

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造
適應氣候之都市環境—總計畫：由綠建築邁向生態城市—
以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境
研究成果報告(精簡版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 98-2221-E-035-075-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：逢甲大學建築學系

計畫主持人：鄭明仁
共同主持人：黃瑞隆、陳振華、林子平
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：陳信豪
 博士班研究生-兼任助理人員：羅仁豪

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 10 月 29 日

由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境

From Green Building to Eco-City—Approaching Healthy, Thermal Comfort and Climate-Adapted Urban Environment through Energy Conservation and Heat Reduction

摘要

隨著全球暖化及都市熱島效應的問題日益嚴重，造成了戶外熱舒適性降低、紫外線暴露危害增加，室內的熱舒適、空氣品質也愈形惡化，空調能源的使用量亦逐漸升高。在當前由「綠建築」政策邁向「生態城市」的背景，這些過去不在綠建築評估體系下的議題更顯重要。本整合型計畫的總目標是以健康舒適及節能減熱觀點，來營造一個能夠適應台灣氣候的未來型都市，建構一個前瞻性的優質生活環境。在本整合型計畫的所屬子計畫中有不同尺度的探討的主題及對策，在戶外以都市氣候的尺度，探討土地利用對都市熱島效應的影響(子計畫四)，同時，以微氣候的尺度，探討街廓中的遮蔽程度及材料特性對熱舒適性提升及高溫化緩和的效果(子計畫三)，並針對日光紫外線曝曬對健康危害提出辨識方法及因應防護措施效能評估(子計畫二)。在室內則以熱適應舒適模式的觀點評估房間的熱性能、熱環境與空調節能(子計畫一)。本整合型計畫的成果有助於都市熱島效應緩和、空調耗能量減低、健康生活環境提升，亦對於未來評估生態城市的項目、方法及準則提出整體性的觀點，有助於政府由當前推動成效良好的綠建築政策，邁向生態城市的永續目標。

關鍵詞：生態城市、綠建築、都市熱島、建築節能、健康與舒適

Abstract

With the expansion of urban heat island effect on a global scale, our living environment has deteriorated substantially over the last decades. The deterioration is manifested, in the outdoor environment, by the rapid reduction of thermal comfort and the increase in health risk from excess ultraviolet light (UV) radiation and, in the indoor environment, by the loss of thermal comfort and air quality followed by a gradual increase in energy consumption. Such issues were not considered in the previously established green building evaluation system, but are now critical to the success of our nation's policy in urban planning and management—constructing “ecological city (eco-city)” on the foundation of “green building.” The overarching goal of this integrated research Program is to develop a conceptual model for a climate-adapted urban environment that incorporates the elements required to achieve a healthy, thermally comfortable, energy-conserving, and heat-reducing environment. The individual Projects proposed in the Program each pursues a unique theme and adopts different strategies, yet shares the same Program goal. At the front of identifying parameters capable of affecting urban climate, Project 4 investigates the influences of land use on the heat island effect and Project 3 simultaneously, from the perspectives of micro climate management, examines the effects of urban block, shading level, and building material on mitigating the urban heat island and enhancing thermal comfort, whereas Project 2 identifies the appropriate pre-clinical warning system for excess solar UV radiation and evaluates the efficacy of commonly used personal protective equipments so to explore how individuals as an element may interact with the environment. Equally important are the Projects to be conducted in the indoor surroundings to investigate the possibilities of establishing an environment better for

living without excessive energy expenditure. At this front, Project 1 characterizes the thermal properties present in a building envelope and how these elements may interact to drive the use of air-conditioning and thus the approach for energy conservation. This Program when approved and successfully completed are anticipated to significantly increase our understanding in ways to lessening the urban heat island effect, reducing the energy consumption by air-conditioning, and promoting a healthy living environment. A set of integrated criteria for determining the elements, methods and guidelines required in evaluating future eco-cities may also be established, facilitating the movement of the already successful green-building policy of our nation into one that aims for an eco-city-based sustainable community.

KEYWORDS: Eco-city, green building, urban heat island, building energy conservation, health and thermal comfort

一、緒論

1-1 整合型研究計畫項目說明

本整合型計畫共包含一個總計畫，及四個子計畫。各計畫之主持人及計畫名稱如表xx所述。在執行過程中，各子計畫主持人有經常性的聚會討論及進度報告，以確保各子計畫間能有良好的整合。

表 1 各計畫之主持人及計畫名稱

計畫項目	主持人	服務機構/系所	職稱	計畫名稱
總計畫	鄭明仁	逢甲大學/建築學系	教授	由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境
子計畫(一)	黃瑞隆	中國醫藥大學/職業安全衛生系	副教授	基於適應性熱舒適模式的觀點評估房間的熱性能、熱環境與空調節能
子計畫(二)	陳振華	中國醫藥大學/職業安全衛生系	助理教授	日光紫外線曝曬健康危害辨識與因應防護措施效能評估
子計畫(三)	林子平	虎尾科技大學/休閒遊憩系	教授	戶外環境設計因子對熱島效應緩和與熱舒適性提升之整合性評估
子計畫(四)	鄭明仁	逢甲大學/建築學系	教授	都市土地使用型態組成對區域微氣候影響之研究

1-2 研究背景

隨著「綠色」、「生態」、「永續發展」的理念已深入人心，以及永續發展科學的技術不斷地創新與被實踐，建設「生態城市」成為繼「綠建築」之後行政部門、建築界和民眾廣泛注意的一個焦點。生態城市和綠建築一樣，人都是其主要的使用者，因此在

規劃時，除了要與氣候相適應外，也要關注人們健康與舒適的議題。美國著名心理學家 A. H. Maslow 的「需求層次論」揭示了人的需求層次以及滿足順序變化。他把人的需求由較高低層次到較高層次依序分成生理需求、安全需求、社交需求、尊重需求和自我實現需求五類。按照 Maslow 的層級理論，社區的營造或者建築的規劃在滿足人的較高需求層次的過程中，與居住者的健康和舒適有密切關係，且處於需求層次的最底層的環境品質，特別是戶外活動空間以及室內環境品質，也應該是越來越好。因此，本整合計畫的總目標是以在滿足使用者的舒適與健康的軸線上，整合都市氣候、街廓微氣候、建築室內環境、建築耗能和使用者的反應間相互關連與相互作用，充分利用被動式的設計方式營造氣候自適性的節能、舒適與健康的人居環境。

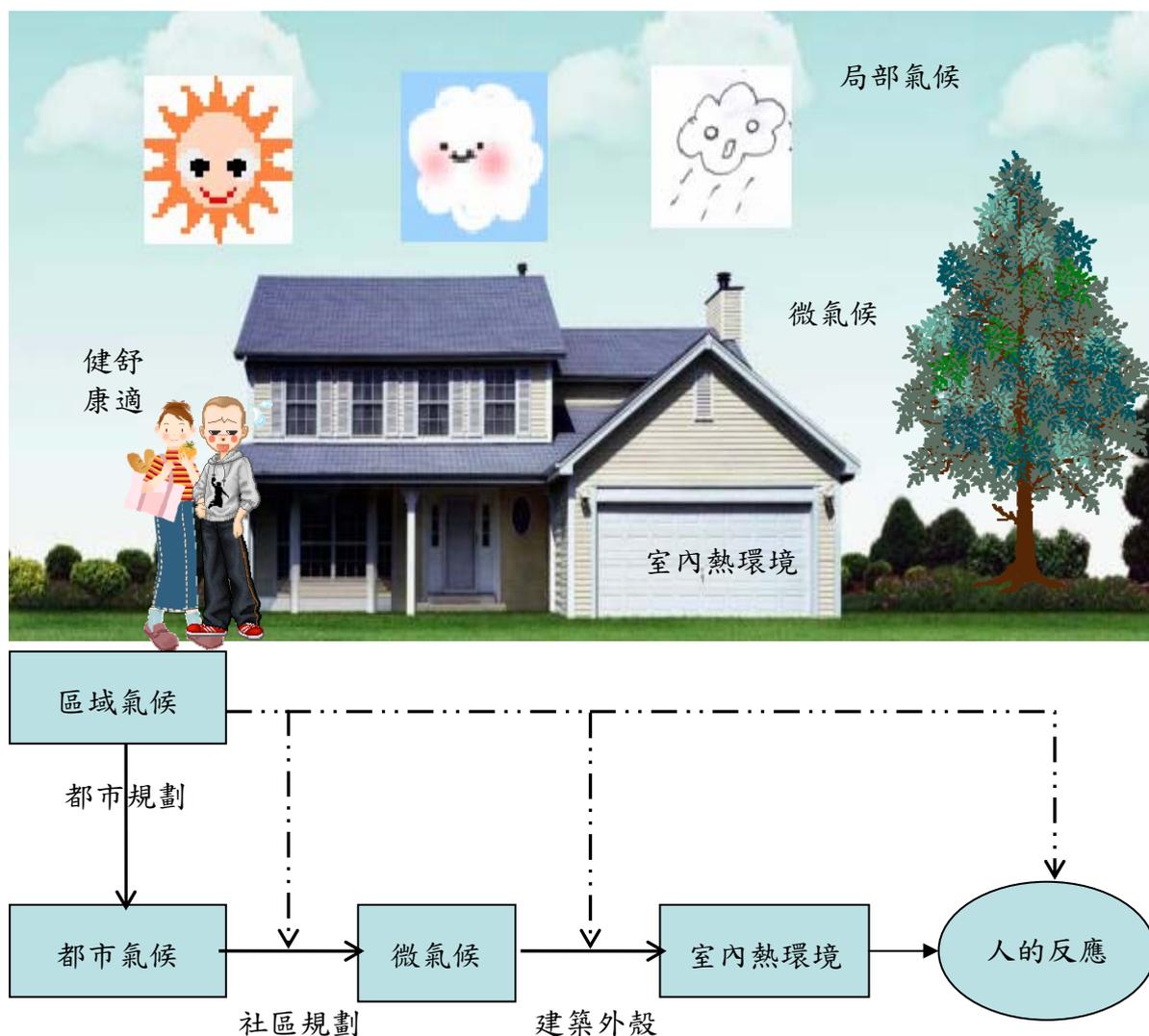


圖 1 室外氣候系統、建築熱環境系統以及人的反應系統三者相互作用影響的網絡

要營造與設計出節能、舒適與健康的人居環境，就必須先瞭解室外氣候系統、室內環境系統和建築設備系統及人的反應系統間的相互聯繫，而且要把他們視作是一個相互作用、相互影響的網絡。圖1表示了該網絡中各系統的相互作用過程。任何一個子系統的狀況，都是這整個網絡中眾多影響因子共同作用的結果。首先，都市規劃的土地使用組成、建築組合與區域氣候和局部氣候共同作用，形成了建築物外部的微氣候；而微氣

候是影響建築室內、外環境的直接因素，並通過建築外殼，形成室內熱環境，最終室內的熱環境影響了人的舒適與健康。另外，區域性氣候對建築物圍護體、社區和都市的規劃設計以及長期生活在一定地區的人的舒適感受也表現出適應性影響作用。

1-3 總計畫架構及各子計畫關聯性

室內、外環境中，人的反應主要是熱舒適和健康的要求。在熱舒適方面主要是熱環境與人的感受。這一部份研究，本團隊在過去三年裡已針對適應台灣地區熱濕氣候的居民，透過實測調查的方式，建立了台灣區民對空調、自然通風室內環境，戶外、半戶外場所的熱舒適範圍。而本整合型計畫將基於這個研究成果，以符合台灣居民的熱舒適要求為研究出發點，投入四個子計畫。子計畫（一）從基於人體熱舒適觀點檢討建築外殼的熱性能對室內熱環境舒適度以及空調節能的影響，期盼對現行綠建築中以基於能源觀點為主的建築熱性能評估模式提出改善建議，建構一個可以綜合評估「建築節能」與「人體熱舒適」的評估模式。子計畫（三）針對戶外的植栽、建築或人工遮蔽頂蓋等遮蔽因子元素對戶外環境的微氣候和戶外環境舒適度改善的影響，期盼建構一個可以同時對「熱島效應緩和」與「熱舒適提升」進行綜合性評估的模式。子計畫（四），從大尺度的都市規劃層面，藉由對都市核心軸與環帶分佈的測點進行實測，以土地使用型態因子為參數，以建構都市局部氣候和微氣候之溫度預測模式，藉以作為都市土地規劃與改善都市微氣候之參考依據。子計畫（二）則針對環境的健康議題著手，補強熱環境舒適建議的完整性。計畫中著眼於戶外環境中紫外線對皮膚的危害，該子計畫以建立適合於熱濕地區之紫外線暴露危害量化指標開始，最終期望能以整合性的方式研究戶外環境之遮蔽設計與不同物理因子對人體熱舒適之影響。

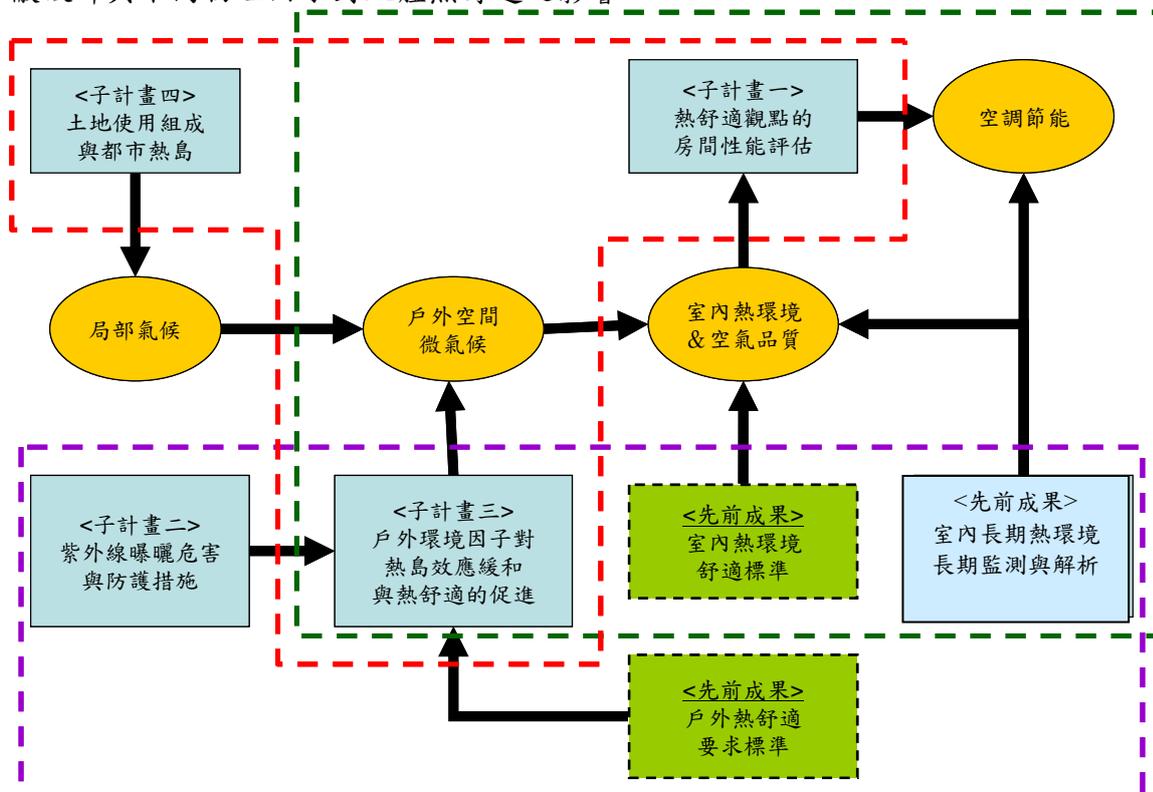


圖 2 各子計畫在整合計畫中的關係（紅色線代表都市熱島效應緩和圈、綠色線代表空調節能圈、紫色線代表優質生活環境圈）

圖2說明各子計畫如何在總計畫主張的以使用者的健康與舒適為研究軸線，從區域氣候、都市氣候、建築外部微氣候到建築內部熱環境，如何營造氣候自適性的節能建築與社區。各子計畫在研究軸線上的相互關係，可以從都市熱島抑制圈、優質生活環境促進圈和空調節能加強圈上加以說明。

1. **都市熱島緩和圈**是由子計畫（一）、（三）和（四）組成。重點在都市巨觀與微觀熱環境的整合。子計畫（四）中以巨觀角度探討都市元素（土地使用組成）對熱島抑制的影響，子計畫（三）則承接子計畫（四）的成果，進一步從微觀角度探討都市戶外熱環境的遮蔽因子與材料因子對建築外部環境微氣候的改善，而此成果剛好可以結合子計畫（一）的建築能源分析，顯現其在空調節能的結果，而減少機械供冷耗能，又可促成都市熱島效應和建築外部環境的緩和。

2. **優質生活環境促進圈**是由先前的對戶外與室內熱舒適調查的成果，以及子計畫（一）、（二）、（三）。子計畫（二）的重點在於調查在熱濕環境下，戶外環境中的紫外線輻射對皮膚的危害以及防護措施的評估。其成果剛好與先前的戶外熱環境的成果相結合，形成完整的戶外環境熱境建議標準，而此結果剛好可以讓子計畫（三）評估各種戶外因子對環境舒適促進時的重要依據。室內空氣品質和熱舒適，是室內環境中最重要的一項。先前在室內熱舒適、人體熱適應性的研究成果，再加子計畫（一）中針對規範自然通風房間熱性能以促進其室內熱舒適的成果，剛好構成完整的室內環境品質系統。

3. **空調節能加強圈**是由子計畫（一）、（三）組成的。特別強調的是，本研究的主題希望利用被動式的設計，同時改善室內、外環境的健康與舒適，由於有相當多的因子對於舒適與節能是相輔相成的，所以透過對環境品質的改善，自然而然的達到建築空調系統節能的結果。譬如說，子計畫（一）以舒適觀點規範房間的熱性能，子計畫（三）對建築外部微氣候的改善，兩者相輔相成增加了使用自然通風的潛力，全空調房間就可以有機會變成自然通風與空調系統混用的房間，空調節能結果就自然呈現。而先前室內熱舒適的研究結果與子計畫（一）的成果相結合，透過簡單的空調溫度設定，就能輕易達到空調節能結果。

二、各子計畫執行結果

2-1 子計畫(一): 基於適應性熱舒適模式的觀點評估房間的熱性能、熱環境與空調節能

2-1-1 前言

熱舒適是居住者對建築物最主要的需求之一。然而，為了保證居住者的熱舒適，大量能源被用於建築物的空調。從被動式建築設計著手，以最小的能耗來滿足人體熱舒適就成最佳的解決方案。為了獲得這種最佳組合，除了必須建立房間熱性能與空調耗能間的關係外，還必須要有房間熱性能與熱舒適的關係。現行的房間熱性能的評估方式主要是基於室內外空氣透過建築外殼的熱傳遞研究而來的，而不是基於居住者的熱反應。本計畫為為期三年，底下分年說明研究內容與實施方法。此報告為第一年主題：基於熱舒適觀點，自然通風房間的熱性能的實測評估的研究結果說明。

2-1-2 研究方法

本研究藉由實驗方法確定學校類建築外殼耗能指標在促進自然通風教室熱舒適性上的貢獻。由於自然通風的教室的使用者是就讀小學或國、高中的兒童和青少年。也因為他們正值成長期，而擁有與成人不同的成人的體溫調節機制。所以本研究不僅對不同的教室的室內氣候進行全年監測，同時也進行長期的舒適性調查。研究成果包括通過熱舒適的調查建立了兒童和青少年在自然通風的建築的熱適應舒適度模型，除了與ASHRAE 55標準進行比較外，這個模型同時被用來作為標準，以確定建築外殼耗能指標對改善自然通風熱舒適教室的影響。

本年度計畫採用現場測試和問卷調查相結合的方法。研究架構如圖3所示。

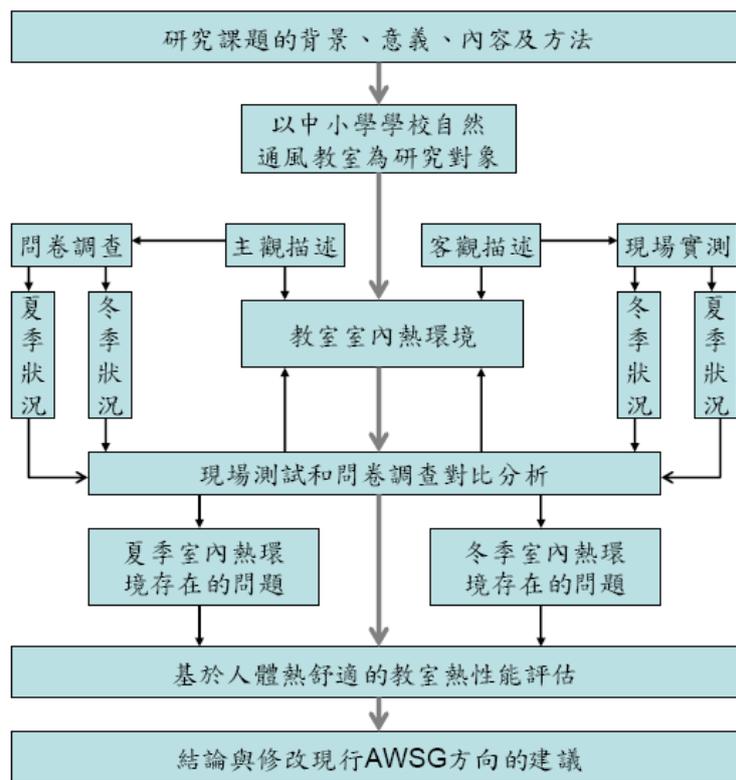


圖 3 在中小學教室進行實際量測，並基於熱舒適觀點評估自然通風房間熱性能的研究
流程圖

現場實測：本部分的實測資料乃是引用自於本研究團隊過去的成果(國科會專題計畫「綠建築體系下室內空間熱環境長期監測與解析(I)」NSC 95-2221-E-150-089-)。為了瞭解自然通風情況下，教室內學生的熱舒適狀況。因此，所選擇的測試對象都必需是僅配備了吊扇而未安裝空調的教室。為了能定量分析，本研究引用該計畫中4間有不同AWSG的教室(如圖二和表一所示)，熱環境的實測資料則包含了長達一年的溫度、相對濕度，其它如風速及平均輻射溫度則藉助公式換算求得。

問卷調查：除了現場外，將對所測試的教室的學生進行問卷調查。問卷調查的目的是希望清楚地瞭解學生對教室室內熱環境的主觀反應，同時為教室的熱性能評價提供必要參考。

表 2 做為測試對象的 4 間教室的特性描述

參數	教室			
	1	2	3	4
朝向	南-北	南-北	東-西	東-西
開窗比	0.42	0.30	0.39	0.55
外遮陽	南:走廊 北:2.2m的陽台	南:走廊 北:無	西:走廊 東:2.3m的陽台	西:走廊 東:無
AWSG	123	153	267	393

2-1-3 結果與討論

(1) 兒童與青少年的熱適應舒適模式

圖 4 顯示了由實測實驗得到的中性溫度與月平均溫度的散佈圖，其線性迴歸方程式如方程式(1)所示。而方程式(2)顯示了 ASHRAE 55 所列的中性溫度與月平均溫度的關係。圖 3 也顯示了調查結果的和 ASHRAE 標準 55 的比較。調查實地調查的結果表明，在台灣的兒童和青少年在溫暖的月份有比 ASHRAE55 標準高的中性溫度，在涼爽的月份有類似 ASHRAE55 標準所建議的中性溫度。

$$t_n = 12.1 + 0.62t_{om} \quad R^2 = 0.923 \quad (1)$$

$$t_n = 17.8 + 0.31t_{om} \quad (2)$$

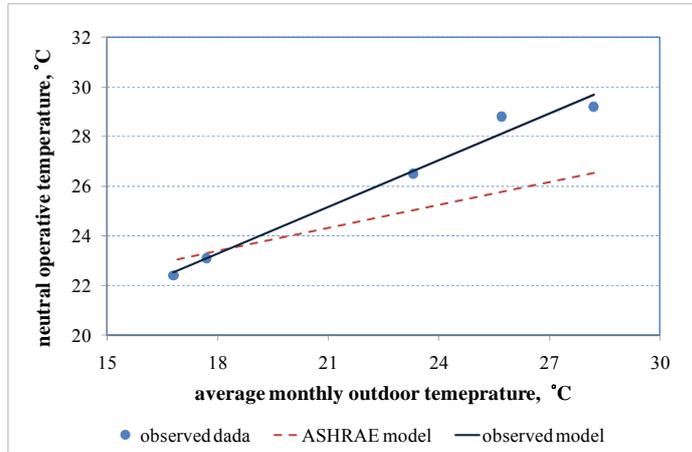


圖 4 實測實驗得到的中性溫度與月平均溫度的散佈圖

圖 5 顯示了由實測實驗得到的室內溫度和中性溫度間的溫度差與學生熱不滿意度的關係圖，其迴歸方程式如方程式(3)-(5)所示。根據圖 4 顯示求得對應 ISO 7730 建議的不同舒適等級對應的舒適溫度範圍如表 3 所示。

$$P_{hot} = e^{(0.6802 \times \Delta T - 3.769)} / (1 + e^{(0.6802 \times \Delta T - 3.769)}) \quad R^2 = 0.942 \quad (3)$$

$$P_{cold} = e^{(-0.5768 \times \Delta T - 4.4666)} / (1 + e^{(-0.5768 \times \Delta T - 4.4666)}) \quad R^2 = 0.957 \quad (4)$$

$$PPD = P_{hot} + P_{cold} \quad (5)$$

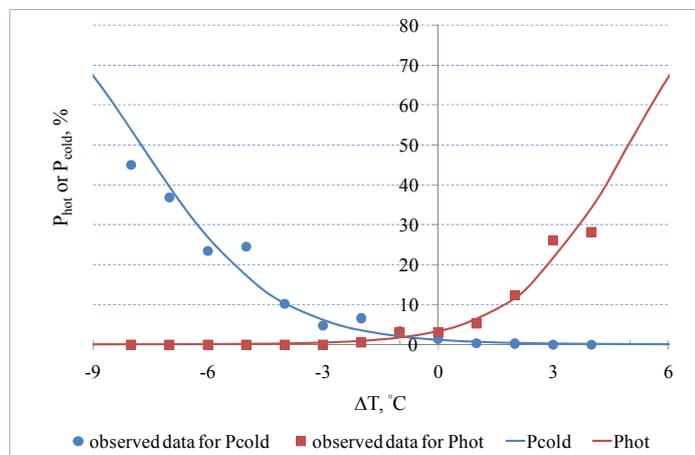


圖 5 室內溫度和中性溫度間的溫度差與熱不滿意度的關係圖

表 3 根據實測結果求得對應 ISO 7730 建議的不同舒適等級對應的舒適溫度範圍

category	PPD Limits	description	Δt limits
A	PPD<6%	Good comfort, no problem	-2.8°C < Δt < 0.7°C
B	6%≤PPD<10%	Acceptable, no significant restrictions	-3.9°C < Δt ≤ -2.8°C; 0.7°C ≤ Δt < 1.7°C
C	10%≤PPD<15%	Comfort slightly reduced, slightly outside of limits	-4.7°C < Δt ≤ -3.9°C; 1.7°C ≤ Δt < 2.4°C
D	15%≤PPD	Not acceptable	-3.9°C ≤ Δt; Δt ≤ 2.4°C

(2) AWSG 對室內熱舒適的影響

圖6和圖7分別顯示了最熱和最冷的一個星期受測教室的操作溫度比較。圖8顯示了長期的熱舒適指標的比較。圖8很明顯地指出然有最低AWSG的教室提供了最好的熱舒適性等級。

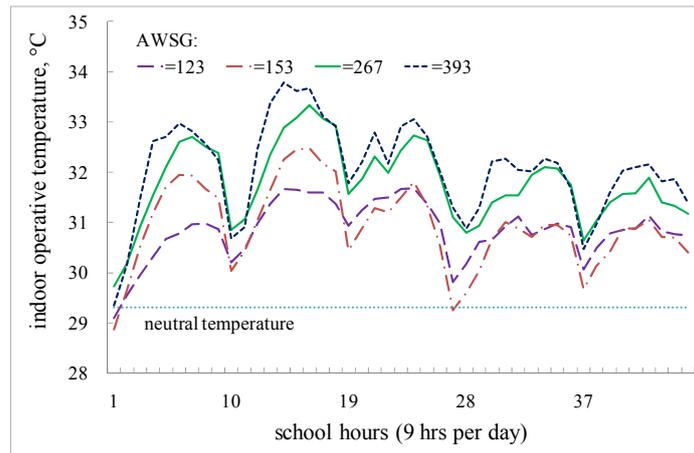


圖 6 顯示最熱的一個星期(June 25th-29th)受測教室的操作溫度比較

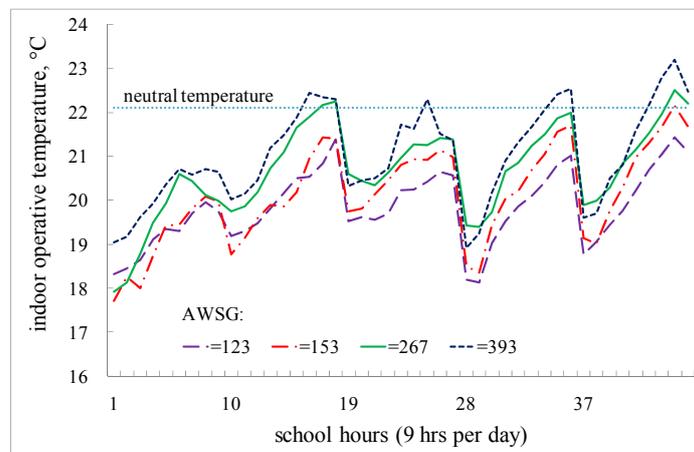


圖 7 顯示最冷的一個星期(January 22nd-26th)受測教室的操作溫度比較

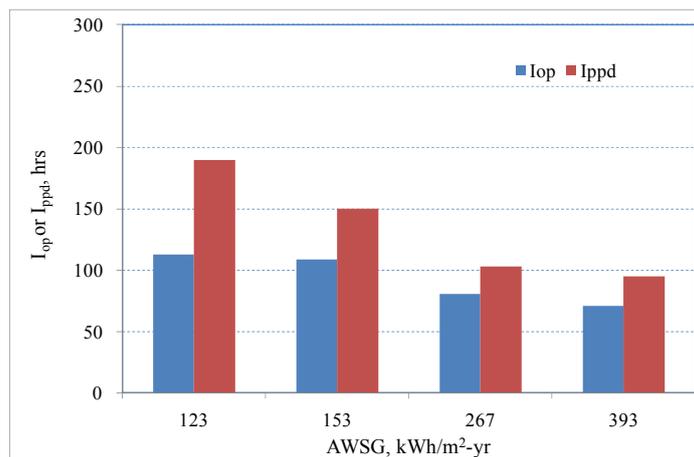


圖 8 長期的熱舒適指標和建築外殼耗能指標的對應關係

本研究的第一個任務的在確定兒童和青少年在自然通風的建築物內可接受的室內熱環境範圍和他們與ASHRAE55標準推薦性的條件比較下。舒適度的調查結果顯示，兒童和青少年其中性溫度隨月平均室外溫度的變化趨勢比ASHRAE55標準強。在溫暖月，

兒童和青少年的中性溫度較ASHRAE55標準推薦的溫度高，觀察，但在涼爽月，觀察到的中性溫度近似於所建議的溫度。本研究還建立的兒童和青少年在不同冷熱條件下的不滿意百分比預測該方程式。本研究的第二項任務：長期監測的結果表明，可以通過使用建築外殼耗能標來改善自然通風教室的熱舒適性。透過使用AWSG管制，可減少熱不舒適的發生和嚴重程度。當AWSG從 393減少到123 kWh/m²-yr時，發生熱不舒適的時數從849降至251小時，長期指標 Ipp從 685降至210小時。

2-2 子計畫(二): 日光紫外線曝曬健康危害辨識與因應防護措施效能評估

2-2-1 前言

受到大氣臭氧層破壞及地表暖化影響，人類於戶外環境遭受紫外線及熱危害等物理性危害因子暴露之健康危害風險日增。紫外光指數(solar UV Index, UVI)與綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)分別為針對日光紫外光與熱環境暴露中廣泛應用之危害通識工具。UVI以級量數區分紫外光抵達地表之輻射能量，警示暴露之潛在危害，並據以建議對應之防護措施。WBGT則警示熱環境物理因子於室內或戶外環境出現之強度。然而該二系統目前並無依據級量數或暴露強度提供遭受暴露時可生成健康危害之量化資訊，致使使用者無法充分瞭解防護不當時曝曬可造成的危害。逾日日光曝曬健康危害指標的缺乏，亦造成如世界衛生組織等權威機構所建議之防護措施與使用方式，迄今未能經由危害減量分析方式，具體量化評估其效能。本計劃探討人體皮膚因遭受熱危害因子及陽光紫外線輻射時，人體皮膚生理反應與主觀熱舒適感之變化趨勢與反應幅度，建立以皮膚生理反應為基礎之日光紫外線及熱危害生理指標。生理指標將與抵達地表之日光紫外線強度資訊互補、可作為急性與累積性日光紫外線曝曬健康危害量化評估之工具。在戶外環境活動時，人體之熱舒適感會隨不同熱環境因子(環境溫度、相對溼度、環境風速、及輻射熱)之變化而改變；以上變化可顯著影響戶外活動者使用日光紫外線防護措施，如防曬乳液或衣物之意願。本計劃透過探討以上環境物理因子對皮膚生理現象之影響，建立不同因子對人體生理指標之劑量-反應關係(dose-response relationship)，以作為後續研究調查日光紫外線防護措施使用效能及對人體熱舒適感影響評估所需之工具「由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境—子計畫二：日光紫外線因應防護措施效能及其使用對健康與熱舒適影響評估」，NSC 99-2221-E-039-015-MY2；目前進行中)。

2-2-2 研究方法

本計劃研究目標在鑑識人體皮膚因陽光紫外線輻射及因應熱環境改變產生之立即性與累積性變化、該變化與紫外光輻射或熱環境變異量間之劑量-反應關係、以及生理變化與主觀熱舒適感知間之異同。研究選用之皮膚生理指標包含：經皮水分散失度(transdermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temperature)、皮膚濕度(moisture)、紅斑生成指數(erythema-index, E-index)、黑素沉澱指數(melanin-index, M-index)、及皮膚微血流變化(skin blood flow change, SBFC)；主觀熱舒適感則以美國冷凍空調技師協會(American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, ASHRAE) Standard 55標準問卷為基礎發展之中文問卷調查。本研究共含三主要階段。第一階段(前置實驗)為於環境暴露艙內測量實驗參與者之生理反應參數值，以篩選於後續實驗中適用之皮膚暴露點(exposure site)與控制點(control site)。第二階段(暴露艙量測實驗)為於預設環境溫溼度之人工氣候暴露艙量測各皮膚生理指標與人體熱舒適感隨環境溫溼度改

變所產生之變化，以分析生理指標與熱暴露間之劑量－反應關係、生理指標間交互影響之反應－時程關係(time-course relationship)、以及主、客觀指標間之可能差異。第三階段(自然日光照射實驗)於戶外環境依模擬活動狀況，於戶外定點、定時進行為期六週之實驗；實驗量測人體皮膚接受短期與長期日光紫外光輻射後上項生理指標之改變，以建立生理指標與物理力間之劑量－反應關係、以及熱感知與生理指標間之異同。實驗過程同時與中央氣象局大氣物理科合作，收集中央氣象局台中氣象站每日台中地區即時紫外光指數與大氣溫、濕度資料，作為評估日光紫外光短期與長期輻射強度之基準。在第三階段中劑量－反應關係及反應－時程關係之建立須考慮日光輻射與其他環境熱因子(如環境溫濕度與風速變化)之協力或拮抗作用(synergistic or antagonistic effects)，故於環境暴露實驗部份著重調查皮膚生理指標受熱環境因子之獨立與交互作用所產生之改變，以提供作為第三階段戶外環境測量結果比較分析之基準，探討皮膚生理變化受日光紫外光與環境熱因子之個別與綜合性影響，進而量化日光紫外線輻射對皮膚生理指標之短期與長期效應。

2-2-3 結果與討論

本計畫於研究期內已達成原計畫書中陳述之預定目標。第一階段研究結果顯示：參與人員上臂內側衣袖遮蓋處與前臂外側皮膚之各項生理指標測量值相近且穩定，較不受人體基礎代謝率差異之影響，故在第二與第三階段中以前臂外側作為實驗暴露點(觀察熱因子與日光紫外線影響)、上臂內側作為實驗對照點(觀察熱因子影響)。經由暴露實驗之完成，皮膚生理指標變化與個別熱環境因子或對應WBGT之劑量－反應關係、生理指標變化間之反應－時程關係已分別建立。以上關係之顯著性可支持區隔戶外實驗中因應UVI與環境熱改變所產生之皮膚生理指標變化，推論UVI與皮膚生理指標之劑量－反應關係，並提供評估日光紫外線因應防護措施效能及其使用對健康與熱舒適影響之工具。暴露實驗結果發現顯示：TEWL與皮膚溫度顯著地隨環境溫度呈線性變化，但較不受相對濕度之作用；皮膚濕度為各生理指標中唯一可同時反應環境溫度與濕度影響者(圖9)。

依實驗觀察推論，當環境熱因子改變時，TEWL、皮膚濕度與皮膚溫度三指標間之反應－時程關係為：皮膚溫度直接反應環境溫度，而後表皮濕度因應體熱發散需求顯著上升；當皮膚濕度漸趨飽和時，TEWL開始顯著上升增加水分排出(圖10)。進一步分析前述反應－時程關係可發現：在相同皮膚溫度時，男性之TEWL較女性為高，顯示在與外界熱環境達成平衡的過程中，男性之散熱需求較女性為強。此外若皮膚溫度相同，環境濕度越高、皮膚濕度亦越大，顯示在高濕熱地區如我國，民眾之基礎生理熱調節機能較乾燥地區生活者為旺盛。E-index與M-index不受環境熱因子影響但隨日光紫外線強度變化，故為觀察日光紫外線短、長期暴露之良好指標。

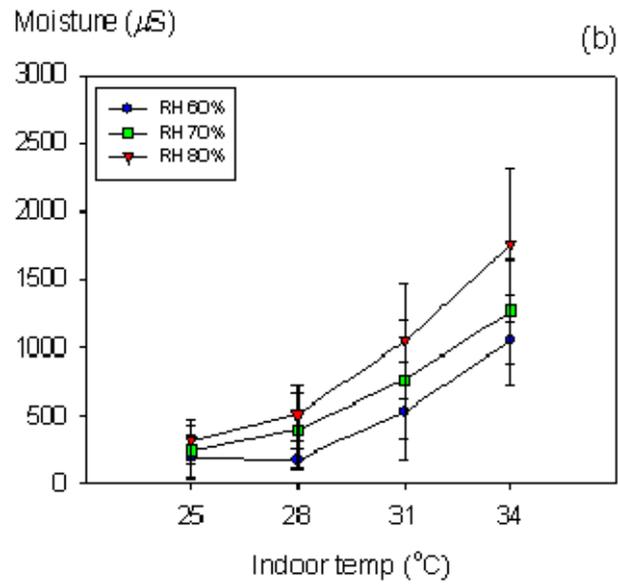
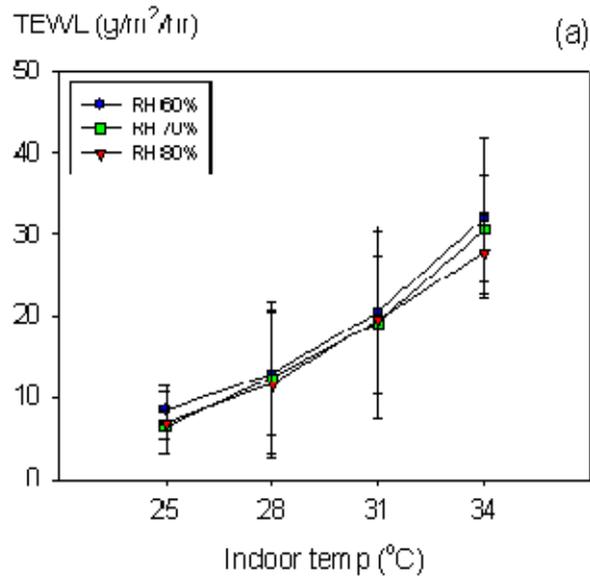


圖 9 暴露艙實驗中(a)經皮水分散失度(TEWL)與(b)皮膚濕度(moisture)隨環境溫濕度改變產生之變化

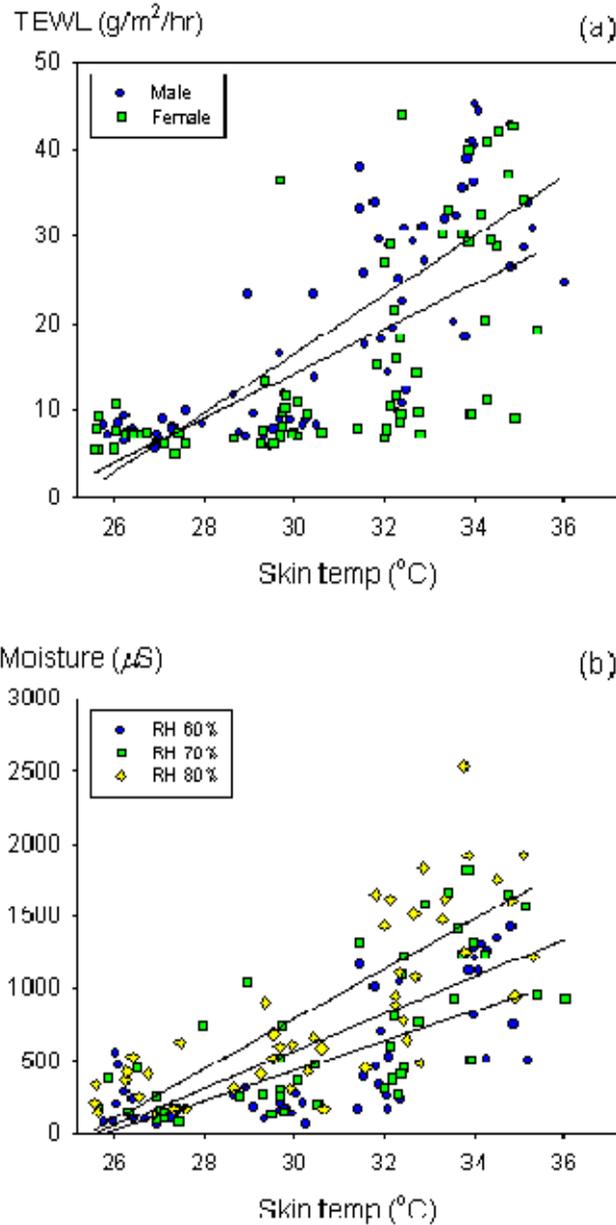


圖 10 皮膚生理指標間之反應-時程關係：(a)經皮水分散失度(TEWL)與(b)皮膚濕度 (moisture)對應皮膚溫度之分佈

關於主觀熱舒適感因應熱環境改變所產生之變化部份，經由標準化複迴歸分析 (standardized linear regression) 顯示，熱感知投票值 (thermal sensation vote, TSV) 隨環境溫濕度上升而增加，尤以溫度效應最為明顯。TSV 對應 WBGT 呈現線性分佈 ($r^2 = 0.76$)。在與生理指標之關聯性上，TSV 與皮膚溫度之相關性最高 ($r = 0.87$) (圖 11)。在 TSV 與 TEWL 之相關性部份，女性 ($r = 0.69$) 較男性 ($r = 0.61$) 為高，且不分性別在高環境濕度時相關性最為明顯。TEWL 所反應者為人體散熱近最後階段之類排汗現象。以上結果建議：在相同熱環境下，女性之散熱需求一般較男性為低，因此在排汗或皮膚急速散發水蒸氣時 (具高度散熱需求) 女性之主觀熱感知與生理指標變化趨近一致。

日光照射實驗結果顯示：皮膚微血流變化、皮膚濕度、E-index (紅斑生成)、與 M-index (黑素沉澱現象) 為立即性與累積性日光紫外線曝曬後反應顯著的生理指標。E-

及M-index為警示因遭受長期(累積性)日光紫外線輻射生成健康危害之較佳生理指標(圖12)。紅斑生成現象明顯反應女性皮膚所接受之累積性日光曝曬；但未反應短期曝曬可能產生之曬傷，推測因與研究進行期間台中地區日光紫外線輻射未達產生曬傷強度有關(UVI每日上午10時平均值低於9)。戶外活動時之熱感知受輻射熱顯著影響，主客觀指標間之差異在熱適應期或熱佔留區最為顯著。本研究同時透過以E-index對UVI、及以M-index對紫外線累積輻射量(irradiance)進行之線性迴歸，建立暴露危害評估時適用之劑量(紫外光暴露劑量)—反應(皮膚生理指標變化)量化關係。

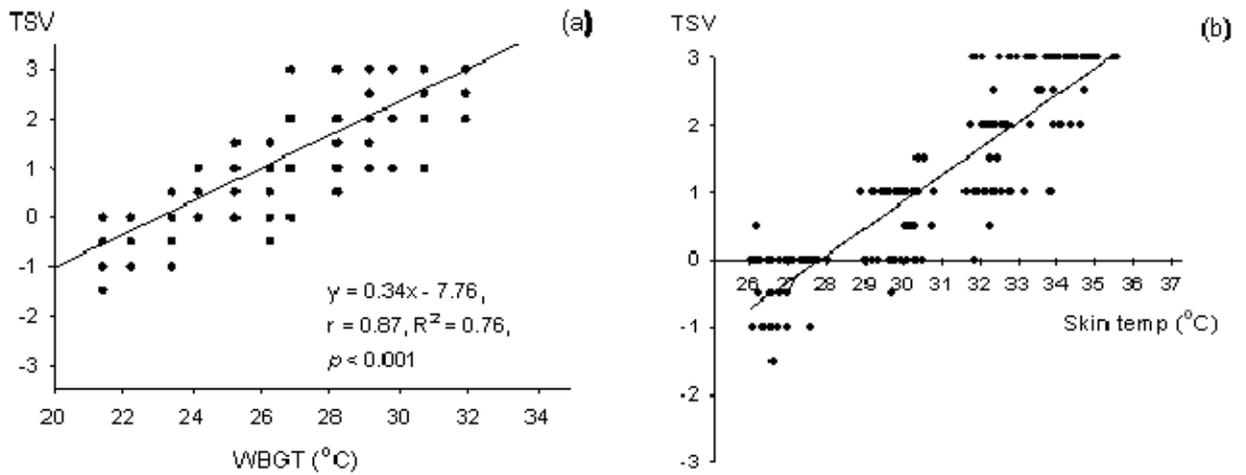


圖 11 熱感知投票值(TSV)對應(a)綜合溫度熱指數(WBGT)及(b)皮膚溫度(skin temp)之分佈及其線性迴歸分析

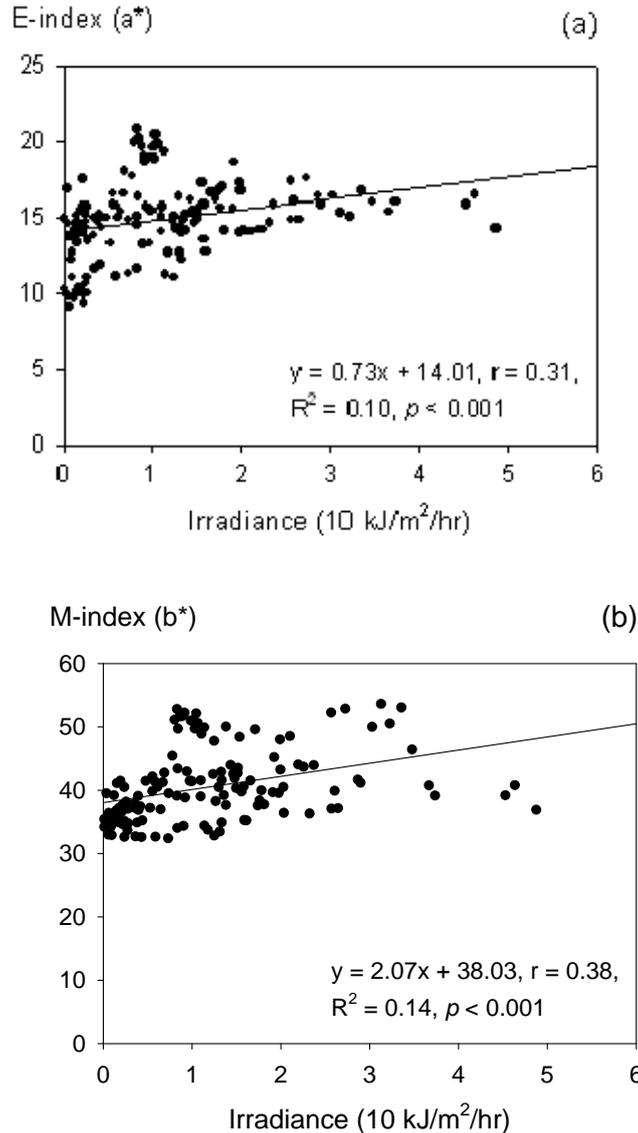


圖 12 日光照射實驗中(a)紅斑生成指數(E-index)與(b)黑素沉澱指數(M-index)對應日光紫外線累積曝曬量(irradiance)之分佈及其線性迴歸分析

以上劑量-反應與時程-反應關係可提供本計劃後續研究透過危害減量分析，評估日光紫外線曝曬防護措施效能時所需之生理變化比較基礎，並據以建議可增進效能之使用方式。本研究部份成果已於American Industrial Hygiene Conference and Expo (AIHce) 2010 (Denver, CO, USA, May 22-27, 2010) 及EPICOH (International Commission on Occupational Health Scientific Committee on Epidemiology in Occupational Health)-MEDICHEM 2010 (Taipei, Taiwan, April 21-25, 2010) 等二國際研討會中發表。

2-3 子計畫(三): 戶外環境設計因子對熱島效應緩和與熱舒適性提升之整合性評估

2-3-1 前言

戶外空間熱環境不僅影響人對舒適性評價，也間接地影響了戶外空間的使用，而且

影響的程度也會因不同氣候區人們熱特性的差異而有所改變。在戶外空間中，人們所暴露的熱環境(微氣候)充分受到建成環境的影響(Asaeda, Ca, 2000; Ichinose, et al., 1999; Lin, et al., 2007; Taha, 1997; Tan, Fwa, 1992; Wong, et al., 2007)。而其中遮蔽物能直接阻擋太陽輻射量，多個研究證實了遮蔽因子對於戶外熱環境有顯著的影響性，有些研究以街道朝向、街道高寬比(H/W)代表遮蔽因子(Ali-Toudert, Mayer, 2006; Ali-Toudert, Mayer, 2007a; Ali-Toudert, Mayer, 2007b; Emmanuel, Johansson, 2006; Emmanuel, et al., 2007; Johansson, 2006; Johansson, Emmanuel, 2006)，部分研究則以天空可視率(SVF)來代表(Bottyan, Unger, 2003; Giridharan, et al., 2005; Giridharan, et al., 2007; Hamdi, Schayes, 2007)。然而，過去有關遮蔽的研究仍有多個尚待討論的議題。首先，過去研究沒有針對季節差異下的遮蔽-舒適性的關聯性提出探討。由於同樣的遮蔽可能在夏季創造舒適的環境但卻在冬天呈現過冷的狀態，各季節的熱舒適性差異有必要納入考量。另外，一天內不同時段的熱感受也會有所差異，如中午較熱而傍晚較涼爽等。因此，有必要呈現一天內不同時段下熱舒適性的分布，以真實瞭解其狀態。

在台灣的傳統密集市區的街廓中，建築物多為住商混合，也就是一樓為出租店舖，二樓以上多為私人住家。假若週邊的建築物沒有騎樓或遮棚的設計，人們通常要在會在街道上選逛活動，因此人們會直接曝露於戶外的熱環境，一旦造成不舒適，就可能影響到人們選逛的意願，進而影響店家的生意，因此我們認為探討街廓的道路中的熱舒適有其經濟上的價值。

因此，本研究將以台灣傳統密集市區的街廓為例，探討遮蔽因子如何影響基地內長年的熱環境，且以台灣當地舒適性的範圍作為基礎、以台灣近10年氣候為資料庫。本研究探討的並非侷限在極端熱/冷環境下的情況，而是全年的微氣候的分布狀況，以客觀地評估實測區域全年各時段熱不舒適的強度及熱舒適性潛力。其成果將可做為商業行為在街廓中選擇的參考。

2-3-2 研究方法

有多種綜合熱環境因子並以人體熱平衡為基礎的指標用來評估熱舒適性，例如預測不滿意度PMV (predicted mean vote) (Fanger, 1972)、有效溫度ET*、標準有效溫度SET* (standard effective temperature)(Gagge, et al., 1986)、OUT_SET*(de Dear, Pickup, 2000; Pickup, de Dear, 2000; Spagnolo, de Dear, 2003)、生理等效溫度PET (physiologically equivalent temperature)(VDI, 1998)等。其中的PMV、ET*、SET*是設計在室內使用，OUT_SET*及PET則為戶外使用。(DE DEAR SYDNEYp734)。其中PET為基於MEMI模型，定義為在戶外複雜的環境下，人體達到熱平衡的條件下，該處相當於典型無風速無日照下的室內溫度(空氣溫度=輻射溫度、相對濕度50%、風速0.1m/s下，穿著0.9CLO，工作1.4 MET的人)。這使得一般人得以藉由其熟悉的室內經驗，輕易地類推或想像戶外複雜環境的狀況 (Höppe, 1999)。由於PET充分地考量戶外的短波及長波輻射特性對人體熱能平衡的影響，適合用於戶外熱舒適性的評估。PET目前已為德國家標準(vdi)，而且已經普遍使用於多個戶外熱舒適性的研究(*文獻)，因此本研究採用PET做為戶外的熱舒適指標。

PET在計算上可透過免費的套裝程式RayMan進行，RayMan模型過去也曾用於諸多有複雜遮蔽的都市建成環境熱環境相關研究之中(Gulyas, et al., 2006; Lin, et al., 2006; Matzarakis, et al., 2007)(原)。除了測點的air temperature (Ta), relative humidity(RH), wind speed(V), 衣著,活動量等必要因子需輸入RM來計算PET外，要計算PET中最核心的Tmrt值，可以用全天空日射量(G)的數值代入計算，或以測點當時的時間，經緯度，雲量 (Cd)來做推估，另外地面材料的反射率、Turbidity, 及bowen ratio也可以選擇預設或自行設定

的方式，這都顯示PET在RM模型計算時的彈性及實用性(*NTMOFA校稿中)。同時，當計算PET時，在測點處向上拍攝的魚眼鏡照片被輸入到RayMan模型中，來反應出該點在遮蔽影響下所接受到的短波及長波輻射量。同時，RM模型可接著算出該點的天空可視率SVF，也就是空曠面積占整個魚眼鏡視野的比例，其無因次單位從0到1代表測點上方全部遮蔽到全部空曠(Oke, 1981; Oke, 1988)。綜上所述，RM模型在匯入各變數及魚眼鏡相片後，可輸出PET、MRT、SVF等數據，這些都將做為後續驗證或分析的主要因子。

過去研究顯示使用者會因為其行為調節、生理性的氣候適應、心理性的習慣或期待的不同，對於熱環境的感受與喜好會有極大的差異(Brager, de Dear, 1998)，而造成不同的熱舒適範圍(thermal acceptable range)。換言之，一個區域的熱舒適性標準也未必能適用於另一個區域。本研究以過去在台灣曾在2005-2006針對1644個戶外使用者的熱舒適性進行調查結果所得到的tpc為判定的基礎，也就是舒適性的範圍為26-30PET，而微涼、涼、冷很冷分別為22-26，18-22，14-18，<14，微暖、暖、熱、很熱分別為30-34、34-38、38-42，>42。由於這些結果已廣泛的應用在台灣的研究中且反映出與溫帶國家基於熱適應性的差異(SML、Svf文)，故也在本研究使用。

為了探討遮蔽因子對熱舒適性的影響，本研究第一部分是採用現地實測的方式，在雲林縣虎尾鎮實測街廓中設置多個不同程度遮蔽的測點(圖13)，並於不同月分中進行多次實測，目的是要了解不同遮蔽下各測點在各個實測日的實際逐時熱環境變化。第二部分，將多次的實測結果與RM模擬的結果比較，目的是驗證模型的可靠性，並取得因應在地氣候及環境的設定(邊界條件)。第三部分則是把近10年的氣象資料輸入RM中，來模擬各點的熱環境及熱舒適指標值並進行分析，目的是了解街廓中遮蔽因子對全年熱舒適的影響。



圖 13 位於雲林縣虎尾鎮的實測地點

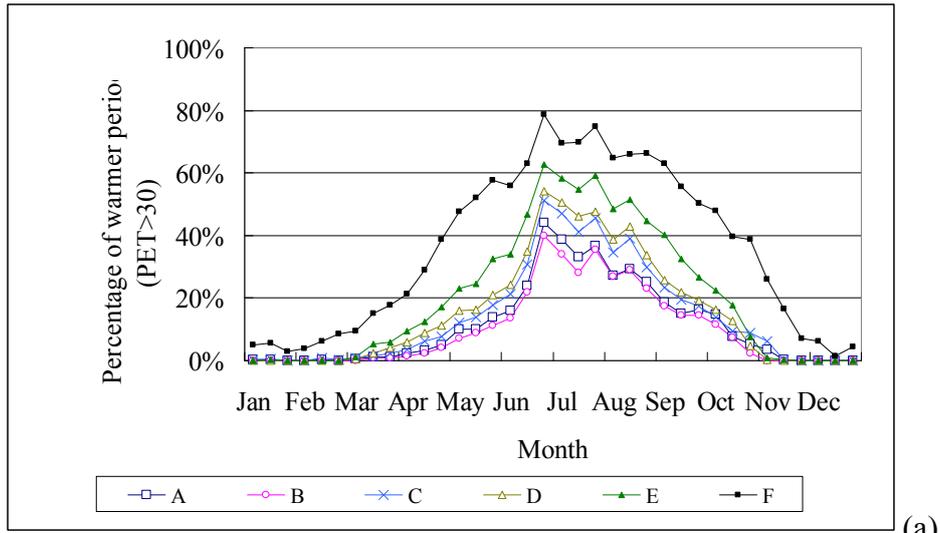
2-3-3 結果與討論

1. 熱感受頻率

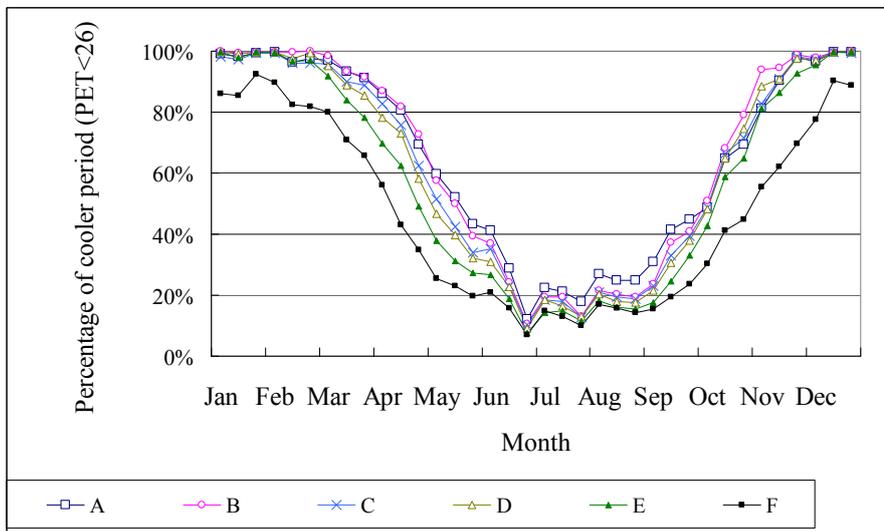
在若干假設及氣候資料修正而輸入RM，即可計算出各點10年逐時的PET值。本研究在呈現熱舒適性指標PET的計算結果時，將以台灣舒適性尺度為基礎(，計算3種舒適等級的發生頻率。第一種為暖感受頻率Frequencies of warm condition，即為「某時段內某測點之較熱感受時數(熱環境界於 $PET > 30$ 的時數)占總時數的比例」，可以 $F_{PET > 30}$ 表示之，如圖X(a)所述。第二種為涼感受頻率，為涼感受($PET < 26$)時段發生的頻率，可以 $F_{PET < 26}$ 表示之。如圖14(b)所述。第三種為舒適感受頻率Frequencies of comfort condition，為舒適感受($26 < PET < 30$)時段發生的頻率，可以 $F_{26 < PET < 30}$ 表示之，如圖X(c)所述。以上3種頻率統計的時段皆為以每10天為一個統計時段間隔，即每年有36個時段，來提高數據之解析度。氣象資料則取自2000–2009之間的白天時段(08:00–18:00)資料。

首先，在圖14(a)顯示，全部的點 $F_{PET > 30}$ 值都是熱季高涼季低。高度遮蔽的A、B兩點其 $F_{PET > 30}$ 全年都在40%以下，遮蔽率愈差的點則 $F_{PET > 30}$ 愈高，F點在六至八月都在60%以上。再則，在 $F_{PET < 26}$ 圖中顯示熱季低涼季高，高度遮蔽的點較高反之低遮蔽的點較低。高遮蔽的A、B兩點在冬季(12-2月)其較熱頻率接近100%，如F之低遮蔽點在冬春秋中很明顯地 $F_{PET < 26}$ 的頻率都較其它點來得低。

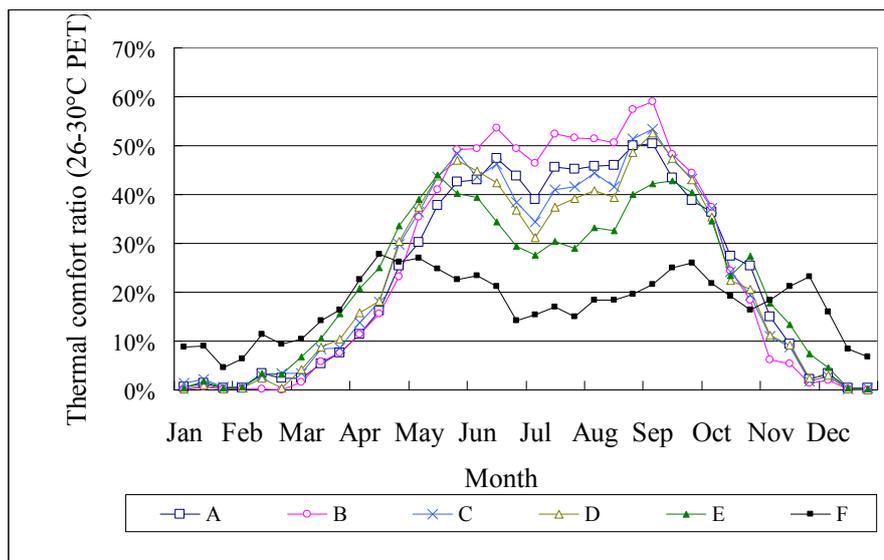
最後，在 $F_{26 < PET < 30}$ 的圖14(c)中則顯示，無遮蔽的F點 $F_{26 < PET < 30}$ 分布全年差異不大，都在10%-30%左右。而高度遮蔽的AB點的舒適性分布都是屬於夏季高而冬季低的狀況。這是由於這些點在夏天的不舒適性都不高($F_{PET > 30} < 40\%$)，冬季則極高($F_{PET < 26}$ 約100%)，合併的結果使得全年舒適性的尖峰出現在夏季，冬季幾乎都不舒適。由此可見，不同程度遮蔽的測點在熱感受分布上的差異。



(a)



(b)

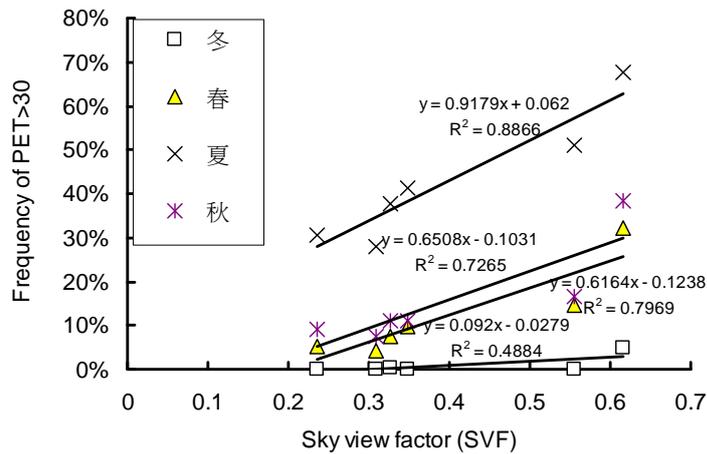


(c)

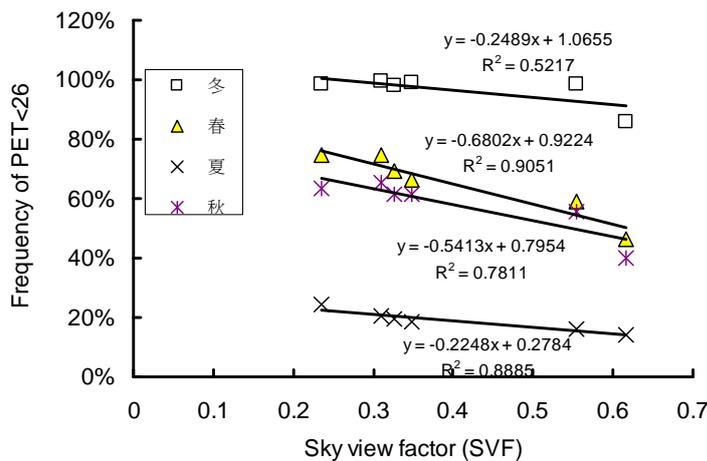
圖 14 長期預測熱舒適性的頻率，其中(a)為暖狀態、(b)涼狀態、(c)為熱舒適狀態 (預測區間為 08:00-18:00, 2000-2009)

為了瞭解街廓內空間的遮蔽性與熱適性的關聯性，並考量不同季節的因素。因此，本研究將以季節做為探討的分組，同時，也另外將針對過冷(PET<26)及過熱(PET>30)的頻率與SVF進行更深入的探討。

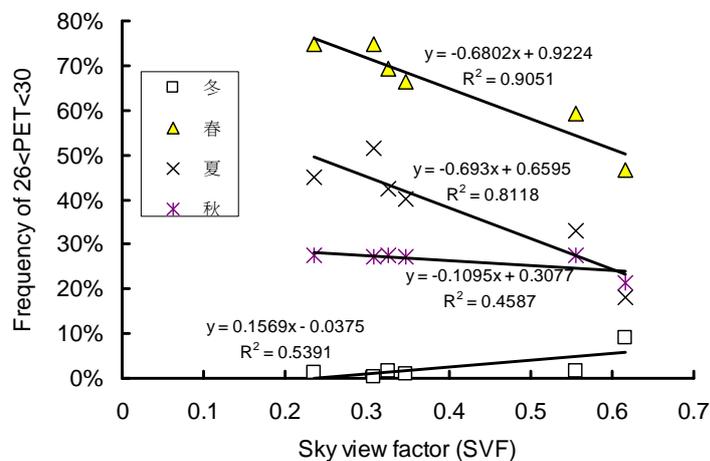
首先，將各點3種舒適等級的發生頻率，即第4.3節中之暖感受頻率、涼感受頻率、舒適感受頻率，以季為統計區間，連同與各點的SVF值，繪製於圖15(a)至(c)中，並以線性迴歸的方程式(將各季節數據)擬合之。在公式中，斜率的正負代表熱感受頻率與SVF值互為正或負相關，斜率的絕對值大小則反應出該頻率受SVF的變化的敏感程度。



(a)



(b)



(c)

圖 15 SVF 與(a)暖狀態、(b)涼狀態、(c)熱舒適狀態在各季發生頻率的關係。

圖15(a)顯示了SVF與FPET>30的關聯性為正，也就是SVF愈大(低度遮蔽)，較熱的頻率就愈高。在四個擬合式的斜率方面，以夏季最高，春秋次之，冬季最低。顯示熱季時SVF的變化對於FPET>30的影響較為敏感。再則，同樣的SVF下，也以夏季時其FPET>30最大。圖15(b)顯示了SVF與FPET<26的關聯性則為負，也就是SVF愈大(低度遮蔽)，較冷的頻率就愈高。在四個擬合式的斜率方面，以春秋兩季最高，夏冬稍低。顯示春秋時SVF的變化對於FPET<26的影響較為敏感。再則，同樣的SVF下，也以冬季時其FPET<30最大。圖15(c)顯示了SVF與F26<PET<30的關聯性在春夏秋為負，冬則為正，也就是SVF愈大(低度遮蔽)，冬天舒適的頻率就愈高，但春夏秋則愈低。再則，同樣的SVF下，以春天舒適性最佳，其次為夏季，冬季最不舒適)。

從上述的結果看來，我們可以發現幾個重要的現象。首先，遮蔽的條件愈好的點，其過熱的發生頻率就會愈低。這個現象在夏季是尤其明顯，可能是因為熱季中午時太陽的角度較高，直接照射到街道的機會也會愈大。相反的，遮蔽愈好的點，過涼的發生的頻率也會增加。而當各季的熱舒適被評價時，春夏秋三季則顯現出遮蔽愈好愈顯舒適，冬季則是因為空曠的點有機會帶來較多的日射量來舒緩過冷的現象，因而遮蔽愈少反而愈舒適。由此可見，遮蔽的作用對於熱舒適性的影響，會因不同的季節有所差異。

由於不同的遮蔽在各個季節呈現不同的舒適狀況，並不適合建議在都市街道中的特定遮蔽率或高寬比。本研究的成果並非視圖選擇最佳的街廓高寬比或遮蔽率，來主導未來的街廓的設計。因為街廓的高度及密度受土地使用的管理影響極大，況且舊街廓也不易進行改建。本研究的應用可分為兩個部分：在環境改善部分，可利用遮蔽的材料來減少過熱的狀況(夏季時)，冬天即可收起來。而在商業行為的配置上，例如高遮蔽的街廓有利於熱季時的銷售，賣飲品。另一方面，低街廓有利於涼季的銷售，如熱食。再則，銷售型態也能隨之因應，高遮蔽的街廓適合擺攤型或外賣型的行為，反之低遮蔽則適合內部商店型的模式。

註：本計畫已投稿通過排版中，本內容為該篇期刊論文之部分成果。Hwang, R.L., Lin, T.P.*, Matzarakis, A., 2010, Seasonal effect of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort, Building and Environment (in press, DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.10.017) (SCI)

2-4 子計畫(四):都市核心軸線上土地覆蓋利用型態組成對區域微氣候影響之研究

2-4-1 前言

隨著地球暖化問題日益嚴重，在人口密度極高的城市區域，由於人工構造物、高蓄熱鋪面材料、機具排熱等問題，形成城市核心區域高溫化的「都市熱島效應現象」。在計畫中，主要探討土地覆蓋及利用型態(LCLU)組成對於都市微氣候的影響，以及對都市高溫化的緩和效果。

2-4-2 研究方法

在研究方法中將測點周圍的LCLU組成分為五種型態：建築物覆蓋型態、人造鋪面型態、未使用土地型態、植栽綠化型態、水域型態，決定使用固定式水平分布的觀測法進行長期實測，將儀器設置在燈桿上相同的高度以進行觀測，蒐集測點完整的氣象資料。考量交通量影響、街道座向、街道及建築物高寬比(H/W)、天空可視角(SVF)、行道樹綠化等情況，於台中市成功路、西屯路上選取A~L十二個土地使用型態組成相

異的測點做實測，範圍從建國路至安和路，於 2007 年 7、8、9 月進行氣溫及濕度的定點量測。

計畫中採用 ESCORT iLOG 氣溫濕度記錄器實施長期監測，為考量數據能夠取得一致性，儀器配置因應各空間的不同情形予以架設，並於實測期間在儀器上方設置通風良好的雙層白色隔板，外層為木製蓋板，內層為通風的多孔塑膠隔板，以避免太陽直接照射及雨淋，並利用木製支撐將儀器架設於各測點的電線桿及燈桿上，距離地面高度 3 公尺且遠離建築物約 1.5 公尺，以避免儀器遭受破壞，並減少建築物、地面所吸收的熱輻射影響。

計畫中選取一年之中最炎熱的月份進行長期監測，在 57 個實測日中，扣除多雲及降雨的天氣 23 天，選取 34 天的實測數據作為有效實測資料來做分析，以確實針對每個測點的土地使用型態組成所造成的微氣候影響程度。將實測數據與地點資料，透過環框分析將各地點的 LCLU 組成因子進行定量化後，藉由單因子變異數分析及多元迴歸分析與所得的各測點平均溫、最高溫、最低溫等氣候監測資料做關聯性分析，進一步嘗試推導出微氣候溫度之迴規模型，了解各組成因子之間的影響力與貢獻度，提供日後土地使用型態組成規劃的參考。

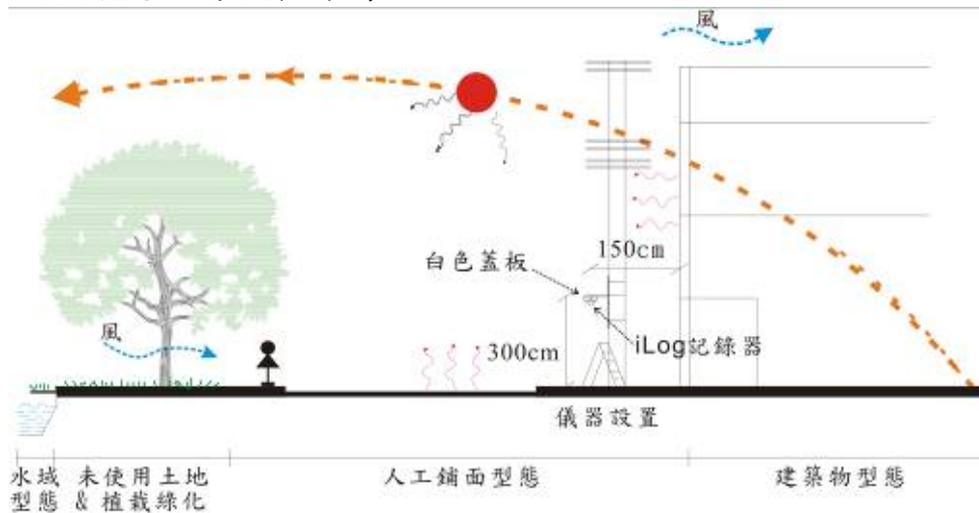
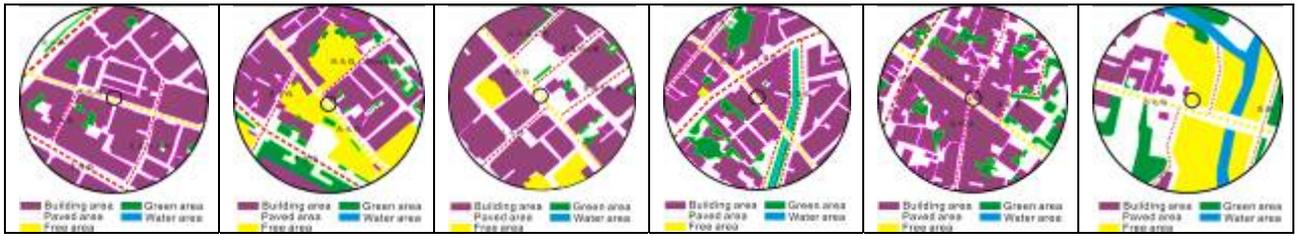


圖 16 實測儀器架設示意圖

都市中微氣候的變化與人為的開發建設有著密切的關係，計畫中透過環框分析方法進行套疊及運算，將重點放在測點周圍環境狀況。最後，設定以測點為圓心，考量各測點環框影響範圍半徑 50 公尺、100 公尺、150 公尺、200 公尺及 300 公尺內的建築物、人工鋪面、未使用土地、植栽綠化及水域，加以量化並建立資料庫。

表 4 十二個地點的位置及土地利用型態範圍圖（半徑 150m）





2-4-3 結果與討論

透過數據的彙整分析，顯示各地點間日平均溫的差異，主要受到各地點之間不同的土地利用型態組成及少許人為發散熱的影響。例如，硬覆蓋區域型態（建築物型態及人工鋪面型態）面積比例越高，其日平均溫也較高；軟覆蓋區域型態（未使用土地型態、植栽綠化型態及水域型態）面積比例越高，其日平均溫也較低。日最高溫的差異變化，除受到各地點之間不同的土地利用型態組成影響外，主要還受到測點周圍地表受熱面積以及人為活動發散熱的影響。由於在夜晚中不受日照及人為發散熱的影響，因此各地點間日最低溫的差異變化較為規律，主要受到各地點之間不同的土地利用型態組成的影響。在降溫方面，反映了測點周圍未使用土地、植栽綠化、水域面積較大時，降溫的趨勢較明顯；而測點周圍建築物型態、人工鋪面面積較大時，因混凝土及其他高蓄熱鋪面材料關係而造成散熱較慢、降溫較緩的情形。

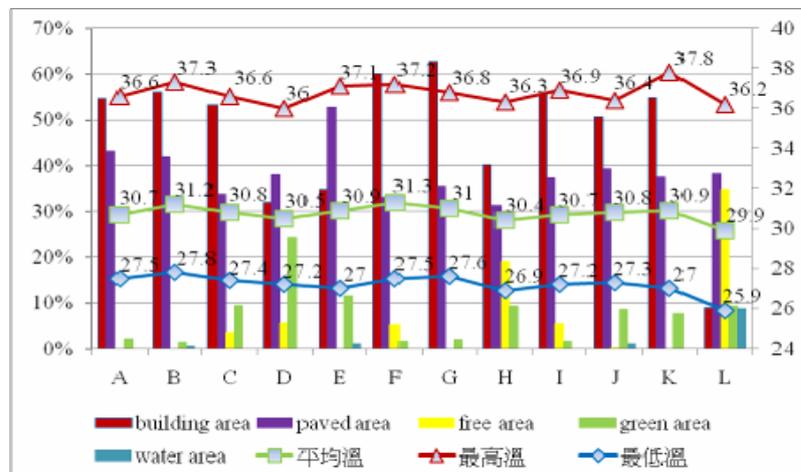


圖 17 環框半徑 150 公尺內土地使用型態組成比例與氣溫對照

在環框範圍半徑 150 公尺的分析中，顯示建築物型態、未使用土地型態、植栽綠化型態及水域型態因子對全日氣溫參數的影響性較為顯著，而人工鋪面型態因子的相關性則較不顯著。另外，顯示建築物型態、未使用土地型態、植栽綠化型態及水域型態因子在半徑 150 公尺範圍內，對日夜間氣溫參數的影響性較為顯著，而人工鋪面型態因子的相關性則較不顯著。

在影響參數單因子分析中：在建築物覆蓋面積與氣溫相關性方面，可觀察出除了在日較溫差之外，皆有顯著的正相關趨勢，環框中建築物面積越大，氣溫越高。這是由於建築物構造吸收了大量熱能，產生輻射熱，並由於密度過高，熱散發不易的緣故。其中，夜間平均氣溫與建築物型態因子的相關性最高， R^2 值介於0.53~0.84之間。人工鋪面在日間吸收太陽輻射熱的速度較快，在午夜釋出熱也較快。在人工鋪面面積與氣溫關聯方

面，幾乎無相關性。這是由於人工鋪面面積在各地點間過於平均的關係。以日最低氣溫與建築物型態因子的相關性為最高， R^2 值介於0.1~0.27之間。在未使用土地面積與氣溫相關性方面，可觀察出顯著負相關趨勢，環框中未使用土地面積越大，氣溫越低。這是由於在未使用土地中，氣流較為流通，高蓄熱性物質較少，在夜間有較大的輻射冷卻率，故熱量散發快，輻射熱少的緣故。日最低氣溫與未使用土地型態因子的相關性為最高， R^2 值介於0.55~0.81之間。在植栽綠化面積與氣溫相關性方面，可觀察出顯著負相關趨勢，環框中植栽綠化面積越大，氣溫越低。這顯示，由於植栽陰影及高蒸發散熱量的影響，使植栽綠化面積對日最高氣溫的降低有顯著影響。在水域型態面積與氣溫的相關性方面，可觀察出顯著的負相關趨勢，水域面積越大，氣溫越低。這是由於在水域範圍中，氣流較流通，熱量散發快的緣故。以日最低氣溫與未使用土地型態因子的相關性為最高， R^2 值介於0.66~0.71之間。

在微氣候氣溫多元迴歸分析中，透過五項土地使用型態因子共五個變數，與所測得之微氣候氣溫參數透過逐步迴歸的方式進行分析探討。其中，Avg為平均氣溫（ $^{\circ}\text{C}$ ）；Max為最高氣溫（ $^{\circ}\text{C}$ ）；Min為最低氣溫（ $^{\circ}\text{C}$ ）；Ba為建築物型態面積比例（ m^2/m^2 ）；Pa為人工鋪面型態面積比例（ m^2/m^2 ）；Fa為未使用土地型態面積比例（ m^2/m^2 ）；Ga為植栽綠化型態面積比例（ m^2/m^2 ）；Wa為水域型態面積比例（ m^2/m^2 ）。選入的因子以建築物型態及未使用土地型態選入次數最多，其影響性最高。

表 5 預測方程式

環框半徑 (m)	全日氣溫預測方程式	決定係數 (R^2)	相關係數 (r)
日平均氣溫			
150	$\text{Avg} = 30.67 + 0.63 \times \text{Ba} - 1.94 \times \text{Fa} - 1.31 \times \text{Ga} + 0.3 \times \text{Wa}$	0.76	0.87
日最高氣溫			
150	$\text{Max} = 37.85 - 1.12 \times \text{Ba} - 2.96 \times \text{Fa} - 4.82 \times \text{Ga} - 1.76 \times \text{Wa}$	0.47	0.69
日最低氣溫			
150	$\text{Min} = 26.59 + 1.52 \times \text{Ba} - 1.35 \times \text{Fa} + 0.27 \times \text{Ga} - 3.58 \times \text{Wa}$	0.84	0.92

多元迴歸分析結果顯示，以都市不同土地使用型態的局部區域為範圍，影響微氣候氣溫變化的因子中，對於氣溫增加最顯著的因素為建築物型態面積比例，而對於氣溫降低影響力高的因素為未使用土地型態、植栽型態及水域型態面積比例，因此，都市土地使用規劃可透過一定比例的植栽綠化面積、適當的土地開發度及留設開放空間、水域環境的營造等方式而有效的改善。

在台中市土地使用型態組成與微氣候關係之實測數據成果中，綜合比較分析結果顯示，建築物型態與氣溫呈正相關；未使用土地型態、植栽綠化型態、水域型態與氣溫呈負相關；而人工鋪面型態因子與氣溫的幾乎無相關性。土地利用型態組成與日較溫差關聯性則不顯著。在降溫的效果方面，建築物型態及人工鋪面的面積，與散熱的效果呈現負相關；未使用土地型態、植栽綠化型態、水域型態則與散熱的效果呈現正相關。

計畫研究結果顯示，影響都市高溫化的因素主要為建築物型態因子的面積比例，而人工鋪面的影響程度並沒有想像中來的大，是由於在都市中各場域的人工鋪面比例皆大，以致其影響程度較不顯著。而在改善都市高溫化方面，未使用土地型態因子能夠有效的降低都市微氣候氣溫，而植栽綠化能夠緩和各時段最高溫的發生情形，水域型態因子則能夠有效的輔助微氣候氣溫的改善。

三、總結

本整合型計畫總目標是以在滿足使用者的舒適與健康的軸線上，整合都市氣候、街廓微氣候、建築室內環境、建築耗能和使用者的反應間相互關連與相互作用，充分利用被動式的設計方式營造氣候自適性的節能、舒適與健康的人居環境。四個子計畫從都市熱島、熱舒適、健康及空調節能多個面向探討，並呈現由綠建築邁向生態城市的具體策略。在計畫產出方面，各子計畫均已整理成期刊論文並審查中，且有多位博、碩士生及大學部學生共同參與，在此對國科會補助經費表達感謝。

參考文獻

- Ali-Toudert F, Mayer H, 2006, Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41:94-108.
- Ali-Toudert F, Mayer H, 2007a, Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* 81:742-54.
- Ali-Toudert F, Mayer H, 2007b, Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. *Theoretical and Applied Climatology* 87:223-37.
- Asaeda T, Ca VT, 2000, Characteristics of permeable pavement during hot summer weather and impact on the thermal environment. *Building and Environment* 35:363-75.
- Bottyan Z, Unger J, 2003, A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology* 75:233-43.
- Brager GS, de Dear RJ, 1998, Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings* 27:83-96.
- de Dear RJ, Pickup J, 2000 An Outdoor Thermal Comfort Index (OUT_SET*) - Part II - Applications, In de Dear, R. J., Kalma, J. D., Oke, T. R., Auliciems, A. (eds): *Biometeorology and urban climatology at the turn of the millenium. Selected Papers from the ICB-ICUC'99 conference, Sydney, WCASP-50, WMO/TD No. 1026, World Meteorological Organization, Geneva.*
- Emmanuel R, Johansson E, 2006, Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka. *Climate Research* 30:189-200.
- Emmanuel R, Rosenlund H, Johansson E, 2007, Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Climatology* 27:1995-2004.

- Fanger PO, 1972, Thermal Comfort. New York: McGraw Hill.
- Gagge AP, Fobelets AP, Berglund LG, 1986, A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Transactions 92:709-31.
- Giridharan R, Lau SSY, Ganesan S, 2005, Nocturnal heat island effect in urban residential developments of Hong Kong. Energy and Buildings 37:964-71.
- Giridharan R, Lau SSY, Ganesan S, Givoni B, 2007, Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong. Building and Environment 42:3669-84.
- Gulyas A, Unger J, Matzarakis A, 2006, Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. Building and Environment 41:1713-22.
- Höppe P, 1999, The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology 43:71-75.
- Hamdi R, Schayes G, 2007, Sensitivity study of the urban heat island intensity to urban characteristics. International Journal of Climatology 28:973-82.
- Ichinose T, Shimodozono K, Hanaki K, 1999, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. Atmospheric Environment 33:3897-909.
- Johansson E, 2006, Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. Building and Environment 41:1326-38.
- Johansson E, Emmanuel R, 2006, The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. International Journal of Biometeorology 51:119-33.
- Lin TP, Matzarakis A, Huang JJ, 2006. Thermal comfort and passive design of bus shelters. Proceedings of 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA2006), Geneva.
- Lin TP, Ho YF, Huang YS, 2007, Seasonal effect of pavement on outdoor thermal environments in subtropical Taiwan. Building and Environment 42:4124-31.
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H, 2007, Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model. International Journal of Biometeorology 51:323-34.
- Oke TR, 1981, Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. Journal of Climatology 1:237-54.
- Oke TR, 1988, Street design and urban canopy layer climate. Energy and Buildings 11:103-13.
- Pickup J, de Dear RJ, 2000 An Outdoor Thermal Comfort Index (OUT_SET*) - Part I - The Model and its Assumptions, In de Dear, R. J., Kalma, J. D., Oke, T. R., Auliciems, A. (eds): Biometeorology and urban climatology

- at the turn of the millenium. Selected Papers from the ICB-ICUC'99 conference, Sydney, WCASP-50, WMO/TD No. 1026, World Meteorological Organization, Geneva.
- Spagnolo J, de Dear RJ, 2003, A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment* 38:721-38.
- Taha H, 1997, Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings* 25:99-103.
- Tan SA, Fwa TF, 1992, Influence of pavement materials on the thermal environment of outdoor spaces. *Building and Environment* 27:289-95.
- VDI, 1998, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning. Part I: Climate. VDI guideline 3787. Part 2. Berlin: Beuth.
- Wong NH, Jusuf SK, La Win AA, Thu HK, Negara TS, Wu XC, 2007, Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. *Building and Environment* 42:2949-70.

無衍生研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：鄭明仁		計畫編號：98-2221-E-035-075-						
計畫名稱：由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境—總計畫： 由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境								
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）		
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比				
國內	論文著作	期刊論文	0	0	0%	篇		
		研究報告/技術報告	4	4	10%			
		研討會論文	3	4	10%			
		專書	0	0	0%			
	專利	申請中件數	0	0	0%	件		
		已獲得件數	0	0	0%			
	技術移轉	件數	0	0	0%	件		
		權利金	0	0	0%	千元		
	參與計畫人力 （本國籍）	碩士生	2	2	50%	人次		
		博士生	1	1	50%			
		博士後研究員	0	0	0%			
		專任助理	0	0	0%			
	國外	論文著作	期刊論文	1	2	80%	篇	本項成果匯整係指涵蓋四個子計畫之總成果。
			研究報告/技術報告	0	0	0%		
研討會論文			0	0	0%			
專書			0	0	0%			
專利		申請中件數	0	0	0%	件		
		已獲得件數	0	0	0%			
技術移轉		件數	0	0	0%	件		
		權利金	0	0	0%	千元		
參與計畫人力 （外國籍）		碩士生	0	0	0%	人次		
		博士生	0	0	0%			
		博士後研究員	0	0	0%			

		專任助理	0	0	0%		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)		本總計劃由四個子計畫共同整合完成，因此，成果由傳統的綠建築單一領域向外延伸至人體在健康上的舒適健康反映，這些成果除投稿期刊；研討會之成效外，亦提供了我們幾位參與計畫的老師在教學上的廣度；就學生而言，亦同樣獲得研究成果之學識，同時亦提供老師們在各種演講中的題材，無形中將此項成果又傳送到各個階層的聽講者中，因此，此一整合型計畫之影響甚遠，實有延續之必要性。					

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

1. 國外期刊已接受一篇

2. 國外期刊審稿中一篇

3. 研討會三篇

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本年度之整合型計畫總目標是以在滿足使用者的舒適與健康的軸線上，整合都市氣候、街廓微氣候、建築室內環境、建築耗能和使用者的反應間相互關連與相互作用，充分利用被動式的設計方式營造氣候自適性的節能、舒適與健康的人居環境。本研究四個子計畫從都市熱島、熱舒適、健康及空調節能多個層面探討，並呈現由綠建築邁向生態城市的具體策略。在學術成就上本整合計畫產出方面，各子計畫均已整理成期刊論文審查中；在學術傳承中本整合型計畫有多位博、碩士生及大學部學生共同參與，成效良好，相信對未來的教學及研究均會有相當的助益與貢獻。