

# 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  
中華民國 93 年 12 月

建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

093-301070000-G2017

# 「建築物屋頂單一建材之 隔熱性能研究與檢測方法分析」

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 93 年 12 月

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF INTERIOR  
RESEARCH PROJECT REPORT

The Study of Thermal Properties and  
Evaluating Method for  
the Single Roof Construction Material  
of the Building Envelope

BY

You Hsuan Wang

December 31, 2004



## 目次

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| 目次.....                              | I      |
| 表次.....                              | III    |
| 圖次.....                              | V      |
| 摘要.....                              | IX     |
| <br>第一章 緒論.....                      | <br>1  |
| 第一節 研究緣起與背景.....                     | 1      |
| 第二節 研究方法與流程.....                     | 4      |
| 第三節 預期成果.....                        | 6      |
| <br>第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析 .....    | <br>7  |
| 第一節 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀(ISOMET 2104)..... | 7      |
| 第二節 建材隔熱性能量測儀(Unitherm 2022).....    | 22     |
| 第三節 固定式熱傳導係數與比容量測儀—APT-P01.....      | 44     |
| 第四節 單一建材熱傳導係數檢測儀器之量測理論分析 .....       | 55     |
| 第五節 單一建材熱傳導係數檢測儀器之精度校正分析 .....       | 58     |
| <br>第三章 屋頂單一建材隔熱性能之量測結果與分析 .....     | <br>61 |
| 第一節 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀實務檢測技術<br>之建立..... | 61     |
| 第二節 泡沫混凝土隔熱性能量測結果與分析 .....           | 64     |
| 第三節 隔熱磚隔熱性能量測結果與分析 .....             | 67     |
| 第四節 發泡玻璃隔熱性能量測結果與分析 .....            | 69     |
| 第五節 常用屋頂隔熱建材隔熱性能量測結果之綜合<br>比對分析..... | 71     |

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 第四章 屋頂單一建材隔熱性能檢測結果之實務應用與計算分析                      | 73 |
| 第一節 屋頂單一建材隔熱性能檢測結果對於改善建物屋頂<br>隔熱效果之電腦模擬應用分析 ..... | 73 |
| 第二節 不同種類屋頂隔熱建材經濟效益之交叉比對分析...                      | 79 |
| 第五章 結論與建議.....                                    | 81 |
| 第一節 結論 .....                                      | 81 |
| 第二節 建議 .....                                      | 82 |
| 參考書目 .....                                        | 83 |

## 表 次

|        |                                          |
|--------|------------------------------------------|
| 表 2-1  | 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀探測計之量測範圍 ....9             |
| 表 2-2  | 試片一 (Extruded polystyrene) 量測結果.....17   |
| 表 2-3  | 試片二 (Cork) 量測結果.....19                   |
| 表 2-4  | 試片三(Marble)量測結果 .....20                  |
| 表 2-5  | 試片一 (Borosilicate Glass) 量測與比對結果 .....32 |
| 表 2-6  | 試片二 (Stainless Steel) 量測與比對結果.....34     |
| 表 2-7  | 試片三 (Vespel) 量測與比對結果.....36              |
| 表 2-8  | 試片四 (Vespel) 量測與比對結果.....38              |
| 表 2-9  | 試片五(Ceramic)量測與比對結果 .....40              |
| 表 2-10 | 試片六(Ceramic)量測與比對結果 .....42              |
| 表 2-11 | 固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀測試範圍 .....44            |
| 表 2-12 | 試片一 (Glass G09) 量測結果 .....50             |
| 表 2-13 | 試片二 (Mineral M22) 量測結果 .....52           |
| 表 2-14 | 試片三 (PMM acrylate) 量測結果.....53           |
| 表 3-1  | 厚度參數之量測結果.....62                         |
| 表 3-2  | 放置條件參數之量測結.....63                        |
| 表 3-3  | 三種泡沫混凝土之特性表.....65                       |
| 表 3-4  | 一號泡沫混凝土試件之熱性能量測結果表 .....65               |
| 表 3-5  | 二號泡沫混凝土試件之熱性能量測結果表 .....66               |
| 表 3-6  | 三號泡沫混凝土試件之熱性能量測結果表 .....66               |
| 表 3-7  | 兩種隔熱磚之特性表.....67                         |
| 表 3-8  | 一號隔熱磚試件之熱性能量測結果表 .....68                 |
| 表 3-9  | 二號隔熱磚試件之熱性能量測結果表 .....68                 |

|        |                             |    |
|--------|-----------------------------|----|
| 表 3-10 | 發泡玻璃試件之熱性能量測結果表 .....       | 70 |
| 表 3-11 | 各種屋頂單一隔熱建材熱性能數據之綜合比對表 ..... | 71 |
| 表 4- 1 | 屋頂單一隔熱建材隔熱效果之電腦模擬綜合分析結果表 .  | 78 |
| 表 4-2  | 屋頂隔熱材隔熱效果與設置成本比對表 .....     | 79 |

## 圖 次

|        |                                                         |    |
|--------|---------------------------------------------------------|----|
| 圖 1-1  | 研究流程與步驟.....                                            | 5  |
| 圖 2-1  | 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀外觀 .....                                  | 8  |
| 圖 2-2  | 探針式探測計 .....                                            | 8  |
| 圖 2-3  | 表面接觸探測計 .....                                           | 8  |
| 圖 2-4  | 電源線、探測計與 ISOMET 主機連接 .....                              | 11 |
| 圖 2-5  | ISOMET 主機利用 RS232 與電腦連接 .....                           | 11 |
| 圖 2-6  | ISOMET 主機連接完成圖 .....                                    | 12 |
| 圖 2-7  | 針狀探測計 .....                                             | 12 |
| 圖 2-8  | 表面接觸探測計 .....                                           | 12 |
| 圖 2-9  | ISOMET 主機正面功能鍵（量測中） .....                               | 12 |
| 圖 2-10 | ISOMET 主機量測完畢之數據顯示 .....                                | 12 |
| 圖 2-11 | 電腦擷取量測結果.....                                           | 12 |
| 圖 2-12 | ISOMET 使用說明流程圖.....                                     | 13 |
| 圖 2-13 | ISOMET 電腦擷取軟體開啟主畫面 .....                                | 14 |
| 圖 2-14 | 電腦連接阜之設定.....                                           | 15 |
| 圖 2-15 | ISOMET 型號與軟體說明視窗.....                                   | 15 |
| 圖 2-16 | 原廠所附之標準試片（Extruded polystyrene、Cork、Marble HOR03） ..... | 16 |
| 圖 2-17 | 試片一量測示意圖.....                                           | 17 |
| 圖 2-18 | 試片一原廠測試報告.....                                          | 18 |
| 圖 2-19 | 試片二（Cork）量測中.....                                       | 18 |
| 圖 2-20 | 試片二(Cork)原廠測試報告 .....                                   | 19 |
| 圖 2-21 | 試片三(Marble)量測中 .....                                    | 20 |

|        |                                     |    |
|--------|-------------------------------------|----|
| 圖 2-22 | 試片三(Marble)原廠測試報告 .....             | 21 |
| 圖 2-23 | 銅製間隔環.....                          | 22 |
| 圖 2-24 | 硬樹脂間隔環.....                         | 23 |
| 圖 2-25 | 恆溫槽進水與出水口之位置.....                   | 23 |
| 圖 2-26 | 溫控開關.....                           | 24 |
| 圖 2-27 | 以手指輕拍試件.....                        | 24 |
| 圖 2-28 | 確認均勻塗覆.....                         | 24 |
| 圖 2-29 | 間隔環表面.....                          | 25 |
| 圖 2-30 | 旋鈕固定在”Move”和”Down”的位置.....          | 25 |
| 圖 2-31 | 旋鈕固定在 Free 的位置.....                 | 26 |
| 圖 2-32 | 用手調整樣本.....                         | 26 |
| 圖 2-33 | 操控旋鈕將試片完全固定.....                    | 26 |
| 圖 2-34 | 試件放置在防護蓋內.....                      | 26 |
| 圖 2-35 | 試件安裝完成圖.....                        | 26 |
| 圖 2-36 | Unitherm 2022 主視窗 .....             | 27 |
| 圖 2-37 | 冰水壓縮機開關.....                        | 30 |
| 圖 2-38 | 恆溫水槽溫控開關.....                       | 30 |
| 圖 2-39 | 恆溫水槽泵浦.....                         | 30 |
| 圖 2-40 | Unitherm 2022 主電源開關.....            | 31 |
| 圖 2-41 | Unitherm 2022 加熱器開關.....            | 31 |
| 圖 2-42 | 即時量測記錄.....                         | 31 |
| 圖 2-43 | 試片一（Borosilicate Glass） .....       | 32 |
| 圖 2-44 | 試片一（Borosilicate Glass）原廠測試報告 ..... | 33 |
| 圖 2-45 | 試片一（Borosilicate Glass）量測結果比對 ..... | 34 |
| 圖 2-46 | 試片二（Stainless Steel） .....          | 34 |

|        |                                   |    |
|--------|-----------------------------------|----|
| 圖 2-47 | 試片二 (Stainless Steel)原廠測試報告 ..... | 35 |
| 圖 2-48 | 試片二(Stainless Steel)量測結果比對 .....  | 35 |
| 圖 2-49 | 試片三 (Vespel) .....                | 36 |
| 圖 2-50 | 試片三(Vespel)原廠測試報告 .....           | 37 |
| 圖 2-51 | 試片三(Vespel)量測結果比對 .....           | 37 |
| 圖 2-52 | 試片四(Vespel) .....                 | 38 |
| 圖 2-53 | 試片四(Vespel)原廠測試報告 .....           | 39 |
| 圖 2-54 | 試片四(Vespel)量測結果比對 .....           | 39 |
| 圖 2-55 | 試片五(Ceramic) .....                | 40 |
| 圖 2-56 | 試片五(Ceramic)原廠測試報告 .....          | 41 |
| 圖 2-57 | 試片五(Ceramic)量測結果比對 .....          | 41 |
| 圖 2-58 | 試片六(Ceramic) .....                | 42 |
| 圖 2-59 | 試片六(Ceramic)原廠測試報告 .....          | 43 |
| 圖 2-60 | 試片六(Ceramic)量測結果比對 .....          | 43 |
| 圖 2-61 | APT-P01 外觀構造圖 .....               | 45 |
| 圖 2-62 | APT-P01 主機之外觀圖 .....              | 47 |
| 圖 2-63 | 電源連接線.....                        | 47 |
| 圖 2-64 | APT-P01 與電腦連線 .....               | 47 |
| 圖 2-65 | 開啟 APT-P01 主機之電源 .....            | 47 |
| 圖 2-66 | 設定測試室溫度.....                      | 47 |
| 圖 2-67 | 試片放置於測試室.....                     | 47 |
| 圖 2-68 | 旋轉開關至下方.....                      | 48 |
| 圖 2-69 | 將頂蓋下降至底部.....                     | 48 |
| 圖 2-70 | APT-P01 量測數據顯示 .....              | 48 |
| 圖 2-71 | 電腦擷取量測結果.....                     | 48 |

|        |                                           |    |
|--------|-------------------------------------------|----|
| 圖 2-72 | 標準試片 (Glass G09、Mineral M22、PMM acrylate) | 49 |
| 圖 2-73 | 試片一 (Glass G09)                           | 50 |
| 圖 2-74 | 試片一(Glass G09)原廠測試報告                      | 51 |
| 圖 2-75 | 試片二 (Mineral M22)                         | 51 |
| 圖 2-76 | 試片二(Mineral M22)原廠測試報告                    | 52 |
| 圖 2-77 | 試片三 (PMM acrylate)                        | 53 |
| 圖 2-78 | 試片三(PMM acrylate)原廠測試報告                   | 54 |
| 圖 2-79 | 保護熱流計法量測物體之熱傳導係數示意圖                       | 57 |
| 圖 2-80 | 保護熱流計法之校正分析                               | 57 |
| 圖 2-81 | 量測示意圖                                     | 58 |
| 圖 2-82 | 校正曲線圖                                     | 59 |
| 圖 2-83 | 由校正曲線求出試件熱傳導係數                            | 59 |
| 圖 3-1  | 玻璃試件樣本                                    | 61 |
| 圖 3-2  | 泡沫混凝土試件之近照                                | 64 |
| 圖 3-3  | 隔熱磚試件之近照                                  | 67 |
| 圖 3-4  | 發泡玻璃試件之近照                                 | 69 |
| 圖 4-1  | 標準 RC 材質之電腦模擬物性條件                         | 73 |
| 圖 4-2  | 泡沫混凝土材質之電腦模擬物性條件                          | 74 |
| 圖 4-3  | 隔熱磚材質之電腦模擬物性條件                            | 74 |
| 圖 4-4  | 發泡玻璃材質之電腦模擬物性條件                           | 75 |
| 圖 4-5  | 標準 RC 結構之熱傳特性電腦模擬結果                       | 75 |
| 圖 4-6  | RC+泡沫混凝土結構之熱傳特性電腦模擬結果                     | 76 |
| 圖 4-7  | RC+隔熱磚結構之熱傳特性電腦模擬結果                       | 76 |
| 圖 4-8  | RC+發泡玻璃結構之熱傳特性電腦模擬結果                      | 77 |

## 第一章 緒論

## 摘 要

關鍵詞：建築外殼、熱傳導係數、屋頂隔熱、電腦模擬

### 一、研究緣起

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。為了配合節約能源法規執行需要，本所成立建築外殼建材隔熱性能實驗室，以期能檢測各種不同隔熱性能之建築材料的特性，提供具有公信力之檢測服務。本研究為延續九十二年度「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」的研究成果，進入更深與更廣之研究與應用階段。

### 二、研究方法及過程

本研究乃根據本所在本年度所購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以及固定式熱傳導係數與比容量測儀來量測及分析各種不同型式之單一建築外殼材料的熱傳導係數（Effective thermal conductivity）與體積熱容量（Volume heat capacity）。為使本研究所建立之隔熱性能檢測結果符合國際標準，研究方法均參考國際標準機構（International Organization for Standardization, ISO）、美國測試與材料協會（American Society for Testing and Materials, ASTM）以及中華民國實驗室認證體系之相關規範。經由本研究選定目前市面上常用屋頂隔熱建材作為實驗主體所建立各儀器之單一建築外殼建材隔熱性能檢測標準試驗方法及程序後，並建立屋頂單一隔熱建材之隔熱性能重要數據，可對常用屋頂隔熱建材進行實務性提升屋頂格熱效果之電腦模擬計算分析及性能評估與經濟效益分析等。

### 三、重要發現

本研究於執行期間，業已完成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三台儀器之安裝與設置，並且藉由標準試件之量測完成屋頂單一建材之隔熱性能檢測結果分析。研究成果分述如下：

- (1) 彙整比較各國建築外殼建材之相關隔熱性能檢測之研究成果。
- (2) 彙整比較各國建築外殼建材之相關隔熱性能檢測之標準。
- (3) 建立建材隔熱性能量測儀器之試驗方法及程序。
- (4) 完成泡沫混凝土、隔熱磚、發泡玻璃等三種屋頂單一建材之隔熱性能數據量測。
- (5) 完成熱性能實測數據之電腦模擬計算分析，並獲得在實務應用上之隔熱改善效果。
- (6) 完成納入各隔熱材設置成本之經濟效益評估。

### 四、主要建議事項

由經濟效益評估結果顯示，本研究三種屋頂隔熱材在隔熱效果、價格、施工方便性、產品生命週期上有各自之優勢，使用者應依據自身實際需求加以評估後採用。另本研究之成果，除可提供國內有屋頂隔熱需求民眾極佳之選擇參考外，將可作為未來針對屋頂隔熱綠建材熱性能資料庫建立與檢測工作良好之示範性研究。

## 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，經建會已將「綠建築」納入「城鄉永續發展政策」之執行重點，本所亦提中「綠建築與居住環境科技」計畫，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。

本所積極建立綠建築九大評估指標，並推動綠建築標章制度，目前行政院即將予以法制化，成為普遍性的建築常規，所以建材也應積極朝向綠化目標前進，才能相輔相成，達到相得益彰的效果。為了推廣具有建築環保性能的綠建材，同時帶動國內建材產業升級革命，本所鎖定四類綠建材，作為核發高性能綠建材標章的對象，而「隔熱綠建材」便是其中一項。

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。為了配合節約能源法規執行需要，本所成立建築外殼建材隔熱性能實驗室，以期能檢測各種不同隔熱性能之建築材料的特性，提供具有公信力之檢測服務。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  $0.3 \sim 0.03 \text{ W/m-K}$ 。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，目前國內並無相關之屋頂建材隔熱性能認證機構，以致於國內廠商需要將新產品送至國外認證機構方可檢測。因此經由一系列之建築材料熱傳導係數的量測，以建立台灣本土建築屋頂建材之隔熱性能資料庫已是當務之急的工作。也可藉此屋頂隔熱建材資料庫來提昇國內建築之省能效益，以朝向綠建築的目標前進。

空調型建築之節能指標為建築物外殼耗能指標 ENVLOAD，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 均與建築物外殼之外殼熱傳遞率  $U_i$  有關。

$$ENVLOAD = a_0 + a_1 \times G + a_2 \times L \times DH + a_3 \times \sum Mk \times IHk$$

其中：L 代表建築外殼的熱損失係數

Mk 代表日射取得係數。

$$\text{而外殼熱傳遞率 } U_i \text{ 之公式為 } U_i = \frac{1}{1/h_0 + \sum dx/K_x + ra + 1/h_i}$$

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。因此，本研究之研究重點即是建立屋頂單一隔熱建材之熱傳導係數量測設備與量測程序，並實際檢測與計算分析。

在隔熱性能方面，目前普遍使用的檢測方法有四種，分別為「熱箱法(Hot Box Method, HBM)」、「熱流計法(Heat Flow Method, HFM)」、「熱線法(Hot Wire Method, HWM)」以及「熱平板法(Hot Plate Method, HPM)」，此四種方法各有其優缺點。目前國外使用熱箱法來測定建築外牆建材的熱傳導係數(Thermal conductivity)k 和熱貫流率 U 已有相當深入的實驗研究。國內使用熱

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

箱法來量測建材熱傳導係數的單位有本所之校正熱箱儀器(Calibrated Hot Box Apparatus)和國立成功大學機械工程學系逆向問題研究室之小型熱箱儀。熱流計法(Hot Wire Method, HWM)是目前最廣泛使用之軸向熱流法之一種。熱流計法量測理論是利用熱通量由上層平台之熱量產生器經由試件流至下層平台所建立之溫度梯度反比於試件熱傳導係數來量測出試件之熱傳導係數。熱流計法關鍵的誤差控制是在降低徑向的熱量損失(radial heat loss)，使得在試件上所產生的熱量能經由試件傳至下層的熱通量轉換器上。熱流計法可區分為保護熱流計法(Guarded Heat Flow Meter Method)與無保護熱流計法(Unguarded Heat Flow Meter Method)兩種。今年度本所購置之建材隔熱性能量測儀器即依據保護熱流計法(Guarded Heat Flow Meter Method)所建立之儀器。熱線法(Hot Wire Method, HWM)最常被應用在耐火材料、隔熱磚、粉末或纖維材料之量測上。熱線法是利用暫態的徑向熱流量測原理，因此需要待測物體為等向性(isotropic)物質。熱線法(Hot Wire Method, HWM)利用探針在待測物體內的加熱，藉由量測溫度與時間的動態關係，來求得待測物之熱傳導係數。今年度本所購置之攜帶式熱傳導係數與比容量測儀即採用類似熱線法之動態量測法量測建材之熱傳導係數。熱平板法(Hot Plate Method, HPM)已被廣泛地用在量測隔熱材料之熱傳導係數上。今年度本所購置之固定式熱傳導係數與比容量測儀即採用熱平板法量測法來量測建材之熱傳導係數。

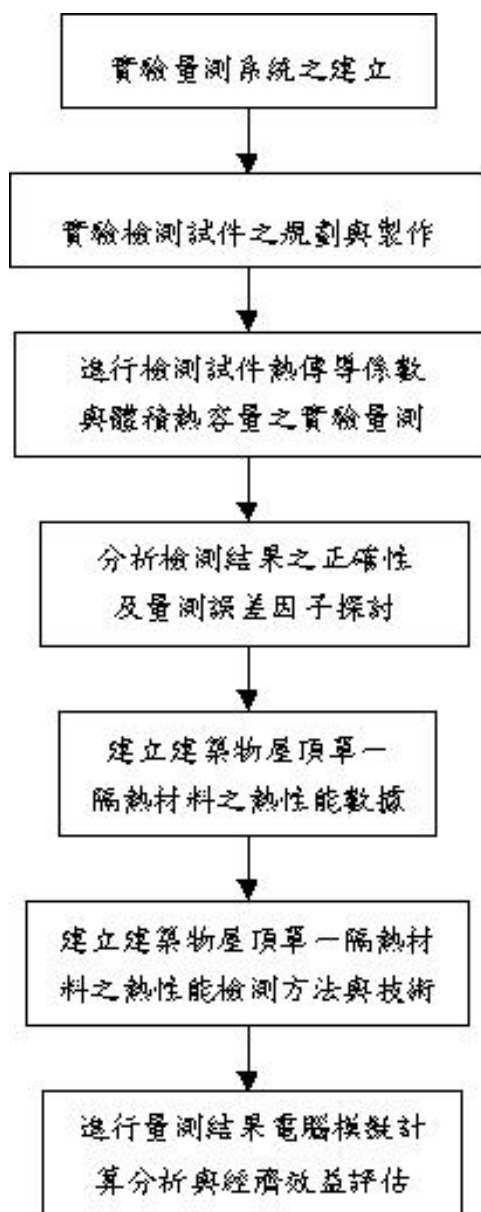
本研究為延續九十二年度「建築外殼與玻璃隔熱性能改善之研究-建築屋頂隔熱性能驗證研究」的研究成果，進入更深與更廣之研究與應用階段。在深度方面，本研究針對單一屋頂隔熱建材之熱傳導係數、體積熱容量等影響建築外殼隔熱性能之關鍵性參數進行準確的量測；而在廣度方面，本研究以標準屋頂用 RC 配比之熱傳性能為基準，對目前國內常用屋頂隔熱建材進行熱性能量測，並進行實體試件之數據檢測與電腦模擬計算分析，主要選定泡沫混凝土、隔熱磚、發泡玻璃等來進行。本年度之研究成果具有拋磚引玉之效果，將可作為日後屋頂隔熱綠建材熱性能資料庫建立與檢測工作之最佳參考依據。

## 第二節 研究方法與流程

本研究乃根據本所在本年度所購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以及固定式熱傳導係數與比容量測儀來量測及分析各種不同型式之單一建築外殼材料的熱傳導係數(Effective thermal conductivity 與體積熱容量(Volume heat capacity))。為使本研究建立之隔熱性能檢測標準符合國際標準，本案之研究方法均參考國際標準機構(International Organization for Standardization, ISO)、美國測試與材料協會(American Society for Testing and Materials, ASTM)以及中華民國實驗室認證體系之相關規範。

經由本研究所建立各儀器之單一建築外殼建材隔熱性能檢測標準試驗方法及程序後，可獲得目前市場上較常採用之屋頂單一建材之隔熱性能數據，並進而將單一屋頂隔熱建材熱性能數據以軟體進行電腦模擬，以比對分析建築物屋頂在未採用與採用受測隔熱材料後其整體熱傳效應是否產生實質之改善，最後輔以設置成本評估，以獲得各種屋頂隔熱材料之經濟效益分析結果，提供使用者實務性之具體參考。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



### 第三節 預期成果

預計本研究於執行期間，將可完成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三台儀器之安裝與設置，並且藉由標準試件之量測來完成屋頂單一建材之隔熱性能檢測結果分析。預期之研究成果分述如下：

- (7) 將彙整比較各國建築外殼建材之相關隔熱性能檢測之研究成果。
- (8) 將彙整比較各國建築外殼建材之相關隔熱性能檢測之標準。
- (9) 計畫建立建材隔熱性能量測儀器之試驗方法及程序。
- (10) 將進行泡沫混凝土、隔熱磚、發泡玻璃等三種屋頂單一建材之隔熱性能數據量測。
- (11) 將進行熱性能實測數據之電腦模擬計算分析，並獲得在實務應用上之隔熱改善效果。
- (12) 將進行各隔熱材設置成本之經濟效益評估。

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析<sup>1</sup>

本章之內容乃根據本所性能實驗群之所購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來進行，內容包含實驗儀器設備裝置及功能說明、量測建材熱傳導係數之理論分析、實驗設施及量測系統之校正、實驗與軟體操作程序，詳細說明如下所述。

### 第一節 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀 (ISOMET M2104)

#### 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  $\lambda$ )

體積熱容量值  $[J/m^3K]$  (儀器之結果輸出代號為  $\alpha$ )

熱擴散值  $[m^2/s]$  (儀器之結果輸出代號為  $C_p$ )

溫度 $[^{\circ}C]$

#### 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 2-1 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 2-2~2-3 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。

---

<sup>1</sup>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。

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析



圖 2-1 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀外觀



圖 2-2 探針式探測計



圖 2-3 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含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 2-1 所示。

表 2-1 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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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 |

### 四、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                                                           |

### 五、再現性

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

### 六、規格

操作環境溫度：0~40°C

內部記憶體容量：1000 measurement records

電源供應：12V DC 或 internal NiCd rechargeable batteries

電池使用量：約三小時（視量測材料之特性而定）

傳輸介面：serial link RS 232

體積：310×300×110 mm

重量：4.5 kg

### 七、操作原則：

基本上在分析測試有關材料對熱的回應，經由探針計直接接觸加熱產生熱流而評估熱傳導係數及體積熱容量之量測。

### 八、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。

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

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)

### 九、操作步驟說明：

#### (1) 接上電源並連接探測計



圖 2-4 電源線、探測計與 ISOMET 主機連接

#### (2) 以 RS232 線與電腦連接



圖 2-5 ISOMET 主機利用 RS232 與電腦連接

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析

(3) 開啟電源



圖 2-6 ISOMET 主機連接完成圖

(4) 將探測計與試片結合



圖 2-7 針狀探測計

(5) 按 F2 鍵開始量測



圖 2-8 表面接觸探測計



圖 2-9 ISOMET 主機正面  
功能鍵（量測中）

(6) 與電腦連線讀取結果



圖 2-10 ISOMET 主機量測  
完畢之數據顯示



圖 2-11 電腦擷取量測結果

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

ISOMET 之使用說明流程圖如下圖所示：

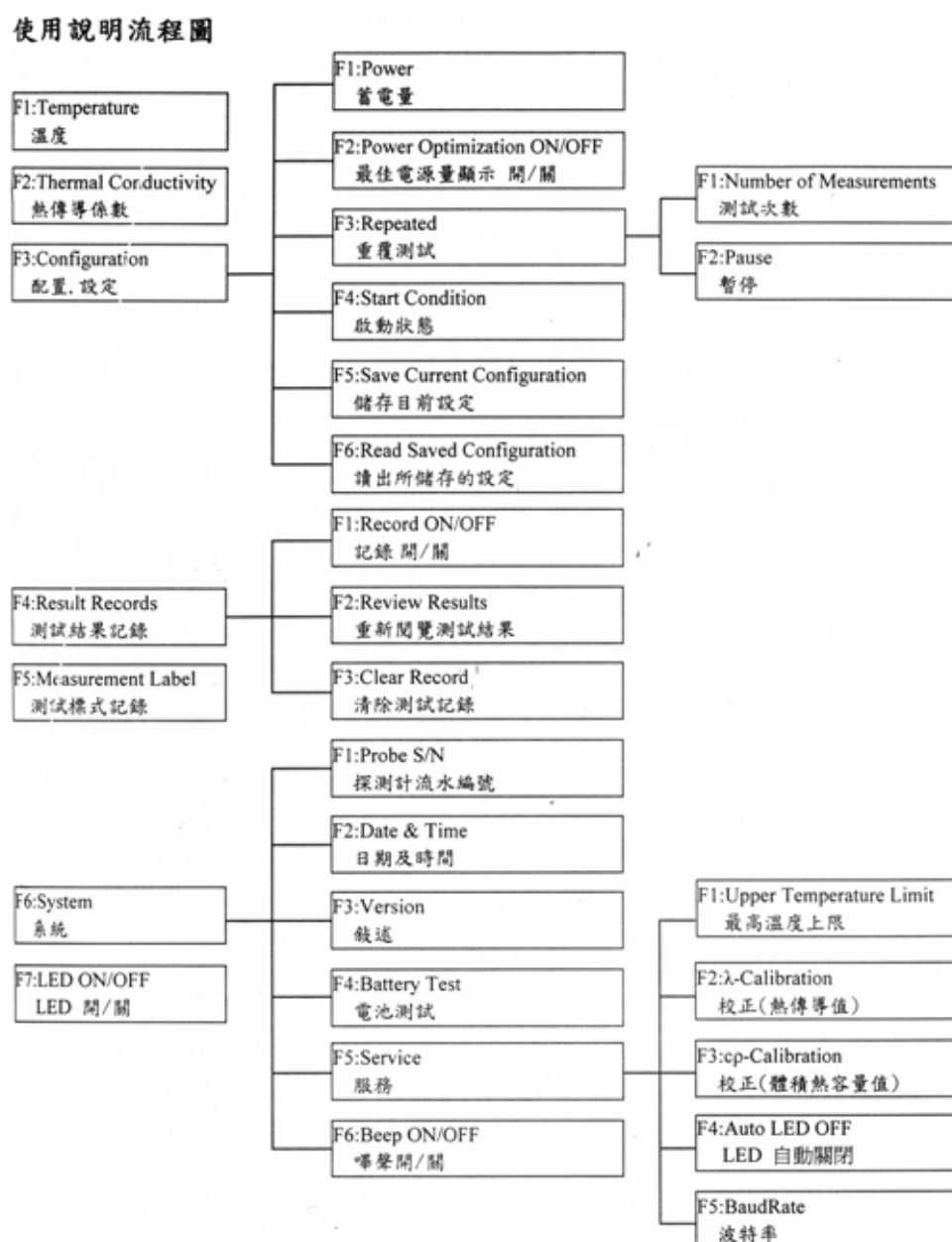


圖 2-12 ISOMET 使用說明流程圖

### 十、電腦軟體介面說明

ISOMET 2104 所採用之電腦擷取軟體名稱為 ISOHIS2\_WIN95，為電腦視窗介面，適用於 PC Windows 95 以上之視窗版本。當開啟 ISOHIS2\_WIN95 之後，程式視窗可區分為下拉式功能表(Tool Bar) 與主視窗(Main Window) 兩部分。

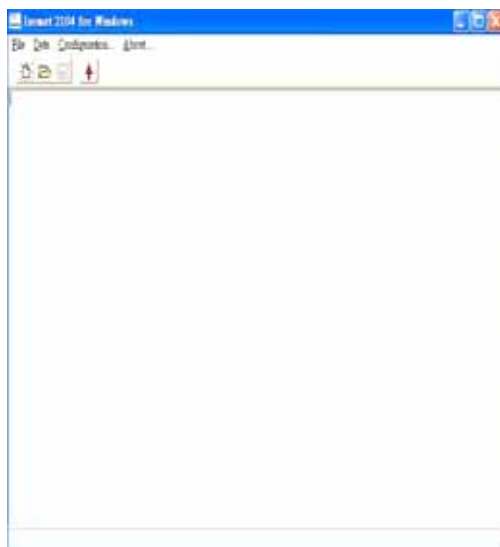


圖 2-13 ISOMET 電腦擷取軟體開啟主畫面

下拉式功能表(Tool Bar)共有 File、Data、Configuration 及 About 四項功能，另外在功能表下方尚有四個快速功能鍵，分述如下：



---- New (開新檔案)



---- Open (開啟舊檔)



---- Save (儲存檔案)



---- Upload data from Isomet (從 Isomet 下載資料)

#### (1) File 下拉式功能表內含：

---- New (開新檔案)

---- Open (開啟舊檔)

---- Save (儲存檔案)

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

---- Save As (另存新案)

---- Exit (離開)

### (2) Data 下拉式功能表內含：

---- Upload F4 (下載檔案-按 F4)

### (3) Configuration 下拉式功能表內含：

----檔案進入後依選定之 COM1 或 COM2....等連結，此時 BaudRate 會顯示，本機型均設定為 19200，基本上 BaudRate 無須更改，萬一須更改時數字可減少，惟電腦-ISOMET 須同時改為相同數字。

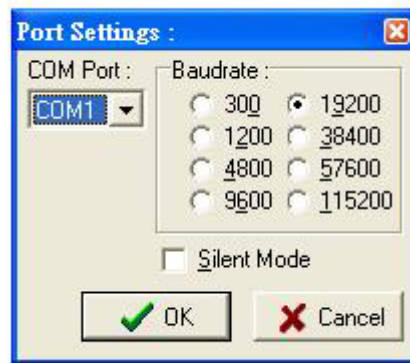


圖 2-14 電腦連接阜之設定

### (4) About 下拉式功能表為儀器型號介紹與相關資料



圖 2-15 ISOMET 型號與軟體說明視窗

### 十一、程式執行操作步驟說明

1. 使用 9 針式介面連接 ISOMET 至電腦 (可選擇 COM1 或 COM2)。
2. Run ``ISOHIS2.EXE .``，經 PC 按 [F9] 即可讀出測試結果或經由主機同時按[Alt]+[I]選擇讀出結果項目而取得。
3. 選定 COM1 或 COM2 連結，選定後按 [Enter] 進入對話框，資料將從 ISOMET 記憶體傳輸至 PC 螢幕。
4. 軟體 ISOHIS2 按[Alt]+[X]將退出，或經由鍵盤按 [Alt]+[I]及選擇 Exit 退出。

### 十二、標準試片量測

為驗證本儀器之準確度，本研究利用原廠所附之 Extruded polystyrene、Cork 及 Marble HOR03 三種標準試片進行量測，並與之原廠測試報告進行比對，以驗證此儀器是否符合規範。原廠標準試件如下圖所示。



圖 2-16 原廠所附之標準試片  
(Extruded polystyrene、Cork、Marble HOR03)

以下為三種標準試片之量測與比對結果：

1. 試片一：(Extruded polystyrene)



圖 2-17 試片一量測示意圖

表 2-2 試片一（Extruded polystyrene）量測結果

| 測試結果代號    | $\lambda$ | Cp                  | $\alpha$               | 溫度    |
|-----------|-----------|---------------------|------------------------|-------|
| 測驗次數與結果單位 | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> K  | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 1         | 0.037     | $0.114 \times 10^6$ | $0.325 \times 10^{-6}$ | 31.96 |
| 2         | 0.038     | $0.109 \times 10^6$ | $0.344 \times 10^{-6}$ | 31.66 |
| 3         | 0.037     | $0.107 \times 10^6$ | $0.347 \times 10^{-6}$ | 31.4  |
| 平均        | 0.037     | $0.110 \times 10^6$ | $0.339 \times 10^{-6}$ |       |

標準試片原廠量測值：0.036 W/m.K

最大誤差計算：

$$(0.038-0.036)/0.036 \times 100\% = 3.57\% < 5\% \text{ of reading} + 0.003 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析

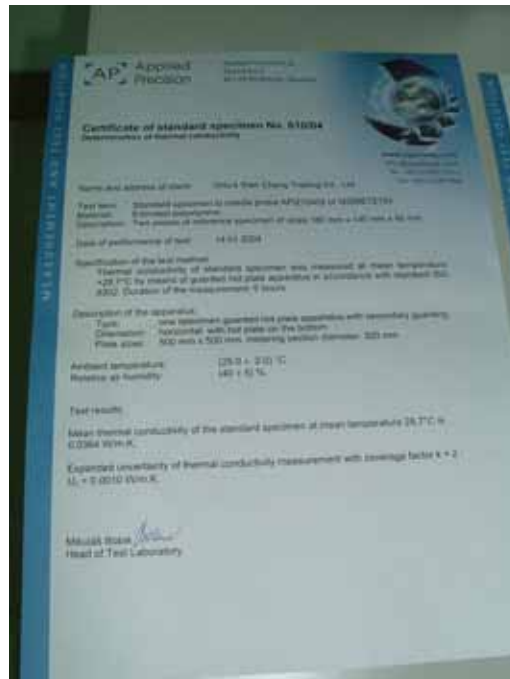


圖 2-18 試片一原廠測試報告

### 2. 試片二：(Cork)



圖 2-19 試片二 (Cork) 量測中

# 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

表 2-3 試片二 (Cork) 量測結果

| 測試結果代號    | $\lambda$ | Cp                  | $\alpha$               | 溫度    |
|-----------|-----------|---------------------|------------------------|-------|
| 測驗次數與結果單位 | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> K  | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 1         | 0.067     | $0.364 \times 10^6$ | $0.185 \times 10^{-6}$ | 30.99 |
| 2         | 0.069     | $0.381 \times 10^6$ | $0.18 \times 10^{-6}$  | 32.30 |
| 3         | 0.068     | $0.377 \times 10^6$ | $0.18 \times 10^{-6}$  | 31.99 |
| 平均        | 0.068     | $0.374 \times 10^6$ | $0.182 \times 10^{-6}$ |       |

標準試片原廠量測值：0.067 W/m.K

最大誤差計算：

$$(0.069-0.067)/0.0665 \times 100\% = 3.31\% < 5\% \text{ of reading} + 0.001 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

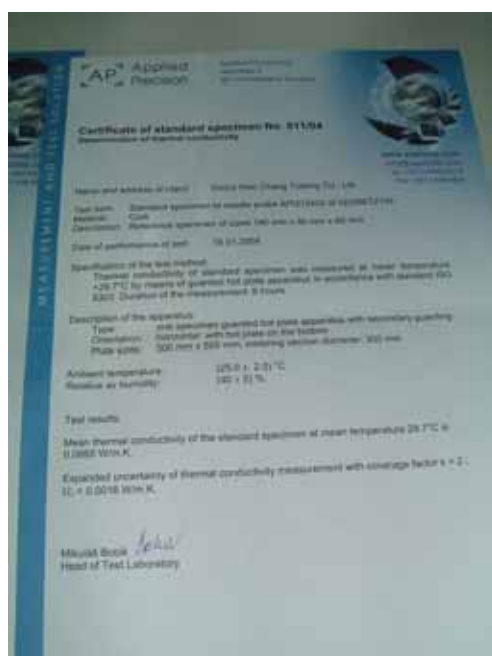


圖 2-20 試片二(Cork)原廠測試報告

3. 試片三：(Marble HOR03)



圖 2-21 試片三(Marble)量測中

表 2-4 試片三(Marble)量測結果

| 測試結果代號    | $\lambda$ | Cp                   | $\alpha$              | 溫度    |
|-----------|-----------|----------------------|-----------------------|-------|
| 測驗次數與結果單位 | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> K   | m <sup>2</sup> /s     | °C    |
| 1         | 4.960     | 2.49×10 <sup>6</sup> | 1.99×10 <sup>-6</sup> | 28.78 |
| 2         | 4.920     | 2.5×10 <sup>6</sup>  | 1.97×10 <sup>-6</sup> | 29.15 |
| 3         | 4.890     | 2.51×10 <sup>6</sup> | 1.95×10 <sup>-6</sup> | 29.45 |
| 平均        | 4.923     | 2.5×10 <sup>6</sup>  | 1.97×10 <sup>-6</sup> |       |

標準試片原廠量測值：4.86 W/m.K

最大誤差計算：

$$(4.96-4.86)/4.86*100\%=2.06\% < 10 \% \text{ of reading}$$

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

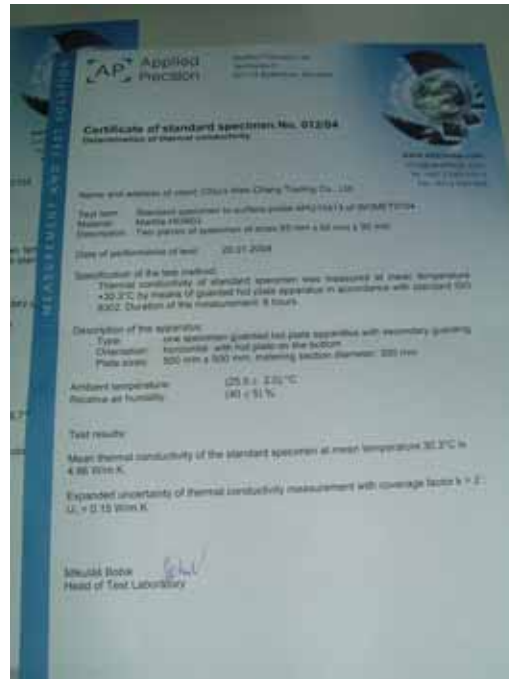


圖 2-22 試片三(Marble)原廠測試報告

## 第二節 建材隔熱性能量測儀

建材隔熱性能量測儀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。儀器操作與電腦操作流程之詳細步驟分述如下：

### 一、Unitherm 2022 儀器操作步驟

#### 1. 操作前恆溫槽確認:

- (1) 注意量測溫度範圍為  $RT-100^{\circ}C$  時: 恆溫槽(chiller)設定恆溫溫度為  $0^{\circ}C$ ，且是用銅間隔環(如圖 1-1 所示)。



圖 2-23 銅製間隔環

- (2) 注意量測溫度範圍為  $100-300^{\circ}C$  時: 恆溫槽(chiller)設定恆溫溫度為  $20^{\circ}C$ ，且是用 Vespel 硬樹脂間隔環(如圖 1-2 所示)。



圖 2-24 硬樹脂間隔環

- 註: 1. 間隔環(Spacer)的功能為減少熱向下傳至底部。  
2. 恆溫槽(chiller)進水與出水口之位置圖(如圖 1-3 所示):



圖 2-25 恆溫槽進水與出水口之位置

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析

- (3) 確認恆溫槽(chiller)設定恆溫溫度，直到溫度正確，才可開始測試(如圖 1-4 所示)。



圖 2-26 溫控開關

### 2. 試片安裝:

- (4) 將樣本之兩面塗佈熱傳導膏(Thermal Compound)，並以手指輕拍(如圖 1-5 所示)，確認每一點都被塗佈到(如圖 1-6 所示)。



圖 2-27 以手指輕拍試件



圖 2-28 確認均勻塗覆

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

(5) 以酒精擦拭試件表面與間隔環表面，放入試件(如圖 2-29 所示)。



圖 2-29 間隔環表面

(6) 按儀器上的旋鈕固定在”Move”和”Down”的位置，而將試件壓住(如圖 2-30 所示)。



圖 2-30 旋鈕固定在”Move”和”Down”的位置

(7) 按儀器上的旋鈕固定在 Free 的位置和用手調整試件 (如圖 2-31 至圖 2-32 所示)。



圖 2-31 旋鈕固定在 Free 的位置



圖 2-32 用手調整樣本

(8) 按儀器上的旋鈕固定在”Move”和”Down”的位置，而將試片完全固定（如圖 2-33 所示）。

(9) 降下防護蓋（如圖 2-34 所示）。

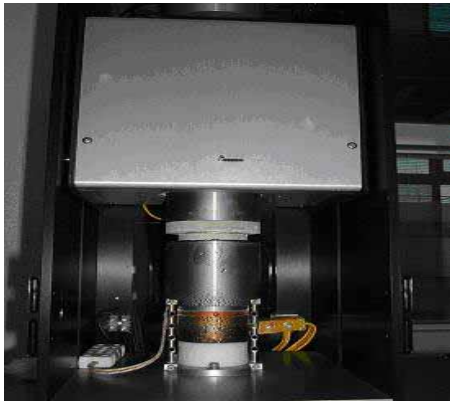


圖 2-33 操控旋鈕將試片完全固定



圖 2-34 試件放置在防護蓋內

(10) 裝上防止碰觸的透明壓克力蓋，可以用酒精將壓克力外蓋清潔明亮（如圖 2-35 所示）。



圖 2-35 試件安裝完成圖

## 二、Unitherm 2022 電腦軟體操作步驟

### (一)軟體安裝：

建材隔熱性能量測儀之軟體安裝區分為兩部分，一為控制軟體 Unitherm 2022 程式之安裝；另一部份為安裝儀器數據擷取卡之驅動程式安裝。電腦是經由 USB 與 RS232 兩個介面與熱傳導儀 Unitherm 2022 進行控制與傳輸數據，此兩介面之用途如下：

(1)USB--數據存取與傳輸(DATA Acquisition)。

(2)RS232--控制溫度(Temperature Control)。

### (二)軟體操作步驟：

Anter 之建材隔熱性能量測儀之操作步驟一律以電腦控制模式，當試件安裝完畢之後，接著所有參數以及測試均是在電腦上控制。

#### (1) 首先開啟操控軟體 Unitherm 2022

Unitherm 2022 是循序式控制軟體，在整個設定過程中程式會有問答式視窗自動要儀器操作者進行確認動作。

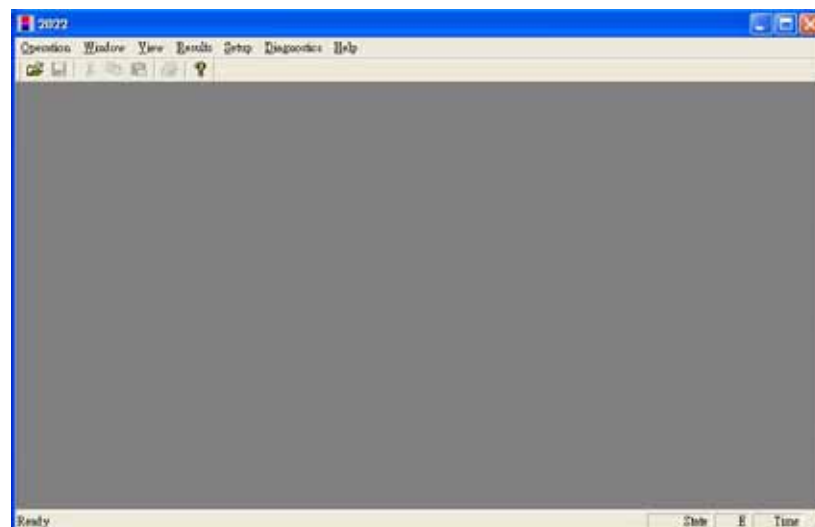


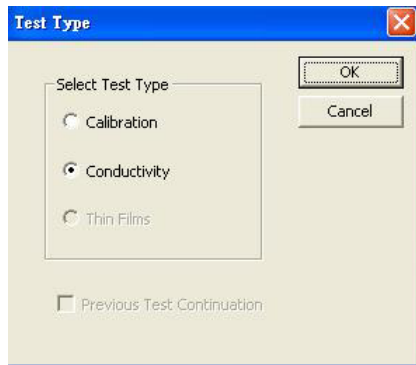
圖 2-36 Unitherm 2022 主視窗

#### (2)選擇 Operation 開始儀器參數設定步驟

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析

### ----Test Type

選擇校正或是量測步驟。



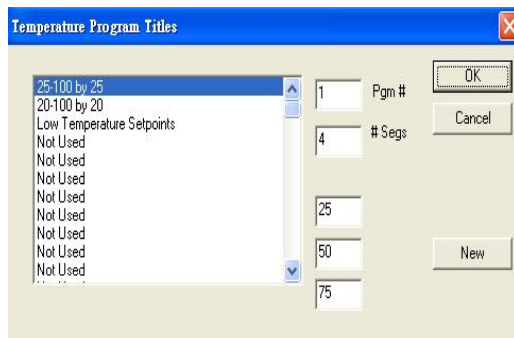
### ----試件資訊 (Sample Information)

輸入試件名稱、操作者、試件厚度等相關資料。

| Field          | Value                        |
|----------------|------------------------------|
| Title          | Borosilicate Glass----930618 |
| Sample/File ID | Borosilicate Glass           |
| Operator       | chia                         |
| Test Number    | 160                          |
| Length (mm)    | 6.4                          |

### ----Temperature Program Titles

設定熱傳導係數量測點數



### ----Temperature program

設定欲量測熱傳導係數之溫度

| Segment | Temperature (C) |
|---------|-----------------|
| 1       | 25              |
| 2       | 50              |
| 3       | 75              |
| 4       | 100             |

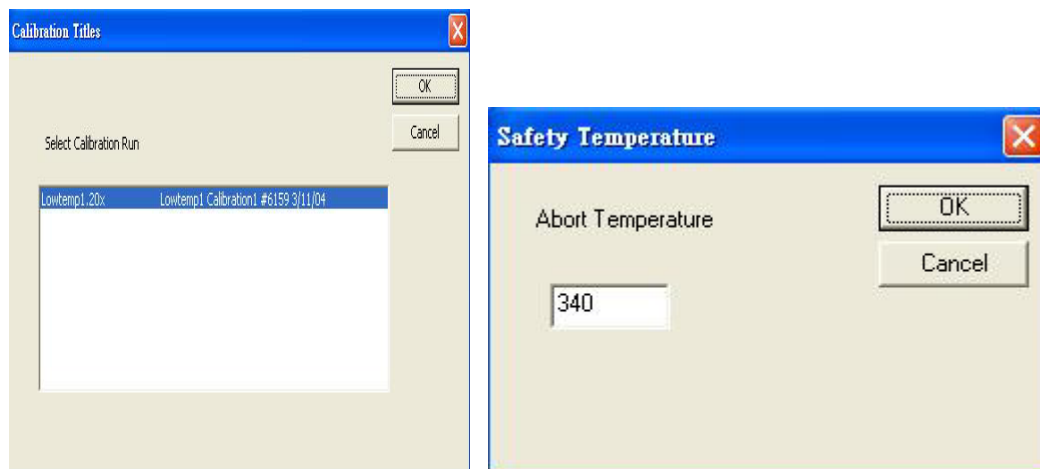
### ----Calibration Titles

選擇校正曲線

### ----Safety Temperature

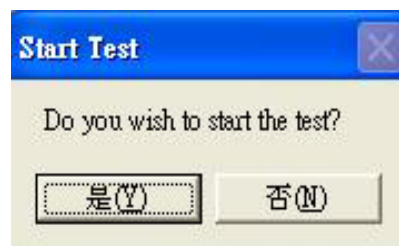
設定最高量測溫度，若儀器超過此溫度，軟體會自動將量測儀器強制關機

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析



### ----Start Test

選擇「是」按鈕則開始量測。



### (3)檢查週邊設備

為確保儀器在進行量測之前所有周邊設備均已準備完畢，此步驟將逐一檢查所有的周邊設備。

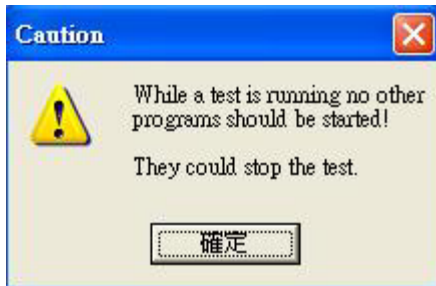
### ----Hardware Check



### ----Water on



----Caution



---Enable Heater Switch



- (3) 在系統 Run 前再確認冰水機開關是否全開(Pump、溫控、壓縮機三個開關是否打開)，Unitherm 2022 熱傳導儀是否打開(兩個開關：一個在背面是主電源開關，一個在前板為 Heater 的開關) (如圖 2-37 至圖 2-41 所示)。



圖 2-37 冰水壓縮機開關

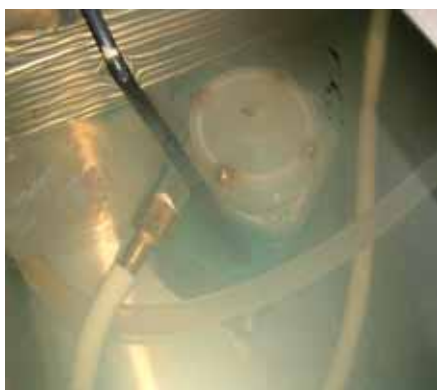


圖 2-38 恆溫水槽溫控開關



圖 2-39 恆溫水槽泵浦

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析



圖 2-40 Unitherm 2022 主電源開關



圖 2-41 Unitherm 2022 加熱器開關

(5)在量測中 Unitherm 2022 程式會自動將即使的量測結果顯示 在主視窗上，同時會記錄所有的量測參數與資料。

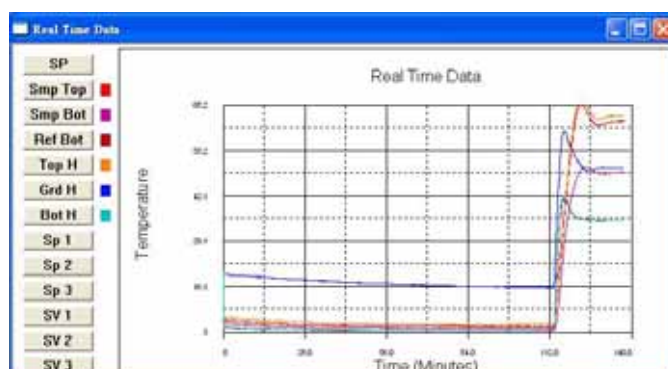


圖 2-42 即使量測記錄

### 三、標準試件量測

為驗證本儀器之準確度，利用原廠所附之 Borosilicate Glass、Stainless Steel、Vespel 及 Ceramic 六種標準試片進行量測，並與之原廠測試報告進行比對，以驗證此儀器是否符合規範。以下為六種標準試片之量測與比對結果：

#### 1. 試片一：(Borosilicate Glass，試片厚度：0.6400 cm)



圖 2-43 試片一 Borosilicate Glass

表 2-5 試片一 (Borosilicate Glass) 量測與比對結果

| 設定溫度( )<br>與結果 | 標準件熱傳導<br>(W/mK) | 試件溫度( ) | 熱傳導<br>(W/mK) | 誤差(%) |
|----------------|------------------|---------|---------------|-------|
| 25             | 1.095            | 27.55   | 1.051         | 4.4   |
| 50             | 1.14             | 52.34   | 1.058         | 7.4   |
| 75             | 1.175            | 76.74   | 1.099         | 6.4   |
| 100            | 1.21             | 101.31  | 1.127         | 6.8   |

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

**DECLARATION  
OF REFERENCE MATERIAL CONFORMITY**  
(Page 2)

File: Q001-012      S/N: 10400      Declaration No: 00002544

Material: Pyrex 7740

PROPERTY: Thermal Conductivity

| Temperature<br>(°C) | Thermal Conductivity<br>(W/m·K) |
|---------------------|---------------------------------|
| 0                   | 1.05                            |
| 25                  | 1.14                            |
| 100                 | 1.21                            |
| 150                 | 1.18                            |
| 200                 | 1.15                            |
| 250                 | 1.19                            |
| 300                 | 1.45                            |
| 350                 | 1.12                            |
| 400                 | 1.60                            |
| 450                 | 1.70                            |
| 500                 | 1.80                            |
| 550                 | 1.90                            |
| 600                 | 2.12                            |

Characteristics: ☐ Certified brand name product

☐ Purity: %      ☐ Density: g/cm<sup>3</sup>

☐ Porosity: g/cm<sup>3</sup>      ☐ Compression certificate No:

Source of Data: ☐ Not attached, page 01 ☐

☐ Not test, traceable to NIST, SRM

☐ Individual test, traceable to NIST, SRM

Reference and database numbers:

圖 2-44 試片一 (Borosilicate Glass) 原廠測試報告

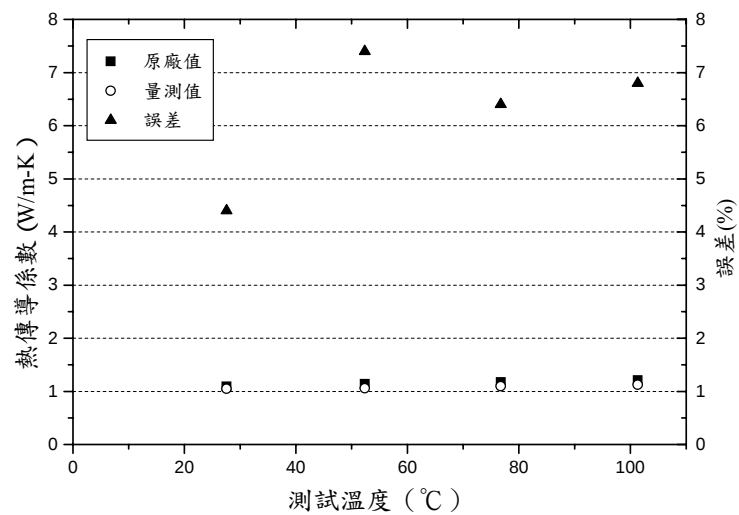


圖 2-45 試片一 (Borosilicate Glass) 量測結果比對

2. 試片二：(Stainless Steel，試片厚度：0.6400 cm)



圖 2-46 試片二 (Stainless Steel)

表 2-6 試片二 (Stainless Steel) 量測與比對結果

| 設定溫度( )<br>與結果 | 標準件熱傳導<br>(W/mK) | 試件溫度( ) | 熱傳導<br>(W/mK) | 誤差(%) |
|----------------|------------------|---------|---------------|-------|
| 25             | 原廠未提供測<br>試數據    | 34.99   | 18.667        |       |
| 50             | 14.68            | 58.31   | 17.195        | 15.9  |
| 75             | 15.145           | 82.63   | 17.232        | 12.8  |
| 100            | 15.61            | 107.49  | 17.354        | 15.7  |

註：因實驗室電壓不穩，造成誤差偏大

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

**DECLARATION  
OF REFERENCE MATERIAL CONFORMITY**  
(Page 2)

File: Q200-0041      N°: 00440      Declaration No.: 00400001

Material: Stainless Steel

PROPERTY: Thermal Conductivity

| Temperature (°C) | Thermal Conductivity (W/mK) |
|------------------|-----------------------------|
| 50               | 14.88                       |
| 100              | 15.61                       |
| 150              | 16.52                       |
| 200              | 17.38                       |
| 250              | 18.22                       |
| 300              | 19.02                       |
| 350              | 19.86                       |
| 400              | 20.53                       |
| 450              | 21.24                       |
| 500              | 21.91                       |
| 550              | 22.58                       |
| 600              | 23.17                       |
| 650              | 23.75                       |
| 700              | 24.25                       |

Characteristics:

☐ Purity      %      ☐ Density      g/cm<sup>3</sup>  
☐ Reactivity      atm/cm<sup>2</sup>      ☒ Composition certificate file

Source of Data:

☒ Not available, traceable to NIST, NBS-1400, Austenitic Stainless Steel  
☐ Individual test, traceable to NIST, SEM  
☐ Literature and database summary not attached, page 3

圖 2-47 試片二 (Stainless Steel)原廠測試報告

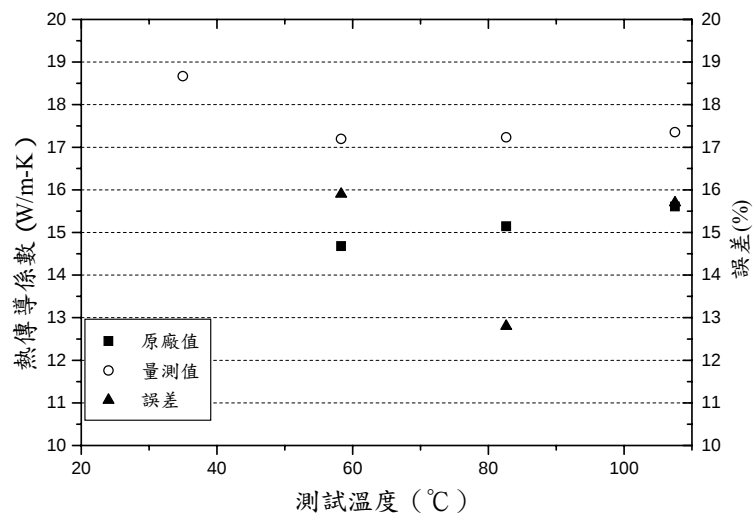


圖 2-48 試片二(Stainless Steel)量測結果比對

3. 試片三：(Vespel，試片厚度：0.3175 cm)



圖 2-49 試片三 Vespel

表 2-7 試片三 (Vespel) 量測與比對結果

| 設定溫度( )<br>與結果 | 標準件熱傳導<br>(W/mK) | 試件溫度( ) | 熱傳導<br>(W/mK) | 誤差(%) |
|----------------|------------------|---------|---------------|-------|
| 25             | 原廠未提供測<br>試數據    | 27.74   | 0.369         |       |
| 50             | 0.384            | 51.89   | 0.366         | 4.8   |
| 75             | 0.389            | 76.1    | 0.36          | 7.4   |
| 100            | 0.394            | 100.21  | 0.372         | 5.5   |

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

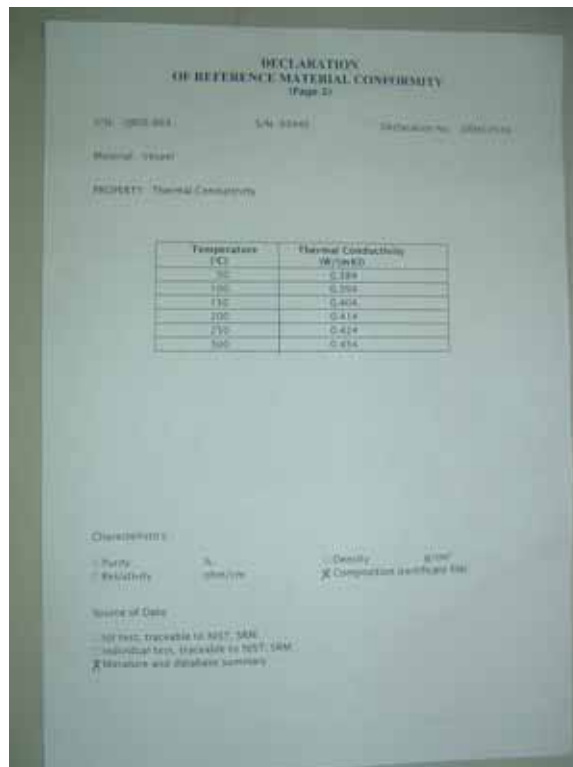


圖 2-50 試片三(Vespel)原廠測試報告

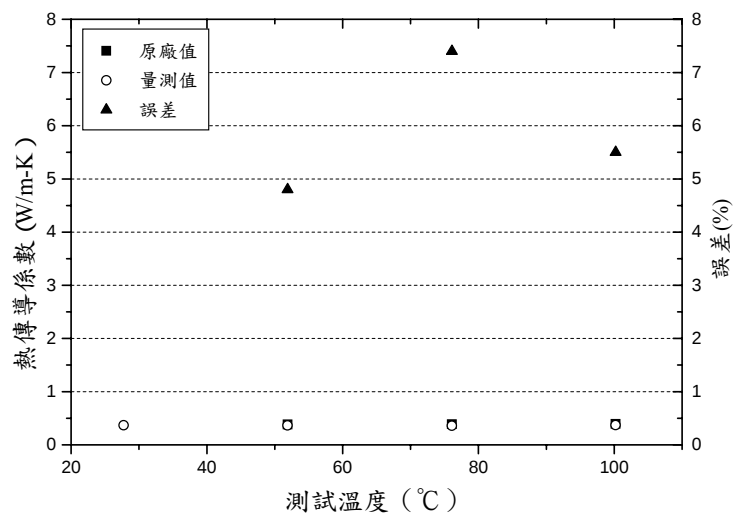


圖 2-51 試片三(Vespel)量測結果比對

4. 試片四：(Vespel，試片厚度：0.4191 cm)



圖 2-52 試片四(Vespel)

表 2-8 試片四 (Vespel) 量測與比對結果

| 設定溫度( )<br>與結果 | 標準件熱傳導<br>(W/mK) | 試件溫度( ) | 熱傳導<br>(W/mK) | 誤差(%) |
|----------------|------------------|---------|---------------|-------|
| 25             | 原廠未提供測<br>試數據    | 25.64   | 0.366         |       |
| 50             | 0.384            | 50.74   | 0.364         | 5.2   |
| 75             | 0.389            | 76.13   | 0.366         | 5.9   |
| 100            | 0.394            | 101.18  | 0.38          | 3.5   |

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

**DECLARATION  
OF REFERENCE MATERIAL CONFORMITY**  
(Page 2)

P/N: 0207-063.2      S/N: 01440      Calibration No.: 03602042

Material: Vespel

PROPERTY: Thermal Conductivity

| Temperature (°C) | Thermal Conductivity (W/m.K) |
|------------------|------------------------------|
| 55               | 0.380                        |
| 100              | 0.384                        |
| 150              | 0.404                        |
| 200              | 0.418                        |
| 250              | 0.424                        |
| 300              | 0.434                        |

Characteristics:

☐ Purity: 96%      ☐ Density: 2.170 g/cm<sup>3</sup>

☐ Repeatability: 0.004 W/m.K      ☒ Composition certificate file

Source of Data:

☐ All test, traceable to NIST SRM

☐ Individual test, traceable to NIST SRM

☒ Literature and database summary

圖 2-53 試片四(Vespel)原廠測試報告

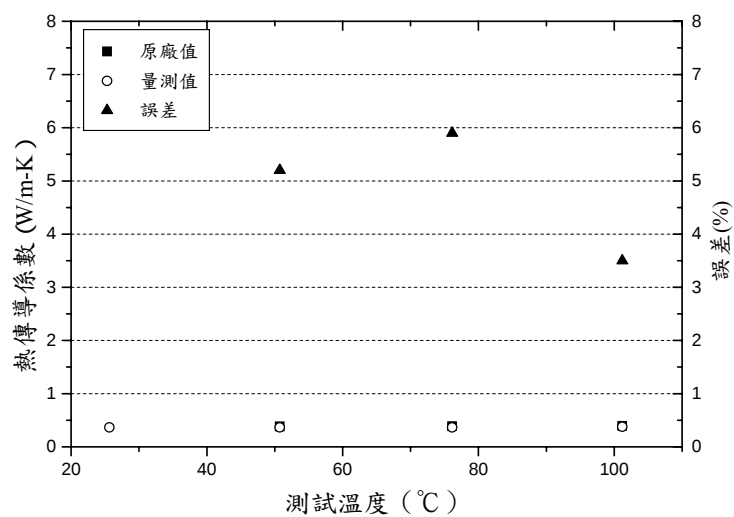


圖 2-54 試片四(Vespel)量測結果比對

5. 試片五：(Ceramic，試片厚度：1.2700 cm)



圖 2-54 試片五(Ceramic)

表 2-9 試片五(Ceramic)量測與比對結果

| 設定溫度( )<br>與結果 | 標準件熱傳導<br>(W/mK) | 試件溫度( ) | 熱傳導<br>(W/mK) | 誤差(%) |
|----------------|------------------|---------|---------------|-------|
| 25             | 4.04             | 30.08   | 3.727         | 6.1   |
| 50             | 3.8875           | 54.25   | 3.615         | 8.8   |
| 75             | 3.8              | 78.84   | 3.43          | 9.5   |
| 100            | 3.725            | 103.1   | 3.473         | 6.5   |

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

**DECLARATION  
OF REFERENCE MATERIAL CONFORMANCE**  
(Page 2)

Part: 3887.07      Sub: 11440      Reference No.: 3887.07.02

Material: Porcelain Tiles

PROPERTY: Thermal Conductivity

| Temperature<br>(°C) | Thermal Conductivity<br>(W/mK) |
|---------------------|--------------------------------|
| 10                  | 5.18                           |
| 40                  | 5.16                           |
| 70                  | 5.12                           |
| 100                 | 5.08                           |
| 130                 | 5.06                           |
| 160                 | 5.04                           |
| 190                 | 5.02                           |
| 220                 | 5.00                           |
| 250                 | 4.98                           |
| 280                 | 4.96                           |
| 310                 | 4.94                           |
| 340                 | 4.92                           |
| 370                 | 4.90                           |
| 400                 | 4.88                           |
| 430                 | 4.86                           |
| 460                 | 4.84                           |
| 490                 | 4.82                           |
| 520                 | 4.80                           |
| 550                 | 4.78                           |
| 580                 | 4.76                           |
| 610                 | 4.74                           |
| 640                 | 4.72                           |
| 670                 | 4.70                           |
| 700                 | 4.68                           |
| 730                 | 4.66                           |
| 760                 | 4.64                           |
| 790                 | 4.62                           |
| 820                 | 4.60                           |
| 850                 | 4.58                           |
| 880                 | 4.56                           |
| 910                 | 4.54                           |
| 940                 | 4.52                           |
| 970                 | 4.50                           |
| 1000                | 4.48                           |
| 1030                | 4.46                           |
| 1060                | 4.44                           |
| 1090                | 4.42                           |
| 1120                | 4.40                           |

Characteristics: ☐ Certified brand name product

☐ Packing: N/A      ☐ Density: 2.50 g/cm<sup>3</sup>

☐ Application: N/A      ☒ Composition: Porcelain Tile

Source of Data: Not attached, page 1

☐ See test, traceable to NIST, SRM

☐ Individual test, traceable to NIST, SRM

☒ Literature and database summary

圖 2-55 試片五(Ceramic)原廠測試報告

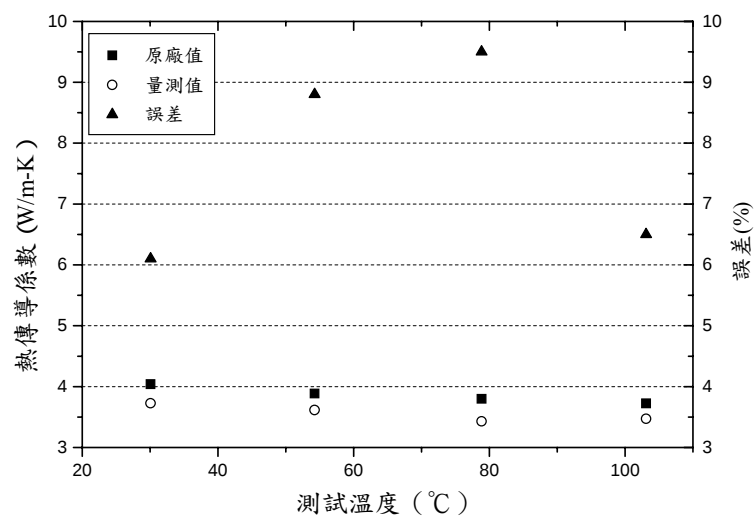


圖 2-56 試片五(Ceramic)量測結果比對

6. 試片六：(Ceramic，試片厚度：0.6400 cm)



圖 2-57 試片六(Ceramic)

表 2-10 試片六(Ceramic)量測與比對結果

| 設定溫度( )<br>與結果 | 標準件熱傳導<br>(W/mK) | 試件溫度( ) | 熱傳導(W/mK) | 誤差(%) |
|----------------|------------------|---------|-----------|-------|
| 25             | 4.04             | 35.2    | 3.738     | 5.2   |
| 50             | 3.8875           | 59.18   | 3.636     | 5.7   |
| 75             | 3.8              | 83.56   | 3.502     | 7.3   |
| 100            | 3.725            | 108.45  | 3.435     | 7.1   |

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

**DECLARATION  
OF REFERENCE MATERIAL CONFORMITY**  
(Page 2)

File: 2007-073      S/N: 03444      Material No: 00002042

Material: Pyrexcon 9906

Material Type: Thermal Conductivity

| Temperature<br>(°C) | Thermal Conductivity<br>(W/mK) |
|---------------------|--------------------------------|
| 120                 | 3.14                           |
| 140                 | 3.18                           |
| 160                 | 3.22                           |
| 180                 | 3.26                           |
| 200                 | 3.30                           |
| 220                 | 3.34                           |
| 240                 | 3.38                           |
| 260                 | 3.42                           |
| 280                 | 3.46                           |
| 300                 | 3.50                           |
| 320                 | 3.54                           |
| 340                 | 3.58                           |
| 360                 | 3.62                           |
| 380                 | 3.66                           |
| 400                 | 3.70                           |
| 420                 | 3.74                           |
| 440                 | 3.78                           |
| 460                 | 3.82                           |
| 480                 | 3.86                           |
| 500                 | 3.90                           |
| 520                 | 3.94                           |
| 540                 | 3.98                           |
| 560                 | 4.02                           |
| 580                 | 4.06                           |
| 600                 | 4.10                           |
| 620                 | 4.14                           |
| 640                 | 4.18                           |
| 660                 | 4.22                           |
| 680                 | 4.26                           |
| 700                 | 4.30                           |
| 720                 | 4.34                           |
| 740                 | 4.38                           |
| 760                 | 4.42                           |
| 780                 | 4.46                           |
| 800                 | 4.50                           |
| 820                 | 4.54                           |
| 840                 | 4.58                           |
| 860                 | 4.62                           |
| 880                 | 4.66                           |
| 900                 | 4.70                           |
| 920                 | 4.74                           |
| 940                 | 4.78                           |
| 960                 | 4.82                           |
| 980                 | 4.86                           |
| 1000                | 4.90                           |
| 1020                | 4.94                           |
| 1040                | 4.98                           |
| 1060                | 5.02                           |
| 1080                | 5.06                           |
| 1100                | 5.10                           |

Characteristics: ☐ Certified brand name product

☐ Purity: %      ☐ Density: g/cm<sup>3</sup>

☐ Residuality: %/cm      ☐ Commission Certificate No:

Source of Data: (Not attached page 2)

Tested, traceable to NIST, SRM

Inducted test, traceable to NIST, SRM

Reference and database summary

圖 2-58 試片六(Ceramic)原廠測試報告

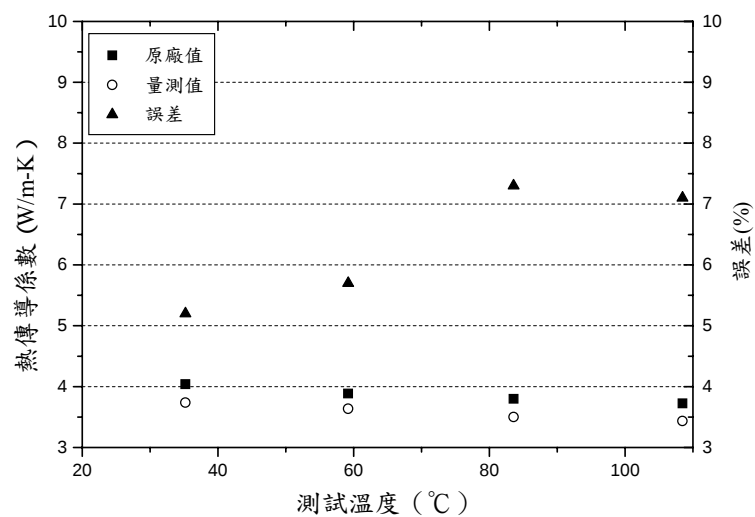


圖 2-59 試片六(Ceramic)量測結果比對

### 第三節 固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀—APT-P01

#### 一、基本特性

固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀 APT-P01 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。

#### 二、測試範圍

表 2-11 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                                                                                            |

#### 三、特色與功能

APT-P01 設計與構造，包括金屬製外殼、固定機件、齒輪組...等，如圖 2-60 所示：

- (1)金屬製外殼
- (2)固定機件
- (3)齒輪組
- (4)機械構造主體

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

(5)測試室

(6)測試室絕緣罩

(7)昇降手臂

(8)荷重感應器

(9)數值顯示與控制器：量測熱物理性質，溫度與力量。包括電源開關(MAINS SWITCH)，START 及 STOP 按鈕，上蓋移動開關(CAP MOVEMENT)，及兩個執行按鈕，START 指示器，LED 力量指示(FORCE LED)，HEATER lever 開關，加熱控制器(HEATER CONTROL)及評估測試器。

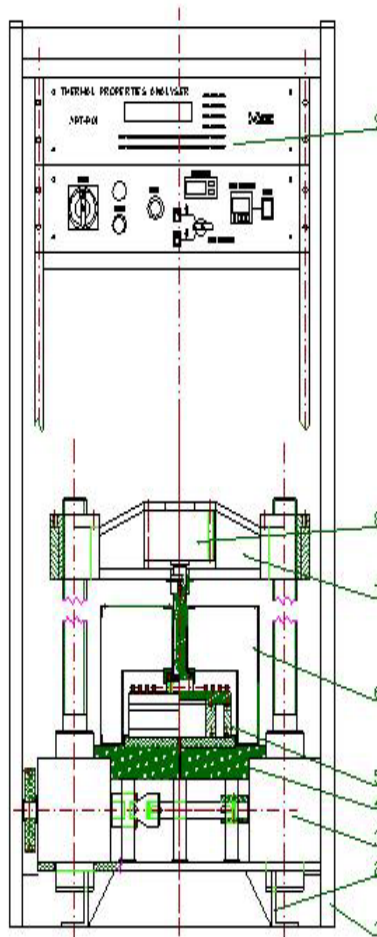


圖 2-61 APT-P01 外觀構造圖

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析

APT-P01 操作按鈕之功能說明如下：

- MAIN 開關依順時針方向由 0 轉至 1，APT-P01 為開啟狀態，反時針方向由 1 轉至 0 位置，APT-P01 關閉，儀器未使用時，務必將 MAIN 開關置於關閉位置。
- 按 START 鈕即可啟動功能，按 STOP 鈕 APT-P01 功能將無法執行，具安全停止裝置。
- 啟動加熱控制器 (HEATER CONTROL) 前務必將開關開啟，當測試溫度高於室溫時，再予關閉。
- CAP MOVEMENT 開關可將測試室頂部依箭頭指示方向旋轉使其上昇或下降。
- HEATER CONTROL (TLK43)在控制測試室溫度，有兩行顯示，第一行為目前所測得之室溫，第二行為操作者所設定之溫度，均以℃表示，控制器上有四個按鈕可設定溫度。
- 測試室試體所產生之力量值在輔助顯示板上個別顯示，力量測試精度值在主控制器”specifications”中已設定。
- EVALUATON UNIT 為主控制顯示器，視窗為 4X40 字母及數值顯示，可測試、設定、儲存資料，亦可經將測得結果傳輸至個人電腦。

### 四、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。

### 五、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。

#### 六、操作步驟說明：

(1) 開始設定 APT-P01 主機



圖 2-62 APT-P01 主機之外觀圖

(2)接上電源



圖 2-63 電源連接線

(3) 以 RS232 線與電腦連接



圖 2-64 APT-P01 與電腦連線

(4)開啟電源



圖 2-65 開啟 APT-P01 主機之電源

(5)設定測試室溫度



圖 2-66 設定測試室溫度

(6)將試片放置測試室

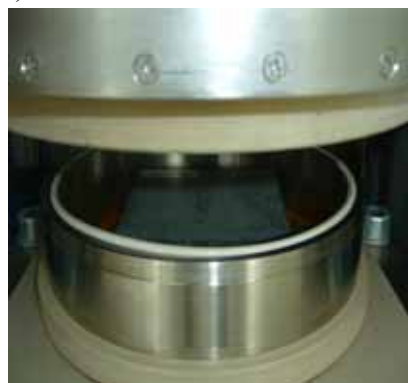


圖 2-67 試片放置於測試室

(7)移動測試室頂蓋



圖 2-68 旋轉開關至下方

(8) 測試室頂蓋下降至測試室底部



圖 2-69 將頂蓋下降至底部

(9) 按 F2 鍵開始量測



圖 2-70 APT-P01 量測數據顯示

(10)與電腦連線讀取結果



圖 2-71 電腦擷取量測結果

#### 十、程式執行操作步驟說明

1. 將 APT-P01 及關機。
2. 選擇 COM1 或 COM2 使用 9 針式介面 cable 連接 APT-P01 至 PC。
3. 將 APT-P01 及 PC 開機，約 12 秒後 EU 之 Main Menu 將顯示。
4. 選擇顯示中的 Main Menu。
5. RUN"ISOHIS2.EXE"或"ISOHIS2\_W95.EXE"執行。
6. RUN"ISOHIS2.EXE"，經 PC 按[F9]即可讀出測試結果或由主機同時按[Alt]+[I]選擇讀出結果項目而取得。當測試結果寫出後，軟體將要求你指定一檔案名稱將結果記錄，並將之編列至檔案裡。檔案進入後依選定之 COM1 或 COM2 連接，此時 baud rate 會顯示，本機型均設定為 19200，基

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

本上 baud rate 無須修改，萬一需更改時數字可減少，但 PC 與 APT-P01 須同時改為相同數字(在 Service Menu 中按[F5]，COM1 或 COM2 選定後按[ENTER]進入對話匣，資料將從 APT-P01 傳輸出 PC 螢幕，可使用上下鍵閱覽測試結果。如欲關閉測試結果，同時按[Alt][X]鍵;程式 ISOHIS2 退出按[Alt][X]，或經由鍵盤按[Alt][I]選擇 EXIT 退出。

7. 若使用”ISOHIS2\_W95.EXE”程式，按[F4]或使用”Data””Upload”項目。資料傳輸前須於設定項目中設定傳輸埠。

### 十一、標準試片量測

為驗證本儀器之準確度，利用原廠所附之 Mineral M22、Glass G09 及 PMM acrylate 三種標準試片進行量測，並與之原廠測試報告進行比對，以驗證此儀器是否符合規範。

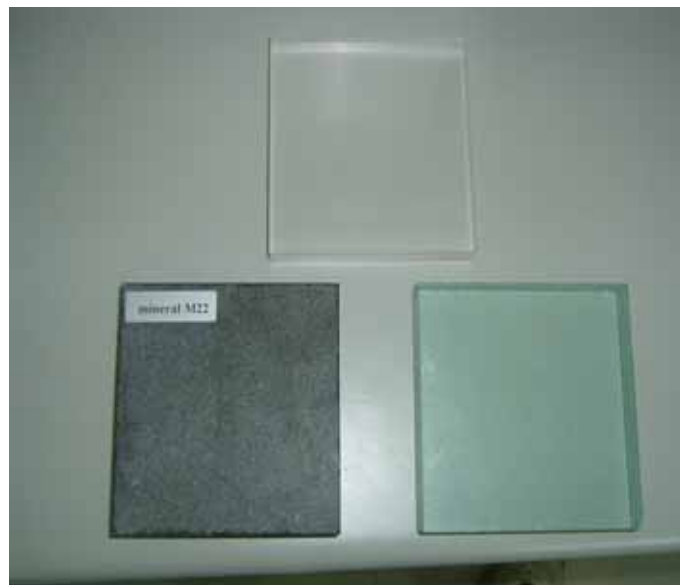


圖 2-72 標準試片（Glass G09、Mineral M22、PMM acrylate）

以下為三種標準試片之量測與比對結果：

1. 試片一：(Glass G09)

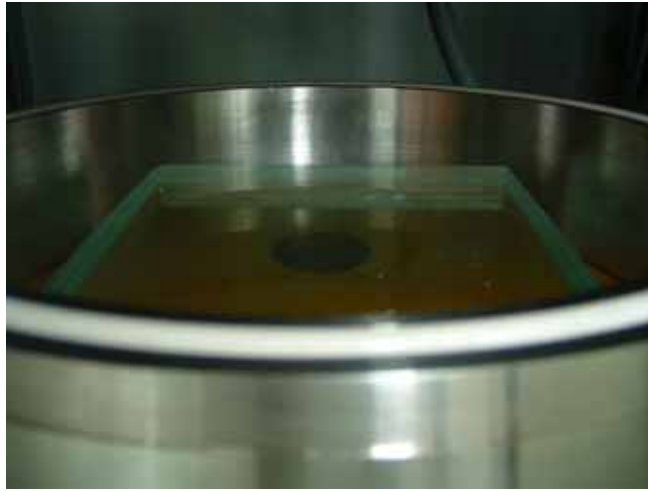


圖 2-73 試片一

表 2-12 試片一 (Glass G09) 量測結果

| 測試結果代號    | $\lambda$ | $C_p$              | $\alpha$               | 溫度    |
|-----------|-----------|--------------------|------------------------|-------|
| 測驗次數與結果單位 | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> K | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 1         | 0.999     | $1.92 \times 10^6$ | $0.521 \times 10^{-6}$ | 34.17 |
| 2         | 0.992     | $1.93 \times 10^6$ | $0.515 \times 10^{-6}$ | 34.92 |
| 3         | 0.997     | $1.93 \times 10^6$ | $0.506 \times 10^{-6}$ | 35.06 |
| 平均        | 0.996     | $1.92 \times 10^6$ | $0.514 \times 10^{-6}$ |       |

標準試片原廠量測值：0.916 W/m.K

最大誤差計算：

$$(0.999-0.916)/0.916*100\%=9.06\% < 10 \% \text{ of reading} + 0.003\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

## 建築物屋頂單一建材之隔熱性能研究與檢測方法分析

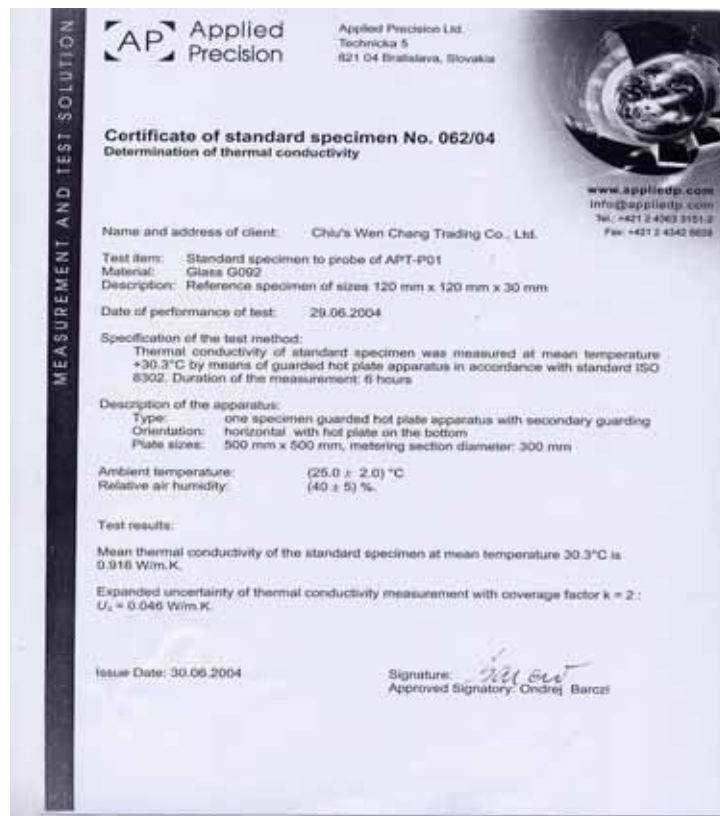


圖 2-74 試片一(Glass G09)原廠測試報告

### 2. 試片二：(Mineral M22)

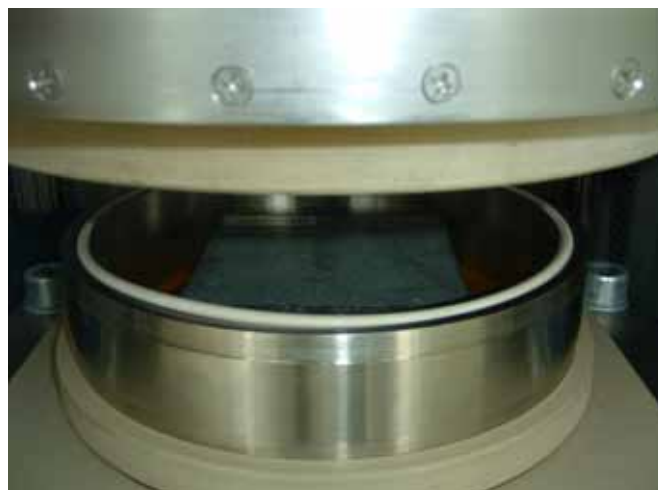


圖 2-75 試片二 (Mineral M22)

表 2-13 試片二 (Mineral M22) 量測結果

| 測試結果代號    | $\lambda$ | Cp                  | $\alpha$              | 溫度    |
|-----------|-----------|---------------------|-----------------------|-------|
| 測驗次數與結果單位 | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> K  | m <sup>2</sup> /s     | °C    |
| 1         | 2.23      | $2.15 \times 10^6$  | $1.04 \times 10^{-6}$ | 30.69 |
| 2         | 2.20      | $2.16 \times 10^6$  | $1.02 \times 10^{-6}$ | 31.45 |
| 3         | 2.18      | $2.16 \times 10^6$  | $1.01 \times 10^{-6}$ | 31.33 |
| 平均        | 2.2       | $2.156 \times 10^6$ | $10.2 \times 10^{-6}$ |       |

標準試片原廠量測值：2.18 W/m.K

最大誤差計算：

$$(2.23-2.18)/2.18 \times 100\% = 2.2\% < 10\% \text{ of reading} + 0.003 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$



圖 2-76 試片二(Mineral M22)原廠測試報告

3. 試片三：(PMM acrylate)

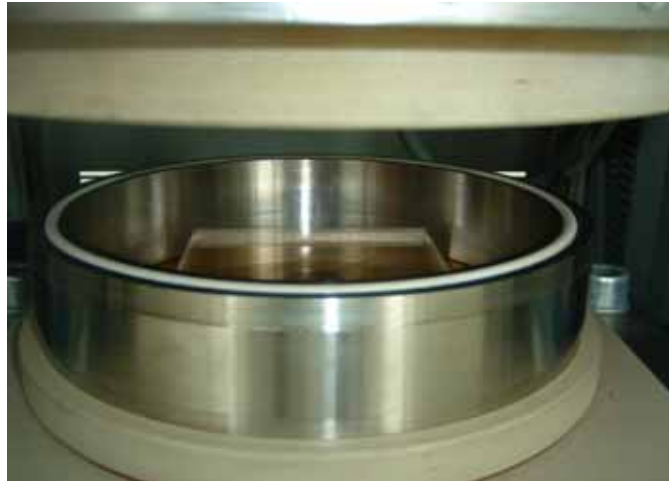


圖 2-77 試片三 (PMM acrylate)

表 2-14 試片三 (PMM acrylate) 量測結果

| 測試結果代號    | $\lambda$ | $C_p$               | $\alpha$               | 溫度    |
|-----------|-----------|---------------------|------------------------|-------|
| 測驗次數與結果單位 | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> K  | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 1         | 0.207     | $1.49 \times 10^6$  | $0.139 \times 10^{-6}$ | 34.87 |
| 2         | 0.201     | $1.49 \times 10^6$  | $0.135 \times 10^{-6}$ | 36.27 |
| 3         | 0.198     | $1.50 \times 10^6$  | $0.132 \times 10^{-6}$ | 36.32 |
| 平均        | 0.202     | $1.493 \times 10^6$ | $0.135 \times 10^{-6}$ |       |

標準試片原廠量測值：0.192W/m.K

最大誤差計算：

$$(0.207-0.192)/0.192*100\%=7.8\% < 10 \% \text{ of reading} + 0.003\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析

MEASUREMENT AND TEST SOLUTION

**AP** Applied Precision  
Applied Precision Ltd  
Technická 5  
821 04 Bratislava, Slovakia

**Certificate of standard specimen No. 061/04**  
Determination of thermal conductivity

**Name and address of client:** Chiu's Wen Chang Trading Co., Ltd.

**Test item:** Standard specimen to probe of APT-P01  
**Material:** PMM acrylate  
**Description:** Reference specimen of sizes 120 mm x 120 mm x 20 mm

**Date of performance of test:** 28.06.2004

**Specification of the test method:**  
Thermal conductivity of standard specimen was measured at mean temperature  $+30.2^{\circ}\text{C}$  by means of guarded hot plate apparatus in accordance with standard ISO 8302. Duration of the measurement: 6 hours

**Description of the apparatus:**  
**Type:** one specimen guarded hot plate apparatus with secondary guarding  
**Orientation:** horizontal with hot plate on the bottom  
**Plate sizes:** 500 mm x 500 mm, metering section diameter: 300 mm

**Ambient temperature:**  $(25.0 \pm 2.0)^{\circ}\text{C}$   
**Relative air humidity:**  $(40 \pm 5)\%$

**Test results:**  
Mean thermal conductivity of the standard specimen at mean temperature  $30.2^{\circ}\text{C}$  is  $0.192 \text{ W/m.K}$   
Expanded uncertainty of thermal conductivity measurement with coverage factor  $k = 2$ :  
 $U_k = 0.010 \text{ W/m.K}$

**Issue Date:** 30.06.2004  
**Signature:** *M. Barci*  
**Approved Signatory:** Ondrej Barci

**www.appliedp.com**  
**info@appliedp.com**  
**TEL:** +421 2 4363 5151  
**Fax:** +421 2 4362 6528

圖 2-78 試片三(PMM acrylate)原廠測試報告

#### 第四節 量測建材熱傳導係數之理論分析

##### 一、暫態熱線量測法(Transient Hot Wire Method)

暫態熱線量測法具備便利、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：

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

其中：

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

$\alpha$  為熱擴散係數(thermal diffusivity)

$k$  為熱傳導係數

$r_0$  為探針的半徑

$\gamma$  為尤拉常數 Euler constant=0.5772

由上式有推導求得介質的熱傳導係數為

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

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。

##### 二、穩態熱流量測法(Steady-state Heat Flow Method)

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。

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

其中：

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析

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 $=L/k$

本年度建築研究所採購之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下圖所示。依據上述傅立葉熱傳導定律試件之熱阻可以由下式求得：

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

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

因此試件的熱傳導係數可由  $k = d / R_s$  求得。

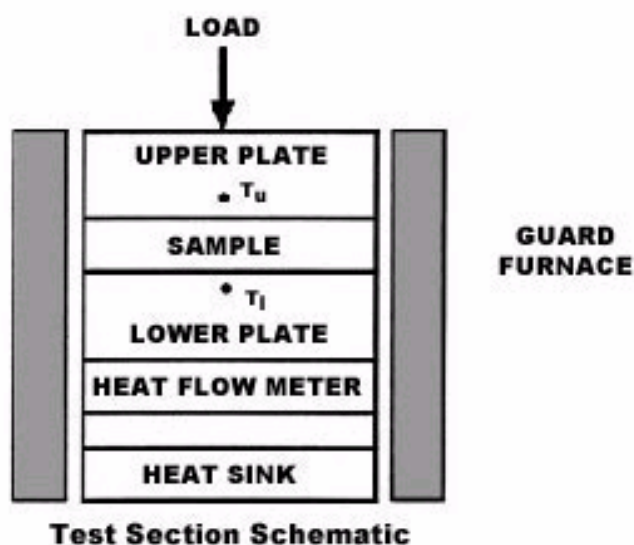


圖 2-79 保護熱流計法量測物體之熱傳導係數示意圖

在 (2-2) 式中， $F$  與  $R_{int}$  可在儀器的校正過程中獲得，故 (2-2) 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。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。

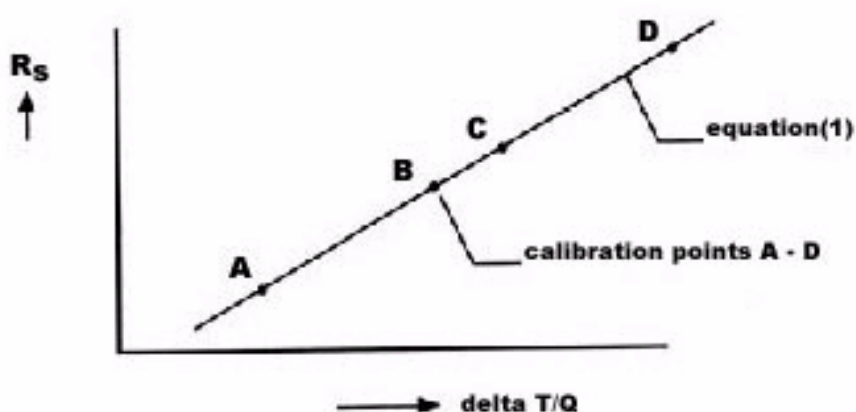


圖 2-80 保護熱流計法之校正分析

### 第五節 實驗量測系統之校正

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。

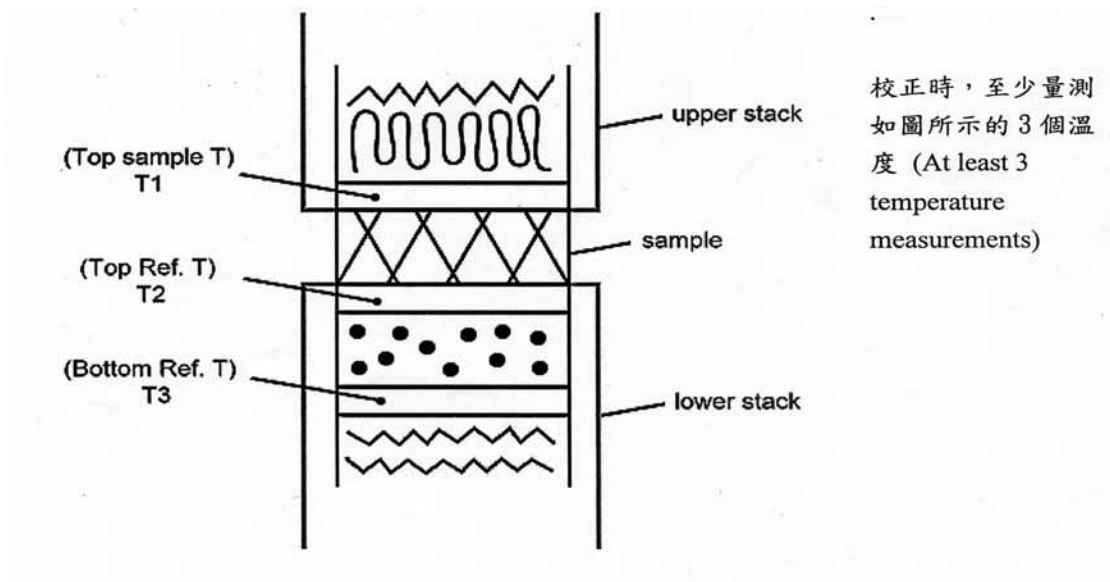


圖 2-81 量測示意圖

$$\Delta T_S = T_1 - T_2 \quad \text{所以 Calibration 結果是一條直線}$$

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

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

$$\Delta T_R = T_2 - T_3$$

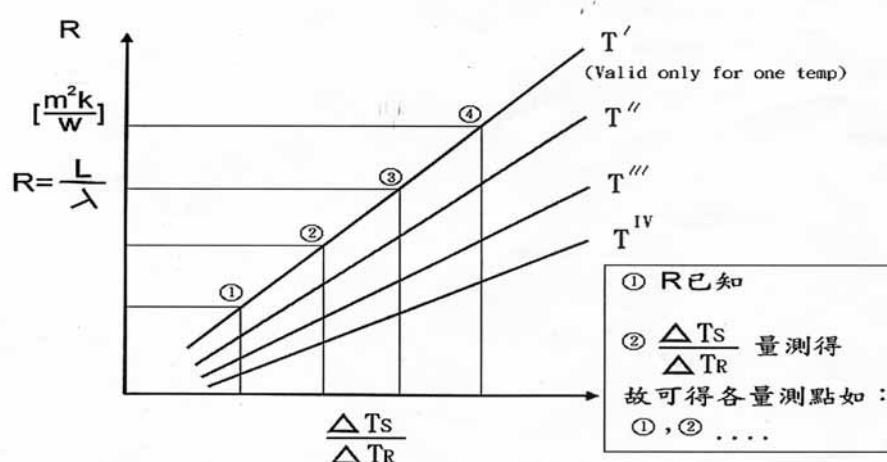


圖 2-82 校正曲線圖

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

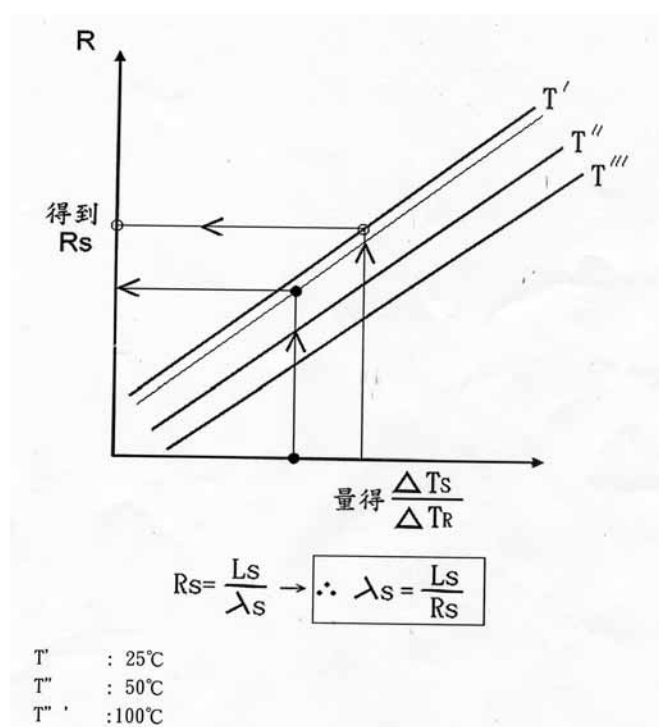


圖 2-83 由校正曲線求出試件熱傳導係數

## 第二章 建材熱傳導係數之量測儀器特性與理論分析

- 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)。

### 第三章 屋頂單一建材隔熱性能之量測結果與分析

經由第二章實驗儀器之建立後，在同樣的標準試件及實驗條件下，於不同時間進行實驗，所求得之標準試件隔熱性能經過與原廠認證結果比對及檢討實驗流程之後，充分掌握各量測儀器之特性與基本原理。透過玻璃試件均質（Homogeneous）之特性，建立攜帶式熱傳導係數與比容量測儀之實務檢測技術，並分別針對泡沫混凝土、隔熱磚、發泡玻璃等三類常用屋頂隔熱建材量測其熱性能數據，並探討本所在本年度所購置之建材隔熱性能量測儀器在量測各類建材隔熱性能之影響參數。

#### 第一節 攜帶式熱傳導係數與比容量測儀實務檢測技術之建立

本研究參考相關標準以及製造廠商所提供之操作手冊，發現試件之表面積以及表面平整度會對量測結果有影響外，以暫態量測方式為基準之攜帶式熱傳導係數與比容量測儀在量測時試件的厚度以及試件之放置條件亦會影響量測結果。因此本研究將就試件厚度以及放置條件對量測結果之影響進行探討。

##### 一、參數分析：厚度

由於玻璃之材質均勻且加工與製作便利，因此本研究採用玻璃（如圖 3-1 所示）做為量測對象。本研究共量測四種顏色玻璃之隔熱性能，探討不同厚度玻璃對量測結果之影響。為確保量測數據之重現性，每件試件均量測三次，並以此三次量測數據平均值為量測結果。量測結果整理下表所示（ $\lambda$ ：熱傳導係數、 $C_p$ ：比熱、 $\alpha$ ：熱擴散係數）。

圖 3-1 玻璃試件樣本

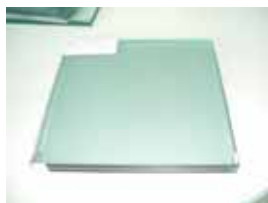


表 3-1 厚度參數之量測結果

|     | 厚度 | $\lambda$ | $C_p$               | $\alpha$               | 溫度    |
|-----|----|-----------|---------------------|------------------------|-------|
| 單位  | mm | W/mK      | J/m <sup>3</sup> K  | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 清玻璃 | 10 | 0.887     | $1.95 \times 10^6$  | $0.457 \times 10^{-6}$ | 34.75 |
| 清玻璃 | 18 | 0.983     | $1.93 \times 10^6$  | $0.515 \times 10^{-6}$ | 33.58 |
| 清玻璃 | 24 | 0.973     | $1.93 \times 10^6$  | $0.501 \times 10^{-6}$ | 35.06 |
| 綠玻璃 | 14 | 0.967     | $1.95 \times 10^6$  | $0.496 \times 10^{-6}$ | 34.25 |
| 綠玻璃 | 16 | 0.969     | $1.915 \times 10^6$ | $0.506 \times 10^{-6}$ | 33.65 |
| 綠玻璃 | 18 | 1.01      | $.92 \times 10^6$   | $0.526 \times 10^{-6}$ | 33.06 |
| 綠玻璃 | 24 | 0.961     | $1.91 \times 10^6$  | $0.504 \times 10^{-6}$ | 34.54 |
| 藍玻璃 | 14 | 0.958     | $1.92 \times 10^6$  | $0.498 \times 10^{-6}$ | 32.00 |
| 藍玻璃 | 16 | 1.020     | $1.93 \times 10^6$  | $0.527 \times 10^{-6}$ | 34.44 |
| 藍玻璃 | 18 | 1.020     | $1.92 \times 10^6$  | $0.53 \times 10^{-6}$  | 35.54 |
| 茶玻璃 | 14 | 0.965     | $1.93 \times 10^6$  | $0.499 \times 10^{-6}$ | 35.55 |
| 茶玻璃 | 16 | 0.947     | $1.93 \times 10^6$  | $0.491 \times 10^{-6}$ | 33.13 |
| 茶玻璃 | 18 | 1.020     | $1.92 \times 10^6$  | $0.532 \times 10^{-6}$ | 35.78 |

本研究量測之玻璃試片為一般建材用之隔熱玻璃，因此目前試片厚度僅有 6mm、8mm、10mm 三種，而類別則有清玻璃、綠玻璃、藍玻璃、茶玻璃等四種，因 ISOMET 所建議之試片厚度需達 10mm~15mm，玻璃試片單片的厚度明顯無法符合儀器的要求，所以本研究首先以清玻璃進行試片厚度之靈敏度分析，藉由實驗量測來研究試片厚度對材料熱傳導係數量測之影響，試片厚度則以單片、兩片或三片試片之堆疊達成不同厚度之變因，經由量測結果發現第一組厚度 10 mm 試片之熱傳導係數值為 0.887 W/m.K，厚度 18 mm 試片之熱傳導係數值為 0.983 W/m.K，厚度 24 mm 試片之熱傳導係數值為 0.973 W/m.K，其他三組試片厚度皆在 14 mm 以上，熱傳導係數值量測結果為 0.947 W/m.K 至 1.02W/m.K 之間；就玻璃類別而言，四種玻璃之量測結果

並無明顯之差異。

就玻璃試片而言，本次所量測之玻璃熱傳導係數值約介於 0.947 至 1.02 W/m.K 之間，惟當試片厚度低於 14 mm 以下明顯與厚度大於 14 mm 之其他試片量測結果產生較大之差異，因此建議試片厚度應大於 15 mm 以上，其量測結果較為準確。

## 二、參數分析：放置條件

在試件放置條件之討論上本研究亦採用玻璃做為量測對象，以攜帶式熱傳導係數與比容量測儀量測試件在桌面、金屬底板以及架空三種條件下之隔熱性能。量測結果如下表所示。

表 3-2 放置條件參數之量測結果

| 材料        | 放置條件 | $\lambda$ | $C_p$              | $\alpha$               | 溫度    |
|-----------|------|-----------|--------------------|------------------------|-------|
|           |      | W/mK      | J/m <sup>3</sup> K | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 清玻璃(18mm) | 桌面   | 0.996     | $1.93 \times 10^6$ | $0.511 \times 10^{-6}$ | 33.58 |
| 清玻璃(18mm) | 架高   | 0.997     | $1.93 \times 10^6$ | $0.517 \times 10^{-6}$ | 35.06 |
| 清玻璃(18mm) | 金屬底板 | 0.971     | $1.93 \times 10^6$ | $0.503 \times 10^{-6}$ | 30.99 |
| 清玻璃(24mm) | 桌面   | 0.973     | $1.93 \times 10^6$ | $0.505 \times 10^{-6}$ | 35.06 |
| 清玻璃(24mm) | 架高   | 0.977     | $1.93 \times 10^6$ | $0.507 \times 10^{-6}$ | 34.89 |
| 清玻璃(24mm) | 金屬底板 | 0.970     | $1.93 \times 10^6$ | $0.502 \times 10^{-6}$ | 34.74 |

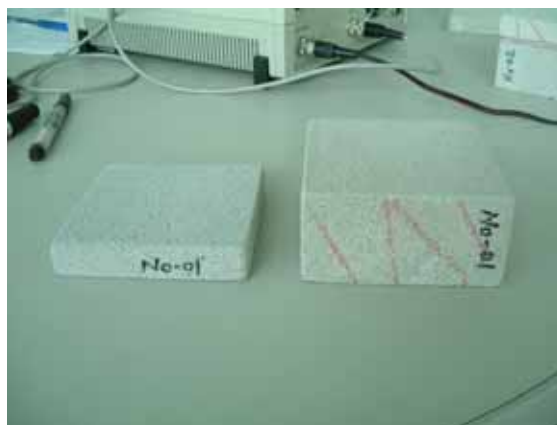
由以上量測結果發現其熱傳導係數值與之前厚度變因分析之量測結果近似，並沒有因試片狀態不同而有所改變，可知厚度達一定程度以上其熱傳導係數值並不受材料放置狀態所影響。

#### 第二節 泡沫混凝土隔熱性能量測結果與分析

傳統之輕質氣泡混凝土（或泡沫水泥）大多數採用金屬粉末為發泡劑之後發泡型，品質不易掌控。本研究所採用之泡沫混凝土之原料按產品別有不同的配方設計，主要係波特蘭一號或二號水泥、砂、石、陶粒（輕質砂石）、玻璃纖維、鋼網、強有力之氣泡及多種高性能減水劑。其製造過程係先製造微細之高張力氣泡，再按產品之熱傳導係數（熱阻值）、容積比重、抗壓強度及用途等需求，將氣泡精確地加到水泥漿中與其他原料均勻混合後注入模具中或現場澆注。由於係將億萬個強有力、不完全相通之獨立小氣泡均勻地分布在介質中所凝結硬化，此種不完全相通之密閉小氣泡就是最好的隔熱、保溫及防火的體材。因適量採用高性能減水劑（Superplasticizer）等，具不吸水，不燃燒，防火，斷熱，可塑，重量輕，但強度適中，隔熱保溫效果優異，品質穩定，使用年限長，可靠性高等特性。<sup>2</sup>

本研究選定三種不同發泡量之泡沫混凝土（如圖 3-2 所示）分別製成小尺寸試件進行量測，每個試件均進行三或四次量測，再由三次量測結果取平均求得結果，各試件之特性如表 3-3 所示。而熱性能數據之量測結果則如表 3-4~3-6 所示。

圖 3-2 泡沫混凝土試件之近照



<sup>2</sup> 彭安輕質氣泡水泥產品所採用之機械、材料、製造過程、原理、產品特性及用途說明，民國九十三年五月五日。

表 3-3 三種泡沫混凝土之特性表

|      | 密度 ( $\text{g/cm}^3$ ) | 發泡量 |
|------|------------------------|-----|
| 一號試件 | 0.5462                 | 高   |
| 二號試件 | 0.5727                 | 中   |
| 三號試件 | 0.6334                 | 低   |

表 3-4 一號泡沫混凝土試件之熱性能量測結果表

|       | $\lambda$ | $C_p$                  | $\alpha$               | 溫度                 |
|-------|-----------|------------------------|------------------------|--------------------|
| 單位    | W/m.K     | $\text{J/m}^3\text{K}$ | $\text{m}^2/\text{s}$  | $^{\circ}\text{C}$ |
| 第一次量測 | 0.248     | $0.979 \times 10^6$    | $0.254 \times 10^{-6}$ | 33.29              |
| 第二次量測 | 0.249     | $0.981 \times 10^6$    | $0.253 \times 10^{-6}$ | 30.31              |
| 第三次量測 | 0.232     | $0.941 \times 10^6$    | $0.247 \times 10^{-6}$ | 28.78              |
| 平均值   | 0.243     | $0.967 \times 10^6$    | $0.251 \times 10^{-6}$ |                    |

表 3-5 二號泡沫混凝土試件之熱性能量測結果表

|       | $\lambda$ | $C_p$               | $\alpha$               | 溫度    |
|-------|-----------|---------------------|------------------------|-------|
| 單位    | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> .K | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 第一次量測 | 0.244     | $1.08 \times 10^6$  | $0.225 \times 10^{-6}$ | 29.27 |
| 第二次量測 | 0.225     | $1.04 \times 10^6$  | $0.217 \times 10^{-6}$ | 29.46 |
| 第三次量測 | 0.230     | $1.05 \times 10^6$  | $0.220 \times 10^{-6}$ | 30.38 |
| 平均值   | 0.233     | $1.057 \times 10^6$ | $0.221 \times 10^{-6}$ |       |

表 3-6 三號泡沫混凝土試件之熱性能量測結果表

|       | $\lambda$ | $C_p$               | $\alpha$               | 溫度    |
|-------|-----------|---------------------|------------------------|-------|
| 單位    | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> .K | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 第一次量測 | 0.232     | $1.03 \times 10^6$  | $0.229 \times 10^{-6}$ | 29.67 |
| 第二次量測 | 0.239     | $1.04 \times 10^6$  | $0.229 \times 10^{-6}$ | 30.77 |
| 第三次量測 | 0.218     | $0.988 \times 10^6$ | $0.221 \times 10^{-6}$ | 29.27 |
| 第四次量測 | 0.220     | $0.983 \times 10^6$ | $0.224 \times 10^{-6}$ | 29.52 |
| 平均值   | 0.227     | $1.01 \times 10^6$  | $0.226 \times 10^{-6}$ |       |

由量測結果顯示，泡沫混凝土之熱傳導係數大約為 0.227 W/m.K~0.243 W/m.K 左右，比熱約為  $0.967 \times 10^6$  J/m<sup>3</sup>.K~ $1.057 \times 10^6$  J/m<sup>3</sup>.K 左右，且隨發泡量之增加，熱傳導係數隨之下降，而比熱則隨之上升。

### 第三節 隔熱磚隔熱性能量測結果與分析

隔熱磚(如圖 3-3 所示)為目前市面上廣泛使用之屋頂隔熱用建築材料，主要以活動化、輕量化、隔熱化、美觀化、天然化為設計理念製作，現場採用乾式組合工法，可以固定式或浮貼式兩種方法進行施工，具良好載重強度，不透水，標榜具有低熱傳導係數。因此本研究針對其進行隔熱性能量測。首先以攜帶式熱傳導係數與比容量測儀量測 2 種隔熱磚(如表 3-7)之隔熱性能。每個試件均以標準程序進行 3 次量測實驗，再由三次量測結果取平均求得結果。表 3-8、3-9 為隔熱磚之量測結果。

圖 3-3 隔熱磚試件之近照



表 3-7 兩種隔熱磚之特性表

|      | 水泥：隔熱膠 |
|------|--------|
| 一號試件 | 1:2    |
| 二號試件 | 1:4    |

表 3-8 一號隔熱磚試件之熱性能量測結果表

|       | $\lambda$ | $C_p$               | $\alpha$              | 溫度    |
|-------|-----------|---------------------|-----------------------|-------|
| 單位    | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> .K | m <sup>2</sup> /s     | °C    |
| 第一次量測 | 0.525     | $0.481 \times 10^6$ | $1.09 \times 10^{-6}$ | 27.33 |
| 第二次量測 | 0.520     | $0.491 \times 10^6$ | $1.06 \times 10^{-6}$ | 27.54 |
| 第三次量測 | 0.533     | $0.502 \times 10^6$ | $1.06 \times 10^{-6}$ | 27.72 |
| 平均值   | 0.526     | $0.491 \times 10^6$ | $1.07 \times 10^{-6}$ |       |

表 3-9 二號隔熱磚試件之熱性能量測結果表

|       | $\lambda$ | $C_p$               | $\alpha$               | 溫度    |
|-------|-----------|---------------------|------------------------|-------|
| 單位    | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> .K | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 第一次量測 | 0.115     | $0.192 \times 10^6$ | $0.597 \times 10^{-6}$ | 29.31 |
| 第二次量測 | 0.110     | $0.207 \times 10^6$ | $0.532 \times 10^{-6}$ | 29.45 |
| 第三次量測 | 0.111     | $0.210 \times 10^6$ | $0.529 \times 10^{-6}$ | 30.22 |
| 平均值   | 0.112     | $0.203 \times 10^6$ | $0.553 \times 10^{-6}$ |       |

由上述之量測結果顯示，隔熱磚之熱傳導係數分別為 0.526 W/m.K 與 0.112 W/m.K，比熱分別為  $0.491 \times 10^6$  J/m<sup>3</sup>.K 與  $0.203 \times 10^6$  J/m<sup>3</sup>.K，隨隔熱膠混合比例之增加，熱傳導係數與比熱均隨之下降，顯示隔熱膠對提昇建材隔熱效果有顯著之成效。

#### 第四節 發泡玻璃隔熱性能量測結果與分析

發泡玻璃（如圖 3-4 所示）為首先生產薄壁玻璃原料，並送入陶瓷球磨機磨碎成玻璃原料後，將該原料發泡成品並進行退火，最後切割成型。此種屋頂隔熱材料質輕，使用時需加覆強化面材以提高表面載重強度，具耐火與不透水特性，標榜具有低熱傳導係數。本試件同樣依標準程序進行 3 次量測實驗，再由三次量測結果取平均求得結果。表 3-10 為發泡玻璃之量測結果。

圖 3-4 發泡玻璃試件之近照



表 3-10 發泡玻璃試件之熱性能量測結果表

|       | $\lambda$ | $C_p$               | $\alpha$               | 溫度    |
|-------|-----------|---------------------|------------------------|-------|
| 單位    | W/m.K     | J/m <sup>3</sup> .K | m <sup>2</sup> /s      | °C    |
| 第一次量測 | 0.047     | $0.152 \times 10^6$ | $0.312 \times 10^{-6}$ | 30.16 |
| 第二次量測 | 0.046     | $0.171 \times 10^6$ | $0.270 \times 10^{-6}$ | 31.41 |
| 第三次量測 | 0.046     | $0.163 \times 10^6$ | $0.282 \times 10^{-6}$ | 31.29 |
| 平均值   | 0.046     | $0.162 \times 10^6$ | $0.288 \times 10^{-6}$ |       |

由結果顯示發泡玻璃之熱傳導係數為 0.046 W/m.K，比熱為  $0.162 \times 10^6$  J/m<sup>3</sup>.K，此值相當地低，若鋪設於建築物屋頂時，預期將可發揮顯著改善屋頂隔熱效果之功效。

### 第五節 常用屋頂隔熱建材隔熱性能量測結果之綜合比對分析

經由上述針對泡沫混凝土、隔熱磚、發泡玻璃隔熱性能之實務量測後，分別獲得各試件之熱性能數據，在此將其綜合彙整得表 3-11 之比對表，由表中可知在主導熱傳速度快慢之熱傳導係數  $k$  值方面，以發泡玻璃之熱傳導係數最低，在主導材料吸收、釋放熱能速度快慢之比熱方面，以泡沫混凝土之比熱最大，預料熱傳導係數及比熱之大小均將對各屋頂隔熱材料於實際使用時之整體隔熱效果產生重要之影響。

表 3-11 各種屋頂單一隔熱建材熱性能數據之綜合比對表

|                             | 泡沫混凝土              | 隔熱磚                 | 發泡玻璃                |
|-----------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 熱傳導係數<br>(W/m.K)            | 0.227              | 0.112               | 0.046               |
| 比熱<br>(J/m <sup>3</sup> .K) | $1.01 \times 10^6$ | $0.203 \times 10^6$ | $0.162 \times 10^6$ |

### 第三章 屋頂單一建材隔熱性能之量測結果與分析

## 第四章 屋頂單一建材隔熱性能檢測結果之實務應用 與計算分析

### 第一節 屋頂單一建材隔熱性能檢測結果對於改善建物屋頂隔熱

#### 效果之電腦模擬應用分析

在獲得三種常用屋頂單一建材之熱性能數據後，本研究以電腦模擬方式分析此三種建材當實際使用於建物屋頂提供隔熱用途時，其實際可發揮之熱傳效應改善成效。主要採用美國能源部空調耗能計算專用軟體 DOE 電腦程式進行模擬，模擬狀況為建物屋頂：1. 僅採用標準 RC 構造（如圖 4-1 所示）、2. 標準 RC 上覆蓋泡沫混凝土（如圖 4-2 所示）、3. 標準 RC 上覆蓋隔熱磚（如圖 4-3 所示）、4. 標準 RC 上覆蓋發泡玻璃（如圖 4-4 所示）等四種狀況，以獲得屋頂層結構之熱傳特性電腦模擬結果。

圖 4-1 標準 RC 材質之電腦模擬物性條件

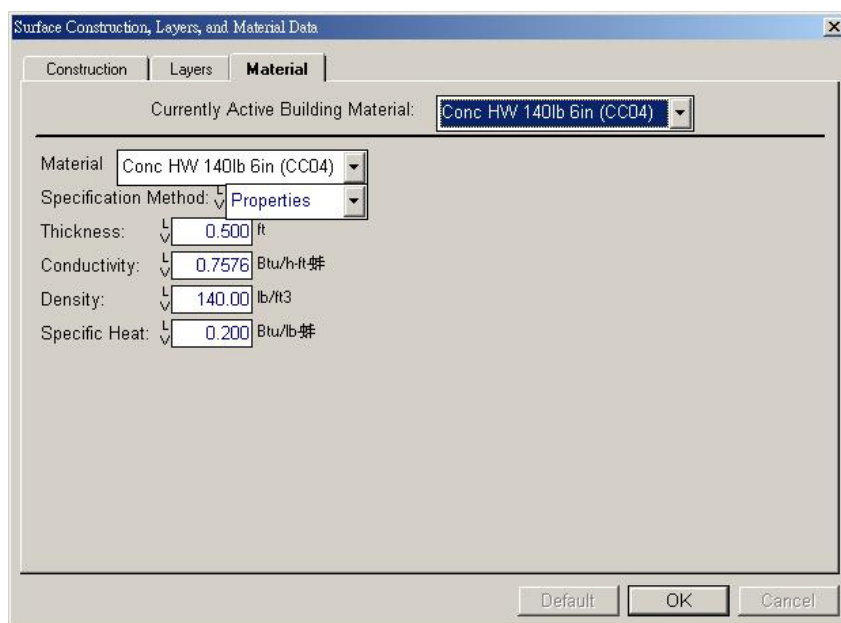


圖 4-2 泡沫混凝土材質之電腦模擬物性條件

Surface Construction, Layers, and Material Data

Construction Layers **Material**

Currently Active Building Material: Form Concrete (NO.1)

Material: Form Concrete (NO.1)

Specification Method: Properties

Thickness: 0.500 ft

Conductivity: 0.2363 Btu/h-ft-°F

Density: 34.10 lb/ft³

Specific Heat: 1.431 Btu/lb-°F

Default OK Cancel

圖 4-3 隔熱磚材質之電腦模擬物性條件

Surface Construction, Layers, and Material Data

Construction Layers **Material**

Currently Active Building Material: Insulation Tile (NO.3)

Material: Insulation Tile (NO.3)

Specification Method: Properties

Thickness: 0.167 ft

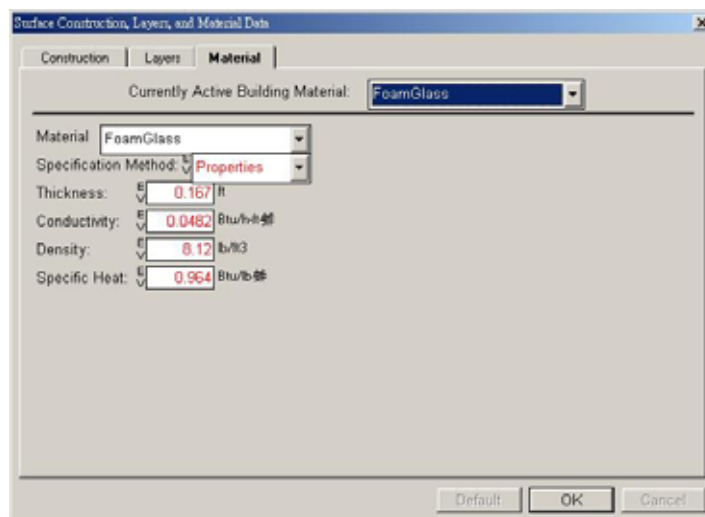
Conductivity: 0.1165 Btu/h-ft-°F

Density: 43.70 lb/ft³

Specific Heat: 0.224 Btu/lb-°F

Default OK Cancel

圖 4-4 發泡玻璃材質之電腦模擬物性條件



電腦模擬結果分別為：標準 RC 結構之熱傳特性曲線（如圖 4-5 所示）、RC 上覆蓋泡沫混凝土（如圖 4-6 所示）、RC 上覆蓋隔熱磚（如圖 4-7 所示）、RC 上覆蓋發泡玻璃及耐重面材（如圖 4-8 所示）等，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。

圖 4-5 標準 RC 結構之熱傳特性電腦模擬結果

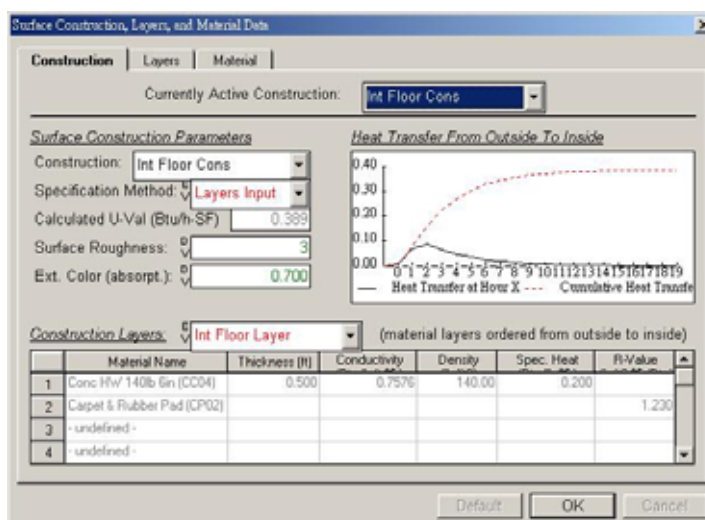


圖 4-6 RC+泡沫混凝土結構之熱傳特性電腦模擬結果

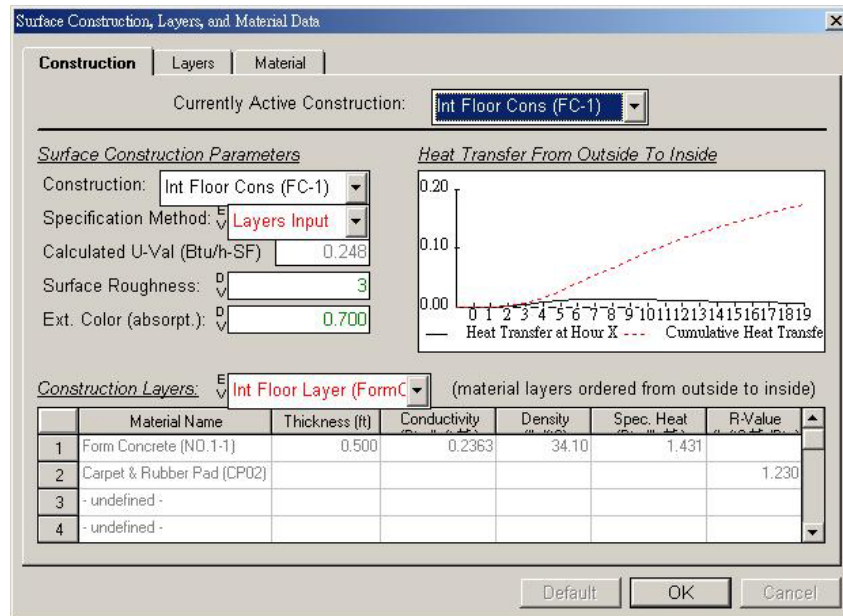


圖 4-7 RC+隔熱磚結構之熱傳特性電腦模擬結果

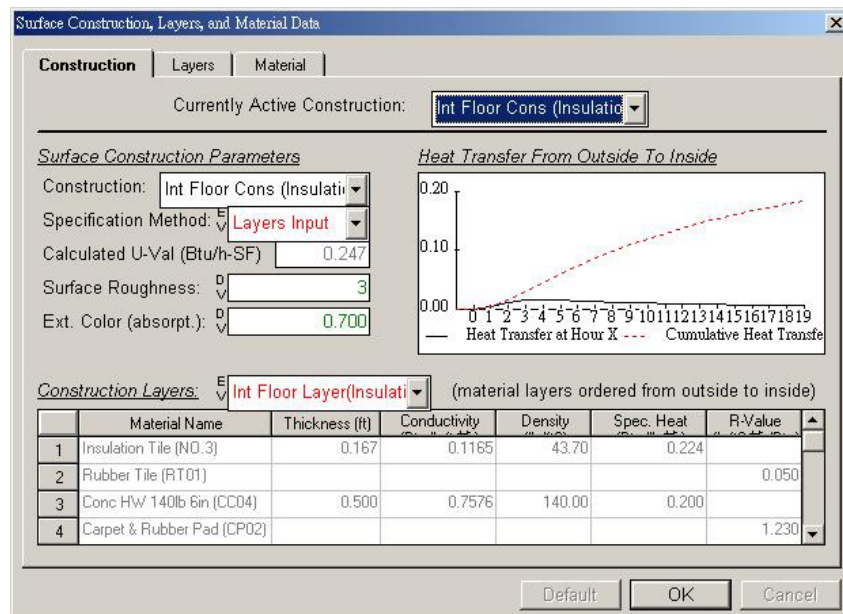
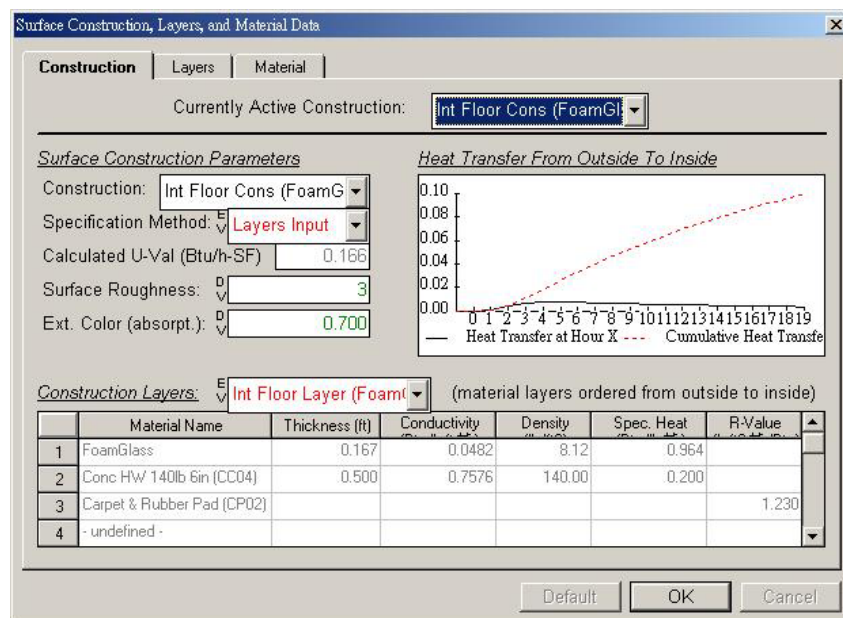


圖 4-8 RC+發泡玻璃結構之熱傳特性電腦模擬結果



由四圖可知當 RC 結構在採用不同隔熱建材後會產生不同之熱傳效應，本研究整理各圖結果如表 5 所示。由表 5 可知以發泡玻璃在阻絕即時性熱源之效果最佳，其即時性熱源最大值僅為標準 RC 結構之 8%而已。而泡沫混凝土在阻絕蓄積性熱源之效果最為顯著，其蓄積性熱源最大值僅為標準 RC 結構之 17.5%，發揮極佳之隔熱效果。

本結果值得注意的是建築物由室外進入室內之熱源必定同時包含即時性熱源與蓄積性熱源兩種，因此在評估建築外殼隔熱材料隔熱性能之優劣時，其熱傳導係數與比熱兩參數均應同時加以考量，而非僅只考慮熱傳導係數高低而已。因為熱傳導係數將主導即時性熱傳之行為模式，而比熱則主控蓄積性熱傳行為模式，只重視建材熱傳導係數之高低將會忽略即時性熱傳對建物室內造成熱負荷變化之影響。

表 4-1 屋頂單一隔熱建材隔熱效果之電腦模擬綜合分析結果表

|                                           | RC<br>基準值 | RC+泡沫<br>混凝土         | 變化率           | RC+<br>隔熱磚            | 變化率           | RC+<br>發泡玻璃           | 變化率           |
|-------------------------------------------|-----------|----------------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| 整體熱傳導<br>U 值<br>(Btu/hft <sup>2</sup> °F) | 0.389     | 0.213                | 減少<br>45.2%   | 0.247                 | 減少<br>36.5%   | 0.166                 | 減少<br>57.3%   |
| 隔熱材比熱<br>(J/m <sup>3</sup> K)             |           | 1.01×10 <sup>6</sup> |               | 0.203×10 <sup>6</sup> |               | 0.162×10 <sup>6</sup> |               |
| 即時熱能傳遞<br>之起始時間<br>(hr)                   | 0hr 後     | 3.5hr 後              |               | 0.5hr 後               |               | 1hr 後                 |               |
| 即時熱最大值<br>之發生時間<br>(hr)                   | 2hr 後     | 13.5hr 後             |               | 3hr 後                 |               | 3.5hr 後               |               |
| 即時熱能之<br>最大值<br>(無因次)                     | 0.10      | 0.009                | 基準值的<br>9%    | 0.015                 | 基準值的<br>15%   | 0.008                 | 基準值的<br>8%    |
| 即時熱能傳遞<br>之結束時間<br>(hr)                   | 10hr 後    | 19hr 以上              |               | 14.5hr 後              |               | 18.5hr 後              |               |
| 蓄積熱能釋放<br>50%發生時間<br>(hr)                 | 8hr 後     | 13.5h<br>以上          |               | 7.5hr<br>以上           |               | 8hr<br>以上             |               |
| 蓄積熱能之<br>最大值<br>(無因次)                     | 0.40      | 趨近 0.07              | 基準值的<br>17.5% | 趨近 0.19               | 基準值的<br>47.5% | 0.095                 | 基準值的<br>23.8% |

## 第二節 不同種類屋頂隔熱建材經濟效益之交叉比對分析

在獲得三種屋頂隔熱建材熱性能之綜合分析結果後，本研究最後納入各建材之設置成本資訊（如表 4-2 所示），以評估三種屋頂隔熱建材實際使用時之經濟效益，並提供實務使用上之參考。由表 4-2 可知，泡沫混凝土具有最佳之隔熱效果，且其初置成本最低；發泡玻璃之隔熱效果可謂中等，但初置成本較高；隔熱磚之隔熱效果並沒有另兩者突出，不過其設置成本亦不昂貴，因此亦具有競爭性。使用者除應根據隔熱性能及初置成本高低加以評估外，亦應考量隔熱產品施工時之方便性及日後養護成本，例如泡沫混凝土雖然初置成本低，但卻需在現場進行濕式工法施工，可能造成安裝現場之髒污及不便，而發泡玻璃於現場卻只需進行簡便裁切及黏合即可。而各產品之生命週期長短亦不相同，較短生命週期之產品可能遭遇更換頻繁之問題，故宜多方考量以選取適合之屋頂隔熱建材加以使用。

表 4-2 屋頂隔熱材隔熱效果與設置成本比對表

|              | 泡沫混凝土                  | 隔熱磚                    | 發泡玻璃                    | 重要程度 |
|--------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------|
| 即時熱源<br>隔熱效果 | 第二                     | 第三                     | 第一                      | 其次   |
| 蓄積熱源<br>隔熱效果 | 第一                     | 第三                     | 第二                      | 較高   |
| 設置成本         | 約 363 元/m <sup>2</sup> | 約 469 元/m <sup>2</sup> | 約 1500 元/m <sup>2</sup> |      |

#### 第四章 屋頂單一建材隔熱性能檢測結果之實務應用與計算分析

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

本所今年度購置之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目前已驗收完畢。本研究於執行期間，業已完成此三台儀器之安裝與設置，並且藉由標準試件之量測完成屋頂單一建材之隔熱性能檢測結果分析。研究成果分述如下：

- (1) 彙整比較各國建築外殼建材之相關隔熱性能檢測之研究成果。
- (2) 彙整比較各國建築外殼建材之相關隔熱性能檢測之標準。
- (3) 建立建材隔熱性能量測儀器—攜帶式熱傳導係數與比容量測儀的試驗方法及程序。
- (4) 建立建材隔熱性能量測儀器—建材隔熱性能量測儀的試驗方法及程序。
- (5) 建立建材隔熱性能量測儀器—固定式熱傳導係數與體積熱容量量測儀的試驗方法及程序。
- (6) 完成泡沫混凝土、隔熱磚、發泡玻璃等三種屋頂單一建材之隔熱性能數據量測。
- (7) 完成熱性能實測數據之電腦模擬計算分析，並獲得在實務應用上之隔熱改善效果。
- (8) 完成納入各隔熱材設置成本之經濟效益評估。

經由本案之詳實研究，可充分發揮三台熱傳導係數量測儀器之功能，並為日後本所進行綠建築評估時有關建材隔熱性能優劣之判斷工作做處具體且具實務性之良好量測與計算分析示範案例。

## 第二節 建議

在屋頂單一隔熱建材隔熱性數據實測結果方面，由量測結果顯示，以發泡玻璃之熱傳導係數最低，而泡沫混凝土之比熱最高。此種經實測獲得之建材隔熱性能數據，將可充分應用於預估提昇建物屋頂隔熱效果之用途，以便發揮其實際使用效益。

在屋頂單一建材隔熱性能檢測結果對於改善建物屋頂隔熱效果之電腦模擬應用分析方面，由模擬結果顯示，以標準 RC 結構上覆蓋發泡玻璃時，具有最佳之即時性熱源隔絕效果，而標準 RC 結構上覆蓋泡沫混凝土時，則具有最佳之蓄積性熱源隔絕效果。另在探討建材隔熱性能之優劣時，應將熱傳導係數與比熱兩參數同時列為評估項目，方可兼顧即時性熱傳與蓄積性熱傳對建物室內熱負荷變化之影響性。

經由上述兩部分之描述，可充分獲得當在評估任何建材是否具有提昇外殼隔熱效果之過程中，除應慎選適當之量測儀器以正確量測出各建材之熱性能數據外，均應善用儀器量測所得之各項數據，並進行電腦模擬預測，讓數據說話，以數據來印證各廠商產品所宣稱之提昇隔熱效果之功效。而評估時亦應全盤考量到所有主導建物外殼熱傳行為之重要參數，以做出正確之隔熱效果分析結果。

最後，由經濟效益評估結果顯示，本研究三種屋頂隔熱材在隔熱效果、價格、施工方便性、產品生命週期上有各自之優勢，使用者應依據自身實際需求加以評估後採用。另本研究之成果，除可提供國內有屋頂隔熱需求民眾極佳之選擇參考外，將可作為未來針對屋頂隔熱綠建材熱性能資料庫建立與檢測工作良好之示範性研究。

## 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。

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.