

屋頂建材隔熱性能實測 與節能效益分析研究

內政部建築研究所自行研究報告
中華民國 95 年 12 月

095301070000G2015

「屋頂建材隔熱性能實測 與節能效益分析研究」

研究人員：王佑萱

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 95 年 12 月

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

The Analysis of Thermal Properties and Energy Saving Efficiency for Roof Insulations

BY

You-Hsuan Wang

December 31, 2006

目次

| | |
|--|-----|
| 目次..... | I |
| 表次..... | IV |
| 圖次..... | VI |
| 摘要..... | XII |
| | |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 第一節 研究緣起與背景..... | 1 |
| 第二節 研究目的..... | 3 |
| 第三節 研究方法及步驟..... | 4 |
| | |
| 第二章 文獻回顧..... | 6 |
| | |
| 第三章 隔熱性能量測與建築空調耗能電腦模擬原理分析..... | 8 |
| 第一節 單一建材熱傳導係數檢測儀器之量測理論分析..... | 9 |
| 第 3-1-1 節 暫態熱線量測法之量測理論分析..... | 9 |
| 第 3-1-2 節 穩態熱流量測法之量測理論分析..... | 10 |
| 第二節 熱環境實驗室建材隔熱性能量測儀器之設備特性、 功能、精度校正分析..... | 12 |
| 第 3-2-1 節 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀設備 特性與功能分析..... | 12 |
| 第 3-2-2 節 隔熱性能量測儀之設備特性與功能分析... | 16 |
| 第 3-2-3 節 固定式熱傳導係數與比熱量測儀設備 特性與功能分析..... | 17 |
| 第 3-2-4 節 儀器之準確度印證與精度校正分析..... | 19 |
| 第三節 建築物空調系統耗能電腦模擬之原理分析..... | 21 |

| | | |
|------------|---|----|
| 第四章 | 屋頂隔熱磚之物理特性與隔熱性能實測結果分析 | 26 |
| 第五章 | 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析 | 47 |
| 第一節 | 辦公類建築電腦模擬用標準示範空間之建立 | 47 |
| 第二節 | 建築鋪設屋頂隔熱磚前後之空調耗能電腦模 擬計算分析 | 52 |
| 第 5-2-1 節 | 建築未鋪設屋頂隔熱磚之空調耗能電 腦模擬計算分析 | 52 |
| 第 5-2-2 節 | 建築鋪設試件一（PS 隔熱磚）時之空 調耗能電腦模擬計算分析 | 55 |
| 第 5-2-3 節 | 建築鋪設試件二（五腳隔熱磚）時之 空調耗能電腦模擬計算分析 | 59 |
| 第 5-2-4 節 | 建築鋪設試件三（斷熱陶隔熱磚）時 之空調耗能電腦模擬計算分析 | 63 |
| 第 5-2-5 節 | 建築鋪設試件四（隔熱石英磚）時之 空調耗能電腦模擬計算分析 | 67 |
| 第 5-2-6 節 | 建築鋪設試件五（保麗龍隔熱磚）時 之空調耗能電腦模擬計算分析 | 71 |
| 第 5-2-7 節 | 建築鋪設試件六（橡膠隔熱磚）時之 空調耗能電腦模擬計算分析 | 75 |
| 第 5-2-8 節 | 建築鋪設試件七（板岩隔熱磚）時之 空調耗能電腦模擬計算分析 | 79 |
| 第 5-2-9 節 | 建築鋪設試件八（磨石子 PS 隔熱磚） 時之空調耗能電腦模擬計算分析 | 83 |
| 第 5-2-10 節 | 建築鋪設試件九（磨石子隔熱磚）時 | |

| | |
|-------------------------------|-----|
| 之空調耗能電腦模擬計算分析..... | 87 |
| 第三節 屋頂隔熱磚節能效益之綜合比對分析..... | 91 |
| 第四節 屋頂隔熱磚經濟效益之綜合比對分析..... | 97 |
| 第五節 常用屋頂隔熱建材熱性能資料庫之更新與升級 | 100 |
| 第六章 結論與建議..... | 103 |
| 第一節 結論..... | 103 |
| 第二節 建議..... | 105 |
| 參考書目 | 106 |

表次

| | |
|--------|--------------------------------------|
| 表 3-1 | 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀探測計之量測範圍 ..14 |
| 表 3-2 | 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀探測計之精度14 |
| 表 3-3 | 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀探測計之再現性15 |
| 表 3-4 | 固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀測試範圍20 |
| 表 3-5 | 冷房負荷的構成與代號.....21 |
| 表 4-1 | PS 隔熱磚之熱性能實測結果表（混凝土層）27 |
| 表 4-2 | PS 隔熱磚之熱性能實測結果表（PS 板層）28 |
| 表 4-3 | PS 隔熱磚 PS 板層與混凝土層之熱性能實測結果比對表28 |
| 表 4-4 | 五腳隔熱磚之熱性能實測結果表（高壓混凝土層） ..30 |
| 表 4-5 | 五腳隔熱磚高壓混凝土層與傳統混凝土層之熱性能實測結果比對表.....30 |
| 表 4-6 | 斷熱陶隔熱磚之熱性能實測結果表（陶土層）32 |
| 表 4-7 | 斷熱陶隔熱磚陶土層與混凝土層之熱性能實測結果比對表.....32 |
| 表 4-8 | 隔熱石英磚之熱性能實測結果表（石英磚層34 |
| 表 4-9 | 隔熱石英磚石英磚層與傳統混凝土層之熱性能實測結果比對表.....34 |
| 表 4-10 | 保麗龍隔熱磚之熱性能實測結果表（保麗龍層）36 |
| 表 4-11 | 保麗龍隔熱磚保麗龍層與傳統混凝土層之熱性能實測結果比對表.....36 |
| 表 4-12 | 橡膠隔熱磚之熱性能實測結果表（再生橡膠層）38 |
| 表 4-13 | 橡膠隔熱磚再生橡膠層與傳統混凝土層之熱 |

| | | |
|--------|---|-----|
| | 性能實測結果比對表..... | 38 |
| 表 4-14 | 板岩隔熱磚之熱性能實測結果表（保麗龍粒層） | 41 |
| 表 4-15 | 板岩隔熱磚保麗龍粒層與傳統混凝土層之熱 性能實測結果比對表..... | 41 |
| 表 4-16 | 磨石子 PS 隔熱磚之熱性能實測結果表（磨石 子層） | 43 |
| 表 4-17 | 磨石子 PS 板隔熱磚保麗龍粒層與傳統混凝土 層之熱性能實測結果比對表..... | 44 |
| 表 5-1 | PS 隔熱磚混凝土層與 PS 板層之密度測結果表 | 55 |
| 表 5-2 | 各隔熱磚之熱傳導率（U 值）比對表..... | 91 |
| 表 5-3 | 屋頂結構之整體熱傳導率（U 值）比對表..... | 92 |
| 表 5-4 | 屋頂處引入之全年最大空調耗能量比對表 | 93 |
| 表 5-5 | 屋頂處引入之全年總空調耗能量比對表 | 94 |
| 表 5-6 | 模擬建物之整體用電結構比對表..... | 95 |
| 表 5-7 | 模擬建物之空調系統全年總用電量比對表 | 96 |
| 表 5-8 | 模擬建物之全年總空調電費與節電費量比對表 | 98 |
| 表 5-9 | 各類型屋頂隔熱磚之回收年限計算結果表 | 99 |
| 表 5-10 | 常用屋頂隔熱建材之熱性能資料庫表（單一均 質類） | 101 |
| 表 5-11 | 常用屋頂隔熱建材之熱性能資料庫表（複合類） | 102 |

圖次

| | | |
|--------|---------------------------|----|
| 圖 1-1 | 研究流程與步驟..... | 5 |
| 圖 3-1 | 保護熱流計法量測物體之熱傳導係數示意圖 | 11 |
| 圖 3-2 | 保護熱流計法之校正分析..... | 11 |
| 圖 3-3 | 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀外觀 | 13 |
| 圖 3-4 | 探針式探測計..... | 13 |
| 圖 3-5 | 表面接觸探測計..... | 13 |
| 圖 3-6 | 建材隔熱性能量測儀之外觀..... | 16 |
| 圖 3-7 | APT-P01 外觀構造圖 | 17 |
| 圖 3-8 | 量測示意圖..... | 19 |
| 圖 3-9 | 校正曲線圖..... | 20 |
| 圖 3-10 | 由校正曲線求出試件熱傳導係數..... | 20 |
| 圖 3-11 | 輻射時間序列法..... | 25 |
| 圖 4-1 | PS 隔熱磚試件之整體近照..... | 27 |
| 圖 4-2 | PS 隔熱磚試件之側面近照..... | 27 |
| 圖 4-3 | 五腳隔熱磚試件之側面近照..... | 29 |
| 圖 4-4 | 斷熱陶隔熱磚試件之近照..... | 31 |
| 圖 4-5 | 隔熱石英磚試件之整體近照..... | 33 |
| 圖 4-6 | 隔熱石英磚試件之側面近照..... | 33 |
| 圖 4-7 | 保麗龍隔熱磚試件之整體近照..... | 35 |
| 圖 4-8 | 保麗龍隔熱磚試件之側面近照..... | 35 |
| 圖 4-9 | 橡膠隔熱磚試件之整體近照..... | 37 |
| 圖 4-10 | 橡膠隔熱磚試件之側面近照..... | 37 |
| 圖 4-11 | 板岩隔熱磚試件之整體近照..... | 39 |

| | | |
|--------|--|----|
| 圖 4-12 | 板岩隔熱磚試件之側面近照..... | 39 |
| 圖 4-13 | 板岩隔熱磚試件之施工示意圖..... | 40 |
| 圖 4-14 | 磨石子 PS 隔熱磚試件之整體近照..... | 42 |
| 圖 4-15 | 磨石子 PS 隔熱磚試件之側面近照..... | 42 |
| 圖 4-16 | 磨石子 PS 板隔熱磚試件之施工示意圖..... | 43 |
| 圖 4-17 | 磨石子隔熱磚試件之整體近照..... | 45 |
| 圖 4-18 | 磨石子隔熱磚試件之側面近照..... | 45 |
| 圖 4-19 | 磨石子隔熱磚試件之施工示意圖..... | 46 |
| 圖 5-1 | 屋頂隔熱於空調節能之實務解析與經濟評估 標準流程圖..... | 47 |
| 圖 5-2 | 空調耗能電腦模擬之辦公用途標準示範空間示意圖 .. | 48 |
| 圖 5-3 | 標準模擬示範空間之外遮陽幾何尺寸示意圖 | 49 |
| 圖 5-4 | 標準模擬示範空間中央空調系統之主機側及 送水側示意..... | 49 |
| 圖 5-5 | 標準模擬示範空間中央空調系統之送風側示意圖 | 50 |
| 圖 5-6 | 辦公類用途之室內人員使用模式設定示意圖 | 50 |
| 圖 5-7 | 標準示範空間之室內空調溫度設定示意圖 | 51 |
| 圖 5-8 | 標準 RC 結構屋頂之熱傳特性資料..... | 52 |
| 圖 5-9 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖 | 53 |
| 圖 5-10 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量 | 53 |
| 圖 5-11 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖 | 54 |
| 圖 5-12 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖 | 54 |
| 圖 5-13 | PS 隔熱磚整體之隔熱性能..... | 56 |
| 圖 5-14 | 標準 RC 結構屋頂結合 PS 隔熱磚後之熱傳特性資料 | 56 |
| 圖 5-15 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗 能圖（鋪設 PS 隔熱磚後）..... | 57 |

| | | |
|--------|---|----|
| 圖 5-16 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量（鋪設 PS 隔熱磚後） | 57 |
| 圖 5-17 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖（鋪設 PS 隔熱磚後） | 58 |
| 圖 5-18 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖（鋪設 PS 隔熱磚後） | 58 |
| 圖 5-19 | 五腳隔熱磚整體之隔熱性能圖..... | 59 |
| 圖 5-20 | 標準 RC 結構屋頂結合五腳隔熱磚後之熱傳特性資料..... | 60 |
| 圖 5-21 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖（鋪設五腳隔熱磚後） | 60 |
| 圖 5-22 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量（鋪設五腳隔熱磚後） | 61 |
| 圖 5-23 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖（鋪設五腳隔熱磚後） | 61 |
| 圖 5-24 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖（鋪設五腳隔熱磚後） | 62 |
| 圖 5-25 | 斷熱陶隔熱磚整體之隔熱性能圖..... | 63 |
| 圖 5-26 | 標準 RC 結構屋頂結合斷熱陶隔熱磚後之熱傳特性資料..... | 64 |
| 圖 5-27 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖（鋪設斷熱陶隔熱磚後） | 64 |
| 圖 5-28 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量（鋪設斷熱陶隔熱磚後） | 65 |
| 圖 5-29 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖（鋪設斷熱陶隔熱磚後..... | 65 |
| 圖 5-30 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖（鋪設斷熱陶隔熱磚後） | 66 |

| | | |
|--------|---|----|
| 圖 5-31 | 隔熱石英磚整體之隔熱性能圖..... | 67 |
| 圖 5-32 | 標準 RC 結構屋頂結合隔熱石英磚後之熱傳 特性資料..... | 68 |
| 圖 5-33 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗 能圖（鋪設隔熱石英磚後）..... | 68 |
| 圖 5-34 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總 量（鋪設隔熱石英磚後）..... | 69 |
| 圖 5-35 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變 化圖（鋪設隔熱石英磚後）..... | 69 |
| 圖 5-36 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖 （鋪設隔熱石英磚後）..... | 70 |
| 圖 5-37 | 保麗龍隔熱磚整體之隔熱性能圖..... | 71 |
| 圖 5-38 | 標準 RC 結構屋頂結合保麗龍隔熱磚後之熱 傳特性資料..... | 72 |
| 圖 5-39 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗 能圖（鋪設保麗龍隔熱磚後）..... | 72 |
| 圖 5-40 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總 量（鋪設保麗龍隔熱磚後）..... | 73 |
| 圖 5-41 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變 化圖（鋪設保麗龍隔熱磚後）..... | 73 |
| 圖 5-42 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖 （鋪設保麗龍隔熱磚後）..... | 74 |
| 圖 5-43 | 橡膠隔熱磚整體之隔熱性能圖..... | 75 |
| 圖 5-44 | 標準 RC 結構屋頂結合橡膠隔熱磚後之熱傳 特性資料..... | 76 |
| 圖 5-45 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗 能圖（鋪設橡膠隔熱磚後）..... | 76 |
| 圖 5-46 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總 | |

| | | |
|--------|---|----|
| | 量 (鋪設橡膠隔熱磚後) | 77 |
| 圖 5-47 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖 (鋪設橡膠隔熱磚後)..... | 77 |
| 圖 5-48 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖 (鋪設橡膠隔熱磚後) | 78 |
| 圖 5-49 | 板岩隔熱磚整體之隔熱性能圖..... | 79 |
| 圖 5-50 | 標準 RC 結構屋頂結合板岩隔熱磚後之熱傳特性資料..... | 80 |
| 圖 5-51 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖 (鋪設板岩隔熱磚後) | 80 |
| 圖 5-52 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量 (鋪設板岩隔熱磚後) | 81 |
| 圖 5-53 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖 (鋪設板岩隔熱磚後) | 81 |
| 圖 5-54 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖 (鋪設板岩隔熱磚後) | 82 |
| 圖 5-55 | 磨石子 PS 隔熱磚整體之隔熱性能圖 | 83 |
| 圖 5-56 | 標準 RC 結構屋頂結合磨石子 PS 隔熱磚之熱傳特性資料..... | 84 |
| 圖 5-57 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖 (鋪設磨石子 PS 隔熱磚後) | 84 |
| 圖 5-58 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量 (鋪設磨石子 PS 隔熱磚後) | 85 |
| 圖 5-59 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化 (鋪設磨石子 PS 隔熱磚後) | 85 |
| 圖 5-60 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖 (鋪設磨石子 PS 隔熱磚後) | 86 |
| 圖 5-61 | 磨石子隔熱磚整體之隔熱性能圖..... | 87 |

| | | |
|--------|---------------------------------------|----|
| 圖 5-62 | 標準 RC 結構屋頂結合磨石子隔熱磚之熱傳特性資料..... | 88 |
| 圖 5-63 | 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖（鋪設磨石子隔熱磚後）..... | 88 |
| 圖 5-64 | 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量（鋪設磨石子隔熱磚後）..... | 89 |
| 圖 5-65 | 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖（鋪設磨石子隔熱磚後）..... | 89 |
| 圖 5-66 | 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖（鋪設磨石子隔熱磚後）..... | 90 |
| 圖 5-67 | 屋頂隔熱磚之經濟效益評估流程圖..... | 97 |

摘 要

關鍵詞：熱環境實驗室、隔熱性能實測、電腦模擬、熱傳導係數、比熱、空調負荷、節能效率、回收期限

一、研究緣起

本研究依據去(94)年度「屋頂建材隔熱性能實測與其經濟效益分析研究(一)」自行研究計畫所建立之節能改善工程實務預測與經濟效益評估之標準化解析模式，亦即利用本所性能實驗群熱環境實驗室對實驗試件進行隔熱性能數據實測，再將該實測值導入辦公類標準示範空間進行全年空調系統負荷與耗電量電腦模擬預測，以獲得建築物在未使用與使用屋頂隔熱建材後空調負荷與整體耗電量數值，進而進行兩者之比對分析。

二、研究方法及過程

本研究規劃之執行方法與程序為：首先探討隔熱性能量測儀器之量測原理與方法，及建築物空調耗能之電腦模擬原理。其次分析 9 類型隔熱磚之組成結構特性及施工工法差異，並透過建築單一材料專用隔熱性能量測儀器進行實測，求得實際使用於改善建築物空調耗能屋頂隔熱建材之單一材料熱性能係數，進而獲得 9 種隔熱磚個別之整體隔熱性能。再將該實測值導入模擬建築物中央空調系統全年逐時負荷與耗電量專用之電腦軟體：DOE-2.1E，進行標準辦公用途空間全年空調負荷與耗電量之電腦模擬，獲得標準辦公用途空間在尚未使用本研究選取之屋頂隔熱磚試件，而僅以傳統採用一般混凝土作為屋頂主要結構組成時之建築空調耗能，以及在該模擬示範空間鋪設本研究選取之屋頂隔熱磚試件後之建築空調耗能。

上述兩者相對應之各種結果，併同 94 年度陶粒隔熱磚研究結果，進行 10 種隔熱磚之交叉比對分析，諸如：屋頂處結構之整體熱傳導率、屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷、屋頂處引入之全年空調負荷總量、辦公用途模擬示範空間全年之總空調負荷量、辦公用途模擬示範空間全年空調耗電之耗

能結構組成、辦公用途模擬示範空間全年空調電費等。以及進行各隔熱磚之經濟效益評估與交叉比對分析。最後更新並升級常見屋頂隔熱建材之隔熱性能資料庫。

三、重要發現

在本研究擇定之 PS 隔熱磚、五腳隔熱磚、斷熱陶隔熱磚、石英隔熱磚、保麗龍隔熱磚、橡膠隔熱磚、板岩隔熱磚、磨石子 PS 隔熱磚、磨石子隔熱磚等合計 9 種隔熱磚產品相關研究方面，以 PS 層具有最低之熱傳導係數 k 值，保麗龍層具有最低之比熱，磨石子 PS 隔熱磚具有最低之本身整體熱傳導率 U 值及最大之屋頂熱傳導率改善率。

此外，節能效益方面以屋頂鋪設磨石子 PS 隔熱磚時較佳，其全年空調系統耗電量最低，節能效率為 4.02%，成效顯著。在經濟效益評估方面，經由廠商提供之投資成本資訊，計算分析獲得鋪設磨石子 PS 隔熱磚時，約在 3.2 個月左右即可回收，回收期限不到 1 年，為本研究各類型隔熱磚中回收年限最短者，具有最高之經濟效益。然事實上，回收期限最長之隔熱石英磚（7.2 個月）亦可維持在 1 年內即可回收，故顯示全部各類型之隔熱磚均具有實質之改善屋頂隔熱及節電功效，值得投資與推廣。

四、主要建議事項

根據研究發現，針對屋頂隔熱建材之節能與經濟效益評估工作上，提出下列具體建議。以下分別從立即可行的建議、及長期性建議加以列舉。

立即可行之建議-後續應針本年度研究成果中較具特別屬性之隔熱磚（如具最佳節能預測成效之磨石子 PS 隔熱磚、具再生建材特性之橡膠隔熱磚、、、等）進行空調節能效益之全尺度實驗印證。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：國立高雄第一科技大學

本年度研究成果中，隔熱性能方係由實測方式獲得，至於空調節電量及節能率方面，則以電腦模擬方式進行，雖是以台灣地區氣象資料為基本模擬

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

背景及條件，但其結果仍缺乏以實體物件進行現場實驗測試加以印證或修正，因此仍有具有相當程度之進步空間，及持續研究之必要。故建議利用本所性能實驗中心 95 年度新建置完成之節能實驗屋，進行電腦模擬與全尺度比對實驗，並以網路化電力監控系統進行長期性之動態紀錄，最後進行監測數據之計算分析。

中長期建議-建議相關主管機關推廣利用屋頂隔熱建材隔熱性能資料庫，並納入建築技術規則加強宣導使用以進行有效管理。

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

本研究結果建立內容豐富之常見屋頂建材隔熱性能資料庫，並經電腦模擬計算結果顯示，屋頂隔熱具實質經濟效益，約於 1 年內即可回收，回收期限甚短，因此建議相關主管機關善加利用屋頂隔熱建材隔熱性能資料庫，並納入建築技術規則加強推廣使用及進行有效管理。

ABSTRACT

Keywords: thermal property, roof insulation, computer simulation, energy saving efficiency, payback time

This project continue the 「The Study of Thermal Properties for Roof Insulations and its' Economic Analysis Model - (1)」 applying the thermal properties analyzer for direct measurement to measure and analyze the thermal conductivity and volume specific heat of various construction materials of the building envelope. This project will apply these real data into a computer simulation of HVAC system in a standard commercial building model to analyze its' energy consumption patterns. Further, the database of thermal properties for roof constructions will be renewed and updated.

From this project we have 3 conclusions as follows:

1. First, for the thermal properties of all roof insulation tiles, high density PS layer has the minimum thermal conductivity, low density PS layer has the minimum volume specific heat, and concrete PS-concrete insulation tile has the minimum overall thermal conductance.
2. Second, PS-concrete insulation tile has the maximum energy saving and economic efficiency. It will get 4.02% energy saving ratio and 3.2 months payback time.
3. Third, we renew and upgrade the database of thermal properties for roof constructions established in 2005.

Through this project we have showed there is great potential of energy saving and economic efficiency for roof insulation tiles. And it is a workable strategy for modifying the insulation performance of roof construction, and can decrease the power consumption of building HVAC system outstandingly. We hope these results could be useful for building designers and insulation tiles producers, and will be subsume into Taiwan building technical specification in the future.

第一章 緒論

第一節 研究起緣與背景

在兩次全球性石油能源危機，以及近幾年來全球溫暖化、南北極冰層融化及地球沙漠化等現象之後，世界各國為了挽救地球日益惡化的環境，已展開全面性的地球環保責任。我國於 1996 年成立行政院國家永續發展委員會以來，本所「綠建築推動方案」期能以具有前瞻性、整合性的政策方案，善盡建築產業對地球環境的責任。如今「綠色營建政策」更名列政府「挑戰 2008 年國家重點發展計畫」之一。其中「建築節能政策」是「綠建築」最重要的一環，足見綠色建築政策勢必成為我國永續營建政策之重大趨勢。

1995 年政府依據能源管理法，將建築外殼耗能及屋頂之熱貫流率 (Coefficient of thermal transmission) 或總熱傳係數 (Overall heat transfer coefficient) 納入法規條文，使建築外殼節約能源管理提昇至一個全面性且趨向完整的水準。目前國內所使用的建築屋頂隔熱材料種類非常繁多，主要目的為提昇建築物屋頂阻絕外界太陽直射進入屋內熱量之能力，避免形成室內龐大之熱負荷來源，進而浪費大量之空調系統運轉能源。種類包含泡沫混凝土、隔熱磚、發泡玻璃、、、等，其熱傳能力的差距很大，熱傳導係數範圍可能為 0.3~0.03 W/m-K。而國內大部分建築師或冷凍空調技師在計算空調負荷與建築物外殼耗能指標時，大多沿用美國或日本相關建材之隔熱性能。此類數據多為 1970~1980 年代量測之結果，加上國內建材製造加工方法日新月異，利用此類數據來作為計算建築物外殼耗能指標之依據仍有改善空間。

再者，為追求舒適健康室內居住及永續地球環境，提昇國人生活品質；由本所推動之綠建材標章制度，已於 93 年 7 月完成制度之規劃，並配合性能實驗群檢測實驗機制建置，正式受理申請。本所進行綠建材認證類別分析，其認證類別可歸納為高性能、生態、再生、健康等四大方向。其中**1. 健康綠建材**必須具備低逸散、低污染以及低臭氣等性能。**2. 生態綠建材**具有抑制溫室效應、抑制臭氧層破壞、使用本土建築材料、省資源、省能源等性能。**3. 再**

生綠建材必須具備再循環、再利用以及廢棄物減量等性能。4. 高性能綠建材必須具備耐久性佳、不需維護、高隔熱、高防音等性能。因此為達到舒適、健康與環保之居住環境，並且配合綠建材標章之推動，符合綠建材標章評定基準的產品將成為消費者選擇之重大依據。

另空調型建築之節能指標為建築物外殼耗能指標 ENVLOAD (Envelope Load)，ENVLOAD 計算公式與建築外殼之隔熱性能有密切之關係。由下式之 ENVLOAD 公式可知，L 與 Mk 均與建築外殼之外殼總熱傳遞率 U_i 有關。

$$ENVLOAD = a_0 + a_1 \times G + a_2 \times L \times DH + a_3 \times \sum Mk \times IHk \quad (1-1)$$

$$L = (\sum Ui \times Ai + 0.5 \times \sum Ui \times Ai') / AFp + b_0 \quad (1-2)$$

$$U_i = \frac{1}{1/h_0 + \sum dx/dk_x + ra + 1/h_i} \quad (1-3)$$

其中：L 代表建築外殼的熱損失係數， U_i 代表外殼總熱傳導率

由於建築室內外熱對流係數(h_0, h_i)受到在建築外殼的熱對流現象影響甚鉅，一般在設計時都設為定值（無風狀態），且中空層的熱阻亦設為定值。因此單一建材之熱傳導係數對外殼熱傳遞率 U_i 有關鍵性之影響。故若能得到精確的單一建材熱傳導係數，則ENVLOAD之計算將更為準確。

本研究為延續去（94）年度「屋頂建材隔熱性能實測與其經濟效益分析研究（一）」自行研究計畫成果，進入更深與更廣之研究與應用階段。期望透過本所性能實驗群熱環境實驗室之3部建材隔熱性量測儀器：攜帶式熱傳導係數與比容量測儀、建材隔熱性能量測儀、固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀等，與所建立之屋頂隔熱節能改善工程實務預測與經濟效益評估之標準化解析模式，對市售多類型隔熱磚產品進行多元化之隔熱性能數據實測，與全年空調耗能節約量之電腦模擬預測，以進行節能與經濟效益之交叉比對分析，並更新屋頂隔熱建材隔熱性能資料庫。本年度之研究成果將大幅提昇於隔熱磚方面之隔熱性能研究成果，可提供設計師、建築相關業界、民眾、與本所舊有建築節能善補助計畫等，在設計選擇與實務評估屋頂隔熱節能策略時極佳之參考依據。

第二節 研究目的

本研究預計於執行期間，將擇定市售常見 9 類型屋頂隔熱磚產品，以本所性能實驗群熱環境實驗室之 3 部建材隔熱性量測儀器：攜帶式熱傳導係數與比容量測儀、建材隔熱性能量測儀、固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀等，進行隔熱性能數據實測，再將實測值導入 DOE2.1E 軟體之辦公類標準示範空間，進行全年空調系統負荷與耗電量電腦模擬預測，以獲得建築物在未使用與使用屋頂隔熱磚後空調負荷與整體耗電量數值。另將併入 94 年度已完成陶粒隔熱磚之研究結果，進行 10 種隔熱磚隔熱性能與經濟效益之交叉比對分析，進而更新常見屋頂隔熱建材之隔熱性能資料庫。預期之研究成果分述如下：

- (1) 彙整本所性能實驗群熱環境實驗室 3 部建材隔熱性量測儀器之設備特性、功能、精度校正分析等資訊。
- (2) 進行建築物空調系統耗能電腦模擬之原理分析。
- (3) 研究、比較、製作、及收集目前市場上較普遍販售或採用之屋頂隔熱磚產品，以做為本研究之實測樣本。
- (4) 進行隔熱磚屋頂隔熱產品樣本之單一材料隔熱性能實測。
- (5) 進行隔熱磚樣本對於改善空調耗能之經濟效益評估與交叉比對分析。
- (6) 升級並更新常見屋頂隔熱建材之隔熱性能資料庫。

第三節 研究方法及步驟

本研究規劃之執行方法與程序為：

1. 首先探討隔熱性能量測儀器之量測原理與方法，及建築物空調耗能之電腦模擬原理。
2. 其次分析 9 類型隔熱磚之組成結構特性及施工工法差異，並透過建築單一材料專用隔熱性能量測儀器進行實測，求得實際使用於改善建築物空調耗能屋頂隔熱建材之單一材料熱性能係數，進而獲得 9 種隔熱磚個別之整體隔熱性能。
3. 再將該實測值導入模擬建築物中央空調系統全年逐時負荷與耗電量專用之電腦軟體：DOE-2.1E，進行標準辦公用途空間全年空調負荷與耗電量之電腦模擬，獲得標準辦公用途空間在尚未使用本研究選取之屋頂隔熱磚試件，而僅以傳統採用一般混凝土作為屋頂主要結構組成時之建築空調耗能，以及在該模擬示範空間鋪設本研究選取之屋頂隔熱磚試件後之建築空調耗能。
4. 上述兩者相對應之各種結果，併同 94 年度陶粒隔熱磚研究結果，進行 10 種隔熱磚之交叉比對分析，諸如：屋頂處結構之整體熱傳導率、屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷、屋頂處引入之全年空調負荷總量、辦公用途模擬示範空間全年之總空調負荷量、辦公用途模擬示範空間全年空調耗電之耗能結構組成、辦公用途模擬示範空間全年空調電費等。
5. 進行各隔熱磚之經濟效益評估與交叉比對分析。
6. 最後更新並升級常見屋頂隔熱建材之隔熱性能資料庫。

本研究研究流程與步驟如圖 1-1 所示。

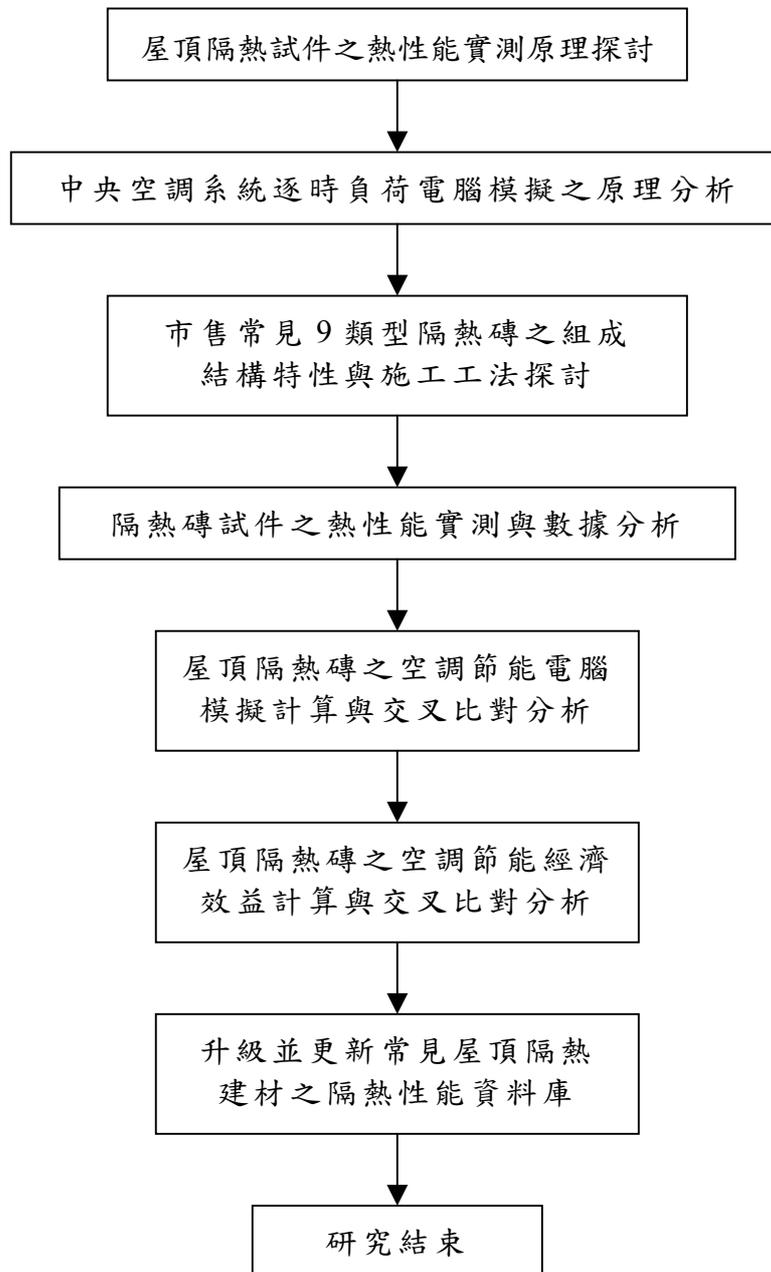


圖 1-1 研究流程與步驟

(資料來源：本研究整理)

第二章 文獻回顧

本研究蒐集所得主要之相關資料及文獻分析分述如下。

- (一)「建築節約能源設計技術規範與實例(辦公類)」，內政部營建署，民國 92 年。

本文獻內容主要提供許多建築外殼材料之物理特性數據，供建築物設計師使用參考，其建築外殼材料主要包含建築物立面外殼、玻璃材料、屋頂外殼等，惟許多樣本之物性數據(尤以隔熱性能數據)均多為歐美或日本之數據，尚未全面建立台灣地區本土化之隔熱性能數據，因此在實際應用上與實際之台灣營建市場現況將產生部分之落差。

- (二)「建築外殼與玻璃隔熱性能改善之研究-建築屋頂隔熱性能驗證研究」，張恭銘、呂文弘，內政部建築研究所研究計劃成果報告，民國 92 年。

該研究為本所首次針對屋頂隔熱建材實體樣本進行隔熱性能實際測之研究，該研究之熱性能實測主要利用大型之校正熱箱儀，進行全尺寸屋頂結構物件之複合式整體熱傳導率(U 值)量測，因該熱箱儀之實驗尺度(scale)過大，以致多數誤差控制變因難以掌握，較難獲得再現性佳之實測結果。因此該熱環境實驗室逐步進化並轉型為建立單一建材之隔熱性能量測儀。

- (三)「建築外殼隔熱性能檢測程序標準化之研究」，楊冠雄、林憲德和李訓谷，內政部建築研究所研究計劃成果報告，民國 93 年。

該研究為本所熱環境實驗室完成建立單一建材隔熱性能量測儀後首次執行之研究計畫，經由該計畫之執行，完成攜帶式熱傳導係數與比容量測儀、建材隔熱性能量測儀、固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀 3 台儀器之安裝與設置，並且藉由標準試件之量測建立單一建築外殼建材之隔熱性能檢測標準作業程序。

(四)「屋頂建材隔熱性能實測與其經濟效益分析研究(一)」，王佑萱，內政部建築研究所自行研究報告，民國 94 年。

該研究為延續去(93)年度「建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析」自行研究計畫已完成之成果，透過本所性能實驗群熱環境實驗室之 3 部建材隔熱性量測儀器：攜帶式熱傳導係數與比容量測儀、建材隔熱性能量測儀、固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀等，對所規劃之實驗示範試件進行隔熱性能數據實測，再將該實測值導入辦公類標準示範空間進行全年空調系統負荷與耗電量電腦模擬預測，以獲得建築物在未使用與使用屋頂隔熱建材後空調負荷與整體耗電量數值，進而進行兩者之比對分析。藉由該案之執行，本所首度完成屋頂隔熱建材熱性能與經濟效益評估之標準化工程解析模式。

第三章 隔熱性能量測與建築空調耗能電腦模擬原理分析

本研究建立綠建築標章審查時各案例常用屋頂隔熱建材隔熱性能資料庫主要之工程實務解析模式標準程序為：首先透過具可靠準確性與高度再現性之建築單一材料專用隔熱性能量測儀器進行全尺度實務實測，求得實際使用於改善建築物空調耗能屋頂隔熱建材之單一材料熱性能係數，進而獲得其整體隔熱性能。其次，將該實測值導入模擬建築物中央空調系統全年逐時負荷與耗電量專用之電腦軟體：DOE-2.1E，進行標準辦公用途空間全年空調負荷與耗電量之電腦模擬，獲得標準辦公用途空間在尚未使用本研究選取之屋頂隔熱建材實驗示範試件，而僅以傳統採用一般混凝土作為屋頂主要結構組成時之建築空調耗能，以及在該模擬示範空間鋪設本研究選取之屋頂隔熱實驗示範試件後之建築空調耗能，將兩者相對之各種結果進行交叉比對分析，諸如：屋頂處結構之整體熱傳導率、屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷、屋頂處引入之全年空調負荷總量、辦公用途模擬示範空間全年之總空調負荷量、辦公用途模擬示範空間全年空調耗電之耗能結構組成、辦公用途模擬示範空間全年空調電費、辦公用途模擬示範空間使用屋頂隔熱實驗示範試件改善空調耗能之經濟效益等 7 大工程評估項目，藉以充分展現一旦建立起綠建築標章審查常見屋頂隔熱建材隔熱性能資料庫後，對我國建築主管機關或相關業界可產生之具體貢獻與效益。

然而在進行上述之建材隔熱性能實測或中央空調系統耗能電腦模擬分析前，應先針對此兩大研究課題涉及之儀器熱性能實測理論、儀器特性與功能、建築物空調耗能分析計算理論等，進行概要之探討與分析。因此，本章首將針對本所性能實驗群熱環境實驗室建置之建材隔熱性能量測儀器：攜帶式熱傳導係數與比容量測儀、建材隔熱性能量測儀、固定式熱傳導係數與比容量測儀等 3 儀器進行量測理論分析、儀器特性及功能探討、儀器精度之校正分析，以及建築物中央空調系統耗能電腦模擬之原理分析。

第一節 單一建材熱傳導係數檢測儀器之量測理論分析¹

第 3-1-1 節 暫態熱線量測法之量測理論分析

暫態熱線量測法(Transient Hot Wire Method)具備便利、精確度高以及量測時間短等優點。暫態熱線量測法的量測理論是假設一無限長的探針埋在無限大的均質介質中，當時間大於零時，探針產生單位長度定熱通量 q 來加熱介質。因此可以將此現象視為一維徑向熱傳導問題。當 $\alpha t / r_0^2 \geq 1$ 時，探針的溫度上升值可表示為：

$$T = \frac{q}{4\pi k} (\ln 4F_r - \gamma) \quad (3-1)$$

其中：

$$F_r = \alpha t / r_0^2$$

α 為熱擴散係數(thermal diffusivity)

k 為熱傳導係數

r_0 為探針的半徑

γ 為尤拉常數 Euler constant=0.5772

由上式推導求得介質的熱傳導係數為：

$$k = (q / 4\pi) (dT / d \ln t)^{-1} \quad (3-2)$$

由上述兩個方程式吾人可以發現當時間足夠長的情況下，溫度與時間的自然對數函數為一線性關係；故如果單位長度的熱通量 q 已知，則介質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。

¹王佑萱，“建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析”，內政部建築研究所自行研究報告，民國 93 年。

第 3-1-2 節 穩態熱流量測法之量測理論分析

穩態熱流量測法(Steady-state Heat Flow Method) 係根據能量守恆定律，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。

$$\text{傅立葉熱傳導定律為： } Q = kA(T_1 - T_2) / L \text{，或是 } Q = A(T_1 - T_2) / R \quad (3-3)$$

其中：

Q：熱通量

T1：試片上層溫度

T2：試片下層溫度

L：試片厚度

k：試片熱傳導係數

A：試片截面積

R：試片熱阻=L/k

本所熱傳導量測儀係符合 ASTM E1530 標準規定。ASTM E1530 標準是利用保護熱流計法(Guarded Heat Flow Meter Method)量測物體之熱傳導係數所訂定之標準。在 ASTM E1530 標準中試件是被放置在一組可上下壓縮的平台上，上下平台的溫度可以個別被控制。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 3-1 所示。依據上述傅立葉熱傳導定律試件之熱阻可以由下式求得：

$$R_s = F[(T_u - T_l) / Q] - R_{int} \quad (3-4)$$

其中：

R_s：試件熱阻

F：熱通量轉換器校正因子

第三章 隔熱性能量測與建築空調耗能電腦模擬原理分析

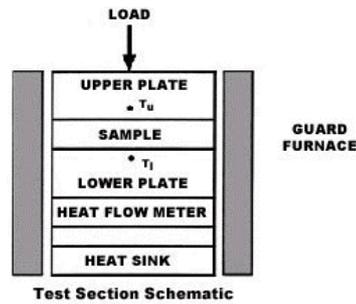
T_u ：上層平台表面溫度

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

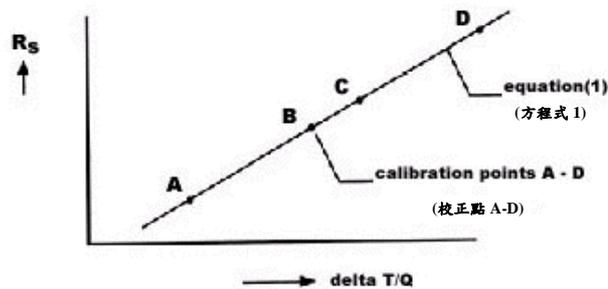
因此試件的熱傳導係數可由 $k = d / R_s$ 求得。



(資料來源: UNITHERM™ 2022 THERMAL CONDUCTIVITY MEASURING SYSTEM USER'S GUIDE, 2004)

圖 3-1 保護熱流計法量測物體之熱傳導係數示意圖

在 (3-4) 式中， F 與 R_{int} 可在儀器的校正過程中獲得，故 (3-4) 式中的 R_s 與 DT/Q 之間為線性關係。因此若以 R_s 為縱座標、 DT/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 3-2 所示)。則根據此一直線方程式以及量測待測試件的 DT/Q 值即可反推求得待測試件之熱阻值。



(資料來源: UNITHERM™ 2022 THERMAL CONDUCTIVITY MEASURING SYSTEM USER'S GUIDE, 2004)

圖 3-2 保護熱流計法之校正分析

第二節 熱環境實驗室建材隔熱性能量測儀器之設備特性、功能、精度校正分析²

第 3-2-1 節 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀設備特性與功能分析

一、功能說明：

攜帶式熱傳導係數與比容量測儀可測試：

熱傳導係數值 [W/mK] (儀器之結果輸出代號為 λ)

體積熱容量值 [J/m³K] (儀器之結果輸出代號為 α)

熱擴散值 [m²/s] (儀器之結果輸出代號為 Cp)

溫度[°C]

二、基本特性：

ISOMET 為一攜帶型可直接測試材料熱物理性質之量測儀器(如圖 3-3 所示),使用範圍甚廣,探測計依材料特質分成探針式及表面接觸式兩種(如圖 3-4、3-5 所示),針式探測計大部份用於透水性、纖維狀或軟質材料;表面接觸式則用於硬質材料測試。

熱傳導係數測試時間約 8~16 分鐘,主機視窗為四行字母及數字顯示,探測計可使用相關標準材質試片校正,測試資料可儲存於記憶體中,亦可經 RS232 傳輸至個人電腦,主電源不夠用或於現場測試時,可使用充電式電池電源。

²王佑萱,“建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析”,內政部建築研究所自行研究報告,民國 93 年。



(資料來源：本研究整理)

圖 3-3 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀外觀



(資料來源：本研究整理)

圖 3-4 探針式探測計



(資料來源：本研究整理)

圖 3-5 表面接觸探測計

三、測試範圍

攜帶式熱傳導係數與比容量測儀共合四種量測範圍之探針式與三種表面接觸探測計，其量測範圍如表 3-1~3-3 所示。

表 3-1 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀探測計之量測範圍

| | Thermal Conductivity | Volume Heat Capacity | Temperature |
|-----------------------------|----------------------|---|---------------|
| Needle Probe API 210402 | 0.035-0.20W/m.K | $4.0 \times 10^4 - 1.5 \times 10^6 \text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ | -20°C ~ +70°C |
| Needle Probe API 210403 | 0.20-1.0W/m.K | $1.5 \times 10^6 - 4.0 \times 10^6 \text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ | -20°C ~ +70°C |
| Needle Probe API 2104022 | 0.015-0.20W/m.K | $4.0 \times 10^4 - 1.5 \times 10^6 \text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ | -20°C ~ +70°C |
| Needle Probe API 210404 | 1.0-2.0W/m.K | $1.5 \times 10^6 - 4.0 \times 10^6 \text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ | -20°C ~ +70°C |
| Surface Probe API 210411 | 0.030-0.30W/m.K | $4.0 \times 10^4 - 1.5 \times 10^6 \text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ | -15°C ~ +50°C |
| Surface Probe API 210412 | 0.30-2.0W/m.K | $1.5 \times 10^6 - 4.0 \times 10^6 \text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ | -15°C ~ +50°C |
| Surface Probe API 210413 | 2.0-6.0W/m.K | $1.5 \times 10^6 - 4.0 \times 10^6 \text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ | -15°C ~ +50°C |

(資料來源：ISOMET 2104 USER'S GUIDE, 2004)

四、精度

表 3-2 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀探測計之精度

| | Measurement Range | Accuracy |
|----------------------|---|---|
| Thermal Conductivity | 0.015-0.050W/m.K | 5 % of reading + $0.003 \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ |
| | 0.050-0.70W/m.K | 5 % of reading + $0.001 \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ |
| | 0.70-6.0W/m.K | 10 % of reading |
| Volume Heat Capacity | $4.0 \times 10^4 - 4.0 \times 10^6 \text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ | 15 % of reading + $1 \times 10^3 \text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ |
| Temperature | -20°C ~ +70°C | 1°C |

(資料來源：ISOMET 2104 USER'S GUIDE, 2004)

五、再現性

表 3-3 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀探測計之再現性

| | |
|----------------------|--|
| Thermal Conductivity | 3 % of reading + $0.001\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ |
| Volume Heat Capacity | 3 % of reading + $1\times 10^3\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ |

(資料來源：ISOMET 2104 USER'S GUIDE, 2004)

六、探測計

ISOMET 可測試各種不同材料，執行各種不同目的，可測試軟質泡沫及硬岩石之固體，液體及懸浮物等俾能求得精確測試，可使用之探測計：

a.-Needle probes 針式探測計

b.-Surface probes 表面探測計

a-針式探測計只要直接或經由原先所鑽之小孔（孔徑不可太大）插入試片即使是低傳導如保麗龍，也不會降低其測試精度，惟硬質材料孔隙大小影響較大，針式探測計感應部份為針端 15 mm 算起共 50 mm，圍繞探測針之厚度從為 10 mm~15 mm 為最佳。探針完全插入試片時，能增加測試精度，惟大部份探測針深度至 80 mm；針式探測計對軟質材料直接插入即可，無須任何熱性媒介物，但硬質材料孔徑稍大時，應以矽油將孔隙填滿。

b-表面探測計適用於固體堅硬且表面光滑之試片，試片直徑至少 60 mm，試片表面越平整更能增加其測試精度，依據傳導性，擴散性，試片厚度範圍 10 mm~15 mm 最佳。基本上表面探測計對極低傳導性泡沫狀材料測試亦極有效，物質表層屬性及其內部構造差異，對測試影響很大。（表面探測計出廠已校正無再校正改善）

第 3-2-2 節 建材隔熱性能量測儀之設備特性與功能分析

建材隔熱性能量測儀（如圖 3-6 所示）之操作區分為儀器操作與電腦操作兩個流程。在儀器操作流程主要是著重在將試件放置在量測平台上以及儀器運轉設定上；而在電腦操作流程上則是著重在量測參數設定以及量測數據存取上。



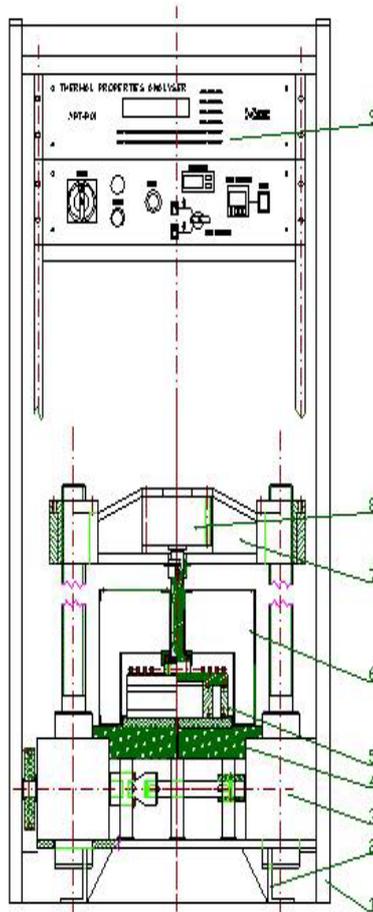
圖 3-6 建材隔熱性能量測儀之外觀

（資料來源：本研究整理）

第 3-2-3 節 固定式熱傳導係數與比熱量測儀設備特性與功能分析

一、基本特性

固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀 APT-P01（如圖 3-7 所示）功能為量測均勻性質固體材料之熱物理性質。內部含一密封測試室，可將水注入試體內。測試室有荷重感應器可測定試體因膨脹產生之力量。熱傳導係數測試時間約 10 分鐘，儀器視窗可顯示四行字母及數值，測試資料可儲存於記憶體中，亦可經 RS232 傳輸至個人電腦。



（資料來源：Thermal Properties Analyzer APT-P01 USER'S GUIDE,2004）

圖 3-7 APT-P01 外觀構造圖

二、測試範圍

表 3-4 固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀測試範圍

| | |
|---|---|
| Thermal conductivity: | 0.1W/m.K ...4.0W/m.K |
| Volume heat capacity: | $1.5 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K} \dots 4.0 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ |
| Temperature inside the measurement chamber: | From room temperature up to 200°C |
| Maximum force developed by Expansion of specimen: | 215KN |
| Maximum pressure of steam | 3.0MPa |

(資料來源：Thermal Properties Analyzer APT-P01 USER'S GUIDE,2004)

三、設定測試室溫度

按加熱控制器上之“P”鈕，再依箭頭指示方向上昇或上降，設定所須溫度，其值將顯示在加熱控制器第二行，設定溫度完成後再按“P”即可。

四、測試室溫度之執行與停止

1. 溫度控制執行：先設定測試溫度，開啟 HEATER 開關。按住 HEATER CONTROL 控制器“U”鈕約 1 秒，此時顯示器上會閃爍“tun E”字樣，測試室之溫度控制開始執行。
2. 停止執行溫度控制：關閉 HEATER 開關，按 HEATER CONTROL 控制器上“P”鈕約 2 秒鐘，此時第一行溫度值消失由“OPER”取代。按上下鍵選擇“OFF”按“P”鈕即停止執行。

第 3-2-4 節 儀器之準確度印證與精度校正分析

在進行建材熱傳導係數量測之前，必須先進行儀器及感測器之校正，由於攜帶式與固定式熱傳導係數與比容量測儀在量測前不需進行校正。因此僅建材隔熱性能量測儀器必須在量測前進行校正程序。校正程序與計算過程可由下列步驟說明之。

1、**Calibration(校正)**：以已知熱傳導係數之試片校正，建立校正曲線。

註：用已知熱傳係數之試片來校正，和儀器上之 Reference 不同。

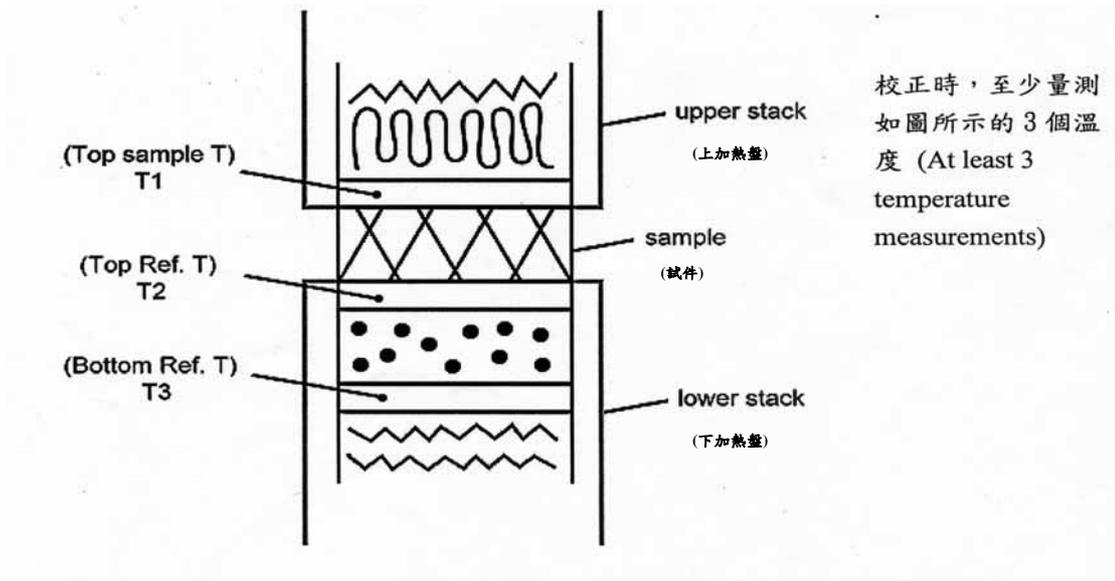


圖 3-8 量測示意圖

$\Delta T_S = T_1 - T_2$ (T_1 及 T_2 如上圖所示)，所以校正結果是一條直線。

$$(1/R_S) \times (A\Delta T_S) = (1/R_R) \times (A\Delta T_R) = Q$$

$$\therefore R_S = R_R \times \Delta T_S / \Delta T_R$$

$$\Delta T_R = T_2 - T_3$$

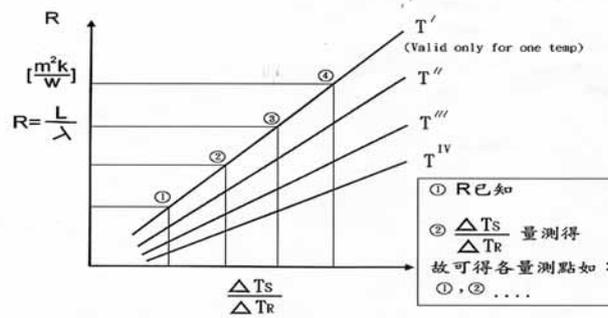


圖 3-9 校正曲線圖

2、實際傳導量測 (Thermal Conductivity Measurement) :

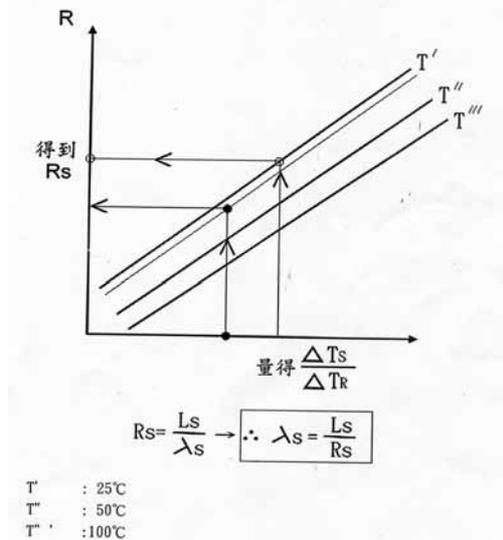


圖 3-10 由校正曲線求出試件熱傳導係數

註: 1. Unitherm 2022 已做三條校正曲線(Calibration Line)，分別於 25°C，50°C 與 100°C。

2. 由於 Unitherm 2022 是採用穩態(Steady State)量測法，因此 Q(Heat Flux)不需量測。
3. 接觸介面之熱阻遠小於被測物之熱阻 ($R_{\text{Contact}} \ll R_{\text{Sample}}$)。
4. 可不用 thermal compound，但是最好用(且在校正過程時中所用之 thermal compound，必須與實際量測時相同材質)。

第三節 建築物空調系統耗能電腦模擬之原理分析³

如下表 3-5 所示，建築物之空調負荷其組成一般包括：1.受外在氣候以及建築物外殼性能影響的外部負荷，2.室內燈光照明及人員及使用器具所產生的熱量等構成之內部負荷，3.為了室內空氣品質而必須引進新鮮外氣所形成的外氣負荷等 3 大部分。另外搬運損失就是指在送風、送水管路中與因熱傳損失與漏風損失造成的額外損失量，約佔總空調顯熱負荷的 10%左右。

表 3-5 冷房負荷的構成與代號

| 負荷種類 | | 負荷代號 | |
|------|---------------------|---------------|----|
| 外部負荷 | 壁體傳透熱 | Q_{wall} | 顯熱 |
| | 玻璃面傳透熱 | $Q_{win.sol}$ | 顯熱 |
| | 玻璃面輻射熱 | $Q_{win.con}$ | 顯熱 |
| | 間隙風負荷 | Q_{IS} | 顯熱 |
| | | Q_{IL} | 潛熱 |
| 內部負荷 | 人體發散熱 | Q_{HS} | 顯熱 |
| | | Q_{HL} | 潛熱 |
| | 照明發散熱 | Q_E | 顯熱 |
| | 室內機械發散熱 | Q_{MS} | 顯熱 |
| | | Q_{ML} | 潛熱 |
| 外氣負荷 | 新鮮外氣負荷 | Q_{OS} | 顯熱 |
| | | Q_{OL} | 潛熱 |
| 搬運損失 | 顯熱、潛熱各取以上總值的 10% 計算 | | |

(資料來源：陳瑞鈴、楊冠雄和黃瑞隆，變冷媒量(VRV)空調系統於日常節能指標 EAC 應用之研究，民國 94 年)

壁體熱傳透計算

經過建築外殼的熱流，由於受到壁體熱容量的影響，會產生不穩定動態熱流，計算十分複雜，非一般空調業界易於採用。所以利用熱學理論將時滯現象簡化為單純的冷房負荷溫差 CLTD(Cooling Load Temperature Difference)

³陳瑞鈴、楊冠雄和黃瑞隆，“變冷媒量(VRV)空調系統於日常節能指標EAC應用之研究”，內政部建築研究所研究計劃成果報告，民國 94 年。

計算壁體熱傳透，可以下式表示：

$$q_{wall} = U \times A \times CLTD \quad (3-5)$$

其中

q_{wall} ：特定牆面的熱傳透量

U ：建築外殼的熱傳透率

$CLTD$ ：冷房負荷溫差

A ：壁體面積

構造體之總熱傳透 q_{wall} 就等於各外牆面熱傳透量相加($\sum q_{wall}$)。

玻璃熱負荷計算

單一玻璃面之熱負荷 q_{win} 可分為室內外溫差所產生之傳透熱 $q_{win.sol}$ ，與透過玻璃之太陽輻射熱 $q_{win.con}$ 。其計算式如下：

$$q_{win} = q_{win.sol} + q_{win.con} \quad (3-6)$$

$$q_{win.con} = U \times A \times (T_o - T_i) \quad (3-7)$$

$$q_{win.sol} = A \times SC \times MSHGF \times CLF \quad (3-8)$$

其中

q_{win} ：玻璃熱負荷

$q_{win.con}$ ：玻璃面熱傳透負荷

$q_{win.sol}$ ：玻璃面日射負荷

U ：玻璃之熱傳透率

T_o ：戶外設計溫度

T_i ：室內設計溫度

$MSHGF$ ：最大太陽熱取得因子

CLF ：冷房負荷因子

SC ：遮蔽係數

A ：玻璃面面積

式中 MSHGF 是方位、時間以及緯度的函數，另外 CLF 是建築物的蓄熱能力以及有無內遮陽設施的函數。

內部熱負荷計算

室內因照明、人體及其他發熱機器所發生的熱總稱為內部熱負荷。在商業建築辦公或研究大樓中，人員、照明和設備等發熱形成的內部熱得通常是構成該幢建築物冷房負荷的重要成分。事實上，在許多大型商業辦公建築物中，內部熱得是冷房負荷最主要的來源。因此，對於大型辦公大樓而言，常年冷房運轉，甚至在嚴冬也不例外。

人體發散熱

來自人體的熱負荷可分為顯熱部分與潛熱部分，人員的作業程度決定了總發熱量，以及顯熱與潛熱比例。顯熱部份是因為人體體溫與室內溫度之溫度差而引起，潛熱部份則是起因於人體的呼吸與排汗。雖然各種工作狀態下的顯熱與潛熱值有準確的數值可查，但是在作業人員發熱量仍會發生重大誤差，其主要原因為缺乏人員停留在室內的時間以及總人數的相關資料。大部份的場所在設計時對於其使用人數均高估很多，所以計算時要避免引用超過全職人員的數目。室內人員的顯熱與潛熱要分開算，計算式如下：

$$Q_{occ} = Q_{occ.s} + Q_{occ.L} \quad (3-9)$$

$$Q_{occ.s} = N \times Q_{occ.s} \quad (3-10)$$

$$Q_{occ.L} = N \times Q_{occ.L} \quad (3-11)$$

其中

Q_{occ} ：人體發散熱

$Q_{occ.s}$ ：人體之顯熱負荷

$Q_{occ.L}$ ：人體之潛熱負荷

N ：在室人員數(人)

照明負荷

因為燈光的發熱量是內部熱得的最主要成份。照明所產生的熱與由照明所消耗電力換算時的等值發熱是不相同的。雖然燈具的其他附屬設備可能產生其他額外發熱量，但是燈具的發熱源主要來自發光元件或燈泡。照明負荷之計算以各空間之照明密度乘上各照明器具每瓦數的發熱量來計算。計算式如下：

$$Q_{LIT} = \Sigma q_{LIT} \times F \quad (3-12)$$

其中

q_{LIT} ：特定照明器具之電力消費量

F ：額外的允許因數(如螢光燈的啟動器因素)

機械熱負荷

計算各項室內設備的發熱量較計算人員或燈光時更為主觀。在計算中不論是電力設備、瓦斯設備或蒸氣設備所產生的熱都應列入考量。複雜的設備種類和，使用方式使得發熱量的計算變得相當主觀。近來辦公室電腦化後，電腦及其相關附屬設備如印表機等成為辦公室主要之機械發熱來源。辦公室內大部份的辦公桌上裝有終端機螢幕或個人電腦，以及其他如影印機、印表機等的典型設備，其室內熱得約為 $50\text{W}/\text{m}^2$ 。但是根據最近的研究指出，大部分的辦公室建築設備內的熱得為 $10\text{W}/\text{m}^2$ 。各項設備發熱量計算式如下：

$$Q_{equ} = \Sigma q_{equ} \quad (3-13)$$

其中

q_{equ} ：機器之室內熱負荷

外氣負荷計算

一般而言，因引進新鮮外氣所造成外氣負荷約佔總空調負荷的 20-30%。室內外氣量之決定取決於在室人員數多寡，外氣負荷計算式如下：

$$Q_{OA} = Q_{OA.S} + Q_{OA.L} \quad (3-14)$$

$$Q_{OA.S} = \dot{V}_{OA} \times C_p \times (T_o - T_i) \quad (3-15)$$

$$Q_{OA.L} = \dot{V}_{OA} \times hfg \times (x_o - x_i) \quad (3-16)$$

其中

Q_{OA} ：外氣總負荷量

$Q_{OA.S}$ ：外氣顯熱取得量

$Q_{OA.L}$ ：外氣潛熱取得量

\dot{V}_{OA} ：外氣量

T_o 、 T_i ：分別為室外與室內氣溫()

x_o 、 x_i ：分別為室外與室內絕對溼度(kg/kg)

hfg ：水蒸氣的相變化潛熱

由上述分析歸納可得，建築物空調負荷與耗能之精算法計算步驟可如圖 3-11 所示。而建築物空調耗能分析軟體 DOE-2.1E 程式便是依循該精算步驟加以執行，因此可達成圖 3-11 所示之精算空調負荷。

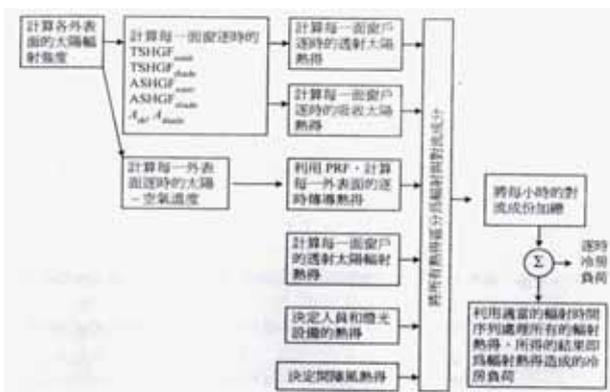


圖 3-11 輻射時間序列法

(資料來源：陳瑞鈴、楊冠雄和黃瑞隆，變冷媒量(VRV)空調系統於日常節能指標 EAC 應用之研究，民國 94 年)

第四章 屋頂隔熱磚之物理特性與隔熱性能實測結果分析

本研究選定 PS 隔熱磚、五腳隔熱磚、斷熱陶隔熱磚、石英隔熱磚、保麗龍隔熱磚、橡膠隔熱磚、板岩隔熱磚、磨石子 PS 隔熱磚、磨石子隔熱磚等合計 9 種之隔熱磚產品做為實測樣本，其主要組成結構、標準施工工法、與隔熱性能實測結果分述如下。

試件一：PS 隔熱磚

PS 隔熱磚（如圖 4-1、4-2 所示）主要由上下兩層單一材質所組成，分別為上層主要受力面之混凝土層及下層主要隔熱用途之 PS 板層等，PS 板之主要特性為：

1. 台灣及東南亞地區均用在屋頂隔熱和牆壁內層。
2. 寒冷國家(北方國家)住屋、廠房周圍使用 PS 板可保持屋內溫暖度及舒適的生活空間。
3. PS 板材質穩定、不吸水、質輕耐用，工程施工方便，不增加建物的負載。

（資料來源：東岱環保工程公司）

而 PS 隔熱磚之標準施工工法為：

1. 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。
2. 隨著屋面坡度用 1：3 水泥砂漿均勻粉刷鋪設隔熱磚材，面應平整。
3. 磚材排置每 3.3M 預留伸縮縫 2.5cm 寬，伸縮縫間以環保伸縮條嵌密。
4. 完工不得有凹凸不平或積水現象。

（資料來源：東岱環保工程公司）

第四章 屋頂隔熱磚之物理特性與隔熱性能實測結果分析



圖 4-1 PS 隔熱磚試件之整體近照
(資料來源：本研究整理)

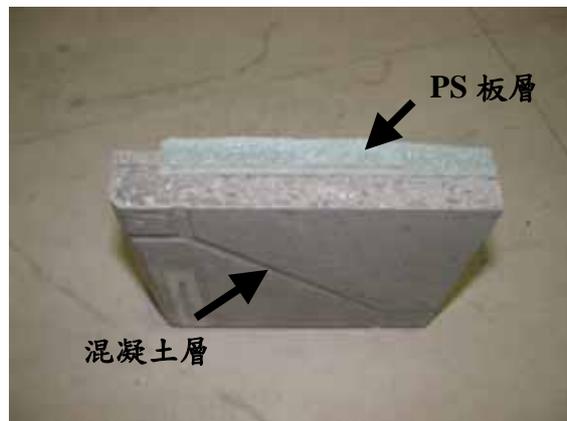


圖 4-2 PS 隔熱磚試件之側面近照
(資料來源：本研究整理)

PS 板隔熱磚之熱性能實測合計進行 3 次，再由 3 次量測結果取平均做為代表值，熱性能數據之量測結果則如表 4-1、4-2 所示。

表 4-1 PS 隔熱磚之熱性能實測結果表 (混凝土層)

| | λ | C_p | α | 溫度 |
|-------|-------------|----------------------------|-----------------------|-------|
| 單位 | W/m.K | J/m ³ K | m ² /s | °C |
| 第一次量測 | 2.22 | 1.99×10 ⁶ | 1.11×10 ⁻⁶ | 26.72 |
| 第二次量測 | 2.19 | 2.00×10 ⁶ | 1.10×10 ⁻⁶ | 27.57 |
| 第三次量測 | 2.18 | 2.00×10 ⁶ | 1.09×10 ⁻⁶ | 27.74 |
| 平均值 | 2.20 | 2.00×10⁶ | 1.10×10 ⁻⁶ | |

(資料來源：本研究整理)

表 4-2 PS 隔熱磚之熱性能實測結果表 (PS 板層)

| | λ | C_p | α | 溫度 |
|-------|---------------|-----------------------------|------------------------|-------|
| 單位 | W/m.K | J/m ³ K | m ² /s | °C |
| 第一次量測 | 0.0377 | 0.120×10 ⁶ | 0.313×10 ⁻⁶ | 29.69 |
| 第二次量測 | 0.0398 | 0.150×10 ⁶ | 0.266×10 ⁻⁶ | 37.95 |
| 第三次量測 | 0.0398 | 0.149×10 ⁶ | 0.267×10 ⁻⁶ | 38.23 |
| 平均值 | 0.0391 | 0.140×10⁶ | 0.282×10 ⁻⁶ | |

(資料來源：本研究整理)

由實測結果顯示，在主控建材即時性熱傳特性之熱傳導係數方面，PS隔熱磚PS板層之熱傳導係數平均為 0.0391 W/mK，遠低於混凝土層之平均熱傳導係數 2.20 W/mK。在主控建材蓄積性熱傳特性之比熱方面，PS隔熱磚PS板層之比熱平均為 0.140×10⁶ J/m³K，亦遠低於混凝土層之平均比熱 2.00×10⁶ J/m³K (整理如表 4-3 所示)，故顯見此種屋頂隔熱建材在結合PS板層之隔熱特性後，預期將可有效提昇整體外殼建材之隔熱效果，本研究後續將繼續探討各單一材質在結合後整體之隔熱效果。

表 4-3 PS 隔熱磚 PS 板層與混凝土層之熱性能實測結果比對表

| | λ (平均值) | C_p (平均值) | 備註 |
|-------|-----------------|-----------------------|------|
| 單位 | W/mK | J/m ³ K | |
| PS 板層 | 0.0391 | 0.140×10 ⁶ | (甚佳) |
| 混凝土層 | 2.20 | 2.00×10 ⁶ | |

(資料來源：本研究整理)

試件二：五腳隔熱磚

五腳隔熱磚（如圖 4-3 所示）主要構成要係以混凝土經高壓成型，成一水泥板厚 2cm，五個腳厚 3cm 之五腳磚，利用空氣層產生對流作用，而達到隔熱效果。其標準施工工法為：

1. 施工前清除施作面的殘留物及查驗原防水材有否被破壞。
2. 施工前應逐一檢視隔熱材的表面及陵角完整無任何瑕疵。
3. 施工中施工面之整體放樣，應檢視洩水坡度及預留伸縮縫及工作縫尺寸距離。
4. 完工後應進行積水試驗。
5. 隔熱材鋪設平整及填縫材嵌縫應確實。

（資料來源：東岱環保工程公司）

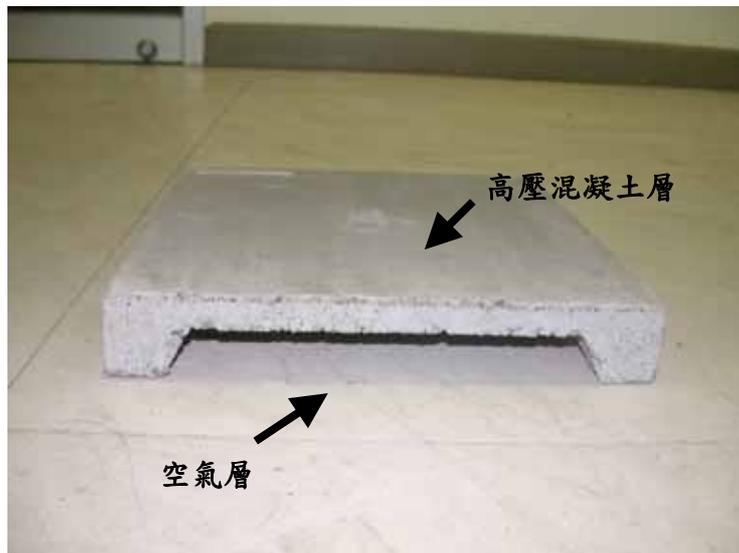


圖 4-3 五腳隔熱磚試件之側面近照

（資料來源：本研究整理）

五腳隔熱磚之熱性能實測合計進行 3 次，再由 3 次量測結果取平均做為代表值，熱性能數據之量測結果則如表 4-4 所示。

表 4-4 五腳隔熱磚之熱性能實測結果表（高壓混凝土層）

| | λ | C_p | α | 溫度 |
|-------|-------------|----------------------------|------------------------|-------|
| 單位 | W/m.K | J/m ³ K | m ² /s | °C |
| 第一次量測 | 1.62 | 1.69×10 ⁶ | 0.961×10 ⁻⁶ | 27.10 |
| 第二次量測 | 1.65 | 1.69×10 ⁶ | 0.975×10 ⁻⁶ | 27.16 |
| 第三次量測 | 1.65 | 1.69×10 ⁶ | 0.973×10 ⁻⁶ | 27.70 |
| 平均值 | 1.64 | 1.69×10⁶ | 0.970×10 ⁻⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

由實測結果顯示，在主控建材即時性熱傳特性之熱傳導係數方面，五腳隔熱磚高壓混凝土層之熱傳導係數平均為 1.64 W/mK，在主控建材蓄積性熱傳特性之比熱方面，平均為 1.69×10⁶ J/m³K，雖均與傳統混凝土之數值相近（整理如表 4-5 所示），但因其配置結構上會產生空氣層，而空氣層一般可產生良好之外殼隔熱效果，故預期仍可有效提昇整體外殼建材隔熱效果之功效，本研究後續將繼續探討各單一材質在結合後整體之隔熱效果。

表 4-5 五腳隔熱磚高壓混凝土層與傳統混凝土層之熱性能實測結果比對表

| | λ (平均值) | C_p (平均值) | 備註 |
|--------|-----------------|----------------------|------|
| 單位 | W/mK | J/m ³ K | |
| 高壓混凝土層 | 1.64 | 1.69×10 ⁶ | （略佳） |
| 傳統混凝土 | 2.20 | 2.00×10 ⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

試件三：斷熱陶隔熱磚

斷熱陶隔熱磚（如圖 4-4 所示）主要構成要係以陶土燒結成型，並利用空氣層產生對流作用，而達到隔熱效果。其標準施工工法為：

1. 施工前清除施作面的殘留物及查驗原防水材有否被破壞。
2. 施工前應逐一檢視隔熱材的表面及陵角完整無任何瑕疵。
3. 施工中施工面之整體放樣，應檢視洩水坡度及預留伸縮縫及工作縫尺寸距離。
4. 完工後應進行積水試驗。
5. 隔熱材鋪設平整及填縫材嵌縫應確實。

（資料來源：東岱環保工程公司）

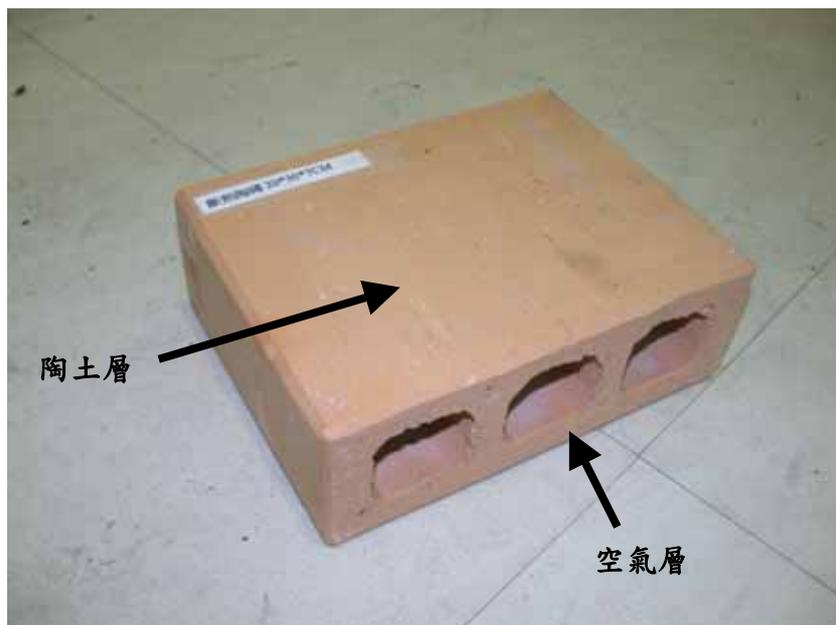


圖 4-4 斷熱陶隔熱磚試件之近照

（資料來源：本研究整理）

斷熱陶隔熱磚之熱性能實測合計進行 3 次，再由 3 次量測結果取平均做為代表值，熱性能數據之量測結果則如表 4-6 所示。

表 4-6 斷熱陶隔熱磚之熱性能實測結果表（陶土層）

| | λ | C_p | α | 溫度 |
|-------|--------------|----------------------------|------------------------|-------|
| 單位 | W/m.K | J/m ³ K | m ² /s | °C |
| 第一次量測 | 0.624 | 1.44×10 ⁶ | 0.432×10 ⁻⁶ | 28.01 |
| 第二次量測 | 0.639 | 1.45×10 ⁶ | 0.442×10 ⁻⁶ | 28.26 |
| 第三次量測 | 0.630 | 1.50×10 ⁶ | 0.421×10 ⁻⁶ | 26.59 |
| 平均值 | 0.631 | 1.46×10⁶ | 0.432×10 ⁻⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

由實測結果顯示，在主控建材即時性熱傳特性之熱傳導係數方面，斷熱陶隔熱磚陶土層之熱傳導係數平均為 0.631 W/mK，低於傳統混凝土層之平均熱傳導係數 2.20 W/mK。在主控建材蓄積性熱傳特性之比熱方面，斷熱陶隔熱磚陶土層之比熱平均為 1.46×10⁶ J/m³K，與傳統混凝土層之平均比熱 2.00×10⁶ J/m³K 相近（整理如表 4-7 所示），但因其配置結構上會產生空氣層，而空氣層一般可產生良好之外殼隔熱效果，故此種隔熱磚預期應可提昇整體外殼建材之隔熱效果，本研究後續將繼續探討各單一材質在結合後整體之隔熱效果。

表 4-7 斷熱陶隔熱磚陶土層與混凝土層之熱性能實測結果比對表

| | λ (平均值) | C_p (平均值) | 備註 |
|-------|-----------------|----------------------|-----|
| 單位 | W/mK | J/m ³ K | |
| 陶土層 | 0.631 | 1.46×10 ⁶ | (佳) |
| 傳統混凝土 | 2.20 | 2.00×10 ⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

試件四：隔熱石英磚

隔熱石英磚（如圖 4-5、4-6 所示）主要由上中下 3 層單一材質所組成，分別為上層及中層主要受力面之石英磚及混凝土層，及下層主要隔熱用途之 PS 板層等，此兩結構層之主要特性如下，而其標準施工工法則與 PS 隔熱磚相同。

1. 石英磚及混凝土層：堅固耐用，美觀多色樣。
2. PS 板層：具良好之隔熱效果。

（資料來源：東岱環保工程公司）



圖 4-5 隔熱石英磚試件之整體近照
（資料來源：本研究整理）

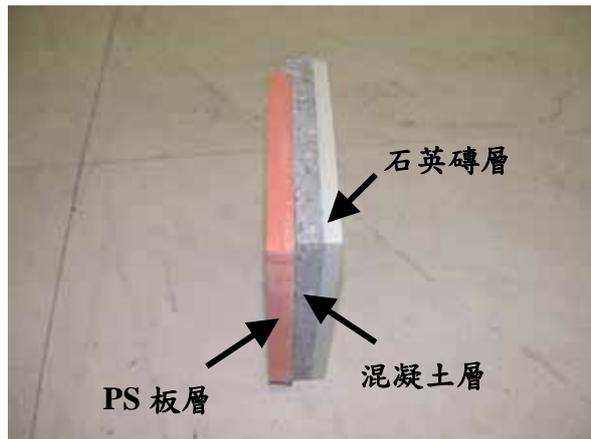


圖 4-6 隔熱石英磚試件之側面近照
（資料來源：本研究整理）

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

隔熱石英磚之熱性能實測合計進行3次，再由3次量測結果取平均做為代表值，其中混凝土層及PS板層因其成分組成與試件一（PS隔熱磚）相同，故其熱性能數據採用與試件一實測結果相同之值。其餘石英磚層熱性能數據之量測結果則如表4-8所示。

表 4-8 隔熱石英磚之熱性能實測結果表（石英磚層）

| | λ | C_p | α | 溫度 |
|-------|-------------|----------------------------|------------------------|-------|
| 單位 | W/m.K | J/m ³ K | m ² /s | °C |
| 第一次量測 | 1.72 | 1.91×10 ⁶ | 0.902×10 ⁻⁶ | 29.23 |
| 第二次量測 | 1.68 | 1.89×10 ⁶ | 0.888×10 ⁻⁶ | 28.76 |
| 第三次量測 | 1.66 | 1.88×10 ⁶ | 0.880×10 ⁻⁶ | 29.28 |
| 平均值 | 1.69 | 1.89×10⁶ | 0.890×10 ⁻⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

由實測結果顯示，在主控建材即時性熱傳特性之熱傳導係數方面，隔熱石英磚之石英磚層，其熱傳導係數平均為1.69 W/mK，略低於傳統混凝土層之平均熱傳導係數2.20 W/mK。在主控建材蓄積性熱傳特性之比熱方面，隔熱石英磚之石英磚層，其比熱平均為1.89×10⁶ J/m³K，與傳統混凝土層之平均比熱2.00×10⁶ J/m³K（整理如表4-9所示）相近，但因其另結合有PS板層，故此種屋頂隔熱建材在結合PS板層之隔熱特性後，實際整體隔熱效果需視實質之電腦計算分析後方可評定優劣，本研究後續將繼續探討其整體隔熱效果。

表 4-9 隔熱石英磚石英磚層與傳統混凝土層之熱性能實測結果比對表

| | λ (平均值) | C_p (平均值) | 備註 |
|-------|-----------------|----------------------|------|
| 單位 | W/mK | J/m ³ K | |
| 石英磚層 | 1.69 | 1.89×10 ⁶ | (略佳) |
| 傳統混凝土 | 2.20 | 2.00×10 ⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

試件五：保麗龍隔熱磚

保麗龍隔熱磚（如圖 4-7、4-8 所示）主要由上下 2 層單一材質所組成，分別為上層主要受力面之混凝土層，及下層主要隔熱用途之保麗龍層等。保麗龍層之主要特性為利用發泡隔熱材獨立氣泡阻絕空氣產生對流作用，而達到隔熱效果，而其標準施工工法則與 PS 隔熱磚相同。（資料來源：東岱環保工程公司）



圖 4-7 保麗龍隔熱磚試件之整體近照
（資料來源：本研究整理）

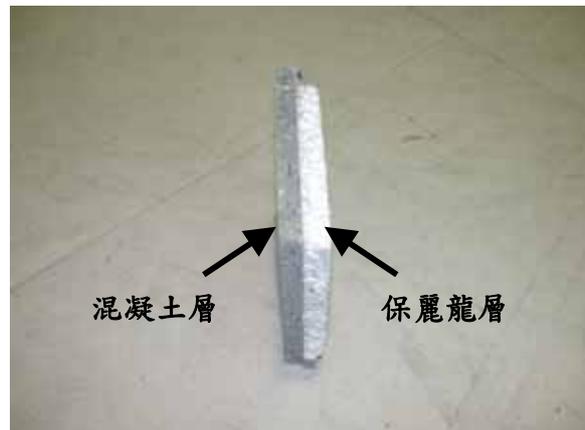


圖 4-8 保麗龍隔熱磚試件之側面近照
（資料來源：本研究整理）

保麗龍隔熱磚之熱性能實測合計進行 3 次，再由 3 次量測結果取平均做為代表值，其中混凝土層因其成分組成與試件一（PS 隔熱磚）相同，故其熱

性能數據採用與試件一實測結果相同之值。其餘保麗龍層熱性能數據之量測結果則如表 4-10 所示。

表 4-10 保麗龍隔熱磚之熱性能實測結果表（保麗龍層）

| | λ | C_p | α | 溫度 |
|-------|---------------|-----------------------------|------------------------|-------|
| 單位 | W/m.K | J/m ³ K | m ² /s | °C |
| 第一次量測 | 0.0491 | 0.065×10 ⁶ | 0.753×10 ⁻⁶ | 28.04 |
| 第二次量測 | 0.0487 | 0.061×10 ⁶ | 0.794×10 ⁻⁶ | 28.62 |
| 第三次量測 | 0.0488 | 0.062×10 ⁶ | 0.701×10 ⁻⁶ | 27.85 |
| 平均值 | 0.0489 | 0.063×10⁶ | 0.749×10 ⁻⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

由實測結果顯示，在主控建材即時性熱傳特性之熱傳導係數方面，保麗龍隔熱磚之保麗龍層，其熱傳導係數平均為 0.0489 W/mK，遠低於傳統混凝土層之平均熱傳導係數 2.20 W/mK。在主控建材蓄積性熱傳特性之比熱方面，保麗龍隔熱磚之保麗龍層，其比熱平均為 0.063×10⁶ J/m³K，亦遠低於傳統混凝土層之平均比熱 2.00×10⁶ J/m³K（整理如表 4-11 所示），故顯見此種屋頂隔熱建材在結合保麗龍層之隔熱特性後，預期將可有效提昇整體外殼建材之隔熱效果，本研究後續將繼續探討各單一材質在結合後整體之隔熱效果。

表 4-11 保麗龍隔熱磚保麗龍層與傳統混凝土層之熱性能實測結果比對表

| | λ (平均值) | C_p (平均值) | 備註 |
|-------|-----------------|-----------------------|------|
| 單位 | W/mK | J/m ³ K | |
| 保麗龍層 | 0.0489 | 0.063×10 ⁶ | （較佳） |
| 傳統混凝土 | 2.20 | 2.00×10 ⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

試件六：橡膠隔熱磚

橡膠隔熱磚（如圖 4-9、4-10 所示）主要由上下 2 層單一材質所組成，分別為上層主要受力面之再生橡膠層，及下層主要隔熱用途之 PS 板層等，此兩結構層之主要特性如下，而其標準施工工法則與 PS 隔熱磚相同。

1. 橡膠層：堅固耐用，美觀多色樣。
2. PS 板層：具良好之隔熱效果。

（資料來源：東岱環保工程公司）



圖 4-9 橡膠隔熱磚試件之整體近照
（資料來源：本研究整理）



圖 4-10 橡膠隔熱磚試件之側面近照
（資料來源：本研究整理）

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

橡膠隔熱磚之熱性能實測合計進行3次，再由3次量測結果取平均做為代表值，其中PS板層因其成分組成與試件一（PS隔熱磚）相同，故其熱性能數據採用與試件一實測結果相同之值。其餘再生橡膠層熱性能數據之量測結果則如表4-12所示。

表 4-12 橡膠隔熱磚之熱性能實測結果表（再生橡膠層）

| | λ | C_p | α | 溫度 |
|-------|---------------|-----------------------------|------------------------|-------|
| 單位 | W/m.K | J/m ³ K | M ² /s | °C |
| 第一次量測 | 0.0361 | 0.133×10 ⁶ | 0.271×10 ⁻⁶ | 27.84 |
| 第二次量測 | 0.0367 | 0.144×10 ⁶ | 0.255×10 ⁻⁶ | 28.70 |
| 第三次量測 | 0.0372 | 0.144×10 ⁶ | 0.258×10 ⁻⁶ | 28.91 |
| 平均值 | 0.0367 | 0.140×10⁶ | 0.261×10 ⁻⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

由實測結果顯示，在主控建材即時性熱傳特性之熱傳導係數方面，橡膠隔熱磚之再生橡膠層，其熱傳導係數平均為0.0367 W/mK，遠低於傳統混凝土層之平均熱傳導係數2.20 W/mK。在主控建材蓄積性熱傳特性之比熱方面，橡膠隔熱磚之再生橡膠層，其比熱平均為0.140×10⁶ J/m³K，亦遠低於傳統混凝土層之平均比熱2.00×10⁶ J/m³K（整理如表4-13所示），故顯見此種屋頂隔熱建材在結合再生橡膠層與PS板層之隔熱特性後，預期將可有效提昇整體外殼建材之隔熱效果，本研究後續將繼續探討各單一材質在結合後整體之隔熱效果。

表 4-13 橡膠隔熱磚再生橡膠層與傳統混凝土層之熱性能實測結果比對表

| | λ (平均值) | C_p (平均值) | 備註 |
|-------|-----------------|-----------------------|------|
| 單位 | W/mK | J/m ³ K | |
| 石英磚層 | 0.0367 | 0.140×10 ⁶ | （較佳） |
| 傳統混凝土 | 2.20 | 2.00×10 ⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

試件七：板岩隔熱磚

板岩隔熱磚（如圖 4-11、4-12 所示）主要由上下兩層單一材質所組成，分別為上層主要受力面之水泥板岩層及下層主要隔熱用途之保麗龍粒層等，其主要特性為：

1. 面層採用礫砂、水泥、色料等添加物，面層約 1 公分，底層約 3 公分為斷熱泥及保麗龍粒層等隔熱材質一體成形。
2. 為確保產品與底層水泥砂漿結合，避免剝離縮短使用年限，影響隔熱、防水效能，因此材料須符合附著強度 4.5 kgf/cm^2 以上及導熱係數 $0.2 \text{ kcal/m} \cdot \text{hr}^\circ\text{C}$ 以下之隔熱材質。

（資料來源：山石地磚工業有限公司）

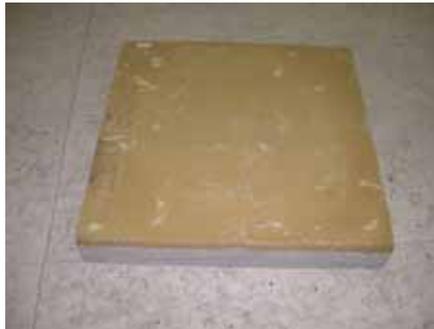


圖 4-11 板岩隔熱磚試件之整體近照

（資料來源：本研究整理）

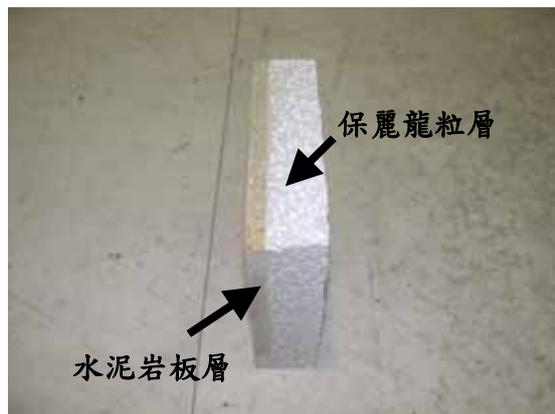


圖 4-12 板岩隔熱磚試件之側面近照

（資料來源：本研究整理）

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

而板岩隔熱磚之標準施工工法為：

1. 檢查施工底層是否堅固無不良附著物、油垢，應確實清理後方可施工(清理動作不在本施工範圍內)，如為防水層或其他防水建材，應檢查地坪是否符合施工條件。
2. 施工前應確定高度、範圍或有無特殊施工要求，如洩水施工坡度為1/100、、、等。
3. 施工前地坪應先灑水，水泥砂漿(1：3)比例加水攪拌，確保水泥砂漿與地坪接合(如圖4-13所示)。
4. 施工時磚之縱橫線應筆直，磚與磚面交接處平順完整，接邊切除直順。
5. 總面積超過200m²時，應每4.5公尺留設約2公分之伸縮縫，用瀝美土或其他防水彈性材料填平。
6. 磚與磚連接縫隙約為7mm(依要求為準)，以水泥砂漿抹平填縫。
7. 施工時應設置警戒帶以管制人員進出，確保施工品質。

(資料來源：山石地磚工業有限公司)

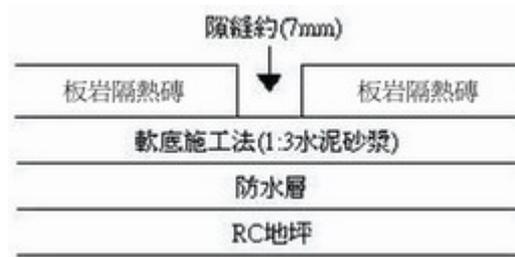


圖 4-13 板岩隔熱磚試件之施工示意圖

(資料來源：山石地磚工業有限公司)

板岩隔熱磚之熱性能實測合計進行3次，再由3次量測結果取平均做為代表值。其中板岩層因其成分組成與試件一(PS隔熱磚)之水泥層相同，故其熱性能數據採用與試件一實測結果相同之值。其餘保麗龍粒層熱性能數據之量測結果則如表4-14所示。

表 4-14 板岩隔熱磚之熱性能實測結果表 (保麗龍粒層)

| | λ | C_p | α | 溫度 |
|-------|--------------|-----------------------------|------------------------|-------|
| 單位 | W/m.K | J/m ³ K | m ² /s | °C |
| 第一次量測 | 0.161 | 1.180×10 ⁶ | 0.136×10 ⁻⁶ | 29.07 |
| 第二次量測 | 0.160 | 1.180×10 ⁶ | 0.136×10 ⁻⁶ | 28.85 |
| 第三次量測 | 0.161 | 1.190×10 ⁶ | 0.135×10 ⁻⁶ | 29.04 |
| 平均值 | 0.161 | 1.183×10⁶ | 0.136×10 ⁻⁶ | |

(資料來源：本研究整理)

由實測結果顯示，在主控建材即時性熱傳特性之熱傳導係數方面，板岩隔熱磚保麗龍粒層之熱傳導係數平均為 0.161 W/mK，遠低於傳統混凝土層之平均熱傳導係數 2.20 W/mK。在主控建材蓄積性熱傳特性之比熱方面，板岩隔熱磚保麗龍粒層之比熱平均為 1.183×10⁶ J/m³K，略遠低於傳統混凝土層之平均比熱 2.00×10⁶ J/m³K (整理如表 4-15 所示)，故預估此種屋頂隔熱建材在結合保麗龍粒層之隔熱特性後，預期應可提昇整體外殼建材之隔熱效果，本研究後續將繼續探討各單一材質在結合後整體之隔熱效果。

表 4-15 板岩隔熱磚保麗龍粒層與傳統混凝土層之熱性能實測結果比對表

| | λ (平均值) | C_p (平均值) | 備註 |
|--------|-----------------|-----------------------|------|
| 單位 | W/mK | J/m ³ K | |
| 保麗龍粒層 | 0.161 | 1.183×10 ⁶ | (略佳) |
| 傳統混凝土層 | 2.20 | 2.00×10 ⁶ | |

(資料來源：本研究整理)

試件八：磨石子 PS 隔熱磚

磨石子 PS 隔熱磚（如圖 4-14、4-15 所示）主要由上中下 3 層單一材質所組成，分別為上層主要受力面之磨石子層、中層隔熱用途 PS 板層、及下層隔熱用途保麗龍粒層等，其主要特性為：

1. 本隔熱磚之面層 2cm 採用花崗石、大理石碎粒及其他石材、水泥、石粉、色料等添加物經研磨粉光而成，底層為 PS 板隔熱材質 2cm 一體成形。
2. 為確保與底層水泥砂漿結合，避免剝離，影響防熱、防水效能，因此材料須符合導熱係數 $0.18 \text{ kcal/m} \cdot \text{hr}^\circ\text{C}$ 以下之隔熱材質。

（資料來源：山石地磚工業有限公司）



圖 4-14 磨石子 PS 隔熱磚試件之整體近照

（資料來源：本研究整理）

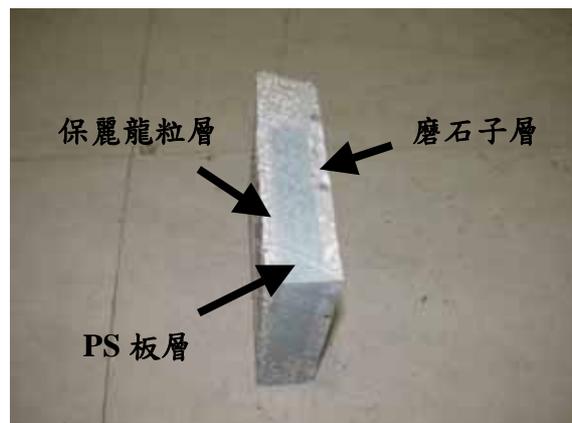


圖 4-15 磨石子 PS 隔熱磚試件之側面近照

（資料來源：本研究整理）

第四章 屋頂隔熱磚之物理特性與隔熱性能實測結果分析

而磨石子 PS 隔熱磚之標準施工工法則與板岩隔熱磚相同（如圖 4-16 所示）。
（資料來源：山石地磚工業有限公司）

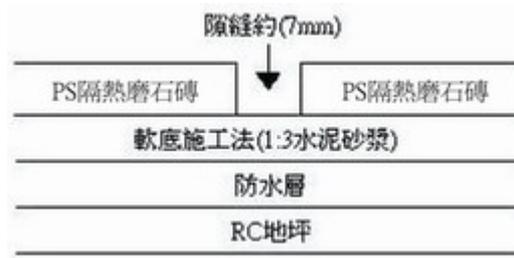


圖 4-16 磨石子 PS 板隔熱磚試件之施工示意圖

（資料來源：山石地磚工業有限公司）

磨石子 PS 隔熱磚之熱性能實測合計進行 3 次，再由 3 次量測結果取平均做為代表值。其中 PS 板層及保麗龍粒層因其成分組成分別與試件一（PS 隔熱磚）之 PS 板層，及試件七（板岩隔熱磚）之保麗龍粒層相同，故其熱性能數據採用與試件一及試件七實測結果相同之值。其餘磨石子層熱性能數據之量測結果則如表 4-16 所示。

表 4-16 磨石子 PS 隔熱磚之熱性能實測結果表（磨石子層）

| | λ | C_p | α | 溫度 |
|-------|-------------|----------------------------|------------------------|-------|
| 單位 | W/m.K | J/m ³ K | m ² /s | °C |
| 第一次量測 | 1.59 | 1.94×10 ⁶ | 0.821×10 ⁻⁶ | 28.17 |
| 第二次量測 | 1.59 | 1.94×10 ⁶ | 0.818×10 ⁻⁶ | 28.30 |
| 第三次量測 | 1.58 | 1.94×10 ⁶ | 0.821×10 ⁻⁶ | 28.13 |
| 平均值 | 1.59 | 1.94×10⁶ | 0.820×10 ⁻⁶ | |

（資料來源：本研究整理）

由實測結果顯示，在主控建材即時性熱傳特性之熱傳導係數方面，磨石子 PS 隔熱磚磨石子層之熱傳導係數平均為 1.59 W/mK，與傳統混凝土層之平

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

均熱傳導係數 2.20 W/mK 接近。在主控建材蓄積性熱傳特性之比熱方面，磨石子PS隔熱磚保麗龍粒層之比熱平均為 1.94×10^6 J/m³K，亦與傳統混凝土層之平均比熱 2.00×10^6 J/m³K（整理如表 4-17 所示）相近，但因其結合有PS板層及保麗龍粒層等具隔熱效果之材料，故預期應可提昇整體外殼建材之隔熱效果，本研究後續將繼續探討各單一材質在結合後整體之隔熱效果。

表 4-17 磨石子 PS 板隔熱磚保麗龍粒層與傳統混凝土層之熱性能實測結果比對表

| | λ (平均值) | Cp(平均值) | 備註 |
|--------|-----------------|--------------------|--------|
| 單位 | W/mK | J/m ³ K | |
| 保麗龍粒層 | 1.59 | 1.94×10^6 | (兩者相近) |
| 傳統混凝土層 | 2.20 | 2.00×10^6 | |

(資料來源：本研究整理)

試件九：磨石子隔熱磚

磨石子隔熱磚(如圖 4-17、4-18 所示)主要由上下兩層單一材質所組成，分別為上層主要受力面之磨石子層及下層主要隔熱用途保麗龍粒層等，其主要特性為：

1. 面層採用花崗石、大理石碎粒及其他石材、水泥、石粉、色料等添加物經研磨粉光而成，底層為斷熱泥及保麗龍粒等隔熱材質一體成形。
2. 為確保產品與底層水泥砂漿結合，避免剝離縮短使用年限，影響隔熱、防水效能，因此材料須符合附著強度 4.5kgf/cm^2 以上，及導熱係數 $0.2\text{ kcal/m} \cdot \text{hr}^\circ\text{C}$ 以下，且彎曲破壞載重 350.0 kgf 以上之隔熱材質。

(資料來源：山石地磚工業有限公司)



圖 4-17 磨石子隔熱磚試件之整體近照

(資料來源：本研究整理)



圖 4-18 磨石子隔熱磚試件之側面近照

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

而磨石子隔熱磚之標準施工工法則與板岩隔熱磚相同（如圖 4-19 所示）。（資料來源：山石地磚工業有限公司）

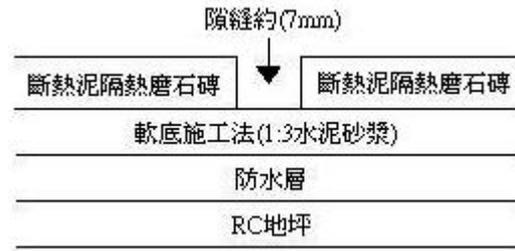


圖 4-19 磨石子隔熱磚試件之施工示意圖

（資料來源：山石地磚工業有限公司）

磨石子隔熱磚之磨石子層及保麗龍粒層因其成分組成分別與試件八（磨石子 PS 板隔熱磚）之磨石子層，及試件七（板岩隔熱磚）之保麗龍粒層相同，故其熱性能數據採用與試件八及試件七實測結果相同之值。

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

第一節 辦公類建築電腦模擬用標準示範空間之建立

目前改善建築物空調耗能工作中，在屋頂層鋪設隔熱建材乃不論新、舊建築物較常使用之工程實務改善手法之一，然而實際去檢視目前許多屋頂隔熱廠商或節能改善工程設計人員所提出個案細部設計內容，可發現普遍缺乏較嚴謹之建築物全年逐時空調負荷與系統耗能之電腦模擬精算，及相關節能改善成本與經濟效益分析。因此對於這些個案所提出或宣稱之節能改善成效，將可能產生無法明確認定之疑慮。

基於上述既有問題，本所已於去（94）年度建立一套完整且嚴謹之屋頂隔熱建材對於改善建築物空調耗能成效評估之標準化工程實務解析模式，以做為未來相關產品之業界服務諮詢，研究，甚至開發等用途之用。屋頂隔熱空調節能改善效益工程實務解析與經濟效益評估之標準化執行流程整理如圖 5-1 所示。

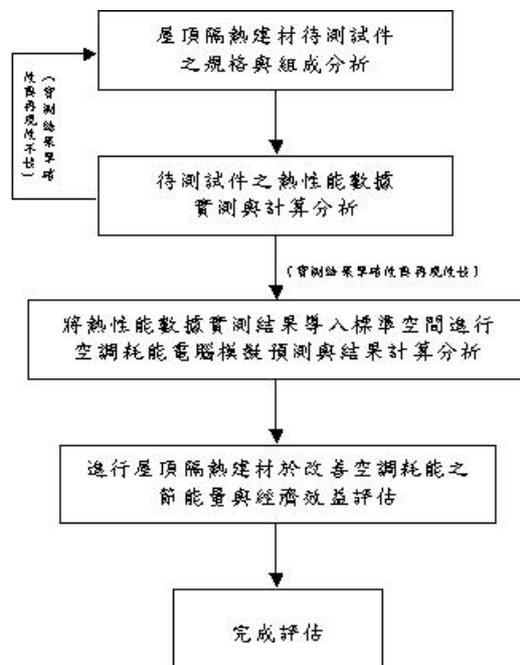


圖 5-1 屋頂隔熱於空調節能之實務解析與經濟評估標準流程圖

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

各種屋頂隔熱建材使用於改善建築物空調耗能之電腦模擬預測與經濟效益評估，均須在相同之比對基準條件下進行，方能獲得公平且客觀之分析結果，而所謂相同之比對基準，乃指建築物須同時處於相同之內部負荷、外氣負荷等 2 大空調負荷組成條件，並適當控制大多數之外部負荷，而僅改變屋頂層結構組成之狀態。因此，在實際進行相關空調耗能電腦模擬精算前，首先需建立符合辦公用途需求之標準模擬示範空間，該空間之內部負荷及部分外部負荷須符合辦公類建築用途之條件。另外，外氣負荷則需採用台灣地區本土化之氣象條件做為模擬依據，方可使相關計算結果具有充分代表性，而唯一改變的條件則僅有屋頂處是否鋪設本研究進行實測之屋頂隔熱示範試件。

圖 5-2 為本研究所建立之辦公用途標準模擬示範空間示意圖，該空間地面積為 130 ft \times 100 ft，樓高 12 ft，室內設有天花板，地板與天花板間高度為 9 ft，東、西、南、北 4 面均有開窗，並設有外遮陽，圖 5-3 為其外遮陽幾何尺寸示意圖。

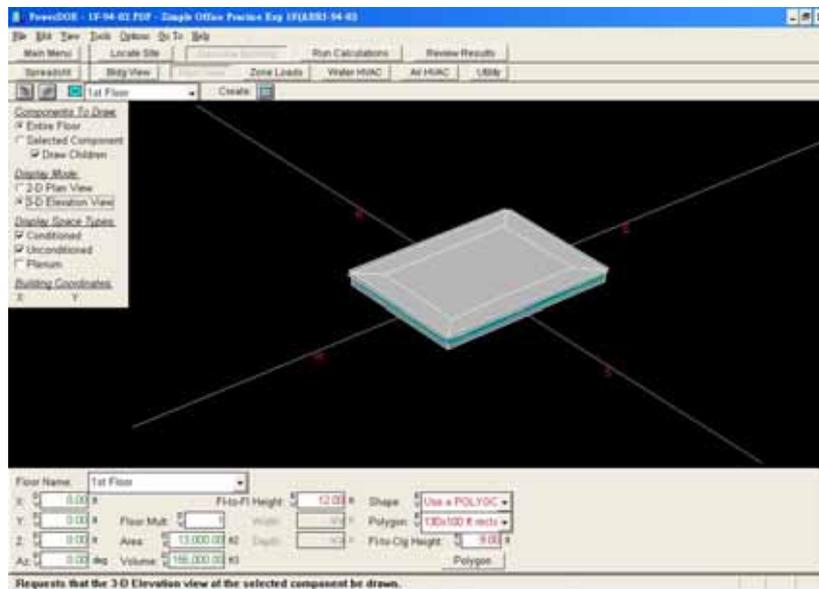


圖 5-2 空調耗能電腦模擬之辦公用途標準示範空間示意圖

(資料來源：本研究整理)

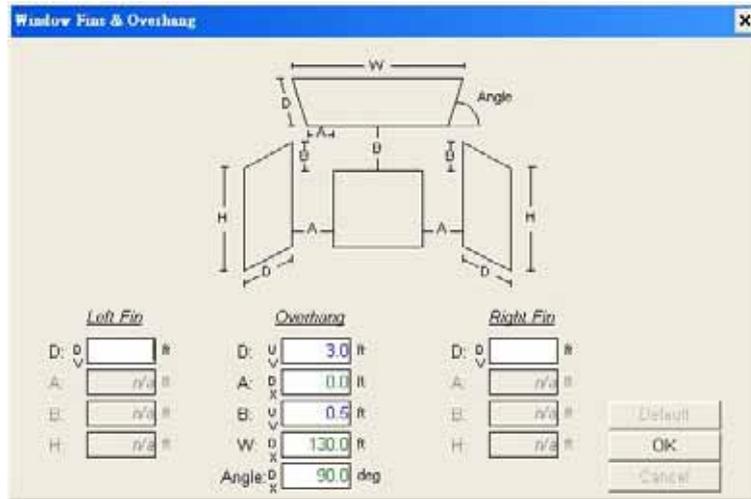


圖 5-3 標準模擬示範空間之外遮陽幾何尺寸示意圖

(資料來源：本研究整理)

其次，該空間設有一套基本之中央空調系統（如圖 5-4 所示），內有冰水主機、冰水路、冰水泵、冷卻水路、冷卻水泵、冷卻水塔等，冰水路採變流量（VWV）運轉控制。

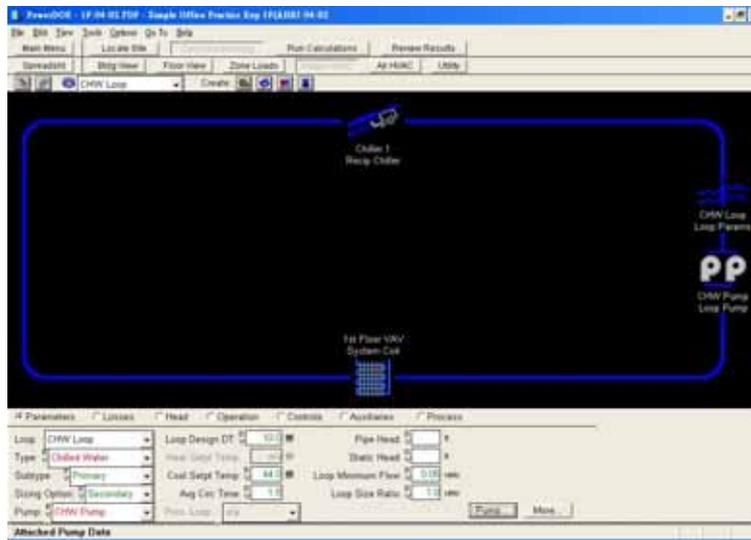


圖 5-4 標準模擬示範空間中央空調系統之主機側及送水側示意圖

(資料來源：本研究整理)

此外，亦包含有送風側設備（如圖 5-5 所示），主要有送、回風及新鮮

外氣引入控制風門(Damper)、冷卻盤管(Chilled Water Coil)、送風風扇(Supply Fan)、室內定溫控制器(Thermostat)、計費電表(Meter)等，送風系統採變風量(VAV)運轉控制。

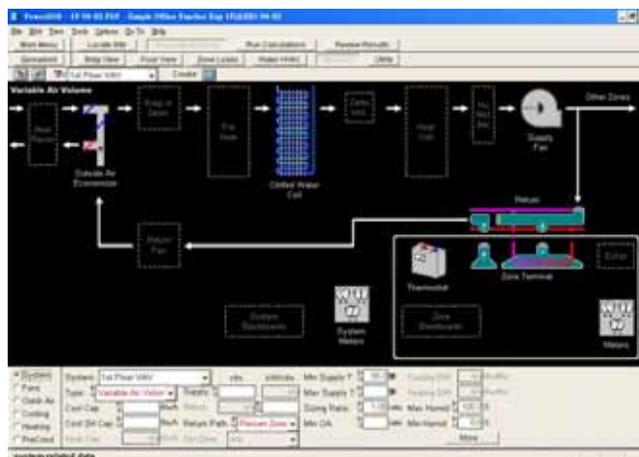


圖 5-5 標準模擬示範空間中央空調系統之送風側示意圖

(資料來源：本研究整理)

在內部負荷條件方面，因本標準空間假設為辦公類用途，故室內人員設定均比照一般辦公室之使用密度與頻度設定(250 ft²/person)。如圖 5-6 所示，室內人員從早上 6 點開始陸續進入室內使用空調，直到將近上午 9 點達最大使用率。中午用餐及休息時間，則約有半數人員離開室內，下午 1 點起再恢復辦公，直到下午 5 點開始陸續有人下班離開，而夜間僅剩少數人員留守。

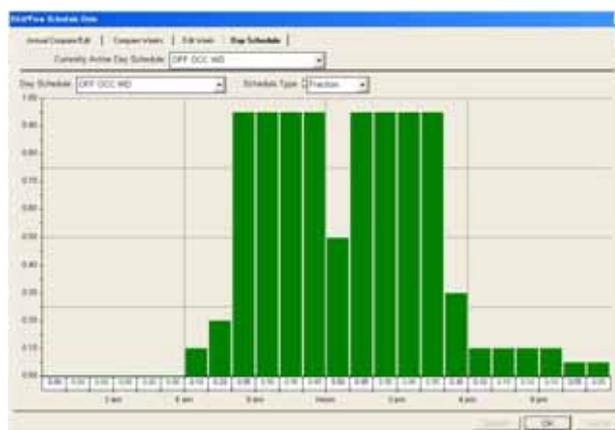


圖 5-6 辦公類用途之室內人員使用模式設定示意圖

(資料來源：本研究整理)

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

室內溫度設定方面，如圖 5-7 所示，白天辦公時段室內溫度設定為 78.8 °F(約 26.5°C)，其他無人使用時段則設定為自動提高約 3°C 之省能設定狀態。

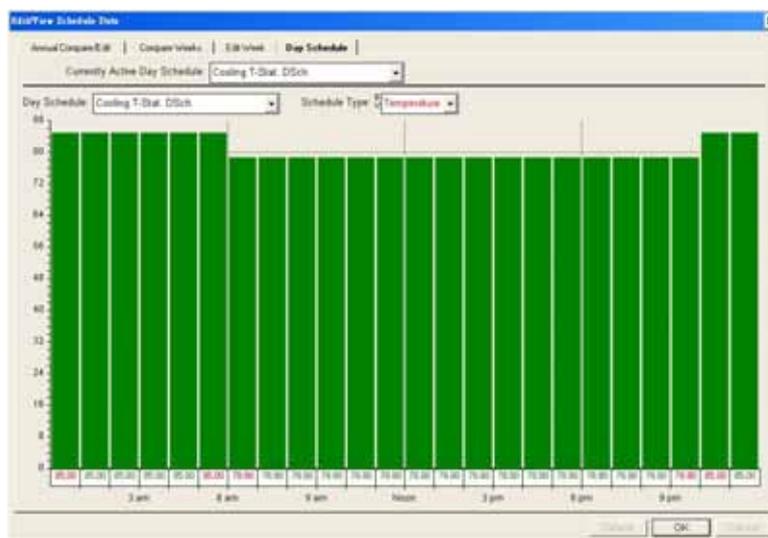


圖 5-7 標準示範空間之室內空調溫度設定示意圖

(資料來源：本研究整理)

本研究將以上述空間設定做為後續電腦模擬預測之主要依據。

第二節 建築鋪設屋頂隔熱磚前後之空調耗能電腦模擬計算分析

第 5-2-1 節 建築未鋪設屋頂隔熱磚之空調耗能電腦模擬計算分析

本節將透過美國能源部發展之空調系統耗能電腦模擬預測專用軟體 DOE-2.1E，先行計算分析當辦公類標準示範建物屋頂處僅以一般傳統之混凝土做為結構主體，而完全未鋪設任何屋頂隔熱建材時之整體空調耗能狀況，本節將詳細分析電腦模擬預測之結果：屋頂處結構之整體熱傳導率、屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷、屋頂處引入之全年空調負荷總量、辦公用途模擬示範空間全年之總空調負荷量、辦公用途模擬示範空間全年空調耗電之耗能結構組成等 5 大課題，以便與後續鋪設屋頂隔熱建材後之結果進行交叉比對。

電腦模擬中傳統混凝土屋頂結構之熱性能數據，主要利用軟體預設之標準混凝土狀態進行計算，圖 5-8 為標準混凝土屋頂結構之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.04 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.08 單位數，兩者最大值發生時間幾乎無時間差，顯見隔熱效果不甚理想。此外，總熱傳導率則為 $0.233 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，提供參考。

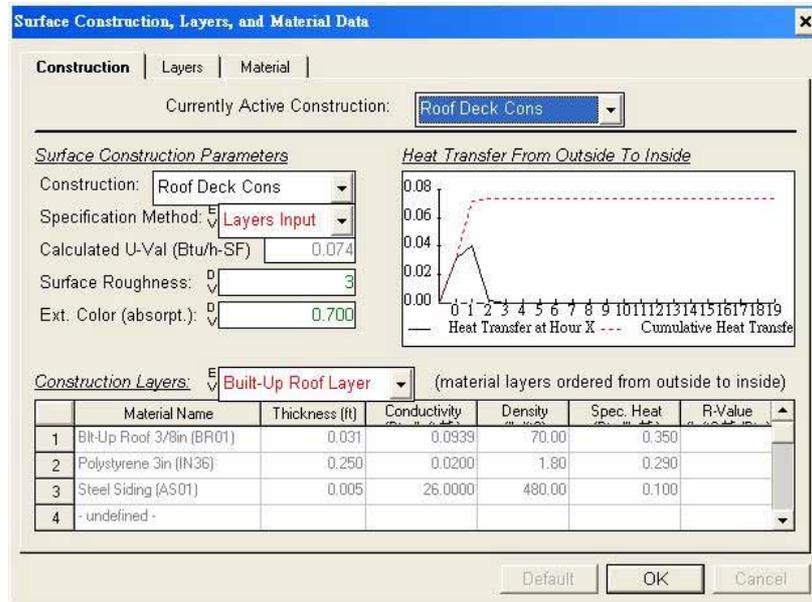


圖 5-8 標準 RC 結構屋頂之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-9 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 78.17 kBtu (約 6.5 冷凍噸·小時，註：1 冷凍噸·小時 = 12000Btu)。

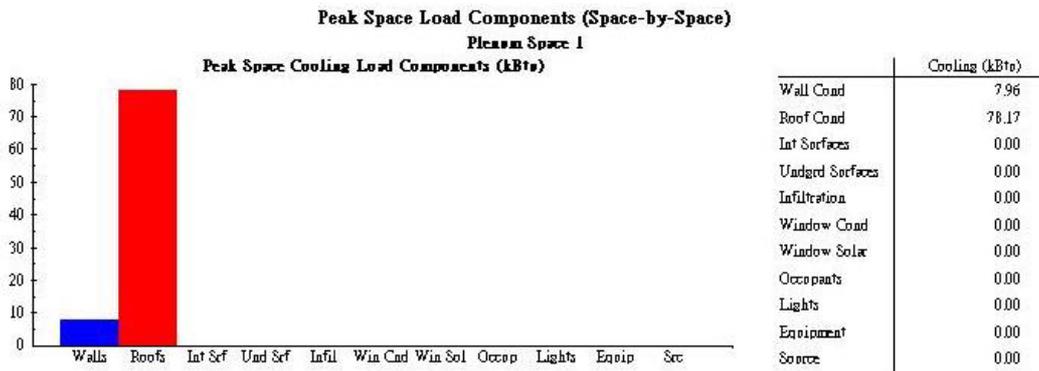


圖 5-9 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖

(資料來源：本研究整理)

在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-10 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 90.06 MBtu (約 7,505 冷凍噸·小時)。

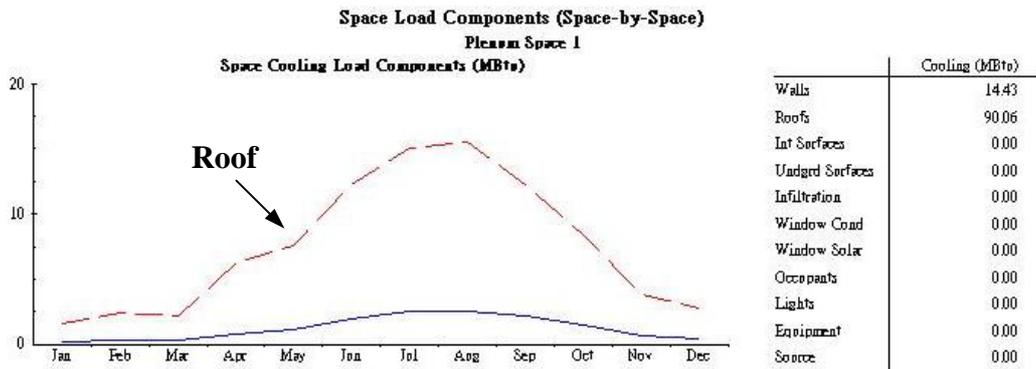


圖 5-10 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-11 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 122.53 MBtu (約 10,210.8 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 20.68 MBtu (約 1,723.3 冷凍噸·小時)。

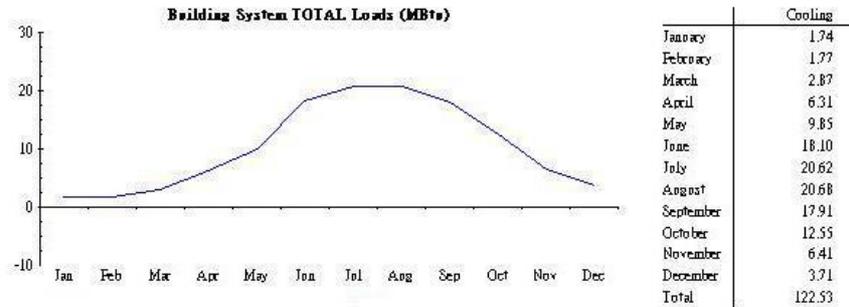


圖 5-11 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-12 為其結果，其中與空調系統耗電有關之主要項目為：冰水主機 (Space Cooling)、水泵與周邊 (Pumps & Mics.)、冷卻水塔 (Heat Rejection) 等 3 大項，由圖可知示範空間全年總耗電量為 103,797 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 19,625 仟度、水泵與周邊 12,048 仟度、冷卻水塔 622 仟度，合計 32,295 仟度，約佔整體用電之 31.1%。

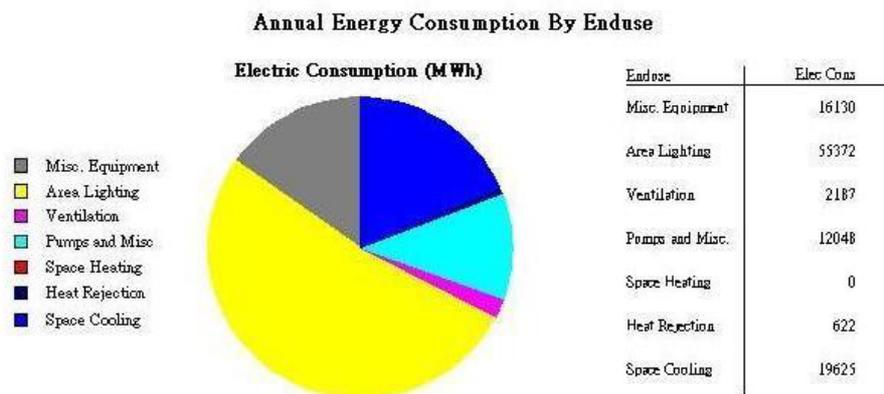


圖 5-12 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖

(資料來源：本研究整理)

第 5-2-2 節 建物鋪設試件一 (PS 隔熱磚) 時之空調耗能電腦模擬計算分析

由第四章實測獲得 PS 隔熱磚各組合層單一材質之熱性能數據後，本研究將利用 DOE-2.1E 求得 PS 隔熱磚試件之整體隔熱性能，並進行其對於改善建築物空調耗能之電腦模擬計算分析。

而在進行 PS 隔熱磚整體隔熱性能應用計算前，須先獲得混凝土層與 PS 板層之密度，方可使各材質之熱質量效應 (Thermal Mass Effect) 充分顯現。經實測結果顯示，PS 隔熱磚混凝土層之密度為 2.2 g/cm^3 ，而 PS 板層之密度則為 0.035 g/cm^3 ，如表 5-1 所示。

表 5-1 PS 隔熱磚混凝土層與 PS 板層之密度測結果表

| | 密度 |
|------|-----------------|
| 單位 | g/cm^3 |
| 混凝土層 | 2.2 |
| PS 層 | 0.035 |

(資料來源：本研究整理)

另再依據第四章所得之各層隔熱性能實測數據，導入 DOE 電腦模擬軟體經計算後，可獲得 PS 隔熱磚整體之總熱傳導率 U 值與熱傳特性曲線，如圖 5-13 所示，圖中之熱傳特性曲線包含即時性熱傳與蓄積性熱傳兩種，橫座標為時間 (hr)，縱座標為無因次之指數方式顯示。由圖可知，PS 隔熱磚整體之總熱傳導率 U 值為 $1.672 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，而在即時性熱傳與蓄積性熱傳特性曲線方面，蓄積性熱傳最大值為 0.53 單位數，為即時性熱傳最大值 0.46 單位數之 1.52 倍，且兩者最大值發生時間差距約 1 小時左右，顯然此種隔熱磚建材已產生避免建築外殼同步出現最大熱傳量之不良效應。

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

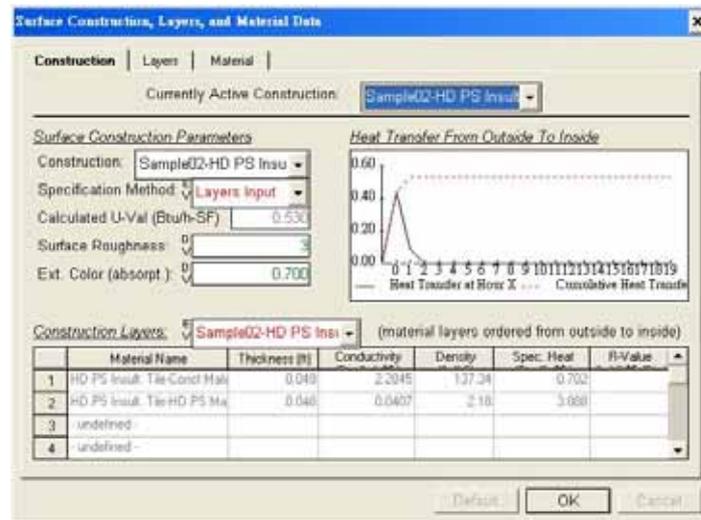


圖 5-13 PS 隔熱磚整體之隔熱性能圖

(資料來源：本研究整理)

其次，進行標準混凝土屋頂結構在結合PS隔熱磚後之熱傳特性分析。圖 5-14 為標準混凝土屋頂結構在結合PS隔熱磚後之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.03 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.068 單位數，兩者最大值發生時間相差達 5 小時左右，顯見傳統RC結構屋頂在結合PS隔熱磚後確實發揮提昇屋頂隔熱之功效。此外，總熱傳導率則為 $0.214 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，提供參考。

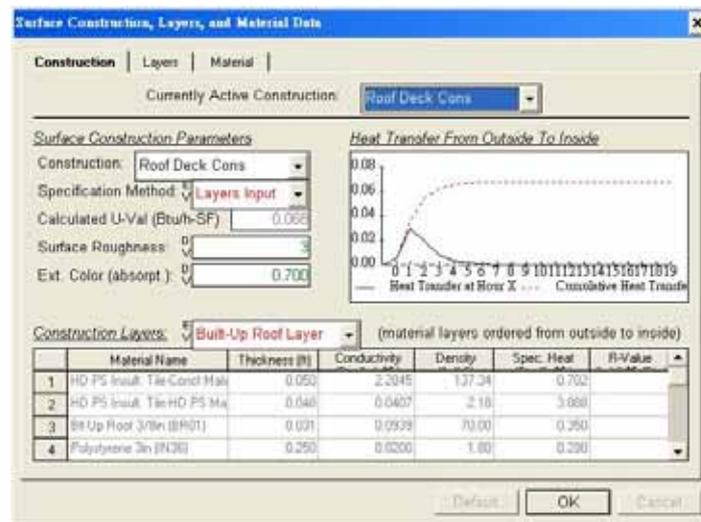


圖 5-14 標準 RC 結構屋頂結合 PS 隔熱磚後之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-15 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 62.42 kBtu（約 5.2 冷凍噸·小時）。

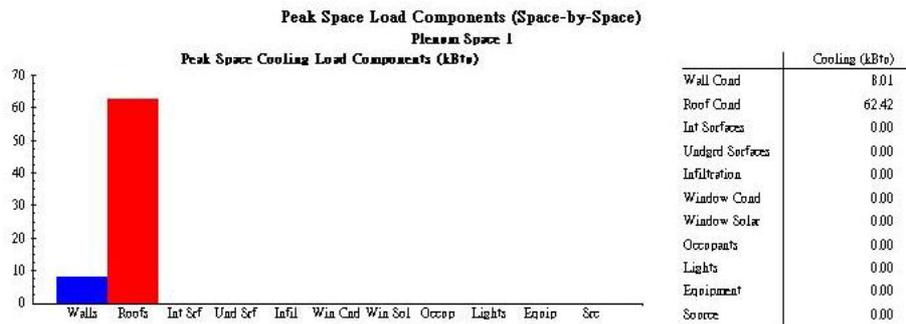


圖 5-15 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖
(鋪設 PS 隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-16 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 77.29 MBtu（約 6,440.8 冷凍噸·小時）。

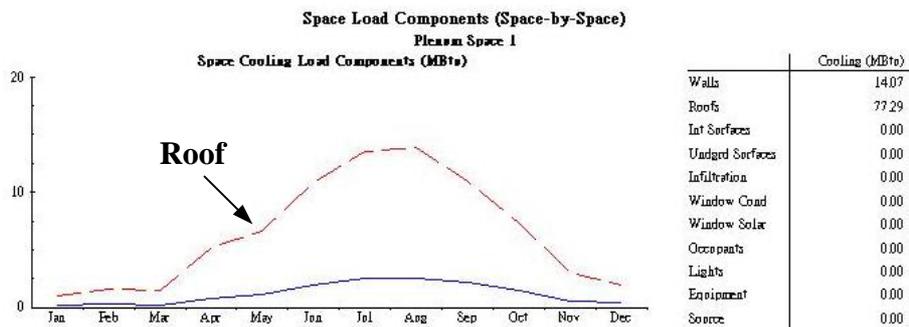


圖 5-16 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量
(鋪設 PS 隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-17 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 114.59 MBtu (約 9,549.2 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 19.87 MBtu (約 1,655.8 冷凍噸·小時)。



圖 5-17 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖
(鋪設 PS 隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-18 為其結果，由圖可知示範空間全年總耗電量為 102,923 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 18,835 仟度、水泵與周邊 12,010 仟度、冷卻水塔 576 仟度，合計 31,421 仟度，約佔整體用電之 30.5%。

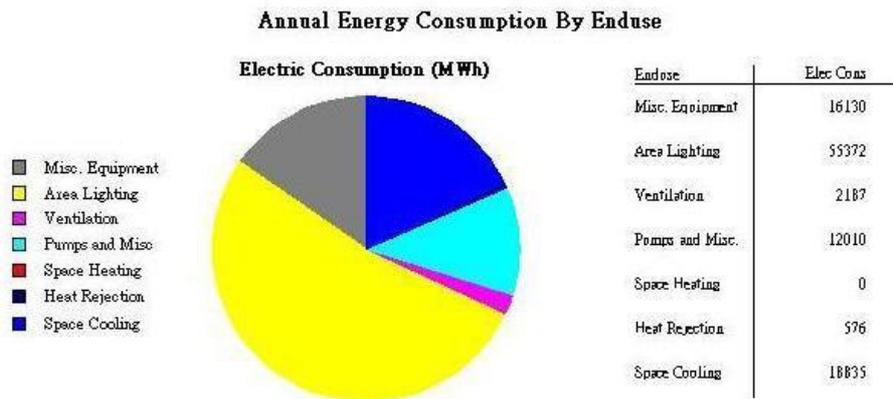


圖 5-18 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖
(鋪設 PS 隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第 5-2-3 節 建物鋪設試件二（五腳隔熱磚）時之空調耗能電腦模擬計算分析

依據第四章所得五腳隔熱磚之隔熱性能實測數據，導入DOE電腦模擬軟體經計算後，可獲得其整體之總熱傳導率U值與熱傳特性曲線，如圖 5-19 所示，圖中之熱傳特性曲線包含即時性熱傳與蓄積性熱傳兩種，橫座標為時間（hr），縱座標為無因次之指數方式顯示。由圖可知，五腳隔熱磚整體之總熱傳導率U值為 $1.984 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，而在即時性熱傳與蓄積性熱傳特性曲線方面，蓄積性熱傳最大值為 0.62 單位數，為即時性熱傳最大值 0.59 單位數之 1.05 倍，且兩者最大值發生時間差距約 1 小時左右，顯然此種隔熱磚建材已產生避免建築外殼同步出現最大熱傳量之不良效應。

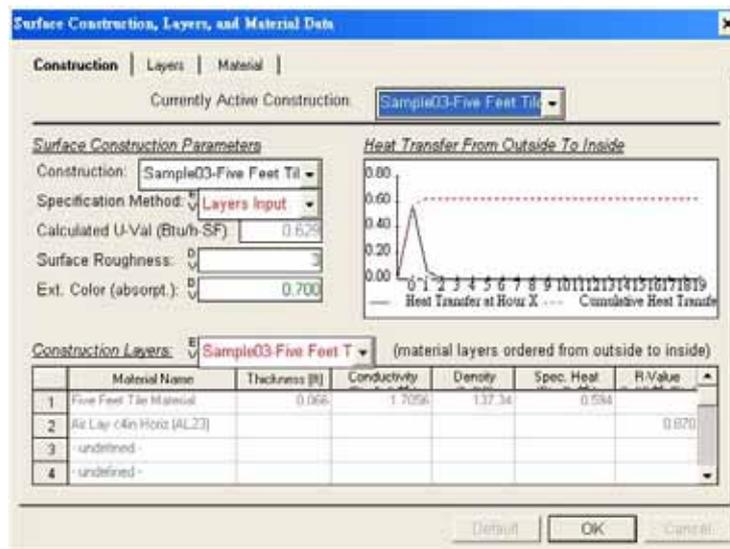


圖 5-19 五腳隔熱磚整體之隔熱性能圖

（資料來源：本研究整理）

其次，進行標準混凝土屋頂結構在結合PS隔熱磚後之熱傳特性分析。圖 5-20 為標準混凝土屋頂結構在結合五腳隔熱磚後之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.035 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.068 單位數，兩者最大值發生時間相差達 3 小時左右，顯見傳統RC結構屋頂在結合PS隔熱磚後確實發揮提昇屋頂隔熱之功效。此外，總熱傳導率則為 $0.218 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，提供參考。

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

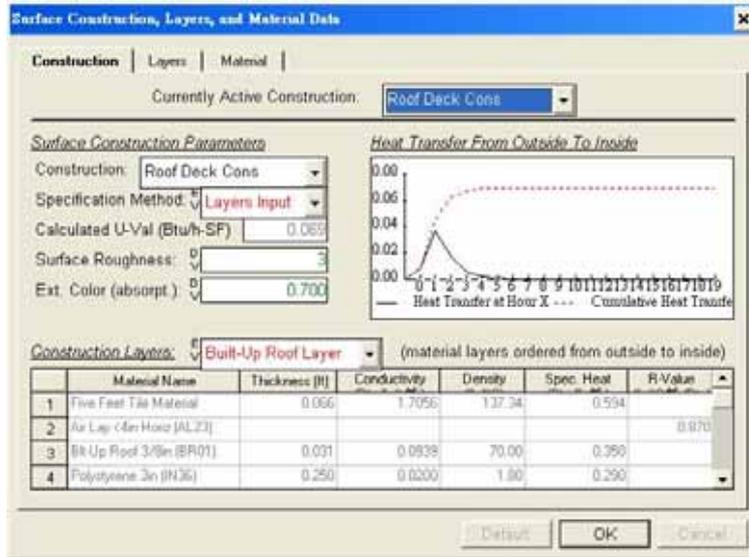


圖 5-20 標準 RC 結構屋頂結合五腳隔熱磚後之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-21 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 62.57 kBtu (約 5.4 冷凍噸·小時)。



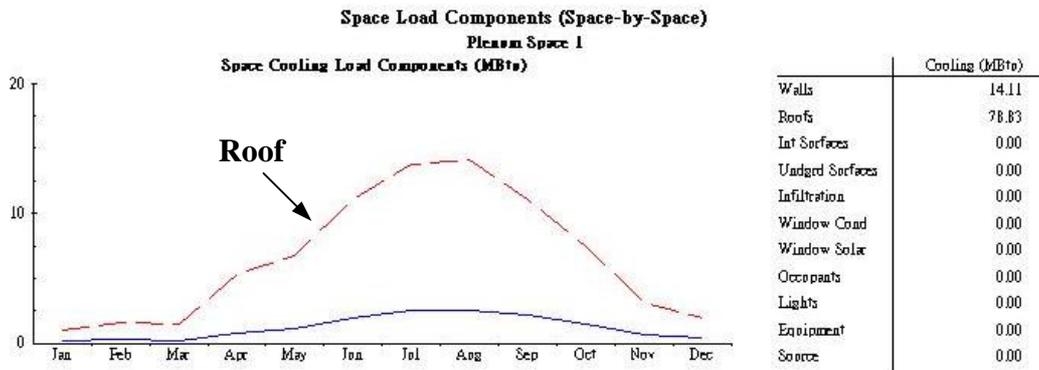
圖 5-21 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖

(鋪設五腳隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-22 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 78.83 MBtu (約 6,569.2 冷凍噸·小時)。



**圖 5-22 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量
(鋪設五腳隔熱磚後)**

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-23 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 115.26 MBtu (約 9,605.0 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 19.99 MBtu (約 1,665.8 冷凍噸·小時)。



**圖 5-23 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖
(鋪設五腳隔熱磚後)**

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-24 為其結果，由圖可知示範空間全年總耗電量為 103,001 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 18,903 仟度、水泵與周邊 12,016 仟度、冷卻水塔 580 仟度，合計 31,499 仟度，約佔整體用電之 30.6%。

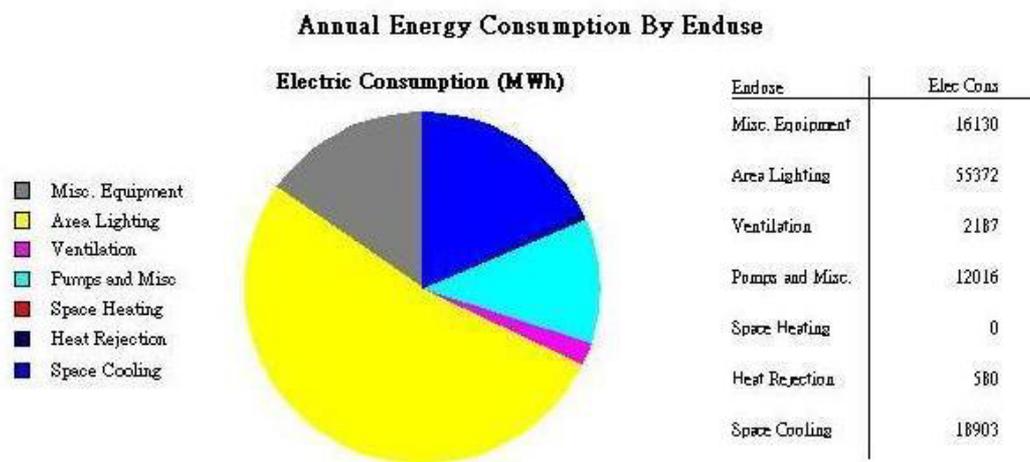


圖 5-24 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖
(鋪設五腳隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第 5-2-4 節 建物鋪設試件三（斷熱陶隔熱磚）時之空調耗能電腦模擬計算分析

依據第四章所得斷熱陶隔熱磚之隔熱性能實測數據，導入DOE電腦模擬軟體經計算後，可獲得其整體之總熱傳導率U值與熱傳特性曲線，如圖 5-24 所示，圖中之熱傳特性曲線包含即時性熱傳與蓄積性熱傳兩種，橫座標為時間（hr），縱座標為無因次之指數方式顯示。由圖可知，斷熱陶隔熱磚整體之總熱傳導率U值為 $1.867 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，而在即時性熱傳與蓄積性熱傳特性曲線方面，蓄積性熱傳最大值為 0.59 單位數，為即時性熱傳最大值 0.24 單位數之 2.46 倍，且兩者最大值發生時間差距約 7 小時左右，顯然此種隔熱磚建材已產生避免建築外殼同步出現最大熱傳量之不良效應。

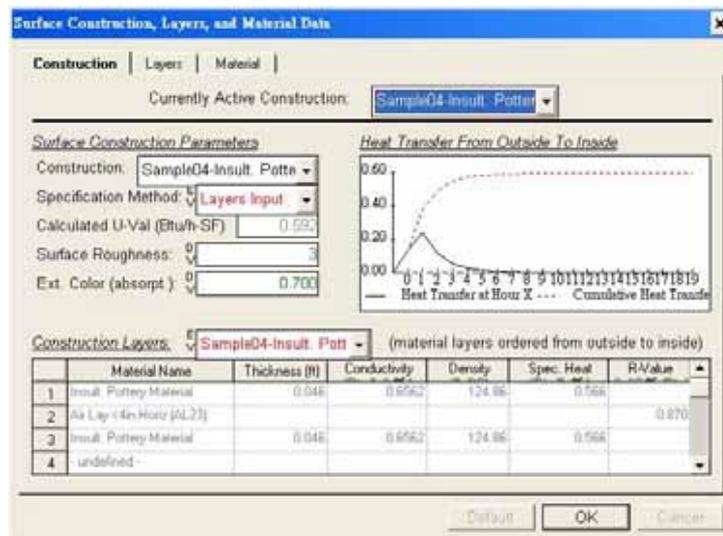


圖 5-25 斷熱陶隔熱磚整體之隔熱性能圖

（資料來源：本研究整理）

其次，進行標準混凝土屋頂結構在結合斷熱陶隔熱磚後之熱傳特性分析。圖 5-26 為標準混凝土屋頂結構在結合斷熱陶隔熱磚後之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.013 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.065 單位數，兩者最大值發生時間相差達 14 小時左右，顯見傳統 RC 結構屋頂在結合斷熱陶隔熱磚後確實發揮提昇屋頂隔熱之功效。此外，總熱傳導率則為 $0.218 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，提供參考。

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

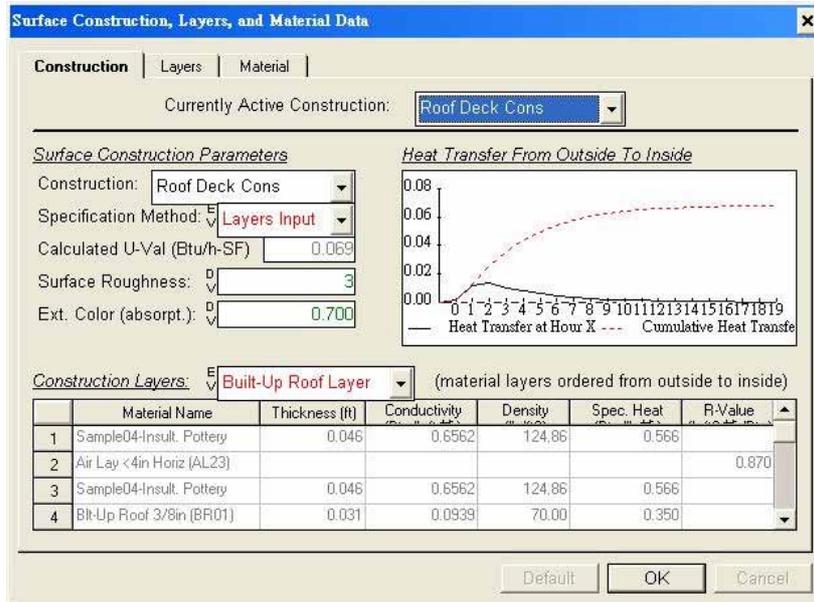


圖 5-26 標準 RC 結構屋頂結合斷熱陶隔熱磚後之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-27 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 51.32 kBtu (約 4.3 冷凍噸·小時)。

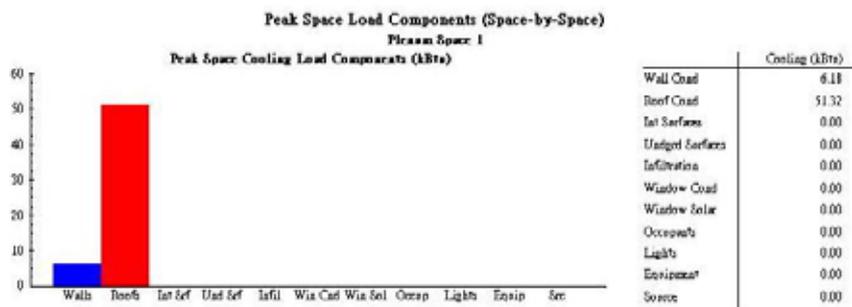


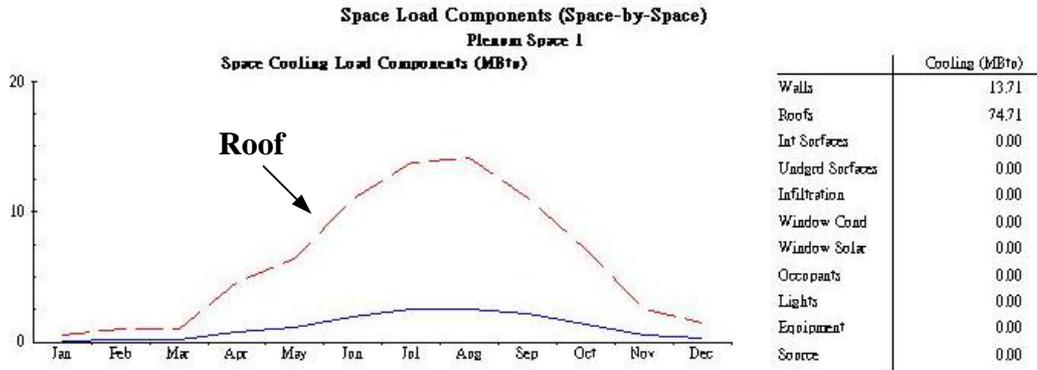
圖 5-27 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖

(鋪設斷熱陶隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-28 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 74.71 MBtu (約 6,225.8 冷凍噸·小時)。



**圖 5-28 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量
(鋪設斷熱陶隔熱磚後)**

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-29 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 111.80 MBtu (約 9,316.7 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 19.53 MBtu (約 1,627.5 冷凍噸·小時)。



**圖 5-29 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖
(鋪設斷熱陶隔熱磚後)**

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-30 為其結果，由圖可知示範空間全年總耗電量為 102,570 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 18,540 仟度、水泵與周邊 11,969 仟度、冷卻水塔 559 仟度，合計 31,068 仟度，約佔整體用電之 30.3%。

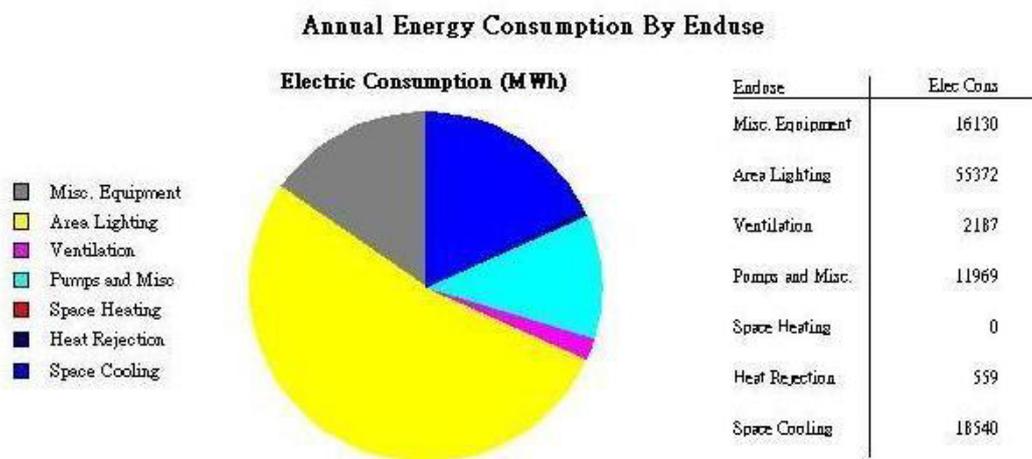


圖 5-30 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖
(鋪設斷熱陶隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第 5-2-5 節 建物鋪設試件四（隔熱石英磚）時之空調耗能電腦模擬計算分析

依據第四章所得隔熱石英磚之隔熱性能實測數據，導入DOE電腦模擬軟體經計算後，可獲得其整體之總熱傳導率U值與熱傳特性曲線，如圖 5-31 所示，圖中之熱傳特性曲線包含即時性熱傳與蓄積性熱傳兩種，橫座標為時間（hr），縱座標為無因次之指數方式顯示。由圖可知，隔熱石英磚整體之總熱傳導率U值為 $3.794 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，而在即時性熱傳與蓄積性熱傳特性曲線方面，蓄積性熱傳最大值為 1.20 單位數，為即時性熱傳最大值 1.00 單位數之 1.2 倍，且兩者最大值發生時間差距約 1 小時左右，顯然此種隔熱磚建材已產生避免建築外殼同步出現最大熱傳量之不良效應。

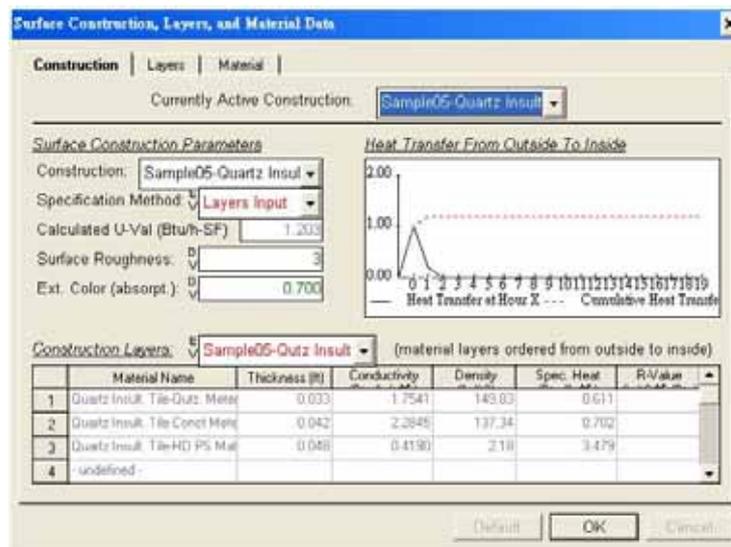


圖 5-31 隔熱石英磚整體之隔熱性能圖

（資料來源：本研究整理）

其次，進行標準混凝土屋頂結構在結合隔熱石英磚後之熱傳特性分析。圖 5-32 為標準混凝土屋頂結構在結合隔熱石英磚後之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.05 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.07 單位數，兩者最大值發生時間相差達 1 小時左右，顯見傳統RC結構屋頂在結合隔熱石英磚後確實發揮提昇屋頂隔熱之功效。此外，總熱傳導率則為 $0.230 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，提供參考。

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

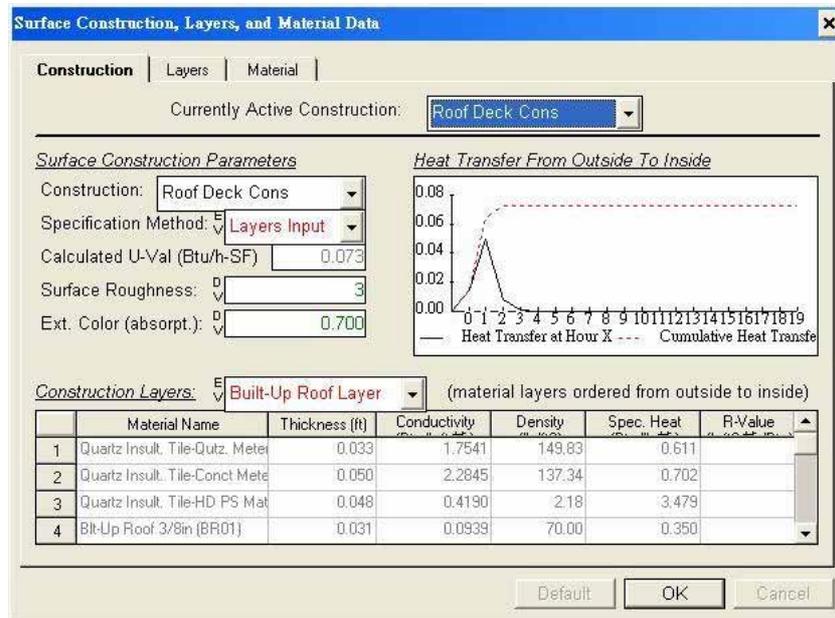


圖 5-32 標準 RC 結構屋頂結合隔熱石英磚後之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-33 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 63.51 kBtu (約 5.3 冷凍噸·小時)。

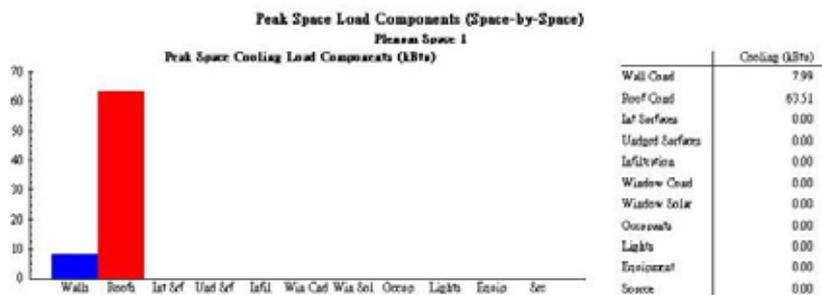


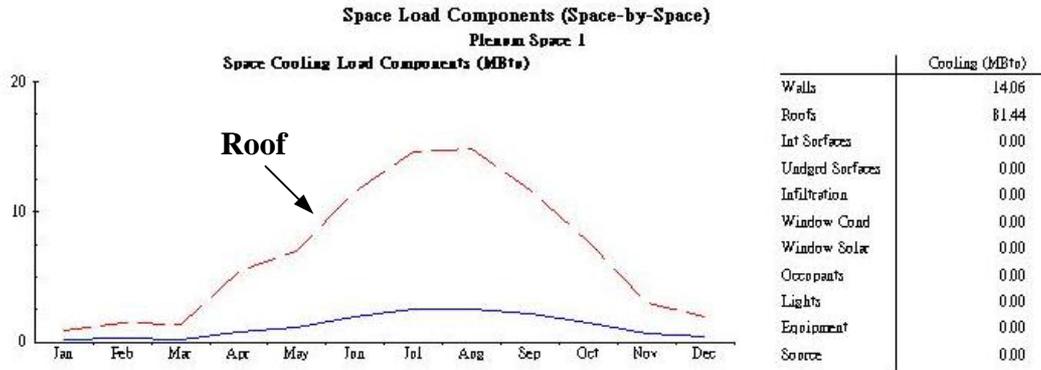
圖 5-33 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖

(鋪設隔熱石英磚後)

(資料來源：本研究整理)

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

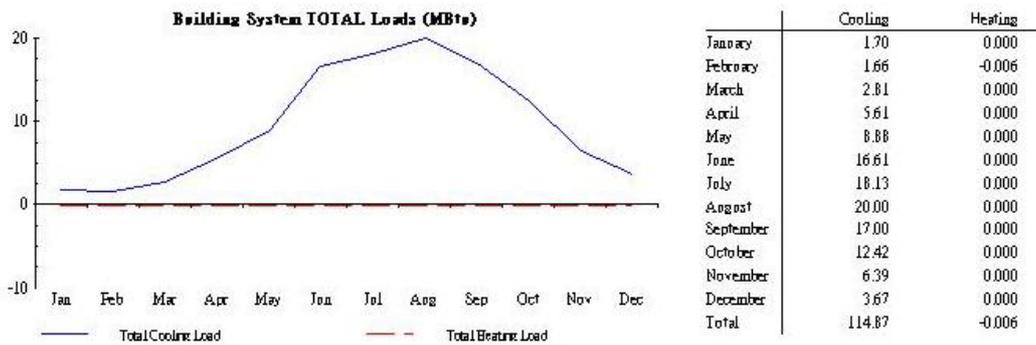
在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-34 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 81.44 MBtu (約 6,786.7 冷凍噸·小時)。



**圖 5-34 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量
(鋪設隔熱石英磚後)**

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-35 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 114.87 MBtu (約 9,572.5 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 20.00 MBtu (約 1,666.7 冷凍噸·小時)。



**圖 5-35 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖
(鋪設隔熱石英磚後)**

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-36 為其結果，由圖可知示範空間全年總耗電量為 102,957 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 18,864 仟度、水泵與周邊 12,013 仟度、冷卻水塔 578 仟度，合計 31,455 仟度，約佔整體用電之 30.6%。

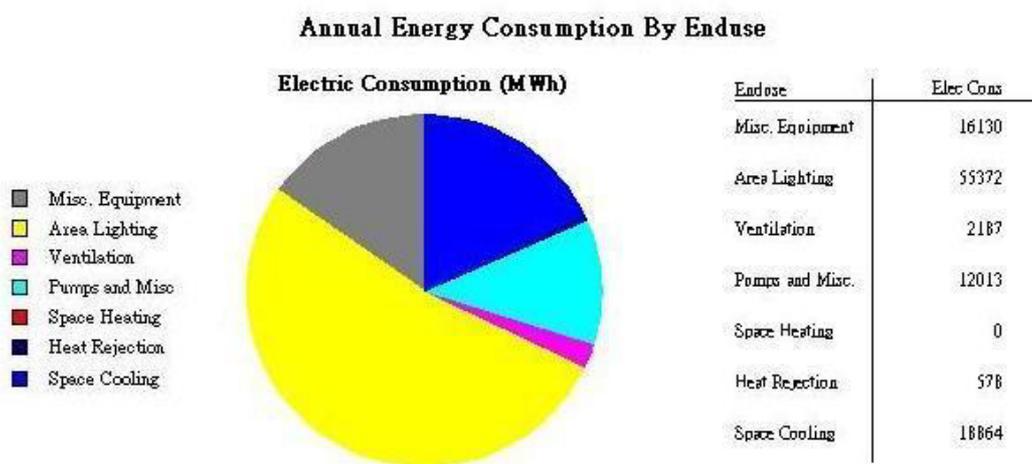


圖 5-36 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖
(鋪設隔熱石英磚後)

(資料來源：本研究整理)

第 5-2-6 節 建物鋪設試件五（保麗龍隔熱磚）時之空調耗能電腦模擬計算分析

依據第四章所得保麗龍隔熱磚之隔熱性能實測數據，導入DOE電腦模擬軟體經計算後，可獲得其整體之總熱傳導率U值與熱傳特性曲線，如圖 5-37 所示，圖中之熱傳特性曲線包含即時性熱傳與蓄積性熱傳兩種，橫座標為時間（hr），縱座標為無因次之指數方式顯示。由圖可知，保麗龍隔熱磚整體之總熱傳導率U值為 $1.883 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，而在即時性熱傳與蓄積性熱傳特性曲線方面，蓄積性熱傳最大值為 0.60 單位數，為即時性熱傳最大值 0.56 單位數之 1.07 倍，且兩者最大值發生時間差距約 1 小時左右，顯然此種隔熱磚建材已產生避免建築外殼同步出現最大熱傳量之不良效應。

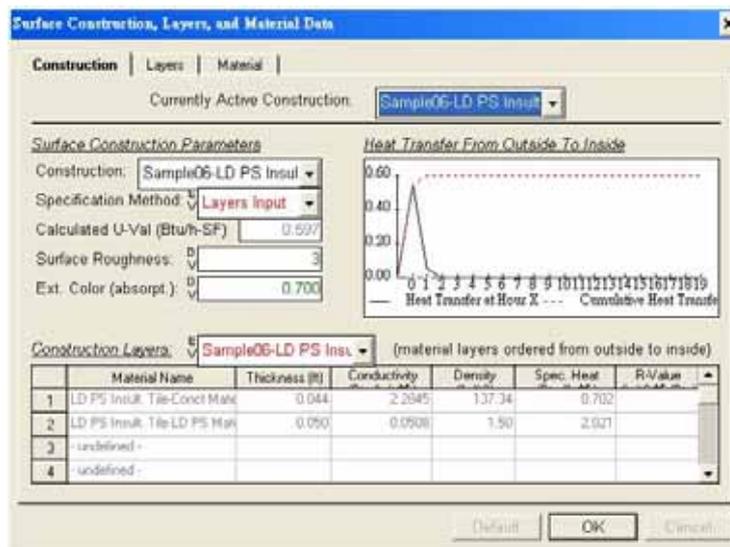


圖 5-37 保麗龍隔熱磚整體之隔熱性能圖

（資料來源：本研究整理）

其次，進行標準混凝土屋頂結構在結合保麗龍隔熱磚後之熱傳特性分析。圖 5-38 為標準混凝土屋頂結構在結合保麗龍隔熱磚後之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.034 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.07 單位數，兩者最大值發生時間相差達 5 小時左右，顯見傳統 RC 結構屋頂在結合保麗龍隔熱磚後確實發揮提昇屋頂隔熱之功效。此外，總熱傳導率則為 $0.218 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，提供參考。

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

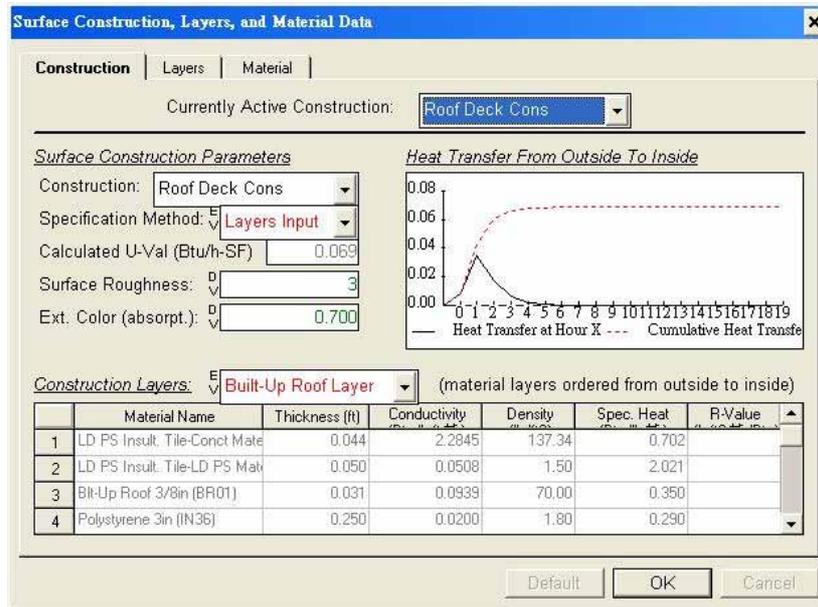


圖 5-38 標準 RC 結構屋頂結合保麗龍隔熱磚後之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-39 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 66.01 kBtu (約 5.5 冷凍噸·小時)。

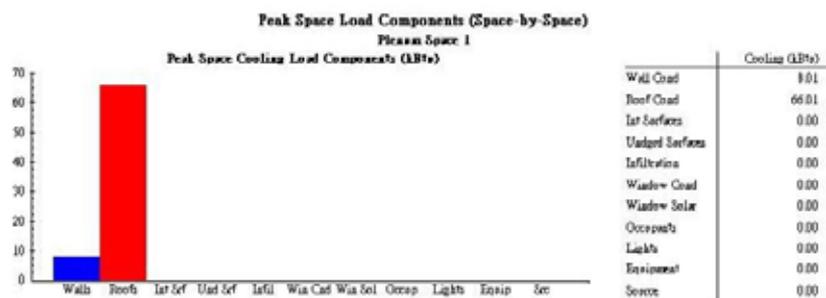


圖 5-39 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖

(鋪設保麗龍隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-40 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 79.04 MBtu (約 6,586.7 冷凍噸·小時)。

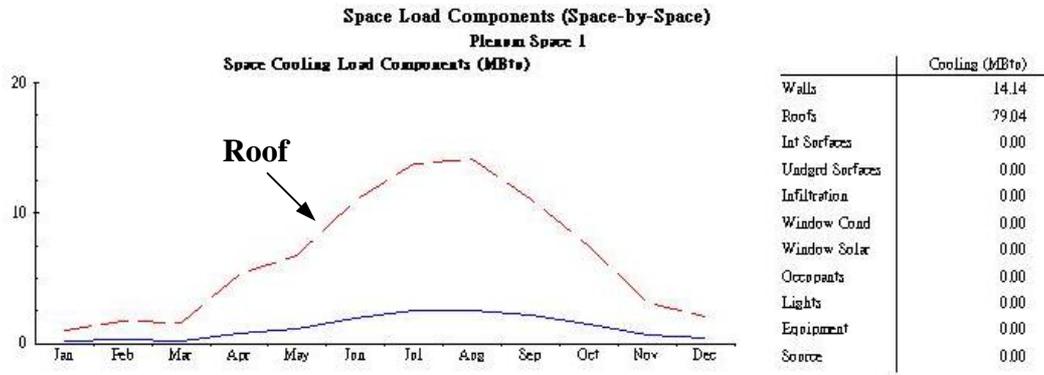


圖 5-40 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量
(鋪設保麗龍隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-41 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 115.79 MBtu (約 9,649.2 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 20.04 MBtu (約 1,670 冷凍噸·小時)。



圖 5-41 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖
(鋪設保麗龍隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-42 為其結果，由圖可知示範空間全年總耗電量為 103,058 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 18,955 仟度、水泵與周邊 12,018 仟度、冷卻水塔 583 仟度，合計 31,556 仟度，約佔整體用電之 30.6%。

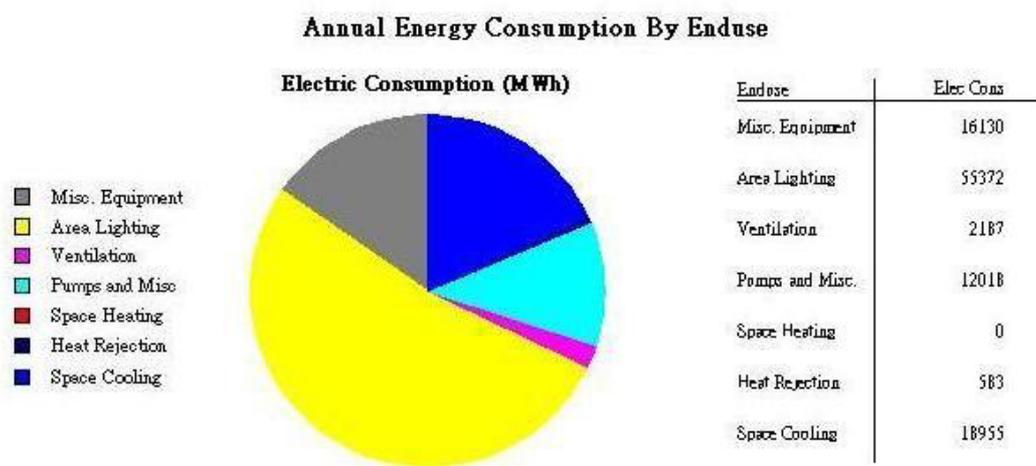


圖 5-42 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖
(鋪設保麗龍隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第 5-2-7 節 建物鋪設試件六（橡膠隔熱磚）時之空調耗能電腦模擬計算分析

依據第四章所得橡膠隔熱磚之隔熱性能實測數據，導入DOE電腦模擬軟體經計算後，可獲得其整體之總熱傳導率U值與熱傳特性曲線，如圖 5-43 所示，圖中之熱傳特性曲線包含即時性熱傳與蓄積性熱傳兩種，橫座標為時間（hr），縱座標為無因次之指數方式顯示。由圖可知，橡膠隔熱磚整體之總熱傳導率U值為 $1.265 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，而在即時性熱傳與蓄積性熱傳特性曲線方面，蓄積性熱傳最大值為 0.40 單位數，為即時性熱傳最大值 0.20 單位數之 2 倍，且兩者最大值發生時間差距約 1 小時左右，顯然此種隔熱磚建材已產生避免建築外殼同步出現最大熱傳量之不良效應。

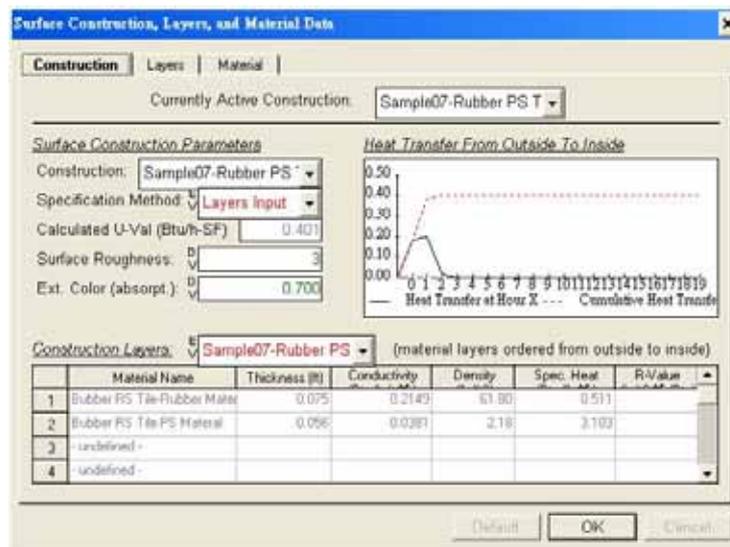


圖 5-43 橡膠隔熱磚整體之隔熱性能圖

（資料來源：本研究整理）

其次，進行標準混凝土屋頂結構在結合橡膠隔熱磚後之熱傳特性分析。圖 5-44 為標準混凝土屋頂結構在結合橡膠隔熱磚後之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.02 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.063 單位數，兩者最大值發生時間相差達 7 小時左右，顯見傳統RC結構屋頂在結合橡膠隔熱磚後確實發揮提昇屋頂隔熱之功效。此外，總熱傳導率則為 $0.205 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，提供參考。

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

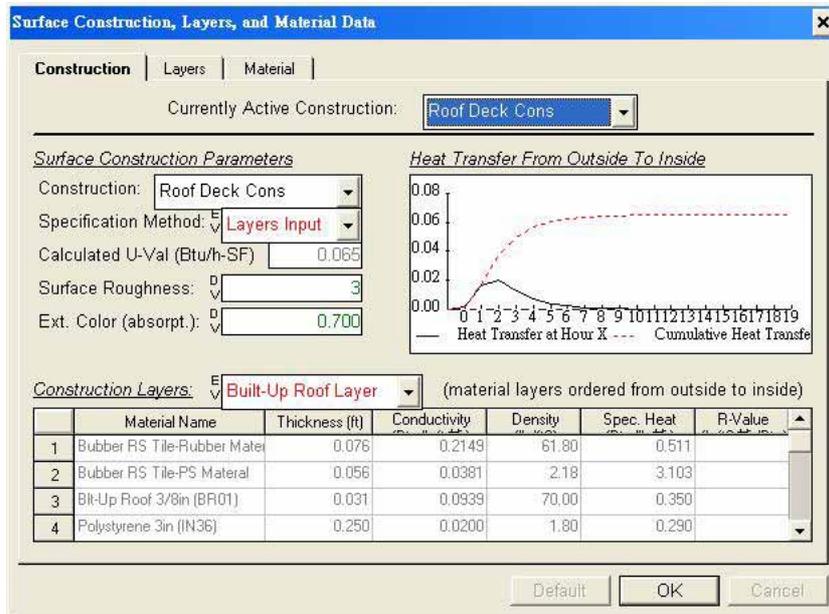


圖 5-44 標準 RC 結構屋頂結合橡膠隔熱磚後之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-45 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 60.79 kBtu (約 5.1 冷凍噸·小時)。

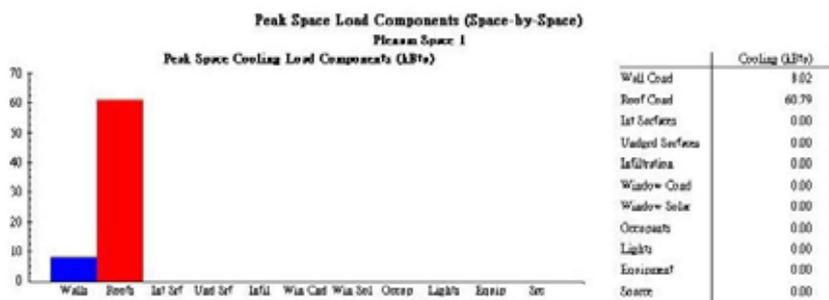


圖 5-45 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖

(鋪設橡膠隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-46 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 75.51 MBtu (約 6,292.5 冷凍噸·小時)。

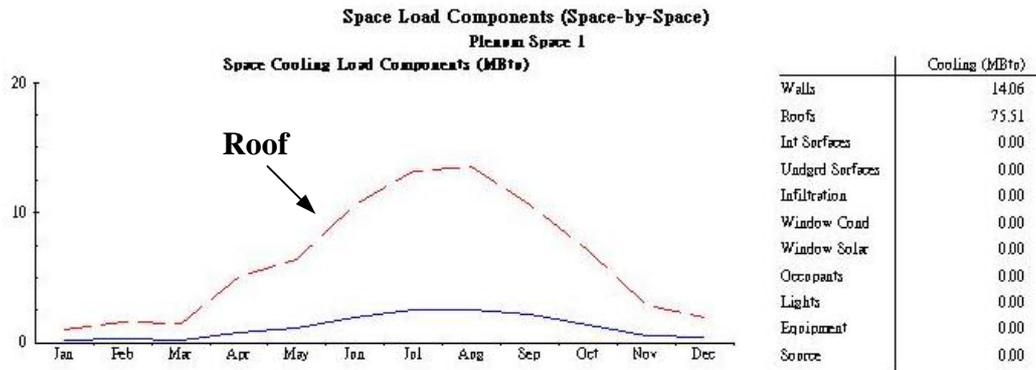


圖 5-46 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量
(鋪設橡膠隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-47 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 114.52 MBtu (約 9,543.3 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 19.82 MBtu (約 1,651.7 冷凍噸·小時)。



圖 5-47 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖
(鋪設橡膠隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-48 為其結果，由圖可知示範空間全年總耗電量為 102,907 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 18,825 仟度、水泵與周邊 12,005 仟度、冷卻水塔 575 仟度，合計 31,405 仟度，約佔整體用電之 30.5%。

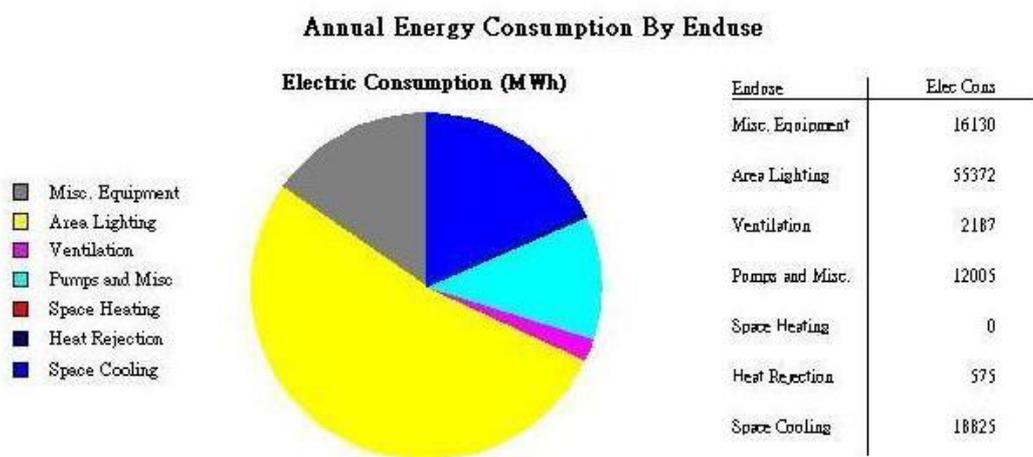


圖 5-48 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖
(鋪設橡膠隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第 5-2-8 節 建物鋪設試件七（板岩隔熱磚）時之空調耗能電腦模擬計算分析

依據第四章所得板岩隔熱磚之隔熱性能實測數據，導入DOE電腦模擬軟體經計算後，可獲得其整體之總熱傳導率U值與熱傳特性曲線，如圖 5-49 所示，圖中之熱傳特性曲線包含即時性熱傳與蓄積性熱傳兩種，橫座標為時間（hr），縱座標為無因次之指數方式顯示。由圖可知板岩隔熱磚整體之總熱傳導率U值為 $3.176 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，而在即時性熱傳與蓄積性熱傳特性曲線方面，蓄積性熱傳最大值為 1.0 單位數，為即時性熱傳最大值 0.6 單位數之 1.7 倍，且兩者最大值發生時間差距約 1 小時左右，顯然此種隔熱磚建材已產生避免建築外殼同步出現最大熱傳量之不良效應。

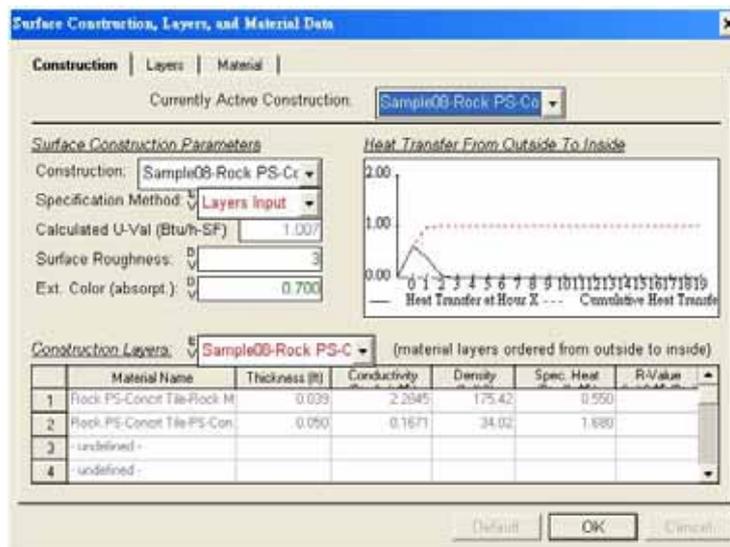


圖 5-49 板岩隔熱磚整體之隔熱性能圖

（資料來源：本研究整理）

其次，進行標準混凝土屋頂結構在結合板岩隔熱磚後之熱傳特性分析。圖 5-50 為標準混凝土屋頂結構在結合板岩隔熱磚後之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.04 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.07 單位數，兩者最大值發生時間相差達 3 小時左右，顯見傳統RC結構屋頂在結合板岩隔熱磚後確實發揮提昇屋頂隔熱之功效。此外，總熱傳導率則為 $0.227 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，提供參考。

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

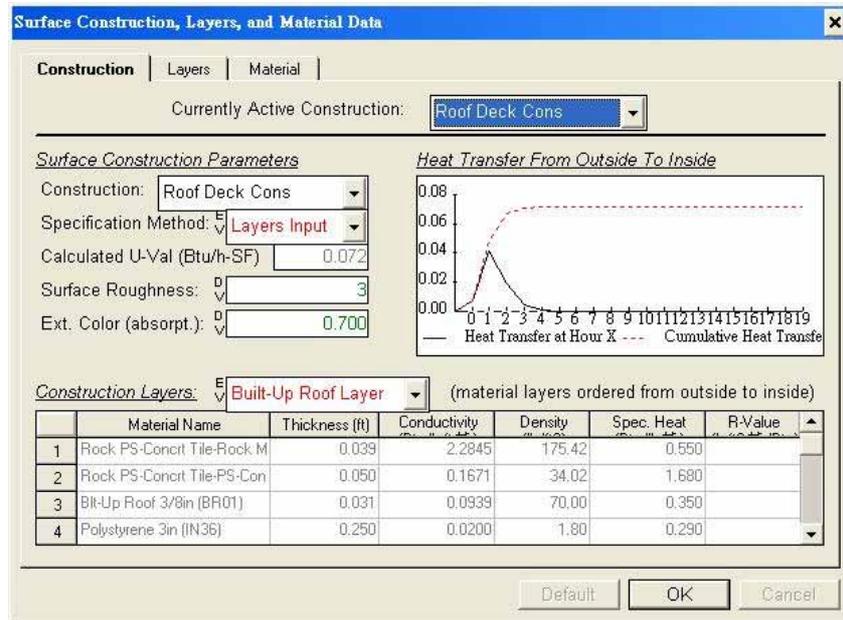


圖 5-50 標準 RC 結構屋頂結合板岩隔熱磚後之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-51 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 64.59 kBtu (約 5.4 冷凍噸·小時)。

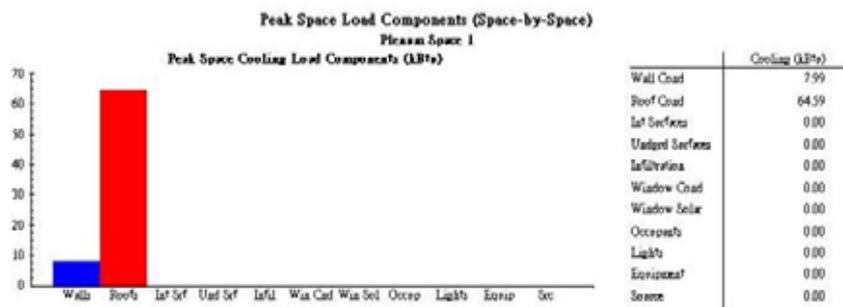


圖 5-51 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖

(鋪設板岩隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-52 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 81.18 MBtu (約 6,765.0 冷凍噸·小時)。

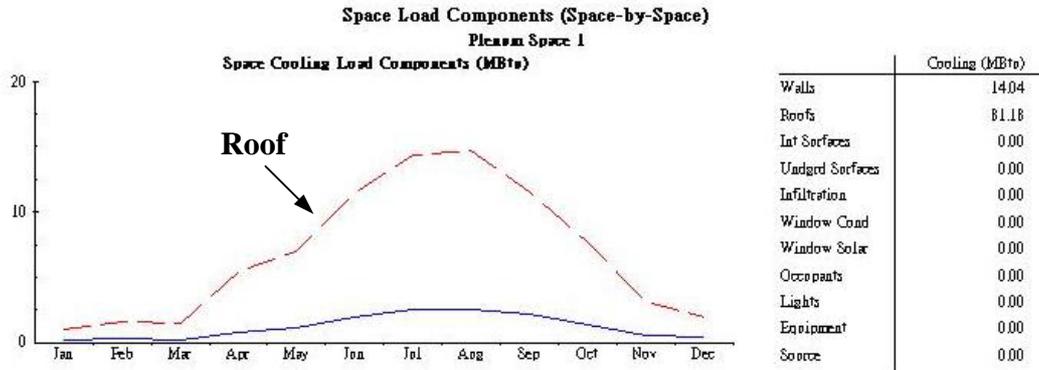


圖 5-52 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量
(鋪設板岩隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-53 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 114.73 MBtu (約 9,560.8 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 19.97 MBtu (約 1,664.2 冷凍噸·小時)。



圖 5-53 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖
(鋪設板岩隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-54 為其結果，由圖可知示範空間全年總耗電量為 102,949 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 18,853 仟度、水泵與周邊 12,017 仟度、冷卻水塔 577 仟度，合計 31,447 仟度，約佔整體用電之 30.5%。

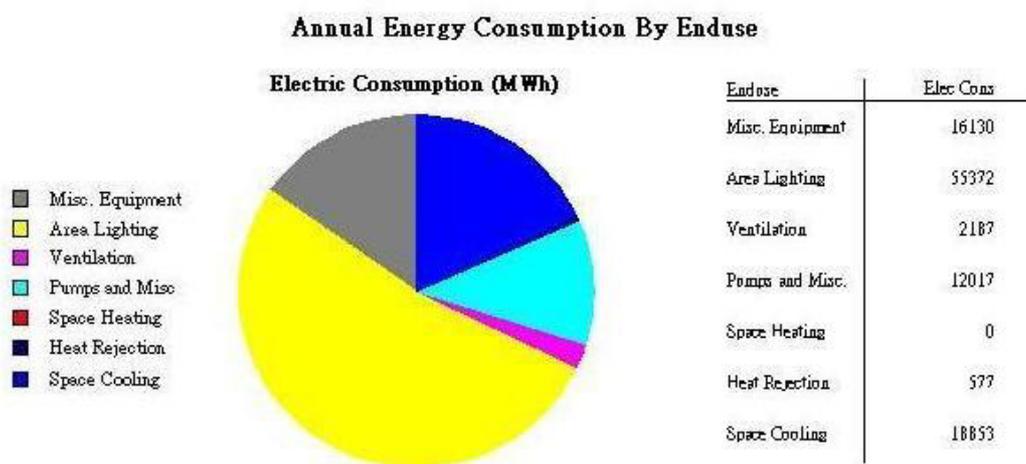


圖 5-54 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖
(鋪設板岩隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第 5-2-9 節 建物鋪設試件八（磨石子 PS 隔熱磚）時之空調耗能電腦模擬計算分析

依據第四章所得磨石子PS隔熱磚之隔熱性能實測數據，導入DOE電腦模擬軟體經計算後，可獲得其整體之總熱傳導率U值與熱傳特性曲線，如圖 5-55 所示，圖中之熱傳特性曲線包含即時性熱傳與蓄積性熱傳兩種，橫座標為時間 (hr)，縱座標為無因次之指數方式顯示。由圖可知磨石子PS隔熱磚整體之總熱傳導率U值為 $1.183 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，而在即時性熱傳與蓄積性熱傳特性曲線方面，蓄積性熱傳最大值為 0.36 單位數，為即時性熱傳最大值 0.17 單位數之 2.1 倍，且兩者最大值發生時間差距約 3.5 小時左右，顯然此種隔熱磚建材已產生避免建築外殼同步出現最大熱傳量之不良效應。

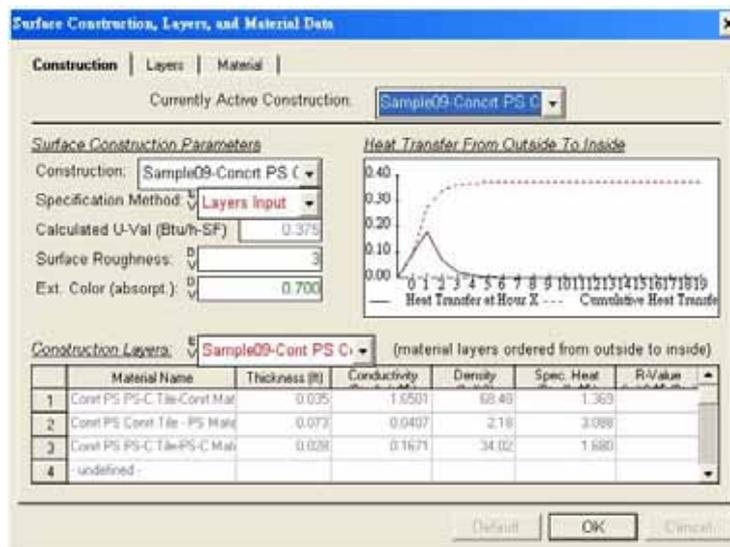


圖 5-55 磨石子 PS 隔熱磚整體之隔熱性能圖

(資料來源：本研究整理)

其次，進行標準混凝土屋頂結構在結合磨石子PS隔熱磚後之熱傳特性分析。圖 5-56 為標準混凝土屋頂結構在結合磨石子PS隔熱磚後之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.012 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.06 單位數，兩者最大值發生時間相差達 14.5 小時左右，顯見傳統 RC 結構屋頂在結合磨石子PS隔熱磚後確實發揮提昇屋頂隔熱之功效。此外，總熱傳導率則為 $0.205 \text{ W/m}^2\text{C}$ ，提供參考。

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

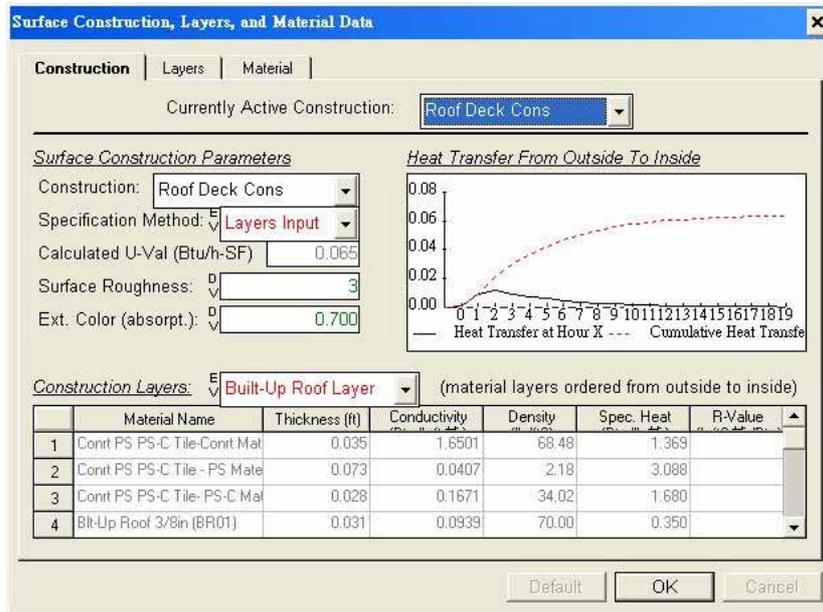


圖 5-56 標準 RC 結構屋頂結合磨石子 PS 隔熱磚之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-57 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 47.18 kBtu (約 3.9 冷凍噸·小時)。

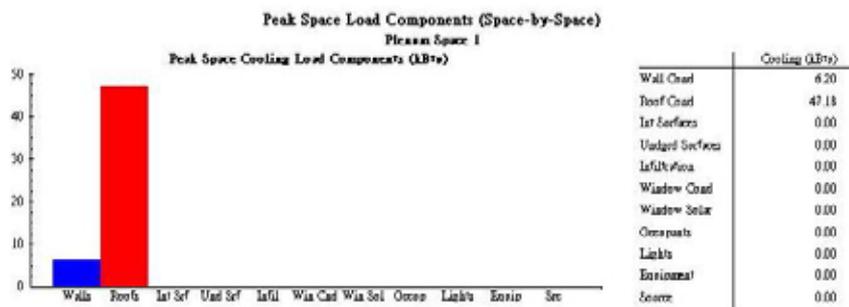


圖 5-57 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖

(鋪設磨石子 PS 隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-58 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 70.17 MBtu (約 5,847.5 冷凍噸·小時)。

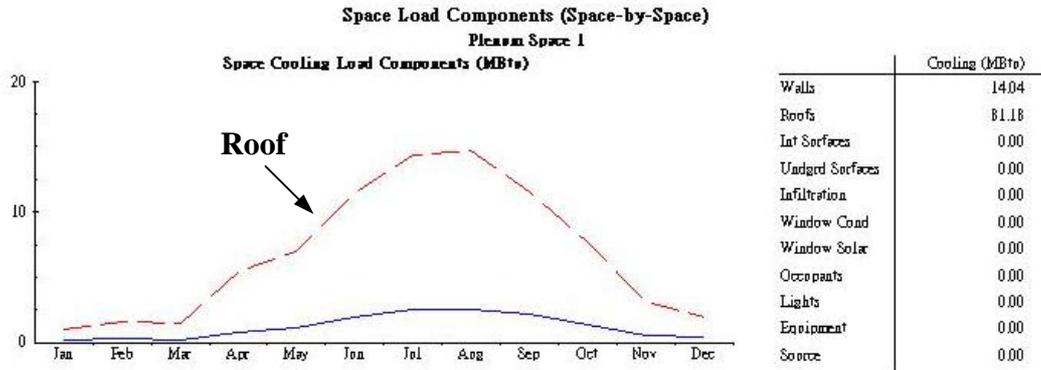


圖 5-58 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量
(鋪設磨石子 PS 隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-59 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 111.36 MBtu (約 9,280.0 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 19.97 MBtu (約 1,664.2 冷凍噸·小時)。



圖 5-59 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖
(鋪設磨石子 PS 隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-60 為其結果，由圖可知示範空間全年總耗電量為 102,499 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 18,488 仟度、水泵與周邊 11,953 仟度、冷卻水塔 556 仟度，合計 30,997 仟度，約佔整體用電之 30.2%。

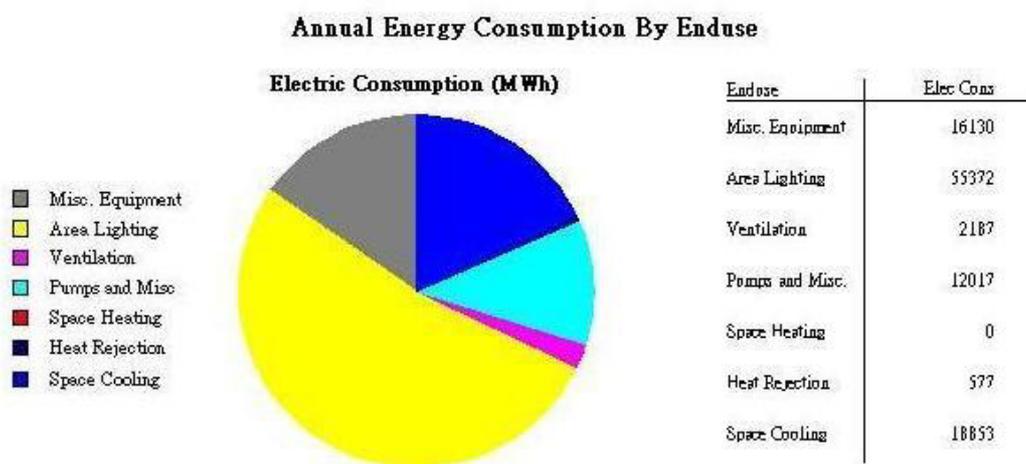


圖 5-60 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖
(鋪設磨石子 PS 隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第 5-2-10 節 建物鋪設試件九（磨石子隔熱磚）時之空調耗能電腦模擬計算分析

依據第四章所得磨石子隔熱磚之隔熱性能實測數據，導入DOE電腦模擬軟體經計算後，可獲得其整體之總熱傳導率U值與熱傳特性曲線，如圖 5-61 所示，圖中之熱傳特性曲線包含即時性熱傳與蓄積性熱傳兩種，橫座標為時間（hr），縱座標為無因次之指數方式顯示。由圖可知磨石子隔熱磚整體之總熱傳導率U值為 $2.425 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，而在即時性熱傳與蓄積性熱傳特性曲線方面，蓄積性熱傳最大值為 0.76 單位數，為即時性熱傳最大值 0.38 單位數之 2 倍，且兩者最大值發生時間差距約 3 小時左右，顯然此種隔熱磚建材已產生避免建築外殼同步出現最大熱傳量之不良效應。

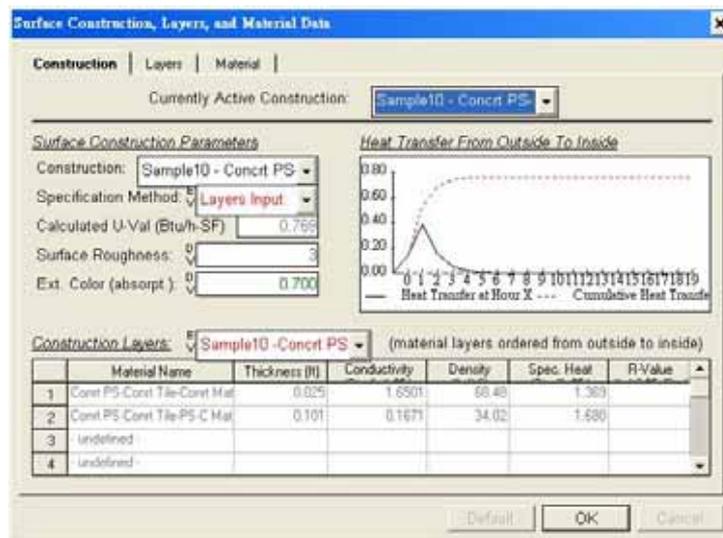


圖 5-61 磨石子隔熱磚整體之隔熱性能圖

（資料來源：本研究整理）

其次，進行標準混凝土屋頂結構在結合磨石子隔熱磚後之熱傳特性分析。圖 5-62 為標準混凝土屋頂結構在結合磨石子隔熱磚後之熱傳特性曲線與總熱傳導率。由圖可知其即時性熱傳最大值約 0.02 單位數，蓄積性熱傳最大值約 0.07 單位數，兩者最大值發生時間相差達 9 小時左右，顯見傳統 RC 結構屋頂在結合磨石子隔熱磚後確實發揮提昇屋頂隔熱之功效。此外，總熱傳導率則為 $0.224 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ，提供參考。

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

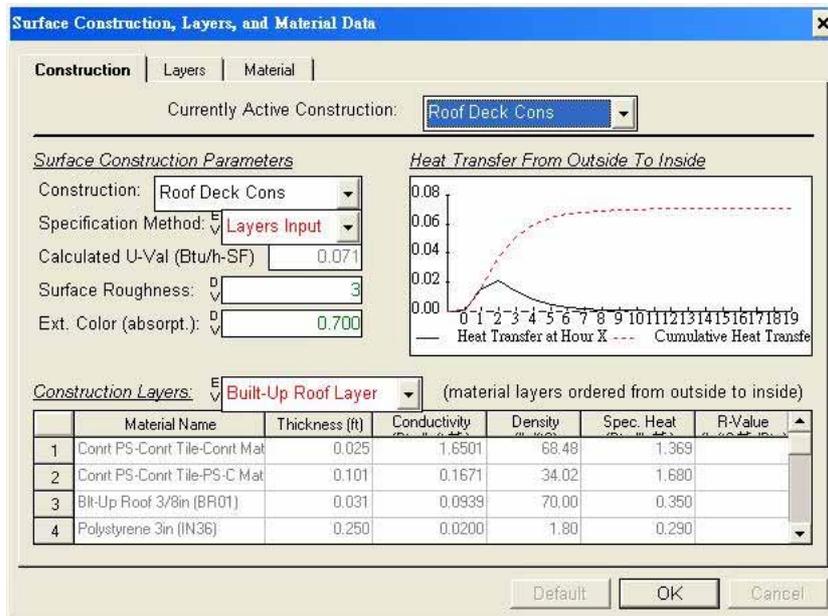


圖 5-62 標準 RC 結構屋頂結合磨石子隔熱磚之熱傳特性資料

(資料來源：本研究整理)

將上述物理性質導入標準示範空間進行空調耗能電腦模擬後，可獲得詳細之耗能預測結果，解析如下。

在屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷方面，圖 5-63 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年瞬間最大空調負荷為 56.7 kBtu(約 4.7 冷凍噸·小時)。

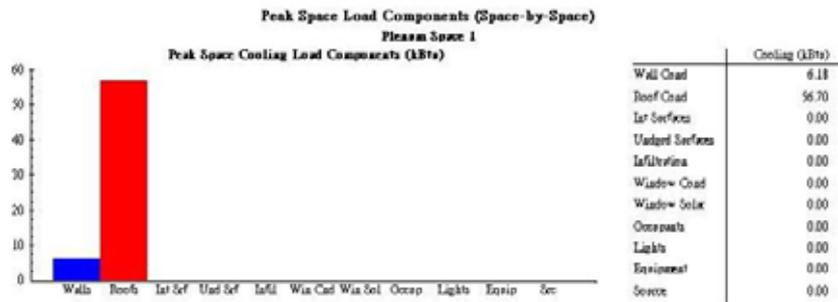
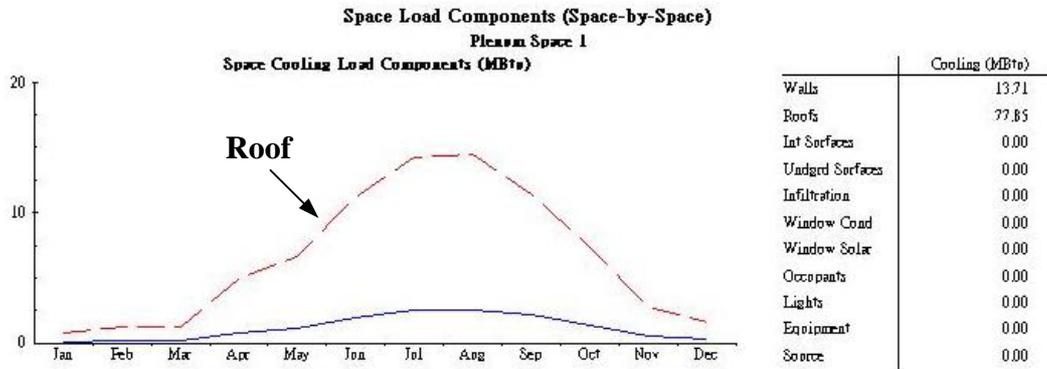


圖 5-63 標準示範空間屋頂處引入之全年最大空調耗能圖

(鋪設磨石子隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

在屋頂處引入之全年空調負荷總量方面，圖 5-64 為其結果，由圖可知屋頂處引入之全年空調負荷總量為 77.85MBtu (約 6,487.5 冷凍噸·小時)。



**圖 5-64 標準示範空間屋頂處引入之全年空調耗能總量
(鋪設磨石子隔熱磚後)**

(資料來源：本研究整理)

在辦公用途標準示範空間總空調負荷方面，圖 5-65 為其結果，由圖可知全年之總空調負荷為 112.06 MBtu (約 9,338.3 冷凍噸·小時)，其中最大空調負荷出現在 8 月份之 19.58 MBtu (約 1,631.7 冷凍噸·小時)。



**圖 5-65 辦公類標準示範空間全年之每月空調耗能變化圖
(鋪設磨石子隔熱磚後)**

(資料來源：本研究整理)

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

在辦公用途模擬示範空間全年之整體耗電結構方面，圖 5-66 為其結果，由圖可知示範空間全年總耗電量為 102,633 仟度，而空調部分全年耗電量分別為冰水主機 18,579 仟度、水泵與周邊 11,991 仟度、冷卻水塔 561 仟度，合計 31,131 仟度，約佔整體用電之 30.3%。

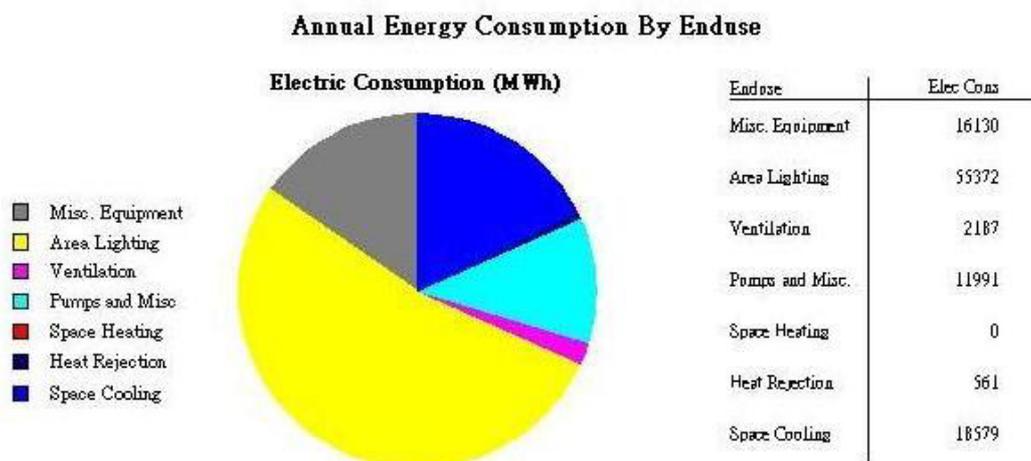


圖 5-66 辦公類標準示範空間全年之整體用電結構圖
(鋪設磨石子隔熱磚後)

(資料來源：本研究整理)

第三節 屋頂隔熱磚節能效益之綜合比對分析

本節將針對 9 類型屋頂隔熱磚試件，再結合去 (94) 年度已完成陶粒隔熱磚，進行 10 類型屋頂隔熱磚產品整體隔熱性能與空調耗能電腦模擬結果之綜合交叉比對分析，以評定個別節能效益之高低。綜合比對分析之主要項目包含 6 大項，結果分述如下。

1. 各隔熱磚本身之熱傳導率
2. 屋頂結構之整體熱傳導率
3. 屋頂處引入之全年最大空調耗能量
4. 屋頂處引入之全年總空調耗能量
5. 模擬建物之整體用電結構
6. 模擬建物之空調系統全年總用電量

1. 各隔熱磚本身之熱傳導率 (U 值) 比對分析

表 5-2 為各隔熱磚本身熱傳導率之比對表。由表可知以磨石子 PS 隔熱磚之 1.183 W/m²°C 為最低，顯示其具有最佳之隔熱特性。

表 5-2 各隔熱磚之熱傳導率 (U 值) 比對表

| 屋頂隔熱試件 | 試件總熱傳導率 U |
|-----------------|--|
| 試件 1：陶粒隔熱磚 | 2.656 |
| 試件 2：PS 隔熱磚 | 1.672 |
| 試件 3：五腳隔熱磚 | 1.984 |
| 試件 4：斷熱陶隔熱磚 | 1.867 |
| 試件 5：隔熱石英磚 | 3.794 |
| 試件 6：保麗龍隔熱磚 | 1.883 |
| 試件 7：橡膠隔熱磚 | 1.265 |
| 試件 8：板岩隔熱磚 | 3.176 |
| 試件 9：磨石子 PS 隔熱磚 | 1.183 |
| 試件 10：磨石子隔熱磚 | 2.425 |
| 備註 | 1. 傳導熱量 $Q = U \times A \times \Delta T$ 2. U 值越低越佳 |

(資料來源：本研究整理)

2. 屋頂結構之整體熱傳導率 (U 值) 比對分析

表 5-3 為各隔熱磚本身熱傳導率之比對表。由表可知，若以未鋪設隔熱磚之原始屋頂 U 值 ($0.233 \text{ W/m}^2\text{°C}$) 做為比對基準時，則橡膠隔熱磚及磨石子 PS 隔熱磚同時具有 $0.205 \text{ W/m}^2\text{°C}$ 最低之熱傳導率，可發揮達 12.2% 之降低屋頂結構整體熱傳導率之功效。

表 5-3 屋頂結構之整體熱傳導率 (U 值) 比對表

| 屋頂組成 | 屋頂總熱傳導率 U | 減少率 |
|------------------------|--|------|
| | $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ | (%) |
| 基準範例原始屋頂：未鋪設隔熱材 | 0.233 | 0 |
| 原始屋頂+試件 1 (陶粒隔熱磚) | 0.224 | 4.1 |
| 原始屋頂+試件 2 (PS 隔熱磚) | 0.214 | 8.1 |
| 原始屋頂+試件 3 (五腳隔熱磚) | 0.218 | 6.8 |
| 原始屋頂+試件 4 (斷熱陶隔熱磚) | 0.218 | 6.8 |
| 原始屋頂+試件 5 (隔熱石英磚) | 0.230 | 1.4 |
| 原始屋頂+試件 6 (保麗龍隔熱磚) | 0.218 | 6.8 |
| 原始屋頂+試件 7 (橡膠隔熱磚) | 0.205 | 12.2 |
| 原始屋頂+試件 8 (板岩隔熱磚) | 0.227 | 2.7 |
| 原始屋頂+試件 9 (磨石子 PS 隔熱磚) | 0.205 | 12.2 |
| 原始屋頂+試件 10 (磨石子隔熱磚) | 0.224 | 4.1 |
| 備註 | 1. 傳導熱量 $Q = U \times A \times \Delta T$ | |
| | 2. U 值越低越佳 | |

(資料來源：本研究整理)

3. 屋頂處引入之全年最大空調耗能量比對分析

表 5-4 為屋頂處引入之全年最大空調耗能量之比對表。由表可知，若以未鋪設隔熱磚原始屋頂之 $6.5 \text{ USRT} \cdot \text{Hr}$ (冷凍噸·小時) 做為比對基準時，

則磨石子 PS 隔熱磚之 3.9 USRT·Hr 為最低值，共降低屋頂處 2.6 USRT·Hr 之最大空調耗能發生量，減少率高達 39.6% 之良好成效。

表 5-4 屋頂處引入之全年最大空調耗能量比對表

| 屋頂隔熱試件 | 屋頂處產生之全年最大空調耗能 | 減少量 | 減少率 |
|-----------------|----------------|--------|------|
| | 冷凍噸·小時 | 冷凍噸·小時 | % |
| 原始：未鋪設屋頂隔熱材 | 6.5 | 0 | 0 |
| 試件 1：陶粒隔熱磚 | 5.2 | 1.3 | 20.4 |
| 試件 2：PS 隔熱磚 | 5.2 | 1.3 | 20.1 |
| 試件 3：五腳隔熱磚 | 5.4 | 1.1 | 17.4 |
| 試件 4：斷熱陶隔熱磚 | 4.3 | 2.2 | 34.3 |
| 試件 5：隔熱石英磚 | 5.3 | 1.2 | 18.8 |
| 試件 6：保麗龍隔熱磚 | 5.5 | 1.0 | 15.6 |
| 試件 7：橡膠隔熱磚 | 5.1 | 1.4 | 22.2 |
| 試件 8：板岩隔熱磚 | 5.4 | 1.1 | 17.4 |
| 試件 9：磨石子 PS 隔熱磚 | 3.9 | 2.6 | 39.6 |
| 試件 10：磨石子隔熱磚 | 4.7 | 1.8 | 27.5 |

(資料來源：本研究整理)

4. 屋頂處引入之全年總空調耗能量比對分析

表 5-5 為屋頂處引入之全年總空調耗能量之比對表。由表可知，若以未鋪設隔熱磚原始屋頂之 7505.0 USRT·Hr (冷凍噸·小時) 做為比對基準時，則磨石子 PS 隔熱磚之 5847.5 USRT·Hr 為最低值，全年共降低屋頂處 1657.5 USRT·Hr 之累計空調耗能發生量，減少率高達 22.1%，節能效果甚佳。

5-5 屋頂處引入之全年總空調耗能量比對表

| 屋頂隔熱試件 | 屋頂處產生之全年總空調耗能 | 減少量 | 減少率 |
|-----------------|---------------|--------|------|
| | 冷凍噸·小時 | 冷凍噸·小時 | % |
| 原始：未鋪設屋頂隔熱材 | 7505.0 | 0 | 0 |
| 試件 1：陶粒隔熱磚 | 6673.3 | 831.7 | 11.1 |
| 試件 2：PS 隔熱磚 | 6440.8 | 1064.2 | 14.2 |
| 試件 3：五腳隔熱磚 | 6569.2 | 935.8 | 12.5 |
| 試件 4：斷熱陶隔熱磚 | 6225.8 | 1279.2 | 17.0 |
| 試件 5：隔熱石英磚 | 6786.7 | 718.3 | 9.6 |
| 試件 6：保麗龍隔熱磚 | 6586.7 | 918.3 | 12.2 |
| 試件 7：橡膠隔熱磚 | 6292.5 | 1212.5 | 16.2 |
| 試件 8：板岩隔熱磚 | 6765.0 | 740.0 | 9.9 |
| 試件 9：磨石子 PS 隔熱磚 | 5847.5 | 1657.5 | 22.1 |
| 試件 10：磨石子隔熱磚 | 6487.5 | 1017.5 | 13.6 |

(資料來源：本研究整理)

5. 模擬建物之整體用電結構比對分析

表 5-6 為模擬建物之整體用電結構比對表。建築物整體之用電結構可分類為：空調系統之冰水主機、空調系統之水泵與周邊、空調系統之冷卻水塔、室內照明、室內器具、一般通風等 6 大用電類別。由表可知，若以未鋪設隔熱磚原始屋頂之全年合計用電度數 103,797 仟度做為比對基準時，則磨石子 PS 隔熱磚之 102,499 仟度為最低值，且其空調耗能所佔比例 30.2% 亦為各試件之最低者，顯示具良好節能成效。

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

表 5-6 模擬建物之整體用電結構比對表

| 屋頂隔熱試件 | 原始屋頂：未鋪設隔熱材 | | 試件1：陶粒隔熱磚 | | 試件2：PS隔熱磚 | |
|--------------|--------------|----------|-------------|----------|-----------|----------|
| 用電項目 | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) |
| 空調-冰水主機 | 19,625 | 18.9 | 18,771 | 18.2 | 18,835 | 18.3 |
| 空調-水泵與周邊 | 12,048 | 11.6 | 12,012 | 11.7 | 12,010 | 11.7 |
| 空調-冷卻水塔 | 622 | 0.6 | 572 | 0.6 | 576 | 0.6 |
| 室內照明 | 55,372 | 53.3 | 55,372 | 53.8 | 55,372 | 53.8 |
| 室內器具 | 16,130 | 15.5 | 16,130 | 15.7 | 16,130 | 15.7 |
| 一般通風 | 2,187 | 2.1 | 2,187 | 2.1 | 2,187 | 2.1 |
| 總計(仟度) | 103,797 | | 102,857 | | 102,923 | |
| 屋頂隔熱試件 | 試件3：五腳隔熱磚 | | 試件4：斷熱陶隔熱磚 | | 試件5：隔熱石英磚 | |
| 用電項目 | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) |
| 空調-冰水主機 | 18,903 | 18.4 | 18,540 | 18.1 | 18,864 | 18.3 |
| 空調-水泵與周邊 | 12,016 | 11.7 | 11,969 | 11.7 | 12,013 | 11.7 |
| 空調-冷卻水塔 | 580 | 0.6 | 559 | 0.5 | 578 | 0.6 |
| 室內照明 | 55,372 | 53.8 | 55,372 | 54.0 | 55,372 | 53.8 |
| 室內器具 | 16,130 | 15.7 | 16,130 | 15.7 | 16,130 | 15.7 |
| 一般通風 | 2,187 | 2.1 | 2,187 | 2.1 | 2,187 | 2.1 |
| 總計(仟度) | 103,001 | | 102,570 | | 102,957 | |
| 屋頂隔熱試件 | 試件6：保麗龍隔熱磚 | | 試件7：橡膠隔熱磚 | | 試件8：板岩隔熱磚 | |
| 用電項目 | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) |
| 空調-冰水主機 | 18,955 | 18.4 | 18,825 | 18.3 | 18,853 | 18.3 |
| 空調-水泵與周邊 | 12,018 | 11.7 | 12,005 | 11.7 | 12,017 | 11.7 |
| 空調-冷卻水塔 | 583 | 0.6 | 575 | 0.6 | 577 | 0.6 |
| 室內照明 | 55,372 | 53.7 | 55,372 | 53.8 | 55,372 | 53.8 |
| 室內器具 | 16,130 | 15.7 | 16,130 | 15.7 | 16,130 | 15.7 |
| 一般通風 | 2,187 | 2.1 | 2,187 | 2.1 | 2,187 | 2.1 |
| 總計(仟度) | 103,058 | | 102,907 | | 102,949 | |
| 屋頂隔熱試件 | 試件9：磨石子PS隔熱磚 | | 試件10：磨石子隔熱磚 | | | |
| 用電項目 | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) | 用電量(仟度) | 耗能百分比(%) | | |
| 空調-冰水主機 | 18,488 | 18.0 | 18,579 | 18.1 | | |
| 空調-水泵與周邊 | 11,953 | 11.7 | 11,991 | 11.7 | | |
| 空調-冷卻水塔 | 556 | 0.5 | 561 | 0.5 | | |
| 室內照明 | 55,372 | 54.0 | 55,372 | 54.0 | | |
| 室內器具 | 16,130 | 15.7 | 16,130 | 15.7 | | |
| 一般通風 | 2,187 | 2.1 | 2,187 | 2.1 | | |
| 總計(仟度) | 102,499 | (最低) | 102,633 | | | |
| 空調耗能所佔比例 (%) | 未鋪設隔熱磚 | 31.1 | 陶粒隔熱磚 | 30.5 | PS隔熱磚 | 30.5 |
| | 五腳隔熱磚 | 30.6 | 斷熱陶隔熱磚 | 30.3 | 隔熱石英磚 | 30.6 |
| | 保麗龍隔熱磚 | 30.6 | 橡膠隔熱磚 | 30.5 | 板岩隔熱磚 | 30.5 |
| | 磨石子PS隔熱磚 | 30.2 | 磨石子隔熱磚 | 30.3 | | |

(資料來源：本研究整理)

6. 模擬建物之空調系統全年總用電量比對分析

表 5-7 為模擬建物之空調系統全年總用電量比對表。由表可知，若以未鋪設隔熱磚原始屋頂之空調系統全年總用電量 32,295 仟度做為比對基準時，

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

則磨石子 PS 隔熱磚之 30,997 仟度為最低值，全年共減少 1,298 仟度之空調耗電量，節能率為 4.02%，顯示具實質之節能改善成效。

表 5-7 模擬建物之空調系統全年總用電量比對表

| 屋頂隔熱試件 | 空調用電項目 | | | 總計 (仟度) | 節電量 (仟度) | 節約率 (%) |
|-----------------|--------|--------|------|------------|-------------|------------|
| | 冰水主機 | 水泵與周邊 | 冷卻水塔 | | | |
| | (仟度) | (仟度) | (仟度) | | | |
| 原始：未鋪設屋頂隔熱材 | 19,625 | 12,048 | 622 | 32,295 | 0 | 0 |
| 試件 1：陶粒隔熱磚 | 18,771 | 12,012 | 572 | 31,355 | 940 | 2.91 |
| 試件 2：PS 隔熱磚 | 18,835 | 12,010 | 576 | 31,421 | 874 | 2.71 |
| 試件 3：五腳隔熱磚 | 18,903 | 12,016 | 580 | 31,499 | 796 | 2.46 |
| 試件 4：斷熱陶隔熱磚 | 18,540 | 11,969 | 559 | 31,068 | 1,227 | 3.80 |
| 試件 5：隔熱石英磚 | 18,864 | 12,013 | 578 | 31,455 | 840 | 2.60 |
| 試件 6：保麗龍隔熱磚 | 18,955 | 12,018 | 583 | 31,556 | 739 | 2.29 |
| 試件 7：橡膠隔熱磚 | 18,825 | 12,005 | 575 | 31,405 | 890 | 2.76 |
| 試件 8：板岩隔熱磚 | 18,853 | 12,017 | 577 | 31,447 | 848 | 2.63 |
| 試件 9：磨石子 PS 隔熱磚 | 18,488 | 11,953 | 556 | 30,997 | 1,298 | 4.02 |
| 試件 10：磨石子隔熱磚 | 18,579 | 11,991 | 561 | 31,131 | 1,164 | 3.60 |

(資料來源：本研究整理)

第四節 屋頂隔熱磚經濟效益之綜合比對分析

本節將依據第三節所得模擬建物全年度空調系統用電量之計算結果，並納入台電電價計費標準，及各隔熱磚試件之設置成本資訊等，進行各試件之回收年限計算，以評估其具體之節能與經濟效益。本研究之經濟效益評估執行流程如圖 5-67 所示，提供參考。

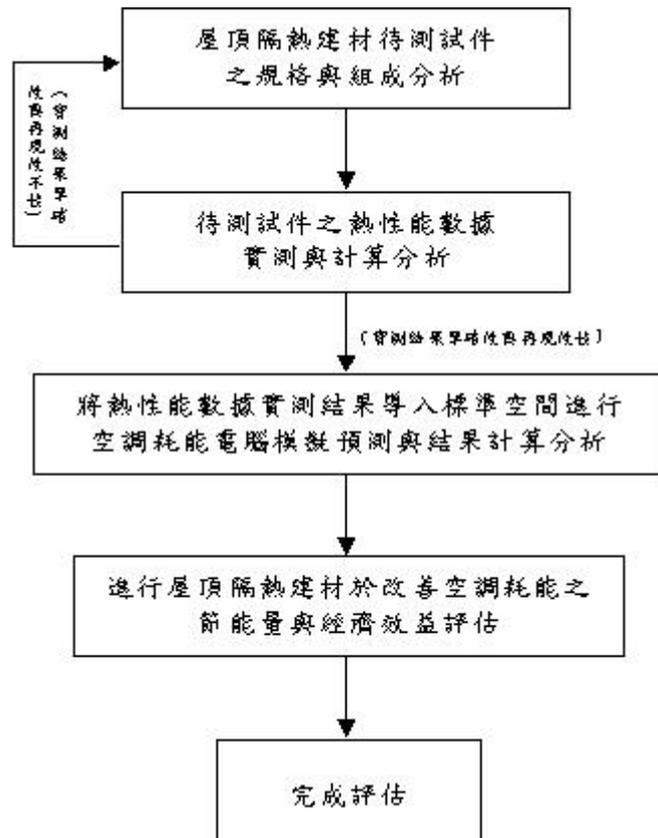


圖 5-67 屋頂隔熱磚之經濟效益評估流程圖

(資料來源：本研究整理)

首先進行全年空調電費節約量之計算與比對分析。表 5-8 為模擬建物之全年總空調電費與節電費量比對表。由表可知，若以未鋪設隔熱磚原始屋頂之全年總空調電費 6,646.3 萬元做為比對基準時，則磨石子 PS 隔熱磚之 6379.2 萬元為最低值，全年共減少 267.1 萬元之空調電費支出，具高度節約成效。

表 5-8 模擬建物之全年總空調電費與節電費量比對表

| 屋頂隔熱試件 | 全年總空調電費 | 全年電費節約量 |
|-----------------|-------------------------------------|---------|
| | (萬元) | (萬元) |
| 原始：未鋪設屋頂隔熱材 | 6,646.3 | 0 |
| 試件 1：陶粒隔熱磚 | 6,452.9 | 193.5 |
| 試件 2：PS 隔熱磚 | 6,466.4 | 179.9 |
| 試件 3：五腳隔熱磚 | 6,482.5 | 163.8 |
| 試件 4：斷熱陶隔熱磚 | 6,393.8 | 252.5 |
| 試件 5：隔熱石英磚 | 6,473.4 | 172.9 |
| 試件 6：保麗龍隔熱磚 | 6,494.2 | 152.1 |
| 試件 7：橡膠隔熱磚 | 6,463.1 | 183.2 |
| 試件 8：板岩隔熱磚 | 6,471.8 | 174.5 |
| 試件 9：磨石子 PS 隔熱磚 | 6,379.2 | 267.1 |
| 試件 10：磨石子隔熱磚 | 6,406.8 | 239.6 |
| 備註 | (依高壓兩段電價之夏月尖峰 時段電費計算：2.058 元/度) | |

(資料來源：本研究整理)

其次進行各隔熱磚試件之回收年限計算分析。本計算主要參酌實驗試件供應商所提供之單位面積材料費及單位面積工資等鋪設費用資訊，及表 5-8 所得之全年度節電費量分析結果，進而計算當各隔熱磚試件之回收年限。此處所列實驗試件之鋪設成本，主要適用於 7 樓以上辦公類建築之狀況，而其他不同樓層高度辦公大樓之屋頂隔熱鋪設成本則會因樓層高度不同而致施工工法與吊掛費用產生差異。

表 5-9 為各類型屋頂隔熱磚之回收年限計算結果表。由表可知，以磨石子 PS 隔熱磚之總投資成本約 71.6 萬元，每年可節省 267.1 萬元之空調電費，因此約在 3.2 個月左右即可回收，回收期限不到 1 年，為本研究 10 類型隔熱磚中回收年限最短者，具有最高之經濟效益。而回收期限最長者為隔熱石英磚，約為 7.2 個月，但仍可維持在 1 年內即可回收，故顯示全部 10 類型之隔熱磚均具有實質之改善屋頂隔熱，及發揮節電經濟效益之功用，本研究結果

第五章 屋頂隔熱磚節能效益之電腦模擬與經濟效益分析

將可提供未來相關研究與應用之重要參考依據。

表 5-9 各類型屋頂隔熱磚之回收年限計算結果表

| 屋頂隔熱試件 | 單位面積 材料費 | 單位面積 工資 | 電腦模擬建 物屋頂面積 | 總鋪設 費用 | 全年電費 節約量 | 回收 年限 |
|-----------------|---------------------|---------------------|-------------------|-----------|-------------|----------|
| | (元/m ²) | (元/m ²) | (m ²) | (萬元) | (萬元) | (月) |
| 試件 1：陶粒隔熱磚 | 605 | 90 | 1,208 | 83.9 | 193.5 | 5.2 |
| 試件 2：PS 隔熱磚 | 190 | 260 | 1,208 | 54.3 | 179.9 | 3.6 |
| 試件 3：五腳隔熱磚 | 245 | 120 | 1,208 | 44.1 | 163.8 | 3.2 |
| 試件 4：斷熱陶隔熱磚 | 680 | 120 | 1,208 | 96.6 | 252.5 | 4.6 |
| 試件 5：隔熱石英磚 | 550 | 310 | 1,208 | 103.9 | 172.9 | 7.2 |
| 試件 6：保麗龍隔熱磚 | 135 | 260 | 1,208 | 47.7 | 152.1 | 3.8 |
| 試件 7：橡膠隔熱磚 | 600 | 130 | 1,208 | 88.2 | 183.2 | 5.8 |
| 試件 8：板岩隔熱磚 | 331 | 151 | 1,208 | 58.2 | 174.5 | 4.0 |
| 試件 9：磨石子 PS 隔熱磚 | 442 | 151 | 1,208 | 71.6 | 267.1 | 3.2 |
| 試件 10：磨石子隔熱磚 | 387 | 151 | 1,208 | 65.0 | 239.6 | 3.3 |
| 備 註 | | (以 7 樓以上之辦公大樓需求評估) | | | | |

(資料來源：本研究整理)

第五節 常用屋頂隔熱建材熱性能資料庫之更新與升級

本所已於 93、94 年度相關研究案相繼完成：泡沫混凝土（共有 3 種發泡量）、水泥混合隔熱膠凝結之隔熱磚（共有 1:2 及 1:4 等 2 種不同類型）、發泡玻璃、陶粒隔熱磚等 4 類型（合計 7 個建材）屋頂隔熱建材之隔熱性能數據，主要包含：熱傳導係數、比熱、熱擴散係數等，並建立初步之本土化常用屋頂隔熱建材熱性能資料庫表。

如將上述已完成之 7 個屋頂隔熱建材熱性能資料庫，再結合本（95）年度新完成之 9 類型隔熱磚隔熱性能數據，共計已獲得 16 種屋頂隔熱建材本土化之隔熱性能數據，將可大幅強化並充實我國常用屋頂隔熱建材之隔熱性能資料庫。

將上述 16 種屋頂隔熱建材隔熱性能數據綜合彙整後，可得表 5-10 及 5-11 之常用屋頂隔熱建材熱性能資料庫。依據 16 種屋頂隔熱建材之結構組成與特性，更新升級後之隔熱性能資料庫可區分為兩大類別，第一大類為「單一均質類」（表 5-10），主要包含：泡沫混凝土（高發泡量）、泡沫混凝土（中發泡量）、泡沫混凝土（低發泡量）、發泡玻璃、水泥混合隔熱膠凝結之隔熱磚（混合比 1:2）、水泥混合隔熱膠凝結之隔熱磚（混合比 1:4）、五腳隔熱磚、斷熱陶隔熱磚等 8 種屋頂隔熱產品。第二大類為「複合類」（表 5-11），主要包含：陶粒隔熱磚、PS 隔熱磚、隔熱石英磚、保麗龍隔熱磚、橡膠隔熱磚、板岩隔熱磚、磨石子 PS 隔熱磚、磨石子隔熱磚等 8 種屋頂隔熱產品。單一均質類別產品之隔熱性能數據，因自身產品內部並未存在不同材質之熱傳導介面，故數據種類僅為熱傳導係數、比熱、熱擴散係數、密度等 4 種。若為複合類別，則因具有不同均質材料間之熱傳導介面，故除分別詳列內部個別均質組成成分之隔熱性能數據外，另外再增加該屋頂隔熱產品整體複合後之「總熱傳導率」U 值，提供綜合性之參考。

表 5-10 常用屋頂隔熱建材之熱性能資料庫表 (單一均質類)

| 產品型態 | 編號 | 產品名稱 | 組成之均質 材質 | 熱傳導係數 (W/mK) | 比熱 (J/m ³ K) | 熱擴散係數 (m ² /s) | 密度 (g/cm ³) | 複合後總 熱傳導率 (J/m ² °C) | | 備註 |
|------|------|---------------------------|-------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------|----|
| | | | | | | | | | | |
| 單一均質 | HG01 | 泡沫混凝土 (高發泡量) | (同左) | 0.243 | 0.967×10^6 | 0.251×10^{-6} | 0.5462 | 無 | (93年度) | |
| 單一均質 | HG02 | 泡沫混凝土 (中發泡量) | (同左) | 0.233 | 1.057×10^6 | 0.221×10^{-6} | 0.5727 | 無 | (93年度) | |
| 單一均質 | HG03 | 泡沫混凝土 (低發泡量) | (同左) | 0.227 | 1.01×10^6 | 0.226×10^{-6} | 0.6334 | 無 | (93年度) | |
| 單一均質 | HG04 | 發泡玻璃 | (同左) | 0.046 | 0.162×10^6 | 0.288×10^{-6} | 0.13 | 無 | (93年度) | |
| 單一均質 | HG05 | 水泥混合隔熱膠凝結 之隔熱磚(混合比1:2) | (同左) | 0.526 | 0.491×10^6 | 1.07×10^{-6} | 0.7 | 無 | (93年度) | |
| 單一均質 | HG06 | 水泥混合隔熱膠凝結 之隔熱磚(混合比1:4) | (同左) | 0.112 | 0.203×10^6 | 0.553×10^{-6} | 0.6 | 無 | (93年度) | |
| 單一均質 | HG07 | 五腳隔熱磚 | 水泥 | 1.64 | 1.69×10^6 | 0.97×10^{-6} | 2.2 | 1.984 (含空氣層) | (95年度) | |
| 單一均質 | HG08 | 斷熱陶隔熱磚 | 斷熱陶 | 0.631 | 1.46×10^6 | 0.432×10^{-6} | 2 | 1.867 (含空氣層) | (95年度) | |

(註：HG代表Homogeneous)

(資料來源：本研究整理)

表 5-11 常用屋頂隔熱建材之熱性能資料庫表 (複合類)

| 產品型態 | 編號 | 產品名稱 | 組成之均質材質 | 熱傳導係數 (W/mK) | 比熱 (J/m ³ K) | 熱擴散係數 (m ² /s) | 密度 (g/cm ³) | 複合後總熱傳導率 (J/m ² °C) | 備註 |
|------|------|----------|---------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 複合 | CP01 | 陶粒隔熱磚 | 水泥層 | 1.64 | 1.69×10 ⁶ | 0.970×10 ⁻⁶ | 2.2 | 2.656 | (94年度) |
| | | | 陶粒層 | 0.323 | 0.430×10 ⁶ | 0.744×10 ⁻⁶ | 0.5 | | |
| 複合 | CP02 | PS隔熱磚 | 水泥層 | 2.2 | 2.00×10 ⁶ | 1.1×10 ⁻⁶ | 2.2 | 1.672 | (95年度) |
| | | | PS高密度 聚氯乙稀 | 0.0391 | 0.14×10 ⁶ | 0.282×10 ⁻⁶ | 0.035 | | |
| 複合 | CP03 | 隔熱石英磚 | 石英層 | 1.69 | 1.89×10 ⁶ | 0.89×10 ⁻⁶ | 2.4 | 3.794 | (95年度) |
| | | | PS高密度 聚氯乙稀 | 0.0403 | 0.157×10 ⁶ | 0.256×10 ⁻⁶ | 0.035 | | |
| 複合 | CP04 | 保麗龍隔熱磚 | 水泥層 | 2.2 | 2.00×10 ⁶ | 1.1×10 ⁻⁶ | 2.2 | 1.883 | 與CP02共用 (95年度) |
| | | | 低密度 聚氯乙稀 | 0.0489 | 0.063×10 ⁶ | 0.749×10 ⁻⁶ | 0.024 | | |
| 複合 | CP05 | 橡膠隔熱磚 | 橡膠層 | 0.207 | 0.654×10 ⁶ | 0.316×10 ⁻⁶ | 0.99 | 1.265 | (95年度) |
| | | | PS高密度 聚氯乙稀 | 0.0367 | 0.14×10 ⁶ | 0.261×10 ⁻⁶ | 0.035 | | |
| 複合 | CP06 | 板岩隔熱磚 | 水泥層 | 2.2 | 2.00×10 ⁶ | 1.1×10 ⁻⁶ | 2.2 | 3.176 | 與CP02共用 (95) |
| | | | 保麗龍球層 | 0.161 | 1.183×10 ⁶ | 0.136×10 ⁻⁶ | 0.545 | | |
| 複合 | CP07 | 磨石子PS隔熱磚 | 磨石子層 | 1.59 | 1.94×10 ⁶ | 0.82×10 ⁻⁶ | 1.097 | 1.183 | 與CP06共用 與CP02共用 |
| | | | 保麗龍球層 | 0.161 | 1.183×10 ⁶ | 0.136×10 ⁻⁶ | 0.545 | | |
| | | | PS高密度 聚氯乙稀 | 0.0391 | 0.14×10 ⁶ | 0.282×10 ⁻⁶ | 0.035 | | |
| 複合 | CP08 | 磨石子隔熱磚 | 磨石子層 | 1.59 | 1.94×10 ⁶ | 0.82×10 ⁻⁶ | 1.097 | 2.425 | 與CP07共用 與CP06共用 |
| | | | 保麗龍球層 | 0.161 | 1.183×10 ⁶ | 0.136×10 ⁻⁶ | 0.545 | | |

(註：CP代表Compound)

(資料來源：本研究整理)

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究依據去(94)年度「屋頂建材隔熱性能實測與其經濟效益分析研究(一)」自行研究計畫所建立之節能改善工程實務預測與經濟效益評估之標準化解析模式，亦即利用本所性能實驗群熱環境實驗室對實驗試件進行隔熱性能數據實測，再將該實測值導入辦公類標準示範空間進行全年空調系統負荷與耗電量電腦模擬預測，以獲得建築物在未使用與使用屋頂隔熱建材後空調負荷與整體耗電量數值，進而進行兩者之比對分析。本研究之主要結論如下五點。

- 一、屋頂隔熱建材熱性能實測方面，本研究擇定9種隔熱磚產品做為實測樣本(PS隔熱磚、五腳隔熱磚、斷熱陶隔熱磚、石英隔熱磚、保麗龍隔熱磚、橡膠隔熱磚、板岩隔熱磚、磨石子PS隔熱磚、磨石子隔熱磚)，由實測過程中發現應詳細了解待測試件之組成成分、尺寸與厚度要求、儀器標準操作程序、誤差與校正方式等，方可量出具有代表性之實測數據。
- 二、9類型隔熱磚產品之隔熱層種類合計有：傳統水泥層、PS層(高密度聚氣乙烯)、斷熱陶層、高壓混凝土層、石英磚層、保麗龍層(低密度聚氣乙烯)、再生橡膠層、保麗龍球層等7種，由熱性能數據實測結果顯示，熱傳導係數k值(數值越低者佳)以PS層(0.0367 W/mK)最低，傳統水泥層(2.2 W/mK)最高。比熱方面則以保麗龍層(0.063×10^6 J/m³K)最低，傳統水泥層(2.0×10^6 J/m³K)最高。
- 三、在總熱傳導率U值計算分析方面，各隔熱磚之整體熱傳導率U值(數值越低者佳)以磨石子PS隔熱磚(1.183 W/m²°C)最低，隔熱石英磚(3.794 W/m²°C)最高。而原始水泥屋頂結構結合隔熱磚後之整體熱傳導率U值方面以(磨石子PS隔熱磚+原始屋頂)，及(橡膠隔熱磚+原始屋頂)兩者最低，均為0.205 W/m²°C，U值改善率可達12.2%。(隔熱石英磚+原始屋頂)則最高(0.230 W/m²°C)，U值改善率僅1.4%。
- 四、由電腦模擬之節能效益分析結果顯示，以屋頂鋪設磨石子PS隔熱磚時節能效果較佳，其全年空調系統耗電量最低，為30,997仟度，與未鋪設隔

屋頂建材隔熱性能實測與節能效益分析研究

熱磚時原始狀態之空調用電 32,295 仟度相比，全年共減少 1,298 仟度，節能率為 4.02%，並可產生每年約 267.1 萬元之空調電費節約，節能成效顯著。

五、在經濟效益評估方面，經由廠商提供之投資成本資訊，計算分析獲得鋪設磨石子PS隔熱磚時，初期需投入 71.6 萬元，故在 3.2 個月左右即可回收，回收期限不到 1 年，為本研究 10 類型隔熱磚中回收年限最短者，具有最高之經濟效益。然事實上，回收期限最長之隔熱石英磚（7.2 個月）亦可維持在 1 年內即可回收，故顯示全部 10 類型之隔熱磚均具有實質之改善屋頂隔熱及節電功效，極具投資之經濟效益。

另本案藉由 93、94 年度已完成之 7 個屋頂隔熱建材熱性能資料庫，再結合本年度之研究成果，共計已獲得 16 種屋頂隔熱建材本土化之隔熱性能數據，故針對 94 年度初步建立之常見之屋頂建材隔熱性能資料庫進行更新與升級，整合後之資料庫可區分為「單一均質類」與「複合類」兩大類別，由該資料庫表可充分獲得隔熱建材之屬性、組成成分、熱傳導係數、比熱、熱擴散係數、密度、總熱傳導率等資訊，且各資訊均具有高度準確性，可供設計師與建築、空調業界等相關建材使用者之實用參考。

經由本案之詳實研究，完成內容豐富之常見屋頂建材之隔熱性能資料庫，及其節能與經濟效益評估，並以數據來印證各廠商產品所宣稱之提昇隔熱效果之功效，除可提供國內業界開發相關屋頂隔熱產品性能與經濟效益評估及未來相關研究與應用工作極佳之參考外，並可做為未來建築技術規則推廣與管理建築物屋頂隔熱性能具體且務實之重要依據。

第二節 建議

建議一

後續應針本年度研究成果中較具特別屬性之隔熱磚（如具最佳節能預測成效之磨石子 PS 隔熱磚、具再生建材特性之橡膠隔熱磚、等）進行空調節能效益之全尺度實驗印證：立即可行建議。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：國立高雄第一科技大學

本年度研究成果中，隔熱性能方係由實測方式獲得，至於空調節電量及節能率方面，則以電腦模擬方式進行，雖是以台灣地區氣象資料為基本模擬背景及條件，但其結果仍缺乏以實體物件進行現場實驗測試加以印證或修正，因此仍有具有相當程度之進步空間，及持續研究之必要。故建議利用本所性能實驗中心 95 年度新建置完成之節能實驗屋，進行電腦模擬與全尺度比對實驗，並以網路化電力監控系統進行長期性之動態紀錄，最後進行監測數據之計算分析。

建議二

建議相關主管機關推廣利用本案件建立之屋頂建材隔熱性能資料庫，並納入建築技術規則加強宣導使用以進行有效管理：中長期建議。

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

本研究成果建立內容豐富之常見屋頂建材隔熱性能資料庫，並經電腦模擬計算結果顯示，屋頂隔熱具實質經濟效益，約於 1 年內即可回收，回收期限甚短，因此建議相關主管機關善加利用屋頂隔熱建材隔熱性能資料庫，並納入建築技術規則加強推廣使用及進行有效管理。

參考書目

中文部分

1. 中國國家標準 CNS 9960, “住宅用隔熱材料之隔熱性能試驗法”, 民國 72 年。
2. 中國國家標準 CNS 7333, “隔熱材料之導熱係數測定法”, 民國 70 年。
3. 中國國家標準 CNS 8081, “建築用組件(嵌板)性能測試法”, 民國 70 年。
4. 蕭江碧、林憲德和陳寒濤, “建材性能檢測分析實驗研究—子計劃 1. 建築外殼建材隔熱性能實驗”, 內政部建築研究所研究計劃成果報告, 民國 91 年。
5. 蕭江碧、林憲德和陳寒濤, “建材性能檢測分析實驗研究—子計劃 1. 建築外殼建材之隔熱性能評估研究”, 內政部建築研究所研究計劃成果報告, 民國 92 年。
6. “建築節約能源設計技術規範與實例(辦公類)”, 內政部營建署, 民國 92 年。
7. 張恭銘、呂文弘, “建築外殼與玻璃隔熱性能改善之研究-建築屋頂隔熱性能驗證研究”, 內政部建築研究所研究計劃成果報告, 民國 92 年。
8. 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。

9. 王佑萱，“建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析”，內政部建築研究所自行研究計劃報告，民國 93 年。
10. 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。
11. 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。

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. ASTM Standard C 518, “Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.”
3. ASTM Standard C 1113, “Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique).”
4. ASTM Standard C177, ” Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus.”
5. ASTM Standard E1530, “Guarded Heat Flow Meter Test Method.”
6. “ISOMET 2104 USER’S GUIDE” , Applied Precision, 2004.

7. “UNITHERM™ 2022 THERMAL CONDUCTIVITY MEASURING SYSTEM USER’S GUIDE”, Anter Corporation, 2004.
8. “Thermal Properties Analyzer APT-P01 USER’S GUIDE”, Applied Precision, 2004.
9. Xin-Gang Liang, “The boundary induced error on the measurement of thermal conductivity by transient hoe wire method”, Meas. Sci. Technol. 6(1995) , 467~471.
10. L. Kubicar, C. Bohac, “A step-wise method for measuring thermophysical parameters of materials”, Meas. Sci. Tech. 11(2000) 252-258.
11. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., “ASHRAE Handbook”, 1993.
12. JJH & Associates, D. J.Borstein & Associates “PowerDOE™ Quick start Guide”, Electric Power Research Institute.
13. JJH & Associates, D. J.Borstein & Associates “PowerDOE™ Input Tutorial”, Electric Power Research Institute.