

## 建築屋頂與牆之節能及經濟效益研究

### The Study of Energy Conservation and Economic Benefits of the Architecture Roof and Wall

明道大學景觀設計學系  
助理教授

張源修\*

Yuan-Hsiou Chang

台灣大學生物環境系統工程研究所  
碩士

謝恩倉

En-Chang Hsieh

台灣大學生物環境系統工程系  
副教授

侯文祥

Wen-Shang Hou

#### 摘 要

建築物外殼的隔熱性能不佳，造成空調使用之耗能負荷增加，而發電廠負擔增大，所排出之二氧化碳等溫室氣體增多則是造成室溫效應的主因。本研究以臺灣市售常用之建築外殼材料作為研究對象，實驗以複層之構造方式進行，並與國外複層材料比較，探討隔熱性及經濟性之效益評估。建築材料之實體試驗，係使用國內 10 種單層外殼材料及組成 25 組複層材料與國外 4 種複層外殼材料等模組，依內政部建築研究所之熱傳導計測標準，建立各模組資料，比較複層材料之降溫、隔熱、隔濕及經濟性等差異。經由實證數據成果，可作為政府推動綠建築設計的基礎資料。結果得知以隔熱為主的複層材料，可選擇(雨淋板加塑鋼中空板加氧化鎂板)及(中空水泥板加傳統鋼承板(DECK)加氧化鎂板)兩組模組。若以防潮為主的複層材料，則可選擇(彩色鋼浪板加傳統鋼承板加矽酸鈣板)模組。因國外材料的單價皆比國內材料高。因此，可選擇國內生產之建材，以疊加方式施工，達到國外材料的節能能力。目前國內並無複層外殼材料的生產，建議綠建材製造廠商，可利用本研究成果，生產更有利之制式隔熱建材組合。

**關鍵詞：**綠建築，節能構造，複層外殼，輕鋼構。

#### ABSTRACT

Poor thermal insulation of material causes of the elevated room temperature. This reduces not only the comfortable of the environment, but also adds extra loading on the air conditioner. This study focused on the typical composite materials used in the building construction. The composite materials in this experiment were made from the stacking of single layer materials. The economy and the thermal insulation performance of these composite construction materials were investigated by comparing with other foreign

\*通訊作者，明道大學景觀設計學系，52345 彰化縣埤頭鄉文化路 369 號，F89622050@ntu.edu.tw

composite construction materials. 25 kinds of composite construction encasing materials made from the combination of 10 single layer encasing materials from Taiwan, as well as 4 types of foreign composite encasing materials were examined based on the thermal propagation evaluation standards by the Architecture and Building Research Institution. The data performed the thermal insulation, moist resistance, and economy evaluations for the materials. The results suggested that the most well-performed composite encasing materials in terms of thermal insulation ability are (flashing plus plastic-steel hollow plate plus magnesium plate) and (hollow concrete plate plus conventional DECK plus magnesium plate). On the other hand, the best composite encasing material in terms of moist resistance is (color corrugated plate plus conventional DECK plus calcium silicate board). The composite encasing materials made from Taiwan domestic single layer materials have demonstrated similar thermal insulation characteristic as that of the best foreign composite encasing material; therefore, the building construction could be the alternatives of foreign composite encasing material. Up to now, there is no composite encasing material manufacturer in Taiwan. Therefore, it is recommended that the green construction material manufacturers could take the results of this study as the reference to produce more useful and standardized thermal insulation composite materials.

**Keywords:** Energy saving construction, Multi covered envelope materials, Thermal insulation performance, Moist resistance, Green building material.

## 一、前 言

為減緩全球氣候暖化，行政院經濟建設委員會研擬綠建築相關法令，希望達到二氧化碳排放量於公元 2010、2020 年分別達到 16% 及 28% 減量之目標(以 1997 年為基準年)。目前，台灣的建築業多使用鋼筋混凝土(RC)結構，致使國內盜採砂石的情形一直無法改善。依據礦務局調查 1993 至 2006 年砂土石產銷結果及水利署許可開採量，台灣地區河川砂石年採取量佔年生產量 90%，不當濫採河川砂石將造成部份河段河床遽降，改變河相，並容易導致河堤基礎被掏空破壞(經濟部礦務局網站，2006)。而綠建築的做法，可減少砂石、水泥、骨材等建築材料的使用，更可以縮短工時與降低二氧化碳排放量(內政部建築研究所，2002)。

根據內政部建築研究所(2002)的資料顯示，台灣營建業耗能所排放的二氧化碳量超過全國總排放量的四分之一。另 2006 年主計處公佈，

2005 年底台灣人口密度在全球人口千萬以上國家中，僅次於孟加拉，排名第二。人口的擁擠加上生活品質提高，房屋空調及冷氣機設備已成家中不可或缺的基本配備，未來龐大的空調用電勢必讓台灣供電面臨壓力，為顧及環境保護及節約能源之觀念，有推行建築節能之必要性。

由建築物的隔熱性，來評估其能源耗用量時，主要的考慮對象是建築外殼(屋頂與牆)與外界接連的部件的隔熱效果。假設為維持室內溫度持續低於室外，則必須經由空調設備製造的冷氣達到平衡，其對應的能源耗用量也愈大。因此，依冷氣需求量的多寡，即可據以比較評估建材的隔熱效率及節能效率。

本研究擬依據建築外殼之熱傳導能力，分析市面上經常使用的建築外殼材料的熱傳透率與熱散發量，據以比較其隔熱效率及建築物的外殼耗能量，並分析各材料之節能效益及經濟性評估。另針對台灣各地區氣候特徵，提出適用的節能複層外殼材料選用建議。

## 二、文獻回顧

建築熱環境是由熱輻射、空氣溫度、空氣濕度、和氣流速度等四個參數綜合組成，它們共同構成影響生物熱感覺的周圍環境，也是建築外殼構造產生熱作用的基本參數(邱，2002)。通過建築外殼構造的太陽輻射熱獲得形成的冷房負荷即是外殼輻射熱獲得冷房負荷(Stoecker and Jones, 1982)。影響室外氣溫的主要因素有太陽輻射強度、氣流狀況、地面覆蓋情況以及地形等。其中太陽輻射的影響最大，隨輻射強度的不同，室外氣溫有明顯的年變化和日變化。(葉，1997)。「冷房度時」是指當地一年 8760 小時的逐時氣溫高於某一冷房基準溫度的全年累積值，代表當地氣候的炎熱程度。國內建築節能設計耗能指標 Envelope Load (簡稱 ENVLOAD)在全年冷房熱負荷公式中，以冷房度時乘以熱損失係數及偏迴歸係數，代表建築物外牆隔熱能力(陳，1996)。

空氣濕度是指空氣中水蒸氣的含量。相對濕度的大小對建築材料的受潮、外殼構造內表面的結露，以及人感覺的潮濕程度都有直接影響(葉，1997)。建築材料的透濕抵抗愈大，則愈不容易受潮，對於外殼構造內表面的熱橋現象，則愈不易發生，相對的對於外殼的隔熱性能則愈有益。通常除非有特殊的考慮，否則在建築上之應用均以考慮穩定熱傳導為主(陳，1996)。本研究外殼材料實驗計算亦以穩定熱傳導公式計算。

本研究以熱箱法(Hot Box Method, HBM)作為建築外殼材料隔熱性能研究之實驗方法。目前國外使用熱箱法來測定建築外牆建材的熱傳導係數(Thermal conductivity)  $k$  和熱貫流率  $U$  已有相當深入的實驗研究。另歸納熱傳導係數的檢測方法及類別，檢測方法則依 1. 依試體加熱形式、2. 依導熱過程、3. 依試體上傳導熱流的流向、4. 依試體的形狀、5. 依量測熱流量方式、6. 依熱流與時間的函數關係等類別區分。空氣中之水蒸氣含量愈大，則愈容易使其達到飽和狀態而結露，空氣中之溫度若低於露點溫度時也容易結露(陳，1996)。陳(1996)指出穩定透濕之計算其

理論與熱傳的行為相同，材料內的濕氣由水蒸氣壓高處往低處流動，其流動之方式則以水、水蒸氣、水蒸氣和水等三種方式進行。其計算法則如下式：

$$W = \frac{f_1 - f_2}{R'} A = U'(f_1 - f_2) A (g/h) \dots\dots\dots(2-1)$$

$$R' = \frac{1}{h_1'} + \sum r' + \sum r'_a + \frac{1}{h_2'} (m^2 h mmHg / g) \dots\dots(2-2)$$

$$U' = \frac{1}{R'} (g / m^2 h mmHg) \dots\dots\dots(2-3)$$

式中  $W$  = 濕流，又稱為透濕量(g/h)； $f_1$  = 高壓側之水蒸氣壓(mmHg)； $f_2$  = 低壓側之水蒸氣壓(mmHg)； $R'$  = 總濕阻，又稱為透濕抵抗( $m^2 h mmHg/g$ )； $U'$  = 濕傳透係數，又稱為透濕係數( $g/m^2 h mmHg$ )； $A$  = 壁表面積( $m^2$ )； $h_1'$  = 室外之濕傳透係數( $g/m^2 h mmHg$ )； $h_2'$  = 室內之濕傳透係數( $g/m^2 h mmHg$ )； $r'$  =  $d/k'$  = 濕阻( $m^2 h mmHg/g$ )； $r'_a$  = 空氣層之濕阻( $m^2 h mmHg/g$ )； $k'$  = 材料之濕傳導係數( $g/mh mmHg$ )； $d$  = 材料厚度(m)。

台灣環境氣溫方面，以 2006 年氣候統計資料顯示，與歷年資料相比，大部份氣象站皆進入設站以來同期最暖記錄的前五名排名之內，其中台北、台南、恆春、台東等幾個百年測站則更達到高溫排名的第二名(中央氣象局，2007)，顯示目前台灣的氣溫有逐漸暖化的趨勢。降雨量方面，2006 年春季後期及 5、6 月梅雨季期間各地雨量豐沛，7、8 月颱風季期間則以東部及南部的降水較為偏多。9 月份在東北季風與南方低壓共同影響下，北部及東北部降雨明顯，11 月至 12 月在鋒面及東北季風影響下，除了東北部地區外，對西部地區也產生了一些明顯降雨機會。年累積雨日方面，只有包含台中、嘉義、蘇澳等測站偏多，其他大部份測站為接近或少於歷年統計的氣候平均值，其中又以大武及恆春地區偏少程度最為顯著(中央氣象局，2007)。日照部分，阿里山地區 2006 年日照時數遠該站設站以來最少記錄；少數幾個日照偏多的測站主要位於東北部

及西南部地區，其中彭佳嶼、基隆、宜蘭、嘉義及高雄站在 2005 年同樣具有日照偏多情形(中央氣象局，2007)。由上述氣象資料顯示，次熱高濕區地區包括臺北、新竹、桃園、宜蘭的盆地和丘陵地區，及海拔 500 公尺以下之山麓地帶；炎熱高濕區包括沿海以外的台中、彰化、雲林、嘉義等縣的平原地區，以及台南、高雄、屏東等縣之近山麓丘陵帶和澎湖縣等地區；高熱高濕區以嘉義、台南、高雄、屏東、花蓮及台東等縣之東邊平原之狹長地帶區為主，以及屏東半島的東南部分；高熱次濕區以台南、高雄、屏東等縣沿海地區為主，以及大武附近沿海區。

台灣地區建築外殼材料之種類方面亦有許多論述，洪(2002)指出單層外殼方面，外牆構成可依構件組成及性能區分。前者係指外牆構成部位的組件，為壁體部主要構成層、底層與表面層三部份；後者係指外牆性能層與構造對應層的關係，為反射層、防水層、防風層、隔熱層、儲熱層、氣密層、防水蒸氣層及表面吸收層等共八層。外牆性能為『建築部位要求的機能』與『可實現的構法』之間的媒介(洪，2002)。複層外殼構造至今在國內仍無明確定義，但較廣義的說法，是依照多層的原則以內層、支持層、外層之構件所組成之立面系統。支持層的厚度，從 2 cm 至 200 cm 均有，其形式也可以由支持層的形式大致區分為透氣型、通風型、以及密閉空氣層三種類型。在外層材料的選擇上，則有許多的可能性：鋁金屬板、耐候性鋼板、強化玻璃纖維混凝土板(GRC)、蒸氣加壓混凝土板(ALC)、陶質板、磁磚複合板、石材複合板、玻璃等(顧，2002)。另外，在歐美國家近年來的複層外殼系統著重於外牆面的整體設計，支持層空間常會裝設可供調整的遮陽設置，亦提供了類似「煙囪效應」的熱浮力，因此，在室內自然通風的效果上，支持層的空間就扮演非常重要的地位(顧，2002)。由於台灣各個地區對隔熱性能要求不同，因此本研究依據不同形式的複層外殼構造系統組合，不同的表面材質以及不同的性能要求之相互運用並藉由實驗計測，期能建立資料，作為未來在外牆隔熱選用之依據。

外殼材料之力學行為方面，外牆所受的外力包含牆本身的自重，風壓力，外載之人、物重量及地震力等，因此其構造形式、設計強度均與上述外力狀況有密切相關。外牆依力學行為可分為承重牆與非承重牆兩類。承重牆主要承受樓板及屋頂傳遞的垂直荷重，以及牆體自重。此外除承受垂直荷重外，另承受水平荷重(風力及地震)，一般稱為『剪力牆』或『耐力壁』。非承重牆一般則只承受牆體自重與水平荷重(洪，2002)。

綜合以上論述，配合台灣自然環境條件，配合人體對於室溫之要求，為降低於夏季空調之耗能量必須提升建築外殼之隔熱性能，本研究以節能與經濟之觀點嘗試找出最佳化之建築外殼組合模組，提供亞熱帶國家參考。

### 三、材料與方法

#### 3.1 材料性質與模組型式

本研究針對國內目前常用的建築外殼材料，進行隔熱、節能及經濟性分析，依實驗裝置、實驗材料、實驗模組配置以及資料分析等步驟，分別依國內產品單層材料 10 組、組合成複層材料 25 組，且加入國外複合材料產品 4 組，共計 39 個材料模組之實驗計測，比較其降溫與隔熱性能差異。

所實驗之材料名稱及規格如表 3-1 所示。實驗模組組合材料的配置，係由表 3-2 中之單層材料進行組合配置，分別依外牆材、中間支承材及內牆材等按順序組合配置。在計測國內外單層與複層材料，得知隔熱結果較佳之材料模組後，再與目前普遍使用的水泥板比較，計算不同材料的隔熱性、抗濕性及經濟性之差異。

本實驗依外牆材、中間支承材、內牆材及國外材料等所使用之材料尺寸及物理性質、力學特性、單價分析等，由各產品型錄資料彙整於表 3-3 至表 3-6。

#### 3.2 建築外殼材料實體試驗

本研究裝置參考楊、簡(2000)與內政部建築研究所(2002)針對材料熱傳導係數計測之實驗等文獻設計而成。



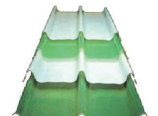
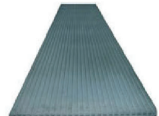
表 3-1 實驗材料名稱及規格(國內單層材及國外制式複層材)

代 號	材料名稱	尺寸(cm <sup>2</sup> )	適用範圍
a	透氣彩色鋼浪板	80×80	外牆材
b	雨淋板	80×80	外牆材
c	彩色鋼浪板	80×80	外牆材
d	中空水泥板	80×80	內外牆兼可
e	傳統鋼承板	80×80	中間支承
f	塑鋼中空板	80×80	中間支承
g	石膏板	80×80	內牆材
h	矽酸鈣板	80×80	內牆材
i	氧化鎂板	80×80	內牆材
j	烤漆金屬板加 100k 岩棉加烤漆金屬板	80×80	國外材料
k	烤漆金屬板加 2" 100k 岩棉加烤漆金屬板	80×80	國外材料
l	烤漆金屬板加 PU 加烤漆金屬板	80×80	國外材料
m	烤漆金屬板加工程用塑膠產生之空氣層 abs 加烤漆金屬板	80×80	國外材料
n	水泥板	80×80	內外牆兼可

表 3-2 實驗模組組合材料(國內複層材組合)

編號(NO)	代 號	材料名稱
1	a+e+d	透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加中空水泥板
2	a+e+g	透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加石膏板
3	a+e+h	透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加矽酸鈣板
4	a+e+i	透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加氧化鎂板
5	a+f+g	透氣彩色鋼浪板加塑鋼中空板加石膏板
6	a+f+h	透氣彩色鋼浪板加塑鋼中空板加矽酸鈣板
7	a+f+i	透氣彩色鋼浪板加塑鋼中空板加氧化鎂板
8	b+e+g	雨淋板加傳統鋼承板加石膏板
9	b+e+h	雨淋板加傳統鋼承板加矽酸鈣板
10	b+e+i	雨淋板加傳統鋼承板加氧化鎂板
11	b+f+g	雨淋板加塑鋼中空板加石膏板
12	b+f+h	雨淋板加塑鋼中空板加矽酸鈣板
13	b+f+i	雨淋板加塑鋼中空板加氧化鎂板
14	c+e+g	彩色鋼浪板加傳統鋼承板加石膏板
15	c+e+h	彩色鋼浪板加傳統鋼承板加矽酸鈣板
16	c+e+i	彩色鋼浪板加傳統鋼承板加氧化鎂板
17	c+f+g	彩色鋼浪板加塑鋼中空板加石膏板
18	c+f+h	彩色鋼浪板加塑鋼中空板加矽酸鈣板
19	c+f+i	彩色鋼浪板加塑鋼中空板加氧化鎂板
20	d+e+g	中空水泥板加傳統鋼承板加石膏板
21	d+e+h	中空水泥板加傳統鋼承板加矽酸鈣板
22	d+e+i	中空水泥板加傳統鋼承板加氧化鎂板
23	d+f+g	中空水泥板加塑鋼中空板加石膏板
24	d+f+h	中空水泥板加塑鋼中空板加矽酸鈣板
25	d+f+i	中空水泥板加塑鋼中空板加氧化鎂板

表 3-3 外牆(層)材料性質表

項目 \ 種類		透氣彩色鋼浪板	雨淋板	彩色鋼浪板	中空水泥板	ALC板(高壓蒸養輕質加氣混凝土)
圖示		 孔隙比：0.5%				Autoclaved Lightweight Concrete
材料特性	厚度(cm)	0.5	0.65	0.3	2	0.75
	質量(kg/m <sup>2</sup> )	150	20	200	75	500
	材質組成	電鍍鋼板	PU 發泡板	電鍍鋼板	水泥、石棉	高壓輕質混凝土
	材料特點	鋼浪板具透氣孔	美觀性佳	跨度大、施工快	具空氣層 (厚 1.5 cm)	保溫、隔熱、 隔音、耐放射性
	施工性	◎	◎	◎	○	◎
	耐候性	◎	◎	◎	◎	◎
	耐火性	耐燃一級	耐燃一級	耐燃一級	耐燃一級	耐燃一級
	防水性	○	◎	○	○	○
	吸水性	○	○	○	◎	○
	隔音性	△	○	△	○	○(43db)
	隔熱性	◎	○	△	◎	◎(0.14w/m.k)
	耐衝擊	△	○	△	○	○
	吊掛性	△	○	△	○	○
	固著方式	螺栓/自攻螺絲	螺栓/自攻螺絲	螺栓/自攻螺絲	螺栓/自攻螺絲	螺栓/自攻螺絲
環保性(再生)	○	○	○	◎	◎	
力學特性	揚氏模數(kg/cm <sup>2</sup> )	23000	2200	23000	4000	
	張應力(kg/cm <sup>2</sup> )	450	130	450	365	
	壓應力(kg/cm <sup>2</sup> )	450	130	450	365	
材料單價(元/m <sup>2</sup> )		200	1045	182	2800	450
市場普遍性		◎	○	◎	◎	◎

註：◎ 極佳 ○ 佳 △ 尚可。

本研究整理

整個實驗箱體主要區分成室外側、室內側及試件三個部分，如圖 3-1 所示。

於箱體之室外側裝置一組加熱器及風扇，室內側則裝置冷卻器與風扇，且能獨立控制該側之空氣溫度及氣流速度。試件置於四周絕熱之支撐架(成口字形)中央，實驗進行時需將試件與支撐架間作成氣密狀態，以完全分隔室內側與室外側之氣流，使互相不影響兩邊之設定條件。室內側溫度可控制範圍為 5~40℃，穩態風速為 0~0.5 m/s。室外側溫度可控制範圍為 0~60℃，穩態風速為 0~3 m/s，最大風速可達 10 m/s。箱體內空氣溫度的控制，乃藉由加熱器與冷卻器相互搭配

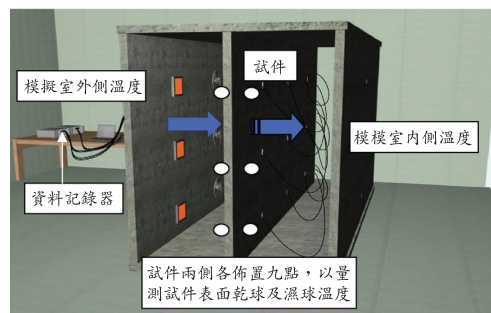
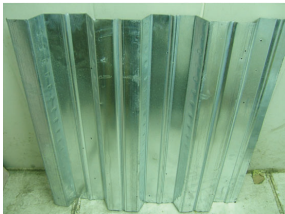



圖 3-1 實驗箱體示意圖

運轉，以達到精確的溫度調整與控制。加熱器係採用鹵素燈模擬熱輻射之加熱方式，藉由電源供

表 3-4 支撐層材料性質表

種類		傳統鋼承板(鋼承板)	塑鋼中空板
項目			
圖示			
材料特性	厚度(cm)	厚 1.5 cm，間距 5 cm	厚 0.8 cm，間距 7 cm
	質量(kg/m <sup>2</sup> )	19.9	15.6
	材質組成	鍍鋅鋼板	強化 pvc 不燃高分子成分
	材料特點	預鑄化/品質穩定	預鑄化/品質穩定
	施工性	◎	◎
	耐候性	◎	◎
	耐火性	耐燃一級	耐燃一級
	防水性	◎	○
	吸水性	○	○
	隔音性	○	◎
	隔熱性	◎	◎
	耐衝擊	◎	◎
	吊掛性	◎	◎
	固著方式	螺絲/自攻螺絲	螺絲/自攻螺絲
環保性(再生)	◎	◎	
力學特性	揚氏模數(kg/cm <sup>2</sup> )	2100000	2160000
	張應力(kg/cm <sup>2</sup> )	1400	1400
	壓應力(kg/cm <sup>2</sup> )	1400	1400
材料單價(元/m <sup>2</sup> )	520	1600	
市場普遍性	◎	◎	

註：◎ 極佳 ○ 佳 △ 尚可。


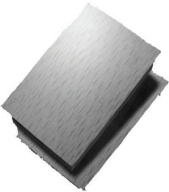
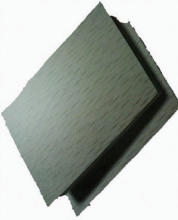

本研究整理

應器調整電流大小，以控制加熱量。冷卻器則由冷凍箱提供低溫，利用控制面板來調節箱體內部空氣之溫度。在氣流條件的控制方面，則直接使用變頻器控制風扇的轉速以達到所要求之風速。

本實驗在恆溫室及加熱箱的溫度以模擬台灣夏季高溫為實驗範圍值，溫度控制自  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ~  $40^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ，低溫處則控制在  $10 \pm 1^\circ\text{C}$  以上之溫度，並對加熱箱空氣、恆溫室空氣及低溫室空氣進行溫度測定，再量測外殼材料試體之表面溫、濕度，以了解不同溫度對隔熱之影響。本實驗使用資料收集器(data logger)為美國 Campbell

Scientific 公司出產之 CR-10X 資料收集器，具有多種信號輸出輸入形式，且有自動計測與記錄儲存的能力，主要為記錄儀器感測的電壓。實驗所用量測儀器為 T-type 熱電偶線(Thermocouple)量測乾、濕球溫度，TES-1360 數位式溫濕度計，量測環境濕度。計測步驟如下：將 T-type 熱電偶線，進行冷、熱校正；於恆溫室內進行實驗箱體的建置；為確保模型屋不受外界環境干擾，進行模型屋的對照測試實驗。以熱電偶線和溫濕度計測量佈點的溫度與溼度，藉 CR-10X 記錄其資料，供日後比對所用；實驗開始。將熱電偶之熱

表 3-5 支撐層材料性質表

項目 \ 種類		石膏板	矽酸鈣板	氧化鎂板	中空水泥板
圖示					
材料特性	厚度(cm)	1	0.6	0.6	2
	質量(kg/m <sup>2</sup> )	1.1	1.16	1.04	75
	材質組成	天然石膏、原紙	氧化鈣、石英	氧化鎂 (MgO)、 氯化鎂 (MgCl <sub>2</sub> )、 纖維質材料	水泥、石棉
	材料特點	天然石膏、無污染	防火無毒無煙	板材柔韌有富彈性	具空氣層(厚 1.5cm)
	施工性	◎	◎	◎	○
	耐候性	○	3~4 級(CNS3839)	○	◎
	耐火性	耐燃一級(CNS6532)	耐燃一級(CNS6532)	耐燃一級(CNS6532)	耐燃一級
	防水性	0.6% (CNS4459)	8.64% (CNS3903)	8.8% (CNS3903)	○
	吸水性	◎	46.34% (CNS13778)	36.7% (CNS13778)	
	隔音性	○	55db	○	○
	隔熱性	0.057	0.0916(CNS7333)	0.094(CNS7333)	◎
	耐衝擊	○	◎(CNS13788)	○	○
	吊掛性	△	○	△	○
	固著方式	自攻螺絲	自攻螺絲	自攻螺絲	螺栓/自攻螺絲
環保性(再生)	◎	◎	◎	◎	
力學特性	揚氏模數(kg/cm <sup>2</sup> )	8300	8770	8400	4000
	張應力(kg/cm <sup>2</sup> )	150	180	397.5	365
	壓應力(kg/cm <sup>2</sup> )	150	180	397.5	365
材料單價(元/m <sup>2</sup> )		80	135	80	2800
市場普遍性		◎	◎	◎	◎

註：◎ 極佳 ○ 佳 △ 尚可。

本研究整理


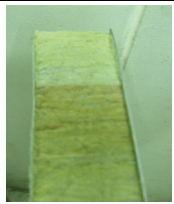
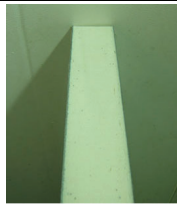
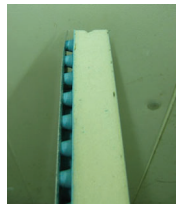
接點利用防水膠帶貼於加熱箱及冷卻箱之表面中央各 1 處；於加熱箱與 卻箱之間，放置 1 個材料試件，並固定整個實驗箱體；固定後，利用防水膠帶防止試件側面的空氣對流；達到模擬室外溫度 25°C 以上之穩定狀態後，測定溫 及主加熱器之電力。穩定狀態係指於不變更主加熱器之設定電力下，每 1 小時試樣之溫度差不致變動 1% 以上之狀態；每隔 1 分鐘由資料記錄器接收一筆實驗數據，所得的實驗溫度室外側大於 40°C 室內

側小於 10°C 時即結束試驗；進行數據分析，計算試件的隔熱性；待恆溫室內部溫度回復常溫時，才能進行下一組實驗，以減少熱量累積造成實驗數據偏差。

本研究將各材料單品編號由 a 至 n 共 14 組及由單品材料組成複合材料編號 1~25 共 25 組，進行量測實驗。以下針對實驗模組測點配置加以說明。熱電偶線佈置參考 CNS10523 所述操作。外殼材料結構力學分析方面，為探討所選用



表 3-6 國外材料性質表

項目 \ 種類	金屬浪板加 4"100k 岩棉加金屬浪板	烤漆金屬板加 2"100k 岩棉加烤漆金屬板	烤漆金屬板加 pu 加烤漆金屬板	烤漆金屬板加工程用塑膠 abs 加烤漆金屬板	
圖示					
材料特性	厚度(cm)	5.2	5.2	5.2	5.2
	質量(kg/m <sup>2</sup> )	16.65	16.65	16.65	16.65
	材質組成	鋼板+隔熱材	鋼板+隔熱材	鋼板+隔熱材	鋼板+隔熱材
	材料特點	複層三明治板	複層三明治板	複層三明治板	複層三明治板
	施工性	◎	◎	◎	◎
	耐候性	◎	◎	◎	◎
	耐火性	耐燃一級	耐燃一級	耐燃一級	耐燃一級
	防水性	◎	◎	◎	◎
	吸水性	◎	◎	◎	◎
	隔音性	○	○	○	○
	隔熱性	◎	◎	◎	◎
	耐衝擊	◎	◎	◎	◎
	吊掛性	○	○	○	○
固著方式	螺栓/自攻螺絲	螺栓/自攻螺絲	螺栓/自攻螺絲	螺栓/自攻螺絲	
環保性(再生)	◎	◎	◎	◎	
力學特性	揚氏模數(kg/cm <sup>2</sup> )	2100000	2100000	2100000	2100000
	張應力(kg/cm <sup>2</sup> )	2100	2100	2100	2100
	壓應力(kg/cm <sup>2</sup> )	2100	2100	2100	2100
材料單價(元/m <sup>2</sup> )	800	2100	2100	2100	
市場普遍性	△	△	△	△	

註：◎ 極佳 ○ 佳 △ 尚可。

資料來源：德沃企業有限公司

複層外殼(外牆材加支撐材加內牆材)各材料及模組於不同組合下之力學行為，本研究利用表 3-3 至表 3-6 廠商提供之單層材料應力數據，並以轉換斷面法(陳，1993)作為分析計算方式，以瞭解複層外殼不同模組之實際應力行為。而複層外殼力學行為類似帷幕牆之特性，故垂直牆板面上一般以風力作為主要探討對象，地震力部分只要考慮牆體接合處之層間變位即可。因此，本研究計算 25 組複層外殼模組應力行為，可作為結構技師利用本研究成果於實務計算時，計算外殼抵抗風壓及層間變位之計算依據。

## 四、結果與討論

### 4.1 隔熱性能評估

隔熱能力數值愈大表示其隔熱性能愈佳。表 4-1 中編號由 a 至 n 為單層外殼材料，複層外殼材料為模組 1-25。其中單層外殼材料，編號 j、k、l 及 m 等四種為國外材料，雖為複層材；但因爲制式化生產，因此仍為單層材料。比較單層模組中之隔熱能力顯示：

1. 各模組中以編號 k (烤漆金屬板加 2"100k 岩棉加烤漆金屬板)的隔熱能力最佳，為 67%；其

表 4-1 外殼材料隔熱能力比較

材料種類	平均溫度(°C)		相對濕度 (RH) (%)		室內外側熱焓 (kJ/kg)		隔熱能力 (%)	透濕量 W (g/h)	Q (W)
	室外側空氣	材料室內側	室內外初濕度	室內末濕度	室外側	室內側			
a. 透氣彩色鋼浪板	26.1	19.8	98.2	55.1	80.2	39.4	50.93	0.015	247.68
b. 雨淋板	29.8	19.3	46.5	34.7	61.1	31.7	48.23	0.007	0.232
c. 彩色鋼浪板	29.0	19.2	61.6	26.3	68.7	28.5	58.53	0.015	313.92
d. 中空水泥板	27.4	27.1	98.7	97.1	85.8	83.9	2.31	0.034	1.075
e. 傳統鋼承板	28.3	20.4	98.5	33	90.3	33.0	63.46	0.020	374.4
f. 塑鋼中空板	34.3	21.4	71.7	54.3	97.9	43.5	55.57	0.012	0.369
g. 石膏板	25.7	24.5	99	94	75.9	73.5	3.17	1.622	0.316
h. 矽酸鈣板	26.9	16.8	91.4	39	79.5	28.6	64.09	0.283	1.588
i. 氧化鎂板	31.1	25.6	76.8	58.7	87.7	56.4	35.69	0.238	0.676
j. 烤漆金屬板加 100k 岩棉加烤漆金屬板	31.5	21.0	83.6	36.9	94.8	35.5	62.53	0.025	518.63
k. 烤漆金屬板 2''100k 岩棉加烤漆金屬板	27.3	11.7	97	73	84.4	27.4	67.57	0.018	801.01
l. 烤漆金屬板加 PU 加烤漆金屬板	28.2	12.7	93.4	75.1	86.4	30.1	65.18	0.010	1019.95
m. 烤漆金屬板加工程用 塑膠產生之空氣層 abs 加烤漆金屬板	28.6	12.3	58.7	84.7	65.5	31.4	52.13	0.051	1018.27
1. (a+e+d)	27.9	23.1	99	92	88.6	65.0	26.72	0.003	505.574
2. (a+e+g)	25.8	17.8	95.5	79	77.1	43.4	43.73	0.008	513.608
3. (a+e+h)	25.8	18.1	96	78.5	77.3	44.0	43.07	0.006	490.525
4. (a+e+i)	28.0	23.4	93	90	85.0	65.0	23.48	0.011	449.879
5. (a+f+g)	30.8	24.0	94	89	95.5	69.2	27.59	0.003	263.303
6. (a+f+h)	34.4	20.4	38	25	57.6	33.9	41.12	0.012	422.442
7. (a+f+i)	32.2	24.7	96	76	108.1	62.5	42.20	0.005	254.341
8. (b+e+g)	32.3	22.2	99	69	111.7	51.7	53.74	0.005	312.422
9. (b+e+h)	28.6	17.9	94	76	88.8	42.5	52.15	0.010	387.635
10. (b+e+i)	33.2	20.8	98	82	115.6	52.8	54.29	0.010	447.888
11. (b+f+g)	29.0	15.3	94	72	90.2	35.1	61.14	0.005	2.414
12. (b+f+h)	36.3	25.8	97	94	134.8	76.2	43.44	0.012	2.031
13. (b+f+i)	32.3	20.4	95	70	108.0	47.1	56.38	0.006	1.786
14. (c+e+g)	30.0	18.2	93	75	94.7	43.2	54.43	0.017	819.465
15. (c+e+h)	31.6	19.0	95	53	104.0	37.5	63.94	0.001	894.486
16. (c+e+i)	33.3	20.8	97	65	115.8	46.2	60.06	0.010	940.132
17. (c+f+g)	30.5	20.4	92	74	96.5	48.7	49.51	0.012	355.893
18. (c+f+h)	28.0	19.5	94	72	85.7	45.5	46.87	0.008	353
19. (c+f+i)	25.9	12.0	93	75	76.4	28.4	62.76	0.003	508.682
20. (d+e+g)	30.5	21.4	97	85	100.2	56.0	44.14	0.023	332.455
21. (d+e+h)	33.5	21.1	91	74	111.3	50.7	54.46	0.016	423.660
22. (d+e+i)	32.0	17.8	99	62	110.0	37.8	65.61	0.008	499.610
23. (d+f+g)	27.4	16.5	94	75	83.0	38.9	53.18	0.006	8.985
24. (d+f+h)	36.0	23.8	92	84	127.1	63.6	49.96	0.012	10.472
25. (d+f+i)	30.8	20.1	95	70	100.1	46.3	53.76	0.009	8.356

次為編號 j (烤漆金屬板加 100k 岩棉加烤漆金屬板)的 62.5%，兩者均為國外材料。而隔熱能力最差的為編號 g (石膏板)的 3.2%，這個結果與一般使用者對石膏板的隔熱能力較鋼板為佳的印象不符，推斷應為石膏板的透濕抵抗較差，即較其他材料易吸收空氣中的濕氣，而使熱傳透率提高，隔熱性能降低所致。

- 國內生產的單層材料中，以編號 h (矽酸鈣板)的隔熱能力最佳，為 64.1%；其次為編號 e (傳統鋼承板)的 63.5%；隔熱能力最差的為編號 g (石膏板)。
- 國內的複層材料中則以編號 22 (中空水泥板加傳統鋼承板加氧化鎂板)的隔熱能力最佳，為 65.6%；其次為隔熱能力 63.9%的材料，編號 15 (彩色鋼浪板加傳統鋼承板加矽酸鈣板)；隔熱能力最差的為編號 4 (透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加氧化鎂板)的 23.5%。

外殼材料透濕量之計算結果整理結果發現，編號 j、k、l 及 m 等四種國外材料的透濕量皆不高，表示其除了具有隔熱能力外透濕抵抗亦佳。以編號 l (烤漆金屬板加 PU 加烤漆金屬板)的透濕抵抗最佳，為 0.010 g/h；其次為編號 k (烤漆金屬板加 2"100k 岩棉加烤漆金屬板)的 0.018 g/h。國內生產的單層材料中，以編號 b (雨淋板)的透濕量最小為 0.007 g/h；其次為編號 f (塑鋼中空板)的 0.012 g/h；透濕量最大的為編號 g 的石膏板為 1.62 g/h。複層材料中則以編號 1 (透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加中空水泥板)、編號 5 (透氣彩色鋼浪板加塑鋼中空板加石膏板)及編號 19 (彩色鋼浪板加塑鋼中空板加氧化鎂板)的透濕量最小皆為 0.003 g/h；透濕抵抗最差的為編號 20 (中空水泥板加傳統鋼承板加石膏板)的 0.023 g/h。

外殼材料輻射熱獲得冷房負荷比較計算結果得知，實驗箱體冷房負荷與總熱傳透率成正比，總熱傳透率越高外殼輻射熱獲得冷房負荷越大。由外殼材料輻射熱獲得冷房負荷計算結果得知，Q 值愈大，表示外殼材料的冷房負荷愈大。其中，編號 j、k、l 及 m 等四種為國外材料。各材料中以編號 l (烤漆金屬板加 PU 加烤漆金屬板)

的冷房負荷最大，為 1019.95 W；其次為編號 m (烤漆金屬板加工程用塑膠產生之空氣層 abs 加烤漆金屬板)的 1018.27W；而冷房負荷最小的為編號 b (雨淋板)的 0.23W。國內生產的單層材料中，以編號 b (雨淋板)的冷房負荷最小；其次為編號 g (石膏板)的 0.32W；冷房負荷最大的為編號 e (傳統鋼承板)。複層材料中則以編號 16 (彩色鋼浪板加傳統鋼承板加氧化鎂板)的冷房負荷最大，為 940.13 W；其次為冷房負荷 894.49 W 的材料，編號 15 (彩色鋼浪板加傳統鋼承板加矽酸鈣板)；冷房負荷最小的為編號 13 (雨淋板加塑鋼中空板加氧化鎂板)的 1.79 W。得知，採用同外殼建材後會產生同之隔熱效果，隔熱性能佳，透濕抵抗不一定好；透濕抵抗好的建材，冷房負荷不一定低；因此需配合建築物所在的氣候環境，選擇適合的外殼材料。若當地氣候條件以隔熱為主要因子，則需選擇隔熱能力佳且冷房負荷低的外殼材料；若以防潮為主的設計，則應選擇透濕抵抗較高的外殼材料。

綜合上述，可知以隔熱為主的複層材料，可選擇編號 13 及 22 兩組模組。若以防潮為主的複層材料，則可選擇編號 15 的模組。值得注意的是，國外材料只有 j、k、l、m 四種作比較，但是其不論隔熱能力或外殼輻射熱獲得，皆比國內產品複層材料的最佳效果更為優異。表 4-2 依其最佳順序作比較，如以隔熱能力來說，國外材料隔熱能力最佳的為編號 k 的 67.57%；國內產品單層材料隔熱能力最佳的為編號 h 的 64.09%；國內產品複層材料隔熱能力最佳的為編號 22 的 65.61%。兩相比較約差了 2%~3.5%。惟國外材料的單價成本較國內材料高。因此，希望能利用國內材料的複層疊加的效果，計算是否能產生相同的效益，達到節省成本的功效，此為本研究最終之目的。

#### 4.2 節能與經濟效益評估

目前國內一般使用的建築外牆材，大部分以鋼筋水泥為主。由表 4-3 實驗模組熱獲得量比較，水泥板的熱獲得量 51.2 KJ，較編號 h28.6 KJ 的矽酸鈣板高出 22.6 KJ，隔熱能力減少了

表 4-2 建築外殼材料綜合評估表

材料種類	材料種類	隔熱能力	外殼輻射熱獲得	透濕抵抗
最佳	國外材料	編號：k	編號：j	編號：l
	單一材料	編號：h	編號：b	編號：b
	複層材料	編號：22	編號：13	編號：15
次佳	國外材料	編號：j	編號：m	編號：k
	單一材料	編號：e	編號：g	編號：f
	複層材料	編號：15	編號：15	編號：1、5、19
最差	國外材料	編號：m	編號：l	編號：m
	單一材料	編號：g	編號：e	編號：g
	複層材料	編號：4	編號：16	編號：20

表 4-3 實驗對照模組熱獲得量比較表

對照模組	熱獲得量(KJ)	熱阻(w/m <sup>2</sup> /k)	隔熱能力(%)		
水泥板	51.2	1.4	47		
範例模組	熱獲得量(KJ)	熱阻(m.k/w)	熱獲得量百分比	熱獲得減少百分比	隔熱能力(%)
h(國內單層材料)	28.6	0.17	55.9	44.1	64.1
K(國外材料)	27.4	90	53.6	46.4	67.6
22(國內複層材料)	37.8	45.9	73.8	26.2	65.6

表 4-4 實驗對照模組外殼輻射熱獲得量冷房負荷比較表

對照模組	冷房負荷(w)	熱傳透率(w/m <sup>2</sup> /k)		
水泥板	13.08	1.4		
範例模組	冷房負荷(w)	熱傳透率(w/m <sup>2</sup> /k)	冷房負荷百分比	冷房負荷減少百分比
b(國內單層材料)	0.23	0.03	1.8	98.2
j(國外材料)	518.6	90.04	61.4	38.6
13(國內複層材料)	1.79	0.18	13.7	86.3

17.1%。而複層材料與隔熱性最佳的國外材料，相差不大。因此，可利用國內的複層材料來替代國外材料的使用。

再將外殼輻射熱獲得量最佳的實驗模組與水泥板作比較(表 4-4)，以編號 b (0.23 W) 的雨淋板冷房負荷最低，表示所需的耗能較低，比起水泥板冷房負荷減少 98.2%，複層材料也比水泥板冷房負荷減少 86.3%。

建築物外殼節能設計評估方面，依據中央氣象局的實測資料，針對台灣地區依「冷房度時」(Cooling Degree Hours)和「日年平均相對濕度」做為建築之氣候分區指標，此分區同時兼顧全年室外冬、夏季節氣候條件差異，及梅雨季節造成

的濕潤感覺及人體環境等舒適性因素。將台灣地區分成(1)次熱高濕區，(2)炎熱高濕區，(3)高熱高濕區，(4)高熱次濕區，等四大建築氣候區。表 4-5 為外殼材料最佳模組之單價及建議使用分區表。模組編號 22 為國內生產材料隔熱性能最佳之模組，可適用於各個氣候分區，但是若以單價為考量，則以編號 15 之模組較為合適。在防潮隔濕方面，不論單價及隔濕性能，皆以編號 15 之模組最為合適。

以國內外之建築外殼材料之經濟性作比較，依表 4-6 及表 4-7 所示。若以隔熱性為主要設計重點，則單層材料的矽酸鈣板及雨淋板為最佳材料，但是單價部分雨淋板則比矽酸鈣板多出

表 4-5 外殼材料最佳模組單價及建議使用分區表

氣候分區	項目		單價(元/m <sup>2</sup> ) 材料加工費	隔濕模組	單價(元/m <sup>2</sup> ) 材料加工費	建議使用分區
	隔熱模組	編號				
次熱高濕區	1	編號：22	3400	編號：15	837	臺北、新竹、桃園、宜蘭的盆地和丘陵地區，及海拔 500M 以下之山麓地帶。
	2	編號：15	837	編號：1、5、19	1.3520 2.1880 3.1917	
炎熱高濕區	1	編號：22	3400	編號：15	837	沿海以外的台中、彰化、雲林、嘉義等縣的平原地區，以及台南、高雄、屏東等縣之近山麓丘陵帶和澎湖縣等地區。
	2	編號：15	837	編號：1、5、19	1.3520 2.1880 3.1917	
高熱高濕區	1	編號：22	3400	編號：15	837	以嘉義、台南、高雄、屏東等縣之東邊平原之狹長地帶區為主，以及屏東半島的東南部分。
	2	編號：15	837	編號：1、5、19	1.3520 2.1880 3.1917	
高熱次濕區	1	編號：22	3400	編號：15	837	以台南、高雄、屏東等縣沿海地區為主，以及大武附近沿海區。
	2	編號：15	837	編號：1、5、19	1.3520 2.1880 3.1917	

表 4-6 實驗材料名稱、規格及材料單價

代號	材料名稱	尺寸(cm)	適用範圍	厚度(cm)	材料單價(元/m <sup>2</sup> )
a	透氣彩色鋼浪板	80×80	外牆材	0.5	200
b	雨淋板	80×80	外牆材	0.65	1045
c	彩色鋼浪板	80×80	外牆材	0.3	182
d	中空水泥板	80×80	內外牆兼可	2	2800
e	傳統鋼承板	80×80	中間支承	T = 1.5/W = 0.5	520
f	塑鋼中空板	80×80	中間支承	7	1600
g	石膏板	80×80	內牆材	1	80
h	矽酸鈣板	80×80	內牆材	0.6	135
i	氧化鎂板	80×80	內牆材	0.6	80
j	水泥板	80×80	內外牆兼可	1.2	190
k	烤漆金屬板加 4"100k 岩棉加烤漆金屬板	80×80	國外材料	5.2	600-800
l	烤漆金屬板加 2"100k 岩棉加烤漆金屬板	80×80	國外材料	5.2	1600-2100
m	烤漆金屬板加 PU 加烤漆金屬板	80×80	國外材料	5.2	1600-2100
n	烤漆金屬板加工程用塑膠產生之空氣層 abs 加烤漆金屬板	80×80	國外材料	5.2	1600-2100

近 8 倍之多；複層材料最佳的是編號 13 及 22 兩組，連工帶料的單價編號 22 的模組則比編號 13 的模組高約 1.2 倍。而國外材料的單價多高於國內材料。因此，可選擇國內生產之材料，替代國外材料之使用，亦能達到相同之效益。

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

本研究就台灣目前常用的單層材以疊加方式，仿國外複層外殼的做法進行複層外殼材料的

表 4-7 實驗模組組合材料單價分析

編號 (NO)	代 號	材料名稱	單價分析(元/m <sup>2</sup> ) 材料加工資
1	a+e+d	透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加中空水泥板	3520
2	a+e+g	透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加石膏板	800
3	a+e+h	透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加矽酸鈣板	855
4	a+e+i	透氣彩色鋼浪板加傳統鋼承板加氧化鎂板	800
5	a+f+g	透氣彩色鋼浪板加塑鋼中空板加石膏板	1880
6	a+f+h	透氣彩色鋼浪板加塑鋼中空板加矽酸鈣板	1935
7	a+f+i	透氣彩色鋼浪板加塑鋼中空板加氧化鎂板	1880
8	b+e+g	雨淋板加傳統鋼承板加石膏板	1645
9	b+e+h	雨淋板加傳統鋼承板加矽酸鈣板	1700
10	b+e+i	雨淋板加傳統鋼承板加氧化鎂板	1645
11	b+f+g	雨淋板加塑鋼中空板加石膏板	2725
12	b+f+h	雨淋板加塑鋼中空板加矽酸鈣板	2780
13	b+f+i	雨淋板加塑鋼中空板加氧化鎂板	2725
14	c+e+g	彩色鋼浪板加傳統鋼承板加石膏板	782
15	c+e+h	彩色鋼浪板加傳統鋼承板加矽酸鈣板	837
16	c+e+i	彩色鋼浪板加傳統鋼承板加氧化鎂板	782
17	c+f+g	彩色鋼浪板加塑鋼中空板加石膏板	1862
18	c+f+h	彩色鋼浪板加塑鋼中空板加矽酸鈣板	1917
119	c+f+i	彩色鋼浪板加塑鋼中空板加氧化鎂板	1862
20	d+e+g	中空水泥板加傳統鋼承板加石膏板	3400
21	d+e+h	中空水泥板加傳統鋼承板加矽酸鈣板	3455
22	d+e+i	中空水泥板加傳統鋼承板加氧化鎂板	3400
23	d+f+g	中空水泥板加塑鋼中空板加石膏板	4480
24	d+f+h	中空水泥板加塑鋼中空板加矽酸鈣板	4535
25	d+f+i	中空水泥板加塑鋼中空板加氧化鎂板	4480

註：工資變動依原物料略有調整

隔熱實驗，並評估國內外材料之隔熱性、節能性及經濟性。建築外殼的隔熱性能優劣，除了需考慮材料的輻射熱獲得量及熱阻外，對於材料的透濕抵抗亦需列入考量。因此需配合建築物所在的氣候環境，選擇適合的外殼材料。若當地氣候條件以隔熱為主要因子，則需選擇隔熱能力佳且冷房負荷低的外殼材料；若以防潮為主的設計，則應選擇透濕抵抗較高的外殼材料。而以隔熱為主的複層材料，可選擇編號 13 (雨淋板加塑鋼中空板加氧化鎂板)及 22 (中空水泥板加傳統鋼承板加氧化鎂板)兩組模組。若以防潮為主的複層材料，則可選擇編號 15 (彩色鋼浪板加傳統鋼承板加矽酸鈣板)的模組。至於國外材料有 j、k、l、

m 四種，不論隔熱能力或外殼輻射熱獲得，均比組合國內生產單層材的 25 種複層材料中最佳的模組稍佳。

選擇與混凝土板性質相近之水泥板，與單層材料中隔熱性能最佳的矽酸鈣板作比較，得知水泥板的隔熱能力較矽酸鈣板減少 17.1%。而複層材料與隔熱性最佳的國外材料，相差不大。因此，可利用複層材料來替代國外材料的使用。另外，比較國內外之建築外殼材料之經濟性，若以隔熱性為主要設計重點，則單層材料的矽酸鈣板及雨淋板為最佳材料，但是雨淋板單價則比矽酸鈣板多出近八倍；複層材料最佳的是編號 13 及 22 兩組，連工帶料的單價編號 22 的模組則比編

號 13 的模組高約 1.2 倍。而國外材料的單價多高於國內材料。因此，可選擇國內生產之單層材料，以疊加方式施工，替代國外複層材料使用，亦能達到相同效益。

## 5.2 建議

對於本研究運用於實際構造物中，提出以下建議。本研究因模擬室外溫熱環境，在實驗操作設定為穩定無干擾狀態，建議以較佳模組，進行室外建築實體的環境實驗，以得到更精確的溫控資訊，作為日後採用本模組之依據。另外為了降低實驗模組設計的誤差，在計算外殼材料熱獲得量及透濕抵抗值，均忽略材料疊加時所使用角材的熱橋現象，所以無法得知，角材的熱橋現象對於外殼材料的隔熱性能，是否會造成影響需注意。

目前國內並無外殼複層材料的生產，建議綠建材製造廠商，可利用本研究結果，生產更有利之制式隔熱建材組合。而本實驗僅針對外殼材料單位面積之實驗，對於運用於整面外牆體的結構力學行為，如風壓力、層間變位等需請具合格結構技師計算後認證，以符合建築技術規則規定設計。

## 參考文獻

1. 中央氣象局網站(2007), <http://www.cwb.gov.tw/>。
2. 內政部建築研究所(2002), 建材性能檢測分析

實驗研究-子計畫 1. 建築外殼構材隔熱性能實驗。

3. 邱繼哲(2002), 「建築物及生物成長設施之誘導式通風冷卻設計研究-以雙層外殼內置流動空氣層構造為例」, 國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文, pp.57~58。
4. 洪亮晨(2002), 國內低層輕鋼構住宅外牆施工界面整合之研究, 國立成功大學建築研究所碩士論文。
5. 陳宏謀(1993), 材料力學觀念分析-上冊, 標竿出版社。
6. 陳啓中(1996), 建築物裡概論, 詹氏書局。
7. 楊秉純、簡國祥(2000), 建築外殼耗能檢測分析—建築構造體熱取得率量測實驗室建立, 內政部建築研究所研究計劃成果報告。
8. 經濟部礦物局(2002), <http://www.mine.gov.tw/miner>。
9. 葉歆(1997), 建築熱環境, 淑馨出版社。
10. 顧宗沛(2002), 以雙重壁原理探討外牆改修構法, 國立成功大學建築研究所碩士論文。
11. Stoecker, W. F, Jones, J.W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning. McGraw-Hill. ISBN: 0-07-061619-3.

收稿日期：民國 98 年 9 月 14 日

修正日期：民國 98 年 10 月 15 日

接受日期：民國 98 年 10 月 27 日