

大學普通教室熱舒適度探討

林盛隆¹ 陳銘雄² 詹朝光³

¹ 朝陽科技大學環境工程與管理系

² 朝陽科技大學總務處環境安全衛生組

³ 朝陽科技大學設計研究所

(收件日期：94年3月26日；接受日期：94年6月13日)

摘要

學校普通教室舒適與否，將影響學生學習狀況；而學校一般的因應之道則是被動地提供空調設備，以提高教室的舒適環境；至於學生真實的感受如何，鮮少論及。本研究運用自動連續監測法(ASM)進行室內環境物理因子的量測，同時對教室內上課同學實施個人基本資料及主觀舒適度的問卷調查。實驗方式分為使用空調及無空調等兩種狀態，並選定朝陽科技大學教學大樓(T1-303、T1-305)及管理大樓(T2-109、T2-114)等四間普通教室為量測實驗之場所。研究結果顯示，在空調狀態下受訪者表達之舒適溫度為 25.8℃(相對濕度 43%)，舒適溫度範圍 24.8-26.8℃；無空調狀態下之舒適溫度為 27.5℃(相對濕度 42%)，舒適溫度範圍 27.0-27.9℃。

關鍵詞：熱舒適度、普通教室、自動連續量測法、舒適溫度

一、前言

現代人忙碌的生活作習與資訊科技的廣泛應用，讓人們待在室內的時間有增加的趨勢。室內的環境是否舒適，會對工作效率、人體健康及環境衝擊有很大的影響。在現代人愈來愈重視舒適感受、健康及省能的要求下，人體舒適度及室內環境品質的研究是刻不容緩。尤其，對於求學的學子而言，處在不舒適的環境，無論是心理及生理上均會感到不安的狀態而影響學習之成效。

「舒適的環境」，是人類長久以來追求的理想生活型態，但隨著工業革命以來，人類以跳躍式進步的同時，卻也造成了環境的污染。雖然運用現有的科技能創造出舒適的室內環境，但是隨著現有能源日益枯竭以及大量使用化石燃料造成全球氣候變遷及地球溫室效應等現象發生，使得吾等不得不重新思考，如何在有效的使用能源與保護環境的要求下，達到室內環境舒適的目標。

每個人對所處的環境溫度顯現的滿意程度，基本上是一種主觀的判斷。居住環境的舒適性可包括二大部分，首先是美學、心理、文化及社會上的舒適性，其次則是物理及生理上的舒適性。前者係指造形、比例、象徵、符號及色彩等心理感覺上之因素，而後者偏重

係指噪音、熱、空氣、光及物質等物理要素，維持在人體之健康、安全及效率範圍之狀況。本研究暫不討論美學等主觀感受，而以物理及生理之環境舒適性為主要探討對象。

1-1 研究動機與目的

根據我國中央氣象局西元 1971 年至西元 2000 年的統計資料顯示，台中地區夏季之平均氣溫為 27.5 °C，平均相對濕度為 78.6%，冬季之平均氣溫為 17 °C，平均相對濕度為 76%(中央氣象局，2004)。亦即，在自然狀態下欲達到舒適環境，似乎有其一定之困難度，尤其在夏季，氣溫往往超過 30°C 以上，因此使用冷氣空調設備在臺灣地區非常的普遍。

就功能而言，學校是學生求取知識的地方，提供良好的學習空間及營造舒適的學習環境是每個學校積極追求的目標。國內學校教室一般採用大面積開窗方式興建，雖然可使空氣充分流通，但因建築方位及外窗無妥善之遮蔽，致使太陽光直射產生高溫，而造成室內環境不舒適狀態。而學校教室舒適與否，將影響學生學習狀況，通常學校則被動地提供空調設備，以提高教室的舒適環境；至於學生真實的感受如何，鮮少被論及，致使常出現過度使用空調而造成能源浪費的情形。如何設計舒適的學習環境而又不造成能源的浪費？是值得探討之議題。

為瞭解大學普通教室的舒適狀態，本研究以大學生為對象，並採用自動連續量測法(Automatic Sampling Method, ASM)進行教室內物理環境因子量測及配合量測時受訪者對舒適感覺狀態進行問卷調查。期望達到以下目的：

1. 利用自動連續量測法(ASM)連續監測教室內物理環境因子，如溫度、濕度及風速等，參數與熱舒適度之相關性。
2. 考量台灣本土氣候條件下，利用問卷調查及連續物理環境因子量測兩種方式，建立室內空間熱舒適度指標參考值。

1-2 研究範圍與限制

受限於實驗器材及場所，本研究範圍與限制如下：

1. 以大學普通教室做為個案研究的場所，研究對象為上課之同學。
2. 為便於比較，以使用空調及無空調等兩種狀態(註 1)，進行普通教室環境熱舒適度的量測及調查。
3. 實驗中，除溫度可作同時多點監測外，其餘物理環境因子僅能使用單點方式進行連續量測。且根據 ASHRAE(1997)平均輻射溫度得以室內溫度取代之，因此平均輻射溫度不在本量測範圍。
4. 研究期間為九月下旬及十月上旬，主要物理環境因子量測地點為室內，未考慮日照之影響。

二、文獻回顧

過去四十年來有許多熱舒適的標準被提出，其中最受矚目者為 P. O. Fanger(1967) 教授所提出之熱舒適理論，其說明人體內淨熱量、四個環境因素(室內溫度、相對濕度、熱

輻射及風速)及兩個人為因素(衣著量及工作量)之間的熱平衡關係,同時利用現場實驗方法及田野調查方式找出熱舒適度之指標(Predicted Mean Vote, PMV)與不滿意度指標(Predicted of Percentage Dissatisfied, PPD)之函數關係,進而推導出評估人類熱舒適度程度之量化計算公式,成為計算熱舒適度的標準。

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO) 的 ISO 7730 標準對熱舒適(Thermal comfort)之定義為「當人的下意識對所處之熱環境表示滿意時的狀態」(ISO, 1995);而美國冷凍空調協會對舒適的定義為「人對週遭環境狀況感到滿足」(ASHRAE, 1997)。基本上舒適度是一種心智狀態,對所處之溫度環境展現的滿意程度,亦是一種主觀的評判。就生理與能量傳輸觀點而言,欲使人體的冷熱感覺達到舒適程度,人體與外界的热量傳輸關係必須達到平衡。當熱量傳輸關係無法達到平衡時,即會形成人體的熱負荷,造成對冷熱感覺的不舒適感。人體與環境之熱平衡關係,如圖 1 所示,人體對溫度的感覺是其內部熱與外在環境熱平衡所致,當熱藉由呼吸作用、皮膚及汗腺向外散熱,所對流出的熱量會受到環境氣流、輻射熱及衣服的影響,最終達到平衡狀態,此即人體皮膚所感受的溫度。

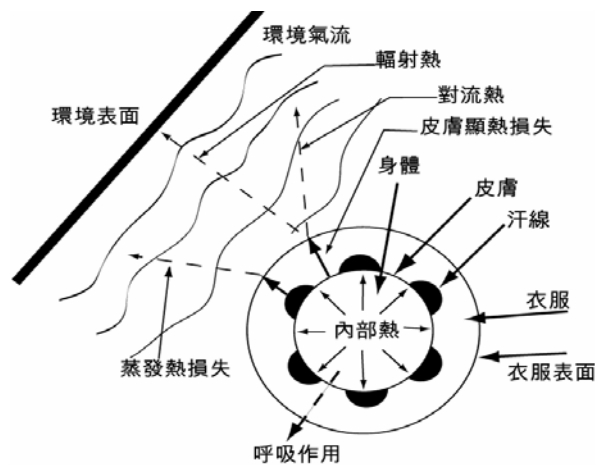


圖 1 人體與環境之熱平衡關係

影響熱舒適度的因子主要包括生理、物理及媒介等條件三類 (McNall, Jaax, Rohles, Nevins, and Springer, 1967), 其各項影響參數敘述如下:

- 生理條件, 包括不同種族、年齡、性別、胖瘦、健康情況之生理情況有所不同時, 對熱舒適主觀值判斷亦有所差異。
- 物理條件, 當戶外氣候條件改變時相對的亦影響室內環境條件, 改變了空氣溫度、平均輻射溫度、相對濕度、氣流、空氣品質等物理參數。
- 媒介條件, 其影響熱舒適條件包括, 熱源的大小、人數多寡、衣著量絕緣值大小、活動量範圍程度、停留時間的長短、季節變化的狀態、戶外天氣型態等, 這些參數的改變皆會造成舒適值的改變。

在 ASHRAE 的熱舒適評估模式中, 影響舒適性的參數包括人體影響因素[如活動量程度(M/A_{Du})及衣著量(I_{cl})]與環境影響因素[如室內溫度(t_a)、相對濕度(RH)、風速(v_a)及平均輻射溫度(t_{mrt})], 其表示式如下:

$$PMV = f(M/A_{Du}, RH, t_a, I_{cl}, v_a, t_{mrt}) \quad (1)$$

通常, 人體所有消耗的熱量中有 60% 是供基礎代謝所需, 體重越重的人需要更多的熱

量來維持身體運作正常。而衣著量表示方法，以空調環境中人員所穿著衣服形式代表，也需考慮椅子保溫與絕熱的影響關係(如椅子與身體接觸面積)；在不同環境溫度下，個人的衣著值隨環境溫度升高時改變，也會造成 PMV 指標值的變動。資料顯示，臺灣地區相對濕度經常在 70~80% 之間，尤其是在夏季，更讓人感覺相當的悶熱。當濕度高時，表示空氣中已含有許多水分子，無法有效吸收自皮膚排出的水份，限制汗水蒸發及散熱之功能。相反的，低濕度將有助於汗水蒸發散熱。溫度與濕度的影響會有加強的效果；當氣溫適中時，濕度對人體的影響並不顯著；但是當氣溫較高或較低時，其波動對人體的熱平衡和溫熱感就變的非常重要。由於高溫高濕影響人體汗液的蒸發，機體的熱平衡受到破壞，因而人體會感到悶熱不適。隨著溫度的升高，這種情況將更趨明顯。另外，氣流對人體的舒適感覺，亦會有影響。當人體表面皮膚暴露於外在環境當中時，由於空氣有一定的內聚力及黏性，當風速越大，留在表皮上的空氣層就越稀薄，熱流失越快，表皮的溫度就越接近空氣溫度。所以在低溫時舒適度除看當時氣溫外，與風速有著密切關係。相反，當人體暴露於較高溫度的環境時，相對濕度就變得重要，因為如果相對濕度高時，人在流汗時汗液蒸發較慢，較不利於散熱。在人體處在低溫環境下，舒適度主要著眼於空氣溫度(氣溫)及風速，相反，在高溫環境下，舒適度則著眼在熱負荷。最後的一個環境參數為平均輻射溫度，可被定義為在虛構之黑體空間中的均衡溫度(Uniform temperature)。由於輻射作用而導致人體熱量流失程度與實際環境中相同時，此時黑體空間中之溫度即為實際環境中的平均輻射溫度。

室內熱舒適度之相關研究原係以西方國家為主，近年亞洲國家之研究者亦開始有所著墨。而分析當地室內舒適溫度及環境品質，需因地因人而異，必須考量區域性、氣候環境、人種、及生活習性等條件。(Fanger, 2002)東南亞地區的研究資料，無論是氣候或人種方面均與我國之研究類似成為本研究之舒適溫度的參考係以東南亞區域為主。Karyono(1996)針對印尼 11 棟辦公大樓內 596 位人員進行舒適溫度調查，所求得舒適溫度為 26.4 °C，調查項目包括性別、年齡及胖瘦對舒適溫度影響之關聯性；Cheong 等人(2003)針對新加坡演講廳內之 189 位 20-24 歲大學生作調查，所求得舒適溫度為 25.8 °C；國內針對舒適溫度之研究文獻，莊振賢(2000)以台灣地區北部及南部 13 棟大樓內 275 位人員作問卷調查，由調查的數據分析顯示國人感覺舒適的溫度夏季為 24.7 °C，冬季為 20.9 °C；洪增淵、林盛隆(2004)則以台中自然科學博物館的演講廳進行室內物理環境因子量測及對室內人員問卷調查，所得舒適溫度夏季為 25 °C，冬季舒適溫度為 21.4 °C。

三、研究方法

本研究係以朝陽科技大學的普通教室為研究調查對象。其位處於山坡上，整個校區呈南高北低之地形，且東南方有丘陵高地所阻擋。為避免屋頂吸熱影響，本研究量測地點以高度相近之低樓層為選擇依據，分別為管理大樓一樓(T2-109、T2-114)與教學大樓三樓(T1-303、T1-305)，計四間普通教室，它們的設計原採自然通風(naturally ventilated)的設計，再裝配兩台窗型冷氣機，本研究將就教室冷氣機的開與關，完成兩種條件下的分析比較。以座向而言，T2-115、T1-303 為東西座向，T2-109、T1-305 為南北座向，其中 T2-109 教室受地形因素影響，南側窗戶緊鄰擋土牆，因此教室內幾乎無日照；就面積大小論，T2-109、T2-114 皆為 99 平方公尺，T1-303、T1-305 皆為 93 平方公尺。

3-1 問卷設計與調查

問卷設計方式主要是以熱舒適度理論之六項影響熱舒適度參數作為問卷調查題目設計基礎，對受訪者採用當場問卷調查方式，得到受訪者所回答的舒適感覺狀態，並將主觀舒適指標彙整量化。問卷內容包括受訪者基本資料、受訪者所處位置及受訪者舒適感覺等三部分。其中受訪者基本資料包含性別、年齡、身高、體重、衣著量及健康狀態；受訪者舒適感覺為本研究重心，主要係在瞭解受訪者在正常運作下舒適與否。

問卷調查與室內物理環境因子量測同時進行，除可瞭解人在氣候冷熱時的舒適滿意狀況外，亦可明白不同時段人們對舒適之感覺。由受訪者對所處之教室內熱舒適環境進行主觀感覺作答，然後依回收樣本作統計分析，歸納結果。並根據相關文獻蒐集及對 ISO 7730、ASHRAE 55 所建議採用的舒適度為基準，利用線性回歸分析方式以獲得本研究最適化之熱舒適溫度。

3-2 物理環境因子量測

室內物理環境因子量測方式係依照人員活動區之位置裝設，以測得物理環境因子之數據。量測方法係依據我國勞工作業環境測定法規及參考國內、外相關文獻之量測方式量測。現場實際量測得到室內溫度、相對濕度、風速、平均輻射溫度等實際數據，根據測定結果分析探討室內環境熱舒適度與空氣品質影響因子之關聯性，以作為學校普通教室環境改善對策。各物理環境因子之量測方式詳述如下：

1. 測量點：影響教室物理環境因子之原因與測量點和窗之遠近有關(林子平、何友鋒、牟順誠，2004)，從本研究的準備階段量測也獲得印證，亦即與教室黑板呈垂直之各量測點測得結果幾乎相同，而與教室黑板呈平行之各量測點測得結果則呈現不同狀態。且礙於量測儀器數量有限，另教室空間長寬距離較小，所以以室內中心為主要測量點，另自內牆退縮 1.5 公尺，為室內外周區的測量點，如圖 2 所示，A、B、C 3 點代表量測的位置。

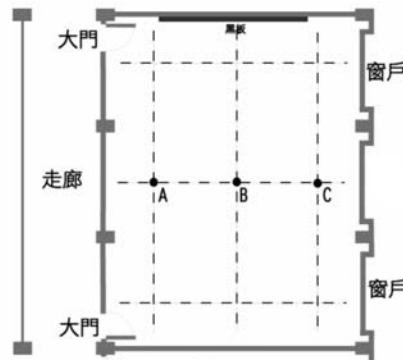


圖 2 物理環境因子量測位置圖

2. 測量高度：依據我國勞工作業環境測定法之實施方法中表示，實施測定所採之高度以坐姿作業時為 1.0~1.1 公尺較為適當。本研究之受測者主要為坐姿，而 0.9-1.3 公尺為冷熱空氣交會的敏感範圍，亦即受訪者對此高度的熱反應較為敏感(Kwok and Chun, 2003)。所以量測高度，以離地 1.1 公尺為儀器擺設的位置。
3. 實驗設備：量測儀器是以 HIOKI 8420-01 為資料截取設備，將溫度感知器、濕度感知器、風速計等各項量測儀器以電壓型式紀錄後，傳送至資料截取器進行資料收集，並以幾何

平均數紀錄儲存之。本研究之各項感測器聯結狀況如圖 3 所示。量測完成後再將所得之數據送至電腦進行處理及分析之工作。

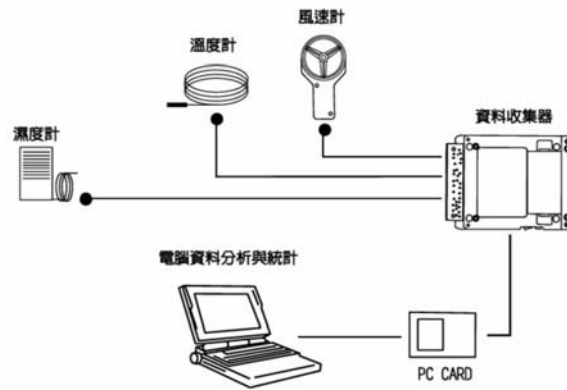


圖 3 自動連續量測儀器連結系統圖

3-3 熱舒適評估模式

運用 P.O. Fanger 的熱舒適度理論，再配合實測所得之室內物理環境因子與問卷調查而得之人體狀態資料，即可計算出當下室內環境中人體之舒適感受值，而人體為了維持恆定之體溫，會因應環境條件的變動而調整人體的體溫。熱舒適指標是根據熱負荷與人體主觀感覺之間的關係而建立，可自物理環境參數與個人生理因素，量化及推估人體對環境的冷熱舒適感，亦可利用熱負荷值推論出人們對於環境之滿意程度。

熱舒適指標的產生是來自於許多受測試者，在特定的測量環境裡，對一些環境條件所做出的主觀評估。為了在各種活動量、衣著量、和環境等各種因素之組合下，作可能的熱舒適感覺預測，共分為-3、-2、-1、0、+1、+2、+3，計 7 個階段，其中-3 表極冷，+3 表極熱，0 則代表熱感適中的狀況。而當大部分的人覺得舒適時，必定也會有些人感到太冷或太熱，而對現有之環境狀態感到不滿意，將此對應於平均熱舒適數據值的人員感到不滿意的百分比，稱之為「不滿意度」，即預測不滿意的百分率(Taffe, 1997)。

在本研究利用 ASHRAE Thermal comfort program v1.00 計算出 PMV 值，它是美國冷凍空調協會(ASHRAE)所發展之計算人體舒適度的軟體，其計算程式是依據影響人體舒適度之 6 項因子演算而成。計算時將儀器所測得之室內溫度、平均熱輻射溫度、相對濕度、風速等物理環境因子及調查所得之活動狀態與人的衣著量等數據輸入程式中，其中平均熱輻射溫度以室內溫度代之，求得在上述環境狀態下之 PMV 值；再利用線性迴歸分析法求出舒適溫度。

四、結果與討論

本研究係利用自動連續監測法(ASM)進行室內環境物理因子的量測，同時對室內之上課同學實施個人基本資料及主觀舒適度的調查，實驗方式分為使用空調及無空調等兩種狀態，並選定朝陽科技大學教學大樓之 T1-303、T1-305 及管理大樓之 T2-109、T2-114 等 4 間教室為量測實驗之場所。為能更客觀分析室內舒適度，本研究於每實驗場所在使用空調及無空調狀態下各作 2 次環境物理因子量測及受訪者主觀感覺問卷，亦即使用空調及無空調各進行 8 次實驗。本研究所量測及問卷而得的資料經分析整理歸納後，運用 Excel 軟體

之線性迴歸工具求得主觀熱舒適溫度值，並運用 ASHRAE 之熱舒適評估模式計算客觀的舒適溫度。

4-1 物理環境因子的量測結果分析

以室內溫度而言，本研究室內溫度的量測點共 3 點，位於教室中間處，量測點平均分布。在使用冷氣空調狀態下各量測點所測得之溫度變化量較大，其原因主要受冷氣設備氣流方向為單向，即冷氣皆置於教室大面積開窗處，且每間教室內僅設置 2 部冷氣，雖然教室內均配有風扇但從量測結果可知仍無法達到氣流平均之目標。量測時間也會影響溫度值，越接近中午時段會出現較高的溫度值，在上課初期因冷氣剛開始啟動，尚無法完全均勻分佈於整個教室，此時不同點的量測結果出現差異，但很快即可達到平衡。表 1 與表 2 中列出 4 間選定的教室在秋季期間(2004.09.08~2004.11.04)環境物理因子的量測結果；在空調的幫助下，4 間教室的平均溫度在 25.4-26.7 °C 之間；相較而言，無空調狀態下之平均值則較高，其值介於 27.2-27.9 °C。其中 T2-114 與 T1-305 教室受西曬影響，溫度較高，大面積開窗且無遮蔽處，溫差的效果更為明顯。T2-109 教室受開窗處有擋土牆遮蔽影響，室內溫度較其他受測教室為低。由於空調的控制，室內溫度可維持在 26 °C 左右，不過秋季期間有無空調的調節，溫度差異不大，在 1~2 °C 之間，使用空調似乎意義不大。

相對濕度的量測結果顯示，每一量測點的室內相對濕度大致上趨於穩定，比較特殊的量測是 93.09.08 於 T1-303 教室所得結果，其最高(60.5%)與最低(46.1%)值兩者相差 14.4% 為最大，其餘各量測點無論是使用或無空調狀態下所測得之相對溫度最高與最低之差皆小於 10%，而在 93.11.02 於 T1-305 所測得之高、低值僅相差 2.3% 為最小。量測時間愈靠近夏季所測得之濕度相對較高，而 10 月所測得之濕度，可見室內相對濕度受季節性影響頗大，空調對室內相對濕度影響不大，但使用空調可得較低之相對濕度值。

另一個量測的環境物理因子為風速，量測結果顯示變動非常劇烈，前一分鐘測得的風速為 0.5 m/s，但下一分鐘可能又會降至 0 m/s。另外，因使用之風速計只能量測單向，對於教室內各方之氣流無法全面收集，以及氣流相互抵銷之影響，無論是使用空調狀態或無空調狀況量測場所均為在有學生使用之情況，受到人體阻擋的影響，所量測得之風速並無特別明顯差異，且也無規則可循。其中 93.10.14 於 T1-305 所測得的瞬間 0.6 m/s 為最高值；而最低值為 0 m/s 亦即風速接近靜止狀態，幾乎每一量測點均有之。一般而言，各實驗場所的風速主要分佈於 0.1-0.2 m/s 之間。

表 1 使用空調狀態下各教室物理環境因子平均值

實驗場所 名稱	量測日期	溫度(°C)		相對濕度(%)		風速(m/s)	
		平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
T1-303	93.09.08	26.35	0.40	56.42	1.00	0.10	0.00
T1-303	93.10.05	25.81	0.63	30.69	0.71	0.14	0.09
T1-305	93.09.30	26.04	0.40	47.67	0.71	0.16	0.10
T1-305	93.10.07	26.19	0.59	35.84	2.70	0.15	0.09
T2-109	93.09.16	26.20	0.68	47.05	2.35	0.21	0.18
T2-109	93.09.27	25.41	0.30	45.39	2.20	0.13	0.10
T2-114	93.10.01	26.57	0.56	41.00	3.88	0.12	0.05
T2-114	93.10.11	26.67	0.40	36.62	1.00	0.08	0.00

表 2 無空調狀態下各教室物理環境因子平均值

實驗場所 名稱	量測日期	溫度(°C)		相對濕度(%)		風速(m/s)	
		平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
T1-303	93.10.19	27.25	0.39	46.26	0.91	0.17	0.13
T1-303	93.10.26	27.41	0.47	45.38	1.48	0.14	0.11
T1-305	93.10.14	27.37	0.30	38.87	2.24	0.18	0.11
T1-305	93.11.02	27.94	0.30	38.80	0.68	0.09	0.09
T2-109	93.10.15	27.22	0.54	36.04	1.50	0.15	0.08
T2-109	93.10.20	27.16	0.37	42.80	1.39	0.09	0.05
T2-114	93.10.28	27.51	0.57	39.64	0.84	0.16	0.11
T2-114	93.11.04	27.69	0.50	46.84	1.57	0.12	0.09

4-2 熱舒適度調查結果

為瞭解所處環境人員之熱舒適度感覺，在進行室內環境物理因子量測時，亦同時進行主觀熱舒適度調查。本研究場所為 T1-303、T1-305、T2-109 及 T2-114 等 4 間普通教室，調查對象為大學部的上課學生，使用空調狀態下的熱舒適度問卷，受訪學生人數共計 298 人次，扣除身體不適及問卷不完整等無效問卷，有效問卷為 291 人次，其中男性為 140 人、女性則為 151 人；而在無空調狀態下的熱舒適度問卷，受訪學生人數共計 263 人次，扣除身體不適及填寫不完整等無效問卷 15 份，有效問卷為 248 人次，其中男性為 134 人，女性為 114 人。在受訪者年齡方面，因受訪者皆為大學生，所以年齡較為集中。經資料統計結果顯示，受訪年齡最小為 18 歲，最大則為 27 歲，其中以年齡介於 19 至 22 歲的人數最多，佔所有受訪者的 64%。

人類穿著衣物的目的主要係為保持身體溫度避免失溫狀態，但受空間溫度影響而會增減衣物以達到舒適目標。針對受訪者衣著量絕緣值(註 2)分析，由於本研究量測使用空調是因為天氣炎熱之故，受測者衣著較少，推估其衣著量絕緣值相對較低；依據衣著絕緣值(clo)對照表換算結果顯示，T1-303、T1-305、T2-109 及 T2-114 的平均值分別為 0.48 clo、0.43 clo、0.47 clo 及 0.47 clo，8 次問卷所換算得之衣著絕緣值最大值為 0.69 clo，最小值為 0.24 clo。在無冷氣空調狀態下之受訪者衣著量絕緣值，受到量測期間氣候較為涼爽，因此衣著量絕緣值相對也較高，其中，T1-303、T1-305、T2-109 及 T2-114 的平均值分別為 0.53 clo、0.50 clo、0.51 clo 及 0.54 clo，衣著量絕緣最大值為 0.83，最小值為 0.24 clo。表 3 列出受訪者衣著量絕緣值分布情形，使用空調狀態受訪者之衣著量絕緣值平均為 0.45clo，而無空調狀態之受訪者依著量絕緣值平均則為 0.52 clo，且女性受訪者的平均衣著絕緣值均較男性受訪者高。

表 3 受訪者衣著量絕緣值分布表

衣著量絕緣值(clo)	空調			無空調		
	男性	女性	受訪人員	男性	女性	受訪人員
平均值	0.44	0.46	0.45	0.50	0.53	0.52
最大值	0.68	0.69	0.69	0.8	0.83	0.83
最小值	0.24	0.24	0.24	0.24	0.28	0.24
標準差	0.10	0.12	0.11	0.13	0.13	0.13

4-2.1 溫度對熱舒適感覺的影響

受訪者對熱舒適度的感覺，在使用空調方面，以對溫度感到滿意(0)者共 138 人(47.4%)最高、感到涼(-1)的為 64 人(22%)次之，覺得炎熱(+3)及寒冷(-3)的最低，分別僅為 1.4%及 0.4%，受訪者對熱舒適感覺的分布。另外，在無空調方面，感覺舒適(0)者仍為多數，共 159 人(64.1%)，而感覺涼(-1)與暖(+1)者所佔人數相當，分別為 36 人(14.5%)及 32 人(13.0%)，而寒冷(-3)及炎熱(+3)，各分別為 1 人(0.4%)及 3 人(1.2%)；平均的熱舒適度指標，空調場所為 0.1 及無空調場所為 0.13。在溫度感覺的滿意上，空調與無空調狀態兩者相差 16.7%，顯示出溫度在熱舒適度指標分析上具有相當的敏感度，在後面的章節，我們將進一步探討。

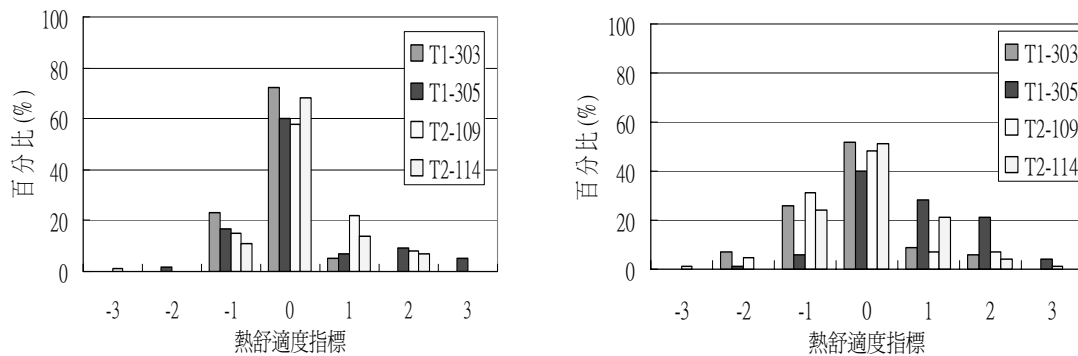


圖 4 受訪者表達對溫度之主觀熱舒適感覺分布情形(左：代表使用空調；右：代表無空調)

圖 4 的左右 2 個圖分別表示使用空調狀態及無空調狀態下主觀熱舒適感覺與室內溫度的關係。個別教室量測時受訪者對熱舒適度的感覺，與室內溫度並無明顯相關性；教室座落方位無論是使用空調或無空調之狀況下，受訪者主觀的熱舒適度亦無顯著的差異。但卻可發現使用空調的教室受訪者熱舒適感覺滿意的比例較無空調教室受訪者來得低。意謂著在量測期間，教室空調並未達到其效果，可能有其他因素讓受訪者感到不舒適。

4-2.2 相對濕度對熱舒適感受影響之分析

由於濕度主要影響人體的熱及水分的代謝，氣溫較高或較低時之變化對人體的熱平衡和溫熱感就非常重要。相對濕度在 30%時，人體的散熱量比相對濕度 80%時為多，而當相對濕度超過 80%時，由於高溫高濕影響人體汗液的蒸發，人體的熱平衡受到破壞，因而人體會感到悶熱不適，隨著溫度的升高，這種情況將會愈趨明顯。

從問卷資料彙整分析顯示，使用空調場所中有 58.9%的受訪者對濕度感覺舒適(0)，感覺有稍微乾燥(+1)為 27.5%次之，感覺稍微潮濕者(-1)為 7.2%，回答太潮濕者(-3)僅 1 人，太乾燥(+3)則無人選擇此項；無空調場所中有同樣地以感覺舒適者(0)佔 66.6%為最，感覺稍微乾燥(+1)26.2%次之，感覺稍微潮濕者(-1)佔 4.4%，而感覺太乾燥(+3)及太潮濕(-3)均無人選擇。平均的熱舒適指標空調場所為 0.29 及無空調場所為 0.26，皆屬於舒適偏稍微乾燥的範圍。圖 5 顯示在使用空調及無空調狀態受訪者對相對濕度感覺指標分布情形，無空調狀態下受訪者對室內相對濕度的滿意度略高於使用空調的狀態，兩者相差 7.7%。

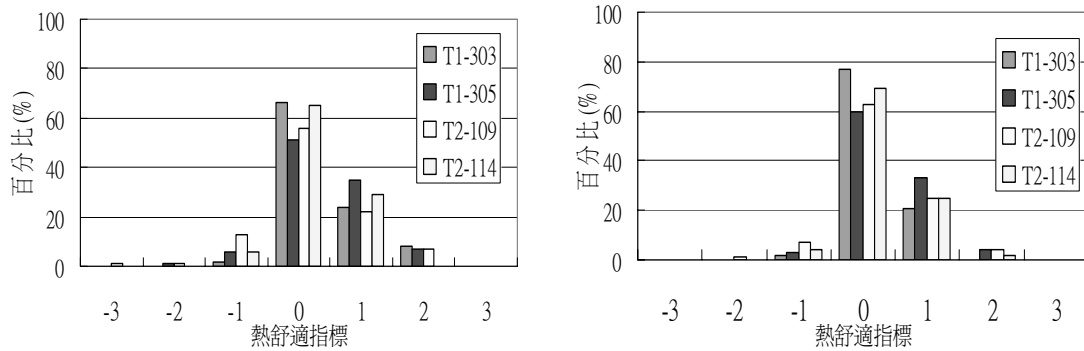


圖 5 受訪者表達對相對濕度之熱舒適感覺分布情形(左：代表使用空調；右：代表無空調)

4-2.3 氣流(風速)與熱舒適之影響分析

根據 Gagge(1967)研究所得到的結論，在無空調的室內環境當風扇提昇到 0.72 m/s 時耗能較小，卻能使 PMV 指數令人滿意地下降。在一定溫濕度條件下的風速作用具有增強人體散熱、降低熱感覺溫度的效果。當氣溫低於皮膚溫度時，氣流能使皮膚加速散熱。一般而言風速每增加 1 m/s 時會使人感到溫度下降 2-3 °C，風速越大散熱越快，但人也會感到寒冷不適。

經過連續自動量測儀器(ASM)測得的普通教室的風速，無論是使用空調或無空調狀態下之平均氣流(風速)皆為 0.1-0.2 m/s，若從人的主觀感覺討論，圖 6 可顯示出在使用空調與無空調狀態下受訪者對氣流感覺指標，受訪者對於氣流的反應並不明顯。在使用空調場所部分，覺得氣流感覺舒適者(0)為大多數，佔受訪者的 61.5%，感覺氣流稍強(+1)及稍弱(-1)為次之，分別為 17.9%及 14.4%，而感覺氣流太強(+3)及太弱(-3)者則為最少，分別為無人及僅 2 人選項；無空調部分，覺得氣流感覺舒適者(0)為大多數，佔受訪者的 58.9%，感覺氣流稍強(+1)及稍弱(-1)為次之，分別為 17.3%及 16.1%，而感覺氣流太強(+3)及太弱(-3)者則為最少，分別為無人及僅 1 人選項。整體而言，使用空調的場所平均氣流感覺為 0.00，而無空調的平均氣流感覺為-0.10，由此可知主觀的氣流感覺均屬舒適狀態。

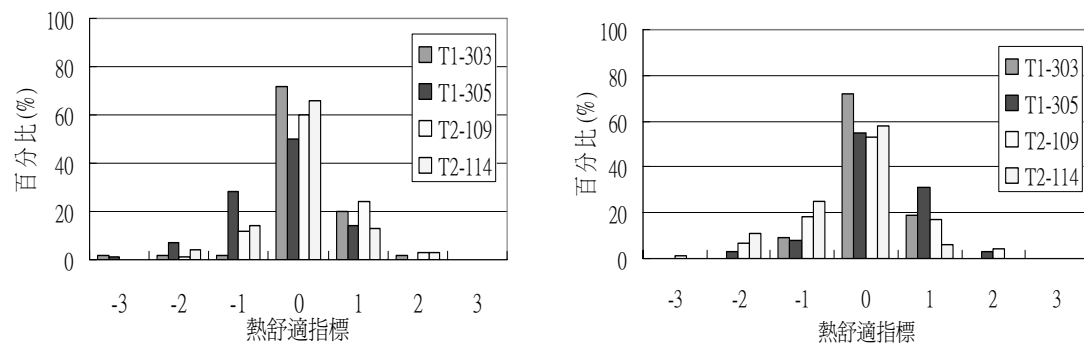


圖 6 受訪者表達對氣流之熱舒適感覺分布情形(左：代表使用空調；右：代表無空調)

4-2.4 整體熱舒適度之分析

一般而言，整體舒適度包括受訪者對於所處之室內空間的室內溫度、氣流(風速)及相

對濕度等物理環境因子的綜合舒適感受，其滿意與否亦可為受訪者對舒適度的主要評斷依據。由回收之問卷分析結果顯示，整體舒適性滿意度包括剛好(0)、舒適(1)、很舒適(2)及極舒適(3)者，以無空調狀態教室較高，合計為 81.1%，而使用空調狀態下的整體舒適滿意度略低於前者，約為 74.6%，在極不舒適及不舒適的選項方面，無空調狀態教室略低於使用空調狀態教室，所佔百分比分別為 3.6%及 5.1%。圖 7 分別代表使用空調及無空調教室受訪者對室內整體舒適指標感受狀況，受訪者對教室感到舒適的比例，無空調教室稍高，此次的調查或許透露出受訪者對於教室空調設計不甚滿意，留給校方很大的改善空間。

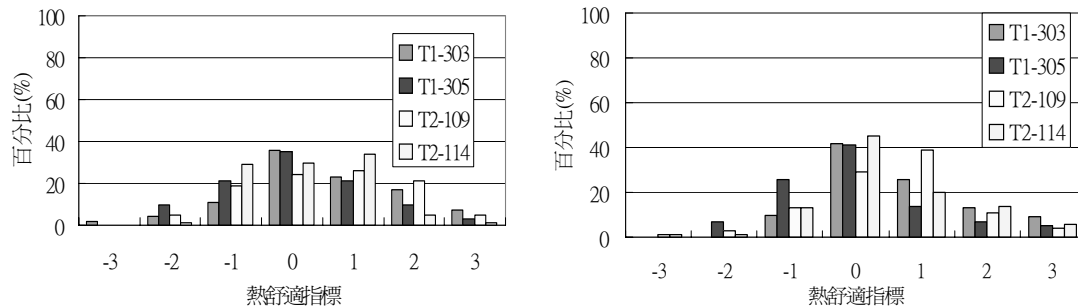


圖 7 受訪者表達對整體舒適感覺分布情形(左：代表使用空調；右：代表無空調)

4-3 舒適指標之應用

舒適指標(PMV)是由歐美數千組實測數據經特殊的統計分析而得，因受訪者對溫度感覺較為敏感，Fanger 利用線性迴歸法將 PMV 與室內溫度連結起來；他建議在熱帶地區無空調之建築應乘上預期因子(expectancy factor) 0.5~1.0(Fanger, 2002)。本研究綜合各實驗場所所測得之各點室內溫度與從受訪者問得之對溫度的感覺，運用線性迴歸的方法求得舒適溫度，其中橫座標為溫度，縱座標為舒適指標(PMV)其範圍為-3 至+3，所謂的最舒適溫度即指在 PMV 值為「0」的溫度，而 PMV 值介於-0.5 至 0.5 區間的溫度則為舒適溫度範圍。本章節討論的舒適溫度包括受訪者表達之舒適溫度與利用模式推估之舒適溫度，並進行分析比較之。

4-3.1 受訪者表達之舒適溫度

由受訪者表達的室內舒適感覺，含有濃厚的主觀判斷，且為個別的意見；但這些意見是否可回饋到整個系統，找出代表國內教室的舒適溫度，以做為將來相關設計時之參考。本研究利用線性迴歸方法，以溫度為橫軸，各次問卷的平均舒適滿意度為縱軸，求得使用空調教室的舒適溫度為 25.8 °C，舒適溫度區間(即 PMV 值在-0.5~0.5 之間)則為 24.8-26.8 °C；而無空調教室求得的舒適溫度為 27.5 °C，舒適溫度區間則為 27.0-27.9 °C。PMV 值與室內溫度的變化呈正相關關係，亦即，當溫度提升時 PMV 值也會隨之增加。受訪者主觀的舒適感覺與溫度的關係式如下：

$$\text{使用空調：} Y = 0.5114X - 13.201 \quad (R^2 = 0.6617) \quad (2)$$

$$\text{無空調：} Y = 1.1193X - 30.76 \quad (R^2 = 0.6933) \quad (3)$$

若依受訪者之性別討論，使用空調教室男性的舒適溫度為 25.7 °C，舒適溫度範圍為

24.2-27.1 °C，女性的舒適溫度為 25.8 °C，舒適溫度範圍為 25.2-26.6 °C；在無空調教室部分，男、女性的舒適溫度皆為 27.5 °C，而舒適溫度範圍男性為 27.0-27.9 °C，而女性則為 27.0-28.0 °C。表 4 彙整受訪者對室內舒適溫度之迴歸結果，在使用空調教室中女性的舒適溫度較男性略高 0.1 °C，而在無空調教室中，男女性的舒適溫度皆同樣為 27.5 °C。本研究男女性對室內舒適度的感覺幾乎相當，並無特別差異。

表 4 不同性別受訪者表達室內舒適溫度一覽表

控制狀態		迴歸係數	截距	R ²	舒適溫度(°C)
使空 用調	男性	0.3427	-8.7977	0.4289	25.7
	女性	0.7194	-18.621	0.8043	25.8
	受訪人員	0.5114	-13.201	0.6458	25.8
無 空 調	男性	0.9757	-26.801	0.7992	27.5
	女性	1.0861	-29.857	0.6743	27.5
	受訪人員	1.1193	-30.76	0.6933	27.5

4-3.2 利用模式推估之舒適溫度

前述的舒適溫度計算方法，主要係將實測溫度與問卷調查所得之熱舒適感覺以線性迴歸方法求得。另外，本研究亦利用美國冷凍空調協會(ASHRAE)發展之熱舒適評估模式，進行熱舒適溫度的計算。該模式的基本假設值，以歐美數據為主，再輔以統計方法推演而得；由於其資料庫豐富，求得之舒適溫度可減少主觀判斷的誤差，可做為參考之熱舒適度。

熱舒適評估模式所需數據包括，室內溫度、平均輻射溫度、風速、濕度以及人體活動代謝量、衣著絕緣值等。其中室內溫度、相對濕度及風速，已在物理量測實驗中獲得；至於平均輻射溫度則以室內溫度替代，人體活動代謝量以 1.2 Met(註 3)，而衣著方面因本研究受訪者皆為坐姿，所以計算時均將求得之衣著絕緣值再加 0.15 clo。將所實際量測值分別代入熱舒適評估模式中求得，溫度與主觀舒適指標(PMV)關係，其中在使用空調狀態下的 PMV 值集中在-0.18~0.62 之間，無空調狀態下之 PMV 值則在 0.48~0.98 之間，顯示在本研的物理量測值所對應的舒適滿意度，在空調情況下，應能被大部分的人接受，而無空調的情況，則偏向稍微熱的感覺。由模式推估之 PMV 值再利用線性迴歸的方法求得舒適溫度，其中使用空調之舒適溫度為 25.7°C；無空調之舒適溫度則為 25.9 °C。模式推估的舒適感覺與溫度的關係式如下：

$$\text{使用空調：} Y=0.375X-9.6531 \quad (R^2=0.6617) \quad (4)$$

$$\text{無空調：} Y=0.4382X-11.324 \quad (R^2=0.5069) \quad (5)$$

4-2.3 溫度與舒適指標的關係

若以使用空調及無空調狀態分別討論受訪者表達(主觀)及模式推估(客觀)舒適溫度顯示，使用空調時兩者舒適溫度的差異不大，僅差 0.1°C(圖 8)，利用模式推估具可行性。但在無空調狀態時，受訪者表達之舒適指標與模式推估值比較，則有 1.6°C 差距(圖 9)，此差異發生的原因可能是受訪者所在地氣候、人種、生活習性、空調使用習慣等因素的不同所致；當同學們從室外高溫的環境進到教室，室內的溫度較低，同學們已感受到某種滿足，

他們會回答非常舒適，因此調查的舒適溫度偏高，尤其是對偏冷的感覺差距更大。另外因本研究的採樣季節偏重於秋季，而模式裡建立的數據是全年性的，所以造成差距亦有可能。

國際標準組織對熱舒適度的定義是根據人體與環境的熱平衡求得；而 Fanger 之 PMV 模式係以主觀的 6 項參數為基礎，其結果是歸納自美國與丹麥之研究成果；雖然他也不厭其煩地做了熱帶與溫帶地區人們對熱舒適度的反應差異度分析，但並未發現有何不同。Nicol(2004)則不這麼認為，他分析巴基斯坦與歐洲的數據發現其間有不小的差距。台灣地處亞熱帶，在環境背景上與歐美有所不同，本研究之結果若與環境相近的東南亞各國相關研究結果比較，則差異不大，可做為互補之參考數據。

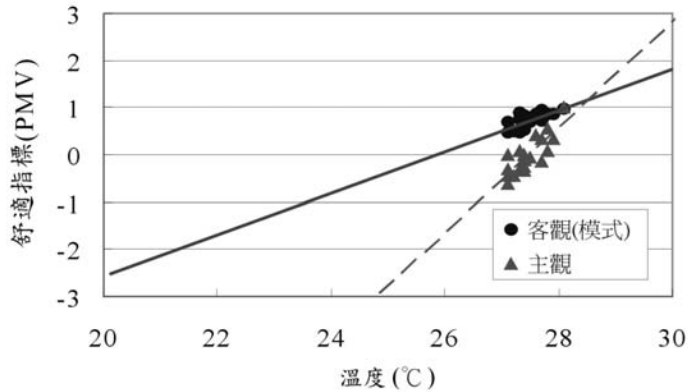


圖 8 溫度與舒適指標(PMV)關係(使用空調)

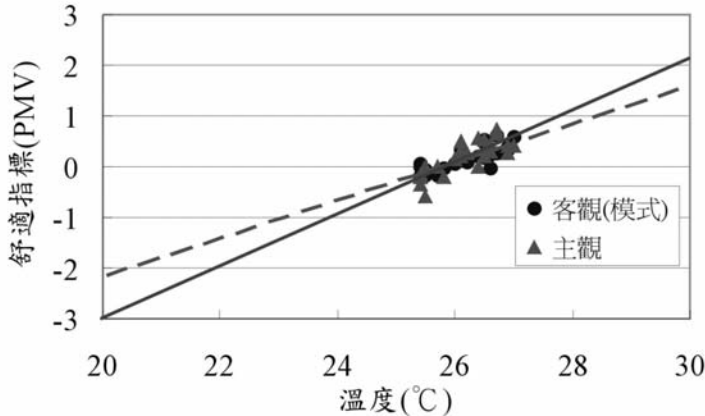


圖 9 溫度與舒適指標(PMV)關係(無空調)

五、結論與建議

5-1 結論

從本研究進行之普通教室室內物理環境因子量測，以及受訪者之主觀感覺問卷，整理分析後可得下列結論：

1. 在使用空調狀態下受訪者表達之舒適溫度為 25.8°C(相對濕度 43%)，舒適溫度範圍 24.8°C-26.8°C，其中男性舒適溫度為 25.7 °C，女性為 25.8°C。無空調狀態下，舒適溫度為 27.5°C(相對濕度 42%)，舒適溫度範圍 27.0°C-27.9°C，其中男、女性舒適溫度皆為 27.5

°C。

2. 日照會影響室內舒適度，以實驗場所 T2-109 為例，因窗外有擋土牆遮掩之故，測得之平均溫度較其他實驗場所低；而 T2-114 及 T1-305 受西曬影響，所測得之室內溫度較高。可推論教室方位與室內舒適度具正相關性，若考慮師生的舒適性及考量省能問題，應避免建造大面積開窗處為西邊的建築或採遮蔽之設計。
3. ASHRAE 的熱舒適度推估模式求得結果與本研究調查結果，在使用空調狀態下兩者相差 0.1°C；無空調狀態下卻相差 1.6°C。模式的應用需注意其差異性的存在。
4. 本研究無空調狀態量測為秋季期間，且時間為下午 1 時 30 分至下午 3 時 20 分之中午時段，整體氣候較為乾燥，所以「無空調狀態」之相對濕度較「使用空調狀態」時為低。

5-2 建議

1. 熱舒適度受到戶外環境、室內環境及人體的影響，其隨時處於變動狀態，因此為求更客觀的熱舒適度，需要進行長時間的量測並取得大量的資料，方能計算合理之舒適溫度。
2. 礙於量測時間限制，本研究僅進行秋季期間的室內環境物理因子量測及熱舒適度調查。從中央氣象局統計資料顯示，我國夏季氣溫往往超過 30°C 以上，而冬季時亦時有 10°C 左右溫度出現，因此若能進行夏季及冬季的室內熱舒適度研究，將可更展現人體對全年室內舒適溫度的感受。
3. 物理環境因子隨室外的氣候變化而變動，因此若能同步進行各實驗場所的環境物理因子量測，更可明確地瞭解不同區位教室室內之環境變動狀態。
4. 影響整體舒適度的因子除本研究所探討之幾種外，環境噪音、室內空氣品質等亦會影響整體舒適感覺。因此，若能持續進行教室噪音及二氧化碳等因子量測，將可呈現更客觀且完整的普通教室環境舒適狀況。

註釋

- (註 1) 一般而言，影響普通教室熱舒適度的設備包括冷氣、風扇及照明等設備，而本研究所稱之「使用空調」狀態，係指冷氣等三項設備皆使用運作之狀態下稱之；「無空調」狀況則是於冷氣停止使用，而風扇與照明正常運作下稱之。
- (註 2) clo 為衡量衣著絕熱程度的單位。1 clo 係指在 21.2°C，相對濕度 50%，0.1 m/s 空氣氣流下，人體感覺舒適時的衣著量；若以衣著量的隔熱程度表示，則 1 clo 約等於 0.18 m²h°C/kcal。
- (註 3) Met 為人體發熱量的標準單位。人體的新陳代謝率(metabolic rate)依性別、年齡、胖瘦、環境等因素而有所不同，以身高 177.4 公分，體重 77.1 公斤，體表面積 1.8 平方公尺的標準美國男子而言，靜坐時的代謝率為 58.2 W/m²，稱為 1Met。

參考文獻

1. ASHRAE, 1997, "Thermal Comfort", *ASHRAE handbook Fundamental*, ASHRAE, Atlanta, Georgia, USA.
2. Cheong, K. W. D., E. Djunaedy, K. W. Tham, and S. C. Sekhar, 2003, "Thermal comfort study of an air-conditioned lecture theatre in the tropics, " *Building and Environment*, Vol. 38, pp.63-73.
3. Fanger,P.O., 1967, "Calculation of thermal comfort : Introduction of a basic thermo comfort equation", *ASHRAE Trans*, Vol.73, pp. 121-132.
4. Fanger, P.O., and J. Toftum, 2002, "Extension of PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates", *Energy and Buildings*, Vol. 34, pp. 533-536.
5. Gagge, A. P., 1967, "Comfort and thermal sensations and associate physiological responses at various ambient temperatures", *Environmental research*, Vol. 46, No. 7, pp.125-132.
6. ISO, 1995, "ISO 7730 - Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort", *International Standards Organisation*, Geneva, Switzerland.
7. Karyono, H., 1996, "Thermal comfort for the tropical South East Asua region", *Building Research and Information*, Vol. 39, No. 3, pp. 135-139.
8. Kwok, A. G. and C. Chun, 2003, "Thermal comfort in Japan schools", *Solar Energy*,Vol.74, pp.245-252
9. McNall, P. E., J. Jaax, F. H. Rohles, R. G. Nevins, and W. Springer, 1967, "Thermo comfort (thermally neutral) conditions for three levels of activity", *ASHRAE Trans*, Vol. 73, pp.143-150.
10. Nicol, F., 2004, "Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics", *Energy and Buildings*, Vol. 36, pp. 628-637.
11. Taffe, P., 1997, "A qualitative response model of thermal comfort", *Building and Environment*, Vol. 32, pp.115-121.
12. 中央氣象局，2004，“台中氣象站氣候資料統計表”，《<http://www.cwb.gov.tw/index.html>》。
13. 林子平、何友鋒、牟順誠，2004，“單邊走道型與中央走道型教室室內溫熱環境實測解析-以朝陽科技大學為例”，2004 綠設計與規劃研討會，pp.B1-1~B1-19。
14. 洪增淵、林盛隆，2004，“演講廳之室內環境品質研究與分析”，2004 年永續性產品與產業管理研討會，彰化。
15. 莊振賢，2000，《國人舒適感受調查》，碩士論文，台北科技大學冷凍與低溫科技研究所，台北。

The Study of Thermal Comfort in the Classrooms

Sheng-Lung Lin¹ Ming-Hsiung Chen² Chao-Kuang Chan³

¹Department of Environmental Engineering and Management, Chaoyang University of Technology

²Environmental Safety & Health Services, Chaoyang University of Technology

³Graduate School of Design, Chaoyang University of Technology

(Date Received : March 26, 2005 ; Date Accepted : June 13, 2005)

Abstract

The comfort of a classroom will influence the student's learning. Most of Taiwanese school administrators provide air conditioners to improve the comfortable environment to improve students' learning. However, the feelings of students in this circumstance were less discussed. The research used ASM to measure indoor environmental physical factors. It took students' personal data and held subjective comfort questionnaires as well. The physical experiment had conducted in two kinds of status, air-conditioner and non air-conditioner. We selects T1-303 、 T1-305 、 T2-109 and T2-114 classrooms in CYUT to be the test targets. The results show that the claimed comfortable temperatures are 25.8°C(43%RH) with air condition and 27.5°C(42%RH) without air condition, respectively.

Keywords: Thermal Comfort 、 Classroom 、 Automatic Sampling Method