

The Study of Thermal Performance of Roof and the Impact of Indoor Conditions on Thermal Environment in Changhua County Fang Yuan Elementary Classrooms

Ying-Shih Chen, Chen-Yu Hong*

Department of Ecoscience and Ecotechnology, Master Program of Ecotourism,
National University of Tainan, Taiwan

Abstract—Because of making a more comfortable and convenient life, human beings have already consumed a large number of natural resources since the Industrial Revolution. In order to support the quality of life, people need to use more energy than ever. People create more greenhouse gas when they use more energy. That will speed up the climate change. It is important to reduce emissions of carbon dioxide for retarding greenhouse effect. Buildings consume a high proportion of energy for air-conditioner and lights. Building envelope can reduce heat gain of a building, so thermal performance of building envelope is crucial factor for keeping indoor thermal environment comfortable. Because the roof can receive a lot of heat energy from the sun, the roof insulation is an important issue to study. There are two objectives in this study. The first objective of this study is to investigate the thermal performance of classrooms' roofs in Changhua County Fang Yuan elementary school during winter and summer by using infrared thermography. Infrared thermography is a fast and non-contact method to detect temperature distributions on the surface. According to thermal images of two classrooms with different designs of roof, we discover the roof with passive cooling designs by adopting EPS, trellis, ventilated layer and roof greenery has better thermal performance. The second objective is to evaluate the impact of different indoor conditions (temperature of internal surface of roof, numbers of open window, etc.) on the indoor thermal environment of the library. We analyze the data by using stepwise multiple regression method. According to the result of analysis, we find that "adequate open windows" and "temperature of internal surface of roof" can effect the indoor thermal environment significantly. In summary, the roof insulation and natural ventilation are important to indoor climate.

Index Terms—Roof insulation, Indoor thermal environment, Infrared thermography

彰化縣芳苑國小教室的屋頂隔熱效果與室內環境因素對室內 溫熱環境影響之研究

陳澄世 洪晟育*

國立臺南大學生態科學與技術學系生態旅遊碩士班

摘要

在經過兩次能源危機之後，全世界開始感受到節約能源的重要性，而建築的相關用電是除了工業用電以外最重要的耗能，建築外殼是建築物直接暴露於外氣而且熱能可內外相互傳透的部分，而建築物的耗能量與建築外殼的熱性能成反比 [1]，本論文的「熱性能」是指建築外殼控制建築物因室內外溫差與太陽輻射傳入室內所產生的熱得之能力，因此建築外殼的效果越好將可以降低建築的耗能。本研究以彰化縣芳苑國小的圖書教室和幼稚園教室為基地，使用紅外線熱像儀來測得教室裡不同屋頂的內表面溫度，藉由所測得的溫度來比較不同屋頂的隔熱效果，再藉由多元迴歸分析去了解圖書教室室內環境因素對室內外溫度差的影響。研究結果發現，有【保麗龍】、【花架】、【流動空氣層】與【覆土】的手法來設計建築外殼的屋頂時，應能使屋頂的隔熱效果較好；由迴歸分析的結果來看，在圖書教室的室內環境因素中，【窗戶的開啟】和【屋頂內表面溫度】是會顯著地影響到圖書教室的室內外溫度差；屋頂內表面溫度越高會使室內溫度越高，而適當的開窗將有助於室內外溫度差的降低，使建築消耗能源的量減少。

關鍵字：屋頂隔熱、室內溫熱環境、紅外線熱像儀*

壹、前言

人類在 1973 年和 1979 年經過兩次能源危機之後，全世界開始感受到節約能源的重要性。建築產業本身是一種高污染、高耗能的產業，從建材的製造與運送、建築物的施工營建過程、建築物的日常使用、建築物的維修，一直到建築物的拆除解體都會需要耗費很多的自然資源和造成相當大的污染 [1]。在我國的建築相關用電裡，住宅與商業用電所使用的電力佔總用電 30%，是除了工業生產之外最重要的耗能，因此節約能源除了可以減少 CO₂ 的排放量（節省 1 度電約可以減少 0.62 kg 的 CO₂），也同時可以確保我國的能源安全 [2,3]。

建築外殼是建築物直接暴露於外氣而且熱能可內外相互傳透的部分，包括屋頂、外牆與窗戶，所以室外的熱能可以藉由傳導與輻射的方式透過建築外殼進入室內，進而影響到室內溫熱環境。建築室內環境一般與戶外不同，具有其獨特的特性，無論是在室內的休閒娛樂，還是讀書、工作、休息等，室內氣候(indoor climate)的舒適性跟我們的生活有密切的關係 [4]。學生的學習和休憩活動絕大部分是以教室為中心，因此教室情境對學生的學習和行為之塑造，具有不可忽視的影響力量，Bennett 發現教室學習環境的安排可以提高學習目標的效果與效率，其主要物質的因素就有包括氣候條件，像是溫度、濕度、光線與聲音 [5]。因此良好的建築外殼設計不僅能提供舒適的學習環境，對於師生的身心健康與學習效率也會有正面的效益，同時可以減少建築物所使用的能源，進而減少環境的污染。

本研究是使用紅外線熱像儀來進行屋頂內溫度的測量，紅外線熱像儀的量測是採用面的方式來進行，其面積式的顯像特色，可以輕易地分辨出被測

* Corresponding author: timhong751027@gmail.com
DOI: 10.6159/IJSE.2014.(4-3).04

物件與周圍環境的溫度差異性 [6]。本研究的研究對象為彰化縣芳苑國小之第一期教室（圖書教室、幼稚園教室）內不同設計之屋頂，主要透過紅外線熱像儀來拍攝教室內部不同屋頂的內表面溫度分佈之熱影像，再將所拍攝的熱影像資料經過溫度解析處理，得到屋頂內的表面溫度資料，由這些資料比較教室內不同設計屋頂的隔熱效果，再把圖書教室屋頂內表面溫度和教室內的門窗開啟情形進行多元迴歸分析，來了解屋頂內表面溫度與門窗開啟情形對於室內溫熱環境之影響。

貳、文獻探討

2.1 室內溫熱環境對使用者的影響

現代人生活在室內空間的時間約占每天 90% 以上，由於長時間在室內活動，因此室內環境的好壞對人體健康與舒適性都會產生直接性的影響，不良的室內環境對人體健康所造成的影響，已成為現代生活的一大問題 [7]。人體生理與室內環境間的關係，是建立在生理與心理反應上，並非由單一環境要素所造成，室內熱環境是由空氣溫度、空氣溼度、周壁的輻射熱和氣流速度所組成，這四個參數會影響人體的散熱情況 [4]。

有研究 [8] 調查了臺灣校園教室的熱舒適性，總共從 7 所大學裡挑選出 10 間自然通風教室和 26 間空調教室來進行調查，除了使用問卷調查之外，還同時測量當時教室內的氣候因子，受測的學生總共有 944 位，完成了 1294 份的問卷，將所蒐集到的資料應用卡方檢定去找出，是那些因素會對學生的熱感覺造成影響，其結果顯示出【氣溫】、【空氣的流動】和【平均輻射溫度】這 3 個因素會有明顯的影響，但是溼度、聲音、光線和室內空氣品質並沒有統計上顯著的意義，由此能了解使用者對室內溫熱環境的重視。Zeiler 與 Boxem [9] 發現學校熱環境（像室內空氣品質）會顯著地影響到學生的學習表現，有很好的證據顯示，適度的改變室溫會影響到學生處理需要專注事務的能力，像是做加法、乘法和理解語意，也提到 King 與 Marans 在 1979 年發現到當溫度和溼度增加，會讓學生感到很舒適，較

涼的教室能增加使用者舒適的感覺、活動力與創造力，因此教室的熱環境會影響學生的理解能力。也有相關研究 [10] 發現到在夏季的狀況下，當室內溫度下降 1°C 的時候（從 28°C 下降到 27°C），學生的學習表現效率會增加約 26%；當室溫下降 2°C 的時候（從 28°C 下降到 26°C），學生的學習表現效率會增加 43%，由此可知學習表現效率的好壞跟室內溫度的高低會有關係。

2.2 建築外殼的熱傳透作用與屋頂隔熱

2.2.1 建築外殼熱傳透作用與屋頂隔熱的原理

建築外殼是建築物直接暴露於外氣，而且熱能可內外相互傳透的部分，包括屋頂、外牆與窗戶 [4]，如圖 1 所示，當建築外殼接受太陽輻射照射時，並不會吸收所有的日射量，而是會吸收其中的一部份，再將剩餘的部份加以反射；建築外殼吸收日射之後溫度會升高，又會再向建築物的兩側產生傳熱作用，因此建築外殼的熱傳透作用，是由室內與室外氣溫的差值和室外日射大小這兩個部份所組成。影響室內與室外熱流的因素包含了室內外的溫度差異、太陽的日射量、窗戶開口的大小、外牆的斷熱性、室內的換氣量、建築物表面材料的日射吸收率和輻射率……等。由於室內氣溫主要是受室外氣溫和日射量影響，所以欲降低建築物之耗能，則建築外殼應採用隔熱的構造，來讓室內熱環境能達到舒適的目的 [11]。

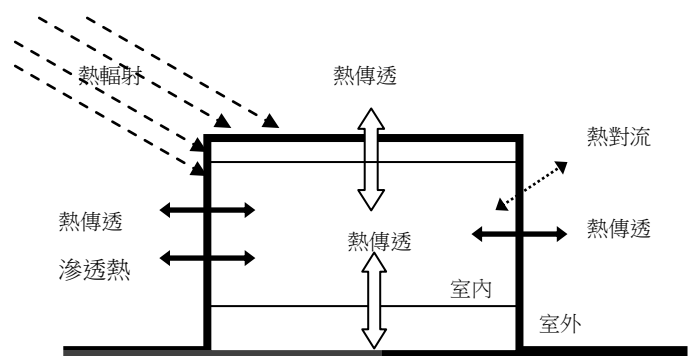


圖 1 室內外熱量的流動示意圖。改繪自《建築物外遮陽暨屋頂隔熱設計參考手冊》（頁 7），嚴佳茹等人，2008。新北市：內政部建築研究所。

由表 1 可得知，在太陽照射下建築物的屋頂相較於其他方位的表面，會吸收比較多的日射，因此其表面溫度上升會最高和最快，當屋頂接受到大量的太陽輻射時，被屋頂吸收的熱經由樓板傳導至室內，所以一般建築物的頂層室溫通常都會比其他樓層要來得高，因此想要降低室內溫度，建築物的屋頂構造必須要有良好的隔熱設施 [12,13,14]。屋頂隔熱的原理就是在建築外殼的屋頂層使用各種方法，將外部的太陽輻射熱儘可能地進行阻隔，並防止這些熱量進入室內 [15]。

表 1 臺灣地區各方位日射能量之比例

方位	南面	東面	西面	北面	水平面
比例	1	1.24	1.24	0.81	2.78

資料來源：取自 *建築物外遮陽暨屋頂隔熱設計參考手冊* (頁 6)，嚴佳茹等人，2008。新北市：內政部建築研究所。

2.2.2 屋頂隔熱的相關研究

(1) 保麗龍、屋頂通風、金屬板隔熱的相關文獻

[16]使用了紅外線熱影像技術來比較填滿保麗龍粒子(Expanded Polystyrene, EPS)的混凝土磚與混凝土中空磚的熱性能差異，這個研究是使用 2 塊中空磚和 2 塊填滿 EPS 的磚塊，在人造熱源加熱約一小時後，再拍攝這兩種不同混凝土磚塊的紅外線熱影像。由紅外線熱影像的分析中，可以發現到中空混凝土磚的溫度達到 32°C，而填滿 EPS 的混凝土磚塊約在 28°C。這表示中空混凝土磚相較於填滿 EPS 的混凝土磚更容易讓熱通過，也顯示 EPS 是一種有效的隔熱材。[17]在希臘夏季的時候比較可通風的屋頂和傳統屋頂的熱性能差異。實驗結果發現到【可通風的屋頂】在白天的隔熱表現比【傳統屋頂】好；但在晚上的時候【傳統屋頂】的表現比【可通風的屋頂】好，以 24 小時的測試來看，【可通風的屋頂】的熱性能表現是比【傳統屋頂】要來得好，可通風的結構是可以幫助有雙層外殼的建築物，減少直接太陽輻射對建築室內環境的衝擊。[15]是採用實地實測法來研究校園建築的屋頂在進行改造隔熱

設施之後的隔熱效益，研究結果發現到有進行屋頂隔熱設施改造（使用屋頂花園或鋁鋅鋼浪板）的教室，對於頂層天花板表面溫度和頂層室內溫度皆具有顯著的降溫效果。[18]提到金屬屋頂雖然放射率比較低，但是它的太陽反射率比較高，所以也有被應用在涼屋頂上。

(2) 綠化屋頂隔熱的相關文獻

[19]以成功大學的「孫運璿綠建築研究大樓」的屋頂綠化為例，經研究證實：不論是何種土壤或植栽，在夏天時，當室外氣溫變動在 7~10°C 的範圍內，可以讓屋頂層樓版的表面溫度之變動維持在 3°C 以內，對於室內降溫有優越的效果，因此屋頂綠化是有減緩都市熱島效應與節約空調耗能的功能。[20]提到屋頂綠化除了可以創造令人舒適的環境之外，還可以提供幾個傳統屋頂所沒有的好處，像是可以處理大量的雨水，還可以減少空氣的汙染，增加都市裡植物和動物的生物多樣性，也可以藉由光合作用來減少都市的碳足跡，進而減少都市的熱島效應，他們還發現到：綠屋頂在夏天時的溫度會比傳統屋頂少 2°C，而且綠屋頂全年的能量需求減少了 6%。

參、研究方法

3.1 研究流程

本研究分為二個部分，第一個部分是以彰化縣芳苑國小第一期教室（圖書教室和幼稚園教室）為研究對象，希望了解芳苑國小教室內不同屋頂設計對室內溫熱環境的影響；因為建築物建築外殼的熱傳透作用是由【室內與室外氣溫的差值】和【室外日射的大小】這兩個部份所組成 [11]，所以第二個部分是想探討圖書教室室內環境因素對教室室內外溫度差的影響。

第一部分先依圖書教室不同的屋頂設計來選取 3 處測溫點（尖角、斜板、反摺板），在 2 個固定觀測點來進行測量，透過 NEC Avio TVS-200EX 紅外線遠測溫度熱像分析儀來測量實測教室內之測點溫度，並且同時記錄當時教室內部門窗的開關情形，

共拍攝 55 天，實測時間從 2011 年 11 月份至 2012 年 10 月份，時間點在中午 12:00 至下午 3:00 這段期間，並且選擇無降雨晴朗的天氣，共得到 165 筆資料。在幼稚園教室也依不同的屋頂設計來選取 3 處測溫點（學習角、老師角、午睡角），並且選定 2 個固定的觀測點來進行測量，共拍攝 53 天得到 159 筆資料。將所得拍攝資料輸入 TAS 紅外線熱像分析系統軟體中，並且選取適合分析的熱影像和適合分析的方法來得到測溫點的溫度平均值，最後把分析獲得之溫度數據輸入 SPSS 統計分析軟體來進行分析與檢定，將不同測溫點在冬夏兩季所測得之溫度去進行比較，再將此溫度與中央氣象局芳苑測站當時所測得的氣溫之差值去進行比較，由此來了解那一種屋頂的隔熱效果較好。

第二部分是想知道圖書教室室內環境因素對室內外溫度差的影響情形，從上面的文獻可以知道建築外殼的隔熱與室內通風，對室內的溫熱環境會有相當大的影響，尤其熱量主要是從建築外殼的屋頂進到室內，又因為建築外殼的構造方式與選用材料的不同，會直接影響到建築物室內的熱流傳遞現象，因此本論文將室內環境因子設定為【屋頂內表面溫度】、【屋頂種類】；室內的門窗開啟情形會影響到室內通風，所以將【門窗開啟情形】設為室內環境因子之一；【拍攝時間點】會影響到屋頂接受日射的時間，引起屋頂內的表面溫度之改變，進而影響到室內的溫熱環境，所以也將【拍攝時間點】設為室內環境因子之一。因此圖書教室的室內環境因素設定為：【屋頂種類】、【屋頂內表面溫度】、【門窗開啟情形】、【拍攝時間點】。

把圖書教室室內環境因素視為自變項，依變項為室內外溫度差（圖 2），進行多元迴歸分析來了解圖書教室室內環境因素跟室內外溫度差之間的關係，根據資料分析的結果來進行討論，並綜合統整研究成果來提出適當的建議。

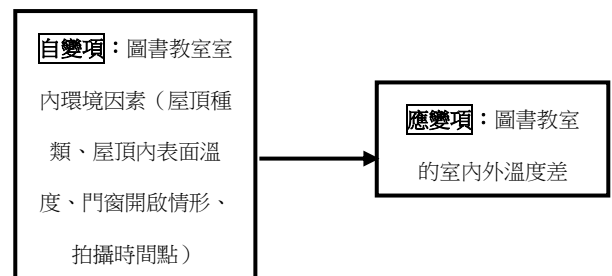


圖 2 研究變項關係圖

3.2 實測教室的基本資料

(1) 【圖書教室】的屋頂設計型式

圖書教室的屋頂型式有 3 種設計，由西側到東側分別為【尖角】屋頂、【斜板】屋頂和【反摺板】屋頂。【尖角】是用 15 公分的 RC 所構成；【斜板】是由 3 個部分所組成，從外到內依序為 15 公分的 RC、28 公分的低密度保麗龍板、12 公分的 RC；【反摺板】是由 4 個部分所組成，從外到內依序為 0.15 ~ 0.2 公分的金屬板（鍍鋅鋼板）、1.2 公分的木夾板、40 公分的靜止空氣層、15 公分的 RC。

(2) 【幼稚園教室】的屋頂設計型式

幼稚園教室的屋頂型式有 3 種設計（圖 3），分別是【教學角】屋頂、【老師角】屋頂和【午睡角】屋頂。【教學角】屋頂是由 4 個部分所組成，從外到內分別是花架、3.8 公分的木板（南方松）、38 公分的空氣層（流動）和 15 公分的 RC；【老師角】屋頂是由 2 個部分所組成，從外到內分別是 30 公分的覆土和 15 公分的 RC；【午睡角】是由 3 個部分所組成，從外到內分別是 1.6 公分的木條、3.8 公分的空氣層（流動）和 15 公分的 RC。

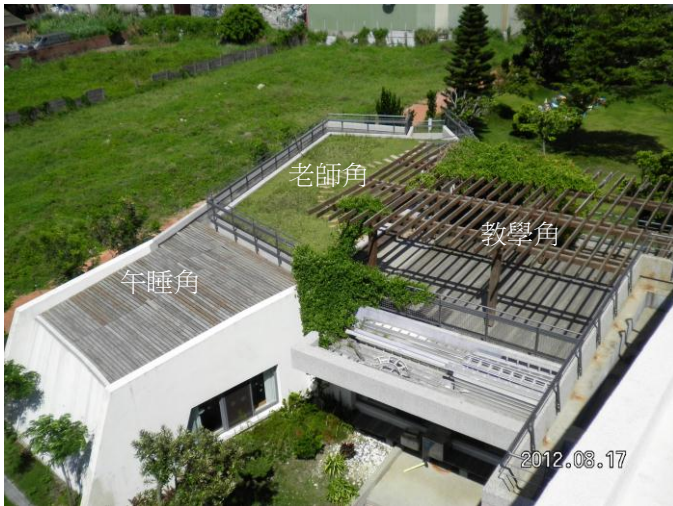


圖 3 幼稚園教室屋頂的整體外觀圖

3.3 實測教室【測溫點】與【觀測點】之設定情形

(1) 實測教室【測溫點】的設定

1. 【圖書教室】的屋頂：是由 3 種不同設計所組成，因此選取不同屋頂部分為測溫點（表 2），各處測溫點的描述如下：

- 尖角(R1)屋頂：位在圖書教室屋頂的最西側。
- 斜板(R2)屋頂：位在圖書教室屋頂的中間部分。
- 反摺板(R3)屋頂：位在圖書教室屋頂的最東側。

表 2 圖書教室屋頂內表面溫度之測溫位置示意圖



2. 【幼稚園教室】的屋頂：是由 3 種不同設計所組成，因此選取不同屋頂部分為測溫點（表 3），各處測溫點的描述如下：

- 教學角(Ra)屋頂：範圍是位在小朋友平日主要上課的區域。
- 老師角(Rb)屋頂：範圍是位在老師辦公與小朋友看影片與玩遊戲的區域。
- 午睡角(Rc)屋頂：範圍是位在小朋友睡午覺的區域。

表 3 幼稚園教室屋頂內表面溫度之測溫位置示意圖



(2) 受測教室【觀測點】的設定

本研究所設定的觀測點，是進行測溫時紅外線熱像儀所放置的地點。因為雖然紅外線熱像儀可以直接測量到熱點的位置，但紅外線熱像儀是藉由偵測物體表面所放出的熱輻射，再使用這些被偵測到的熱輻射去推算出被測物體的表面溫度，所以很容易受到周圍環境的影響，像是有些地方會受到來自附近反射或漫射之輻射熱影響，或是有會主動產生溫度的裝置（像燈具、電扇、插座等），拍攝到這些地方都會讓所測得的平均溫度偏高，因此就需要盡量避開會拍攝到這些地方的位置，而且紅外線熱像儀跟被測物體所呈的角度也會影響到拍攝準確度，所以需要找特定位置（觀測點）來放置紅外線熱像儀，來讓測量的結果都能盡量避免誤差的發生。

圖書教室總共選取 2 個觀測點，第一觀測點離南側窗戶約 4.83 m，主要是同時拍攝尖角屋頂(R1)跟斜板屋頂(R2)這兩個測溫點；第二觀測點離南側窗戶

約 1.42 m，主要是拍攝反摺板屋頂(R3)測溫點；幼稚園教室總共選取 2 個觀測點，第一觀測點是位在教學角區域，主要是拍攝教學角屋頂(Ra)的測溫點；第二觀測點是位在老師角區域，主要是拍攝老師角屋頂(Rb)與午睡角屋頂(Rc)的測溫點。

3.4 實測儀器的介紹

(1) NEC Avio TVS-200EX 紅外線遙測溫度熱像分析儀

本研究使用 NEC Avio TVS-200EX 紅外線遙測溫度熱像分析儀（簡稱為紅外線熱像儀）（圖 4）來進行教室內測溫點表面溫度的測量。NEC Avio TVS-200EX 熱像儀所使用的紅外線檢知器是微熱偵檢型檢知器(Microbolometer)是屬於一種熱感型檢知器，工作波長為長波紅外線 (8~14 μm)，此種熱感型檢知器可以經由吸收熱輻射改變電阻，當施以一個偏壓時電流就會跟著改變，就能用來測量所偵測到輻射強度 [21]。



圖 4 NEC Avio TVS-200EX 紅外線遙測溫度熱像分析儀
（左：儀器正面；右：儀器背面）

(2) TECPEL DTM-303B 室內外數位溫溼度計

本研究使用 TECPEL 公司所製造的 DTM-303B 室內外數位溫溼度計（圖 5）來進行圖書教室室溫的測量。溫溼度計在圖書教室所放置的位置，為了避免受到戶外陽光直接照射的影響，因此選擇放置在圖書教室內中央的書櫃上，離地約 1.343m。



圖 5 TECPEL DTM-303B 室內外數位溫溼度計

3.5 資料處理與分析方法

3.5.1 資料分析軟體介紹

本研究使用 NEC Avio TVS-200EX 紅外線熱像儀來測量測溫點的表面溫度之後，再使用兩種分析軟體來進行觀測資料的處理與分析，首先把觀測資料使用 TAS 紅外線熱像分析系統進行測溫點熱影像表面溫度的分析，再將所得之數據整理後輸入 SPSS 統計套裝軟體來進行統計檢定，下面就本次測量所使用的分析軟體來進行說明：

(1) TAS 紅外線熱像分析系統

景興 TAS (ThermoData Analysis System) 紅外線熱像分析系統是一套搭配 Avio 或 NEC Avio 熱像儀產品的紅外線熱影像分析軟體，本軟體是由景興電腦科技有限公司所開發設計，能依使用者需要切換中英文操作介面，且有自動教學功能和具備線上操作說明，可完全支援最新版微軟視窗作業系統及 Excel，並自動做成溫度檢測分析報告，還可自動套用使用者自訂的 XLS 表格，為了讓使用者方便管理檔案還可以與資料庫整合[22]。

(2) SPSS 統計套裝軟體

SPSS 統計套裝軟體是「社會科學統計套裝軟體」(Statistical Package for the Social Science)的簡稱，因為其簡易的操作介面，且相容於 PC 個人電腦，所以受到不同領域的學者與研究者的喜愛，視窗界面的 SPSS 軟體，不需要先撰寫語法程式就可以

進行統計出結果，其操作過程也可以全部轉為程式語法檔，並加以儲存以便於以後編輯或執行相類似的統計分析 [23]。

3.5.2 資料統計方法

(1) 敘述性統計 (Descriptive statistics)

本研究的敘述性統計分析包含圖書教室與幼稚園教室在冬夏兩季之屋頂內表面溫度平均值、平均溫差值，以顯示不同屋頂設計在冬夏兩季的隔熱效果之差異。

(2) 多元迴歸分析 (Multiple Regression Analysis)

本研究是使用「逐步多元迴歸法」來進行分析，探討圖書教室在冬夏兩季不同的室內環境因素，對於室內外溫度差的影響強度與相關關係。

肆、分析結果與討論

4.1 圖書教室冬季測量之結果

(1) 圖書教室冬季拍攝資料之基本屬性

圖書教室在冬季（2011 年 11 月至 2012 年 4 月）期間，拍攝資料的基本屬性整理如下：冬季拍攝期間的戶外氣溫，以 2012 年 3 月 13 日中午 12 點和下午 1 點所測到的 15.7°C 為最低溫，以 2012 年 3 月 5 日下午 1 點所測到的 31.1°C 為最高溫；拍攝期間的平均戶外氣溫為 24.5°C。

(2) 圖書教室冬季不同屋頂類型之溫度平均數

分別就圖書教室不同屋頂類型所測得溫熱環境資料，進行溫度平均數高低排序，整理結果如下（表 4、圖 6）：

1. 各類型屋頂實測溫度(T_s)的溫度平均數高低排序分別為：【反摺板(R3)】24.39°C、【尖角(R1)】23.45°C、【斜板(R2)】22.58°C。

2. 各類型屋頂實測時的平均溫差($T_{sa,ave}$)大小排序分別為：【反摺板(R3)】-0.33°C、【尖角(R1)】-0.95°C、【斜板(R2)】-1.82°C。

表 4 圖書教室冬季不同屋頂實測溫度之平均值與平均溫差表

屋頂類型	個數	屋頂內表面溫度之平均值(T_s) (°C)	平均溫差 ($T_{sa,ave}$) (°C)
尖角(R1)	23	23.45	-0.95
斜板(R2)	23	22.58	-1.82
反摺板(R3)	23	24.39	-0.33

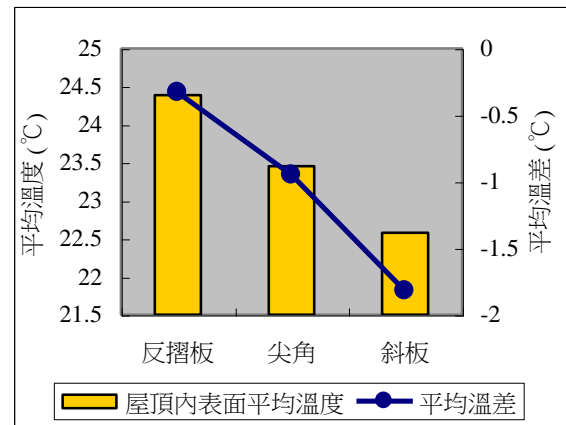


圖 6 圖書教室冬季不同屋頂實測平均溫度與平均溫差之關係圖

4.2 幼稚園教室冬季測量之結果

(1) 幼稚園教室冬季拍攝資料之基本屬性

幼稚園教室在冬季（2011 年 11 月至 2012 年 4 月）期間，拍攝資料的基本屬性整理如下：冬季拍攝期間的戶外氣溫，以 2012 年 12 月 2 日下午 3 點所測到的 15.4°C 為最低溫，以 2011 年 11 月 4 日下午 2 點所測到的 30.3°C 為最高溫；拍攝期間的平均戶外氣溫為 23.97°C。

(2) 幼稚園教室冬季不同屋頂類型之溫度平均數

分別就幼稚園教室不同屋頂類型所測得溫熱環境資料，進行溫度平均數高低排序，整理結果如下（表 5、圖 7）：

1. 各類型屋頂實測溫度(T_s)的溫度平均數高低排序分別為：【午睡角(Rc)】24.25°C、【老師角(Rb)】23.66°C、【教學角(Ra)】22.57°C。
2. 各類型屋頂實測時的平均溫差($T_{sa,ave}$)大小排序分別為：【午睡角(Rc)】0.56°C、【老師角(Rb)】-0.41°C、【教學角(Ra)】-1.59°C。

表 5 幼稚園教室冬季不同屋頂實測溫度之平均值與平均溫差表

屋頂類型	個數	屋頂內表面溫度之平均值(T_s) (°C)	平均溫差($T_{sa,ave}$) (°C)
教學角(Ra)	23	22.57	-1.59
老師角(Rb)	23	23.66	-0.41
午睡角(Rc)	23	24.25	0.56

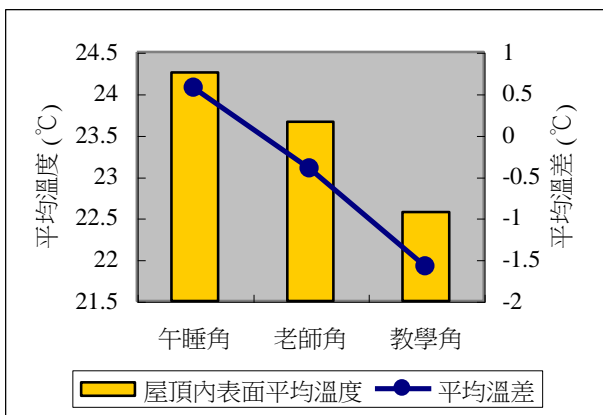


圖 7 幼稚園教室冬季不同屋頂實測平均溫度與平均溫差之關係圖

4.3 圖書教室夏季測量之結果

(1) 圖書教室夏季拍攝資料之基本屬性

圖書教室在夏季（2012 年 5 月至 2012 年 10 月）期間，拍攝資料的基本屬性整理如下：夏季拍攝期間的戶外氣溫，以 2012 年 5 月 4 日下午 1

點和 2012 年 9 月 28 日下午 1 點所測到的 26.7°C 為最低溫，以 2012 年 7 月 12 日下午 1 點所測到的 33.3°C 為最高溫；拍攝期間的平均戶外氣溫為 30.55°C。

(2) 圖書教室夏季不同屋頂類型之溫度平均數

分別就圖書教室不同屋頂類型所測得溫熱環境資料，進行溫度平均數高低排序，整理結果如下（表 6、圖 8）：

1. 各類型屋頂實測溫度(T_s)的溫度平均數高低排序分別為：【反摺板(R3)】32.34°C、【尖角(R1)】31.47°C、【斜板(R2)】30.13°C。
2. 各類型屋頂實測時的平均溫差($T_{sa,ave}$)大小排序分別為：【反摺板(R3)】1.92°C、【尖角(R1)】0.86°C、【斜板(R2)】-0.49°C。

表 6 圖書教室夏季不同屋頂實測溫度之平均值與平均溫差表

屋頂類型	個數	屋頂內表面溫度之平均值(T_s) (°C)	平均溫差($T_{sa,ave}$) (°C)
尖角(R1)	32	31.47	0.86
斜板(R2)	32	30.13	-0.49
反摺板(R3)	32	32.34	1.92

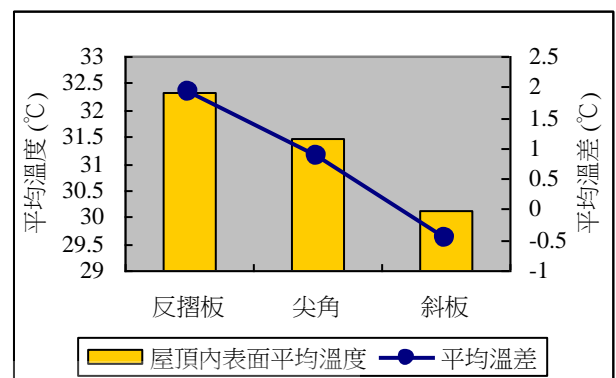


圖 8 圖書教室夏季不同屋頂實測平均溫度與平均溫差之關係圖

4.4 幼稚園教室夏季測量之結果

(1) 幼稚園教室夏季拍攝資料之基本屬性

幼稚園教室在夏季（2012 年 5 月至 2012 年 10 月）期間，拍攝資料的基本屬性整理如下：冬季拍攝期間的戶外氣溫，以 2012 年 10 月 4 日 16：00 所測到的 26.3℃ 為最低溫，以 2012 年 8 月 13 日 12：00 所測到的 34.1℃ 為最高溫；拍攝期間的平均戶外氣溫為 30.61℃。

(2) 幼稚園教室夏季不同屋頂類型之溫度平均數

分別就幼稚園教室不同屋頂類型所測得溫熱環境資料，進行溫度平均數高低排序，整理結果如下（表 7、圖 9）：

1. 各類型屋頂實測溫度(T_s)的溫度平均數高低排序分別為：【午睡角(Rc)】31.19℃、【老師角(Rb)】29.76℃、【教學角(Ra)】28.78℃。
2. 各類型屋頂實測時的平均溫差($T_{sa,ave}$)大小排序分別為：【午睡角(Rc)】0.64℃、【老師角(Rb)】-0.82℃、【教學角(Ra)】-1.93℃。

表 7 幼稚園教室夏季不同屋頂實測溫度之平均值與平均溫差表

屋頂類型	個數	屋頂內表面溫度之平均值(T_s) (°C)	平均溫差($T_{sa,ave}$) (°C)
教學角(Ra)	30	28.78	-1.93
老師角(Rb)	30	29.76	-0.82
午睡角(Rc)	30	31.19	0.64

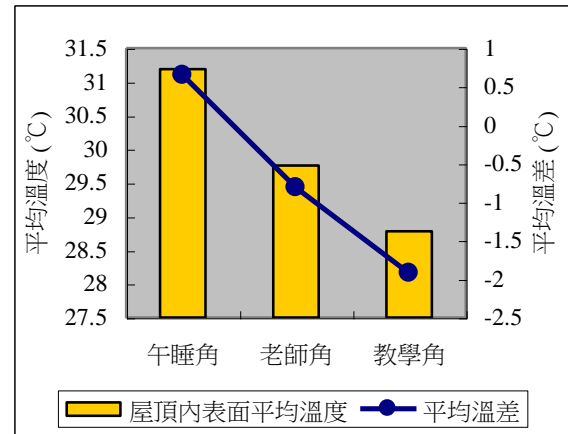


圖 9 幼稚園教室夏季不同屋頂實測平均溫度與平均溫差之關係圖

4.5 不同屋頂類型在冬夏兩季隔熱效果之比較

【12】發現到直接的日射是造成建築外殼表面溫度變動的主因，由此能了解到日射能量不僅會影響到氣溫的高低，也同時會影響到建築外殼的表面溫度，但由於氣溫的變化為自然現象而非人為可控制，但是屋頂所使用之建材與設計卻是可以選擇，不同的建材有其特定的物理特性，當受到日射時所造成的影響程度也不同，因此讓不同建材的表面溫度也有所不同，故以觀測時段的中央氣象局芳苑氣象站所記錄氣溫資料(T_a)為基準值，把屋頂內平均溫度(T_s)減去基準值(T_a)所得到的差值稱為 T_{sa} 。

【平均溫差($T_{sa,ave}$)】是把圖書教室（尖角、斜板、反摺板）和幼稚園教室（教學角、老師角、午睡角）所測到的各種屋頂的內表面溫度(T_s)，各自減去觀測時段的中央氣象局芳苑氣象站所記錄氣溫資料(T_a)，再把各種屋頂所得到的差值(T_{sa})總和除以冬季與夏季的觀測次數，就可以得到各種屋頂在冬季與夏季的平均溫差($T_{sa,ave}$)數據。因為平均溫差($T_{sa,ave}$)可以把去除掉比較極端的測量值，而得到更能反映真實情況的數值。

為了解不同屋頂設計在同一間教室所造成的影響，將以教室為單位，以屋頂內表面溫度與戶外溫度之溫差(T_{sa})值來進行屋頂隔熱的比較。首先以各

種屋頂之【溫度差(Tsa)大於或小於 0 的次數】來比較，當屋頂內表面溫度大於戶外溫度 ($T_{sa} > 0$) 的時候，代表這個屋頂此時對室內環境有加熱的效果；而當屋頂內表面溫度小於戶外溫度 ($T_{sa} < 0$) 的時候，代表這個屋頂有可以減少戶外的熱量進入室內的的效果，所以當一個屋頂的溫度差(Tsa)小於 0 的次數越多，表示此屋頂的隔熱效果越明顯。再將各種屋頂的【平均溫差(Tsa,ave)】去進行比較，當平均溫差(Tsa,ave)越大，代表此屋頂的隔熱效果越差；平均溫差(Tsa,ave)越小，代表此屋頂的隔熱效果越好。

(1) 圖書教室不同屋頂隔熱效果之比較

根據圖書教室在冬季（2011年11月至2012年4月）的實測結果，發現到屋頂內表面溫度與戶外氣溫的溫度差(Tsa)小於0次數最多的屋頂為【斜板(R2)】有17次，約佔總次數的73.9%，小於0次數最少的屋頂為【反摺板(R3)】有10次，約佔總次數的43.5%。圖書教室在夏季（2012年5月至2012年10月）的實測結果，發現到屋頂內表面溫度與戶外氣溫的溫度差(Tsa)小於0次數最多的屋頂為【斜板(R2)】有20次，約佔總次數的62.5%，小於0次數最少的屋頂為【反摺板(R3)】有2次，約佔總次數的6.25%。

將不同屋頂【溫度差大於或小於0的次數】經過比較之後，可得到結果如下：

- 圖書教室屋頂在冬季的隔熱效果最好的是【斜板(R2)】，最差的是【反摺板(R3)】。
- 圖書教室屋頂在夏季的隔熱效果最好的是【斜板(R2)】，最差的是【反摺板(R3)】。

【尖角(R1)】屋頂在冬季時的內表面溫度平均比戶外氣溫低 0.95°C ，夏季時平均比戶外氣溫高 0.86°C ；【斜板(R2)】屋頂的內表面溫度在冬季時平均比戶外氣溫低 1.82°C ，夏季時平均比戶外氣溫低 0.49°C ；【反摺板(R3)】屋頂的內表面溫度在冬季時平均比戶外氣溫低 0.33°C ，夏季時平均比戶外氣溫高 1.92°C ，其示意圖如圖10所示。

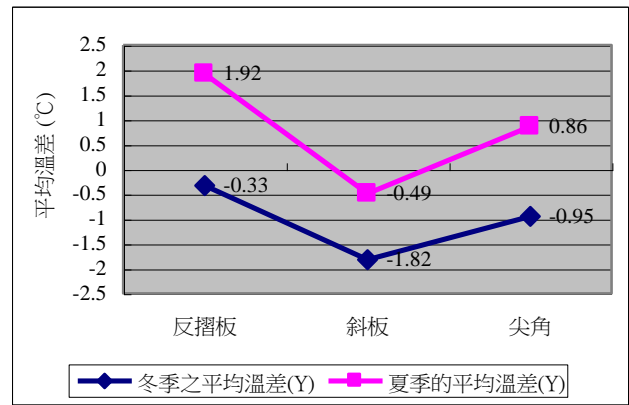


圖 10 圖書教室不同屋頂類型在冬夏兩季的平均溫差之對照圖

將不同屋頂的【平均溫差(Tsa,ave)】經過比較之後，可以得到結果如下：

- 在冬季時所有屋頂的平均內表面溫度都低於戶外溫度，其中【斜板(R2)】屋頂的內表面溫度比戶外氣溫小的程度比其他屋頂都來得大，表示【斜板(R2)】屋頂在冬季時從戶外傳入室內的熱量為最少，所以冬季屋頂隔熱的效果，由好到壞分別是【斜板(R2)】 > 【尖角(R1)】 > 【反摺板(R3)】。
- 在夏季時【尖角(R1)】屋頂與【反摺板(R3)】屋頂對室內都有加熱的效果，只有【斜板(R2)】屋頂的內表面溫度比戶外氣溫小。其中【反摺板(R3)】屋頂的內表面溫度比戶外氣溫大的程度比【尖角(R1)】屋頂要來得大，表示【尖角(R1)】屋頂比【反摺板(R3)】屋頂的隔熱效果要來得好。所以夏季屋頂隔熱的效果，由好到壞分別是【斜板(R2)】 > 【尖角(R1)】 > 【反摺板(R3)】。

(2) 幼稚園教室不同屋頂隔熱效果之比較

根據幼稚園教室在冬季（2011年11月至2012年4月）的實測結果，發現到屋頂內表面溫度與戶外氣溫的溫度差(Tsa)小於0次數最多的屋頂為【教學角(Ra)】有17次，約佔總次數的73.9%，小於0次數最少的屋頂為【午睡角(Rc)】有11次，約佔總次數的

47.8%。在夏季（2012年5月至2012年10月）的實測結果，發現到屋頂內表面溫度與戶外氣溫的溫度差(Tsa)小於0次數最多的屋頂為【教學角(Ra)】有29次，約佔總次數的96.7%，小於0次數最少的屋頂為【午睡角(Rc)】有8次，約佔總次數的26.7%。

將不同屋頂【溫度差大於或等於0的次數】經過比較之後，可得到結果如下：

- 幼稚園教室屋頂在冬季的隔熱效果最好的是【教學角(Ra)】，最差的是【午睡角(Rc)】。
- 幼稚園教室屋頂在夏季的隔熱效果最好的是【教學角(Ra)】，最差的是【午睡角(Rc)】。

【教學角(Ra)】屋頂在冬季的內表面溫度平均比戶外氣溫低1.59℃，夏季時內表面溫度平均比戶外氣溫低1.93℃；【老師角(Rb)】屋頂在冬季的內表面溫度平均比戶外氣溫低0.41℃，夏季的內表面溫度平均比戶外氣溫低0.82℃；【午睡角(Rc)】屋頂在冬季的內表面溫度平均比戶外氣溫高0.56℃，夏季的內表面溫度平均比戶外氣溫高0.64℃，其關係如圖11所示。

將不同屋頂的【平均溫度差(Tsa,ave)】經過比較之後，可以得到結果如下：

- 【午睡角(Rc)】屋頂無論是冬季或夏季對室內都有加熱的效果，而【老師角(Rb)】屋頂與【教學角(Ra)】屋頂無論是冬季或夏季都有隔熱的效果，而【教學角(Ra)】屋頂比【老師角(Rb)】屋頂的隔熱效果更好。從數據來觀察可以發現到冬季與夏季的隔熱效果，由好到壞分別是【教學角(Ra)】 > 【老師角(Rb)】 > 【午睡角(Rc)】。
- 【老師角(Rb)】屋頂與【教學角(Ra)】屋頂在夏季的平均溫度差比冬季的差值大，表示可能這兩種屋頂在冬季時比【午睡角(Rc)】屋頂還要有保溫的效果，在夏季時比【午睡角(Rc)】屋頂還要有隔熱效果。

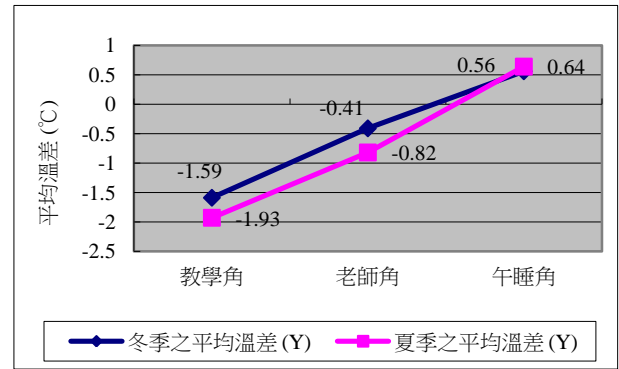


圖 11 幼稚園教室不同屋頂類型在冬夏兩季的平均溫度差對照圖

4.6 圖書教室室內環境因素對室內外溫度差的迴歸分析結果

圖書教室室內環境因素包括了：【屋頂種類】、【屋頂內表面溫度】、【門窗開啟情形】、【拍攝時間點】，把圖書教室室內環境因素視為自變項，依變項為室內外溫度差，冬夏兩季分別進行逐步多元迴歸分析來了解圖書教室室內環境因素跟室內外溫度差之間的關係。

4.6.1 圖書教室冬季多元迴歸分析的結果

本研究把屋頂內表面溫度、窗戶開啟情形、屋頂種類與拍攝時間做為預測變項（自變項），將室內外溫度差設為效標變項（依變項）。使用SPSS統計套裝軟體來進行逐步多元迴歸分析，總共有4個自變項被選取進入迴歸方程式中，分別為【南側窗戶全開－南側窗戶全關】對比組、【東側大門打開－東側大門關閉】對比組、【北側窗戶全開－北側窗戶全關】對比組與【屋頂內表面溫度】等變項。

【南側窗戶全開－南側窗戶全關】對比組、【東側大門打開－東側大門關閉】對比組、【北側窗戶全開－北側窗戶全關】對比組與【屋頂內表面溫度】，這4個自變項與依變項【室內外溫度差】的多元相關係數(R)為0.614，決定係數(R²)為0.377，調整後的決定係數為0.338，所以4個自變項可聯合解釋依變項【室內外溫度差】37.7%的變異量，有62.3%的變異量無法進行解釋。

表 8 圖書教室冬季預測室內外溫度差之逐步多元迴歸分析摘要表

進入的變項 順序	多元相關 係數(R)	決定係 數(R ²)	F 值	標準化迴 歸係數	t 值	顯著性
1.南側窗戶 全開－南 側窗戶全 關	0.478	0.228	19.832	-0.514	-3.220	.002
2.東側大門 打開－東 側大門關 閉	0.543	0.295	13.793	-0.296	-2.938	.005
3.北側窗戶 全開－北 側窗戶全 關	0.580	0.337	11.001	-0.312	-2.373	.021
4.屋頂內表 面溫度	0.614	0.377	9.669	0.295	2.025	.047

應變項：室內外溫度差

由表 8 可以得知，【南側窗戶全開－南側窗戶全關】對比組的 t 值為 -3.220，有達到顯著水準(p=.002)，對室內外溫度差的標準化迴歸係數 β 值為-0.514，其值為負，表示跟圖書教室在南側窗戶全關的情形相較之下，當南側窗戶全部打開（上側窗戶與下側窗戶都有打開）時會讓室內外溫度差降低；【東側大門打開－東側大門關閉】對比組的 t 值為-2.938，有達到顯著水準(p=.005)，對室內外溫度差的標準化迴歸係數 β 值為-0.296，其值為負，表示跟圖書教室在東側大門關閉的情形相較之下，東側大門打開會讓室內外溫度差降低；【北側窗戶全開－北側窗戶全關】對比組的 t 值為-2.373，有達到顯著水準(p=.021)，對室內外溫度差的標準化迴歸係數 β 值為-0.312，其值為負，表示跟圖書教室在北側窗戶全關的情形相比之下，當北側窗戶全部打開（上側窗戶與下側窗戶全都有打開）時會讓室內外溫度差降低；【屋頂內表面溫度】的 t 值為 2.025，有達到顯著水準(p=.047)，對室內外溫度差的標準化迴歸係數 β 值為 0.295，其值為正，表示當屋頂內表面溫度越高時，室內外溫度差就會越大。

由上可知當圖書教室在冬季時，在有開窗（南側窗戶全開、北側窗戶全開、東側大門打開）的情形下，能減少室內外溫度差，這可以減少建築外殼熱傳透的作用，能使室內溫熱環境避免過熱；當屋頂內表面溫度越高時，會使得室內外溫度差越大，這會增加建築外殼的熱傳透作用，使室內溫熱環境會容易產生過熱的現象。

將預測變項 β 值的絕對值由大到小來進行排列，分別是：【南側窗戶全開－南側窗戶全關】對比組為 0.514、【北側窗戶全開－北側窗戶全關】對比組為 0.312、【東側大門打開－東側大門關閉】對比組為 0.296、【屋頂內表面溫度】為 0.295。所以這 4 個預測變項中以【南側窗戶全開－南側窗戶全關】對比組對室內外溫度差的相對影響程度為最大；以【屋頂內表面溫度】對室內外溫度差的相對影響程度為最小。

4.6.2 圖書教室夏季多元迴歸分析的結果

本研究把屋頂內表面溫度、窗戶開啟情形、屋頂種類與拍攝時間做為預測變項（自變項），將室內外溫度差設為效標變項（依變項）。使用 SPSS 統計套裝軟體來進行逐步多元迴歸分析與相關分析，總共有 3 個自變項被選取進入迴歸方程式中，分別為【北側窗戶全開－北側窗戶全關】對比組、【北側窗戶半開－北側窗戶全關】對比組與【屋頂內表面溫度】等變項。

【北側窗戶全開－北側窗戶全關】對比組、【北側窗戶半開－北側窗戶全關】對比組、【屋頂內表面溫度】，這 3 個自變項與依變項【室內外溫度差】的多元相關係數(R)為 0.783，決定係數(R²)為 0.614，調整後的決定係數為 0.601，所以 3 個自變項可聯合解釋依變項【室內外溫度差】61.4%的變異量，有 38.6%的變異量無法進行解釋。

表 9 圖書教室夏季預測室內外溫度差之逐步多元迴歸分析摘要表

進入的變項順序	多元相關係數(R)	決定係數(R ²)	F 值	標準化迴歸係數	t 值	顯著性
1. 北側窗戶全開 - 北側窗戶全關	0.702	0.493	91.539	-0.692	9.597	.000
2. 北側窗戶半開 - 北側窗戶全關	0.763	0.583	64.919	-0.321	-4.8	.000
3. 屋頂內表面溫度	0.783	0.614	48.754	0.194	2.727	.008

依變項：室內外溫度差

由表 9 可以得知，【北側窗戶全開－北側窗戶全關】對比組的 t 值為 -9.597，達到顯著水準(p=.000)，對室內外溫度差的標準化迴歸係數 β 值為 -0.692，其值為負，表示跟圖書教室在北側窗戶全關的情形相較之下，當北側窗戶全開（上側窗戶與下側窗戶全都有打開）時會讓室內外溫度差降低；【北側窗戶半開－北側窗戶全關】對比組的 t 值為 -4.815，達到顯著水準(p=.000)，對室內外溫度差的標準化迴歸係數 β 值為 -0.321，其值為負，表示跟圖書教室在北側窗戶全關的情形相較之下，當北側窗戶半開（上側窗戶或下側窗戶其中一側有打開）時會讓室內外溫度差降低；【屋頂內表面溫度】的 t 值為 2.727，達到顯著水準(p=.008)，對室內外溫度差的標準化迴歸係數 β 值為 0.194，其值為正，表示當屋頂內表面溫度越高時，室內外溫度差就會越大。

由上可知當圖書教室在夏季時，在有開窗（北側窗戶全開或半開）的情形下，能減少室內外溫度差，這可以減少建築外殼熱傳透的作用，能使室內溫熱環境避免過熱；當屋頂內表面溫度越高時，會使得室內外溫度差越大，這會增加建築外殼的熱傳透作用，使室內溫熱環境會容易產生過熱的現象。

將預測變項 β 值的絕對值由大到小來進行排列，分別是：【北側窗戶全開－北側窗戶全關】對比組為 0.692、【北側窗戶半開－北側窗戶全關】對比組為 0.321、【屋頂內表面溫度】為 0.194。所以這 3 個預測變項中以【北側窗戶全開－北側窗戶全關】對比組對室內外溫度差的相對影響程度為最大；以【屋頂內表面溫度】對室內外溫度差的相對影響程度為最小。

伍、結論

5.1 圖書教室與幼稚園教室不同屋頂的隔熱效果

本研究在圖書教室中不同屋頂之隔熱效果的發現，可以知道保麗龍是一種有效的隔熱材，含有保麗龍的斜板屋頂之隔熱效果，比鋼筋混凝土的尖角屋頂和由鍍鋅鋼板、木夾板、靜止空氣層與鋼筋混凝土所組成的反摺板屋頂為佳。在幼稚園教室的研究中發現，有進行綠化的屋頂（教學角屋頂和老師角屋頂），在冬夏兩季的隔熱效果是比沒有綠化的屋頂（午睡角屋頂）要來得好，而且在有綠化的屋頂在夏季時的隔熱效果比冬季要來得明顯（教學角屋頂在冬季時的內表面溫度平均低戶外氣溫約 1.59℃，夏季平均低戶外氣溫約 1.93℃；冬季時老師角屋頂平均低約 0.41℃，夏季平均低約 0.82℃），其中教學角屋頂因為有流動空氣層所以隔熱效果又較老師角屋頂為佳。若能善加使用保麗龍、花架、流動空氣層與覆土的手法來設計建築外殼的屋頂時，應能使屋頂的隔熱效果較好。

5.2 圖書教室室內環境因素對室內外溫度差的影響

本研究發現到在圖書教室的室內環境因素中，窗戶的開啟和屋頂內表面溫度是會顯著影響到圖書教室的室內外溫度差；由迴歸分析的結果來看，屋頂內表面溫度越高會使室內溫度越高，而適當的開窗將有助於室內外溫度差的降低，使建築消耗能源的量減少，由此可知屋頂隔熱和自然通風對室內溫熱環境都會有影響。

陸、參考文獻

- [1] 林憲德，人居熱環境。臺北市：詹氏書局，2009。
- [2] 經濟部能源局。（2013年，10月23日）。2013 能源小知識手冊 [Online]。取自 http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/wHandMenuFile.ashx?menu_id=2103
- [3] 臺灣電力公司。（2013年，10月23日）。建築物節約能源簡介 [Online]。Available:http://www.taipower.com.tw/TaipowerWeb/upload/files/2/building_place_electricity.pdf
- [4] 江哲銘，建築物理。臺北市：三民書局，2012。
- [5] 湯志民，“教室情境對學生行為的影響”，教育研究雙月刊，no. 23，pp. 44-53，Feb. 1992。Available:<http://www3.nccu.edu.tw/~tangcm/doc/2.html/article/D17.pdf>
- [6] 劉華嶽，紅外線熱像儀在建築節能減碳上之應用-理論、應用層面、實務案例。臺北市：詹氏書局，2009。
- [7] 周伯丞、江哲銘、張桂鳳、郭怡君，“台灣地區室內溫熱環境改變對於課業學習及工作效率心理滿意度影響之探討”，建築學報，no. 67，pp. 25-40，Mar. 2009。
- [8] R. L. Hwang, T. P. Lin and N. J. Kuo, “Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan,” *Energy and Buildings*, vol. 38, no. 1, pp. 53-62, Jan. 2006. Doi: 10.1016/j.enbuild.2005.05.001
- [9] W. Zeiler and G. Boxem, “Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter,” *Building and Environment*, vol. 44, no. 11, pp. 2308-2317, Nov. 2009. Doi: 10.1016/j.buildenv.2009.05.005
- [10] K. Ito and S. Murakami, “Cost-effectiveness analysis of improved indoor temperature and ventilation conditions in school buildings,” *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 523-529, Nov. 2010. Doi: 10.3130/jaabe.9.523
- [11] 嚴佳茹、廖霖梅、李維倫、廖明誠、何昆錡、蔡政融、鄭政利，建築物外遮陽暨屋頂隔熱設計參考手冊。新北市：內政部建築研究所，2008。
- [12] 廖鴻一，利用紅外線熱像解析都市敷地及建築外殼熱特性之研究，國立臺灣科技大學工程技術研究所建築學程碩士論文，中華民國八十八年。
- [13] 謝雲金，FRP 成型板應用於 RC 屋頂防水隔熱性能之探討，中華大學營建管理研究所碩士論文，中華民國九十四年六月。
- [14] 蘇榮宗，屋頂植草覆土層熱效應之研究，國立高雄大學都市發展與建築研究所碩士論文，中華民國九十八年一月。
- [15] 許克維，永續校園局部改造計畫之屋頂隔熱效益研究-以臺中市學校為例，朝陽科技大學建築系建築及都市設計碩士論文，中華民國一〇二年七月。
- [16] R. B. C. Sales, F. A. Sales, S. G. Tavares, R. M. D. Andrade and M. T. P. Aguiar, “Thermal analysis of structural masonry in concrete block containing expanded polystyrene (EPS) using digital infrared thermal image,” presented at 10th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Canada, Jul. 2010. Available: <http://qirt.gel.ulaval.ca/archives/qirt2010/papers/QIRT%202010-120.pdf>
- [17] A. Dimoudi, A. Androutopoulos and S. Lykoudis, “Summer performance of a ventilated roof component,” *Energy and Buildings*, vol. 38, no. 6, pp. 610-617, Jun. 2006. Doi: 10.1016/j.enbuild.2005.09.006
- [18] D. Borge-Diez, A. Colmenar-Santos, C. Pérez-Molina and M. Castro-Gil, “Passive climatization using a cool roof and natural ventilation for internally displaced persons in hot climates: Case

- study for Haiti,” *Building and Environment*, vol. 59, pp. 116-126, Jan. 2013. Doi: 10.1016/j.buildenv.2012.08.013
- [19] 林憲德，綠色魔法學校：傻瓜兵團打造零碳綠建築。臺北市：新自然主義，2010。
- [20] I. Jaffal, S. E. Ouldboukhitine and R. Belarbi, “A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance,” *Renewable Energy*, vol. 43, pp. 157-164, Jul. 2012. Doi: 10.1016/j.renene.2011.12.004
- [21] 苗沛元，現代紅外線系統工程實務。臺北市：東華，2009。
- [22] 景興電腦科技有限公司。（2013年，10月20日）。NEC Avio TVS-200EX 紅外線遙測溫度熱像分析儀的介紹 [Online]。Available:<http://www.chct.com.tw/tvs/tvs.htm>
- [23] 吳明隆、涂金堂，SPSS 與統計應用分析（修訂版）。臺北市：五南，2006。

作者簡介

陳澄世 (Ying-Shih Chen)：目前在國立臺南大學生態科學與技術學系擔任助理教授，她在 1987 年畢業於中國文化大學森林系，之後分別在 1995 年和 2001 年於德國柏林工業大學 (Technische Universität Berlin) 的都市暨區域計畫研究所取得工程碩士學位與工程博士學位。她的專長研究領域是都市設計（建築設計準則制定、部落建築研究、部落家屋測量與記錄）；區域計劃（觀光部門發展規劃、地區旅遊規劃、部落家屋環境文化探討）；生態旅遊（生態旅遊評鑑與認證、旅遊環境監測、生態解說與導覽）。

洪晟育 (Chen-Yu Hong)：目前為國立臺南大學生態科學與技術學系生態旅遊碩士班的學生。

HyWeb