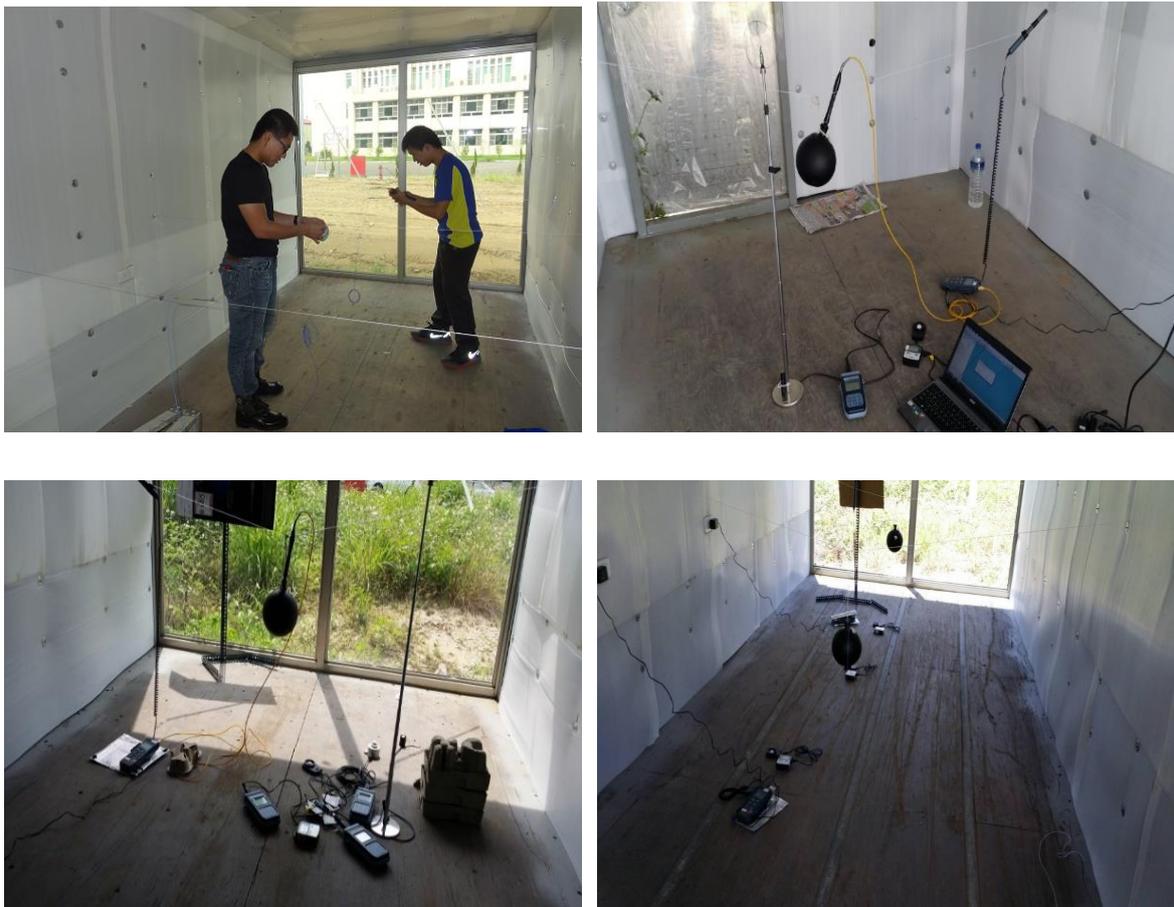


圖3-5 現場的儀器架設與設定

(資料來源：本研究彙整)

### 第三節 歸零實驗

本研究將玻璃換裝安排在 4 月底，正式的比對測試時間則安排在 5 月到 7 月。為了確保實驗的準確性，在玻璃改裝前的 4/21-4/27，我們進行了實驗屋的歸零實驗。歸零實驗為實驗前的各實驗屋的測試與調整。經過歸零實驗方能保證各實驗屋的性能是一致地，方能確保後續的實驗結果的準確性與可靠度。歸零實驗步驟則是參照內政部建築研究所實驗屋的歸零實驗標準程序進行的。



## 第四章 研究發現

## 第一節 外氣條件

正式實驗 05/12-08/02 這段期間的實驗結果。在 05/12-08/02 期間的每日外氣條件變化，如圖 4-1、4-2 所示。表 4-1 彙整了實驗期間黑球溫度、乾球溫度和相對濕度以及日照上午 9 時至下午 5 時的最高值、最低和平均值的太陽輻射累積值。

表 4-1 實驗期間外氣條件的每日統計數值

日期	黑球溫度 °C			乾球溫度 °C			相對溼度 %			日照 KWH/m <sup>2</sup>		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均
5/12	43.3	24.1	31.5	33.7	24.6	28.6	93.5	59.4	78.3	952.3	123.2	596.6
5/13	42.3	25.8	31.8	33.9	26.3	29.3	85.0	58.7	74.8	885.8	125.3	622.7
5/14	40.0	25.6	31.6	32.7	26.1	29.1	84.4	66.8	77.0	821.5	57.2	522.9
5/15	42.5	26.1	33.1	33.4	26.2	29.8	85.6	60.6	73.1	949.3	147.2	617.0
5/16	37.2	22.8	29.0	31.2	22.9	27.3	84.3	68.5	77.6	671.1	85.2	374.7
5/17	42.6	21.5	28.1	32.2	21.5	25.5	85.4	59.4	75.3	887.7	117.8	562.5
5/18	40.3	21.3	29.3	32.5	21.6	26.7	88.2	60.6	76.3	927.8	137.3	620.8
5/19	41.9	23.7	31.5	33.2	24.0	28.4	92.3	54.1	74.0	938.3	79.9	617.3
5/20	40.1	25.3	30.3	32.2	26.0	28.5	86.3	67.2	77.8	564.3	73.2	326.0
5/21	27.6	24.4	26.0	27.4	25.2	26.4	96.1	83.0	89.8	128.0	21.0	82.7
5/22	35.8	24.3	28.1	30.7	24.7	26.9	98.3	74.6	86.9	545.2	7.5	265.5
5/23	38.6	24.4	29.8	31.5	24.9	27.6	99.3	72.6	87.6	721.9	61.6	380.4
5/24	38.5	25.0	29.5	31.5	25.7	27.8	98.6	77.4	89.6	635.4	138.5	345.6
5/25	41.2	25.6	32.0	33.0	26.1	29.3	93.7	65.3	79.5	893.1	142.8	602.3
5/26	40.3	26.1	33.1	33.7	26.6	30.4	88.8	61.9	75.1	953.0	123.3	640.8
5/27	41.7	27.5	34.2	35.4	27.8	31.5	86.6	55.7	71.4	1009.1	175.3	708.6
5/28	40.1	28.0	33.5	33.9	28.2	31.0	87.1	63.2	74.8	998.2	163.3	703.1
5/29	40.6	28.2	33.1	33.5	28.5	30.6	88.2	69.8	80.3	931.0	139.9	606.4
5/30	41.1	28.2	33.4	33.6	28.5	30.7	89.4	70.6	81.3	1009.1	536.3	733.8
5/31	41.9	27.5	33.9	33.5	28.4	31.0	91.0	68.7	78.4	1041.7	173.7	694.6
6/1	40.5	28.1	33.6	34.0	28.6	30.9	88.1	65.5	78.1	986.7	155.9	645.2
6/2	40.3	27.6	32.1	33.3	28.3	30.3	88.4	72.0	81.8	804.0	116.8	473.7

(資料來源:本研究彙整)

表 4-1 實驗期間外氣條件的每日統計數值(續)

日期	黑球溫度 °C			乾球溫度 °C			相對溼度 %			日照 KWH/m <sup>2</sup>		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均
6/3	42.0	27.0	33.1	34.6	27.9	30.7	93.1	64.3	81.0	1002.5	168.3	672.9
6/4	41.1	28.2	33.8	33.8	28.6	31.0	89.4	69.3	79.7	886.2	174.8	583.5
6/5	41.9	24.6	32.2	34.2	25.3	29.8	94.5	65.4	81.9	924.1	67.3	523.9
6/6	39.7	26.0	31.0	32.1	26.4	29.1	91.5	73.4	81.8	844.8	100.6	406.6
6/7	42.3	25.7	32.5	33.3	26.3	29.7	94.5	65.6	79.4	941.8	150.7	497.3
6/8	41.8	26.1	32.1	33.3	26.5	29.4	91.5	68.3	81.0	930.3	87.8	589.1
6/9	40.5	25.0	30.2	32.1	25.4	28.4	96.3	71.8	85.0	634.1	102.4	387.5
6/10	26.9	24.3	25.5	27.0	24.6	25.7	99.8	89.3	95.3	155.4	62.9	111.8
6/11	26.0	23.8	24.9	26.1	24.3	25.1	100.0	89.6	97.1	142.8	2.4	65.6
6/12	35.5	24.0	26.5	29.9	24.5	26.2	99.8	83.2	94.4	435.8	44.3	109.2
6/13	28.3	23.8	25.1	28.3	23.7	25.3	100.0	90.2	96.0	164.8	5.6	51.6
6/14	38.4	24.5	30.4	32.4	24.8	28.5	97.2	76.5	87.5	775.3	162.7	455.0
6/15	39.9	25.7	31.4	32.9	26.1	29.4	97.0	73.4	86.4	872.7	140.5	554.9
6/16	40.4	26.5	32.0	33.2	26.8	29.9	95.0	72.3	84.5	1016.1	174.4	616.9
6/17	39.7	27.0	33.0	33.3	27.5	30.4	91.7	71.9	81.6	1027.7	161.9	639.1
6/18	41.1	27.2	33.6	34.0	27.6	30.8	90.2	68.5	79.6	1021.3	216.0	711.8
6/19	41.5	27.9	31.6	29.8	28.2	29.9	88.4	80.3	80.6	26.5	13.8	378.6
6/20	43.1	26.0	32.6	34.5	26.5	29.8	85.0	66.4	76.4	849.2	48.2	482.1
6/21	42.8	26.5	33.3	34.8	26.7	30.5	83.7	61.7	76.1	893.5	68.2	580.6
6/22	42.1	28.3	34.5	34.6	28.4	31.4	88.1	60.6	76.8	991.6	202.2	673.3
6/23	41.5	27.8	33.4	34.5	28.3	31.0	89.2	65.3	78.8	999.2	36.3	633.1
6/24	41.0	27.1	33.7	34.4	27.7	31.1	84.3	66.5	76.4	1017.1	86.0	690.0
6/25	40.3	28.1	34.2	34.3	28.5	31.5	87.7	68.7	78.0	1024.6	216.3	667.7
6/26	41.5	28.3	33.6	34.7	28.6	31.3	88.7	63.8	78.0	965.8	53.8	581.1
6/27	44.1	27.8	34.8	35.1	28.3	31.7	86.6	64.5	74.9	945.2	56.6	589.5
6/28	41.5	28.6	34.1	35.5	29.1	32.0	84.3	57.8	72.5	1030.3	93.8	605.7
6/29	41.4	28.0	33.8	34.7	28.5	31.5	82.7	62.9	74.2	929.5	170.3	623.8
6/30	40.9	28.1	33.8	34.1	28.3	31.1	87.1	64.9	76.0	1007.2	290.0	660.1
7/1	42.4	27.7	33.8	34.3	28.1	31.1	82.4	64.2	75.0	900.1	176.3	549.8

(資料來源:本研究彙整)

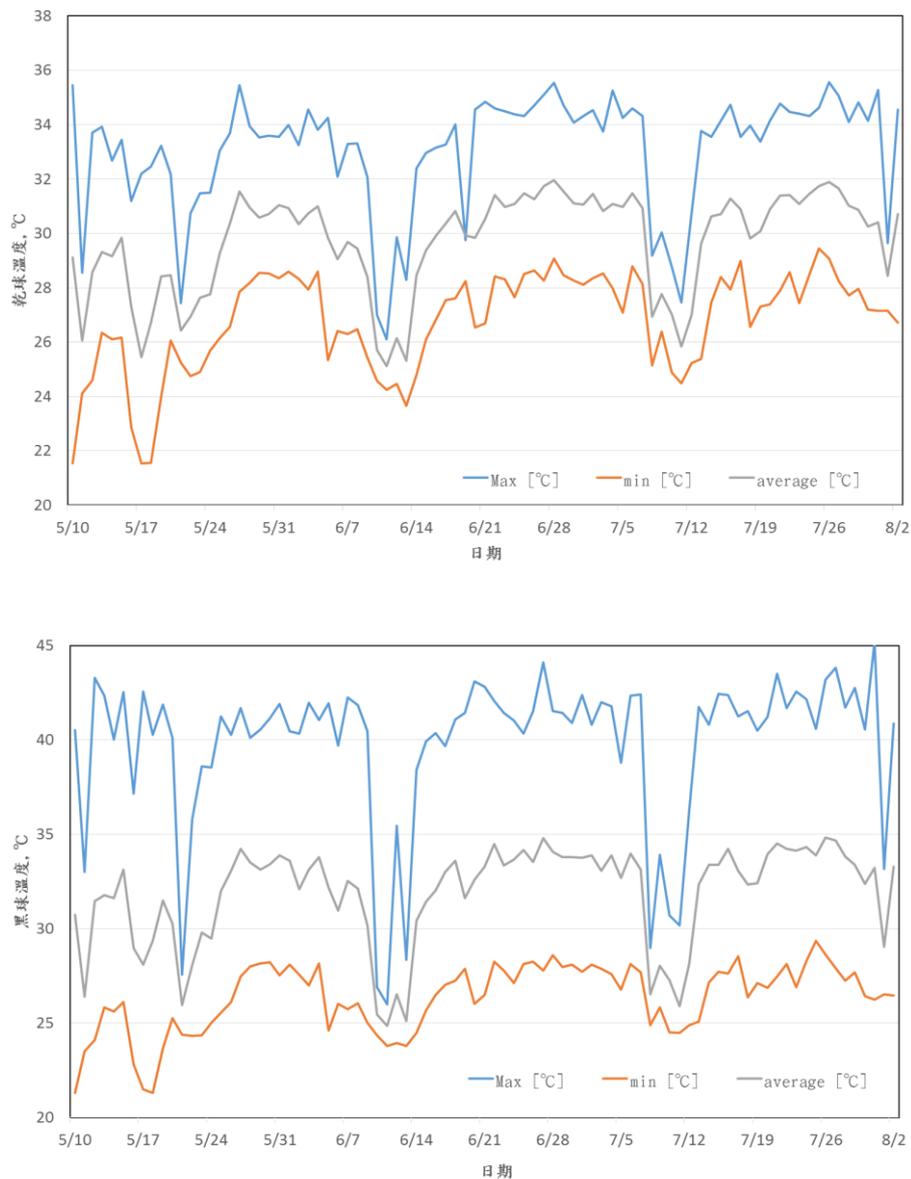
表 4-1 實驗期間外氣條件的每日統計數值(續)

日期	黑球溫度 °C			乾球溫度 °C			相對溼度 %			日照 KWH/m <sup>2</sup>		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均	最高	最低	平均
7/5	38.8	26.8	32.7	34.2	27.1	31.0	86.8	62.2	72.9	669.3	158.7	391.1
7/6	42.3	28.1	34.0	34.6	28.8	31.5	86.4	62.8	74.7	1004.8	29.6	610.4
7/7	42.4	27.7	33.1	34.3	28.1	30.9	85.8	63.9	76.0	664.6	75.9	444.3
7/8	29.0	24.9	26.5	29.2	25.1	26.9	100.0	82.5	94.0	212.8	7.8	55.0
7/9	33.9	25.8	28.0	30.0	26.4	27.8	98.2	84.6	93.4	552.2	5.7	214.2
7/10	30.7	24.5	27.3	28.8	24.9	27.0	99.5	89.2	94.6	286.2	29.1	138.6
7/11	30.2	24.5	25.9	27.5	24.5	25.8	100.0	94.3	98.1	225.8	6.3	35.6
7/12	36.3	24.9	28.1	30.7	25.2	27.0	99.9	81.5	94.1	632.2	71.8	309.1
7/13	41.7	25.1	32.3	33.8	25.4	29.6	97.2	64.9	80.8	995.7	150.5	630.1
7/14	40.8	27.2	33.4	33.6	27.5	30.6	91.6	68.8	80.0	1040.5	179.7	700.9
7/15	42.4	27.7	33.4	34.1	28.4	30.7	88.8	68.4	80.3	1064.4	136.8	594.2
7/16	42.4	27.6	34.2	34.7	27.9	31.3	91.9	65.9	79.0	968.5	193.5	655.9
7/17	41.2	28.5	33.1	33.6	29.0	30.9	88.2	70.8	80.2	883.7	69.0	506.5
7/18	41.5	26.4	32.4	34.0	26.6	29.8	85.5	62.4	77.3	887.3	58.9	600.4
7/19	40.5	27.1	32.4	33.4	27.3	30.1	80.1	66.8	74.7	950.2	61.9	470.3
7/20	41.2	26.9	34.0	34.1	27.4	30.9	82.6	65.9	74.5	913.2	150.1	619.4
7/21	43.5	27.5	34.5	34.8	27.9	31.4	86.9	61.5	73.7	927.9	177.8	642.5
7/22	41.7	28.1	34.2	34.5	28.6	31.4	86.5	55.9	73.0	861.0	294.7	599.5
7/23	42.6	26.9	34.1	34.4	27.4	31.1	80.2	60.6	71.4	1063.3	196.8	703.0
7/24	42.2	28.3	34.3	34.3	28.5	31.5	83.0	65.0	73.8	989.6	207.5	658.6
7/25	40.6	29.4	33.9	34.6	29.4	31.7	84.0	57.0	69.6	948.1	155.7	627.9
7/26	43.2	28.7	34.8	35.6	29.1	31.9	83.2	52.1	69.5	1035.3	162.2	692.5
7/27	43.8	27.9	34.7	35.1	28.2	31.6	82.0	61.8	72.8	1042.0	188.7	704.2
7/28	41.7	27.2	33.8	34.1	27.7	31.0	84.4	67.4	75.8	974.8	191.1	644.3
7/29	42.8	27.7	33.4	34.8	28.0	30.9	84.1	63.4	74.8	1007.3	20.8	643.1
7/30	40.6	26.4	32.4	34.1	27.2	30.3	92.5	65.1	76.7	991.4	23.3	582.2
7/31	45.2	26.3	33.2	35.3	27.1	30.4	93.6	61.8	81.1	807.3	15.9	544.8
8/1	33.2	26.5	29.1	29.6	27.1	28.4	94.6	73.5	86.0	354.5	103.3	221.7
8/2	40.9	26.5	33.3	34.6	26.7	30.7	86.9	54.3	73.6	989.9	172.8	684.0

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

在黑球溫度最大值，除了5/21日和6/11日、7/9日附近溫度較低，其餘最高溫在40.0°C以上，日平均黑球溫度都在31.0°C，最小值約在26.0°C。在乾球溫度方面，除了5/21日和6/11日、7/9日附近溫度較低，每日最高溫度在33.0°C以上，日均溫在30.0°C以上。



**圖4-1 5/10-8/2外氣條件的每日變化**

(資料來源:本研究彙整)

相對濕度則維持日平均值在 75%-90%。日照部分因為實驗屋是朝向正西的，只有在中午時段，玻璃面才有直達日照，所以在統計時，取上午 9 時至下午 5 時的最大值、最小值、平均值，太陽輻射最高在 1010 lux 以上，日平均 610 lux。

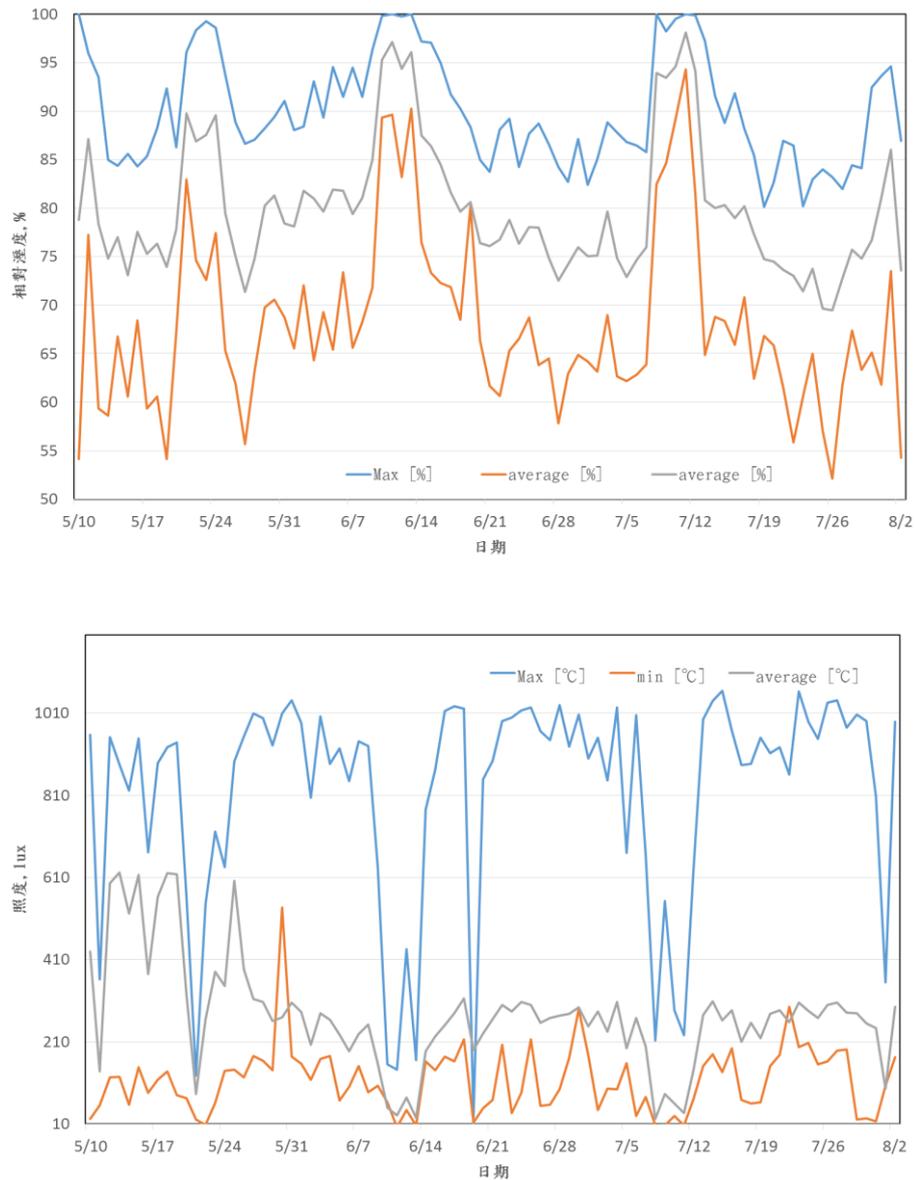


圖4-2 5/10-8/2外氣條件的日照每日變化

(資料來源:本研究彙整)

## 第二節 單層透明玻璃實驗結果

安裝單層透明玻璃實驗室在 05/24-08/02 期間的每日冷氣用電彙整如圖 4-3。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。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C，於室內 1.5m 和玻璃窗 4.5m 兩個測點量測到的逐日乾球溫度、黑球溫度以及經由換算而得的 PMV 和 PPD 如圖 4-4 所示。

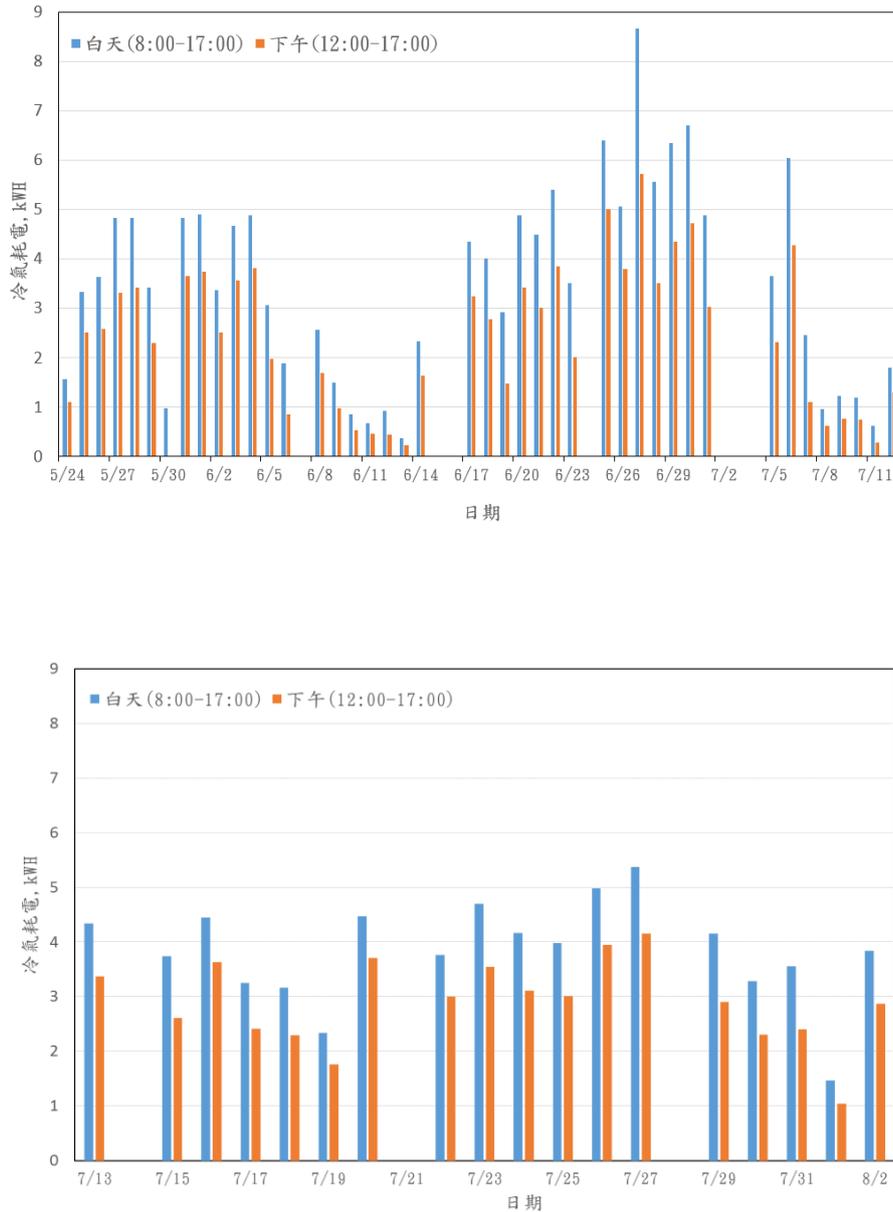
單層清玻璃的相對濕度則維持日平均值在 65%-85%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 55%-75%。在乾球溫度方面，最高溫超過 24.0°C，日均溫約在 23.0°C；實驗期間，離窗 1.5m 測點每日最高溫明顯高於離窗 4.5m 測點，每日均溫約在 23.0°C。黑球溫度部分，在離窗 1.5m 測點，黑球溫度最大值在 30.0°C，日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 22.0°C；離窗 4.5m 測點，每日最高溫在 25.0°C，均溫約在 23.0°C。相較於玻璃窗 1.5m 測點，離窗 4.5m 測點的黑球溫度較低。

PMV 熱舒適分為七個等級，分別為熱、暖、微暖、適中、微涼、涼、冷，並且分別用 3，2，1，0，-1，-2，-3 表示，如圖 4-4，單層清玻璃實驗室離窗 1.5 m 測點的 PMV 在 1 到 0 之中，表示實驗室離窗 1.5m 室內熱舒適在微暖到適中之間。離窗 4.5m 測點的 PMV 在 0 到 -0.5 之間，表示離窗 4.5m 處室內熱舒適適中。

PPD 預測不滿意百分比的部分，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點最大值除了 6/11 日、6/19、6/23、7/9 日附近 PPD 較低，其餘高達 90%，每日平均 PPD 值 13%到 30%，離窗 4.5m 測點，除了 6/11 日附近、6/19、6/23、7/9 日附近 PPD 較低，其餘 13%到 23%之間。這兩個測點，離窗 1.5m 測點不滿意百分比明顯比離窗 4.5m 高。

日照部分，實驗室設置離窗 1.1m、2.2m、3.3m、4.4m、一共 4 處測點，如 4-5 圖所示，離窗測點，每日最大值，約大於 80000lux，離窗 2.2m 約 40000 lux，離窗 3.3m 約 20000 lux，離窗 4.4m 約 2000 lux；由此可知，靠近窗邊，照度較大。

圖 4-3 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。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C，實驗期間，6/7、6/15、7/3、7/14、7/21、7/28 為收數據日，影響耗能數據，故不採納數值。



**圖4-3 單層透明玻璃的每日冷氣用電**

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

5/24-7/12 單層清玻璃的相對濕度則維持日平均值在 65%-85%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 55%-75%。

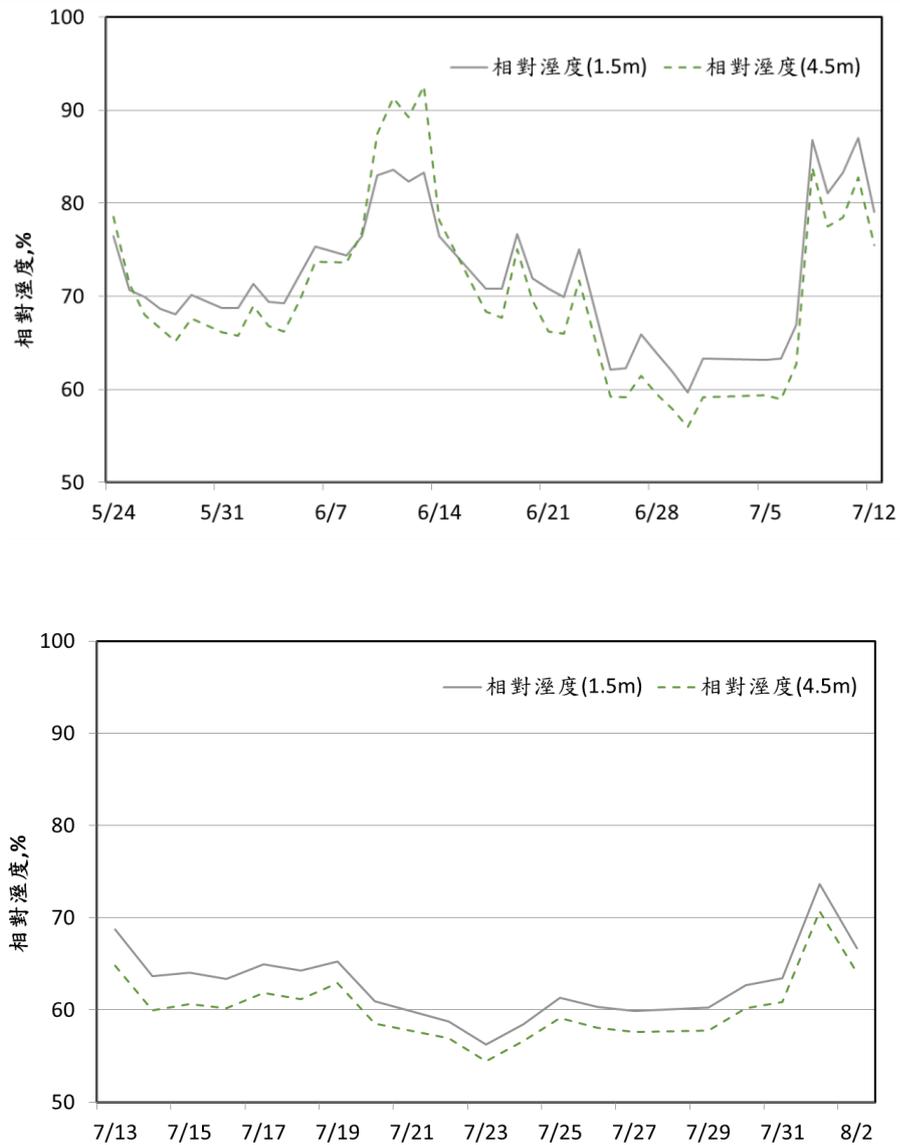


圖4-4 單層透明玻璃的每日熱環境條件

(資料來源:本研究彙整)

在乾球溫度方面，5/24-7/12 期間，除了 6/25 到 6/27 最高溫超過 28.0°C，其他日均溫也都在 23.0°C；7/13-08/02 期間離窗 1.5m 測點每日最高溫明顯高於離窗 4.5m 測點，每日均溫約在 23.0°C。

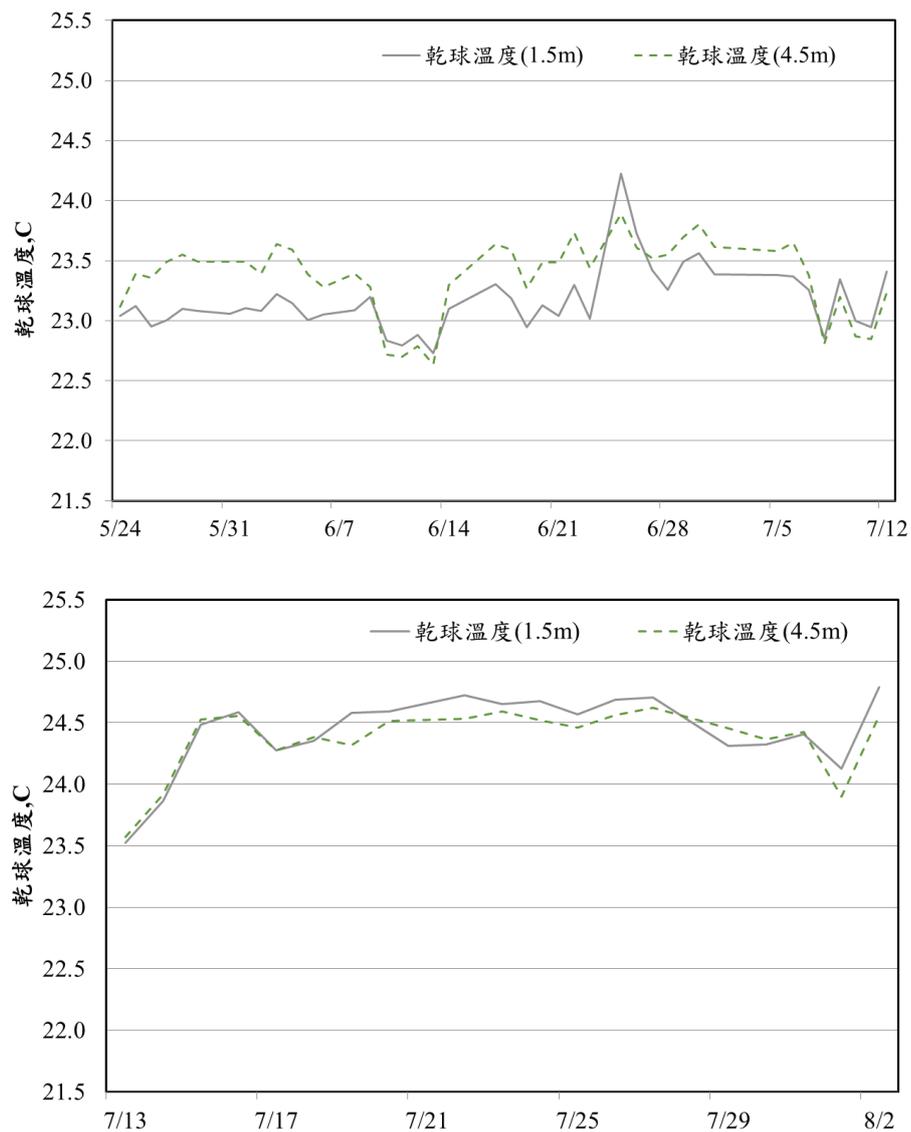


圖 4-4 單層透明玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

在離窗 1.5m 測點，黑球溫度最大值，除了 6/11、6/19、6/23、7/9 溫度較低，其餘最高溫都在 30.0°C，日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 22.0°C；相較於離窗 1.5m 測點，離窗 4.5m 測點的黑球溫度較低，每日最高，溫除了 6/11、6/19、6/23、7/9 附近溫度較低，其餘最高溫在 25.0°C，每日平均約 24.0°C。

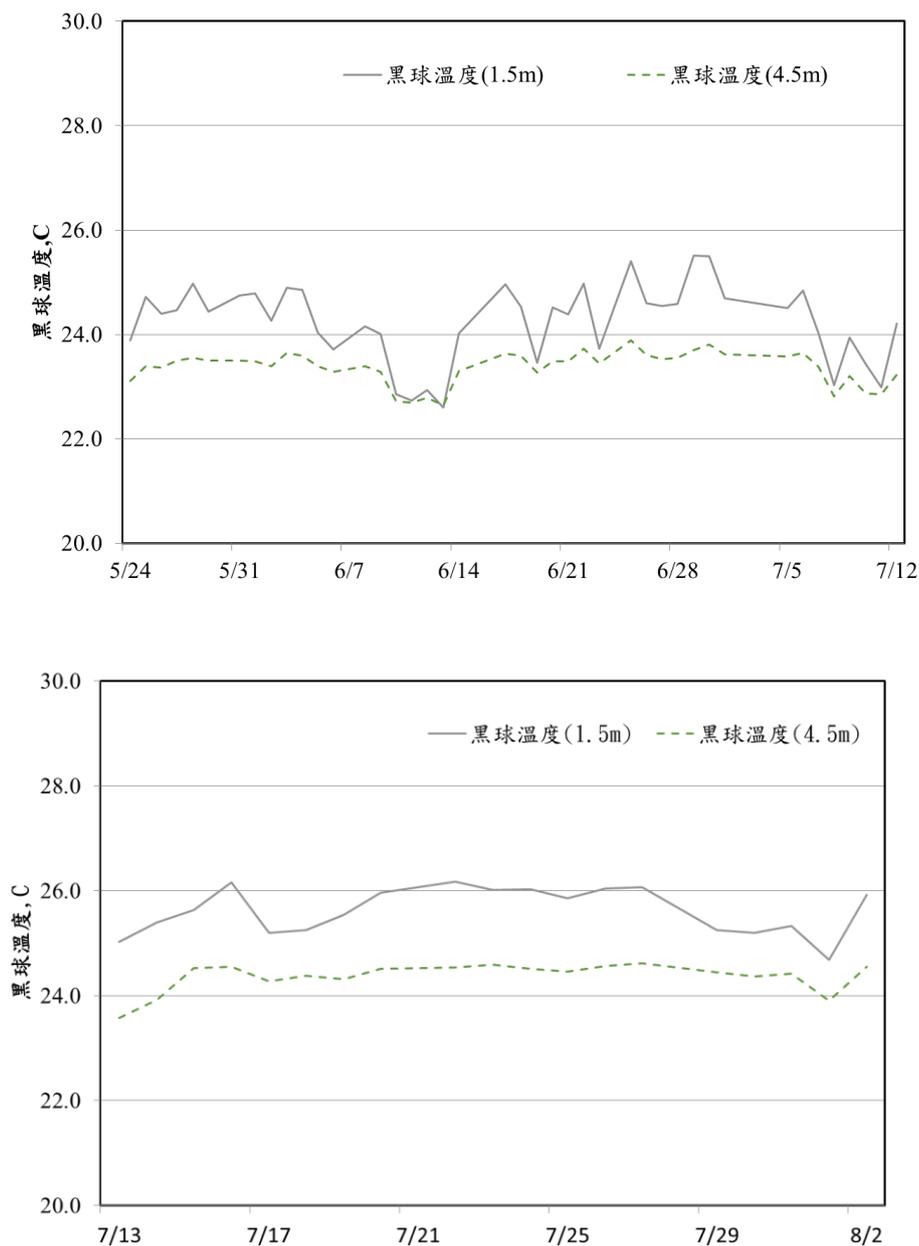


圖 4-4 單層透明玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

PMV 為熱舒適指標，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點除了 6/11、6/19、6/23、7/9 PMV 較低，其餘最高在 1.5 以上，7/13-08/02 期間 PMV 為熱舒適指標偏高，最大值約在 2.5 到 3.5 之間；離窗 4.5m 測點，每日 PMV 平均值在 -0.5 到 1.0 之間。

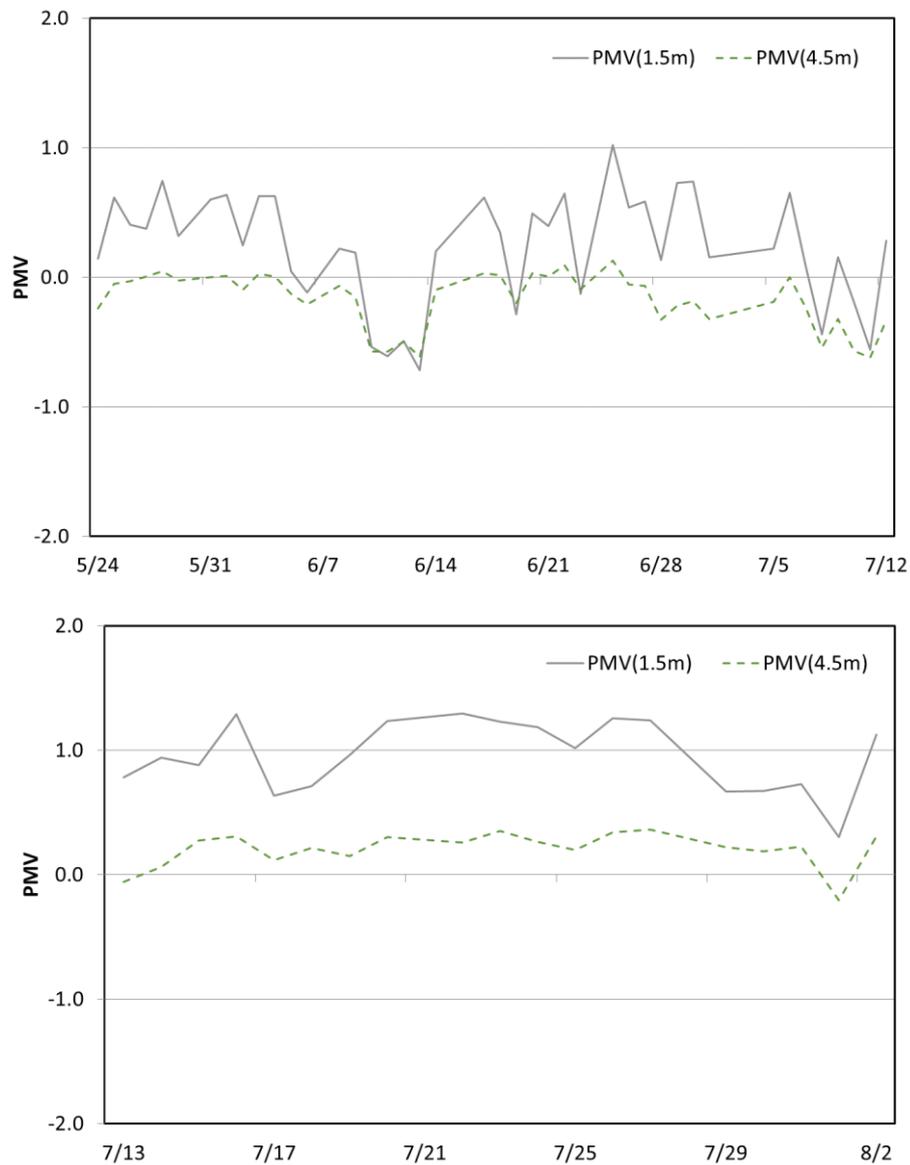


圖 4-4 單層透明玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點最大值除了 6/11、6/19、6/23、7/9 附近 PPD 較低，其餘高達 90%，每日平均 PPD 值 13%到 30%，離窗 4.5m 測點，除了 6/11 附近、6/19、6/23、7/9 附近 PPD 較低，其餘 13%到 23%之間。

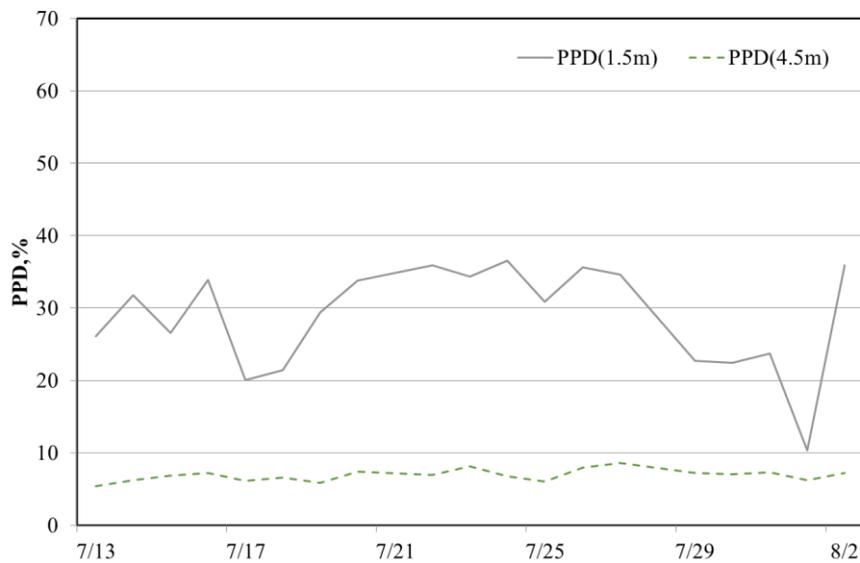
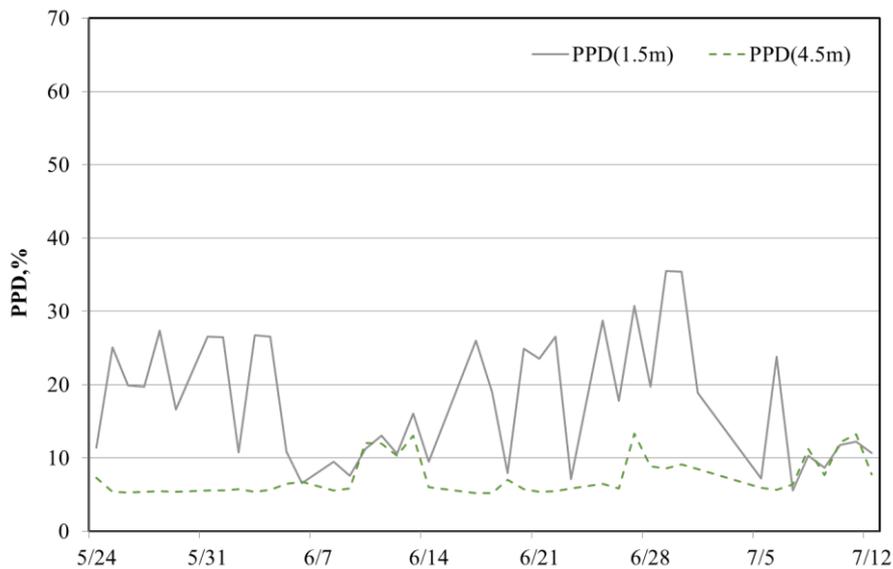
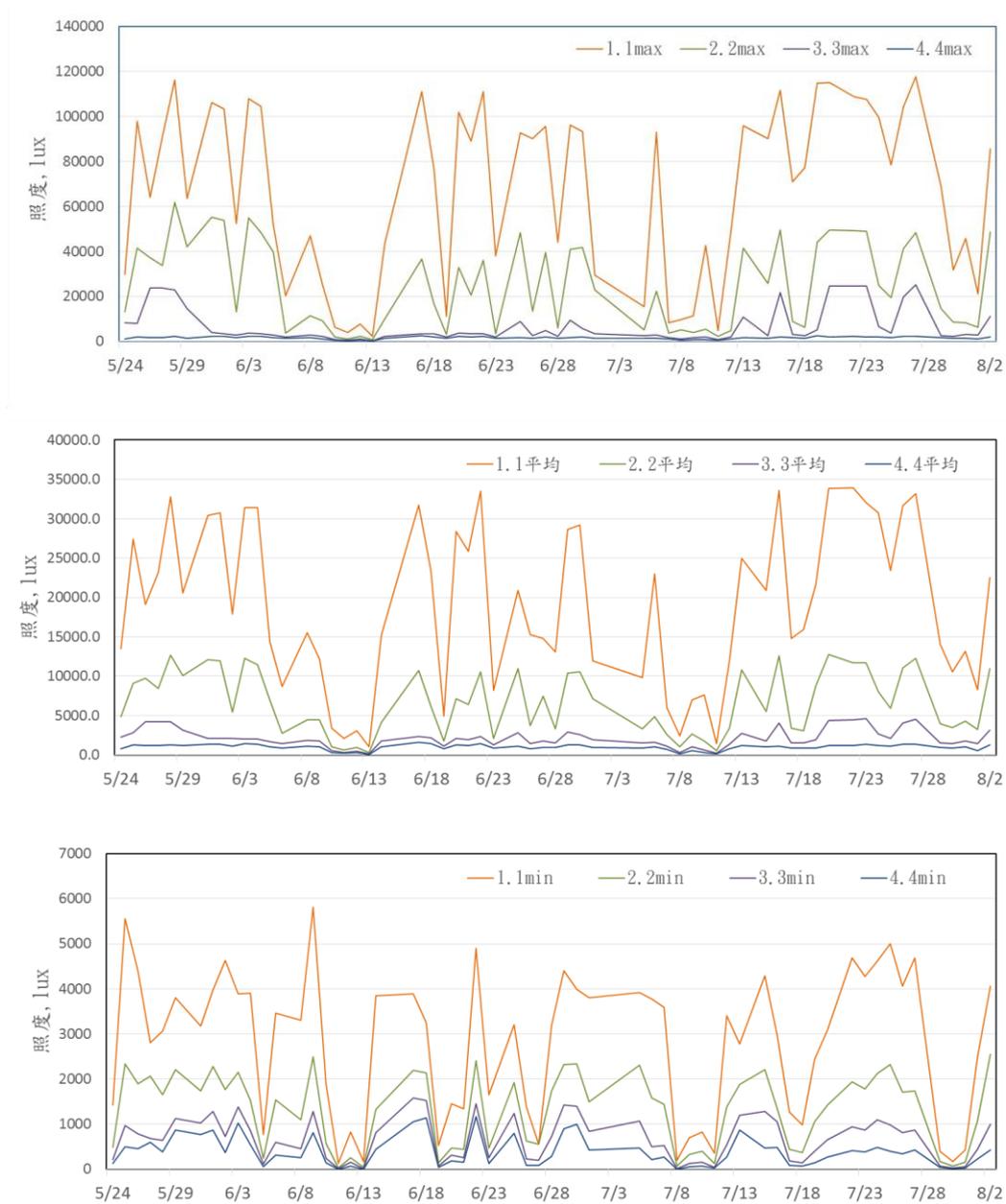


圖 4-4 單層透明玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

圖 4-5 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日上 9 時至下午 5 時最大值、最小值和平均值。



**圖4-5 單層透明玻璃的每日照度變動**

(資料來源:本研究彙整)

### 第三節 單層色板玻璃實驗結果

安裝色板透明玻璃實驗室在 05/24-08/02 期間的每日全和下午的冷氣用電彙整如圖 4-6。在這段期間，於室內兩個測點量測到的每日平均乾球溫度、黑球溫度以及經由換算而得的 PMV 和 PPD 如圖 4-7 所示，在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C。圖 4-8 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日相同時間點的變動範圍和平均值。

5/24-7/12 離窗 1.5m 測點的相對濕度則維持日平均值在 80%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 65%-90%；離窗 4.5m 測點，相較 1.5m 測點，相對溼度值略低，由此可知離窗 1.5m 處濕度比離窗 4.5m 濕度高。

在乾球溫度方面，單層色板玻璃，5/24 到 7/12 期間，每日均溫約在 23.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.0°C。在離窗 1.5m 測點，黑球溫度最大值，除了 6/11、6/19、6/23、7/9 溫度較低，其餘日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 23.0°C；相較於玻璃窗 4.5m 測點，離窗 1.5m 測點的黑球溫度起伏較大。

PMV 熱舒適分為七個等級，分別為熱、暖、微暖、適中、微涼、涼、冷，並且分別用 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3 表示，單層色板玻璃離窗 1.5m 測點 PMV 熱舒適指標，每日 PMV 平均約在 -0.5，表示室內熱舒適為適中；另外離窗 1.5m 與 4.5m 測點，相較之下，離窗 1.5m 測點 PMV 熱舒適指標偏高如圖 4-7 所示。

PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10% 到 15%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 5% 到 10% 之間。

日照部分，實驗屋設置離窗 1.1m、2.2m、3.3m、4.4m、一共 4 處測點，如圖 4-8 所示，離窗測點，每日最大值，約大於 40000lux，離窗 2.2m 約 20000 lux，離窗 3.3m 約 10000 lux，離窗 4.4m 約 1000 lux；由此可知，靠近窗邊，照度較大。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。

在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C，

實驗期間，6/7、6/15、7/3、7/14、7/21、7/28 為收數據日，影響耗能數據，故不採納數值。

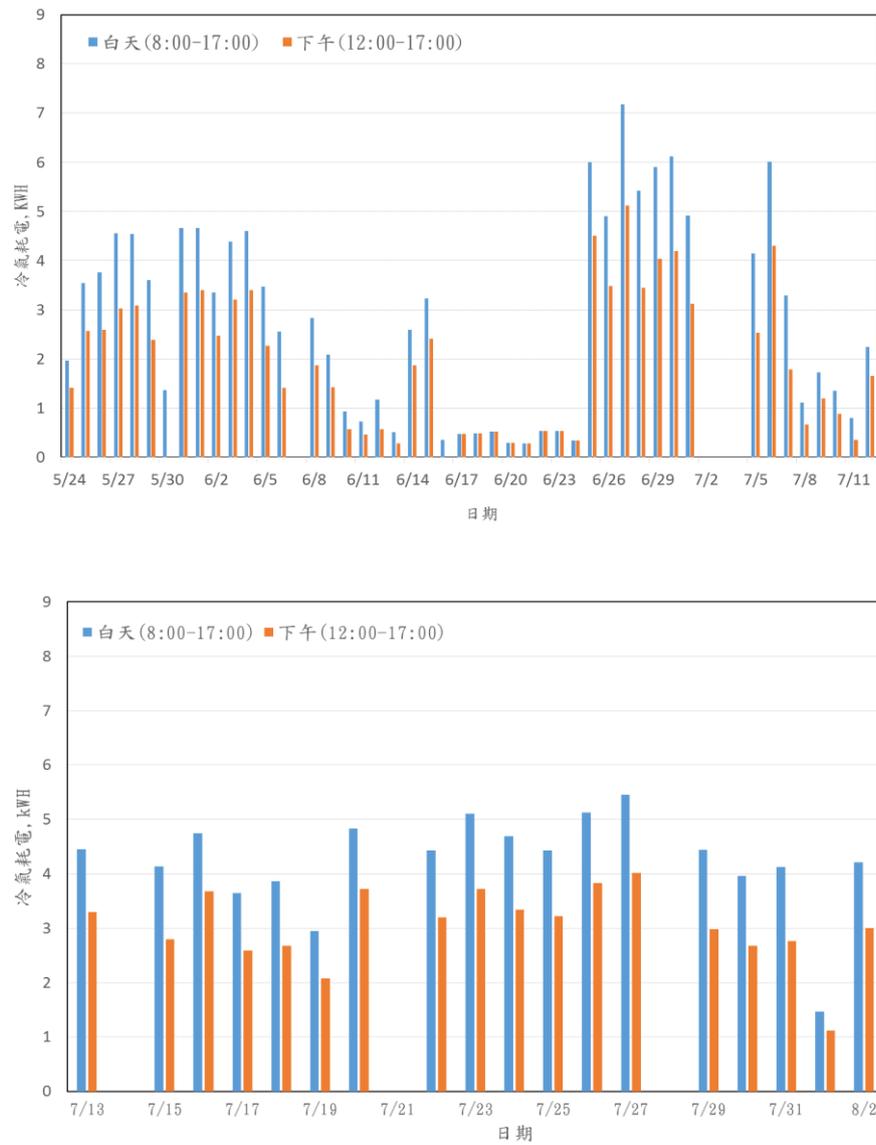


圖4-6 單層色板玻璃的每日冷氣用電

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

5/24-7/12 離窗 1.5m 測點的相對濕度則維持日平均值在 80%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 65%-90%；離窗 4.5m 測點，相較 1.5m 測點，相對溼度值略低，由此可知離窗 1.5m 處濕度比離窗 4.5m 濕度高。

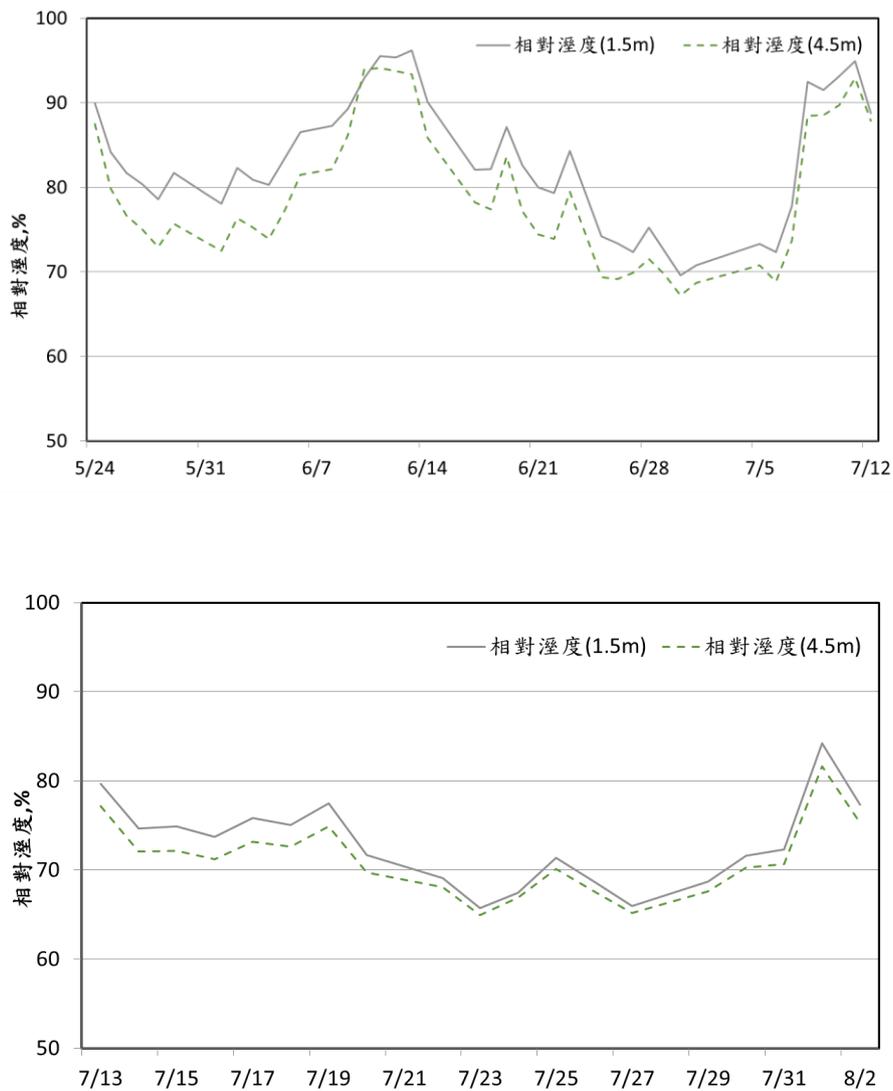
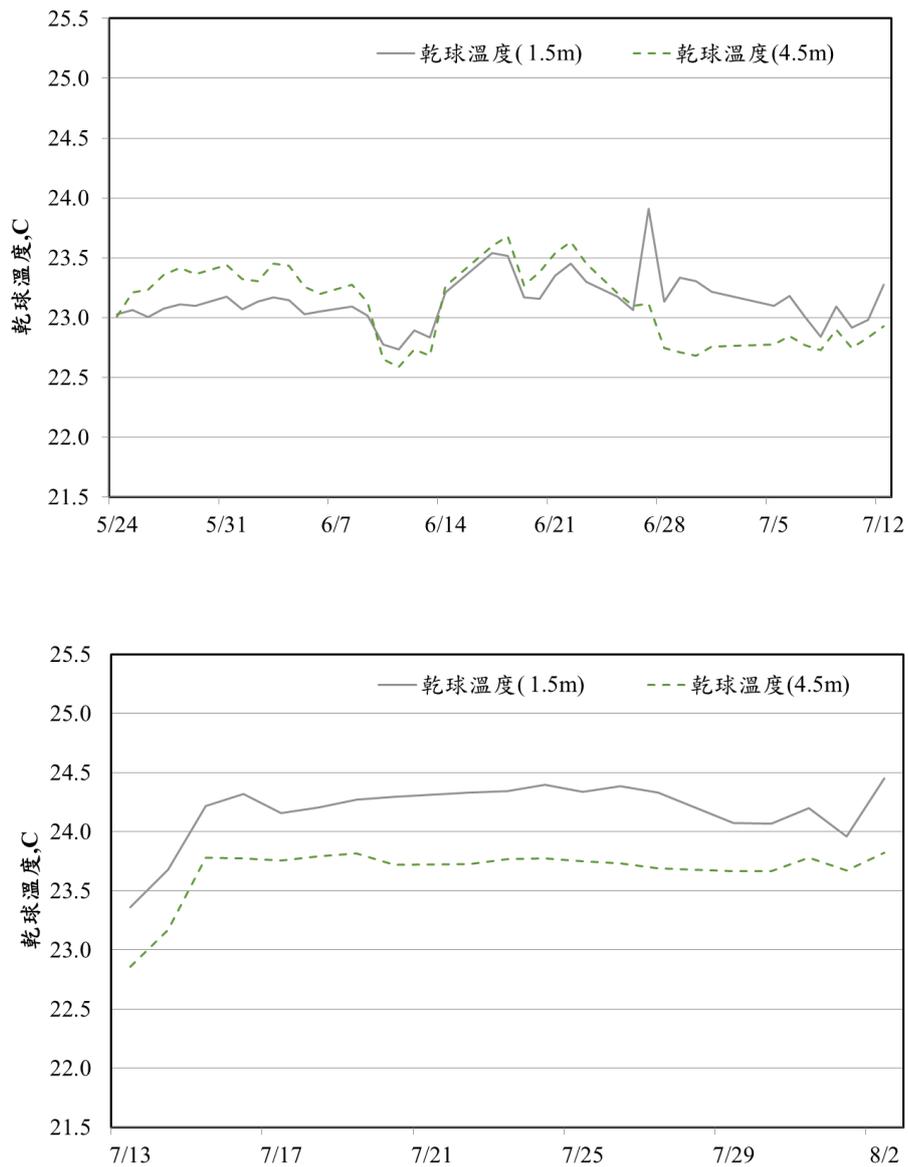


圖4-7 單層色板玻璃的每日熱環境條件

(資料來源:本研究彙整)

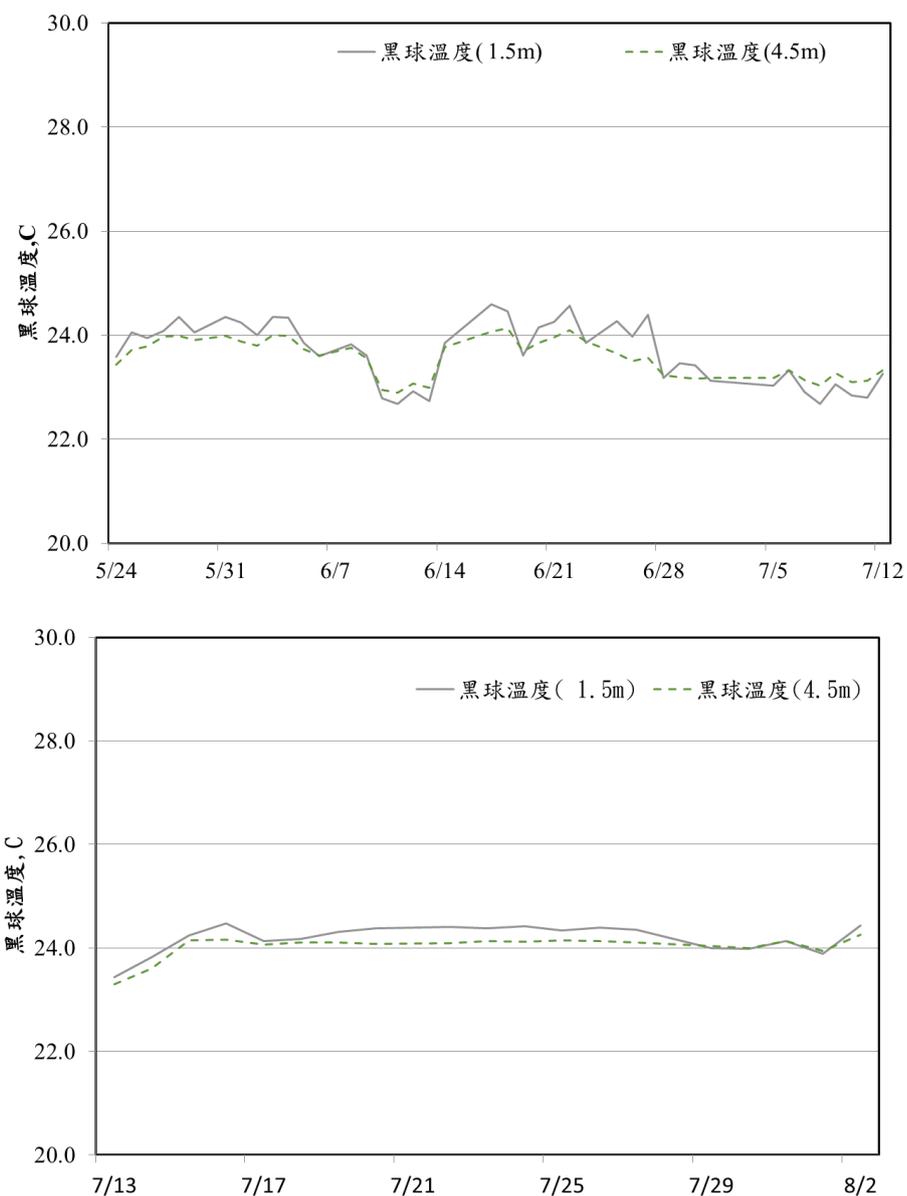
在乾球溫度方面，單層色板玻璃，5/24 到 7/12 期間，每日均溫約在 23.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.0°C。



**圖 4-7 單層色板玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

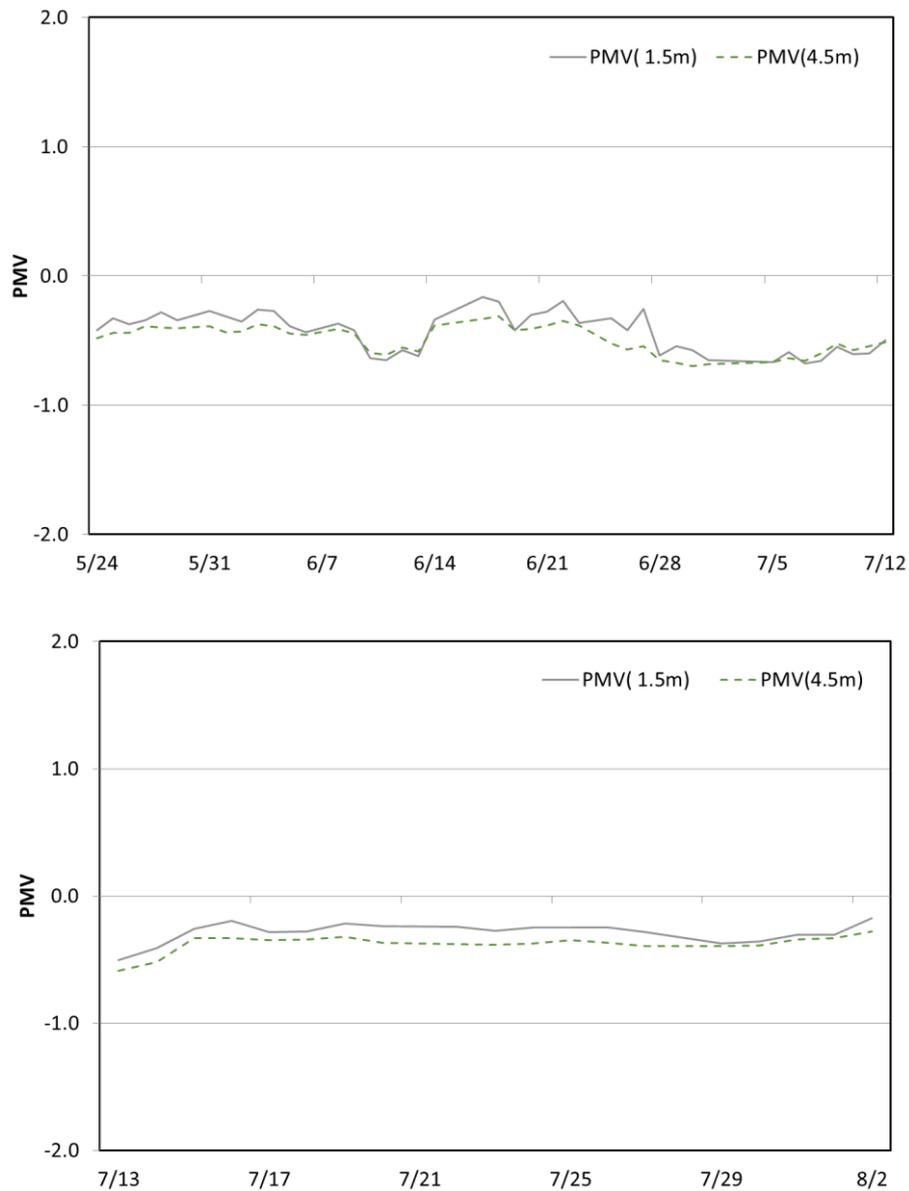
在離窗 1.5m 測點，黑球溫度最大值，除了 6/11、6/19、6/23、7/9 溫度較低，其餘日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 23.0°C；相較於璃窗 4.5m 測點，離窗 1.5m 測點的黑球溫度起伏較大。



**圖 4-7 單層色板玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

PMV 為熱舒適指標，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點除了 6/11 日、6/19、6/23、7/9 日 PMV 較低，每日 PMV 平均約在 -0.5；離窗 1.5m 與 4.5m 測點，相較之下，離窗 1.5m 測點 PMV 熱舒適指標偏高。

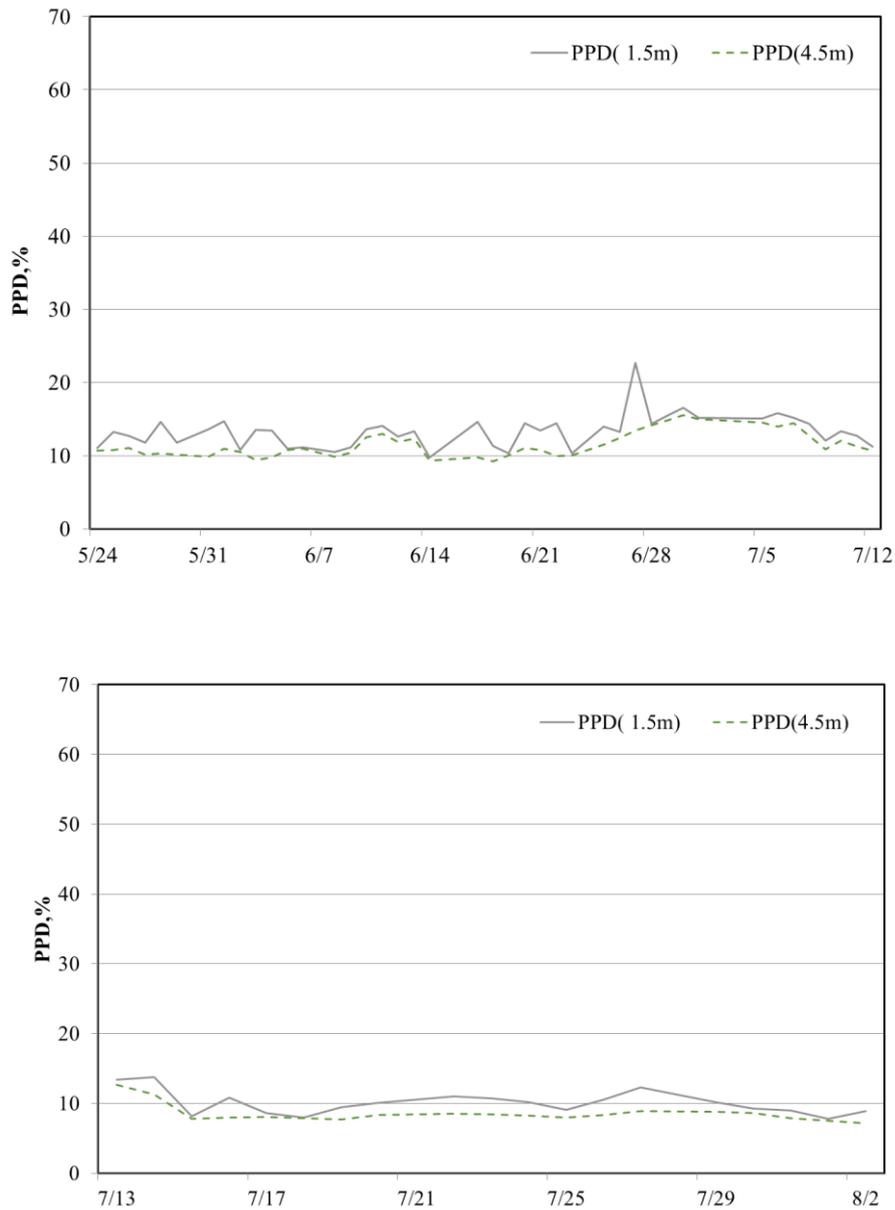


**圖 4-7 單層色板玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

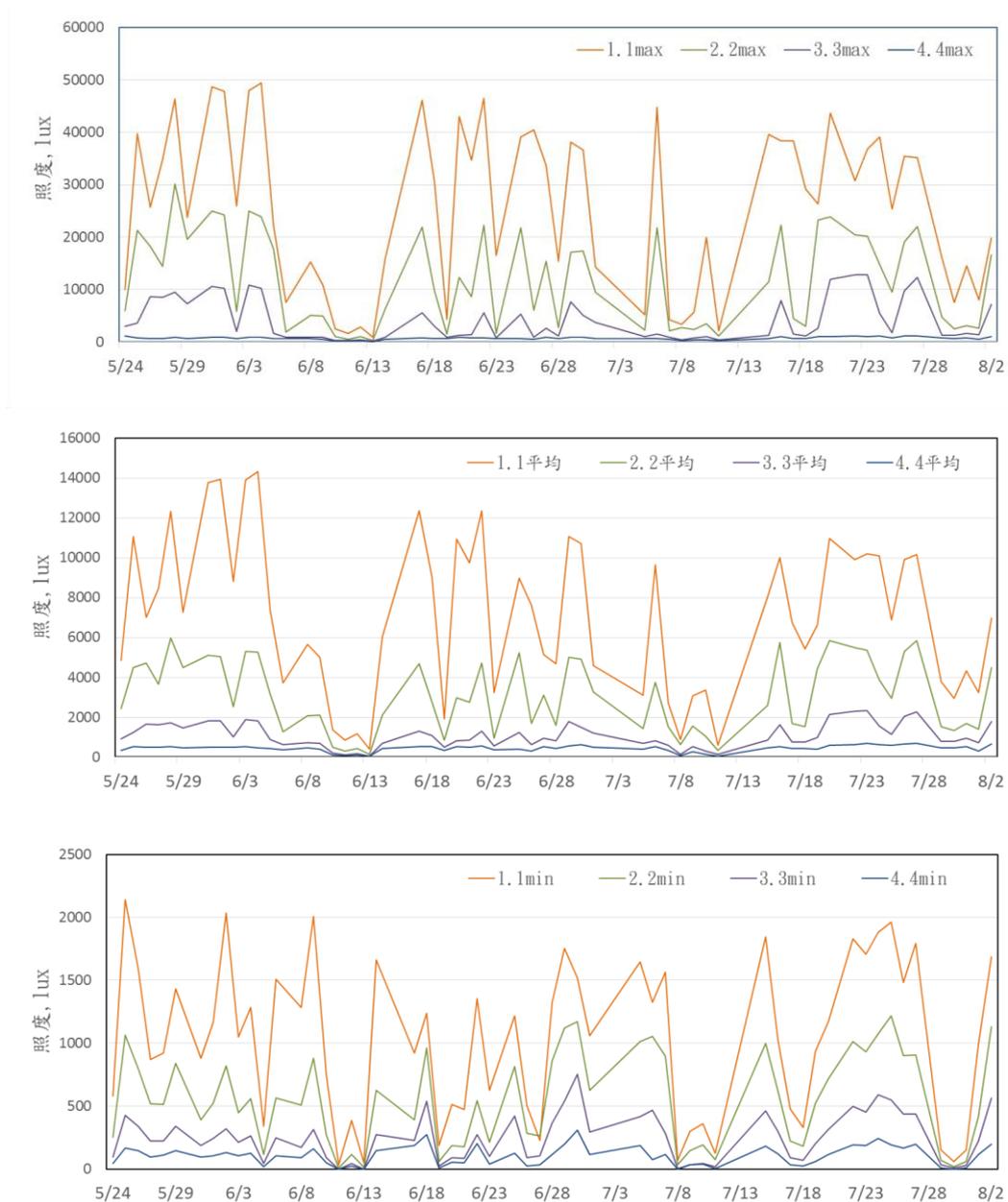
PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10%到 15%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 5%到 10%之間。



**圖 4-7 單層色板玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

圖 4-8 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日上午 9 時至下午 5 時最大值、最小值和平均值。



**圖4-8 單層色板玻璃的每日照度變動**

(資料來源:本研究彙整)

#### 第四節 單層光致變色玻璃實驗結果

安裝單層光致變色玻璃實驗室在 05/24-08/02 期間的每日全和下午的冷氣用電彙整如圖 4-9。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C，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 和 PPD 如圖 4-10 所示。圖 4-11 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日相同時間點的變動範圍和平均值。

5/24-7/12 離窗的相對濕度則維持日平均值在 70%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 60%-75%。在乾球溫度方面，單層色板玻璃，5/24 到 7/12 期間，每日均溫約在 24.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.0°C。在離窗 1.5m 測點，黑球每日平均溫度在 23.0-25°C，；相較於離窗 4.5m 測點，離窗 1.5m 測點的黑球溫度起伏較大。

PMV 為熱舒適指標，分為七個等級，分別為熱、暖、微暖、適中、微涼、涼、冷，並且分別用 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3 表示，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點除了 6/11、6/19、6/23、7/9 PMV 較低，每日 PMV 平均約在 -0.5，表示單層光致變色室內熱舒適偏涼；離窗 1.5m 與 4.5m 測點，相較之下，離窗 1.5m 測點 PMV 熱舒適指標偏高。

PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10%到 20%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 5%到 10%之間。

日照部分，實驗屋設置離窗 1.1m、2.2m、3.3m、4.4m、一共 4 處測點，如圖 4-11 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日上 9 時至下午 5 時最大值、最小值和平均值，離窗 1.1m 測點，最大值約 25000lux，最小值約 400-1000lux，每日平均 4000-7000lux。

在 05/24-06/06 期間的每日全和下午的冷氣用電彙整如圖 4-9。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C，實驗期間，6/7、6/15、7/3、7/14、7/21、7/28 為收數據日，影響耗能數據，故不採納數值。

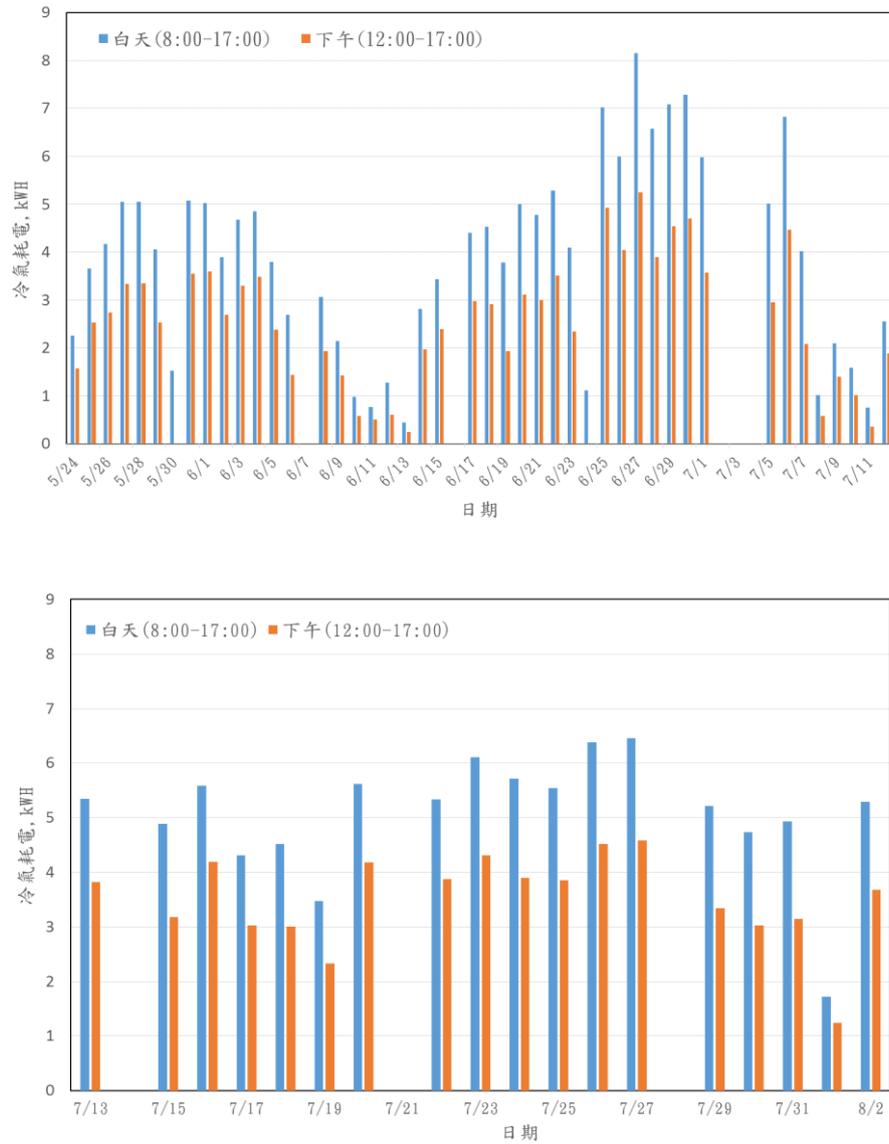


圖4-9 單層光致變色玻璃的每日冷氣用電

(資料來源:本研究彙整)

5/24-7/12 離窗的相對濕度則維持日平均值在 70%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 60%-75%。

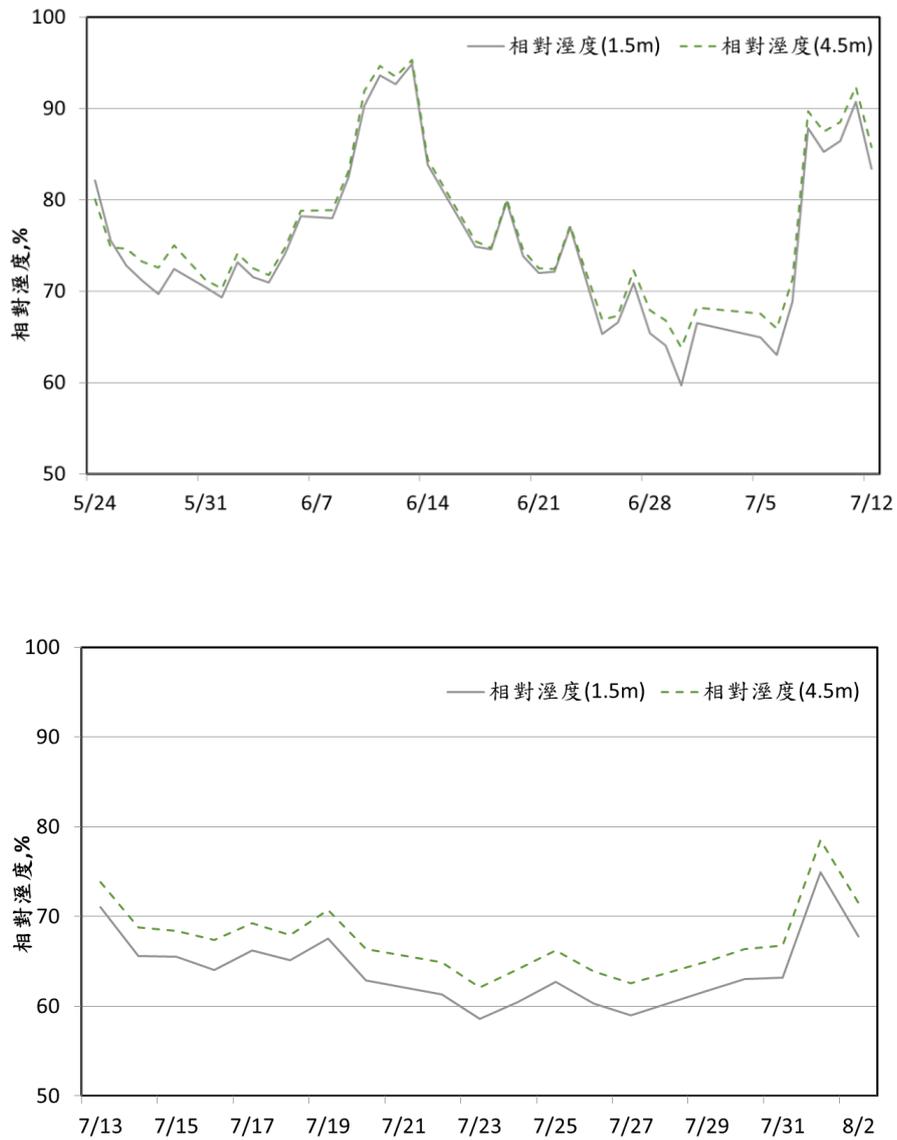


圖4-10 單層光致變色玻璃的每日熱環境條件

(資料來源:本研究彙整)

在乾球溫度方面，單層色板玻璃，5/24 到 7/12 期間，每日均溫約在 24.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.0°C。

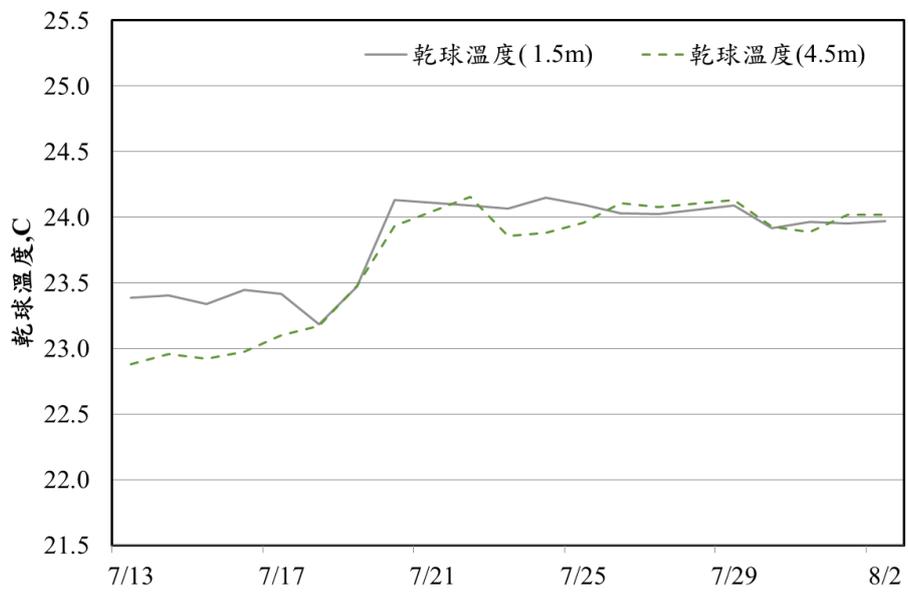
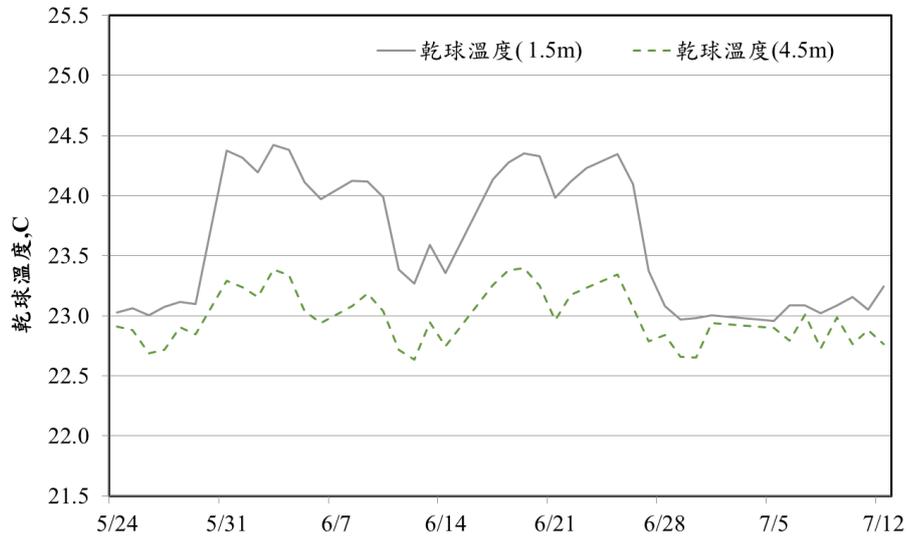


圖 4-10 單層光致變色玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

在離窗 1.5m 測點，黑球每日平均溫度在 23.0-25°C，；相較於離窗 4.5m 測點，離窗 1.5m 測點的黑球溫度起伏較大。

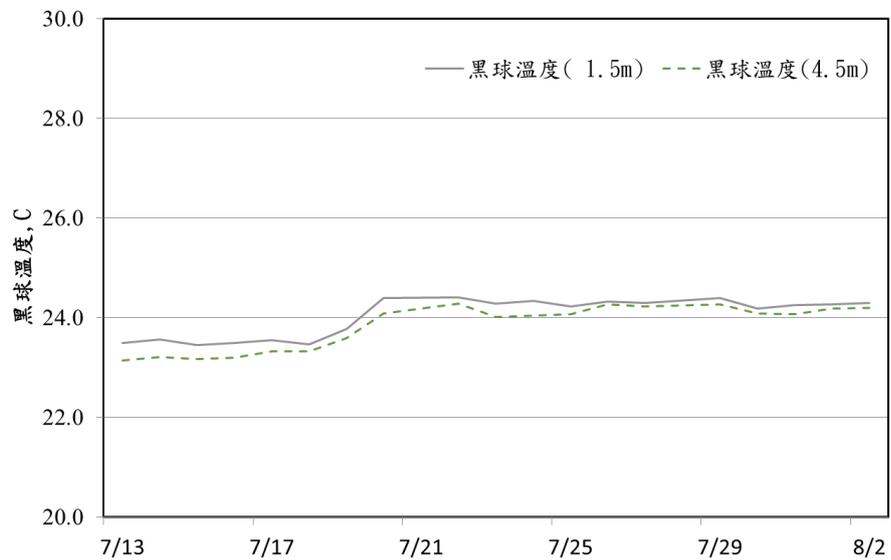
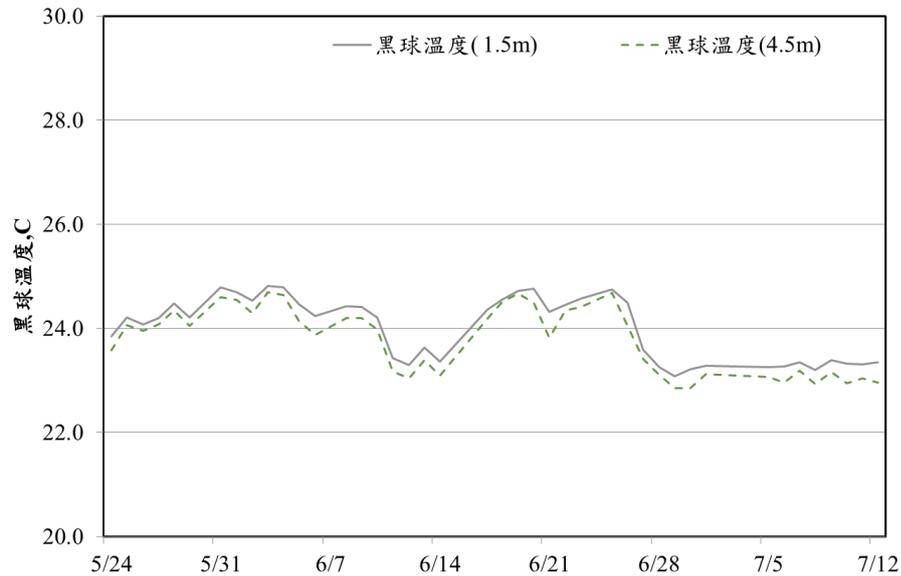


圖 4-10 單層光致變色玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

PMV 為熱舒適指標，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點除了 6/11、6/19、6/23、7/9 PMV 較低，每日 PMV 平均約在 -0.5；離窗 1.5m 與 4.5m 測點，相較之下，離窗 1.5m 測點 PMV 熱舒適指標偏高。

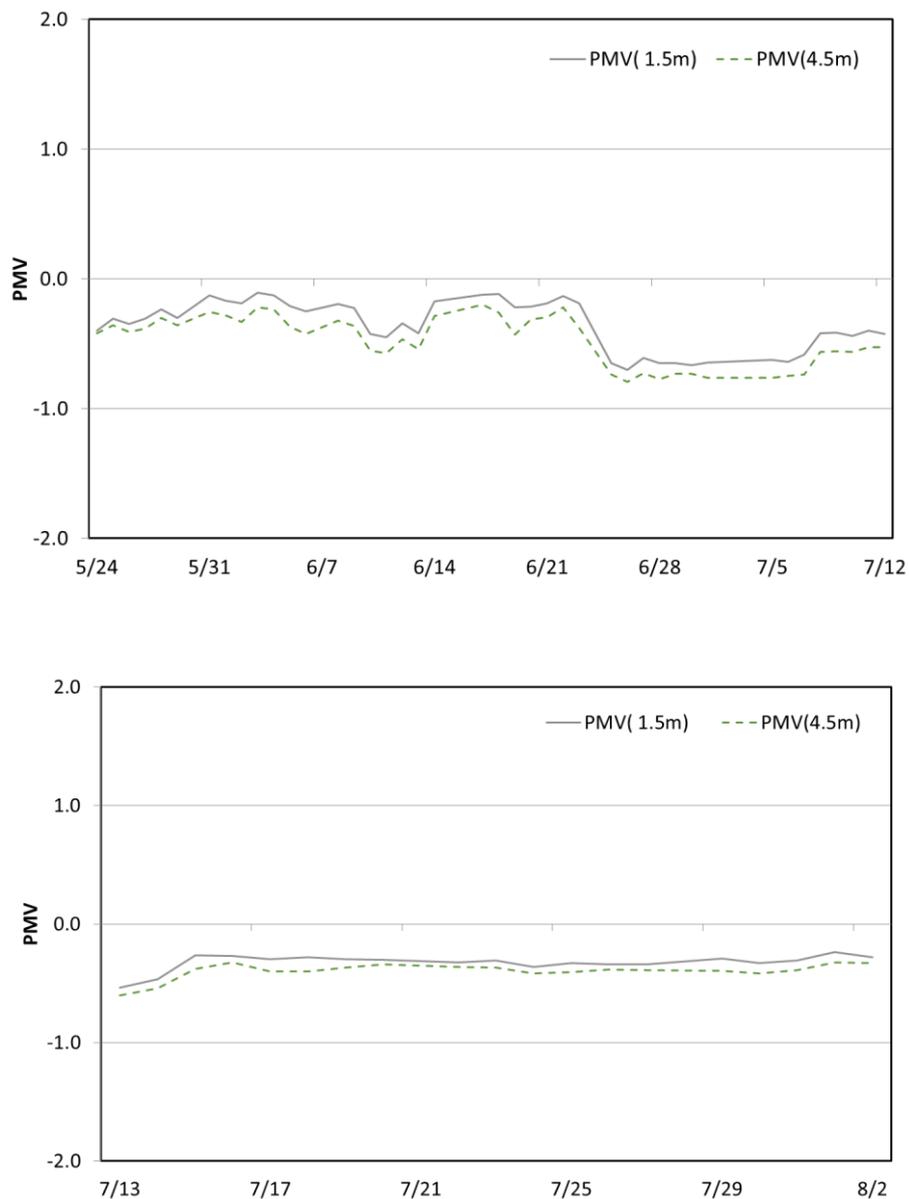


圖 4-10 單層光致變色玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10%到 20%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 5%到 10%之間。

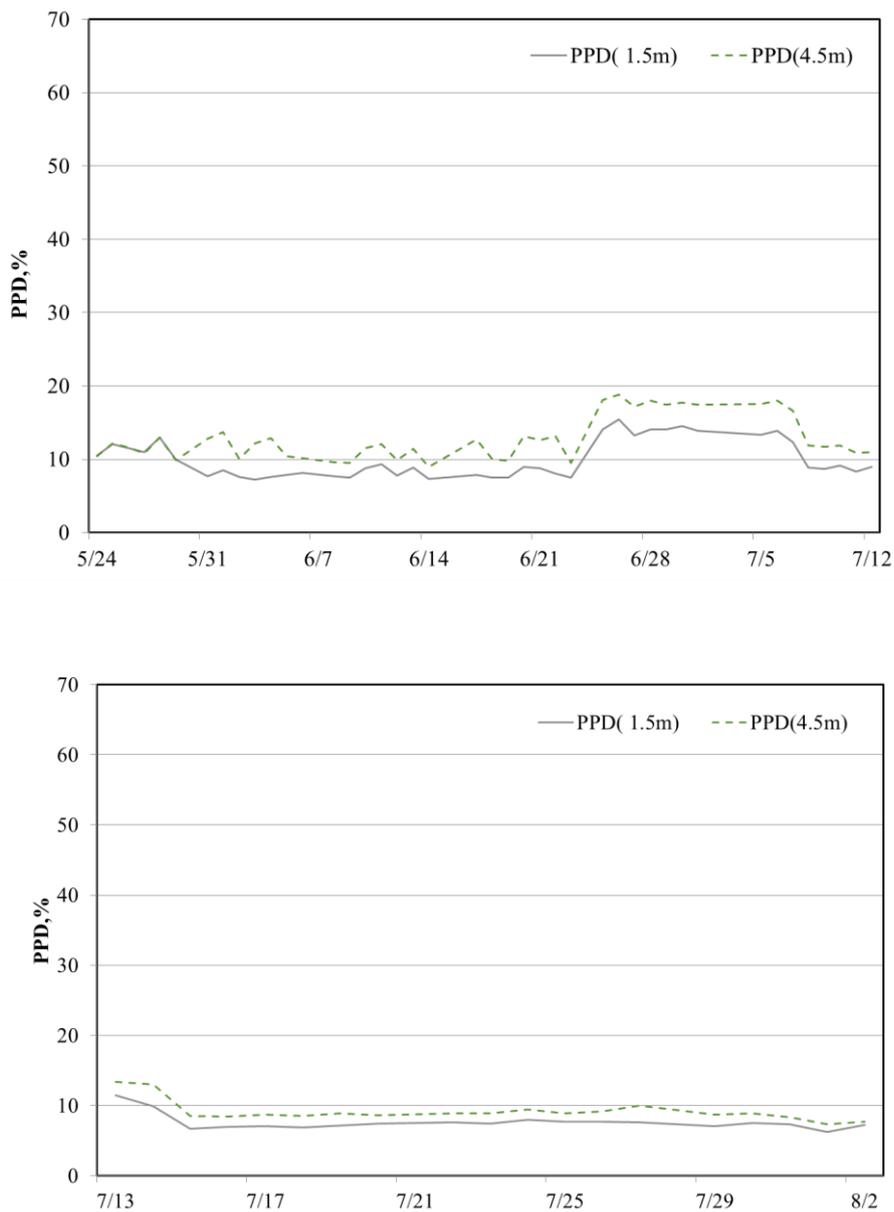
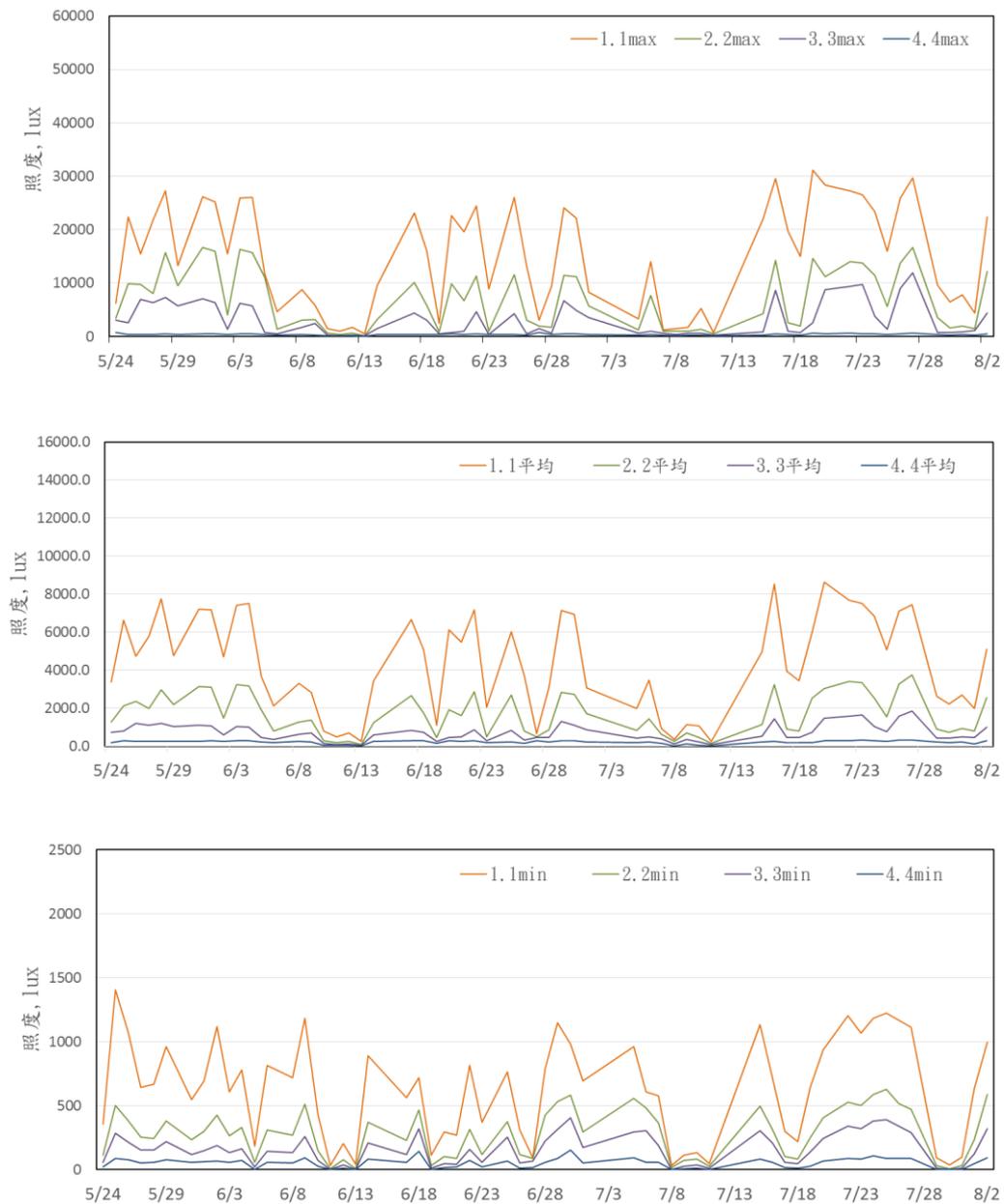


圖 4-10 單層光致變色玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

圖 4-11 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日上午 9 時至下午 5 時最大值、最小值和平均值，離窗 1.1m 測點，最大值約 25000lux，最小值約 400-1000lux，每日平均 4000-7000lux。



**圖4-11 單層光致變色玻璃的每日照度變動**

(資料來源:本研究彙整)

## 第五節 雙層色板玻璃實驗結果

安裝雙層色板玻璃實驗室在 05/24-08/02 期間的每日全和下午的冷氣用電彙整如圖 4-12。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C，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 和 PPD 如圖 4-13 所示。圖 4-14 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日相同時間點的變動範圍和平均值。

5/24-7/12 離窗的相對濕度則維持日平均值在 70%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 60%-75%。兩側點相對溼度值相當相近。在乾球溫度方面，雙層色板玻璃，5/24 到 7/12 期間，每日均溫約在 23.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.0°C。在離窗 1.5m 測點，黑球溫度最大值，除了 6/11、6/19、6/23、7/9 溫度較低，其餘日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 23.0°C；相較於玻璃窗 4.5m 測點，離窗 1.5m 測點的黑球溫度較大。

PMV 熱舒適分為七個等級，分別為熱、暖、微暖、適中、微涼、涼、冷，並且分別用 3，2，1，0，-1，-2，-3 表示，PMV 熱舒適指標，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點每日 PMV 平均約在 -0.5 到 -0.8，雙層色板玻璃室內熱舒適偏微涼；離窗 1.5m 與 4.5m 測點，相較之下，離窗 1.5m 測點 PMV 熱舒適指標偏高。

PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10%到 20%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 10%。

日照部分，實驗屋設置離窗 1.1m、2.2m、3.3m、4.4m、一共 4 處測點，如圖 4-14 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日上 9 時至下午 5 時最大值、最小值和平均值，離窗 1.1m 測點，最大值約 12000lux，最小值約 300-600lux，每日平均 2000-4000lux。

在 05/24-06/06 期間的每日全和下午的冷氣用電彙整如圖 4-9。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C。

實驗期間，6/7、6/15、7/3、7/14、7/21、7/28 為收數據日，影響耗能數據，故不採納數值。

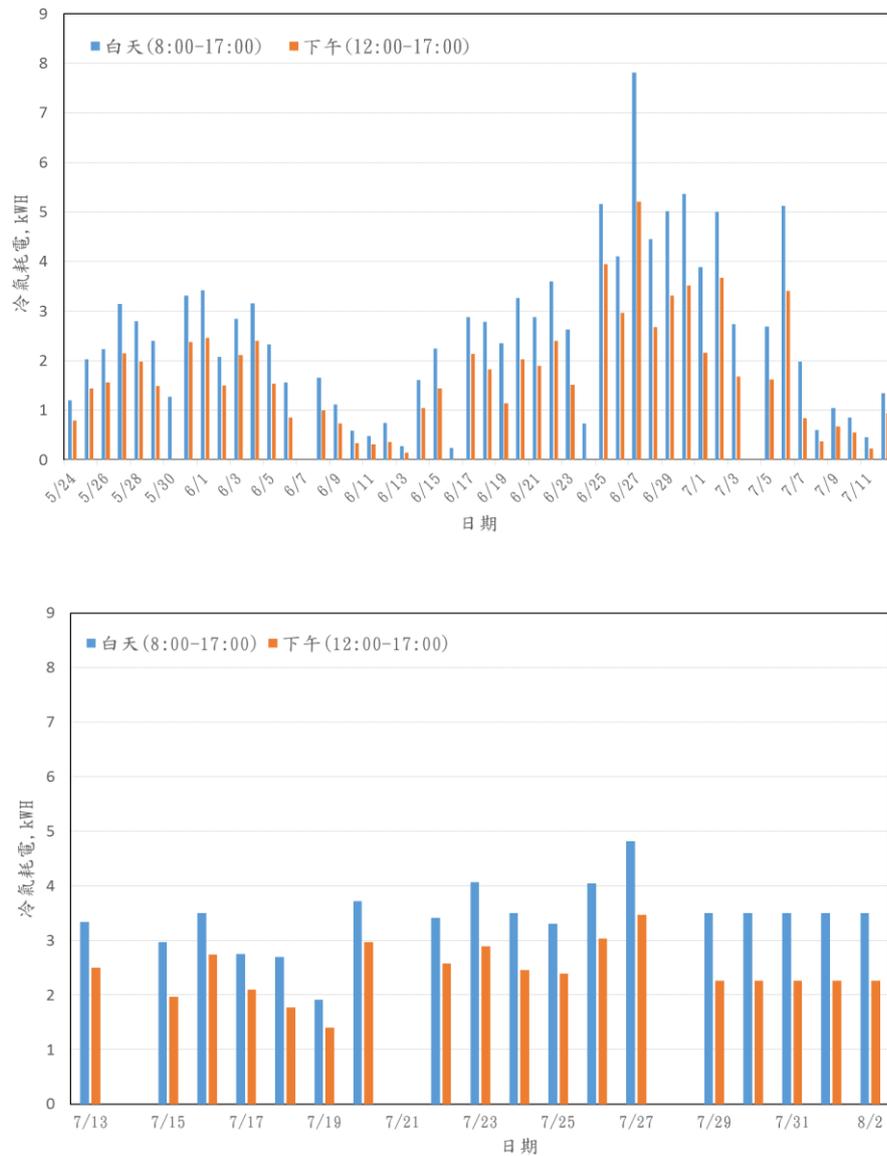
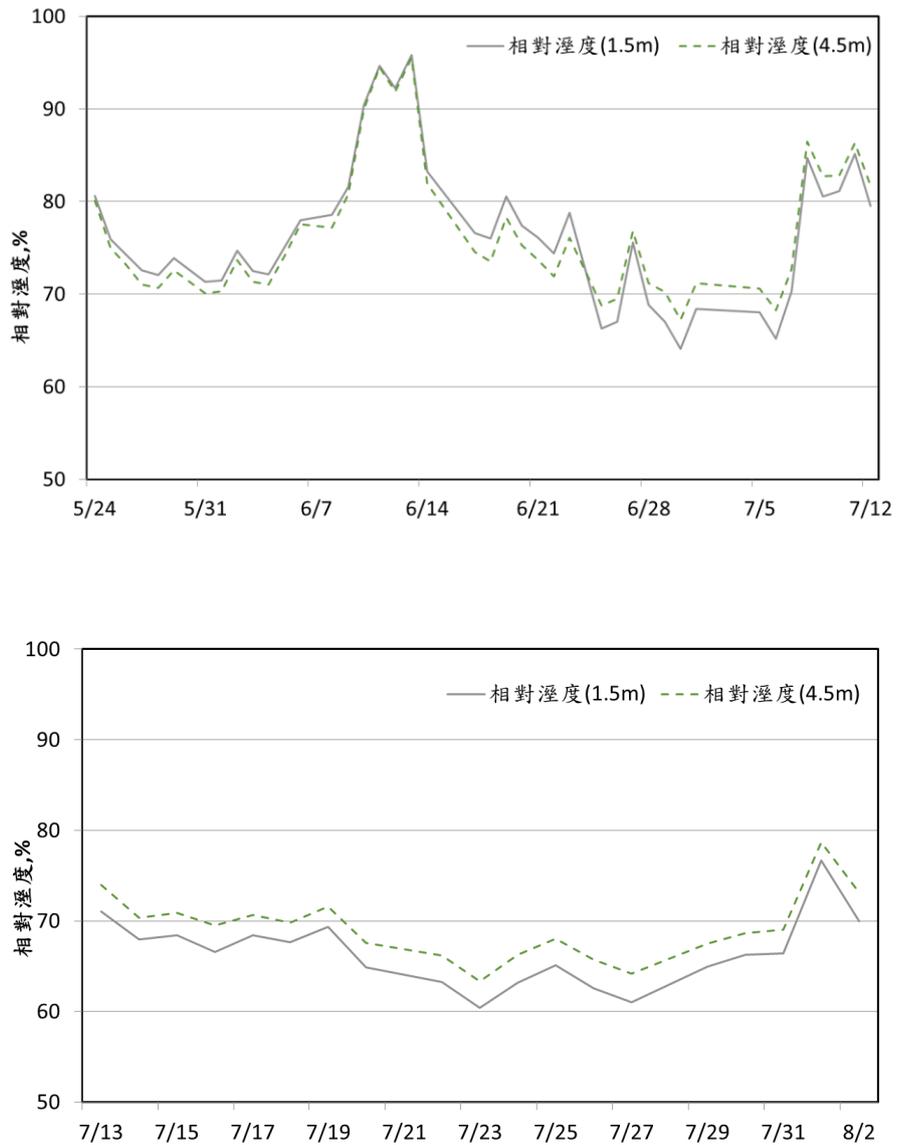


圖4-12 雙層色板玻璃的每日冷氣用電

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

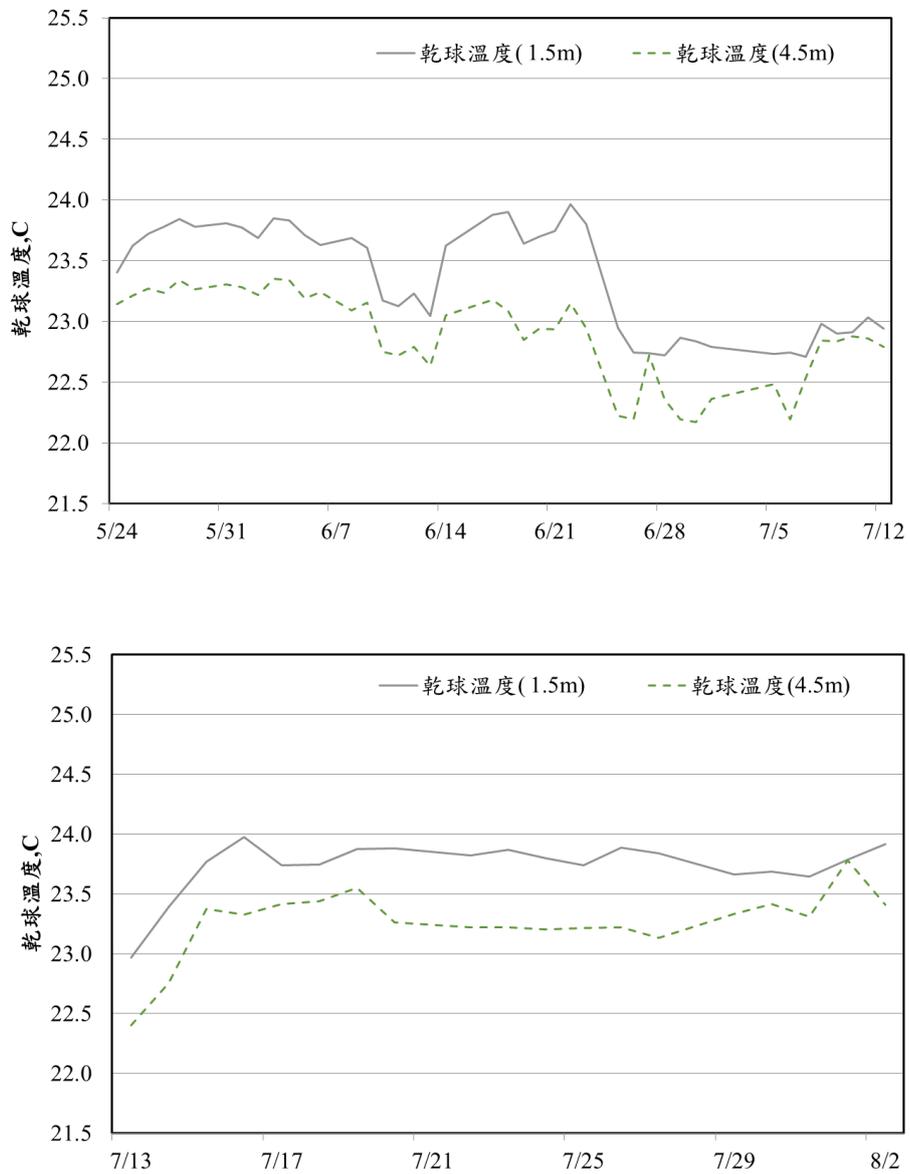
5/24-7/12 離窗的相對濕度則維持日平均值在 70%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 60%-75%。兩側點相對溼度值相當相近。



**圖4-13 雙層色板玻璃的每日熱環境條件**

(資料來源:本研究彙整)

在乾球溫度方面，雙層色板玻璃，5/24 到 7/12 期間，每日均溫約在 23.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.0°C。

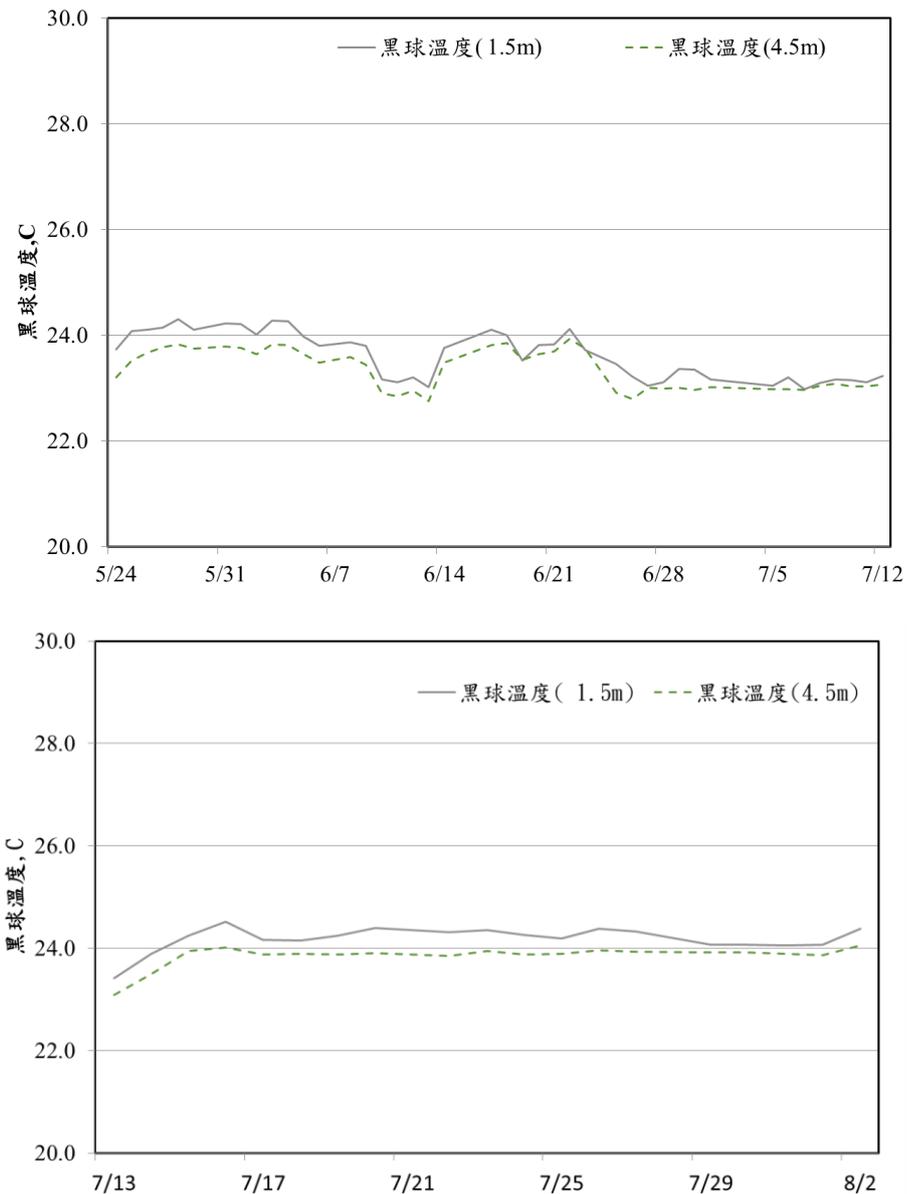


**圖 4-13 雙層色板玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

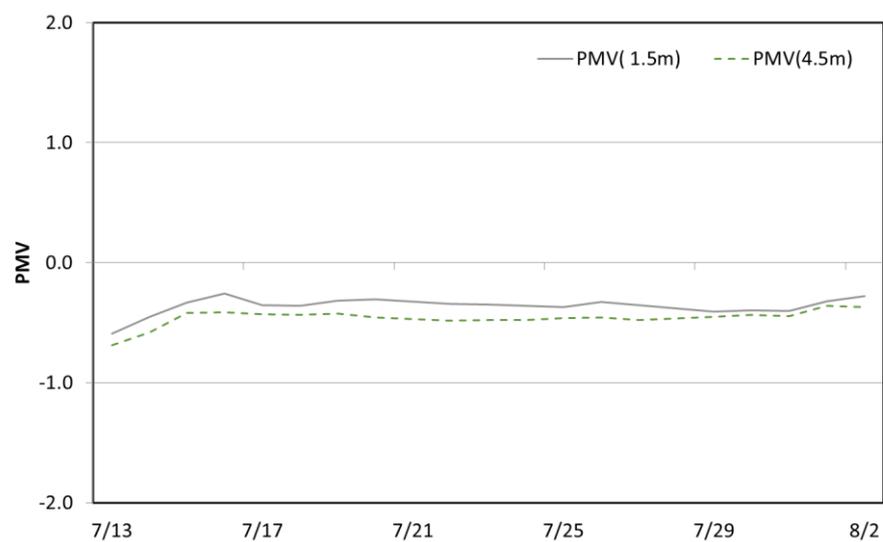
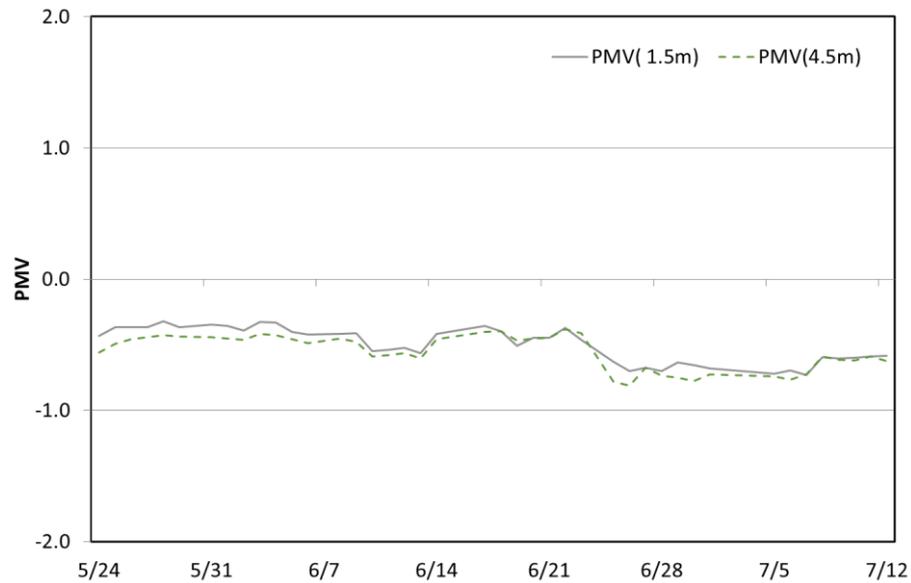
在離窗 1.5m 測點，黑球溫度最大值，除了 6/11、6/19、6/23、7/9 溫度較低，其餘日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 23.0°C；相較於璃窗 4.5m 測點，離窗 1.5m 測點的黑球溫度較大。



**圖 4-13 雙層色板玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

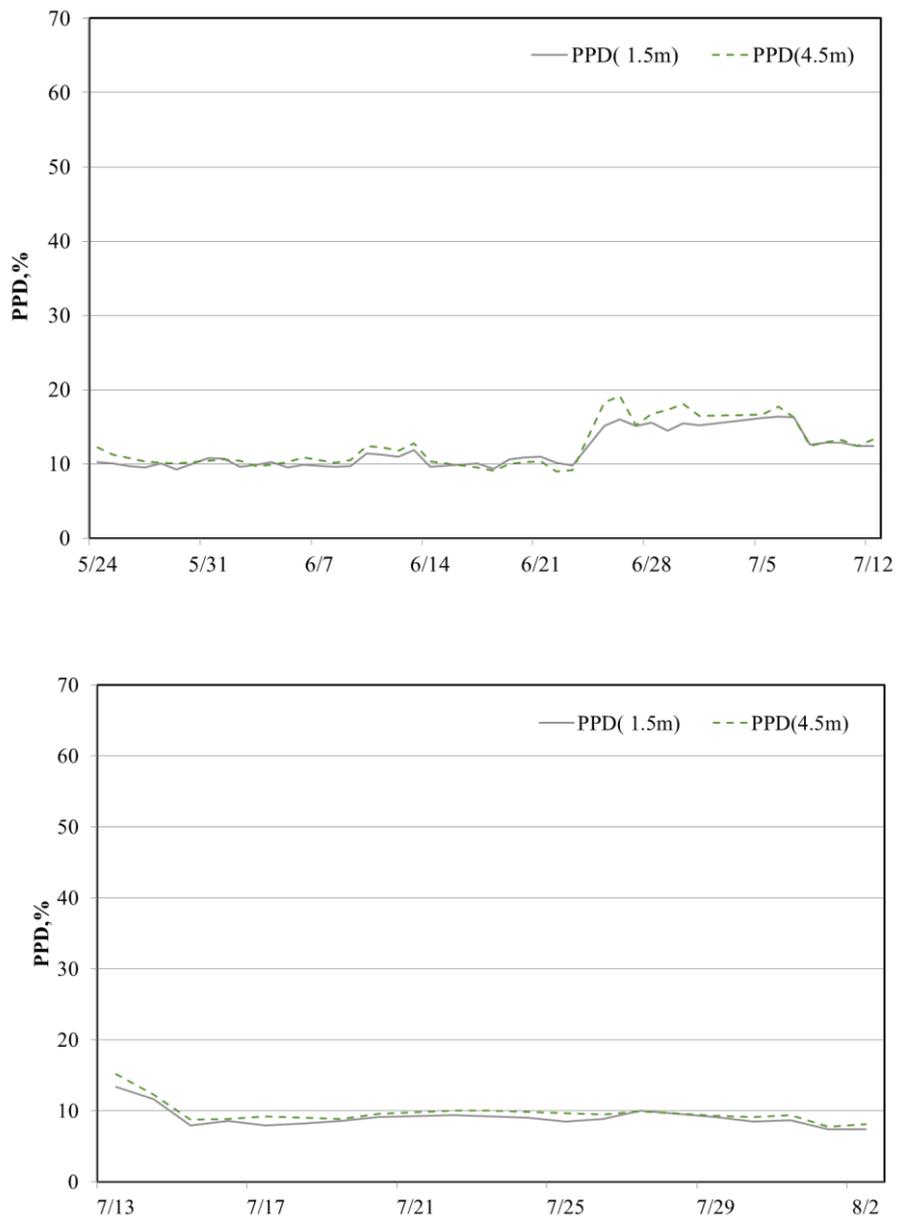
PMV 為熱舒適指標，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點每日 PMV 平均約在-0.5；離窗 1.5m 與 4.5m 測點，相較之下，離窗 1.5m 測點 PMV 熱舒適指標偏高。



**圖 4-13 雙層色板玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10%到 20%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 10%。



**圖 4-13 雙層色板玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

圖 4-14 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日上 9 時至下午 5 時最大值、最小值和平均值，離窗 1.1m 測點，最大值約 12000lux，最小值約 300-600lux，每日平均 2000-4000lux。



**圖4-14 雙層色板玻璃的每日照度變動**

(資料來源:本研究彙整)

## 第六節 雙層反射玻璃實驗結果

安裝雙層反射玻璃實驗室在 05/24-08/02 期間的每日全和下午的冷氣用電彙整如圖 4-15。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C，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 和 PPD 如圖 4-16 所示。圖 4-17 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日相同時間點的變動範圍和平均值。

5/24-7/12 離窗的相對濕度則維持日平均值在 70%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 60%-75%。在乾球溫度方面，雙層微反射玻璃，5/24 到 7/12 期間，離窗 1.5m 測點每日均溫約在 24.0°C，離窗 4.5m 測點，每日平均乾球溫度在 23.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.5°C，離窗 4.5m 測點，每日平均乾球溫度在 23.0°C。在離窗 1.5m 測點，黑球溫度最大值，除了 6/11、6/19、6/23、7/9 溫度較低，其餘日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 23.0°C。兩側點相比之下，離窗 1.5m 測點之溫度偏高。

PMV 熱舒適分為七個等級，分別為熱、暖、微暖、適中、微涼、涼、冷，並且分別用 3，2，1，0，-1，-2，-3 表示，PMV 為熱舒適指標，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日 PMV 平均約在 -0.5，雙層反射玻璃室內熱舒適適中。PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10% 到 15%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 5% 到 10% 之間。

日照部分，實驗屋設置離窗 1.1m、2.2m、3.3m、4.4m、一共 4 處測點，如圖 4-17 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日上 9 時至下午 5 時最大值、最小值和平均值，離窗 1.1m 測點，最大值約 20000lux，最小值約 1000lux，每日平均 8000lux。在 05/24-06/06 期間的每日全和下午的冷氣用電彙整如圖 4-9。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C，實驗期間，

6/7-6/15 數位電表異常，7/3、7/14、7/21、7/28 為收數據日，影響耗能數據，故不採納數值。

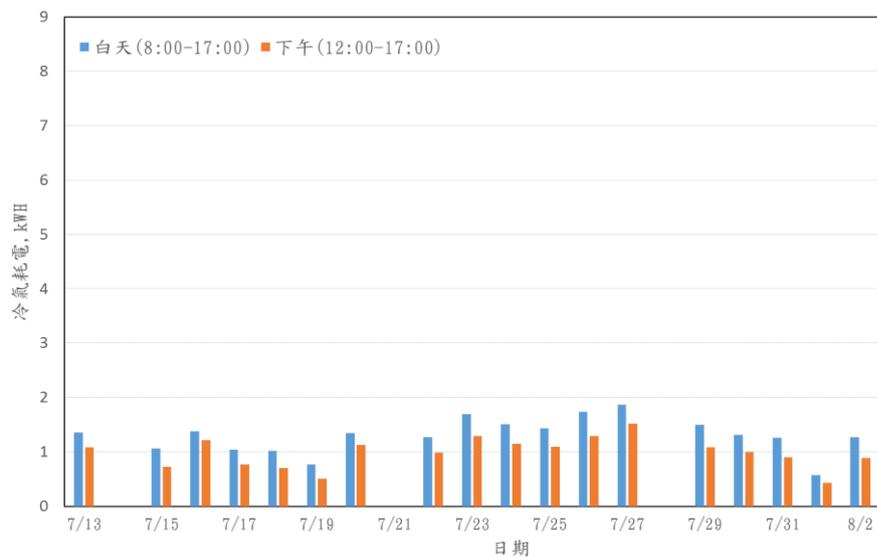
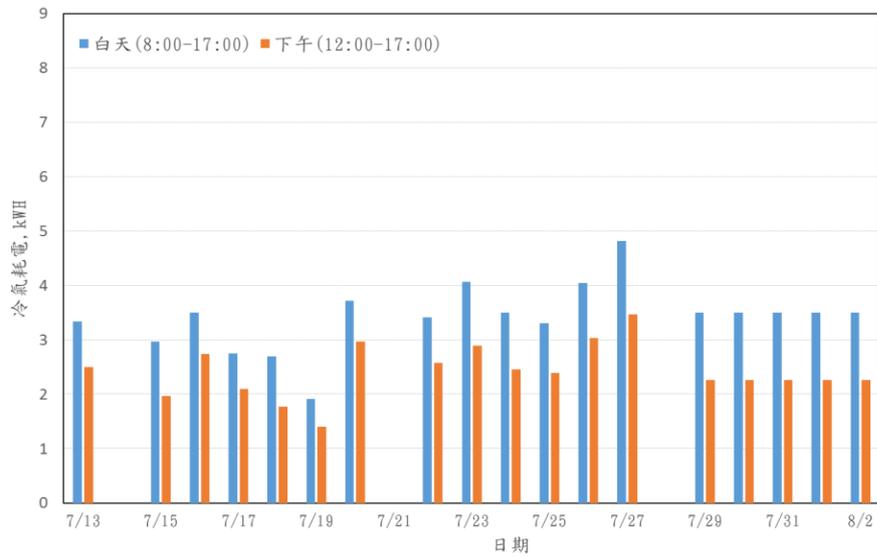


圖4-15 雙層微反射玻璃的每日冷氣用電

(資料來源:本研究彙整)

5/24-7/12 離窗的相對濕度則維持日平均值在 70%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 60%-75%。

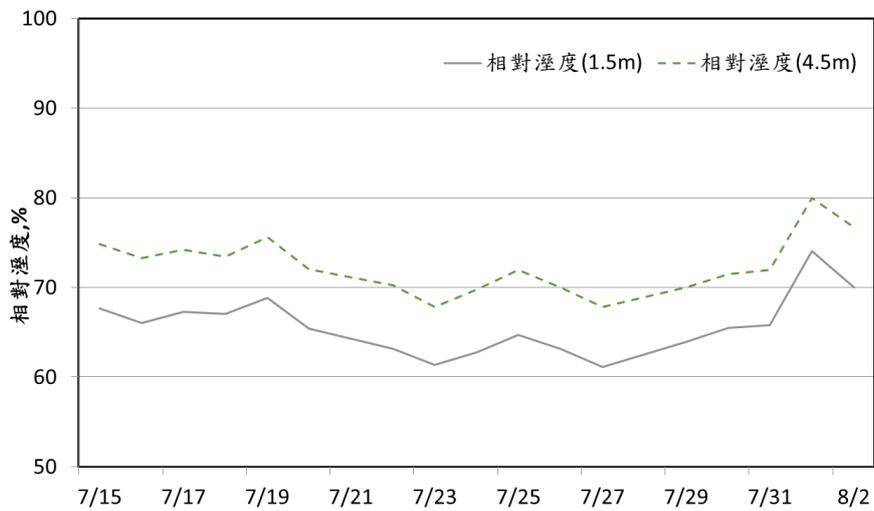
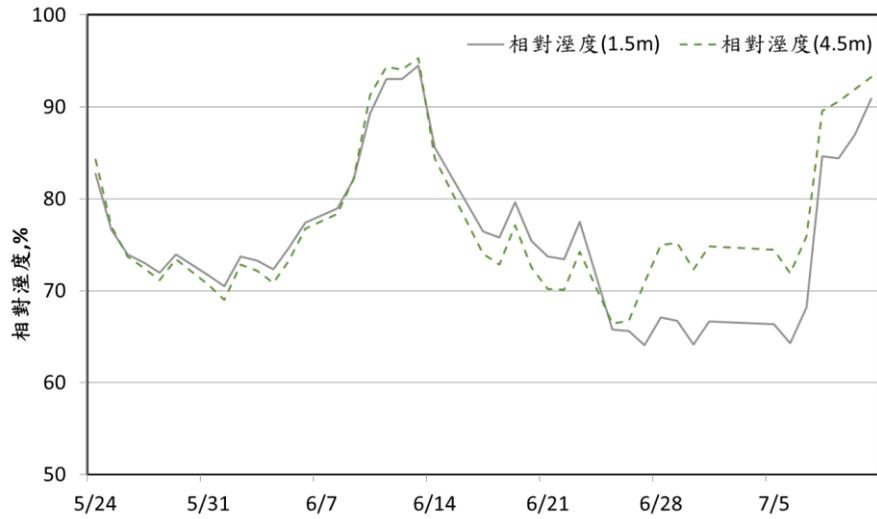
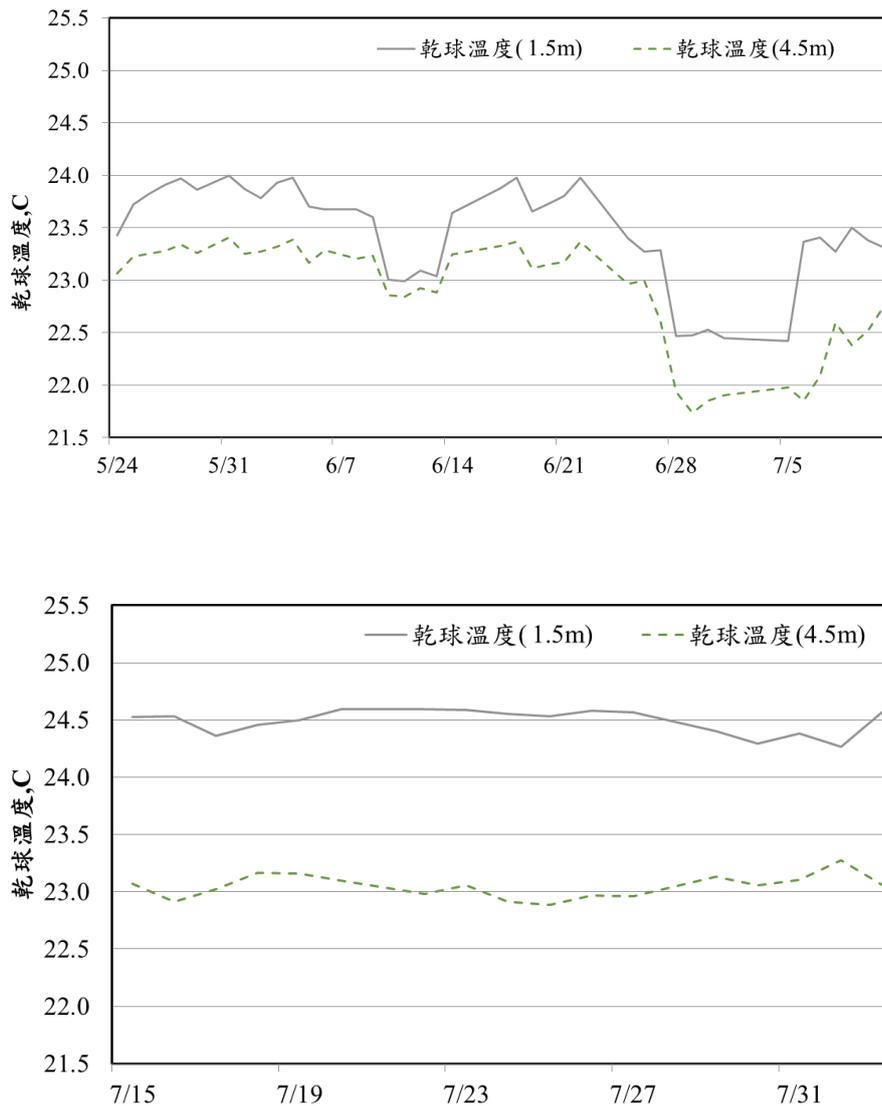


圖4-16 雙層微反射玻璃的每日熱環境條件

(資料來源:本研究彙整)

在乾球溫度方面，雙層微反射玻璃，5/24 到 7/12 期間，離窗 1.5m 測點每日均溫約在 24.0°C，離窗 4.5m 測點，每日平均乾球溫度在 23.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.5°C，離窗 4.5m 測點，每日平均乾球溫度在 23.0°C。兩側點相比之下，離窗 1.5m 測點之乾球溫度偏高。

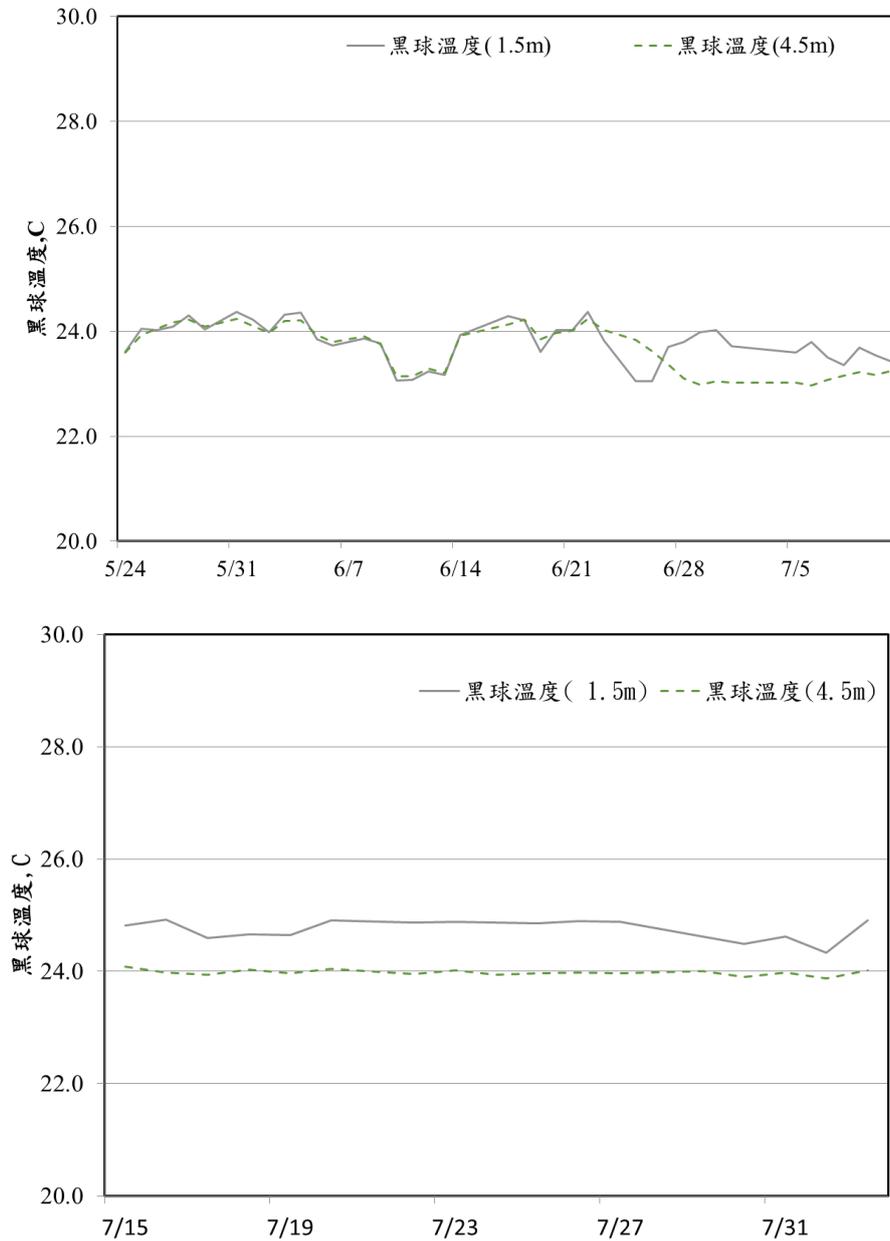


**圖 4-16 雙層微反射玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

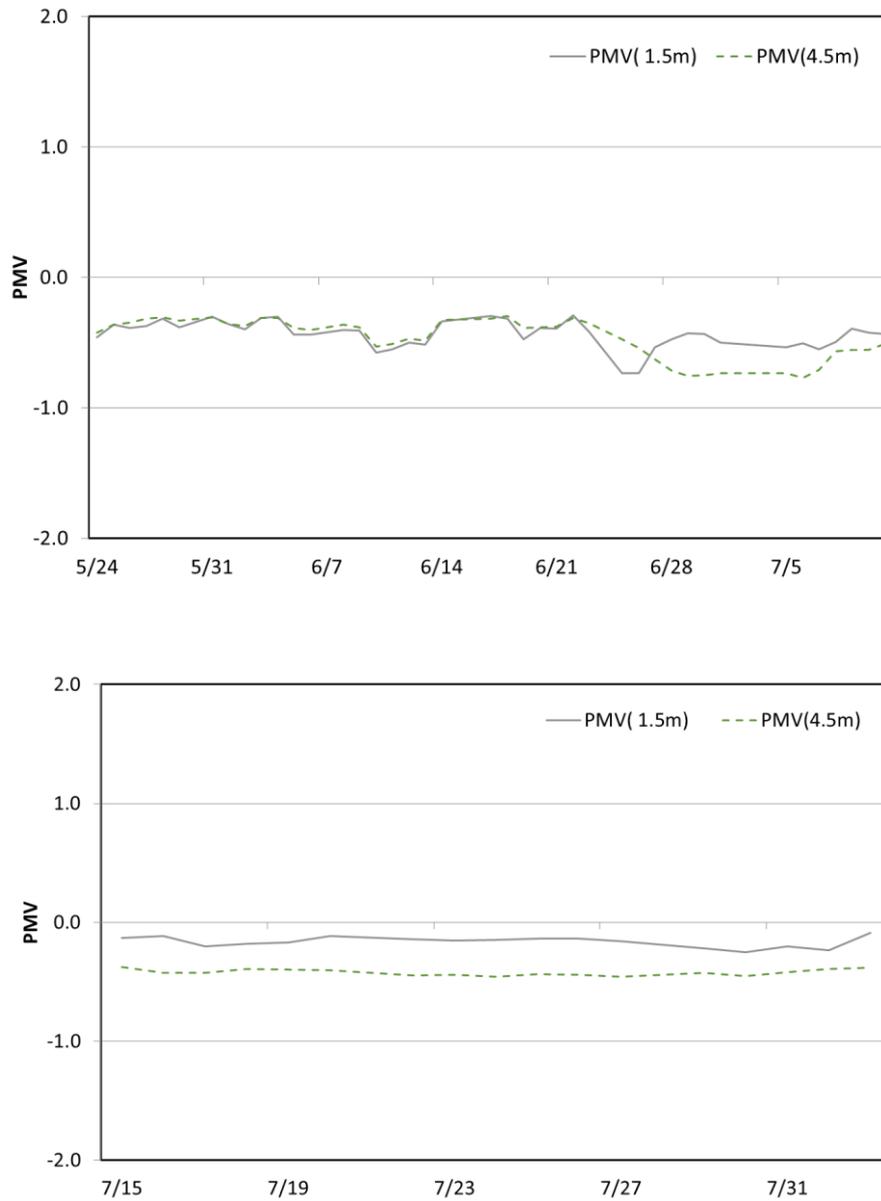
在離窗 1.5m 測點，黑球溫度最大值，除了 6/11、6/19、6/23、7/9 溫度較低，其餘日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 23.0°C。



**圖 4-16 雙層微反射玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

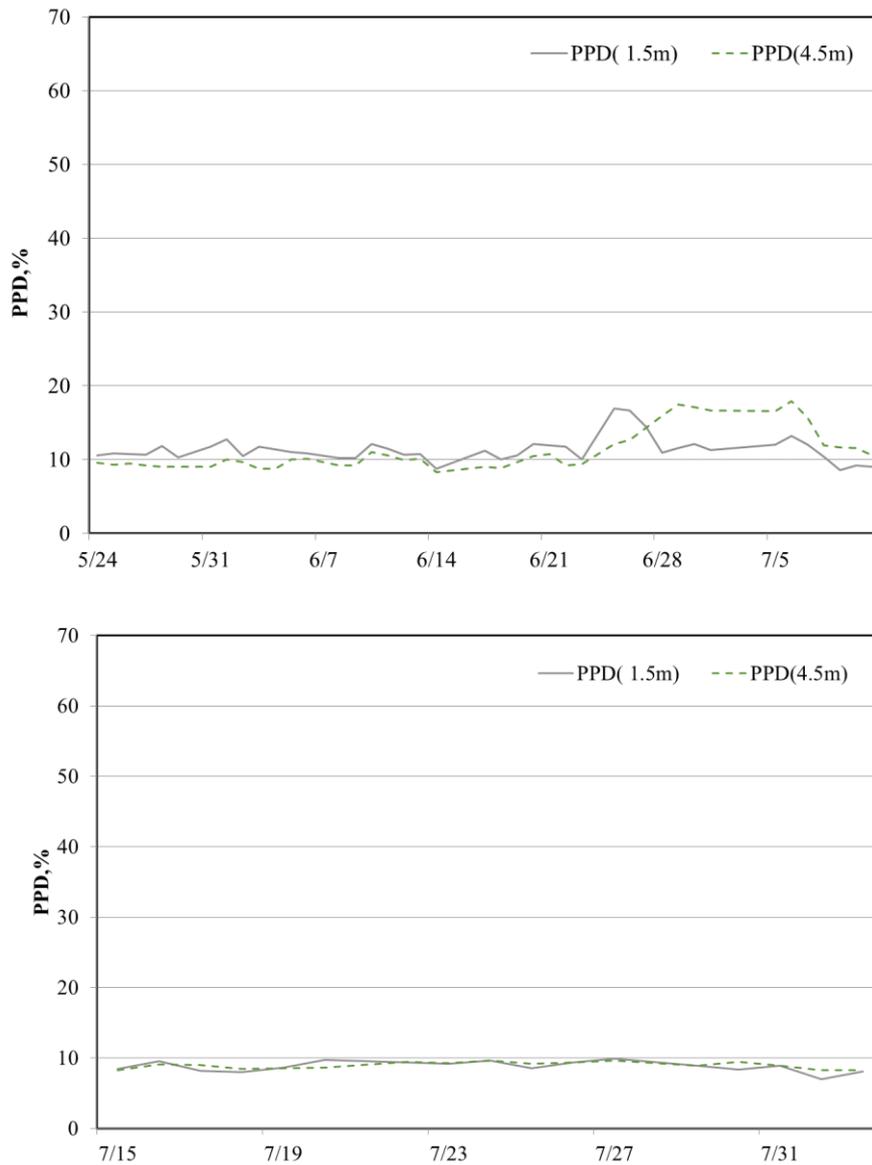
PMV 為熱舒適指標，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日 PMV 平均約在-0.5；離窗 1.5m 與 4.5m 測點，相較之下，離窗 1.5m 測點 PMV 熱舒適指標偏高。



**圖 4-16 雙層微反射玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

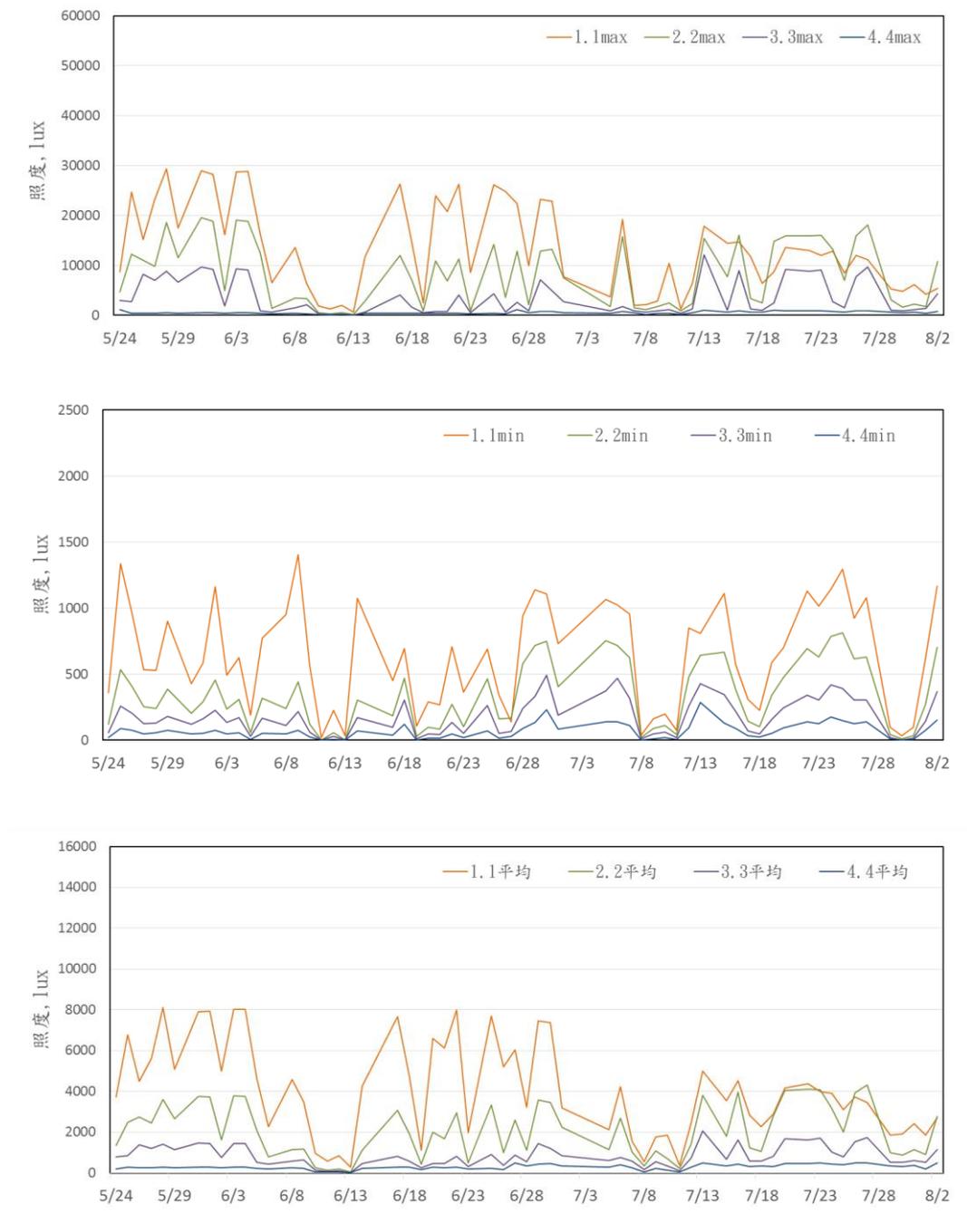
PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10%到 15%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 5%到 10%之間。



**圖 4-16 雙層微反射玻璃的每日熱環境條件(續)**

(資料來源:本研究彙整)

圖 4-17 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點在每日上 9 時至下午 5 時最大值、最小值和平均值，離窗 1.1m 測點，最大值約 20000lux，最小值約 1000lux，每日平均 8000lux。



**圖4-17 雙層微反射玻璃的每日照度變動**

(資料來源:本研究彙整)

## 第七節 雙層低輻射玻璃實驗結果

安裝雙層低輻射玻璃實驗室在 05/24-08/02 期間的每日全和下午的冷氣用電彙整如圖 4-18。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C，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 和 PPD 如圖 4-19 所示。

5/24-7/12 離窗的相對濕度則維持日平均值在 65%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 60%-80%，離窗 1.5m 測點，相較 4.5m 測點，相對溼度值略低，由此可知離窗 4.5m 處濕度比離窗 1.5m 濕度高。在乾球溫度方面，5/24 到 7/12 期間，每日均溫約在 23.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.0°C，離窗 1.5m 測點與 4.5m 測點乾球溫度相接近，表示雙層低輻射玻璃隔熱性能良好，室內空間不因為離窗遠近，溫度有大差異。黑球溫度的部分，在離窗 1.5m 測點，黑球溫度日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 24.5°C。

PMV 熱舒適分為七個等級，分別為熱、暖、微暖、適中、微涼、涼、冷，並且分別用 3，2，1，0，-1，-2，-3 表示，雙層低輻射玻璃 PMV 熱舒適指標，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日 PMV 平均約在 -0.5，熱舒適為適中偏微涼；7/13-08/02 期間 PMV 熱舒適指標每日平均 -0.5 到 0 之間。PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10%到 15%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 5%到 10%之間。

日照部分，實驗屋設置離窗 1.1m、2.2m、3.3m、4.4m、一共 4 處測點，如圖 4-20 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點，在每日上 9 時至下午 5 時的最大值、最小值和平均值，離窗 1.1m 測點，最大值約 20000lux，最小值約 1000lux，每日平均 3000lux。在 05/24-06/06 期間的每日全和下午的冷氣用電彙整如圖 4-9。在這段期間 5/24-7/12 冷氣溫度設定在 25°C，7/13-8/02 冷氣溫度設定在 26°C。

實驗期間，6/7、6/15、7/3、7/14、7/21、7/28 為收數據日，影響耗能數據，故不採納數值。

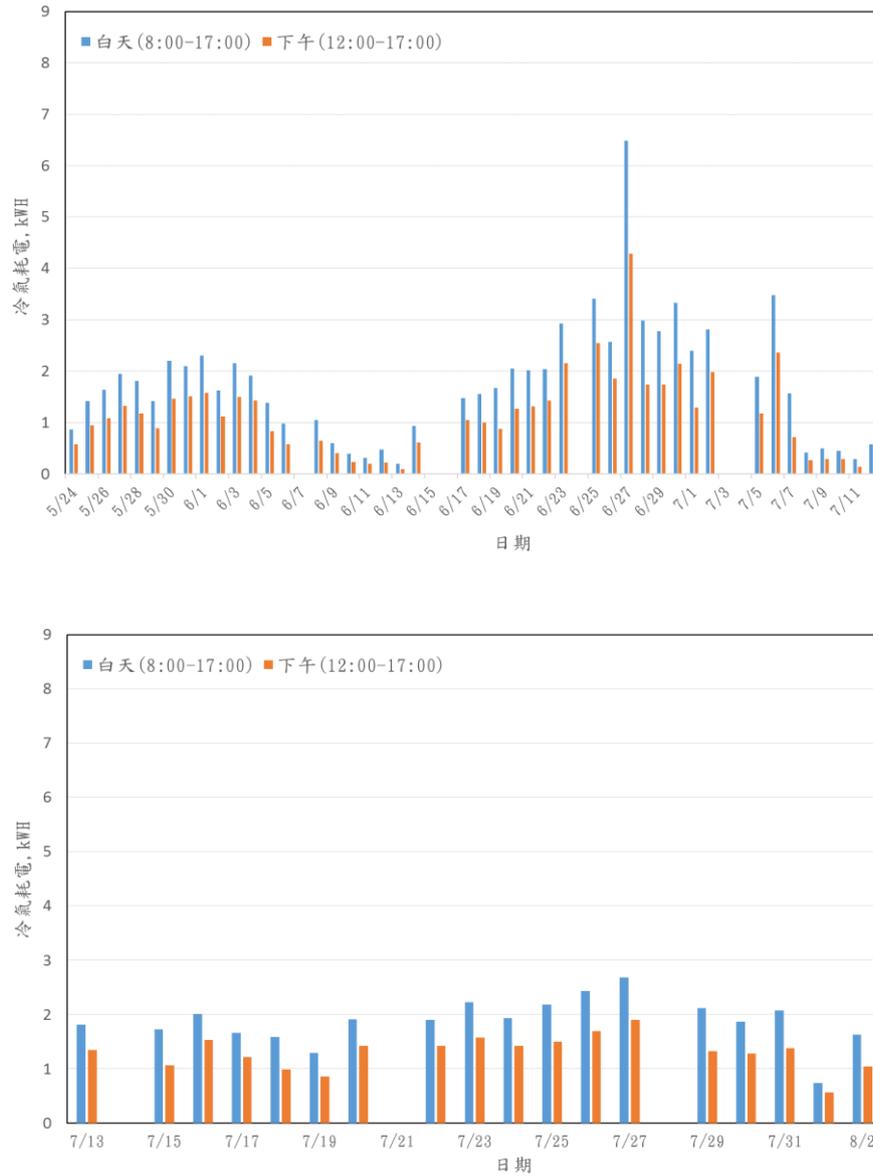
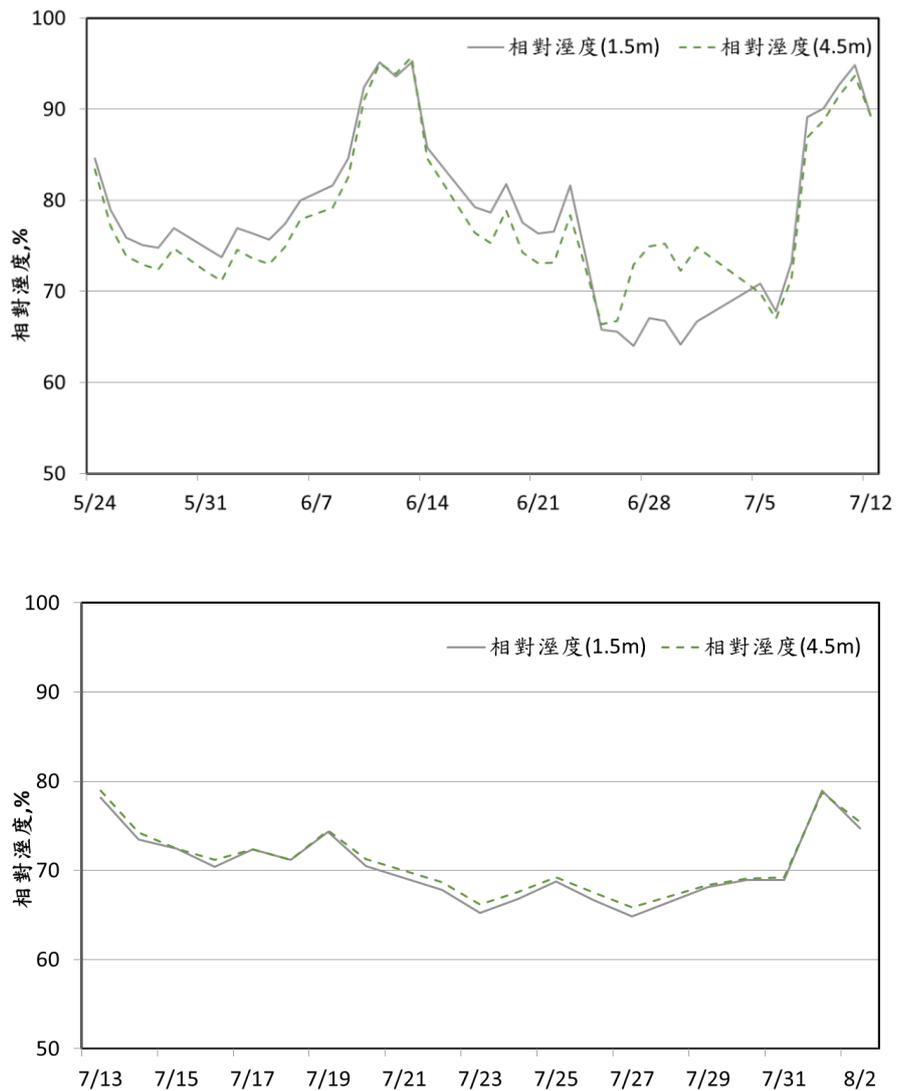


圖4-18 雙層低輻射玻璃的每日冷氣用電

(資料來源:本研究彙整)

5/24-7/12 離窗的相對濕度則維持日平均值在 65%-95%；7/13-8/2 相對溼度日平均值在 60%-80%，離窗 1.5m 測點，相較 4.5m 測點，相對溼度值略低，由此可知離窗 4.5m 處濕度比離窗 1.5m 濕度高。



**圖4-19 雙層低輻射玻璃的每日熱環境條件**

(資料來源:本研究彙整)

在乾球溫度方面，雙層低輻射玻璃，5/24 到 7/12 期間，每日均溫約在 23.0°C；7/13 到 08/02 每日平均溫度約在 24.0°C。

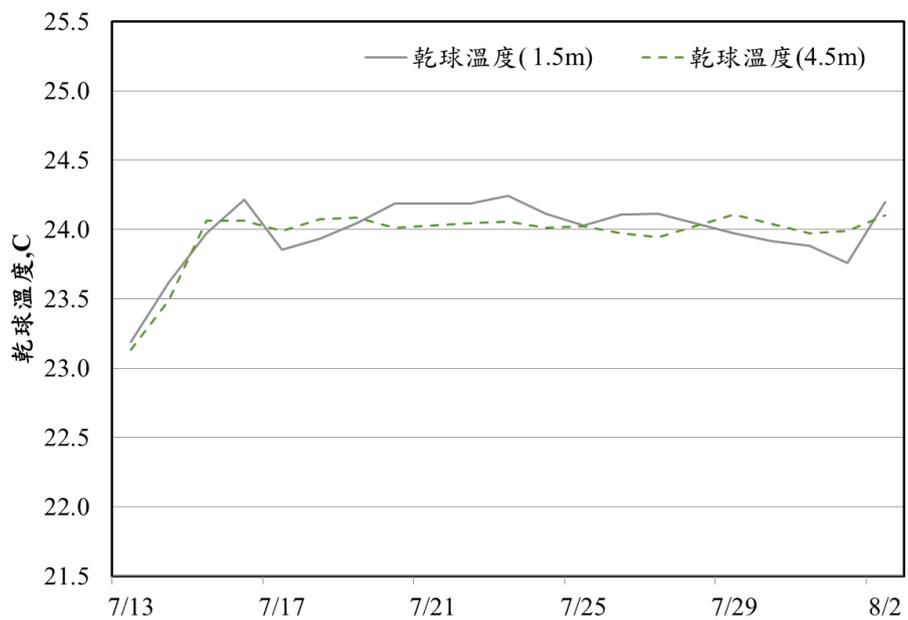
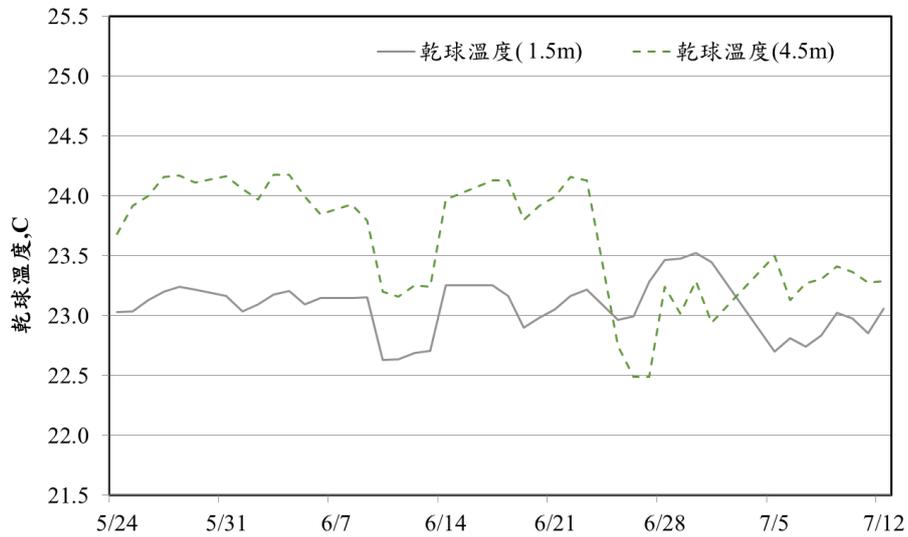


圖 4-19 雙層低輻射玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

在離窗 1.5m 測點，黑球溫度日平均黑球溫度都在 24.0°C，最小值約在 24.5°C。

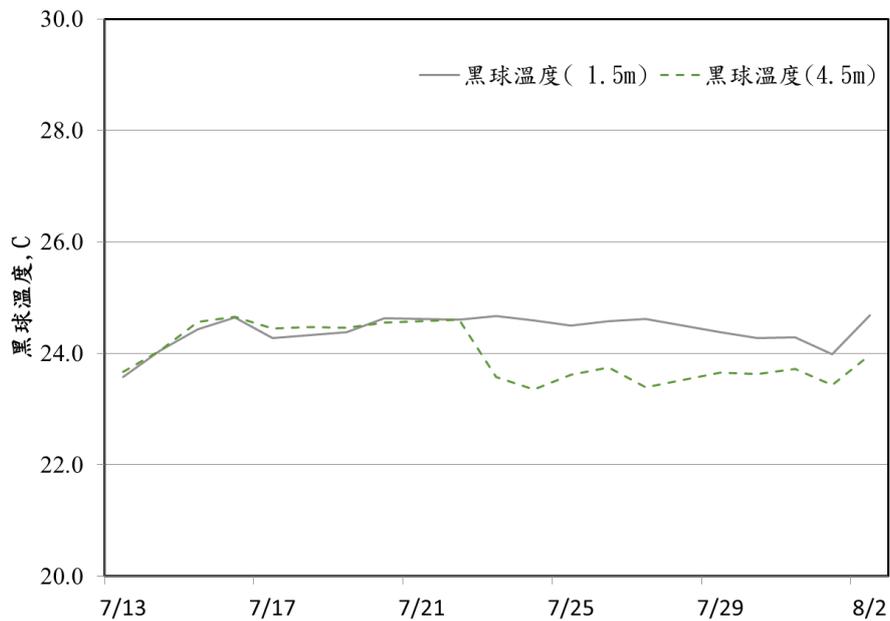
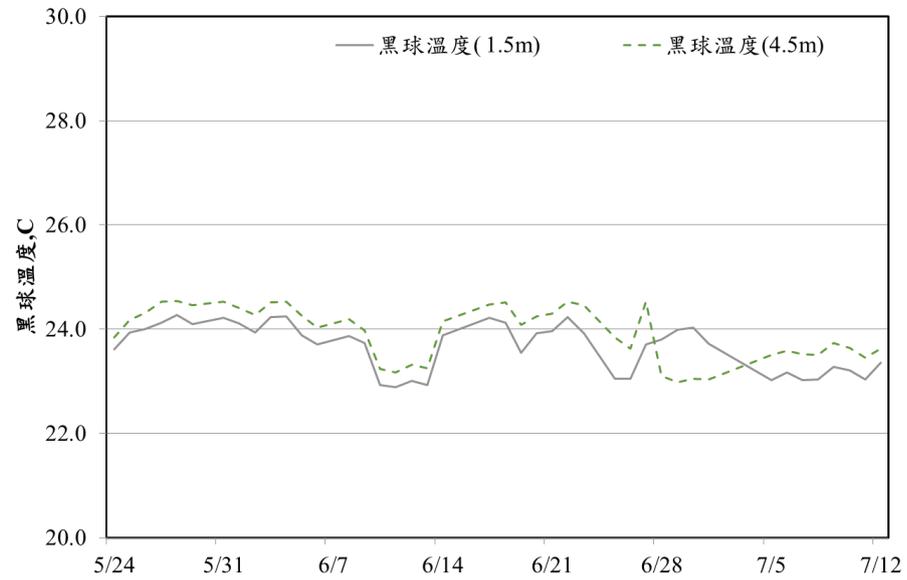


圖 4-19 雙層低輻射玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

PMV 為熱舒適指標，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日 PMV 平均約在-0.5；  
7/13-08/02 期間 PMV 熱舒適指標每日平均-0.5 到 0 之間。

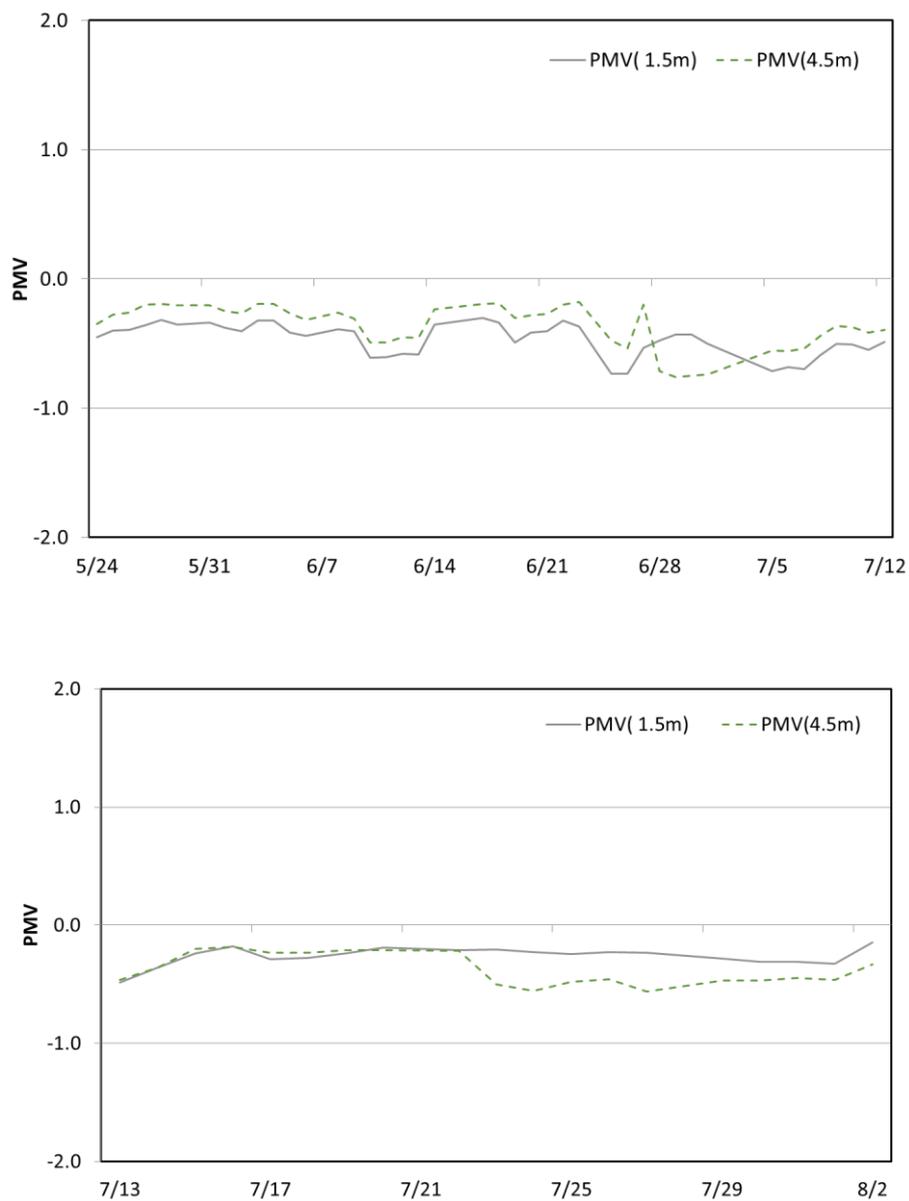


圖 4-19 雙層低輻射玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

## 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

PPD 為預計不滿意的百分比，5/24-7/12 期間，離窗 1.5m 測點，每日平均 PPD 值 10%到 15%，7/13-08/02 期間每日平均 PPD 值 5%到 10%之間。

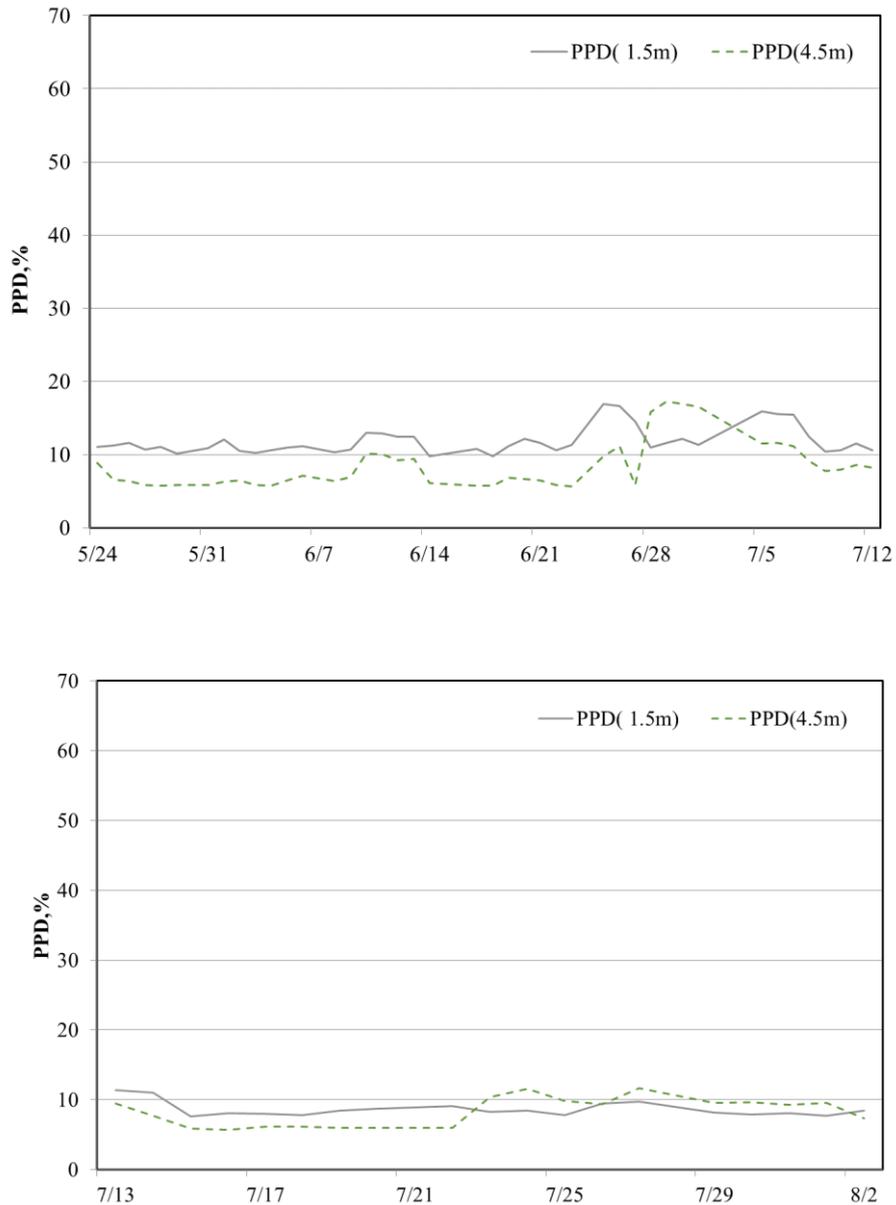
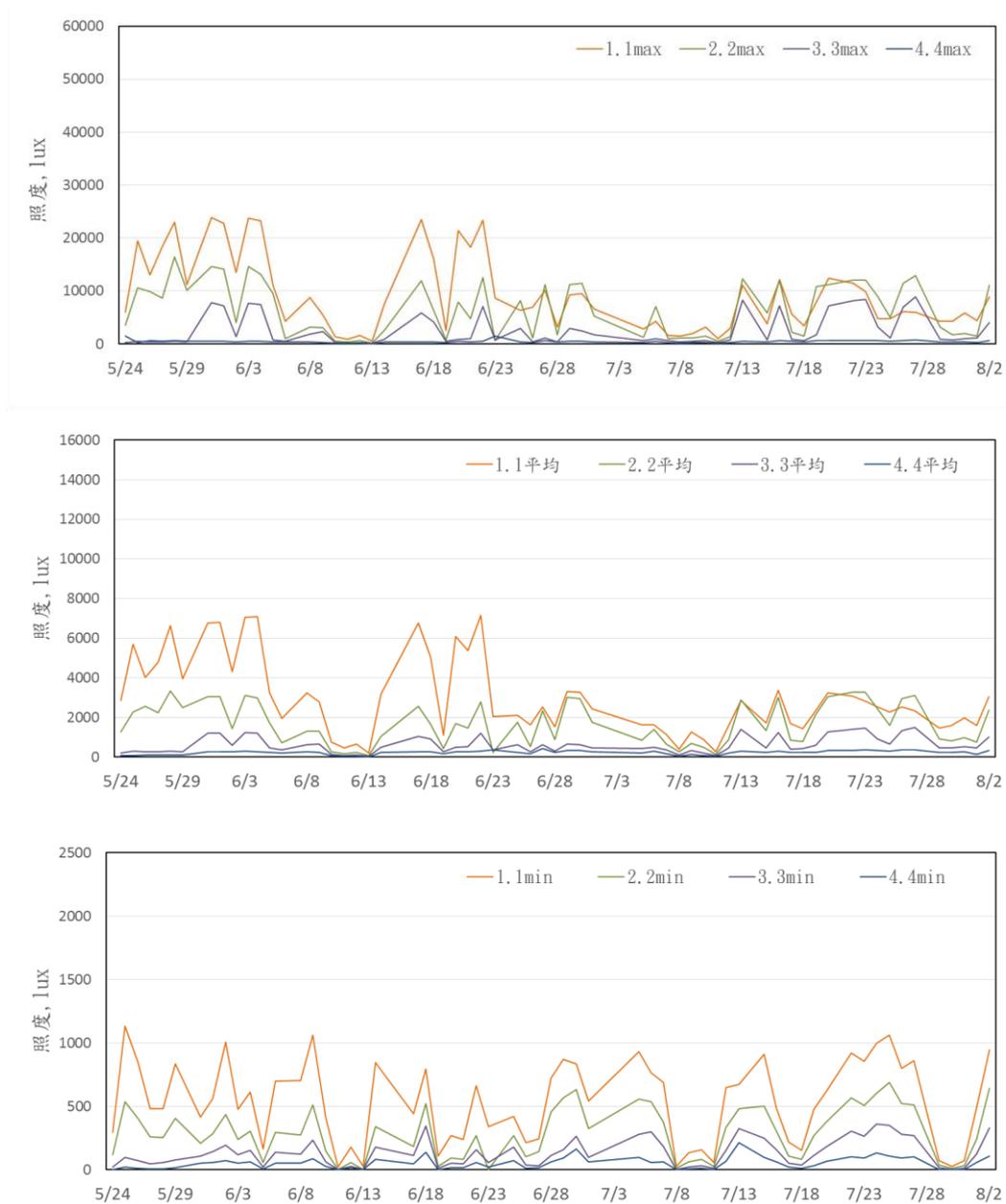


圖 4-19 雙層低輻射玻璃的每日熱環境條件(續)

(資料來源:本研究彙整)

如圖 4-20 則顯示在這段期間室內 4 個照度測點, 在每日上 9 時至下午 5 時最大值、最小值和平均值, 離窗 1.1m 測點, 最大值約 20000lux, 最小值約 1000lux, 每日平均 3000lux。



**圖4-20 雙層低輻射玻璃的每日照度變動**

(資料來源:本研究彙整)

## 第八節 實驗結果比較分析

前面幾節是分別對各種玻璃的實驗結果做敘述統計，這一節則是實驗結果的彙整比較。因為研究的重點在於分析玻璃光學性質對冷氣能耗、室內熱舒適以及照度的影響，加上實驗屋是朝西的，所以在這一節將只採用日照充足的下午(12:00-16:00)作為實驗觀察期間來進行分析。篩選後共有 41 個下午的實驗數據可以供分析比較。

表 4-2 實驗期間各實驗屋的冷氣用電比較

	單層			雙層		
	透明	色版	變色	色版	反射	低輻射
平均室溫, °C	24.6	23.9	24.0	23.8	23.9	24.1
平均耗電, KWH	2.71	2.53	2.59	1.81	1.04	1.15
耗電百分比, %	100	93	96	67	38	43

(資料來源:本研究彙整)

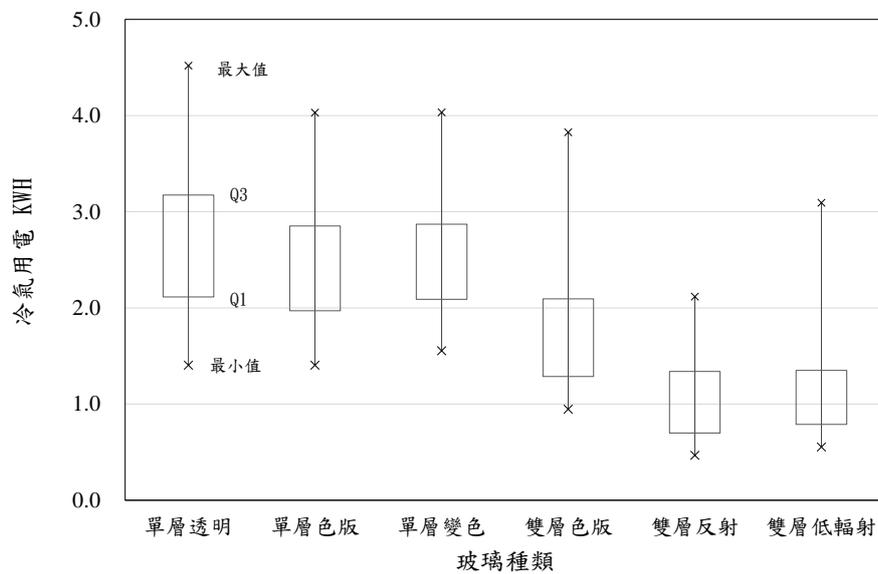
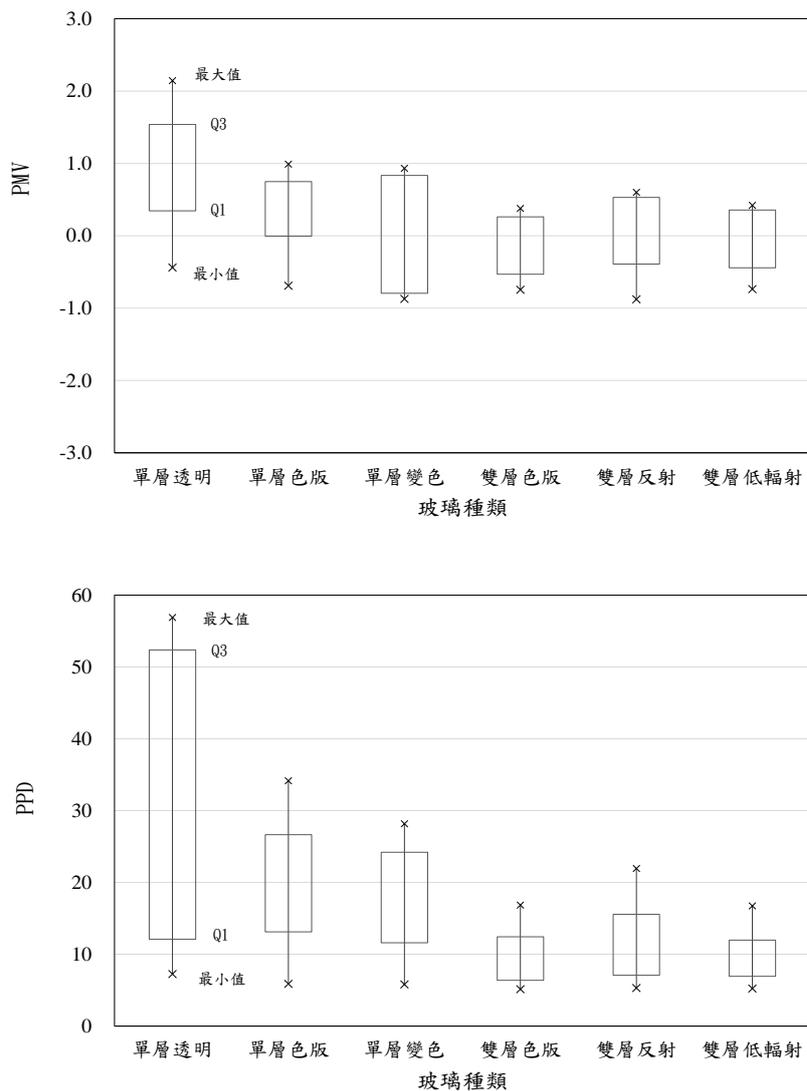


圖4-21 冷氣用電比較

(資料來源:本研究繪製)

圖 4-21 是每實驗日下午的耗電的最大值、最小值和四分距的比較。表 4-2 則是每一個實驗日下午冷氣耗電量的平均值比較。每實驗日下午平均冷氣耗電從單層透明玻璃的 2.71 kWh 變化至反射玻璃的 1.04 kWh。從實驗數據也可以看到單層玻璃的冷氣耗電比雙層玻璃高。若以單層玻璃做為比較基準，單層色版、單層變色、雙層色版、雙層反射和雙層低輻射玻璃在實驗分析期間的節能效果分別是 7%、4%、33%、62%和 57%。

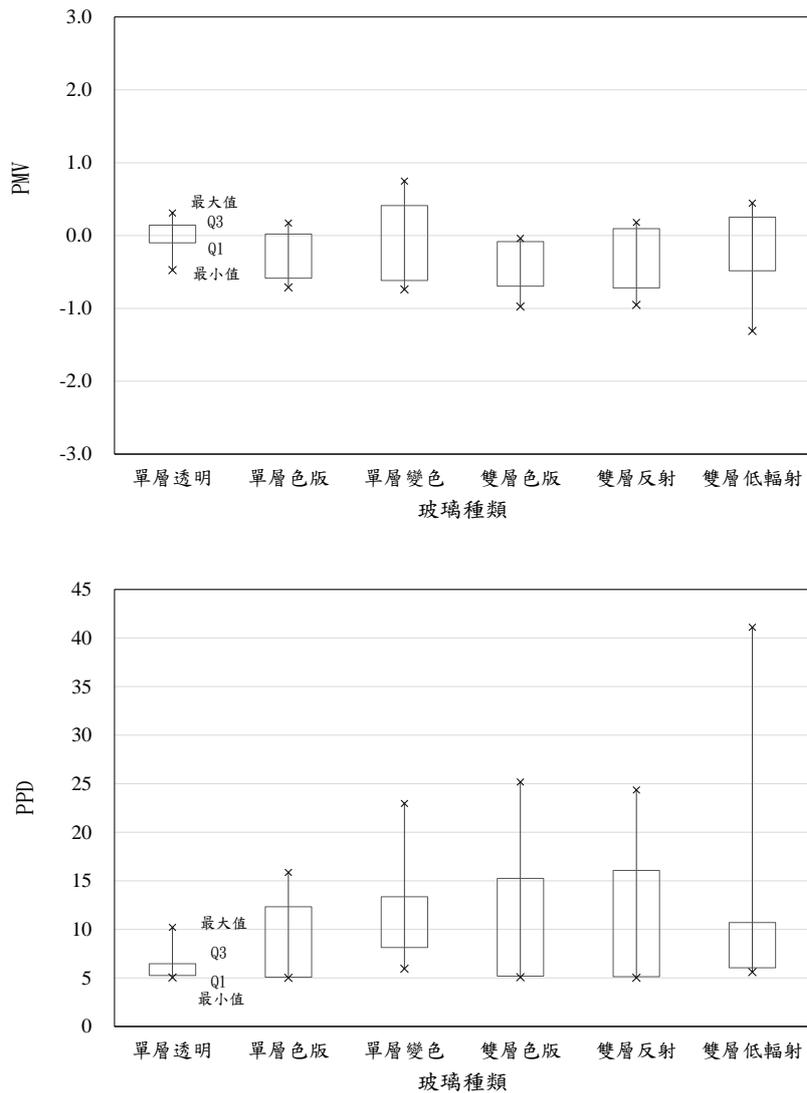


(a) 離窗 1.5 m 處

**圖4-22 PMV及PPD的比較**

(資料來源:本研究繪製)

圖 4-22 比較了實驗觀察期間室內的熱舒適程度。在解析熱舒適的 PMV 和 PPD 指標之前，先說明因為實驗屋的溫度、濕度和風速都是控制在相近似的數值，計算 PMV 時衣著量和工作量也使用相同的數字，所以可以說圖 4-22 熱環境舒適度的差異是來自不同玻璃的光學性值造成不同的平均輻射溫度造成的。



(b)離窗 4.5 m 處

**圖 4-22 PMV 及 PPD 的比較(續)**

(資料來源:本研究繪製)

在距離窗戶 1.5 米處，單層透明玻璃其高陽光透射率不僅造成圖 4-22 中所示有較高的冷氣能耗外，也造成室內較差的室內熱舒適度。在實驗觀察期間，每日下午平均 PMV 最大值來到 2.14，最低值是-0.44。有一半的時間 PMV 是介於 0.34~1.54(亦即圖中的 Q1-Q3 範圍)。在 PPD 部分，最高達 57%，有 1/4 的實驗觀察期間是在 52%以上，1/2 的實驗觀察期間 PPD 是介於 52%-12%，剩下的 1/4 時間其 PPD<12%。概括地說，在裝設單層透明玻璃的實驗屋 PPD 幾乎 3/4 的實驗觀察時間其數值是超過可接受上限 20%，而且其對應的 PMV 也都是超過+1.0。這顯示房間有過熱的問題，但也別忘了房間的溫度是設定在 24.0°C。

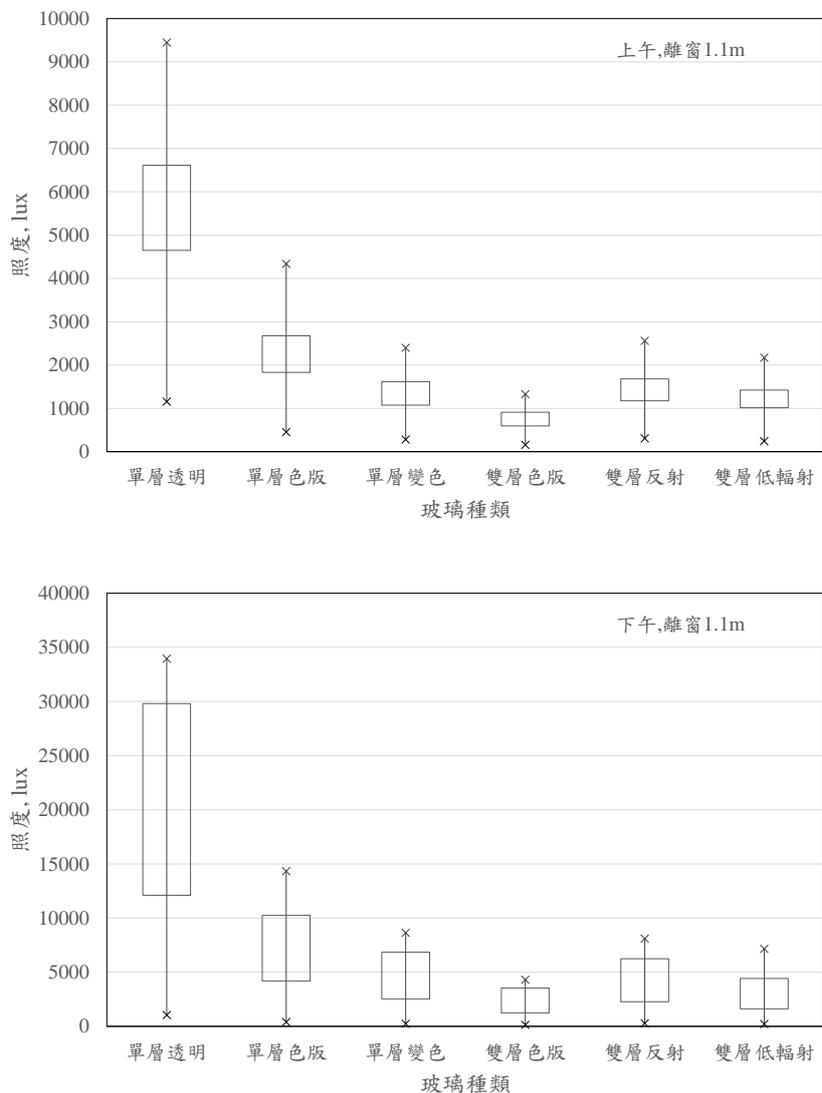
當實驗屋的換成其他光學性能較佳的玻璃時，可以發現 PMV 的最高值在單層玻色版玻璃、變色玻璃分別是 0.75 和 0.83，略為超過 PPD=20%對應的 PMV=0.75。以及在雙層色版、反射和低輻射玻璃 PMV 最高值為 0.36、0.60 和 0.42，都未超過+0.75。這顯示另外 5 間實驗室在臨窗區域幾乎都沒有過熱的問題。比較值得一提的是，這 5 間實驗屋的 PMV 最低值分別是-0.69、-0.87、-0.75、-0.87 和-0.74，剛剛好在可接受下限 PMV=-0.75 左右，這也說明圖 4-22(a)右圖的 PPD>20%是因為房間的溫度過低造成的。換句話說，這些實驗屋的設定溫度是有機會提高的。

在離窗 4.5m 處，已經相當接近所謂的建築內周區，於下午 4 前幾乎不會曬到太陽，所以可看到圖中的 PMV 最大值，不論何種玻璃在溫度設定 24°C 的前提下，都不會超過 +0.5。倒是最底的 PMV，除了裝設透明玻璃外，其他 5 間的實驗屋都低於-0.75 的下限值。這也再次證明除了單層透明玻璃外，其他實驗屋的冷氣溫度似乎可以再調高。

在室內照度品質的比較時，並不似像耗電以及熱舒適比較分析，實驗觀察其僅限晴朗的下午。照度比較時，除了下陰雨天外，所有量測數據的實驗日子都做為實驗觀察日，每日分析的時間是 08:00~17:00。不過比較分析時，因為實驗室是朝西的，下午有直接日照的問題，所以比較時還是上下午分開討論。圖 4-23 顯示實驗觀察期間每日上下午室內不同位置的平均照度。

從圖 4-23 的結果顯示單層透明玻璃在臨窗 1.1m 處的照度不論是在下午或者上午，動輒高達 5,000 lux 以上，遠遠超過室內照度標準要求，造成室內光環境嚴重惡

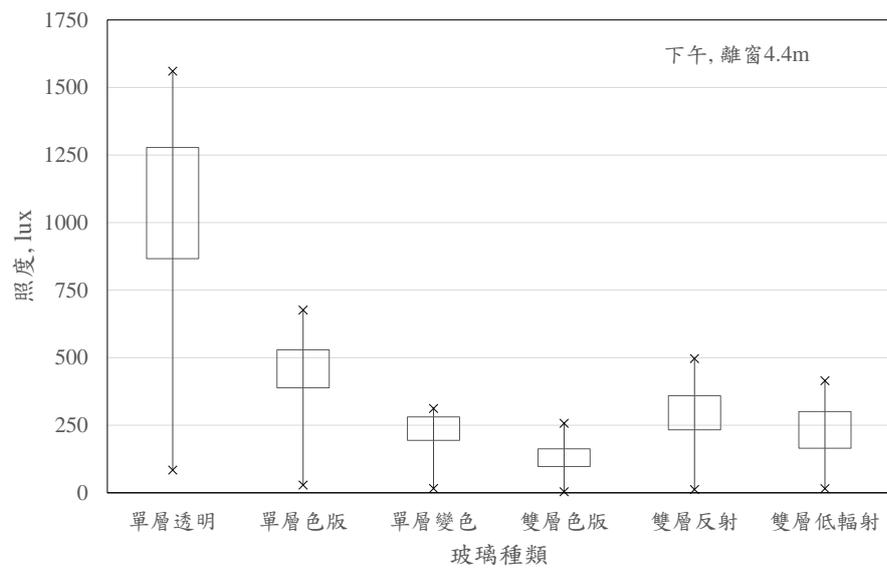
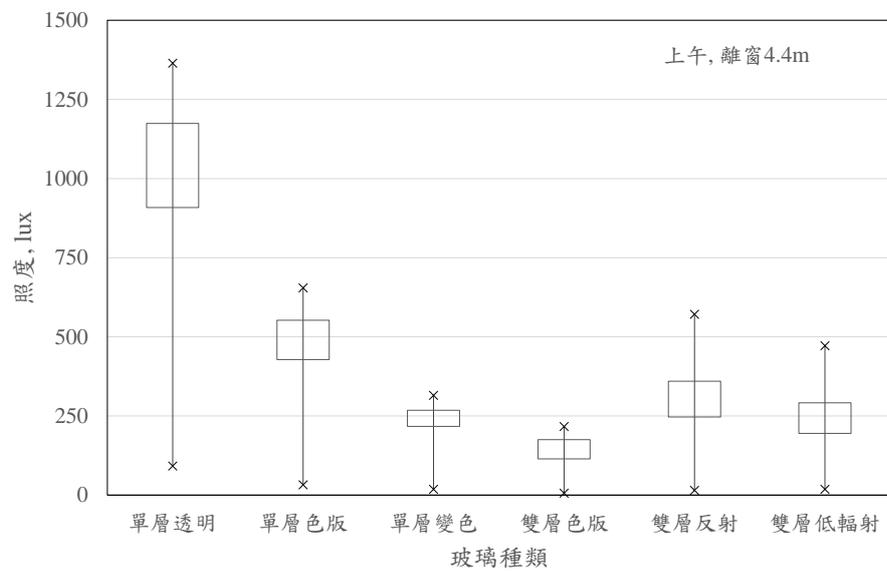
化，產生光汙染。即使是在臨窗 4.4m 處大多數時間的照度也都還維持在照度標準之上。相較於單層透明玻璃，其他五種玻璃離窗 1.1m 處在上午的照度，除了單層色版玻璃 1/2 時間其照度超過 2000 lux 外，大部分時間都在 2000 lux 以下。但是到了下午，因為直接日照的關係，室內照度一樣遠遠超過室內照度標準要求，存在光汙染問題，只是程度沒有單層透明玻璃的嚴重。在離窗 4.4m 處，因為都不會受到直達日照的影響，上午或下午的多數時間室內照度維持在合適的 500~250lux 之間。



(a)離窗 1.1 m 處

**圖4-23 室內照度的比較**

(資料來源:本研究繪製)



(b) 離窗 4.4 m 處

圖 4-23 室內照度的比較(續)

(資料來源:本研究繪製)



## 第五章 電腦模擬

### 第一節 建築模型

建築室內熱舒適是人們為了滿足室內熱環境品質需要，利用各種技術手段，並運用一定的科學規律創造人工熱環境，是基於一定建築能耗和室內外環境負荷的綜合效果的體現。在滿足室內熱舒適環境需要的同時，應綜合考慮建築節能與熱舒適的相互影響，盡可能採用合理的技術措施。這樣既尊重了“以人為本、綠色節能”的理念，也可實現建築能源效率的真正提升，避免“節能建築不節能”、“綠色建築不綠色”現象的發生。基於以上論點，我們建立了基於室內熱舒適的建築能效評價模型，以辦公建築為例，分析不同玻璃的 SHGC 對室內熱舒適和建築能耗的影響，通過軟體類比分析既有建築改造過程中建築能耗與室內熱舒適的關係。

選用的建築模型是用於辦公能耗分析的典型辦公室平面。它是一個 35m×35m 的正方形平面。作為分析對象的四個外周區分別朝向東、西、南、北四個主要方位，如圖 5-1 所示。樓高為 3.0m。使用三種建築窗牆面積比為 0.33、0.50 和 0.67。人員平均密度為 0.15 人/m<sup>2</sup>，照明密度為 15W/m<sup>2</sup>。外牆構造金屬帷幕外牆附有 5cm 的隔熱材料，U 值=0.6 W/m<sup>2</sup>-K。

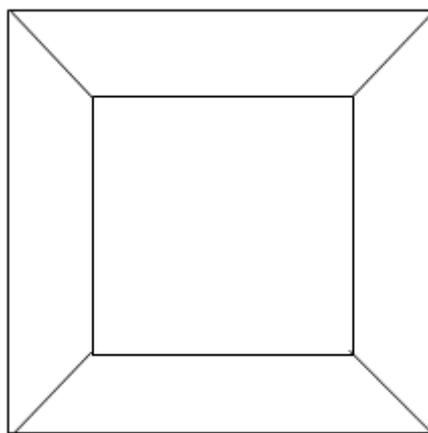


圖5-1 標準的辦公室建築模型

(資料來源:本研究繪製)

## 第二節 固定空調設定溫度

模擬時玻璃的 SHGC 的變動範圍為 0.1-0.8，U 值是固定在  $2.7 \text{ W/m}^2\text{-K}$ 。模擬使用的軟體為 EnergyPlus。EnergyPlus 是美國能源部由加州柏克萊國家實驗室開發，用以取代早期的 DOE-2.1 或 e-Quest 軟體，為新一代的建築能耗模擬軟體。

表 5-1 是當室內空調設定溫度固定在  $26^\circ\text{C}$ ，相對濕度在 50% 下，於空調季節(4 月 1 日到 11 月 30 日)期間模擬建築模型的空調顯負荷和熱環境分析的結果。當室內的平均輻射溫度等於室內空氣溫度，相對濕度在 50%，風速在  $0.2\text{m/s}$ 、以及室內人員的活動量是 1.2 met，衣著量為 0.5 clo，則當室內空氣溫度為  $26^\circ\text{C}$  時，室內的 PMV 很接近是 ISO 7730 推薦的  $-0.5\sim 0.5$  的上限值。表 5-1 中還會出現熱不舒適時間的原因就在於室內的平均輻射溫度因為經由窗戶進入室內的太陽輻射，除了一方面造成空調顯熱負荷的增加外，也會使室內平均輻射溫度上升。因為我們模擬的狀況剛好很接近上限值，所以只要室內平均輻射溫度升高，便會造成室內熱不舒適超標。

通過模擬分析可知，空調溫度設定在固定的  $26^\circ\text{C}$  我們分析 0.33、0.50 和 0.67 三種窗面積比，來瞭解窗牆比的影響。當窗牆面積比在 0.33 時，SHGC 在 0.1 到 0.80 之間變化時，空調顯熱負荷的變化範圍為  $229.8\sim 358.3 \text{ MJ/m}^2$ ，建築室內不舒適時間的變化範圍為 4374~4394 小時，過熱嚴重度的變化範圍為 4432-9081  $^\circ\text{C-h}$ 。當窗牆面積比在 0.50 時，SHGC 在 0.1 到 0.80 之間變化時，空調顯熱負荷的變化範圍為  $227.3\sim 414.3 \text{ MJ/m}^2$ ，建築室內不舒適時間的變化範圍為 4053~4217 小時，過熱嚴重度的變化範圍為 4260-10041  $^\circ\text{C-h}$ 。當窗牆面積比在 0.67 時，SHGC 在 0.1 到 0.80 之間變化時，空調顯熱負荷的變化範圍為  $225.3\sim 467.4 \text{ MJ/m}^2$ ，建築室內不舒適時間的變化範圍為 3781~4349 小時，過熱嚴重度的變化範圍為 4155-10474  $^\circ\text{C-h}$ 。分析的結果顯示，不同窗牆面積比會使改造結果產生較大差異。

前面的分析也讓人看到，當使用 SHGC 較低的玻璃時，窗面積的變化對空調顯熱負荷、過熱時數以及過熱嚴重度的變化範圍的差異也相對的縮小；反之，當使用 SHGC 較高的玻璃時，窗面積的變化對空調顯熱負荷、過熱時數以及過熱嚴重度的變化範圍

的差異也相對的擴大。以 SHGC=0.1 為例，當窗面積比由 0.33 擴大到 0.67 時，空調顯熱負荷的變動範圍相差  $4.5 \text{ MJ/m}^2$ ，過熱嚴重度相差  $227^\circ\text{C-h}$ ；當使用 SHGC=0.8 的玻璃時，空調顯熱負荷相差範圍從  $4.5 \text{ MJ/m}^2$  擴大到  $109.1 \text{ MJ/m}^2$ ，過熱嚴重度從相差  $30^\circ\text{C-h}$  擴大到  $2920^\circ\text{C-h}$ 。

圖 5-2 則顯示了玻璃的 SHGC 對空調顯熱負荷、過熱時數和過熱嚴重度的影響。從圖中我們可以看到當 SHGC 變小時，空調顯熱負荷明顯變小，這也是建築技術規則節能法規藉由限制玻璃光學性能來將低開窗熱日射熱取得，以減少空調顯熱負荷的主要目的。從圖中我們也看到，室內的過熱時數和嚴重度也隨著使用 SHGC 較低的玻璃而降低。必須強調的是即使是內不舒適的程度可以隨著使用 SHGC 較低而獲得舒緩，但是並不能完全消除室內的熱不舒適狀況。換句話說，若要獲得完全沒有不舒適的室內熱環境，可能必須調低室內空調溫度，當然這也意謂必須付出額外的能源費用。

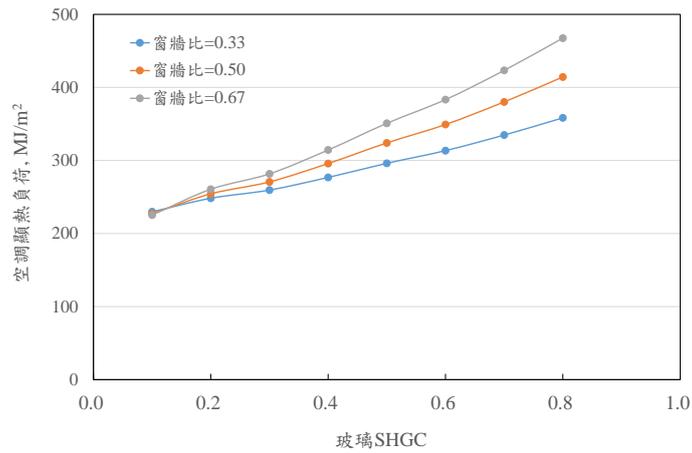
表 5-1 溫度設定  $26^\circ\text{C}$  時的空調顯負荷和熱環境分析的結果

窗牆比	項目	SHGC							
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.33	顯熱負荷	230	248	260	277	296	314	335	358
	過熱時數	2204	2233	2243	2255	2273	2285	2292	2301
	過熱嚴重度	2506	2945	3225	3649	4120	4559	5078	5965
0.50	顯熱負荷	227	254	271	296	324	349	380	414
	過熱時數	2113	2172	2198	2217	2235	2259	2274	2289
	過熱嚴重度	2481	3121	3533	4148	4835	5460	6198	7425
0.67	顯熱負荷	225	261	282	314	351	383	423	467
	過熱時數	2032	2109	2150	2186	2211	2234	2250	2271
	過熱嚴重度	2476	3306	3837	4636	5520	6301	7196	8885

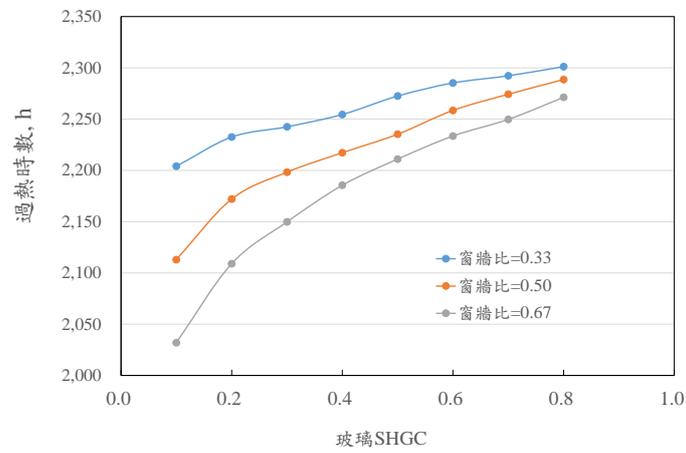
單位：顯熱負荷 ( $\text{MJ/m}^2$ )、過熱時數(h)、過熱嚴重度( $^\circ\text{C-h}$ )

(資料來源:本研究彙整)

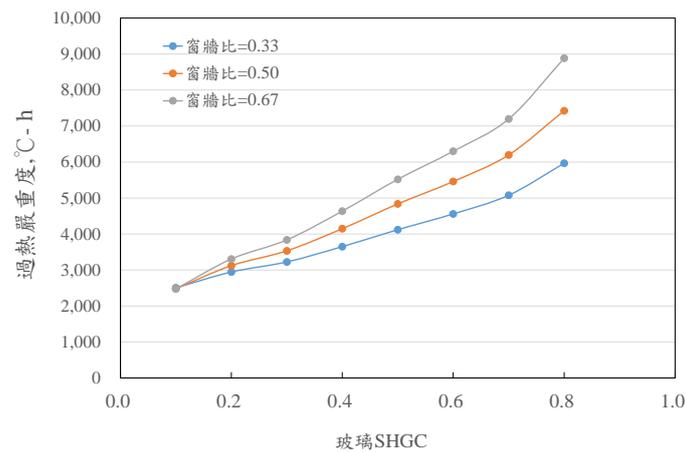
# 玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究



(a) 顯熱負荷



(b) 過熱時數



(c) 過熱嚴重度

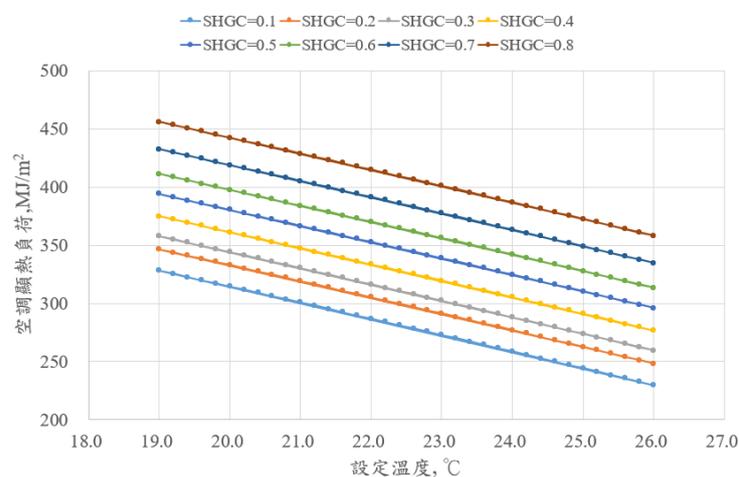
**圖5-2 SHGC 與顯熱負荷、過熱時數和過熱嚴重度**

(資料來源:本研究繪製)

### 第三節 不同空調設定溫度

不同的空調設計溫度意味著不同的能耗和熱舒適效果。不同夏季空調設計溫度為 $19\sim 26^{\circ}\text{C}$ 時，建築能耗的變化趨勢整體呈線性關係(見圖 5-3)。圖 5-3 顯示在相同的開窗比下，即使是不同的 SHGC，空調顯熱負荷隨室內設定溫度變化的斜率幾乎是相同的。見圖 5-3 中每一條線幾乎平行便可了解。當開窗比=0.33 時，其斜率為 $-14.1\text{ MJ/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ 。這表示設定溫度每調降 $1^{\circ}\text{C}$ ，對模型建築而言，每單位平方米的樓板面積在 4 月到 11 月的空調季節將會增加 14.1 MJ 的空調顯熱負荷。當開窗比=0.50 時，其斜率為 $-16.9\text{ MJ/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ ；開窗比=0.67 時，其斜率為 $-19.5\text{ MJ/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$ 。隨著開窗比愈大，斜率也愈大，這表示當開窗越大，調低室內設定溫度將導致更多的冷氣能耗。

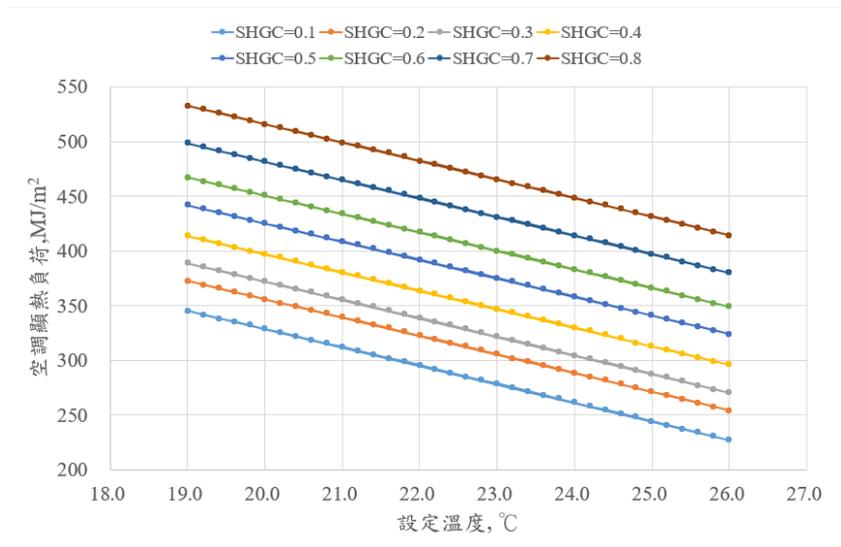
空調設計溫度較低時，建築能耗相對較高，但不舒適時間相對較短。但是因為室內的舒適時間，並不是只有溫度一項變數而以，尤其是室內的平均輻射溫度，會隨著室內受日照強度而隨時在變化，所以我們在这一節並不打算分析，不同空調設定溫度下，室內的過熱時數和過熱嚴重度的變化趨勢。



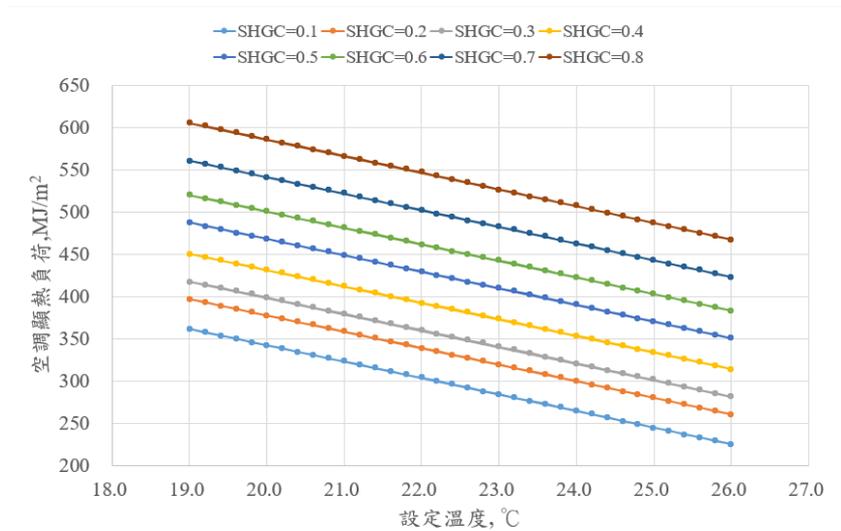
(a) 開窗比=0.33

**圖5-3 不同夏季空調設計溫度空調顯熱的變化趨勢**

(資料來源:本研究繪製)



(b)開窗比=0.50



(c)開窗比=0.67

圖 5-3 不同夏季空調設計溫度空調顯熱的變化趨勢(續)

(資料來源:本研究繪製)

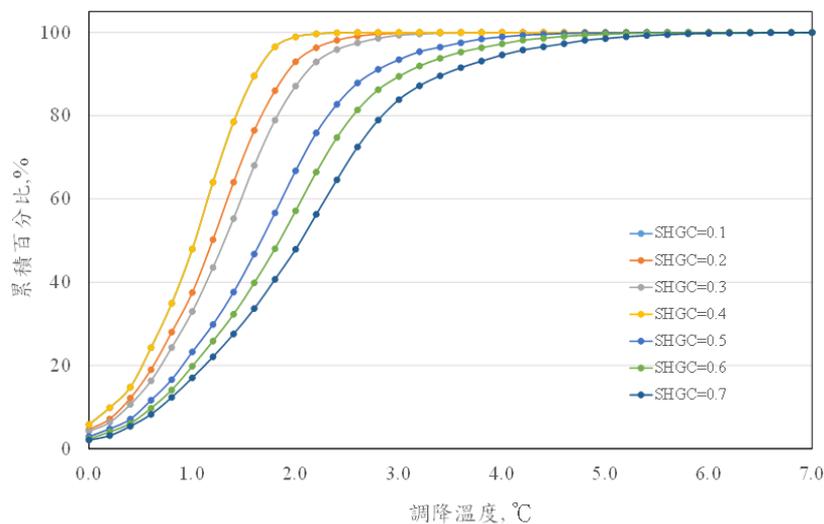
#### 第四節 相同舒適程度下的空調設定溫度

建築室內熱舒適是人們為了滿足室內熱環境品質需要，利用各種技術手段，並運用一定的科學規律創造人工熱環境，是基於一定建築能耗和室內外環境負荷的綜合效果的體現。在滿足室內熱舒適環境需要的同時，應綜合考慮建築節能與熱舒適的相互影響，盡可能採用合理的技術措施，在提高建築能源效率的同時保證室內熱舒適，即保證單位能耗的熱舒適效益。在相同的熱舒適要求下，來比較不同的外殼內容對應不同的能耗比在相同溫度下來的更有意義。為求得室內維持在  $PMV=0.5$  的舒適水準下，我們利用通過模擬得到的逐時輻射溫度、相對濕度、風速和假定工作量和衣著量，帶入  $PMV$  的計算公式中，反推在這些條件不變下，對應  $PMV=0.5$  的室內空氣溫度，再利用此空氣溫度作為空調設定溫度，計算其對應的空調顯熱負荷，然後加總 4 月到 11 月的每一小時的空調顯熱負荷便可得到基於相同舒適程度 ( $PMV=0.5$ ) 下，各種玻璃的能耗比較。

圖 5-4 是按照前述的方式推得的空調設定溫度的累積分佈百分比。圖中的橫坐標的調降溫度是指比  $26^{\circ}\text{C}$  低幾度的意思。從圖中可以看到當開窗比在 0.33 時，若使用  $SHGC=0.1$  的玻璃，有約 40% 的空調時間需要將溫度調降超過  $1^{\circ}\text{C}$ ，但是幾乎不用調降超過  $2^{\circ}\text{C}$ 。若使用  $SHGC=0.8$  的玻璃，約有 90% 的空調時間需要將溫度調降超過  $1^{\circ}\text{C}$ 、約有 50% 的空調時間需要將溫度調降超過  $2^{\circ}\text{C}$ ，約有 10% 的空調時間需要將溫度調降超過  $1^{\circ}\text{C}$ 。當開窗比在 0.50 時，若使用  $SHGC=0.1$  的玻璃，有約 50% 的空調時間需要將溫度調降超過  $1^{\circ}\text{C}$ ，但是幾乎不用調降超過  $2^{\circ}\text{C}$ 。若使用  $SHGC=0.8$  的玻璃，約有 90% 的空調時間需要將溫度調降超過  $1^{\circ}\text{C}$ 、約 60% 的空調時間需要將溫度調降超過  $2^{\circ}\text{C}$ ，有 20% 的空調時間需要將溫度調降超過  $3^{\circ}\text{C}$ 。當開窗比在 0.67 時，若使用  $SHGC=0.1$  的玻璃，有約 55% 的空調時間需要將溫度調降超過  $1^{\circ}\text{C}$ ，但是幾乎不用調降超過  $2^{\circ}\text{C}$ 。若使用  $SHGC=0.8$  的玻璃，約有 90% 的空調時間需要將溫度調降超過  $1^{\circ}\text{C}$ 、約有 70% 的空調時間需要將溫度調降超過  $2^{\circ}\text{C}$ ，有 50% 的空調時間需要將溫度調降超過  $3^{\circ}\text{C}$ ，約有 30% 的空調時間需要將溫度調降超過  $4^{\circ}\text{C}$ ，以及約有 10% 的空調時間需要將溫度調降超過  $5^{\circ}\text{C}$ 。

圖 5-5 則顯示不同的開窗比下，4 月到 11 月整個空調季節的平均調降溫度和玻璃 SHGC 的關係。從圖中可以了解在 SHGC=0.1 時，不管開窗比，其季節平均調降溫度大約是 1.0°C。隨著 SHGC 的增加到 0.8，其季節平均調降溫度也隨開窗比不同而有差異；開窗比為 0.33 時是 2.1°C、開窗比為 0.50 時是 2.6°C、開窗比為 0.67 時是 3.1°C。

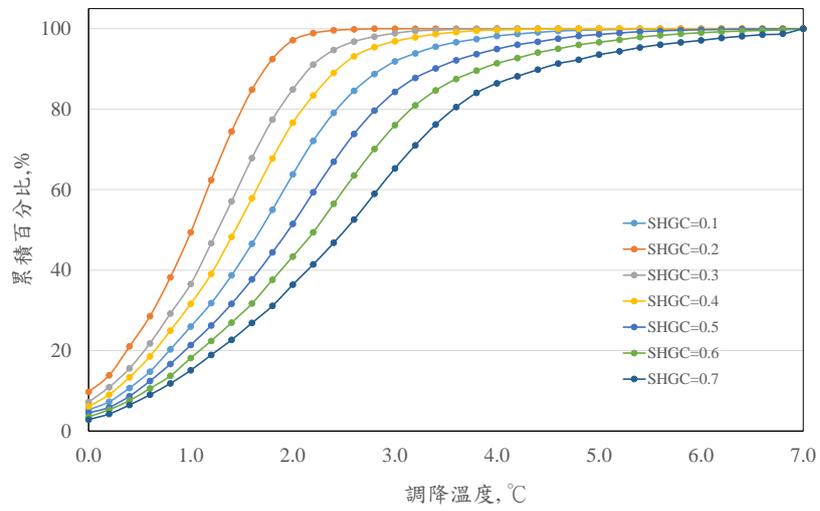
調降室內空調溫度代表的就是空調顯熱負荷的增加。圖 5-6 顯示在相同舒適程度下，空調顯熱負荷和 SHGC 的關係。比絕對值更令人關心的是，為了維持室內在相同的舒適程度，因為選用不同的玻璃所增加的空調顯熱。增加的顯熱來源是因為選用不佳的玻璃，導致室內平均輻射溫度上升，進而造成不舒適度上升。而這種不舒適必須藉由降低室內空調溫度來弭補，進而導致更多的空調耗能，因此我們將此不分增加的顯熱稱作能源懲罰。圖 5-7 顯示 SHGC 和能源懲罰之間的關係。當 SHGC=0.1 時，能源懲罰的範圍在 15-20MJ/m<sup>2</sup>。隨著 SHGC 增加，能源懲罰基本上呈線性增加的趨勢。當 SHGC=0.8 時，能源懲罰的範圍擴大到 35-65 MJ/m<sup>2</sup>，相當於全空調季節顯熱負荷的 9.0-12.0%。



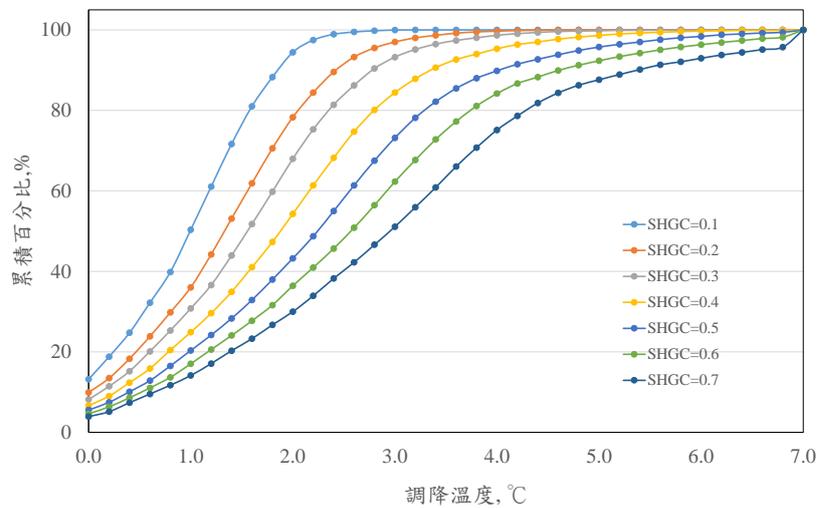
(a)開窗比=0.33

**圖5-4 不同SHGC對應的溫度調降的累積分布**

(資料來源:本研究繪製)



(b)開窗比=0.50



(c)開窗比=0.67

**圖 5-4 不同 SHGC 對應的溫度調降的累積分布(續)**

(資料來源:本研究繪製)

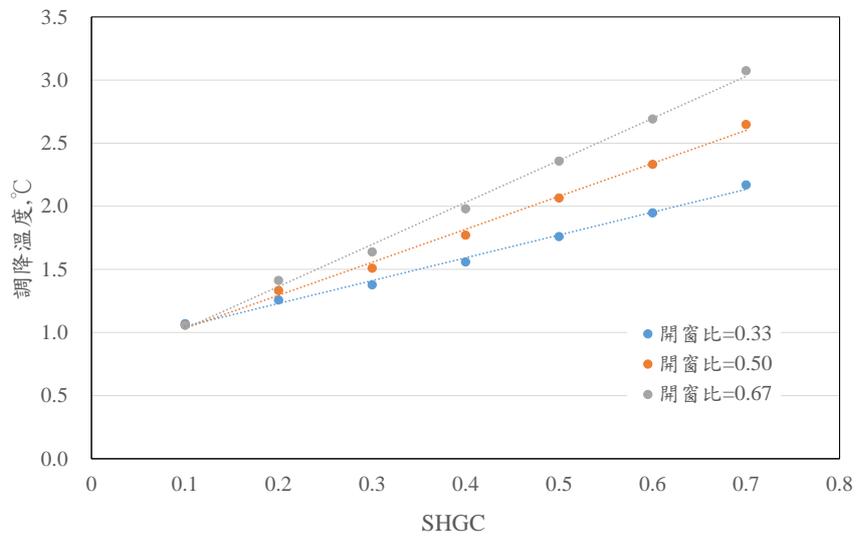


圖5-5 空調季節的平均調降溫度和玻璃SHGC的關係

(資料來源:本研究繪製)

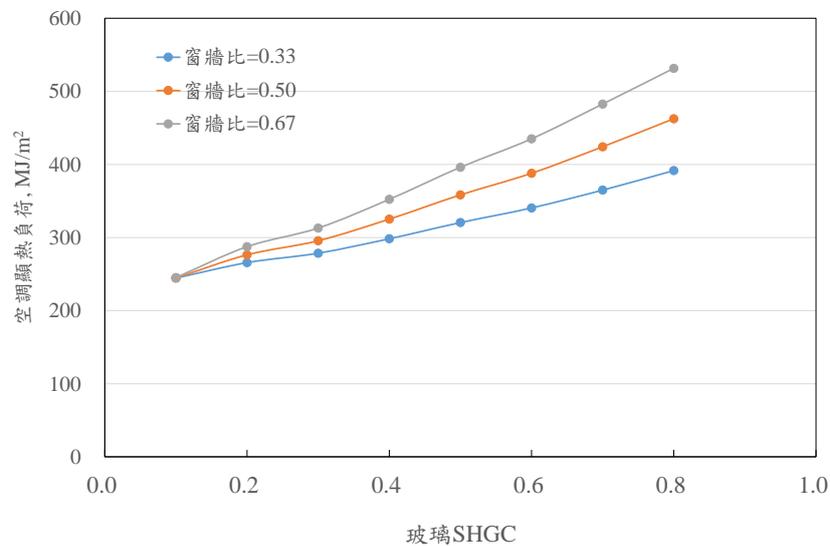


圖5-6 在相同舒適程度下，空調顯熱負荷和SHGC的關係

(資料來源:本研究繪製)

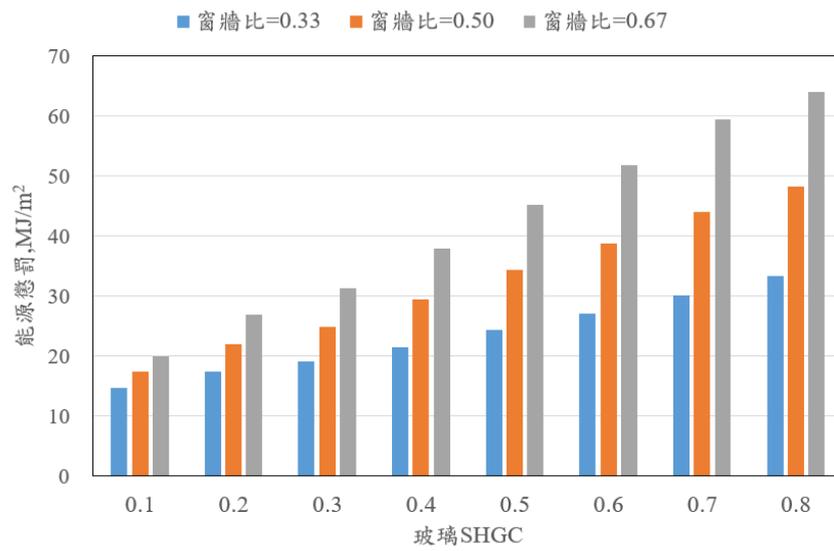


圖5-7 在相同舒適程度下，能源懲罰和SHGC的關係

(資料來源:本研究繪製)



## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究旨在探討不同玻璃應用對空調耗能及室內環境的影響，除了在內政部建築研究所位於台南市歸仁區的實驗屋進行實測實驗外，另外執行了相關的電腦模擬。主要的結論概述如下：

#### (一)實測實驗部分

1. 進行長期實測實驗的 6 間實驗屋於四月下旬完成玻璃改裝、儀器安裝，五月進行必要的歸零實驗與相關調整校正作業後。完成所有的實驗前準備後，開始在 5 月 24 至 8 月 02 日進行實測實驗，蒐集相關數據。
2. 若以單層清玻璃做為比較基準，單層色板、單層變色、雙層色板、雙層反射和雙層低輻射玻璃在實驗分析期間的節能效果分別是 7%、4%、33%、62%和 57%，由此可知，雙層微反射玻璃與雙層低輻射玻璃節能效果最佳，前項數據是在未修正室溫誤差後的原始實驗結果，但經溫控修正後，可能效果可能會有所不同，特別強調除了玻璃的性質外，實驗屋的溫度控制誤差亦是影響因素之一。
3. 實驗結果顯示 5 間實驗室在臨窗區域幾乎都沒有過熱的問題。比較值得一提的是，這 5 間實驗屋的 PMV 最低值分別是 -0.69、-0.87、-0.75、-0.87 和 -0.74，剛剛好在可接受下限  $PMV = -0.75$  左右除了裝設透明玻璃外，其他 5 間的實驗屋都低於 -0.75 的下限值。這也再次證明除了單層透明玻璃外，其他實驗屋的冷氣溫度可以再調高，節省能耗。
4. 在 PPD 部分，最高達 57%，實驗觀察期間 PPD 是介於 52%-12%，剩下的 1/4 時間其  $PPD < 12\%$ 。概括地說，在裝設單層透明玻璃的實驗屋 PPD 幾乎 3/4 的實驗觀察時間其數值是超過可接受上限 20%，而且其對應的 PMV 也都是超過 +1.0。

(二)電腦模擬部分

5. 選用辦公能耗分析的典型辦公室平面作為建築模型，藉助建築能耗模擬軟體 EnergyPlus，對裝設不同 SHGC 的玻璃的建築模型進行模擬，分析在維持相同室內溫度以及相同室內舒適度下，SHGC 對空調能耗和室內舒適度的影響。
6. 當使用 SHGC 較低的玻璃時，窗面積的變化對空調顯熱負荷、過熱時數以及過熱嚴重度的變化範圍的差異也相對的縮小；反之，當使用 SHGC 較高的玻璃時，窗面積的變化對空調顯熱負荷、過熱時數以及過熱嚴重度的變化範圍的差異也相對的擴大。以 SHGC=0.1 為例，當窗面積比由 0.33 擴大到 0.67 時，空調顯熱負荷的變動範圍相差  $4.5 \text{ MJ/m}^2$ ，過熱嚴重度相差  $227^\circ\text{C}\cdot\text{h}$ ；當使用 SHGC=0.8 的玻璃時，空調顯熱負荷相差範圍從  $4.5 \text{ MJ/m}^2$  擴大到  $109.1 \text{ MJ/m}^2$ ，過熱嚴重度從相差  $30^\circ\text{C}\cdot\text{h}$  擴大到  $2920^\circ\text{C}\cdot\text{h}$ 。
7. 建築能耗的變化趨勢整體呈線性關係，在相同的開窗比下，即使是不同的 SHGC，空調顯熱負荷隨室內設定溫度變化的斜率幾乎是相同的。當開窗比=0.33 時，其斜率為  $-14.1 \text{ MJ/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ 。這表示設定溫度每調降  $1^\circ\text{C}$ ，對模型建築而言，每單位平方米的樓板面積在 4 月到 11 月的空調季節將會增加  $14.1 \text{ MJ}$  的空調顯熱負荷。當開窗比=0.50 時，其斜率為  $-16.9 \text{ MJ/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ；開窗比=0.67 時，其斜率為  $-19.5 \text{ MJ/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ 。隨著開窗比愈大，斜率也愈大，這表示當開窗越大，調低室內設定溫度將導致更多的冷氣能耗。空調設計溫度較低時，建築能耗相對較高，但不舒適時間相對較短。
8. 為了維持室內在相同的舒適程度，因為選用不同的玻璃所增加的空調顯熱負荷。空調顯熱負荷來源是因為選用不佳的玻璃，導致室內平均輻射溫度上升，進而造成不舒適度上升。而這種不舒適必須藉由降低室內空調溫度來彌補，進而導致更多的空調耗能，稱作能源懲罰。隨著 SHGC 增加，能源懲罰基本上呈線性增加的趨勢。

## 第二節 建議

根據研究發現，本研究提出下列具體建議：

### 建議一

本研究之成果具推廣之效益，建議於相關講習會或成果發表會納入玻璃節能之相關議題，加強相關宣導：立即可行之建議。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

熱性能不佳的玻璃會引進較多的太陽輻射，研究結果發現熱輻射除了增加建築的空調能耗外，也會造成室內熱舒適性的降低，為了提高室內熱舒適性，必須調降室內溫度來做為弭補措施，又間接造成能源消耗。本研究已針對六種不同玻璃進行了分析與探討，此一結果可作為國人選購玻璃時之參考，建議進行相關宣導推廣。

### 建議二

建議綠建材標章系統針對非傳統之玻璃，例如貼膜玻璃、光致變色玻璃及電致變色玻璃等，研議是否納入既有基準進行評定，

或必要時訂定評定基準：中長期建議

主辦機關：財團法人台灣建築中心

協辦機關：內政部建築研究所

現行綠建材標章制度已有節能玻璃之基準，並針對玻璃之可見光穿透率、可見光反射率及遮蔽係數進行規範，惟申請之玻璃絕大多數為複層低輻射玻璃，至於貼膜玻璃、光致變色玻璃及電致變色玻璃等，是否可納入評定範圍或是否適用目前基準，並無明確規定，建議於綠建材標章相關會議中進行研議，俾利將更多類型之玻璃材料納入綠建材標章系統中。



附錄一 委託研究計畫案審查意見及廠商回應一覽表

項次	審查意見	廠商回應
1.	本所實驗屋今年預定有 2 個委辦案要進行實驗，如果得標請協調實驗時程及實驗設備等相關事宜，以利研究順利執行。	本研究團隊得標後會與另一家得標廠商協調工期與實驗配置。
2.	本研究應將產官學及國內外之資料彙整，請補足國內外現有研究之內容，以突顯本研究之重要性。	謝謝委員，本研究團隊將針對相關文獻再作補充
3.	研究內容具體，惟選材(樣品)是否以國內為主，以建立我國資料庫，請補充說明。	選材是以國內可購得的玻璃為主。
4.	建築應用上，玻璃四周之擋風、隔音條之密合尤其重要，期望能說明以利推廣到建築業界。	窗框連同玻璃形成的熱橋會一起作探討，但膠條的部分礙於時間與成本的因素，並不列入考量。
5.	聯合大學與台大合作之工作項目及人力配置請補充說明。	兩研究團隊過去多次合作，對於儀器與人力能夠相互支援。
6.	應注意實驗屋第 1 間及第 6 間的外牆條件與其他 4 間不同之影響，以防造成誤差。	實驗屋的其他牆均會加上隔熱層，此外，在實驗之前會進行歸零實驗，以確定每個實驗屋的條件一致。
7.	建議本研究提出廣泛性之原則，以利於法規制定或實務應用。	謝謝委員意見，本團隊將提出廣泛性之原則。
8.	本研究為實測性質，具實務性，未來將提供設計者參考，建議先探討建築技術規則、CNS 對玻璃之要求，在說明玻璃對室內光熱舒適性等。	玻璃的選擇希望涵蓋市面上 U 值、SHGC 和 VT 的分布，使其具有完整性，另外非本次實測之玻璃數據可由內插法得知。
9.	預期成果要求 5 種節能玻璃，請說明計畫書選擇之 6 種玻璃是否達到本研究之目的?選擇之優先順序為何。	本研究會在有實驗數據的佐證下再作相關說明。

## 附錄二 委託研究計畫案期中審查意見回應一覽表

委員	審查意見	廠商回應
陳旻儀	記錄數據目前僅夏季，期於期末時以較完整實驗數據呈現。	一定於期末報告呈現完整的實驗結果
周鼎金	1.P49.圖 4-7 二個 PPD 曲線，補充說明。 2.P41.表 4-1 日照單位 KWH/m，是有誤，請檢討。 3.照度量測，涉及照度之變動與因子，測量方法與預期成果會整，建議在檢討。	1. 圖表錯誤與疏漏處在期末報告中改正。 2. 謝謝委員提醒，會在期末報告遵照委員建議的意見從事相關討論。
張鉅墉	1.六座實驗屋間距都很小，顯然頭尾兩棟是距離間距較大，外部環境條件並不一致，是否有要做調整與修正。雖然六座實驗屋都裝設同一規格型號的變頻分離式冷氣，但不代表每一台設備的效率是一致的，有沒有需要針對此點作校正或是修正？ 2.P10 所列的夾層玻璃，一般業界慣用名稱，使用膠合玻璃，是否用此名稱較易懂？ 3.P12 第一段最後貼膜玻璃文字錯誤，請修正。 4.本計畫和屋頂隔熱對策使用同一批實驗屋同時進行是否會干擾所得數據的可靠度。	1.貨櫃屋裡貼附 2 英吋的 PE 隔熱材料的目的是在於隔絕外部條件的影響。同時透過歸零實驗的驗證後，頭尾兩間實驗室和其他 4 間實驗室並未發現不一致現象。 2. 用語與繕打錯誤部分會在期末報告一併改正。 3.本計畫與屋頂隔熱對策計畫在時間上有錯開。7/31 前由本計畫進行實驗，8/1 以後交由另依計畫進行實驗。
黃秀莊	目前節能玻璃之研究與開發，據說有玻璃科技業者，已開發能由玻璃對外氣候的接觸感應來控制玻璃本身的節能，亦能借由對氣候的感應能控制兩邊的開啟，來達到遮陽節能效果。	謝謝委員提供資料，本團隊將蒐集相關資料。
李有田	無	

## 附錄三 委託研究計畫案期末審查意見回應一覽表

委員	審查意見	廠商回應
黃克修	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 圖表標示之數據單位請補充完成 (P.10, 之透光率%)</li> <li>2. P.20, 公式(2-7), <math>SHGC = \tau + N_i \cdot \alpha</math>, <math>\alpha</math> 代表意義?</li> <li>3. P.22, <math>T_{out}=25</math>, 夏季溫度應高於此數據。</li> <li>4. P.110, 調降空調溫度代表的就是空調顯熱負荷增加。(調降空調出風溫度或室內設定溫度)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員指正, 所有疏漏之處將在成果報告書中改正。</li> <li>2. 謝謝委員指正, 所有疏漏之處將在成果報告書中改正。</li> <li>3. 謝謝委員指正, 將查閱相關標準釐清。</li> <li>4. 調降空調溫度代表調降室內溫度, 成果報告書中會更詳細說明, 以免造成誤解。</li> </ol>
陳匯中	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在本案實驗場地有 6 只實驗屋 1 到 6 號屋之間間距只有 30cm, 但 1 號與 6 號屋在未有鄰屋的一側有無日照或是環境的影像?</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1 號實驗屋之南方, 鄰屋有主控室, 可以產生遮陰, 因此沒有日照的問題, 6 號實驗屋的北方, 本就沒有日照的問題, 謝謝委員提醒。</li> </ol>
黃秀莊	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. 目前已有業者開發出能主動感知外在氣候條件之玻璃, 建議蒐集相關資訊納入研究報告。</li> <li>3. 本研究案主要目的是玻璃能源消耗, 舒適度之研究是否有結論, 提供業者製造玻璃之參考及建築業者對玻璃之選擇。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. 謝謝委員提供資料, 目前市面上可主動感知外在氣候的玻璃大致上可分為光致變色與熱致變色玻璃, 本案實測的光致變色玻璃為其中一種。</li> <li>3. 謝謝委員建議。</li> </ol>
李有田	<p>本研究僅量測大約 3 個月時間, 且只針對夏天氣候進行分析評估, 量測時間似乎過短, 且未考慮到冬天之狀況。</p>	<p>礙於另一個研究案之實驗平台也是實驗屋, 該案從 8/1 開始實驗, 故本案僅能在 5~7 月進行實驗。</p>
李魁鵬	<p>本研究採用之雙層色玻和雙層 Low-E 玻璃 U 值一樣, SHGC 僅相差 0.02, 耗電差異達到 0.66 度; 然而, 單層透明玻璃和單層色板玻璃之 U 值一樣, SHGC 僅相差 0.33, 但耗電量確僅差 0.18 度, 請說明其原因。</p>	<p>實驗的變因除了玻璃光學性能外, 實驗屋的空調溫度控制誤差亦是一項重要變因, 從實驗數據可以看出, 各間實驗屋的平均室溫存在 -0.5~+0.5 誤差溫度, 表中的數據係實驗呈現實驗結果, 未做室內溫度誤差造成的耗電差異修正。</p>

玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

委員	審查意見	廠商回應
陳伯勳 組長	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書格式與本部規定之格式不同，請依照規定之格式修正</li> <li>2. 在玻璃貼上隔熱膜後的節能效益，是否接近 Low-E 玻璃?建請納入成果報告中補充比較說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員建議，將依照規定之格式修正。</li> <li>2. 評斷貼膜與 Low-E 玻璃的節能性能，主要看 U 值，SHGC 和可見光穿透率，若三者數據相近，其節能效果自然相近，亦可透過本研究案第二章介紹的軟體 Window5 評估比較。</li> </ol>
主席	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究進行了 6 種玻璃在節能成效的比較，惟為提高參考價值，應針對不同玻璃的售價進行調查，以利比較其 CP 值。</li> <li>2. 玻璃的節能成效和晝光利用不應分開個別比較，理想玻璃應是既可節能又兼顧晝光利用，建議針對玻璃各項性能進行整體性之比較與建議。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案重點在於各種玻璃的實測，致於經濟效益的相關評估不在研究範圍，謝謝委員建議，亦可列在後續研究項目。</li> <li>2. 建築外周區，尤其是臨牆區域，因為直達陽光的照射，基本上光線會太強，造成眩光，實測數據亦顯如此，故本研究及國外一些文獻的重點在於探討太強的日照造成的光污染，若要結合晝光利用，必須有另外的遮光遮陽裝置，阻擋掉直達光，這又超出本研究案的範圍，建議可列為後續研究項目。</li> </ol>

## 參考書目

- [1] 李寧, 建築玻璃塗料研究, 華南理工大學博士論文, 2010
- [2] Benney J, Evolution in Fenestration Energy Ratings, Construction Specifier, 2005, 58(11):38~43
- [3] 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
- [4] P.R. Lyons, Window performance for human thermal comfort, ASHRAE Transactions (2000) 594–602
- [5] Maria La Gennusa, Antonino Nucara, Gianfranco Rizzo, Gianluca Scaccianoce, The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation—a generalized algorithm, Building and Environment 40 (2005) 367–375
- [6] Arens, E., Gonzalez, R., and Berglund, L. 1986, Thermal comfort under an extended range of environmental conditions, ASHRAE Transactions 92 (1)
- [7] 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
- [8] S. Chaiyapinunt, B. Phueakphongsuriya, K. Mongkornsaksit, N. Khomporn, Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission, Energy and Buildings(2005) 37:725–738
- [9] N. Khamporn, S. Chaiyapinunt, An Investigation on the Human Thermal Comfort from a Glass Window, ENGINEERING JOURNAL (2014) 18(1):25-43
- [10] M. C. Singh, S. N. Garg, and R. Jha, “Different glazing systems and their impact on human thermal comfort—Indian scenario,” Building and Environment(2008), 43:1596-1602

- [11] J. Yao, N. Zhu, Evaluation of indoor thermal environmental, energy and daylighting performance of thermotropic windows, *Build. Environ.*, 49 (2012), pp. 283–290
- [12] C.E. Ochoa, M.B.C. Aries, E.J. van Loenen, J.L.M. Hensen, Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort, *Appl. Energy*, 95 (2012), pp. 238–245
- [13] Francesca Cappelletti, Alessandro Prada, Piercarlo Romagnoni, Andrea Gasparella, Passive performance of glazed components in heating and cooling of an open-space office under controlled indoor thermal comfort, *Building and Environment*, 72 (2014):131–144
- [14] 陳瑞玲,黃瑞隆,玻璃帷幕牆建築室內舒適性改善之研究內政部建築研究所,民國92年12月
- [15] 黃瑞隆,陳瑞鈴,林暉舜,洪于人,建築開窗率與窗簾對室內環境熱舒適性之影響,冷凍與空調,31期 (2005):64 - 73
- [16] 周雪飛玻璃幕牆建築夏季室內熱環境分析哈爾濱工業大學學報(自然科學版) 2004 (06):50-257
- [17] 楊鵬翔,丁勇,重慶地區不同玻璃對辦公建築空調能耗的影響研究
- [18] 楊慧媛,高甫生,玻璃類型對玻璃幕牆建築室內熱環境的影響分析,暖通空調, 2005年第10期
- [19] 楚洪亮等,Low-E和普通中空玻璃窗與室內光熱環境相關性研究,山東大學學報(工學版),2008,38(6):65-69
- [20] 狄育慧等,玻璃幕牆對室內熱環境與能耗的影響,西安工程大學學報2014年第125
- [21] 杜峰,孟慶林,玻璃幕牆建築的室內光污染和熱環境研究,華南理工大學建築學院,2011年第27卷第2期
- [22] 宋冰等,辦公建築中落地窗對人體熱舒適及建築能耗產生的影響,西安建築科技大學建築學院,710055,西安
- [23] 王嬌,雙層皮玻璃幕牆夏季對室內熱環境影響的研究,河北工業大學碩士論文,

2011

- [24] 王本娟，玻璃表皮建築熱環境現況分析節能改造措施研究，山東建築大學碩士論文，2007
- [25] 李崢嶸、句俊玲，電致變色玻璃對辦公建築室內光熱環境的控制，建築節能，2016年第2期(總第44卷第300期) 68-71





玻璃性能對室內光、熱環境和節能效果影響之實測研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：黃瑞隆、黃國倉、邱甯琪

出版年月：105 年 12 月

版次：第 1 版

ISBN 978-986-05-0671-6(平裝)