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」的的背景下，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，探討戶外環境設計因子對熱環境與熱舒適性的影響，並探討人們的參與率與之關聯性(子計畫三及子計畫五)，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)。另外，也探討屋頂綠化對建築物頂層微氣候的影響及對熱環境降溫的效果(子計畫六)。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)。

本整合型計畫為兩年期計畫，以下就各子計畫成果進行論述：子計畫一於首年成果顯示，建築外殼設計會影響居住者的熱舒適並進一步影響能源消耗，空間透過調整恆溫控制的方式，減少空調能量消耗；第二年成果顯示學校可將提高使用冷氣的條件，以節省冷氣運轉電費，且仍維持教室的熱舒適。子計畫二於首年成果顯示，SBFC、TEWL、及皮膚溫度顯著地隨環境溫度改變而變化，且熱感知投票值與皮膚溫度之相關性最高；第二年成果中，顯示 E-index 為警示因遭受短期(急性)紫外線輻射生成健康危害之較佳皮膚生理指標，而防曬乳液能有效的對皮膚與外界熱環境直接接觸產生隔離。子計畫三於首年成果發現，公園遮蔽處的 PET 與總聚集人數呈現高度相關，人數最多時約在 25.2 ℃ PET 左右；第二年度成果中顯示，隨著熱舒適指標由舒適範圍向上提高或往下降低時，人的不滿意度愈高，公園內的參與人數也隨之愈少。子計畫四於首年度結果顯示，影響都市高溫化的主要因素為建築物型態，而未使用土地型態因子能夠有效的降低環境氣溫；第二年度分析顯示，植栽綠化能夠緩和各時段最高溫的發生情形，水域型態則與氣溫呈現負相關性，其 r 值達-0.614。子計畫五於首年結果指出，植栽改善方案於全日時段可同時改善路段兩側的空間連續性；第二年度分析顯示，盛行風的風向會受不同高度的建築型態與排列影響，並發現在 Green-TOD 的尺度下，可透過控制建築量體與佈局，達到實現微氣候都市設計之感知效果。子計畫六於首年度成果顯示，有綠化較無綠化之情形下對熱環境有明顯降溫效果；第二年度成果指出，屋頂綠化有助於提升室內之整體熱舒適性，且以夏季採用空調之教室模擬下，有屋頂綠化者可較傳統屋頂節能約 5.9% 之用電量。

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 then, Project 3 and Project 5 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. Besides, Project 6 also investigates the influences of green roof on the micro climate nearby building and on the effects of improving thermal 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.

In Project 1, the result in first year shows that building envelope designs influence human thermal comfort, and energy consumption further. In the controlling simulation based on thermal comfort, the energy consumption of air-conditioning could be reduced by the way of adjusting constant-temperature control. The result in the second year shows that schools could increase conditions of air conditioning operation for saving the electric bill and keep the thermal comfort in classrooms at the same time.

In Project 2, the result indicates that SBFC, TEWL, and skin-temperature would change in accordance with environmental temperature. Besides, sun scream can effectively generate a separation of direct-contact between the skin and outdoor thermal environment. The result in the second year shows that E-index is a better skin-physiology index to warn the damage produced by the acute UV rays radiation, and the suntan lotion can separate the skin from outdoor thermal environment effectively.

In Project 3, the result shows that more and more people are assembled as higher thermal-index in the shadow in cool season; the correlation between Ta and population is indistinct, and there is a most significant correlation, 0.81, between PET and population, as the PET is about 25.2 ℃. The result in the second year shows that the predicted percentage dissatisfied is higher as the comfort range of the thermal comfort index is increasing or decreasing, and the amounts of people in parks is reducing at the same time.

In Project 4, the result indicates that the area proportion of building factor is the most significant correlation, 0.84, to cause the urban temperature increasing; and the area proportion of unused-land factor is the most significant correlation, 0.84, to reducing

environmental temperature effectively. The result in the second year shows that plants can mitigate the high temperature occurred every time, and the water factor has a negative correlation with air temperature, the r value is almost to -0.614.

In Project 5, the result shows that the case of setting up canopy in walking area can improve the space continuity of both east and west sides in the pavement at noon; the case of planting vegetation can improve the space continuity of east and west sides in the pavement all day. Besides, it is not enough that only using shadow-grade to discuss the continuity of shadow-time, and also regarding the amount of accumulation each hours in the pavement. The result in the second year shows that the wind direction of monsoon is effected by the pattern and the configuration of buildings in different height, and we can obtain the outcome of the micro-climate urban design by controlling the dimension and arrangement of buildings in the scale of Green-TOD.

In Project 6, the result indicates that the air temperature at every altitude under the green roof is lower than the non-green roof, and the effective at night-time is always better than at day-time. Besides, the effective of the green roof cooling thermal environment is more obvious than the non-green roof. As far as MRT goes mean of falling rage all-day reaches to 2.6% (0.8℃), and falling rage of SET* reaches to 2.6% (0.7%). The result in the second year shows that the green roof could contribute to improve the indoor thermal comfort, and the green roof can save 5.9% electric consumption rather than the traditional roof by simulating in the cooling classroom in summer.

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，及六個子計畫。各計畫之主持人及計畫名稱如表1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	聯合大學/建築學系	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	副教授	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	中興大學/景觀與遊憩學程	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
子計畫(五)	謝俊民	成功大學/都市計劃系	助理教授	街廓尺度人行步道空間之微氣候準則評估與改善對策
子計畫(六)	黃國倉	臺灣大學/生物環境系統工程學系	助理教授	屋頂綠化對都市微氣候與室內溫熱環境影響之研究

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。

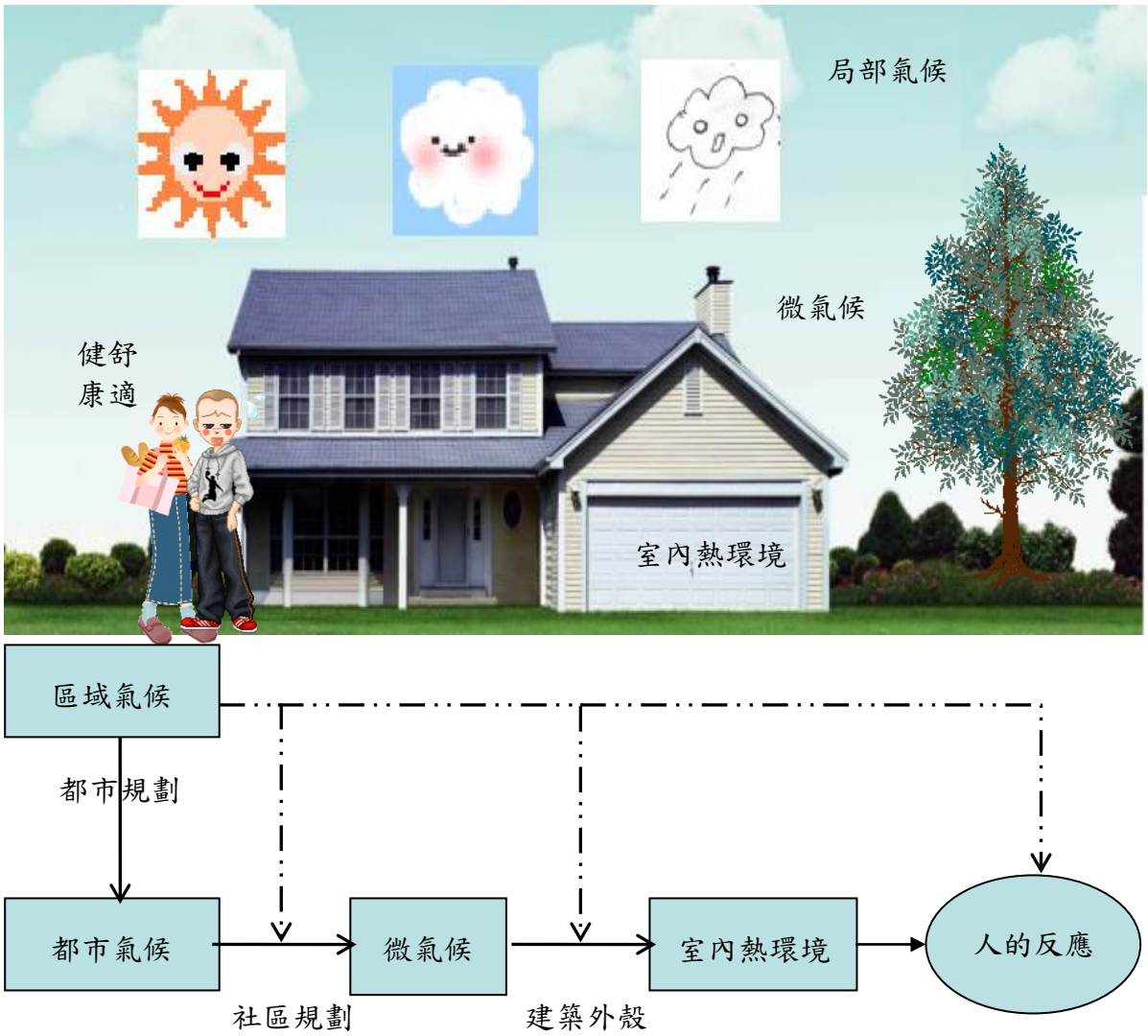


圖1. 室外氣候系統、建築熱環境系統以及人的反應系統三者相互作用影響的網絡

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，投入六個子計畫。子計畫(一)從基於兼顧能源消耗和居住者熱舒適觀

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單純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（二）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。子計畫(三)針對戶外環境設計因子對熱島效應抑制與熱舒適性提供之整合性評估，先從植物和人工遮蔽頂蓋等遮蔽因子，以及戶外材料特性影響之實測與解析開始，探討這些因子對戶外環境的微氣候和戶外環境舒適度改善的影響，最後期盼建構一個可以快速評估戶外全年舒適度簡算式模式。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（五），以行人活動之街廓尺度做為研究範疇，對不同土地使用類別與強度的街廓與植栽配置進行日照和溫熱環境的模擬與實測，以改善人行步道空間之熱舒適為首要目的，提出動線連續性以及上風處降溫的準則，來直接且有效率的調適都市生活。子計畫（六）針對屋頂綠化對屋頂戶外微氣候以及對室內溫熱環境改善之影響進行探討，嘗試建立屋頂綠化對微氣候環境與室內溫熱環境之評估方法。

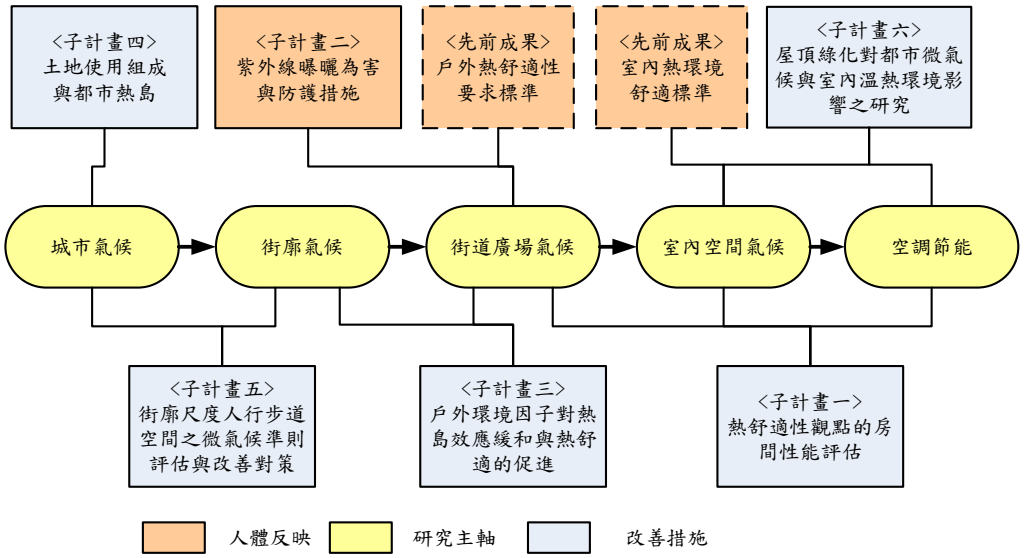


圖2. 各子計畫在整合計畫中的關係

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）、（四）、(五)和(六)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）和(五)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、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)和(六)的建築能源分析，顯現其在空調節能的效果，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）、（五）和(六)。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）、(五)和(六)評估各種戶外因子對環境舒適促進時的重要依據。室內熱舒適是室內環境中最重要的項目之一。先前在室內熱舒適的研究成果，再加上與子計畫（一）和子計畫（六）中針對以被動式設計策略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）、(四)、(五)和（六）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效果。譬如說，子計畫（一）和(六)以舒適觀點規範房間的外殼和屋頂熱性能，子計畫（三）、(四)和(五)對建築外部微氣候的改善，兩者相輔相成增加了被動式設計的使用潛力，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，空調節能效果就自然呈現。

二、 各子計畫執行成果

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

■ 第一年期成果概述

2-1-1 前言

近年來，玻璃帷幕牆被建築師廣泛採用作為建築外殼結構，它創作了美觀、通透的視覺效果，同時也帶來了室內熱環境和空調能耗的問題。玻璃帷幕與傳統牆體相比，性能差異主要表現在其具有透射性，夏季透過的大量太陽輻射熱使室內溫度偏高，且多數玻璃熱傳系數較大，也容易使透過窗玻璃的傳導熱增大，在夏天增加熱獲得，在冬天造成熱損失，而要維持符合人體要求的熱舒適條件，必然增加空調系統耗能。因此，玻璃帷幕建築室內熱環境特點和耗能情形，對於空調型的建築物而言，其外殼設計必須符合ENVLOAD的規定。ENVLAD重點的規範項目是透過窗戶的日照熱得量。探討玻璃帷幕牆建築室內熱環境與能耗狀況，並對其影響因素進行分析。

2-1-2 研究方法

主題一研究主要藉由電腦程式模擬方法確定建築物外殼性能在影響居住者熱舒適性的感受，重點為探討空調型建築，如何結合被動式的建築性能設計與主動式的空調溫空設定。計畫採用電腦程式模擬的方法，以採用單層普通透明玻璃和單層反射玻璃的帷幕牆建築為例，在同樣室內溫度設定下，平均輻射溫度依次降低，如果以普通玻璃為基準，在夏日設計日條件下，降低幅度分別為 1.5℃ 和 2.5℃。若以 ISO 7730 規定的 PMV<+0.5 為基準，滿足熱舒適的要求的室內溫度上限變化值分別是 22.0℃、23.0℃和 23.9℃。可見不同的外殼性能，透過空調運行管理，並且以相同的人員舒適度為控制目的時，可以創造出額外的空調用電。

圖 3 顯示太陽輻射熱對 PPD 造成的影響與模擬構想流程圖。使用 EnergyPlus 做為電腦模擬的工具，首先，以熱舒適性進行了討論。用來改善熱舒適性或減少能源消耗，如更換玻璃類型，改變 玻璃面積，外遮陽裝置等設計，並使用熱舒適性的室內熱舒適性控制條件。在夏季一般空調溫度普遍設置 24℃。但是，為了鼓勵有效利用能源緩解全球變暖的風險，建議空調溫度應為 26 ℃ 或以上。基於此空調溫度分別設置為 24℃，25℃ 和 26℃ 至分析能源消耗和熱舒適性佔用現狀。台灣外殼性能指標的計算式如方程式(1)。圖 4 表示用來進行模擬的案例建築物。表 2 顯示模擬建築物的各項參數。表 3 顯示更換玻璃類型的參數。

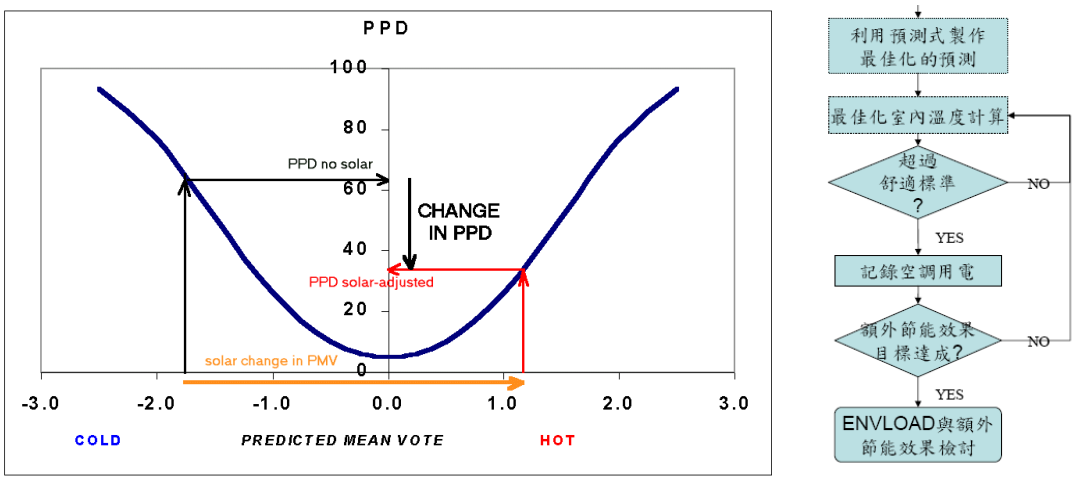


圖3. 太陽輻射熱對 PPD 造成的影響與模擬構想流程圖

表2. 大廳相關參數說明

Parameters	Values
Area	215 m^2
Dimensions and height	8m×24 m; ceiling height 4.8 m
Orientation	South facing
Wall	Typical 100 mm concrete wall; U-value= 3.52 W/m^2-K
Roof	Typical 150 mm concrete slab with 30 mm polyurethane and steel tile; U-value= 0.84 W/m^2-K
Glass façade	Window Wall Ratio=0.72; Single glazing with U=6.47 W/m^2-K and SHGC=0.680; 2.4 m in depth of overhang extending from the pitched roof
Internal load	Light=15.0 w/m^2, occupancy= 0.2 $person/m^2$; appliance=10 W/m^2
Operating hours	All days: 08:00-18:00 h
HVAC	Spilt unit system; COP=3.5

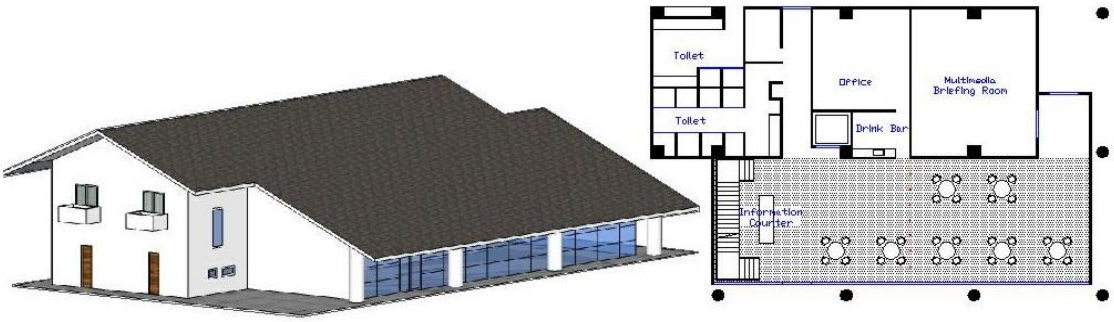


圖4. 模擬案例建築物外觀與平面配置圖

表3. 窗戶玻璃的參數

No	glazing type	abbreviated name	transmittance	absorbance	SHGC	U-value (W/m^2-K)
1	clear 6 mm	clear	0.78	0.15	0.765	6.466
2	tinted-blue 6 mm[b]	blue	0.64	0.30	0.680	6.472
3	Tinted-bronze 6 mm	bronz	0.48	0.47	0.592	6.474
4	film on clear 6 mm	film-1	0.50	0.19	0.511	4.256
5	film on clear 6 mm	film-2	0.40	0.31	0.447	4.384
6	reflective 6 mm	reflec	0.33	0.21	0.375	4.301
7	low-e 6 mm	loe-1	0.32	0.42	0.390	4.275
8	low-e 6 mm	loe-2	0.23	0.52	0.326	4.337

[a] all of the values listed above were from manufactures and SHGCs were calculated by WINDOW 5.0[23]

[b] the glazing type used in actual

2-1-3 結果與討論

(1)ENVLOAD 能耗與熱舒適性

玻璃帷幕立面在加上強烈的太陽輻射傳導，這將會導致靠窗邊的座位感到不舒適。表 4 顯示了不同外殼措施對 ENVLOAD，冷卻能耗和 I_{total} 的參數模擬個案。表 4 增加 ENVLOAD 的基本情況（84.3 kWh/m^2-yr）到最大（149.7 kWh/m^2-yr）的增加會導致能源消耗和 I_{total} 共增加了 8%和 34 %，分別同時降低到最小的 ENVLOAD 在 56.95 kWh/m^2-yr 導致了減少能源消耗和 I_{total} 分別為 15%和 44%。如圖所示，可以說建築外殼能設計影響居住者的熱舒適。

表4. 模擬個案的 ENVLOAD、空調耗能、I_{total}

	glass type	WWR	SHGC	overhang m	ENVLOAD kWh/m^2-yr	I_{total} h	(%)[a]	energy use kWh	(%)[a]
				Current situation (base case)					
1	blue	0.72	0.680	2.4	84.4	2781	(100)	10642	(100)
				Changing glazing type					
2	clear	0.72	0.765	2.4	92.9	3176	(114)	10942	(103)
3	bronz	0.72	0.592	2.4	77.6	2813	(101)	10384	(98)
4	film-1	0.72	0.511	2.4	71.1	2599	(93)	9949	(93)
5	film-2	0.72	0.447	2.4	66.2	2375	(85)	9652	(91)
6	reflec	0.72	0.375	2.4	60.5	2066	(74)	9271	(87)
7	loe-1	0.72	0.390	2.4	61.9	2187	(79)	9425	(89)
8	loe-2	0.72	0.326	2.4	57.0	1562	(56)	9058	(85)
				Change glazing area					
9	blue	0.36	0.680	2.4	60.7	2716	(98)	9615	(90)
10	blue	0.48	0.680	2.4	68.6	3163	(114)	10287	(97)
11	blue	0.60	0.680	2.4	76.5	2907	(105)	10377	(98)
12	blue	0.36	0.680	0.0	93.4	2735	(98)	9674	(91)
13	blue	0.48	0.680	0.0	112.2	3189	(115)	10336	(97)
14	blue	0.60	0.680	0.0	131.0	3578	(129)	10951	(103)
				Changing the depth of overhang					
16	blue	0.72	0.680	0.0	149.8	3740	(134)	11529	(108)
17	blue	0.72	0.680	1.2	106.9	2918	(105)	10753	(101)
18	blue	0.72	0.680	3.6	73.1	2502	(90)	10350	(97)
19	blue	0.72	0.680	4.8	66.3	2411	(87)	10258	(96)

a the percentages in the brackets are relative to the base case

(2)以熱舒適性為基礎的控制模擬

主要用途的建築物內的空調系統是使居住者舒適。如果空調溫度設定在 26℃ 在所模擬的建築物只使用降低溫度室內熱舒適條件。在表 5 顯示舒適的時間，目前在 26℃舒適類 C 點在所調查的大廳分為 IV 級（不可接受）。另一方面，冷卻空調系統能耗的另一個重要問題是如果房間溫度設定在 26℃。為了提供一個更舒適的環境，可以利用恆溫控制，而不必在固定的溫度。熱舒適性的舒適性控制也提出了調節室內溫度的變化就在室內氣候，保持用戶定義熱舒適性。經確定的每小時設定點的室溫，每小時降溫能耗，可進行的 EnergyPlus 模擬。

圖 5a 及 5b，顯示案例 2 與案例 7 分別在 9 月 1 日至 9 月 5 日這五個晴天顯示消耗能量和冷卻情況。室內氣候條件的溫度變化方面。由於圖 5a 中可以看到由於其較高 SHGC，案件有一半時間低於 24℃的提供熱舒適性。尤其在中午左右的時間平均輻射溫度高引起的強烈的太陽輻射，熱舒適性控制方法的空調設定溫度約 23℃，這低於目前的恆溫控制在設定點為 24℃和導致製冷能耗增加。另一方面，案件 2 具有較低的 SHGC 並且在模擬期間維持室內溫度，甚至偶爾超過 26℃間，這可以減少空調的能量消耗。圖 6 顯示所有模擬空調能耗模擬案件根據熱舒適性控制和常規恆溫控制在 24° C 和 26° C 間的情形。

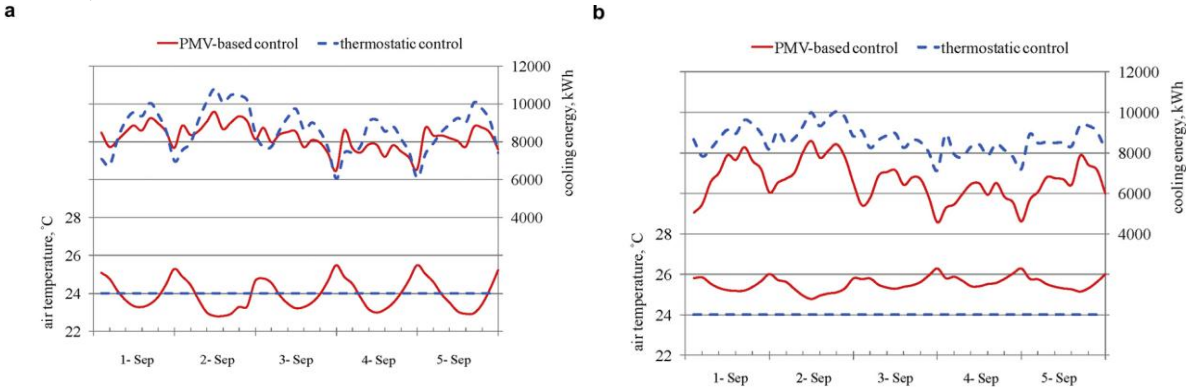


圖5. 9 月 1 日至 9 月 5 日空調溫度設定於 24℃與舒適性控制溫度的逐時冷卻水塔與空調耗能量比較； a) 案例 2， b)案例 7

表5. 在大廳調查不同點的氣溫與 PMV 指標

PMV index	Set-point of room temperature					
	24 ℃		25 ℃		26 ℃	
	net	surface	net	surface	net	surface
-1.0 – -0.7	3	5	3	4	0	3
-0.7– -0.5	8	21	5	10	17	8
-0.5 – -0.2	111	211	17	31	82	17
-0.2 – +0.2	562	1406	207	536	185	79
+0.2 –+0.5	928	40	552	1085	349	616
+0.5 –+0.7	71	-	698	16	529	891
+0.7 –+1.0	-	-	201	-	503	66
+1.0 –+1.5	-	-	-	-	18	3
+1.5 –+2.0	-	-	-	-	-	-
% outside the comfort category A, B, C and resultant comfort class						
A	67%	16%	88%	68%	97%	95%
B	5%	1.5%	54%	1.8%	84%	58%
C	0%	0%	12%	0%	63%	4%
class	III	II	IV	II	IV	IV

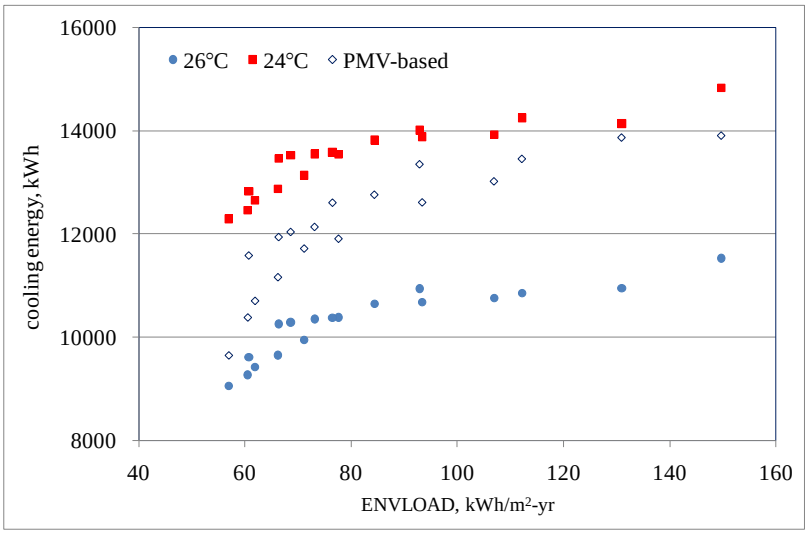


圖6. 根據熱舒適性控制和常規恆溫控制在 24° C 和 26° C 間，所有模擬空調能耗模擬案件

■ 第二年期成果概述

2-1-4 前言

在台灣，幾乎所有的辦公建築和超過 80%的住宅建築都已安裝空調設備。在過去，台灣的學校教室普遍是以自然通風為主。研究顯示在濕熱氣候區單單依靠自然通風是不足以讓全年的室內熱狀況維持在可接受的熱舒適範圍內。隨著生活品質的改善，台灣多數居民已習慣在夏天利用空調設備來維持室內的熱舒適，以及基於有好的室內環境品質才能有好的學習表現的觀念下，現今新建或改建的學校教室安裝空調設備的現象越來越普遍。在此情況下，如何降低空調能源費用遂成為這些學校的當務之急。

在使用者付費的制度下，學校對於冷氣的管理可分為兩種模式。第一種是集中控管(central control)模式：學生先繳交定額的冷氣使用費，由學校當局決定何時可以使用冷氣。另外一種管理模式是自主管理模式：由學生自己決定是否使用冷氣，學校透過儲值卡扣取費用，學生可以透過控制盒上顯示的數字即時知道使用冷氣的代價。本年度研究主題為冷氣的管理模式對使用者的熱感知和舒適要求的影響，基於在分別實施集中控管和自主管理冷氣管理的兩間教室的實測調查結果，探討複合通風教室內學生的熱感知、使用風扇或冷氣的行為模式，以及冷氣管理模式對冷氣使用行為和學生熱感知產生的影響。

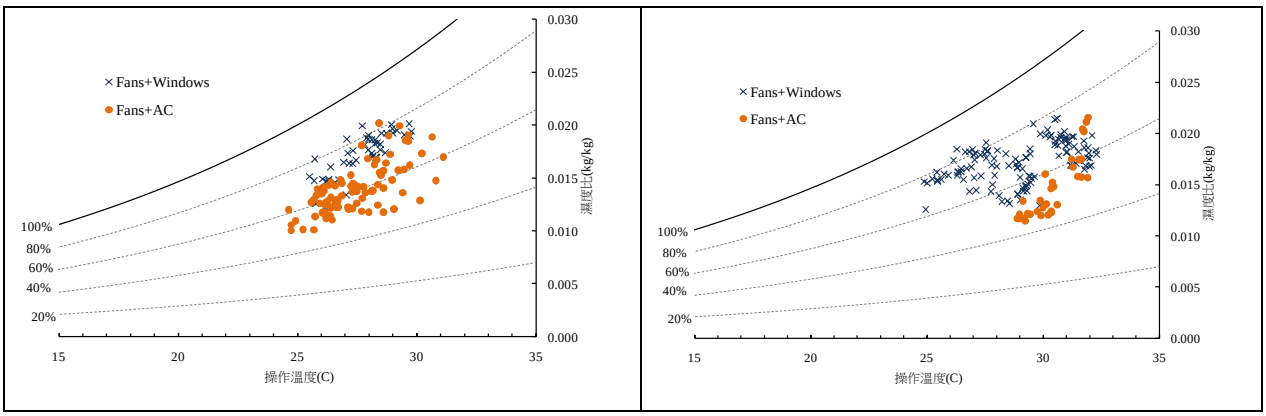
2-1-5 研究方法

現場實測是在位於台灣中部的不同學校的兩間教室進行的。這兩間教室都是採用複合通風。實驗時間為2011年4月到6月，周一到周五的上課期間。受訪對象的為紀錄窗戶、吊扇和冷氣的使用情形。

2-1-6 結果與討論

在5/15-6/30教室使用混合通風模式時，測得的熱狀況在舒適空氣線圖分佈如圖7所

示。這段期間在自主管理教室測得的操作溫度分佈在25-32℃，相對濕度分布在45%-95%；在集中控管教室，操作溫度分佈在25-31℃範圍內，相對濕度分布在45%-95%。圖7以不同圖例區別使用與未使用冷氣時教室的熱狀況。雖然這兩間教室有相接近的最高和最低操作溫度。但是，這兩間教室在冷氣的設定溫度和使用時數上，卻有明顯的不同。自主管理教室這段期間的平均操作溫度是29.3℃，比集中管理教室的27.5℃高了1.8℃。若僅比較冷氣被使用時教室的操作溫度，自主管理教室的平均操作溫度是30.3℃，比集中管理教室的27.4℃高2.9℃。圖8比較了5/16-6/30複合通風期間兩間教室使用冷氣的時數百分比。圖8顯示在複合通風期間集中控管教室使用冷氣的時數幾乎是自主管理教室的三倍。圖8也顯示按照ACS，這兩間教室理論上需要使用冷氣的時數百分比。



(a) (b)

圖7. 室內熱狀況的分佈(a)自主管理(b)中央控管

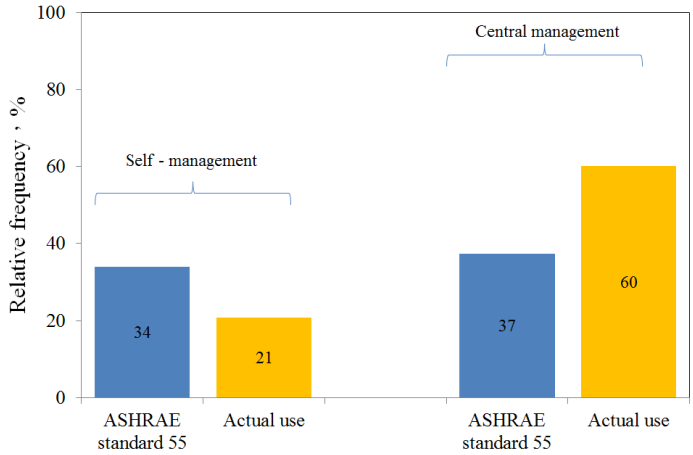


圖8. 不同管理模式下冷氣使用時數百分比與基於 ACS 理論使用時數百分比

圖 9 為兩間教室受試學生在 5/16-6/30 複合通風期間 TSV 的比較。自主管理教室和集中控管教室的熱中性操作溫度分別為 28˚C 和 30˚C。中央控管教室的中性溫度比自主管理教室低了 1.0˚C。圖 10 為兩組受試者的熱可接受度對比。我們再次看到，在調查的溫度範圍內，自主管理組的熱可接受度都高於集中控管組的熱可接受度。而且除了當室內操作溫度超過 30℃ 時外，自主管理組受試者的熱可接受度都超過 80%。相對的，集中控管教室的熱可接受度都低於 80%。

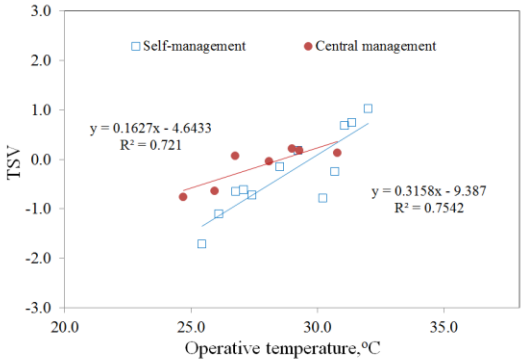


圖9. 中央控管組和自主管理組現場調查熱感覺對比

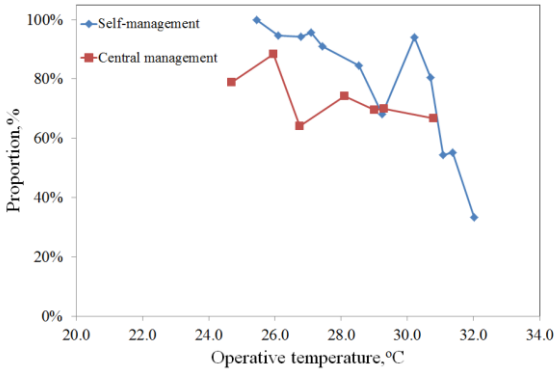


圖10. 中央控管組和自主管理組現場調查熱可接受對比

圖 11 為兩組受試者期望調涼爽和期望調暖和百分比的對比。在調查的溫度範圍內，自主管理組期望調涼爽的百分比曲線整體低於集中控管組。特別值得注意的是：在操作溫度低於熱中性溫的熱狀況，希望調暖的曲線顯示中央管控組有接近 10-20%的人希望調暖和。換句話說，當教室的溫度偏低時，集中管控教室的同學即使他們覺得冷，也希望有暖和一點的室內狀況，卻不見得會主動調高室內溫度或關掉冷氣，而任由冷氣繼續運轉，形成一種浪費。再次顯示學校當局可以將允許使用冷氣的條件改嚴格一些，以節省冷氣運轉電費，而且不會犧牲教室的熱舒適。相對的，自主管理教室開冷氣時的操作溫度幾乎沒有低於他們認為的熱中性溫度。

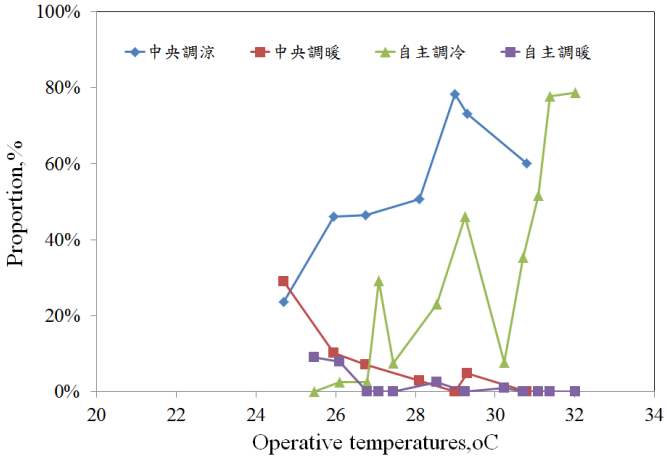


圖11. 中央控管組和自主管理組熱喜好對比

2-2 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

■ 第一年期成果概述

受大氣臭氧層破壞及地表暖化影響，人類遭受日光紫外線及濕熱危害之暴露風險日增，國民使用防護措施之意識亦逐步提升。穿透臭氧層到達地表的紫外線主要由 UVA(波長為 315-400 nm)與少量的 UVB(波長為 280-315 nm)所組成。其中 UVB 所造成的生物性危害較 UVA 為高。遭受紫外光過度曝曬時，人體眼部及皮膚可能產生不同之急性與慢性傷害。皮膚為身體最外層之組織，故因紫外光暴露而產生負面健康效

應之機率遠高於其他器官。隨著紫外線暴露與熱危害議題逐漸地受到重視，鑑定與評估過度紫外線與熱危害暴露危害之方法亦因運而生。傳統的方法著重於測量紫外線抵達地表之能量強度(如紫外線指數)與自然環境中大氣溫度與相對濕度之綜合影響(綜合溫度熱指數)是否超出建議暴露標準，而非直接評估當人體暴露於此類環境時可能產生之生理效應為何，故一般大眾難以確切明瞭其暴露所造成之健康風險。在防曬措施方面，使用防曬乳液抗阻陽光紫外線的輻射是國人常用之選項，但其防護效能迄今仍欠缺透過危害減量進行量化評估。目前關於防曬乳液之使用規範(如世界衛生組織所推薦者)主要適用於高緯度地區及大陸型氣候區。此類規範在濕熱地區如我國之適用性及有效性亦尚未透過人體因應紫外光曝曬所產生之生理反應進行評估。針對以上問題，本研究於第一年期當中探討在日常活動中，遭受熱危害因子及自然紫外光暴露時，人體皮膚生理反應變化及幅度，以及使用防曬乳液對上述變化之影響，並應用建立之生理指標評估紫外線所用防護乳液於濕熱地區如我國之適用性。研究所選定之皮膚生理指標包含：皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)、皮膚溫度、皮膚濕度、紅斑生成指數(erythema-index, E-index)與黑色素沉澱指數(melanin-index, M-index)；主觀熱舒適感則以美國冷凍空調技師協(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。第二年期當中之探討主題則為使用防曬袖套(衣物)作為防曬工具之適用性。關於第一、二年研究成果以及不同防曬工具之間的比較，將在下節中綜合論述。

第一年研究結果顯示：SBFC 為反應環境物理因子影響之高敏感、先期皮膚生理指標。戶外日光實驗結果發現 TEWL、皮膚濕度、以及 E-index 為警示因遭受短期(急性)紫外線輻射生成健康危害之較佳皮膚生理指標。皮膚障壁功能減低與紅斑生成現象於低劑量紫外光暴露(紫外光指數<6)時即可發生，並明顯反應遭受日光曝曬時皮膚使用防曬乳液與否所產生之生理變化差異，為評估乳液效能之良好指標。SBFC、TEWL、及皮膚溫度顯著地隨環境溫度改變而變化，但較不受環境相對濕度之作用；皮膚濕度為各生理指標中唯一可同時反應環境溫度與相對濕度影響者。上述指標間之反應－時程關係為：人體散熱需求增加時，皮膚微血流量增加以將熱量帶至表皮，而後表皮濕度顯著上升。隨皮膚濕度漸趨飽和，TEWL 增加以排出水分。散熱後皮膚溫度與周邊熱環境達到平衡。防曬乳液在皮膚表面形成類薄膜屏障，提供皮膚保溼效能，亦對皮膚與外界熱環境之直接接觸產生隔離，因此遲滯 SBFC 與 TEWL 對外界熱環境變化之反應。熱感知投票值隨環境溫濕度上升而增加，尤以溫度效應最為明顯，且熱感知投票值與皮膚溫度之相關性最高($R^2 > 0.75$)。

■ 第一年與第二年期成果綜合敘述

2-2-1 前言

隨著自然環境不斷地改變，紫外線暴露與熱危害議題逐漸受到重視，鑑定與評估過度紫外線與熱危害暴露危害之方法亦因運而生。到達地表之紫外線強度主要是以紫外光指數(Global Solar UV Index, UVI)表示。UVI 為全球通用的日光紫外線曝曬指標與警示系統，並提供一般民眾預防紫外線暴露可採取的合適防護措施。在伴隨日光曝曬所產生的熱不舒適或熱危害方面，綜合溫度熱指數則是常使用的熱壓力評估工具。世界衛生組織針對日光紫外線曝曬之危害，建議使用防曬乳液及遮陽衣物等防護措施。近年來，隨著

國人使用防曬措施意識之逐步提升，在眾多防止過度日光曝曬引起健康傷害的個人防護措施中，防曬乳液是一般大眾、特別是女性，使用頻率較高的用品。然而市售防曬乳液之保護時限僅 30 分鐘，逾 30 分鐘後須再補充，此舉對於從事戶外作業之勞工或需長期在戶外活動者而言十分不便，故亦有不少戶外作業勞工或活動者穿戴防曬袖套以避免遭受過度日光紫外線暴露而導致健康傷害，其中以防曬袖套的使用較為普遍。市售的防曬袖套多以棉質材質為主，宣稱具有阻抗紫外線之效果，可防止使用者皮膚因紫外線暴露而曬黑或曬傷。但其確切之防護效能則欠缺系統性的探討。

本計畫之先驅研究(「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：日光紫外線曝曬健康危害辨識與因應防護措施效能評估」(NSC 98-2221-E-039-012))探討特定皮膚生理指標因應環境物理因子、特別是日光紫外線輻射所產生的變化，以及各生理反應間之發生時程順序。本計畫則評估於日常活動中，遭受熱危害因子及自然紫外光暴露時，使用防曬乳液以及防曬袖套對人體皮膚生理反應變化之影響及影響幅度，並應用建立之生理指標評估紫外線防護所用乳液與袖套在濕熱地區如我國之適用性。同時探討以上防曬用品使用幅度對主觀熱舒適之影響，及以上熱舒適感變化與人體生理指標變化量之異同。在計畫第一年期當中，主要針對防曬乳液之效能進行評估；第二年期當中則針對防曬袖套之使用進行評估。在本節當中，將彙整呈現上述不同期程之研究成果。

2-2-2 研究方法

本研究利用人體遭受熱壓力時產生熱應變之皮膚生理指標以及主觀熱感知問卷，針對防曬乳液與防曬袖套可對自然紫外光曝曬提供之防護效能以及其使用在濕熱地區如我國可能對使用者產生之熱舒適影響進行評估。研究中選用之皮膚生理指標包含：經皮水分散失度(TEWL)、皮膚溫度、皮膚濕度(moisture)、紅斑生成指數(E-index)、黑素沉澱指數(M-index)、及皮膚微血流變化(SBFC)；主觀熱舒適感則以美國冷凍空調技師協會(ASHRAE) Standard 55 標準問卷為基礎發展之中文問卷調查。研究包括二主要階段(圖 12)：第一階段於人工氣候環境暴露艙內模擬不同環境溫濕度，量化評估室內環境物理因子對皮膚生理指標之影響，以及防曬乳液或防曬袖套使用是否改變其影響模式。第二階段於戶外進行日光曝曬實驗。實驗採定期短時間暴露方式，於無日光照射處與日光曝曬處量測各項皮膚生理指標反應與主觀熱感知變化，以評估因應日光曝曬產生之立即性與累積性皮膚生理與主觀熱舒適反應，以及防曬乳液或防曬袖套之使用對上項反應之影響。兩階段實驗皆評估實驗組(使用防曬乳液或防曬袖套)與控制組(未使用防曬乳液或防曬袖套)受試者皮膚生理指標與人體熱舒適感隨不同環境物理因子改變所產生之變化，以分析生理指標與熱暴露間之劑量(環境物理因子)－反應(生理指標)關係、生理指標間之反應－時程關係、以及主、客觀指標間之可能差異。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累積輻射量之基準，以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，以及量化分析防曬乳液或防曬袖套使用可降低之健康傷害。

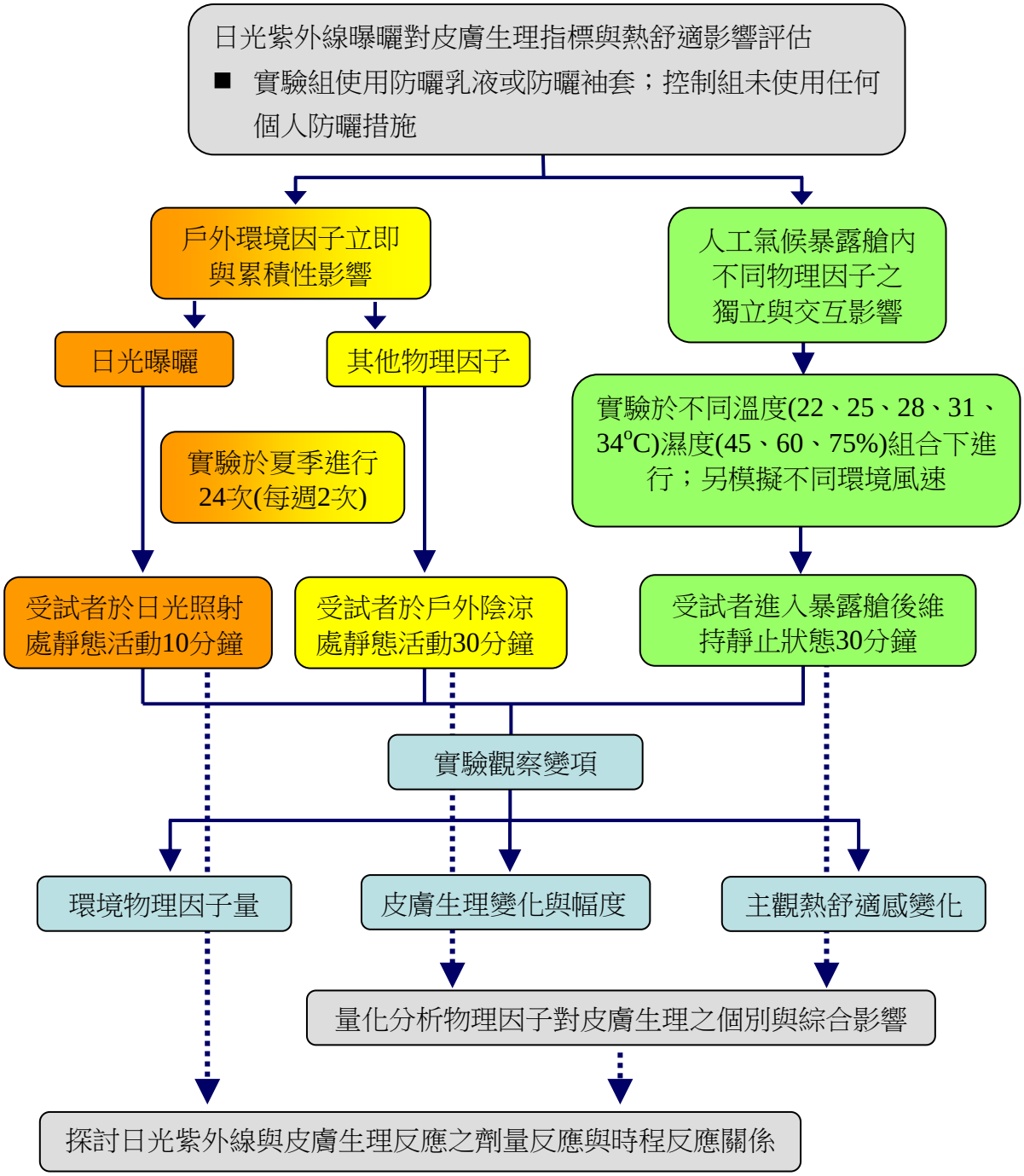


圖12.「日光紫外線因應防護措施效能及其使用對健康與熱舒適影響評估」**(NSC 99-2221-E-039-015-MY2)**計畫中人工微氣候實驗與戶外日光實驗之流程

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。研究結果顯示：SBFC 為反應環境物理因子影響之高敏感、先期皮膚生理指標。圖 13 所示為前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之 SBFC 分佈與線性迴歸。由迴歸方程式中可發現使用防曬乳液組之血流變化量隨 UVI 增加之上升程度(迴歸方程式之斜率)高於未使用防曬乳液組，顯示實驗組前臂外側皮膚對於短期紫外線暴露反應之敏感度較高。此

外，TEWL、皮膚濕度、以及 E-index 為警示因遭受短期(急性)紫外線輻射生成健康危害之較佳皮膚生理指標。M-index 則為反應長期日光紫外線危害之良好生理指標(圖 14)。皮膚障壁功能減低與紅斑生成現象於低劑量紫外光暴露(紫外光指數<6)時即可發生，並明顯反應遭受日光曝曬時皮膚使用防曬乳液與否所產生之生理變化差異，為評估乳液效能之良好指標。

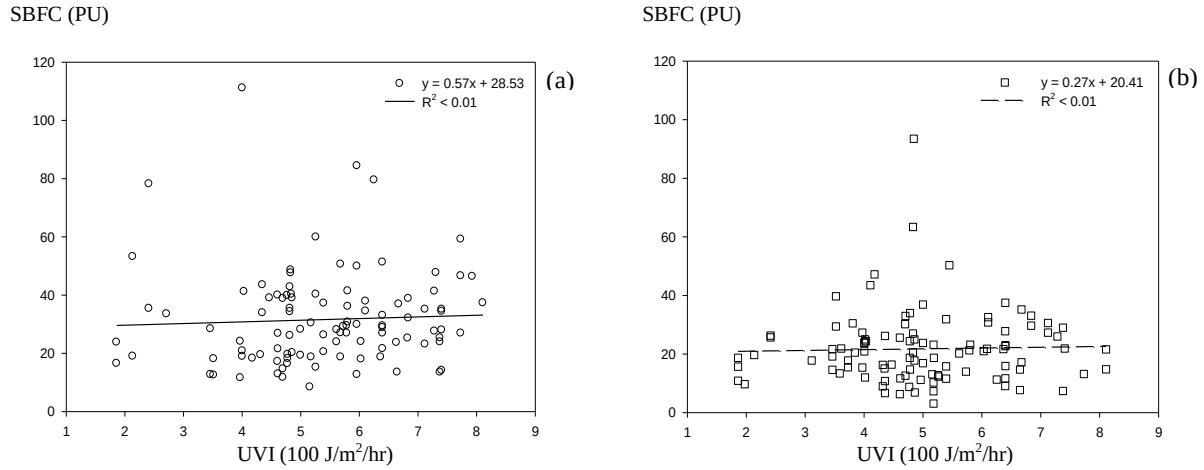


圖13. 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(SBFC)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)使用防曬乳液組；(b)未使用防曬乳液組

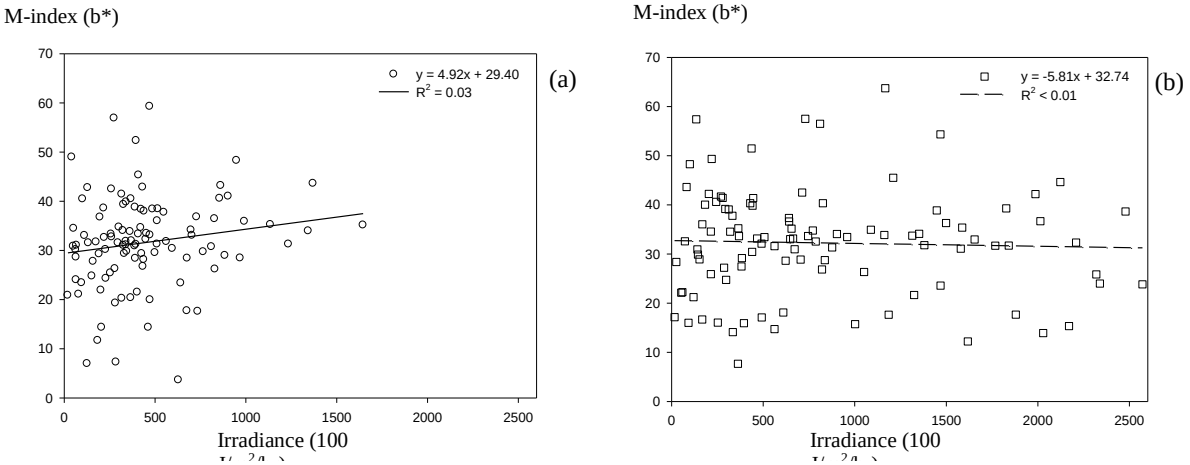


圖14. 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑素指數(M-index)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)使用防曬乳液組；(b)未使用防曬乳液組

暴露艙實驗結果發現：SBFC、TEWL、及皮膚溫度顯著地隨環境溫度改變而變化，但較不受環境相對濕度之作用；皮膚濕度為各生理指標中唯一可同時反應環境溫度與相對濕度影響者。上述指標間之反應－時程關係為：人體散熱需求增加時，皮膚微血流量增加以將熱量帶至表皮，而後表皮濕度顯著上升。隨皮膚濕度漸趨飽和，TEWL 增加以排出水分。散熱後皮膚溫度與周邊熱環境達到平衡。防曬乳液在皮膚表面形成類薄膜屏障，提供皮膚保溼效能，亦對皮膚與外界熱環境之直接接觸產生隔離，因此遲滯 SBFC 與 TEWL 對外界熱環境變化之反應。在高環境溫度(34℃)環境使用防曬袖套可抑制手臂皮膚排汗，造成實驗組之 TEWL 值較控制組為低。比較防曬乳液與防曬袖套之使用者時發現，因乳液具有保溼效果且與皮膚緊密接觸，故隨環境溫度升高時使用者之 TEWL

與皮膚濕度較使用防曬袖套者高。

戶外日光曝曬實驗發現：環境物理因子中輻射熱強弱是影響皮膚生理指標反應戶外熱環境變化之重要關鍵；黑球溫度高時對應之熱調節機制主要為皮膚濕度與 TEWL 變化。日光曝曬對使用防曬乳液者之主觀熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)未隨前臂外側 TEWL 呈明顯變化；而未使用防曬乳液組之 TSV 對應前臂外側 TEWL 則呈正線性關係(圖 15)。以上觀察建議：當未使用防曬乳液時，因 TEWL 可受綜合熱環境之影響，故與 TSV 呈正向關聯。但在使用防曬乳液的情況下，乳液形成之隔熱效果驅動生理散熱之需求，但乳液同時提供涼膚功能，故實驗參與者之主觀熱感知並未同步上升。由圖 16 之迴歸方程式中可發現未使用防曬乳液組之 E-index 隨 UVI 增加之上升程度(迴歸方程式之斜率)高於使用防曬乳液組，顯示使用防曬乳液組前臂外側皮膚遭受短期紫外線暴露時 E-index 增加幅度較低，可推論使用防曬乳液確可提供皮膚防護功能，降低皮膚曬傷所形成之紅斑生成。

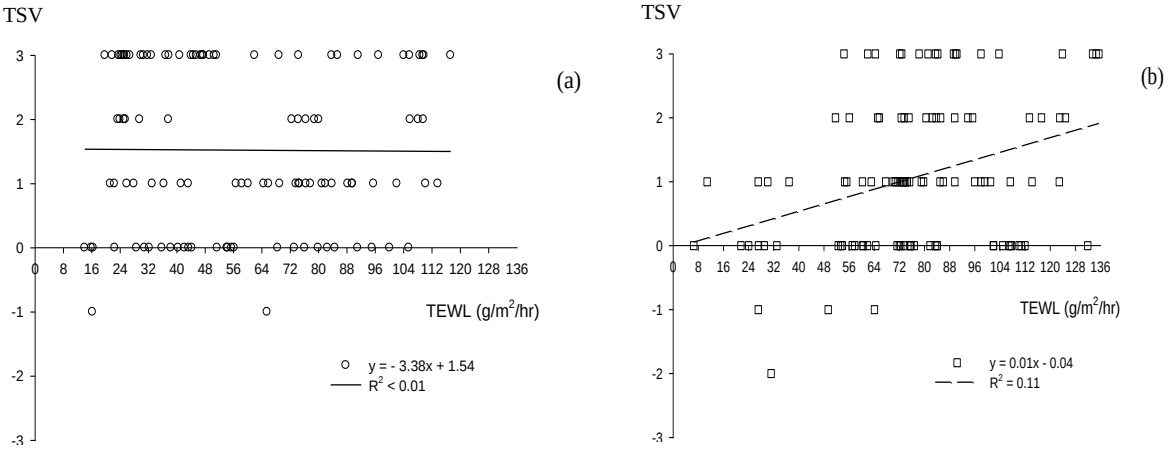


圖15. 熱感知投票值(TSV)對應前臂外側(直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(TEWL)於日光照射時之之分佈與線性迴歸：(a)使用防曬乳液組；(b)未使用防曬乳液組

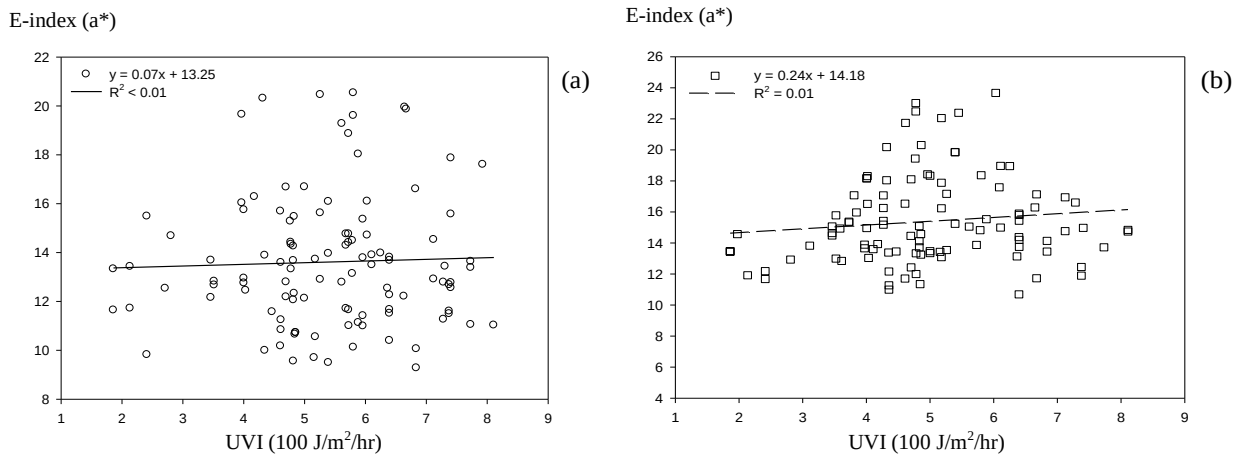


圖16. 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(E-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)使用防曬乳液組、(b)未使用防曬乳液組

在日光紫外線直接曝曬狀況下，當環境溫度為 34℃-36℃時，使用防曬袖套之受試者會因袖套侷限，導致皮膚表面散熱不易，刺激熱調節過度反應，造成皮膚溫度高達 40℃。經為期四個月之暴露後發現，使用防曬袖套受試者之皮膚 M-index 隨累積暴露之紫

外線能量增加出現下降，而未使用防曬袖套者則呈現上升趨勢，顯示防曬袖套之使用能適度降低皮膚黑色素之生成(圖 17)。此外使用防曬袖套者前臂外側之皮膚濕度對數值較未使用防曬袖套組為高(圖 18)，說明使用防曬袖套組人員因使用防曬袖套，造成皮膚表面與外界空氣隔離之局部熱環境；該熱環境與外界環境之熱交換阻絕，導致體熱散發不易，促使體熱以皮膚濕度型態蓄積在表皮中。

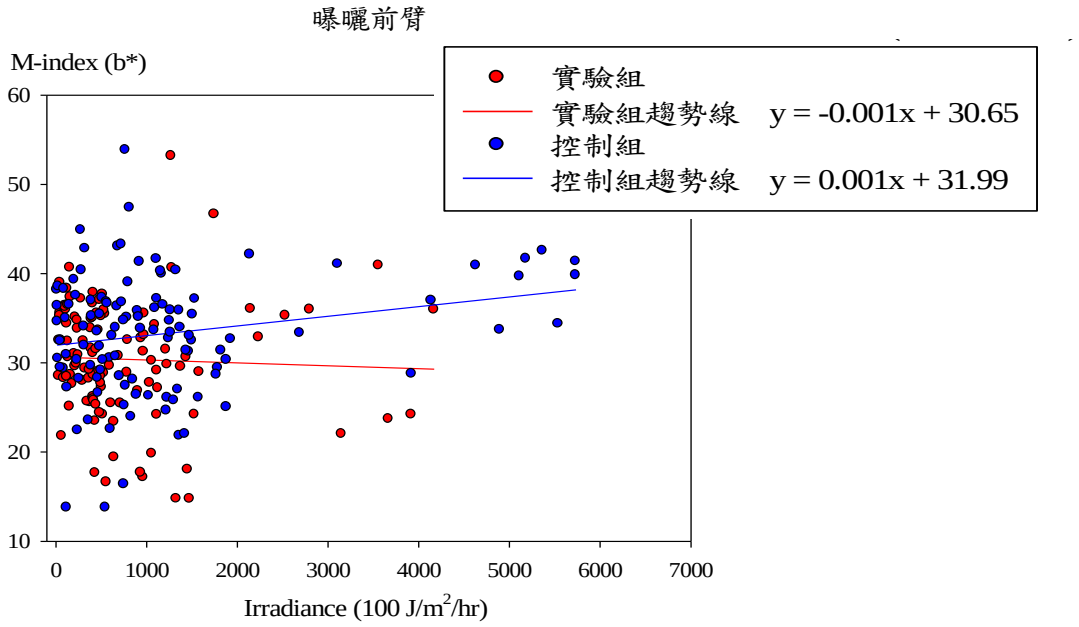


圖17. 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑色素沉澱指數(M-index)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸；實驗組為防曬袖套使用組

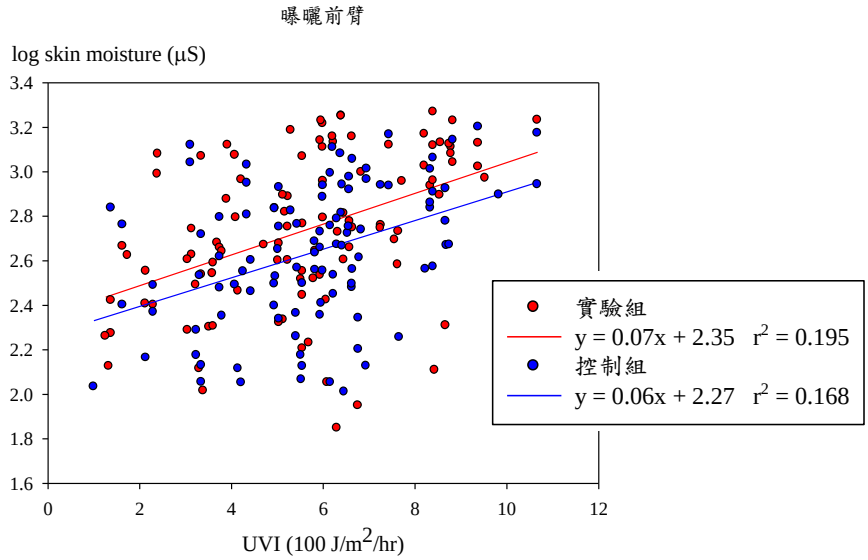


圖18. 使用防曬袖套組人員與未使用防曬袖套組人員前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度對數值(log skin moisture)對應 UVI 之散佈與迴歸方程式

整體而言，熱感知投票值隨環境熱負荷上升而增加，尤以溫度效應最為明顯。在與生理指標之關係間，熱感知投票值與皮膚溫度之相關性最高($R^2 > 0.75$)。

以上研究成果部分已陸續於 2011 與 2012 年發表，包括在 2011 年 4 月於在台中舉行之 2011 年工業衛生暨環境職業醫學國際學術研討會(2011 International Conference of Industrial Hygiene and Occupational Medicine)中發表口頭論文一篇：

- 呂羽婷，張詩吟，黃瑞隆，陳振華。溫度驟變時人體皮膚生理與主觀舒適感之變化。2011 年工業衛生暨環境職業醫學國際學術研討會，中台科技大學，台中市，臺灣，民國 100 年 4 月 23-24 日。

此外 2012 年 7 月 8 日至 12 日本計畫研究人員於澳大利亞布利斯班(Brisbane, Australia)舉辦之第 10 屆健康建築國際研討會(Healthy Building 2012, 10th International Conference)國際研討會中另發表壁報論文一篇：

- Shih-Yin Chang, Chen-Peng Chen, Ruey-Lung Hwang. Alteration in thermal sensation and thermoregulation registered in skin physiology toward temperature and moisture transients. Healthy Building 2012, 10th International Conference. Brisbane, Queensland, Australia, 8-12 July 2012.

計畫主持人刻正準備論文英文稿，將投稿具同儕審查制度、為 SCI 檢索之國際期刊發表。

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

■ 第一年期成果概述

戶外環境的設計會充分影響熱環境，其中建築型態及植栽所造成的遮蔽因素具有關鍵的影響，許多學者也指出，人們對於戶外熱環境的感受與喜好—即戶外的熱舒適性—與人們所處空間的熱環境有密切關聯。這些研究也同時提到了廣場、公園等戶外空間中的聚集人數、聚集地點與行為模式會和熱環境有密切的關係，且充分受到當地的氣候特性、人們的經驗、期待、行為的調適性的影響。

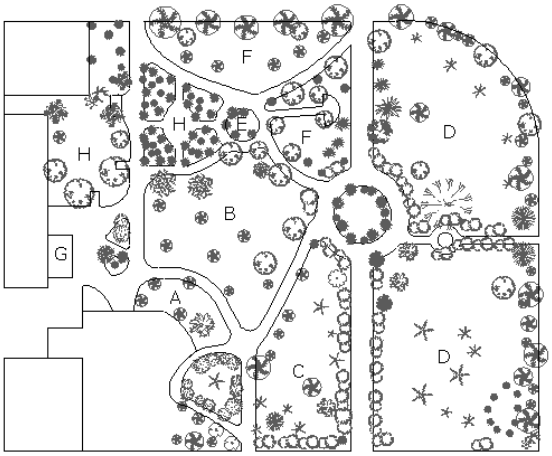


圖19. 研究區域(雲林縣虎尾鎮同心公園)

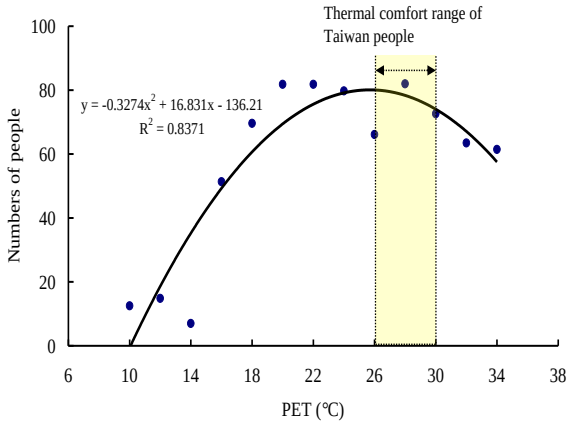


圖20. PET 與參與人數的關係併合熱舒適性範圍圖

在第一年的研究中，主要針對同一研究地點的多個區域進行溫度與參與人數比較。舉例來說，公園內有些是密集植栽區域，陽光幾乎被樹蔭所遮蔽；而有些則是空曠的區

域，可以完全讓太陽光進入。若把這兩者視為不相同的型態來調查，其研究結果才能夠反應區域設計上的特性。最後，有關舒適性、適應性、季節性的差異對公園使用狀況的影響也需一併加以分析。

第一年的研究對象為「同心公園」（圖19），位於台灣中部之雲林縣虎尾鎮，以在物理量測的點將以公園中屬於「遮蔽」及「空曠」的點來實測，以呈現其代表遮蔽程度的代表性。在人數的調查中，先對公園分區，再進行個別分區的人數觀測。

第一年度的研究結果顯示人們前往公園與否和微氣候之間有著密切的關聯，然而，這是否意味人們會選擇對他們而言「最舒適」的時段前往呢？在公園熱環境最舒適的時候，是否參與的人最多呢？為了探討這個議題，首先我們必需要瞭解台灣居民的熱舒適性的接受範圍。依過去林(Lin, Matzarakis, 2008)利用熱舒適性調查的問卷指出，台灣的熱舒適性的接範圍在26–30 ℃ PET，這代表了約有90%的人覺得處於這個溫度範圍是舒適的。接著，本研究將這個範圍註記在PET與公園參與人數(含熱季與涼季)的相關性分析圖，如圖20所示。圖20中很清楚的顯示，公園內的遮蔽處的PET與總聚集人數呈現二次曲線的高度相關(R^2=0.84)。經過計算本曲線的最高點(亦即人數最多)是出現在25.2 ℃ PET左右，比前述台灣居民的熱舒適範圍26–30 ℃ PET略低。這是因為基於熱適應性現象，較熱地區的人們會期望較涼的狀態，這個結果也與McIntyre (1980)假設一致。

■ 第二年期成果概述

2-3-1 前言

過去有多個研究探討戶外熱環境以及人的熱舒適性與戶外空間(如廣場、公園)利用率，研究的地點橫跨了多個國家及氣候區，包含了Montreal,Canada(Zacharias, et al., 2001)，Cambridge,UK(Nikolopoulou, et al., 2001)，Goteborg,Sweden (Eliasson, et al., 2007; Thorsson, et al., 2004)，Matsudo,Japan(Thorsson, et al., 2007)，Taichung,Taiwan(Lin, 2009) Athens,Greece, (Nikolopoulou, Lykoudis, 2007)，Szeged,Hungary (Kántor, Unger, 2011)，Den Haag, Eindhoven and Groningen,Netherlands(Lenzholzer, Koh, 2010)等處。在這些研究中，發現微氣候/熱環境和空間中使用人數，以及使用者的空間分布及行為模式之間的關聯性。

這些研究在分析人們在公園、廣場內的參與狀況時，所選擇用來代表熱環境的指標有些是採用單一的氣候參數，如Ta、v、Cd、Tg等，有些研究更進一步的考量複合的指標，如Tmrt、PET、SET*等。然而，即使是採用基於人體能量平衡的熱生理指標(如PET、SET*)來描述人們所處的熱環境，也不足以充份地解釋人們在公園、廣場內的參與狀況。首先，一個人在戶外覺得舒適與否，會直接受到他其過去所經歷的熱環境經驗的影響。例如，同樣是處於28PET，位於溫帶區域的人們的感受可能會比位於熱帶區域人們覺得更熱。再則，人們對於季節的熱偏好、來空間的目的、活動自主性(autonomy)、感知控制(perceived control)，對衣著的調整度等，也就是所謂生理、心理與行為的「熱適應性」(Brager, de Dear, 1998)，都可能會影響人在戶外的舒適感受。因此，這衍生了本研究第一個重要的議題即是，這些基於熱心理的熱舒適/適應特性，是不是也會反映到廣場的人們在戶外空間的參與狀況。

其次，過去研究多數是以空曠的空間為探討對象，且為單區單點的觀測，雖有部分研究針對遮蔽進行探討，然而並未同步的針對空曠及遮蔽處進行調查然後做有系統的比較，故難以針對同一個基地中不同的遮蔽程度進行比較。多個研究指出遮蔽性是影響戶外長/短波熱輻射重要項目，也造成了迥異的戶外熱環境(Ali-Toudert, Mayer, 2006; 2007;

Hwang, et al., 2011; Lin, et al., 2010)，這在熱帶區域的尤其重要(Lin, et al., 2011)。因此，若結合了第一個議題，衍生了第二個重要的議題即是：在一個具有多樣的遮蔽/空曠型式空間的基地之中，熱舒適及熱適應性對於聚集人數、人們選擇地點的方式，人們在行為上調適等有什麼影響。

綜上所述，本研究的目的即為從熱舒適及熱適應性的觀點探討不同遮蔽程度對公園的參與人數的影響。為了達到這個研究目的，必需尋找一個適合的基地，具有使用頻繁及空間遮蔽的多樣性，在不同空間的遮蔽性的局部地點中，一方面調查使用者的熱舒適性及熱適應性，另一方面觀察人們的使用狀況。由此兩方面的同時並進，才能瞭解使用者的熱舒適/熱舒適性觀點如何影響聚集模式與使用行為。這個結果將對於未來公園規劃階段的配置座向、空間規劃、設施及植栽設計具有相當大的助益，以創造基於氣候適應性的景觀設計方案。

2-3-2 研究方法

為了配合本研究的目的，在基地選定原則有三項。首先，要有高密度的使用狀況，可及性佳。其次，由於短波輻射量為戶外熱環境構成的重要因子，而且遮蔽狀況為左右的短波輻量多寡的關鍵因子，所以基地內需要有多樣的遮蔽(如植栽/建築)，才能創造多樣化的熱環境特性。再則，要有多樣性的空間機能與活動屬性，才可針對其人們在不同空間活動時的心理特質差異探討其熱適應性，以進一步解釋公園的聚集現象。因此，本研究選定位於台灣南部的嘉義市的中正公園。本公園屬於都市型公園，可及性佳，使用的人數眾多，提供都會區多樣的使用。同時多樣的遮蔽空間(全遮蔽、半遮蔽、空曠)，以及所以有多樣的機能(兒童遊戲場、戶外表演場、噴水設施、活動休憩)，故適合做為本研究的對象。

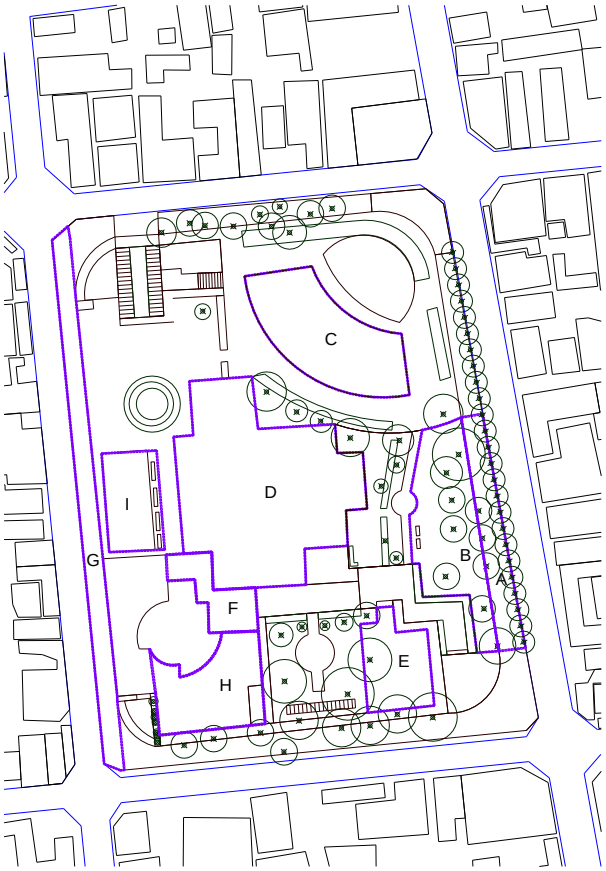


圖21. 基地範圍及測點

本研究選定公園內觀測時區分為A至I九個地點(locations)，各地點區分的原則是依空間機能、遮蔽特性，並考量空間上的區隔(如同一高程、鋪面類型)，因此有些區域會有不規則的界限，如圖21所示。在遮蔽性的定義上，本研究採用天空可視因子(SVF)來評估。代表的意思是該處上方的空曠面積占整個天空視野的比例，天空可視因子越大者，表示此區遮蔽率低；反之，天空可視因子越小，表示此區遮蔽率高。天空可視因子範圍從0 到 1，即代表完全遮蔽至完全無遮蔽。本研究對天空可視因子之量測方法，是將地點1.1m處往上拍攝的魚眼鏡照片，匯入RayMan模型中來計算照片中的空曠面積占所有面積的比例。對照表1的說明，高遮蔽率(SVF<0.1)包含A點樹蔭步道區、B點樹蔭活動區，中遮蔽率(0.1<SVF<0.6)則為E點木棧道區、F點活動中心南側、H點活動中心東側、G點空曠步道區，以及低遮蔽率(SVF>0.6)的C點音樂廣場區、D點中央運動廣場區、I點兒童遊戲場區。

物理測量環境因子方面，共有9組溫濕度量測儀Center314，量測各點的Ta、RH及Tg，並有一組無指向性風速計(Anemometer HD 2103.2)，置於無遮蔽的公園中心位置D。根據ASHRAE Standard 55 (2004)的建議，各量測儀器以三腳架固定於1.1m高的位置處量測，且儀器均符合ASHRAE Standard 55與ISO Standard 7726對熱環境儀器的要求規定。圖1為標示A至I的英文代號處恰為現場實際儀器架設之位置。

廣場人數的統計則是在實測期間內每20分鐘清點一次A至I各區域的人數，並拍攝相片以利後續做重覆的確認。為了反應出人們實際上願意停留在各空間的狀況，本研究只記錄固定停留的人，亦即在區域內休憩或者活動、且需在此處待上較長的時間的民眾。若為移動或停留時間短暫的案例則則不計入在公園的參與人數。

2-3-3 結果討論

(1) 公園全部參與人數與熱環境關聯

本節即是由上述實測日的案例中，公園全部參與人數及熱環境的關聯性先做整體性之描述，暫且不討論公園內各區域間的差異。在人數的統計方面，是採用15:00−16:20內各區域在每20分鐘內全部區域(A-I)所調查到之累計總人數。而在熱環境方面，由於D點(略)為無遮蔽空間，且是整個公園的中心位置，具有背景氣候的代表性，因此以D點每20分鐘的熱環境平均值代表人數所對應之熱環境狀況。圖4即為總人數及熱環境的關聯，並依照4.3節的熱尺度，以4℃為一溫度頻度來標註x軸的座標。圖22顯示，當PET介於26−30°C時，觀察到的總參與人數是最多的，這顯示本公園中人的參與度及舒適性的一致性。隨著熱舒適指標由舒適範圍向上提高或往下降低時，人的不滿意度愈高，公園內的參與人數也隨之愈少。這也顯示了人對熱環境的主觀感受會直接反應在這個公園人的聚集。

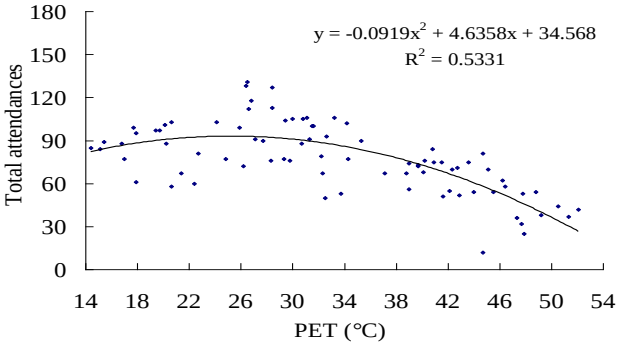


圖22. 公園整體參與人數與 PET 的關聯

(2) 有無自主權民眾前往公園的平均熱感覺投票之比較

本研究嘗試從人們自主性與熱舒適性關聯性的角度，來探討為何冬季低溫但人數仍舊眾多的原因。過去研究指出，當人們在空間中感知其自我控制權，或自主性高時，對於熱環境的滿意度將會提升(Brager, et al., 2004; Paciuk, 1990)。因此，本研究在問卷中設計一題為詢問受訪者「前往公園此地是否擁有高度自主權」，也就是請問受訪者前來的時間、地點、型式，是否都很彈性? 例如主動來此運動、溜冰、滑板的就會填答有高度自主權，而被動來參與活動、交誼、溜狗帶小孩的人就多會填無自主權。本研究接著就將「有自主權」、「無自主權」分成兩大群，然後根據受測者所曝露的PET以定4˚C為一溫度頻度，進行統計分組內的平均熱感覺投票(MTSV)，即可得到圖23的結果。

從圖23的結果可清楚地發現，在同一個溫度區間中，若與高自主權的人相比，屬於低自主權的人對熱環境會表達較為不舒適(即表達較冷或較熱)的反應。舉例來說，同樣處於14-18PET，高自主權人的熱感受平均表達的TSV=-1.6(代表微涼)，而低自主權的人則表達-2.1(代表涼)的狀態，而這種現象也普遍的出現在其它溫度區間上的結果。結果顯示，有高度自主權者平均熱感覺投票的分布範圍約為±1.5；而無自主權者則對冷熱較為敏感，平均熱感覺投票分布範圍約為±2。這也顯示了擁有自主性的民眾，對舒適度的滿意度較高，且能容忍較冷或熱的氣候。

依據問卷中調查的結果顯示，D點上人們的自主性高於其它地點(如E=78%)，其中冬天自主性(87%)又高於夏天(82%)。因此，依據上述圖23的平均熱感覺投票之比較圖，我們可以推測，這些在D點上人們由於在冬天均是自主性參與廣場的活動，依據圖23的解釋結果，這些人們對低溫度的容忍度較高，也造成了廣場在低溫時仍舊有高參與率的原因。這個結果顯示了戶外熱環境下民眾的自主權對其熱感受是一個極其重要的調節因素，當民眾從事戶外休閒活動時，如果時間、地點以及型式是可以自由掌握，民眾則較能接受當前戶外熱環境條件，也愈樂於前來廣場活動。

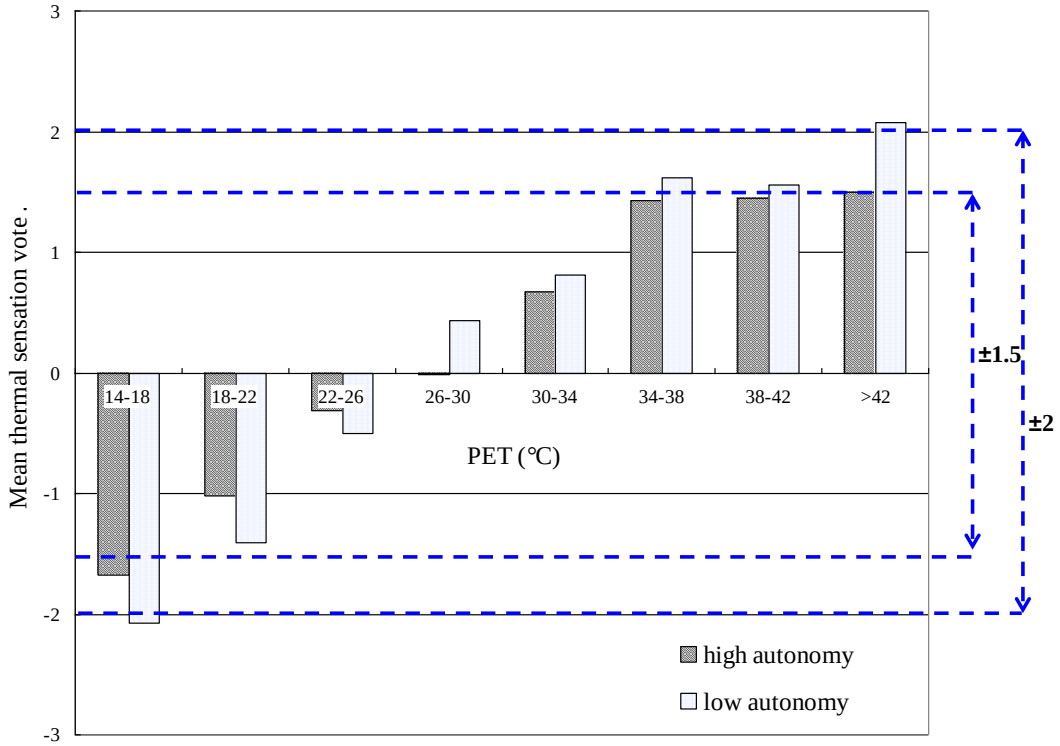


圖23. 有無自主權民眾前往公園的平均熱感覺投票之比較

2-4 子計畫（四）：都市土地使用型態組成對區域微氣候影響之研究

■ 第一年期成果概述

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。

第一年度研究方法中，主要是使用固定式水平分布的觀測法，針對台中市環帶 12 個測點實施長期實測，如圖 24 所示。在 102 個實測日中，扣除多雲及降雨的天氣 25 天(多雲及降雨定義，依據中央氣象局台中觀測站之該日降雨資料)、因颱風影響 拆除儀器 5 天，以 72 天的有效實測資料來做分析。

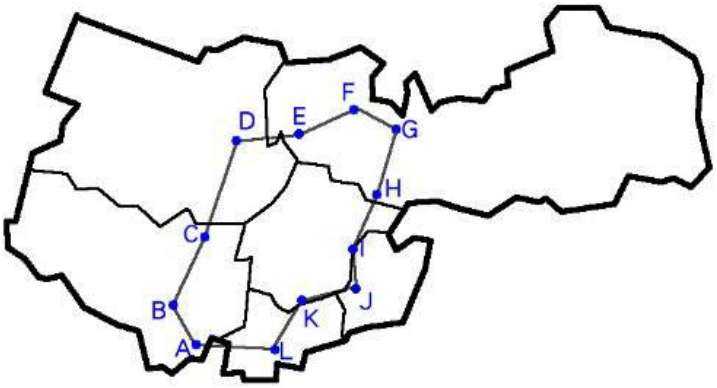


圖24. 測點分布圖

在第一年度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。其中，夜間平均氣溫與建築物型態因子的相關性最高，R2 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。以日最低氣溫與建築物型態因子的相關性為最高，R2 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。日最低氣溫與未使用土地型態因子的相關性為最高，R2 值介於 0.55～0.81 之間。在植栽綠化面積與氣溫相關性方面，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。

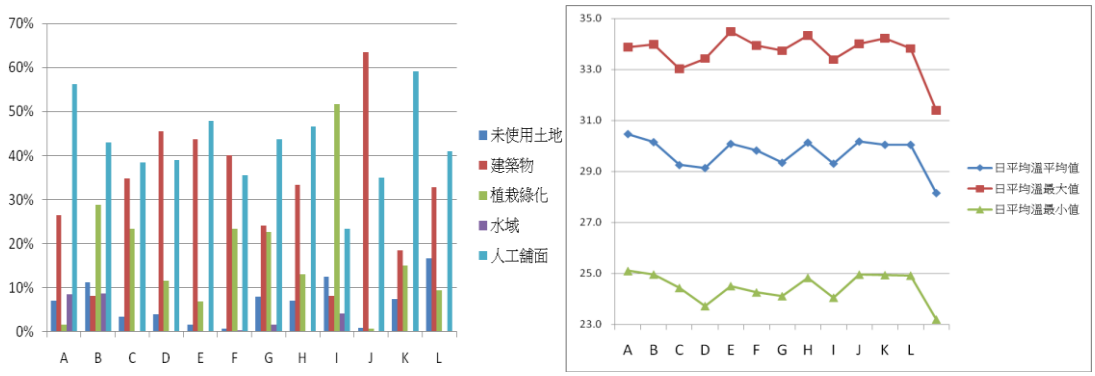


圖25. 環框半徑 150 公尺內土地使用型態組成比例與氣溫對照

研究結果顯示，以都市不同土地使用型態的局部區域為範圍，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。

■ 第二年期成果概述

2-4-1 前言

1860 年至 1900 年全球陸地與海洋溫度上升了攝氏 0.75 度，1979 年陸地溫度上升速度比海洋溫度快一倍，地球暖化問題持續發燒。大量人為的開發與都市土地過度使用造成的『熱島效應現象』影響全球氣候，近幾年來，隨著環境永續與生態理念的意識高漲，綠建築的思潮逐漸蔚為風尚，而我國政府也積極推動許多相關的政策。

本計畫中，主要目的為建構都市微氣候研究之方法，著眼於「點、線、面」的程序來進行，希冀藉由兩階段的區域微氣候分析，進一步探討土地覆蓋及利用型態（LCLU）組成對於都市微氣候的影響，最終提出改善都市微氣候之對策。先前研究已於 98 年國科會之「都市核心軸線之土地使用型態組成對區域微氣候影響之研究」中有初步成果，因此於本兩年期計畫進行後續研究。首先，以「都市環帶之土地使用型態組成對區域微氣候影響之研究」為主題，透過先前研究建立的都市尺度氣溫分布圖進行第二階段「環狀分佈測點」實測，並於第二年期以「都市土地使用型態組成對區域微氣候影響之研究」為主題，彙整實測相關數據進行各地點場域的微氣候分析，建立都市土地使用型態規劃的評估模式。

2-4-2 研究方法

在研究方法中將測點周圍的土地利用型態（Land Cover and Land Use, 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、西屯路上選取帶狀分布 A~L 12 個測點及環狀分布 M~X 12 個測點進行實測，於 2008 年 7-9 月及 2009 年 7、8、9 月進行氣溫及濕度的定點量測。

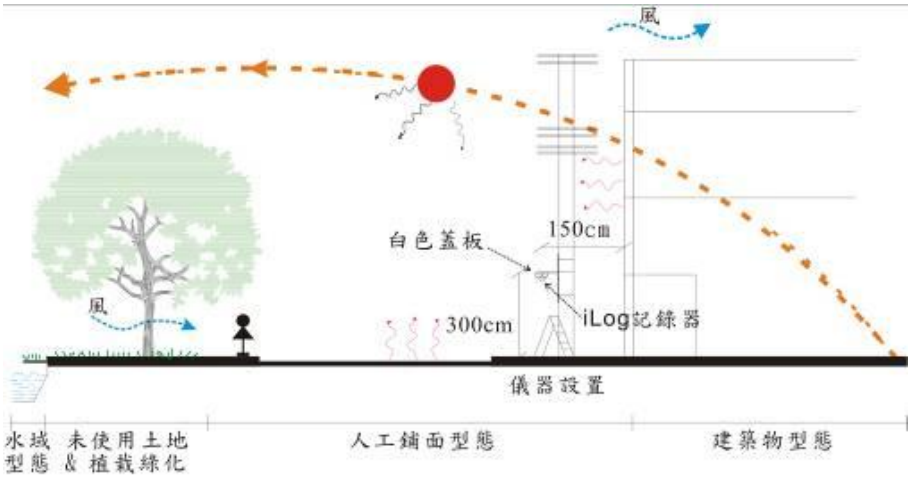


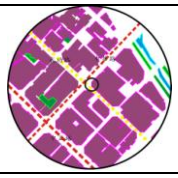
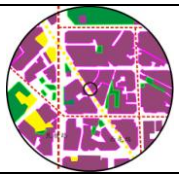
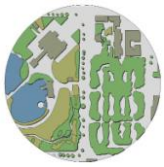
圖26. 實測儀器架設示意圖

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。

在第二年度中，則選取一年之中最炎熱的月份進行長期監測，於第一階段與第二階段中選取共 68 天的實測數據作為有效資料,並取得台中氣象站數據資料進行標準化及分析，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，透過環域分析將各地點的 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氣溫、最高氣溫、最低氣溫及日、夜氣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。

都市中微氣候的變化與人為的開發建設有著密切的關係，計畫中透過環域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，考量各測點環域影響範圍半徑 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6. 24 個測點的位置及土地利用型態範圍圖表（半徑 150m）

					
A 點	B 點	C 點	D 點	E 點	F 點
G 點	H 點	I 點	J 點	K 點	L 點
					
M 點	N 點	O 點	P 點	Q 點	R 點
S 點	T 點	U 點	V 點	W 點	X 點

2-4-3 結果與討論

在本研究中，基於文獻的探討及透過不同尺度半徑的土地環域分析（50 公尺、100 公尺、150 公尺、200 公尺、300 公尺），顯示微氣候參數與半徑 150 公尺環域之土地利用型態因子相關性最高，故本研究中以此環域尺度進行分析探討。

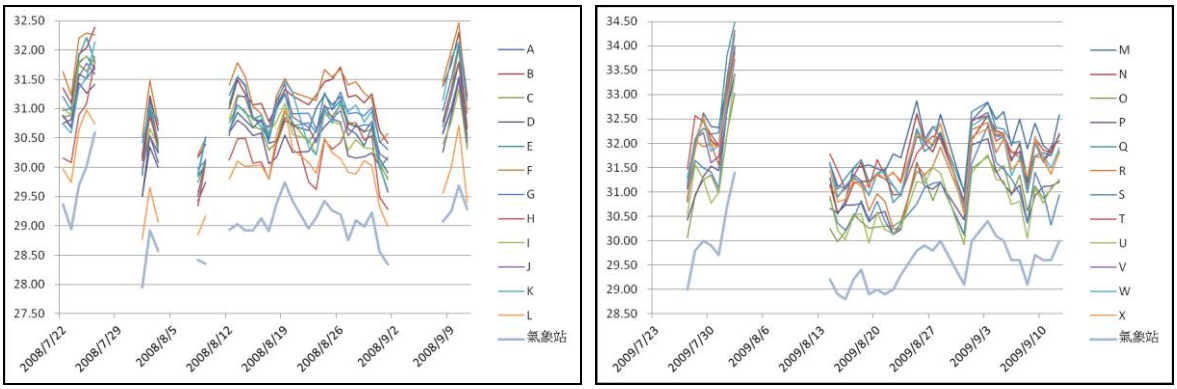


圖27. 實測期間每日平均氣溫變化情形。左圖為第一階段數據，右圖為第二階段數據。

透過數據的彙整分析，顯示各地點間**日平均溫**的差異（如圖 27 所示），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。

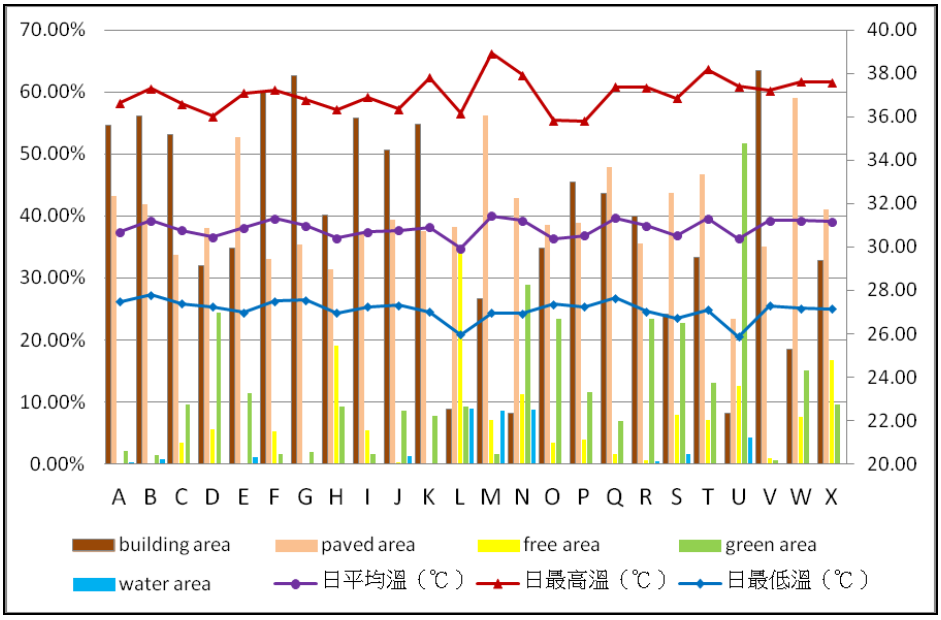


圖28. 環域半徑 150 公尺內各測點土地利用型態組成比例圖

在半徑 150 公尺環域的範圍中，人工鋪面型態、未使用土地型態及植栽綠化型態與測點每日平均氣溫相關性迴歸分析的 P 值＜0.1，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，對每日平均氣溫的影響性較為顯著；建築物型態、未使用土地型態、植栽綠化型態及水域型態對每日最低氣溫、夜間平均氣溫、夜間最低氣溫的影響性較為顯著，而人工鋪面型態因子的相關性則較不顯著。在半徑 150 公尺環域中，每日最高氣溫、日間平均氣溫及日間最高氣溫僅與人工鋪面型態因子之 P 值＜0.1，與其他四項土地型態組成因子的相關性較不顯著。

在影響參數單因子分析中，顯示環域分析範圍越高其相關性越低、夜間氣溫呈現相關性較日間氣溫高、而最低氣溫相關性高於最高氣溫。另外，基於各土地利用型態相關性分析顯示，「硬覆蓋區域」大致與氣溫間之關係呈現正相關性，「軟覆蓋區域」大致與氣溫間之關係呈現負相關性：在第二年度研究顯示，「未使用土地」、「植栽綠化」與「水域」型態與都市微氣候溫度呈現負相關性，其 r 值分別介於-0.095～-0.704、-0.045～-0.640 及-0.105～-0.614，其中水域利用型態於日間則與氣溫呈現正相關性；「建築物」型態面積比例大致上與都市微氣候溫度呈現正相關性，其 r 值介於 0.176～0.750，但建築物型態於日間則與氣溫呈現負相關性；「人工鋪面」型態面積比例亦與都市微氣候溫度呈現正相關性，其 r 值介於 0.179～0.472。

表7. 第一及第二階段土地利用型態面積比例與氣溫相關性決定係數表(R^2)表

土地利用型態		建築物型態			未使用土地			綠化植栽			水域			人工鋪面		
時段		全日	夜間	日間	全日	夜間	日間	全日	夜間	日間	全日	夜間	日間	全日	夜間	日間
第一階段	平均氣溫	0.678	0.753	0.193	0.621	0.722	0.157	0.245	0.125	0.235	0.433	0.614	0.055	0.008	0.000	0.044
	最高氣溫	0.322	0.687	0.322	0.266	0.578	0.266	0.276	0.064	0.276	0.129	0.587	0.129	0.034	0.043	0.034
	最低氣溫	0.751	0.751	0.762	0.708	0.708	0.756	0.114	0.114	0.117	0.689	0.689	0.749	0.001	0.001	0.000
第二階段	平均氣溫	0.005	0.222	0.037	0.001	0.047	0.037	0.308	0.727	0.055	0.100	0.012	0.251	0.315	0.378	0.151
	最高氣溫	0.112	0.033	0.113	0.085	0.009	0.086	0.011	0.511	0.011	0.338	0.045	0.339	0.129	0.375	0.130
	最低氣溫	0.366	0.367	0.350	0.159	0.155	0.162	0.729	0.723	0.708	0.103	0.106	0.106	0.317	0.308	0.325

比較本研究兩階段之實測分析結果，顯示第二階段中單因子變異數分析之相關性係數較第一階段為低，據現場情形觀察推測，主要是受到人為發散熱及天空可視率之影響，造成其中建築物型態、人工鋪面型態與植栽綠化型態因子對於微氣候之顯著性較為降低。

表8. 第一及第二階段多元迴歸分析方程式表

預測方式		預測方程式	決定係數（R^2）	相關係數（r）
第一階段	日平均氣溫	Avg＝30.67＋0.63×Ba－1.94×Fa－1.31×Ga＋0.3×Wa	0.76	0.87
	日最高氣溫	Max＝37.85－1.12×Ba－2.96×Fa－4.82×Ga－1.76×Wa	0.47	0.69
	日最低氣溫	Min＝26.59＋1.52×Ba－1.35×Fa＋0.27×Ga－3.58×Wa	0.84	0.92
第二階段	日平均氣溫	Avg=34.89-4.14×Fa-5.24×Ba-7.13×Ga-4.46×Pa	0.55	0.74
	日最高氣溫	Max=51.33-13.36×Fa-16.87×Ba-18.21×Ga-14.73×Pa	0.45	0.67
	日最低氣溫	Min=24.34+1.09×Fa+1.77×Ba-0.21×Ga+2.46×Pa	0.76	0.87

表9. 整體迴歸分析氣溫預測方程式表

預測項目	預測方程式	決定係數（R^2）	相關係數（r）
全日平均氣溫	All-Avg＝30.32＋1.82×Pa－1.80×Fa－0.61×Ga	0.41	0.64
全日最高氣溫	All-Max＝35.43＋3.76×Pa＋6.53×Wa	0.24	0.49
全日最低氣溫	All-Min＝27.79－0.42×Ba－2.98×Fa－2.02×Ga－4.45×Wa	0.76	0.87
日間平均氣溫	Day-Avg＝31.77＋3.01×Pa	0.19	0.44
夜間平均氣溫	Night-Avg＝29.40－0.43×Ba－3.47×Fa－2.13×Ga－1.69×Wa	0.71	0.84

註：Avg 為平均氣溫（℃）、Max 為最高氣溫（℃）、Min 為最低氣溫（℃）、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）。

依五種土地利用因子與各尺度環域分析結果顯示，發現以半徑 150 公尺之環框分析關係性最為明顯，故以環框 150 公尺之相關性決定係數(R2)，配合環框分析中各土地利用型態因子之相關顯著性高低，進行多元迴歸分析的選入變數基準。各項土地利用型態組成因子中以建築物型態、未使用土地型態及植栽綠化型態選入次數最多，且其影響性最高。

多元迴歸分析結果顯示如表 8 及表 9，在全天及日間氣溫預測式中，人工鋪面型態、未使用土地型態及植栽綠化型態等三項因子較為重要，其中人工鋪面型態於全日平均氣溫、全日最高氣溫、日間平均氣溫為正相關，未使用土地型態及植栽綠化型態則為負相關，而水域因子於預測最低氣溫時具有負相關性。在夜間氣溫預測分析中，未使用土地型態、植栽綠化型態及水域型態因子具明顯負相關性。以研究建構模式進行推估，不同土地利用型態組成會造成全日平均氣溫約 0.6~1.8 的溫差；整體而言，「植栽綠化」型態面積可降低氣溫約 0.6~2.6℃的效果；「人工鋪面」型態面會增加氣溫約 1.8~3.8℃；「未使用土地」型態面積可降低氣溫約 1.8~3.5℃；「建築物」型態及「水域」型態因子則對氣溫較沒有明確的影響。

進一步以氣溫預測式進行模擬，以 B、L、M、U 四個測點進行氣溫推估，其土地使用型態組成與其相對應氣溫變化關係如圖 29～圖 32 所示。結果顯示，B 測點環域在土地利用型態改變時，建築物型態面積比例減少 15%改為增加植栽綠地、人工鋪面型態減少 20%改為未使用土地時，其整體氣溫參數降低約 0.8℃；L 測點環域中若將 10%的人工鋪面型態及 20%的未使用土地改變成為建築物型態，則會造成平均氣溫的上升，但會在日間平均氣溫及最高氣溫形成降低的效果；M 測點環域中若將人工鋪面型態 30%改變為未使用土地 20%及綠化植栽 10%時，其整體氣溫參數降低將近 1℃；在 U 測點環域中，若減少植栽綠化型態面積 30%，改為增加建築物型態 20%及人工鋪面型態 10%時，其整體氣溫參數增加約 0.5℃。

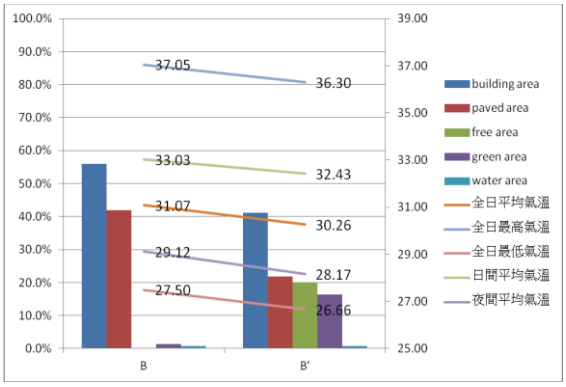


圖29. B 測點-預測 B’相對應氣溫關係圖

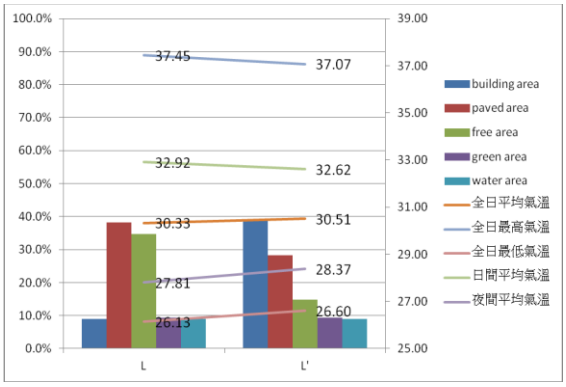


圖30. L 測點-預測 L’相對應氣溫關係圖

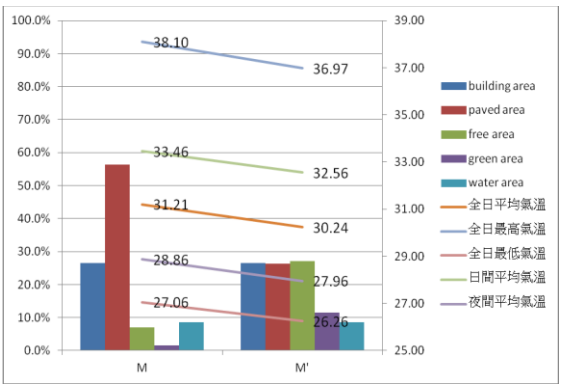


圖31. M 測點-預測 M’相對應氣溫關係圖

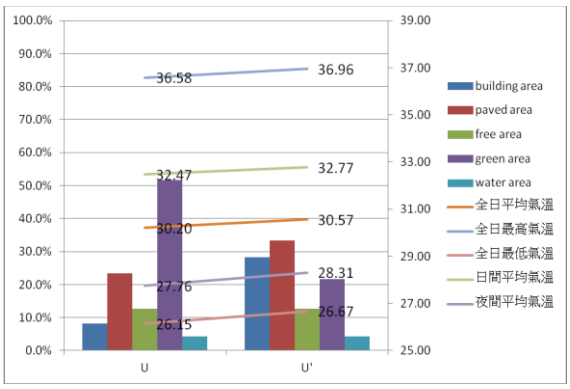


圖32. U 測點-預測 U’相對應氣溫關係圖

在本研究中，根據台中市土地利用型態與都市微氣候實證分析，進而探討解決改善現有都市微氣候之方法，減少對都市微氣候增溫之「建築物」及「人工鋪面」型態，及增加對都市微氣候呈現降溫效果之「未使用土地」、「植栽綠化」及「水域」型態為目的，總結建議可藉「都市開發強度管制」、「提升都市背景綠點」、「增加透水表面」及「營造都市水域」之基礎計畫架構，透過土地利用型態之整體規畫以進行都市微氣候改善。

2-5 子計畫（五）：街廓尺度人行步道空間之微氣候準則評估與改善對策

■ 第一年期成果概述

陽光日照與陰影主要影響都市的「光」與「熱」兩大部分，其中陰影長度會受太陽高度角、方位角及建築高度影響，因此本研究將欲測量之陰影區域進行網格劃分，藉由計算每個網格是否有陰影來得知陰影長度。這樣的計算方式會因所在地不同而有不同之結果，所以需計算「陰影堆疊地圖」，再藉由此地圖針對「光」與「熱」兩層面建立「陰影覆蓋比率評估法」及「熱舒適指標評估法」，並訂出評估法的範圍值及門檻值，檢討現況及改善策略的改善成效。

陽光日照與陰影主要影響都市的「光」與「熱」兩大部分，本研究先針對陰影部分建立「陰影堆疊地圖」，再藉由此地圖針對「光」與「熱」兩層面建立「陰影覆蓋比率評估法」及「熱舒適指標評估法」，並訂出評估法的範圍值及門檻值，檢討現況及改善策略的改善成效。

本研究依據台南市政府將規劃中正商圈為假日行人徒步區（莊漢昌，2009），選定台南市海安路、民生路與府前路之間的路段（圖 33），路寬為 40m，研究區域路段長約 500m，並於兩側設置近 8m 寬人行道，因其為中正商圈的一部分，來往行人眾多，對行人尺度的溫熱環境改善更為迫切。本路段及其周邊範圍土地使用分區為商業區，建蔽率 80%，容積率 320%，主要建物高度為 1~4 樓。本研究進一步將研究區域所選取的路段依街廓範圍細分為 W（西）及 E（東）兩側行人步道區進行溫熱環境分析。

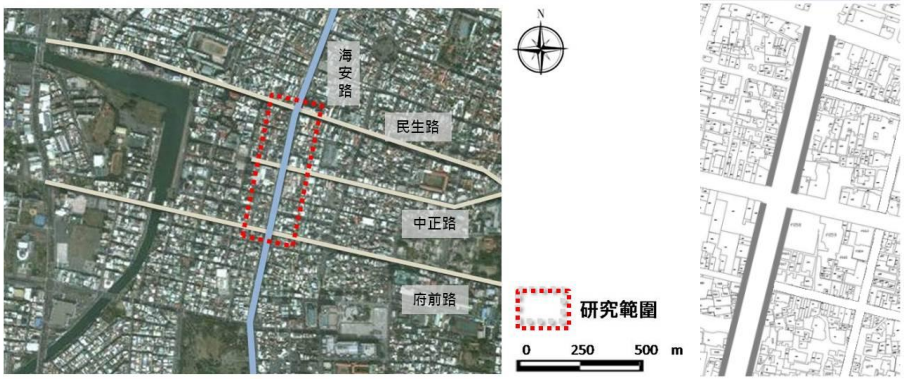


圖33. 研究區域及分析路段

現地測量可發現黑球溫度 Tg 對環境熱舒適的影響明顯，圖八為各時段 Tg 值平均值之變化。根據觀測結果可發現：於陰影環境下 Tg 較低，植栽陰影下的 Tg 較建物陰影為高，推測原因為植栽葉間縫隙較大、光線穿越較多，Tg 的降溫效果較差。觀測結果也發現中午時段的植栽及建物陰影下的黑球溫度降溫效果優於上午及下午時段。另本研究假設遮棚陰影與建物陰影下測得的 Tg 相同，進行熱舒適的改善效益推估。

現況及兩策略 Case1、Case2（包含 Case2-1、Case2-2 兩方案）之「陰影評分」與

「權重評分」評估結果說明如下：藉由陰影覆蓋比率評估法可分析得知：相較於現況 Case0，Case1 三時段共增加了 59%的空間連續性及 148%的時間連續性，但因上午及下午時段東西側步道的陰影評分及權重評分效益差距，減低整體的空間連續性及時間連續性之改善效益。而 Case2 可補足 Case1 東西兩側步道空間分布不平均的問題，其中 Case2-1 於三時段總共增加 63%的空間連續性及 133%的時間連續性，但發現儘管空間連續率增加而時間連續性並沒有 Case1 顯著。Case2-2 的改善效益最為顯著，相較於現況 Case0，三時段總共增加 72%的空間連續性及 193%的時間連續性。

本研究以「溫熱環境」的觀點，預期利用陰影降低平均輻射溫度 MRT 的策略，增加戶外步行空間陰影的覆蓋，改善人體熱舒適品質。目前完成現地測量後，後續將利用 CFD 進行研究區域的陰影及風環境模擬，並透過可同時呈現各時段時間及空間分布的「陰影堆疊地圖」為基礎，針對「光」與「熱」兩層面建立「陰影覆蓋比率評估法」及「熱舒適指標評估法」分析上午、中午、下午三時段的陰影分布及熱舒適值。陰影覆蓋比率評估法檢討策略引入後陰影在空間、時間的連續性改善成效，包括陰影評分（空間連續性）及權重評分（時間連續性）。熱舒適指標評估法則為利用人體熱舒適指標檢測值 SET*評估策略引入後熱舒適改善程度。

■ 第二年期成果概述

2-5-1 前言

在第二年的研究中，是以高雄鐵路地下化後，Green-TOD 之議題與尺度作為 CFD 模擬範圍進行微氣候設計討論，並以風洞實驗為驗證依據，成果將作為該案都市設計風環境與微氣候設計概念之初探。Green-TOD 嘗試將生態社區與生態都市的概念和在結合傳統的 TOD 模型中，於場站服務內發展達到可及性、宜居性、多樣性和生態完整性，其整合了運輸導向與居住環境之人行空間設計。

2-5-2 研究方法

本研究透過設置遮棚與建築物，以增加人行地區陰影覆蓋之策略，建立五種不同的方案模擬，透過氣象資料蒐集並進入 CFD 模擬後得其模擬結果，模擬結果顯示建築物的分布與建築高度與街道的寬度、座向有關連-上午有最多陰影，中午則最少。利用第一年所建立之「陰影覆蓋比率評估法」及「熱舒適指標評估法」後發現，各方案中是以遮棚設置在上午與下午時，提供行人最佳的熱舒適環境，它種方案則因為陰影與風速的不連續性，效果不如前述方案。

此外，風環境與細部都市設計都屬於街區的尺度，該氣候環境極易受都市設計政策影響，對於在亞熱帶與熱帶氣台灣的各城市顯得格外重要。在本研究中考量車站周圍地區兩個關於 TOD 的重要議題-容積率與建築量體的控制，透過現況的風分布分析後，以火車站旁之街廓建立不同的都市設計政策，作建築量體與排列的情境探討。進行 CFD 的風環境模擬後，結果顯示盛行風的風向會受不同高度的建築型態與排列影響，可說明都市設計管制對微氣候之敏感性。

2-5-3 結果與討論

根據模擬結果與前述研究後，可發現在 Green-TOD 的尺度下，可透過控制建築量

體與佈局，達到實現微氣候都市設計之感知效果。本研究成果概分以下都市設計方法與建議(1)街廓部分:在街廓分割與建築牆面線應維持風廊連續性，確保其通風效果，配合都市設計管制，於風廊兩側例如道路及主要開放空間旁界定適當的建築牆面線，延續街廓量體圍塑之風廊的連續，且街廓寬度不宜過窄。(2)針對量體高度與大小的管控：量體大小差異避免過大，迎風面應配置樓層較低之建物，使風能順利穿越或進入街廓開放空間，以減少氣流經過高樓層量體所產生的地面渦流。(3)開放空間部分則建議在適宜引風的角度範圍之內進行設置，如可在迎風面留設街角廣場，以導引風進入街廓內部，創造更為舒適的居住微氣候環境。

本研究結果發現建築量體會影響地區的風環境，並且與都市設計的方法有關連，故設計時需考量盛行風向與迎風或背風的建築分布。此外，本研究更針對都市設計方法提供了不同的討論，諸如街廓設計、建築量體管制與開放空間等，更細緻的都市設計討論亦包含建築量體尺寸、建築高度、建築排列與建築線等。既使所有的方案都有相同的樓地板面積，基地內每棟建築的高度與尺寸仍對於風環境有顯著影響，得透過適當的都市規劃與與建築管理，方可創造出好的人行風環境。

2-6 子計畫（六）：屋頂綠化對都市微氣候與室內溫熱環境影響之研究

■ 第一年期成果概述

屋頂綠化一方面由於植栽的葉面遮蔭提供良好的屋頂上表面日射熱阻絕效果之外，另一方面隨著植栽覆土層厚度、土壤含水率的增加，可降低屋頂構造的熱傳透率，提供頂層室內空間良好的隔熱效果。由文獻分析中得知，屋頂綠化之熱效益可從表面溫度、周圍空氣溫度、平均輻射溫度及建築物室內溫度等之降溫效果、植栽遮蔽作用與熱流變化等項目進行探討。屋頂綠化因具有減少都市熱島效應、增加保水性能與美化城市等功能，近年來備受歐美先進國家重視。本子計畫第一年針對粗放型植草綠化屋頂對進屋面降溫效果之實測，並透過熱舒適指標來描述植草屋面熱舒適環境。嘗試建立屋頂綠化對都市熱島降溫之效果定量分析。

以都市熱島強度緩和之實驗而言，首先探討透過各種不同密集程度之植栽綠化下其對屋頂表面溫度之差異，實驗計畫擬於台灣各地尋找既成之屋頂綠化環境作為實驗之對象，首先以完全粗放型屋頂綠化(純粹植草)為實測對象，擇定位於台中中興大學演藝廳樓頂之既有植草屋面進行施測。本計畫之第一部份在於探討在不同的屋頂綠化程度下，對近屋頂表面之微氣候環境所造成之影響。現地實測進行量測之物理量包括風速、自然濕球溫度、黑球溫度、離樓板面各高度下之空氣溫度等。並輔以數據記錄器(Data Logger)進行逐分之數據記錄，實驗為期連續七天，以取得足夠之有效數據。用於熱舒適描述之各感知器量測高度將以人體站立活動時胸腔之位置(約 1.35m)為施測點。在空氣溫度之量測上，為探求綠化對各高度下之影響遞減情形，則分為表面溫度、0.3m、0.6m、1m、1.35m 等五個高程點位進行量測。施測之時間點目前以四月底至五月初等較熱天進行。實驗之裝置圖如圖 34 與圖 35 所示。

實驗結果選取 2011 年 5 月 2 日之實測值進行討論，施測日前諸日皆為晴朗之天氣型態，以排除異常氣候之影響。就近屋頂表面而言，以當日全天而言其平均溫度如圖 38 所示，在植草上方之各高度之空氣溫度皆較無綠化者稍低，然而差異不大，植草屋面平均降溫幅度於 30cm、60cm、100cm 與 135cm 處分別為 0.2%、0.4%、-3.7%與 0.1%，其中所得結果植草上方 100cm 處空氣溫度反而較無綠化者為高，其原因未明尚無法討論，將於下一階段移地進行實測取得更多樣本後，再行討論。此外，由於日間在有日射直達

輻射影響下，近地表面空氣溫度將反應屋頂表面之長波再熱輻射影響，應有影響。因此進一步區分為日間(上午七時至下午六時)與夜間(下午六時至隔日上午七時)時段分別討論，如圖 36 與圖 37。夜間情況之植草屋面對近地表降溫效果較日間普遍為佳，且越接近表面者，效果越好，然而其平均降溫效益亦僅 0.8%之普(以離地 30cm 處為例)。值得注意的是兩者之表面溫度變化，有植草綠化下之土壤表面溫度其一日間之變動較混凝土屋面來得緩和，在日間情況表面溫度差可達 26.8%，對表面溫度降溫有不錯之效果，日間時則為-3.8%，顯示夜間土壤溫度降溫速度較混凝土屋面來得緩慢，推論乃因土壤之熱容量較混凝土為大之故。

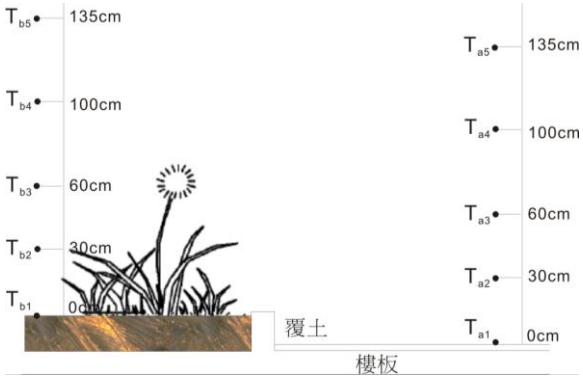


圖34. 以熱電耦線量測各高程之空氣溫度

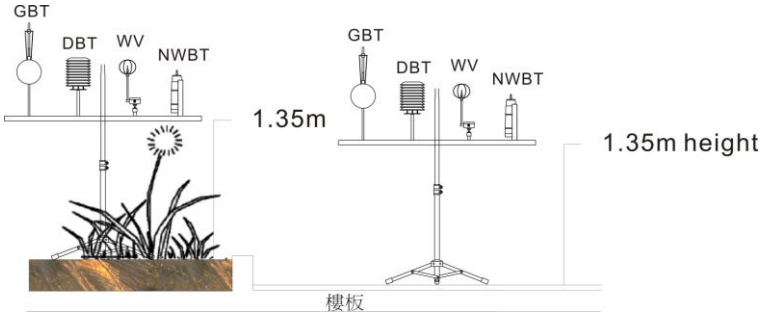
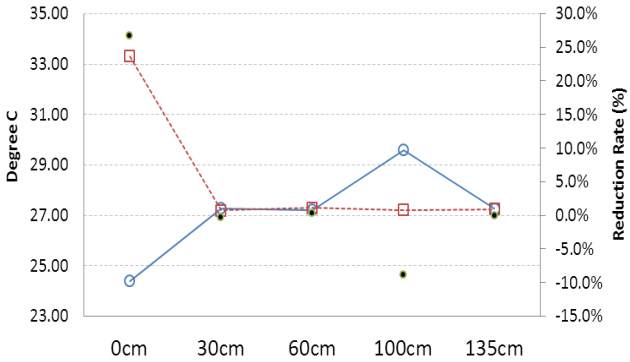


圖35. 戶外自然環境量測施測之示意圖

(註：其中 GBT：黑球溫度計、DBT：乾球溫度計、WV：熱線式風速計、NWBT：自然濕球溫度計、SR：日射量計)

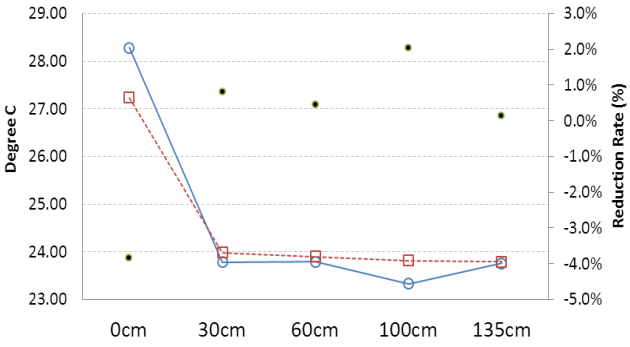
另一方面，茲將於離表面 135cm 處所實測得之各物理量換算 MRT、SET*與 WBGT 等指標，以探討綠化對熱環境改善之效益。各指標於全日(5 月 2 日)之分佈情形如圖 39 所示。有綠化情況下皆較無綠化之情形對熱環境皆有明顯之降溫效果。以平均輻射溫度(MRT)而言，全日平均降幅達 2.6% (0.8℃)，SET*之降幅則為 2.9% (0.7%)。



Elev. above ground	0cm	30cm	60cm	100cm	135cm
Vegetated Area	24.40	27.27	27.22	29.60	27.25
Non-vegetated Area	33.31	27.20	27.29	27.20	27.25
Reduction Amount	8.91	-0.07	0.08	-2.39	-0.01
Reduction Rate	26.8%	-0.3%	0.3%	-8.8%	0.0%

Vegetated Area
Non-vegetated Area
Reduction Rate

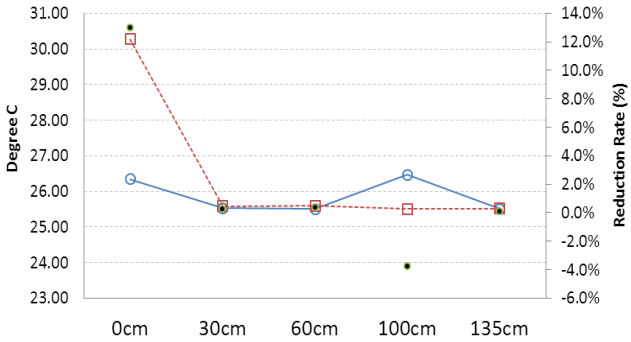
圖36. 日間(上午七時至下午六時)近表面各高度下之平均溫度分佈



Elev. above ground	0cm	30cm	60cm	100cm	135cm
Vegetated Area	28.28	23.78	23.79	23.33	23.76
Non-vegetated Area	27.24	23.98	23.90	23.81	23.79
Reduction Amount	-1.05	0.20	0.11	0.48	0.04
Reduction Rate	-3.8%	0.8%	0.5%	2.0%	0.1%

Vegetated Area
Non-vegetated Area
Reduction Rate

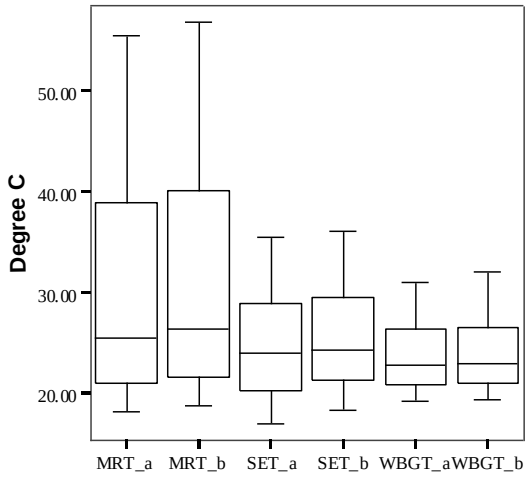
圖37. 夜間(下午六時至隔日上午七時)近表面各高度下之平均溫度分佈



Elev. above ground	0cm	30cm	60cm	100cm	135cm
Vegetated Area	26.34	25.53	25.51	26.46	25.50
Non-vegetated Area	30.28	25.59	25.60	25.51	25.52
Reduction Amount	3.93	0.06	0.09	-0.96	0.01
Reduction Rate	13.0%	0.2%	0.4%	-3.7%	0.1%

Vegetated Area
Non-vegetated Area
Reduction Rate

圖38. 全日近表面各高度下之平均溫度分佈



Parameter	MRT_a	MRT_b	SET*_a	SET*_b	WBGT_a	WBGT_b
Max.	55.5	56.8	35.5	36.1	31.1	32.1
Min.	18.3	18.8	17.0	18.3	19.3	19.4
Mean	30.7	31.5	24.9	25.6	23.7	23.9
StD.	11.3	11.5	4.9	4.8	3.2	3.3
Reduction Rate	2.6%		2.9%		0.8%	

圖39. 各熱舒適性指標鬚盒圖(a:有綠化情況；b：無綠化情況)

■ 第二年期成果概述

2-6-1 前言

在位處熱濕氣候條件下的台灣，夏季炎熱之情況大多仰賴空調系統來維持室內之舒適度，也因此增加了大量空調能源之需求。屋頂綠化技術除了提供屋頂層戶外空間之舒適性之外，同時亦為建築之屋頂樓板提供絕佳的隔熱效果，因此可大幅減少進入室內之

熱流量。以台灣而言，一般水平面的日射量約為南向垂直面日射量之 2.2 倍，如屋頂樓板之隔熱設計不佳，將導致屋頂層室內炎熱之情況，迫使使用者不得不尋求空調系統來解決室內舒適性之問題。本子計畫之第二年將探討屋頂綠化對室內溫熱環境之影響，尋求以屋頂綠化之誘導式設計手法維持頂層室內空間之熱舒適，以避免空調之使用或減少空調使用時間，以達節能減碳之效。研究議題有二，一為自然通風型教室應用屋頂綠化對室內熱舒適之影響，另一則以夏季空調之教室模擬在屋頂綠化下之空調節能效益。

2-6-2 研究方法

為探討屋頂綠化對全年室內熱環境之影響，本研究以電腦模擬方式進行，可大幅降低實測成本與快速獲得結果，模擬之空間以實際之教室為對象，地點位於台北市吳興國小之頂層教室，選擇二室形相同，其一屋頂有植草薄層綠化，另一間則為一般屋頂，進行同步量模擬，以進行全年室內熱環境之解析。本研究依現場實驗之頂層教室為對象，建立模擬平面如圖 40 所示，教室位於三樓，南向為單邊走廊(寬 2.3m)，長 8.6m、寬 7.1m，教室前後各一扇門，教室屋頂上方為 16cm 之薄層綠化，種植雜生草。為對照另模擬一無屋頂綠化之傳統屋頂作為比較其室內熱情形。在模擬之外界氣候部分，為求當地氣候之代表性，本研究以台灣平均氣象年(TMY2)為之。電腦動態解析軟體部分，本研究採用 EnergyPlus，它是在美國能源部(Department of Energy, DOE)的支持下，由勞倫斯·伯克利國家實驗室(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)、伊利諾斯大學(University of Illinois)、美國陸軍建築工程實驗室(U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory)、奧克拉荷馬州立大學(Oklahoma State University)及其他單位共同開發的，是一個全新的軟體，它不僅整合了建築能耗分析軟體 DOE-2.2 和 BLAST 的優點，並且具備許多新的功能，被認為是用來替代 DOE-2.2 的新一代的建築能耗分析軟體。在 2008 年後 EnergPlus 加入屋頂綠化之數學模式，以分析對建築室內耗能之影響。此外，本軟體取用 TMY 內之逐時風速與風向資料，以各向窗面風壓模擬開窗之自然通風分析。圖 41 為台北 TMY2 平均氣象年之各月均溫與平均風速之分布，全年均溫 23.3˚C，平均風速 2.63 m/s。

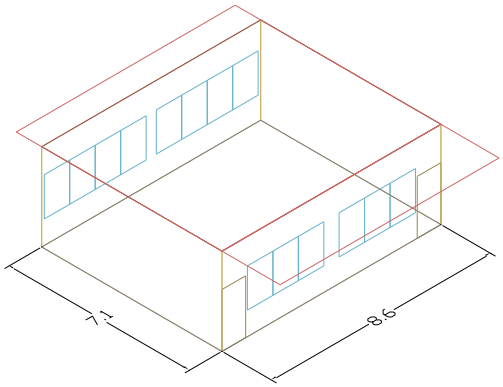


圖40. 教室模擬示意圖(單位：公尺)

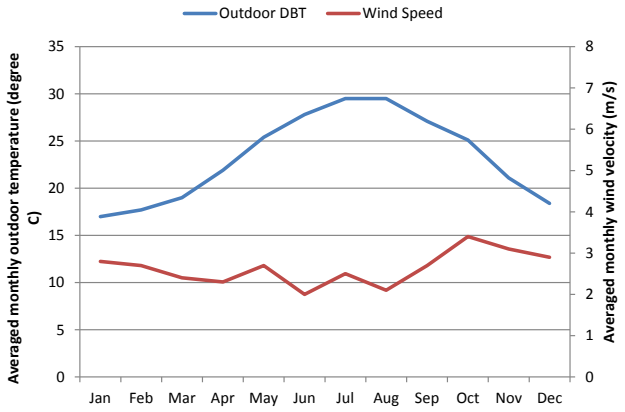


圖41. 台北各月平均乾球溫度與風速

室內整體熱舒適評估以 Fanger 所提之 PMV-PPD 為主，但近期許多研究提出 PMV-PPD 模型並不適用於自然通風型建築之熱舒適評估，尤其對於室內使用者對開窗與室內空調溫度有充分控制之情況下，PMV-PPD 模型更趨低估室內之舒適溫度。在自然通風下之人們熱舒適感覺更與戶外長期之平均溫度相關，因此，本研究以 de Dear 與

Brager 等人所提出之熱適應模型作為評估自然通風下之熱舒適性。此一模式後經美國冷凍空調協會(ASHRAE)所採用，作為評估自然通風類型空間之熱舒適，其公式如公式(1)所示。然而，在台灣另一針對小學教室所做的長期研究顯示，台灣之熱適應模型如公式(2)所示，因此本研究於探討同樣為小學教室之室內熱舒適性時，將同時以 ASH RAE 模式與台灣之模式進行分析。

$$T_{n(ASHRAE)} = 0.31 \cdot T_{om} + 17.8 \tag{1}$$

$$T_{n(Taiwan)} = 0.62 \cdot T_{om} + 12.1 \tag{2}$$

為了評估室內熱不舒適之嚴重程度，常以預測不滿意度(PPD)指標來衡量，其意義為認為不舒適人數所佔之百分比，在 PPD 之估計上，Nicol 等人提出非線性之方法以建立 PPD 之預測模型，其係以室內操作溫度與熱舒適之中性溫度差以機率模型概估。

為研究屋頂薄層綠化下對頂層教室之長期熱舒適影響，本研究採用 ISO 7730 所建議之長期熱不舒適評估方法，區分為熱不舒適與冷不舒適，並以熱不舒適嚴重度 I 來表示，其描述方法有二，其一係以度時之概念計算超過熱適應模型上限(或下限)之操作溫度差與時間之積，如公式(3)；第二種方式是以實際 PMV 超過熱適應模型之 PMV 上限(或其下限)時 PPD 之比值來評估，如公式(4)。

$$wf_{(dh)} = 1 + \frac{|t_o - t_{o,limit}|}{|t_{o,n} - t_{o,limit}|} \quad for\ |t_o| > |t_{o,limit}| \tag{3}$$

$$wf_{(PPD)} = \frac{PPD_{actualPMV}}{PPD_{PMVlimit}} \quad for\ |PMV| > |PMV_{limit}| \tag{4}$$

2-6-3 結果與討論

(1) 自然通風教室之熱舒適性

本研究以室內有人使用之時間進行整體熱舒適之分析，教室全年之使用時間扣除寒暑假為一月、三月至五月與九月至十二月，除週六與週日放假每日之使用時間為上午八時上學至中午十二時，下午一時至五時放學，中午午休時間之一小時不計入分析。全年整體之熱舒適情形如圖 42 與**錯誤! 找不到參照來源**。0 所示，在無屋頂綠化之教室以 ASHRAE 熱適應模型分析時，比有屋頂綠化之教室多出 2.8%的時間超出 80%舒適範圍內。如以台灣之熱適應模型分析，則僅多出 2.1%。在兩熱適應模型下，台灣之熱適應模型舒適範圍界線則因為其斜率較 ASHARE 為陡，因此更能忍受室溫之變化，因而有較多之時間比例落在舒適之範圍內，約多出 9%，可見 ASHRAE 對台灣而言是較為嚴苛的標準。今將有無屋頂綠化之教室操作溫度繪製於兩熱適應模型上時，有屋頂綠化之教室較無屋頂綠化之教室更為集中分布，分別如圖 44 與圖 45 所示。有屋頂綠化之教室在冬季時有較少之過冷情況，推論係因為綠化土壤層之保溫效果所致。

表10. 超過 80%熱舒適之小時數與比例

Adaptive model	With green roof (percentage)	Without green roof (percentage)	With green roof (hours)	Without green roof (hours)
ASHRAE (80% limit)	24.2%	27.0%	380	423
Taiwan (80% limit)	15.6%	17.7%	245	277
Diff.	8.6%	9.3%	135	146

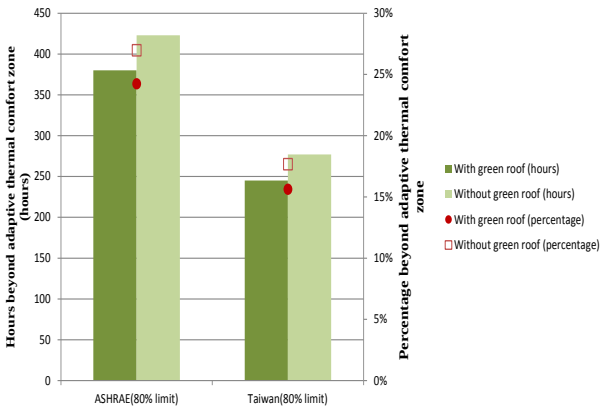


圖42. 超過 80%熱適應舒適範圍之小時數與百分比

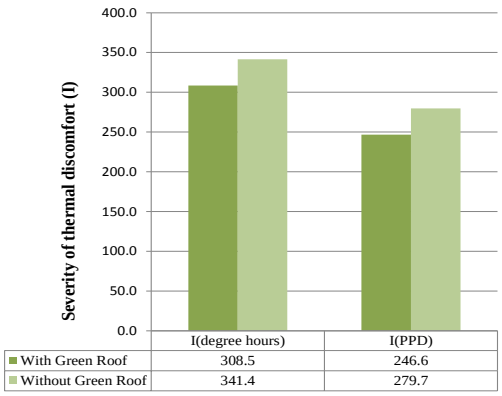


圖43. 台灣 80%熱適應模式下之長期熱不舒適之嚴重度

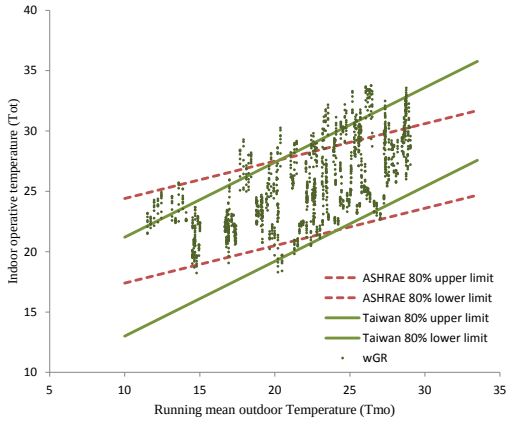


圖44. 有屋頂綠化下預測之全年室內有效溫度之分佈

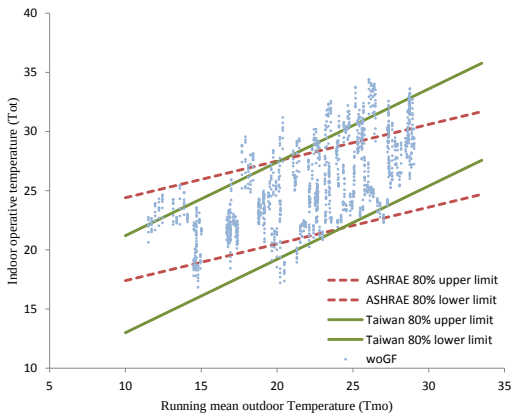


圖45. 無屋頂綠化下預測之全年室內有效溫度之分佈

以台灣之熱適應模型，在 80%熱舒適範圍內進行全年長期熱不舒適之嚴重程度分析。其結果如圖 43 所示，分別以度時與 PPD 加權來評估。在有屋頂綠化之教室其 I(degree hours)較無屋頂綠化時△I(degree hours)少 32.9 (度時)，相當於少了 9.6%；如以 PPD 加權之觀點分析其熱不舒適嚴重度 I(PPD)，有屋頂綠化亦其△I(PPD)亦較少了 33.1(hrs)，相當於低約 11.8%。顯示屋頂薄層綠化，確實可提升室內之整體熱舒適性。

將長期之整體熱不舒適嚴重度以 ASHRAE 熱適應模式分析，依月份繪製如圖 46 所示，於六月時室內普遍比較不舒適，無論有無屋頂綠化，其不舒適之時間比率皆在七成以上，無屋頂綠化較多出 2%。在寒冷季節之十一月、十二月與一月時，熱不舒適係因室內過冷造成，有屋頂綠化亦較無屋頂綠化不舒適比例為低。

為了評估有無屋頂綠化下之熱舒適等級，採用 ISO 7730 之四等級分類。ISO 對於局部熱不舒適之 PPD 採較整體熱舒適評估時更嚴苛之標準。今分別以 ASHRAE 與台灣之熱適應模型分析如圖 47 所示。以 ASHRAE 熱適應模型分析，在屋頂綠化下約有 36.7%之時間落於等級 I 之範圍內，較無屋頂綠化情況少 2.5%，但亦有 37.2%的時間落於不舒適之等級 IV，有屋頂綠化者反而比無屋頂綠化者高約 0.2%。如以台灣之熱適應模型觀之，以有屋頂綠化之教室而言，落在等級 I 之比例大為增加至 51.8%，較無屋頂綠化情況多 2.3%。然而，在寒冷季則有 3.4%(無綠化者 4.8%)落於等級 IV，是屬過冷情況。

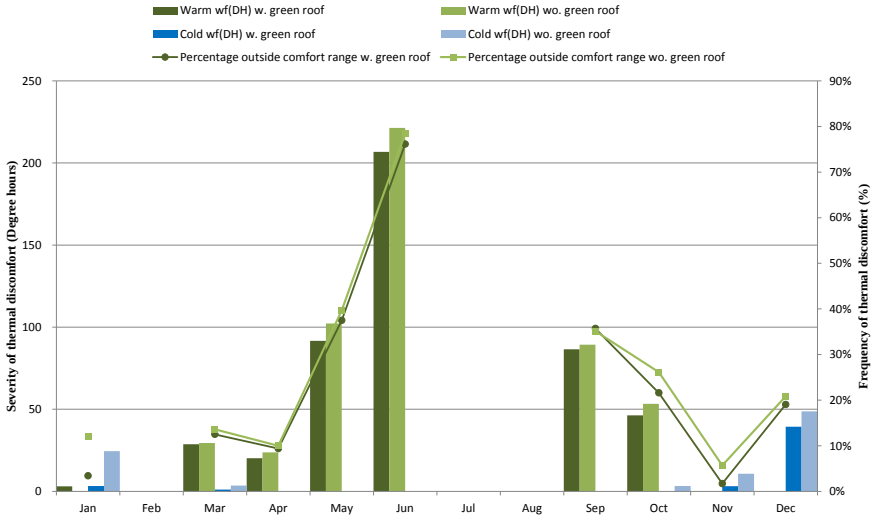


圖46. 各月長期整體熱不舒適嚴重度與頻率(ASHRAE 熱適應模式)

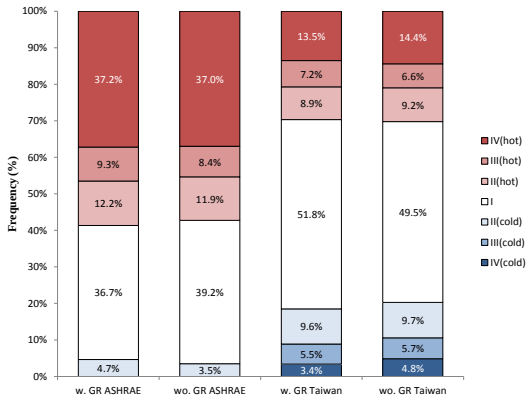
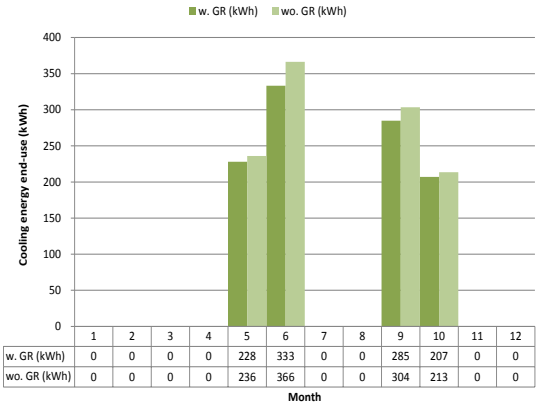


圖47. 依 ISO 7730 定義之各舒適等級時間百分比



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
w. GR (kWh)	0	0	0	0	228	333	0	0	285	207	0	0
wo. GR (kWh)	0	0	0	0	236	366	0	0	304	213	0	0

圖48. 有無屋頂綠化下各月空調用電量模擬

(2) 空調教室耗能模擬

本節以空調型教室為例，比較有無屋頂綠化下之教室空調耗能，空調使用月份為五月、六月、九月與十月。模擬之空調系統為個別型分離式冷氣，其 COP 為 3.0，主機大小約 19300 btu/hr。空調時間為上午八時至下午五時。模擬結果，在有屋頂綠化下之教室其空調 EUI=17.29 kWh/m2，無屋頂綠化之 EUI=18.38 kWh/m2，有綠化情況下較為節能 5.9%。各月份之空調用電耗能如圖 48 所示。

(3) 結論建議

綜上，以自然通風教室而言，無論以 ASHRAE 熱適應模式或台灣熱適應模式評估，屋頂綠化皆有助於提升室內之整體熱舒適性，以全年之小時數而論分別比無屋頂綠化情況分別多了 2.8%與 2.1%的時間落於熱舒適之範圍內。而就熱不舒適之嚴重度而言，以度時法加權或以 PPD 加權方式評估，無屋頂綠化者比有屋頂綠化者更趨熱不舒適，分別嚴重 1.096 倍與 1.118 倍。顯示屋頂綠化確實有助於改善室內之熱舒適嚴重程度。此外，以各月份橫觀，夏季則惠於屋頂綠化之隔熱性能，使得室內不舒適情形較不嚴重；而冬季則由於屋頂覆土層的保溫作用，使得冷不舒適之比例較無屋頂綠化者為低，有屋頂綠化相較於傳統屋頂而言稍有冬暖夏涼之效果。若以空調節能之觀點，以夏季採用空調之教室模擬下，有屋頂綠化者可較傳統屋頂節能約 5.9%之用電量。

三、 總結

本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，至營造氣候自適性的節能建築與社區，各子計畫由都市熱島抑制圈、優質生活環境促進圈和空調節能加強圈上進一步加以分項研究。

以下就各子計畫成果分項論述。**子計畫一**，在第一年度電腦模擬顯示：建築外殼能設計影響居住者的熱舒適並進一步影響能源消耗。在熱舒適性為基礎的控制模擬中，相較於較低的固定溫度，可使用調整恆溫控制的方式，以具有較低的 SHGC，減少空調能量消耗；而在第二年度研究中，分析顯示當教室的溫度偏低時，集中管控教室的同學即使他們覺得冷，也希望有暖和一點的室內狀況，卻不見得會主動調高室內溫度或關掉冷氣，而任由冷氣繼續運轉，形成一種浪費。再次顯示學校當局可以將允許使用冷氣的條件改嚴格一些，以節省冷氣運轉電費，而且不會犧牲教室的熱舒適。相對的，自主管理教室開冷氣時的操作溫度幾乎沒有低於他們認為的熱中性溫度。**子計畫二**中，第一年度的結果指出：SBFC、TEWL、及皮膚溫度顯著地隨環境溫度改變而變化，且熱感知投票值與皮膚溫度之相關性最高($R^2 > 0.75$)，而防曬乳液能有效的對皮膚與外界熱環境直接接觸產生隔離；在第二年度的分析中，顯示 SBFC 為反應環境物理因子影響之高敏感、先期皮膚生理指標，TEWL、皮膚濕度、以及 E-index 為警示因遭受短期(急性)紫外線輻射生成健康危害之較佳皮膚生理指標，使用防曬乳液組前臂外側皮膚遭受短期紫外線暴露時 E-index 增加幅度較低，可推論使用防曬乳液確可提供皮膚防護功能，降低皮膚曬傷所形成之紅斑生成。**子計畫三**在第一年度的結果中發現：涼季時，公園遮蔽處的熱指標愈高時，聚集的人數愈多；熱季時，Ta 與人數的相關性不高，僅約 0.48，PET 與人數的關聯性最高，達到 0.81。圖表顯示，公園遮蔽處的 PET 與總聚集人數呈現高度相關，人數最多時約在 25.2 ℃ PET 左右；在第二年度的成果中，顯示針對公園全部參與人數與熱環境的關聯，隨著熱舒適指標由舒適範圍向上提高或往下降低時，人的不滿意度愈高，公園內的參與人數也隨之愈少。這也顯示了人對熱環境的主觀感受會直接反應在這個公園人的聚集，而也顯示戶外熱環境下民眾的自主權對其熱感受是一個極其重要的調節因素，當民眾從事戶外休閒活動時，如果時間、地點以及型式是可以自由掌握，民眾則較能接受當前戶外熱環境條件，也愈樂於前來廣場活動。**子計畫四**分析中，第一年度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，關聯性可達到 0.84，而未使用土地型態因子能夠有效的降低環境氣溫，關聯性可達到 0.81，而植栽綠化能夠緩和各時段最高溫的發生情形；第二年度成果分析顯示，「未使用土地」、「植栽綠化」與「水域」型態與都市微氣候溫度呈現負相關性，其 r 值分別可達-0.704、-0.640 及-0.614，其中水域利用型態於日間則與氣溫呈現正相關性；「建築物」型態面積比例大致上與都市微氣候溫度呈現正相關性，其 r 值最高可達 0.750，但建築物型態於日間則與氣溫呈現負相關性；「人工鋪面」型態面積比例亦與都市微氣候溫度呈現正相關性，其 r 值介於 0.179～0.472。**子計畫五**中，第一年成果指出遮棚設置方案可在中午時段同時改善東西兩側步道的空間連續性，植栽改善方案於三時段都可同時改善路段兩側的空間連續性，而且單以陰影評分並不能完整討論陰影時間連續性的論述，須視該步道累積小時數量而定；第二年研究中，CFD 的風環境模擬結果顯示盛行風的風向會受不同高度的建築型態與排列影響，可說明都市設計管制對微氣候之敏感性，並發現在 Green-TOD 的尺度下，可透過控制建築量體與佈局，達到實現微氣候都市設計之感知效果。**子計畫六**中，第一年成果顯示：就近屋頂表面而言，在植草上方之各高度的空氣溫度皆較無綠化者稍低，

且夜間情況之植草屋面對近地表降溫效果較日間普遍為佳，而有綠化情況下皆較無綠化之情形對熱環境皆有明顯之降溫效果，以平均輻射溫度(MRT)而言，全日平均降幅達 2.6% (0.8℃)，SET*之降幅則為 2.9% (0.7%)；在第二年研究成果中指出，以自然通風教室而言，無論以 ASHRAE 熱適應模式或台灣熱適應模式評估，屋頂綠化皆有助於提升室內之整體熱舒適性，以全年之小時數而論分別比無屋頂綠化情況分別多了 2.8%與 2.1%的時間落於熱舒適之範圍內。若以空調節能之觀點而言，以夏季採用空調之教室模擬下，有屋頂綠化者可較傳統屋頂節能約 5.9%之用電量。

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。六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。[NSC 99-2221-E-035-079-MY2]