

專 論

鋼筋混凝土外牆降低熱傳改善方式之研究
— 以台灣鄉村地區農宅為例

**The Research of Methods in Reducing Heat
Transmission from Exterior Reinforced Concrete Walls
— A Case Study of Residential Buildings in Rural
Areas of Taiwan**

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
教授

韓 選 棠*

Siiian-Tang Han

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
博士生

徐 嘉 宏

Chia-Hung Hsu

國立台灣大學
生物環境系統工程學系
碩士生

劉 康 胤

Kang-Yin Liu

摘 要

由於台灣鄉村地區農宅普遍獨棟且大面積興建，附近並無比鄰之建築物能互相遮擋，使外牆易直接受到日照的影響；目前台灣住宅外牆是以 12 cm 厚之鋼筋混凝土牆為主，為耗能的構造型式，又許多農宅外牆甚至僅以水泥砂漿處理，造成夏日室內更熱的問題。因此本研究將以不拆除原牆體為前提，從設計面上，提出提出降低外牆熱傳改善方式，並進行各改善模組之隔熱性能、經濟性以及厚度評估。

透過理論與實際面的了解，可將外牆降低熱傳改善方式歸納為以下 6 種方式：室內增設隔熱層、室內增設封閉空氣間層、室外增設隔熱層、外牆表面噴抹塗料、室外增設封閉空氣間層、室外增設流動空氣間層。

研究結果顯示，室內增設隔熱層與封閉空氣間層改善方式的熱得減少率，約在 60%~80%之間；室外增設隔熱層改善方式之熱得減少率，約在 70%~90%之間；外牆表面噴抹塗料改善方式之熱得減少率，在 37%~55%之間；室外增設封閉空氣間層改善方式之熱得減少率，在 41%~51%之間；室外增設流動空氣間層改善方式之熱得減少率，在 53%~62%之間。

關鍵詞：建築節能，外牆隔熱，舊建築更新。

*通訊作者，國立台灣大學生物環境系統工程學系教授，10617 台北市大安區羅斯福路 4 段 1 號，smarthouse@ntu.edu.tw

ABSTRACT

Residential buildings in rural areas of Taiwan are typically large detached houses, which are exposed to direct sunlight on their exterior walls as there are no surrounding buildings to block sunlight and create shade. Also the 12 cm reinforced concrete exterior walls are the mainstream in Taiwan's residential buildings, which has the property of high thermal conductivity that can easily make the thermal flow transfer indoors. Furthermore, most of the residential buildings in rural areas only use mortar as a finishing layer that aggravated increase the indoor heat gain. So, this research is under the premise of retaining the original exterior walls, from the design point of view to develop the methods of reducing heat transmission, and make on assessment of each model's performance, economic viability and thickness.

Through the understanding of theory and practical perspectives, the methods of reducing heat transmission from the exterior walls can be summed up as follows six methods: additional interior insulation layers, additional interior closed cavities, additional exterior insulation layers, outer surface painting, additional exterior closed cavities and additional exterior naturally ventilated cavities.

The results showed that the additional interior insulation layers and closed cavities methods could reduce the indoor heat gain by about 60%-80%; the additional exterior insulation layers method could reduce the indoor heat gain by about 70%-90%; the outer surface painting method could reduce the indoor heat gain by between 37% and 55%; the additional exterior closed cavities method can reduce the indoor heat gain by between 41% and 51%; and the additional exterior naturally ventilated cavities method could reduce the indoor heat gain by between 53% and 62%.

Keywords: Building energy conservation, Thermal insulation of exterior walls, Building rehabilitation.

一、前言

在建築物生命週期期間，所消耗之能源約佔地球總能耗量之 50% (Edward, 2001)，可說是相當耗能的項目，又以建築物生命週期四十年來衡量，日常生活之能耗量更是建材生產、運輸與建築營建過程三項總能耗的 8 倍以上(楊煦照，1995)，因此除了要對建築營造等部分進行節能，關係到人類使用的室內空間也必須同時進行節能，才能有效降低建築物生命週期的總能消耗。

根據經濟部能源局的統計，夏季建築空調用電約佔總建築用電的 30%~40%，這些空調用電均是為了解決室內過熱的問題，而其中又以經由

屋頂、外牆與透明窗部位傳遞進室內的熱量，佔主要部份；經屋頂傳遞進室內的熱量雖大，但影響限於建築頂層的空間，對於非頂層且少開窗的建築西曬面向，經外牆傳遞之影響就更為顯著。

圖 1 為台灣鄉村地區常見之農宅外觀，可知農宅普遍為獨棟興建之鋼筋混凝土構造建築，附近多無比鄰的建築物能夠互相遮擋，使外牆易直接受到日照的影響，許多農宅更為求營建成本，外牆並無貼附磁磚，僅以水泥砂漿處理，更增高了外牆部位之熱傳遞係數，造成夏日室內更熱的問題，因此若能對耗能之農宅外牆進行降低熱傳改善，將有助於減少室內空調區域之熱得，進而降低夏季建築之能源消耗。



圖 1 台灣鄉村地區常見的獨棟鋼筋混凝土農宅

本研究將以不拆除原外牆為前提，從設計面上提出降低熱傳改善方式，並透過計算各模組之室內熱得，及納入施作價格與厚度之考量，進行隔熱性能、經濟性與厚度評估；希望本研究之成果，能作為往後鋼筋混凝土外牆施行降低熱傳改善工程之參考。

二、理論概述

2.1 無空氣間層外牆熱傳遞理論

在穩態假設，由於垂直外牆所接收的長波輻射來自地面、建築、天空等元素，很難準確的了解其溫度，而當太陽輻射強度大的時候，地面與建築通常擁有較室外空氣更高的溫度，此時他們對外牆的長波輻射將抵銷外牆對天空的長波輻射，因此對外界環境的輻射熱傳遞，予以簡化假設為 0 的情況下，經由外牆傳遞進室內空調區之熱量，可由以下方程式表示(ASHRAE, 1993)：

$$Q/A = \bar{U}(T_{sa} - T_i) = \bar{U} \left[(T_o - T_i) + \frac{\alpha}{h_o} Q_{solar} \right] \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中， \bar{U} 為平均熱傳遞係數(W/m²K)， A_{total} 為外牆總面積(m²)， T_{sa} 為太陽空氣溫度(K)， T_i 為室內空調溫度(K)， T_o 為室外溫度(K)， α 為太陽輻射吸收率， h_o 為外表面對流熱傳遞係數(W/m²K)， Q_{solar} 為太陽輻射熱(W/m²K)。

式(1)中，外牆之平均熱傳遞係數，在假設外牆包含 A、B、C 三種組成部位，可由以下方程式表示：

$$\bar{U} = \frac{A_A}{A_{total}} U_A + \frac{A_B}{A_{total}} U_B + \frac{A_C}{A_{total}} U_C \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中， A_{total} 為外牆總面積(m²)， A_A 、 A_B 、 A_C 分別為外牆 A 部位、B 部位、C 部位之面積(m²)， U_A 、 U_B 、 U_C 分別為外牆 A 部位、B 部位、C 部位之總熱傳遞係數(W/m²K)。而式(2)中各部位之總熱傳遞係數，在「建築物節約能源設計技術規範」(內政部營建署，2009)中，定義為以下方程式：

$$U_i = \frac{1}{1/h_o + \sum dx/k_x + ra + 1/h_i} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中， U_i 為 i 部位的總熱傳遞係數(W/m²K)， ra 為封閉空氣間層的熱阻(m²K/W)， h_o 為外表面對流熱傳遞係數，台灣建築節能規範取 23 (W/m²K)， h_i 為內表面對流熱傳遞係數，台灣建築節能規範取 9 (W/m²K)， dx/k_x 為 x 層材料之熱阻(m²K/W)。

2.2 空氣間層外牆熱傳遞理論

2.2.1 流動空氣間層之外牆

透過學者之研究成果(Pratt, 1981；黃敬元，2005)，統整出以下流動空氣間層外牆模式。討論外緩衝牆及外牆於流動空氣間層之熱傳現象，假設此間層為自然對流狀態，當外緩衝牆受日射影響導致溫度上升，此時傳遞進表面(1)之熱量，一部分與間層內空氣進行對流熱傳遞，另一部分透過輻射熱傳遞將熱量傳至未受熱的外牆外表面(2)，使其溫度升高，隨之表面(2)因溫度升高而對間層內的空氣進行對流熱傳遞，以及透過外牆向室內進行傳導熱傳遞。傳遞過程如圖 2 所示：

外緩衝牆內表面(1)之熱平衡方程式(Pratt, 1981)：

$$\left(\frac{1}{1/h_o + L_A/k_A} \right) (T_{sa} - T_i) = h_1 (T_1 - T_m) + \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- h_o 為外表面對流熱傳遞係數(W/m²K)
- L_A 為外緩衝牆厚度(m)

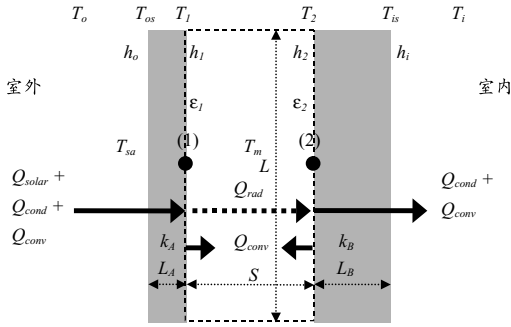


圖 2 含流動空氣間層外牆熱傳過程示意圖

- k_A 為外緩衝牆熱傳導係數(W/mK)
- T_{sa} 為太陽空氣溫度，定義為式(3-3-2)
- T_o 為室外溫度(K)
- α 為緩衝牆表面太陽輻射吸收率
- Q_{solar} 為太陽輻射強度(W/m²)
- T_1 為表面 1 的溫度(K)
- h_1 為表面 1 的對流熱傳遞係數(W/m²K)
- T_m 為間層平均溫度(K)，假設與室外溫度 T_o 相等
- σ 為史蒂芬-波茲曼(Stefan-Boltzmann)常數 = 5.67×10^{-8} (W/m²K⁴)
- ϵ_1 、 ϵ_2 為表面 1 與表面 2 的輻射放射率

外牆外表面(2)的熱平衡方程式為：

$$\frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} = h_2(T_2 - T_m) + \left(\frac{1}{L_B/k_B + 1/h_i} \right) (T_2 - T_i) \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：

- T_2 為表面 2 的溫度(K)
- h_2 為表面 2 的對流熱傳遞係數(W/m²K)
- K_B 為外緩衝牆熱傳導係數(W/mK)
- L_B 為外緩衝牆厚度(m)
- h_i 為室內對流熱傳遞係數(W/m²K)
- T_i 為室內空調設定溫度(K)

2.2.2 含封閉空氣間層之外牆

據 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 文 7)的數據顯示，空氣間層在不同厚度與等效放射

表 1 封閉空氣間層等效放射率、厚度與等效熱阻的關聯(文 7)

厚度(mm)	12.7	19.1	38.1	88.9
等效放射率	等效熱阻(m ² K/W)			
0.82	0.14	0.15	0.15	0.15
0.05	0.41	0.57	0.64	0.60
0.03	0.43	0.62	0.70	0.65

表 2 新加坡 RETV 對垂直封閉空氣間層厚度與其等效熱阻的規範(文 10)

厚度(mm)	5	20	100
種類	等效熱阻(m ² K/W)		
高放射率	0.110	0.148	0.160
低放射率	0.250	0.578	0.606

表 3 香港 OTTV 對垂直封閉空氣間層厚度與其等效熱阻的規範(文 11)

厚度(mm)	5	10	20	50	75	100
種類	等效熱阻(m ² K/W)					
輻射吸收率 ≥0.5	0.110	0.123	0.148	0.153	0.156	0.160
輻射吸收率 <0.5	0.250	0.359	0.578	0.589	0.597	0.606

率下的等效熱阻下，當封閉空氣間層為垂直時，在平均溫度 32.2°C，溫度差 5.6°C時，間層的等效放射率、厚度與等效熱阻的關連如表 1，其中等效放射率如式(6)所示。而在新加坡 RETV (Residential Envelope Transmittance Value, 文 10)與香港 OTTV (Overall Thermal Transfer Value, 文 11)的建築節能規範中，對於封閉空氣間層厚度與其等效熱阻的關聯，分別整理如表 2 及表 3。綜合前述資料可知，香港與新加坡是使用相同的數據，並與 ASHRAE 單面鋁箔封閉空氣間層的數值大致相同。

因此，在台灣「建築物節約能源設計技術規範」中，雖亦有封閉空氣間層等效熱阻，但未有間層厚度與熱阻之關連，及最佳厚度建議。故在參考 ASHRAE、RETV 及 OTTV 下，設定 20 mm 為最理想的封閉空氣間層厚度，在普通表面下，等效熱阻為 0.15 (m²K/W)，在鋁箔表面下，等效熱阻為 0.5 (m²K/W)。

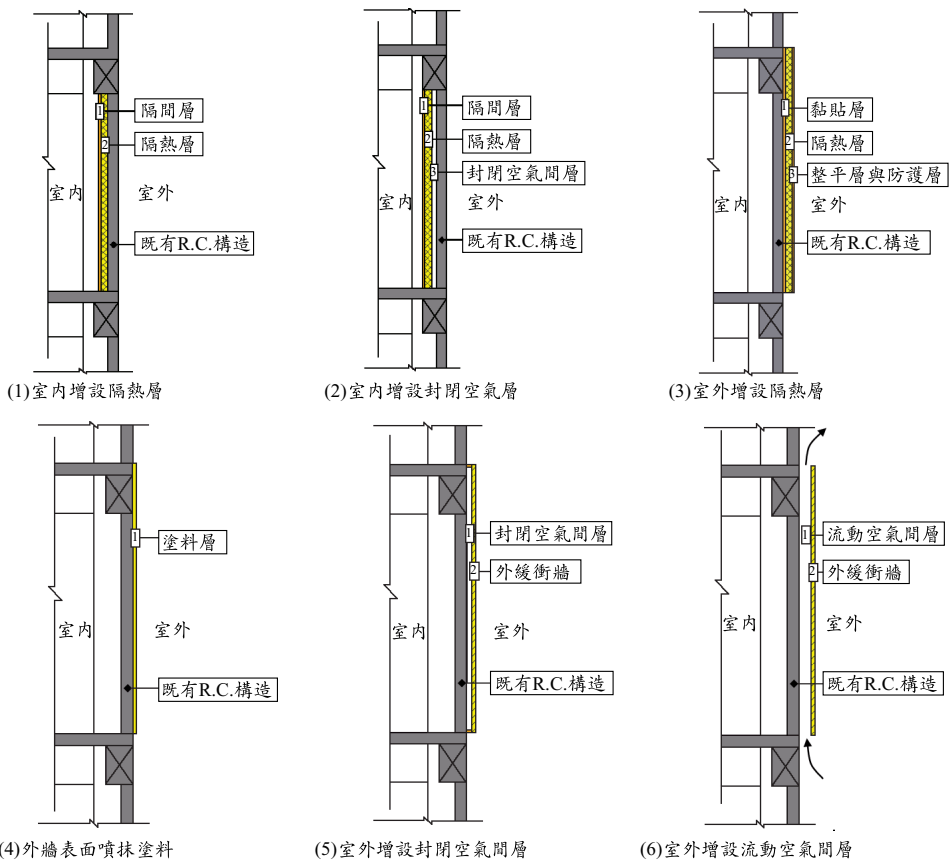


圖 3 外牆降低熱傳改善方式示意圖(尺寸詳圖 4)

$$1/E = (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1) \dots\dots\dots(6)$$

式中：

- E 為等效放射率
- ϵ_1 、 ϵ_2 為表面 1 與表面 2 的輻射放射率

三、研究內容

3.1 改善構想提出

由外牆熱傳之理論探討，可將降低熱傳理論改善方式歸納為以下六類，並提出實際施作之改善方式，如圖 3 所示。

1. 降低外牆熱傳遞係數 U ：由 2.1 節之說明可知，降低外牆平均 U 值，能夠等比例的減少透過室內外溫差所產生的熱得失，因此不論在寒帶或是熱帶地區，對採暖或是冷房需求之空間，均能夠產生節能之效果，各國也均將此一

參數納入建築節能規範中來做限制。實際之改善方式，可於室內或室外增設隔熱層，來達到降低外牆平均 U 值的目的；而於室內或室外增設封閉空氣間層之方式，主要控制間層厚度，來降低封閉空氣間層內之對流熱傳遞現象，以減少穿過空氣間層之熱量，由 3-4 節可知，為求計算方便，建築節能規範中將其隔熱性能視為等效熱阻來運用，因此將室內增設封閉空氣間層改善方式歸於此類之中。

2. 降低外牆外表面太陽輻射吸收率 α ：由 2.1 節之說明可知，在太陽日照下，降低外牆外表面 α 值，將能降低太陽空氣溫度 T_{sa} ，進而縮小 T_{sa} 與室內溫度之溫差，減少室內之熱得，因此在重視冷房需求，且日照充足的熱帶及亞熱帶地區，此參數將對減少室內熱得有顯著之影響。實際之改善方式是以更改外牆表面材料，

表 4 室內增設隔熱層模組設定

模組編號	① 隔間層		② 隔熱層		
	厚度 (cm)	材料名稱	厚度 (cm)	材料名稱	
(1-1-1)	0.9	矽酸鈣板	1	PF 板	
(1-1-2)			2.5		
(1-1-3)			5		
(1-2-1)			2.5	玻璃棉	
(1-2-2)			5		
(1-2-3)			7.5		
(1-2-4)			10		
(1-3-1)			2.5	岩棉板	
(1-3-2)			5		
(1-3-3)			7.5		
(1-3-4)			10		
(1-4)			----	1	軟木板

表 5 室內增設封閉空氣間層模組設定

模組編號	① 隔間層		② 隔熱層		③ 封閉空氣間層			
	厚度 (cm)	材料名稱	厚度 (cm)	材料名稱	厚度 (cm)	表面種類		
(2-1-1)	0.9	矽酸鈣板	----		2	普通		
(2-1-2)			----			鋁箔		
(2-2-1)			1	PF 板		2	普通	
(2-2-2)							鋁箔	
(2-2-3)			2.5				普通	
(2-2-4)							鋁箔	
(2-2-5)			5	岩棉板			普通	
(2-2-6)							鋁箔	
(2-3-1)			2.5				2	普通
(2-3-2)								鋁箔
(2-3-3)			5					普通
(2-3-4)								鋁箔

達到降低 α 值的目的；本研究為了與降低外牆熱傳遞係數之作法進行區隔，因此以在外牆表面噴抹厚度甚薄之表面塗料，來作為改善方式。

- 排除外牆熱量 Q ：由 2.2.1 節之說明，可知此類型多為透過流動空氣間層，將一部分外緩衝牆所吸收之太陽輻射熱，藉由與流動空氣間層之對流熱傳遞現象，使熱量排除，從而減少室內之熱得，因此在日照充足的熱帶與亞熱帶地區，此方式將能發揮其隔熱效果。實際之改善方式，則多是利用外牆外部架設緩衝牆，塑造出兩層牆間之流動空氣間層，以助熱空氣之導出。

3.2 改善模組設定

基層牆體：設定為 12 公分鋼筋混凝土牆，前後各加上 1.5 cm、1 cm 之水泥砂漿，外表太陽輻射吸收率設定為舊有混凝土之值，取 0.75。

- 室內增設隔熱層：以 PF 板、玻璃棉、岩棉板作為隔熱材料，與外牆內側貼齊，並搭配矽酸鈣板，組成室內輕隔間系統；軟木板直接黏貼於外牆內側，假設黏著厚度不計。表 4 分別列出各模組之材料分佈、種類與厚度。
- 室內增設封閉空氣層：將 PF 板、岩棉板固定於矽酸鈣板上，或是單獨使用矽酸鈣板，並

與外牆內側脫開，留出 2 cm 普通或是鋁箔表面之封閉空氣間層。表 5 分別列出各模組之材料分佈、種類與厚度。

- 室外增設隔熱層：以膠粉聚苯顆粒漿料(保溫漿料)作為隔熱板黏貼及表面整平的材料，黏貼層厚為 1.5 cm，整平層厚度為 1 cm，並於表面施作 0.3 cm 之抗裂砂漿押入耐鹼網布(文 3)，表面太陽輻射吸收率取 0.65；SPU 是以噴沫方式施作，省去黏貼之工程，但表面平整度誤差較大，需以 1.5 cm 保溫漿料進行整平(文 3)；泡沫玻璃本身耐候性佳，假設不須對材料表面進行防護處理(文 4)。表 6 分別列出各模組之材料分佈、種類與厚度。
- 外牆表面噴抹塗料：以白色亮面水泥漆與隔熱漆作為塗料，白色亮面油性水泥漆為一底二度之工法，隔熱漆 A 之施作厚度為 0.05 cm~0.1 cm，隔熱漆 B 之施作厚度為 0.025 cm，0.05 cm 為假設之雙層施作厚度；各模組又分為新、舊不同狀況加以比較受環境影響所產生之差異。表 7 分別列出各模組之塗料種類與厚度。
- 室外增設封閉空氣間層：將外緩衝牆與外牆脫開，留出 2 cm 之封閉空氣間層；緩衝牆外表面太陽輻射吸收率取 0.65。表 8 分別列出各模組之外緩衝牆材料種類與厚度。

表 6 室外增設隔熱層模組設定

模組編號	I 黏貼層		II 隔熱層		III 整平層		防護層	
	厚度 (cm)	材料名稱	厚度 (cm)	材料名稱	厚度 (cm)	材料名稱	厚度 (cm)	材料名稱
(3-1-1)	1.5 cm	保溫漿料	1	EPS 板	1	保溫漿料	0.3	抗裂砂漿
(3-1-2)			2.5					
(3-1-3)			5					
(3-1-4)			7.5					
(3-2-1)			1	XPS 板				
(3-2-2)			2.5					
(3-2-3)			5					
(3-2-4)			7.5					
(3-3-1)	-----	1	SPU	1.5				
(3-3-2)		2.5						
(3-3-3)		5						
(3-4-1)	1.5 cm	保溫漿料	1	PF 板	1			
(3-4-2)			2.5					
(3-4-3)			5					
(3-4-4)			7.5					
(3-5)			5	泡沫玻璃板		-----		

表 7 外牆表面噴抹塗料模組設定

模組編號	I 塗料層	
	厚度 (cm)	塗料名稱
(4-1-新)	0.001	白色亮面水泥漆
(4-1-舊)		
(4-2-1-新)	0.05	隔熱漆 A
(4-2-1-舊)		
(4-2-2-新)	0.1	
(4-2-2-舊)		
(4-3-1-新)	0.025	隔熱漆 B
(4-3-1-舊)		
(4-3-2-新)	0.05	
(4-3-2-舊)		

表 8 室外增設封閉空氣間層模組設定

模組編號	1 封閉空氣間層	2 外緩衝牆	
	厚度(cm)	厚度(cm)	材料名稱
(5-1)	2	3.5	花崗岩板
(5-2)		0.25	氟碳烤漆鋁合金板
(5-3)		1	GRC 板
(5-4)		1.2	矽酸鈣板

表 9 室外增設流動空氣間層

模組編號	1 流動空氣間層	2 外緩衝牆	
		厚度(cm)	材料名稱
(6-1)	-----	3.5	花崗岩板
(6-2)		0.25	氟碳烤漆鋁合金板
(6-3)		1	GRC 板
(6-4)		1.2	矽酸鈣板

(6) 室外增設流動空氣間層：與方式(5)不同之處在於留出空氣間層上下端開口，形成流動之空氣間層；緩衝牆外表面太陽輻射吸收率取 0.65，緩衝牆內側與外牆外側輻射放射率取 0.9。表 9 分別列出各模組之外緩衝牆材料種類與厚度。

3.3 計算模型建立與環境條件設定

3.3.1 計算模型建立

依「都市計畫法台灣省施行細則」第 29 條，農宅之高度不得超過 14m，總樓地板面積不得超過 660 m²，以上述規範作為模型之基準，設定計算模型樓層高為 3.5 m，樓地板尺寸為 12.8 m × 12.8 m，四樓層之 R.C.構造建築，西向不開窗，以其中一層樓西向側外牆作為各改善方式之計算模型，模型立面與剖面尺寸如圖 4 所示。

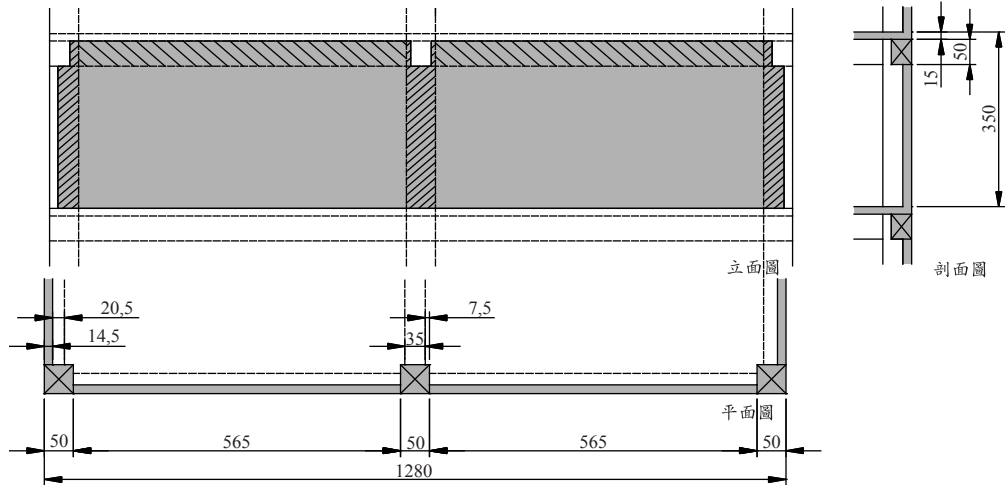


圖 4 計算模型尺寸圖

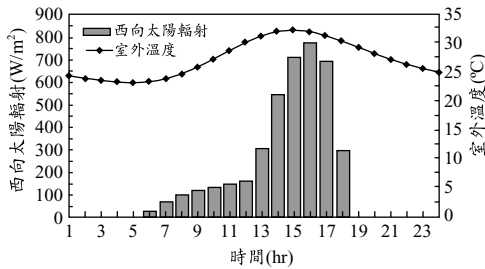


圖 5 室外溫度與西向太陽輻射

3.3.2 環境條件設定

室外溫度以 ASHRAE 所提供之台北夏季 (6 月~9 月) 5% 設計溫度與平均日夜溫差，配合變化量百分比列表，得出全天之室外溫度；太陽輻射量取北緯 24 度西向側，7 月 21 日之太陽輻射量，室外環境條件繪製於圖 5。室內空調溫度設定為台灣經濟部能源局建議之夏季室內空調溫度 26°C。為了解各模組在夏日受太陽日照與室外高溫影響，進入計算模型之熱量，本研究以下午 13~18:00 時之資料進行室內熱得計算。

四、結果與討論

1. 對於不同室內改善方式在隔熱性能上之差異：比較僅使用 PF 板做為隔熱材料之 1-1，與增加普通、鋁箔表面封閉空氣間層之 2-2，在隔熱層厚度 1 cm 時，封閉空氣間層模組之

熱得減少率分別高出 6%、14%，在隔熱層厚度 2.5cm 時，則分別高出 2%、5%；比較僅使用岩棉板做為隔熱材料之 1-3，與增加普通、鋁箔表面封閉空氣間層之 2-3，在隔熱層厚度 2.5 cm 時，封閉空氣間層模組之熱得減少率分別高出 3%、9%，在隔熱層厚度 5 cm 時，則分別高出 1%、4%。因此可知在相同材料配置下，封閉空氣間層所帶來之隔熱效果，將隨隔熱層厚度之增加而逐漸減少。

- 對於不同室外改善方式之差異：室外增設隔熱層改善方式由於施做工法及材料熱傳導係數小，有較佳之熱得減少率；外牆表面噴抹塗料改善方式由於施做厚度薄且工料價格相對低廉，有較佳之單位厚度與價格熱得減少率；室外增設空氣間層改善方式由於施做費用昂貴，且隔熱效能較不突出，因此在單位厚度與價格熱得減少率上之表現均不及其他改善方式。
- 最理想之模組提出：將各模組熱得減少率、單位厚度熱得減少率、單位價格熱得減少率之計算結果，整理於圖 6 及圖 7，並以 10% 熱得減少率作為間距，可得到在不同改善需求下，最理想之單位厚度及價格熱得減少率模組，結果如表 10 所示。
- 各模組改善方式之熱得減少率分佈情形，整理如表 11。

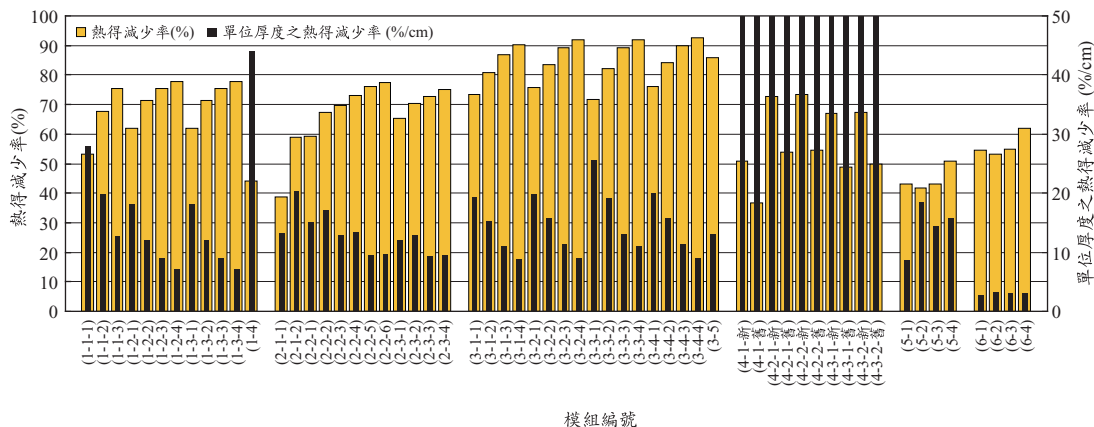


圖 6 熱得減少率與單位厚度熱得減少率綜合比較圖

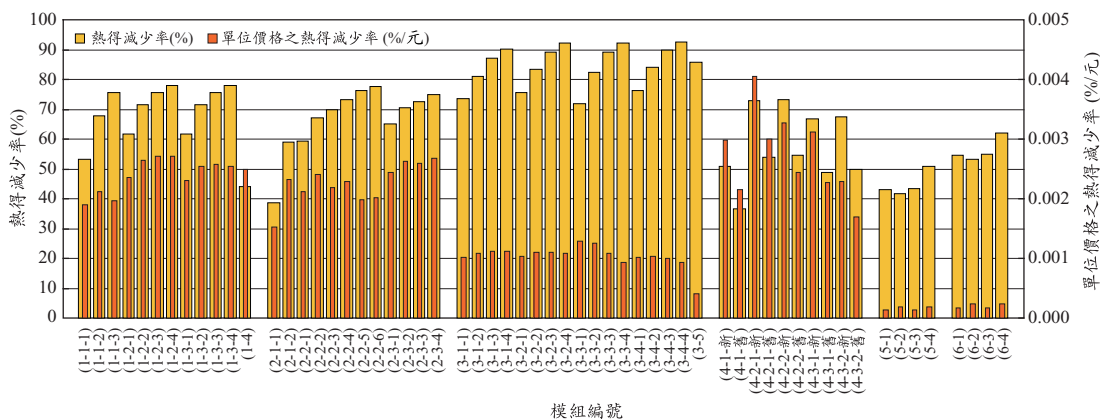


圖 7 熱得減少率與單位價格熱得減少率綜合比較圖

五、結 論

1. 室內封閉空氣間層在隔熱性能上之影響：比較僅使用 PF 板做為隔熱材料之 a-1，與增加鋁箔表面封閉空氣間層之 b-2，在隔熱層厚度為 1、2.5、及 5 cm 時，封閉空氣間層模組之熱得減少率分別高出 14%、5% 及 2%，可知在相同材料配置下，封閉空氣間層所帶來之隔熱效果，將隨隔熱層厚度之增加而逐漸減少。因此在進行室內改善，且有較高改善需求時，增設空氣間層所帶來的隔熱效果非常有限，建議以直接增加隔熱層厚度之方式來進行施作。
2. 普通塗料與隔熱塗料在隔熱性能及經濟性上之差異：比較白色亮面水泥漆與市售隔熱漆模

組之熱得減少率，在新施作時，隔熱漆模組較白色亮面水泥漆模組高出 16~22%，而受環境影響，導致表面太陽輻射吸收率上升的情況下，則高出 13~18%，仍具有不小之差異；而在經濟性方面，如以廠商所提供之施作規格進行比較，隔熱漆模組之單位價格熱得減少率均高於白色亮面水泥漆，因此運用外表面噴抹塗料方式進行改善時，建議選用隔熱漆作為施作之塗料。

3. 隔熱塗料厚度對隔熱性能上之影響：透過比較 d-2-1 與二倍厚度之 d-3-2，模組間熱得減少率僅有小於 1% 之差別，可知隔熱塗料施作厚度對熱得減少率產生之影響甚微，因此在塗料選擇上可忽略塗料之熱傳導係數，僅以太陽輻射

表 10 不同改善需求下，最理想之單位厚度與價格熱得減少率模組

改善需求 (熱得減少率%)	最理想之模組 (編號/施作方式)	
	單位厚度熱得減少率	單位價格熱得減少率
30	(4-1-舊)/ 外牆表面噴塗白色亮面水泥漆	
40	(4-3-1-舊)/ 外牆表面噴塗 0.025 cm 隔熱漆 B	
50	(4-2-1-舊)/ 外牆表面噴塗 0.05 cm 隔熱漆 A	
60	(1-1-2)/ 室內增設 0.9 cm 矽酸鈣板+2.5 cm PF 板	(2-3-1)/ 室內增設 0.9 cm 矽酸鈣板+2.5 cm 岩棉板 +2 cm 鋁箔表面封閉空氣間層
70	(3-3-1)/ 室外增設 1 cm SPU+1.5 cm 保溫漿料 +0.3 cm 抗裂砂漿	(1-2-4)/ 室內增設 0.9 cm 矽酸鈣板+10 cm 玻璃棉
80	(3-3-2)/ 室外增設 2.5 cm SPU+1.5 cm 保溫漿料+0.3 cm 抗裂砂漿	
90	(3-3-4)/ 室外增設 7.5 cm SPU+1.5 cm 保溫漿料 +0.3 cm 抗裂砂漿	(3-1-4)/ 室外增設 1.5 cm 保溫漿料+7.5 cm EPS 板 +1 cm 保溫漿料+0.3 cm 抗裂砂漿

表 11 不同改善方式之熱得減少率分佈

改善方式		熱得減少率			
室內增設隔熱層與封閉空氣間層改善方式		約在 60%~80%之間			
室外增設隔熱層改善方式		約在 70%~90%之間			
外牆表面噴抹塗料改善方式	普通塗料	新	51%	舊	37%
	隔熱塗料		68%~73%之間		49%~55%之間
室外增設空氣間層改善方式	封閉空氣間層	41%~51%之間			
	流動空氣間層	53%~62%之間			

吸收率作為評估重點即可。

4. 室外封閉與流動空氣間層在隔熱性能及厚度上之差異：在相同的改善配置下，流動空氣間層模組之熱得減少率，均比封閉空氣間層模組高出 10% 以上，但同時必須留出足夠之空氣間層厚度將熱量導出，使其單位厚度熱得減少率，比封閉空氣間層模組低上許多；因此在利用室外空氣間層元素進行改善時，如以隔熱性能為優先考量，建議選以流動空氣間層方式，如以厚度為優先考量，則建議選以封閉空氣間層方式。

參考文獻

- 楊煦照，1995，建築物之耗能及環境衝擊解析，碩士論文，p.28，國立成功大學建築學研究所。
- 黃敬元，2005，雙層屋頂之熱傳分析，碩士論文，國立成功大學機械工程所。
- 建設部科技發展促進中心、北京振利高新技術公司，2005，外牆保溫應用技術，北京：中國建築工業出版社。
- 徐峰、張雪芹、華七三，2007，建築保溫隔

- 熱材料與應用，北京：中國建築工業出版社。
5. 財團法人台灣營建研究院，2009，營建物價 69。
 6. Brian Edwards, 2001, Green Architecture, p.31, London : Wiley-Academy.
 7. ASHRAE Fundamentals Handbook, 1993, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
 8. W. Pratt, Heat Transmission in Buildings, 1981, New York: Wiley.
 9. 財團法人台灣營建研究院，公共工程價格資料庫，http://pcces.archknowledge.com/csi/Default.aspx?FunID=Fun_11&SearchType=D。
 10. Code on Envelope Thermal Performance for Buildings, <http://www.bca.gov.sg/helios/Webpage/EnvelopeCode.htm>.
 11. OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE IN BUILDINGS, <http://www.arch.hku.hk/research/BEER/hkottv.htm#Table%205>.

收稿日期：民國 98 年 7 月 7 日

修正日期：民國 98 年 12 月 28 日

接受日期：民國 99 年 1 月 7 日