

## 第二章 實驗方法與評估標準

### 第一節 實驗室之規劃

本研究的實驗室之搭設地點選擇在台南縣歸仁鄉之內政部建築研究所環境控制組之中庭，如圖 2-1 所示，該中庭屬於玻璃帷幕牆建築，其玻璃帷幕牆為挑高 7m 之全玻璃帷幕，所用的玻璃為 8mm 的綠色強化玻璃。本研究選擇該中庭的西北角，規劃出兩間長 4.5m，寬 5m，高 3.0m 全尺度且玻璃帷幕牆朝向正西的全開窗實驗室，如圖 2-2~2-4 所示。其中一間作為實驗組，一間作為對照組，如圖 2-5 所示。

因本研究主題為針對玻璃帷幕牆建築辦公大樓，以開窗率與使用窗簾對於室內環境熱舒適的改善效果。為使所搭設之實驗室之室內環境條件與一般辦公大樓相同，所以特別在實驗室周圍與三公尺高度的地方利用厚度 5cm 之保麗龍版為隔熱材質，將實驗室規劃為與一般辦公場所相同之空間，藉以模擬辦公室之空間與環境條件，並於實驗室離地 2.1 公尺處裝設移動式窗型冷氣機，提供模擬一般辦公室所需的冷氣空調，將室內溫度控制在  $24\sim 26^{\circ}\text{C}$ <sup>[E-5][E-6][E-7]</sup>、 $40\sim 60\%RH$ 、風速為  $0.2\sim 0.3\text{ m/s}$ <sup>[E-8]</sup> 之舒適範圍內，如圖 2-6 所示。

實驗進行時，除以室內氣候分析器測量其室內熱環境的各種環境參數外，亦同時紀錄該移動式冷氣機的耗電量，因此透過實測實驗除可以了解窗簾對辦公室熱環境的改善外，也可了解各改善方式對空調耗電量的影響<sup>[E-9]</sup>。



圖 2-1 內政部建築研究所性能實驗群中庭側面



圖 2-2 完工後的實驗室外觀



圖 2-3 完工後的實驗室內部



圖 2-4 完工後的實驗室玻璃面



圖 2-5 實驗場所平面圖

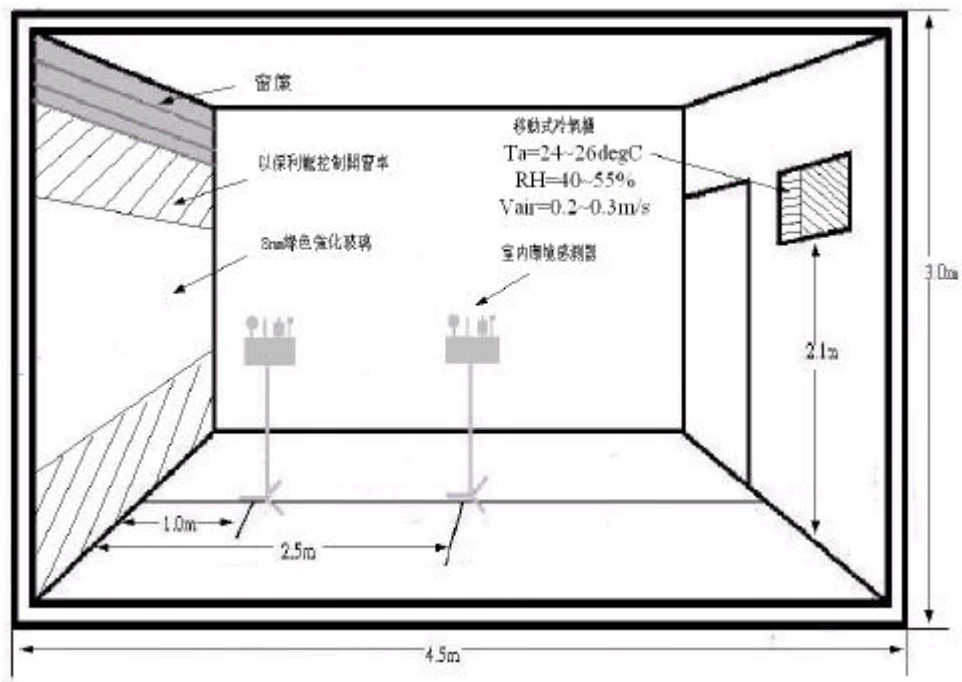


圖 2-6 實驗室配置圖

## 第二節 儀器與設備

本研究以室內氣候分析器所收集之環境參數包含：外氣溫度、玻璃表面溫度、輻射溫度、乾球溫度、溼度、室內風速等，如圖 2-7 所示。實驗時，對照組固定保持原設計的全面玻璃帷幕牆，而實驗組則依序改變不同的改善方式，再分別以實驗組及對照組所量測得之環境參數進行比對分析。

於實驗中，並將室內熱環境區分為距窗 1m 受直接日照之臨窗區與距窗 2.5m 無直接日照之非臨窗區，分別以黑球量測其輻射溫度，如圖 2-8 所示。對於節能方面，則以瓦時計進行耗電量之量測，如圖 2-9 所示。

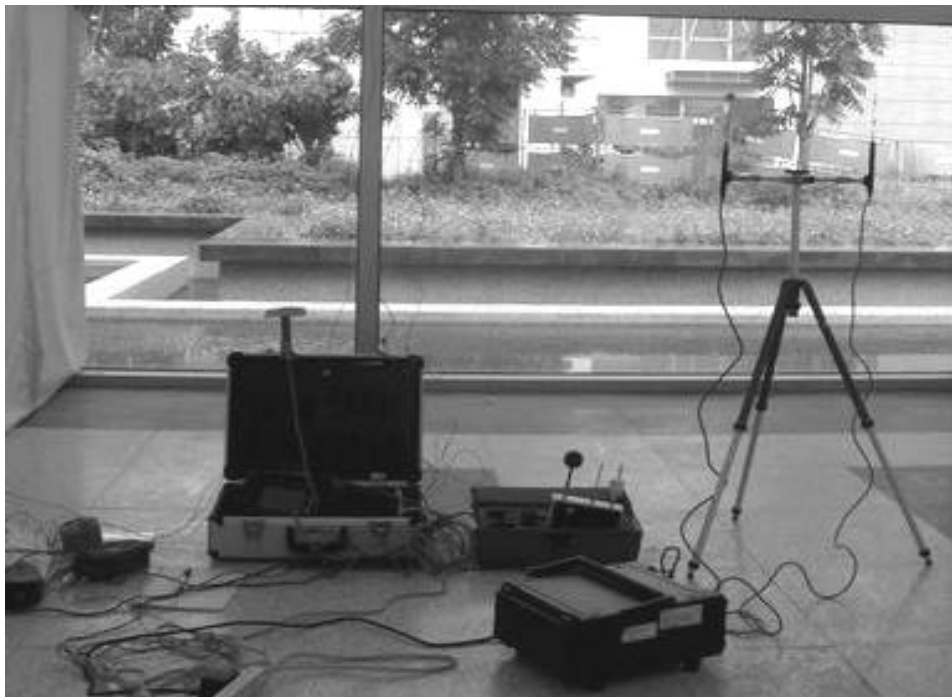


圖 2-7 以室內氣候分析儀於現場量測



圖 2-8 臨窗區與非臨窗區之輻射溫度量測



圖 2-9 紀錄耗電量之瓦時計

對於有關於測量室內熱環境的各種環境參數：溫度、溼度、風速及平均輻射溫度所需的儀器設備標準，在 ISO 7726<sup>[E-10]</sup> 都有明確的規定。其要求節錄於表 2-1 中。

表 2-1 ISO 7726 測量室內環境熱舒適參數所需儀器設備標準<sup>[E-10]</sup>

參數	測定範圍	準確度	反應時間 (90%) <sup>a</sup>
氣溫	5-40°C (39-104°F)	±0.2°C / (±0.4°F) 準確度在 tr-ta 10 °C (± 18°F) 時是有效 的	必需及時回應 <sup>b</sup>
表面溫度	0-50°C (32-122°F)	±0.5°C / (±1°F)	必需及時回應
平均輻射溫度	5-40°C (39-104°F)	準確度需求: ±0.2°C (±0.4°F) 這一個準確度以 當今的儀器是難 以達到其要求	反應時間將因測量 (黑球 或 IR) 的方法而不同, 但應 該在 10 分鐘以內
空氣速率	0.05-0.5 m/s (10-100 f pm)	±0.05 m/s (±0 fpm) / ± 0.05 m/ s (±10 fpm)	反應時間為 10 秒 <sup>c</sup>
露點體溫	1-26°C (34-79°F )	±0.5°C / (±1°F)	反應時間將因測量 (直接 測量或從 RH 或濕球的測 量) 的方法而不同, 但應該 在 10 分鐘以內
不對稱輻射溫度	0-20°C (0-36°F)	±1°C / (±2°F)	反應時間在一分鐘或一分 鐘以下

a 達到 90% 最後數值的時間與階段變化相當於 2.3 次的時間常數。

b 為間隔不變的測量，反應時間必需表現最小的隨時變動，但是夠快速的正確地測量峰值到峰值間的變化。

c 對氣流或不穩定的空氣之評估其反應時間需要在 0.2 秒的等級以上，一個平均值的平均週期最少要超過三分鐘。

### 第三節 實驗流程

本研究對於室內環境熱舒適進行兩大類改善實驗，第一類為使用空調的辦公室環境下，窗戶的開窗率對室內環境熱舒適度的影響，其中在開窗率之控制上，是以厚度 5cm 之保利龍板進行開窗面積之控制，如圖 2-10 所示；第二類為全開窗時使用空調的辦公室環境下，窗簾的使用對室內環境熱舒適度的影響，所使用的窗簾分別為亞麻布百葉窗簾、厚布窗簾、紗質窗簾，如圖 2-11~2-13 所示。研究中，於實驗室搭設前與搭設後，先對室內環境與比對實驗之實驗室進行基礎資料收集，以校正實驗時所可能產生之誤差。實驗時，對照組固定保持原設計的全面玻璃帷幕牆，而實驗組則依序改變不同的改善方式，再分別以實驗組及對照組所量測得之環境參數進行比對分析。

實驗進行期間為七月至九月的夏季季節，每週更換一種實驗模式，實驗流程如圖 2-14 所示。雖然每一模式至少進行一週的實驗，但因本研究重點著重於觀察各種改善方式，對於其藉由阻斷太陽輻射熱進入室內之效率，而對室內環境熱舒適所造成之影響，因此當實驗進行期間，若遇到多雲或下雨等日照情況不理想的天氣，則該日實驗結果不採用。為了兼顧實驗進度與數據的可信度，扣除無法使用的實驗數據，每一改善方式必需至少有兩天以上的有效數據以供比對分析。由於本研究所搭設實驗室之玻璃帷幕牆面朝向正西，只有在中午過後才會受到直接日照，但為求得較穩定之儀器測定值，因此實驗從早上十點開始進行環境參數測量，但分析時只採用中午過後的數據進行比對分析。





圖 2-10 以保利龍控制開窗率



圖 2-11 亞麻布百葉窗簾



圖 2-12 紗質窗簾



圖 2-13 厚布布簾

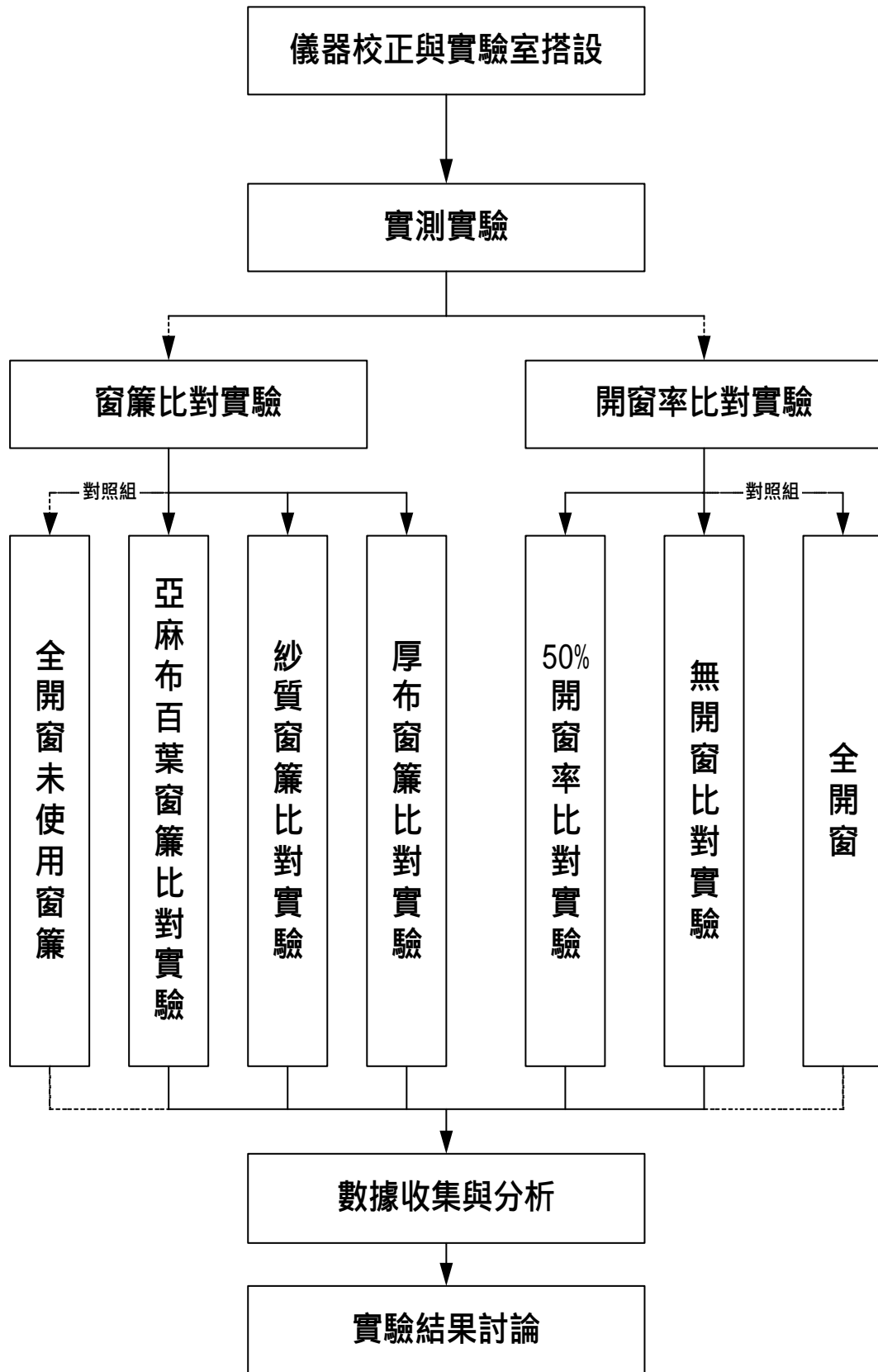


圖 2-14 實驗流程

## 第四節 評估指標

本研究同時採用二種評估指標來評估室內環境熱舒適，在評估改善效果中室內環境熱舒適品質方面，本研究以 PMV 舒適度指標進行室內環境熱舒適之評估，以改善後之室內環境熱舒適是否在標準所規定之舒適範圍，來評定該改善方式的實際效果；在評估改善日照所造成之影響方面，本研究以作業溫度為評估指標進行室內環境熱舒適之評估，以改善後之室內熱環境之作業溫度在比對後，各改善方式所能降低作業溫度之幅度，來評定該改善方式對於室內環境之影響程度。

關於人體暴露於中性 (moderated) 及極端 (extreme) 熱環境下的舒適標準，國際標準組織 (International Organization for Standards, ISO) 有一系列的測量及評估標準。其中 ISO 7730 : Moderate thermal environments- Determination of PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort 和 ISO 7726 : Instruments and methods for measuring for measuring physical quantities 是用於規範一般室內熱環境的條件與測量標準。

根據 ISO 7730 的定義，熱環境上的舒適為「當人的下意識對所處之熱環境表示滿意時的狀況」。人體對熱環境感到滿意的基本條件是人體與環境保持熱平衡。而人體與環境的熱平衡則受人體的活動量 (activity) 與衣著量，以及環境的參數：溫度、平均輻射溫度 (mean radiation temperature, MRT)、風速和溼度的影響<sup>[E-11][E-12]</sup>。若是能測得室內環境中的各項參數，則可根據 ISO 7730 計算出用來表示室內熱環境舒適度的 PMV 與 PPD 指標，如圖 2-15 所示。

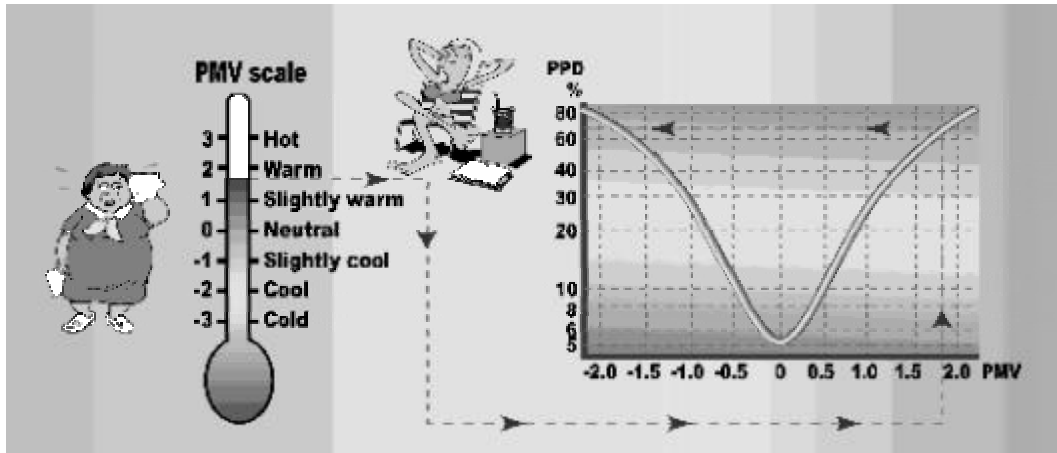


圖 2-15 PMV、PPD 與熱感尺度間之關係示意圖<sup>[E-3]</sup>

PMV 指標是建立在人體保持熱平衡的條件下。當人體保持熱平衡則體內的新陳代謝熱會與人體的散熱量保持平衡。在一般熱環境中，人體主要是靠皮膚及呼吸來調整體內溫度，來保持熱平衡。根據 Fanger<sup>[E-13]</sup> 對 1,300 個受測者的實驗結果，PMV 的計算公式為

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303e^{-0.036M} + 0.028)\{M - W\} - 3.05 \times 10^{-3} \\
 & [5733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42[(M - W) - 58.15] \\
 & 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \\
 & \times 10^{-8} f_{cl} [t_{cl} + 273]^4 - (t_r + 273)^4 + f_{cl} h_c (t_{cl} \pm t_a) \}
 \end{aligned} \quad (2-1)$$

其中

$$\begin{aligned}
 t_{cl} = & 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \{ (3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\
 & [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \} \\
 h_c = & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \text{ or } h_c = 12.1v^{0.5} \\
 f_{cl} = & 1.00 + 1.29I_{cl} \text{ for } I_{cl} < 0 \leq 0.078 \text{ m}^2 \text{ kW}^{-1} \\
 \text{or } f_{cl} = & 1.05 + 0.645I_{cl} \text{ for } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \text{ kW}^{-1}
 \end{aligned} \quad (2-2)$$

ISO 7730 亦建議公式(2-1)的適用範圍為

$$-2 < PMV < 2$$

$$M = 46 \text{ W/m}^2 \text{ to } 232 \text{ W/m}^2 \text{ (0.8 met to 4 met)}$$

$$|I_{cl}| = 0 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W to } 0.310 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W (0 clo to 2 clo)}$$

$$t_a = 10^\circ\text{C to } 30^\circ\text{C}$$

$t_r=10^{\circ}\text{C}$  to  $40^{\circ}\text{C}$

$v_{ar}=0$  m/s to 1 m/s

$p_a=0$  pa to 2,700 pa

RH=30% to 70%

PMV 指標是預測一群人的平均反應，但是每個人的感覺雖然在這平均值附近，但卻是不相同，所以有需要去了解有多少人對環境感到不滿意。PPD 指標(Predicted Percentage of Dissatisfied Index)就是一種用來量化七種溫感指標下，對熱環境感到不滿意人數的指標。PMV 與 PPD 間的關係是為

$$PPD = 100.0 - 95e^{-n} \quad (2-3)$$
$$n = 0.035353PMV^4 + 0.2179PMV^2$$

ISO 7730 所推薦的舒適範圍為  $-0.5 < PMV < 0.5$ ，也就是讓 90%以上的室內居住者對其所處的熱環境感到滿意。

在本研究中計算 PMV 值時，對於乾球溫度、輻射溫度、溼度、風速為實測值外，對於人體的衣著量則採用 ISO 7730 標準中對於典型夏季氣候之穿著與一般辦公坐椅之 clo 值<sup>[E-14]</sup>，其 clo 值合計為 0.59，對於人體的活動量則以坐姿之一般辦公作業人員活動量進行評估，其 met 值為 1.2

在本研究中以作業溫度評估室內熱環境舒適度的影響之幅度，ASHRAE Standard 55 用於評估室內熱環境舒適度的作業溫度(operative temperature)介紹如下：

$$T_o = A \cdot T_a + (1-A) \cdot T_r \quad (2-4)$$

$T_o$ ：室內作業溫度

$T_a$ ：室內空氣溫度

$T_r$ ：室內平均輻射溫度

$A$ ：加權係數

對於一般辦公室而言， $A=0.5$ <sup>[E-15]</sup>，所以一般辦公室的作業溫度計算

式為：

$$T_o = 0.5 \cdot T_a + 0.5 \cdot T_r = (T_a + T_r) / 2 \quad (2-5)$$

也就是說辦公室的作業溫度是室內空氣溫度與平均輻射溫度的平均值。對於各種活動量及衣著量下 ASHRAE Standard 55 推薦的最佳作業溫度 (Operative Temperature) 如圖 2-16 所示，對於在典型的夏季氣候條件，一般辦公作業人員之穿著情況下，其作業溫度舒適範圍為 72°F ~78°F (約為 22.2°C~25.5°C)。若與風速及相對溼度做修正，當風速為 0.2~0.3 m/s，相對溼度為 40%~55%時，則作業溫度舒適範圍修正為 74°F ~80°F (約為 23.3°C~26.7°C)。

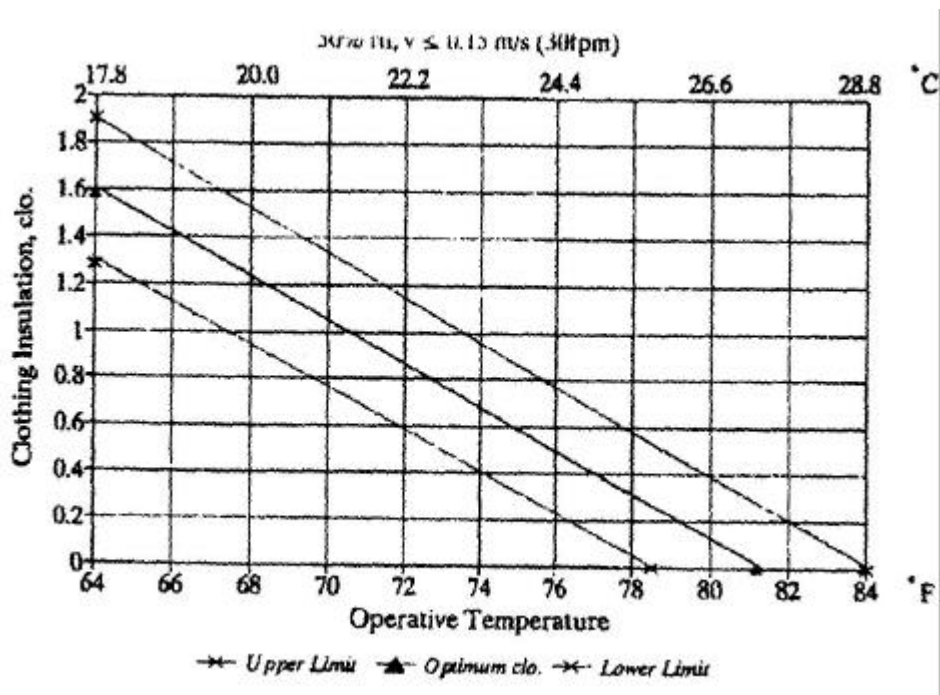


圖 2-16 各種衣著量下 ASHRAE Standard 55 推薦的作業溫度<sup>[E-4]</sup>