

省能空調最佳化配置-

以環球科技大學生態旅遊教育暨技術支援中心為例

1 蔡尚惠、2 蔡佳惠*、3 黃健能、4 張維峻

¹環球科技大學環境資源管理系(所) 助理教授

²環球科技大學體育教學研究中心助理教授

³環球科技大學環境資源管理系(所) 兼任助理教授

⁴環球科技大學環境資源管理系(所) 研究生

摘要

學校為提供舒適的學習環境，常以冷氣空調調節室內溫度，卻也造成大量的能源消耗；在密閉的空間內，如何有效利用能源之配置與管理而達到舒適感，為現今重要的研究課題。本研究以環球科技大學生態旅遊教育暨技術支援中心為實驗對象，針對不同的開窗率與水冷式箱型冷氣機之配置，實測室內熱舒適度指標，並將之與所需最小耗電成本做為限制條件，進行整數線性規劃，以求得最佳化空調配置方式，繼之利用回歸分析將室內外的溫溼度差作為預測室內環境之依據，以瞭解週遭環境因子變化對室內環境因子之影響。本研究實驗期間為夏季 7~9 月，研究發現：當無空調設備時，室內與室外之溫溼度具顯著正相關，而室內溫度與濕度為顯著負相關；在 33% 開窗率情況下，生態走廊區及主題展示區半小時平均每增加溫度 1°C，室內熱舒適度指標分別增加 0.44 及 0.43，而 66% 開窗率之增加值分別為 0.11 及 0.12；在窗全開情況下，生態走廊區之半小時平均溫及溼度差對熱舒適度指標無顯著預測力，而主題展示區半小時平均溼度差每增加 1%，室內熱舒適度指標減少 0.26。據此，開窗率越高對室內溫度有明顯之改善效果。在考量耗電成本情況下，窗全開為最佳配置方式。

關鍵詞：熱舒適度指標 (PMV)、熱舒適度、耗電成本、整數線性規劃、回歸分析

* 通訊作者，64063 雲林縣斗六市嘉東里鎮南路 1221 號。Tel: 0953209373, Email: nicole-tsai@twu.edu.tw.



Energy-Saving Air-Conditioning Allocation Optimization- Case Study on the Center for Ecotourism Education and Development of TransWorld University

1Shang-Te Tsai 2Chia-Hui Tsai† 3Chien-Neng Huang 4We-Jun Chang

¹Assistant professor, Department of Environmental Resources Management, TransWorld University.

²Assistant professor, Sports Teaching and Research Center, TransWorld University.

³Part-time Assistant professor, Department of Environmental Resources Management, TransWorld University

⁴Graduate student, Department of Environmental Resources Management, TransWorld University.

Abstract

Schools often provide a comfortable learning environment with air conditioning for regulating indoor temperature, but suffer a energy consumption problem. Within a confined space, how to effectively utilize the allocation and management of energy devices to achieve comforts is an important research topic. In this research, the center for ecotourism education and development of TransWorld University was the experimental subject. Through a variety of allocations of fenestration rate and water-cooled air-conditioners, the indoor Predicted Mean Vote (PMV) was monitored and used together with the required minimum power consumption costs as constraints to conduct the integer linear programming analyses for obtaining the allocation optimization solution. In addition, regression analysis was employed to examine the predictive power of indoor/outdoor temperature and humidity on the indoor environment. This research was conducted during the summer from July to September. Research findings include: when no air-conditioning equipment, the indoor temperature/humidity and the outdoor temperature/humidity were significantly positive-correlation, while the indoor temperature and humidity significantly negative-correlation; in 33% fenestration rate case, as the mean temperature for half an hour of the ecological corridor area and topic display area increased 1 oC, the indoor thermal comfort index increased by 0.44 and 0.43 respectively, while the increase values of 66% fenestration rate case were 0.11 and 0.12, respectively; in the windows fully open case, the mean temperature and humidity for half an hour of the ecological corridor area had no significant predictive power on the indoor PMV, and the mean humidity for half an hour of the topic display area increased by 1% would decrease the indoor PMV by 0.26. Accordingly, the higher the fenestration rate, the higher the significant improvement in the indoor temperature. By considering power consumption costs, windows fully open case was the optimal allocation.

Keywords : Predicted Mean Vote (PMV), Thermal Comfort, Power Costs, Integer Linear Programming (ILP), Regression Analysis.

† Corresponding author, Tel: 0953209373, Email: nicole-tsai@twu.edu.tw.



壹、前言

一、研究背景與動機

建築物生命週期長達四、五十年甚至百年之久，其中以長期使用的空調、照明、升降設備等佔最大部分的日常耗能。而學校為提供學生良好的學習空間及營造舒適的學習環境，多會裝設空調系統，以維持室內環境舒適的要求，其亦造成能源大量的消耗。且學校耗電時間亦屬電力系統的耗電尖峰時間，如中央空調建築物於夏季的空調耗電比例約40~50%，而照明耗電比例則高達30~40%。教室熱舒適性的原因不僅因其對學習效果產生的負作用，亦需謹慎地調整室內溫度設定使之節省空調耗電（黃教誠，2005）。因此，若全國各級學校均能勵行節約耗電、提高耗電效率，將可減輕電力不足的壓力；此即於舒適度需求與環境保護間取得平衡。

二、研究目的

室內空調耗電的多寡會受到室外溫度變化的影響；且隨著季節的變化，建築物的單日耗電量受使用模式差異而有所不同；另人體對熱舒適的感受差異亦會直接影響空調的負荷。本研究環球科技大學之生態旅遊教育暨技術支援中心（Center for Ecotourism Education and Development, CEED，以下簡稱本中心）為對象，此係教學、研究等相關活動之場所，為滿足能於舒適的環境下進行活動，夏季常須利用空調設備維持室內環境品質，是故擬以中心內的空調設備規劃其配置情形，藉此達到於既有的建築空調設備下，能享有健康與舒適的環境品質，同時為人體舒適溫度下之最小的空調成本支出，以達到省能之目的。；茲將本研究期達到之目的臚列如下：

- (一) 以本中心室內溫度及溼度，計算熱舒適度（Thermal Comfort）指標判定室內環境之優劣。
- (二) 以室內溫溼度對熱舒適度指標及耗電成本之回歸式，預測各空調配置之溫溼度對其熱舒適度指標及耗電成本。
- (三) 以最小熱舒適度與耗電成本為限制條件，利用整數線性規劃(Integer Linear Programming, ILP)求得最佳空調配置方式。

三、研究範圍

人對周圍環境的各種天候條件感受，因人體的適應能力而有所不同，故對室內環境而言，個人的感受亦不盡相同，因此，熱舒適度為受環境影響的心智狀態。每個人對所處的環境溫度顯現的滿意程度，基本上是受主觀所判斷。而室外環境因素主要影響室內溫熱環境；而其他影響因子包含活動量、衣著量、室內溫度、相對溼度、風速及平均輻射溫度。是故受限於實驗器材及時間，本研究之限制範圍述名如下：

- (一) 受限於實驗器材及場所限制，本研究僅針對室內人員之整體熱舒適度加以調查研究。
- (二) 除溫度及溼度可作同時多點監測外，其餘物理環境因子僅使用理論值加以計算熱舒適度指標。
- (三) 為避免相對溼度過高影響分析結果，因此，雨天前後及相對溼度高於60%之資料不列入分析。
- (四) 實驗監測室內溫溼度時，為排除人為干擾所造成的影響，故而所得數據為無人員活動之室內環境的基本背景資料。

貳、文獻探討

一、熱舒適度

(一) 熱舒適度之內涵

國際標準組織之ISO 7730對熱舒適度之定義為：「當人的下意識對所處之熱環境表示滿意時的狀態」。而美國冷凍空調學會（American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE）對舒適的定義是：「人對週遭環境狀況感到滿足」（ASHRAE, 1992）。綜上而言，舒適度判斷為一種根據心智狀態對所處之溫度環境感到滿意程度，係屬一種主觀感受。而以生理與能量傳輸之觀點；欲使人體的冷熱感覺達到舒適程度，人體與外界的熱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，



則會形成人體的熱負荷，造成對冷熱感覺的不舒適感。而人體與環境的熱量傳輸關係，又與溫度、平均輻射溫度、相對溼度、氣流等環境物理因子，以及與著衣量、活動量等個人因素有關。此外，局部性的熱舒適亦會影響舒適度，相關因子包括冷流效應、垂直溫度差、不對稱熱輻射及地板溫度等。

中央氣象局發佈之舒適度指數；係根據天氣預報的基本資料，考量人體熱平衡的關係，將溫度、溼度及風效應予以計算統計所制訂，僅適用於臺灣地區；其舒適度指數分為六等級；即指數10以下為非常寒冷，指數11~15為寒冷，指數16~19為稍有寒意，指數20~26為舒適，指數27~30為悶熱，指數31以上為易中暑。此外，依據Nevins et al. (1966) 及McNall et al. (1967) 曾利用多組受測人員進行舒適程度試驗，以瞭解受測者於四種不同活動量及環境變數下的舒適程度（表1）；其中t表示室內乾球溫度。而由影響舒適度的六個參數中，熱舒適度指標（Predicted Mean Vote, PMV）可如式（1）所示：

表 1：舒適度指標值與環境變數的關係（Nevins et al., 1966; McNall et al., 1967）

活動水準	活動量 (M/A_{Du} , $Kcal/hr.m^2$)	衣著量(I_{cl})	風速 (V_a)	舒適度 (相對溼度=50%)
固定	50	0.6	0.10	$Y=-8.471+0.331t$
低	80	0.6	0.20	$Y=-3.643+0.175t$
中等	106	0.6	0.25	$Y=-3.356+0.174t$
高	135	0.6	0.32	$Y=-4.158+0.265t$

$$PMV_{NM} = f[M/A_{Du}, I_{cl}, V_a, t_a, RH, \bar{t}_r] \quad (1)$$

式中 M/A_{Du} ：活動量

I_{cl} ：衣著量

V_a ：風速

t_a ：室內溫度

RH：相對溼度

\bar{t}_r ：平均輻射溫度

(二) 熱舒適度指標

Fanger (1967) 對人體熱負荷之定義如式（2）所示，即當熱負荷值（ L_d ，式3）等於零時，表示人體達到熱平衡狀態，屬於最舒適狀態；當熱負荷值（ L_d ）小於零時，表示散失的熱量大於人體內所產生的熱量，亦即體內總熱量不斷減少，故感到寒冷；當熱負荷值（ L_d ）大於零時，表示散失的熱量小於人體內所產生的熱量，亦即體內總熱量不斷增加，故感到悶熱。綜合所述，可利用熱負荷值推論出人員對於環境滿意程度，稱之熱舒適度指標（PMV）。因此，若可得影響熱舒適值之變數值，即可求解某一條件下之熱舒適度指標（PMV），依此值可瞭解於此條件下人體的熱舒適度，並可利用從衣著量、調整風溫及風速等面向加以改善，以達到舒適之目的。職是之故，惟人體與外界的熱量進出達到平衡方會感到舒適。當熱量無法達到平衡時即形成熱負荷（ L_d ）。

$$PMV = [0.303 \times e^{-0.036M} + 0.028]L_d \quad (2)$$

式中 L_d ：人體之熱負荷（Kcal/hr）

M：新陳代謝活動率

$$L_d = H - E_d - E_{sw} - E_{re} - S - R_c - C = H - E_d - E_{sw} - E_{re} - S - K \quad (3)$$

式中 H：人體內部產生的熱量（Kcal/hr）



E_d ：皮膚表面水蒸氣擴散所損失的熱量 (Kcal/hr)

E_{sw} ：皮膚表面水分蒸發所損失的熱量 (Kcal/hr)

E_{re} ：呼吸作用的潛熱損失 (Kcal/hr)

S ：呼吸作用的顯熱損失 (Kcal/hr)

K ：人體經由衣服傳導至外界的熱量 (Kcal/hr)

R_c ：衣著表面輻射熱傳損失 (Kcal/hr)

C ：衣著表面對流熱傳損失 (Kcal/hr)

(三) 熱舒適度標準

Fanger (1967) 利用熱舒適度指標 (PMV) 表示大多數人對所處空調環境感覺反應的標準，熱舒適度指標即提供一參考平均值，用於衡量人體在環境中的舒適滿意度。熱舒適度指標的產生係來自於許多受測試者，當處於特定的測量環境裡，對一些環境條件所進行的主觀評估，而為於各種活動量、著衣量和環境等各種因素之組合下，進行可能的熱舒適感覺預測，故將之分為7個階段，範圍由極冷 (-3) 延伸至極熱 (+3)，中立點 (0) 代表熱感適中的狀況，其餘各值所代表之熱感覺分別如表2所示：

表 2：熱舒適度指標 (PMV) 之不同數值範圍代表的意涵

數值	熱舒適感覺	
+3	hot	炎熱
+2	warm	熱
+1	Slight warm	暖
0	neutral	舒適
-1	Slight cool	涼
-2	Cool	冷
-3	cold	寒冷

當熱舒適度指標 (PMV) 值為0時，亦有少數的人覺得不舒服，儘管受試者之衣著量與活動量幾乎相等，為考量不同個體主觀上的差異，PPD指標 (Predicted Percent of Dissatisfied) 亦常用於評估人體對環境的不滿意程度 (ISO 7730)；即「不滿意度」可視為PMV的延伸，PMV值小於-1或大於+1之區間視為不滿意，而介於-1~+1之間則被視為感到滿意。

二、最適配置規劃

人們探討某些線性規劃問題，有時必須將全部或部分決策變數限制為整數。此等線性規劃問題，稱之為線性整數規劃 (Integer Linear Programming, ILP)。當為線性規劃的特殊情況，整數規劃亦有最小化、最大化之別。此外，整數規劃還可分為整數規劃和混合型整數規劃，二者區別在於前者之決策變數必定全部取整數，而後者的決策變數只是部分取整數。線性規劃模型由下列三個部分組成；首先是決策變數 (Decision Variables)，二為特定的目標函數 (Objective Function)，再者是「線性」的限制式 (Constraints)。會影響決策結果的重要變數稱之為決策變數；在規劃欲達到目標函數時面臨的許多條件限制，而此等條件以運算式表示，稱之為限制式。此外，多目標規劃 (Multi-objective Programming, MP) 方法常應用於企業追求多目標的情況，如有效地規劃企業招募人數，員工晉用及薪資預算等。此多個目標包含追求最小的員工薪資支出、滿足各部門的人力基本需求、以及某階層人員的比率等之考慮。如Roberto and Federico (2003) 歐洲城市普遍採用區域供熱廠房，系統結合熱和能量廠房，能量廠房有地熱、甲烷燃燒器、焚化爐三種能量來源，考量其生產限制及所需管理成本，透過混合整數線性規劃 (Mixed Integer Linear Programming, MILP) 最佳管路配置。另Gustafsson (2001) 窗戶塗料採用釉含量多



寡來降低熱傳導係數，以減少熱輻射傳導至玻璃坎板，並配合開窗率來改善建築內之溫度。

而於現今需求下，常以混合整數線性規劃(MILP)模式配置最佳的供熱和供電方式，達到降低建築物之生命周期費用。而由相關文獻之回顧中可發現；國內以線性規劃或整數規劃的方式求解最佳化問題已相當普遍，而如何規劃配置各種空調設備，以發揮最佳效率及減少成本即為本研究之重點；又本研究屬於最佳化混合型線性整數規劃問題，故將運用MATHEMATICA 5.1數學規劃電腦軟體迅速求解、分析，進而得知各空調設備之最佳化配置。

參、材料與方法

一、研究材料

(一) 研究地區

雲林縣斗六地區的年平均溫度為21~24°C，4月梅雨季開始直至11月秋末，氣溫多維持在20°C以上；其中最暖月為7月（平均氣溫為28.2°C），而5~9月之月平均氣溫亦為26°C以上。此外，降雨主要分布於3~9月，又月平均最小相對溼度為10~45%，而年平均相對溼度則是75~80%。

(二) 研究對象

實驗對象為環球科技大學之生態旅遊暨技術支援中心（以下簡稱『本中心』，圖1），此建築為鋼骨結構及玻璃帷幕建築，且建築物外部環境為空曠無遮蔽物之場所，足以符合實驗所需之外在條件，故選擇本中心之主題展示區、生態走廊區之二區域，此二區長11.2 m、寬9 m、高4.2~7.2 m，各區面積為100.8 m²（圖2）。本中心之總窗數為177扇，主題展示區東西面開啓扇數最多為60扇，但生態走廊區東西面開啓扇數最多為30扇，為求兩區之實驗條件相同，故實驗時二區使用之東西面對向窗數各30扇（二區共60扇），實驗時其餘窗扇皆無開啓。因本研究目的為開窗率及冷氣空調設備之使用對降低室內溫度之影響，是故選擇氣候穩定，日照充足降雨機率小之天數，並將實驗期間排定於炎熱7月上旬至9月中旬之夏季季節。實驗進行時，除溫溼度之監測紀錄室內環境因子變化外，並於使用冷氣空調設備時，同步記錄水冷式箱型冷氣之開啓時間，進而推估其空調耗電成本。此外，以實測瞭解空調配置方式對室內溫度之變化情形外，並進行回歸分析求得各空調配置之回歸式，預測其熱舒適度指標(PMV)及耗電成本，再以整數線性規劃(ILP)後求解最佳空調配置方式。

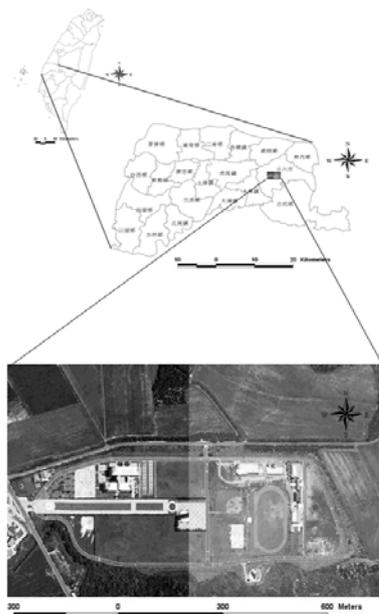


圖 1：環球科技大學嘉東校區地理位置圖



(三) 實驗設備與配置

本研究以溫溼度感測器收集溫溼度之環境參數，並以室外氣象站進行週遭環境參數之測量，資料收集頻率為5次/min。在空調設備方面以東西面窗數分為底中高三層各層5扇共15扇，各區東西面窗數為30扇（二區共60扇），以及四座水冷式箱型冷氣機。各區開啓底層共10扇為33%開窗率，而開啓中底兩層共20扇為66%開窗率，又開啓另30扇為窗全開；窗戶長為0.9 m、寬為0.38 m，單扇開窗面積為0.34 m²最大開窗面積為41.04 m²。實驗時，窗扇開啓與牆面之夾角角度為90度，關閉為0度。二區以窗全閉、33%開窗率、66%開窗率、窗全開及冷氣機開閉為各空調配置方式進行實驗；實驗所監測數據記錄於實驗紀錄表，後續將所得數據加以分析以得中心內之相關設備與溫度變化情形，以作為建構模式之依據。

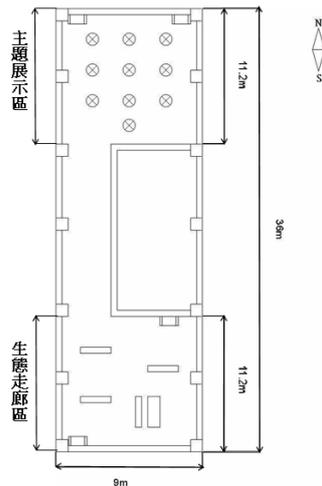


圖 2：生態旅遊教育暨技術支援中心實驗區域平面圖

一般情形時本中心內電器設備主要用於提供照明及空調設備，其他如麥克風及插座等設備耗電量較小，且較無省能探討空間，故並非本研究探討範圍。中心內未裝置電錶，故中心之耗電成本係以使用之空調設備的功率值進行推估；如空調設備為東元PW0525C型水冷式箱型冷氣機功率耗電量4.86 kWh。另考量中心內各電器設備的使用狀況，因此，為避免照明及其他電器設備電器所產生之熱量，影響所監測之室內環境因子，是故實驗時將此等設備關閉。

影響熱舒適值的物理因素有四項；即溫度、風速、相對溼度以及平均輻射溫度；而影響熱舒適值的人體因素，為衣著量、活動量。此外，局部性的熱舒適，也是影響空調舒適度的重要因子，包括冷流效應、垂直溫度差、不對稱熱輻射及地板溫度，然因研究場所之限制，及受限於實驗器材，本研究僅針對室內人員的整體熱舒適度加以調查研究，而本研究所量測的物理因子，係為室內、外之溫度及相對溼度，所使用監測儀器規格如下：

1. 量測室外環境條件：使用環球科技大學正門左側之氣象自動觀測系統，量測室外的溫度、溼度、雨量及風速等氣象要素，可經由裝設的氣象儀器感測處理後，記錄並顯示於電腦周邊設備。
2. 量測室內環境條件：室內溫度與相對溼度採用 ELEKTRONIC 型號 EE20 溫溼度感測器，其裝設於二區東面，量測高度為 2 m，並連結校園能源管理系統，可同時量測二區之溫度及溼度，並將量測的數據資料傳送至環境監控管理系統之資料庫中。

研究中利用Fanger (1967) 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，即可求算當下室內環境中人體之舒適感受值，又人體為維持恆定之體溫，會因應環境條件的變動而調整人體的體溫。Fanger (1967) 之熱舒適指標即根據熱負荷與人體主觀感覺之間的關係所建立，可自環境物理參數與個人生理因素，量化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員對於環境之滿意



程度。此外，熱舒適度指標(PMV)的計算係利用ASHRAE(1992)熱舒適計算軟體(ASHRAE Thermal Comfort Program V1.00)求得，其計算方式係依影響人體舒適度的六項因子計算而成。另研究中設定參觀人員的活動量為站立及行走(2 mph)，故其活動量以2 Met列入程式計算，輸入室內溫度及相對溼度即實際室內溫、濕度值，而平均幅射溫度則以室內溫度值替代，另氣流速度、活動量及人員衣服絕緣值等各項數據，按軟體中ASHRAE 55 Summer之規範，即可求得PMV值。

二、研究方法

本研究利用線性回歸分析(Linear Analysis of Regression)分析以探討室內熱舒適度指標(PMV)，以及耗電成本與室內外環境因子間之關係，並驗證各變數之間的相關性。即設定一個函數，將室內熱舒適度指標及耗電成本，與室內外溫溼度差，設定為依變數(Y)與自變數(X)的關係。自變數是討論室內熱舒適度指標主要的變數，亦是預測室內熱舒適度指標的變數。再以統計方法驗證此二變數間有無關係；依變數對解釋變數之影響則以回歸分析表示。

肆、結果與討論

本研究於2007年7月18日、7月19日、7月20日、7月21日及9月13日，在夏季期間採用物理量測方式，對本中心之生態走廊區及主題展示區之室內外環境因子進行監測，各日二區空調配置分別採用33%開窗率、66%開窗率、窗全開、窗全閉及冷氣全開等，針對夏季因日照所造成之室內溫度升高情形，瞭解各空調配置對室內環境熱舒適之影響。

一、基礎資料分析

室外環境條件為典型之臺灣夏季氣候，天候狀況良好日照充足，當建築結構物直接受到日照時，由無空調設備對室內環境因子量測結果發現；夏季天氣晴朗日照充足之室外條件下，上午時段室內易受日照影響而造成溫度上昇現象，下午四時以後則室外溫度下降明顯，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，故室內二區溫度皆高於室外溫度(圖3)。

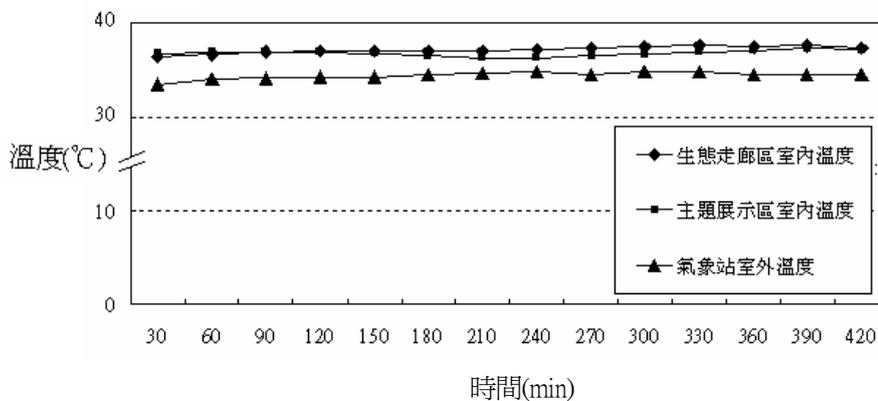


圖 3：室內外溫度歷時變化

由表3之窗全閉比對實驗之結果得知；當未使用空調情況下，生態走廊區、主題展示區之室內平均熱舒適度指標(PMV)分別為4.29、4.16，高於室外熱舒適度指標(3.39)，二區皆已超出舒適度範圍，表示於此空調配置方式下室內人體感受會較室外不舒適。一般而言，中午時段因日照關係使溫度較高，室外濕度明顯降低，而室內則因建物遮蔽作用且無使用空調設備，是故濕度變化較小，而當中午過後室內溼度則高於室外溼度(圖4)。當建築結構物受直接日照時，其生態走廊區及主題展示區之室內外溫度差範圍分別為2.32~3.03°C、1.48~3.38°C；而生態走廊區及主題展示區之室內外溼度差範圍分別為-7.5~-18.67%、-5.0~-18.0%，由此可知，主題展示區較生態走廊區溫度具明顯變化(圖5)。綜上所述，當無開啓空調設備的情況下，室內溫度及溼度將會增加且高於室外，而主題



展示區較生態走廊區之環境因子變化情形明顯，日照對室內環境熱舒適影響之鉅，高溫將會對室內人員熱舒適造成極大之影響。

表 3：窗全閉實驗結果統計表

環境參數	生態走廊區			主題展示區		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
室內溫度 (°C)	37.58	36.35	37.16	37.28	36.25	36.80
室內相對溼度 (%)	51.33	47.50	48.69	51.00	48.33	57.33
室內熱舒適度指標 (PMV)	4.45	3.98	4.29	4.34	3.96	4.16
室外熱舒適度指標 (PMV)	3.61	3.08	3.39	3.61	3.08	3.39

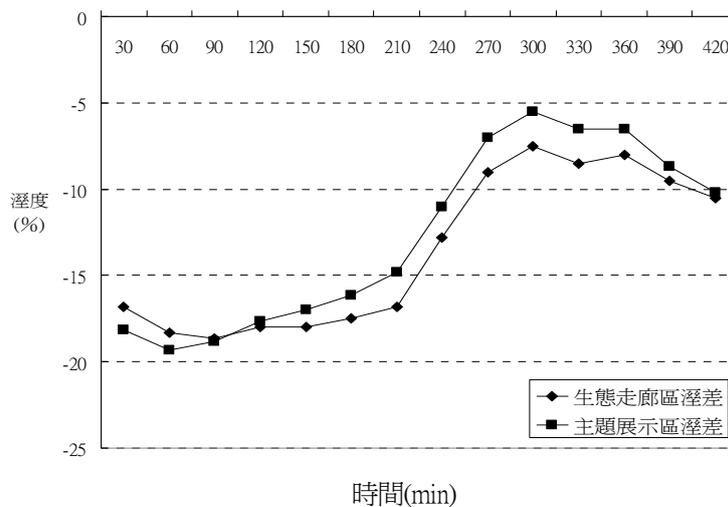


圖 4：窗全閉時室內外歷時之溼度差

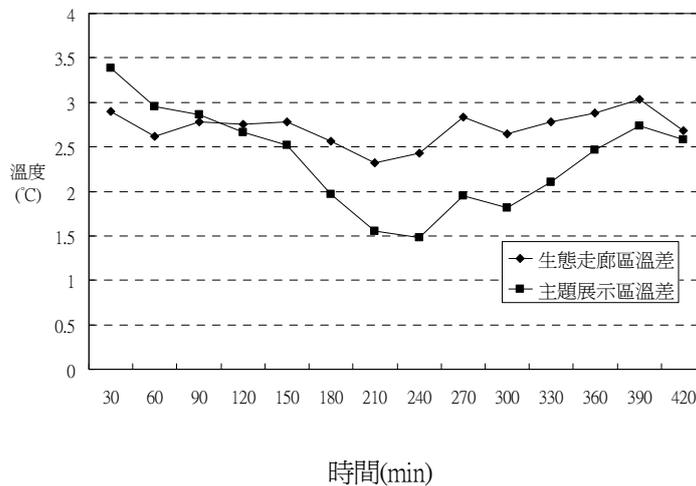


圖5：窗全閉時室內外歷時之溫度差

二、最佳配置模式

本研究係探討於熱舒適度條件下之空調配置及其最小成本決策。需求面是人體舒適度及最小成本，供給面則是空調配置中各空調設備及成本等均不相同。是故以33%開窗率、66%開窗率、窗全開、水冷式箱型冷氣機等空調配置之實驗結果，求得熱舒適度指標 (PMV) 及其耗電成本；又本研究屬整數線性規劃 (ILP) 問題，故使用MATHEMATICA 5.1數學分析軟體迅速求解，並採用分枝限界法對約束條件的最佳化可行解空間，恰當地



進行系統搜索，將全部可行解空間反覆地分割為越來越小的子集，進而獲得最佳空調配置方式。

(一) 基本假設

為確保本研究中模式的使用限制且能符合實際之應用，於模式構建上提出下列二點假設條件：

1. 同樣開窗扇於各區域之入風量皆相同；即不考慮室外風速及窗扇位置之部分差異性。
2. 空調設備分為 33%開窗率、66%開窗率、窗全開、水冷式箱型冷氣等四種，並依不同狀況，以開啓時間為單位，進行其耗電成本之推估。

(二) 模式建立

$$\text{Min.} \quad P_{\min}, C_{\min} \quad (4)$$

$$\text{Subject to} \quad C_{\min} \geq 0 \quad (5)$$

$$P_{\min} \geq 0 \quad (6)$$

式中 C_{\min} ：耗電成本

P_{\min} ：熱舒適度指標

本模式中之目標式為耗電成本及熱舒適度指標最小化（式4）；即空調設備開啓時最小熱舒適度指標（PMV）所需之最小耗電成本，式5、6中表示決策變數為非負整數。

(三) 測試結果

由本模式於零成本空調配置情形之測試結果得知；33%開窗率、66%開窗率間之溫濕度及舒適度的差異不大，且有交疊情形，而窗全開情形下之溫濕度及舒適度的穩定較佳。此外，若考慮成本的情形下，則窗全開為最佳的空調配置方式，然若考慮室內熱舒適度指標（PMV）情形而忽略耗電成本，使用水冷式箱型冷氣機為改善室內環境熱舒適之更有效方式。

三、解釋與預測分析

以各空調配置監測室內外環境因子，運用線性回歸之逐步回歸法加以分析，可大致推估溫溼度差對熱舒適度指標（PMV）之變化量，以及室外溫溼度對熱舒適度指標之變化量。研究中使用SPSS 15進行統計檢定，除確定該線性回歸方程式於統計上是否具有意義，並透過該線性回歸模式推估溫溼度差，各空調配置對熱舒適度指標（PMV）之回歸式，以及室外溫溼度於各空調配置對熱舒適度指標之回歸式。

(一) 環境因子之線性回歸分析

在以下之方程式中，Y：PMV； X_1 ：半小時均溼度差（%）； X_2 ：室外半小時均溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

1. 生態走廊區

(1) 窗全閉室內外環境因子對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析

由生態走廊區窗全閉溫度差及溼度差對熱舒適度指標之線性回歸分析得知；生態走廊區窗全閉半小時平均溼度差對PMV之適配性佳（ $p=0.001$ ），且Durbin-Watson值達0.805，是故殘差檢定為可接受範圍；又回歸相關係數（R）為0.804，而決定係數（ R^2 ）達64.6%，即生態走廊區半小時平均溼度差對PMV變化量之解釋力高。此外，截距（常數項）是4.607，而斜率為0.024，而由統計檢定結果得知均具顯著性（ $p=1.36e-16$, $p=0.001$ ），故由式7可得知；半小時平均溼度差每增加1%，會使PMV增加0.024。生態走廊區窗全閉情況下，溫度差及溼度差對熱舒適度指標（PMV）之回歸分析結果顯示；溼度差與溫度差相



較之下，溼度差變化情形較為顯著，優先排除溫度差條件。因此，回歸式中溼度差對熱舒適度指標之變化影響較高。

$$Y=0.024X_1+4.607 \quad (7)$$

由生態走廊區窗全閉室外環境因子對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析可知；生態走廊區窗全閉之室外半小時平均溼度和溫度對熱舒適度指標（PMV）之適配性佳，即均具顯著值（ $p=4.490e-5$, $p=5.058e-6$ ），且Durbin-Watson值為1.475，因此，二自變數間無共線性；室外半小時平均溫度與熱舒適度指標（PMV）之回歸相關係數（R）為0.873，室外半小時平均溫度及溼度與PMV之回歸相關係數（R）為0.944，且該區室外半小時平均溫度及溼度對PMV變化量之決定係數（ R^2 ）達89.1%，高於室外半小時平均溫度對PMV變化量之決定係數（ R^2 ）的76.3%，是故選擇模式2。此外，由統計檢定得知，截距（常數項）是-1.292（ $p=0.493$ ），且室外濕度及溫度均具顯著性（ $p=0.004$, $p=0.003$ ）。是故由式8可得知；室外半小時平均溫度每增加 1°C ，會使PMV增加0.184，室外半小時平均溼度每增加1%，PMV將減少0.012。生態走廊區窗全閉情況下，室外溫度及溼度對PMV之回歸分析結果顯示，室外溫度及溼度變化皆會影響熱舒適度指標（PMV）之變化情形。

$$Y=-0.012X_1+0.184X_2-1.292 \quad (8)$$

(2) 33%開窗率室內外環境因子對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析

由生態走廊區33%開窗率溫度差及溼度差對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析可知生態走廊區33%開窗率，半小時平均溫溼度差對PMV之適配性佳（ $p=0.000$ ），且Durbin-Watson值為1.373，因此，二自變數間無共線性；半小時平均溫度差與PMV之回歸相關係數為0.915，且生態走廊區半小時平均溫度差對PMV變化量之解釋力達83.7%（ R^2 ）。此外，截距與斜率均具有顯著性（ $p=2.43e-14$, $p=4.6e-6$ ）。是故由式9可得知；半小時平均溫度差每增加 1°C ，會造成PMV增加0.441。生態走廊區33%開窗率情況下，溫度差及溼度差對PMV之回歸分析結果顯示，溼度差與溫度差相較之下，溫度差變化情形較為顯著，優先排除溼度差條件。因此，回歸式中溫度差對PMV之變化影響較高。

$$Y=0.441X_2+2.919 \quad (9)$$

由生態走廊區33%開窗率室外環境因子對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析可知；33%開窗率之室外半小時平均溫度對PMV之適配性佳（ $p=0.003$ ），且Durbin-Watson值為0.819，故二自變數間無共線性；室外半小時平均溫度與PMV之回歸相關係數為0.736，且該區室外半小時平均溫度對PMV變化量之解釋力達54.1%（ R^2 ）。此外，截距與斜率均具顯著性（ $p=0.008$, $p=0.003$ ），而由式10可得知；室外半小時平均溫度每增加 1°C ，會使PMV增加0.619。生態走廊區33%開窗率情況下，室外溫度對熱舒適度指標（PMV）之回歸分析結果顯示，回歸式中室外溫度變化會影響熱舒適度指標之變化情形。

$$Y=0.619X_2-17.393 \quad (10)$$

(3) 66%開窗率室內外環境因子對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析

由生態走廊區66%開窗率溫度差及溼度差對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析可知生態走廊區66%開窗率之半小時平均溼度差，以及溫、溼度對PMV之適配性均佳（ $p=0.000$, $p=0.000$ ），且Durbin-Watson值為1.597，是故兩自變數間無共線性；半小時平均溼度差與PMV之回歸相關係數（R）為0.899，半小時平均溫度差及半小時平均溼度差與PMV回歸相關係數為0.937，且該區半小時平均溫度差及半小時平均溼度差對PMV變化量之解釋力達87.9%（ R^2 ），高於半小時平均溼度差對PMV變化量之80.8%（ R^2 ），故而選擇式11。此外，截距（常數項）是3.293（ $p=1.128e-19$ ），且室外濕度及溫度均具顯著性（ $p=2.479e-005$, $p=0.028$ ），故而由式26可得知；半小時平均溫度差每增加 1°C ，會造成



PMV增加0.114，半小時平均溼度差每增加1%，會造成PMV減少0.016。生態走廊區66%開窗率情況下，室內外溫度差及溼度差對PMV之回歸分析結果顯示，回歸式中溫度差及溼度差變化皆會影響熱舒適度指標（PMV）之變化情形。

$$Y=-0.016X_1+0.114X_2+3.293 \quad (11)$$

由生態走廊區66%開窗率室外環境因子對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析可知生態走廊區66%開窗率之室外半小時平均濕度對PMV之適配性佳（ $p=0.001$ ），且Durbin-Watson值為0.745，是故二自變數間無共線性；室外半小時平均溼度與PMV回歸相關係數為0.802，且該區室外半小時平均溼度對PMV變化量之解釋力達66.4%（ R^2 ）。此外，截距與斜率均具顯著性（ $p=4.206e-6$, $p=0.001$ ）。故由式12可得知；室外半小時平均溼度每增加1%，會造成PMV增加0.619。生態走廊區66%開窗率情況下，室外溼度對PMV之回歸分析結果顯示，回歸式中室外溼度變化會影響PMV之變化情形。

$$Y=0.021X_1+2.15 \quad (12)$$

(4) 窗全開室內外環境因子對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析

由生態走廊區窗全開溫度差及溼度差對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析可知生態走廊區窗全開之半小時平均溫溼度差對PMV之回歸模式未達顯著（ $p=0.699$ ），是故二自變數對PMV無顯著的預測力。此外，由線性回歸分析可知生態走廊區全開之半小時平均溼度和溫度對PMV之未達顯著（ $p=0.273$ ），故二自變數對PMV無顯著的預測力。

(5) 冷氣全開室內外環境因子對PMV之線性回歸分析

由生態走廊區冷氣全開溫度差及溼度差對PMV之線性回歸分析可知冷氣開啓之半小時平均溫溼度差對PMV之適配性佳（ $p=0.023$ ），且Durbin-Watson值達0.712，故而殘差檢定係為可接受範圍；半小時平均溼度差與PMV回歸相關係數為0.600，半小時平均溼度差對PMV變化量之解釋力達36%（ R^2 ）。此外，截距與斜率均具有顯著性（ $p=1.89e-11$, $p=0.023$ ）。因此，由式13可得知；半小時平均溼度差每增加1%，會使造成PMV增加0.02。生態走廊區冷氣全開情況下，室內外溫度差及溼度差對PMV之回歸分析結果顯示，溼度差與溫度差相較之下，溼度差變化情形較為顯著，優先排除溫度差條件，故回歸式中溼度差變化影響PMV之解釋性較佳。

$$Y=-0.02X_1+0.937 \quad (13)$$

由生態走廊區冷氣全開室外環境因子對PMV之線性回歸分析可知冷氣全開之室外半小時平均濕度對PMV之適配性佳（ $P=0.003$ ），且Durbin-Watson值為0.763，是故二自變數間無共線性；而室外半小時平均溼度與PMV之回歸相關係數為0.735，且該區室外半小時平均溼度對PMV變化量之解釋力達54%（ R^2 ）。此外，截距與斜率均具顯著性（ $p=8.284e-6$, $p=0.003$ ）。因此，由式14可得知；室外半小時平均溼度每增加1%，會造成PMV減少0.019。生態走廊區冷氣全開情況下，室外溼度對PMV之回歸分析結果顯示，回歸式中室外溼度變化會影響PMV之變化情形。

$$Y=-0.019X_1+1.932 \quad (14)$$

2. 主題展示區

(1) 窗全閉室內外環境因子對熱舒適度指標（PMV）之線性回歸分析

由主題展示區窗全閉溫度差及溼度差對PMV之線性回歸分析可知主題展示區窗全閉之半小時平均溫溼度差對PMV之適配性佳（ $p=0.003$, $p=0.0004$ ），且Durbin-Watson為1.086，是故二自變數間無共線性；半小時平均溼度差及半小時平均溫度差與PMV之回歸相關係數為0.868，高於半小時平均溫度差與PMV之回歸相關係數（ $R=0.730$ ），且該區半小時平均溫度差及半小時平均溼度差對PMV變化量之解釋力（ $R^2=75.4\%$ ），高於半小時



平均溫度差對PMV變化量之解釋力 ($R^2=53.3\%$)，故而選擇式15。此外，截距（常數項）是3.823 ($p=2.42e-014$)，且濕度及溫度均具顯著性 ($p=0.0001, p=0.009$)，是故由式15可得知；半小時平均溼度差每增加1%，會造成PMV增加0.012，半小時平均溫度差每增加1°C，會造成PMV增加0.207。主題展示區窗全閉情況下，平均溫度差及溼度差對PMV之回歸分析結果顯示，因此回歸式中溫度差及溼度差變化皆會影響PMV之變化情形。

$$Y=0.012X_1+0.207X_2+3.823 \quad (15)$$

由主題展示區窗全閉室外環境因子對PMV之線性回歸分析可知全開之半小時平均溼度和溫度對PMV之回歸模式未達顯著 ($p=0.120$)，因此，二自變數對PMV無顯著的預測力。

(2) 33%開窗率室內外環境因子對熱舒適度指標 (PMV) 之線性回歸分析

由主題展示區33%開窗率溫度差及溼度差對熱舒適度指標 (PMV) 之線性回歸分析可知33%開窗率半小時平均溫溼度差對PMV之適配性佳 ($p=0.002$)，且Durbin-Watson值為1.206，是故二自變數間無共線性；半小時平均溫度差與PMV之回歸相關係數為0.755，且該區半小時平均溫度差對PMV變化量之解釋力達57% (R^2)。此外，截距與斜率均具顯著性 ($p=1.84e-14, p=0.002$)，而由式16可得知；半小時平均溫度差每增加1°C，會造成PMV增加0.426。主題展示區33%開窗率情況下，室內外溫度差及溼度差對PMV之回歸分析結果顯示，溼度差與溫度差相較之下，溫度差變化情形較為顯著，優先排除溼度差條件。因此回歸式中溫度差變化影響PMV之解釋性較佳。

$$Y=0.426X_2+2.967 \quad (16)$$

由主題展示區33%開窗率室外環境因子對熱舒適度指標 (PMV) 之線性回歸分析可知；33%開窗率半小時平均溫溼度對PMV之適配性佳 ($p=0.001$)，且Durbin-Watson值為0.912，是故二自變數間無共線性；而半小時平均溫度差與PMV之回歸相關係數為0.763，且該區半小時平均溫度對PMV變化量之解釋力達58.3% (R^2)。此外，截距與斜率均具顯著性 ($p=0.008, p=0.001$)，而由式17可得知；半小時平均室外溫度每增加1°C，會造成PMV增加0.442。主題展示區33%開窗率情況下，室外溫度對PMV之回歸分析結果顯示，室外溼度與溫度相較之下，室外溫度變化情形較為顯著，優先排除溼度條件。因此回歸式中溫度對PMV之變化影響較高。

$$Y=0.442X_2-11.654 \quad (17)$$

(3) 66%開窗率室內外環境因子對 PMV 之線性回歸分析

由主題展示區66%開窗率溫度差及溼度差對PMV之線性回歸分析可知；66%開窗率之半小時平均溫溼度差對PMV之適配性佳 ($p=0.001, p=5.03e-5$)，且Durbin-Watson值為1.896，是故二自變數間無共線性；而半小時平均溼度差與PMV之回歸相關係數為0.836，又半小時平均溫度差與PMV的回歸相關係數為0.914，且該區半小時平均溫度差及半小時平均溼度差對PMV變化量之解釋力 ($R^2=83.5\%$)，高於半小時平均溼度差對PMV變化量之解釋力 ($R^2=69.9\%$)，故而選擇式18。此外，截距（常數項）是3.220 ($p=4.08e-19$)，且濕度及溫度均具顯著性 ($p=7.5e-5, p=0.012$)，是故由式18可得知；半小時平均溫度差每增加1°C，會造成PMV增加0.12，半小時平均溼度差每增加1%，會使PMV減少0.013。主題展示區66%開窗率情況下，室內外溫度差及溼度差對PMV之回歸分析結果顯示，回歸式中溫度差及溼度差變化皆會影響PMV之變化情形。

$$Y=-0.013X_1+0.12X_2+3.22 \quad (18)$$

由主題展示區66%開窗率室外環境因子對PMV之線性回歸分析可知；66%開窗率之半小時平均溼度對PMV之適配性佳 ($p=0.003$)，且Durbin-Watson值為0.874，是故二自變



數間無共線性；而半小時平均溼度與PMV之回歸相關係數為0.731，且該區半小時平均溼度對PMV變化量之解釋力達53.5% (R^2)。此外，截距與斜率均具顯著性 ($p=1.026e-6$, $p=0.003$)，是故由式19可得知；室外半小時平均溼度每增加1%，會使PMV增加0.015。主題展示區66%開窗率情況下，室內外溼度對PMV之回歸分析結果顯示，回歸式中溼度變化皆會影響PMV之變化情形。

$$Y=0.015X_i+2.296 \quad (19)$$

(4) 窗全開室內外環境因子對熱舒適度指標 (PMV) 之線性回歸分析

由主題展示區窗全開溫度差及溼度差對熱舒適度指標 (PMV) 之線性回歸分析可知；窗全開半小時平均溫溼度差對PMV之適配性佳 ($p=0.036$)，且Durbin-Watson值為1.236，是故二自變數間無共線性；而半小時平均溼度差與PMV之回歸相關係數為0.563，且該區半小時平均溼度差對PMV變化量之解釋力達31.7% (R^2)。此外，截距與斜率均具顯著性 ($p=3.74e-10$, $p=0.036$)，故由式20可得知；半小時平均溼度差每增加1%，會使PMV減少0.260。主題展示區窗全開情況下，室內外溫度差及溼度差對PMV之回歸分析結果顯示，溼度差與溫度差相較之下，溼度差變化情形較為顯著，優先排除溫度差條件，因此，回歸式中溼度差變化影響PMV之解釋性較佳。

$$Y=-0.260X_i+2.681 \quad (20)$$

由主題展示區窗全開室外環境因子對PMV之線性回歸分析可知；窗全開之室外半小時平均溫度對PMV之適配性佳 ($p=0.013$)，且Durbin-Watson值為1.359，是故二自變數間無共線性；而室外半小時平均溫度與PMV之回歸相關係數為0.646，且該區室外半小時平均溫度對PMV變化量之解釋力達41.8% (R^2)。此外，截距與斜率均具顯著性 ($p=0.704$, $p=0.013$)，故由式21可得知；室外半小時平均溫度每增加1°C，會造成PMV增加0.102。主題展示區窗全開情況下，室外溫度對PMV之回歸分析結果顯示，回歸式中室外溫度變化會影響PMV之變化情形。

$$Y=0.102X_2-0.463 \quad (21)$$

(5) 冷氣全開室內外環境因子對熱舒適度指標 (PMV) 之線性回歸分析

由主題展示區冷氣全開溫溼度差對熱舒適度指標 (PMV) 之線性回歸分析可知；冷氣開啓之半小時平均溫溼度差對PMV之適配性佳 ($p=0.007$)，且Durbin-Watson值為1.108，是故殘差檢定於可接受範圍；半小時平均溼度差與PMV之回歸相關係數為0.681，半小時平均溼度差對PMV變化量之解釋力達46.3% (R^2)。此外，截距與斜率均具顯著性 ($p=2.06e-13$, $p=0.007$)，故由式22可得知；半小時平均溼度差每增加1%，會使PMV增加0.012。主題展示區冷氣全開情況下，室內外溫度差及溼度差對PMV之回歸分析結果顯示，溼度差與溫度差相較之下，溼度差變化情形較為顯著，優先排除溫度差條件。因此，回歸式中溼度差變化影響PMV之解釋性較佳。

$$Y=0.012X_i+0.924 \quad (22)$$

主題展示區冷氣全開室外環境因子對PMV之線性回歸分析可知；冷氣全開之室外半小時平均濕度對PMV之適配性佳 ($p=0.004$)，且Durbin-Watson值為1.012，是故二自變數間無共線性；而室外半小時平均溼度與PMV之回歸相關係數為0.714，且該區室外半小時平均溼度對PMV變化量之解釋力達51% (R^2)。此外，截距與斜率均具顯著性 ($p=1.997e-6$, $p=0.004$)，故由式23可得知；室外半小時平均溼度每增加1%，會造成PMV減少0.012。主題展示區冷氣全開情況下，室外溼度對PMV之回歸分析結果顯示，回歸式中室外溼度變化會影響PMV之變化情形。



$$Y=-0.012X_i+1.501 \quad (23)$$

(二) 耗電成本之線性回歸分析

1. 生態走廊區溫度差及溼度差對耗電成本之線性回歸分析

由線性回歸分析可知生態走廊區冷氣開啓之半小時平均溫溼度差對耗電成本之適配性佳 ($p=0.11$)，且Durbin-Watson值為0.617，是故殘差檢定於可接受範圍；而半小時平均溼度差與耗電成本之回歸相關係數為0.653，半小時平均溼度差對耗電成本變化量之解釋力達42.7% (R^2)。此外，截距與斜率均具顯著性 ($p=1.14e-6$, $p=0.011$)，故由式24可得知；半小時平均溼度差每減少1%，會造成耗電成本增加20.256。生態走廊區冷氣全開情況下，生態走廊區溫度差及溼度差對耗電成本之回歸分析結果顯示，溼度差與溫度差相較之下，溼度差變化情形較為顯著，優先排除溫度差條件。因此回歸式中溼度差變化影響耗電成本之解釋性較佳。

$$Y=-20.256X_i+308.873 \quad (24)$$

2. 主題展示區溫度差及溼度差對耗電成本之線性回歸分析

由線性回歸分析可知主題展示區冷氣開啓之半小時平均溫溼度差對耗電成本之適配性佳 ($p=0.001$)，且Durbin-Watson值為0.975，是故殘差檢定於可接受範圍；而半小時平均溼度差與耗電成本之回歸相關係數為0.799，半小時平均溼度差對耗電成本變化量之解釋力達63.8% (R^2)。此外，截距與斜率均具顯著性 ($p=1.45e-5$, $p=0.001$)，故由式25可得知；半小時平均溼度差每減少1%，會造成室內耗電成本增加20.582。主題展示區冷氣全開情況下，主題展示區溫度差及溼度差對耗電成本之回歸分析結果顯示，溼度差與溫度差相較之下，溼度差變化情形較為顯著，優先排除溫度差條件。因此，回歸式中溼度差變化影響耗電成本之解釋性較佳。

$$Y=-20.582X_i+214.679 \quad (25)$$

各空調配置方式之溫溼度差對熱舒適度指標 (PMV) 之回歸分析結果，於生態走廊區66%開窗率時，半小時平均溫溼度差對熱舒適度指標模式配適度之F值達39.801，其模式預測性達87.9%，從回歸式得知，半小時平均溫度差每增加1°C，將使PMV增加0.114，半小時平均溼度差每增加1%，使PMV減少0.016。而在主題展示區於66%開窗率時，半小時平均溫溼度差對熱舒適度指標 (PMV) 之模式適配度的F值達27.75，其模式預測性達83.5%，從回歸式得知，半小時平均溫度差每增加1°C，PMV將增加0.12，半小時平均溼度差每增加1%，使PMV減少0.013。因此兩區於66%開窗率時，其室內外環境因子變化較其餘配置方式之模式適配度及預測性最高。

各空調配置方式之室外溫溼度對熱舒適度指標 (PMV) 之回歸分析結果，於生態走廊區窗全閉時，半小時平均溫溼度對熱舒適度指標 (PMV) 模式適配度之F值達44.998，其模式預測性達89.1%較佳，由回歸式得知；室外半小時平均溫度每增加1°C，會使熱舒適度指標 (PMV) 增加0.184，室外半小時平均溼度每增加1%，PMV將減少0.012，而在主題展示區於33%開窗率時半小時平均溫溼度，對熱舒適度指標 (PMV) 之模式適配度的F值達16.774其模式預測性達58.3%較佳，從回歸式得知；半小時平均室外溫度每增加1°C，會使PMV增加0.442。是故生態走廊區於窗全閉及主題展示區於33%開窗率時，其室內外環境因子變化較其他配置方式之模式適配度及預測性最高，可用於對中心室內之熱舒適度指標 (PMV) 進行預測。綜上而言，生態走廊區於冷氣全開時，半小時平均溼度差每減少1%，會造成耗電成本增加20.256；而在主題展示區於冷氣全開時，半小時平均溼度差每減少1%，會造成室內耗電成本增加20.582。



伍、結論與建議

本研究係以環球科技大學之生態旅遊教育暨技術支援中心為對象，進行室內環境物理因子的自動連續監測，由量測而得之室內溫度、相對濕度及人體活動代謝率等影響人體舒適度因子，計算於33%開窗率、66%開窗率、窗全開、使用冷氣空調及無空調狀態下之熱舒適度指標（PMV）；且將其耗電成本經整數線性規劃（ILP）分析後求得最佳配置方法；並經回歸分析探討室內外溫、溼度差對熱舒適度指標（PMV），以及室內外溫、溼度差對耗電成本之影響推估，提出適當之節能策略以作為中心節約能源之參考。綜合以上之量測及分析結果茲提出以下之結論及建議。

一、結論

- (一) 就取樣之生態走廊區及主題展示區而言，夏季在無冷氣空調僅以開窗狀況下，所測得之溫濕度之平均熱舒適度指標（PMV）皆超過3，高於舒適度的範圍，因此，使用冷氣空調來改善室內的舒適度已是無法避免。
- (二) 於無開啓空調設備情形下，室外溫溼度與室內溫溼度具顯著正相關，而室內外溫溼度間則為顯著負相關，是故室內環境會對人體產生不舒適感。
- (三) 開窗配置方式 66%開窗率與窗全開時，二區熱舒適度指標（PMV）雖超出舒適度範圍，但與室內外熱舒適度指標（PMV）相較之下，室內人體感受會較室外舒適。
- (四) 考量耗電成本情形下，窗全開為降低室內溫度最有效之配置方式；而若不考量成本情形下，降低室內溫度最顯著為開啓冷氣空調，且改善效果將能使室內環境達到熱舒適度指標（PMV）之舒適範圍。
- (五) 冷氣全開時，生態走廊區半小時平均溼度差每減少 1%，會造成耗電成本增加 20.256；而主題展示區半小時平均溼度差每減少 1%，會造成室內耗電成本增加 20.582。

二、建議

- (一) 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取得大量的資料，方能計算合理之舒適溫度。
- (二) 熱舒適度指標（PMV）為西方人之熱主觀感覺統計而得，與國人生理和氣候環境不同而有差異，是故本土化之研究仍有待進行。
- (三) 冷氣設備之耗能量最大，其為控制室內舒適度之主要設備，本研究僅利用冷氣開起時間推估其耗電成本及物理環境因子之量測，並探討室內舒適度；若能機動地調整冷氣操作溫度，探討不同溫度下對室內舒適度的影響，將可更精確地求得合理之電能消耗量。
- (四) 本研究僅以所測量之物理環境因子計算熱舒適度，並與問卷配合，評估所得之熱舒適度指標（PMV），更能瞭解實際熱舒適度指標情形。
- (五) 本研究僅以單一空調配置方式求得熱舒適度指標（PMV）之變化情形；若能採用多種空調配置方式，將能使空調設備做更有效率的搭配使用。此外，未來尚可針對四季不同季節，或如室內活動人數之熱舒適度，進行更深入探討。



參考文獻

- 黃教誠 (2005)。大學教室熱舒適範圍之實測調查研究 (未出版碩士論文)。逢甲大學建築學系，臺中市。
- ASHRAE (1992). ASHRAE Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy. America Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.
- Fanger, P. O. (1967). Calculation of thermal comfort : Introduction of a basic thermo comfort equation. ASHRAE Trans, 73, 263-271.
- Gustafsson, S. I. (2001). Optimal fenestration retrofits by use of MILP programming technique. Energy and Buildings, 33, 843-851.
- McNall, P. E., Jaax, J., Rohles, F. H. and Nevins, R. G. (1967). Thermo comfort (thermally neutral) conditions for three levels of activity. ASHRAE Trans, 73, 143-150.
- Nevins, R. G., Rohles, F. H., Springer, W., and Feyerherm, A. M. (1966). Temperature-humidity chart for thermo comfort of seated person. ASHRAE Trans, 72, 284-291.
- Roberto, A., and Federico, M. (2003). Optimal operations management and network planning of a district heating system with a combined heat and power plant. Annals of Operations Research, 120, 173-199.

