

再生建材隔熱效果之研究- 以再生隔熱磚為例

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國99年12月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

再生建材隔熱效果之研究-以再生隔熱磚為例

再生建材隔熱效果之研究- 以再生隔熱磚為例

計畫編號 ： 099301070000G2022
執行方式 ： 委託研究 協同研究 自行研究
執行單位 ： 內政部建築研究所
研究主持人 ： 施文和、黃尊澤

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國99年12月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

再生建材隔熱效果之研究-以再生隔熱磚為例

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH
INSTITUTE MINISTRY OF INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

The Analysis of Thermal Properties and Energy
Saving Efficiency for Recycling of Building
Materials – The Recycling Of Insulation Brick
As Examples

BY

Wen-Ho Shih

Tsun-Tse Huang

December , 2010

再生建材隔熱效果之研究-以再生隔熱磚為例

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與目的	1
第二節 研究方法與流程	2
第二章 隔熱性能量測與建築空調耗能電腦模擬軟體介紹	3
第一節 隔熱性能量測儀	3
第二節 空調耗能模擬軟體-eQUEST	10
第三章 再生隔熱磚介紹與分析	19
第四章 再生隔熱磚節能效益分析	35
第一節 再生隔熱磚節能效果模擬	35
第二節 再生隔熱磚分析	41
第五章 結論與建議	47
第一節 結論	47
第二節 建議	47
附錄一 期中審查記錄	49
附錄二 期末審查記錄	55
參考書目	61

表次

表3-1 再生木質水泥隔熱磚材料性質	20
表3-2 再生輕質磁磚與其他材質石磚性質比較.....	22
表3-3 C50冷結型再生粒料配比 (kg/m ³)	30
表3-4 C100冷結型再生粒料配比 (kg/m ³)	31
表3-5 C200冷結型再生粒料配比 (kg/m ³)	31
表3-6 剩餘土石方堆置處理場土石分類對照.....	32
表3-7 各配比再生冷結磚熱傳導係數.....	32
表3-8 各配比之抗壓強度.....	33
表4-1 厚磚類隔熱磚之K值	36
表4-2 磁磚類隔熱磚之K值	36
表4-3 厚磚類隔熱磚之U-value	37
表4-4 磁磚類隔熱磚之U-value	37
表4-5 厚磚類隔熱磚節能效益比較表.....	38
表4-6 磁磚類隔熱磚節能效益比較表.....	38
表4-7各種建材熱傳導係數-1	39
表4-8各種建材熱傳導係數-2	40
表4-9 隔熱磚成本分析表.....	42
表 4-10 磁磚類隔熱磚成本比較表.....	43

圖次

圖1-1 研究流程與步驟	2
圖2-1 HOT DISK主機	3
圖2-2 HOT DISK sensor	4
圖2-3 建材隔熱性能量測儀Unitherm 2022	6
圖2-4 保護熱流計法量測物體之熱傳導係數示意圖...	6
圖2-5 保護熱流計法之校正分析.....	7
圖2-6 攜帶式熱傳導係數量測儀 (ISOMET)	9
圖2-7 建築物基本資料設定畫面.....	10
圖2-8 自行載入氣候資料畫面	11
圖2-9 建築物幾何形狀設定畫面.....	11
圖2-10 匯入CAD圖檔之畫面	12
圖2-11 屋頂、樓板及牆面材料設定畫面.....	12
圖2-12 材料厚度及熱阻值設定畫面	13
圖2-13 門資料設定畫面	13
圖2-14 窗戶資料設定畫面.....	14
圖2-15 空調及燈光等設備開啟關閉時間設定畫面.....	14
圖2-16 空調種類選擇	15
圖2-17 設計建築物之外觀立體圖.....	16
圖2-18 每月用電分布圖.....	17
圖3-1 配料攪拌	20
圖3-2 半成品鋪設	21

圖3-3 鋪設完成圖	21
圖3-4 再生輕質磁磚	23
圖3-5 再生輕質磁磚斷面.....	23
圖3-6 再生輕質磁磚製程示意圖.....	24
圖3-7 再生輕質磁磚施工圖.....	25
圖3-8 再生橡膠隔熱磚	26
圖3-9 再生橡膠隔熱磚製程.....	27
圖3-10 處理場之營建剩餘土石方 (B4)	28
圖3-11 處理過之營建剩餘土石方.....	29
圖3-12 再生冷結磚壓磚模具.....	29
圖3-13 再生冷結磚	30
圖4-1 厚磚類隔熱磚材料費用比較圖.....	43
圖4-2 磁磚類隔熱磚材料費用比較圖.....	44
圖4-3厚磚類隔熱磚施工費用比較圖.....	44
圖4-4 磁磚類隔熱磚施工費用比較圖.....	45
圖4-5 厚磚類隔熱磚總鋪設費用比較圖.....	45
圖4-6 磁磚類總鋪設費用比較圖.....	46

摘要

關鍵詞：再生建材、隔熱磚、耗能模擬軟體

1. 研究緣起

隨著國內環保意識抬頭，再生建材現今常使用在建築物外牆或屋頂上，而台灣因位處於亞熱帶再加上近年來全球暖化之影響，使得社會大眾越來越依靠空調來調節室內溫度，此時再生建材若擁有良好之隔熱性能就可減少室內空調之耗能，然而其隔熱效果如何並不明瞭，因此本研究以此為目的，調查再生建材之隔熱效果。

2. 研究方法及過程

本研究以再生隔熱磚為研究對象，首先收集現行再生隔熱磚之製造原料、製程技術、製造成本等資料，與原生材料進行分析比較後，藉由文獻或直接量測其熱傳導係數，最後將所得之數據輸入美國能源部開發之耗能模擬軟體DOE-2 (e-quest) 進行模擬，該軟體可以模擬建築物中央空調系統全年逐時負荷與耗電量，以評估出再生隔熱磚與一般隔熱磚之結能效益。

3. 結論

本研究之貢獻在於讓大眾多了解現今市面上之再生隔熱磚，其隔熱效果與同類型原生材隔熱磚是否有所差異，並舉列出其優勢，希望有助於再生隔熱磚之推廣與應用。

另外經由電腦耗能模擬得到之結果發現，再生隔熱磚之隔熱效果並不亞於同類型之原生材料隔熱磚，其中厚磚類隔熱磚中，以再生橡膠隔熱磚最佳之節能效果最佳（節省2.5%之電力）。另外在磁磚類隔熱磚中，以再生輕質磁磚之節能效益較佳（節省1.9%之電力），比一般磁磚多節省了近1%之電力。而由本所補助案所開發之冷結型材料其節能效果也優於傳統混凝土所製之五腳磚，若正式量化生產不僅具減少原生材料之使用量，同時也更能兼顧到節能效果。

4. 主要建議事項

建議一

立即可行建議：目前僅納入四種再生隔熱地磚，未來可持續增加再生隔熱磚之種類，以擴充再生隔熱磚之相關資料。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

建議二

中長期建議：本研究目前僅以再生隔熱磚之節能效益與一般常見隔熱磚進行比較，建議此研究日後方向可往再生隔熱磚之生命週期進行研究探討。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

ABSTRACT

Keywords: Recycling of Building Materials, Insulation Brick, energy saving efficiency for computer simulation.

Recycling of building materials with good insulation properties if you can reduce indoor air-conditioning energy consumption. But, how is it effective the insulation? This study to investigate energy saving efficiency for recycling of building materials. Wish to contribute to the promotion of renewable and application of insulation tiles. This study will these materials's U-value into a computer simulation of HVAC system to analyze its' energy consumption patterns. From this study we have conclusions as follows : 1. Recycling of rubber have the best energy saving efficiency in the insulation brick(save 2.5% of electricity). 2. Recycling of light tiles is better general tile (save 2.5% of electricity).

:

第一章 緒論

第一節 研究緣起與目的

台灣因位處於亞熱帶再加上近年來全球暖化之影響，使得社會大眾越來越依靠空調來調節室內溫度，此時建築外殼之建材若擁有良好之隔熱性能就可減少室內空調之耗能。現今許多廢棄物中，尚有許多能夠回收再利用的資源，若能有效再利用不僅可以消化各類產業廢棄物，也可降低天然材料的開採，也可降低製造過程中CO₂ 排放量。將廢棄物轉化成可再利用的建材稱之為再生建材，其製造方式是選用廢棄原料直接進行二次使用，如拆卸下來的水泥塊、陶瓷磚、橡膠、塑膠、玻璃、木材、五金等，或使用他種廢棄物資再製成建材，其主要分類可分成木質再生建材、石質再生建材及混合材質再生建材等三類，其中以混和材質再生建材最為常見。若此類再生建材能應用在建築物外牆或屋頂上，且又兼具良好之隔熱效果，相信對於節能減碳之效益能有更大之助益。

因此本研究以再生隔熱磚為研究對象，首先收集現行再生隔熱磚之製造原料、製程技術、製造成本等資料，與原生材料進行分析比較後，藉由文獻或直接量測其熱傳導係數，最後將所得之數據輸入美國能源部開發之耗能模擬軟體DOE-2 (e-quest) 進行模擬，該軟體可以模擬建築物中央空調系統全年逐時負荷與耗電量，以評估出再生隔熱磚與一般隔熱磚之經濟效益，以作為日後針對隔熱磚類屋頂隔熱產品對於空調耗能改善效益評估工作之參考依據。

第二節 研究方法與流程

本研究之方法與研究流程如下所示：

本研究首先將介紹建材隔熱性量測儀及耗能模擬軟體，再以文獻或隔熱建材製造商處收集原生隔熱材與再生隔熱材之成分、成本及施工方法等相關資料，並進行初比分析比較，最後將搜再生隔熱材之熱傳導係數帶入空調耗能模擬計算出其節能效益，且與原生材料之節能效益進行交叉分析比對。

本研究研究流程與步驟如圖1-1 所示

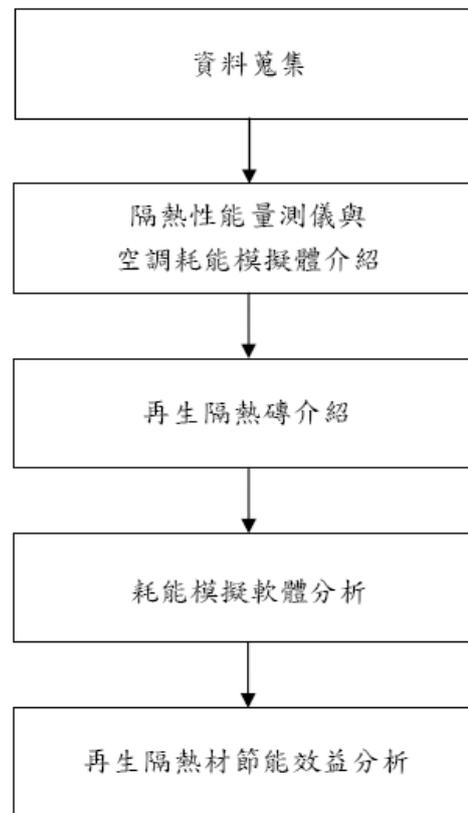


圖1-1 研究流程與步驟

(資料來源：本研究整理)

第二章 隔熱性能量測與建築空調耗能電腦模擬 軟體介紹

第一節 隔熱性能量測儀

1. HOT DISK

以瞬變平面熱源法 (Transient Plane Source Method) 測定熱傳性能。可在數秒內完成熱傳導率 (Thermal Conductivity) 熱擴散率 (Thermal Diffusivity) 和 比熱 (heat Capacity) 的測試，不會受到接觸電阻的影響，適用於各種型態的樣品。其Sensors外型為平面薄片，內部係由導電金屬鎳經刻蝕處理後形成的連續雙螺旋結構、外層為雙層Kapton或Mica保護層，具有一定的機械強度同時保持探頭與樣品之間的電絕緣性。其可量測的熱傳導係數範圍約在0.005 ~ 500 W/m.k之間。無須特別的試件製備，只需將兩個相對平整的表面將感測器夾在中間。



圖2-1 HOT DISK主機
(資料來源：本研究整理)



圖2-2 HOT DISK sensor

(資料來源：本研究整理)

2. 建材隔熱性能量測儀Unitherm 2022

Unitherm 2022 (如圖2-3) 係使用穩態熱流量測法(Steady-state Heat Flow Method)，當系統到達穩定時，傳入系統的能量會等於傳出的能量。再利用傅立葉熱傳導定律(Fourier's Law)求出試件的熱傳導係數。其量測方式是將試件裁切成直徑約50mm之圓形，然後將事件放置在一組可上下壓縮的平台上，平台的溫度均可以個別被控制，當熱流由上層平台經由試件到達下層平台，此時熱傳導現象所建立之軸向溫度梯度可以藉著在下層平台下方之熱通量轉換器(Heat Flux Transducer)量測出試件上下表面之溫度差來轉換成試件之熱傳導係數。穩態熱流量測儀之量測示意圖如圖2-4 所示。其計算方式如公式2-3、2-4所示。故根據式(2-3)，試件熱傳導係數可由 $R = d/k$ 求得。在式(2-4)中， F 與 R_{int} 可在儀器的校正過程中獲得，故式(2-4)中的 R_s 與 $(T_u - T_l)/Q$ 之間為

線性關係。因此若以 R_s 為縱座標， $(T_u-T_l)/Q$ 為橫座標可以由已知熱傳導係數之試件量測數據畫出一條以 F 為斜率、 $-R_{int}$ 為y 軸截距的直線（如圖2-5所示）。則根據此一直線方程式以及量測待測試件的 $(T_u-T_l)/Q$ 值即可反推求得待測試件之熱阻值。

$$Q = kA(T_1 - T_2) / d \text{ 或 } Q = k(T_1 - T_2) / R \quad (2-3)$$

其中：

Q ：熱通量

T_1 ：試片上層溫度

T_2 ：試片下層溫度

d ：試片厚度

k ：試片熱傳導係數

A ：試片截面積

$$R_s = F[(T_u - T_l)] / Q - R_{int} \quad (2-4)$$

其中：

R_s ：試件熱阻

F ：熱通量轉換器校正因子

T_u ：上層平台表面溫度

T_l ：下層平台表面溫度

Q ：熱通量轉換器輸出值

R_{int} ：試件表面熱阻



圖2-3 建材隔熱性能量測儀Unitherm 2022

(資料來源：本研究整理)

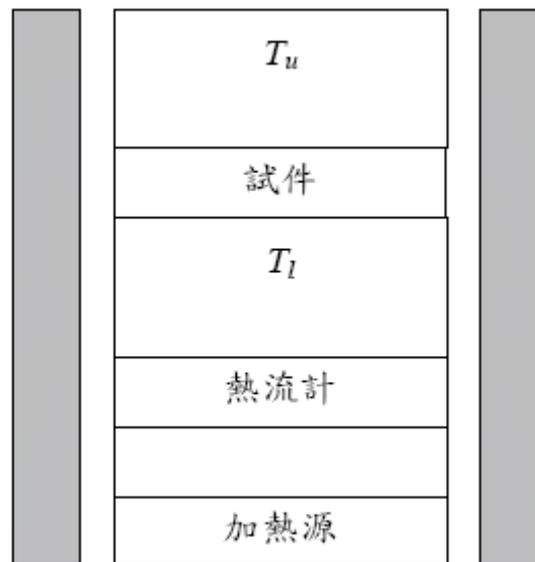


圖2-4 保護熱流計法量測物體之熱傳導係數示意圖

(資料來源：UNITHERM™ 2022 USER'S GUIDE,2004)

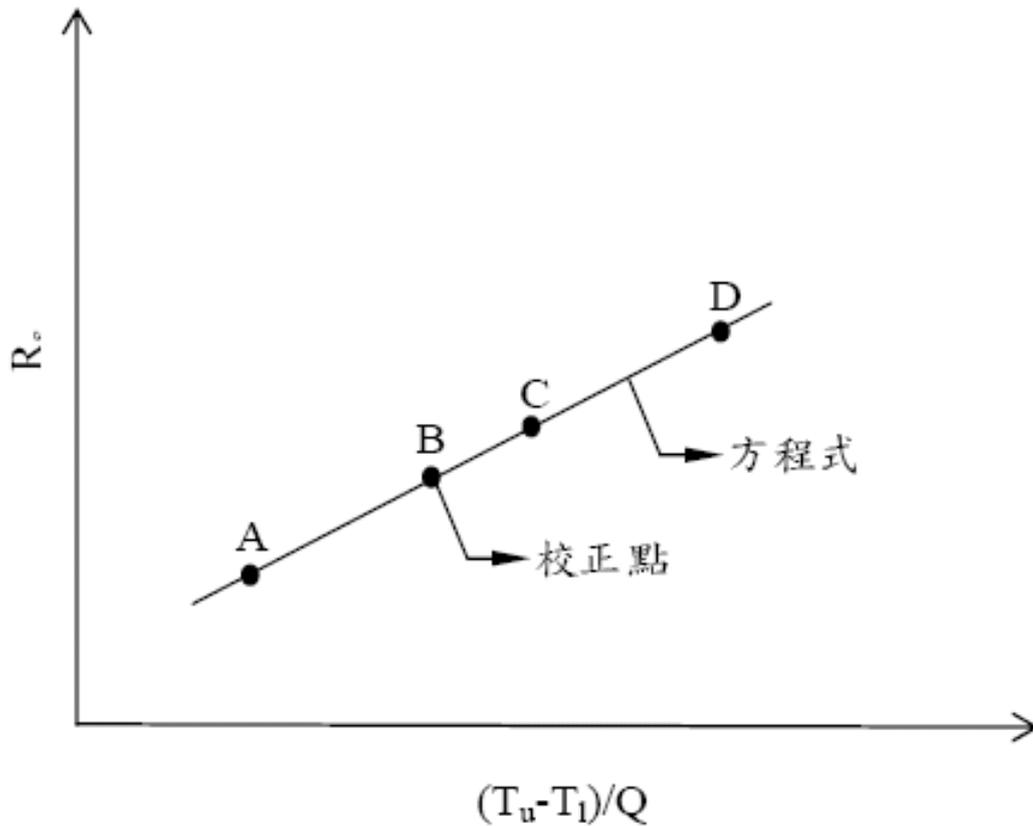


圖2-5 保護熱流計法之校正分析

(資料來源：UNITHERM™ 2022 USER'S GUIDE, 2004)

3. 攜帶式熱傳導係數量測儀 (ISOMET)

攜帶式熱傳導係數量測儀可直接測試材料熱物理性質 (如圖2-6 所示)，探測計主要分成探針式及表面接觸式兩種。其中針式大部份用於液體、粉末、纖維狀或軟質材料，在量測時周圍厚度約在10mm~15mm較佳，可測得0.035~2.0 (W/m.K) 之間熱傳導係數；表面接觸式則適用於硬質材料測試，量測時試片需保持平整以增加其測試精度，試片厚度範圍10 mm~15 mm 最佳，可測得0.03~6.0 (W/m.K) 之間熱傳導係數。

ISOMET使用暫態熱線量測法(Transient Hot Wire Method)為原理，其假設一無限長的探測針埋在無限大的均質介質中，當時間 $t > 0$ 時，探針產生單位長度定熱通量 q 來加熱介質，其計算方法如公式2-1、2-2所示。由式子可知在時間夠長的情況下，溫度與時間的自然對數函數為一線性關係，所以在熱通量 q 已知時，試件的熱傳導係數可以由量測數據在溫度與時間的自然對數函數圖形中所形成的直線斜率來決定。

Hot Disk測試固體試件時需準備兩份，用以夾住Sensors，Unitherm 2022則需將試件裁成圓形，且厚度有所限制，相較下攜帶式量測儀為三種熱傳導係數量測儀器使用上最方便，且試件條件最為簡便，故本研究選用攜帶式熱傳導係數量測儀作為量測之工具。

$$T = \frac{q}{4\pi k} (\ln 4F_r - r) \quad (2-1)$$

由2-1可推導得到公式2-2

$$k = (q/4\pi)(dT/d \ln t)^{-1} \quad (2-2)$$

其中：

k ：熱傳導係數

F_r ： $\alpha t/r_0^2$

α ：熱擴散係數

r_0 ：探針半徑

γ ：尤拉常數=0.5772



圖2-6攜帶式熱傳導係數量測儀 (ISOMET)

(資料來源：本研究整理)

第二節 空調耗能模擬軟體-eQUEST

eQUEST 之全名為 The QUick Energy Simulation Too，是由美國能源部（U.S. Department of Energy）資助開發，是一套以DOE-2 為核心所開發之免費工具軟體，具有與DOE-2相同之功能，但在使用上較為簡單方便，廣為世界各國學界與業界所採用。它能幫助使用者快速的選取建築物最佳參數，進而改善能源效益且同時保持建築物本身的舒適度，就工程分析而言，使用者只要提供簡明的建築物設計描繪，DOE-2便能估算出此一建築物的耗能情形、內部環境情況及能源設備（空調、照明...）的運轉費用，同時能以每小時為單位來模擬建築物在一年中的耗能情形。其耗能模擬主要如步驟一～六（圖2-7～2-18）。

步驟一：

此步驟主要在於氣候條件、冷暖空調、樓層數及建築物面積等資料之輸入，其中氣候條件之選項除內建之選項外，使用者可如載入自行下載之各地氣象資料。

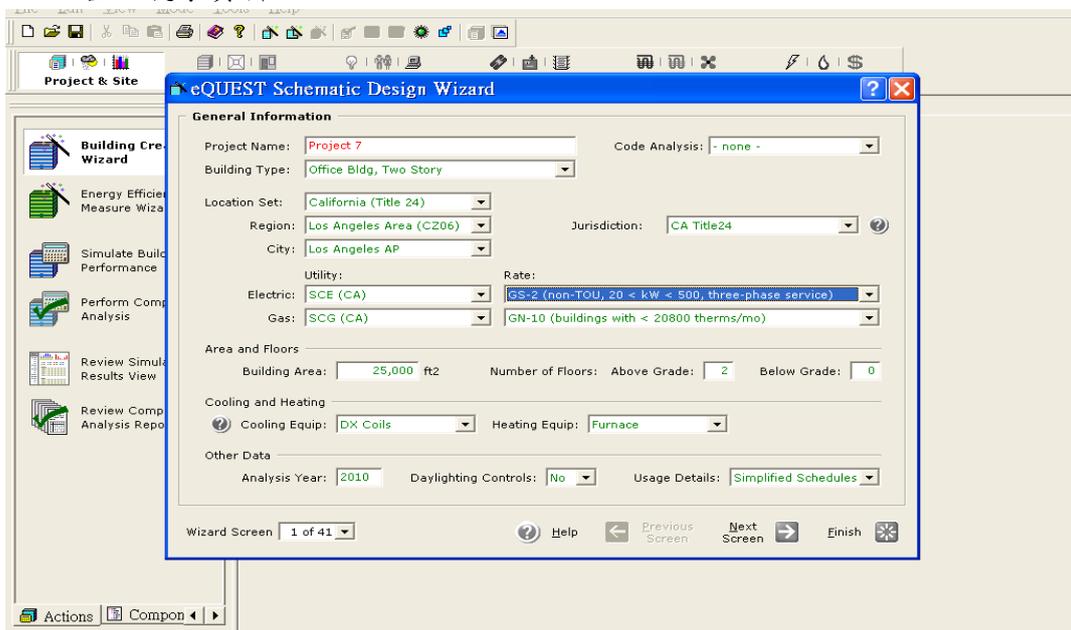


圖2-7建築物基本資料設定畫面
（資料來源：本研究整理）



圖2-8 自行載入氣候資料畫面
(資料來源：本研究整理)

步驟二：

此步驟在於建築物之幾何形狀、坐落方位、樓板間距等資料設定，其中幾何形狀部分除內建之矩型、梯形、L型、T型...等形狀外，使用者(custom)可使用AUTOCAD繪製之*.dwg圖檔匯入建築物形狀。

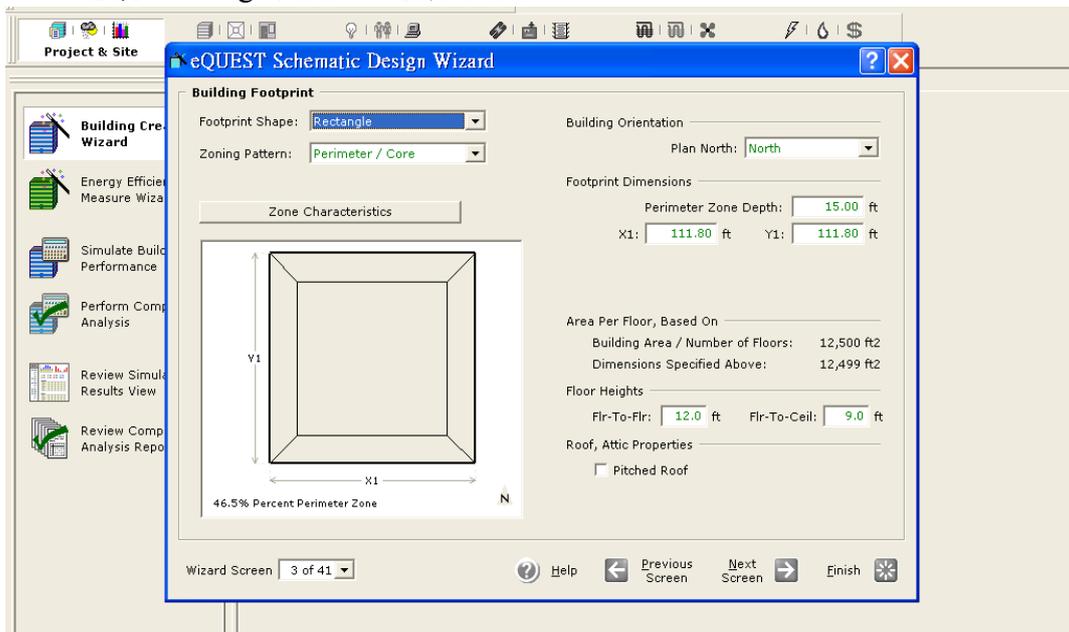


圖2-9 建築物幾何形狀設定畫面
(資料來源：本研究整理)

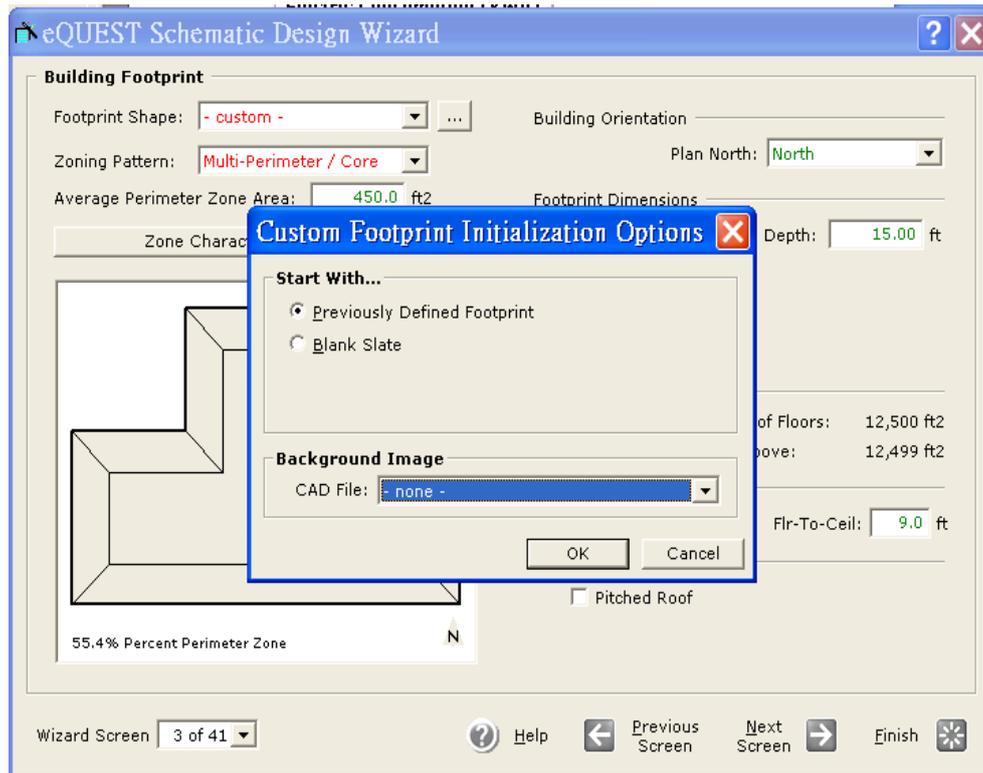


圖2-10 匯入CAD圖檔之畫面
(資料來源：本研究整理)

步驟三：

此步驟在於建築物之屋頂、樓板及牆面材料性質設定，除基本之材料種類外，使用者可進一步選擇更多材料 (custom layer-by-layer)，並依需求設計材料厚度，且可直接設定熱阻值 (R-Value)。

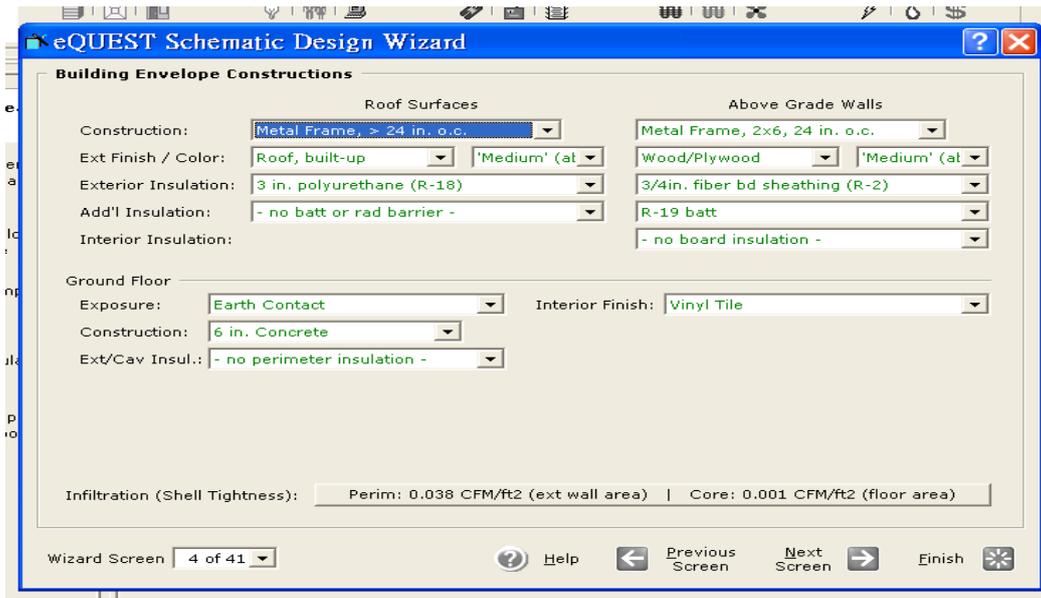


圖2-11 屋頂、樓板及牆面材料設定畫面

(資料來源：本研究整理)

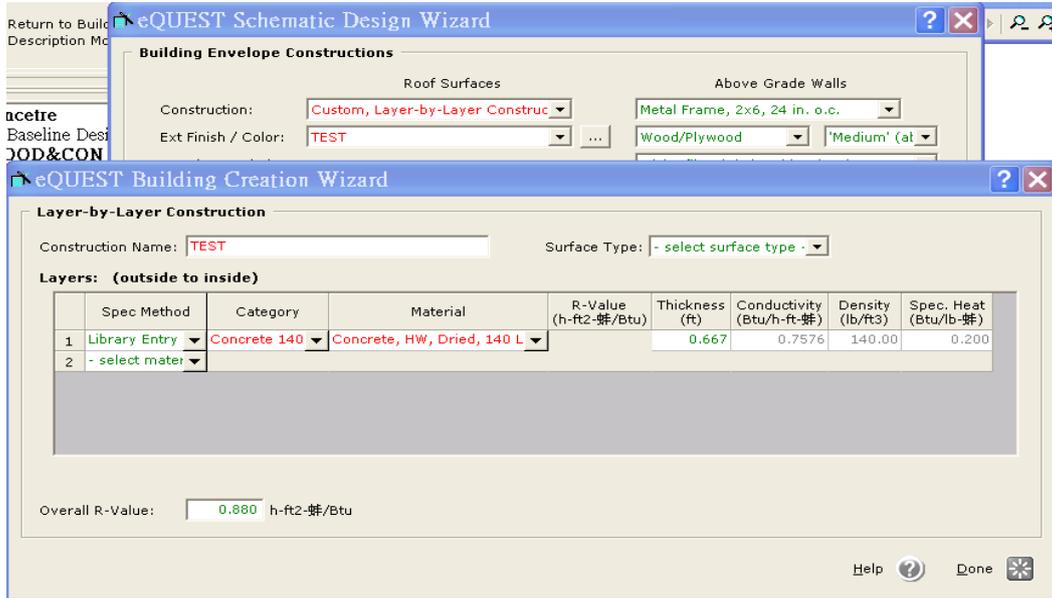


圖2-12 材料厚度及熱阻值設定畫面
(資料來源：本研究整理)

步驟四：

此步驟在於門窗之尺寸、數量及種類設定，窗戶除內建之資料庫外也可自行設計玻璃參數。

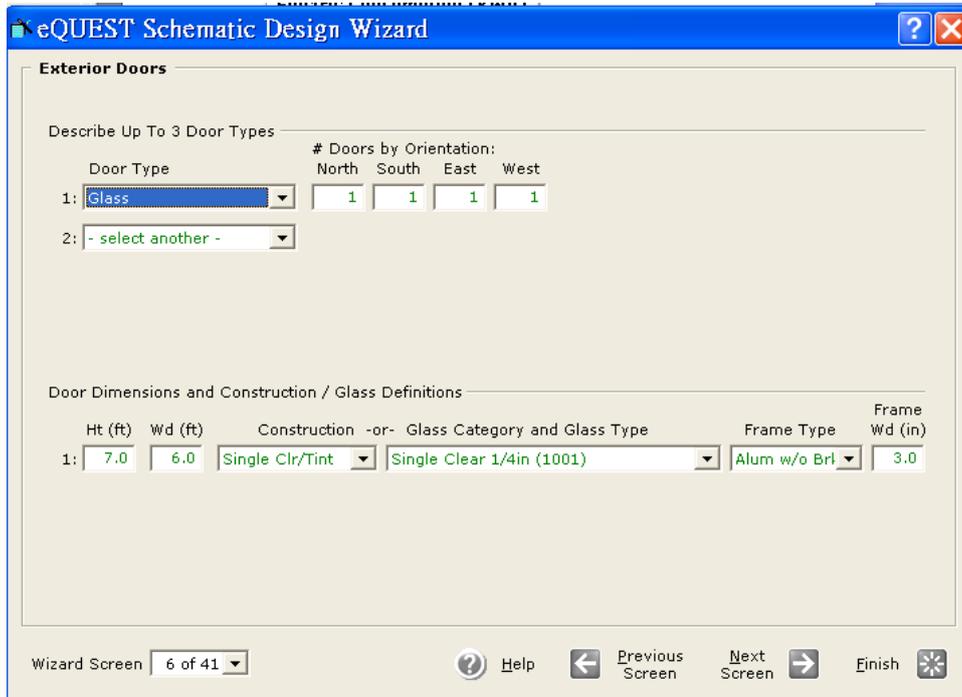


圖2-13 門資料設定畫面

(資料來源：本研究整理)

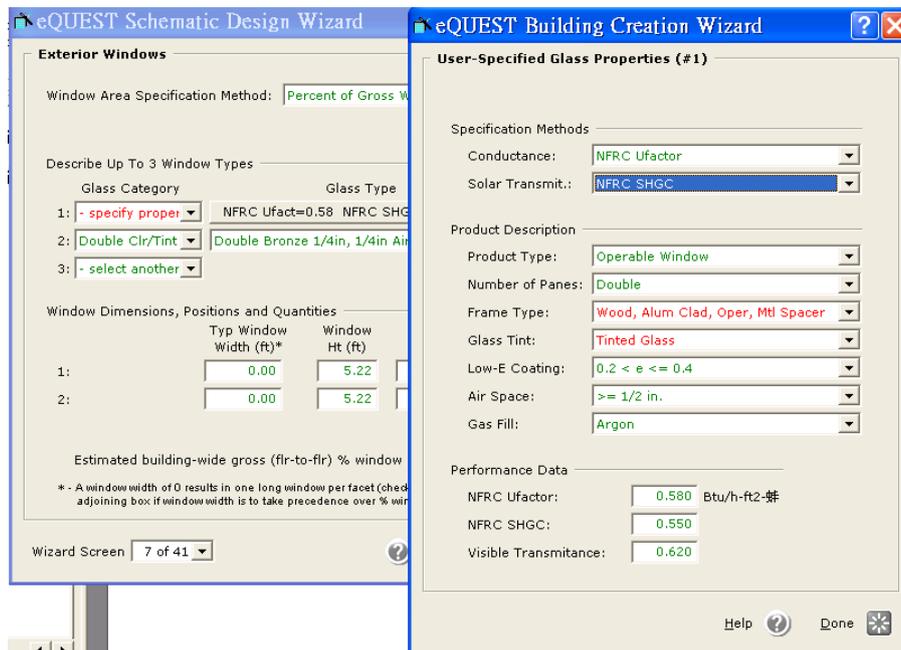


圖2-14 窗戶資料設定畫面

(資料來源：本研究整理)

步驟五：

此步驟在於設定空調、燈光設備使用時間，如每逢六日不開啟，也可以設定每日使用之時間區間。

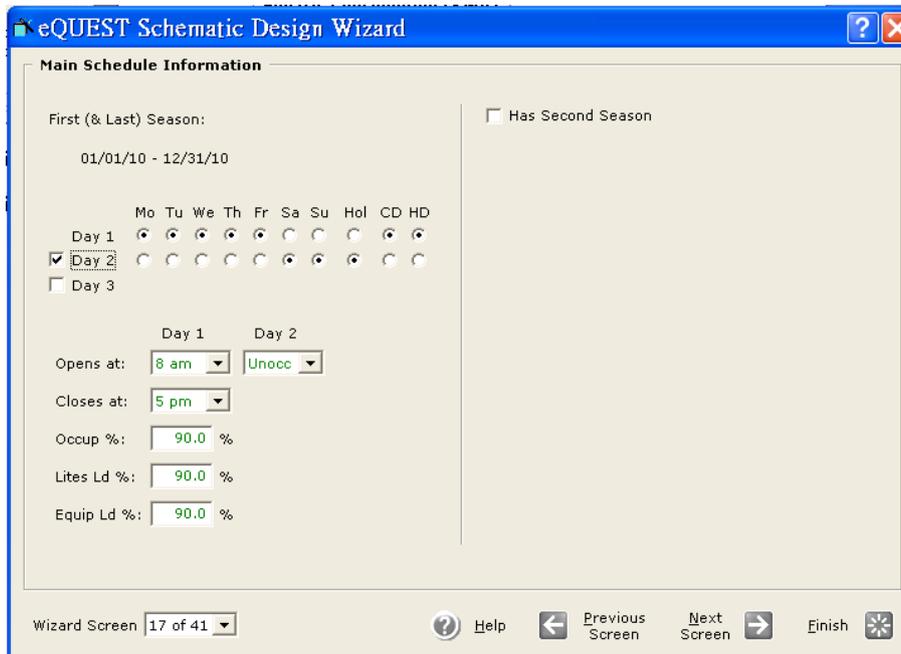


圖2-15 空調及燈光等設備開啟關閉時間設定畫面

(資料來源：本研究整理)

步驟六：

此步驟在於冷暖空調種類之設定，若不需冷或暖空調可選擇關閉不啟用。

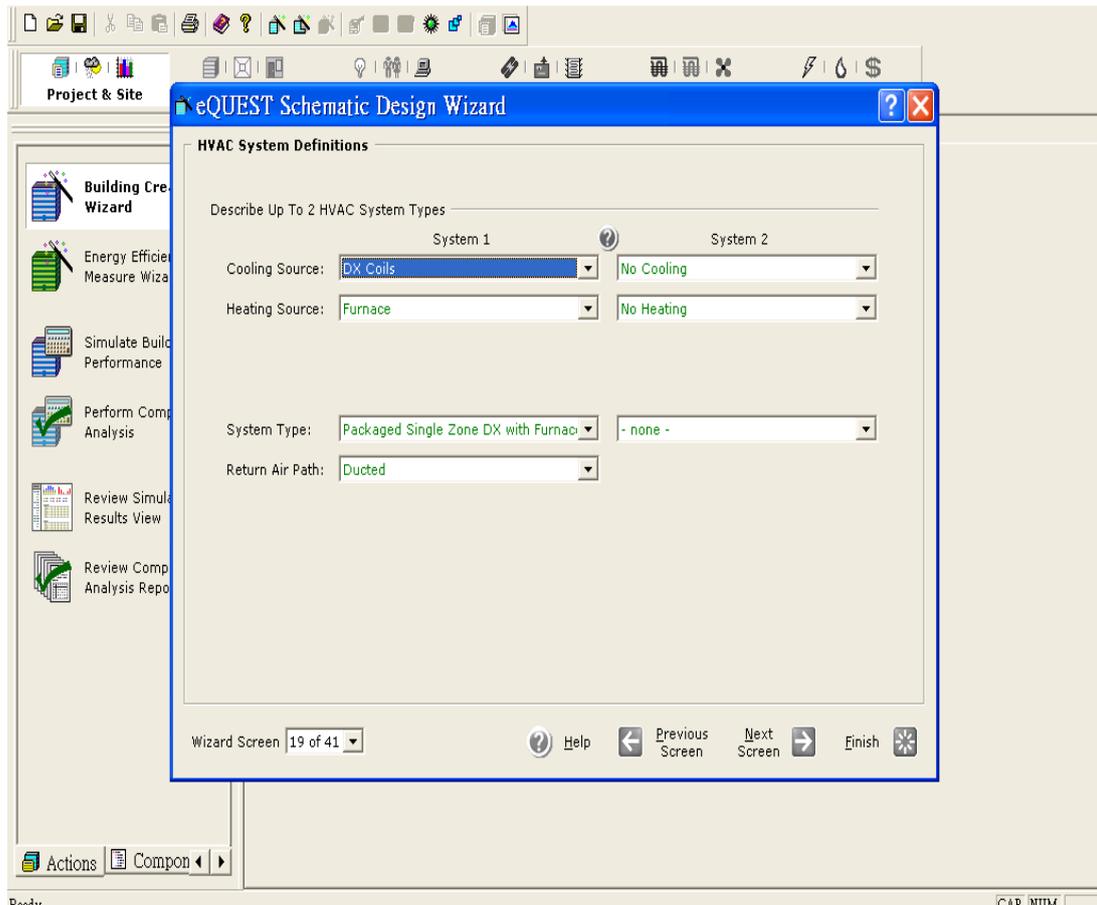


圖2-16空調種類選擇
(資料來源：本研究整理)

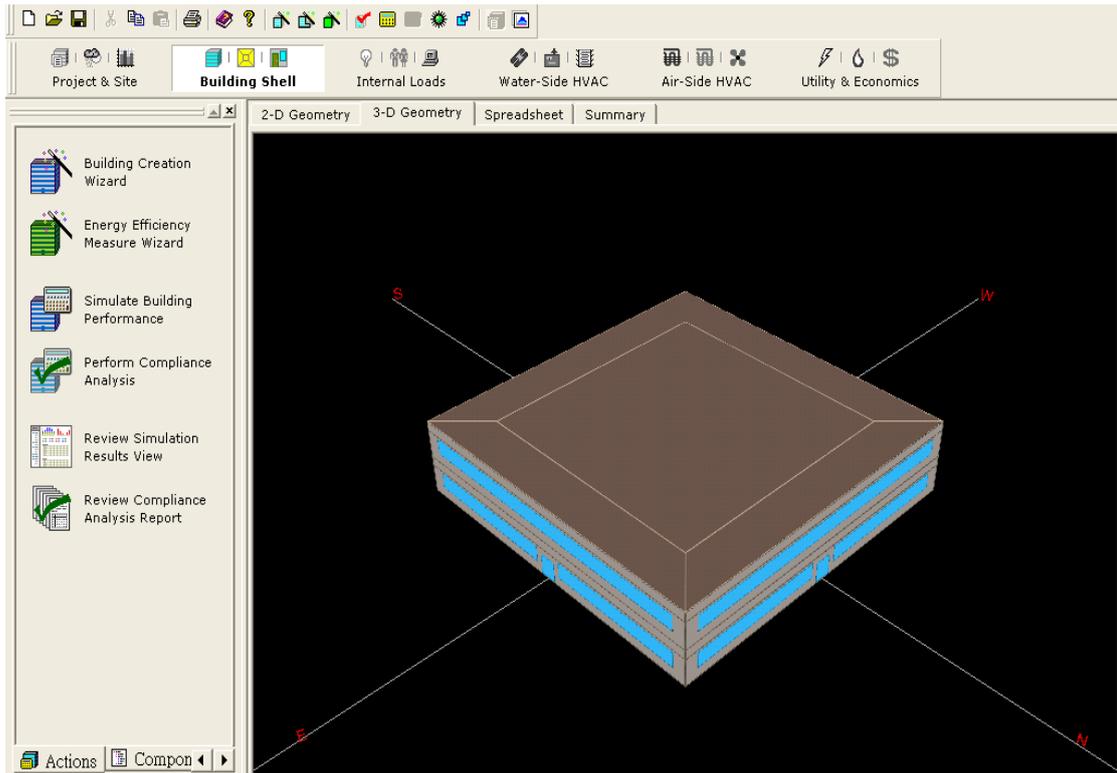


圖2-17設計建築物之外觀立體圖
(資料來源：本研究整理)

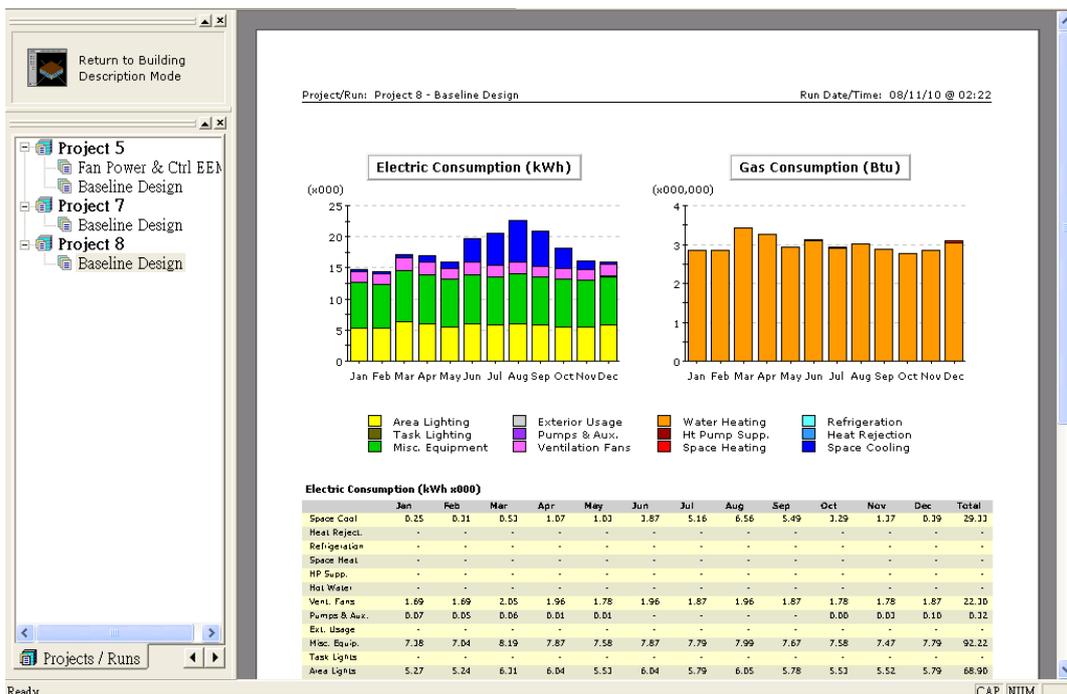


圖2-18每月用電分布圖
(資料來源：本研究整理)

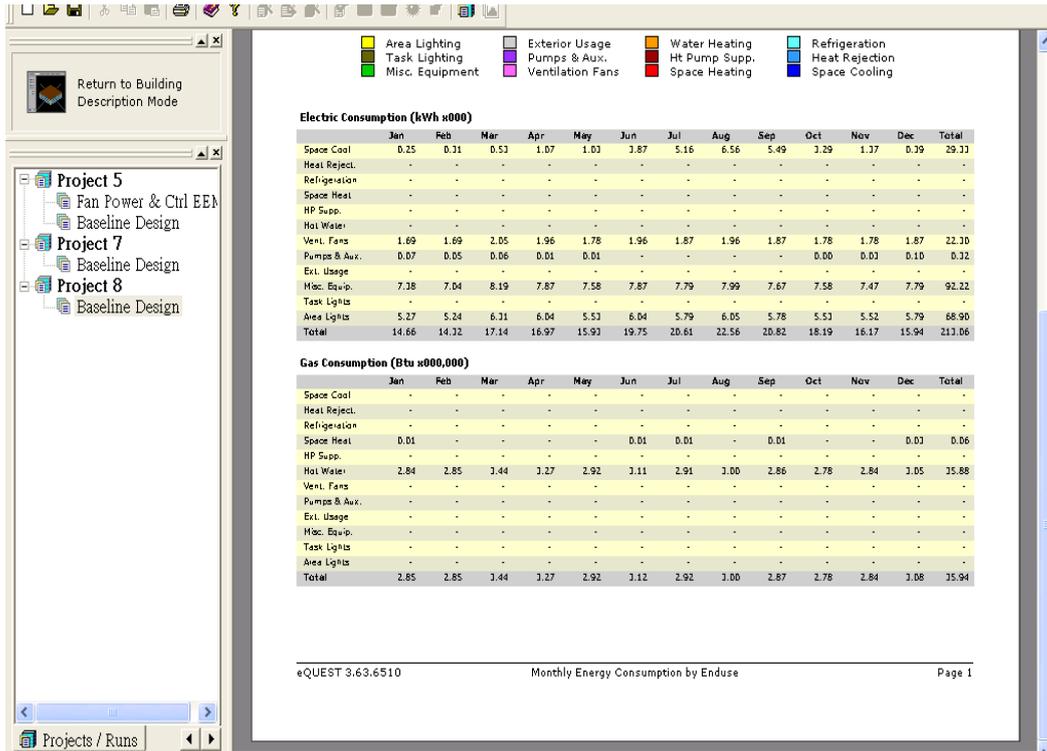


圖2-13 電力使用資料
(資料來源：本研究整理)

第三章 再生隔熱磚介紹

再生隔熱磚與原生材隔熱磚之隔熱方式大多相同，或利用本身材料之低熱傳導係數，或以複合材料降低熱傳導係數，抑或利用空氣層隔熱，本研究主要以再生隔熱磚為探討對象，乃希望透過本研究讓大眾多了解以現今市面上之再生隔熱磚，其隔熱效果與同類型原生材隔熱磚是否有所差異，並舉列其優勢，希望有助於再生隔熱磚之推廣與應用。

1. 再生木質水泥隔熱磚

再生木質水泥隔熱磚係將水泥及廢棄木屑以3：1之比例加上助劑及水製成，其隔熱主要是依靠材料本身之低熱傳導係數，目前國內僅有一家廠商生產此種再生隔熱磚。其與傳統隔熱磚之區別在於可配合建築物整體施工，省人力物力、減少現場生產之物料貯存、成品養生堆置空間、減少包裝、搬運成本、可依鋪設面積整體考量、較無死角減少邊料產生及節約物料成本。其材料性質如表3-1所示。其施工標準作業程序則如下所示及圖3-1~3-3所示：

1. 施工現地確認防水設施良好，表面清除乾淨。
2. 確認鋪設區域周界，必要時以板條區隔。
3. 確認鋪設厚度，並計算所需漿料量。
4. 依所需漿料量及配比，推算水泥、木屑、助劑使用量。
5. 木質水泥漿料傾瀉入鋪設面上（*須注意每次調配成之漿料全部於三十分鐘內攤平於鋪設面上）。
6. 依預定厚度將漿體抹平：期中包括人工抹平、軋平機整平並夯實、表面修飾等作業項目，另可視需要以水泥粉光或加入紅、綠等色料。
7. 切劃寬約0.3cm，深約0.5cm 之伸縮縫(及排水用)。
8. 施工完成後每三十分鐘於表面噴灑水，水量以保持濕潤並不積水為限。表面噴灑水約以二~三次為宜，但須視天候狀況而定。夏季炎熱日光直射水分易快速脫除，將可能在漿體硬化前水份脫除而降低結合力。冬季或氣候潮濕，水分不易蒸發，則可酌量減少噴水。
9. 養生，若完工三天內遇大雨，應作適當遮蓋，一週內避免於鋪面上堆置重物或重力撞擊。

表 3-1 再生木質水泥隔熱磚材料性質

試驗項目	含水率 (%)	吸水率 (%)	容積比重	抗壓強度 (kgf/cm ²)	彎曲破壞載重(kgf)	最大彎曲應力(kgf/cm ²)	熱傳導係數 (W/m.K)
	13.9	31.7	1.01	90.8	154	30	0.1572

(2008,張祖恩、陳文卿)



圖3-1 配料攪拌

(資料來源：2008,張祖恩、陳文卿)



圖3-2 半成品鋪設
(資料來源：2008,張祖恩、陳文卿)



圖3-3 鋪設完成圖
(資料來源：2008,張祖恩、陳文卿)

2. 再生輕質磁磚

再生輕質磁磚（圖3-4）使用40%以上之回收材料，且比重比傳統磁磚少50%不僅利於使用在屋頂地板，因重量更輕更適用於外牆之上。其回收材料主要為陶瓷廢棄物、廢玻璃、廢耐火磚(鋁、矽系)、廢鑄渣、無害性無機廢棄物等。其材料性質如表3-2所示，其熱傳導係數遠低於一般磁磚主要原因在於磁磚內部擁有獨立之氣孔（圖3-5），依靠本身低熱傳導係數達到隔熱之效果，目前國內有十多家廠商製造再生磁磚，但僅有一家生產此種再生輕質磁磚，而目前通過再生綠建材標章的再生磁磚僅有兩項，本研究提及再生輕質磁磚即為其中一家。其施工步驟如下所示：

1. 首先施作防水層，於結構體上做防水施工(PU、彈性泥塗抹等)。
2. 完成防水層後施作粉底層，使用含接著劑的水泥砂漿，抹平後再鋪貼磁磚。
3. 最後於粉底層上用大型鏟刀以高分子樹脂黏著劑作鋪貼。
4. 鋪貼完成後，建議以含樹脂之填縫劑作抹縫（完工示意圖如3-7所示）。

表 3-2 再生輕質磁磚與其他材質磁磚性質比較

名稱	性質	瓷質	石質	陶質	輕質
比重		2.3	2.2	-	1.1
吸水率%		1	6	18	12
抗壓強度 kgF/cm ²		183.6	122.4	61.2	121
熱傳導 Kcal/m.h°C		1.2	1.1	-	0.12

（資料來源:順欣環境資源公司）



圖 3-4 再生輕質磁磚
(資料來源:順欣環境資源公司)

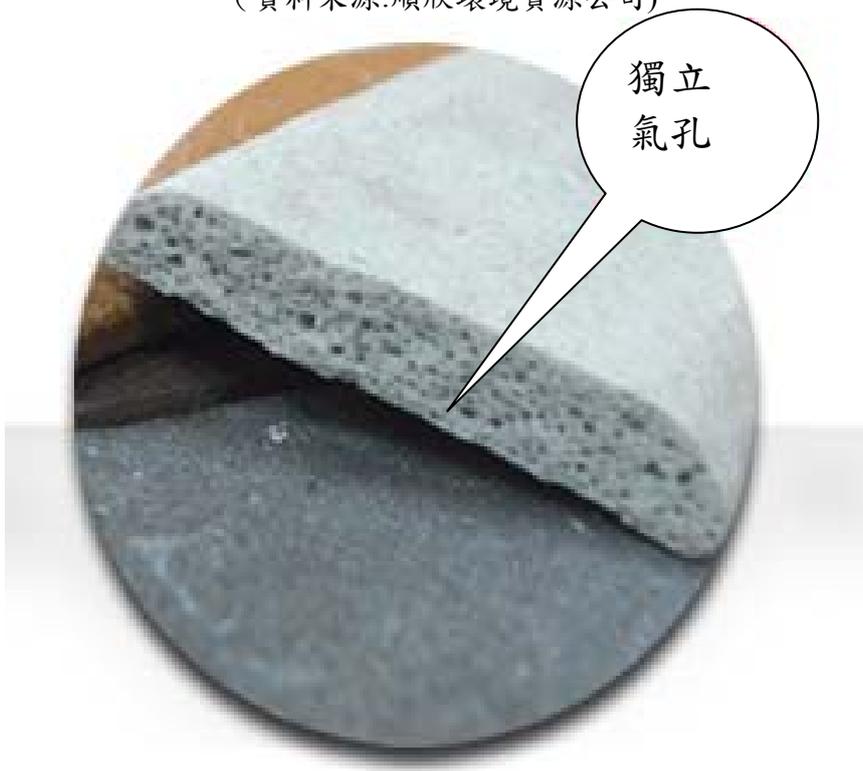


圖3-5 再生輕質磁磚斷面
(資料來源:順欣環境資源公司)



圖3-6 再生輕質磁磚製程示意圖
(資料來源: 鈺翰陶瓷有限公司)

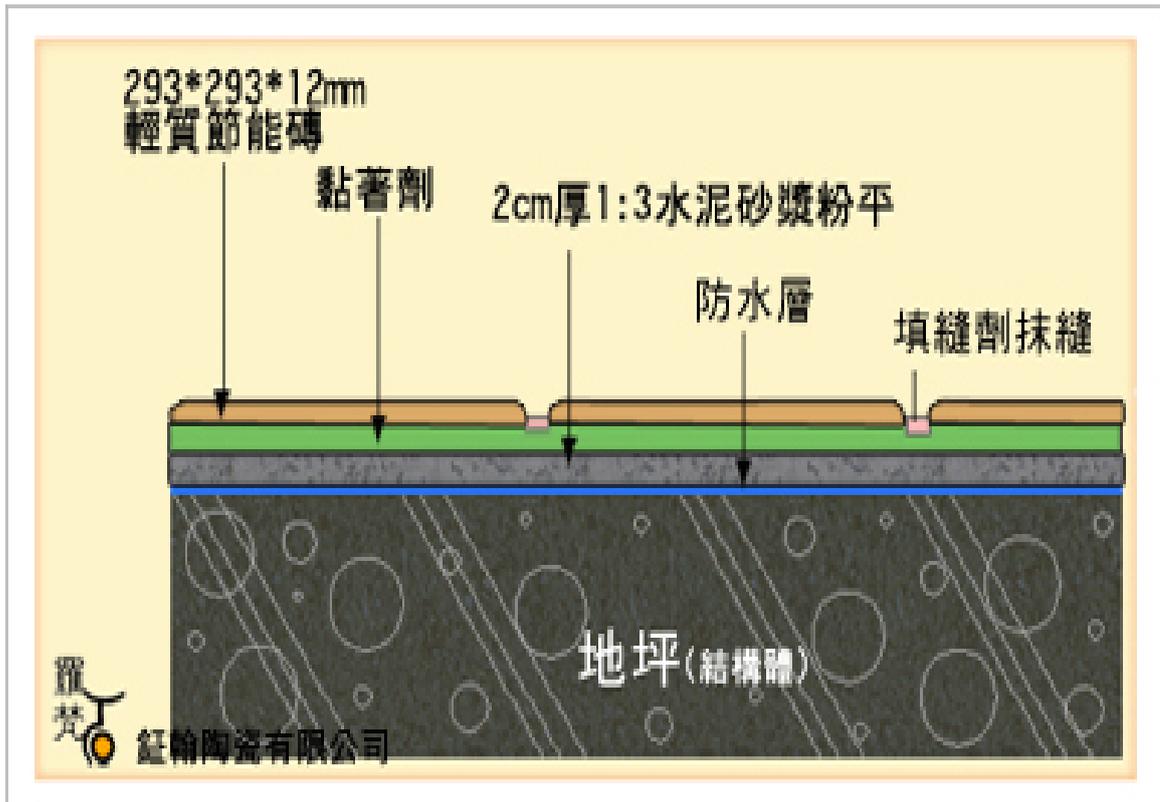


圖 3-7 再生輕質磁磚施工圖
(資料來源: 鉦翰陶瓷有限公司)

3. 再生橡膠隔熱磚

橡膠隔熱磚(如圖3-8所示)是由兩種材質所組成,分別為上層之再生橡膠(主要來源為廢棄輪胎、橡膠製品邊料等)及下層PS板層,上下兩層之熱傳導係數分別為 0.036W/m.K 及 0.039W/m.K (2006,王佑萱),係屬於複合材料的一種。

其特性為堅固耐用及美觀多色樣,最大特點為施工方法十分簡易,可由消費者自行購買後安裝,且其上下層均易裁切,可適應大多數的屋頂。再生橡膠隔熱磚施工步驟則如下所示:

4. 屋面防水層完工後,將表面殘留物清除乾淨,依施工圖面放樣。
5. 施工前清除施作面的殘留物及查驗原防水材有否被破壞。
6. 施工前應逐一檢視隔熱材的表面及稜角完整無任何瑕疵。
7. 磚材排置沿落水頭留寬約20cm的排水溝。



圖 3-8 再生橡膠隔熱磚
(資料來源: 東岱環保工程公司)

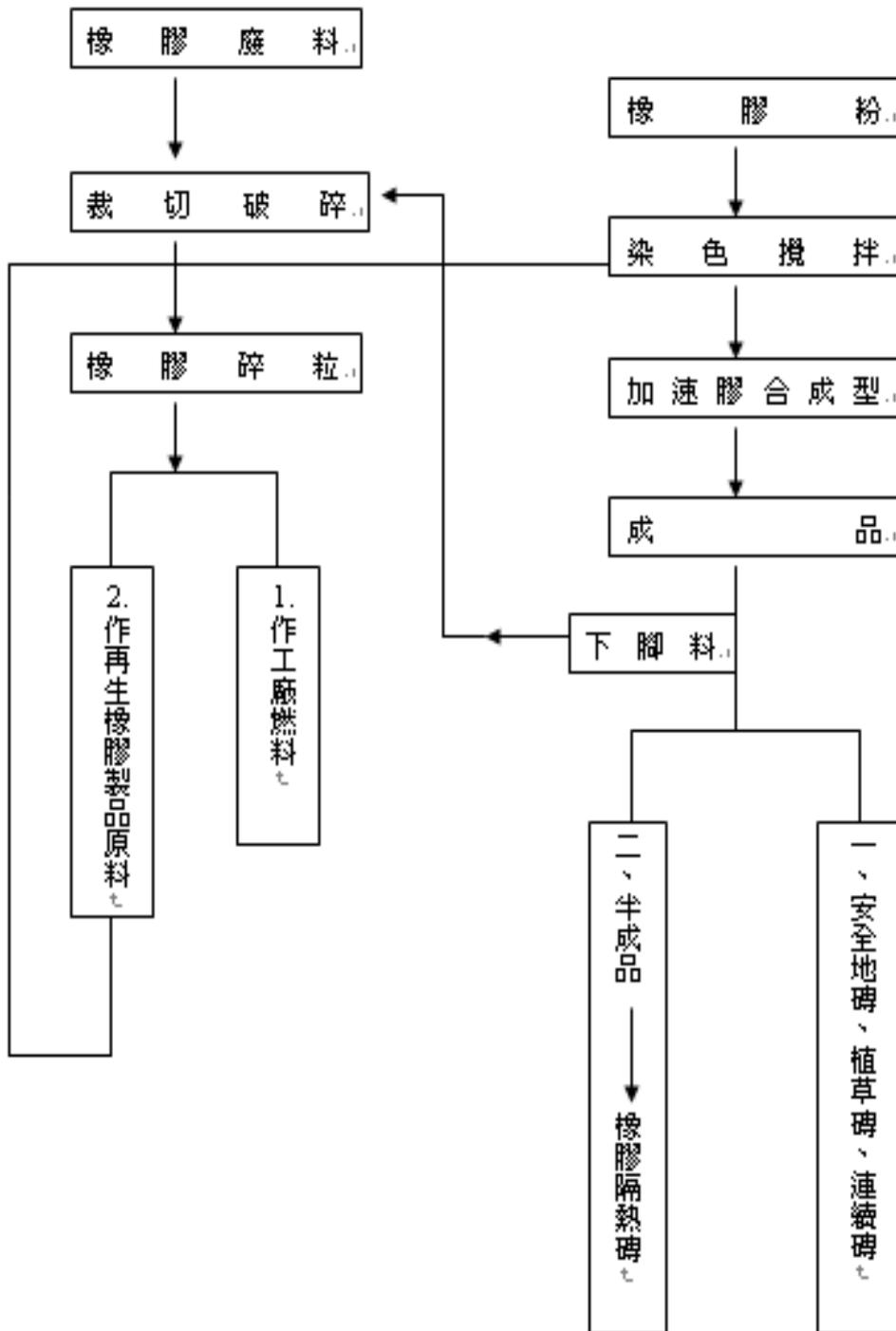


圖3-9 再生橡膠隔熱磚製程

(資料來源: 東岱環保工程公司)

4. 再生冷結磚

再生冷結磚係採用本所補助計畫案所開發之冷結型粒料之C50、C100及C200等三種配比以壓磚方式製成（如圖3-10）。其再生料之來源主要為再用性較低之剩餘土石方，並且採用低耗能、低CO₂排放之冷結技術製造，使原本破壞環境之廢棄物成為具經濟價值之再生材料。

本研究考慮其營建剩餘土石方使用，且整體使用回收材料之比率更高達90%以上，對於廢棄物回收再利用有相當大貢獻，因此納入本研究之範圍，評估未來可否用來取代混凝土所製成之隔熱磚（如保麗龍隔熱磚或五腳隔熱磚）。

再生冷結磚之成分與冷結型粒料相同，是以三種配比（C50、C100、C200）及五種剩餘土石方（B2-3、B3、B4、B6類）所製成，其詳細成分如表3-3 ~ 3-5所示。壓製成磚後將之放入烘箱乾燥24小時，再進行熱傳導係數之量測，其量測結果如表3-4 所示，由表可知在三種配方比較後，熱傳導係數最低者均為B3類營建剩餘土石方所製成之再生冷結磚，其熱傳導係數由小到大依序為B3、B4、B6、B2-3。



圖3-10 處理場之營建剩餘土石方（B4）

（資料來源：2009,張祖恩、陳文卿）



圖3-11 處理過之營建剩餘土石方

(資料來源：2009,張祖恩、陳文卿)



圖3-12 再生冷結磚壓磚模具

(資料來源：2009,張祖恩、陳文卿)



圖3-13 再生冷結磚

(資料來源：2009,張祖恩、陳文卿)

表3-3 C50冷結型再生粒料配比 (kg/m³)

種類	水泥	爐石	飛灰	營建剩餘土石 方用量	玻纖 (2 vol.%)
B2-3	50 (2.59)	150 (7.75)	235 (12.15)	1462 (75.48)	39.4 (2.03)
B4	50 (2.76)	150 (8.27)	235 (12.97)	1340 (73.83)	39.4 (2.17)
B3	50 (2.70)	150 (8.10)	235 (12.70)	1378 (74.38)	39.4 (2.13)
B6	50 (2.67)	150 (8.00)	235 (12.54)	1401 (74.69)	39.4 (2.10)

註：() 中係指各組成固體材料之重量百分率

(資料來源：2008,張祖恩、陳文卿)

表3-4 C100冷結型再生粒料配比 (kg/m³)

種類	水泥	爐石	飛灰	營建剩餘土石 方用量	玻纖 (2 vol.%)
B2-3	100 (5.18)	110 (5.70)	255 (13.20)	1427 (73.88)	39.4 (2.04)
B4	100 (5.52)	110 (6.07)	255 (14.07)	1308 (72.16)	39.4 (2.17)
B3	100 (5.41)	110 (5.95)	255 (13.79)	1345 (72.73)	39.4 (2.13)
B6	100 (5.35)	110 (5.88)	255 (13.26)	1368 (73.05)	39.4 (2.10)

註：() 中係指各組成固體材料之重量百分率
(資料來源：2008,張祖恩、陳文卿)

表3-5 C200冷結型再生粒料配比 (kg/m³)

種類	水泥	爐石	飛灰	營建剩餘土石 方用量	玻纖 (2 vol.%)
B2-3	200 (10.38)	20 (1.02)	280 (14.51)	1388 (72.04)	39.4 (2.04)
B4	200 (11.04)	20 (1.09)	280 (15.44)	1272 (70.25)	39.4 (2.18)
B3	200 (10.82)	20 (1.07)	280 (15.14)	1309 (70.84)	39.4 (2.13)
B6	200 (10.70)	20 (1.06)	280 (14.96)	1331 (71.18)	39.4 (2.11)

(資料來源：2009,張祖恩、陳文卿)

表3-6 剩餘土石方堆置處理場土石分類對照

合法收容處理場所類型		收容剩餘土石方之土質代號
土石方資源堆置處理場		1.B1, B2-1, B2-2, B2-3 2.B3, B4, B6, B7 3.B5
既有土石方再利用處理場所	磚瓦窯場	B3, B4, B6, B7
	輕質粒料場	B3, B4, B6, B7
	砂石堆置、儲運、土石碎解洗選場(簡稱砂石場)	B1, B2-1, B5
	預拌混凝土場	B1, B2-1, B5
	水泥場	B3, B4, B6
經政府機關依法核准之處理場所	土石採取場回填土石方	B1, B2-1, B2-2, B2-3
	窪地需土方整地填高者	B1, B2-1, B2-2, B2-3
	填海築堤造地者	B1, B2-1, B2-2, B2-3
	營建工程需借土方者	B1, B2-1, B2-2, B2-3
	水庫、河川坡面保護工	B4, B6

(資料來源：內政部營建署)

表3-7 各配比再生冷結磚熱傳導係數

	B2-3 (W/m.K)	B3 (W/m.K)	B4 (W/m.K)	B6 (W/m.K)
C200	0.994	0.738	0.750	0.761
C100	0.988	0.702	0.728	0.765
C50	0.910	0.653	0.686	0.716

(資料來源：本研究整理)

表3-8 各配比之抗壓強度

	B2-3 (kgf/cm ²)		B3 (kgf/cm ²)		B4 (kgf/cm ²)		B6 (kgf/cm ²)
C200	193.42		123.39		151.31		192.17
C100	173.94		108.25		117.47		170.68
C50	140.94		89.65		95.93		147.45

(資料來源：2009,張祖恩、陳文卿)

第四章 再生隔熱磚節能效益分析

本研究將針對前章節所介紹之再生隔熱磚進行結能效益模擬，並與市面常見之一般磁磚、五腳隔熱磚、保麗龍隔熱磚進行比較，讓大眾更能了解再生隔熱磚隔熱效果及相關特性，期望能增加大眾選用再生隔熱磚之意願。

第一節 再生隔熱磚節能效果模擬

首先將前述章節所提到之再生隔熱磚及一般磁磚、五腳隔熱磚、保麗龍隔熱磚熱傳導係數如表4-1、4-2將各熱傳導係數代入公式(4-1)，可得到所有隔熱磚之U值，最後將所得之U值帶入EQUEST模擬並比較其耗能差異，得到表4-5、4-6知各種類隔熱磚之隔熱效果，並得知在厚磚類隔熱磚中，以再生橡膠隔熱磚最佳之節能效果最佳(節省2.1%之電力)。另外在磁磚類隔熱磚中，以再生輕質磁磚之節能效益較佳(節省1.7%之電力)，比一般磁磚多節省了近1%之電力。

$$U_i = \frac{1}{1/h_o + \sum dx/k_x + r_a + 1/h_i} \quad (4-1)$$

其中

U_i ：i部位之熱傳透率 $[W/m^2 \cdot K]$

r_a ：中空層之熱阻 $[m^2 \cdot K / W]$

h_o ：外表面熱傳遞率 $23.0 [W/m^2 \cdot K]$

h_i ：內表面熱傳遞率 $7.0 [W/m^2 \cdot K]$

dx ：x層之厚度 $[m]$

k_x ：x層材料之熱傳導係數 $[W/m \cdot K]$ ，本例訂為 $0.2 W/m \cdot K$

(建築物外遮陽暨屋頂隔熱設計參考手冊，鄭政利，2008)

表4-1 厚磚類隔熱磚之K值

厚磚類隔熱磚	K (W/m.K)
20cm混凝土層	1.3
再生木質水泥隔熱磚	0.157
再生橡膠隔熱磚	橡膠層：0.036 保麗龍層：0.039
再生冷結磚 (B3&C50)	0.653
五腳隔熱磚	1.63
保麗龍隔熱磚	混凝土層：2.2 保麗龍層：0.0489

(資料來源：本研究整理)

表4-2 磁磚類隔熱磚之K值

磁磚類隔熱磚(地磚)	K (W/m.K)
20cm混凝土層	1.3
再生輕質磁磚	0.121
一般磁磚	1.3

(資料來源：本研究整理)

表4-3 厚磚類隔熱磚之U-value

厚磚類隔熱磚	U-value (W/m ² .K)
20cm混凝土層	2.939
再生木質水泥隔熱磚 (含黏著劑及PU防水層)	3.015
再生橡膠隔熱磚 (含黏著劑及PU防水層)	1.362
再生冷結磚 (B3 & C50)	3.050
五腳隔熱磚 (含PU防水層)	3.431
保麗龍隔熱磚 (含黏著劑及PU防水層)	1.783

(資料來源：本研究整理)

表4-4 磁磚類隔熱磚之U-value

磁磚類隔熱磚 (地磚)	U-value (W/m ² .K)
20cm混凝土層	2.939
再生輕質磁磚 (含樹脂黏劑、水泥砂漿及PU防水層)	3.022
一般磁磚 (含樹脂黏劑+水泥砂漿+PU防水層)	4.355

(資料來源：本研究整理)

表4-5 厚磚類隔熱磚節能效益比較表

	總耗電功率 kW/h	鋪設隔熱層之 節能情形
20cm混凝土層	1,568.3	-
20cm混凝土層+再生木質水泥隔熱磚	1,534.9	2.13%
20cm混凝土層+再生橡膠隔熱磚	1,528.1	2.56%
20cm混凝土層+再生冷結磚 (B3 & C50)	1,540.2	1.79%
20cm混凝土層+五腳隔熱磚	1,539.6	1.83%
20cm混凝土層+保麗龍隔熱磚	1,530.7	2.40%

(資料來源：本研究整理)

表4-6 磁磚類隔熱磚節能效益比較表

	總耗電功量 kW/h	鋪設隔熱層之 節能情形
20cm混凝土層	1,568.4	-
20cm混凝土層+再生輕質磁磚	1,537.5	1.97%
20cm混凝土層+一般磁磚	1,553.8	0.91%

(資料來源：本研究整理)

表4-7各種建材熱傳導係數-1

分類	材料名稱	密度 ρ [kg/m ³]	熱導係數k 濕潤80% [W/m·k]
金屬	鋼材、鍍鋅鋼板	7860	45
	鋁板、鋁合金板	2700	210
	銅板	8960	375
	不銹鋼板	7400	25
水泥	泡沫混凝土 (ALC)	600	0.17
	輕質混凝土	1600	0.8
	普通混凝土	2200	1.4
	預鑄混凝土 (PC)	2400	1.5
	水泥砂漿	2000	1.5
	輕型空心磚 (實心)	1380	0.51
窯業製品	磁磚、琺瑯披覆	2400	1.3
	紅磚	1650	0.8
	耐火磚	1950	1.1
	瓦	2000	1.0
	板玻璃	2540	0.78
土、石	大理石	2670	2.8
	花崗石、岩石	2810	3.5
	土壤 (黏土質)	1860	1.5
	土壤 (砂質)	1560	0.93
	土壤 (壤土質)	1450	1.05
	土壤 (火山灰質)	1070	0.47
	砂粒	1850	0.62
	泥壁	1300	0.8
瀝青、塑膠、紙	合成樹脂板	1000-1500	0.19
	玻璃纖維強化膠 (FRP)	1600	0.26
	柏油	2230	0.73
	柏油磚	1800	0.33
	油毛氈	1020	0.11
	壁紙	550	0.15
	防潮紙類、厚紙板	700	0.21
纖維材	礦棉	300	0.046
	石棉	200	0.044
	玻璃棉	200	0.042
	玻璃棉保溫板	10-96	0.04
	岩棉保溫材	40-160	0.042
	噴岩棉	1200	0.051
	岩棉吸音板	200-400	0.064

(資料來源：內政部營建署，2003年)

表4-8各種建材熱傳導係數-2

分類	材料名稱	密度 ρ [kg/m ³]	熱導係數k 濕潤80%[W/m·k]
木質纖維	軟質纖維板	200-400	0.097
	半硬質纖維板	400-800	0.13
	硬質纖維板	1050	0.22
	塑合板	400-700	0.17
	木絲水泥板 (鑽泥板)	430-800	0.18
	木片水泥板	670-1080	0.19
木材	杉、檜木 (輕量材)	330	0.13
	松、橡木 (中量材)	480	0.17
	柳安木、柚木、紅木 (重量材)	557	0.2
	合板	550	0.18
	鋸木屑	200	0.093
	絲狀木屑	130	0.088
	炭化軟木板	240	0.051
石膏、水泥二次製品	石膏	1950	0.8
	石膏板	710-1110	0.17
	石棉板、瓦	1500	1.20
	石棉水泥矽酸鈣板	600-1200	0.15
	石棉水泥珍珠岩板	400-1000	0.12
	泡沫水泥板	1100	0.24
	半硬質碳酸鎂板	450	0.12
	硬質碳酸鎂板	850	0.21
合成樹脂板	成形聚苯乙烯 (低密度保利龍)	16-30	0.040
	發泡聚苯乙烯 (高密度保利龍)	28-40	0.037
	硬質聚烏保溫板 (PU板)	25-50	0.028
	噴硬質聚烏板 (氨基甲酸乙酯)	25-50	0.029
	軟質聚烏板	20-40	0.050
	P E發泡板	30-70	0.038
	硬質塑鋼板	30-70	0.036
其它	矽土	455	0.094
	煤渣	500	0.4
	輕石	550	0.1
	地毯、毛織布	400	0.11
	鋁箔	220	0.67
	賽路路(硝酸纖維板)	30	0.044
	水 (靜止)	998	0.6

(資料來源：內政部營建署，2003年)

第二節 再生隔熱磚分析

本研究將再生隔熱磚供應廠商所提供之單位面積材料費及施工費用等資訊整理成表4-9、4-10及圖4-1~4-6，圖表中也加入一般隔熱磚之材料與施工費用。由圖4-1可知，單以材料費而言保麗龍隔熱磚之價格最低（135元/m²），再生橡膠隔熱磚最高（600元/m²）。由圖4-1可知，厚磚類隔熱磚施工價格以再生橡膠隔熱磚最低（100元/m²），而磁磚類之隔熱磚最高（800元/m²）。由圖4-10可知總費用以五腳隔熱磚（365元/m²），一般地板磁磚最高（1400元/m²）。

除上述再生隔熱磚成本介紹外，為避免單以產品價格作為單一標準，因此本研究將再生隔熱磚之優劣勢進行如下介紹：

1. 再生木質水泥隔熱磚

再生木質水泥隔熱磚之價格在本研究搜集到的產品中最具價格優勢，且每平方公尺僅約19kg重，相較於再生橡膠隔熱磚（46kg/m²）、五腳隔熱磚（46kg/m²）及保麗龍隔熱磚（33kg/m²），可大福減輕對屋頂荷重。但因含有木材因此吸水率（31%）相較於再生橡膠隔熱磚（橡膠幾乎不吸水）、再生輕質地板磁磚（12%）高出許多，因此選用此種再生隔熱磚時，建議在完工後再表面加上防水漆。

2. 再生橡膠隔熱磚

再生橡膠隔熱磚之價格優勢雖較不足，但有施工方便及維修方便之優點，且其可由消費者購買回家自行安裝，並依照屋頂形情況字自行裁切，若以自行鋪設方式施行可省下施工費用，其鋪設成本更可降低。另外因為上層之再生橡膠及下層PS板幾乎不吸水，較不受台灣氣候潮溼之影響，壽命可望較他類隔熱磚長。惟其下層PS板回收較不易，容易造成環境問題。

3. 再生輕質磁磚

再生輕質地板磁磚若單以價格優勢而論屬較為弱勢，其主要原因在於施工費用上，磁磚類產品在施工前的處理程序均較其他地磚繁複，因而造成鋪設費用過高。但若與一般磁磚相比，其鋪設成本並無太大差異，且其質量在所有隔熱磚之中最輕，對屋頂造成負荷極輕微，此外尚可應用在外牆之上，功能性較其他隔熱磚多了許多，也較美觀。

4. 再生冷結磚

由前章節之節能效益來看，再生冷結磚之節能效果雖不若其他再生隔熱磚來的好，但其熱傳導係數僅混凝土的一半，可考慮未來應用在替代部分使用混凝土之隔熱材料。

表4-9 隔熱磚成本分析表

隔熱磚	材料費 元/m ²	施工費 元/m ²	總費用 元/m ²	備註
再生木質水泥 隔熱磚	190	220	410	
再生橡膠隔熱磚	600	100	700	
五腳隔熱磚	245	120	365	
保麗龍隔熱磚	135	260	395	

(資料來源: 本研究整理)

表 4-10 磁磚類隔熱磚成本比較表

隔熱磚	材料費 元/m ²	施工費 元/m ²	總費用 元/m ²	備註
再生輕質地板磁磚 (屋頂)	500	500	1000	
一般地板磁磚 (屋頂)	435	500	935	

(資料來源: 本研究整理)

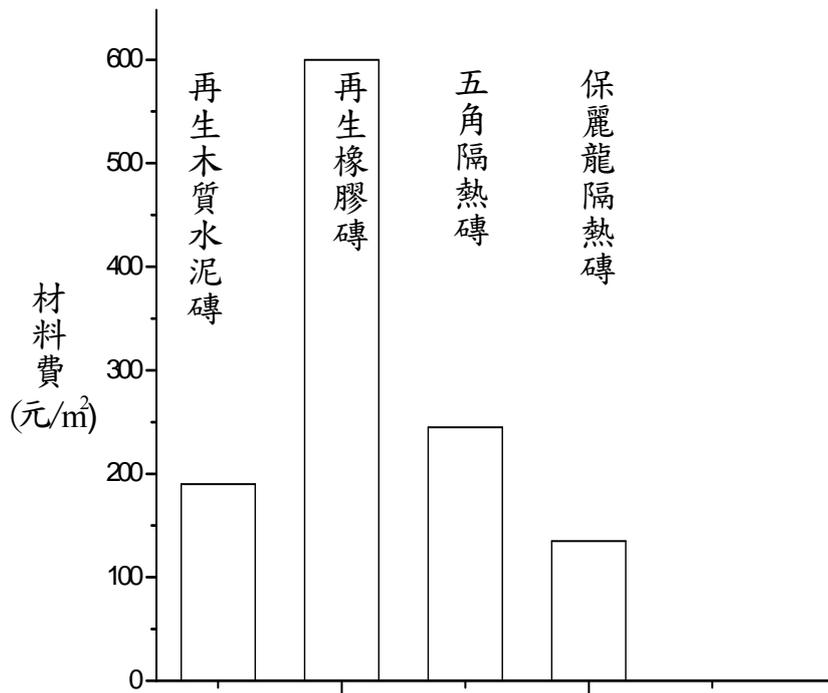


圖4-1 厚磚類隔熱磚材料費用比較圖

(資料來源: 本研究整理)

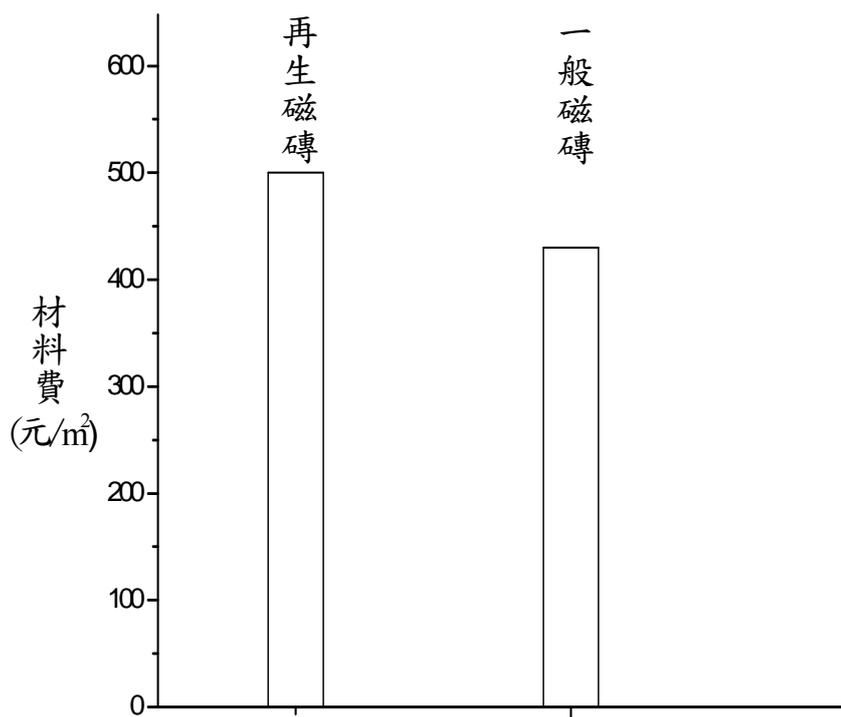


圖 4-2 磁磚類隔熱磚材料費用比較圖
(資料來源: 本研究整理)

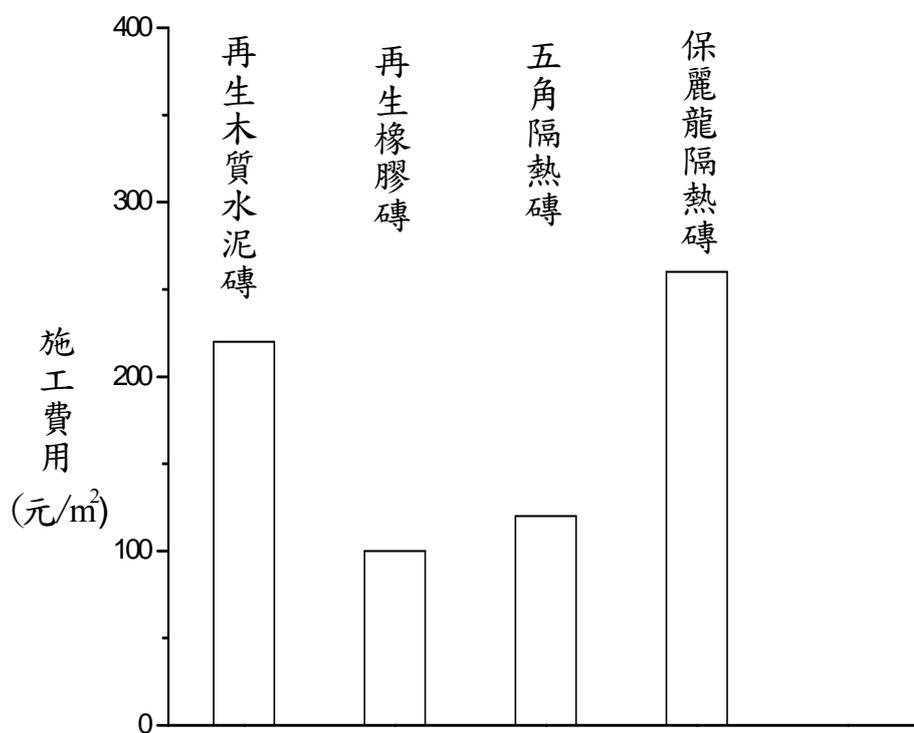


圖 4-3 厚磚類隔熱磚施工費用比較圖
(資料來源: 本研究整理)

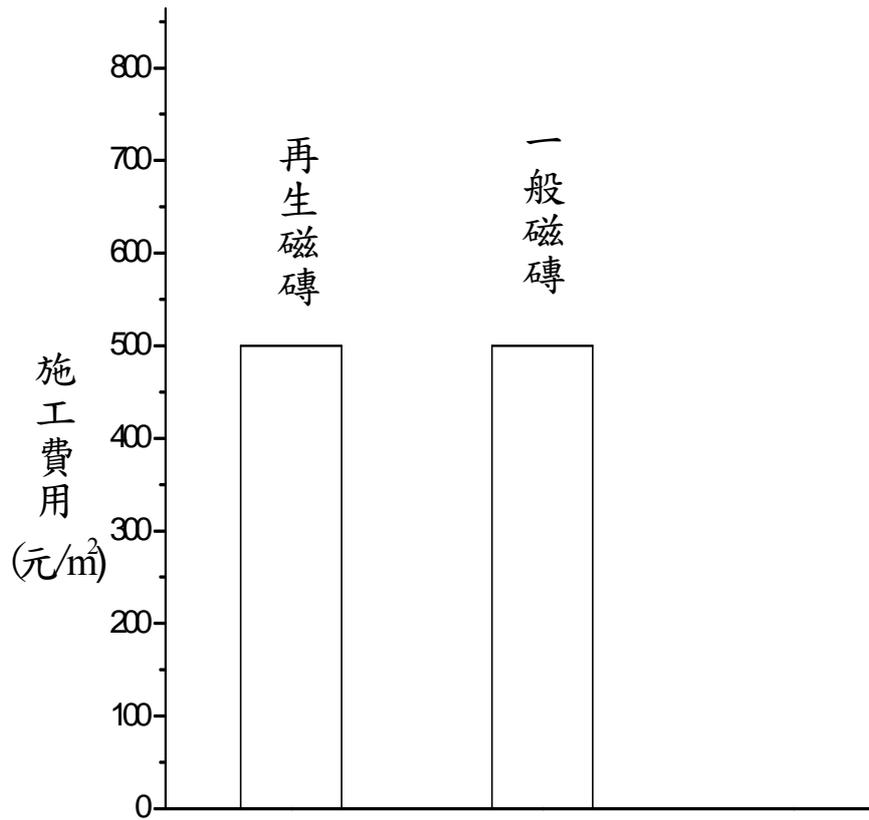


圖 4-4 磁磚類隔熱磚施工費用比較圖
(資料來源: 本研究整理)

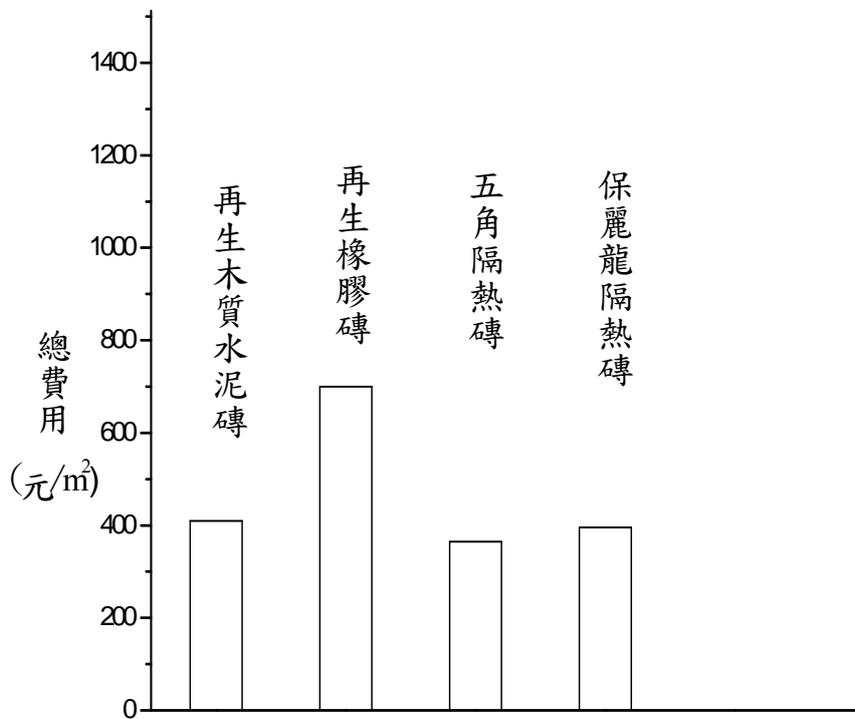


圖 4-5 厚磚類隔熱磚總鋪設費用比較圖
(資料來源: 本研究整理)

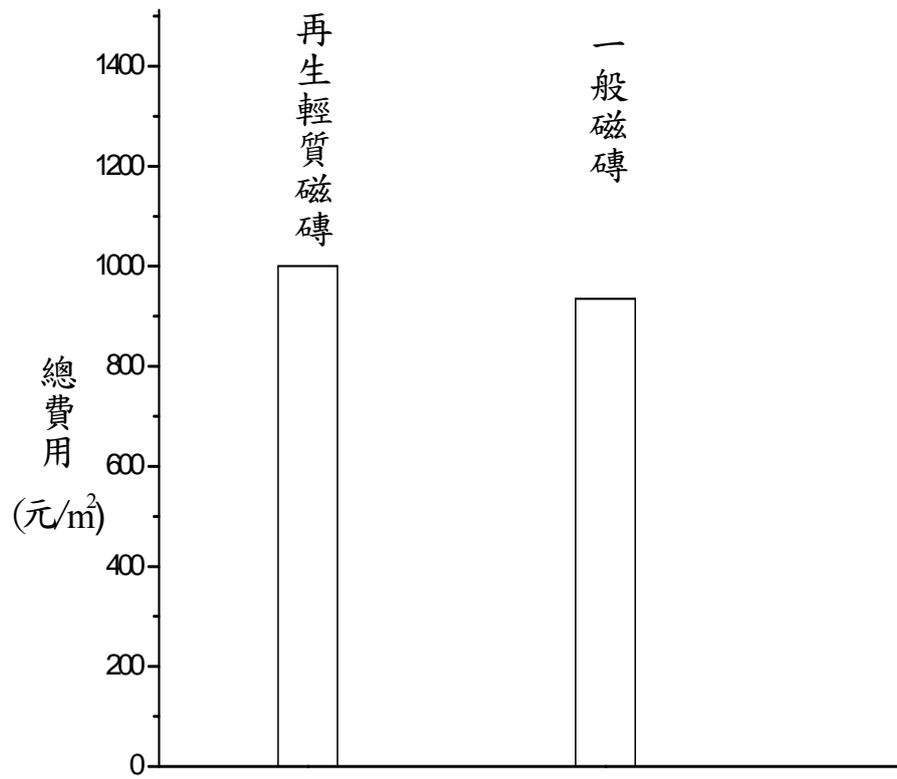


圖 4-6 磁磚類總鋪設費用比較圖
(資料來源: 本研究整理)

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究之貢獻在於讓大眾多了解現今市面上之再生隔熱磚，其隔熱效果與同類型原生材隔熱磚是否有所差異，並舉列出其優勢，希望有助於再生隔熱磚之推廣與應用。

另外經由電腦耗能模擬得到之結果發現，再生隔熱磚之隔熱效果並不亞於同類型之原生材料隔熱磚，其中厚磚類隔熱磚中，以再生橡膠隔熱磚最佳之節能效果最佳（節省2.5%之電力）。另外在磁磚類隔熱磚中，以再生輕質磁磚之節能效益較佳（節省1.91%之電力），比一般磁磚多節省了近1%之電力。而由本所補助案所開發之冷結型材料其節能效果也優於傳統混凝土所製之五腳磚，若正式量化生產不僅具減少原生材料之使用量，同時也更能兼顧到節能效果。

第二節 建議

建議一

立即可行建議：目前僅納入四種再生隔熱地磚，未來可持續增加再生隔熱磚之種類，以擴充再生隔熱磚之相關資料。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

建議二

中長期建議：本研究目前僅以再生隔熱磚之節能效益與一般常見隔熱磚進行比較，建議此研究日後方向可往再生隔熱磚之生命週期（LCC）延伸。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

附錄一：期中審查記錄

一、時間：99年8月19日(星期四)上午9時30分正

二、地點：本所簡報室

三、主席：鄭組長元良

記錄：歐俊顯等

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、研究案主持人簡報：(略)

七、綜合討論(依研究計畫序)：

(一)「綠建材標章產品含環境荷爾蒙物質調查之研究(1/3)」 案

王總幹事榮吉：

1. 本研究案由貴所自行研究國內綠建材標章產品可能含環境荷爾蒙篩檢調查，及可塑劑對室內環境之健康效益評估，立意良好，應予鼓勵與支持；至蒐集國內外相關之文獻資料比較分析工作量頗大，惟研究人力僅研究員1人，建議考量是否需增加相關專業研究人員支援。
2. 綠建材標章產品之推動，應不分部位及室內外之分別；健康效益評估、節能低碳、永續再生循環使用，仍是未來之主流價值及推動目標。

李教授訓谷(王副理佑萱代理)：

1. 本研究目標明確，值得持續推動。另期中報告之章節、格式、附件資料完整。
2. 本研究蒐集國內各主管機關或國際內分泌干擾物質(Endocrine Disrupting Chemicals, EDC)資料相當實用，建議可提供民眾及其他研究單位參考。
3. 針對內分泌干擾物質影響，需視標章產品之使用條件、

方式、環境因子等，故本研究之風險評估方法是否納入該建材在建築領域中之實際使用情形，以建立適合綠建材之管制標準，或於本研究報告中建議規劃委託案辦理。

邵教授文政(曾教授昭衡代理)：

建議可用量化方法建立後續抽測的機制，例如以使用量、使用位置(小朋友可觸摸)、材質等評分，高分者為高風險須優先抽測。

陳副總經理文卿(書面意見)：

1. 表2-3中將各種有關化學物質皆列出，惟是否都是環境荷爾蒙物質尚待商榷，請補充說明。
2. 綠建材標章中管制使用有害化學物質相當正確，並於「通則」中共同規定，惟單獨將TVOC及甲醛拉出賦予「健康綠建材」標章，似乎其他三類就可不必管TVOC及甲醛，是否合理，建議可作探討分析。

執行單位回應要點：(羅時麒研究員)

1. 本研究為三年自辦研究，有關整體計畫及分年計畫項目將再補充說明。
2. 有關加強國外文獻資料蒐集、建立適合風險評估，及量化篩選調查等委員意見，本研究將配合修正。

(二) 「再生綠建材之揮發性有機化合物逸散試驗研究」案

王總幹事榮吉：

1. 建議透過訪談廠商瞭解再生綠建材製程，及產品原料之有機化合物添加情形，以提供本研究篩選產生過量揮發性有機化合物逸散建材之參考。
2. 本研究檢測成果如顯示再生綠建材可達到健康綠建材之評估基準，低逸散性將一體適用於各類綠建材標章；建議詳列再生綠建材應用於室內裝修之健康風險，提供將來再生綠建材評估基準增列低逸散要求之參考。

李教授訓谷(王副理佑萱代理)：

1. 期中報告書格式有誤及附件未完備等，請補充修正。
2. 建議將期中審查簡報之「研究緣起」部分納入報告內容，俾能闡明本研究意旨及辦理項目。
3. 建議本研究能再增加抽測試件數量及類別，使研究成果具代表性。
4. 本研究成果如確認再生綠建材無法滿足低逸散要求，建議以委、協辦研究延續探討，將低逸散性納入綠建材之通則檢測項目，使綠建材評定制度周延。

邵教授文政(曾教授昭衡代理)：

本研究檢測樣品經篩選僅有2家廠商產品，建議增加木質、塑橡膠再生類產品等樣本，以瞭解再生建材之VOCs逸散情形。

陳副總經理文卿(書面意見)：

1. 針對再生綠建材TVOC逸散情形，除經由抽測結果分析

瞭解外；建議對於產品原料成份及生產製程進行探討，如未使用有機化學物原料，其有機化合物逸散可能性較低，並請注意TVOC之儀器檢測極限。

2. 本研究篩選取樣之受測建材，雖可使用於室內裝修，惟應無TVOC逸散之可能性。

本所一

鄭組長元良：

1. 報告書撰寫格式應符合本所規定，俾維持研究報告品質。
2. 再生綠建材評估基準所列10類建材項目當中，請優先取樣有效之標章建材，並請妥善掌控研究進度。

執行單位回應要點：(歐俊顯助理研究員)

1. 報告書格式及相關附件將依本所規定格式修正。
2. 有關再生綠建材篩選取樣，將由現行標章資料庫所列建材再行檢視篩選，並加速進行各項實驗研究。

(三)「再生建材隔熱效果之研究-以再生隔熱磚為例」案

王總幹事榮吉：

1. 建議儘量蒐集目前國內再生隔熱磚生產製造及加工廠商資料，並將其分佈、生產規模、業別及產能等數據於報告書中呈現。
2. 本研究以國內實務產業生產之再生隔熱磚為研究對象，建議相同類別之產品能列舉2到3家製造廠商，如該類型產品僅有1家生產亦請詳加說明。
3. 國內生產再生隔熱磚之廠商面臨許多困境，未來要進行效益評估前，建議訪談相關製造廠商，以得到更多實際

參考資料。

李教授訓谷(王副理佑萱代理)：

1. 本研究內容無創新，期中成果空泛建議加強。另報告書格式有誤，且附件不夠完備，請修正補充。
2. 本案與貴組95年自辦案研究目的相同，僅檢測材料不同，建議考量研究原創性並修正執行內容。
3. 建議本研究之流程應先列舉再生隔熱磚之特性及熱傳導係數，再進行空調耗能模擬，最後評估經濟效益。

邵教授文政（曾教授昭衡代理）：

1. 本研究僅檢測再生橡膠等再生材料之隔熱效果，其比較應為不同再生材質隔熱效果；建議比較相同類型的再生材與原生材質隔熱磚（例如再生橡膠磚與原生橡膠磚），以釐清再生材料之隔熱效果。
2. 期中報告蒐集之再生隔熱磚樣本數量不足，建議增加數量使研究成果更加充實。

陳副總經理文卿(書面意見)：

1. 隔熱磚之隔熱方式大抵有三種，其一是本身材料熱傳導係數低，如P.17之再生木質水泥磚；其二是複合材料，係利用保麗龍或PS板隔熱，如橡膠隔熱磚；其三是利用空氣層隔熱，如五腳隔熱磚，以上建議於報告書補充說明。
2. 隔熱磚包括屋頂及牆面使用兩種類型，建議補充說明其用途區隔。
3. P.18再生輕質地板磁磚的特性說明較為不足，請補充說明。

本所一

鄭組長元良：

1. 報告書中比較再生與一般隔熱磚之吸水率、重量等之優劣，惟優劣數據並未呈現，不具說服力。
2. 報告書中介紹ISOMET、unitherm2022及Hot Disk三種量測儀器與量測方法，其用意是否要以三種方法進行熱傳導係數之量測及數據比對，或僅選用一種進行量測，請補充說明。

執行單位回應要點：（黃尊澤研發替代役研究員）

1. 報告書格式、文字誤植部分將依委員意見進行修正。
2. 各類再生隔熱磚之製造廠商數量將彙整分析列出。
3. 再生與一般隔熱磚之吸水率、重量及熱傳導係數等數據之優劣比較，將彙整補充。

九、會議結論：

1. 與會專家學者及出席代表意見請納入後續研究參採，於期末報告回應，並如期完成研究計畫。
2. 本次會議3案期中報告，經審查結果原則通過，請計畫主持人持續管控研究時程與執行進度。

十、散會：上午11時30分正。

附錄二：期末審查記錄

一、時間：99年12月9日(星期四)上午9時30分正

二、地點：本所簡報室

三、主席：鄭組長元良
等

記錄：歐俊顯

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、業務單位報告：(略)

七、研究案主持人簡報：(略)

八、綜合討論(依研究計畫序)：

(一)「綠建材標章產品含環境荷爾蒙物質調查之研究(1/3)」

案

王總幹事榮吉：

1. 本案對各種綠建材標章含環境荷爾蒙篩檢之調查結果，建議可提供修正綠建材通則規定之參考。
2. 建築用塗料類及 PVC 之相關添加劑之查核規定，建議應配合環保署規定及經濟部標準檢驗局增修訂 CNS 標準，提出綠建材通則規定之修正建議。

李教授訓谷：

1. 研究成果符合預期。
2. 建議後續研究能將有關 SVOCs 檢測標準或文獻納入，俾利未來 SVOCs 檢測之參考。
3. 研究成果建議提供給綠建材標章指定評定專業機構，俾利精進綠建材標章評定作業。

邵教授文政(段教授葉芳代理)：

1. 本案調查仔細，值得鼓勵。惟建議釐清申請綠建材標章時環境荷爾蒙物質是否為審查之必要條件，並宜請這方

面專業人員提供意見。

2. 本案可研究建材釋放環境荷爾蒙物質的各種可能途徑，非限於揮發性有機化合物方面。
3. 含環境荷爾蒙物質之建物如碎裂經雨水溶出或粉塵飛散，會使動植物暴露受害，橋樑材料如使用含環境荷爾蒙物質亦有可能危害戶外環境，間接造成人類居住環境不適，故此議題值得討論。

黃教授榮堯：

1. 研究對確保綠建材產品之無害性有實質助益。
2. 本研究重點之一為建材 SVOCs 之逸散試驗，但文獻資料顯示其逸散量似乎不大，建議加強說明 SVOCs 各暴露途徑之影響，以突顯此部分研究之效益。

本所一

鄭組長元良：

有關添加化學物質應檢附物質安全資料表(MSDS)之建議，請提供中華民國建築學會納入本年度「綠建材解說與評估手冊」修正內容。

執行單位回應(羅時麒研究員)：

1. 有關環境荷爾蒙篩檢調查結果、添加化學物質應檢附物質安全資料表(MSDS)等，將提供請中華民國建築學會參酌修正綠建材通則規定。
2. 有關 SVOCs 之檢測標準，將於後續研究持續蒐集。
3. 本案相關研究成果及建議，將提供綠建材標章指定評定專業機構參考。
4. 有關綠建材之環境荷爾蒙查核規定、釋放環境荷爾蒙物質的各種可能途徑之影響等，將加強說明並補充於成果報告。

(二)「再生綠建材之揮發性有機化合物逸散試驗研究」案

王總幹事榮吉：

1. 本研究對於再生綠建材之使用推廣頗具參考價值。
2. 再生綠建材產品現正研擬於外包裝標示「室內」或「室外」專用之構想，應可減少使用者對再生綠建材之疑慮。

李教授訓谷：

1. 研究成果符合預期。
2. 本研究有關健康風險評估部分之各項設定及假設參數，建議於報告書詳述選定依據，俾使評估結果更具合理性及代表性。

邵教授文政(段教授葉芳代理)：

1. 本研究探討具有明顯危害且能立即警示之氣態揮發逸散途徑，值得鼓勵。
2. 有機化合物揮發僅為逸散途徑之一，建議本研究除探討室內環境危害外，尚可補充說明有機化合物對於環境不友善等其他釋放型式。

黃教授榮堯：

1. 本研究試驗架構完整，並以適當研究方法提出具體成果，建議如能增加取樣批次或檢測數量，對於成果數據統計及迴歸分析更有助益。
2. 本研究對於瞭解再生綠建材揮發特性具有實質貢獻，建議未來能將揮發性有機化合物逸散檢測納入該類綠建材標章檢測項目之一。

本所—

鄭組長元良：

有關有機化合物逸散濃度隨綠建材使用比例增加而提高，該項結論因抽樣檢測樣本數尚不具代表性，請再審慎研酌。

執行單位回應(歐俊顯助理研究員)：

1. 再生綠建材健康風險評估參數，係依據我國衛生署及國民健康局之國人平均體重、壽命等統計資料。有關假設空間之尺寸設定，將參考常見居室空間尺寸相關統計數據，再行檢視其合理性。
2. 有關 TVOCs 逸散除探討室內氣體逸散途徑外，其他對於環境不友善之釋放途徑，及其對於戶外動、植物所造成影響等，將蒐集相關文獻並補充於成果報告。
3. 因再生綠建材之有效標章產品數量原已有限，本年度係以瞭解各再生綠建材項目之逸散情形為優先。有關增加取樣批次以增進數據代表性之方式，將納入後續研究參考。
4. 逸散濃度與綠建材使用比例關係該項結論，將遵照審查意見審慎修正。

(三)「再生建材隔熱效果之研究—以再生隔熱磚為例」案

台灣省建築材料商業同業公會聯合會：

隔熱磚建材如再生輕質磁磚，因可重複回收再利用，如能以生命週期觀點進行研究，俾有助該類再生建材推廣。

王總幹事榮吉：

1. 以國內再生隔熱磚為研究探討對象架構良好，並完成原料、技術及成本等分析，相當具有參考價值。
2. 建議貴所配合成果發表會，宣傳推廣再生建材相關研究成果，以利國內有投資意願廠商取得技術研發管道。

李教授訓谷：

1. 建議將隔熱屋頂施作工法及其他防水鋪面等特性，納入空調耗能模擬，以符合實務現況。
2. 建議後續能以生命週期觀點研究探討再生隔熱磚，以瞭解再生隔熱磚之製程碳排放量。

邵教授文政(段教授葉芳代理)：

1. 本研究係探討建材性能，其研究成果可供再生建材生產業者參考。
2. 再生材質建材已與原生材質建材性能及價格相當，建議就減少天然資源開採即具備儲碳功能效益之觀點，補充說明其環保意義。

黃教授榮堯：

1. 本研究對於國內營建資源再生利用之技術開發有實質貢獻。
2. 不均質係營建再生粒料之主要特性，建議於研究取樣時併予考量，俾能增加研究產出成果說服力。
3. 建議能與更多隔熱磚之節能效益進行比較，以說明節約

1~2%用電量之節能效果是否為相對顯著。

執行單位回應(黃尊澤研發替代役研究員)：

1. 有關施工法及防水鋪面等因素，將納入空調耗能模擬，並補充於成果報告。
2. 因檢測樣品取樣及製作尚需時程，故本年度僅以特定處之剩餘土石方進行研究。
3. 本研究主要探討再生隔熱磚與原生材料製品之性能與價格差異，就研究成果比較其性能略優於原生材料隔熱磚且價格相差無幾。
4. 有關建議再生隔熱磚以生命週期觀點研究探討製程碳排放量乙節，將納入後續研究參考。

九、會議結論：

- (一) 本次會議3案期末報告，所獲成果大致符合預期，經審查結果原則通過。
- (二) 請詳實記錄與會專家學者及出席代表意見，並請計畫主持人務必參採修正，並確實依部頒研究計畫格式撰擬成果報告。

十、散會(中午12時15分正)

參考書目

中文部分

- 1.楊冠雄、林憲德和李訓谷，“建築外殼隔熱性能檢測程序標準化之研究”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，民國93年。
- 2.王佑萱，“屋頂建材隔熱性能實測與其經濟效益分析研究（一）”，內政部建築研究所自行研究計劃報告，民國94年。
- 3.陳瑞鈴、林憲德和李訓谷，“單一建築材料隔熱性能資料庫之建立”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，民國94年。
- 4.王佑萱及李訓谷，“屋頂隔熱性能檢測技術與節能效益模擬分析研究”，中華民國建築學會「建築學報66期增刊(技術專刊)」，23~34頁，民國97年。
- 5.楊冠雄、洪鑫英、梁正穎、張凱強、吳昱勳及陳建呈，“台灣地區HEMS省能策略之建立及應用分析”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，民國97年。
- 6.陳文卿、陳筱華、廖錦聰、陳禱、林淑華、陳宏仁、關家倫、陳崇智及劉毅弘，“材技術開發與實驗室管理”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，民國96年。
- 7.張祖恩、陳文卿、蔡志達、龔東慶、陳宏達、張建智、于寧、廖錦聰、陳宏仁、吳志庭，“再生綠建材開發與推廣應用計畫（二）”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，民國98年。

英文部分

- 1.ASTM Standard C236-89, “Standard Test Method for Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box.”
- 2.ISOMET 2104 USER’S GUIDE”, Applied Precision, 2004
- 3.NITHERM™ 2022 THERMAL CONDUCTIVITY MEASURING SYSTEM USER’S GUIDE”, Anter Corporation, 2004.
- 4.JJH & Associates & Associates “Modeling Procedures Quick Reference Guide.” Electric Power Research Institute, 2007.