

無空調狀態下學校普通教室熱舒適度之探討

許杏瑜¹、紀杰依¹、楊明祥¹、崔祐榮¹、陳銘雄²、林盛隆³

¹朝陽科技大學環境工程與管理系大學生

²朝陽科技大學環境工程與管理系研究生

³朝陽科技大學環境工程與管理系助理教授

摘要

台灣位處亞熱帶地區，日曬時間較長，它對我們來說雖然有明亮、溫暖、發電等許多正面意義，但過多的光和熱也會造成不舒適的感覺，尤其在夏季，炙熱的豔陽總是令人避之唯恐不及。人一生中大部分時間在室的度過室內環境狀況對人體的生長發育、健康以及工作效率等有著密切的關係。調查報告顯示，大多數人在室內活動的時間約佔 90 %，因此可知室內環境對人的重要性，而學校普通教室舒適度與否也會影響學生學習狀況之好與壞。根據美國冷凍空調協會(American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineer, ASHRAE) ASHRAE Standard 55 的建議，室內舒適溫度夏季為 23~26、冬季為 20~23.5、濕度為 30%~65%。從文獻的實測值得知室內的舒適溫度為 24.2 ~28.6。本研究目的主要係透過現有學校普通教室在無空調設備下進行物理環境因子量測，以探討普通教室座落在不同方位下室內溫、濕度的變化情形，其結果與國際現有標準及文獻研究結果進行比較分析，以瞭解學校普通教室在無使用空調狀態下能否符合規範標準。其結果除可做為日後學校建築興建時座落方位之考量依據外，亦可根據所實測之物理環境因子，做為探討普通教室節能之重要參考因子。

關鍵字:學校普通教室、物理環境因子

The study of the comfortable temperature without air condition in classroom in school

Hsing-Yu Hsu¹、Jie-Yi Ji¹、You-Rong Cui¹、Ming-Xiang Yang¹、Ming-Hsiung Chen²、
Sheng-lung Lin³

¹The graduate student of The Department of Environmental Engineering and Management,
Chaoyang University of Technology

²The college student of The Department of Environmental Engineering and Management,
Chaoyang University of Technology

³The assistant professor of The Department of Environmental Engineering and Management,
Chaoyang University of Technology

Abstract

Taiwan, located in the subtropical area, enjoys more sunshine than other area of the planet. Although it has many positive aspects such as lighting, warming, and generating electric power, it makes us feel uncomfortable when there is too much sunshine and heat, especially in summer time. On the other hand, people spent most of their lives living inside the house. The environment in a room will have some impacts on human growing, health, and work efficiency.

According to the survey, for most of people, the indoor activities occupy approximately 90% of one man's lifetime, which shows how significant the environment is. The environment in classrooms also would affect the student's studying. According to American Society of Heating , Refrigerating , and Air-conditioning Engineer , ASHRAE) ASHRAE Standard 55, the most comfortable temperature indoor is 23~26 in summer and 20~23.5 in winter, while the moisture is 30%~65%. From previous search, the most comfortable temperature indoor is 24.2 ~28.6 for a lecture room in mid Taiwan area. On the basis of the measuring of physical factors in classrooms where the air condition system are eliminated, this study discusses the effect of the temperature and the moisture. The results of the study will provide a reference for the energy saving in a classroom under comfortable conditions.

Keywords: The classroom in school, the measuring of nature environment factors

一、前言

「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，人類以跳躍的方式大幅地進步的同時，卻也造成了環境的污染。根據田野研究，美國人每天在室內的時間為 89%、交通工具為 6%，待在室外僅佔 5%，而在室內的時間隨都市化增加而增加[1]。因此室內的環境是否舒適，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，且亟待深入研究課題。如何維持室內環境在人體感受到舒適的範圍內，並達到節省能源的目的，是未來室內環境品質管理與改善的重點之一。

學校是學生求取知識的地方，而提供良好的學習空間及營造舒適的學習環境是每位學校經營者所積極追求的。本研究以大學之普通教室作為探討室內舒適度的場所，藉由室內溫度、濕度及風速等物理環境因子的量測，瞭解在無空調之狀態下普通教室的舒適度，並與現有之標準及文獻研究結果比較之，以作為室內環境舒適改善之參考依據。

二、文獻回顧

1、物理環境因子探討

過去四十年來有非常多熱舒適的標準被提出，其中最受注目的為以西元 1970 年，P.O Fanger 首度提出熱舒適理論，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。本研究主要在探討自然狀態下之學校教室舒適度背景值之探討探討，即排除人員之因素，另依據熱舒適評估模式其計算舒適度時可以室內溫度代替熱輻射溫度，因此本研究僅以室內溫度、相對濕度及風速作為主要探討之對象。以下就前述物理環境因子探討。

(1) 室內溫度

影響人體主觀熱舒適感受的主因素雖有六大項，但經過其研究證明，六大項變數中僅室內空氣溫度改變對室內熱舒適度的影響較大。因此，在不降低室內舒適度標準的前提下，合理組合室內空氣設計參數可以收到明顯的節能效果。本土的研究發現環境溫度對人體主觀熱舒適影響最大，衣著量次之(陳永耀和楊宗文，2001)。當人體坐著時皮膚溫度在 33~34 較為舒適(Fanger,1967)。人體在感到舒適時的皮膚溫度僅與當時人體活動量大小有關。圖 2-1 為人體活動量與所對應的平均皮膚溫度比較，其中橫座標為人體活動量，縱座標為感受到舒適時的平均皮膚溫度，當人體活動量為靜坐，也就是 50~60 Kcal/hr.m²時，其皮膚溫度在 33~34 較為舒適。從圖中亦可得知人體的皮膚溫度與單位面積體熱呈負相關，當從事的活動量較大時，皮膚溫度則會因排汗、傳導、輻射等過程而下降。

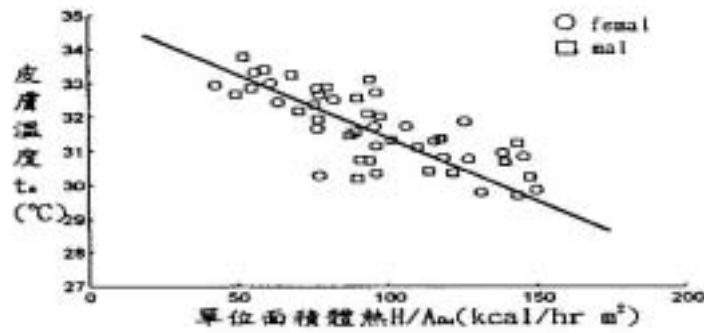


圖 2-1 人體活動量與所對應的平均皮膚溫度圖(Fanger, 1967)

(2) 相對溼度

臺灣四周面海，受海洋氣候影響濕度經常在 70-80% 間，夏天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，因而會減少吸收水份的能力。高濕度會限制汗水蒸發及散熱。反之，濕度低時將有助於汗水蒸發散熱。氣溫適中時，濕度對人體的影響並不顯著(Fanger, 1967)；但是 Serra(1995)的研究報告得知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。當相對濕度在 50% 時感到舒適，若濕度值越高則表示越來越熱，反之則如越來越冷。相對濕度與熱舒適之關係，如圖 2-6 所示。

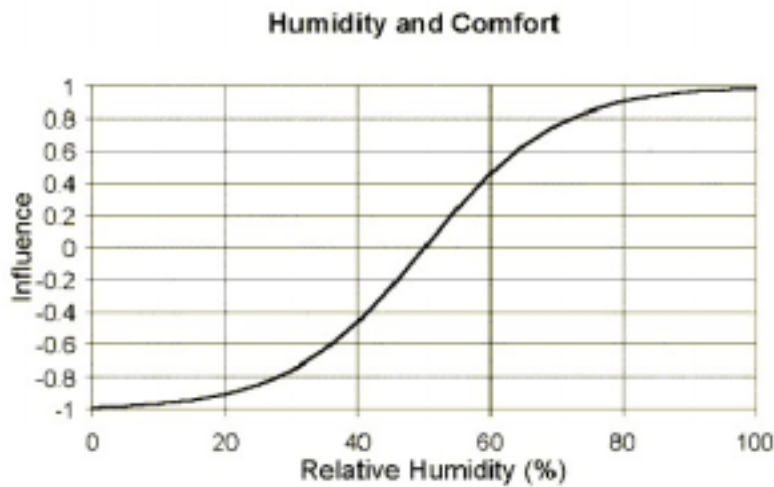


圖 2-2 相對濕度與熱舒適之關係圖(Serra, 1995)

(3) 風速

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，在低溫時的舒適度除看當時氣溫外，與風速有著密切關係。反之，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及風速。相反地，在高溫環境下，舒適度則著眼在熱負荷。一般較佳之室內空氣流速為 25-50 cfm，其中

以 25 cfm 為理想狀態。不同場所建議之室內空氣流速如表 2-1 所示。

空氣的流向也會影響人體舒適的感覺，一般空氣流向在頭部及臉部方向感覺較舒適，若是流向從腳下及背部經過會感覺局部冷的現象。此原因是臉部附近產生熱源會往上昇，需要利用氣流把熱氣帶走，反之腳下部份溫度較低，若在增加氣流則會感到冷之狀態。

表 2-1 不同場所室內空氣流速參考

空氣流速(cfm)	人體反應	參考/應用場所
0-16	沉悶之感受	
25	理想狀況	商業應用
25-50	對坐者之選用範圍	商業應用
	50cfm 為最大	
65	非選用範圍-紙張易吹動或吹離桌面	
75	對輕微工作者之最上限	零售店或百貨公司
75-300	某些工廠適用範圍	工廠(定點高流速應用)

資料來源：蔡尤溪(1996)

2、舒適度標準及建議值

根據 ASHRAE 55-1992，人體在坐著時的新陳代謝率 1.2Met(1Met=58.15W/m²)及典型衣著量(夏天衣服絕緣值為 0.5clo，冬天為 0.9 clo)條件下，夏季舒適溫度為 24.5 t_b[註: t_b=運轉溫度] (RH=50%，10% 不滿意度下)舒適溫度範圍 23~26 ET*[註: ET*=有效溫度]; 冬季舒適溫度為 22 t_b (RH=50%，10% 不滿意度下) 舒適溫度範圍 20~23.5 ET*，夏季與冬季重疊區域為 23~24 ET*，其舒適度範圍如表 2-2 所示。

表 2-2 室內環境物理參數建議值

參數	範圍	參考資料
溫度	夏季 23~26 t _a * (24.5) 冬季 20~23.5 t _a * (22)	ASHRAE Standard 55
相對溼度	30% ~65%	ASHRAE Standard 55
氣流流速	0.25 m/s	WHO

* t_a 表示室內溫度，有別於運轉溫度以 t_b 表示。

WHO 為世界衛生組織之簡稱。

近年來，亞洲各國對於室內環境舒適度的探討也日漸熱絡，由其是新加坡的學者更是不遺餘力，亞洲各國學者對於室內舒室溫度建議，如表 2-3 所列，表中可發現夏季時建議舒適溫度為 24.2~28.5；冬季部分則為 20.9~21.4；而在無空調狀態下舒適溫度為 28.5~28.8。

表 2-3 亞洲地區舒適溫度比較表

作者	年份	研究方法	國家	人數	舒適溫度()
Webb	1950	問卷調查	新加坡	16	26.2 ET*
Ballantyne et al.	1979	實驗室	新幾內亞 (Port Moresby)	64(Melanesian) 28(caucasian)	26.7 t _a 25.0 t _a
Busch	1988	問卷調查	泰國曼谷	1146	25.4ET*
De Dear et al.	1990	實驗室	新加坡	32	25.4 t _a
De Dear et al.	1990	問卷調查	新加坡	583(無空調) 235(有空調)	28.5t _o 24.2 t _o
Karyono	1993	問卷調查	印尼雅加達	596	26.4 t _a 26.7 t _o 25.3t _{eq}
Abdulshukor	1993	實驗室	馬來西亞檳榔市	130	28.2 t _a (25.0~31.4 t _a ,50%RH)
Ismail	1998	問卷調查	馬來西亞檳榔市	501(有空調)	24.6 t _a
胡石政、 莊振賢	2000	問卷調查	台灣	117(冬季) 158(夏季)	20.9t _a 24.7t _a
Nyuk Hien Wong 等二人	2002	問卷調查	新加坡	506(空調) 506(無空調)	25.3 t _a 28.8 t _a
Cheng 等人	2003	問卷調查	新加坡	夏季	25.8t _a
洪增淵	2004	問卷調查	台灣台中市	130 (夏季) 121(冬季)	25 t _a 21.4 t _a

三、方法

本研究除以自動連續量測法(Automatic Sampling Method, ASM)進行室內溫度、濕度等物理環境因子的量測，並配合問卷調查，以實地了解學生身處之室內物理環境狀態。且以 ASHRAE 熱舒適度計算程式，計算 PMV 值進而瞭解實驗場所舒適滿意度，並與 ISO 7730 及 ASHRAE 55 等文獻所建議採用的舒適度基準進行比較之。

一個良好舒適的環境應該包括溫度、濕度、風速等環境及良好的空氣品質。根據 P.O. Fanger 之熱舒適度理論，舒適之感覺，牽涉包括空氣溫度、平均輻射溫度、相對濕度及風速等到室內、外之物理環境因子的影響，而室內、外之空氣品質又會受到風量及氣流方向的影響。現場室內物理環境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數據。物理因子之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。各物理環境因子之量測方式詳述如下：

- 1、測量點位置之決定方式：在測量點的規劃方面，由於各空間規模大小不同，而有所差異。本研究所量測對象為學校普通教室，而影響教室物理環境因子之原因與測量

點和窗之遠近有關[4]，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 3-1 所示。

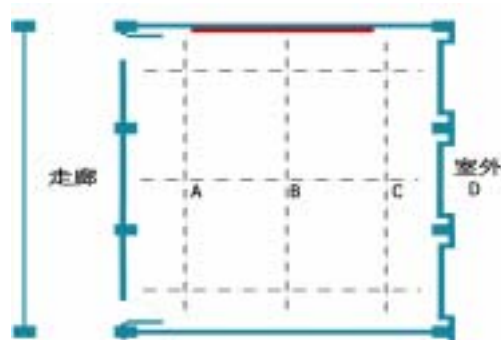


圖 3-1 連續自動監測點位置圖

- 2、測量點高度：根據 ASHRAE 62-1989 定義居住區為高度為 1.8 公尺以下，又依據我國勞工作業環境測定法規定，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。而本研究之場合為座椅之人員，故高度值取 1.1 公尺。其量測位置高度，如圖 3-2 所示。

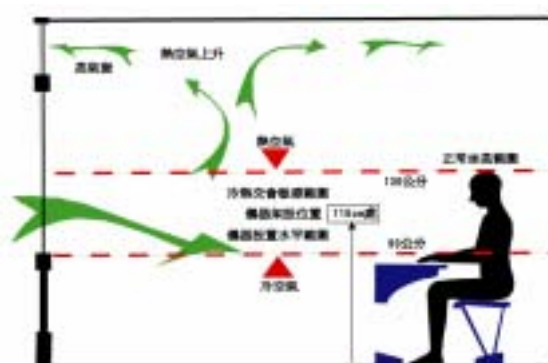


圖 3-2 量測點高度示意圖

3、實驗場所與設備

本研究主要以朝陽科技大學管理大樓一樓(T2-109、T2-115)與教學大樓三樓(T1-303、T1-305)，計四間普通教室為量測實驗地點。以座向而言，T2-115、T1-303 為東西座向，T2-109、T1-305 為南北座向。而量測儀器是以 HIOKI 8420-01 為資料截取器，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，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。

- 溫度量測方法：將 K type 的溫度量測感應線，分別安裝於教室 A、B、C 點之位置及教室外(D 點)，如圖 3-1 所示。其高度值取 1.1 公尺。其偵測之有效範圍為 -50~+200。
- 溼度量測方法：將 HIOKI 9653 的溼度計分別置於室內中心點(B 點)及室外(D 點)，且量測高度為距地面 1.1 公尺的地方，以量測室內外的溼度。本儀器所能量測的範圍 0~100 % RH。

- 風速量測方法：最佳狀況下，應以人體的臉部高度的風速值作計算基準，因為一般在與外界接觸面積最大的部位是臉部，所以風速應取距離地面 0.1 至 1.1 公尺的一般人體高度。而本研究採用與量測溫度之相同高度 1.1 公尺，作為風速之量測高度。量測位置受限於設備僅以中心點(B 點)作為量測點。

四、研究結果與討論

本研究係以學生上課最為頻繁的上午九時至下午五時做為環境物理因子量測的時間，量測之溫度、濕度及風速等三種物理環境因子的歷時變動情形，其圖型中 X 軸為量測時間，Y 軸則為各物理因子變化量。以下就各實驗場所及不同物理因子變化量作說明。

1、室內溫度歷時變動分析

圖 4-1 至圖 4-4 分別為 T1-303、T1-305、T2-109 及 T2-114 等四間教室所量測之溫度變化，由圖可知各教室內 A、B、C 測點其量測結果溫度差異不大，而各別教室溫度變化方面，T1-303 及 T1-305 因座落方位之故，其大開窗面朝東受日照影響，上午時段室內易受日照影響而造成溫度上昇現象。T2-109(如圖 4-3)因大開窗位置受擋土牆阻擋陽光無法射入，所以室內溫度與室外溫度差異較大，且溫度變化也較小。T2-114(如圖 4-4)受西曬影響下午時段室內溫度明顯昇高。而大部份教室有一共同現象，即下午四時以後室外溫度下降明顯，但室內溫度受建築物蓄熱影響，而造成室內溫度高於室外溫度之現象。

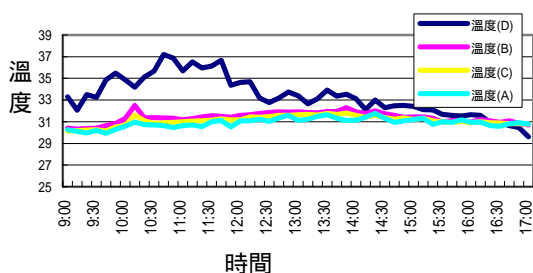


圖 4-1 T1-303 溫度歷時變動比較圖

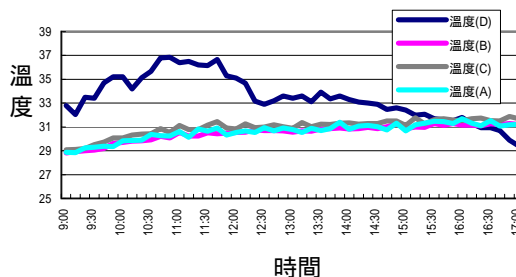


圖 4-2 T1-305 溫度歷時變動比較圖

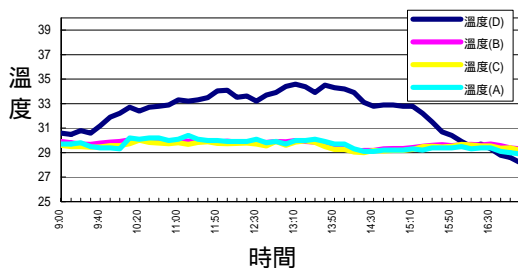


圖 4-3 T2-109 溫度歷時變動比較圖

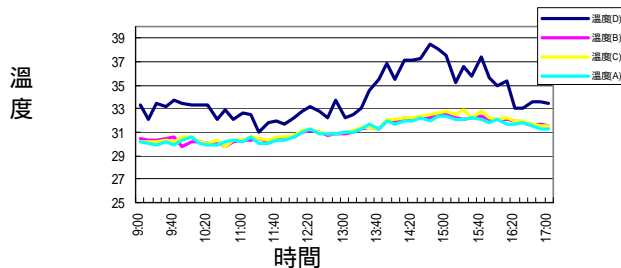


圖 4-4 T2-114 溫度歷時變動比較圖

2、相對溼度歷時變動分析

受本實驗設計時以空調、風扇設備未開啟，但門窗及遮陽窗簾依據日常使用習慣開關，因此由圖 4-5 至圖 4-8 可發現在量測時段，四間教室室內濕度變化幅度不大，其變化在 $\pm 10\%$ 以內，室外則受氣候改變而有較大之變化。而監測期間室外受日照影響所以室內的濕度幾乎高於室外的濕度。

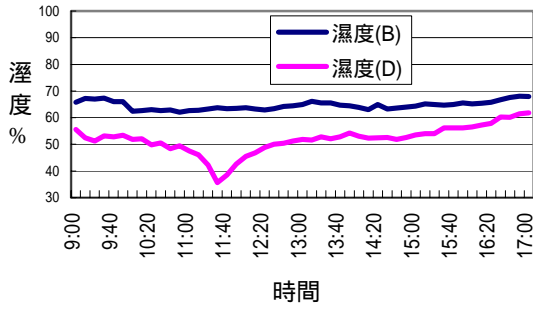


圖 4-5 T1-303 溼度歷時變動分析

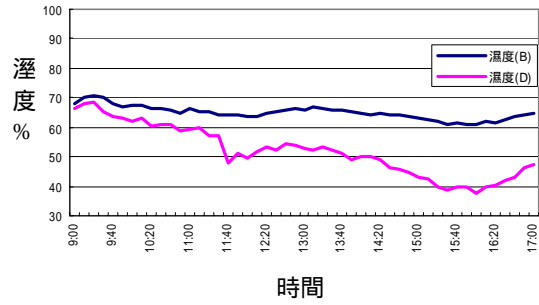


圖 4-6 T1-305 溼度歷時變動分析

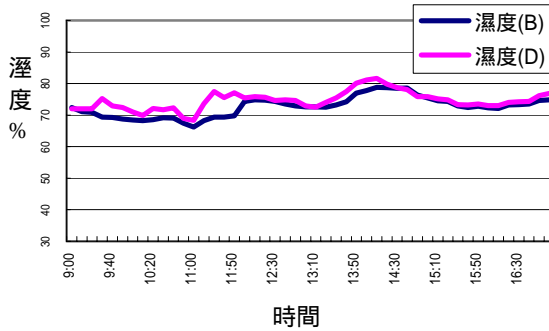


圖 4-7 T2-109 溼度歷時變動分析

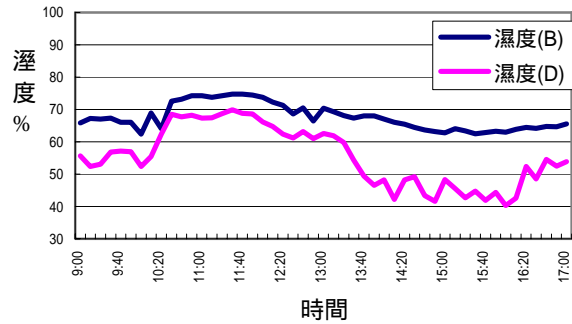


圖 4-8 T2-114 溼度歷時變動分析

3、風速歷時變動分析

本研究進行連續監測期間為夏季，從本地氣象站資料可知台灣地區夏季屬高溫悶熱氣候，大多數時間風速較低。由本實驗結果可知，所測得之室內風速皆為 1 公尺/秒以下，甚至有氣流靜止狀態，即風速為 0 公尺/秒。平均風速為 0.23-0.36 公尺/秒。

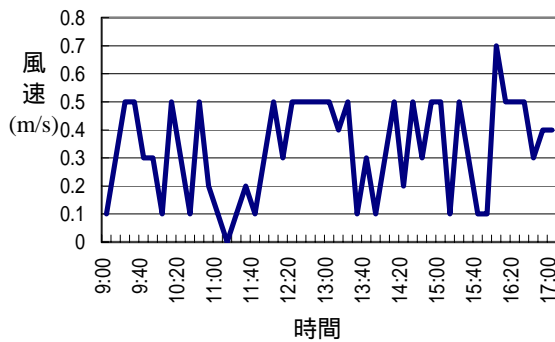


圖 4-9 T1-303 室內風速歷時變動分析

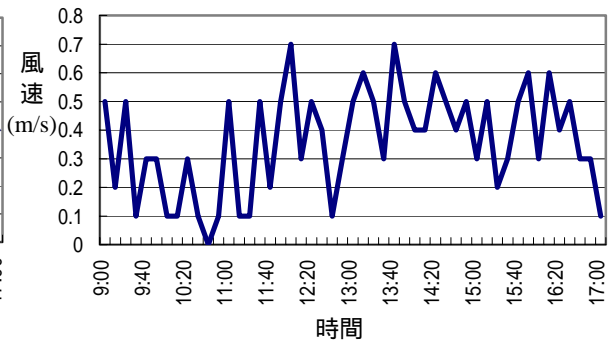


圖 4-10 T1-305 室內風速歷時變動分析

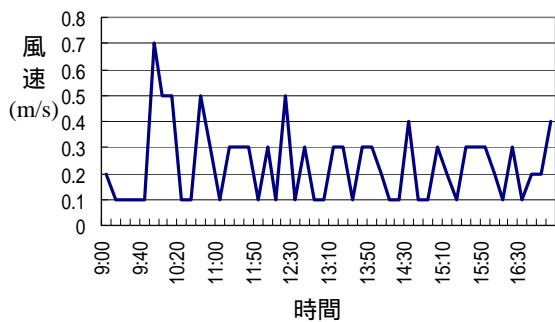


圖 4-11 T2-109 室內風速歷時變動分析

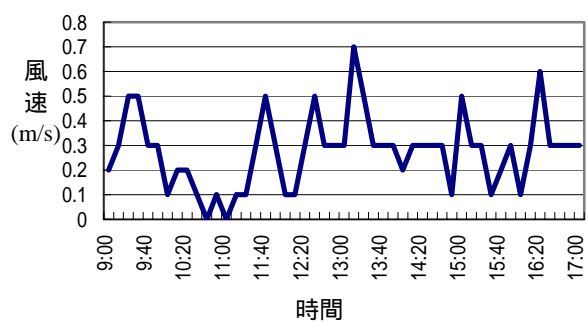


圖 4-12 T2-114 室內風速歷時變動分析

綜合以上四間教室所測得溫度、濕度及風速等三項物理環境因子，分別以算數平均法求得各項物理環境因子之平均值。人的活動量坐著工作時的新陳代謝率為 1.2Met，而國內研究文獻顯示國人夏季衣服絕緣值平均為 0.5clo，並以 ASHRAE 熱舒適度計算程式計算 PMV(Predicted Mean Vote)值 計算結果分別為 T1-303 的 PMV 值為介於 1.54~2.22；T1-305 為 1.22~2.15；T2-109 為 0.97~1.83；T2-114 則為 1.43~2.49，如表 4-1 所示。由結果可知，除 T2-109 教室在大部分時段為較暖環境外，其餘實驗場所室內環境皆已近“熱”的狀態。

表 4-1 各教室物理環境因子平均值

實驗場所名稱	溫度()		溼度(%)		風速(m/s)		PMV
	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	
T1-303	31.13	0.49	64.63	1.57	0.33	0.17	1.54-2.22
T1-305	30.71	0.72	64.98	2.25	0.36	0.18	1.22-2.15
T2-109	29.64	0.31	71.18	10.69	0.23	0.15	0.97-1.83
T2-114	31.17	0.84	67.65	3.98	0.28	0.15	1.43-2.49

五、結論

由本研究結果可知，在無空調設備使用之自然狀態下，普遍而言教室之舒適度屬偏暖至熱的區間，甚至有部份教室已至接近炎熱階段。其中 T2-114 教室受西曬影響，其室內溫度與日照強度有密切關係，由 PMV 計算可知其不滿意度最高；而 T2-109 則因其大面積開窗部分緊鄰擋土牆，所以受日照影響也較小，與其他三間教室比較來得舒適。再與 ASHRAE 的舒適度標準及現有研究文獻比較，本研究結果也都高於其建議標準。因之，在不改變教室外牆遮蔽狀態下，為達成環境舒適之目標，適當的運用空調系統已是必然之方法。

本研究後續將進行下列之探討，以探討適合本土之舒適溫度，並以此為出發點尋求在不影響環境舒適度下學校教室節能的可行性。

- 1、以自動連續監測方式進行普通教室於使用空調設備狀態下物理環境因子量測，並計算客觀之舒適溫度。
- 2、以問卷調查方式了解上課同學對環境舒適的感覺，並透過熱舒適度計算程式之計算瞭解學生的主觀舒適溫度。
- 3、從本研究可知 T2-109 窗戶受擋土牆遮擋，而得較舒適之環境，然其也不利空氣流通，且教室屬人口密集之空間，空氣品質之好壞也會影響學生對環境舒適之感覺，因此後續將以二氧化碳之量測作為探討室內空氣品質之對象。

六、參考文獻

- 謝挺蘊 "考量健康風險評估之室內空氣品質指標之研擬"，碩士論文，國立台北科技大學環境規劃與管理研究所，台北市 (2003)。
- 林子平、何友鋒、牟順誠"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論文集，朝陽科技大學設計學院，台中縣 (2004)。
- 莊振賢 "國人舒適度感受調查研究"，碩士論文，國立台北科技大學冷凍與低溫科技研究所，台北市 (2001)。
- 洪增淵 "演講廳之室內環境品質調查與分析"，碩士論文，朝陽科技大學環境工程與管理系，台中縣 (2004)。
- 江哲銘 周伯丞 "獨立性效應在室內物理環境品質定量化之應用-以高齡者安養中心為例"，中華民國建築學會建築學報，第三十一期，第 33-49 頁 (1999)。
- Nyuk Hien Wong, Shan Shan Khoo, "Thermal comfort in classrooms in the tropics," *Energy and Building*, 35, 337-351 (2003).
- Louay M.Chamra, Kien Huynh, B.K. Hodge, "Thermal Comfort for Sedentary and Moderate Activity Levels," *ASHRAE Transaction*, 108, p428-434 (2002).
- ASHRAE, *Thermal Comfort, ASHRAE handbook Fundamental*, ASHRAE (1997).