



國立臺北科技大學

土木工程系土木與防災碩士班

碩士學位論文

EPS 複合板帷幕牆之隔熱性能分析
Analysis of Thermal Insulation Performance of
EPS Composite Board Curtain Wall



研 究 生：毛婕霖

指導教授：林利國 博士

中華民國一百一十二年六月

國立臺北科技大學
研究所碩士學位論文口試委員會審定書

本校 土木工程系土木與防災研究所碩士班 研究所 毛婕霖 君

所提論文，經本委員會審定通過，合於碩士資格，特此證明。

學位考試委員會

委

員：

張寬勇
林孝東
杜利明

指導教授：

杜利明

所

長：

林祐正

中華民國 一百一十二 年 六 月 十九 日

摘要

論文名稱：EPS 複合板帷幕牆之隔熱性能分析

頁數：八十九頁

校所別：國立臺北科技大學 土木工程系土木與防災碩士班

畢業時間：一百一十一學年度第二學期

學位：碩士

研究生：毛婕霖

指導教授：林利國 博士

關鍵詞：地工泡棉、發泡聚苯乙烯、隔熱性能、帷幕牆複合板

隨著人類的開發及演進，建築物之設計逐漸向上發展，近幾年帷幕牆普及於各都市，帷幕牆之材料常見為玻璃及金屬，皆為容易傳熱之材料，因此隔熱議題逐漸受到關注。進而發展出多種隔熱方法，常見之隔熱方法除了以隔熱漆、安裝隔熱材、遮陽裝置以及綠化等，藉由降低室內溫度，以減少空調使用率，因而達到節能永續環境之目的。而石材方面之運用，其具有堅硬耐用之質地、防水與穩定之特性及特殊獨特之自然花紋能夠滿足不同建築風格和設計要求，皆為石材被廣泛應用之原因，因此本研究期望以三種石材及兩種磁磚結合發泡聚苯乙烯(簡稱 EPS)做為複合板用於帷幕牆之材料，發泡聚苯乙烯為保溫隔熱之材料，因其施工便利、質量輕、經濟性佳、緩衝性佳等優點，探討其隔熱性能。

本研究透過模擬日照平台進行模擬，針對五種材料(花崗石、大理石、人造石、石英磚、石板磚)配合三種密度及三種厚度之 EPS 以鹵素燈進行不間斷段照射八小時及冷卻八小時之各測點之溫度監測，並以溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)作為隔熱效能之評斷依據，依研究結果顯

示單一材料第一類中以花崗石隔熱效能最佳，其密度為五種材料中最大，第八小時溫度差達 11.6 度。複合材料類別中第八小時隔熱效能最佳者為花崗石配合 25K3 公分 EPS，第八小時溫度差可達 58.8 度。經統整數據分析可得知，於相同厚度之複合材料，隔熱效果最優異者其以中花崗石配合 25K2 公分之 EPS 及石英磚配合 25K3 公分之 EPS，隔熱效能最為優異，溫度差可達 51.3 度。隨著 EPS 厚度及密度之提升，對於隔熱之效能較有助益。



ABSTRACT

Title: Analysis of Thermal Insulation Performance of EPS Composite Board Curtain Wall

Pages: 89

School: National Taipei University of Technology

Department: Graduate Institute of Civil and Disaster Prevention Engineering

Time: June, 2023

Degree: Master

Researcher: Chieh lin, Mao

Advisor: Lee-Kuo, Lin Ph.D.

Keywords: EPS, Insulation, EPS Composite Board



With the development and evolution of human beings, the design of buildings has gradually developed upward. In recent years, curtain walls have become popular in various cities, and curtain walls are commonly made of glass and metal, which are materials that can easily transmit heat. In addition to thermal insulation paint, installation of thermal insulation materials, shading devices and greenery, etc., common thermal insulation methods have been developed to reduce the indoor temperature to reduce the use of air conditioning, thus achieving the purpose of energy-saving and sustainable environment. The use of stone, with its hard and durable texture, waterproof and stable characteristics, and special and unique natural patterns to meet different architectural styles and design requirements, is the reason why stone is widely used. The advantages of EPS as a thermal insulation material include ease of construction, light weight, economy, and good buffering properties.

In this study, five materials (granite, marble, artificial stone, quartz tile, and slate tile) with three densities and three thicknesses of EPS were simulated by simulated sunlight platform, and the temperature difference ($\Delta^{\circ}\text{C}$) was used as the basis for evaluating the thermal performance. The density was the highest among the five materials, and the temperature difference reached 11.6 degrees Celsius in the eighth hour. Among the composite materials, granite with 25K3cm EPS has the best heat insulation performance in the eighth hour, and the temperature difference in the eighth hour can reach 58.8 degrees. After analyzing the data, we can see that among the composite materials with the same thickness, the best insulation effect is achieved by the medium granite with 25K2cm EPS and the quartz tile with 25K3cm EPS, with a temperature difference of 51.3 degrees. With the increase of EPS thickness and density, it is more beneficial to the heat insulation performance.



誌謝

近兩年的碩士生涯即將結束，兩年前選擇進入國立臺北科技大學就讀，並於恩師林利國教授指導下完成此篇論文，於此感謝恩師林利國教授於學生論文研究期間給予悉心指導，除了於課程中傳授專業豐富之學識，亦另於假日及除夕佳節至校關心學生之實驗。除了學術知識外，感謝教授讓我們接觸多項事務，培養研究所最重要之核心價值為解決事情之能力以及團隊合作之能力，使我獲益良多。也感謝土木防災碩士班營管組林正平教授、林祐正教授及紀乃文教授於碩士兩年即出示給予寶貴之建議，以及口試期間感謝張寬勇教授及林榮禾教授給予學生指導，使本論文更加完善，感謝之至。

兩年碩士生涯，感謝研究室博士班洪竹鈞學長、羅傑鯨學長、蕭湘學姊以及陳駿學長，於論文方面給予多方建議以及協助；感謝碩士班劉宇傑學長及蔡冠辰學長，帶領我們熟悉學校及研究生活；感謝同儕何承諭、吳峙叡及葉育儒互相提攜；感謝劉晏婷助理以及潘安秀助理於論文繁忙時給於行政事務上之協助；感謝學弟妹李栢瀧及唐婉婷於論文口試期間給予協助。

最後，感謝支持我的家人及朋友們，使我於碩士的求學過程中，能夠順利完成學業；在此表達最深的感謝。

毛婕霖 謹致

民國 112 年 07 月

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	iii
誌謝.....	v
目錄.....	vi
表目錄.....	x
圖目錄.....	xii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍與限制.....	2
1.4 方法與流程.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
2.1 EPS 之成分.....	4
2.2 EPS 製成.....	5
2.2.1 EPS 樹脂.....	5
2.2.2 EPS 發泡與圓熟.....	8
2.2.3 EPS 灌模與脫模.....	9
2.2.4 EPS 成型品.....	9
2.3 EPS 性質及試驗.....	10
2.3.1 EPS 之耐熱及耐燃性.....	11
2.3.2 EPS 隔熱性質.....	11
2.3.3 EPS 之耐久性.....	12

2.3.4 EPS 之吸水性	13
2.4 EPS 國內外應用狀況	14
2.4.1 EPS 應用於建築物隔熱	14
2.4.2 EPS 於日本之工程應用	16
2.4.3 EPS 於美國之工程應用	17
2.4.4 EPS 於挪威之工程應用	20
2.4.5 EPS 於台灣工程之應用	21
2.5 建築石材之分類	25
2.5.1 火成岩	26
2.5.2 沉積岩	26
2.5.3 變質岩	27
2.5.4 外牆石材工法	28
2.6 帷幕牆	29
2.6.1 帷幕牆之分類	29
2.7 熱量傳播方式	30
2.7.1 熱傳導(Conduction):	30
2.7.2 熱對流(Convection).....	30
2.7.3 熱輻射(Radiation).....	31
2.8 溫度感測器	31
2.8.1 電熱偶	31
2.8.2 熱敏電阻	32
2.8.3 電阻式感溫器	33
2.8.4 紅外線感測器	33
2.9 相關規範	33
2.9.1 公共工程施工綱要規範	33

2.9.2 中華民國國家標準之相關規定	36
2.9.3 相關研究	36
第三章 研究方法	38
3.1 實驗計畫	38
3.2 實驗材料	40
3.3 實驗設備	43
3.4 實驗試體規格	45
3.5 實驗程序	47
第四章 研究結果	50
4.1 實驗背景與流程	50
4.1.1 實驗試體分類	50
4.2 實驗數據分析	51
4.2.1 單一材料之第一類(表面材料)	52
4.2.2 單一材料之第二類(EPS)	54
4.2.3 複合材料之第三類(花崗石)	57
4.2.4 複合材料之第四類(大理石)	59
4.2.5 複合材料之第五類(人造石)	60
4.2.6 複合材料之第六類(石英磚)	62
4.2.7 複合材料之第七類(石質磚)	63
4.3 隔熱效能分析	65
4.3.1 單一材料之隔熱性能	65
4.3.2 複合材料之隔熱性能	65
4.3.3 相同厚度之複合材料數據分析	70
4.3.4 價值分析	71
4.3.5 重量分析	74

第五章 結論與建議.....	77
5.1 結論.....	77
5.2 建議.....	79
參考文獻.....	80
附錄.....	82



表目錄

表 2.1 發泡聚苯乙烯粒徑規格分類表	7
表 2.2 試驗項目及試驗方法（蔡曜謙，2017）	10
表 2.3 各密度 EPS 於常溫下之熱傳導係數	12
表 2.4 EPS 之耐化學性	13
表 2.5 臺灣 EPS 應用於工程上之實例	23
表 2.6 臺灣 EPS 應用於工程上之實例	24
表 2.7 濕式工法與乾式工法之比較(蔡德明，2017)	28
表 2.8 熱電偶類型(詹彬，2021)	32
表 2.9 聚苯乙烯隔熱板應符合之物理特性	35
表 2.10 中華民國國家標準相關規範	36
表 2.11 相關文獻	37
表 3.1 實驗變數分類表	38
表 3.2 實驗試體組裝流程	48
表 4.1 實驗試體分類表-單一材料	50
表 4.2 實驗試體分類表-複合材料	51
表 4.3 單一材料之第一類第八小時溫度	52
表 4.4 第一類材料密度表	52
表 4.5 單一材料第二類第八小時溫度	54
表 4.6 EPS K 值線性迴歸方程式及相關係數 R^2	55
表 4.7 EPS 厚度線性迴歸方程式及相關係數 R^2	56
表 4.8 複合材料第三類第八小時溫度	57
表 4.9 複合材料第四類第八小時溫度	59

表 4.10 複合材料第五類各點溫度	60
表 4.11 複合材料第六類各點溫度	62
表 4.12 複合材料	63
表 4.13 單一材料第八小時隔熱效能	65
表 4.14 第三類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差	66
表 4.15 第四類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差	66
表 4.16 第五類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差	67
表 4.17 第六類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差	67
表 4.18 第七類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差	67
表 4.19 各類複合材料最高隔熱效能	68
表 4.20 各類複合材料最低隔熱效能	68
表 4.21 相同厚度之複合材料隔熱性能	70
表 4.22 材料成本價目表	72
表 4.23 厚度四公分複合板之價目表	72
表 4.24 複合板每元可阻隔之熱能	73
表 4.25 表面材料之重量	74
表 4.26 EPS 之重量	74
表 4.27 第三至五類複合材料重量一覽表	75
表 4.28 第六至七類複合材料重量一覽表	75
表 4.29 厚度四公分複合板之重量分析	76

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖	3
圖 2.1 苯乙烯經聚合反應為聚苯乙烯反應圖（鄭卓仁，2010）	4
圖 2.2 EPS 製造流程圖（林利國，2000）	5
圖 2.3 原油煉製過程及產物示意圖（英國塑膠協會，2005）	6
圖 2.4 樹脂塑膠顆粒（茂森商業有限公司，2020）	7
圖 2.5 EPS 預發泡（蘭陽開發工業股份有限公司，2020）	8
圖 2.6 EPS 灌模與脫模作業流程圖（林利國等，2000）	9
圖 2.7 EPS 成型產品作業相關流程圖（黃柏維，2004）	10
圖 2.8 EPS 耐熱性試驗之曲線	11
圖 2.9 EPS 密度與熱傳導係數之關係	12
圖 2.10 EPS 密度和吸水量之關係圖（JEPSA，2016）	14
圖 2.11 SIP 混凝土隔熱板示意圖（Mohammad Panjehpour，2013）	14
圖 2.12 ICF 混凝土隔熱板示意圖（Logixicf，2020）	15
圖 2.13 SCIP 結構式混凝土板示意圖（Sipcrete，2020）	16
圖 2.14 北海道札幌市橋梁橋台之背填工程	16
圖 2.15 猶他州鹽湖城 I-15 州際公路重建工程	18
圖 2.16 紐約州厄特縣 23A 道路工程	18
圖 2.17 華盛頓州 Renton City Hall 新建工程	19
圖 2.18 馬里斯維爾州斯諾霍涵洞工程	19
圖 2.19 新奧爾良機場東西向跑道整建工程（ACH Foam Technologies，2006）	20
圖 2.20 臺北市中山大直橋（莊士賢，2008）	22
圖 2.21 洲美快速道路第二期新建工程示意圖（何泰源，2001）	22

圖 2.22 EPS 及雙層點焊鋼絲網	23
圖 2.23 國立臺北科技大學圖書館屋頂太陽能設備暨休憩空間整建工程	23
圖 2.24 EPS 工法使用區塊示意圖	25
圖 2.25 三峽區北 113 縣(0K+650)災害復建工程	25
圖 2.26 火成岩之花崗岩	26
圖 2.27 沉積岩之頁岩(陳耀麟，2009)	27
圖 2.28 熱傳導示意圖 (Kays William Morrow，2002)	31
圖 2.29 電阻式感測器示意圖 (blazeprobes，2019)	33
圖 3.1 實驗流程圖	39
圖 3.2 EPS 塊體	40
圖 3.3 大理石「蒂諾」	40
圖 3.4 花崗石「大龍壁」	41
圖 3.5 人造石「莎賓娜」	41
圖 3.6 石質磚、石英磚	42
圖 3.7 角鋼	42
圖 3.8 SNUG III 精密電子天平秤	43
圖 3.9 110V/500W 鹵素燈具	43
圖 3.10 TM-947SD 溫度記錄儀 (Lutron，2020)	44
圖 3.11 電熱偶感溫線	44
圖 3.12 110V 60Hz 機械式定時器	44
圖 3.13 模擬日照平台俯視圖	45
圖 3.14 模擬日照平台正視圖	46
圖 3.15 單一材料示意圖	46
圖 3.16 複合材料示意圖	46
圖 4.1 第一類材料之隔熱溫度變化圖	53

圖 4.2 第一類材料第八小時之隔熱效能	53
圖 4.3 第二類材料之隔熱溫度變化圖	54
圖 4.4 第二類材料第八小時之隔熱效能	55
圖 4.5 EPS K 值與第八小時溫度差線性回歸圖	56
圖 4.6 EPS 厚度與第八小時溫度差線性回歸圖	57
圖 4.7 第三類材料配合 EPS 之隔熱溫度變化圖	58
圖 4.8 第三類材料配合 EPS 之第八小時溫度差	58
圖 4.9 第四類材料配合 EPS 之溫度差變化圖	59
圖 4.10 第四類材料配合 EPS 之第八小時溫度差	60
圖 4.11 第五類材料配合 EPS 之溫度差變化圖	61
圖 4.12 第五類材料配合 EPS 之第八小時溫度差	61
圖 4.13 第六類材料配合 EPS 之溫度差變化圖	62
圖 4.14 第六類材料配合 EPS 之第八小時溫度差	63
圖 4.15 第七類材料配合 EPS 之溫度差變化圖	64
圖 4.16 第七類材料配合 EPS 之第八小時溫度差	64
圖 4.17 各類複合材料最高隔熱效能柱狀圖	69
圖 4.18 各類複合材料最低隔熱效能柱狀圖	69
圖 4.19 相同厚度之複合材隔熱性能柱狀圖	71

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

隨著人類的開發及演進，地球溫度逐年升高，並伴隨著極端氣候的出現，然而最直接影響的即為室內溫度，現代建築逐漸朝向密閉式發展，也就造就建築物內部如何減少外在陽光及環境所帶來之溫度，以提供人們舒適宜居之環境之議題。然而台灣建築物多使用吸熱能力強、散熱慢之混凝土，以及隨著土地逐漸開發殆盡，建築物之設計也逐漸往上發展，近幾年帷幕牆也逐漸普及於各都市，帷幕牆之材料常見為玻璃及金屬，皆為容易傳熱之材料，因此隔熱議題逐漸受到關注。常見之隔熱方法除了以隔熱漆、安裝隔熱材、遮陽裝置以及綠化等，除了降低室內溫度，更是為環保的一環，藉由降低室內溫度，以減少空調使用率，因而達到節能永續環境之目的，即為本研究之主要研究動機。

於建築中常見之帷幕牆材料僅需考量自身之重量，不需承載其餘重量，因此被現代建築廣泛使用。然而在石材方面的運用，其具有堅硬耐用之質地、防水與穩定之特性及特殊獨特之自然花紋，皆為石材被廣泛應用的原因，自古以來多項文明建築皆已使用石材作為建築材料可用於外牆、牆身、地板、階梯、柱子等部位，其應用範圍極廣，不同種類的石材在色彩、花紋、紋理等方面各具特色，能夠滿足不同建築風格和設計要求，例如傳統中國建築常用的青石板、紅石材、白大理石等，透過使用於建築上之使用可傳達出莊嚴、高貴與永恆之意涵。惟因石材本身重量較重，常被認為不適用於高層建築及天花板中，而發泡聚苯乙烯(Expanded Poly Styrene；簡稱為 EPS)作為保溫隔熱之材料，因其施工便利、質量輕、經濟性佳、緩衝性佳等優點，現階段應用工程中多用於落石防護、邊坡修復等，而於建築中，則將發泡聚苯乙烯顆粒應用於隔間牆中的輕質隔間牆之應用。

綜合上述兩種材料，本研究期望以 EPS 輕質性之優點改善石材重量問題，並以 EPS 隔熱性之優點結合石材之耐水性作為帷幕牆之建築材料，探討其隔熱性能，期望能提供

新穎之建築材料，並對未來建築設計、節能及永續環境等議題做出貢獻。

1.2 研究目的

本研究將配合市面上常見之石材，如：石材類之花崗石、大理石、人造石，磁磚類之石板磚、石質磚等配合三種密度分別切割為三種厚度之發泡聚苯乙烯板做為帷幕牆之複合材料，針對單一材料及複合材料進行隔熱性能之研究探討其隔熱效能，並以各材料之單價及隔熱效能進行價值分析，以及已發泡聚苯乙烯之輕質性針對複合板進行重量分析，故本研究執行目的如下：

- 一、統整國內外相關 EPS 之文獻及相關工法及應用情形。
- 二、探討以不同密度(K 值)及厚度之 EPS 結合市售之石材及石板作為 EPS 石材複合板，透過實驗探討其隔熱性能之差異。
- 三、探討五種材料配合不同密度及厚度 EPS 作為帷幕牆複合板之價值分析。
- 四、探討 EPS 複合板帷幕牆之重量分析。

1.3 研究範圍與限制

本研究僅針對發泡聚苯乙烯以及複合材料之隔熱性能進行探討，故本研究之範圍與限制分別如下：

- 一、本研究僅針對 EPS 複合板之隔熱性能加以探討，並未探討其黏結性及耐候性等性質。
- 二、本研究僅針對三種石板及兩種瓷磚進行探討，並未探討其餘建築外牆材料。

1.4 方法與流程

本研究為探討不同材料配合發泡聚苯乙烯做為複合板之隔熱性探討，因此將透過

以下方法進行探討及分析：

- 一、文獻回顧法：彙整國內外相關 EPS 文獻以及應用案例，並調查國內外工程應用現況。
- 二、模擬試驗法：模擬不同密度及厚度之 EPS 塊體結合石材及磁磚之隔熱效能並進行分析與比較探討其差異。

如圖 1.1 所示，為本研究執行流程。

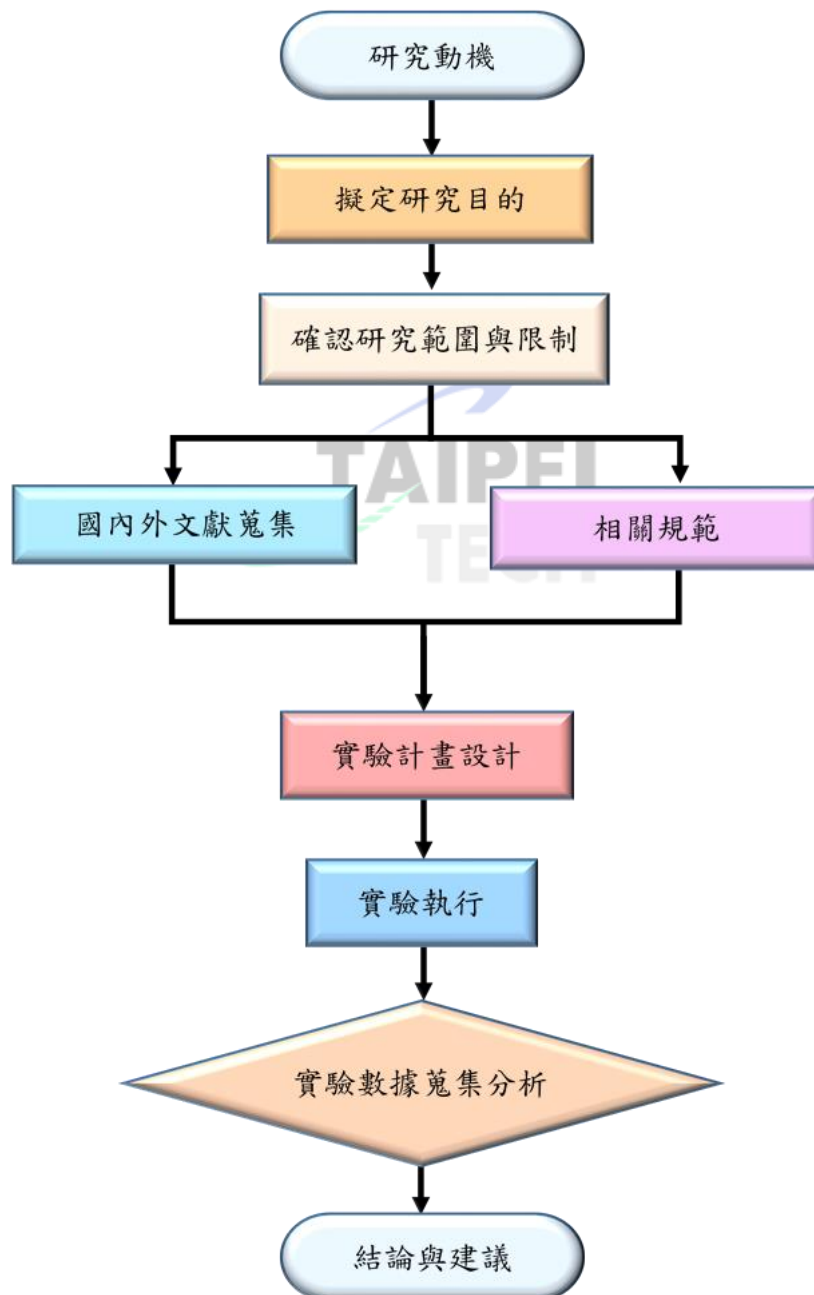
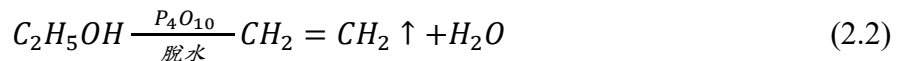
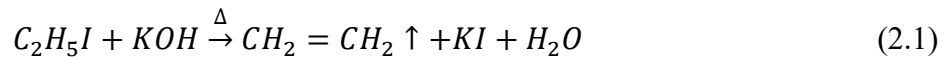


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 EPS 之成分

EPS 其主要材料係由乙烯（化學式： C_2H_4 ）及苯（化學式： C_6H_6 ）經聚合作用而製成，乙烯為天然氣與石油之製品，為烯類中最簡單且重要之分子，大多存於天然氣、煤氣及煉油氣中，並藉碘乙烷與氧化鉀之酒精液體共熱而製成，其反應式如方程式(2.1)所示，或以濃硫酸與五氧化二磷，促使酒精經脫水而製成，其反應式如方程式(2.2)所示。



苯為煉焦爐之副產品，透過適當之觸媒反應，迫使乙烯通過苯即得乙苯；此乙苯合成物劈裂分子內之氫原子，即轉化為苯乙烯（ C_8H_8 ），再藉由聚合反應轉化成固體塑膠質（黃柏維，2004）；聚苯乙烯之單體即為乙烯，其聚合反應如圖 2.1 所示（鄭卓仁，2010）。

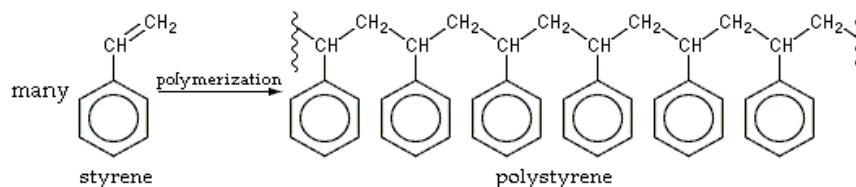


圖 2.1 苯乙烯經聚合反應為聚苯乙烯反應圖（鄭卓仁，2010）

EPS 之基本特性包括質量輕、經濟性、耐水性、施工簡便、自立性、緩衝性、耐水性、電絕緣性及隔熱隔音，其基本特性與應用，茲敘述如下（何泰源，2006）。

- 一、質量輕：密度僅約一般砂土之 1/100，使軟弱地盤不須改良承载力即無沉陷之虞。
- 二、經濟性佳：工期短、用地省、挖方少及維修費低，工程總造價經濟。
- 三、耐水性佳：單獨孔隙不易吸水，材質不致產生變化。

- 四、施工簡便：迅速且不需大型機械及特殊技術，以人力即可輕便迅速施工，可解決技術工難求之困擾。
- 五、自立性佳：柏松比小且自立性佳，可減低側向土壓，適用於擋土結構物之背填材料。
- 六、緩衝性優：單獨氣泡體能發揮優越緩衝性，具減少衝擊及震動效果。
- 七、耐水性佳：材料不易吸水、變形及產生化學反應等優點。
- 八、電絕緣性佳：在可容許之操作溫度範圍內，具有良好的電絕緣性質及抗靜電性。
- 九、隔熱隔音佳：EPS 之組成約有 98%為空氣，僅 2%為實體物質，故具有隔熱隔音之效果。

2.2 EPS 製成

EPS 之製造流程分為原料發泡、灌模與脫模及 EPS 成型品等步驟（林利國，2000）如圖 2.2 所示。

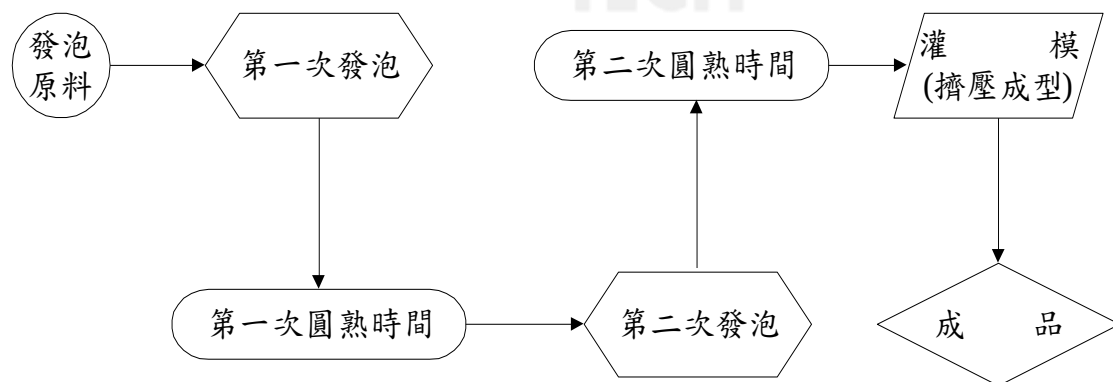


圖 2.2 EPS 製造流程圖（林利國，2000）

2.2.1 EPS 樹脂

塑化聚合物之主要原料為原油中提煉而出，原油經蒸餾及油氣分離等程序後，即可取得燃料、瀝青及潤滑劑等其他衍生之產品，EPS 屬其衍生產品之一。其原油提煉

過程所產生之產品 96%主要是非燃料之車輛及機械用油，4%約為塑化物，其中 EPS 比例僅約 0.1%（鄭卓仁，2010）如圖 2.3 所示。

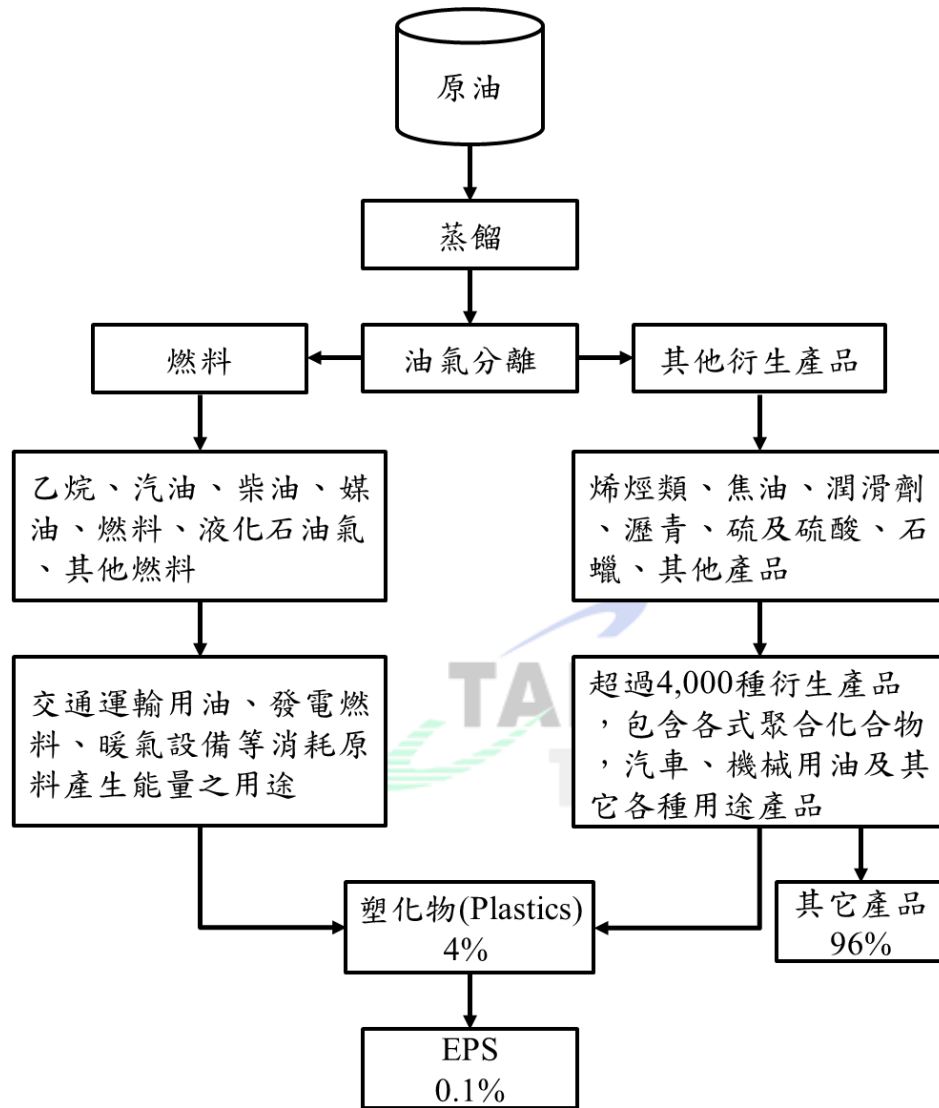


圖 2.3 原油煉製過程及產物示意圖（英國塑膠協會，2005）

EPS 製造需經歷兩個主要階段，第一階段先製成微小的合成樹脂塑膠顆粒，以作為第二階段在方塊模具內加熱發泡之用。國內多數產業將苯乙烯作為發泡原料，經懸浮聚合反應而產生不同粒徑大小之樹脂塑膠顆粒，將添加戊烷發泡劑之聚苯乙烯珠顆粒進行冷卻，藉由各層規格不同篩網過濾出各粒徑大小之 EPS 樹脂如圖 2.4 所示，其

粒徑大小規格分為六種，粒徑小發泡倍率越小，反之，粒徑大則發泡倍率越大（台達化學工業股份有限公司，2020），如表 2.1 所示。



圖 2.4 樹脂塑膠顆粒（茂森商業有限公司，2020）

表 2.1 發泡聚苯乙烯粒徑規格分類表

粒徑規格	MM	T	S	Ss	F	H
單位(mm)	1.2-1.8	1.0-1.4	0.8-1.1	0.65-0.9	0.45-0.75	0.3-0.5
發泡倍率 (倍)	70-95	65-85	60-80	60-80	50-70	20-50

2.2.2 EPS 發泡與圓熟

將第一階段所得之 EPS 樹脂顆粒置入發泡爐內添加發泡劑，並加熱進行預發泡程序，使蒸氣中熱含量擴及粒子內部而膨脹發泡，以蒸氣供應量、加熱時間、進料速度等相關因素控制其發泡顆粒之發泡倍數及粒徑大小，其發泡倍數約為 15 倍至 70 倍之間，而主要成分為空氣，佔材料總體積 90%至 95%，故具良好抗壓性及緩衝能力如圖 2.5 所示。聚苯乙烯依發泡方法的不同，可分為以下：

- 一、押出發泡平板成型 (PSP)：押出發泡平板成型係將聚苯乙烯添加丁烷作為發泡劑，送入押出機發泡 10 至 20 倍製成保麗龍平板。通常這些厚度為 2mm 至 5mm 的平板經加熱真空成型後，就成為免洗餐具及生鮮托盤等產品。
- 二、發泡粒成型 (EPS)：又可再細分兩種發泡方式，分別為模內發泡法及擠出發泡法，主要將聚苯乙烯原料置入加壓發泡桶內，進行加壓加熱，待原料膨脹至 30 至 50 倍之預發泡顆粒；若要成型則需進行第二次發泡，將預發泡顆粒置入成型之模具中進行高溫高壓作用，達至一定熔點而形成成型品，可因不同領域需求進行裁切。



圖 2.5 EPS 預發泡（蘭陽開發工業股份有限公司，2020）

依使用者需求不同，可調整發泡倍率控制其密度（單位： kg/m^3 ），發泡倍數 X 與密度 D 之關係式為 $X=1000/D$ ，係指發泡倍數與發泡粒密度成反比關係，舉例相關計算說明之，EPS 發泡粒密度 $0.025 \text{ g/cm}^3=25 \text{ kg/m}^3$ ，則發泡倍數為 $X=1000/25=40$ 倍；EPS 發泡粒密度 $0.02 \text{ g/cm}^3=20 \text{ kg/m}^3$ ，則發泡倍數為 $X=1000/20=50$ 倍，依此類推。故發泡粒

之發泡倍數越低則密度越高，亦具優越之強度（樺正實業股份有限公司，2012）。

2.2.3 EPS 灌模與脫模

灌模前首先需將成型機模具閉模預熱，待預熱完畢後，再將第二次圓熟時間所獲之 EPS 顆粒適量的由通風儲存槽中導入成型機模具中進行灌模之步驟，待 EPS 原料皆灌入成型機之模具後，便鎖模且開始予以加壓加溫，以高壓高溫將所灌入之 EPS 原料在模具中擠壓成型。擠壓成型後之成品經由適當冷卻後，即進行開模與脫模（林利國等，2000），如圖 2.6 所示。

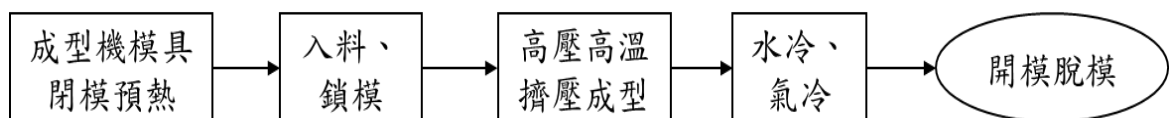


圖 2.6 EPS 灌模與脫模作業流程圖（林利國等，2000）

由 EPS 原料置入之模具大小規格固定，經蒸氣高溫高壓擠壓成型，其成型之產品應為相同密度。此外，如因壓力、溫度等因素而使得成型品擠壓不完全的話，將造成成型之產品角邊有剝落之現象。

2.2.4 EPS 成型品

將脫模後之 EPS 成品置於陰涼處使成品自然乾燥，並以目視檢查 EPS 成型品是否合格，如一切都達到所要求之標準便可進行包裝、入庫及出貨等相關後續工作（黃柏維，2004），如圖 2.7 所示。

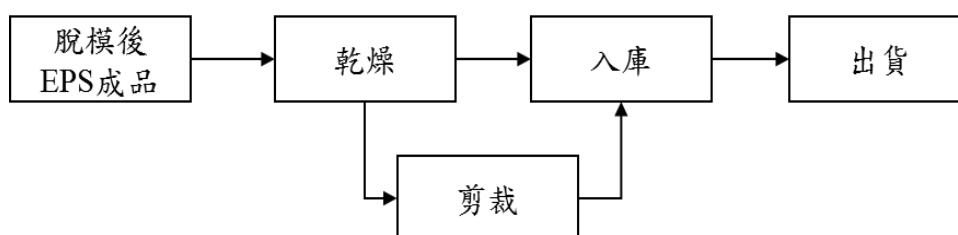


圖 2.7 EPS 成型產品作業相關流程圖（黃柏維，2004）

2.3 EPS 性質及試驗

國內外對於 EPS 材料在設計及施工上各種性質之試驗項目與試驗結果，如表 2.2 所示（蔡曜謙，2017）。

表 2.2 試驗項目及試驗方法（蔡曜謙，2017）

試驗項目	試驗方法	相關規範
單位體積重 (密度)	遵循硬質發泡塑膠之密度測定方法	JIS-K7222 ASTM-D1622 CNS 2536
抗壓強度	遵循硬質發泡塑膠之壓縮測定方法	JIS-K7220 ASTM-D1621 CNS 2536
徐變特性	由日本「EPS 開發機構」施作	美、日及本國皆無規範
摩擦特性	由日本「EPS 開發機構」施作	美、日及本國皆無規範
變形模量	遵循抗壓強度試驗之壓縮彈性率計算	僅日本施作試驗
柏松比	由日本「EPS 開發機構」施作	僅日本施作試驗
耐熱及 燃燒性	遵循燃燒試驗	JIS-A9511 CNS 2536
耐久性	由日本「EPS 開發機構」施作	僅日本施作試驗
吸水性	遵循硬質發泡塑膠之吸水率測定方法	ASTM-C272 CNS 2536
反覆壓縮 特性	由日本「EPS 開發機構」施作	僅日本施作試驗
熱傳導係數	絕熱材料熱導率測定方法	JIS-A1412 EN 12667、EN 12939

2.3.1 EPS 之耐熱及耐燃性

EPS 之原料為聚苯乙烯樹脂係熱塑性樹脂，於高溫時會產生軟化或膨脹及收縮變形，一般耐熱溫度為 80°C。EPS 耐熱性試驗之曲線如圖 2.8 所示，當溫度超過 80°C 時體積將產生膨脹變形，而當溫度超過 150°C 時 EPS 將會融化（BASF，1990）。

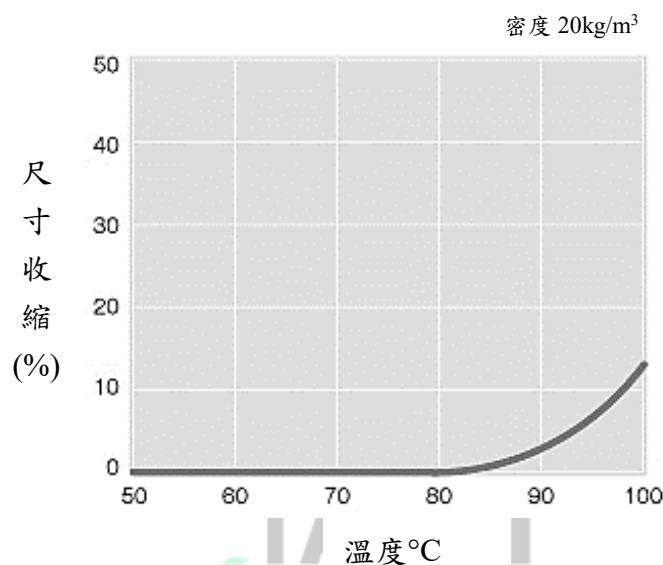


圖 2.8 EPS 耐熱性試驗之曲線

2.3.2 EPS 隔熱性質

EPS 具有良好之隔熱性質，材料內部係由完全獨立之顆粒組成，擁有優越的保溫及隔熱性能，密度和熱導率之間關係如表 2.3 及圖 2.9 所示。液態水的存在亦會影響熱傳導係數，EPS 含水量越高其導熱係數隨著越高，即使含水率小於 1%（體積）也將導致熱傳導係數增加 5%；當含水率介於 3%至 5%之間時，影響熱傳導係數增加 15%至 25%；若使 EPS 長期浸泡於水中使含水率達到 9%時，將會影響熱傳導係數增加 50%；在設計階段中通常允許含水率高達 10%至 15%，這將導致熱傳導係數應加 50%至 75%（Horvath，1993）。

表 2.3 各密度 EPS 於常溫下之熱傳導係數

密度 (kg/m^3)		15K	20K	25K	30K
熱傳導係數	($\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$)	0.033	0.031	0.030	0.029
	(W/mK)	0.038	0.036	0.035	0.034

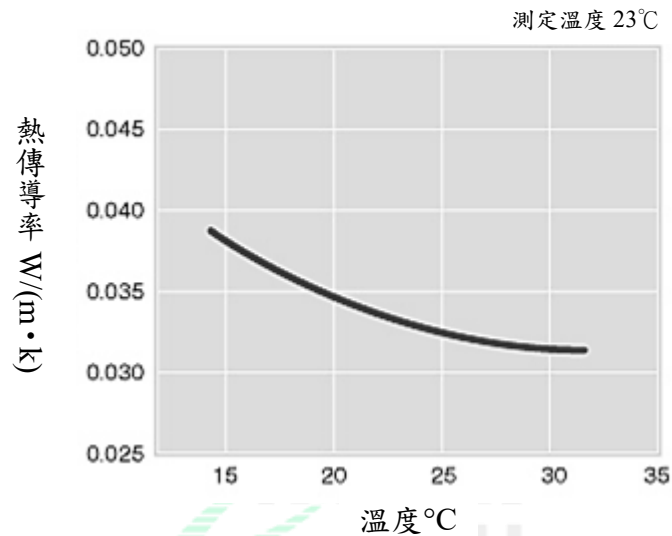


圖 2.9 EPS 密度與熱傳導係數之關係

2.3.3 EPS 之耐久性

EPS 本質上與其原料聚苯乙烯樹脂的性質相同。一般來說，它具有抗酸、抗鹼及抗油的特性，但 EPS 易溶解於芳烴鹵化烴成品、酮類、酯類及礦物油類物質中。日本 EPS 開發機構將 EPS 與其具有抵抗反應之化學物質整理，如表 2.4 所示。

表 2.4 EPS 之耐化學性

藥品種類	反應	藥品種類	反應
鹽酸	○	醚類	○
硫酸	○	無機鹽	○
硝酸	○	水泥	○
苛性鈉	○	海水	○
氫氧化鈣	○	瀝青	×
動植物油	○	LPG	○
汽油	×	LNG	○
重油	▲	水性塗料	○
黃油	○	油性塗料	×
脂肪族碳化水素	▲	消毒液	○
鹵碳氫化合物	×	肥料	○
芳香族碳化水素	×	除草劑	○
酮類	×	殺蟲劑	○
脂類	×	殺菌劑	○
註：○：安定；▲：膨潤；×：溶解			

2.3.4 EPS 之吸水性

EPS 之原材料塑膠其耐水性非常優異，同時其獨立氣泡之結構體亦有著良好之耐水性，其優良之特性亦合用於下水道工程，EPS 密度越高時吸水量越低，參考圖 2.10，尤其當密度高於 20kg/m^3 時吸水量有明顯下降（JEPSA，2016）。

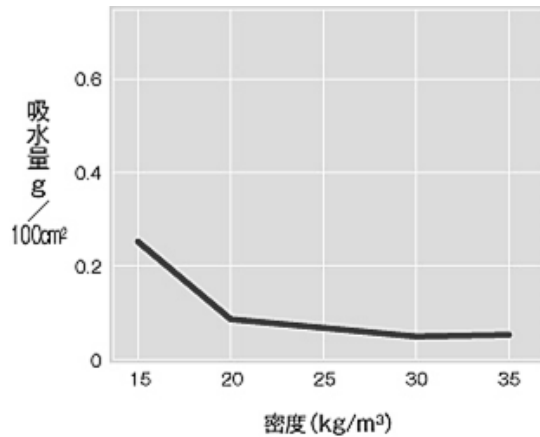


圖 2.10 EPS 密度和吸水量之關係圖 (JEPSA, 2016)

2.4 EPS 國內外應用狀況

2.4.1 EPS 應用於建築物隔熱

一、結構隔熱板(structural insulated panels, 簡稱 SIP)

以定向粒片(oriented strand board, OSB)為面層、發泡聚苯乙烯(expanded polystyrene, EPS)為心材的三明治結構隔熱板, 如圖 2.11 所示, 建造方式和傳統木構極為相似。SIP 板可以依據氣候要求, 改變心材及面層之厚度。其製程為先在工廠裁切成所需尺寸, 預先開窗及開門, 在現地以格柵樑連接相鄰兩板, 故為乾式施工的一種, 可減少現地的廢棄物。此板不僅可以做為牆板之用, 亦可做為樓板及屋頂板之用。由於板材總體重量輕, 故施工時, 不需使用大型機具, 可以節省施工費用, 建造迅速。(廖為忠, 2018)



圖 2.11 SIP 混凝土隔熱板示意圖 (Mohammad Panjehpour, 2013)

二、隔熱混凝土模板(insulated concrete Form，簡稱 ICF)

亦為國外常見的建築方式，其組成為兩片 EPS 面板，之間以塑膠連桿或金屬網串在一起，形成類似空心磚的塊體，如圖 2.12 所示，此塊體運至現地可以如同疊積木的方式，迅速堆疊，塊體中先預留鋼筋可以通過的孔洞，組好塊體(如同磚塊之構造)及綁完鋼筋後，可以進行混凝土灌漿，灌入塊體之心層，由於白色 EPS 面層在外，混凝土在中心，故又稱為反式夾心餅。完工後此 EPS 即做為永久牆面的一部份，其屋頂可使用傳統木構，屋頂外牆面可塗抹泥灰、水泥，內牆面可塗石膏或吊掛石膏板。(廖為忠，2018)

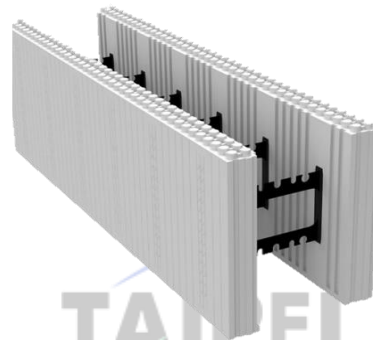


圖 2.12 ICF 混凝土隔熱板示意圖 (Logixicf, 2020)

三、結構式混凝土隔熱板(Structural concrete Insulated panel，簡稱 SCIP)

其型式與 ICF 極相似，只是方向相反，EPS 及內外層間為 1.25"~1.5"的噴凝土，如圖 2.13 所示。因此可以不使用間隔梁。SCIP 之變化較具彈性，可以做成樓板、屋頂、樓梯、籬笆或曲面構造物等，因為內有鋼絲網及混凝土，具有良好強度，低材料成本，高隔熱性能，及熱質量特性，可防水、防鏽、耐水淹、耐震、耐颱風。此種建造物特別適合於海邊之集合構造，可耐海風侵襲，可提供較高的安全效益。

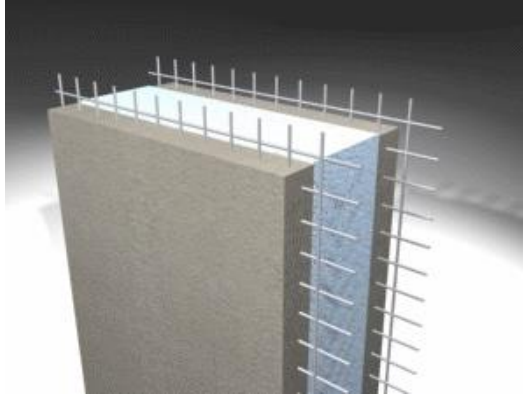


圖 2.13 SCIP 結構式混凝土板示意圖 (Sipcrete, 2020)

2.4.2 EPS 於日本之工程應用

日本為目前最普遍採用 EPS 施工方法的國家之一，其主要原因為：日本軟土地基較多，故利用其良好自立性，於山區的陡坡上建設路基發揮 EPS 工法專長；且日本位處於地震頻繁之板塊交界處，恰巧此設計工法已趨於成熟，故 EPS 之耐震得到充分利用。

EPS 輕質填土工法最早應用為 1972 年於挪威佛洛姆橋引道回填工程之案例成功後，日本將 EPS 材料及相關工法引進國內，於 1985 年 8 月首次將此工法應用於北海道札幌市橋梁橋台之背填工程，作為地層下沉之對策（積水化成品工業株式會社，2010），如圖 2.14 所示。



圖 2.14 北海道札幌市橋梁橋台之背填工程

EPS 於營建工程界應用已超過 50 年之歷史，而在日本亦累積超過 30 年之工程經驗（塚本英樹等，2008），截至 2018 年，日本已超過 6,718 件工程案例應用此工法，總用量共計 800 萬立方公尺。

2.4.3 EPS 於美國之工程應用

美國營建工程中初次使用 EPS 作為回填材料之工程，於 1974 年於密西根州附近的一座鋼構橋樑工程，該座雙橋跨距連續樑之橋樑係使用鋼筋混凝土樁為基礎，橋樑引道回填高度較舊橋高出 1.5 公尺。於回填階段近於完工時，發現非預期之水平向快速位移，因此必須考慮其它代替材料解決，最後選擇 EPS 材料作為回填材料，該工程使用輕質 EPS 為 977 立方公尺，至今至 40 餘年，仍未發生任何重大位移狀況（鄭永欽及林利國，1998）。

除密西根州之工程案例，目前美國也陸續將 EPS 於工程應用擴及其他各州，分述如下：

一、猶他州鹽湖城 I-15 州際公路重建工程：猶他州鹽湖城因舉辦 2002 年冬季奧運，故重新規劃該州最重要的 I-15 州際公路予以拓寬重建，此工程總長約為 24 公里；在部份地區特別採用 EPS 作為回填材料，並搭配加載工法（Surcharge method）同時進行施工，藉由一面減輕沈陷量一面加速沈陷，進而達到快速施工且縮短工期之目的。此工程所使用之 EPS 回填材料總計約 95,000 立方公尺，如圖 2.15 所示，在當時已打破文獻記載於馬來西亞單一工程所使用的 80,000 立方公尺最大 EPS 使用量的記錄（鄭永欽，2000）。



圖 2.15 猶他州鹽湖城 I-15 州際公路重建工程

二、紐約州厄特縣（Jewett County）23A 道路工程：厄特縣 23A 道路因常遭受地下水側向壓力之影響，且位於順向坡地，而使得該路段之路堤每年產生約 1 英寸側向滑動，從 1979 年至 1992 年間其位移量達到 8 英寸；為解決此問題，於 1995 年開始進行坡地穩定改善工程，此工程使用之 EPS 回填材料總計為 2,800 立方公尺，如圖 2.16 所示（Geofoam Research Center，2000），以減輕原有土體易於滑動之問題，並達到施工簡便及節省工期之效果。



圖 2.16 紐約州厄特縣 23A 道路工程

三、華盛頓州蘭頓市政廳（Renton City Hall）新建工程：蘭頓市政廳為地上五層樓地下三層樓之鋼結構玻璃帷幕建築。其地層包含鬆散的沖積沙和約 12 英尺可壓縮之泥煤，總計約 34 英尺軟弱土層覆蓋於砂礫石層上；而建築物的地下車道剛好位於該

軟弱土層中，故本工程採用 EPS 進行填築以解決軟弱土層之沉陷問題；此工程因使用 EPS 而節省約 60 萬美元之工程成本，亦達到施工快速與節省成本之目的，如圖 2.17 所示（Geofoam Research Center，2000）。



圖 2.17 華盛頓州 Renton City Hall 新建工程

四、馬里斯維爾州斯諾霍涵洞工程（Snohomish Culvert）：2008 年於馬里斯維爾州斯諾霍涵洞工程中，為了避免該區域排水幹管之涵洞發生沉陷破壞，故藉由 EPS 質量輕之特性填築於涵洞上方達到保護作用，此工程總計使用 EPS 塊體為 1,883 立方公尺，如圖 2.18 所示（ACH Foam Technologies，2008）。



圖 2.18 馬里斯維爾州斯諾霍涵洞工程

五、新奧爾良（New Orleans）機場東西向跑道整建工程：此工程主要目的為拆除現有路面及整修和更換損壞之跑道，並重新澆置新的混凝土鋪面；整修過程中，施工單位發現跑道之地下土壤有不均勻沉陷，故選擇質量較輕的 EPS（16PSI）做為填土材料，以代替原有出現不均勻沉陷而破壞的現有跑道下方填土，且避免新舊跑道間產生不均勻的沉陷。此工程較特別的是，機場跑道原有的地下土壤中充滿了樹枝和樹根，也產生許多的白蟻，為防止蟲害，施工單位於此工程所使用之 EPS 塊體中加入經核准的添加劑，進而防止潛在重大蟲害，此工程總金額達 6,400 萬美元並於 2005 年完工，如圖 2.19 所示。



圖 2.19 新奧爾良機場東西向跑道整建工程（ACH Foam Technologies，2006）

2.4.4 EPS 於挪威之工程應用

EPS 發明於 1950 年，最早於 1960 年斯堪地那維亞國家將此材料應用於地層作為住宅的絕緣基礎，而在同一時期於斯堪地那維亞半島、加拿大及美國等國家也將此材料應用於道路鋪面下方作為防凍結之功用。1970 年於美國和挪威同時進行 EPS 輕質填土工法應用於公路工程（Horvath，1995），而最重要之里程碑為 1972 年，挪威之道路研究實驗室（Norwegian Road Research Laboratory；簡稱為 NRRL）將 EPS 成功應用於佛洛姆（Flom）橋引道回填（Aaboe，2000）；該工程施作時，工程師發現橋台地盤下為軟弱地

盤，每年將產生高達 10cm 之地盤沉陷，故以 EPS 塊體取代橋台之背填土且成功應用。

1972 年至 1991 年之間，挪威進行之 120 件道路工程中使用 EPS 總量共計約 250,000 立方公尺，包括：橋梁引道回填、擋土回填及路堤等不同 EPS 應用；此材料應用已長達 40 餘年，根據使用經驗及效果評估顯示，EPS 作為回填材料之道路維護費用較傳統工法低，且未降低工程品質。時至今日，挪威道路研究實驗室於 EPS 應用於輕質回填材料之研究仍位居領先地位，世界各國普遍採用 NRRL 之研究，作為輕質回填材料之參考 (NRRL, 1992；鄭永欽及林利國，1998)。

2.4.5 EPS 於台灣工程之應用

臺灣於 1995 年將 EPS 應用於工程案例，臺灣省公路局於西部濱海公路建造試驗堤一處，此工程使用密度約 25kg/m^3 之 EPS 塊體，並搭配 10cm 之 RC 板及 H 型鋼側牆，順利搭建一座長 30 公尺，寬 3 公尺，高 1.5 公尺之試驗路堤，於當年 12 月完工通車至今，皆無發生任何損壞 (黃景川，1999)；此工程總工期為 10 天，如扣除天候及其他因素之影響，則實際施工約為 6 天，符合預期施工規劃進度 (黃景川，1997)。

全世界第一座釣竿式斜張橋臺北市中山大直橋，如圖 2.20 所示，於 1999 年 10 月進行改建工程，其將 EPS 填土工法應用於此計畫，主橋利用節塊推進之方式施作；並於 2000 年 9 月接續進行推進構台之興建，施作中為減少構台底部回填所造成之沉陷，故使用密度為 25kg/m^3 之 EPS 塊體，分三層進行推進中山大直橋長 29.92 公尺，寬 20.4 公尺，高 4 公尺之回填，共使用 2,440 立方公尺之 EPS 塊體，總重量與傳統重 $2,300\text{kg/m}^3$ 之回填相比較，減輕約 555 噸之重量 (黃柏維，2004)。



圖 2.20 臺北市中山大直橋（莊士賢，2008）

臺灣於 2002 年首次大規模使用 EPS 工法之工程為「臺北市洲美快速道路第二期新建工程」，此工程所使用之 EPS 塊體總計約 12,105 立方公尺，如圖 2.21 所示；EPS 材料採用 D-20（模內發泡法），密度為 20kg/m^3 ，抗壓強度為 1.0kgf/cm^2 以上。此工程完工後，達耐水性佳及節省經費又不影響工期等目標（何泰源，2006）。

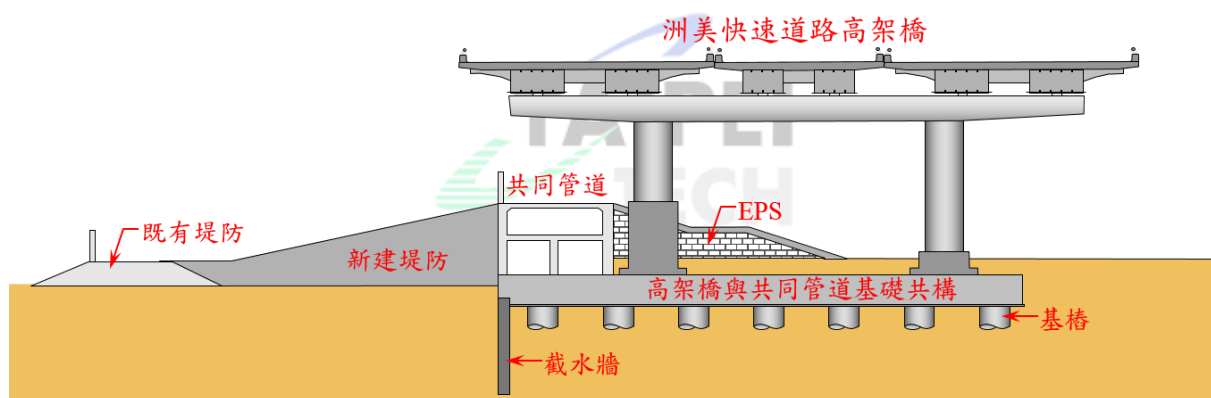


圖 2.21 洲美快速道路第二期新建工程示意圖（何泰源，2001）

國立臺北科技大學於 2020 年底完工的「圖書館屋頂太陽能設備暨休憩空間整建工程」，此工程主要施工項目有，太陽能板工程、室內大廳工程、機電照明工程、鋼構工程、屋頂板夾具工程、防水與隔熱及吸音地坪工程。其吸音隔熱工法為使用厚度 4cm 之 EPS，密度為 15kg/m^3 ，共使用 866 立方公尺之 EPS 塊體，EPS 塊體皆使用雙層點焊鋼絲網固定以防止澆置過程中移動，最下層鋪設 1.5cm PE 吸音層如圖 2.22 及圖 2.23 所示，接著進行水泥砂漿澆置。此工程總金額達 1795 萬，其中吸音隔熱工程占 276 萬。

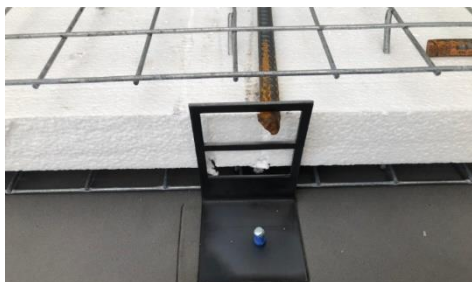


圖 2.22 EPS 及雙層點焊鋼絲網



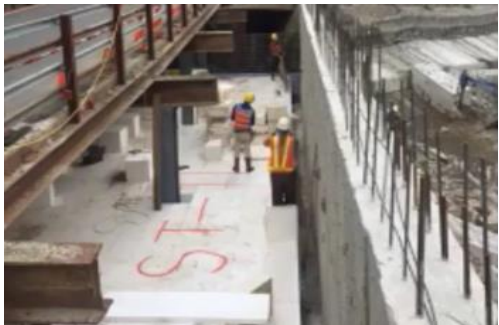
圖 2.23 國立臺北科技大學圖書館屋頂太陽能設備暨休憩空間整建工程

國內將 EPS 應用於工程上的案例顯少，如南投鹿谷小半天明隧道、南投竹山大鞍山路基、臺東太麻里大溪明隧道、三峽區大豹溪北 114 線（6K+200）處道路邊坡修復及 2018 年已完工之九曲洞景觀明隧道工程等都為我國成功將 EPS 應用於工程上之實例，如表 2.5、2.6 所示。

表 2.5 臺灣 EPS 應用於工程上之實例

	
南投鹿谷小半天明隧道	南投竹山大鞍山路基

表 2.6 臺灣 EPS 應用於工程上之實例

	
台東太麻里大溪明隧道	三峽區北 114 線(6K+200)處道路
	
花蓮九曲洞景觀明隧道	

新北市三峽區連日豪雨，造成插角里通往東眼山的北 113 線道、距東眼橋 6 百公尺處產生長約 100 公尺的路面向下塌陷，於施工期間以臨時通行便道維持居民通行、複層臨時擋土支撐維持邊坡穩定並施加坡面噴凝土、帆布及臨時導排設施避免雨水入滲狀況發生，圈選部分為 EPS 工法所使用之區塊，此工程於 2022 年 7 月中旬完工，如圖 2.24 及圖 2.25 所示（新北市政府養護工程處，2022）。

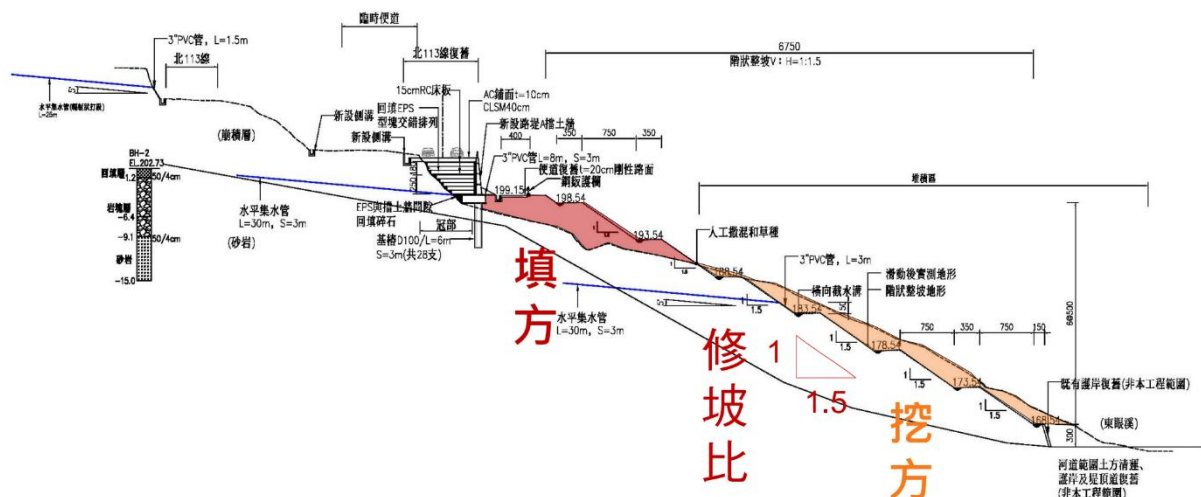


圖 2.24 EPS 工法使用區塊示意圖



圖 2.25 三峽區北 113 縣(0K+650)災害復建工程

2.5 建築石材之分類

建築中常使用石材作為飾材或是外牆，根據 CNS 11318/A1041 中對建築石材之定義如下：「築用天然石經過挑選、修邊、切割成特殊(或明確)的尺寸，這些石材表面可經過多道機械性表面處理程序(如研磨、拋光等)，或不經處理。」。石材之特性依其種類皆有相異之處，而使用於建築中亦有其特定工法。依照其形成方式主要可分為三類：火成岩、

沉積岩及變質岩，以下將詳細介紹。

2.5.1 火成岩

火成岩(Igneous rock)指熔岩或岩漿從地殼深處外運動，進而上升致地殼處或是噴發至地表所形成。依照其冷卻速度可分為深成岩（Intrusive）及噴出岩（Extrusive）。深成岩為岩漿因上部岩層壓力使岩漿停留於地殼中冷卻凝固，其結晶較為明顯，顆粒較為粗大。而若岩漿噴發至地表則為噴出岩，因接觸到較冰冷之空氣或水體，使其顆粒較小；常見之火成岩有花崗岩、安山岩、玄武岩等，如圖 2.26 所示。



圖 2.26 火成岩之花崗岩

2.5.2 沉積岩

沉積岩(Sedimentary rock)指因外在環境或外力使不同物質被搬運、堆積最後因成岩作用而成之岩石，於地表約有 75%之岩石為沉積岩，依造其組成顆粒之大小可細分為礫岩、砂岩、頁岩。礫岩由顆粒大於 2 公釐以上之碎屑物所組成，而砂岩所組成之顆粒大小為 0.0625 至 2 公釐間，用手觸摸有砂紙般之顆粒感，且肉眼可見其顆粒，頁岩之顆粒非常細，無法以肉眼辨識(宋聖榮，2009)，如圖 2.27 所示。



圖 2.27 沉積岩之頁岩(陳耀麟，2009)

2.5.3 變質岩

變質岩(Metamorphic rock)惟因岩石受到高溫及壓力之作用下使岩石之晶體及化學成分重新排列或發生改變所形成，及稱為變質作用。變質作用依其成因可分為五種(宋聖榮，2009):

- 一、接觸變質作用: 因高溫岩漿侵入地層時，周圍岩石受到岩漿的熱度和流體的作用而發生變質，大部分局限於侵入岩漿的四周，範圍由數公尺至數百公尺不等。
- 二、區域變質作用: 由於聚合性板塊作用或造山運動等地殼變動，在地殼深處產生的高熱和推擠的橫壓力所引起，範圍常達數百、數千平方公里。
- 三、動力變質作用: 因斷層作用所產生的剪力，使得岩石發生變質作用。絕大部分只局限於斷層帶附近，範圍僅有數公尺至數百公尺。
- 四、熱水換質作用: 岩漿作用所引起的熱液或來自地殼深部的熱水與周圍岩石發生交代變質作用。
- 五、撞擊變質作用: 外太空來的隕石撞擊地球表面所引起的變質作用，特徵為高壓變質，常形成高壓石英。

2.5.4 外牆石材工法

歷代建築物中常運用石材於建築物外牆之裝修，其施工工法大致分為兩種，如表 2.6 所示：

一、乾式工法：

適用於外壁為鋼筋混凝土造之建築物，且用於較厚重之石材，其工法以五金繫件安裝於建物上，並將石材吊掛固定。此工法可減少因水分造成石材之白華現象，也可避免因熱漲冷縮所造成之問題。此工法須留意石材接縫處之處理。

二、濕式工法：

多適用於地坪或外牆，係以水泥砂漿填充於石材背面與牆面做結合，因被填誰泥砂漿易造成石材白華現象，且掉落風險較高。

表 2.7 濕式工法與乾式工法之比較(蔡德明，2017)

項目	濕式工法	乾式工法
石材重量	適用於石板較薄、較輕。	適用於石板較厚、較重，
	厚度約 1.8~3cm。	厚度約 2.5~4cm。
結構牆面與 石材距離	結構牆面與石材距離 4~6cm。	結構牆面與石材距離 6~9cm。
耐候性	易受溫度、溼度之變化使水泥砂漿產生張應力，而造成石材扭曲變型、脫落。	無水泥砂漿，固定繫件可對應石材之收縮、膨脹，耐候性佳。
耐震性	石材被水泥砂漿與壁體結合成一體，石材易受壁體變形產生龜裂。	石材與壁體有空隙，較不受壁體變形影響，耐震性佳。
耐撞性	因內有水泥砂漿，故影響較小，只有龜裂之虞，耐撞性佳。	底層有破損之虞，故施工須於底層作防撞填實處理。
白華產生	出現機率高。	無。
施作工期	施工較慢。	施工較快。
施工成本	價格較低。	價格較高。

2.6 帷幕牆

依據建築技術規則建築設計施工編第一條第二十六項所提:「帷幕牆:構架構造建築物之外牆,除承載本身重量及其所受之地震、風力外,不再承載或傳導其他載重之牆壁。」

隨著國土開發,能使用之土地資源有限,建築物之發展趨於向上發展,摩天大樓的出現,帷幕牆之使用也逐年增加,其優點為配合工業化的發展,帷幕牆之組立及施工快速,符合現今社會發展趨勢,因此逐漸成為建築物外牆之主流。

2.6.1 帷幕牆之分類

帷幕牆之分類依據 American Architectural Manufacturers Association 出版之帷幕牆設計手冊(CW-DG-1-96)所提,依其構造方式可分為五類:直橫料式(Stick System)、窗間牆式(Column-Cover-and-Spandrel System)、隔板式(Panel System)、複合式或半單元式(Unit-and-Mullion System)及單元式(Unitized System)後續將依據介紹。

一、直橫料式(Stick System)

其施工方式為先於樓板裝上固定用繫件,並依序裝上直料、橫料,接著安裝上層間板後加上其餘橫料,最後加上伯離及內部膠條,此工法為將帷幕牆元件於工地逐一施作及材切,其優點為材料尺寸較具彈性、節較為節省。

二、窗間牆式(Column-Cover-and-Spandrel System)

窗間牆式之施工方式會先於結構首上安裝柱包板,接著為層間板,最後安裝玻璃,並重覆施工程序直到完成。此種類型之帷幕牆材質較為多元,如花崗石、磁磚,鋁板等。

三、隔板式(Panel System)

隔板式帷幕牆多為預祝混凝土及金屬板沖壓而成之單片系統,多用於外牆設計簡單之建築。

四、複合式或半單元式(Unit-and-Mullion System)

複合式或半單元式其介於直橫料式及單元式之間，分別將部分組件於工廠組裝，其餘組件於工地組裝，並可達到控管品質，也減少於工地組裝之冗長時間。

五、單元式(Unitized System)

單元式為將帷幕牆組合規格化，並先將材料預先於廠房中組合成一個單元，再於現場以一單元一單元固定於結構系統上，單元與單元間四邊皆以公母鋁擠型相嵌，再以繫件固定於結構體。此種方式有利於品質控管，也可節省人力資源。

2.7 熱量傳播方式

熱為能量的一種，當有溫度不一致時，即會產生熱量的傳播，而傳播方式可分為熱傳導(Conduction)、熱對流(Convection)、熱輻射(Radiation)下將針對三種原理做介紹。

2.7.1 熱傳導(Conduction):

熱傳導 (Thermal conduction) 為固體內部分子熱量從高溫轉移至低溫處，此現象稱之為傅立葉定律，如方程式(2.3)所示 (Joseph Fourier, 1822)。

$$q = -k \nabla_u = -k \frac{-dT}{dx} = \frac{-dT}{R_H} \quad (2.3)$$

q ：熱流密度(W/M²)。

∇_u ：溫度梯度。

k ：熱傳導細數。

dT/dx ：沿 X 方向溫度 T 的變化量。

2.7.2 熱對流(Convection)

熱對流 (Thermal convection) 藉由氣體或流體自由流動而傳遞熱，對流又可分為自

然對流及強制對流兩種。熱對流方程式又稱之為牛頓冷卻定律，如方程式(2.4)及(2.5)所示 (Kakac, Sadik, 2013)。

$$q = h_c \Delta T \quad (2.4)$$

$$\Delta T = T_S - T_e \quad (2.5)$$

h_c ：對流熱傳係數。

T_S ：固體表面溫度。

T_e ：室內或流體溫度。

2.7.3 熱輻射(Radiation)

熱輻射 (Thermal radiation) 基本理論係物質中顆粒熱運動產生的電磁波引起之熱傳遞現象，溫度高於絕對零度 (-273.15°C) 之所有物質都會發出熱輻射 (Siegel, 2001)。

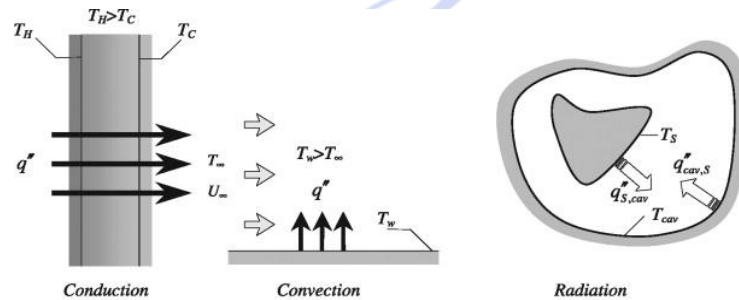


圖 2.28 熱傳導示意圖 (Kays William Morrow, 2002)

2.8 溫度感測器

2.8.1 電熱偶

電熱偶(Thermocouple)為德國物理學家 Thomas Johann Seebeck 於 1821 年所發現，稱為塞貝克效應 (Seebeck Effect)，其原理是以兩種不同金屬線作為一接合點形成封閉迴路，若兩端有溫差的產生，迴路內即會產生電流，使電壓改變，通常每度 (攝氏) 產生

1 至 70 微伏特，這種耦合的兩個金屬即稱為熱電偶。目前常見八種不同類別的熱電偶溫度計如表 2.8 所示。

表 2.8 熱電偶類型(詹彬，2021)

類型	構成材料	測定溫度範圍(°C)
B 型	正極：鉑/銑 30% 負極：鉑/銑 6%	0°C ~1800°C
E 型	正極：鎳/鉻合金 負極：銅/鎳合金	-200°C ~900°C
J 型	正極：鐵 負極：銅/鎳合金	-40°C ~750°C
K 型	正極：鎳/鉻合金 負極：鎳為主合金	-200°C ~1200°C
N 型	正極：鎳/鉻/矽合金 負極：鎳/矽合金	-270°C ~+1300°C
R 型	正極：鉑/銑 13% 負極：鉑	0°C ~1600°C
S 型	正極：鉑/銑 10% 負極：鉑	0°C ~1600°C
T 型	正極：銅 負極：銅/鎳合金	-250°C 至+350°C

2.8.2 熱敏電阻

熱敏電阻 (Thermistor) 使用之材料通常是陶瓷或聚合物，熱敏電阻可分為兩種：溫度係數為負的熱敏電阻 NTC (Negative Temperature Coefficient；簡稱為 NTC) 及溫度係數為正的熱敏電阻 PTC (Positive Temperature Coefficient；簡稱為 PTC)。NTC 之電阻隨溫度升高而降低，而 PTC 之電阻隨溫度升高而上升，熱敏電阻可測得之溫度介於-90°C 至 130°C 之間 (Cimatti, Giovanni, 1988)。

2.8.3 電阻式感溫器

電阻式感測器（Resistance Temperature Detector；簡稱為 RTD）因電阻會隨溫度變化，電阻式感溫器內之金屬導體隨溫度升高而其電阻值增加，反之溫度降低則電阻值下降，以此變化求得溫度變化，如圖 2.29 所示（blazeprobes，2019）。

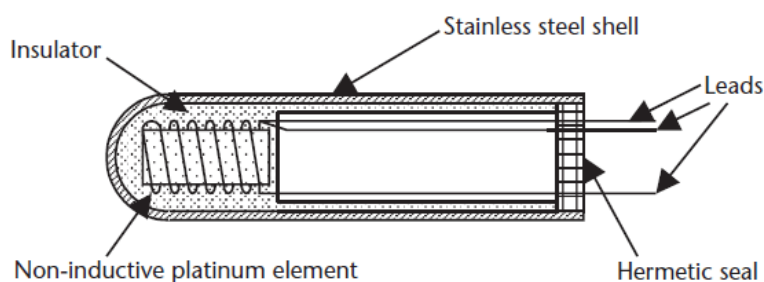


圖 2.29 電阻式感測器示意圖（blazeprobes，2019）

2.8.4 紅外線感測器

紅外線是由西元 1800 年英國天文物理學家 F.W. Herschel 所提出，當自然界物體溫度大於絕對零度時，即會散發出紅外線輻射，而紅外線感溫器(Infrared Thermometers)則是利用物體之熱能所發出之波長偵測其溫度。是一種非接觸式溫度計，可用於無法接近之物體，但僅可量測物體表面之溫度。

2.9 相關規範

2.9.1 公共工程施工綱要規範

公共工程施工綱要規範係由公共工程委員會所修訂發布，其中針對建築物隔熱之

相關規範分述如下:

一、第 07220 章屋頂及樓板隔熱:

惟此施工綱要規範並無外牆隔熱之相關規範，說明屋頂及樓板隔熱之材料、安裝與檢驗等之相關規定。並訂定隔熱材料之相關厚度，共分硬質隔熱材料及半硬質隔熱材料，分述如下:

1. 硬質隔熱材料:

- (1).發泡玻璃類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (2).化工隔熱材類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (3).多孔噴漿類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (4).輕質混凝土類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 60mm±，並加鋼絲網補強之。
- (5).水泥隔熱磚類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 30mm±。

2. 半硬質隔熱材料:

- (1).玻璃纖維類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (2).礦石纖維類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (3).化工隔熱材類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。

二、第 07223 章屋頂聚苯乙烯隔熱:

說明屋頂聚苯乙烯隔熱（通稱 XPS 板）之材料、施工及檢驗等之相關規定。本規範針對聚苯乙烯隔熱（XPS 板）板厚至少 2.5cm，密度 $[50\text{kg/m}^3][35\text{kg/m}^3]$ 以上。聚苯乙烯隔熱（XPS 板）係將原料加熱熔融後，以連續擠壓的方式而形成的硬板應符合下列物理特性或其特性符合 CNS 2535 B 類隔熱板，如表 2.9 所示。

表 2.9 聚苯乙烯隔熱板應符合之物理特性

項 目	單 位	數 值	測 試 法
密度	kg/m ³		[CNS 2536][ASTM C303 (Density)][ASTM D1622]
屋頂供停車 使用時		[50]以上	
其他用途時		[35]以上	
抗壓強度	kgf/cm ²	[2.0]以上	[CNS 2536][ASTM D1621 (Compressive Strength)]
抗彎強度	kgf/cm ²	[2.5]以上	[CNS 2536][ASTM C203 (Flexural Strength)]
熱傳導率	20°Ckcal/mh°C	[0.03]以下	[CNS 2536][ASTM C518 (Thermal Conductivity-Value 20°C)][ASTM C177]
透濕係數	g/m ² · h · mmHg	[0.07][1.0] 以下	[CNS 2536][ASTM E96/E96M-05]

三、第 03456 章花崗石帷幕牆

說明花崗石帷幕牆之供應與安裝等相關規定，包含相關準則，設計原則及花崗石帷幕牆之性能，如耐風壓強度在設計風力之作用下板片框架結構變形不得大於 L/360、25mm（取小值）；層間變位當 $\Delta=h/200$ （h=層高）或 20mm 時，結構及防水不可損壞； $\Delta=50\text{mm}$ 時結構不可損壞。、水密性能於規定注水量下，使室內不產生漏水現象的界限壓。氣密性能相對於壓力差 30kgf/m² 下，每單位牆面積及單位時間內之通氣量應在 1.09m³/m²/hr 以下。防火層間性能應符合「第 07840 章 防火阻絕」之規定。

2.9.2 中華民國國家標準之相關規定

中華民國國家標準為中華民國實施之國家標準，針對相關隔熱材料規範，本研究整理相關標準包括 CNS 7331 A2103 硬質泡沫橡膠隔熱材料、CNS 7332 A3121 隔熱材料之導熱係數測定法、CNS 10487 A2165 聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料、CNS 12055 A2211 住宅用玻璃絨隔熱材料、CNS 12056 A3264 住宅用玻璃絨隔熱材料檢驗法等，如表 2.10 所示。

表 2.10 中華民國國家標準相關規範

編號	名稱
CNS 7331 A2103	硬質泡沫橡膠隔熱材料
CNS 7332 A3121	隔熱材料之導熱係數測定法
CNS 10487 A2165	聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料
CNS 12055 A2211	住宅用玻璃絨隔熱材料
CNS 12056 A3264	住宅用玻璃絨隔熱材料檢驗法
CNS 12055	住宅用玻璃棉隔熱材料

2.9.3 相關研究

經本研究統整相關 EPS 複合板及 EPS 應用於外牆之相關研究，於 2010 年作者張家瑜利用薄片石材結合 XPS(擠塑聚苯乙烯)應用於外牆之貼覆；蕭金生(2011)利用花崗岩石材之不同色澤、加工種類、施工方式實驗探討其隔熱應能。於建築物節能方面，徐呈瑞(2011) 利用智慧感溫建材嵌入外牆模擬試體內其表面貼覆兩種不同色系的磁磚、石材和粉刷油漆，評估隔熱材材質間的節能效益。楊國祥(2013)使用三種材料分別為空氣層、保麗龍板、高密度 PS 板進行屋頂隔熱磚之隔熱效能研究。蔡曜謙(2016)整理相關外牆飾材之規範，並以實驗探討 EPS 應用於外牆飾材之可行性。詹彬(2020)以 EPS 結合玻璃棉

及岩棉做為複合材料，利用不同厚度探討其最佳隔效能。

表 2.11 相關文獻

論文研究	作者	年分
薄片石材複合板應用之研究－以外牆貼附工法為例	張家瑜	2010 年
天然石材種類及工法做為建築外牆之隔熱效果評估	蕭金生	2011 年
智慧溫感建材在建築外牆的蓄熱特性與隔熱材性能之評估	徐呈瑞	2011 年
屋頂隔熱磚隔熱效能之研究	楊國祥	2013 年
建築物外牆飾材維護管理與檢測方法之研究-以石材為例	蔡佳航	2015 年
地工泡棉（EPS）應用於建築物外牆飾材之性質研究	蔡曜謙	2016 年
地工泡棉（EPS）及複合材料隔熱性能研究	詹彬	2020 年



第三章 研究方法

3.1 實驗計畫

本研究主要係針對台不同石材及瓷磚結合為 EPS 複合板進行隔熱性能探討，故本實驗計畫以 EPS 不同之密度、厚度及材料作為本實驗之變數，如表 3.1 所示。而台灣位於北回歸線，因此為模擬台灣日照時長，本研究以一盞 110V/500W 鹵素燈具為熱源連續照射八小時模擬日照，並自然冷卻八小時，並將燈具與試體表面之距離固定為高度 30 公分，以量測並探討單一材料及複合板之溫度差異以及隔熱效能。實驗流程圖如圖 3.1。

表 3.1 實驗變數分類表

項目	變數內容
EPS 密度	15K、20K、25K
EPS 厚度	15K (1 公分、2 公分、3 公分) 20K (1 公分、2 公分、3 公分) 25K (1 公分、2 公分、3 公分)
試體材料	花崗石、大理石、人造石、石英磚，石質磚、EPS

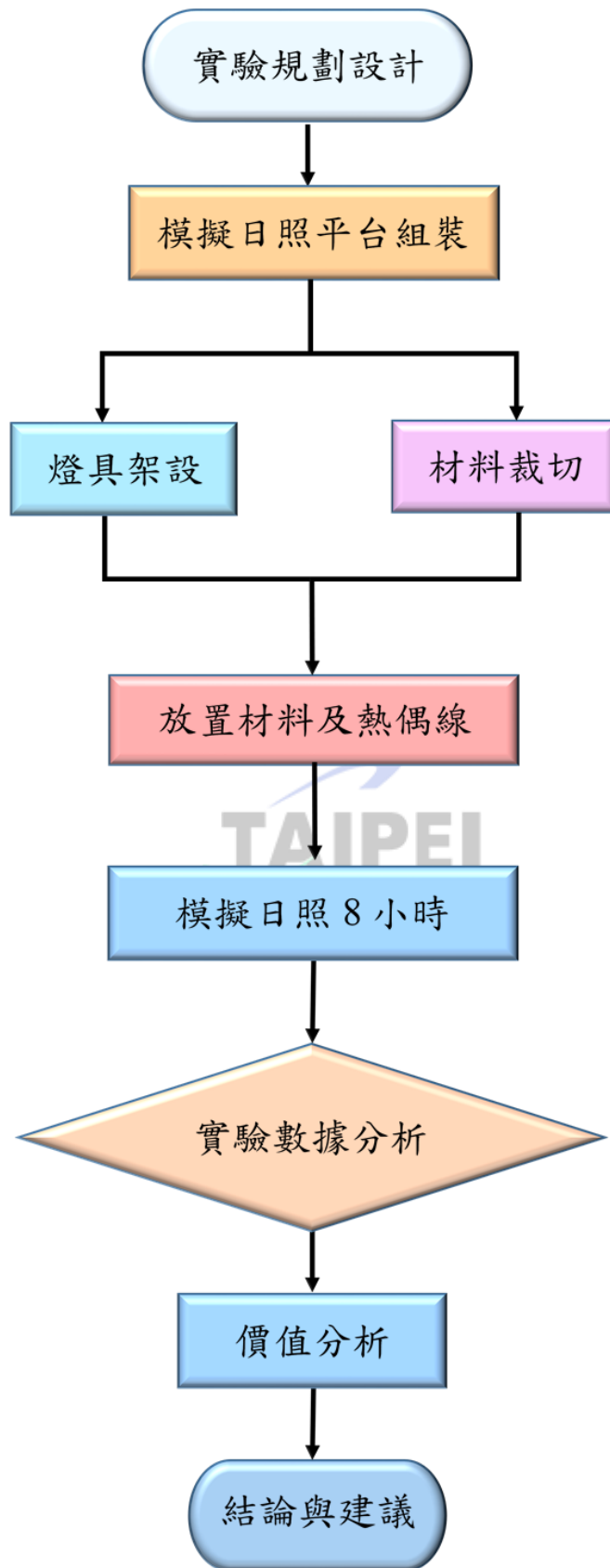


圖 3.1 實驗流程圖

3.2 實驗材料

一、EPS：聚苯乙烯又稱地工泡棉，係乙烯(C_2H_4)及苯(C_6H_6)經由聚合程序而製成，具有質量輕、吸震性、優良自立性、耐水性、保溫性、隔熱佳及施工性佳等特性(李岳修，2011)，多用於食品保溫、包裝材料、建築與工程中，因其各項特性，逐漸應用於工程中；本研究使用密度為 15K、20K 及 25K 之 EPS 作為實驗材料，如圖 3.2 所示。



圖 3.2 EPS 塊體

二、大理石：由礦物形成經由高溫高壓所形成之變質岩，主要成分為矽酸鈣，大理石外觀紋理較為清晰且顏色多樣，硬度多為莫氏硬度 3-4 度之間，本研究選用黃色系大理石「蒂諾」，密度為 2.69 g/cm^3 ，如圖 3.3 所示。



圖 3.3 大理石「蒂諾」

三、花崗石：主要是由熔岩或岩漿從地殼深處外外運動，於地表下冷卻凝結而成，其主要由石英、長石為主要成份，花崗石外觀有明顯的結晶狀岩理，硬度為莫氏硬度 5-6 度之間，本研究選用花崗石「大龍壁」，密度為 2.74 g/cm^3 ，如圖 3.4 所示。



圖 3.4 花崗石「大龍壁」

四、人造石：以石粉、人造或天然骨料、色膏加入樹脂或壓克力，擠壓製成板狀，最後拋光製成。可塑性較高，可模擬天然石材之紋理及顏色，因其為人為製造而成，較無天然石常見之毛細孔，但其硬度較低，本研究選用人造石「莎賓娜」，密度為 2.58 g/cm^3 ，如圖 3.5 所示。



圖 3.5 人造石「莎賓娜」

五、磁磚：磁磚為高溫窯燒而成，使用之原料為陶瓷黏土、長石、陶石、石英等材料，常使用於建築物內外裝飾之用，本研究使用之磁磚總類為拋光石英磚及石質磚，密度分別為 2.11 g/cm^3 及 1.91 g/cm^3 ，如圖 3.6 所示。



圖 3.6 石質磚、石英磚

六、角鋼：本研究之隔熱測試平台使用 4 支 120cm 及 16 支 40cm 角鋼組成，如圖 3.7 所示。



圖 3.7 角鋼

3.3 實驗設備

一、SNUGIII 精密電子天平秤：本研究使用 SNUGIII 精密電子天平秤，具有單點校正及三點校正功能，如圖 3.8 所示。



圖 3.8 SNUGIII 精密電子天平秤

二、110V/500W 鹵素燈具：本實驗使用 1 盞 110V/500W 鹵素燈具，如圖 3.9 所示。



圖 3.9 110V/500W 鹵素燈具

三、溫度記錄儀：本研究所使用之溫度紀錄儀為台灣製 Lutron TM-947SD，此儀器特點為即時顯示數據並紀錄於 SD 記憶卡並下載到 Excel 做圖表分析，如圖 3.10 所示。



圖 3.10TM-947SD 溫度記錄儀 (Lutron, 2020)

四、熱電偶感溫線：本研究所使用之熱偶線為 (TP-01) K 型熱電偶，測量範圍由 -40°C 至 250°C ，其精準度為 $\pm 0.4\%$ ，如圖 3.11 所示。



圖 3.11 電熱偶感溫線

五、機械式定時器:用於控制通電設備之通電時間，利用齒輪及撥片與指定間內通電，本研究選用 110V 60Hz 之定時器，最小時間間隔為 15 分鐘，如圖 3.12 所示。



圖 3.12110V 60Hz 機械式定時器

3.4 實驗試體規格

本研究係模擬日照實驗測試，使用一盞 110V/500W 鹵素燈具，以 4 隻 120cm 與 16 隻 40cm 角鋼組成模擬日照平台，其長度為 40cm、寬度為 40cm、高度則為 120cm，且固定燈具距離試體為 30cm，其上視圖及正視圖如圖 3.13 及 3.14。實驗試體長度及寬度為 30cm*30cm，可分為單一材料及複合材料，單一材料為：花崗石、大理石、人造石、石英磚，石質磚、EPS。複合材料依變數 EPS 厚度不同而改變。量測溫度之測點分別為：測點 A 為試體材料表面；測點 B 為試體材料與 EPS 之間，若為單一材料則為單一材料之下層；測點 C 為 EPS 下層。整體示意圖如圖 3.15 及圖 3.16 所示。

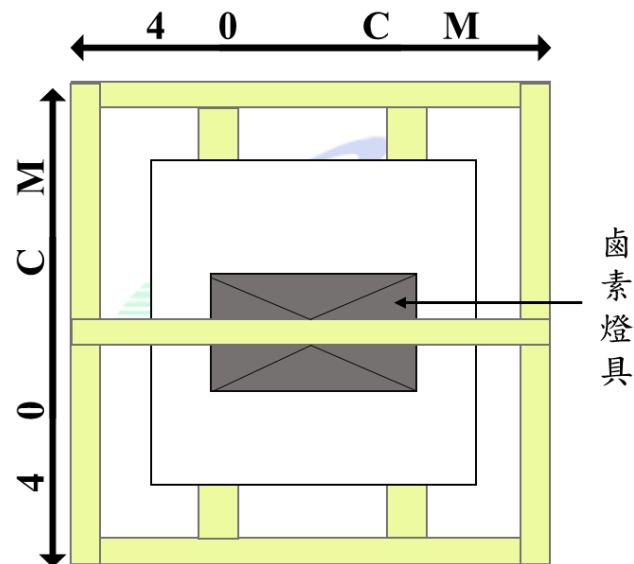


圖 3.13 模擬日照平台俯視圖

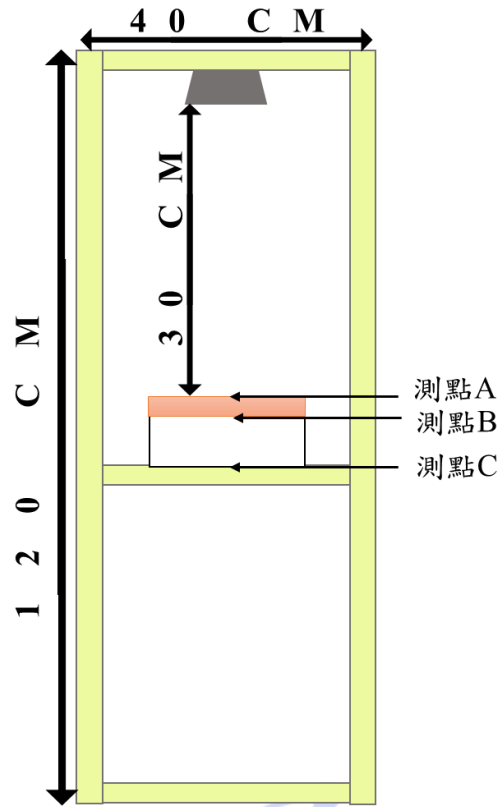


圖 3.14 模擬日照平台正視圖

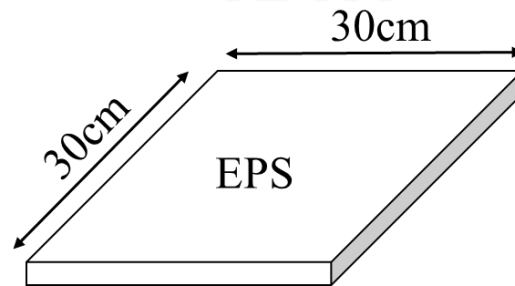


圖 3.15 單一材料示意圖

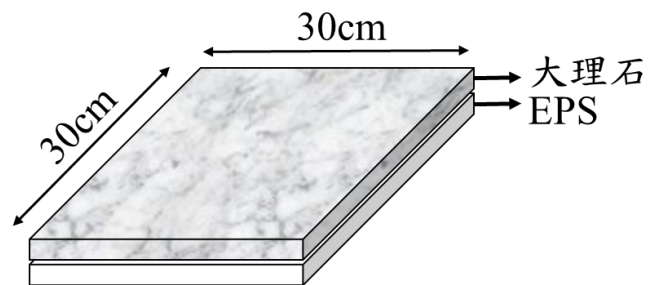


圖 3.16 複合材料示意圖

3.5 實驗程序

一、實驗目的:

本研究將配合市面上常見之材料，如:石材類之花崗石、大理石、人造石，磁磚類之石英磚、石質磚等配合發泡聚苯乙烯板做為複合材料進行隔熱性能之研究，並探討其隔熱效能並進行價值分析，期望以複合 EPS 節省經費且達致節省經費之效用。

二、實驗器材:

- 1.模擬日照平台。
- 2.110V/500W 鹵素燈具。
3. TM-947SD 溫度記錄儀。
- 4.邊長 30cm*30cm 之材料:花崗石、大理石、人造石、石英磚、石質磚、EPS。

三、實驗步驟如表 3.2 所示:

步驟一、組裝模擬日照平台。

步驟二、將 EPS 試體裁切為 30cm*30cm，厚度分別為 1cm、2cm、3cm。

步驟三、將各類材料訂定監測點。

步驟四、將熱偶線黏貼於監測點上，確保其貼合於材料表面。

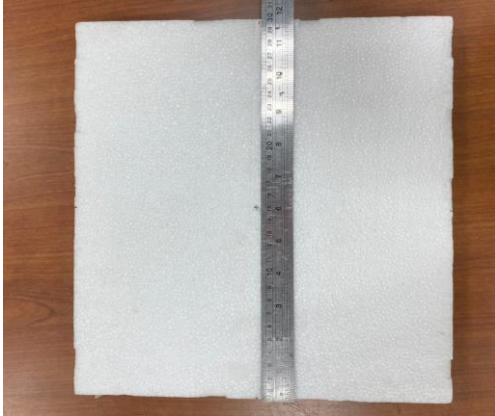
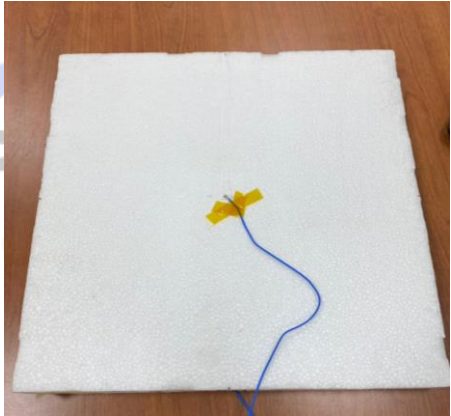
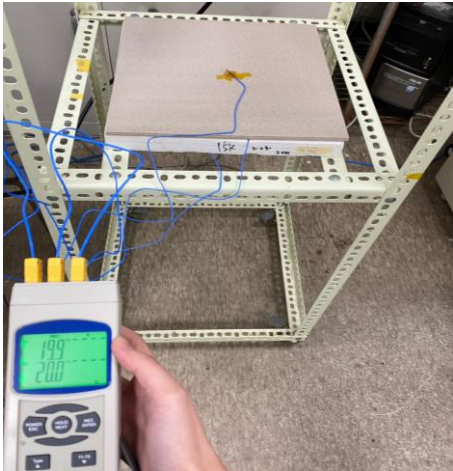
步驟五、將試體放置於距離鹵素燈 30cm。

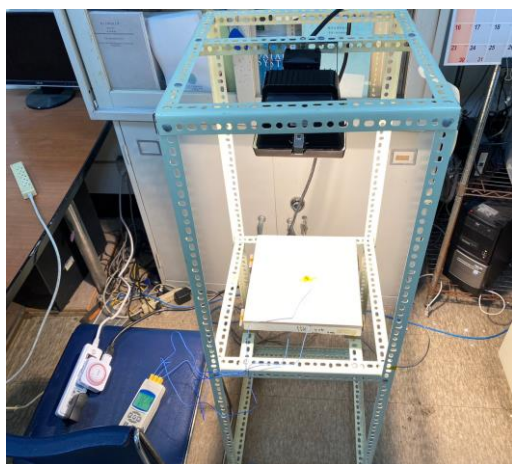
步驟六、將溫度記錄儀校正並設定紀錄時間間隔。

步驟七、將鹵素燈接上定時器，連續照射八小時。

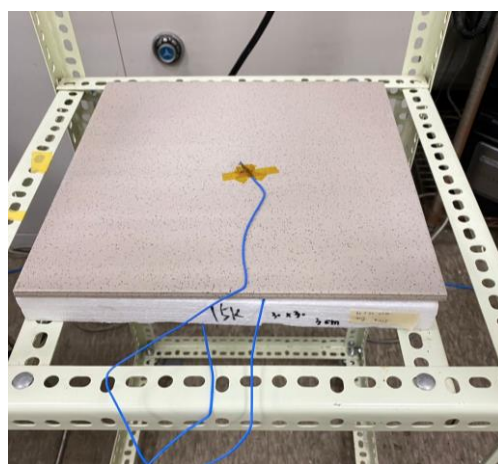
步驟八、依序更換試體，直到各種試體測量完畢，即完成日照模擬實驗。

表 3.2 實驗試體組裝流程

	
步驟一：組裝模擬日照平台	步驟二：裁切 EPS 試體
	
步驟三：訂定監測點	步驟四：黏貼熱偶線
	
步驟五：確認距離鹵素燈 30cm	步驟六：校正溫度記錄儀



步驟七：接上定時器照射八小時



步驟八：依序更換試體，直到測試完成



第四章 研究結果

4.1 實驗背景與流程

本實驗之研究目的為探討 EPS 複合材料之隔熱性能，故本研究選用 5 種材料作為表面材分別為：花崗石、大理石、人造石、石英磚、石質磚，配合密度為 15K、20K、25K，厚度為 1 公分、2 公分及 3 公分之 EPS，進行測試；實驗地點為國立臺北科技大學國父百年紀念館一樓之實驗室內。

本實驗模擬日照平台乃使用一盞 110V/500W 鹵素燈具為熱源，並使用 K 型熱電偶搭配溫度記錄儀量測各測點溫度，燈具及隔熱試體之距離為 30cm，照射時間為八小時，冷卻八小時，以此觀察各類複合板之隔熱及散熱之效能。

4.1.1 實驗試體分類

因本實驗材料組合繁多，因此後續將以分項表示，將分為單一材料及複合材料，單一材料分為表面材料類及 EPS 類，複合材料分別以各配合 EPS，為五大類。總共為七大類五十九項數據，如表 4.1 及表 4.2 所示。

表 4.1 實驗試體分類表-單一材料

項目	類別	材料及厚度
單一材料	第一類 (表面面材)	花崗石(2 公分)、大理石(2 公分)、人造石(2 公分)、 石英磚(1 公分)、石質磚(1 公分)
	第二類 (EPS)	15K 、20K、25K (每一種密度之厚度分別為 1 公分、2 公分、3 公分)

表 4.2 實驗試體分類表-複合材料

項目	類別	材料及厚度
複合材料	第三類 (面材:花崗石)	花崗石(2 公分)配合 3 種密度各 3 種厚度之 EPS
	第四類 (面材:大理石)	大理石(2 公分)配合 3 種密度各 3 種厚度之 EPS
	第五類 (面材:人造石)	人造石(2 公分)配合 3 種密度各 3 種厚度之 EPS
	第六類 (面材:石英磚)	石英磚(1 公分)配合 3 種密度各 3 種厚度之 EPS
	第七類 (面材:石質磚)	石質磚(1 公分)配合 3 種密度各 3 種厚度之 EPS

4.2 實驗數據分析

因本研究實驗試體較為繁雜，因此後續將統整各類數據並以單一材料及複合材料為大項目呈現，並以小項目之方式詳細敘述。

4.2.1 單一材料之第一類(表面材料)

由數據分析可知五種表面材料利用鹵素燈具照射八小時後冷卻，利用表面測點 A 減去底部測點 B 之溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)探討其隔熱性能，其中於照射第八小時中，隔熱性能最優秀者為花崗石，溫度差為 11.6 度；隔熱效能最差者為石質磚，第八小時溫度差達 7.2 度，如表 4.3 所示，而此結果可知五種材料中密度越大隔熱性能越優秀，第一類材料密度如表 4.4 所示。

表 4.3 單一材料之第一類第八小時溫度

花崗石				大理石				人造石			
時間	測點 A	測點 B	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)	時間	測點 A	測點 B	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)	時間	測點 A	測點 B	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)
8	74	62.4	11.6	8	70.1	59.9	10.2	8	67.3	57.8	9.5
石英磚				石質磚							
時間	測點 A	測點 B	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)	時間	測點 A	測點 B	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)				
8	73.8	64.8	9	8	79.8	72.6	7.2				

表 4.4 第一類材料密度表

材料名稱	厚度	密度(g/cm^3)
花崗石	2 公分	2.74
大理石	2 公分	2.69
人造石	2 公分	2.58
石英磚	1 公分	2.11
石質磚	1 公分	1.91

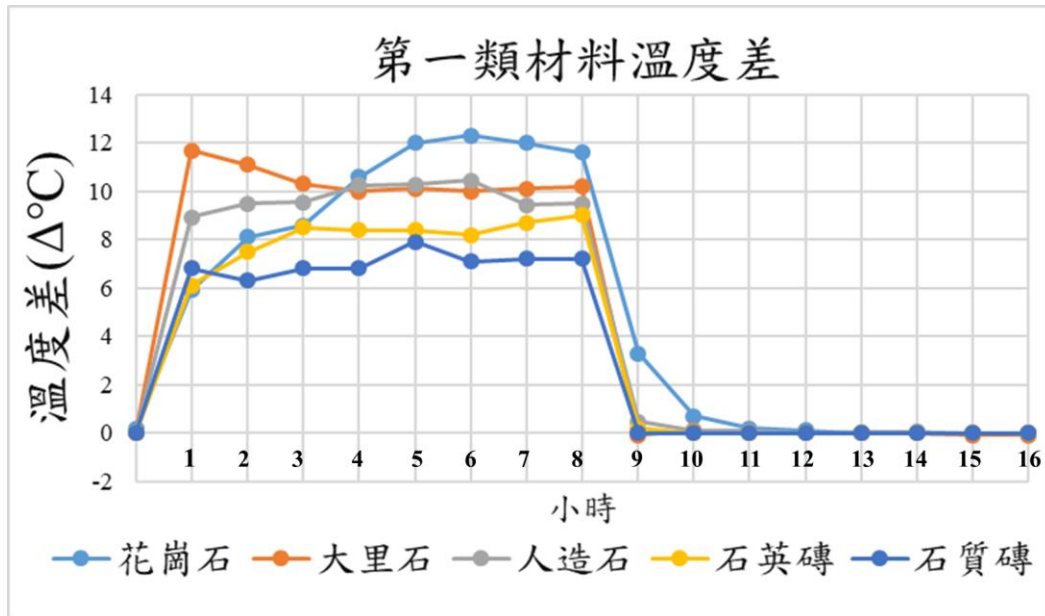


圖 4.1 第一類材料之隔熱溫度變化圖

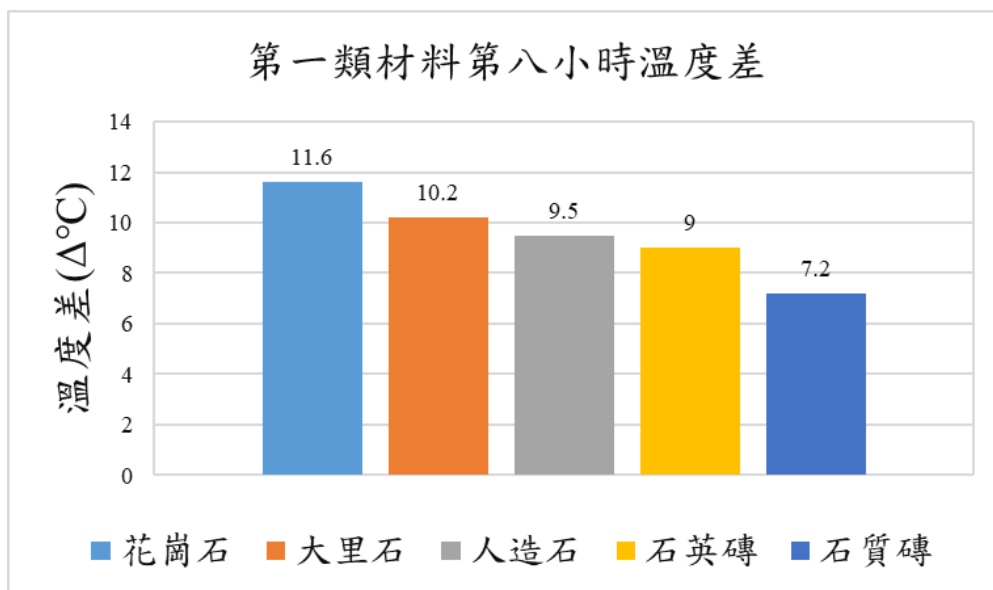


圖 4.2 第一類材料第八小時之隔熱效能

4.2.2 單一材料之第二類(EPS)

第二類為單一材料之 EPS 之隔熱效能，經由數據分析可得第八小時隔熱效能最佳者為 25K3 公分溫度差可達 44 度；而隔熱效能最差者為 15K 1 公分溫度差達 30 度；由此可知 EPS 密度及厚度皆為影響隔熱效能之因素，密度越大及厚度越厚，其隔熱效能皆有所增加。由圖 4.3 隔熱溫度變化圖中得出 EPS 板於第 9 個小時溫度差逐漸趨近於零，而於第 10 個小時溫度差歸零，約耗時 2 個小時即可將自身溫度與環境溫度達到平衡。

表 4.5 單一材料第二類第八小時溫度

15K 1cm EPS				15K 2cm EPS				15K 3cm EPS			
時間	測點 A	測點 B	A-B($^{\circ}\text{C}$)	時間	測點 A	測點 B	A-B($^{\circ}\text{C}$)	時間	測點 A	測點 B	A-B($^{\circ}\text{C}$)
8	65.5	35.5	30.0	8	69.4	32.2	37.2	8	70.5	28.6	41.9
20K 1cm EPS				20K 2cm EPS				20K 3cm EPS			
時間	測點 A	測點 B	A-B($^{\circ}\text{C}$)	時間	測點 A	測點 B	A-B($^{\circ}\text{C}$)	時間	測點 A	測點 B	A-B($^{\circ}\text{C}$)
8	69.7	37.2	32.5	8	70.2	32.3	38	8	70.1	28.1	42.0
25K 1cm EPS				25K 2cm EPS				25K 3cm EPS			
時間	測點 A	測點 B	A-B($^{\circ}\text{C}$)	時間	測點 A	測點 B	A-B($^{\circ}\text{C}$)	時間	測點 A	測點 B	A-B($^{\circ}\text{C}$)
8	69.2	35.7	33.5	8	71.2	29.7	41.5	8	71.7	27.6	44.0

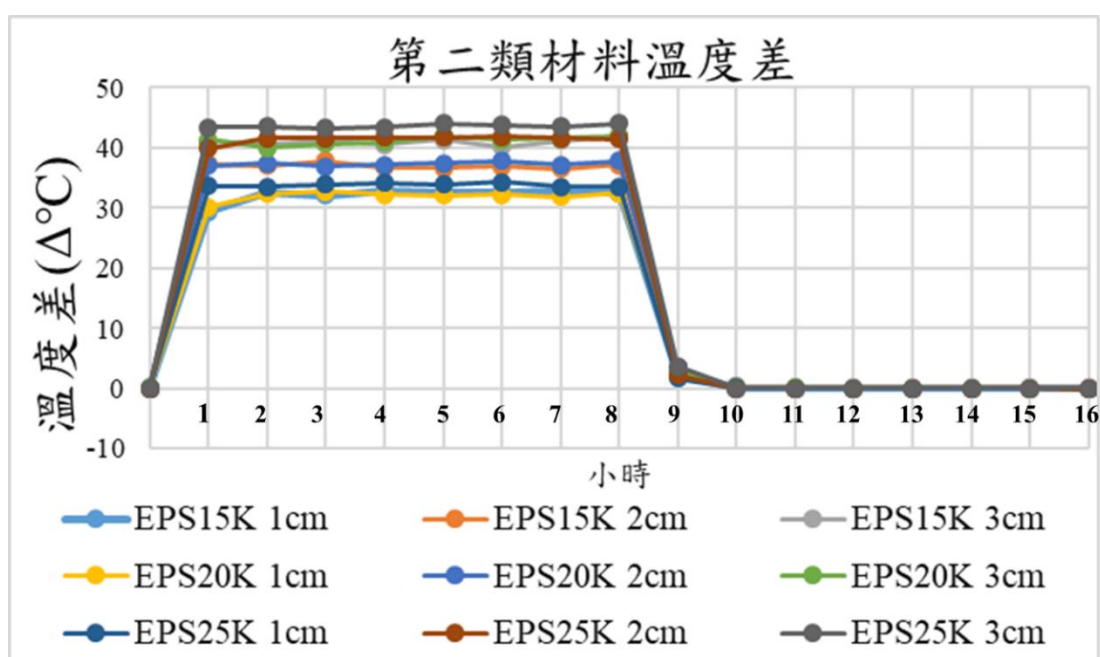


圖 4.3 第二類材料之隔熱溫度變化圖

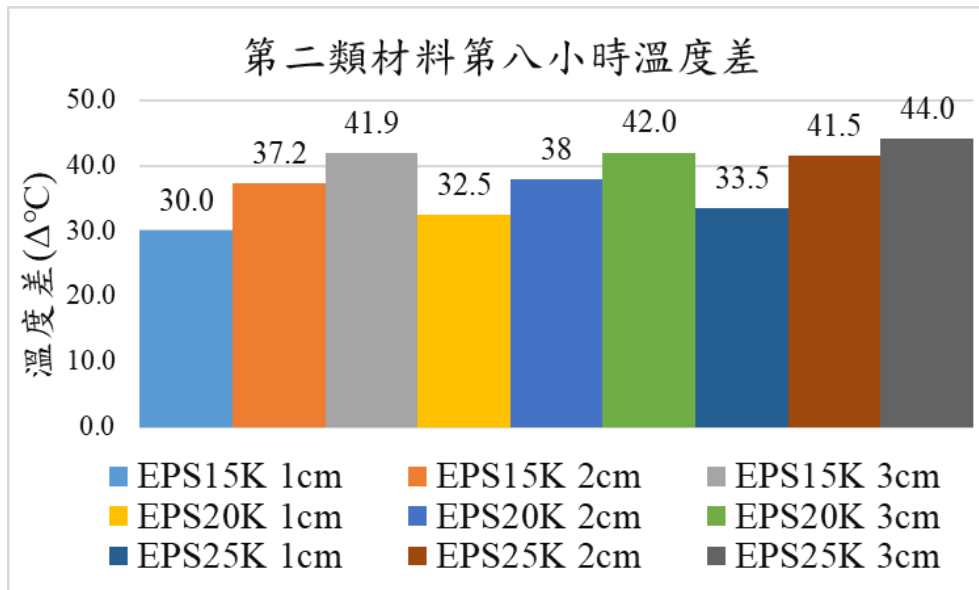


圖 4.4 第二類材料第八小時之隔熱效能

為探討三種 K 值及三種厚度之 EPS 在量測時間與第八小時溫度差 (Δ°C) 之關係，故表 4.6 將三種 K 值作為 X 軸，第八小時溫度差 (Δ°C) 作為 Y 軸，進行線性迴歸分析；其 R²值皆在 0.9 之以上，表示第八小時溫度差 (Δ°C) 與 EPS K 值兩者具有高度相關性。

表 4.6 EPS K 值線性迴歸方程式及相關係數 R²

EPS K 值	迴歸方程式	相關係數 R ²
15K	$y = 0.35x + 25$	0.9423
20K	$y = 0.4967x + 28.689$	0.9403
25K	$y = 0.2683x + 37.094$	0.9186

由圖 4.5 可見，20K EPS 2 公分及 3 公分，是相較線性預測低，由此可知 20K 2 公分及 3 公分 EPS 隔熱效能較不如預期。

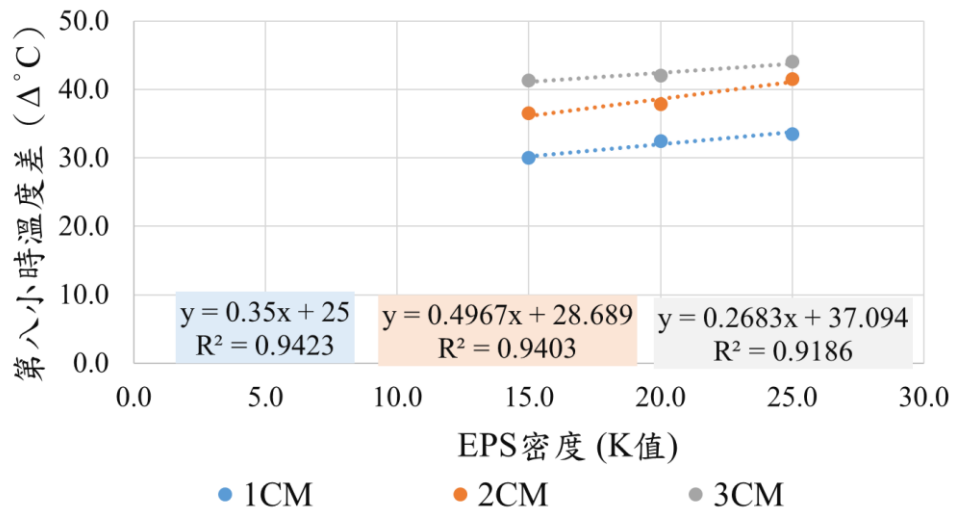


圖 4.5 EPS K 值與第八小時溫度差線性回歸圖

接著表 4.7 以三種厚度之 EPS 作為 X 軸，第八小時溫度差 ($\Delta^{\circ}\text{C}$) 作為 Y 軸，進行線性迴歸分析；其 R^2 值亦皆在 0.9 之以上，表示第八小時溫度差 ($\Delta^{\circ}\text{C}$) 與 EPS K 值兩者具有高度相關性。

表 4.7 EPS 厚度線性迴歸方程式及相關係數 R^2

EPS 厚度	迴歸方程式	相關係數 R^2
1 公分	$y = 5.675x + 24.833$	0.9765
2 公分	$y = 4.75x + 27.967$	0.9938
3 公分	$y = 5.2667x + 29.133$	0.9195

由圖 4.6 可得出，厚度 2 公分之 EPS 相較於 1 公分及 3 公分，隔熱效能優於線性迴歸預測，表現較為優異。

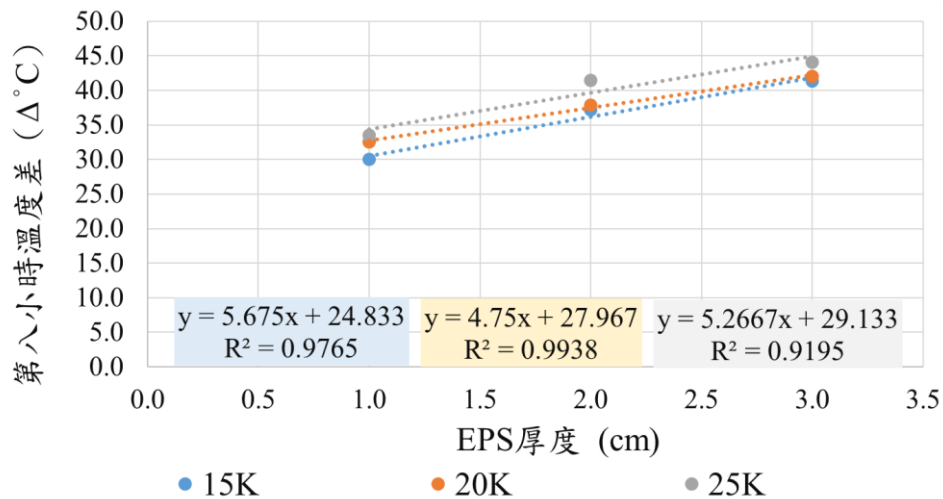


圖 4.6 EPS 厚度與第八小時溫度差線性回歸圖

4.2.3 複合材料之第三類(花崗石)

針對第三類材料為兩公分花崗石配合不同密度及厚度 EPS 之隔熱效能中，本研究將使用表面測點 A 與底部測點 C 相減之溫度差為隔熱效能($\Delta^{\circ}\text{C}$)，第八小時溫度差最高可達 58.8 度，為花崗石配合 25K 3 公分 EPS；最低隔熱溫度為 42.6 度，為花崗石配合 15K 1 公分之 EPS，各項複合板第八小時之隔熱效能如表 4.8 所示。而隨著 EPS 密度與厚度越大，隔熱效能也逐漸增加，而整體複合板加熱八小時後約於第 12 小時溫度差歸於零，總耗時約 4 個小時，參考圖 4.7。

表 4.8 複合材料第三類第八小時溫度

花崗石+15K 1cm EPS					花崗石+15K 2cm EPS					花崗石+15K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$
8	82.9	87.8	40.2	42.6	8	86.7	86.9	37.0	49.7	8	88.5	93.5	33.3	55.2
花崗石+20K 1cm EPS					花崗石+20K 2cm EPS					花崗石+20K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$
8	82.1	83.1	38.3	43.8	8.0	83.7	90.9	33.3	50.4	8	85.8	96.4	30.3	55.5
花崗石+25K 1cm EPS					花崗石+25K 2cm EPS					花崗石+25K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$
8	86.5	84.1	39.2	47.3	8	87.3	94.1	36.0	51.3	8	90.6	93.5	31.8	58.8

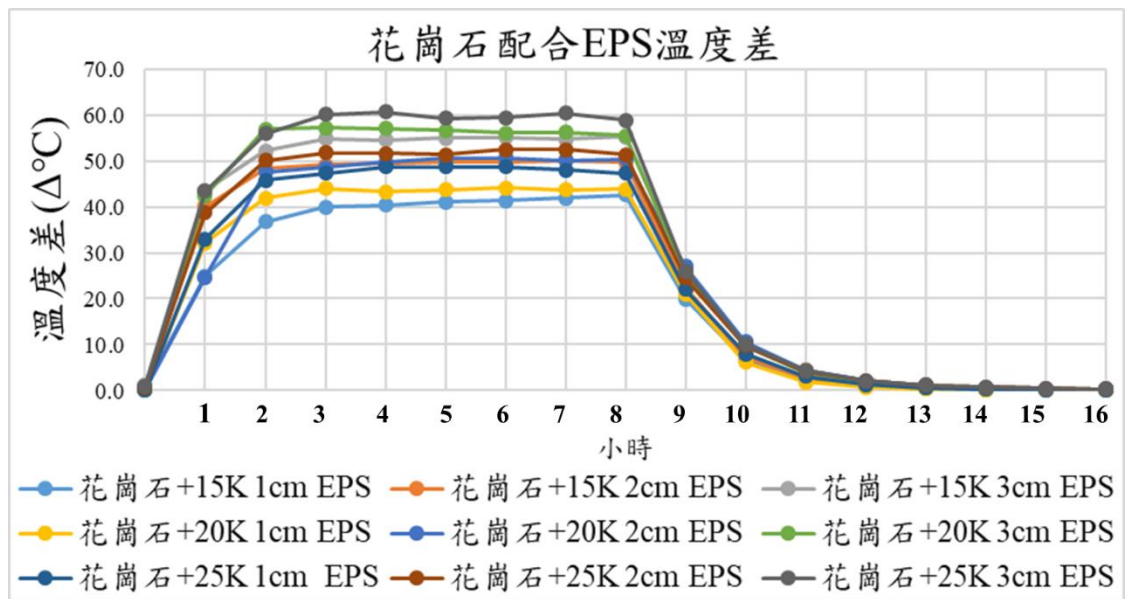


圖 4.7 第三類材料配合 EPS 之隔熱溫度變化圖

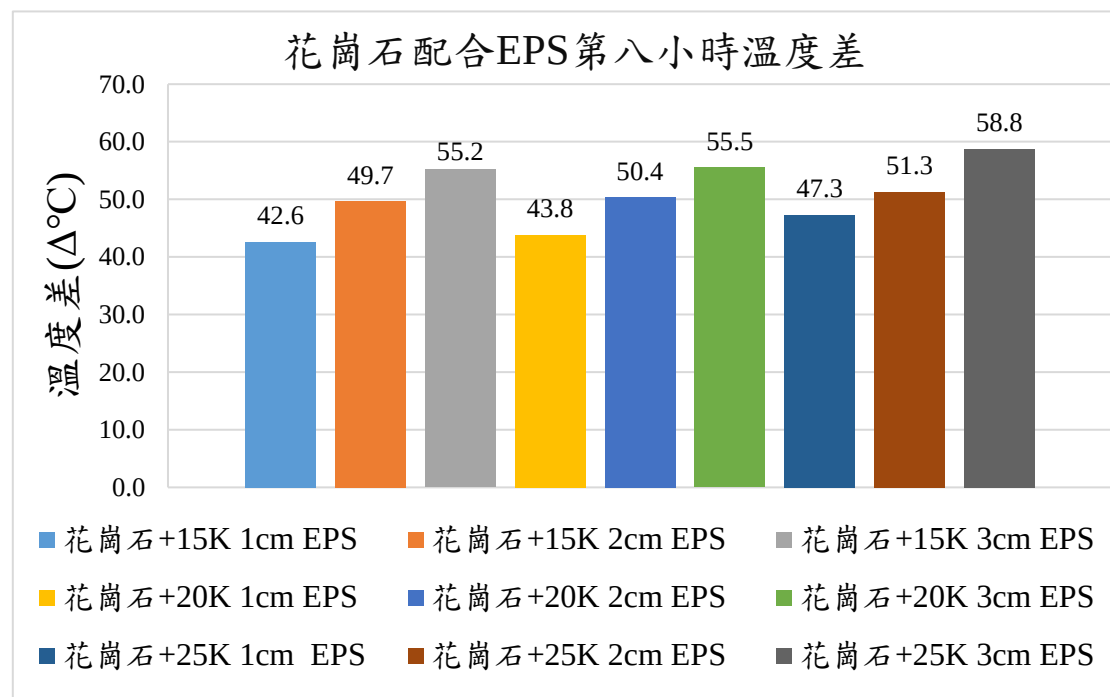


圖 4.8 第三類材料配合 EPS 之第八小時溫度差

4.2.4 複合材料之第四類(大理石)

於第四類材料為大理石配合不同密度及厚度之 EPS，將各項數據使用表面測點 A 與底部測點 C 相減之溫度差為隔熱效能($\Delta^{\circ}\text{C}$)，並經數據分析可得知於第八小時最高隔熱效能為大理石配合 25K3 公分 EPS，溫度差為 53.7 度，如表 4.9 所示，且大理石配合 EPS 密度 20K 及 25K3 公分之隔熱效能差異並不大，第八小時溫度僅以 0.2 度之差，而整體複合板經鹵素燈具照射八小時後約於第 13 小時溫度差歸於零，總耗時 5 小時，如圖 4.9。

表 4.9 複合材料第四類第八小時溫度

大理石+15K 1cm EPS					大理石+15K 2cm EPS					大理石+15K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$
8	78.2	75.0	38.1	40.1	8	72.4	74.5	26.6	45.8	8	80.2	79.3	31.1	49.1
大理石+20K 1cm EPS					大理石+20K 2cm EPS					大理石+20K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$
8	75.5	72.6	34.3	41.2	8	76.9	76.8	30.3	46.6	8	85.0	84.8	31.5	53.5
大理石+25K 1cm EPS					大理石+25K 2cm EPS					大理石+25K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$
8	76.583	73.8	33.65	42.9	8	85.5	86.1	37.9	47.6	8	86.6	87.1	32.9	53.7

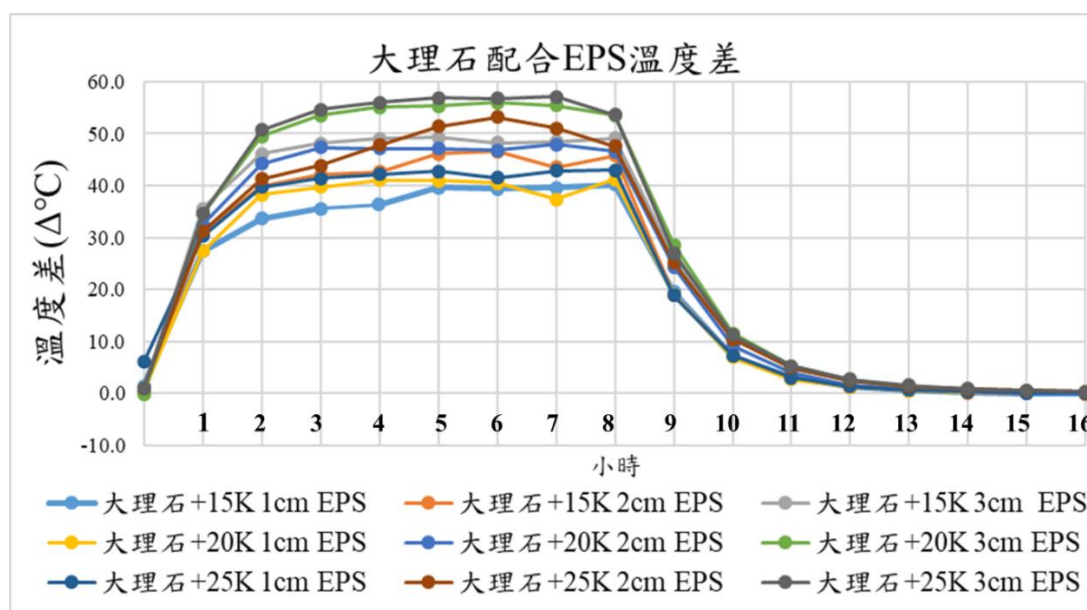


圖 4.9 第四類材料配合 EPS 之溫度差變化圖

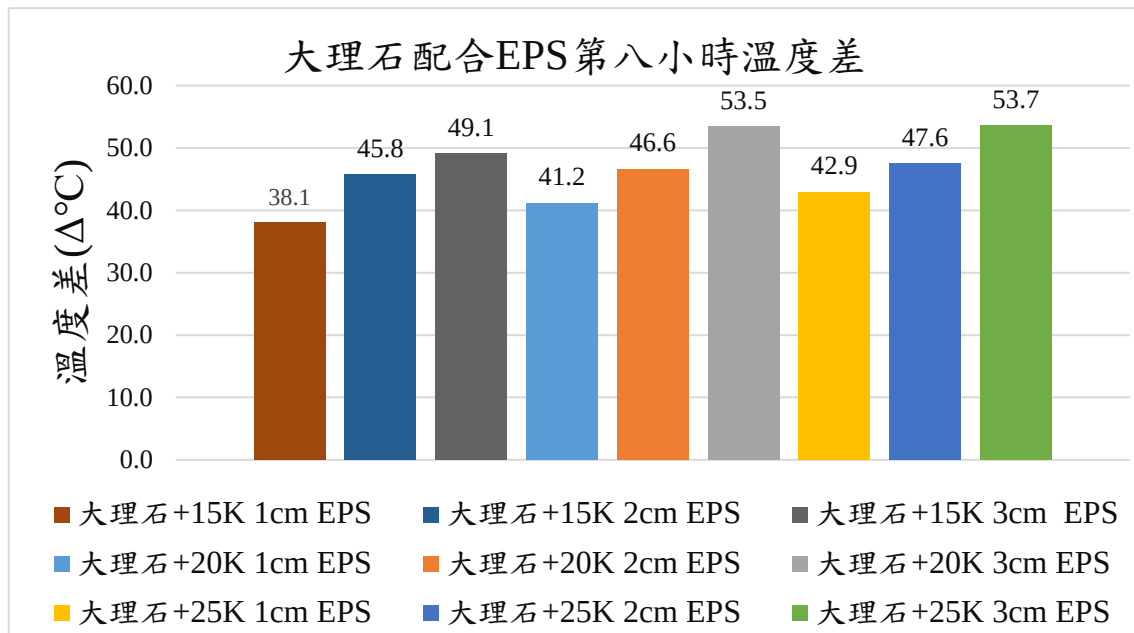


圖 4.10 第四類材料配合 EPS 之第八小時溫度差

4.2.5 複合材料之第五類(人造石)

於第五類複合材料為人造石配合不同密度及厚度之 EPS，由數據分析可得知於第八小時隔熱效果最佳者為人造石配合 25K 3 公分 EPS，最高隔熱溫度可達 58.3 度，隔熱效能最差者為人造石配合 15K1 公分之 EPS，第八小時隔熱溫度為 43 度，如表 4.10 所示。

而人造石複合板於第 13 個小時溫度差歸於零，總耗時 5 個小時，如圖 4.11 所示。

表 4.10 複合材料第五類各點溫度

人造石+15K 1cm EPS					人造石+15K 2cm EPS					人造石+15K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C
8	86.7	82.7	43.7	43.0	8	84.9	91.0	37.7	47.1	8	86.5	94.7	32.9	53.6
人造石+ 20K 1cm EPS					人造石+20K 2cm EPS					人造石+20K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C
8	86.4	84.6	41.3	45.1	8	83.9	87.4	36.3	47.5	8	84.3	84.3	28.6	55.7
人造石+25K 1cm EPS					人造石+25K 2cm EPS					人造石+25K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C
8	90.0	88.4	42.1	48.0	8	85.4	87.1	34.8	50.6	8	92.5	97.3	34.1	58.3

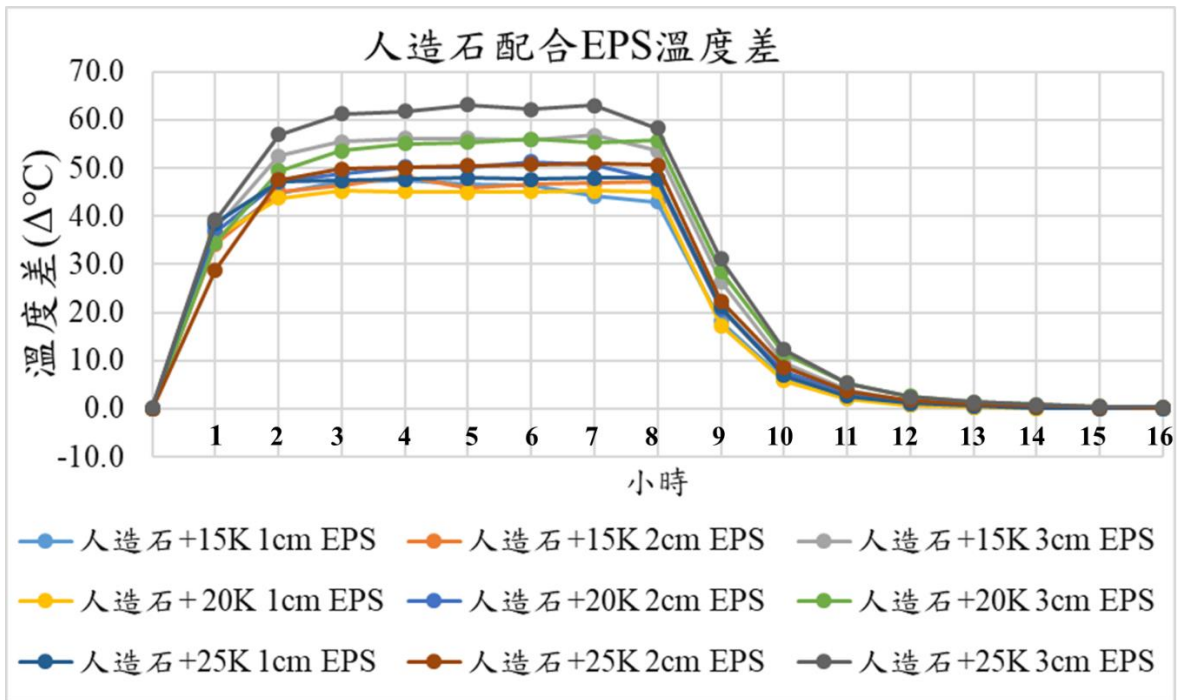


圖 4.11 第五類材料配合 EPS 之溫度差變化圖

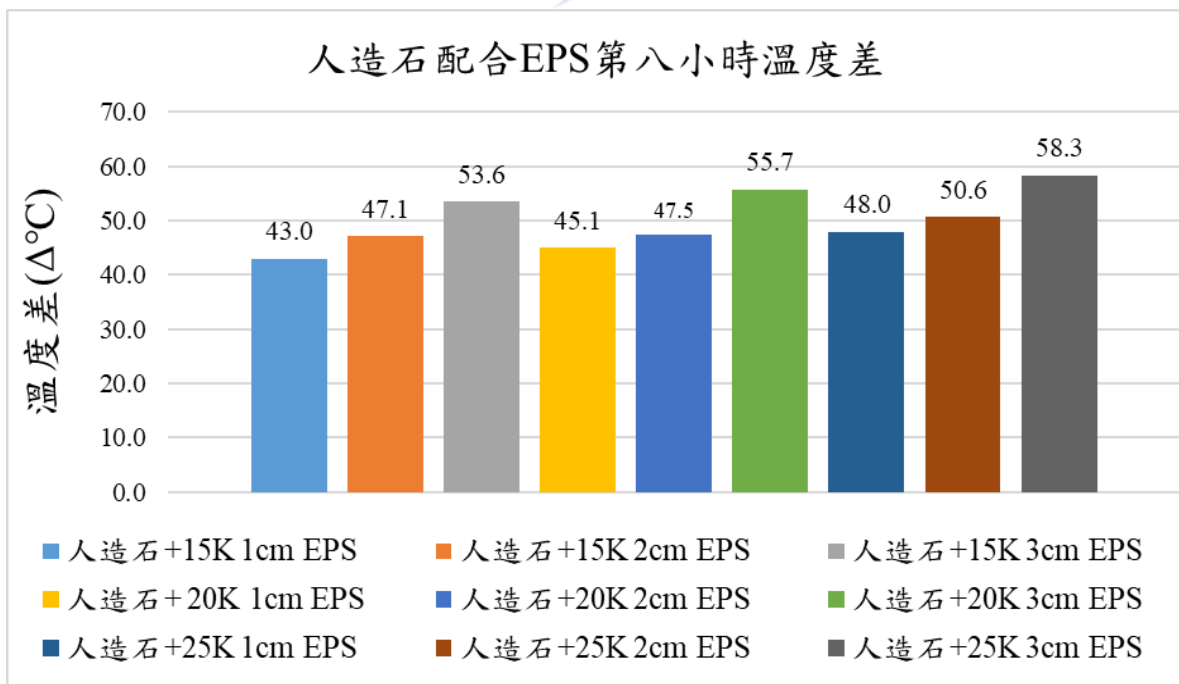


圖 4.12 第五類材料配合 EPS 之第八小時溫度差

4.2.6 複合材料之第六類(石英磚)

第六複合材料為石英磚配合不同密度及厚度之 EPS，經由數據分析可見，以配合 25K3 公分之 EPS 隔熱效能最優異，其第八小時溫度差可達 51.3 度，隔熱效能最差者為石英磚配合 15K1 公分 EPS，第八小時溫度差為 41 度，相關溫度如表 4.13 所示。而石英磚複合板約於第 11 小時溫度差歸於零，總耗時 3 個小時。

表 4.11 複合材料第六類各點溫度

石英磚 + 15K 1cm EPS					石英磚 + 15K 2cm EPS					石英磚 + 15K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$
8	82.2	84.0	41.2	41.0	8	81.0	79.5	37.9	43.2	8	79.5	81.9	29.6	49.9
石英磚 + 20K 1cm EPS					石英磚 + 20K 2cm EPS					石英磚 + 20K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$
8	84.0	83.4	41.7	42.3	8	83.5	84.7	38.7	44.7	8	84.6	87.7	34.0	50.7
石英磚 + 25K 1cm EPS					石英磚 + 25K 2cm EPS					石英磚 + 25K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$	時間	測點 A	測點 B	測點 C	$\Delta^{\circ}\text{C}$
8	82.1	79.6	39.4	42.7	8	81.6	79.9	35.5	46.1	8	84.9	85.0	33.6	51.3

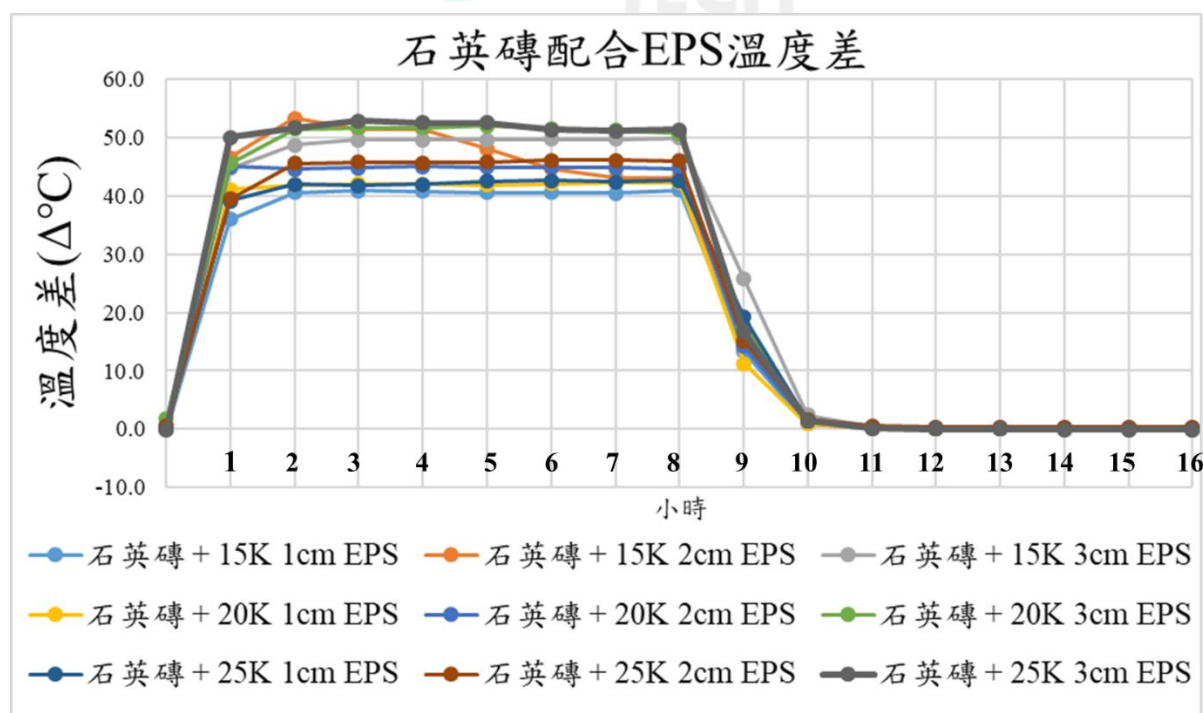


圖 4.13 第六類材料配合 EPS 之溫度差變化圖

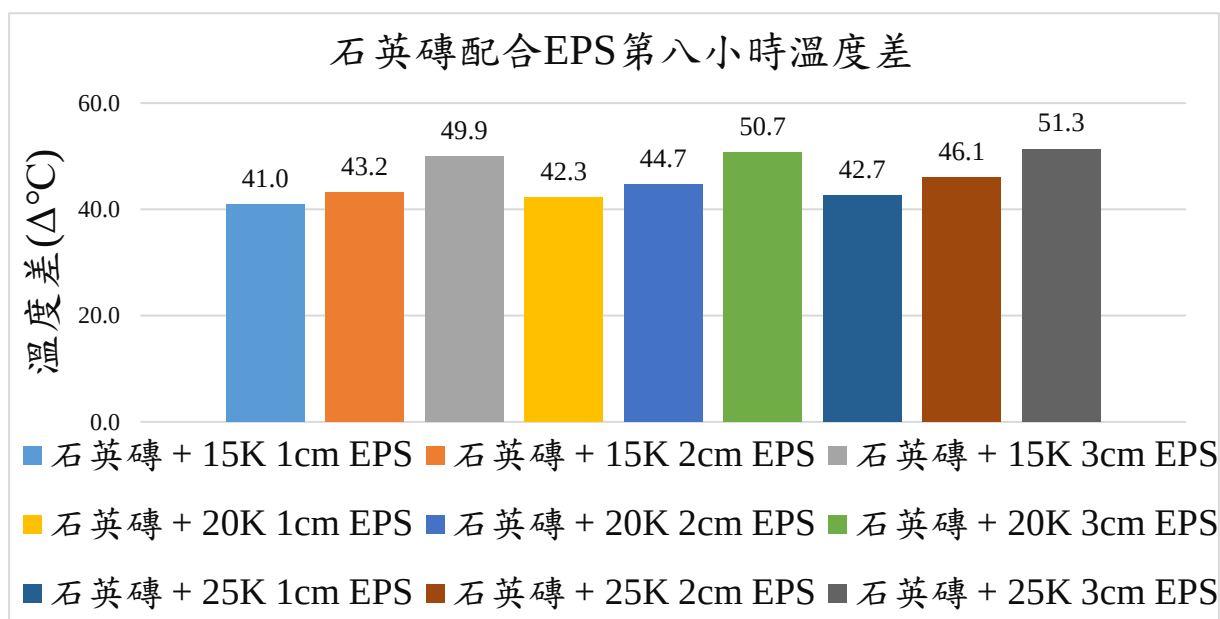


圖 4.14 第六類材料配合 EPS 之第八小時溫度差

4.2.7 複合材料之第七類(石質磚)

第七類複合材料為石質磚配合不同密度及厚度之 EPS，經數據分析，以石質磚配合 25K3 公分之 EPS 隔熱效能最優秀，可達 50.2 度，隔熱效能最差者為石質磚配合 15K1 公分 EPS，第八小時隔熱效能為 37.6 度，並可由圖 4.16 中可看出石質磚配合不同密度之 EPS 以一公分隔熱效能最差，而配合兩公分及三公分之隔熱溫度差距較小，且由圖 4.15 可得知石質磚複合板約於第 11 小時溫度差歸於零，耗時約 3 小時。

表 4.12 複合材料

第七類各點溫度

石質磚 +15K 1cm EPS					石質磚 +15K 2cm EPS					石質磚 +15K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C
8	79.3	84.5	41.8	37.6	8	82.7	95.8	38.1	44.6	8	83.5	84.1	33.9	49.6
石質磚 +20K 1cm EPS					石質磚 +20K 2cm EPS					石質磚 +20K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C
8	78.8	81.1	39.7	39.1	8	86.5	89.5	38.8	47.6	8	81.8	85.9	32.0	49.8
石質磚 +25K 1cm EPS					石質磚 +25K 2cm EPS					石質磚 +25K 3cm EPS				
時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C	時間	測點 A	測點 B	測點 C	Δ°C
8	80.9	80.7	41.2	39.7	8	87.2	90.3	37.2	50.0	8	82.3	87.8	32.1	50.2

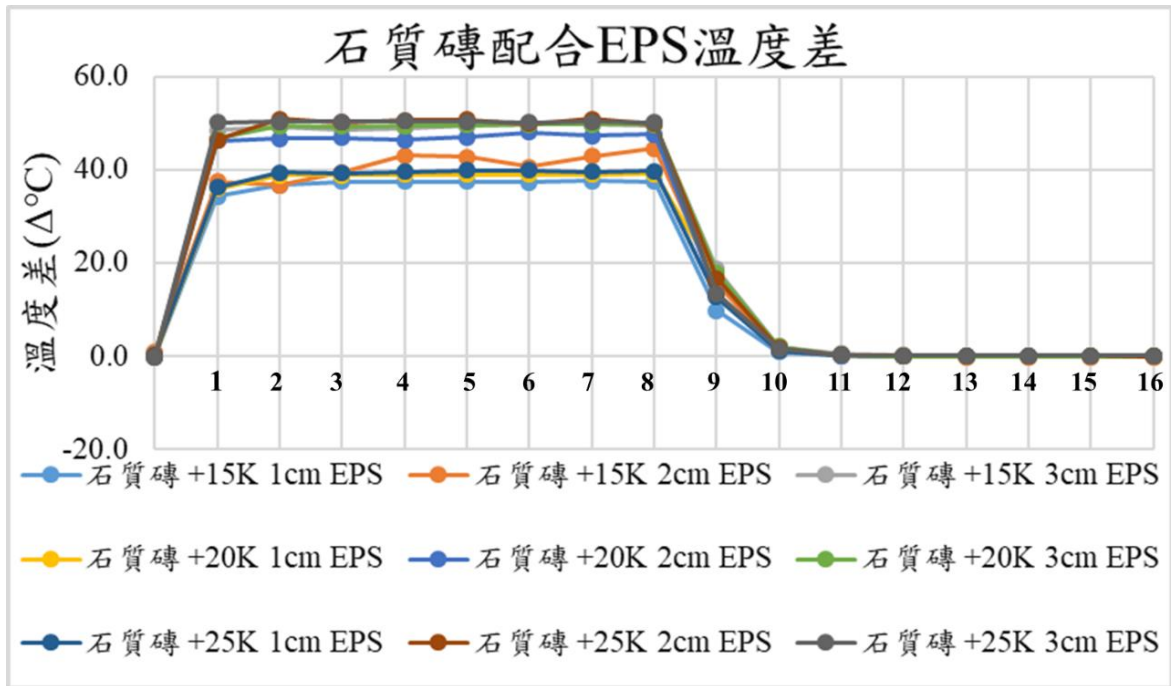


圖 4.15 第七類材料配合 EPS 之溫度差變化圖

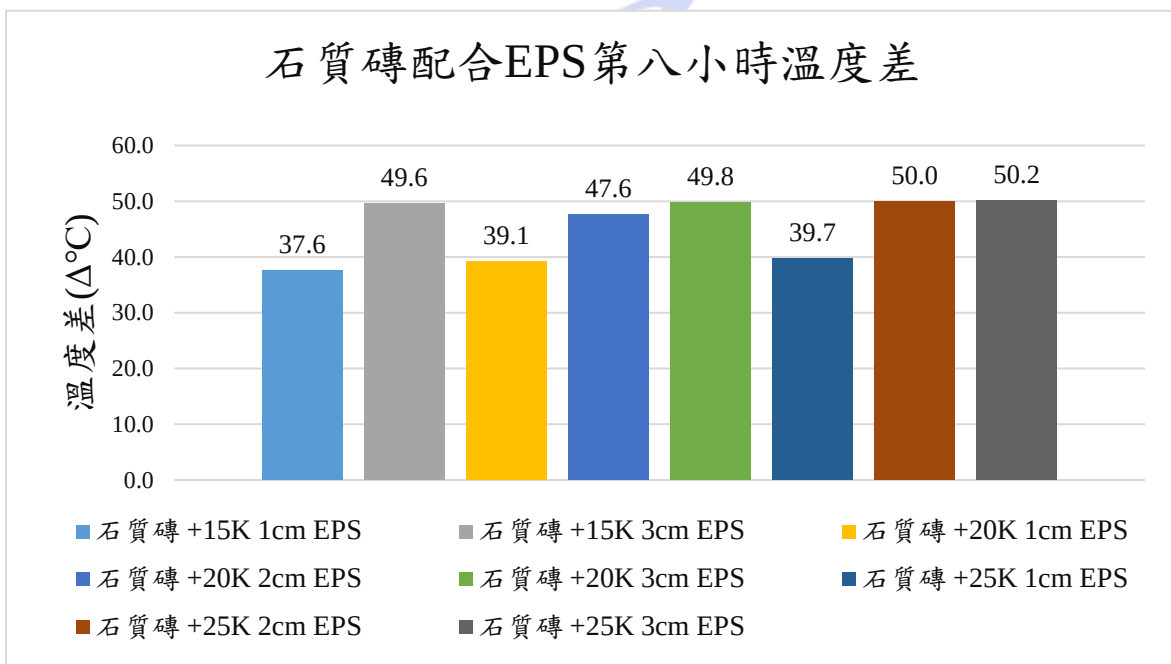


圖 4.16 第七類材料配合 EPS 之第八小時溫度差

4.3 隔熱效能分析

4.3.1 單一材料之隔熱性能

本研究所使用之單一材料分別為第一類表面材料，分別為厚度兩公分之花崗石、大理石及人造石，以及厚度一公分之石英磚及石質磚，第二類 EPS，共三種密度:15K、20K 及 25K，每種密度之 EPS 厚度 1 公分、2 公分及 3 公分;第八小時後隔熱效能統整如下表 4.13，由此表可知 EPS 隔熱效能相較五種表面材料高，由此可知 EPS 為較佳之隔熱材料。

表 4.13 單一材料第八小時隔熱效能

材料	厚度	溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)
花崗石	2 公分	11.6
大理石	2 公分	10.2
人造石	2 公分	9.5
石英磚	1 公分	9
石質磚	1 公分	7.2
15K EPS	1 公分	30
	2 公分	37.2
	3 公分	41.4
20K EPS	1 公分	32.5
	2 公分	38
	3 公分	42
25K EPS	1 公分	33.5
	2 公分	41.5
	3 公分	44

4.3.2 複合材料之隔熱性能

上述各項複合材料之各測點溫度，經由數據分析探討其隔熱性能，本研究係以鹵素

燈具距離試體表面 30 公分，並連續照射八小時後冷卻，以表面測點 A 與最底層測點 C 之溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)判斷其隔熱性能，後續以日照第八小時之溫度差可統整為下表 4.14 至表 4.18。

表 4.14 第三類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)
花崗石 (2 公分)	15K	1 公分	42.6
		2 公分	49.7
		3 公分	55.2
	20K	1 公分	43.8
		2 公分	50.4
		3 公分	55.5
	25K	1 公分	47..3
		2 公分	51.3
		3 公分	58.8

表 4.15 第四類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)
大理石 (2 公分)	15K	1 公分	40.1
		2 公分	45.8
		3 公分	49.1
	20K	1 公分	41.2
		2 公分	46.6
		3 公分	53.5
	25K	1 公分	42.9
		2 公分	47.6
		3 公分	53.7

表 4.16 第五類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)
人造石 (2 公分)	15K	1 公分	43.0
		2 公分	47.1
		3 公分	53.6
	20K	1 公分	45.1
		2 公分	47.5
		3 公分	55.7
	25K	1 公分	48.0
		2 公分	50.6
		3 公分	58.3

表 4.17 第六類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)
石英磚 (1 公分)	15K	1 公分	41.0
		2 公分	43.2
		3 公分	49.9
	20K	1 公分	42.3
		2 公分	44.7
		3 公分	50.7
	25K	1 公分	42.7
		2 公分	46.1
		3 公分	51.3

表 4.18 第七類複合材料配合 EPS 之第八小時溫度差

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)
石質磚 (1 公分)	15K	1 公分	37.6
		2 公分	44.6
		3 公分	49.6
	20K	1 公分	39.1
		2 公分	47.6
		3 公分	49.8
	25K	1 公分	39.7
		2 公分	50
		3 公分	50.2

統整上述表格，將每類複合材料歸類出最高隔熱效能及最低隔熱效能，於最高隔熱效能中表現最優異者為花崗石配合 25K3 公分之 EPS，隔熱效能可達 58.8 度，最低為石質磚配合 15K3 公分之 EPS，隔熱效能達 50.2 度，參考表 4.19。於最低隔熱效能中，表現最差者為石質磚配合 15K1 公分之 EPS，溫度為 37.6 度，參考表 4.20。

表 4.19 各類複合材料最高隔熱效能

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)
花崗石	25K	3 公分	58.8
大理石	25K	3 公分	53.7
人造石	25K	3 公分	58.3
石英磚	25K	3 公分	51.3
石質磚	15K	3 公分	50.2

表 4.20 各類複合材料最低隔熱效能

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	溫度差($\Delta^{\circ}\text{C}$)
花崗石	15K	1 公分	42.6
大理石	15K	1 公分	40.1
人造石	15K	1 公分	43.0
石英磚	15K	1 公分	41.0
石質磚	15K	1 公分	37.6

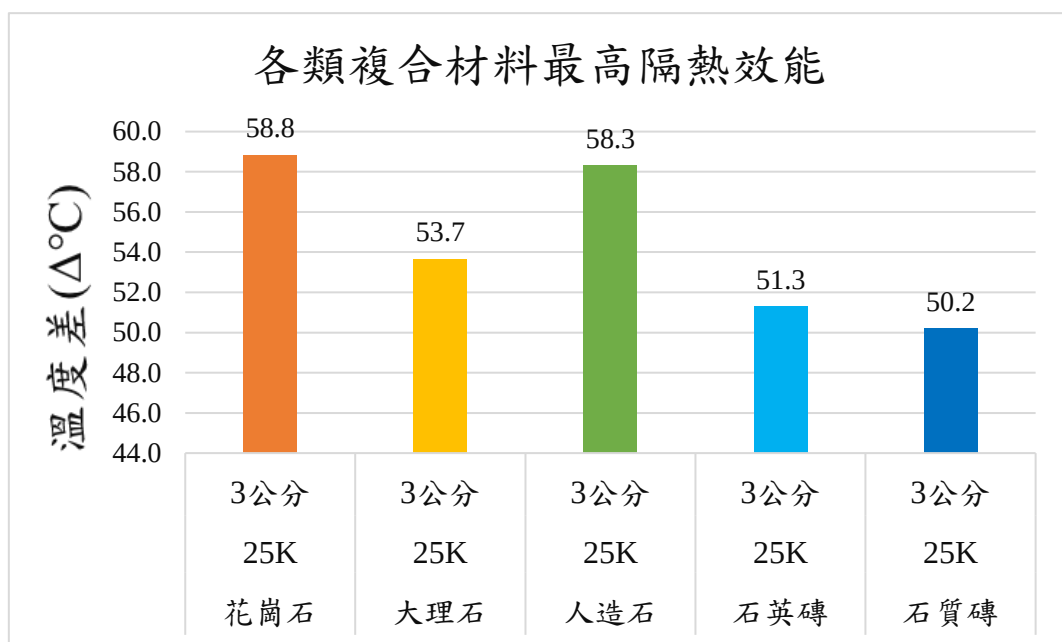


圖 4.17 各類複合材料最高隔熱效能柱狀圖

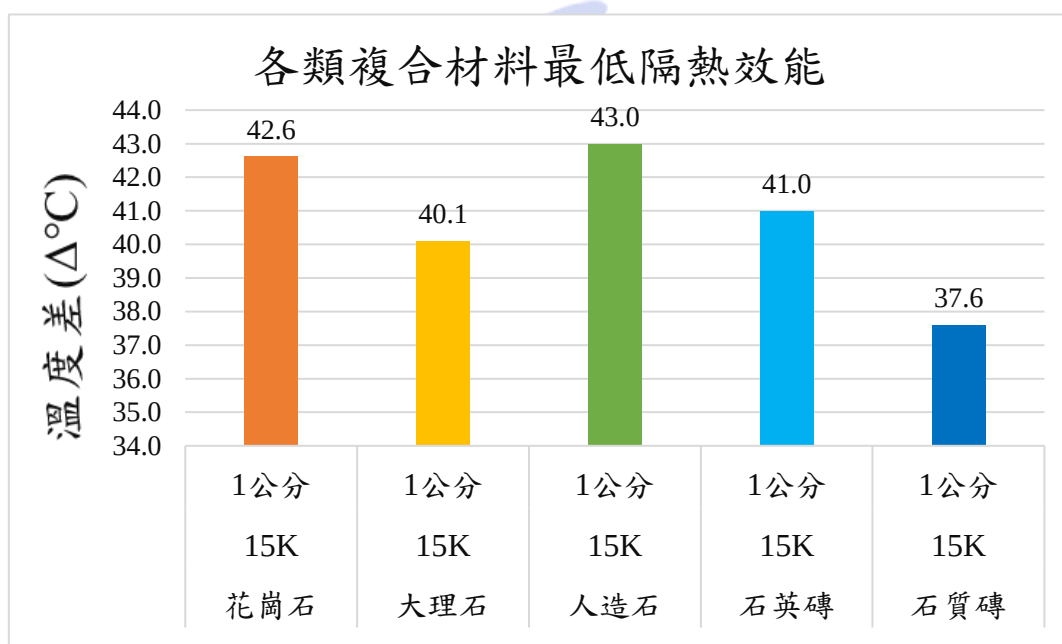


圖 4.18 各類複合材料最低隔熱效能柱狀圖

4.3.3 相同厚度之複合材料數據分析

為探討相同厚度條件之下各類複合材料之隔熱性能，本研究以臺灣省土木技師公會技師報之淺談外牆石材乾式施工作業中所提及，乾式工法石材之厚度為 2.5 至 4 公分，以下將訂定總厚度為 4 公分之複合材料進行數據分析，本實驗之材料為 2 公分石材配合 2 公分 EPS 及 1 公分磁磚配合 3 公分 EPS 做為複合板，數據統整結果如表 4.21。其中以花崗石配合 25K 2 公分之 EPS 及石英磚配合 25K 3 公分之 EPS，隔熱效能最為優異，第八小時隔熱效能為 51.3 度，隔熱效能最差者為大理石配合 15K 2 公分 EPS 溫度為 45.8 度。

表 4.21 相同厚度之複合材料隔熱性能

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	溫度差 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)
花崗石 (2cm)	15K	2 公分	49.7
	20K	2 公分	50.4
	25K	2 公分	51.3
大理石 (2cm)	15K	2 公分	45.8
	20K	2 公分	46.6
	25K	2 公分	47.6
人造石 (2cm)	15K	2 公分	47.1
	20K	2 公分	47.5
	25K	2 公分	50.6
石英磚 (1cm)	15K	3 公分	49.9
	20K	3 公分	50.7
	25K	3 公分	51.3
石質磚 (1cm)	15K	3 公分	49.6
	20K	3 公分	49.8
	25K	3 公分	50.2

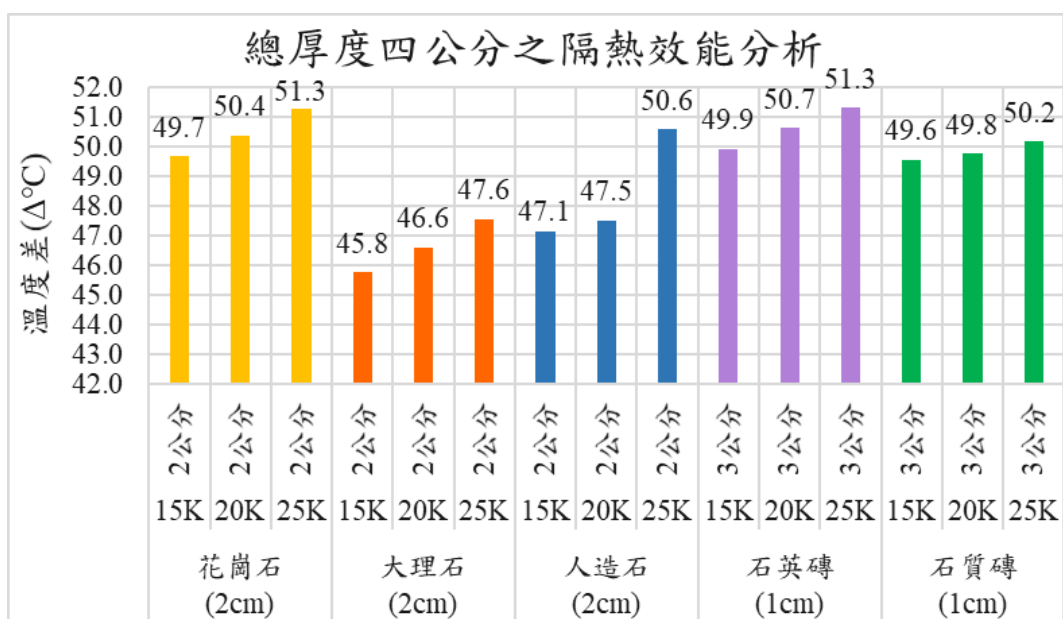


圖 4.19 相同厚度之複合材隔熱性能柱狀圖

4.3.4 價值分析

本研究主要使用三種石材、兩類磁磚及三種密度及厚度之 EPS 做為複合板，本章係針對複合板進行價值之分析，其中 EPS 之成本為○○開發工業股份有限公司提供；石材及瓷磚因未有特定之生產廠商，故以現行之市價做參考，石材類之價格因各國產地之礦區多寡、採礦工具及技術、各國關稅、海運遠近及顏色紋路等有所差異。各材料計價方式有所差異，因此本研究以每立方公尺之平均價格表示，相關之價目如表 4.22 示；本實驗之總厚度四公分複合板價目如表 4.23。

針對總厚度四公分之複合板進行價格分析如表 4.22 所示，最高隔熱效能之材料為花崗石配合 25K2 公分 EPS 及石英磚配合 25K3 公分 EPS，因花崗石原料價格較高，複合板價格達 1023 元至 1026 元，而石英磚取得較容易價格也較石材類低廉，複合板價格為 465 元至 470 元，然而使用石英磚配合 EPS 仍可達與花崗石配合 EPS 之相同隔熱效能。而每一元新台幣可阻隔之熱能如表 4.24 所示，以人造石複合板每一元能阻隔熱能最

多。

表 4.22 材料成本價目表

種類 價格	花崗石	大理石	人造石	石英磚
元/ m ³	566,280	1,257,795	46,000	4,827
種類 價格	石質磚	15K EPS	20K EPS	25K EPS
元/ m ³	971	1,900	2,700	3,700

表 4.23 厚度四公分複合板之價目表

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	隔熱溫度 (°C)	試體價格 (元)
花崗石 2cm	15K	2cm	49.7	1023
	20K	2cm	50.4	1024
	25K	2cm	51.3	1026
大理石 2cm	15K	2cm	45.8	2267
	20K	2cm	46.6	2269
	25K	2cm	47.6	2271
人造石 2cm	15K	2cm	47.1	86
	20K	2cm	47.5	88
	25K	2cm	50.6	89
石英磚 1cm	15K	3cm	49.9	465
	20K	3cm	50.7	467
	25K	3cm	51.3	470
石質磚 1cm	15K	3cm	49.6	93
	20K	3cm	49.8	95
	25K	3cm	50.2	97

表 4.24 複合板每元可阻隔之熱能

表面材料	EPS 密度	EPS 厚度	每塊錢可 阻隔之溫度
			(°C / 1 元)
花崗石 2cm	15K	2cm	0.049
	20K	2cm	0.049
	25K	2cm	0.050
大理石 2cm	15K	2cm	0.020
	20K	2cm	0.021
	25K	2cm	0.021
人造石 2cm	15K	2cm	0.548
	20K	2cm	0.540
	25K	2cm	0.569
石英磚 1cm	15K	3cm	0.107
	20K	3cm	0.109
	25K	3cm	0.109
石質磚 1cm	15K	3cm	0.533
	20K	3cm	0.524
	25K	3cm	0.518

4.3.5 重量分析

於前述所提及，因石材及瓷磚本身自重較重，於建築上之使用限制較多，因此本研究將分析並探討以五種表面材料與 EPS 複合板可節省之重量，及其所達效益。單一材料之重量如下表 4.25 至 4.26；各類複合材料之重量統整如下表 4.27 至 4.28。

表 4.25 表面材料之重量

種類	厚度 (cm)	重量 (kg)
花崗石	2	5.1
大理石	2	4.8
人造石	2	4.15
石英磚	1	1.48
石質磚	1	1.71

表 4.26 EPS 之重量

EPS 密度	厚度 (cm)	重量 (kg)
15K	1	0.16
	2	0.27
	3	0.38
20K	1	0.22
	2	0.37
	3	0.53
25K	1	0.29
	2	0.43
	3	0.62

表 4.27 第三至五類複合材料重量一覽表

表面材料	EPS 密度	厚度 (cm)	重量 (kg)	表面材料	EPS 密度	厚度 (cm)	重量 (kg)	表面材料	EPS 密度	厚度 (cm)	重量 (kg)
花崗石 (2cm)	15K	1 公分	5.26	大理石 (2cm)	15K	1 公分	4.96	人造石 (2cm)	15K	1 公分	4.31
		2 公分	5.37			2 公分	5.07			2 公分	4.42
		3 公分	5.48			3 公分	5.18			3 公分	4.53
	20K	1 公分	5.32		20K	1 公分	5.02		20K	1 公分	4.37
		2 公分	5.47			2 公分	5.17			2 公分	4.52
		3 公分	5.63			3 公分	5.33			3 公分	4.68
	25K	1 公分	5.39		25K	1 公分	5.09		25K	1 公分	4.44
		2 公分	5.53			2 公分	5.23			2 公分	4.58
		3 公分	5.72			3 公分	5.42			3 公分	4.77

表 4.28 第六至七類複合材料重量一覽表

表面材料	EPS 密度	厚度 (cm)	重量 (kg)	表面材料	EPS 密度	厚度 (cm)	重量 (kg)
石英磚 (1cm)	15K	1 公分	1.64	石質磚 (1cm)	15K	1 公分	1.87
		2 公分	1.75			2 公分	1.98
		3 公分	1.86			3 公分	2.09
	20K	1 公分	1.7		20K	1 公分	1.93
		2 公分	1.85			2 公分	2.08
		3 公分	2.01			3 公分	2.24
	25K	1 公分	1.77		25K	1 公分	2
		2 公分	1.91			2 公分	2.14
		3 公分	2.1			3 公分	2.33

針對石材外牆乾式施工之材料厚度為四公分之情況下依 EPS 密度不同重量有些許之差異，使用花崗石複合板相較四公分之花崗石約可減少 45.8%至 47.4%之重量，大理石複合板約可減少 45.5%至 47.2%之重量，人造石複合板約可減少 44.8%至 46.7%之重量，石英磚複合板約可減少 64.5%至 68.6%之重量，石質磚複合板約可減少 65.9%至 69.4%之重量。統整如下表 4.29。

表 4.29 厚度四公分複合板之重量分析

材料	總厚度(cm)	重量(kg)	重量差
花崗石	4	10.2	
花崗石 2cm +15K2cm EPS	4	5.37	4.494
花崗石 2cm +20K 2cm EPS	4	5.47	4.394
花崗石 2cm +25K 2cm EPS	4	5.53	4.334
材料	總厚度(cm)	重量(kg)	重量差
大理石	4	9.6	
大理石 2cm +15K2cm EPS	4	5.07	4.614
大理石 2cm +20K2cm EPS	4	5.17	4.514
大理石+25K2cm EPS	4	5.23	4.454
材料	總厚度(cm)	重量(kg)	重量差
人造石	4	8.3	
人造石 2cm +15K2cm EPS	4	4.42	5.444
人造石 2cm +20K 2cm EPS	4	4.52	5.344
人造石 2cm +25K 2cm EPS	4	4.58	5.284
材料	總厚度(cm)	重量(kg)	重量差
石英磚	4	5.92	
石英磚 1cm +15K3cm EPS	4	1.86	5.736
石英磚 1cm +20K 3cm EPS	4	2.01	5.586
石英磚 1cm +25K 3cm EPS	4	2.1	5.496
材料	總厚度(cm)	重量(kg)	重量差
石質磚	4	6.84	
石質磚 1cm +15K3cm EPS	4	2.09	4.786
石質磚 1cm +20K 3cm EPS	4	2.24	4.636
石質磚 1cm +25K 3cm EPS	4	2.33	4.546

第五章 結論與建議

5.1 結論

- 一、針對單一材料隔熱性能探討，第一類單一材料中以密度最大之花崗石隔熱效能最佳，第八小時溫度差達 11.6 度，隔熱效能最差者為密度最小之石質磚，隔熱溫度為 6.8 度；第二類單一 EPS 材料之最佳隔熱效能為 25K 3 公分厚 EPS，第八小時隔熱溫度達 44 度，隔熱效能最差者為 15K 1 公分厚 EPS，隔熱溫度為 30 度，由此可知 EPS 相較於石材及瓷磚具有較佳之隔熱效果。
- 二、複合材料之數據經統整分析，第八小時隔熱效能最佳者為第三類複合材料花崗石配合 25K 3 公分厚 EPS，第八小時溫度差可達 58.8 度；而隔熱效能最差者為第七類複合材料石質磚配合 15K1 公分厚 EPS，溫度差為 37.6 度，各類複合板皆以配合 25K3 公分厚 EPS 隔熱效能最佳，且隔熱效能皆隨著 EPS 厚度及密度增加而提升。
- 三、經本研究實驗統整後進行數據分析，因表面材料為直接接觸熱能，若密度越大阻隔熱能之穿透能力越佳，而複合板整體隔熱效能越優異，經由數據中可得知密度為 2.74 之花崗石隔熱效能最佳，配合 25K 3 公分厚 EPS 中，第八小時溫度差可達 58.8 度，而密度 1.91 之石質磚配合 25K 3 公分厚 EPS，其第八小時溫度差僅 49.8 度。
- 四、本研究針對總厚度四公分之複合板進行探討，隔熱效果最優異者為花崗石配合 25K 2 公分厚 EPS 及石英磚配合 25K 3 公分厚 EPS，第八小時隔熱溫度為 51.3 度，而由圖 4.17 可得知使用 EPS 密度為 15K 及 20K 之複合板中，石材類複合板隔熱效能相較磁磚類則較偏差，由此可知隨著 EPS 厚度及密度之提升，對於隔熱之效能較有助益，但若 EPS 厚度不足，則隔熱效能也會受影響。
- 五、針對價值分析之探討，因石材及瓷磚價格區間較大，以價值角度考量，於複合板總厚度四公分條件下，為達最佳隔熱效能，亦可使用石英磚配合 EPS 為更具經濟效益之選擇。

六、藉由重量分析可得知，EPS 輕質性之特點可有效改善傳統石材及瓷磚之重量問題，同時可達到阻隔熱能之效用，並以密度較高之 EPS 隔熱效能越顯著，其中以使用石質磚配合 EPS 減重效益達 65.9%~69.4%為最高，為較具有輕質性之材料。



5.2 建議

本研究對於 EPS 複合板帷幕牆之隔熱性能探討，尚有不足之處可作為後續研究之參考建議：

- 一、本研究僅針對五類材料配合 EPS 進行隔熱性能分析，建議後續研究可配合多種隔熱材料及表面材料進行隔熱性能分析，並針對隔熱材料之降溫進行探討。
- 二、本研究僅針對隔熱效能進行探討，建議後續針對其水密性、氣密性及耐風壓等多方面，進行測試及探討。
- 三、建議後續複合板可以使用三明治板之形式，以 EPS 為中間層，兩側以石板及瓷磚進行包覆，亦或是使發泡聚苯乙烯於石材及瓷磚內發泡成型，可減少對於建築內部裝修之材料耗用，並進行隔熱性能之測試。
- 四、建議後續可針對帷幕牆複合板之簡省能源之耗用進行分析及探討，以達淨零碳排之效益。



參考文獻

1. 黃柏維(2004)。EPS 之防災應用性探討。國立臺北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文，台北市。
2. 鄭卓仁(2010)。地工泡棉運用於落石防護之模擬測試研究。國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文，台北市。
3. 台達化學工業股份有限公司，台達發泡性聚苯乙烯之特性與應用，2020。
4. 何泰源，EPS 輕質填土工法之特性及應用案例，中華技術季刊，第 32 卷，11 期，2006，第 22-42 頁。
5. 林利國、李文勳，「EPS 輕質填土工法之研究」，中華顧問工程司研究報告，2000。
6. 積水化成品工業株式會社，EPS 土木施工法，2010。
7. 塚本英樹等，「EPS 工法の新たな展開」，発泡スチロール土木工法開発機構，2008。
8. 鄭永欽、林利國，「道路工程的創新技術—Geofoam 回填材料」，臺灣省住都雙月刊，Vol. 136，1998。
9. 鄭永欽，「美國猶他州 I-15 州際公路重建工程概述及 EPS 之應用」，輕質填土工法技術研討會論文集，2000。
10. 黃景川，「臺灣第一座超輕質(EPS)公路試驗路堤之設計施工與長期觀測」，地工新工法、新技術研討會，1999。
11. 蔡曜謙(2017)。地工泡棉(EPS)應用於建築物外牆飾材之性質研究。國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士班碩士論文，台北市。
12. Mohammad Panjehpour (2013, August), Structural Insulated Panels: Past, Present, and Future.
13. 廖為忠，EPS 隔熱板新工法介紹，技師報，2018。
14. 王琇雄(2013)。外牆吊掛石材空縫設計之研究。國立成功大學建築研究所碩士論文，台南市。

15. 林古陶，「紅外線熱影像法於外牆磁磚表面溫度檢測特性之實驗研究」，內政部建築研究所自行研究報告，2011。
16. 詹彬 (2021)。地工泡棉 (EPS) 及複合材料隔熱性能研究。國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士班碩士論文，台北市。
17. 鄭元良、陳瑞華、高士哲、郭建源、許敬昀、張淇喻、張琪棉、林雨石，帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬，內政部建築研究所協同研究報告，2016。
18. 劉宇傑(2022)。泡棉顆粒應用於 CLSM 粒料之可行性研究。國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士班碩士論文，台北市。
19. Bhatti, A. Q. (2016). Application of dynamic analysis and modelling of structural concrete insulated panels (SCIP) for energy efficient buildings in seismic prone areas. *Energy and Buildings*, 128, 164-177.
20. Kays, W. M. (2012). *Convective heat and mass transfer*. Tata McGraw-Hill Education.
21. Ekrami, N., Garat, A., & Fung, A. S. (2015). Thermal Analysis of Insulated Concrete Form (ICF) Walls. *Energy Procedia*, 75, 2150-2156.
22. American Architectural Manufacturers Association, *Curtain Wall Design Guide Manual*, AAMA CW-DG-1-96 (1996)
23. MacDonald, D. K. C. (2006). *Thermoelectricity: an introduction to the principles*. Courier Corporation.
24. 翁佳樑、蔡秉宏、方晨昇，「台灣外牆石材插銷式工法孔洞填充材之安全性探討」，物業管理學會論文集，2022。
25. 徐文志、陳佳玲、陳震宇，「氣凝膠多孔板開發及應用於既有建築外牆防火與隔熱成效之研究」，*建築學報*，119_S 期，2022。
26. 張燕稱(2015)。天然石材養護知識管理有關水對石材病變影響之研究，義守大學資訊管理學系碩士班碩士論文，台北市。

附錄

● 單一材料第一類-表面面材之各測點溫度數據

花崗石	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點 A	20	70.5	70.4	71.3	73.9	74	74.2	74.1	74	33.9	23.4	20.9	20	19.9	19.7	19.7	19.8
	測點 B	19.8	64.6	62.3	62.7	63.3	62	61.9	62.1	62.4	30.6	22.7	20.7	19.9	19.9	19.7	19.7	19.8
	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.2	5.9	8.1	8.6	10.6	12	12.3	12	11.6	3.3	0.7	-0.2	-0.1	0	0	0	0
大里石	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點 A	18.9	50.9	67.2	69.8	69.9	69.9	70	70.2	70.1	31	22.7	20.3	19.5	19.2	19.1	19	18.9
	測點 B	18.9	39.2	56.1	59.5	59.9	59.8	60	60.1	59.9	31.1	22.6	20.3	19.5	19.2	19.1	19.1	19
	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0	11.7	11.1	10.3	10	10.1	10	10.1	10.2	-0.1	0.1	0	0	0	0	-0.1	-0.1
人造石	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點 A	21.5	54.8	65.1	66.8	67.4	67.6	67.6	66.9	67.3	43.8	28.6	25.3	24.4	24.2	24.1	24	24.1
	測點 B	21.5	45.8	55.6	57.3	57.1	57.3	57.2	57.4	57.8	43.4	28.5	25.2	24.4	24.2	24.1	24	24.1
	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0	8.92	9.5	9.55	10.3	10.3	10.5	9.45	9.5	0.47	0.08	0.08	0	0.02	0.03	0	0
石英磚	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點 A	19.7	63.8	72.9	76.2	75.6	73.5	73	73.3	73.8	24.5	20.2	19.9	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
	測點 B	19.7	57.7	65.4	67.7	67.2	65.1	64.8	64.6	64.8	24.3	20.2	19.9	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0	6.1	7.5	8.5	8.4	8.4	8.2	8.7	9	0.2	0	0	0	0	0	0	0
石質磚	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點 A	23.4	77.6	78.5	78.8	79.8	79.1	79.3	79.4	79.8	23.9	20.8	20.6	20.5	20.5	20.5	20.4	20.3
	測點 B	23.4	70.8	71.3	71.7	72	71.9	72	72.1	72.6	23.9	20.8	20.6	20.5	20.5	20.5	20.4	20.3
	A-B($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0	6.8	6.3	6.8	6.8	7.9	7.1	7.2	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0

● 單一材料第二類-EPS 之各測點溫度數據

EPS15K 1cm	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.5	62.2	62.8	62.1	62.6	65.9	65.5	66.4	65.5	26.5	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8
	測點B	20.5	32.7	32.8	32.1	32.7	35.7	35.2	36.4	35.5	24.0	22.7	22.7	22.7	22.7	22.8	22.8	22.8
	A-B	0	29.4	30.0	30.0	29.9	30.2	30.3	30.0	30.0	2.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EPS15K 2cm	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.6	69.5	69	69.1	69.3	69.2	69.6	69.2	69.4	25.7	22.2	21.9	21.8	21.8	22.1	21.9	21.9
	測點B	22.6	32.2	32	31.3	32.5	32.5	32.7	32.7	32.2	23.2	22.2	21.9	21.8	21.8	22.1	21.9	21.9
	A-B	0.0	37.3	37.0	37.8	36.8	36.7	36.9	36.5	37.2	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EPS15K 3cm	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.7	69.9	69.9	69.9	70.1	70.1	70.2	70.2	70.4	25.2	23.9	24.1	24.2	24.2	24.3	24.4	24.4
	測點B	21.7	28.6	28.8	28.9	29.1	28.9	29.0	28.9	29.0	23.1	23.5	23.8	23.9	24.0	24.1	24.1	24.2
	A-B	0.0	41.3	41.1	41.0	41.0	41.2	41.3	41.3	41.4	2.1	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2
EPS20K 1cm	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	23.0	65.0	69.2	69.1	69.1	69.0	69.4	69.6	69.7	27.1	23.1	23.0	23.1	23.0	23.0	22.9	23.2
	測點B	23.0	34.8	36.8	36.3	36.9	36.9	37.1	37.7	37.2	24.4	23.0	23.0	23.0	22.9	22.9	22.9	23.2
	A-B	0	30.2	32.4	32.8	32.2	32.1	32.3	31.9	32.5	2.7	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
EPS20K 2cm	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.9	69.0	69.4	69.4	69.8	69.6	69.9	69.9	70.2	27.1	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
	測點B	22.8	32.0	32.0	32.5	32.6	32.2	32.1	32.7	32.3	23.6	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
	A-B	0.1	37	37	37	37	37	38	37	38	4	0	0	0	0	0	0	0
EPS20K 3cm	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.5	69.2	69.6	69.8	70.0	70.1	70.1	70.2	70.1	25.5	22.0	21.9	21.8	21.8	21.8	21.7	21.7
	測點B	22.4	27.8	29.5	29.1	29.0	28.1	28.8	28.6	28.1	22.5	21.9	21.8	21.8	21.8	21.8	21.7	21.7
	A-B	0.1	41.4	40.1	40.7	41.0	42.0	41.3	41.6	42.0	3.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EPS25K 1cm	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	23	69.0	68.9	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.2	23.2	23.9	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8
	測點B	23	35.3	35.4	35.0	34.8	35.1	34.6	35.5	35.7	21.5	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8
	A-B	0	33.7	33.5	34.0	34.2	33.9	34.4	33.5	33.5	1.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EPS25K 2cm	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		20.6	69.0	71.1	70.9	71.2	71.1	71.2	71.0	71.2	27.2	20.9	20.9	20.9	20.8	20.7	20.7	20.8
		20.6	29.0	29.5	29.3	29.5	29.3	29.4	29.4	29.7	25.0	21.0	20.9	20.9	20.7	20.7	20.7	20.9
	A-B	0	40.0	41.6	41.6	41.7	41.8	41.6	41.5	41.5	2.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	-0.1
EPS25K 3cm	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.9	71.2	71.0	71.1	71.0	71.7	71.5	71.5	71.7	26.6	22.0	22.0	22.6	23.6	23.9	24.0	24.0
	測點B	21.9	27.8	27.5	27.9	27.6	27.6	27.8	27.9	27.6	22.9	21.9	22.0	22.6	23.6	23.9	24.0	24.0
	A-B	0.0	43.5	43.5	43.3	43.4	44.1	43.8	43.6	44.0	3.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

● 複合材料第三類-花崗石配合 EPS 之各測點溫度數據

花崗石 +15K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.9	55.2	75.8	80.7	81.4	82.3	82.7	82.4	82.9	52.1	31.5	24.9	22.5	21.6	21.1	20.8	20.7
	測點B	22.0	51.8	80.1	85.2	86.2	86.7	87.2	87.5	87.8	59.1	33.4	25.5	22.7	21.6	21.1	20.9	20.8
	測點C	21.2	30.2	39.0	40.7	41.1	41.2	41.3	40.5	40.2	32.2	24.7	22.3	21.4	21.0	20.8	20.7	20.7
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.7	24.9	36.8	40.0	40.3	41.1	41.4	41.9	42.6	19.9	6.8	2.6	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0
花崗石 +15K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	23.1	73.5	84.9	86.2	86.5	87.2	87.3	87.7	86.7	53.1	34.3	28.4	26.5	25.7	25.4	25.2	25.3
	測點B	23.1	70.8	84.1	85.6	86.0	86.7	86.9	87.2	86.9	56.8	35.1	28.7	26.6	25.8	25.4	25.2	25.2
	測點C	22.7	33.3	36.6	37.0	37.1	37.3	37.6	37.6	37.0	30.6	27.1	25.7	25.3	25.2	25.1	25.1	25.2
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.4	40.1	48.3	49.2	49.5	49.9	49.7	50.1	49.7	22.6	7.2	2.7	1.2	0.6	0.3	0.1	0.1
花崗石 +15K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	24.3	73.4	84.8	88.3	88.1	88.3	88.5	88.1	88.5	59.8	38.5	30.9	28.0	26.8	26.2	25.9	25.7
	測點B	24.4	73.0	87.6	91.3	91.9	92.3	92.4	92.4	93.5	67.1	40.8	31.8	28.4	26.9	26.3	26.0	25.7
	測點C	23.0	29.9	32.6	33.5	33.5	33.3	33.3	33.3	33.3	33.6	28.2	26.4	25.9	25.6	25.5	25.4	25.5
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	1.3	43.5	52.2	54.9	54.6	55.0	55.1	54.8	55.2	26.1	10.3	4.4	2.2	1.2	0.7	0.4	0.3
花崗石 +20K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.6	63.0	78.6	82.0	81.8	82.0	82.4	81.9	82.1	51.3	29.8	23.9	22.1	21.6	21.2	21.1	21.1
	測點B	20.6	58.3	77.2	81.3	82.4	82.8	83.0	83.2	83.1	57.3	31.3	24.3	22.3	21.6	21.2	21.1	21.1
	測點C	20.4	30.9	36.7	38.1	38.4	38.3	38.3	38.2	38.3	30.3	23.7	22.1	21.4	21.3	21.1	21.1	21.0
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.2	32.1	41.9	43.9	43.4	43.7	44.2	43.7	43.8	21.1	6.2	1.8	0.7	0.3	0.1	0.0	0.1
花崗石 +20K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.0	49.0	78.9	80.4	82.3	83.9	84.0	83.4	83.7	62.8	37.8	28.4	25.1	23.7	23.1	22.8	22.6
	測點B	21.0	44.2	79.8	82.3	85.6	88.4	90.9	90.9	90.9	79.8	43.5	30.1	25.6	23.9	23.1	22.8	22.7
	測點C	20.7	24.3	31.4	31.8	32.6	33.3	33.4	33.3	33.3	35.9	27.2	24.0	22.9	22.6	22.4	22.4	22.4
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.3	24.6	47.6	48.6	49.7	50.5	50.6	50.1	50.4	27.0	10.6	4.3	2.1	1.1	0.6	0.3	0.3
花崗石 +20K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.6	70.1	85.9	87.0	87.1	86.7	86.3	86.4	85.8	52.0	32.2	25.1	22.5	21.4	20.8	20.6	20.5
	測點B	21.6	67.1	90.5	94.0	95.0	95.5	95.9	95.9	96.4	65.6	36.0	26.4	23.0	21.6	21.0	20.7	20.6
	測點C	21.5	27.7	28.9	29.9	30.0	30.1	30.2	30.2	30.3	26.4	22.4	21.2	20.8	20.6	20.5	20.5	20.5
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.1	42.4	57.0	57.2	57.1	56.7	56.1	56.2	55.5	25.6	9.8	3.9	1.7	0.7	0.3	0.1	0.0
花崗石 +25K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.1	63.0	82.1	85.5	87.2	87.3	87.5	87.0	86.5	57.8	34.7	26.9	24.1	22.9	22.4	22.1	22.0
	測點B	21.1	56.4	77.7	82.2	83.5	84.1	84.1	84.1	84.1	62.3	35.7	27.2	24.2	22.9	22.4	22.1	22.0
	測點C	21.1	30.0	36.3	38.1	38.5	38.7	38.8	39.1	39.2	35.7	26.6	23.8	22.8	22.3	22.1	22.0	21.9
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0	33.0	45.8	47.3	48.8	48.7	48.7	48.0	47.3	22.1	8.0	3.1	1.3	0.6	0.3	0.2	0.1
花崗石 +25K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.8	68.3	84.0	86.1	86.3	86.1	87.4	87.6	87.3	59.7	38.4	30.8	27.9	26.7	26.1	25.8	25.6
	測點B	21.9	64.8	86.2	90.7	92.1	92.6	93.5	94.0	94.1	69.0	41.2	31.8	28.2	26.8	26.1	25.8	25.7
	測點C	21.1	29.6	33.9	34.2	34.7	34.7	34.9	35.2	36.0	35.2	28.7	26.6	25.8	25.6	25.3	25.4	25.3
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.7	38.7	50.1	51.8	51.6	51.4	52.5	52.4	51.3	24.6	9.7	4.2	2.1	1.1	0.8	0.5	0.3
花崗石 +25K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22	70.5	85.9	89.3	89.9	89.4	90.0	90.4	90.6	54.6	34.2	27.0	24.2	23.0	22.4	22.2	22.1
	測點B	22.1	68.4	87.1	91.3	92.0	92.0	92.5	93.1	93.5	59.9	36.0	27.7	24.5	23.2	22.5	22.2	22.1
	測點C	21	27.0	29.9	29.3	29.3	30.2	30.5	30.0	31.8	28.5	24.1	22.7	22.1	21.9	21.8	21.8	21.8
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	1	43.5	56.0	60.1	60.6	59.2	59.5	60.4	58.8	26.1	10.1	4.4	2.1	1.1	0.7	0.4	0.3

● 複合材料第四類-大理石配合 EPS 之各測點溫度數據

大理石 +15K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	23.9	60.2	69.6	72.0	72.8	77.5	76.9	77.5	78.2	55.1	35.8	29.3	26.8	25.7	25.2	24.9	24.9
	測點B	23.9	56.5	66.9	69.4	70.1	74.4	73.5	74.4	75.0	57.7	36.6	29.6	26.9	25.8	25.2	25.0	24.9
	測點C	22.4	32.7	35.9	36.4	36.5	37.9	37.5	37.9	38.1	35.6	28.7	26.3	25.5	25.1	24.9	24.9	24.9
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	1.5	27.4	33.7	35.5	36.3	39.6	39.4	39.6	40.1	19.5	7.2	3.0	1.3	0.6	0.3	0.1	0.0
大理石 +15K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.2	58.3	71.5	74.3	73.2	72.5	72.6	72.7	72.4	46.5	29.9	23.8	21.4	20.3	19.7	19.4	19.3
	測點B	20.2	53.1	73.4	76.6	74.9	74.5	74.5	74.4	74.5	54.1	32.3	24.7	21.8	20.5	19.9	19.5	19.3
	測點C	20.2	27.1	31.6	32.3	30.5	26.4	26.1	29.2	26.6	27.6	22.5	20.8	20.1	19.7	19.5	19.4	19.3
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.0	31.2	39.8	42.1	42.7	46.1	46.6	43.5	45.8	19.0	7.4	3.0	1.3	0.5	0.1	0.0	-0.1
大理石 +15K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	24.2	64.6	77.0	79.2	80.1	80.8	80.5	79.4	80.2	58.6	38.7	31.2	28.2	26.8	26.2	25.8	25.6
	測點B	24.3	61.3	75.3	78.4	79.1	79.9	79.8	78.5	79.3	62.4	40.2	31.9	28.4	26.9	26.3	25.9	25.6
	測點C	23.4	29.1	30.8	31.0	31.0	31.6	32.3	30.9	31.1	32.4	27.9	26.3	25.7	25.4	25.3	25.3	25.3
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.8	35.6	46.1	48.2	49.0	49.2	48.2	48.5	49.1	26.3	10.8	4.9	2.5	1.4	0.9	0.5	0.3
大理石 +20K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.6	55.1	71.2	74.2	75.1	75.3	75.0	73.5	75.5	51.3	32.2	25.5	23.0	21.9	21.4	21.2	21.1
	測點B	20.6	49.7	67.9	71.4	72.4	72.6	72.6	71.8	72.6	54.5	33.0	25.8	23.0	21.9	21.4	21.2	21.1
	測點C	20.3	27.7	32.9	34.5	34.1	34.4	34.5	36.1	34.3	32.4	25.2	22.7	21.7	21.3	21.1	21.1	21.0
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.3	27.4	38.3	39.7	41.0	40.9	40.5	37.4	41.2	18.9	6.9	2.8	1.3	0.6	0.3	0.1	0.1
大理石 +20K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.1	58.3	73.0	77.3	77.4	77.5	77.3	77.9	76.9	50.8	32.0	25.2	22.6	21.5	21.0	20.7	20.7
	測點B	21.2	53.3	70.8	75.6	76.2	76.3	76.4	76.4	76.8	54.6	33.3	25.7	22.8	21.6	21.0	20.8	20.7
	測點C	20.7	25.8	28.9	29.9	30.3	30.4	30.5	30.0	30.3	26.4	22.8	21.3	21.0	20.7	20.6	20.7	20.7
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.4	32.5	44.2	47.4	47.1	47.2	46.8	47.9	46.6	24.4	9.3	3.9	1.6	0.8	0.3	0.0	0.0
大理石 +20K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.0	58.7	76.5	81.6	83.4	83.9	84.2	84.2	85.0	58.0	36.2	28.3	25.1	23.5	22.9	22.5	22.3
	測點B	20.0	53.3	74.9	81.3	83.0	83.6	84.1	84.3	84.8	63.7	38.2	29.0	25.3	23.7	23.0	22.5	22.3
	測點C	20.1	24.2	27.1	28.1	28.4	28.6	28.3	28.8	31.5	29.4	24.6	23.0	22.4	22.1	22.1	22.1	22.1
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	-0.1	34.5	49.4	53.5	55.1	55.3	56.0	55.4	53.5	28.6	11.5	5.3	2.7	1.4	0.8	0.4	0.2
大理石 +25K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	28.7	58.2	71.5	74.7	75.6	76.4	76.0	76.5	76.6	50.7	32.3	25.9	23.4	22.3	21.8	21.5	21.4
	測點B	29.2	52.8	68.0	72.0	73.1	73.6	73.9	73.7	73.8	54.6	33.6	26.2	23.5	22.4	21.8	21.5	21.4
	測點C	22.6	27.9	31.8	33.3	33.4	33.6	34.5	33.7	33.7	31.8	25.0	22.8	21.9	21.6	21.4	21.4	21.3
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	6.1	30.4	39.7	41.5	42.2	42.7	41.5	42.9	42.9	18.9	7.3	3.1	1.4	0.7	0.4	0.2	0.1
大理石 +25K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.1	57.5	71.1	74.4	79.3	83.7	85.4	85.7	85.5	58.0	37.0	29.2	25.8	24.2	23.5	23.0	22.7
	測點B	22.2	52.5	69.8	74.3	78.0	83.0	84.9	85.7	86.1	63.8	39.1	29.9	26.1	24.4	23.6	23.1	22.7
	測點C	21.1	26.3	29.9	30.5	31.5	32.3	32.3	34.6	37.9	32.8	26.6	24.3	23.3	22.9	22.7	22.5	22.4
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	1.0	31.2	41.3	43.9	47.8	51.3	53.2	51.1	47.6	25.2	10.4	4.9	2.4	1.4	0.8	0.5	0.3
大理石 +25K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	24.2	61.0	79.6	84.2	86.0	87.3	87.3	87.7	86.6	59.1	39.0	31.4	28.3	26.8	26.2	25.8	25.6
	測點B	24	55.6	77.7	83.4	85.5	86.8	87.3	87.4	87.1	65.3	41.2	32.2	28.6	27.0	26.2	25.9	25.6
	測點C	23.3	26.5	28.9	29.5	30.0	30.4	30.5	30.6	32.9	32.0	27.7	26.1	25.6	25.2	25.2	25.2	25.2
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.9	34.5	50.7	54.7	56.0	56.9	56.8	57.1	53.7	27.1	11.3	5.3	2.7	1.6	0.9	0.6	0.4

● 複合材料第五類-人造石配合 EPS 之各測點溫度數據

人造石 +15K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.2	70.4	87.3	90.9	91.5	90.9	90.8	88.1	86.7	50.9	30.4	23.9	21.7	20.8	20.4	20.2	20.1
	測點B	20.2	61.0	80.5	83.8	84.5	84.6	84.5	83.0	82.7	53.1	30.8	24.0	21.7	20.8	20.3	20.2	20.1
	測點C	20.2	35.3	42.6	43.7	44.0	44.4	44.3	43.9	43.7	32.8	24.3	21.7	20.8	20.4	20.2	20.1	20.1
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.0	35.1	44.7	47.2	47.5	46.5	46.5	44.2	43.0	18.2	6.1	2.3	0.9	0.4	0.1	0.1	0.0
人造石 +15K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.0	63.0	80.8	83.4	83.0	83.3	84.1	84.6	84.9	51.1	30.8	24.3	21.7	20.8	20.4	20.2	20.1
	測點B	21.0	57.1	84.1	88.9	89.7	90.0	90.4	90.7	91.0	60.4	34.0	25.1	22.0	20.9	20.4	20.2	20.1
	測點C	20.9	28.8	35.7	37.0	34.9	37.5	37.6	37.7	37.7	30.3	23.6	21.4	20.6	20.2	20.2	20.1	20.0
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.1	34.2	45.2	46.4	48.2	45.8	46.5	46.9	47.1	20.8	7.1	2.9	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0
人造石 +15K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	19.4	63.1	83.7	88.0	88.9	89.2	89.0	90.0	86.5	54.1	31.6	24.0	21.2	20.0	19.5	19.4	19.2
	測點B	19.4	57.2	87.0	93.4	95.2	95.7	95.9	96.1	94.7	64.5	34.6	25.0	21.6	20.2	19.6	19.4	19.2
	測點C	19.3	25.6	31.2	32.5	32.8	33.0	33.1	33.2	32.9	27.6	22.0	20.3	19.7	19.4	19.3	19.2	19.2
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.1	37.5	52.5	55.5	56.1	56.2	55.9	56.8	53.6	26.5	9.6	3.8	1.6	0.7	0.3	0.1	0.0
人造石+ 20K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	19.6	67.3	84.1	86.6	86.5	86.3	86.4	86.6	86.4	47.6	29.2	23.3	21.3	20.6	20.2	20.1	20.1
	測點B	19.6	60.2	81.4	84.7	84.8	84.8	84.8	84.7	84.6	49.8	29.5	23.4	21.3	20.6	20.2	20.1	20.1
	測點C	19.7	31.6	40.3	41.4	41.5	41.4	41.3	41.3	41.3	30.3	23.4	21.3	20.5	20.2	20.1	20.1	20.1
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	-0.1	35.7	43.7	45.2	45.1	44.9	45.1	45.2	45.1	17.3	5.8	2.1	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0
人造石 +20K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	24.3	65.4	79.5	82.1	83.8	83.7	84.7	84.2	83.9	52.7	34.5	28.5	26.1	25.2	24.8	24.5	24.5
	測點B	24.5	60.9	80.1	84.7	86.1	86.9	87.1	87.4	87.4	60.9	37.0	29.2	26.3	25.2	24.8	24.5	24.5
	測點C	24.3	28.6	32.3	33.2	33.5	33.4	33.3	33.4	36.3	32.0	26.8	25.2	24.6	24.4	24.3	24.3	24.3
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.0	36.8	47.2	48.9	50.3	50.3	51.3	50.8	47.5	20.7	7.7	3.3	1.5	0.8	0.4	0.2	0.2
人造石 +20K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.0	58.7	76.5	81.6	83.4	83.9	84.2	84.2	84.3	58.0	36.2	28.3	25.1	23.5	22.9	22.5	22.3
	測點B	20.0	53.3	74.9	81.3	83.0	83.6	84.1	84.3	84.3	63.7	38.2	29.0	25.3	23.7	23.0	22.5	22.3
	測點C	20.1	24.2	27.1	28.1	28.4	28.6	28.3	28.8	28.6	29.4	24.6	23.0	22.4	22.1	22.1	22.1	22.1
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	-0.1	34.5	49.4	53.5	55.1	55.3	56.0	55.4	55.7	28.6	11.5	5.3	2.7	1.4	0.8	0.4	0.2
人造石 +25K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.4	73.7	88.6	89.2	89.3	89.8	89.7	89.9	90.0	54.2	31.7	24.8	22.4	21.5	21.0	20.9	20.7
	測點B	20.4	68.5	87.5	87.8	87.8	88.1	88.3	88.3	88.4	58.5	32.9	25.1	22.5	21.5	21.1	20.9	20.7
	測點C	20.4	35.1	41.4	41.8	41.6	41.8	42.1	42.0	42.1	33.0	24.8	22.2	21.3	20.9	20.8	20.8	20.7
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0	38.6	47.2	47.4	47.6	48.0	47.7	48.0	48.0	21.2	6.9	2.6	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0
人造石 +25K 2cm EPS	時間	0.0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.2	56.4	80.4	83.3	83.8	84.4	84.7	85.1	85.4	55.6	35.8	28.9	26.4	25.3	24.7	24.6	24.4
	測點B	22.2	52.5	80.5	83.9	84.6	85.2	85.7	86.4	87.1	63.4	38.0	29.6	26.6	25.4	24.8	24.6	24.4
	測點C	22.3	27.5	32.9	33.5	33.7	33.8	33.9	34.0	34.8	33.2	27.2	25.3	24.6	24.3	24.2	24.2	24.2
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	-0.1	28.9	47.5	49.8	50.1	50.6	50.7	51.1	50.6	22.4	8.6	3.7	1.8	0.9	0.6	0.4	0.2
人造石 +25K 3cm EPS	時間	0.0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.2	65.6	87.5	92.4	93.4	94.7	94.0	94.7	92.5	62.9	38.5	29.7	26.2	24.8	24.1	23.8	23.6
	測點B	22.2	60.7	88.1	95.0	96.8	97.4	97.8	98.1	97.3	72.4	41.5	30.7	26.6	24.9	24.2	23.8	23.6
	測點C	21.9	26.4	30.4	31.2	31.6	31.6	31.8	31.7	34.1	31.8	26.2	24.4	23.7	23.4	23.3	23.3	23.3
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.3	39.2	57.0	61.2	61.8	63.1	62.2	63.0	58.3	31.1	12.2	5.3	2.5	1.4	0.8	0.5	0.3

● 複合材料第六類-石英磚配合 EPS 之各測點溫度數據

石英磚 + 15K 1cm EPS	時間	0.0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	19.8	73.1	81.7	82.1	82.0	81.8	81.7	81.7	82.2	41.8	20.9	19.6	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4
	測點B	19.8	72.8	83.9	84.0	83.9	83.9	83.8	83.7	84.0	45.2	21.1	19.6	19.5	19.4	19.4	19.4	19.4
	測點C	19.5	37.1	41.2	41.2	41.2	41.3	41.2	41.2	41.2	28.4	20.0	19.5	19.5	19.4	19.4	19.4	19.4
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.0	36.0	40.5	40.9	40.8	40.5	40.5	40.5	41.0	13.3	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
石英磚 + 15K 2cm EPS	時間	0.0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.8	78.9	87.9	85.8	81.1	80.5	81.0	80.7	81.0	45.4	27.1	25.7	25.5	25.5	25.5	25.5	25.4
	測點B	22.8	74.8	84.6	83.9	79.3	79.1	79.9	79.6	79.5	46.8	27.2	25.7	25.5	25.5	25.5	25.4	25.4
	測點C	22.8	32.3	34.6	34.3	33.0	35.9	37.9	37.6	37.9	30.7	25.8	25.5	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.0	46.6	53.3	51.5	51.5	48.1	44.7	43.1	43.2	14.7	1.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
石英磚 + 15K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.4	72.7	78.0	79.0	79.1	79.0	79.2	79.2	79.5	56.3	26.5	23.9	23.6	23.5	23.5	23.6	23.6
	測點B	20.5	73.2	79.7	81.2	81.2	81.6	81.7	81.8	81.9	59.9	26.8	23.9	23.6	23.5	23.5	23.6	23.6
	測點C	20.3	28.1	29.3	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.6	30.5	24.1	23.5	23.5	23.5	23.5	23.6	23.6
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.1	44.7	48.7	49.6	49.6	49.6	49.7	49.7	49.9	25.8	2.5	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
石英磚 + 20K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.3	82.1	83.7	83.9	83.9	83.7	83.9	84.3	84.0	39.4	22.5	21.4	21.3	21.2	21.1	21.1	21.1
	測點B	21.2	80.6	82.8	82.8	82.9	82.9	83.2	83.6	83.4	41.1	22.6	21.4	21.3	21.1	21.1	21.0	21.0
	測點C	21.3	40.9	41.9	41.8	41.9	41.8	41.9	42.0	41.7	28.2	21.7	21.2	21.2	21.1	21.1	21.0	21.0
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.0	41.1	41.8	42.1	42.0	41.9	42.1	42.3	42.3	11.2	0.9	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
石英磚 + 20K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.8	83.5	83.1	83.5	83.7	83.5	83.5	83.5	83.5	44.7	27.4	25.9	25.8	25.8	25.8	25.8	25.9
	測點B	21.7	84.4	84.2	84.7	84.7	84.7	84.7	84.6	84.7	45.9	27.5	25.9	25.8	25.8	25.8	25.8	25.9
	測點C	21.8	38.5	38.6	38.7	38.6	38.6	38.6	38.7	38.7	30.5	26.0	25.6	25.7	25.7	25.7	25.7	25.8
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.0	45.0	44.6	44.8	45.0	45.0	44.9	44.8	44.7	14.2	1.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
石英磚 + 20K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.6	73.9	81.3	81.6	81.6	81.9	81.5	81.4	84.6	45.8	25.3	23.6	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
	測點B	22.9	75.7	84.2	84.6	84.8	84.6	84.5	84.5	87.7	49.2	25.5	23.6	23.4	23.3	23.3	23.4	23.3
	測點C	20.9	28.4	29.8	29.9	29.9	29.8	29.9	30.2	34.0	28.0	23.7	23.3	23.3	23.3	23.3	23.4	23.4
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	1.7	45.6	51.5	51.7	51.7	52.0	51.6	51.3	50.7	17.8	1.6	0.3	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
石英磚 + 25K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.5	76.6	81.6	82.0	82.0	82.1	82.1	81.9	82.1	51.2	24.7	22.7	22.4	22.4	22.3	22.2	22.2
	測點B	22.4	71.9	79.3	80.0	79.9	79.7	79.7	79.6	79.6	53.0	24.7	22.7	22.4	22.4	22.2	22.1	22.1
	測點C	22.0	37.5	39.6	40.3	40.0	39.6	39.5	39.5	39.4	32.0	23.1	22.4	22.2	22.2	22.1	22.0	22.0
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.5	39.1	42.0	41.7	42.0	42.6	42.6	42.4	42.7	19.2	1.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
石英磚 + 25K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	23.1	73.1	81.0	81.4	81.2	81.3	81.3	81.5	81.6	43.6	25.0	23.4	23.1	23.0	22.9	22.9	22.8
	測點B	23.1	72.7	79.2	79.7	79.7	79.8	79.8	79.8	79.9	45.8	25.0	23.4	23.1	23.0	22.9	22.9	22.8
	測點C	22.5	33.6	35.4	35.5	35.5	35.5	35.2	35.4	35.5	28.5	23.3	22.8	22.7	22.7	22.6	22.6	22.5
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.6	39.5	45.6	45.8	45.7	45.8	46.1	46.1	46.1	15.1	1.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
石英磚 + 25K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.6	78.8	80.7	80.8	80.3	85.4	84.7	84.5	84.9	44.3	25.5	23.8	23.6	23.5	23.5	23.5	23.5
	測點B	21.6	78.2	80.7	80.9	84.9	85.0	84.6	85.0	84.6	45.8	25.6	23.8	23.6	23.5	23.5	23.5	23.5
	測點C	21.7	28.7	29.0	27.9	27.7	32.9	33.4	33.5	33.6	27.7	24.0	23.6	23.6	23.5	23.6	23.6	23.6
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	-0.1	50.1	51.7	52.9	52.5	52.5	51.3	51.1	51.3	16.5	1.5	0.2	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1

● 複合材料第七類-石英磚配合 EPS 之各測點溫度數據

石質磚 +15K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	20.0	74.2	78.1	79.0	79.1	79.1	79.1	79.3	79.3	37.5	21.7	20.3	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
	測點B	20.1	80.0	83.9	84.4	84.5	84.6	84.7	84.6	84.5	41.0	21.9	20.3	20.2	20.1	20.1	20.1	20.1
	測點C	19.9	39.7	41.4	41.5	41.6	41.6	41.7	41.7	41.8	27.6	20.8	20.2	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.1	34.4	36.8	37.5	37.6	37.5	37.4	37.6	37.6	9.9	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
石質磚 +15K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.7	73.0	71.8	77.3	81.1	81.0	78.8	81.1	82.7	44.0	22.3	20.3	20.0	19.9	19.7	19.8	19.7
	測點B	21.2	88.0	85.5	94.9	95.7	96.4	95.6	95.6	95.8	53.0	22.9	20.4	20.1	20.0	19.8	19.8	19.7
	測點C	20.6	35.4	35.0	37.8	38.1	38.2	38.1	38.1	38.1	28.5	20.9	20.2	20.0	20.0	19.9	19.9	19.8
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	1.1	37.6	36.8	39.5	43.1	42.8	40.7	43.0	44.6	15.5	1.4	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1
石質磚 +15K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22.2	77.3	78.3	77.8	78.2	78.3	78.9	79.0	83.5	47.4	26.7	24.6	24.3	24.2	24.2	24.2	24.2
	測點B	22.2	78.4	79.8	78.9	79.4	79.7	79.9	80.1	84.1	49.1	26.8	24.7	24.3	24.2	24.2	24.2	24.2
	測點C	21.7	28.8	29.0	29.1	29.1	28.8	29.1	29.2	33.9	28.6	24.5	24.1	24.1	24.0	24.1	24.1	24.1
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.5	48.5	49.3	48.8	49.1	49.5	49.8	49.8	49.6	18.8	2.2	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
石質磚 +20K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.9	73.6	78.8	78.8	78.9	78.8	78.8	78.8	78.8	48.2	24.2	22.0	21.6	21.6	21.5	21.5	21.5
	測點B	21.9	74.5	81.0	81.0	81.0	81.2	81.2	81.1	81.1	50.9	24.3	22.0	21.6	21.6	21.5	21.5	21.5
	測點C	21.8	37.6	39.9	39.9	39.9	39.8	39.8	39.7	39.7	31.0	22.5	21.7	21.4	21.5	21.5	21.4	21.4
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.1	36.0	38.8	38.9	39.0	39.0	39.1	39.1	39.1	17.2	1.7	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
石質磚 +20K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.5	83.2	84.1	85.0	84.8	85.6	86.5	86.1	86.5	42.8	26.3	24.7	24.6	24.5	24.5	24.5	24.5
	測點B	21.5	84.5	85.7	87.2	88.1	88.6	89.1	89.4	89.5	45.4	26.5	24.8	24.6	24.5	24.5	24.5	24.5
	測點C	21.6	37.0	37.4	38.1	38.3	38.6	38.4	38.8	38.8	29.4	25.0	24.6	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	-0.1	46.3	46.7	46.9	46.5	47.0	48.1	47.3	47.6	13.3	1.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
石質磚 +20K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.1	77.8	81.3	81.4	81.5	81.8	81.9	81.9	81.8	43.8	23.4	21.2	20.8	20.7	20.7	20.7	20.7
	測點B	21.1	80.8	85.1	85.4	85.6	85.5	86.0	86.0	85.9	47.1	23.7	21.2	20.8	20.7	20.7	20.7	20.8
	測點C	21	31.0	31.9	32.0	32.0	32.1	32.2	32.1	32.0	25.9	21.4	20.9	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.1	46.8	49.4	49.4	49.4	49.7	49.8	49.8	49.8	18.0	2.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
石質磚 +25K 1cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	22	74.8	80.5	80.2	80.6	80.9	80.7	80.8	80.9	41.9	23.6	22.0	21.7	21.6	21.5	21.4	21.4
	測點B	21.9	73.9	80.1	80.3	80.5	80.6	80.6	80.6	80.7	43.5	23.6	21.9	21.7	21.5	21.5	21.4	21.4
	測點C	21.5	38.5	41.0	40.9	40.9	40.9	40.8	41.1	41.2	29.2	22.3	21.6	21.5	21.4	21.4	21.3	21.3
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.5	36.3	39.5	39.3	39.7	39.9	40.0	39.7	39.7	12.8	1.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
石質磚 +25K 2cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	23.3	81.3	87.1	86.4	87.4	87.7	87.1	88.1	87.2	45.0	24.6	22.4	22.1	21.9	21.8	21.7	21.5
	測點B	23.4	83.1	90.3	89.8	90.3	90.1	90.3	90.9	90.3	47.9	24.8	22.4	22.1	21.9	21.8	21.7	21.5
	測點C	23.1	34.8	36.1	36.2	36.8	36.9	37.1	37.1	37.2	28.2	22.7	22.0	21.9	21.8	21.7	21.6	21.4
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	0.2	46.4	51.0	50.2	50.6	50.8	50.0	51.0	50.0	16.8	1.9	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
石質磚 +25K 3cm EPS	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	測點A	21.7	81.1	81.8	81.8	82.0	81.8	81.8	82.1	82.3	40.6	25.7	24.1	23.9	24.0	24.0	24.1	24.1
	測點B	21.6	84.9	86.3	86.5	86.7	86.9	87.4	87.7	87.8	44.4	26.0	24.2	23.9	24.0	24.0	24.0	24.0
	測點C	21.9	30.9	31.3	31.3	31.4	31.4	31.6	31.7	32.1	27.2	24.1	23.8	23.8	23.9	23.9	24.0	23.9
	A-C($\Delta^{\circ}\text{C}$)	-0.2	50.3	50.4	50.5	50.6	50.3	50.3	50.5	50.2	13.4	1.7	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2

全文完

