

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高職組 化工、衛工及環工科

佳作

091104

聚合物複合建材之研究

學校名稱：臺北市私立開南高級商工職業學校

作者：  職二 施重雍  職二 陳璟茹  職二 胡佑生	指導老師：  張丕白  江明岳
---	-----------------------------

關鍵詞：聚合物、混凝土、複合材料

## 摘 要

臺灣位於地震頻仍區域，建築材料與土木結構需要強化才能住的安心。此外臺灣為海洋季風型的氣候，經常出現颱風與豪雨，對土木工程與建築物，更是深具威脅性。本研究的主旨係運用界面活性劑，融合聚合物與其他無機物，製成複合材料，研發出防水、力學特性良好、耐用與價廉的建築材料。

此外目前的暖氣設備，體積龐大且笨重，能量轉換效率低落耗費能源，不符合環保要求。有鑑於此，我們運用聚合物複合材料，研發出造形輕巧便於鋪設，能迅速產生合宜溫度的建材，兼具安全性與節省能源，沒有高溫灼傷人體或燃燒的危險，能廣泛應用於各種環境，例如：室內保暖、失溫急救、老人居家照顧等範疇。

## 壹、研究動機

新聞經常報導土木與建築結構發生漏水、海砂屋或倒塌等災害。臺灣位於歐亞板塊與菲律賓板塊的交界處，地震發生的頻率很高，因此需要硬度、延展性與彈性俱佳的建材，才能使人們住的更安心。此外臺灣屬於海洋季風型的氣候，時常降下豪雨，更是威脅到土木工程與建築物的結構與安全性。例如前幾年基隆附近的高速公路，逆向地層因雨水過多滑動，邊坡混泥土護牆因強度不足發生崩塌意外。

此外人類是恆溫動物，失溫立即危及人們的生命安全，因此許多公共設施、住宅、交通工具、醫療機構均提供保溫器材。暖氣機是最常使用的裝備，然而體積龐大笨重，電熱管式暖氣機或燃燒加熱暖氣機，當易燃物接近容易高溫起火，並且能量轉換效率低落耗費能源，甚至產生廢氣不符合綠色環保之需求。

有鑑於此，我們研發出造型輕巧便於攜帶，能迅速產生合適溫度的建材，並能安全使用，不會有高溫灼傷人體或燃燒的危險，可廣泛應用於各種場合，如室內保暖、失溫急救、老人居家照顧。本系統還適用其他類型的生活空間使用，期盼本研究能保障人們的生命安全。

基於學有所用的理想，將學校課程「表1」與本專題研究相融合。希望我們的研究成果，能增進各種建築使用與居住的安全，增進人類的福祉。

表1 高職課程學習相關內容

科目名稱	年級	內 容	作品應用部分
基礎化學	高一	元素性質	碳的導電特性
		生活中的物質	研究混凝土的組成
		化學鍵	混凝土與聚合物的材料性質
		有機化合物	高分子化合物的物理特性
物理	高一	物理量及其單位	各種物理量級單位之換算
		焦耳定律	加熱的計算
化 學	高二	熱力學	熱傳分析
計算機概論	高一	文書處理用軟體	編輯資料
		試算表	實驗數據整理
分析化學	高二	定量分析	研究混凝土的組成
有機化學	高二	聚合物的特性	研究聚合物的性質

## 貳、研究目的

現有建材以鋼筋與混凝土複合材料及瓷磚為主，具有剛性力學特性，硬度高但是容易脆裂。因此購屋時最怕買到漏水、海砂屋或是有裂縫的房屋。漏水或海砂屋短期會造成壁癌，危害身體健康，長期則會加速腐蝕鋼筋嚴重損害建築結構；有裂縫的房屋則會導致房屋倒塌。漏水的混凝土於短期內，會在牆面滲出白色的痕漬，即俗稱「壁癌」。長期累積會加速腐蝕鋼筋，造成混凝土塊剝落，嚴重損害建築結構，甚至會孳生黴菌，損害居家環境及身心健康。而有裂縫的房屋，會破壞建築結構，嚴重時會導致房屋倒塌。本研究融合聚合物與無機物，改良現有建材的力學特性，並具有環保可回收等優點之建材。

此外失溫會對人體造成多種傷害，但是臺灣都會區的人口密度很高，生活空間狹隘，屋內置放的物品已經很多了，難以裝設笨重的暖氣機。因此一般民眾只能消極地採取「防禦」方式因應，只能使用熱傳導係數較低的材料，減少熱量散失硬撐過去。如果能有一個造型輕薄便於鋪設，散發熱能提供恆溫的裝置，即可降低失溫的危機。然而溫度過高會灼傷人體發生危險，因此必須研究自動控制溫度的系統，除了維護人體健康並且兼具環保的功能。

### 叁、研究設備及器材

本研究所運用的化學藥品、設備與器材，可分為下列四大類：

(一) 研究藥品：參閱「表2」所列。

表2 研究藥品一覽表

研究設備	規 格	數 量	備 註
石磨微粒	1000目	1000ml	
銅粉末	試藥級	200g	
鋁粉末	試藥級	200g	
乙 烯		300g	
醋酸乙烯		300g	
乳化劑		500ml	
氫氧化鈉		100g	
界面活性劑		500g	
增稠劑		300g	
環氧樹脂		500g	
硬化劑		10g	
石 粉		5kg	
石英砂		5kg	
水 泥		5kg	
玻璃纖維		1大捲	

(二) 研究設備：參閱「表3」所列。

表3 研究設備一覽表

研究設備	規 格	數 量	備 註
水泥攪拌機	小 型	1	
信號產生器		1	產生標準訊號提供校正與測試
電源供應器		1	提供固定電壓測試加熱裝置
三用電表	數位式	2	
螢光X線分析儀	高感度	1	
紅外線光譜儀		1	
微波消化器		1	
恆電流電壓儀		1	
示波器	多通道	1	
電子顯微鏡	掃瞄式	1	

(三) 研究器材：參閱「表4」所列。

表4 研究器材一覽表

研究器材	規 格	數 量	備 註
燒 杯	1000ml	2	
玻璃瓶	500ml	2	
橡膠管		1	
刮 勺		2	
軟木塞		3	
水 盆		1	
容量瓶	1000ml	2	
容量瓶	500ml	2	
溫度計		2	
量 筒	50ml	1	
量 筒	100ml	1	
金屬材料	銅、軟鐵、鋼	5	
木 板	120×60cm	2	
試 管		3	

(四) 工具機：參閱「表5」。

表5 研究工具機一覽表

工具機	規 格	數 量	備 註
電烙鐵	30W	2	恆溫控制
尖嘴鉗	電子用	4	無牙
斜口鉗		1	
螺絲起子組		4	
吸錫槍		1	
電鑽	小型	2	
銼刀		5	一組
鏟刀	一尺刀(型號300)	3	一般泥作師父稱為抹刀

## 肆、研究過程或方法

### 一、混凝土複合材料分析

混凝土是將礦石的粗細骨料（小石，砂），水泥，水，摻合劑按照計畫數量，運用拌合機拌合均勻，灌注於預先製作好的模型內，目前建築工程中使用最主要的水泥為波特蘭水泥。常用的混凝土的成分如（表 6）所示：

表 6 常用的混凝土的成分

體積比（水泥：砂：石子）	品質與用途
1 : 1 : 2	需要高強度與高防水密性時用。
1 : 1 : 3	抗壓強度較前者低，使用目的與前者同。
1 : 2 : 4	為一般鋼筋混凝土之標準配合，亦用於受震動之機械底座。理想抗壓強度為 $140\text{kg/cm}^2$ ，容許應力為 $45\text{ kg/cm}^2$ 。
1 : 2 : 5	用於機械基底，擋牆，橋梁的角柱、地板等，為中等配合。
1 : 3 : 6	不受大應力之大體積構造物，為貧配合。
1 : 4 : 8	僅受自重之大體積混凝土，為極貧配合。

由（表 6）得知混凝土的成分，深深地影響複合材料的特性，因此我們調配了不同水泥、砂與石子濃度的混凝土，運用我們的研究系統分析，結果水泥含量與力學強度成正比。

### 二、混凝土複合材料的劣化特性

#### （一）壁癌：

壁癌是混凝土牆面防水不良或有裂縫，受到酸性水氣侵蝕而滲透到混凝土的內部，與水泥、砂、磚牆裡的鹼性離子（如鈉、鈣、鎂、鉀）產生酸鹼中和作用，形成碳酸鹽( $\text{CO}_3^{2-}$ )結晶體，這些結晶體淤積在牆面會使塗料或壁紙起泡、鼓起、碎裂、剝落，再與空氣中的二氧化碳結合成結晶體，就會成為白色針狀或粉末的壁癌（圖 1）。壁癌會損壞建築的結構，此外壁癌會使牆面溫暖、潮濕，並產生許多毛狀結晶物與孔隙，適合黴菌、細菌等微生物繁殖。這些黴菌隨著空氣飄散各處不斷繁殖，充斥整個居家環境，為害人們的居家環境與身心健康。

#### （二）海砂屋

混凝土取用海邊的砂子，而非正常所用的河砂（圖 2）。海水含有豐富的氯化鈉，導電性高並且海鹽有潮解性，會吸收水氣，根據研究海砂屋只有六至十年的使用壽命。



圖1 壁癌混凝土牆



圖2 海砂屋混凝土牆

### (三) 裂縫

裂縫的深度 1 至 2 公分為表層裂縫，比較沒有安全顧慮（圖 3）；當深度超過 3、4 公分則為深層裂縫（圖 4），或許短期內沒有危險性，但雨水、空氣之中的水氣，會不斷的鏽蝕結構中的鋼筋，經過長時間會造成嚴重危害。



圖 3 小裂縫混凝土牆



圖 4 大裂縫混凝土牆

### (四) 地震傷害

最近地震頻繁嚴重危及土木結構，往往外圍結構並無明顯損壞，但內部結構已深受影響，危及人們的居住安全。

## 三、恆溫保暖建材的設定資料

### (一) 人的體溫

人是恆溫動物，恆溫動物有體溫調節中樞，當體溫過高時便以血管舒張、排汗、呼氣等方式散熱以降溫。寒冷時便收縮血管顫抖維持體溫。恆溫動物體溫並非固定不變，而是在小範圍內變動。

## (二) 失溫

「失溫」是指核心體溫低於35°C，低於32°C就會逐漸失去意識。失溫是由於外傷、冷水浸泡或長時間暴露於低溫的環境。嬰兒、老年人或病人較容易失溫，因為嬰兒比成年人產熱少，體表大散熱快，所以容易失溫。老年人因為體內代謝率較低，容易失溫。生病發燒或喝酒的人，因散熱快容易失溫。

## 四、恆溫保暖建材的能量轉換

### (一) 電功率

電能於單位時間所做的功或消耗能量，稱為電功率，如(式1)所示，符號為P，單位為瓦特(W)。

$$P = \frac{W}{t} \quad (\text{式 1})$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{VIt}{t} = VI \quad (\text{式 2})$$

### (二) 焦耳定律

電流通過電阻產生熱量，電能轉換成熱能的作用即為電流熱效應。電流熱效應的熱量與電流平方成正比，與電阻及通電時間(t)成正比，即為焦耳定律(Joule's Law)。根據物理學定義，一公克水升高1°C所需熱量為1卡，必須輸入4.185焦耳的能量，所以電能轉換熱能(H)，依(式3)計算：

$$H = \frac{I^2 R t}{4.185} = 0.24 I^2 R t \text{ 卡} \quad (\text{式 3})$$

(式3)  $I^2 R t$  = 電能，單位為瓦特-秒。

### (三) 電阻

電荷(Q)移動形成電流，在常溫狀態任何材料都會阻擋電荷的移動，反抗電荷移動的阻力稱為電阻(簡寫R)。電阻單位為歐姆(Ohm)，簡稱Ω。決定電阻的因素如下：

- 1.材料種類：不同材料的電阻係數(ρ)不同，與電阻成正比。
- 2.導體的長度(l)：R值與l成正比。
- 3.導體的截面積(A)：R值與A成反比。

以上關係可以用(式4)表示：

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (\text{式 4})$$

(式4) ρ 為電阻係數，SI制單位為Ω·m，l單位為公尺，A單位為平方公尺。

## 五、研製聚合物複合建材

環氧樹脂 (Epoxy) 是目前土木建築結構物，補強的主要聚合物材料，將環氧樹脂與碳纖維或玻璃纖維搭配使用，能成為具有極高抗拉強度的建築材料。環氧樹脂是分子結構中，含有兩個或兩個以上環氧基團的聚合物，其相對分子質量都不高。環氧樹脂的分子結構主要特徵，是以分子鏈中含有活潑的環氧基團，環氧基團可以在分子鏈的末端、中間或形成環狀結構。

環氧樹脂由於分子結構中含有活潑的環氧基團，能與多種類型的固化劑發生交聯反應，而形成不溶、不熔的具有三維網狀結構的高聚物。因此我們運用環氧樹脂與硬化劑添加500目的石粉，製成聚合物複合材料 (圖5)、(圖6)。我們使用的環氧樹脂，由氯環氧丙烷 (epichlorohydrin) ( $C_3H_5ClO$ ) 與雙酚A(酚甲烷) (bisphenol-A) ( $C_{15}H_{16}O_2$ ) 產生化學反應而成。環氧樹脂的命名於化學結構中的環氧基，藉由固化劑反應，環氧樹脂就可以形成高力學強度的三維交聯的高分子網結構。

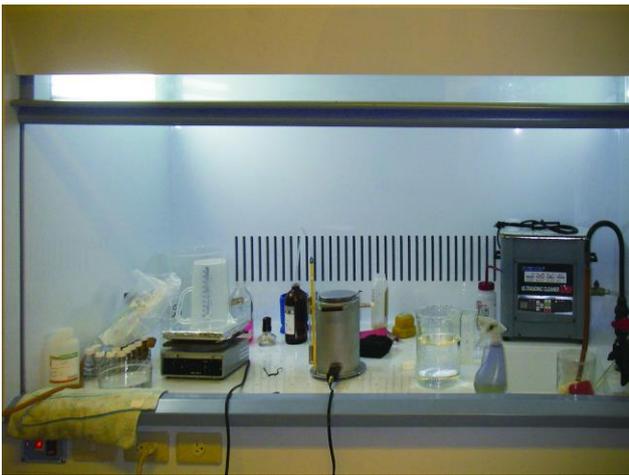


圖 5 聚合物複合建材實驗裝置



圖 6 環氧樹脂添加硬化劑



圖 7 聚合物複合建材鑄造地磚 (灰石質感)



圖 8 聚合物複合建材鑄造地磚 (石紋質感)

運用聚合物深具彈性、保溫、耐用的特性，配合價格低廉且具有高硬度的石粉，能製作出硬度達到莫氏硬度5以上的複合材料。灌入模型後取得實驗用所需之試料，此種建材清潔衛生，不會飛散、不會滴落、不污染環境，不會刺激眼睛或皮膚。我們將聚合物複合材料建材，預鑄成厚度極薄與高硬度的地磚（圖7）、（圖8），或是製成砌製牆面的厚實磚塊，取代目前所用容易碎裂的瓷磚與紅磚。

## 六、研製增溫地磚

經先前物理公式推導，電阻大則電流小比較容易控制並且省電，因此選用石墨做為與聚合物複合的導電材料，石墨的特性如下：

### （一）石墨的導電特性

#### 1. 共價網狀晶體

共價鍵為兩個原子間的共用電子對，同時受到兩個原子核的吸引，使原子連結在一起。以共價鍵結合的分子，如  $H_2$ 、 $CO_2$  和  $O_2$  等，這些分子之間並無鍵結，都是獨立分子。少數化合物為共價鍵的結合方式，類似聚合物的結構，例如：鑽石與石墨。

#### 2. 石墨的結構與特性

鑽石與石墨都是共價網狀晶體，不同結構使兩者性質差異很大，鑽石質硬不導電；黑色的石墨卻滑軟能導電。鑽石中碳原子為四面體排列，石墨為共邊的六元環，互相連結形成層狀構造。

石墨的碳原子都是  $sp^2$  混成，三個混成  $sp^2$  軌域，以  $\sigma$  鍵的鍵結方式與鄰近的三個碳原子結合，層面垂直的未混成  $p$  軌域連結形成  $\pi$  鍵。因此每層有很強的鍵結，但各層之間只有微弱的作用力，受力容易滑動，所以石墨可以當潤滑劑使用。眾多  $p$  軌域形成  $\pi$  鍵，價電子的能隙很低，容易在  $\pi$  軌域中移動所以能導電。

### （二）研製導電建材

聚合物不具導電性，搜尋相關資料並反覆實驗，得知聚矽氧聚合物的吸附性很強，將聚矽氧聚合物添加高濃度的石墨微粒即可導電。其化學式為  $mSiO_2 \cdot nH_2O$ ，重複結構單元如（圖9）所示，沒有毒性，能與混凝土調和成複合材料。

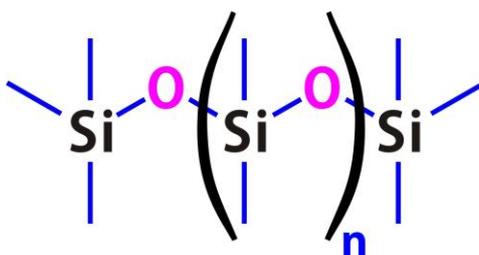


圖9 聚矽氧聚合物的重複結構單元

為增加延展性加入長鏈單鍵結構，將聚矽氧聚合物添加 EVA (Ethylene-Vinyl Acetate) (乙烯-醋酸乙烯酯共聚物)。將聚矽氧聚合物添加熱融膠攪拌配製成複合材料，添加高濃度的石墨微粒，即可製成導電聚合物。

### (三) 導電生熱實驗

將導電軟片剪裁適當大小，依(式 4) 產生電阻值。將恆電流電壓儀(圖 10) 連接軟片兩端，通電產生固定電流(圖 11)，測試材料是否依據焦耳定律、電功率、歐姆定律發出合理的熱量，再進行下列相關實驗。

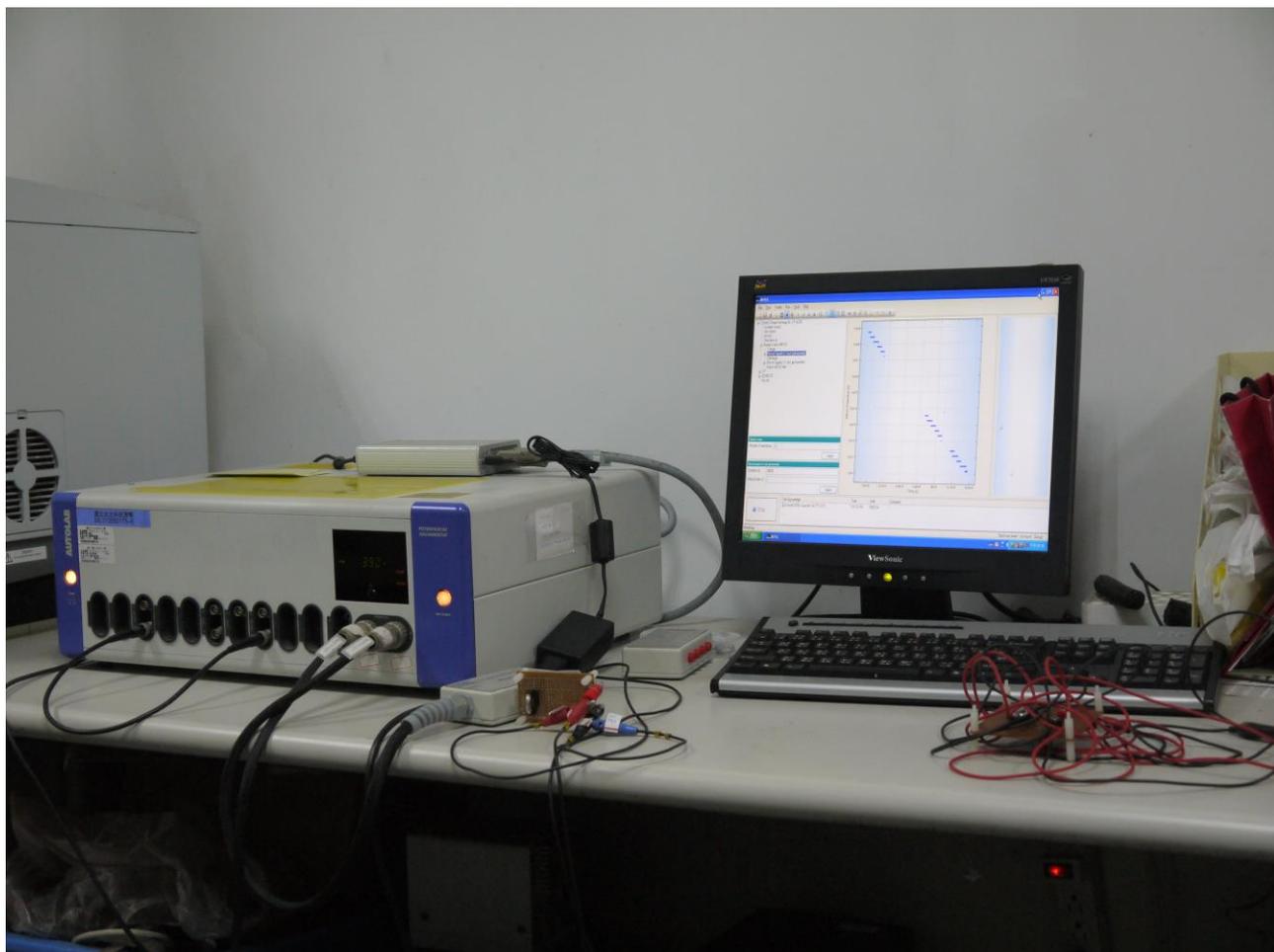


圖10 恆電流電壓儀

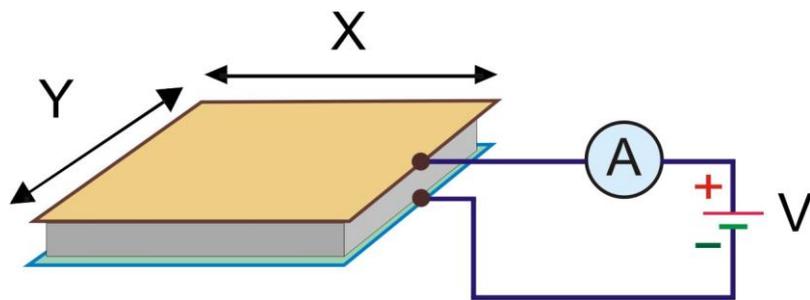


圖11 複合材料的電阻測試示意圖

## 1. 加熱實驗

將增溫地磚分為地毯隔熱與表面裸露兩種測試條件，藉由溫度與溼度控制箱，模擬低溫環境（圖 12）。將增溫地磚放入箱中，通電加熱後每 2 分鐘記錄溫度的變化，研究增溫地磚的加熱特性。



圖 12 溫度與溼度控制箱



圖 13 掃瞄式電子顯微鏡

## 2. 降溫實驗

將增溫地磚分為地毯隔熱與表面裸露兩種測試條件，先將增溫地磚通電加熱，斷電後放入低溫的溫度與溼度控制箱中，每 2 分鐘記錄下降的溫度。

## 3. 控制系統測試

將增溫地磚分為地毯隔熱與表面裸露兩種測試條件，實驗的目的測試恆溫控制器是否適合低溫使用。先將恆溫控制器設置為 39°C，結合增溫地磚放入低溫的溫度與溼度控制箱中，實驗是否能夠達到設定的溫度，測試增溫地磚能否使用於低溫環境中。

## 4. 耐久性測試實驗

測試增溫地磚在沒有恆溫控制器時的狀況，輸入電壓至增溫地磚持續加熱，觀察增溫地磚是否會因溫度過高而有劣化或異常的現象。

## 5. 交流特性實驗

由於交流電為目前供電主要來源，許多電機、電子與建築裝置必須藉由交流電源維持運作，因此進行交流特性的相關實驗。

## 6. 電阻溫度係數實驗

為了研究增溫地磚的電阻受溫度之影響程度，藉由溫度與溼度控制箱，模擬不同的溫度環境（圖 12）。將增溫地磚放入低溫的溫度與溼度控制箱中，通電增溫地磚加熱記錄電阻的變化數值。

## 7. 電子顯微鏡結構分析

物質結構決定了建材的物理特性，因此以掃描式電子顯微鏡（Scanning Electron Microscope，簡稱 SEM）進行測試，（圖 13）為掃描式電子顯微鏡實驗系統。利用電子槍產生電子束，透過電磁透鏡所組成的電子光學系統，使其聚集成微小的電子束照射至試片表面，並將表面產生的訊號加以收集，經放大處理後，輸入到同步掃描之陰極射線管，以顯示試片的表面影像。

## 8. 紅外線吸收光譜實驗

本研究運用的紅外線吸收光譜儀，其光譜範圍自波數  $400\sim 4000\text{cm}^{-1}$ ，大多數有機化合物的分子官能基，例如 C-H、O-H、N-H 等，其固定吸收振動光譜都在這個範圍內。因此利用光譜能量的吸收與轉換，容易進行聚合物成分的定性與定量分析。

## 9. 螢光 X 線分析儀

用高強度的 X-射線照射樣品，樣品因為吸收 X-射線的能量而激發電子，放出元素本身所含特有的 X-射線光譜，這種方式所產生的 X-射線為螢光。將樣品所放射出的螢光，運用分光晶體分光之後，偵檢各不同波長的電磁波強度，就能分析樣品中所含的元素種類，可以更進一步知道這些元素的含量。（圖 14）。

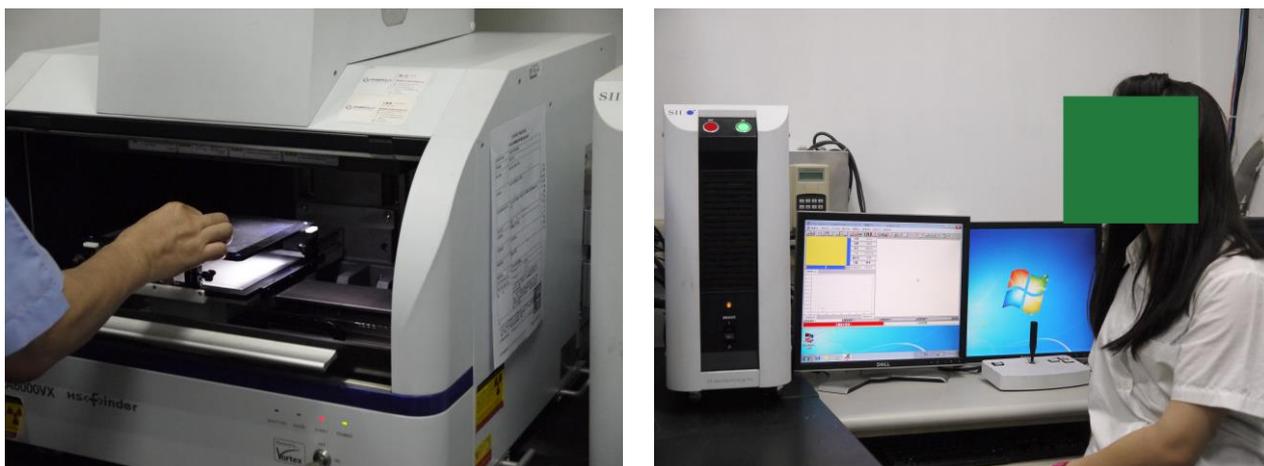


圖 14 螢光 X 線分析儀實驗

## 伍、研究結果

### 一、物理吸附導電

以紅外線吸收光譜儀分析本研究所用的增溫聚合物導電材料的成分，結果是高純度的聚矽氧聚合物（圖 15）。將聚矽氧聚合物摻雜銅、鐵、鋁與石墨微粒，發現在 50M 的濃度時，只有摻雜銅微粒的複合材料，每立方公分有 11.4M $\Omega$  的電阻值。摻雜石墨者，每立方公分有 1.7k $\Omega$ ，摻雜其他金屬的複合材料則為絕緣體。將導電複合材料加熱，熔點較低的聚合物完全蒸發後，只剩下碳或金屬微粒，這些微粒的質量與粒徑並沒有改變，因此這些導電複合材料為物理吸附，而非化學吸附，沒有發生化學反應。

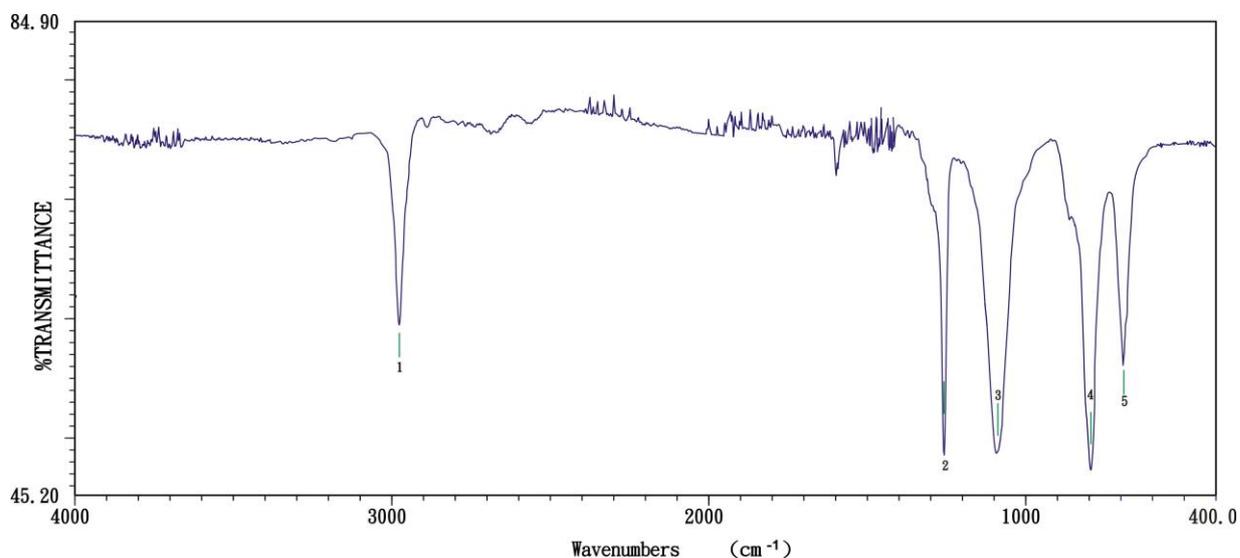


圖 15 導電建材的紅外線光譜分析

### 二、掃瞄式電子顯微鏡的輔助研究

#### （一）導電建材的微觀變化

分子堆積方式對建材的物理特性有重大影響，石墨的摻雜濃度提高，縮減了複合材料中分子之間的距離，使分子之間的吸引力大幅增加。不同摻雜濃度的導電建材，其吸附作用以 SEM 電子顯微鏡觀測的影像如圖（16）至圖（19）所示。這四張圖顯示聚合物的鍵結力，造成分子內很高的殘餘力，石墨摻雜濃度增加會產生極大的吸引力，分子會緊密地堆積在一起，分子緊密地排列呈現高度的規則性結構。但是因為高分子量與結構的缺陷，導致無法平行地排列形成為晶格結構。由圖（16）至圖（19）SEM 電子顯微鏡所觀測的影像，顯示增加石墨的濃度，石墨的微粒會在分子間交疊，能大幅提升複合材料的導電性。



圖 16 未摻雜石墨的複合材料

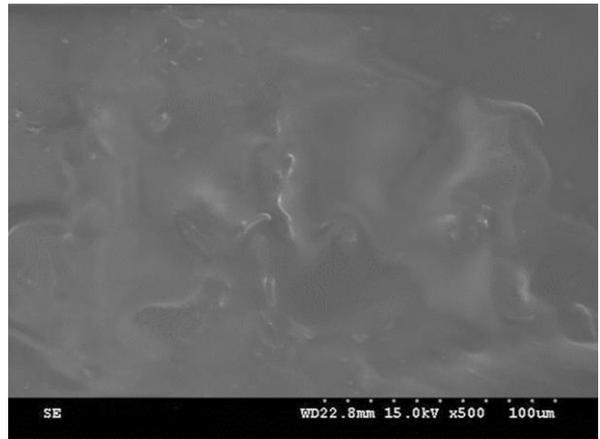


圖 17 摻雜 4M 濃度石墨的複合材料

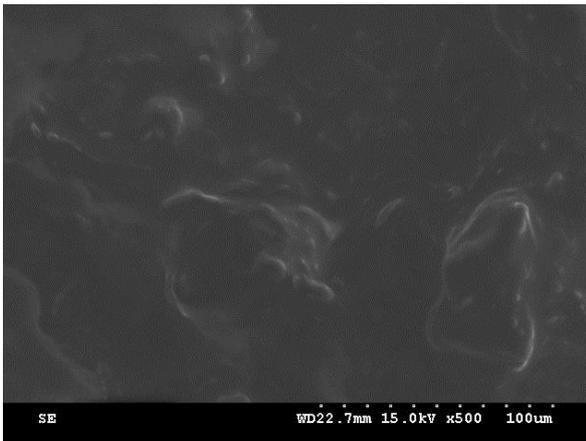


圖 18 摻雜 20M 濃度石墨的複合材料

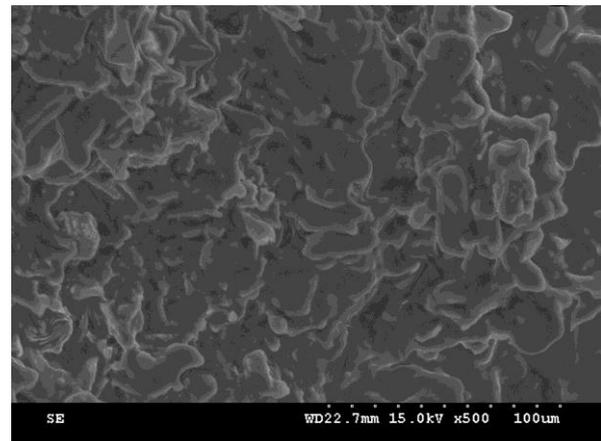


圖 19 摻雜 40M 濃度石墨的複合材料

## (二) 導電建材的物理力學特性

物質的凝聚狀態包括晶態、液態、玻璃態與液晶態。複合材料也包含了這些凝聚狀態。然而長且柔軟的高分子化學鍵，有秩序或無秩序的排列，形成特殊的複雜結構。此外由於複合材料每個化學鍵是由成千上萬個結構單元所組成，每個結構單元等於一個小分子，所以每一條化學鍵，就有可能存在獨特的鍵結狀態。藉由電子顯微鏡的觀察，得知複合材料的凝聚狀態結構，是在加工過程中形成的，也是決定複合材料物理力學特性的關鍵因素。因此，理解凝聚狀態結構與形成的條件，合理地調整加工條件進而控制凝聚狀態結構，是改善聚合物複合材料物理特性最重要的環節。

## 三、導電建材的電阻溫度係數

物理吸附沒有進行化學反應，所以需要能量較小，容易進行反應，低溫就能快速反應。吸附是放熱反應，因此聚合物的物理吸附所產生的電阻與溫度成正比。物理吸附主要作用力為微弱的凡得瓦力 (van der Waals force)，容易受到溫度影響，因此電阻溫度係數變化很大。摻雜 40M 濃度石墨的導電建材其電阻溫度特性如圖 (20) 所示，十分接近線性變化。

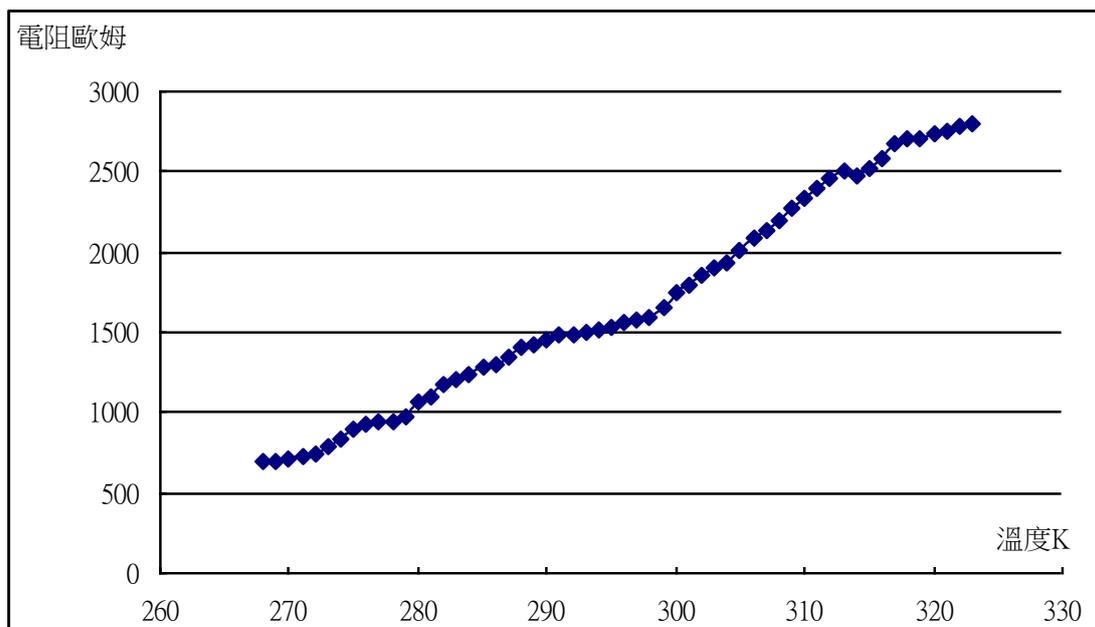


圖 20 摻雜 40M 濃度石墨導電建材的電阻溫度特性

#### 四、交流電特性

為了研究導電建材的交流運用領域，我們進行了交流電性實驗，將導電建材接上訊號產生器與數位式示波器（21），依分壓定律、電容抗與電阻串並連公式，計算得知其等效電路如圖(22)。摻雜 40M 濃度石墨的導電建材，其電極面積為  $4\text{cm}^2$ ，距離  $0.5\text{cm}$ ，其  $R_1=25\Omega$ 、 $R_2=75\Omega$ 、 $C_1=0.01\mu\text{F}$ ，為電阻與電容器串並聯的等效電路，可發展成為電阻與電容之電子元件。

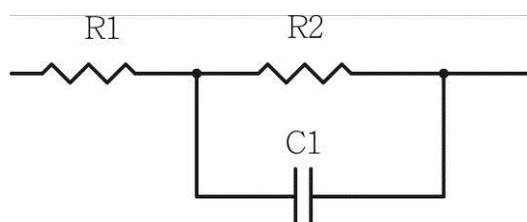
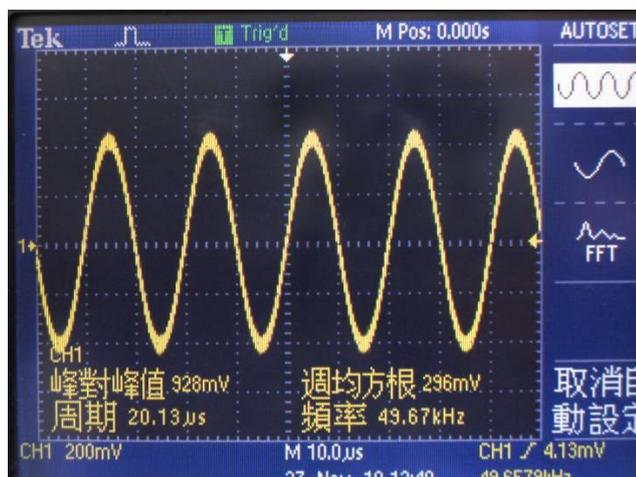


圖 21 數位式示波器顯示導電建材的交流頻率響應

圖 22 導電建材的交流阻抗等效電路

#### 五、電能熱能轉換

長  $7\text{cm}$ ，寬  $5.5\text{cm}$ ，厚度  $1\text{cm}$ ，電阻值為  $40\text{M}$  的導電建材，連接恆電流電壓儀供應電能，表面電流熱效應如（圖 23）所示。經實驗得知通電五分鐘後，即可達到正常體溫，初始溫度變化緩慢是受材質比熱影響，產生的熱量足夠保暖所需。

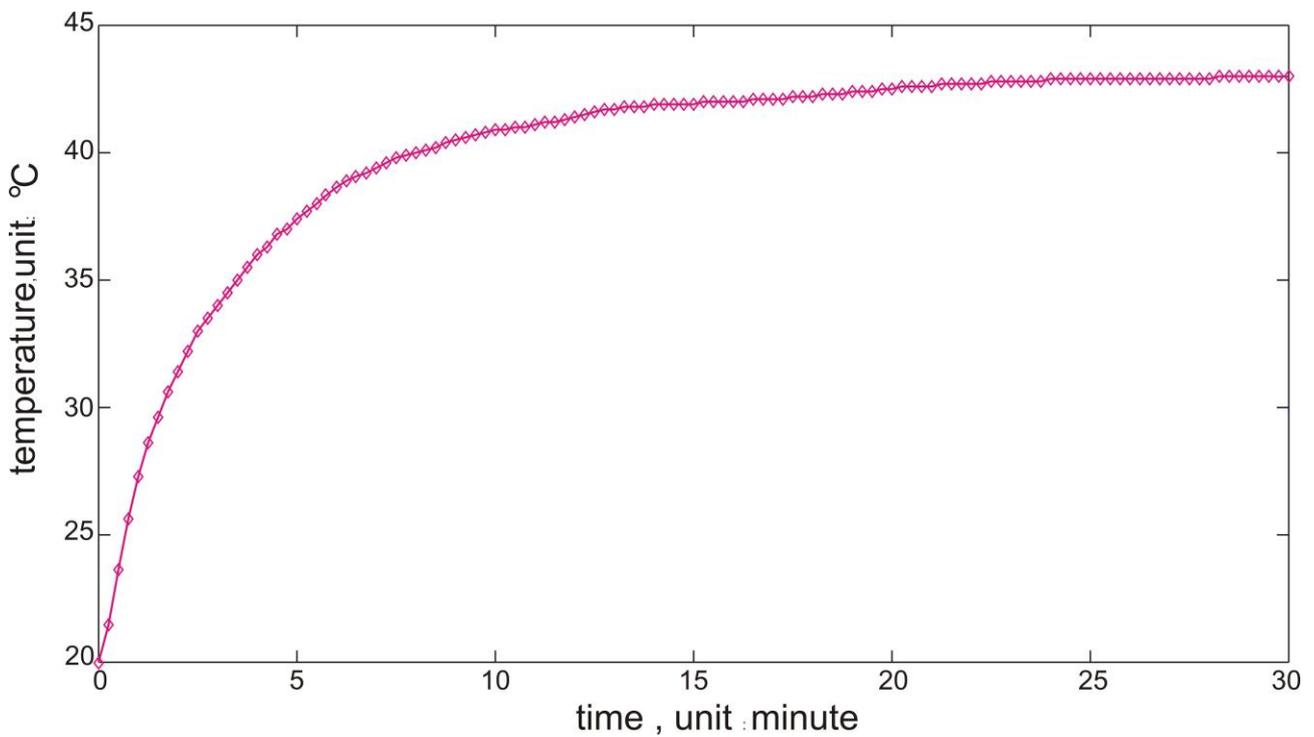


圖 23 表面電流熱效應

增溫地磚加熱後停止供電再降溫，表面溫度下降如（圖 24）所示。比熱為每單位需輸入多少能量才能使溫度上昇 1°C，單位為卡/(g°C)。15°C 水的比熱是 1 卡/g°C，也是 4.184 J/g°C，本系統薄片比熱為 1.59 卡/g°C。

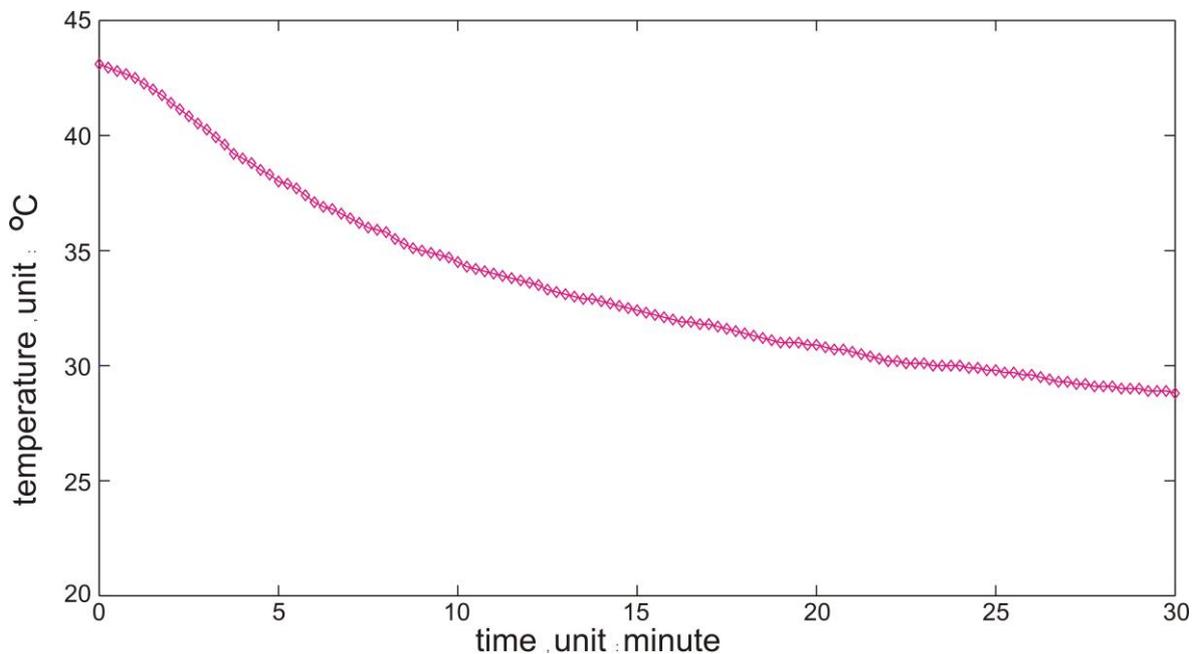


圖 24 表面溫度下降特性

#### 六、增溫地磚的生熱反應

經多次實驗得知，長寬各為 5 cm，厚度 0.5 公分，電阻值為 40Ω 的導電建材，接上 10 伏特直流電壓，表面溫度如（表 7）、（圖 25）所示。

表 7 增溫地磚加熱片表面溫度反應時間

地磚溫度(°C)	23.5	24	24.5	25	25.5	26	26.5	27	27.5	28	28.5	29
通電時間(秒)	0	45	70	90	118	135	149	162	174	186	198	210

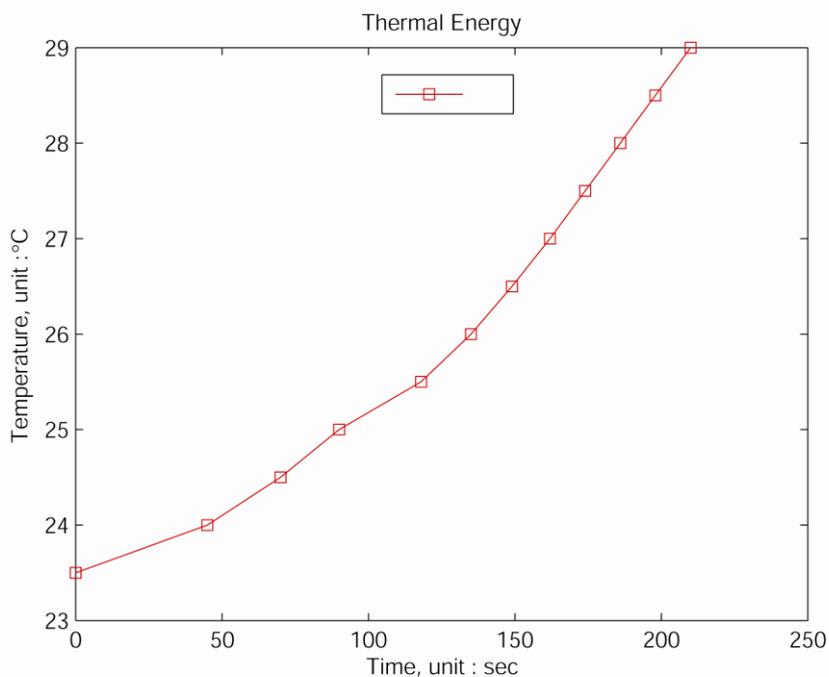


圖 25 增溫地磚加熱片表面溫度與通電時間關係圖

經實驗得知通電兩分三十秒後，溫度與時間即成線性關係上升，約十二秒上升  $0.5^{\circ}\text{C}$ ，初始溫度變化緩慢係受導電建材的比熱特性影響。此地磚所產生之熱量，足供室內保暖之需求。

## 七、自動溫控系統

(圖 26) 為增溫地磚全系統方塊圖，(圖 27) 則為本系統自動溫控裝置之實際成品，購買適當大小的金屬機殼，再以手工打磨裝設開關與指示燈號之發光二極體，機殼內置放市售之溫度控制器連接交換式電源供應器，供電給導電建材所製之加熱片。增溫地磚內部連接負溫度係數熱敏電阻 (圖 28)，溫度過高時電阻值下降，控制器關閉繼電器，使加熱片斷電。溫度過低時熱敏電阻值上升，控制器啟動繼電器，將增溫地磚通電，即可設定要維持的溫度。

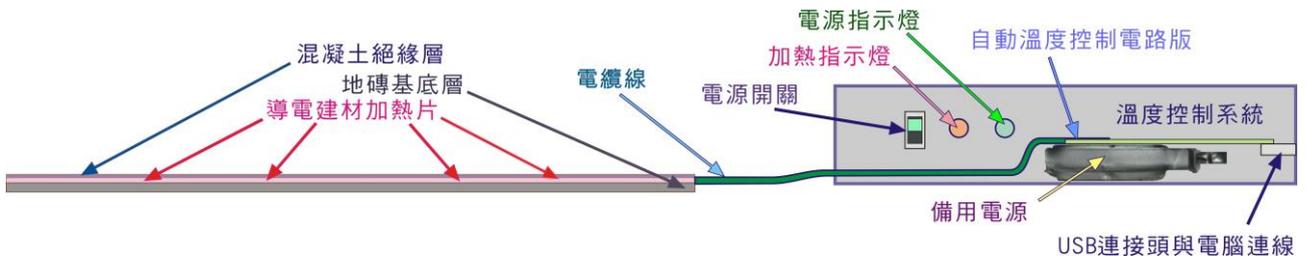


圖 26 增溫地磚全系統方塊圖

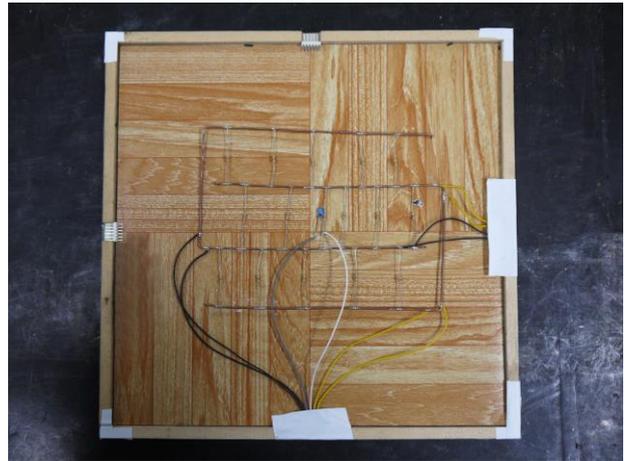


圖 27 自動溫控裝置

28 灌漿前地磚內的接線、熱敏電阻、連結頭與板模

使用時，先將電源開關打開，如果供電正常，電源指示燈亮起就能正常工作。如果溫度過低，發光二極體就會發亮，表示正在加熱（圖 29）。

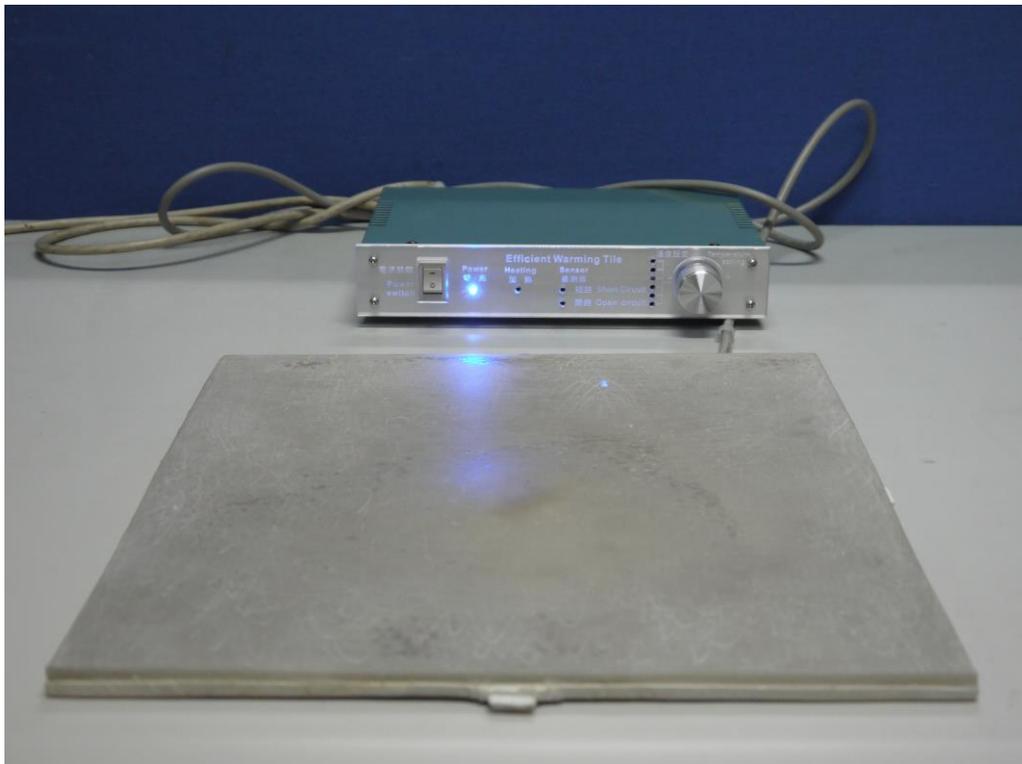


圖29 增溫模式的自動溫控裝置與地磚

## 八、實際運用

我們將加熱片加以包裝，變成為不怕天寒地凍的「快速增溫地磚」(圖29)，更可貴之處能避免一般「暖氣機」或「火爐」與「電毯」等加熱器材，溫度過高或過低飄忽不定的缺點。並且節省電能，達到環保減碳的目標。環境溫度為攝氏10度時，通電5分鐘後，地磚溫度就會提升至攝氏39度(圖30)，之後，維持在人體的表面溫度，溫度不會過高或過低，讓使用者感到舒適並且安全。每塊地磚的四面都裝設有連接頭，可以互相連接成大面積的加熱地板。



圖30 快速增溫地磚恆溫狀態

## 陸、討論

### 一、問題：系統的體積與重量是否能減少質量與降低成本？

討論：全系統最重的部分就是地磚，地磚的厚度只有 0.4 公分很薄，並且鋪設上地面上，不會壓迫居住者的空間。聚合物複合建材所製作的地磚質量，只有磁磚的 45%；聚合物複合建材磚塊的質量，也只有紅磚的 55%。不但能減少建築的重量，也能降低運輸建材的成本。

解決方案：請教建築師，建築師表示符合生活空間的需求。

### 二、問題：如何規劃增溫所需的電源？

討論：依電功率的學理推論，電壓越高能量也越高。本系統因安全考量，只採用直流 12 伏特之交換式電源供應器，將交流 110V 轉為直流 12V 輸出至地磚並聯加熱。有效防範使用者於電線破損或漏電時，遭受感電之疑慮。

### 三、問題：如何規劃混凝土的砂石比率？

討論：經實驗得知，混凝土中砂石比率越高則導熱效果越良好，因為砂石主要的成分為二氧化矽，熱傳效果比水泥要好很多。但混凝土中砂石比率過高，會影響混凝土的力學強度，經長期實驗，混凝土的砂石比率為一比三。

## 柒、結論

經長期的研究與實驗，獲得結論如下：

### （一）達成研究目的

經多次實驗得知系統能有效控制溫度的生成，可廣泛應用於各種建築物，提升居住品質保障人們的安全。

### （二）未來展望

系統達成快速增溫保暖之需求，符合現今國內居住空間之需求，並且造價低廉，使土木工程與生活品質與安全相融合，得以節能減碳。更發現混凝土複合材料導電後有許多意想不到的特效，這是課本沒有論及之處。希望這個發現未來能繼續發展，開拓混凝土的應用範疇。

## 捌、參考資料及其他

- 一、林敬二等編著，高中物質科學化學篇(下)，臺北市，三民書局，2007年中華民國科學教育館，中小學科展作品專輯，臺北市，豐山彩色印書有限公司，1990年
- 二、施河編著，高級中學生命科學下冊，初版，臺南市，南一書局，2001年
- 三、Arthur C. Guyton，蓋統生理學上冊，初版，臺北市，華杏書局，1998年
- 四、Laidler & Meiser原著，郭冠麟、王榮英、陳寶祺合譯，物理化學，初版，臺北市，學富文化，2006年
- 五、陳耀如、洪國珍、劉叔松，建築材料 I，旭營文化事業有限公司，2004年。
- 六、陳宏州，工程力學 II。矩陣出版有限公司，2003年。
- 七、黃甄玲，羧酸系分散劑的合成以及對水泥漿體性質的影響，國立台灣師範大學化學系碩士論文，P3-p5，2004年。
- 八、曾國輝，化學，台北市，藝軒圖畫出版社，2002年。
- 九、楊明豐編著，數位邏輯實習，初版，台北市，基峰資訊股份有限公司，2002年。
- 十、姚珩、張嘉泓、施華強、李重賢、鍾彩霞、陳東閔，高一基礎物理，翰林出版社，1998年3月。
- 十一、中國土木水利工程學會與混凝土工程委員會，鋼筋混凝土學，科技圖書，2009年。
- 十二、陳啟中，建築結構學，詹氏書局，2007年
- 十三、中華民國科學教育館，中小學科展作品專輯，臺北市，豐山彩色印書有限公司，2008年
- 十四、毛昭綱，鋼結構設計（修訂四版），全華科技，2009年。
- 十五、毛昭綱，鋼筋混凝土學（修訂版），全華科技，2008年。
- 十六、毛昭綱，材料力學（修訂版），全華科技，2008年。
- 十七、顏榮記，土木施工法，科學技術叢書，三民書局，1991年。

十八、周耀鑾、黃依典，土木材料學，科教圖書出版社，1983年。

十九、符芳、錢士英、王永達，景觀建築工程材料學，地景企業股份有限公司，1996年。

二十、蔡守智，建築結構體之施工與監工（增訂版），詹氏書局，2000年。

二十一、呂文堯、游新旺，鋼筋混凝土，新文京開發出版有限公司，2002年。

## 【評語】 091104

1. 本作品運用界面活性劑，結合聚合物(環氧樹脂)與無機物(石粉)，製成複合建材。另外以聚矽氧聚合物添加乙烯-醋酸乙烯酯共聚物中添加石墨粉，製成導電聚合物作為保溫建材，進而組成增溫地磚。
2. 本作品內容雖具創意，惟僅獲初步實驗結果，尚未能對重要變因做系統性探討。建議宜系統設計實驗，進行無機物填料粒徑、配比、混合方式、混合時間、界面活性劑及交聯劑成分配比等變因對複合材料機械性質的影響分析。
3. 宜測試增溫地磚系統的結構是否受導電建材的溫度變化影響，並驗證導電建材的安全性，以具體評估其實用性。