

Low-e 玻璃節能與熱舒適效益

Low-e 玻璃是透過反射紅外線達成隔熱作用，開窗率 40%時，東、南、北向單日節電量 $\leq 1\text{kWh}$ ，西向可達 1.6kWh 。開窗率 100%時，西向節電量可達 $5.9\sim 6.1\text{kWh}$ ，南向 $1.1\sim 2.7\text{kWh}$ ，東、北向皆小於 1kWh ，模擬全年節電量在 $444.4\sim 1561.2\text{kWh}$ 。若為新建建築回收年限為 $11.7\sim 41.3$ 年；若為舊建築改善，因增加窗戶拆換成本，回收年限亦加 1 倍。熱舒適方面，除了西向下午部份時段外，不論是開窗率 40%或 100%使用 Low-e 玻璃皆可令室內維持在舒適範圍內。

一、比較對象

選擇符合國內綠建材基準的 Low-e 玻璃做為實驗對象，並以 SPINLab 既有之 $6\text{mm}+6\text{mm}$ 膠合清玻璃為對照組，兩款玻璃之性能如表 1。Low-e 玻璃綠建材基準為 SC 值 ≤ 0.35 、可見光反射率 ≤ 0.25 、可見光穿透率 ≥ 0.50 。

表 1 Low-e 玻璃性能

檢測項目	6mm+6mm膠合清玻璃	Low-e玻璃(6mm+12mm氬氣+6mm)
1. 可見光穿透率(380nm~780nm)	85.82%	50.00%
2. 可見光反射率(380nm~780nm)	7.44%	16.00%
3. 日光穿透率(300nm~2,500nm)	66.92%	23.00%
4. 日光反射率(300nm~2,500nm)	6.17%	32.00%
5. 日光輻射熱取得率SHGC	0.7386	0.2700
6. 遮蔽係數Sc	0.8490	0.3100
7. 總熱傳係數U (W/m ² -K)	5.534	1.190
8. 總熱穿透量W/m ²	578.77	226.00
9. 光效因子	1.1619	1.8328
10. 表面輻射率	室外側：0.833 室內側：0.837	室外側：0.834 室內側：0.020

資料來源：本研究彙整

二、實驗場域與情境

以台南沙崙亞熱帶綠能建築技術研發測試平台(簡稱 SPINLab)為實驗場域，SPINLab 外觀及室內場景如圖 1，是一個可以視需求調至不同座向之實驗平台。主體建築主要包含兩間實驗室及一間控制室，實驗室分為 A、B 兩室，實驗室長寬高為 5.4×6.6×3.85 m。實驗室空間布置以辦公室情境為主，每室各有乙台冷氣能力 11kW，CSPF 為 5.76 分離式冷氣空調，空調溫度設定 26°C。每室設有四個座位，並以矽膠加熱帶、發熱電熱棒與陶瓷電暖器模擬人體與電腦發熱，發熱量共計 1,000W。



資料來源：本研究拍攝

圖 1 SPINLab 外觀及室內場景

三、不同開窗率對空調耗電及熱舒適影響

Low-e 玻璃在開窗率 40%時空調耗電 4.8~7.3kWh，開窗率 100%時空調耗電為 2.9~8.1kWh。膠合玻璃在開窗率 40%時空調耗電 5.7~8.9kWh，開窗率 100%時空調耗電為 3.4~14.2kWh。圖 2 顯示 Low-e 玻璃在開窗率 40%及 100%不同情境下各向的空調節電量。東向二者節電量無太大差異，在 0.1~0.3kWh；南向以開窗率 100%之節電效果較佳，節電量分別為 5.9~6.1kWh 及 1.1~2.7kWh，開窗率 40%時南向節電 0.4~1.6kWh，南向節電 0.4~0.6kWh；北向在開窗率 100%時節電量為 0.5~0.6kWh，開窗率 40%時因氣候相對較熱且日射量較多，故節電量相對提升，在 0.3~1.0kWh。

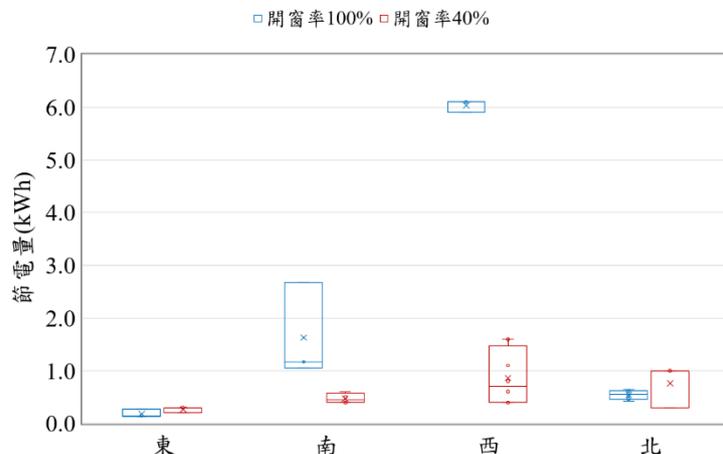
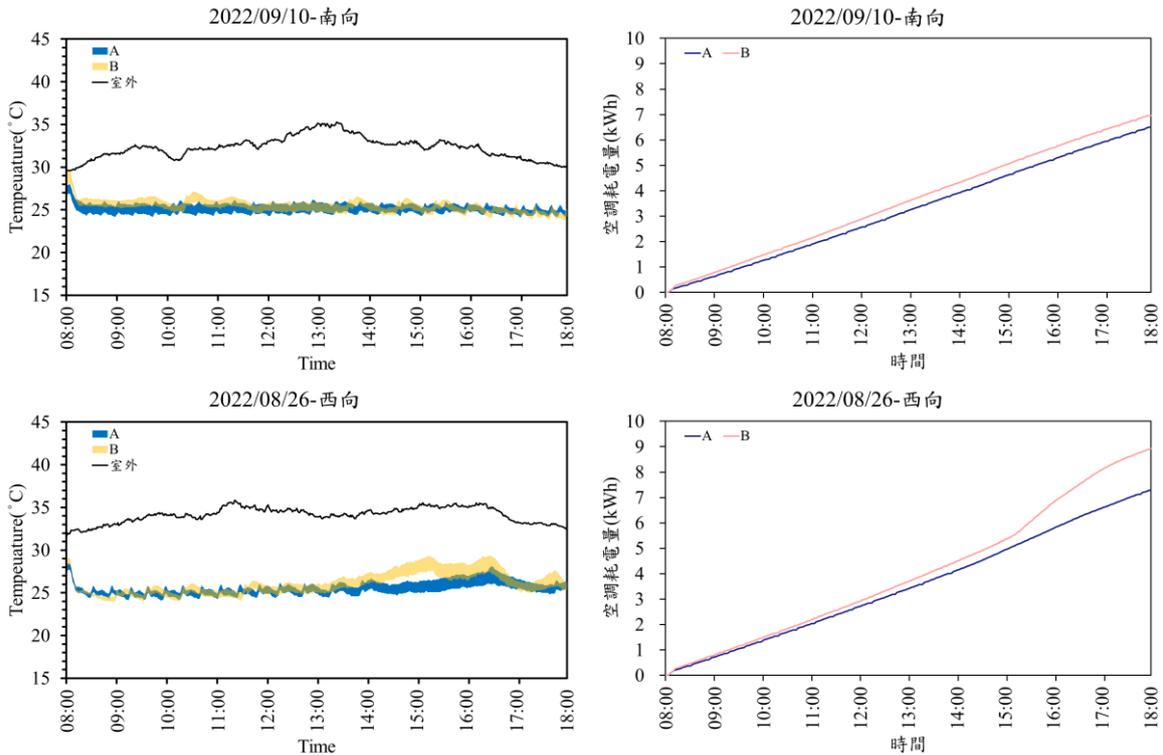


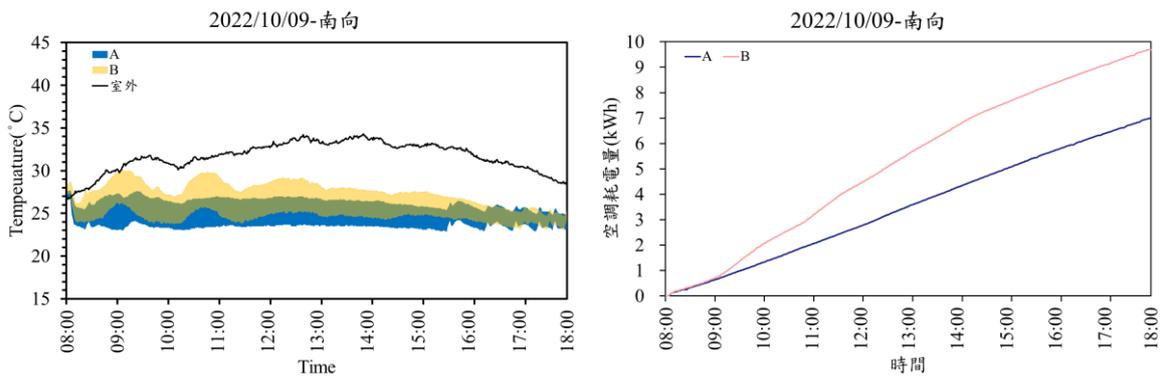
圖 2 Low-e 玻璃開窗率 40%及 100%各向節電量

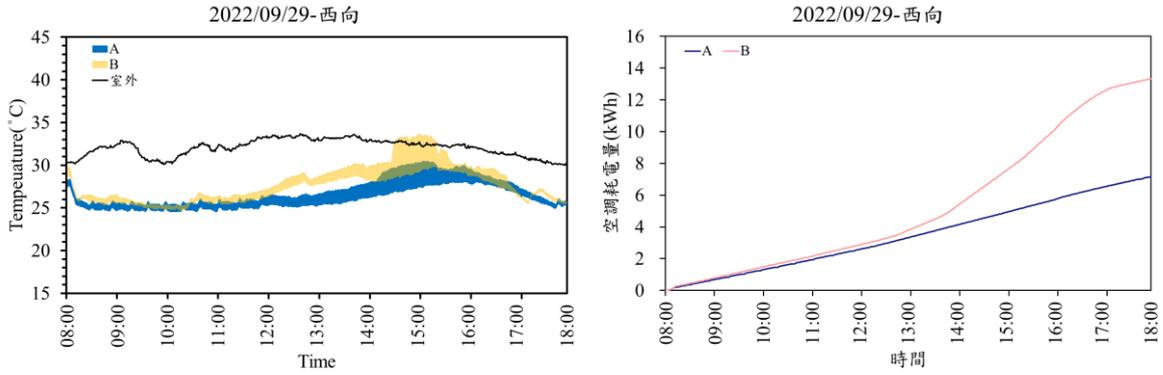
圖 3 及圖 4 另就南向及西向各選一天說明溫度變化與空調耗電關係。西向因下午西曬影響，室內有明顯溫升現象，B 室(膠合玻璃)空調以更低之出風溫度來減緩室內溫度，導致 B 室下午空調耗電急遽增加。在開窗率 100%時，因開窗面積增大導致進入室內的熱負載總量變大，進而使下午空調耗電量增加至 10kWh 以上，但 A 室(Low-e 玻璃)大致可維持在 7~8kWh 與開窗率 40%之耗電差異不大。南向開窗率 100%時因上午天氣較為晴朗，日輻射量偏高，B 室自上午起持續接受大量室外熱負載，其空調耗電亦增加至 7.5~9.7kWh；開窗率 40%時，因時雲時晴且開窗面積相對小，熱負載小，故兩室差異縮小。



資料來源：本計畫繪製

圖 3 開窗率 40%時 Low-e 玻璃南向及西向溫度分佈與耗電量

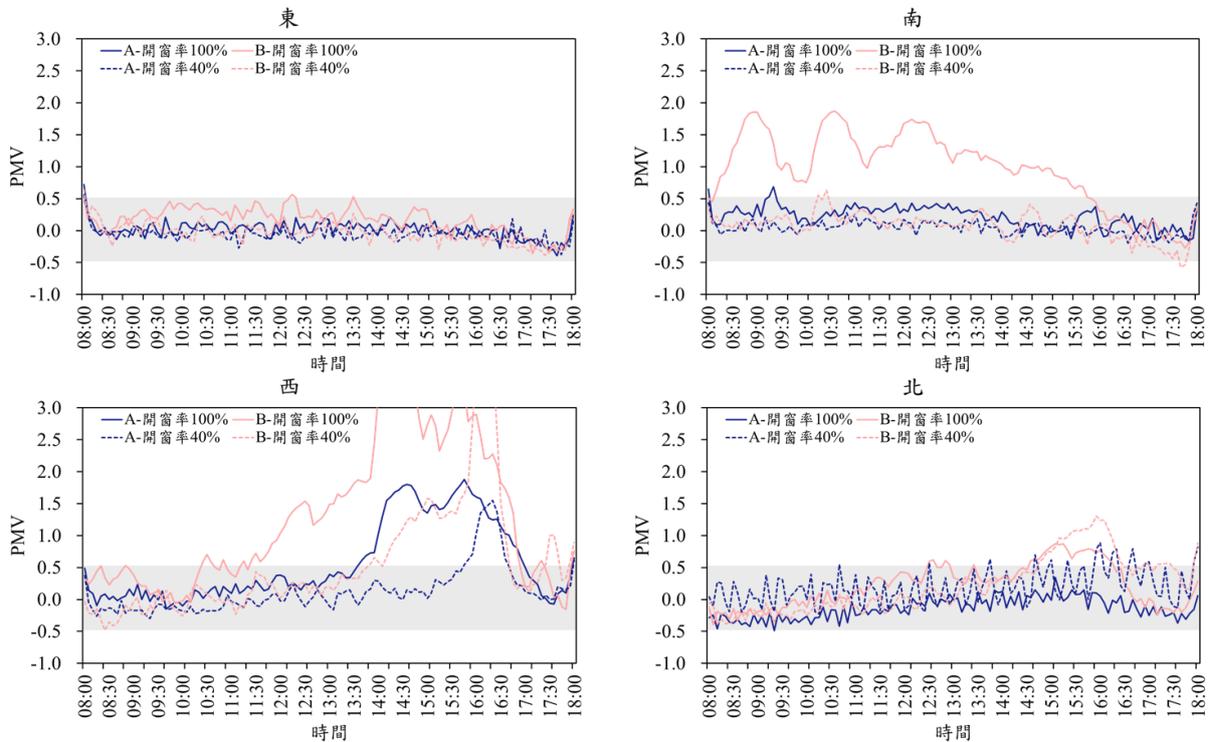




資料來源：本計畫繪製

圖 4 開窗率 100%時 Low-e 玻璃南向及西向溫度分佈與耗電量

室內熱舒適評估採用 PMV(Predicted Mean Vote)/PPD(Predicted Percentage Dissatisfied)靜態模型。熱舒適自-3(冷)到+3(熱)共分成 7 個不同冷熱感，其中-0.5<PMV<+0.5 為舒適區，代表僅 10%的人會感到不滿意。圖 5 顯示窗戶側在開窗率 40%及 100%時之 PMV 變化。東向 B 室因實測當日皆為多雲狀況，全日 PMV 皆在舒適範圍內。南向 B 室膠合玻璃在開窗率 100%時，在 16:00 前 PMV 皆大於 0.5，開窗率為 40%時因通過之輻射量較少，故 PMV 在舒適範圍內。西向膠合玻璃在開窗率 100%時，自上午 11:00 起即超出舒適範圍，開窗率 40%則至下午才超出舒適範圍。北向膠合玻璃 PMV 大致在舒適範圍內，少部份時段因戶外輻射較強有略超過 0.5。A 室 Low-e 玻璃因本身可降低傳入室內之輻射，除了西向下午受直射日光影響有 PMV 超過 0.5 之情況外，其它方向不論開窗率皆在舒適範圍內。



資料來源：本計畫繪製

圖 5 Low-e 玻璃開窗率 40%及 100%各向窗戶側 PMV 變化

由於 SPINLab 窗戶為特製規格，玻璃之拆裝需以整檯窗計之，故僅評估開窗率 100%情況下之回收年限。本次 SPINLab 於 A 室整檯採用之 Low-e 玻璃成本為 55000 元，施工拆換成本為 55000 元。其中玻璃材料成本可視為評估新建建築使用 Low-e 玻璃的成本，玻璃材料加施工拆換之總成本視為舊建築改善時所需成本。

考量實測時段無法代表全年狀況，故利用 EnergyPlus 建築能源模擬軟體模擬全年節電量。確認模擬之 9 月和 10 月單日用電量與實測值無太大差異後，表 2 為模擬全年總電量及回收年限(ROI)。新建建築使用 Low-e 玻璃的 ROI 在 11.7~41.3 年，以西向效益最佳；舊建築改善因增加拆換施工的成本，故 ROI 在 23.5~82.5 年。值得注意的是，SPINLab 的窗戶為特殊規格屬定制品且僅生產一片，預期市面上與本研究性能相近且為大量生產的產品，其成本有可能會更低，ROI 亦會降低。

表 2 模擬全年總節電量及回收年限

座向	實測日均節電量(度)	模擬日均節電量(度) ^{*1}	模擬年總節電量(度)	模擬年總節電費(元) ^{*2}	新建回收年限(ROI)	改善回收年限(ROI)
東	0.2	1.78	589.2	1767.5	31.1	62.2
南	1.6	1.82	694.8	2084.4	26.4	52.8
西	6.0	6.00	1561.2	4683.6	11.7	23.5
北	0.5	1.47	444.4	1333.3	41.3	82.5

*1：與實測同月份相比
*2：每度電以 3 元計

資料來源：本計畫彙整

四、結論

1. 開窗率愈大，空調耗電愈高，使用 Low-e 玻璃單日耗電可控制在 8.1kWh 以下。節電效果以西向最佳、南向次之。
2. 除了西向下午部份時段外，不論是開窗率 40%或 100%使用 Low-e 玻璃皆可令室內維持在舒適範圍內。西向下午雖然無法控制在舒適範圍內，但仍有減少熱不舒適程度之功效。
3. 開窗率 100%情況下模擬全年節電量在 444.4~1561.2kWh。若為新建建築回收年限為 11.7~41.3 年；若為舊建築改善，因增加窗戶拆換成本，回收年限亦加 1 倍。建議在西向開窗率 100%情況下，應優先選用 Low-e 玻璃。考量 SPINLab 的窗戶為特殊規格且僅生產一片，預期市面上量產型的產品，不排除成本有可能會更低。