

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(三)科

第二名

083005

神「漆」酷科學－不同粉末對塗料降溫效果之研究

學校名稱： 國立臺中教育大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小六 李唯瑄	黃尚偉
小六 張福安	簡辛如
小六 張家蓁	
小六 鄭鼎繼	
小五 陸鈞平	
小五 何杰勝	

關鍵詞： 降溫塗料、顆粒堆疊、碳酸鈣微球

## 摘要

因暖化和教室過熱問題，我們**自製檢測裝置**探討各種**配方**和**變因**，進行降溫塗料研究。

我們從 24 種粉末中實驗出 6 種特色粉末深入研究。其中**二氧化鈦**漫射紅外線佳，**二氧化矽**阻隔佳，**蛤粉**則兼具漫射和阻隔效果。我們歸納出「**白度、粉末性質和顆粒堆疊**」是影響塗料降溫的關鍵。當顆粒堆疊的**縫隙越少（形狀相似、顆粒越小）**降溫效果越佳。但顆粒**粒徑 $<3\mu\text{m}$** 易產生**團聚現象**，無法均勻分布！

我們也自製**碳酸鈣微球**，由不同大小顆粒的混合察覺**大小顆粒鑲嵌**能減少縫隙、降低團聚並增加白度。更意外發現**蛤粉**漫射效果佳是因為具有大小顆粒鑲嵌的結構！

我們研發出四種降溫配方，**加熱三分鐘**能比**市售隔熱漆**低 **4.7°C**，**日曬保麗龍盒實驗**也能低 **0.5°C**，適合推廣應用。

## 壹、研究動機

從 1975 年「**全球暖化**」一詞被提出來後，每年的冬天都在減少，夏天的溫度也越來越高。我們的實驗教室（圖 1）剛好處於**頂樓直曬**又有大片窗戶西曬的尷尬位置，有時夏天教室的溫度直逼  $37^{\circ}\text{C}$ 。悶熱的環境，電風扇再怎麼吹也不會涼！根本無法專心上課！雖然去年開始班班有冷氣的政策，但冷氣機排出的熱氣會造成教室外的溫度更高！難道沒有**不耗電又能夠讓室內降溫的方法嗎？！**

從搜尋資料中發現坊間的「**降溫塗料**」，就是**透過塗料特性漫射太陽紅外線**，來**降低屋內溫度的上升**，**既不耗電又能降溫**。但，每一種降溫塗料都有自己的專屬「**秘密配方**」。剛好，我們在五年級自然課「**熱對物質的影響**」中學到熱的傳遞方式：**傳導、對流和輻射**。我們想從熱傳遞的原理出發，由**基本的塗料開始**（圖 2），**嘗試加入各種可能影響熱傳遞的物質**，進一步探究**塗料中影響降溫的因素**，製作屬於小學生的「**秘密降溫塗料配方**」，並將其推廣出去。



圖 1：實驗教室的窘境，頂樓太陽直曬！

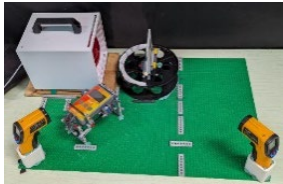


圖 2：練習嘗試製作塗料，並試著塗在板子上。

## 貳、研究目的

- 一、 研發降溫塗料的最佳配方。
- 二、 測試影響降溫塗料的變因。
- 三、 分析粉末種類對塗料的影響。
- 四、 研究自製碳酸鈣微球的效果。

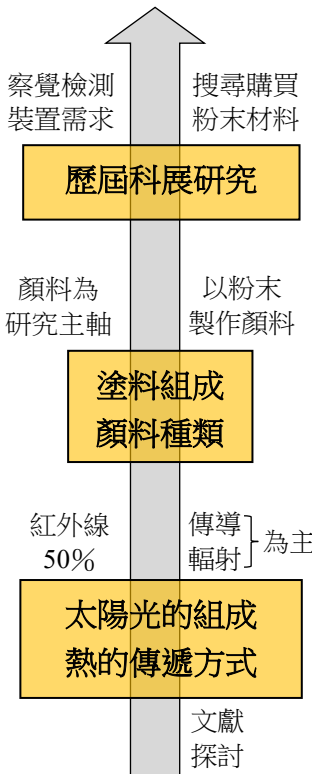
# 參、流程概念圖



- ① 紅外線檢測裝置
- ② 塗漆臺
- ③ 濃稠度斜坡裝置

控制變因 穩定檢測流程  
控制材料

## 自製檢測裝置



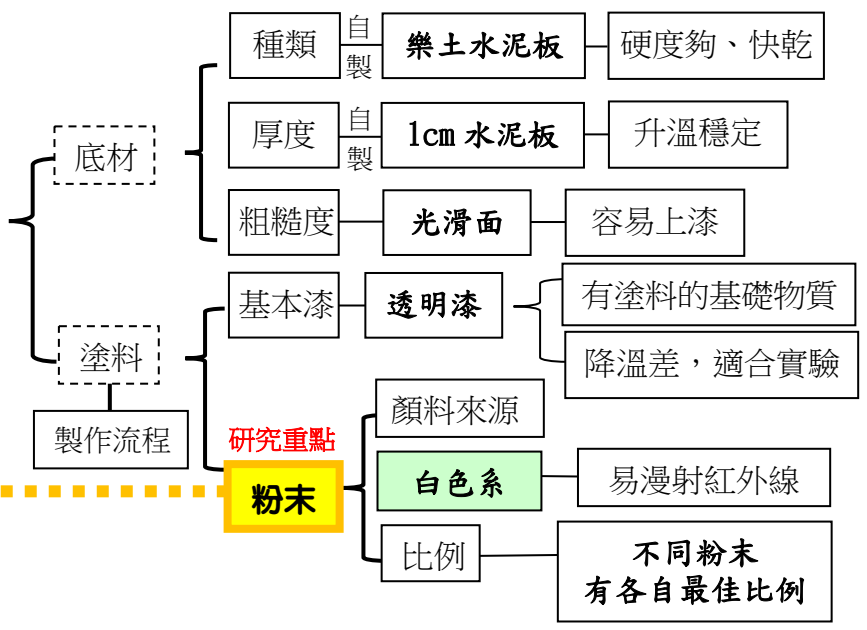
## 降溫塗料

起因

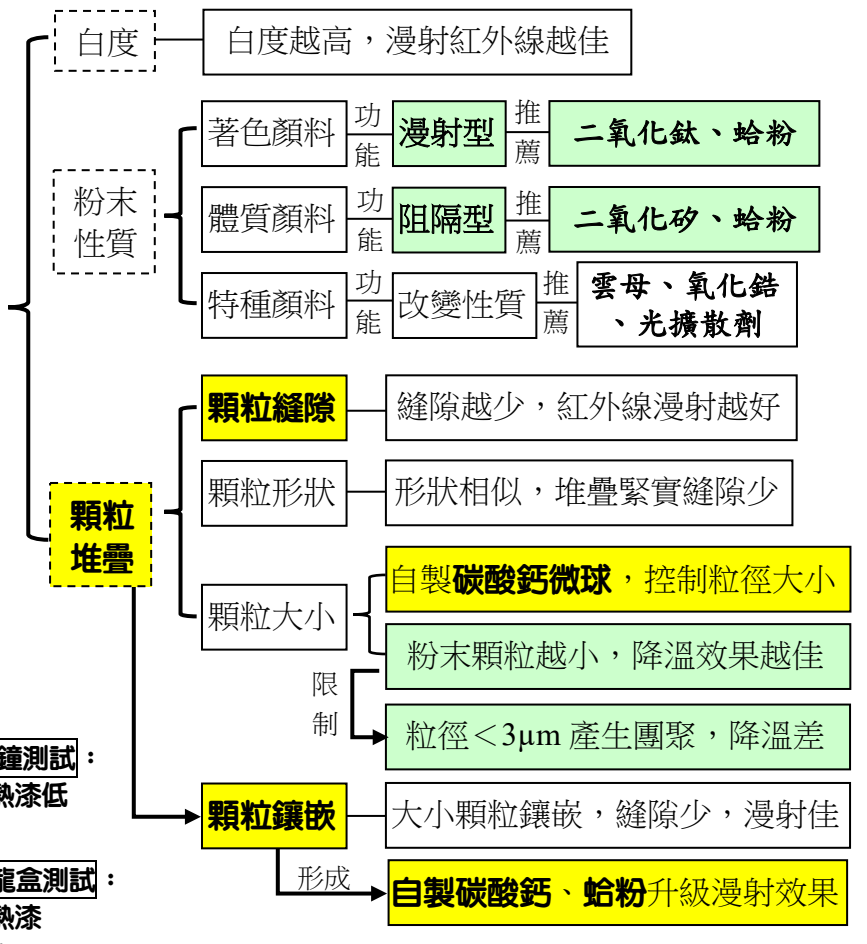
全球暖化 教室炎熱



## 控制變因



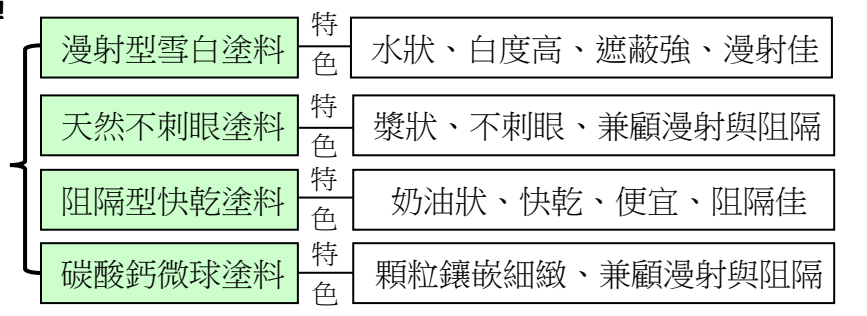
## 影響因素



加熱 3 分鐘測試：  
比市售隔熱漆低 4.7°C !

日曬保麗龍盒測試：  
比市售隔熱漆低 0.5°C !

## 研發配方



## 肆、文獻探討

### 一、太陽光的組成和阻隔方法：

根據文獻一，地球大氣層頂部的陽光由大約**50%的紅外線**、**40%可見光**和**10%紫外線**組成。紅外線是主要熱能量來源，因此隔熱最主要是在**阻擋紅外線**。為了模擬太陽紅外線對水泥牆造成的影響，我們使用**紅外線溫熱燈泡（250W、220V）**進行實驗。

根據五年級自然課第四單元「**熱對物質的影響**」中學到，熱的傳遞有三種方法「**傳導**、**對流**、**輻射**」。水泥牆照到太陽光的紅外線使溫度上升，主要是受到**傳導**和**輻射**的影響！如果塗料能夠**漫反射紅外線**的熱能源，就能夠降低水泥牆的輻射熱（圖3）。如果塗料有**阻隔熱**的功能，就能降低水泥牆的傳導熱（圖4）。因此我們以「**漫射型**」和「**阻隔型**」這兩種方向進行塗料研究！

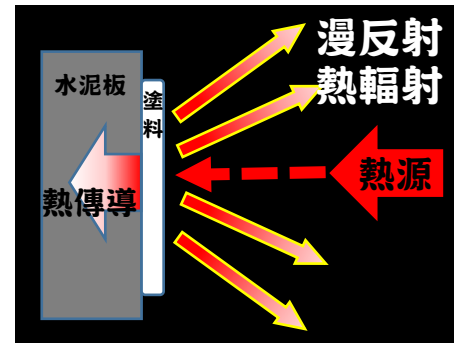


圖 3：「漫射型」塗料能夠漫反射紅外線的輻射熱。

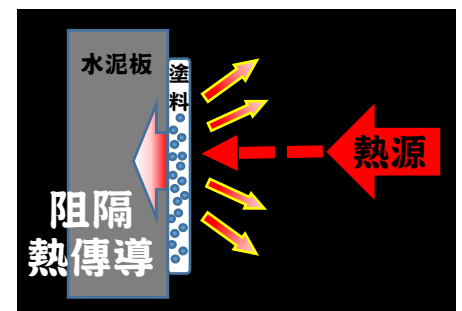


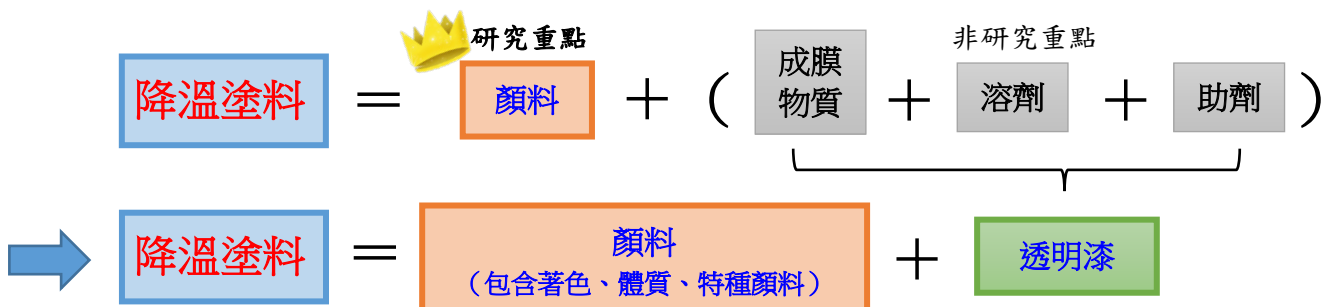
圖 4：「阻隔型」塗料能夠降低水泥牆的傳導熱。

### 二、塗料的組成：

1. **透明漆的使用原因**：根據文獻二，**塗料的組成主要分成四個部分**，分析如下：

成分	功能	例子	推論與降溫的關係
成膜物質	黏結塗料中其它成分，形成塗膜	樹脂	<b>低！</b> 黏膠或樹脂的耐熱性不高。
顏料	使塗膜具有遮蓋被塗物體的能力。	色素	<b>高！</b> 遮蔽能擋住或漫射紅外線。
溶劑	將成膜物質溶解為均勻液態，以便施工。當施工後會自己揮發。	水 松香水	<b>無關！</b> 塗漆後溶劑就會揮發消失，不會影響降溫。
助劑	改進塗料的某一特定方面的性能。不同助劑的功能會不同。	消泡劑 潤濕劑	<b>中！</b> 添加的助劑可能會有降溫的效果！

根據以上的分析，可以發現**降溫塗料的關鍵在「顏料」**！因此我們把研究的主軸放在顏料上，並不是從自製塗料的樹脂研究開始！如果塗料本身沒有顏色，當我們加入顏料，就可知道顏料對降溫效果的影響了！後來我們找到了水泥漆中的「**透明漆**」！透明漆是透明的，沒有顏料添加其中。透明漆又是水泥漆，擁有塗料基本的成分！剛好符合我們的需求！





2. **顏料研究方向**：文獻二中提到**顏料分成以下三種類別**，分析如下：

種類	功能	例子	思考可嘗試方向
著色顏料	使塗膜呈現色彩，有著色或遮蔽功能。	二氧化鈦 氧化鋅	白色容易漫反射太陽光！如果測試各種白色粉末，可能找到 <b>漫反射紅外線</b> 效果強的粉末！
體質顏料	又稱 <b>填料</b> 。為了增加塗料體積，降低成本。並不具有著色或遮蔽力。	碳酸鈣 石英砂	填料可能因為粉末顆粒或構造，產生 <b>阻隔熱</b> 的效果。因此想測試各種粉末是否能夠阻隔熱。
特種顏料	添加成分可提供塗料特別的性能。	螢光顏料 感溫變色顏料	如果尋找本身有 <b>耐熱性質</b> 的粉末，可能會造成降溫效果！

我們決定藉由研究「**著色顏料（漫射型粉末）**」、「**體質顏料（阻隔型粉末）**」、「**特種顏料（耐熱效果粉末）**」這三類粉末，試著調配出有降溫效果的塗料！

### 三、歷屆科展作品研究




我們搜尋了**歷屆全國科展的研究**，找到了與**自製塗料**和**降溫**相關的研究，整理如下：

屆數組別	作品名稱	作品相關內容	作品分析
第 58 屆 國小組 (文獻三)	化腐朽為神漆	以廢酒粕和黃豆渣提取蛋白質製成天然蛋白膠水與塗料。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 重點在以天然材料製作成膜物質。但成膜物質與降溫較無關。</li> <li>● 以 3D 列印自製塗膜均勻器，以推桿刮除多餘塗料。可作為塗膜設計的參考。</li> <li>● 使用蛋殼粉、粉筆末與碳酸鈣做為填料。</li> <li>● 塗漆塗在木板和矽酸鈣板上。但降溫塗料大多在室外，塗在水泥板上效果較精確。</li> </ul>
第 59 屆 國小組 (文獻四)	絕世好漆－以牛奶和教室粉筆自製塗漆	以牛奶和碳酸鈣自製牛奶塗漆。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 重點放以牛奶製作成膜物質。但成膜物質與降溫較無關。</li> <li>● 以熟石灰、灰石、石膏、滑石粉當作添加物。可當作參考。</li> </ul>
第 62 屆 國中組 (文獻五)	「白漆」也能救地球：以 Arduino 微型溫室模型探討綠建築應用	以自製水泥片模擬建築物材質，探討不同塗料與不同植被對室內外降溫的效果。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 使用燈泡當作熱源，加熱玻璃瓶。但燈泡的熱源低，需照射 55 分鐘，造成檢測次數少。</li> <li>● 將粉末在蒸餾水中攪拌，再混入市售白漆中。但市售白漆本身就有白色成分，不容易區分降溫效果源自於粉末或是市售白漆。</li> <li>● 使用碳酸鈣、碳酸鋇、硫酸鈣、硫酸鋇當添加粉末，可當作參考。</li> <li>● 以鋁箔紙捏出半圓形模具，灌出水泥塊。為了遷就玻璃瓶而捏成半圓形，加熱會不均勻。</li> <li>● 以油漆刷塗抹自製水泥片，不易均勻上色。</li> </ul>

## 伍、實驗裝置設計

為了能**準確測量降溫塗料的效果**，我們花了**二個月**的時間，反覆製作和修正檢測裝置！研發出「**灌模水泥板**」、「**塗漆臺均勻塗漆**」的方式，讓材料的控制變因能夠穩定！為了瞭解塗料的差異，我們以「**紅外線檢測裝置**」測量升溫和紅外線漫射功率；以「**Photoimpact 繪圖軟體的明度檢測**」測量塗料的白色程度；以「**斜坡流動距離**」測量塗料的濃稠度；以「**顯微鏡**」拍照並測量粉末顆粒的粒徑。最後我們設定了**標準的實驗步驟**進行各種測試！

一、**灌模水泥板**：降溫塗料大多塗在頂樓的水泥地板上。為了模擬頂樓受熱後的降溫差異，我們需要**製作出厚度和大小相同的水泥板**。由於市售的水泥板太過昂貴（一片 28 元），且形狀是盤子型。我們決定自製水泥板，經比較後（請參考實驗一），我們決定使用「**樂土水泥〔灌注一般型（灰色）〕**」做為製作水泥板材料。我們以 3D 列印和矽膠製作出不同高度矽膠模，加入樂土水泥作出不同高度水泥板做比較，經實驗後（請參考實驗一），決定使用 2cm 高的矽膠模，製造**厚度 1cm、邊長 10cm 正方形水泥板**。水泥板表面需平整才能塗漆，我們但使用各種方法（抹刀、刮刀）都無法將水泥表面刮平。最後我們以**重量固定水泥厚度**。統一以 **155g 水泥漿**製作出 **1cm 厚的水泥板（乾掉後為 0.8cm）**，自然鋪平陰乾後，**維持相同厚度**。我們自製的水泥板換算價錢後，**一片只要 10.5 元！便宜、品質穩定又適合進行實驗！**

			
<p>網購的市售水泥板一片要 28 元，而且形狀是有外框的盤子型。</p>	<p>使用 3D 列印和矽膠灌模製作出不同高度的自製矽膠模。</p>	<p>以樂土水泥灌入自製矽膠模，製作不同厚度的水泥片。</p>	<p>使用刮刀將水泥漿表面刮平，但水泥漿會黏在刮刀上，無法平整。</p>
			
<p>使用抹刀將表面抹平，依舊無法讓水泥漿表面完全平整。</p>	<p>使用秤重，秤出 155g 的水泥漿，高度約等於 1cm 厚度。</p>	<p>老師協助以電鑽攪拌大量水泥，一次能做出 15 片水泥板。</p>	<p>可以大量製作相同大小、相同品質又便宜的水泥板！</p>



二、**塗漆臺**：為了避免**塗漆厚度**影響實驗，我們嘗試各種**塗漆方法**：❶「油漆刷」：刷毛會造成油漆表面出現條狀紋路；❷「絹印方法」：漆很均勻也能控制大小。但使用多次後，漆會在絹網上硬化不易清洗。後來我們改良絹印方法，設計出❸「**塗漆臺**」，簡介如下：

(1) **厚度片**：製作**回字型**塑膠薄片（4mm厚），將塑膠薄片放上檢測板再以**刮刀**將漆刮過，就能以**厚度片**控制**塗漆厚度與範圍**（塗漆厚4mm。但漆乾掉後，厚度減少為2mm）。

(2) **底座、外框**：以木頭做出底座與檢測板外框，用紙膠帶固定位置同時避免塗料外漏，讓厚度片完全貼平檢測板，最後用鐵夾一同固定，使塗漆更穩定，能正確塗出**8x8 cm<sup>2</sup>面積**。

經過五代改良，製作出能**均勻塗漆**、能**更換檢測板材質**，又能**控制厚度、範圍**的**塗漆臺**！

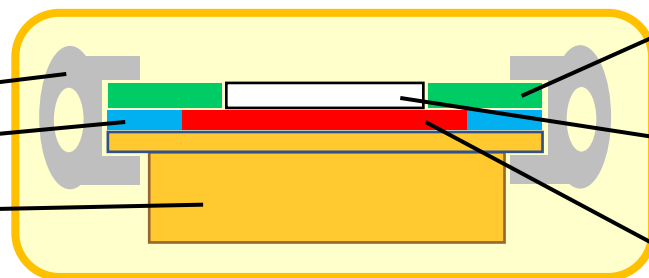
<p>第一代</p> 	<p>第二代</p> 	<p>第三代</p> 	<p>第四代</p> 
<p>油漆刷會造成條紋狀的紋路，而且無法控制塗漆厚度。</p>	<p>使用絹印能均勻塗漆，但印幾次後，絹網就會硬化無法刷印。</p>	<p>使用回字開洞的薄片，以刮刀來回刮漆，能夠將漆均勻塗抹。</p>	<p>3D 列印回字開洞的絹框，但絹框容易移動，導致印刷失敗！</p>
<p>第五代</p> 			
<p>架高底座，使用鐵夾夾住板子，可固定厚度片，避免移動。</p>	<p>使用 4mm 的厚度片，刷出相同厚度的漆（乾掉後 2mm）。</p>	<p>在塗漆周圍貼上紙膠帶。紙膠帶撕掉時，可把外漏的漆去除。</p>	<p>自製出能均勻塗漆，又能控制塗漆厚度和範圍的塗漆臺！</p>

### 「塗漆臺」示意圖

**鐵夾**：固定各種板子

**外框**：卡住檢測板

**底座**：墊高後，方便鐵夾固定板子。

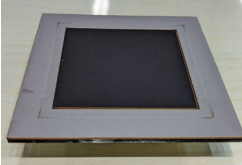
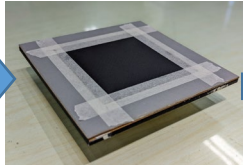
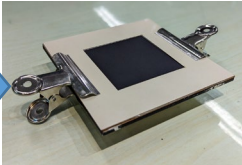




**厚度片**：決定塗漆厚度，可將多餘的漆刮除。

**塗漆位置**：塗漆範圍和厚度由厚度片決定。

**檢測板**：要塗漆進行降溫測試的板子。

### 塗漆步驟

				
<p>以外框卡住檢測板</p>	<p>在周圍貼上紙膠帶</p>	<p>放厚度片，夾鐵夾</p>	<p>在邊框淋上塗料</p>	<p>以刮刀來回刷漆</p>

三、**製作塗料**：我們將**粉末加入透明漆**中，以「**加熱攪拌器**」的攪拌功能快速製作塗料。由於**攪拌子太小無法轉動透明漆**。測試各種磁鐵，最後找到**橢圓形響尾蛇磁鐵**（簡稱**響磁**，5x2cm，一顆 30 元）**攪拌器能驅動響磁轉動**，力道足以順利混合粉末和透明漆！我們將漆放入醬料杯，避免響磁攪拌過大讓漆飛濺。經不斷嘗試，決定以**轉速 500RPM，攪拌 2.5 分鐘**方式製作塗料！我們簡單的使用 **30 元的響尾蛇磁鐵**和**醬料杯**解決**自製塗料攪拌**的問題！

<p>第一代</p>	<p>第二代</p>	<p>第三代</p>	
<p>筷子攪拌粉末和透明漆，效率低又不均勻。</p>	<p>攪拌器可旋轉長型磁鐵，但力道仍不足。</p>	<p>攪拌器能成功旋轉響尾蛇磁鐵！攪拌效果佳！</p>	<p>攪拌器和響磁成功均勻攪拌粉末和透明漆！</p>

四、**白度檢測新方法（明度取代白度）**：我們發現塗料塗在水泥板上的白色有深有淺！上網查詢發現能以「**白度（whiteness）**」來區分**物質表面白色的程度**，以**白色含量的百分率**為基準（**100%是白色，0%是黑色**）（見文獻六）。但，白度測試儀售價是幾萬元起跳！我們希望找到更便宜的方式檢測塗料的白色程度。我們想到 **Photoimpact 繪圖軟體「色彩選擇工具」**能將顏色以數據呈現。其中 **HSB 色彩模式**（圖 5 紅色框）是以 **H（色相）、S（彩度）及 B（明度）** 三個數值表示色彩。當彩度為 0 時，「**明度（B）100 是白色，0 是黑色**」。我們用繪圖軟體中的**明度取代白度**，藉此檢驗塗料的白色程度！

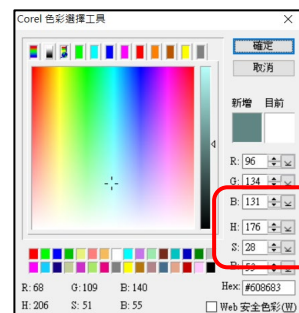


圖 5：PhotoImpact 色彩選擇工具能檢測明度。

**明度檢測步驟**

<p>將漆塗在黑色卡紙上</p>	<p>放置一天等待白漆乾掉</p>	<p>將卡紙以影印機掃描</p>	<p>以繪圖軟體檢測明度</p>

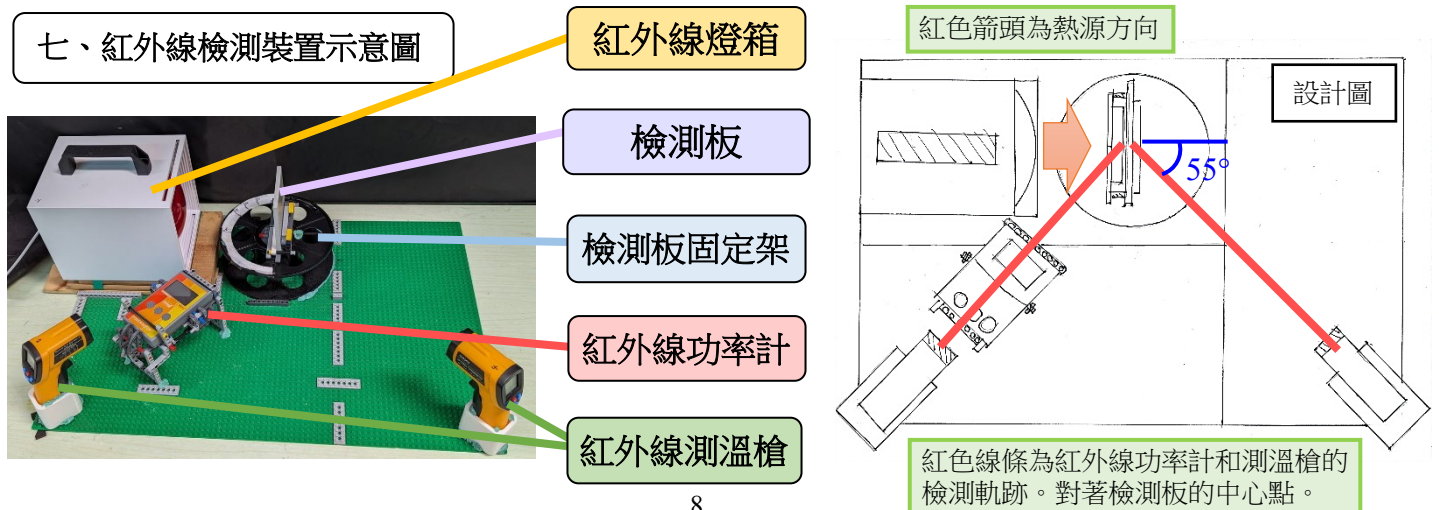
五、**安全裝置**：為了確保安全的進行研究，我們配備**圍裙、口罩、護目鏡、墨鏡**保護自己。

<p>製漆和塗色時，我們會穿圍裙，避免衣服污損。</p>	<p>有些粉末很細小，以口罩和護目鏡保護口鼻。</p>	<p>檢測加熱時，戴墨鏡避免長期照光傷害眼睛。</p>	<p>以牙刷清理塗漆工具，避免手沾到塗料廢水。</p>



六、**紅外線檢測裝置**：為了確認降溫塗料效果，需有**穩定加熱的熱源**。一開始我們使用 60W 鎢絲燈泡插座，但加熱溫度過低，熱源沒有方向性。接著改用黑晶爐加熱，但檢測板必須架在上方，且黑晶爐熱源不穩定。最後我們買到底座平整，方便放在桌上做實驗的**紅外線燈箱**（能裝上 **250W、220V 的紅外線燈泡**）！為了固定熱源和檢測板位置，我們以樂高積木底板搭配積木固定各種器材位置，讓紅外線燈箱距離檢測板 15cm！並以電子樂高零件組裝出**檢測板固定架**（能**夾住不同厚度檢測板**，也能**旋轉改變角度**）。在距離 25cm 遠、55 度角位置架設兩支**紅外線測溫槍**，**測量檢測板正、反面升溫差異**。為了**檢測塗料漫射紅外線的效果**，我們購買了「**紅外線功率計**」，以 55 度角 15cm 遠架設在積木板上。經不斷修正，製作出能**穩定加熱、準確測量正反面升溫及紅外線漫射功率**的「**紅外線檢測裝置**」！

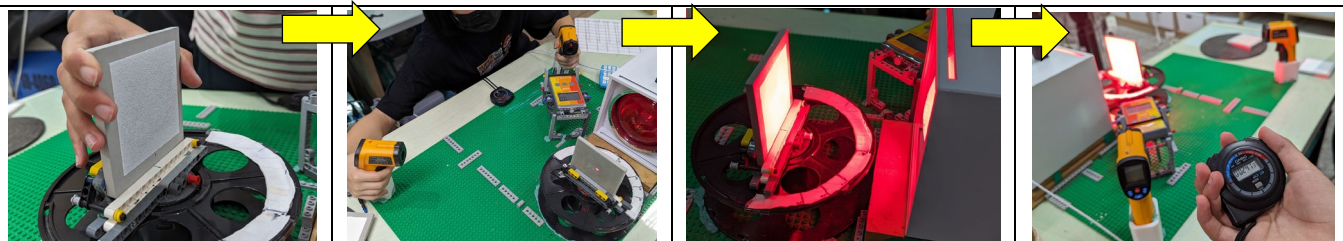
<p>第一代</p>	<p>第二代</p>	<p>第三代</p>	
<p>使用 60W 燈泡插座，加熱效果差，且會向四面八方發光發熱。</p>	<p>使用黑晶爐熱度夠，但不穩定。檢測板要架在上方，不方便。</p>	<p>使用紅外線燈箱，熱度夠、對相同方向發熱，能平放在桌上。</p>	<p>測試水泥板與紅外線燈箱的適當距離，最後決定距離 15cm。</p>
<p>製作能夠固定檢測板的固定架，能夾住不同厚度板子和旋轉。</p>	<p>水泥板黏上鏡子，檢測反射光線路徑，以架設紅外線功率計。</p>	<p>以 55 度角架設紅外線功率計，因為架設 45 度角會被燈箱擋到。</p>	<p>55 度角前後架設紅外線測溫槍，檢測水泥板正、反上升溫度。</p>





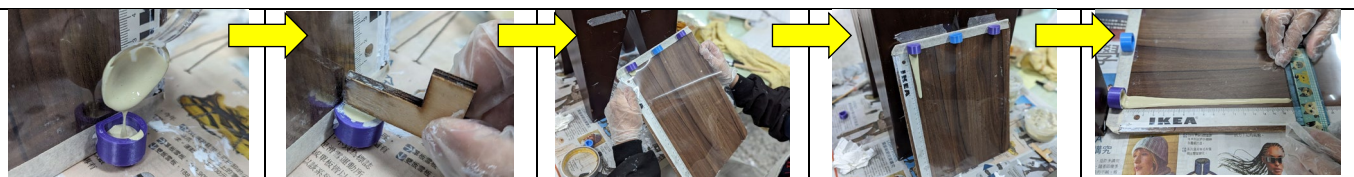
八、**「紅外線加熱」標準檢測流程**：

1. **固定檢測板**：將檢測板放上固定架。固定架可調整寬度，用來固定厚度不同的檢測板。
2. **測量原始溫度**：以溫度計紀錄室溫。以前、後兩台紅外線測溫槍測量檢測板正面、反面原始溫度。（我們定義**檢測板「正面」**為紅外線燈箱加熱那一面，**「反面」**為沒有加熱那一面！）
3. **紅外線燈箱加熱**：以 250W、220V 紅外線燈箱開始加熱，加熱 3 分鐘。
4. **測量紅外線功率**：開始加熱後，以**紅外線功率計**測量檢測板漫射的紅外線功率。
5. **測量加熱後溫度**：加熱 3 分鐘後，以前、後兩台**紅外線測溫槍**同時測量正反面加熱後溫度。
6. **紅外線燈箱降溫**：為了避免加熱的餘溫造成實驗誤差，將燈箱和檢測板放在電風扇前降溫。
7. **測量三次計算平均**：為了讓實驗準確，同一塊檢測板會測量三次，求平均。



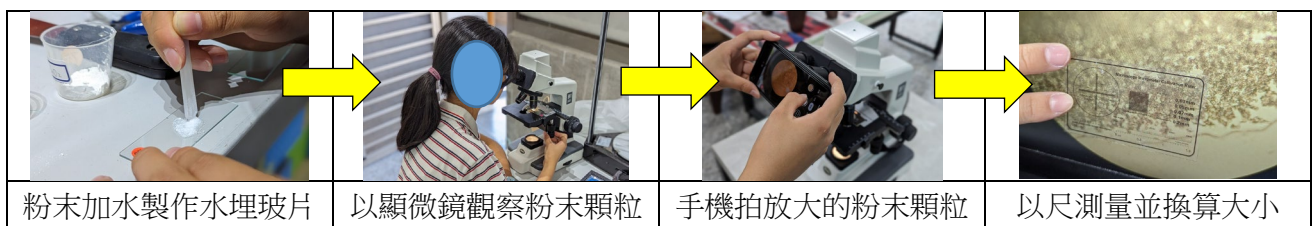
<p><b>固定檢測板</b> 將檢測板固定在固定架上。檢測板下方中央會<b>畫線</b>，以對準中央。</p>	<p><b>測量原始溫度</b> 紅外線測溫槍前後兩台測量水泥板正、反面原始溫度。</p>	<p><b>加熱→測紅外線功率</b> 以 250W、220V 紅外線燈箱加熱三分鐘。測量紅外線漫射功率。</p>	<p><b>測量加熱後溫度</b> 加熱 3 分鐘後，測量正面和反面溫度。降溫後再重測，求三次平均。</p>
--	---	---	--

九、**「濃稠度檢測流程**：我們發現塗料的**濃稠度**會影響塗抹狀況。因此自製了**濃稠度斜坡裝置**。將 3D 列印自製量杯貼在木板上。每次檢測前，將投影片貼在木板上，讓塗料裝滿量杯，翻轉木板後，讓 1.5ml 塗料在 70 度角斜坡上流動 1 分鐘，**測量流動距離**。



<p>3D 列印 1.5ml 量杯，讓塗料量相同。</p>	<p>塗料裝滿量杯，將多餘的塗料刮除。</p>	<p>將板子翻過來，變成 70 度角斜坡。</p>	<p>塗料從量杯中流出，計時一分鐘。</p>	<p>測量一分鐘後，塗料的流動距離。</p>
-------------------------------	-------------------------	---------------------------	------------------------	------------------------

十、**「粉末顆粒粒徑檢測**：為了確認**粉末顆粒大小**，將粉末調水製作成水埋玻片。以**顯微鏡**觀察照相後，以筆電播放照片，測量五次顆粒粒徑並平均，再透過比例換算成**實際粒徑(μm)**。



<p>粉末加水製作水埋玻片</p>	<p>以顯微鏡觀察粉末顆粒</p>	<p>手機拍放大的粉末顆粒</p>	<p>以尺測量並換算大小</p>
-------------------	-------------------	-------------------	------------------

## 陸、研究過程與結果

### 實驗一、底材的選擇：

#### (一)、研究動機：

我們的研究是降溫塗料，因此先尋找各種底材進行測試，看哪一種最適合實驗！

#### (二)、研究方法：

##### 1. 底材種類：我們尋找與製作適合作為底材的正方形板子，如下：

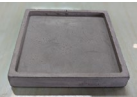
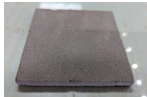
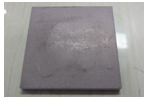

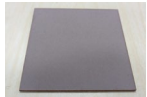
- (1) 從網路上購買市售邊長 10cm 的正方形水泥板（形狀為有邊框的盤子）。
- (2) 購買白俄緞木板及美國卡紙，以雷雕機切成邊長 10cm 的正方形板子。
- (3) 以市售水泥砂及樂土水泥灌模，自行製作邊長 10cm 正方形水泥板
- (4) 將各種底材以紅外線檢測裝置加熱 3 分鐘，測升溫及紅外線功率。測三次，求平均。

##### 2. 水泥板厚度：經實驗評估決定以樂土水泥當成底材，並透過實驗找出最佳水泥板厚度。

- (1) 以 3D 列印製作不同高度模板，灌入矽膠製成矽膠模，由此自製出不同厚度水泥板。
- (2) 將各種厚度的水泥板，以紅外線檢測裝置加熱，每 30 秒檢測一次，確認升溫狀況。

##### 3. 水泥板粗糙度：水泥板接觸矽膠的面比較光滑，粗糙程度是否會影響？我們測試同一片水泥的光滑和粗糙面，了解升溫狀況。

#### (二)、實驗數據：1. 底材種類比較：(室溫：25℃)(燈泡 250W)

底材	市售水泥板	自製水泥板		白俄緞木板	美國卡紙(灰色)
		一般水泥	樂土水泥		
照片					
製作方式	網路購買	24 小時乾燥	2 小時乾燥	網路購買	書局購買
厚度 (mm)	8.7	8.7 (可改變厚度)	8.3 (可改變厚度)	4.8	1.5
價格 (元/片)	28	4.7	10.5	6.6	1.7
特點	昂貴、盤子型	不平整、易碎	平整、硬度夠	需裁切、硬度夠	需裁切、厚度太薄
紅外線功率(W/m <sup>2</sup> )	136	117	104	241	270
正/反面升溫 (℃)	57.2 / 37.8	63.2 / 42.4	63.1 / 48.0	68.6 / 41.4	78.5 / 63.1

小結：(1) 水泥板的紅外線漫射功率低，升溫慢，適合當作塗漆底材。水泥板中以「樂土水泥」最適合，因為表面平整、硬度夠、乾燥速度快、能調整厚度、價格合理。

(2) 白俄緞木板製作方便、背面升溫慢，但紅外線漫射功率本身過高，會影響塗料效果判斷

(3) 美國卡紙製作方便、價格便宜，但厚度過薄、升溫太快，不適合當作底材使用。

## 2. 水泥板厚度：(室溫：29°C) (燈泡 175W)

厚/溫度(°C)	原始	30秒	60秒	90秒	120秒	150秒	180秒	3min 升溫	紅外線 功率
0.25cm	脫膜後，水泥板就破碎，無法測量								
0.5cm	正	28.6	42.3	50.6	57.0	62.3	67.6	76.2	47.6
	反	28.6	36.1	41.9	48.7	53.4	57.4	63.8	35.2
0.75cm	正	28.0	38.7	43.1	49.5	54.1	58.2	61.6	33.6
	反	28.1	32.6	37.7	41.5	46.2	50.1	53.0	24.9
1cm	正	28.3	38.4	43.4	47.9	52.2	55.8	59.0	30.7
	反	28.2	31.6	35.4	39.4	42.9	45.1	49.9	21.7

小結：(1) 水泥板不能太薄，0.25cm 的水泥板無法製作成型！

(2) 水泥板越厚，升溫越少。但紅外線漫射功率不受厚度影響！

(3) 0.75 和 1cm 厚的水泥板，皆能穩定的升溫。我們決定使用

**1cm 水泥板**，因為升溫穩定，厚度也容易固定在固定架上。

## 3. 水泥板粗糙度：(水泥板厚 1 cm) (室溫：29°C) (燈泡 175W)

溫度(°C)	原始	30秒	60秒	90秒	120秒	150秒	180秒	3min 升溫	
光滑面	正	29.9	43.8	48.9	54.1	59.0	63.8	67.3	37.4
	反	28.7	34.6	39.9	44.5	48.8	52.6	56.5	27.8
粗糙面	正	31.4	45.6	51.2	56.3	61.2	65.2	69.4	38.0
	反	30.7	35.5	40.0	44.8	49.7	53.5	56.7	26.0

小結：(1) 光滑面和粗糙面的升溫狀態差異不大。

(2) 為使塗料更容易上漆，我們選擇用光滑面上漆。

### (三)、實驗結果

我們決定使用**樂土水泥**〔灌注一般型(灰色)〕作為底材的材料，並製作成**1cm 厚**，以**光滑面**當作正面塗漆和加熱！雖然樂土水泥的價格略高，製作程序繁雜，但**硬度夠硬**、**成品的光滑度較高**，而且**乾燥速度快**，適合作為製作底板的主要材料。老師使用電鑽協助幫忙攪拌水泥，我們能在**1小時灌模 15片水泥板**（請參考「實驗裝置設計」的灌模水泥板）。

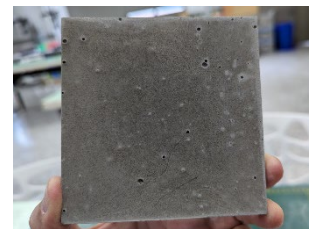
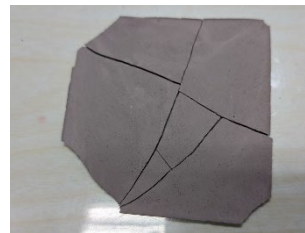


圖 6：使用厚度計測量水泥板的厚度。

圖 7：一般水泥製作的水泥板容易碎裂。

圖 8：0.25cm 水泥板太薄，脫膜時就碎裂。

圖 9：粗糙面不易上漆，不適合當加熱面。

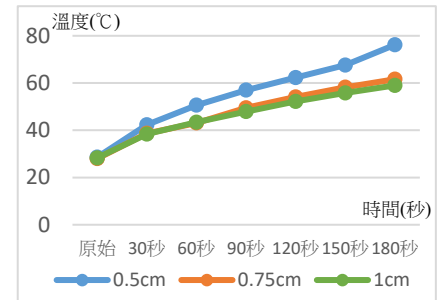


表 1：水泥板厚度正面升溫折線圖

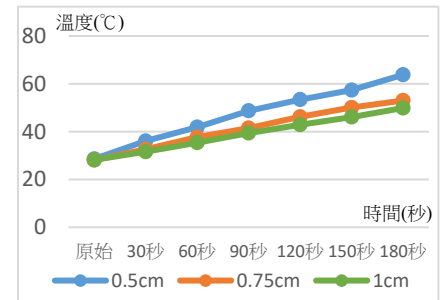


表 2：水泥板厚度反面升溫折線圖

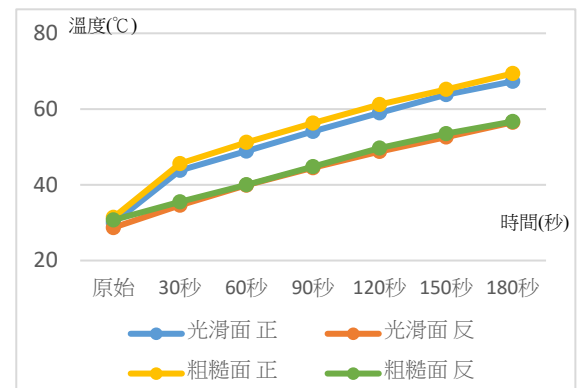


表 3：水泥板粗糙度正反面升溫折線圖



## 實驗二、塗料的顏色：

### (一)、研究歷程及方法：

除了底材，**塗料顏色**對紅外線漫射和升溫會不會有影響？我們選擇**品牌相同的六色「廣告顏料」**(黑、白、黃、藍、紅、綠)當作塗料，並把在美術社意外發現的「**特白水彩**」納入比較。不過，**廣告顏料無法塗在水泥板上**，所以我們以厚度 5mm 的白俄椴木板作為底材用紅外線檢測裝置加熱 3 分鐘，測量升溫及紅外線漫射功率。測三次，求平均。

### (二)、實驗數據：(室溫：21℃)(燈泡 175W)

顏色	無(原木)	黑	白	黃	藍	紅	綠	特白
紅外線功率 (w/m <sup>2</sup> )	276	159	305	288	283	292	278	312
正面升溫 (°C)	63.3	121.8	58.5	68.4	72.2	62.8	75.5	48.8
反面升溫 (°C)	36.0	57.4	27.8	33.3	33.4	32.9	38.3	26.4

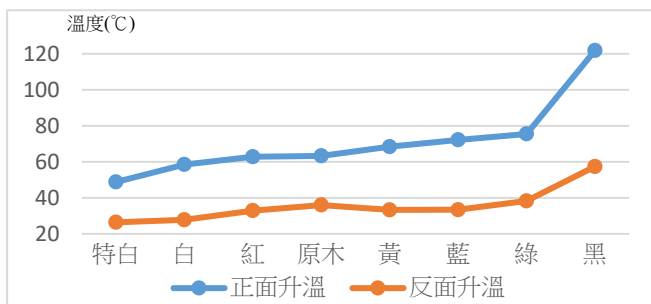


表 4：塗料顏色正反面升溫折線圖

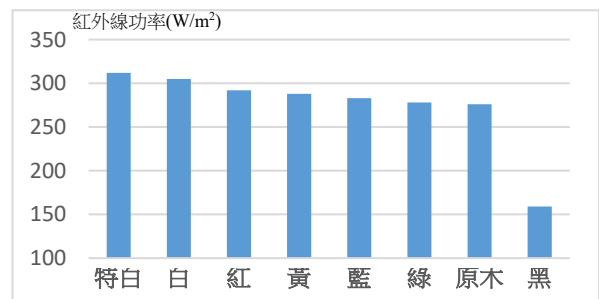


表 5：塗料顏色紅外線漫射功率長條圖

### (三)、實驗結果

1. 白色升溫最少，紅外線漫射功率最高，因此**白色最適合當降溫塗料的顏色！**
2. **紅色**升溫少，推測熱源為紅外線燈，漫射紅色光的效果較佳；**黃色**升溫少，能當降溫塗料，而且**漫射光害少，不會造成反光刺眼**。深色（藍、綠、黑）容易吸熱不適合降溫。其中黑色降溫效果最差，最不適合做為降溫顏色！
3. 無塗漆的原木不易升溫！因此木板不適合當實驗底材，本身就可能減少升溫。
4. **紅外線漫射功率越高，通常升溫越少**。表示**提升紅外線漫射就能增加降溫效果！**
5. 特白顏料比白色降溫效果還要好！表示**越白越容易降溫**，可思考如何**提高白色程度**。



圖 10：將紅色廣告顏料塗在白俄椴木板上。



圖 11：以刮刀將黑色顏料塗均勻。

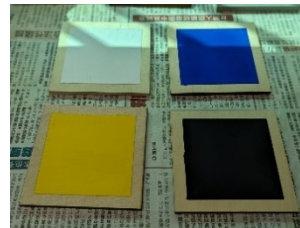


圖 12：各種顏色的木板放置乾燥。



圖 13：木板本身不易升溫，不適合當底材。

### 實驗三、塗料的製作：

#### (一)、研究歷程及方法：

從「實驗二：塗料的顏色」知道白色最適合當降溫塗料，我們開始尋找調配顏色的基本漆。購買了市售透明水泥漆（簡稱透明漆）和白色水泥漆（成分皆為「甲基丙烯酸甲酯」）。將其塗在 1cm 厚水泥板，以紅外線檢測裝置測量三分鐘後升溫程度及紅外線漫射功率。

確認基本漆後，我們直接將白色粉末混入基本漆中，以快速製作塗料。並以常用的白色顏料原料「二氧化鈦」測試粉末和透明漆不同比例的效果。

#### (二)、實驗數據：

##### 1. 基本漆的選擇：(室溫：24°C) (燈泡 175W)

顏色	無塗漆	透明漆	白漆
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	65.7	60.5	142
正面升溫 (°C)	32.7	34.4	18.7
反面升溫 (°C)	21.7	25.0	12.7

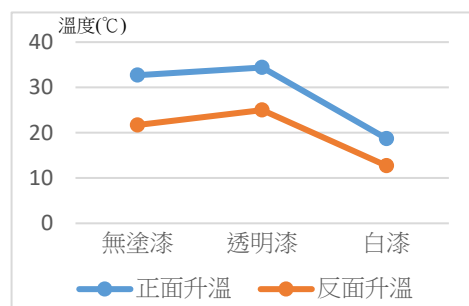


表 6：基本漆正反面升溫折線圖

小結：(1) 升溫由少到多排序為白漆 > 無塗漆 > 透明漆。

(2) 塗白漆能夠有效降溫，紅外線漫射功率也高。

(3) 透明漆的降溫效果比無塗漆還差，容易看到添加物的影響！因此適合當混合粉末的基本漆！

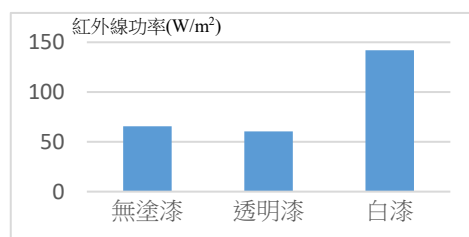


表 7：基本漆紅外線漫射功率長條圖

##### 2. 二氧化鈦比例：(室溫：21°C) (透明漆 50ml，混入不同比例二氧化鈦) (燈泡 175W)

二氧化鈦量(ml)	0	2.5	5	10	15	20	25
塗抹表面		顏色不夠白	顏色不夠白	有一點顆粒	有一點顆粒	有大小顆粒	有很多顆粒
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	60.5	106	120	123	131	139	139
正面升溫 (°C)	34.4	25.2	22.2	20.8	20.6	16.3	17.2
反面升溫 (°C)	25.0	18.0	17.7	17.5	14.5	13.2	14.5

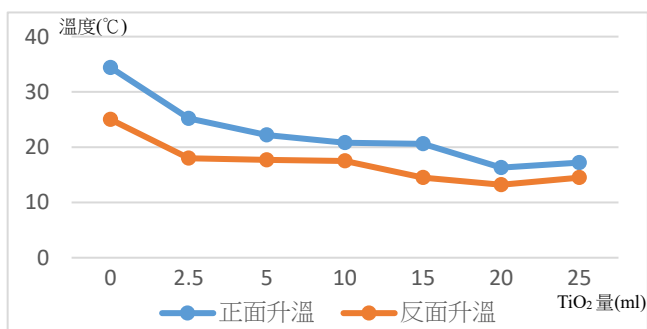


表 8：二氧化鈦比例正反面升溫折線圖

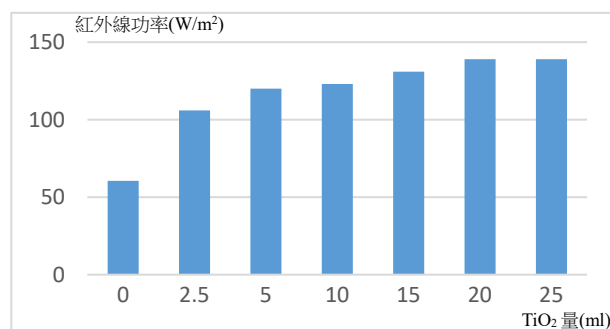


表 9：二氧化鈦比例紅外線漫射功率長條圖



小結：(1) 二氧化鈦比例越高，越白、升溫越少、紅外線漫射功率越高！

(2) 二氧化鈦比例越高，漆的濃稠度高且紅外線漫射增加，但過多時表面出現白色顆粒（如圖 17），且降溫效果並沒有隨著二氧化鈦比例的增加而變得更好，紅外線功率則持平。

(3) 「透明漆：二氧化鈦=50：15」比例時，降溫效果好，又不會產生過多的表面顆粒。

### （三）、實驗結果

1. 透明漆塗在水泥板時比沒有塗漆的水泥板降溫更差！因此透明漆很適合當作混合粉末的基本漆。只要混合粉末的透明漆降溫效果好，就可推測是粉末本身造成的影響！

2. 二氧化鈦比例越高，塗料越白，降溫效果越好！但過多時二氧化鈦和透明漆無法均勻混合（表面出現顆粒）。二氧化鈦以體積「透明漆：二氧化鈦=50：15」作為基本調配比例。



圖 14：透明漆偏白，乾掉後是透明！

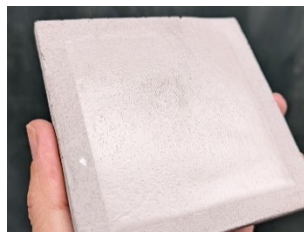


圖 15：水泥板塗上透明漆，升溫嚴重。



圖 16：不同比例二氧化鈦混入透明漆中。



圖 17：透明漆：二氧化鈦=50：20 顆粒很多！

**確認了基本底材、塗料製作，我們開始搜尋相關粉末，進行測試！**

### 實驗四、製作白色顏料初試：


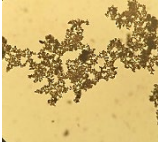
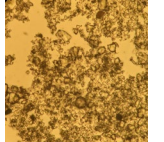
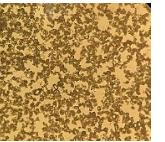

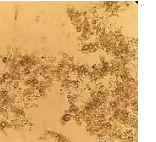
#### （一）、研究歷程及方法：

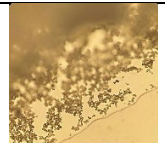
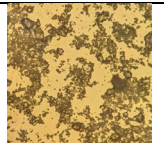
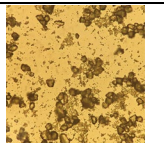
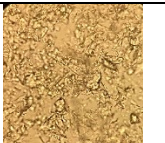
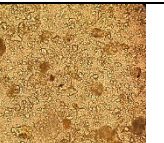

從「實驗二」發現白色塗料降溫效果最佳！為了自製白色塗料，我們搜尋文獻，購買各種白色顏料的成分粉末，分類如下：①著色顏料（白色顏料成分）、②體質顏料（填料成分）、③特種顏料（耐熱隔熱材料）。我們挑了 18 種粉末，調配成漆(50ml 透明漆加入 15ml 粉末)測試：


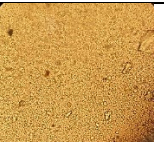
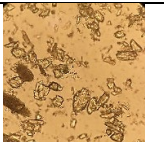
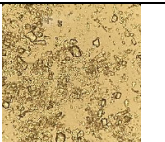
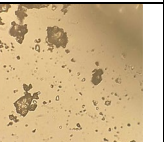

1. 粉末顆粒粒徑檢測：粉末加水製成玻片放在顯微鏡觀察拍照，測量五次粒徑，求平均。
2. 覆蓋明度檢測：將自製塗料塗在黑色卡紙上，以印表機掃描，使用 Photoimpact 繪圖軟體的「色彩選擇工具」檢測 HSB 色彩模式的明度（B），用來取代白度檢測。
3. 正反面升溫、紅外線漫射功率檢測：將自製塗料塗漆在 1cm 厚水泥板上，以紅外線檢測裝置加熱 3 分鐘，測量升溫及紅外線漫射功率數值，測三次，求平均。

同時，以坊間的特白顏料做為對照組。另外，為了更清楚看見升溫的差異，從這次實驗開始熱源增加，燈泡由 175W 改為 250W。

(二)、實驗數據：(室溫：21℃)(透明漆：粉末體積=50：15)(燈泡 250W)(顯微鏡 400 倍)

粉末種類	著色顏料 (白色顏料成分)					
粉末名稱	二氧化鈦	氧化鋅	立德粉	蛤粉	白堊土	高嶺土
化學成分	TiO <sub>2</sub>	ZnO <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub> 、ZnS	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
塗料顏色	超白(飽和)	透白	灰偏白	灰白(偏白)	豆漿白	象牙白、米黃
顯微鏡照片 (400 倍)						
顆粒粒徑(μm)	2	3	17	8	27	22
覆蓋明度(%)	100	91	38	47	43	41
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	287	235	187	173	185	163
正面升溫(°C)	35.0	40.2	60.0	60.6	58.6	61.0
反面升溫(°C)	23.7	32.7	44.1	41.4	42.8	43.6

粉末種類	體質顏料 (填料成分)					
粉末名稱	硫酸鋇	輕質碳酸鈣	重質碳酸鈣	滑石粉	沸石	石灰粉
化學成分	BaSO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>
塗料顏色	灰白(偏白)	透白	灰白	灰白	咖啡色	灰白(偏白)
顯微鏡照片						
顆粒粒徑(μm)	2	4	12	39	70	19
覆蓋明度(%)	55	49	47	32	46	55
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	166	182	175	177	184	183
正面升溫(°C)	56.0	57.2	58.4	64.6	62.2	57.9
反面升溫(°C)	39.5	42.9	42.8	43.1	40.2	40.8

粉末種類	體質顏料 (填料)		特種顏料 (耐熱隔熱材料)			其他
粉末名稱	矽藻土	皂土	石膏	雲母粉	氧化鋯	特白顏料
化學成分	SiO <sub>2</sub> +AlO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Si	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> ·光擴散劑
塗料顏色	透明	土黃、灰綠	灰略白	淡黃、象牙白	米黃色	特白
顯微鏡照片						
顆粒粒徑(μm)	31	15	48	34	27	9
覆蓋明度(%)	22	45	39	31	37	100
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	160	166	177	166	235	298
正面升溫(°C)	66.5	55.8	61.6	60.8	45.5	28.4
反面升溫(°C)	44.3	43.0	44.0	40.9	28.7	18.2

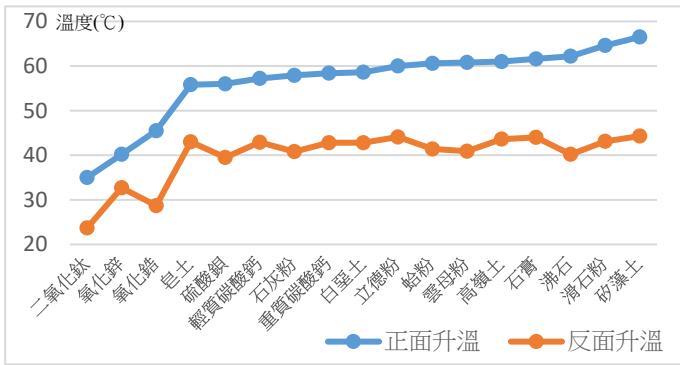


表 10：不同粉末正反面升溫折線圖

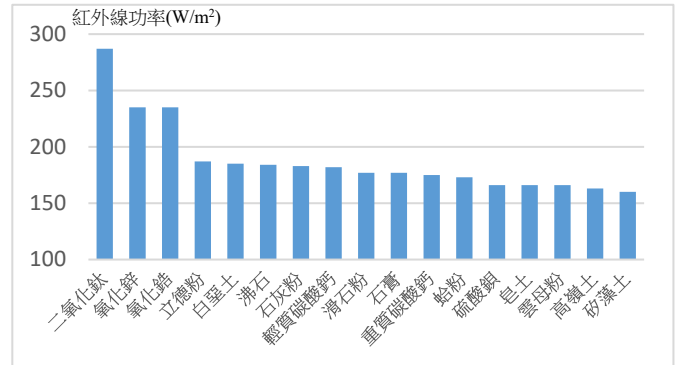


表 11：不同粉末紅外線漫射功率長條圖

### (三)、實驗結果

1. 粉末中**二氧化鈦**效果最佳，紅外線漫射功率最高，明度 100%，是良好的降溫材料。
2. **粉末的明度大多低於 60%！**推測因**二氧化鈦少量就很白**，若以二氧化鈦最佳比例 50：15 調配時會**造成其他粉末比例不足顏色不白**，降溫差。可見**不同粉末最佳比例不同**。
3. 我們從 **18 種**粉末挑出 **9 種降溫效果佳或有特色的粉末**（二氧化鈦、氧化鋅、蛤粉、硫酸鋇、輕質碳酸鈣、滑石粉、石灰粉、雲母粉、氧化鋁）找出其**最佳化比例**，進行測試。
4. 特白顏料的降溫效果極佳！但，塗料乾後會裂開脫落（圖 24），無法當成油漆使用。

### 實驗五、漫射型粉末種類最佳化：

#### (一)、研究歷程及方法：

我們將混合的粉末分成漫射型和阻隔型粉末，漫射型粉末的部分，我們選出 9 種粉末測試各自**最佳化比例**（逐漸添加粉末量，製作成塗料，塗在黑色卡紙看明度的程度，添加到「無法增加明度、塗料過度濃稠或是出現團聚顆粒」，則為該粉末**最佳化比例**）。並將這些塗料塗在水泥板上檢測升溫及紅外線漫射功率。並進一步使用**濃稠度斜坡裝置**檢測濃稠度。

#### (二)、實驗數據：(室溫：23°C) (燈泡 250W)

粉末名稱	二氧化鈦	氧化鋅	硫酸鋇	氧化鋁	滑石粉	雲母粉
最佳化比例	50：15	50：35	50：40	50：30	50：40	50：50
化學成分	TiO <sub>2</sub>	ZnO <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>
覆蓋明度(%)	100	99	62	86	44	56
顆粒粒徑(μm)	2	3	2	27	39	34
價格(元/ml)	0.28	0.19	0.16	2.00	0.02	0.10
濃稠度(cm)	4.8	4.5	12.3	24.3	4.0	0.4
紅外線功率 (w/m²)	287	265	202	257	188	182
正面升溫(°C)	35.0	46.1	56.0	41.3	55.8	64.4
反面升溫(°C)	23.7	30.0	38.5	24.4	37.0	43.1



粉末名稱	蛤粉 <sup>👑</sup>	石灰粉	輕質碳酸鈣
最佳化比例	50 : 50	50 : 50	50 : 50
化學成分	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
覆蓋明度(%)	100	98	67
顆粒粒徑(μm)	8	19	4
價格(元/ml)	0.34	0.05	0.05
濃稠度(cm)	0	0	5.2
紅外線功率(W/m <sup>2</sup> )	306	285	210
正面升溫(°C)	34.4	37.5	57.7
反面升溫(°C)	20.5	22.6	37.7

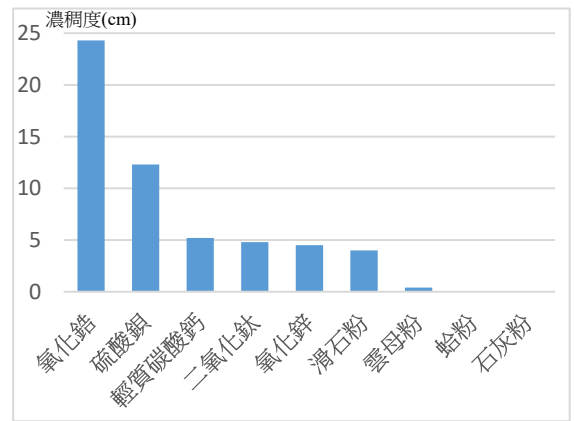


表 12：最佳化漫射型粉末濃稠度長條圖

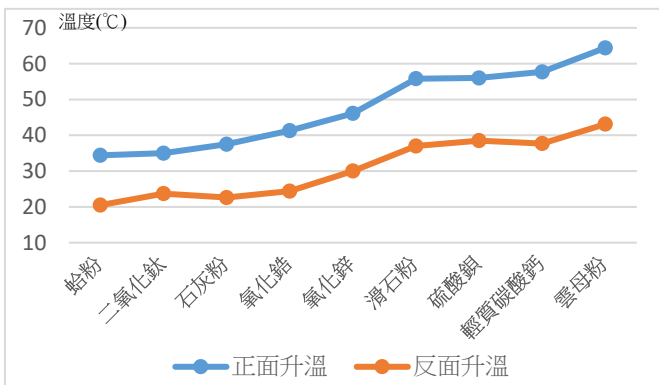


表 13：最佳化漫射型粉末正反面升溫折線圖

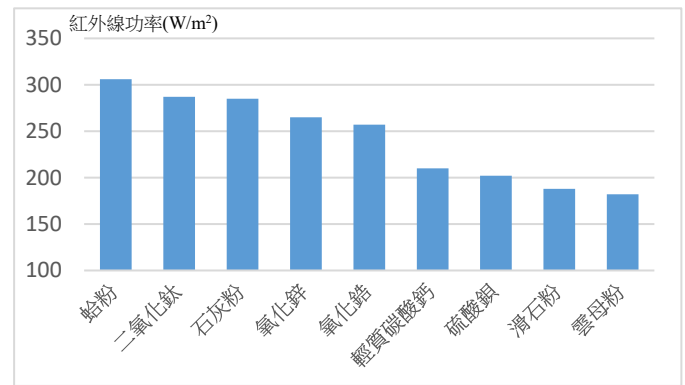


表 14：最佳化漫射型粉末紅外線漫射功率長條圖

### (三)、實驗結果

1. 不同種類粉末達到最佳化的比例不同！粉末達到最佳化後，降溫佳、漫射功率也上升。
2. 二氧化鈦和氧化鋅皆為「添加少量就可增加塗料白度和紅外線漫射功率」且不濃稠。
3. 蛤粉和石灰粉皆為「以高濃稠度增加紅外線漫射功率和降溫」，但太濃不易塗漆。其中以蛤粉效果最佳，紅外線漫射功率甚至超越二氧化鈦。
4. 氧化鋅是米黃色（不刺眼），但降溫和紅外線漫射效果皆佳！不濃稠，但塗料過稀時會滲出厚度板，不易塗漆。而雲母粉雖然降溫不佳，但添加後塗料極滑順，能輕鬆塗抹。
5. 顆粒越小的粉末（粒徑 < 15μm）通常降溫和紅外線漫射功率都較佳！
6. 經由上述研究，我們選出「二氧化鈦、蛤粉、氧化鋅、雲母粉」進行後續的深入研究。



圖 18：氧化鋅是米黃色，但降溫效果佳。



圖 19：皂土像黏土一樣可揉成團，不像油漆！

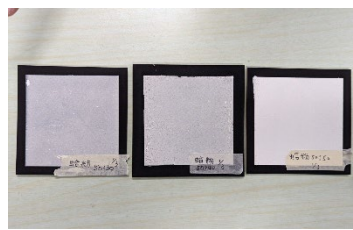


圖 20：不同比例的蛤粉（越往右邊，量越多）。

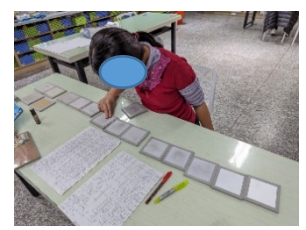


圖 21：研究不同粉末製作成塗料的差異！

## 實驗六、阻隔型粉末種類最佳化：

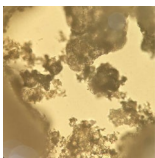
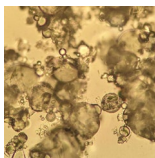
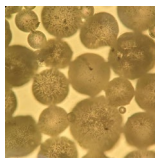
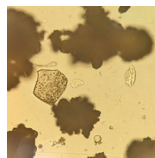
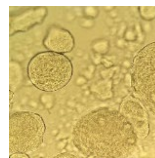
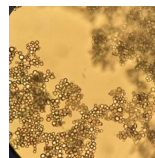
### (一)、研究歷程及方法：

外牆會因塗料而降溫，有兩種可能性。第一種是塗料能夠漫射紅外線，避免熱藉由輻射增加水泥牆表面溫度（如實驗五）。另一種原因則是熱藉由傳導傳入水泥牆中，只要塗料的成分能阻隔熱傳導，那就能降溫。因此，我們開始搜尋有阻隔能力的粉末進行測試。

我們蒐集的兩種阻隔粉末為：❶內部中空或含空氣；❷本身耐高溫。網路提到的「氣凝膠」是我們覺得最神奇的，但氣凝膠昂貴無法購買！我們聯絡氣凝膠廠商，老闆還大方免費提供我們氣凝膠的樣品，讓我們進行測試！另外，實驗四中「特白顏料」降溫效果極佳，我們從特白顏料成分中發現了「光擴散劑」。上網搜尋到光擴散劑的廠商，與老闆聯繫後，他也願意零賣光擴散劑給我們！

我們將蒐集到的粉末分類後，以「透明漆：粉末=50：15」的體積比例開始不斷向上調整測試，直到找出每種粉末的最佳比例製作塗料，並進行明度、濃稠度、升溫和紅外線漫射功率測試。

### (二)、實驗數據：(室溫：24°C)(顯微鏡 400 倍)(燈泡 250W)

粉末種類	內部中空或含空氣			本身耐高溫		
粉末名稱	氣凝膠	中空玻璃砂	中空陶瓷砂	陶粒砂	二氧化矽	光擴散劑
最佳化比例	50：30	50：50	50：30	50：30	50：30	50：70
化學成分	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> ·B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> 、 矽乙烷球狀樹脂
塗料顏色	白(透明感)	白偏米色	灰	咖啡色	灰白	白
顯微鏡照片 400 倍						
顆粒粒徑(μm)	1	14	95	60	129	4
價格(元/ml)	無法估價	0.09	0.06	0.09	0.05	0.76
覆蓋明度(%)	61	26	53	46	55	97
濃稠度(cm)	1.3	0.1	8.5	17.9	0	3.0
紅外線功率 (w/m <sup>2</sup> )	202	160	126	140	143	233
正面升溫(°C)	43.7	49.5	52.5	53.0	49.1	39.6
反面升溫(°C)	32.6	39.4	41.2	38.7	38.0	29.4
塗料特色	顆粒會結塊，降溫效果佳，但價格貴不易取得。	添加量較多。整體效果不突出。	顏色為灰色。整體效果皆不佳。	顏色為深色。整體效果皆不佳。	價格便宜，降溫是前三名。	需添加很多量，降溫和紅外線功率是第一名。



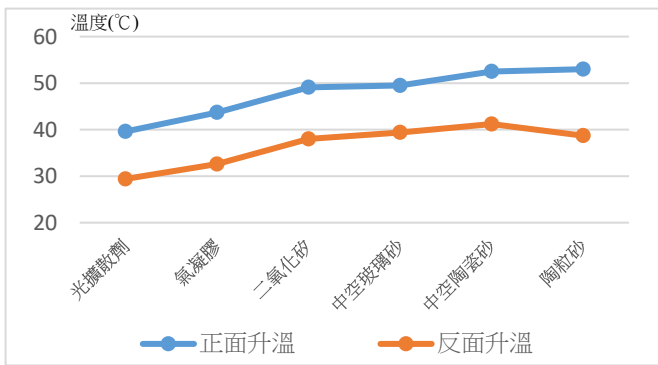


表 15：最佳化阻隔型粉末正反面升溫折線圖

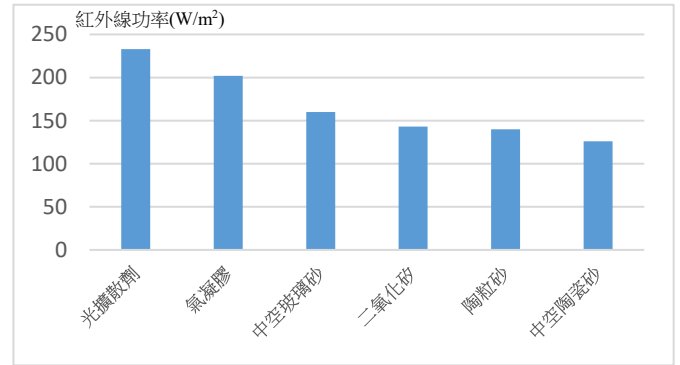


表 16：最佳化阻隔型粉末紅外線漫射功率長條圖

### (三)、實驗結果

1. 阻隔型粉末的降溫效果比漫射型粉末差，推測是阻隔型粉末的白度較低，造成紅外線漫射功率也較低，因此水泥板正面的溫度會較高。
2. 光擴散劑的主要原料是二氧化矽，經加工製成矽乙烷球狀樹脂，而且在表面做硬化鍍處理(由老闆提供資訊)。測試後的降溫和紅外線漫射效果皆佳，適合再進行後續研究。
3. 二氧化矽的降溫和紅外線漫射效果不錯，且價錢便宜，可再繼續進行研究。
4. 氣凝膠的降溫和紅外線漫射效果不錯，但因為難以取得、價格昂貴，不適合深入研究。



圖 22：氣凝膠粉末很輕，感覺不到重量。



圖 23：氣凝膠塗料降溫效果佳但成本過高。

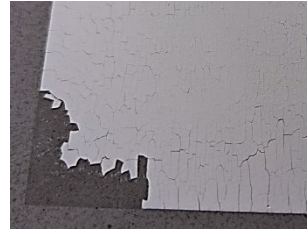


圖 24：特白顏料會掉漆，內含光擴散劑。



圖 25：二氧化矽塗料顆粒感很重。

### 實驗七、最佳配方的調配：

#### (一)、研究歷程及方法：

我們從「實驗四~六」的 24 種粉末中，篩出最後六種效果佳或有特色的粉末，歸納如下：

二氧化鈦	①使用少量就能讓塗料很白 ②降溫效果佳 ③紅外線漫射效果佳。
蛤粉	①濃稠度高，塗料很濃 ②降溫效果佳 ③紅外線漫射效果佳。
二氧化矽	①有沙沙的顆粒 ②濃稠度高，塗料很密 ③降溫效果佳 ④阻隔性高。
光擴散劑	①讓顆粒均勻分散 ②顆粒很小 ③使用量多 ④降溫效果佳 ⑤阻隔性高。
氧化鋅	①黃色系的粉末，塗料不會造成反光刺眼 ②濃稠度低，塗料很稀。
雲母粉	①塗料滑順，容易塗漆 ②能修補塗料表面裂痕。

配方調配的可能性太多種，我們決定選出幾種適合當塗料主體的粉末（TiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>、蛤粉），以最佳化比例再添加其他特色粉末進行混合（5ml）。製作出塗料後，檢測升溫、紅外線漫射功率及濃稠度。若有適合搭配的粉末，則修正添加粉末量，找出最適合的比例。

(二)、實驗數據：

1. **主體「二氧化鈦」**：(室溫：29°C) (透明漆：二氧化鈦：其他粉末=50：15：5)

添加類型	對照組	添加粉末 (添加 5ml)						添加 10ml
		無添加	蛤粉	二氧化矽	雲母粉	氧化鋅	光擴散劑	光擴散劑
濃稠度(cm)	4.8	3.9	3.4	3.7	10.2	3.2	5.9	
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	309	317	315	315	287	<b>321</b>	296	
正面升溫(°C)	40.0	35.8	35.3	38.7	36.2	<b>30.7</b>	35.0	
反面升溫(°C)	23.5	20.7	20.3	21.5	23.7	<b>16.5</b>	21.8	

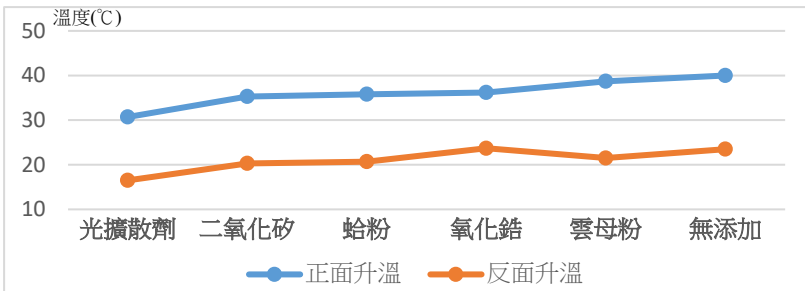


表 17：二氧化鈦添加不同粉末正反面升溫折線圖

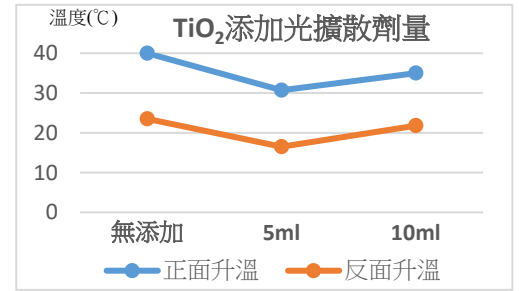


表 18：添加光擴散劑量正反面升溫折線圖

小結：主體為二氧化鈦時，最佳配方為「透明漆：二氧化鈦：光擴散劑=50：15：5」。

2. **主體「蛤粉」**：(室溫：31°C) (透明漆：蛤粉：其他粉末=50：50：5)

添加粉末名稱	對照組	添加粉末 (添加 5ml)						添加 10ml	再加 2.5ml
		無添加	二氧化鈦	二氧化矽	光擴散劑	氧化鋅	雲母粉	雲母粉	氧化鋅
濃稠度(cm)	0	1.8	0	0	8.0	0	0	<b>0.2</b>	
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	323	308	329	320	257	322	296	307	
正面升溫(°C)	32.8	32.5	28.5	29.7	42.6	29.2	31.7	28.1	
反面升溫(°C)	17.6	18.3	20.6	16.4	27.3	14.3	18.2	16.7	
塗料乾掉後狀況	有裂紋	有裂紋	有裂紋	有裂紋	有裂紋	<b>無裂紋</b>	有裂紋	<b>無裂紋</b>	

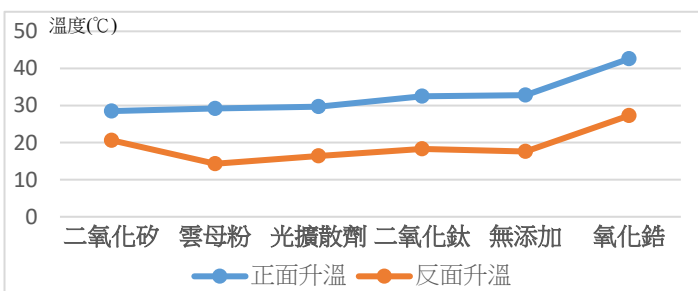


表 19：蛤粉添加不同粉末正反面升溫折線圖

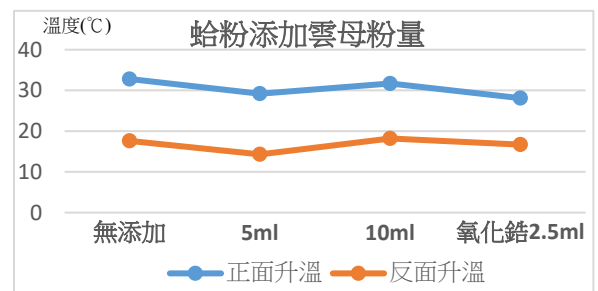


表 20：添加雲母粉量正反面升溫折線圖

小結：蛤粉表面容易出現裂紋，添加雲母 5ml 能讓表面平滑無裂痕！為了改善塗料太濃稠問題，我們添加 2.5ml 的氧化鋅使塗料變稀又不會影響太多降溫效果。主體為蛤粉時，最佳配方為「透明漆：蛤粉：雲母粉：氧化鋅=50：50：5：2.5」。

3. **主體「二氧化矽」**：(室溫：28°C) (透明漆：二氧化矽：其他粉末=50：30：5)

添加粉末名稱	對照組	添加粉末 (添加 5ml)					添加 10ml	添加 15ml
	無添加	蛤粉	光擴散劑	氧化鋅	雲母粉	二氧化鈦	二氧化鈦	二氧化鈦
濃稠度(cm)	0	0	0	8	0	0	0	0
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	174	256	257	228	248	299	304	264
正面升溫(°C)	56.1	45.8	44.6	46.7	46.1	34.4	31.1	30.9
反面升溫(°C)	36.5	26.2	25.0	30.1	28.0	18.6	17.6	19.0
塗料乾掉後狀況	無異常	無異常	無異常	無異常	無異常	無異常	無異常	有顆粒

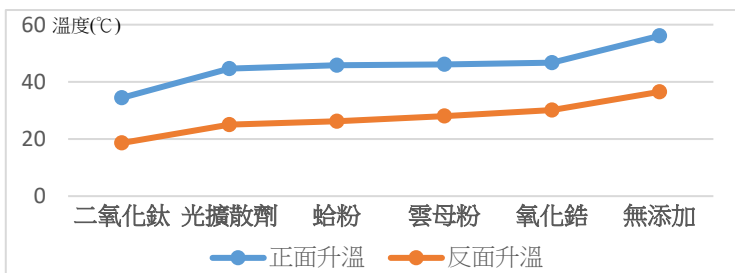


表 21：二氧化矽添加不同粉末正反面升溫折線圖

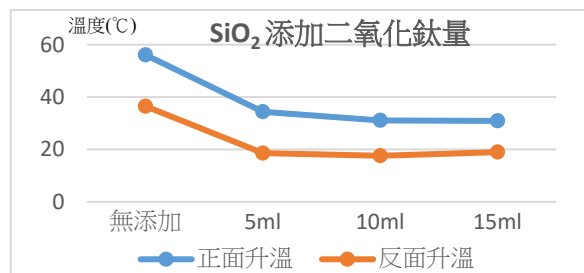


表 22：添加二氧化鈦量正反面升溫折線圖

小結：主體為二氧化矽時，最佳配方為「透明漆：二氧化矽：二氧化鈦=50：30：10」。

### (三)、實驗結果

經過六種粉末的混搭測試，發現塗料粉末還是會分成**著色顏料**（二氧化鈦、蛤粉）、**體質顏料**（二氧化矽）和**特種顏料**（氧化鋅、光擴散劑、雲母）。

我們找到的三種最佳配方是

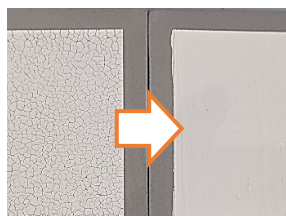


圖 26：蛤粉有裂痕 (左)，加雲母後變平滑



圖 27：蛤粉很濃稠，不易倒出來！



圖 28：蛤粉添加氧化鋅後，變得可以流動。



圖 29：這次科展調配了 300 多種的塗

### 實驗八、自製碳酸鈣微球—顆粒大小：

#### (一)、研究歷程及方法：

我們想知道顆粒大小對塗料降溫的影響，最困難是找到顆粒大小不同的相同粉末，而**碳酸鈣**是我們唯一能自製的粉末（自然課提過二氧化碳和石灰水能產生碳酸鈣）。

我們也蒐集合碳酸鈣成分的物品（貝殼、雞骨頭）以研鉢磨成粉末（圖 30）

但研磨後顆粒不一，有許多雜質。因此我們上網搜尋，發現**製造碳酸鈣微球**

的方法（見文獻七），不但能自製，還能透過檸檬酸**控制顆粒大小**！



圖 30：搗碎雞骨，但顆粒不一。

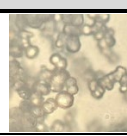
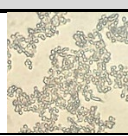
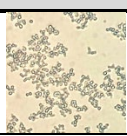
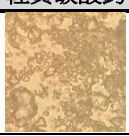
方法如下：



			
<p>❶ 將濃度 10%碳酸鈉溶液、10%氯化鈣溶液和 10%檸檬酸溶液以 2：1：0.3 的比例混合！</p> <p>❷ 倒入果汁機攪拌(控制攪拌時間)。</p>	<p>❸ 將攪拌後的溶液倒入 容器中靜置半日，讓白 色粉膏沉澱。</p>	<p>❹ 以連通管將上方溶 液流乾，留下下方沉 澱的白色粉膏。</p>	
			
<p>❺ 將粉膏倒入濾紙中， 進行過濾。</p>	<p>❻ 將粉膏以加熱板及果 乾機烘烤，去除水分。</p>	<p>❼ 乾燥粉膏黏結成塊， 以研鉢磨開、再烘乾。</p>	<p>❽ 完成自製碳酸鈣粉 末進行塗料測試。</p>

根據文獻，只要改變步驟二果汁機的攪拌時間，就會產生不同顆粒大小的碳酸鈣微球。因為攪拌得越久，碳酸鈣的成核點數量越多，因此形成的顆粒越小。我們將攪拌時間訂為 0 分鐘、5 分鐘和 10 分鐘（為了讓 0 分鐘的溶液均勻混合，仍會以手工輕攪 30 秒混合）。

(二)、實驗數據：(室溫：22°C) (透明漆：碳酸鈣=50：50) (顯微鏡 1000 倍)

攪拌時間	0 分鐘	5 分鐘	10 分鐘	市售 輕質碳酸鈣
顯微鏡照片 1000 倍				
顆粒粒徑(μm)	9	3	1	4
覆蓋明度(%)	99	96	92	49
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	271	261	250	210
正面升溫(°C)	39.4	40.8	43.4	57.7
反面升溫(°C)	23.6	25.7	27.8	37.7
塗料特色	平滑無顆 粒明度高	表面有顆 粒團聚	表面大量 顆粒團聚	明度低 透明感

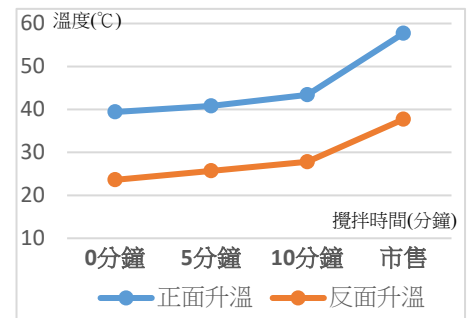


表 23：碳酸鈣攪拌時間正反面升溫折線圖



圖 31：碳酸鈣 表面團聚嚴重 (攪拌 10 分鐘)

### (三)、實驗結果

- 氯化鈣加碳酸鈉的反應式如下：  

$$\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl}$$

氯化鈣                  碳酸鈉                  碳酸鈣                  氯化鈉

製作過程中我們添加了檸檬酸，檸檬酸可以延遲碳酸鈣的產生！讓碳酸鈣慢慢形成結晶，因此就會呈現大小相似、形狀均勻的球體。稱之為「碳酸鈣微球」(microsphere)。
- 當攪拌時間短，碳酸鈣成核點少，能夠凝聚的量也多，因此顆粒大。攪拌時間長，成核點被攪碎成更多，每個成核點能分到的凝聚量變少，因此顆粒變小。
- 攪拌時間越久（10 分鐘），碳酸鈣微球越小（約 1μm），但明度越低，降溫效果越差！推測是因為碳酸鈣微球過小，會出現「團聚現象」（如圖 31）！造成無法均勻分布。

4. 三種自製碳酸鈣降溫效果都勝過市售輕質碳酸鈣！其中以「攪拌 0 分鐘」降溫效果最佳！推測是市售碳酸鈣的顆粒大小形狀不一，無法像自製碳酸鈣微球能夠密集堆疊。

### 實驗九、自製碳酸鈣微球—混合顆粒：

#### (一)、研究歷程及方法：

自製碳酸鈣的降溫效果比市售輕質碳酸鈣還佳！但我們期待能產生更好的降溫效果！大顆粒碳酸鈣之間會有縫隙，如果將大顆粒混合小顆粒，是否能夠產生更密集、縫隙更小的漫射表面？！我們製作出攪拌 0、5、10 分鐘的碳酸鈣溶液，將這三種溶液依照不同比例進行混合，製作成有大小不同顆粒的碳酸鈣粉末，將它製成塗料，檢測降溫效果。

#### (二)、實驗數據：

##### 1. 自製碳酸鈣混合大小顆粒比較：(室溫：23°C) (透明漆：碳酸鈣 = 50 : 50)

類別	攪拌 0 分鐘：5 分鐘：10 分鐘			
溶液比例	1 : 1 : 1	3 : 1 : 1	5 : 1 : 1	7 : 1 : 1
紅外線功率 (w/m <sup>2</sup> )	257	309	309	268
正面升溫(°C)	44.3	30.2	29.1	47.6
反面升溫(°C)	29.0	18.6	17.0	29.0

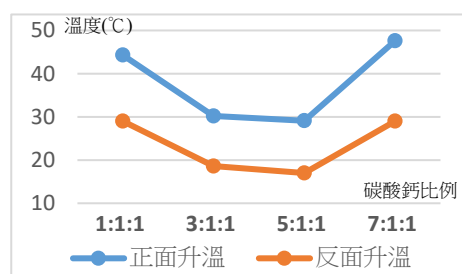


表 24：混合比例正反面升溫折線圖

小結：將不同顆粒大小的碳酸鈣進行混合，會增加紅外線漫射和降溫效果。

其中以「0 分鐘攪拌：5 分鐘攪拌：10 分鐘攪拌 = 5 : 1 : 1」效果最佳！

##### 2. 添加其他粉末：(室溫：31°C) (透明漆：碳酸鈣：其他粉末 = 50 : 50 : 5)

我們將「5 : 1 : 1」添加其他粉末 5ml 進行測試。

添加粉末	無添加	光擴散劑	二氧化矽
紅外線功率 (w/m <sup>2</sup> )	297	306	294
正面升溫(°C)	32.2	32.4	34.3
反面升溫(°C)	16.5	15.7	17.1

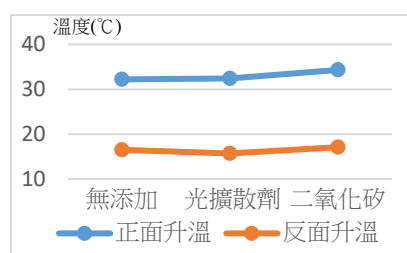


表 25：添加粉末正反面升溫折線圖

小結：「5 : 1 : 1」碳酸鈣添加不同粉末差異不大，但加光擴散劑能增加反面的降溫效果。

#### (三)、實驗結果

- 將攪拌不同時間的碳酸鈣微球混合製作成塗料的降溫效果會優於沒有混合的 0 分鐘！
- 不同顆粒碳酸鈣混合粉末比例以「攪拌 0 分鐘：5 分鐘：10 分鐘 = 5 : 1 : 1」效果最佳
- 不同顆粒碳酸鈣混合粉末若再加入 5ml 光擴散劑，可使反面降溫效果更佳！
- 粉末顆粒小易造成粉末空隙多，我們將 50ml 碳酸鈣換算以秤重 22g，準確度更高！



## 實驗十、「降溫最佳配方」分析與比較：

(一)、降溫最佳配方：經過 **300** 多次調配，**1000** 多次檢測，研發出**四種降溫塗料**如下：

簡稱	配方	特色
漫射型雪白塗料	二氧化鈦+光擴散劑	水狀、白度高、遮蔽效果強、容易塗漆、漫射佳
天然不刺眼塗料	蛤粉+雲母粉+氧化鋅	漿狀、天然材質、米白色不刺眼、兼顧漫射與阻隔
阻隔型快乾塗料	二氧化矽+二氧化鈦	奶油狀、快乾、便宜、細顆粒狀質感、阻隔佳
碳酸鈣微球塗料	三種碳酸鈣微球混合	水漿狀、顆粒細膩、鑲嵌增加白度、兼顧漫射與阻隔

1. 「漫射型雪白塗料」為液狀（圖 32）！市售隔熱漆的濃稠度很高（0 cm）

，但漫射型雪白塗料的濃稠度適中（3.2 cm），方便塗抹大面積施工。

而且**白度超高**，只需薄層就能遮蔽被塗物品，有**高紅外線漫射效果**。



圖 32：漫射型雪白塗料

2. 「天然不刺眼塗料」為漿狀，能緩慢流動（圖 33）。藉由黏稠度，產

生**堆疊密度高的阻隔效果**。蛤粉本身是灰白色，搭配米黃色氧化鋅後，

呈現**米白色**，可減少反光刺眼，但仍擁有很高的紅外線漫射效果。



圖 33：天然不刺眼塗料

3. 「阻隔型快乾塗料」像**奶油狀**，尖端立起，不會下垂（圖 34）！

具有**固體特性**及**滑順質感**。因含有二氧化矽，手指輕壓塗料有紮實

感，搓磨會有顆粒感。**塗漆時快乾**，水泥板上完漆後，會立刻乾燥！

水泥板上漆後摸起來會有**顆粒質感**！



圖 34：阻隔型快乾塗料

4. 「碳酸鈣微球塗料」為水漿狀，濃稠可流動（圖 35）。因**不同粒徑碳**

**酸鈣微球互相鑲嵌而增加紅外線漫射**。摸起來**細膩**，無顆粒感。塗抹

後需一段時間變白。另外，碳酸鈣本身白度不高，**被業界視為填充型**

**的體質顏料**。但，**使用碳酸鈣微球鑲嵌後，白度會因大小顆粒堆積而**

**提升，產生更好的漫射效果！變成兼具阻隔和漫射效果！**



圖 35：碳酸鈣微球塗料

(二)、最佳配方與「市售隔熱漆」比較：

我們購買了**市售隔熱漆**與自製最佳配方進行各種比較！在四種比較測試中，都得到**自製降溫配方效果遠勝於水泥板**，而且**降溫效果比市售隔熱漆略佳**！

1. **紅外線短期加熱**：我們將四種最佳配方與市售隔熱漆進行**紅外線燈加熱 3 分鐘**比較。由表 26 可知，**四種自製最佳配方反面都低於市售隔熱漆**！

其中「**碳酸鈣微球塗料**」正面比水泥板低 **32.2°C**，比市售隔熱漆低 **2.4°C**。反面溫度比水泥板低 **23.9**

**°C**，比市售隔熱漆低 **4.7°C**。

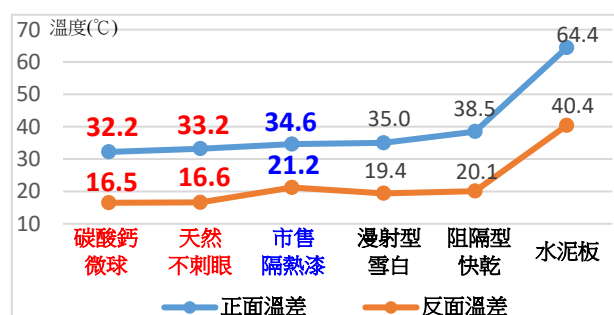


表 26：紅外線短期加熱正反面升溫折線圖

2. **紅外線長期加熱**：以紅外線燈加熱 50 分鐘，測試各種塗料板到達溫度上限變化。由表 27、28 可知，發現加熱約 30 分鐘就到達溫度上限。水泥板背面經過 50 分鐘仍持續上升，但碳酸鈣微球塗料和市售隔熱漆已經達到溫度上限。加熱 50 分鐘後，碳酸鈣微球塗料正面比水泥板低 36.4°C，比市售隔熱漆低 4.2°C。反面比水泥板低 34.8°C，比市售隔熱漆低 7.1°C。

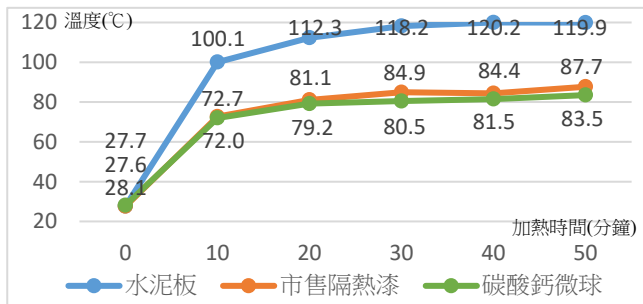


表 27：紅外線長期加熱正面升溫折線圖

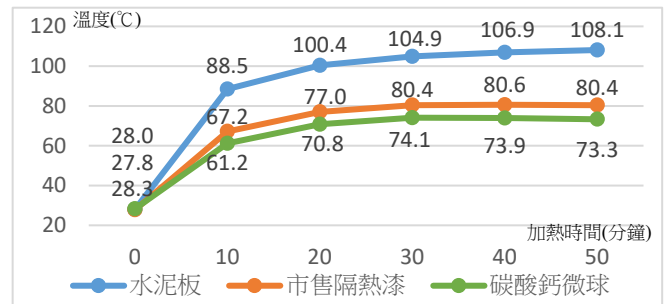


表 28：紅外線長期加熱反面升溫折線圖

3. **日曬水泥板**：我們將塗料板以三腳架架高，放在陽光下曬一天，測試日曬降溫狀況。但因為測試日期 5/10 在梅雨季，只能在晴時多雲的天氣（最高溫 29°C），氣溫不高！根據表 30，最高溫時，碳酸鈣微球塗料反面比水泥板低 8.5°C，和市售隔熱漆效果相似（溫度略低 0.1°C）。



圖 36：日曬水泥板裝

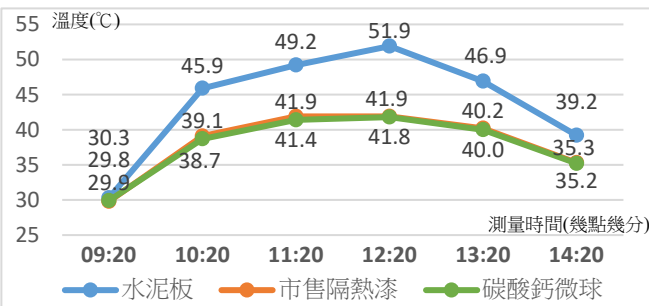


表 29：日曬水泥板正面升溫折線圖

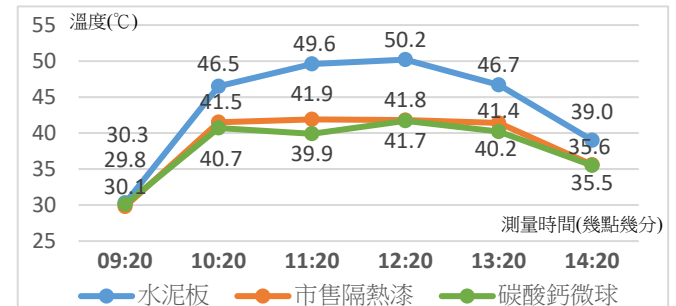


表 30：日曬水泥板反面升溫折線圖

4. **日曬保麗龍盒**：為了模擬頂樓塗漆(屋內室溫變化)。將保麗龍盒(18 x 18x10.5cm)蓋子挖空，鑲入水泥片。以溫度計插入盒中測量內部溫度。測量日期 5/30(午後多雲陣雨)，接近中午時溫度降低！根據表 32，最高溫時，碳酸鈣微球塗料內部比水泥板低 3.0°C，比市售隔熱漆低 0.5°C。



圖 37：日曬保麗龍盒裝置，蓋子鑲入水泥片。

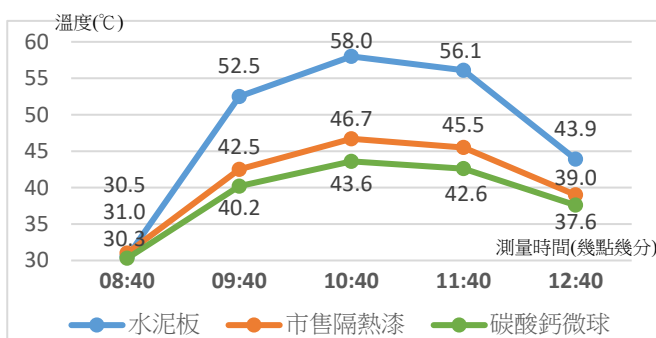


表 31：日曬保麗龍盒外面升溫折線圖

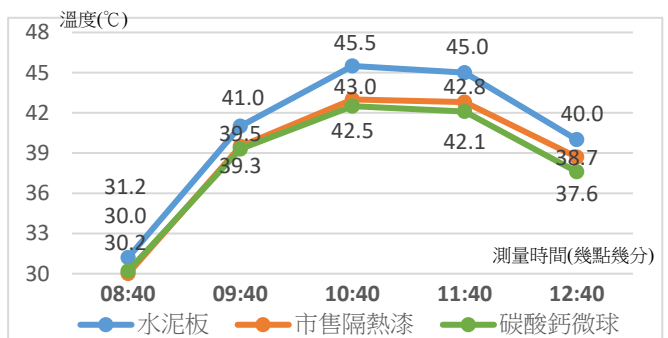


表 32：日曬保麗龍盒內部升溫折線圖

## 柒、討論

### 一、「降溫塗料變因」分析：

降溫塗料主要受到**漫射**和**阻隔**兩種方法影響，我們從實驗歸納出三大影響因素：

1. **白度**：根據「實驗二、塗料的顏色」知道**白色是紅外線漫射功率最高的顏色**。根據「實驗五、漫射型粉末種類最佳化」表 12~14，可知當提升白色的程度，會增加紅外線漫射功率和降溫效果。因此「**白度**（白色含量的百分率）是影響降溫塗料的關鍵！
2. **粉末性質**：粉末的種類不同，漫射紅外線和傳導係數也不同！從「實驗五、漫射型粉末種類最佳化」可知，二氧化鈦和氧化鋅的明度相似，但升溫效果差很多！甚至明度 86 的氧化鋅，降溫效果勝過明度 99 的氧化鋅。「實驗六、阻隔型粉末種類最佳化」中，氣凝膠、中空玻璃砂和光擴散劑的成分都是二氧化矽，但因為構成方式不同，傳導效果也有差。因此：
  - ◆ **漫射粉末**：建議使用「**二氧化鈦**」，量少就能產生高白度。
  - ◆ **阻隔粉末**：「氣凝膠」效果最佳，但昂貴且不易取得！便宜易取得的是「**二氧化矽**」！
  - ◆ 同時**兼有漫射和阻隔功能**粉末的「**蛤粉**」，濃度高時紅外線漫射效果好，阻隔力也強。
3. **顆粒堆疊**：濃稠度測試中，發現**濃稠度越高，降溫效果通常越好**。我們進一步分析，發現與粉末顆粒的堆疊有關，並將粉末顆粒相關的變因影響整理如下：

(1) **顆粒縫隙**：在「實驗一、底材的選擇」發現**水泥板厚度不會影響紅外線漫射功率**。紅外線只會被表面漫射，內部厚度不影響漫射效果。測試二氧化鈦塗抹層數時（見表 33、34），

TiO <sub>2</sub> 層數	一層	二層	三層
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	264	274	276
正面升溫 (°C)	38.0	35.3	34.7
反面升溫 (°C)	26.6	22.6	22.7

表 33：二氧化鈦不同層數降溫測試

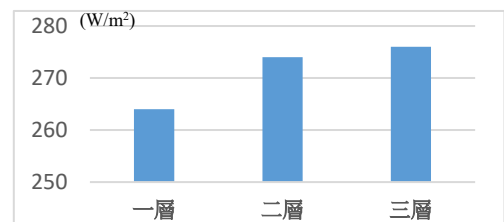


表 34：二氧化鈦層數紅外線功率長條圖

塗第二層，紅外線漫射功率增加（升溫減少）。但塗第三層，紅外線功率差異不大！因為厚度不會影響紅外線功率！我們推測第一層的塗料，二氧化鈦顆粒之間有縫隙。塗第二層時，把第一層的縫隙填滿，因此紅外線功率增加！但塗第三層時，縫隙已經被填滿的差不多，所以第三層的紅外線功率就不再增加！因此**顆粒縫隙填滿可增加紅外線漫射效果！**

(2) **顆粒形狀**：「實驗八、自製碳酸鈣微球顆粒大小」，**自製碳酸鈣的降溫效果比市售碳酸鈣好很多！**以顯微鏡觀察（表 35），發現自製碳酸鈣的**顆粒形狀、大小相似**，而市售碳酸鈣形狀、大小皆不一！當**顆粒形狀相似，堆疊時會緊實，不易產生縫隙，漫射佳！**

自製攪拌 0 分鐘	市售輕質碳酸鈣	市售重質碳酸鈣
正 48.2 °C 反 29.2 °C	正 57.2 °C 反 42.9 °C	正 58.4 °C 反 42.8 °C

表 35：自製與市售碳酸鈣顆粒大小比較表



(3) **顆粒大小**：從實驗四～六可知，**粉末顆粒越小，降溫效果越佳**。二氧化矽和光擴散劑都是  $\text{SiO}_2$ ，但以粒徑小的光擴散劑降溫效果較佳（表 36）！但「實驗九、自製碳酸鈣顆粒大小」卻發現**自製碳酸鈣的顆粒越小，明度越低且降溫效果越差**（表 37）表面會出現顆粒團聚。這種現象也發生在「奈米級二氧化鈦」（粒徑 30nm）粉末，我們將奈米級二氧化鈦粉末製成塗料，明度卻比一般的二氧化鈦還要差，甚至出現許多團聚白點（圖 38）！上網搜尋，我們發現「**超細粉體會相互連接，形成多個顆粒聚在一起的顆粒團簇**」稱為「**團聚現象**」（見文獻八）。經實驗，攪拌 10 分鐘碳酸鈣微球（ $1\mu\text{m}$ ）、攪拌 5 分鐘碳酸鈣微球（ $3\mu\text{m}$ ）、二氧化鈦（ $2\mu\text{m}$ ）、氣凝膠（ $1\mu\text{m}$ ）、硫酸鋇（ $2\mu\text{m}$ ）都有團聚現象！

我們歸納出**粉末粒徑 <  $3\mu\text{m}$ ，易產生團聚而干擾粉末散佈在塗料的均勻度！且粒徑越小，團聚越嚴重！**雖然顆粒越小，降溫效果越佳。但過小，會出現粉末團聚，降溫效果反而變差！

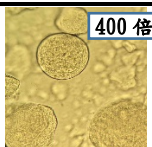
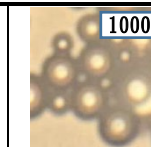
	
二氧化矽 ( $129\mu\text{m}$ )	光擴散劑 ( $4\mu\text{m}$ )
正 $49.1^\circ\text{C}$ 反 $38.0^\circ\text{C}$	正 $39.6^\circ\text{C}$ 反 $29.4^\circ\text{C}$

表 36：二氧化矽顆粒大小比較

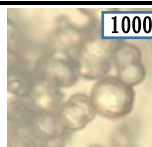
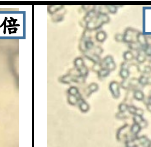
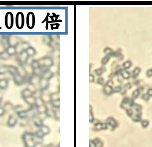
		
攪拌 0 分鐘 ( $9\mu\text{m}$ ) (明度 99)	攪拌 5 分鐘 ( $3\mu\text{m}$ ) (明度 96)	攪拌 10 分鐘 ( $1\mu\text{m}$ ) (明度 92)
正 $39.4^\circ\text{C}$ 反 $23.6^\circ\text{C}$	正 $40.8^\circ\text{C}$ 反 $25.7^\circ\text{C}$	正 $43.4^\circ\text{C}$ 反 $27.8^\circ\text{C}$

表 37：自製碳酸鈣顆粒大小比較表



圖 38：奈米級二氧化鈦塗在黑卡上的團聚很嚴重！

(4) **顆粒鑲嵌**：根據「實驗九、自製碳酸鈣微球混合顆粒」發現使用**不同大小的碳酸鈣微球混合製作成塗料**，紅外線漫射和降溫效果更佳！推測是**大顆粒的縫隙由小顆粒填塞，讓縫隙變更少！**從顯微鏡觀察放大 400 倍的「3：1：1」碳酸鈣微球，發現**大小顆粒會互相交錯排列成緊密的結構**（圖 39）！放大 1000 倍發現**小顆粒的碳酸鈣會附著在大顆粒的碳酸鈣中，變成一條條串接的結構**（圖 40），也**減少了小顆粒碳酸鈣之間團聚的問題！**

我們嘗試以攪拌 0、5、10 分鐘的碳酸鈣微球粒徑（9、3、 $1\mu\text{m}$ ）繪製**大小顆粒互相鑲嵌的結構圖**（圖 41）。且計算邊長  $18\mu\text{m}$  立方體，堆疊 5：1：1 碳酸鈣微球後的**體積佔有率**（表 38），計算出只有  $9\mu\text{m}$  顆粒時佔有率 52%，再加入  $3\mu\text{m}$  顆粒後佔有率增為 63%，再繼續增加  $1\mu\text{m}$  顆粒，則為 73%。**隨著顆粒鑲嵌越密，體積佔有率越來越高，顆粒縫隙越少。**

粒徑( $\mu\text{m}$ )	9	+	3	+	1
單顆體積( $\mu\text{m}^3$ )	382		14.1		0.5
數量(顆)	8				
總體積( $\mu\text{m}^3$ )	3056		611		611
體積佔有率(%)	52	→	63	→	73

表 38：碳酸鈣顆粒體積佔有率計算表

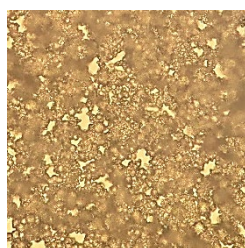


圖 39：400 倍混合顆粒，微球彼此鑲嵌。

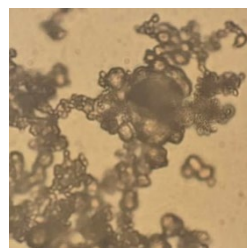


圖 40：1000 倍，小顆粒依附在大顆粒上。

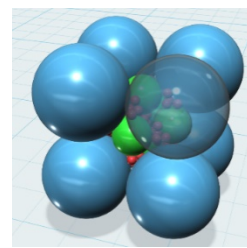


圖 41：繪製不同粒徑的鑲嵌結構圖。



## 二、「蛤粉」的秘密：

研究的歷程中，我們一直有個疑惑「蛤粉為什麼同時兼具漫射和阻隔的功能?!」導致蛤粉的降溫效果極佳！蛤粉的主要成分是**碳酸鈣**，碳酸鈣是體質顏料，因為白度不夠，只能夠當作填料！根據「實驗五：漫射型粉末種類最佳化」，蛤粉的紅外線漫射功率是  $306 \text{ W/m}^2$ ，比二氧化鈦 ( $287 \text{ W/m}^2$ ) 還高！當我們看到自製碳酸鈣微球小顆粒依附在大顆粒旁（圖 40），突然驚覺**自製碳酸鈣的依附結構和蛤粉顯微鏡照很像！**圖 42 為蛤粉放大 400 倍圖，也是大小顆粒互相鑲嵌小顆粒依附在大顆粒上，串接成條狀！因此**蛤粉本身就是不同大小的碳酸鈣顆粒組成的混合粉末！**所以蛤粉才有這麼高的紅外線漫射功率！我們重新測量蛤粉大、中、小顆粒的粒徑，從表 39 可知，蛤粉的大顆粒比自製碳酸鈣小，小顆粒比自製碳酸鈣大！大小顆粒鑲嵌的細膩度會比自製碳酸鈣差！

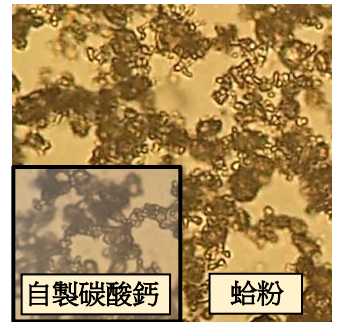


圖 42：400 倍蛤粉顯微鏡照，會有大小顆粒鑲嵌。

因此蛤粉的降溫效果略遜於自製碳酸鈣（見表 26）！

從實驗中，我們**破解了蛤粉身為填料卻擁有高紅外線漫射的秘密！**

粒徑(μm)	大	中	小
蛤粉	7	4	2
自製碳酸鈣	9	3	1

表 39：不同顆粒粒徑比較表

**原來，蛤粉和自製碳酸鈣都是用大小顆粒鑲嵌提升了白度和紅外線漫射能力！**

## 三、降溫塗料的應用：

能漫射紅外線和降溫的塗料除了應用在建築物屋頂外，應該有**更多應用的可能性！**

我們購買直徑 25cm 的亞麻材質燈罩，在**燈罩內側塗上能漫反射的塗料**，在**外側塗上阻隔型的塗料**。並自製了裝 60W 110V 燈泡的燈座，以**光度計**、紅外線功率計及測溫槍測試效果。

從表 40 可知塗漆燈罩在**紅外線功率**和**照度**都增加，**桌面明顯變亮**。代表**漫反射的塗料可將燈泡光源和熱源集中！**但燈罩

燈罩	紅外線功率 ( $\text{W/m}^2$ )	照度 (Lux)	加熱時間的溫度變化 ( $^{\circ}\text{C}$ )				
			原始	1分鐘	2分鐘	3分鐘	4分鐘
無塗漆	73.1	716	27.8	32.8	34.7	34.8	35.4
有塗漆	135.0	1035	27.6	32.2	33.3	32.7	33.4

表 40：有無塗漆的燈罩比較表

內側本身就有隔熱塑膠層，因此隔熱效果不顯著（低  $2^{\circ}\text{C}$ ）。



圖 43：將隔熱塗料塗在燈罩外側和內側。



圖 44：自製 60W 燈泡架測試燈罩效果。

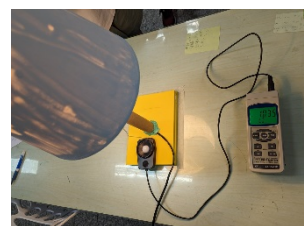


圖 45：使用光度計測量塗漆燈罩光照程度。



圖 46：使用紅外線功率計和測溫槍測量。

## 捌、結論

### 一、自製降溫塗料最佳配方（以透明漆為 50ml 進行混合）：

1. 漫射型雪白塗料：（二氧化鈦：光擴散劑 = 15：5）水狀、白度高、遮蔽強、易塗漆。
2. 天然不刺眼塗料：（蛤粉：雲母粉：氧化鋅 = 50：5：2.5）兼具漫射和阻隔、不刺眼。
3. 阻隔型快乾塗料：（二氧化矽：二氧化鈦 = 30：10）奶油狀、快乾、便宜、阻隔佳。
4. 碳酸鈣微球塗料：（0 min：5 min：10 min = 5：1：1）顆粒細膩、透過鑲嵌增加白度。
5. 自製降溫配方能有效降溫！紅外線燈加熱 3 分鐘比水泥板低 23.9℃，比市售隔熱漆低 4.7℃。日曬保麗龍盒的內部溫度比水泥板低 3.0℃，比市售隔熱漆低 0.5℃。

### 二、影響降溫塗料變因：

1. 降溫塗料受到「白度、粉末性質和顆粒堆疊」的影響，其中「顆粒堆疊」效果會受到「❶顆粒縫隙、❷顆粒形狀、❸顆粒大小、❹顆粒鑲嵌」因素影響。
2. 白色是各種顏色中最適合降溫的顏色。當白度越高，漫射紅外線功率的效果越佳！
3. 粉末顆粒之間的縫隙會影響紅外線漫射功率，顆粒縫隙越少，漫射效果越佳。
4. 粉末顆粒形狀會影響堆疊，當顆粒形狀相似，堆疊比較密實，降溫效果會較佳！
5. 粉末顆粒越小，降溫效果越佳！但粒徑 < 3μm，容易產生團聚現象，造成塗料不均勻！

### 三、粉末種類對塗料影響：

1. 少量的二氧化鈦就能增加白度及紅外線漫射效果。但量過多會產生團聚顆粒。
2. 灰白色的蛤粉，高濃稠度能夠增加紅外線漫射和阻隔效果，但表面易產生裂紋。
3. 顆粒感的二氧化矽有良好阻隔效果，且塗料乾的速度快、價格便宜。
4. 顆粒小的光擴散劑能夠讓塗料均勻分散，更有效的漫射紅外線。
5. 添加雲母粉能夠讓塗料變滑順、容易塗漆，還能降低表面裂紋的產生。
6. 米黃色的氧化鋅不是白色系，但紅外線漫射效果佳。添加後能使塗料變稀。

### 四、自製碳酸鈣微球分析：

1. 氯化鈣加檸檬酸和碳酸鈉能夠自製碳酸鈣微球。碳酸鈣微球因為形狀和大小相似，顆粒間能夠密集堆疊，減少顆粒間的縫隙，使塗料的紅外線漫射功率和降溫效果佳。
2. 藉由攪拌時間可控制碳酸鈣微球的大小。但粒徑太小的顆粒會產生團聚現象，因此以攪拌 0 分鐘（粒徑 9μm）製作的塗料降溫效果最佳。
3. 鑲嵌不同顆粒大小的碳酸鈣微球，能減少顆粒縫隙，降低小顆粒團聚的影響。此外還能提高白度，將原本是填料功能的碳酸鈣升級成為兼具阻隔和漫射的材料！
4. 蛤粉本身擁有大小碳酸鈣顆粒結構！兼具阻隔和漫射效果，卻不需要冗長的製作過程！

## 玖、心得

「科展」就像踏入未知的隧道中，不知道有什麼危險？後面等著我們的又是什麼樣的景色？我們在進入科展前，就知道做科展很辛苦。光是蒐集資料、訂題目就把我們壓的無法喘息，經過一段時間的調整，才慢慢進入正軌。原來，科展是從戰戰兢兢的跟著老師和伙伴，到超越自己的歷程。

一開始，在正式進行研究前的資料蒐集，因為沒辦法精準鎖定特定的資料庫，讓我們得花費更多時間蒐集文獻，卻不見得能找到所需要的資料。負責測量溫度變化的測試組，一整天下來，就是坐在紅外線燈的旁邊。計算數據也好、看著碼表也罷，紅外線的溫度讓我們有種「人體烤肉」的感覺。但，遇到寒流時，檢測組又像坐在暖爐邊一樣溫暖。檢測工作真是讓我們又愛又恨呀！一開始，我以為測出數據就好。但，在等待檢測工具降溫時，老師默默告訴我，其實我很會推理，不要讓自己無所事事。因此，每次做完實驗我都會主動開始分析，找老師報告我對數據的結論和想法。記得，還有一次實驗比例出了差錯，我的夥伴和老師都努力抽時間一起彌補錯誤，衝回應有的進度。

在這段做科展的歷程中，我們六個人都有了不同的成長和轉變。已經參加科展第二年的學姊發現自己學會有效領導團隊合作的能力，撰寫科展實驗報告時邏輯思路也更加清晰！新手隊員則瞬間被巨大的工作量磨的更有耐心，因為需要不斷和大家討論進度，就要能更快抓住重點、提出建議、解決問題。在過程中，練就了應變能力與體驗了不同思考模式。更重要的是對事情的行動力，很多事情，對我們不再是夢想！像是，從未碰過水泥的我們，做出人生中第一塊水泥板。不熟悉實驗器材流程的我們，到現在能抓到工作的 SOP 流程，使效率更高，這就是成長。而這段成長的歷程，我們要感謝很多人，感謝一起做研究的夥伴們，更感謝在背後支援的家人。當然，還有辛苦帶領我們的老師。

## 拾、參考文獻資料

	參考資料內容	參考資料出處
1	太陽光組成	太陽（維基百科） <a href="https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%A4%AA%E9%98%B3">https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%A4%AA%E9%98%B3</a>
2	塗料組成	塗料（維基百科） <a href="https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B6%82%E6%96%99">https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B6%82%E6%96%99</a>
3	「化腐朽為神漆」 全國科展作品	第 58 屆全國科展國小組化學科（台灣網路科教館 科展群傑廳） <a href="https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&amp;cat=15105&amp;sid=15352">https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&amp;cat=15105&amp;sid=15352</a>
4	「絕世好漆」 全國科展作品	第 59 屆全國科展國小組化學科（台灣網路科教館 科展群傑廳） <a href="https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&amp;cat=15733&amp;sid=16045">https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&amp;cat=15733&amp;sid=16045</a>
5	「白漆也能救地球」 全國科展作品	第 62 屆全國科展國小組地球科學科（台灣網路科教館 科展群傑廳） <a href="https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&amp;cat=19539&amp;sid=19622">https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&amp;cat=19539&amp;sid=19622</a>
6	白度定義	白度（百度百科） <a href="https://baike.baidu.com/item/%E7%99%BD%E5%BA%A6/146176">https://baike.baidu.com/item/%E7%99%BD%E5%BA%A6/146176</a>
7	網紅自製碳酸鈣 ，可控制顆粒大小	Making Infrared Cooling Paint From Grocery Store Items (w/Novel CaCO <sub>3</sub> Microsphere Synthesis) (Youtube) <a href="https://www.youtube.com/watch?v=KDRnEm-B3A1&amp;t=1695s">https://www.youtube.com/watch?v=KDRnEm-B3A1&amp;t=1695s</a>
8	超細粉體的團聚現象	超細粉體的分散技術（泰盛興應用材料公司） <a href="https://www.taimax-materials.com.tw/blog-009/">https://www.taimax-materials.com.tw/blog-009/</a>

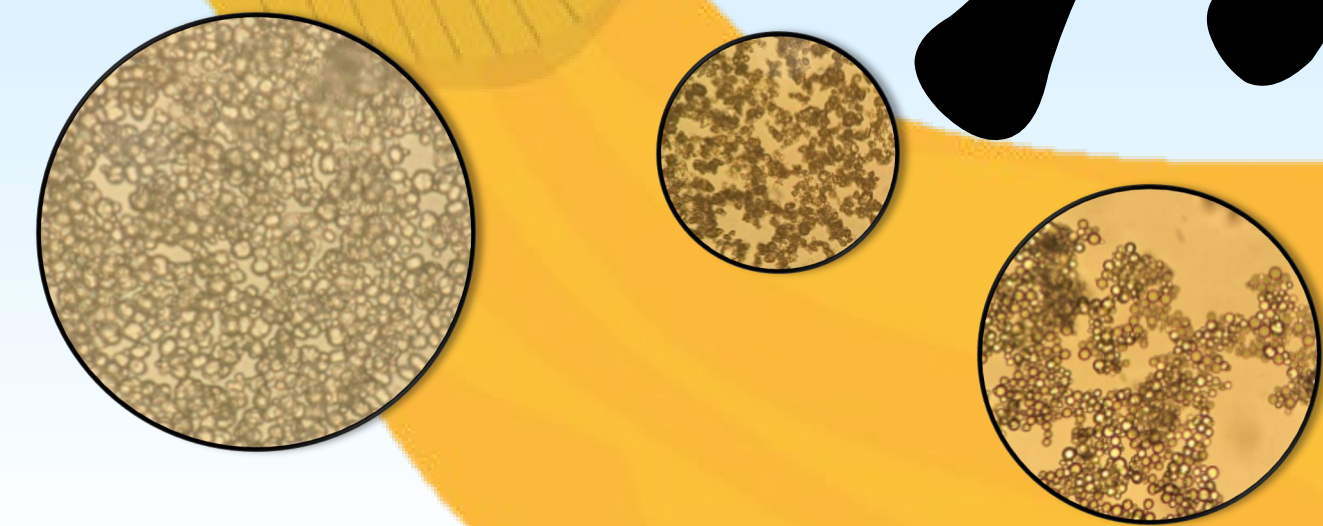
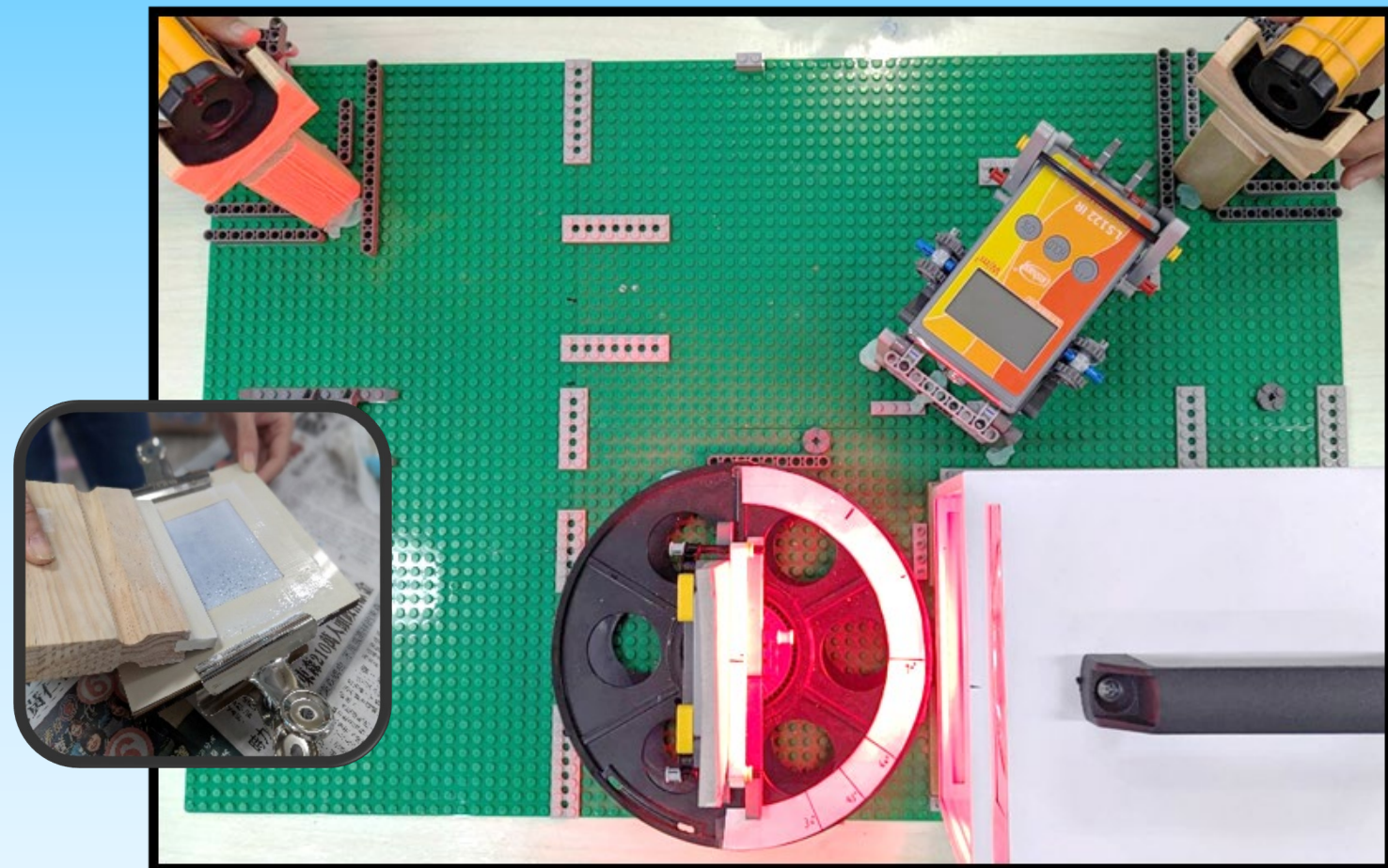
## 【評語】 083005

1. 本實驗對全球暖化及地球永續循環經濟具正向貢獻。
2. 本研究自製檢測裝置探討各種配方和變因，進行降溫塗料研究。
3. 本實驗以 3D 列印製作之矽膠模，於作出水泥板時，比較容易脫模。
4. 實驗步驟說明詳細。
5. 自行製造碳酸鈣微球的方法，極具創意。
6. 發現蛤粉擁有不同大小碳酸鈣顆粒結構，使用於降溫塗料之應用具實用性。



## 作品簡報

# 神漆酷科學



—不同粉末對塗料降溫效果之研究



# 摘要

因暖化和教室過熱問題，我們自製檢測裝置探討各種配方和變因，進行降溫塗料研究。

我們從24種粉末中實驗出6種特色粉末深入研究。其中二氧化鈦漫射紅外線佳，二氧化矽阻隔佳，蛤粉則兼具漫射和阻隔效果。我們歸納出「白度、粉末性質和顆粒堆疊」是影響塗料降溫的關鍵。當顆粒堆疊的縫隙越少（形狀相似、顆粒越小）降溫效果越佳。但顆粒粒徑 $<3\mu\text{m}$ 易產生團聚現象，無法均勻分布！

我們也自製碳酸鈣微球，由不同大小顆粒的混合察覺大小顆粒鑲嵌能減少縫隙、降低團聚並增加白度。更意外發現蛤粉漫射效果佳是因為具有大小顆粒鑲嵌的結構！

我們研發出四種降溫配方，加熱三分鐘能比市售隔熱漆低 $4.7^{\circ}\text{C}$ ，日曬保麗龍盒實驗也能低 $0.5^{\circ}\text{C}$ ，適合推廣應用。

## 壹、研究動機



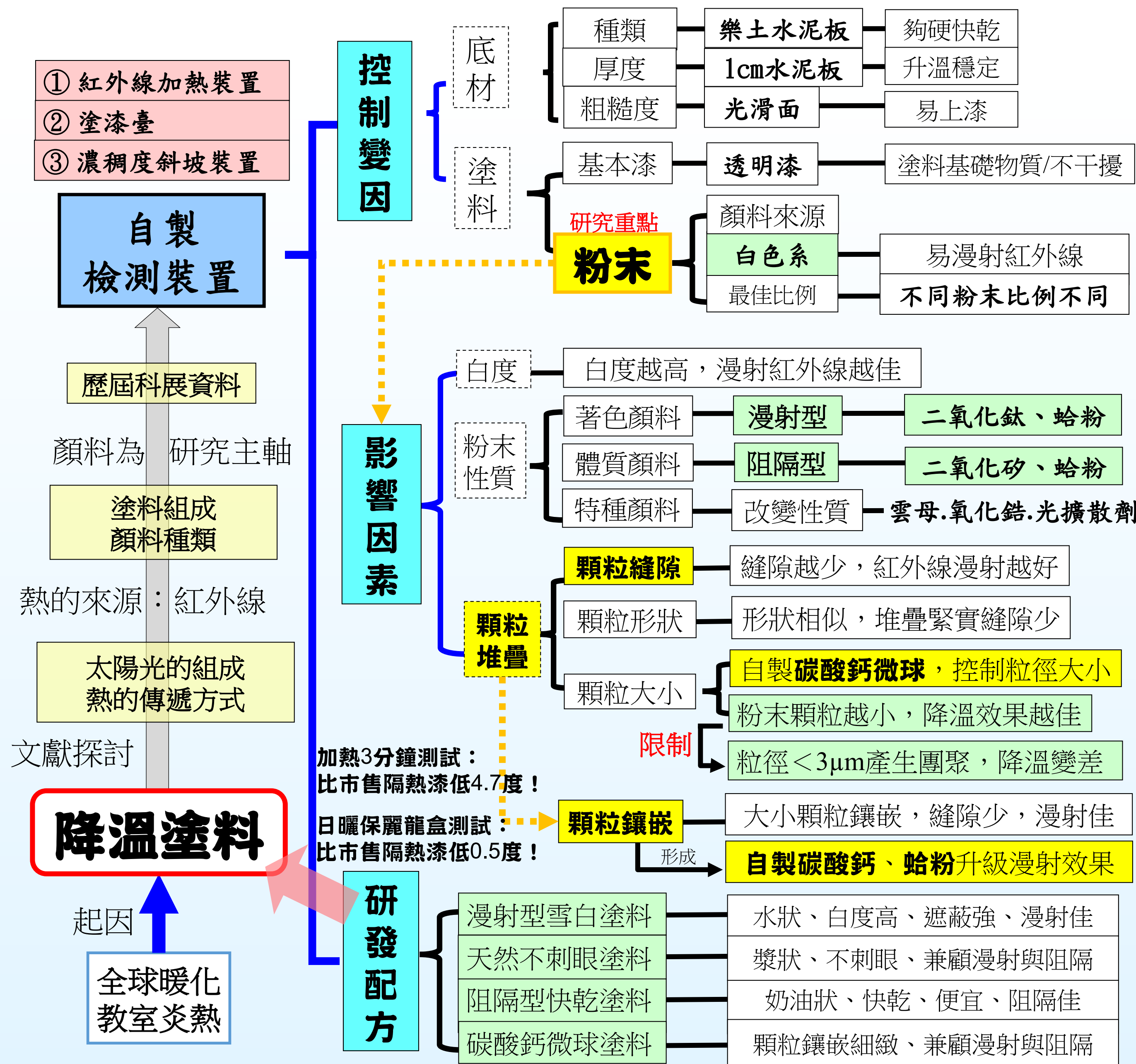
從1975年「全球暖化」一詞被提出來後，每年的冬天不斷減少，夏天氣溫越來越高。我們的實驗教室剛好位於頂樓直曬又有大片窗戶西曬的位置。班班有冷氣的政策也額外造成戶外更高溫的窘境！

剛好，自然課提到「熱的傳遞原理」。我們試著從原理出發，由基本的塗料開始，嘗試加入各種可能影響熱傳遞的物質，進一步探究塗料中影響降溫的因素，製作屬於小學生的「秘密降溫塗料配方」並將其推廣出去。

## 貳、研究目的

- 一、研發降溫塗料的最佳配方。
- 二、測試影響降溫塗料的變因。
- 三、分析粉末種類對塗料的影響。
- 四、研究自製碳酸鈣微球的效果。

## 參、研究流程概念圖



## 肆、檢測裝置與流程

### 一、檢測流程及裝置：

**自製水泥板**

自製砂膠模 | 電鑽拌水泥 | 重量控制厚度 | 大量製作

**可控制厚度的塗漆臺**

決定塗漆厚度：厚度片

固定檢測板：外框

塗漆的底材：檢測板

外框卡住檢測板 | 周圍貼紙膠帶 | 放厚度片夾鐵夾 | 邊框淋漆 | 刮刀塗漆

**檢測裝置**

工具(1)紅外線檢測裝置

紅外線燈箱 | 檢測板 | 檢測板固定夾 | 紅外線功率計 | 紅外線測溫槍

①固定檢測板

②測量原始溫度

③加熱→測紅外線

④3分鐘後測溫度

設計圖：55°

紅色線條=檢測軌跡

(檢測裝置與流程的所有照片皆由第1指導老師拍攝)

**檢測工具(2)-明度檢測**

將漆塗在黑色卡紙上 | 放置一天等待白漆乾掉 | 將卡紙以影印機掃描 | 以繪圖軟體檢測明度

**檢測工具(3)-濃稠度檢測**

3D列印1.5ml量杯(塗料) | 塗料裝滿量杯 | 板子翻成70度角斜坡 | 計時一分鐘 | 測量塗料流動距離

**檢測工具(4)-粉末粒徑檢測**

粉末加水製作水埋玻片 | 以顯微鏡觀察粉末顆粒 | 手機拍放大的粉末顆粒 | 以尺測量並換算大小

## 伍、研究過程及結果

### 第一部分：基本變因

### 一、底材的選擇：

**研究原因**：因為是降溫塗料的研究，因此我們測試了①底材種類、②厚度、③塗漆面，看哪一種最適合？

**研究數據**：1. 底材種類(燈泡250W)

底材	市售水泥板	自製水泥板		白俄椴木板	灰色卡紙
		一般水泥	樂土水泥		
照片					
製作方式	網路購買	24小時乾	2小時乾	網路購買	書局購買
厚度(mm)	8.7	自製可自訂(自製8.7mm)		4.8	1.5
單片價格	28.0	4.7	10.5	6.6	1.7
紅外線(W/m <sup>2</sup> )	136	117	104	241	270
正/反面升溫(°C)	57.2 / 37.8	63.2 / 42.4	63.1 / 48.0	68.6 / 41.4	78.5 / 63.1

小結：樂土水泥可自製大小且乾燥時間短。小結：厚度不影響紅外線功率。

2. 厚度選擇(自製不同厚度水泥片/燈泡175W)

溫度厚度	原始	30秒	60秒	90秒	120秒	150秒	180秒	3min升溫	紅外線功率
0.25 cm	正	28.6	42.3	50.6	57.0	62.3	67.6	76.2	47.6
	反	28.6	36.1	41.9	48.7	53.4	57.4	63.8	35.2
0.75 cm	正	28.0	38.7	43.1	49.5	54.1	58.2	61.6	33.6
	反	28.1	32.6	37.7	41.5	46.2	50.1	53.0	24.9
1cm	正	28.3	38.4	43.4	47.9	52.2	55.8	59.0	30.7
	反	28.2	31.6	35.4	39.4	42.9	45.1	49.9	21.7

3. 塗漆面(水泥厚1cm/燈泡175W)

溫度	光滑面		粗糙面	
	正	反	正	反
三分鐘升溫(°C)	37.4	27.8	38.0	26.0

小結：光滑或粗糙影響不大，光滑面比較好上漆。

**研究結果：**我們未來研究以樂土水泥、厚度1cm為基本測試板。塗漆與光源方向皆在光滑面。



### 二、塗漆的顏色：

**研究原因及方法**：以不同顏色廣告顏料塗在木板上測試，了解顏色對溫度的影響。

**研究數據**：不同顏色升溫及漫射效果

顏色	原木	黑	白	黃	藍	紅	綠	特白
紅外線功率(W/m <sup>2</sup> )	276	159	305	288	283	292	278	312
正面升溫(°C)	63.3	121.8	58.5	68.4	72.2	62.8	75.5	48.8
反面升溫(°C)	36.0	57.4	27.8	33.3	33.4	32.9	38.3	26.4

### 研究結果：

1. 白色升溫小，最適合當降溫塗料顏色。研究方向以白色顏料為主。
2. 紅外線功率越高，升溫越小。只要提高紅外線漫射功率就能降溫。
3. 特白比白色降溫效果還要好！表示越白越容易降溫！

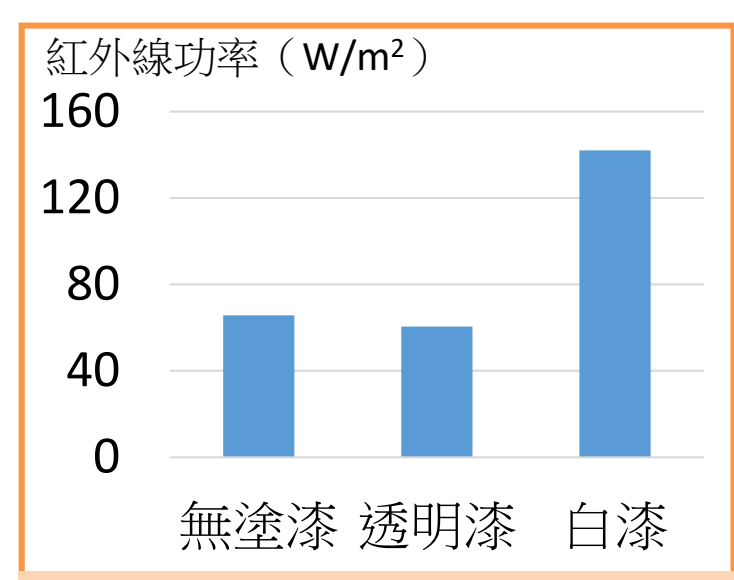
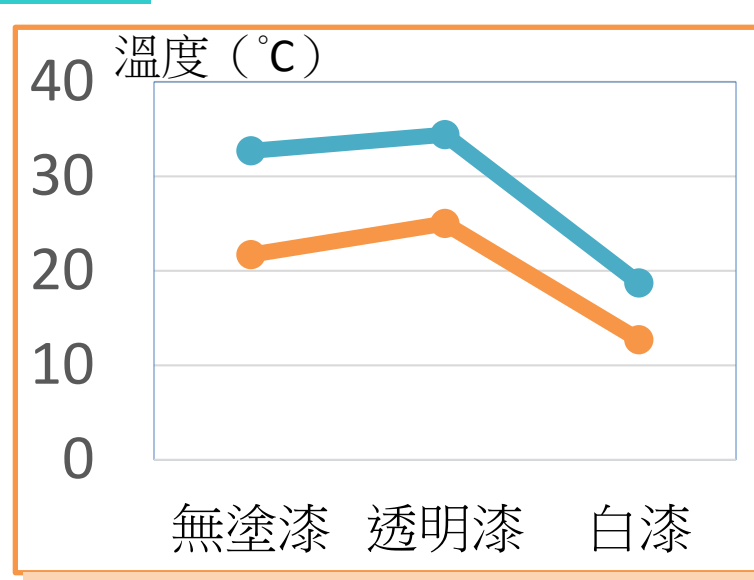


### 三、塗料的製作：

**研究原因及方法：**我們鎖定**白色**做為研究方向，並開始尋找適合的**基本漆**，讓我們可以添加不同粉末，看見不同粉末的影響。

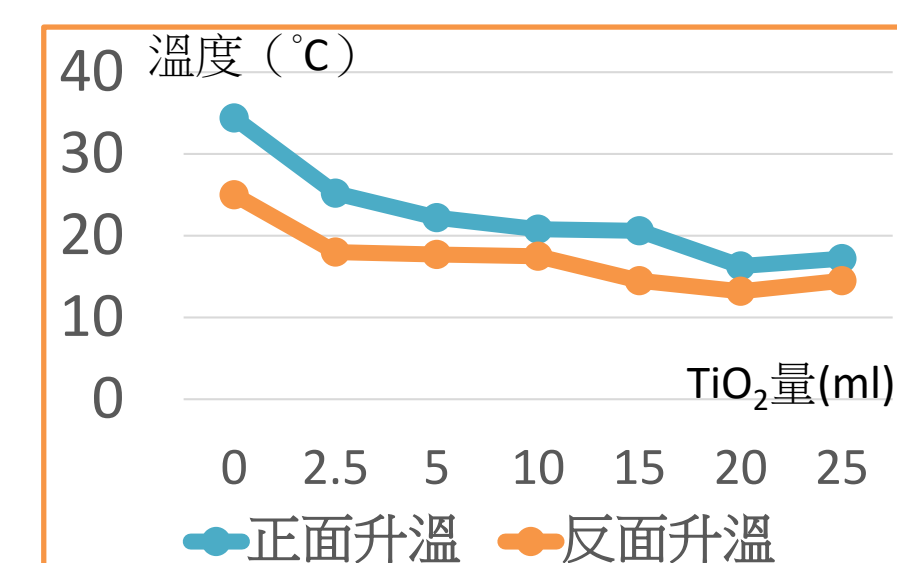
**實驗記錄：1. 不同基本漆的效果：**

顏色	無塗漆	透明漆	白漆
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	65.7	60.5	142
正面升溫 (°C)	32.7	34.4	18.7
反面升溫 (°C)	21.7	25.0	12.7



**2. 最佳比例 (以50ml的透明漆加不同比例的二氧化鈦)**

二氧化鈦量 (ml)	0	2.5	5	10	15	20	25
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	60.5	106	120	123	<b>131</b>	<b>139</b>	<b>139</b>
正面升溫 (°C)	34.4	25.2	22.2	20.8	20.6	16.3	17.2
反面升溫 (°C)	25.0	18.0	17.7	17.5	14.5	13.2	14.5
特色		白色較淡		小顆粒		顆粒超多	



**研究結果：**1. **透明漆**適合當**混合粉末的基本漆**：因為塗了透明漆降溫效果比無塗漆差，**易看見添加物對塗料的影響**！  
2. 粉末**TiO<sub>2</sub>**混入透明漆，**白色明顯**！但，二氧化鈦若超過20ml會出現**明顯顆粒**。若低於5ml則不夠白，和透明漆最佳比例為**50：15**。

### 第二部分：嘗試各種類型的粉末

#### 四、漫射型粉末最佳化：

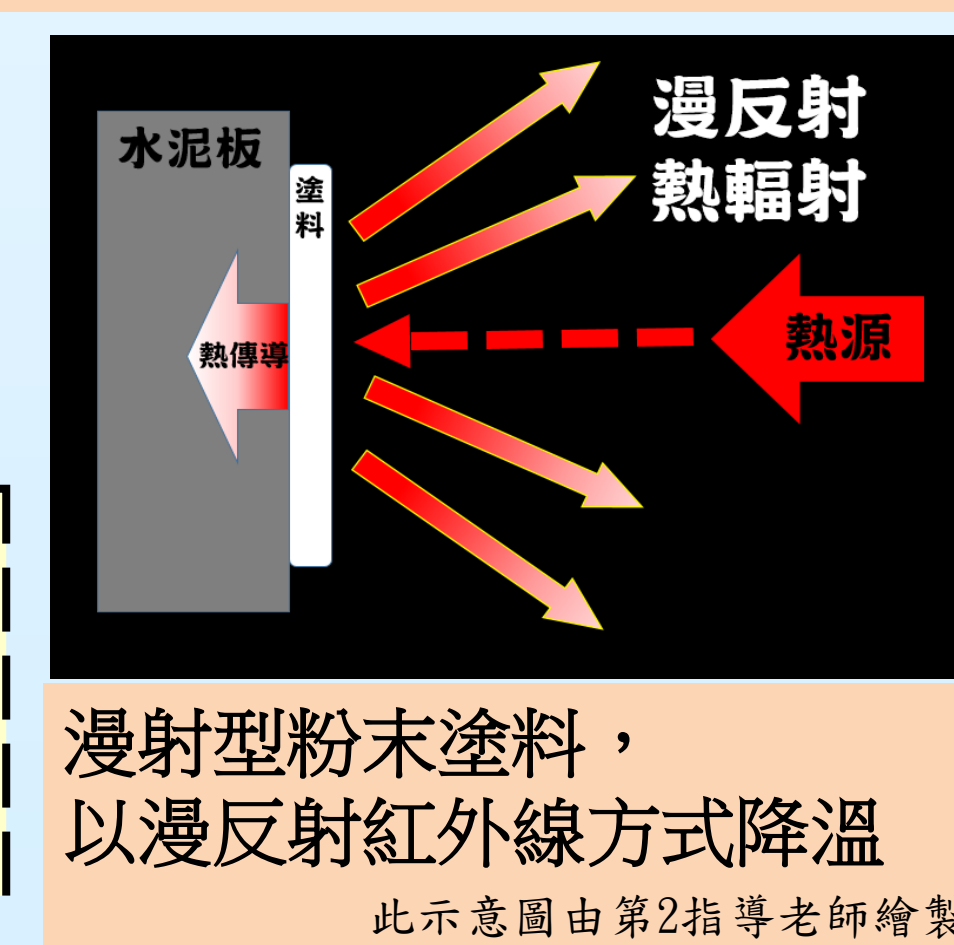
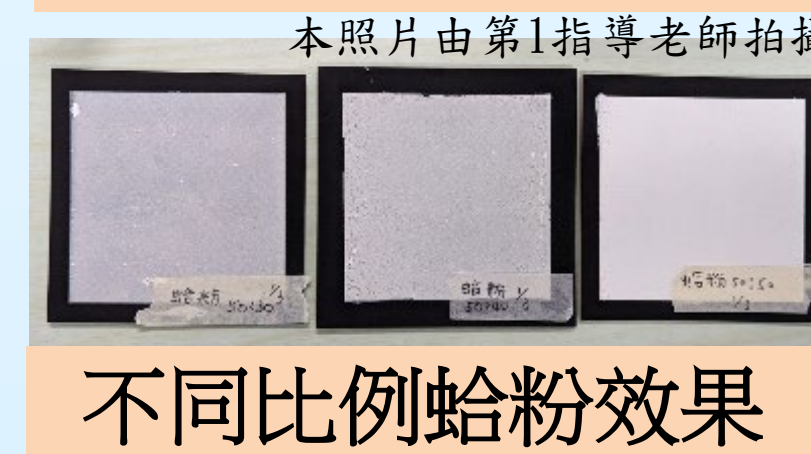
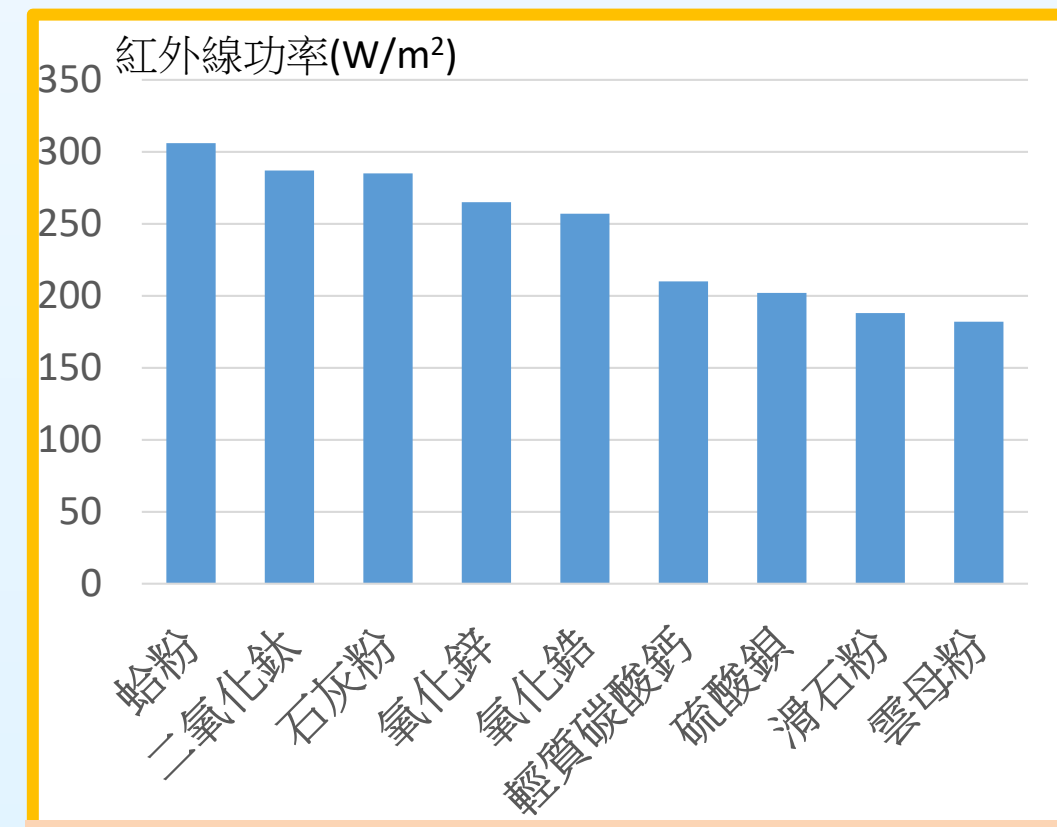
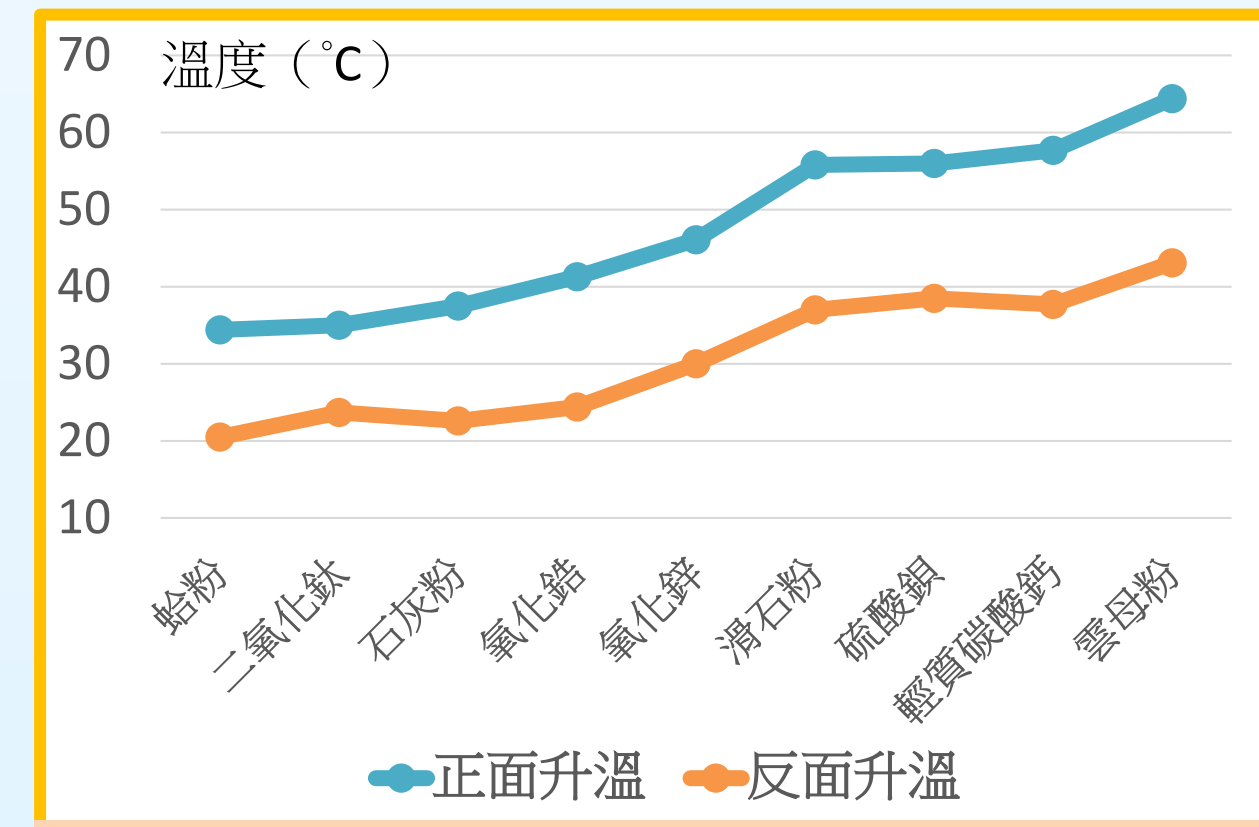
**研究原因：**我們將十八種漫射型粉末以50：15比例調製，卻發現大多數粉末都是顏色不白、比例不足！最後決定從中挑出九種粉末進行**最佳化比例**！粉末添加量以**①無法增加明度②塗料過度濃稠③出現團聚顆粒**，作為最佳化的判別標準。並進行粒徑、覆蓋明度、正反升溫、紅外線檢測功率與濃稠度(濃稠度斜坡裝置)的測試。

**實驗紀錄：1. 十八種粉末初試**(詳細實驗數據請見說明書)(此實驗的所有顯微鏡照片由第3作者拍攝)

粉末種類	著色顏料 (白色顏料成分)						體質顏料 (填料成分)						特種顏料 (耐熱隔熱材料)			其他		
	二氧化鈦	氧化鋅	立德粉	蛤粉	白堊土	高嶺土	硫酸鋇	輕質碳酸鈣	重質碳酸鈣	滑石粉	沸石	石灰粉	矽藻土	皂土	石膏	雲母粉	氧化鋯	特白顏料
化學成分	TiO <sub>2</sub>	ZnO <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub> ·ZnS	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	BaSO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> +AlO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ·Si	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> 、光擴散劑
顯微鏡照片 (400倍)																		

**實驗紀錄：2. 九種漫射型粉末最佳比例塗料效果**(室溫23°C、燈泡250W)

粉末名稱	二氧化鈦	氧化鋅	硫酸鋇	氧化鋯	滑石粉	雲母粉	蛤粉	石灰粉	輕質碳酸鈣
最佳化比例	50：15	50：35	50：40	50：30	50：40	50：50	50：50	50：50	50：50
化學成分	TiO <sub>2</sub>	ZnO <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
覆蓋明度(%)	<b>100</b>	99	62	<b>86</b>	44	56	<b>100</b>	98	67
顆粒粒徑(μm)	2	3	2	27	39	34	8	19	4
濃稠度(cm)	4.8	4.5	12.3	24.3	4.0	0.4	0	0	5.2
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	<b>287</b>	265	202	<b>257</b>	188	182	<b>306</b>	285	210
正面升溫(度)	<b>35.0</b>	46.1	56.0	<b>41.3</b>	55.8	64.4	<b>34.4</b>	37.5	57.7
反面升溫(度)	<b>23.7</b>	30.0	38.5	<b>24.4</b>	37.0	43.1	<b>20.5</b>	22.6	37.7
塗料特色	量少白度高效果極佳	性質和二氧化鈦相似	效果不佳	米白色流動性高效果佳	效果不佳	效果不佳 <b>超級好塗</b>	效果極佳太濃稠	效果和蛤粉相似	效果不佳



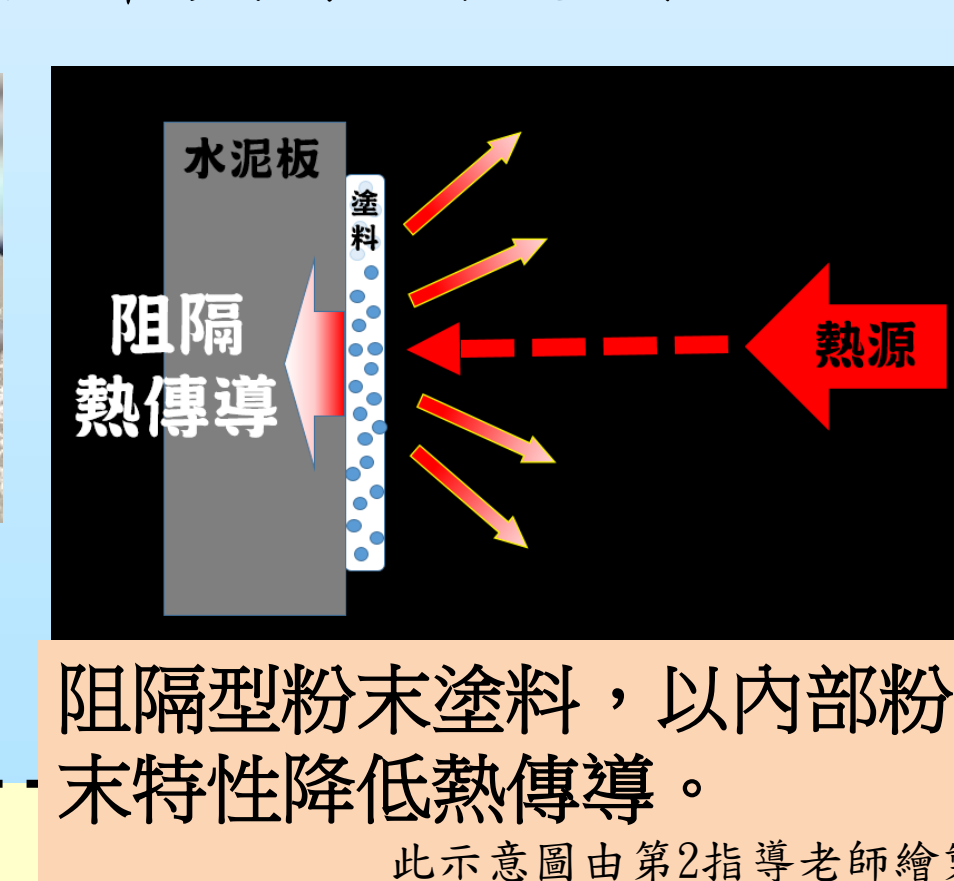
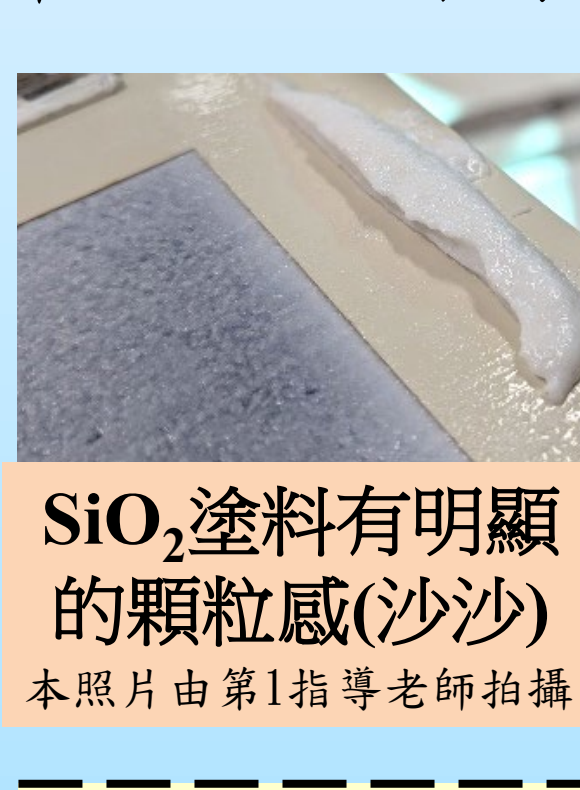
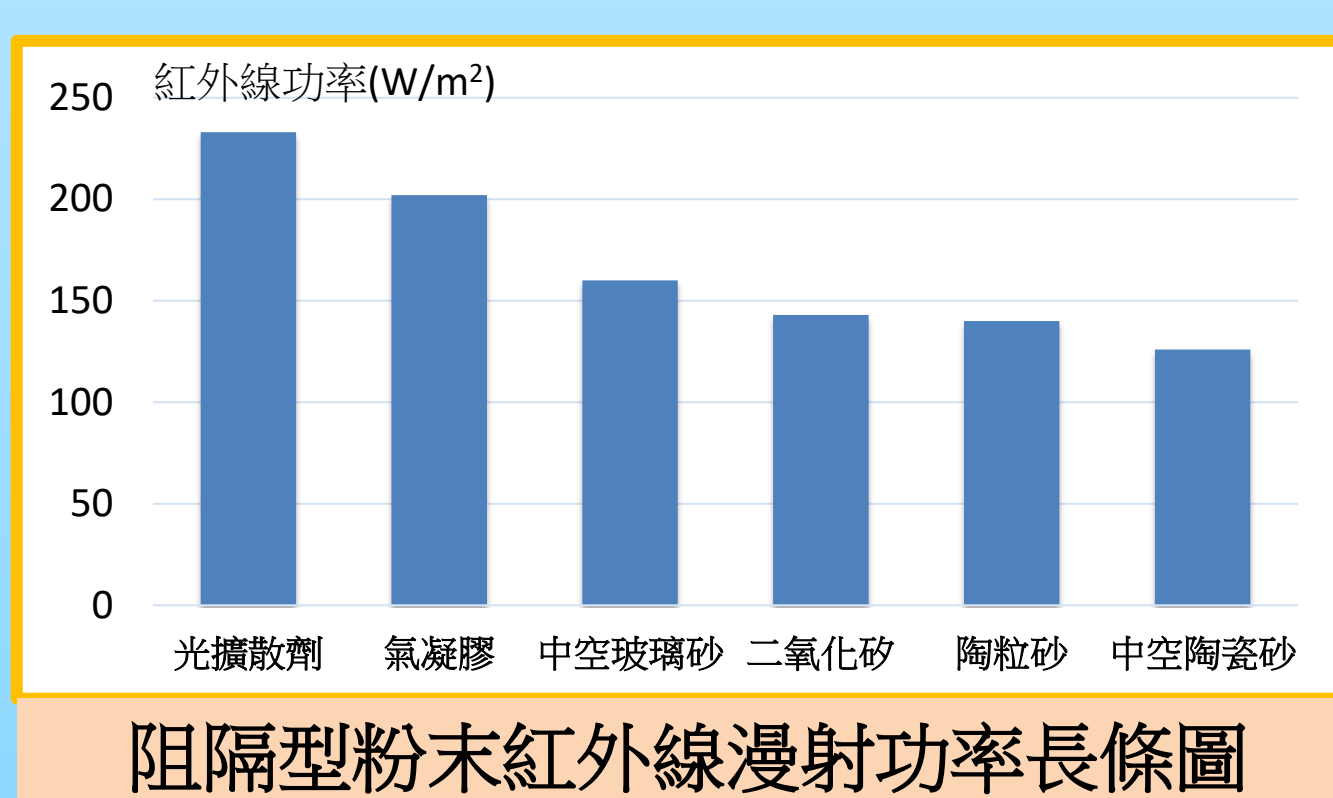
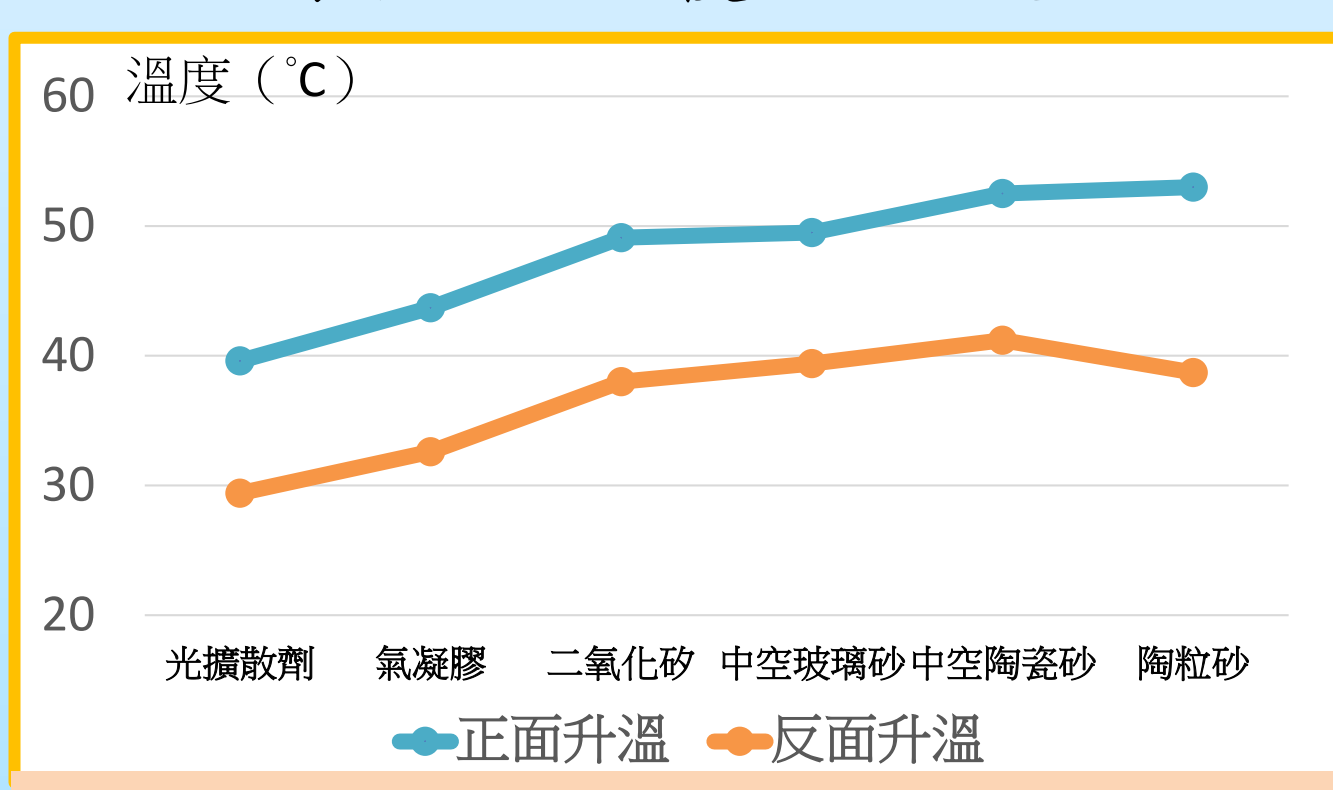
**研究結果：**1. 少量即可增加**白度**和紅外線漫射功率的粉末：**二氧化鈦** > 氧化鋅。  
2. 以**塗料濃稠度(密度高)**方式增加紅外線漫射功率達到降溫效果：**蛤粉** > 石灰粉，也**超越TiO<sub>2</sub>**。  
3. 特殊粉末塗料：**氧化鋯**非白色，但**漫射效果佳**；**雲母粉**雖然效果不佳，卻能使**塗料滑順好塗**。

#### 五、阻隔型粉末最佳化：

**研究原因：**塗料降溫主因，一個是**直接漫射紅外線(實驗四)**，另一個則是**阻隔熱由外牆往內傳遞**。我們蒐集六種**①內部中空或含空氣②本身耐高溫**的粉末進行測試。找出最佳化比例，並進行粒徑、覆蓋明度、正反升溫、紅外線功率與濃稠度測試。

**實驗紀錄：不同阻隔型粉末塗料效果**(室溫24度C、燈泡250W)

粉末種類	內部中空或含空氣			本身耐高溫		
	氣凝膠	中空玻璃砂	中空陶瓷砂	陶粒砂	二氧化矽	光擴散劑
最佳化比例	50：30	50：50	50：30	50：30	50：30	50：70
化學成分	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> 、B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> 、矽乙烷球狀樹脂
塗料顏色	白(透明感)	白偏米色	灰	咖啡色	灰白	白
顯微鏡照片 400倍						
顆粒粒徑(μm)	1	14	95	60	129	4
價格(元/ml)	無法估價	0.09	0.06	0.09	<b>0.05</b>	0.76
覆蓋明度(%)	61	26	53	46	55	<b>97</b>
濃稠度(cm)	1.3	0.1	8.5	17.9	0	3.0
紅外線功率 (W/m <sup>2</sup> )	202	160	126	140	143	<b>233</b>
正面升溫(°C)	43.7	49.5	52.5	53.0	49.1	<b>39.6</b>
反面升溫(°C)	32.6	39.4	41.2	38.7	38.0	<b>29.4</b>



**研究結果：**  
1. 阻隔型粉末降溫效果比漫射型粉末差，因此「**白度對塗料的降溫影響較大**」。  
2. 阻隔型粉末塗料中效果較佳的是：**二氧化矽和光擴散劑**。(氣凝膠昂貴不易取得，不列入考慮)

#### 六、最佳配方的調配：

**研究原因及方法：**從實驗四、五中挑出**六種**粉末，並以「**主體粉末的最佳比例**」再混合5ml「**特色粉末**」搭配，以找出最佳配方。主體粉末為「**二氧化鈦、二氧化矽、蛤粉**」；特色粉末為「**氧化鋯、光擴散劑、雲母粉**」。

**實驗紀錄：1. 主體「二氧化鈦」**

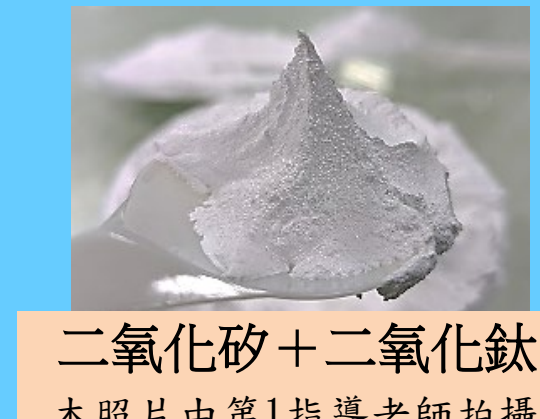
**2. 主體「蛤粉」**

**3. 主體「二氧化矽」**

主體 TiO <sub>2</sub>	對照組	添加粉末 (添加5ml)						添加 10ml
添加粉末名稱	無添加	蛤粉	二氧化矽	雲母粉	氧化鋯	光擴散劑	光擴散劑	
濃稠度 (cm)	4.8	3.9	3.4	3.7	10.2	3.2	5.9	
紅外線 (W/m <sup>2</sup> )	309	317	315	315	287	<b>321</b>	296	
正面升溫 (°C)	40.0	35.8	35.3	38.7	36.2	<b>30.7</b>	35.0	
反面升溫 (°C)	23.5	20.7	20.3	21.5	23.7	<b>16.5</b>	21.8	

主體 蛤粉	對照組	添加粉末 (添加5ml)						添加 10ml	再加 2.5ml
添加粉末名稱	無添加	二氧化鈦	二氧化矽	光擴散劑	氧化鋯	雲母粉	雲母粉	氧化鋯	
濃稠度 (cm)	0	1.8	0	0	8.0	0	0	0.2	
紅外線 (W/m <sup>2</sup> )	323	308	329	320	257	322	296	307	
正面升溫 (°C)	32.8	32.5	28.5	29.7	42.6	29.2	31.7	28.1	
反面升溫 (°C)	17.6	18.3	20.6	16.4	27.3	14.3	18.2	16.7	
乾掉裂紋		有裂紋						無	有

主體 SiO <sub>2</sub>	對照組	添加粉末 (添加5ml)						添加 10ml	添加 15ml
添加粉末名稱	無添加	蛤粉	光擴散劑	氧化鋯	雲母粉	二氧化鈦	二氧化鈦	二氧化鈦	
濃稠度 (cm)	0	0	0	8	0	0	0	0	
紅外線 (W/m <sup>2</sup> )	174	256	257	228	248	299	<b>304</b>	264	
正面升溫 (°C)	56.1	45.8	44.6	46.7	46.1	34.4	<b>31.1</b>	30.9	
反面升溫 (°C)	36.5	26.2	25.0	30.1	28.0	18.6	<b>17.6</b>	19.0	
漆乾掉後		無異常							顆粒



**研究結果：**  
1. 六種粉末分別為**著色顏料**(二氧化鈦、蛤粉)、**體質顏料**(二氧化矽)和**特種顏料**(氧化鋯、光擴散劑、雲母)。  
2. 我們找到的三種最佳配方是「**二氧化鈦+光擴散劑**」、「**蛤粉+雲母粉+氧化鋯**」、「**二氧化矽+二氧化鈦**」。



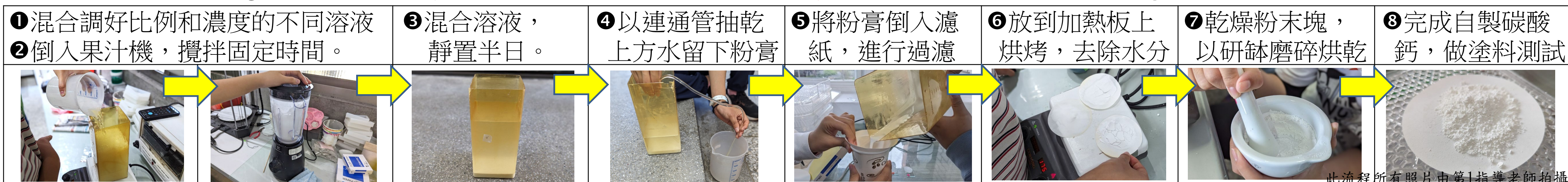
## 七、自製碳酸鈣微球：

## 第三部分：自製粉末 microsphere

**研究原因：**我們一直想知道**粉末顆粒大小**究竟會對塗料產生什麼樣的影響？透過蒐集文獻，找到自製碳酸鈣的方法，以了解顆粒大小對塗料的影響，並進一步**混合不同大小顆粒**，測試降溫效果。

**製作過程：**1. 碳酸鈣微球的製作—基本材料：**10% 碳酸鈉：10% 氯化鈣：10% 檸檬酸 = 2：1：0.3 的比例混合**

2. 改變果汁機的攪拌時間，就會產生**不同顆粒大小的碳酸鈣微球**。分成0分鐘(手輕攪30秒)、5分鐘、10分鐘。



● 自製碳酸鈣反應式如下： $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl}$ 。加入**檸檬酸**可延緩碳酸鈣產生，慢慢形成結晶。因此就會呈現**大小相似、形狀均勻的球體**，稱之為「**碳酸鈣微球**」(microsphere)。

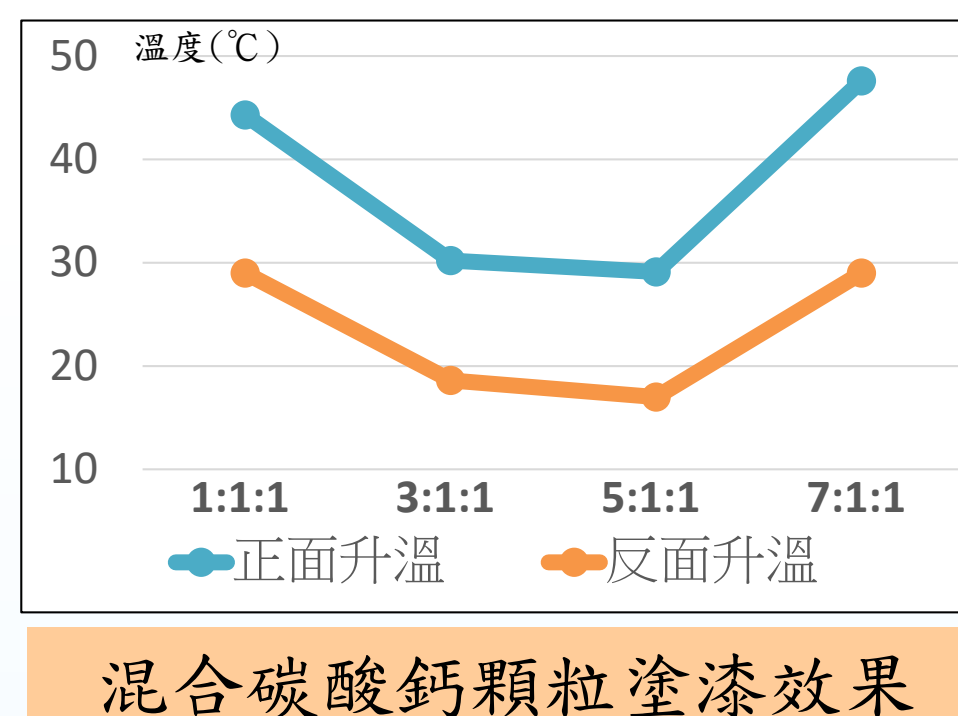
**實驗記錄：**1. **不同顆粒大小碳酸鈣塗料效果：**

攪拌時間	0分鐘	5分鐘	10分鐘	市售輕質碳酸鈣
顯微鏡照片 1000倍				
顆粒粒徑(μm)	9	3	1	4
覆蓋明度(%)	99	96	92	49
紅外線功率	271	261	250	210
正面升溫(°C)	39.4	40.8	43.4	57.7
反面升溫(°C)	23.6	25.7	27.8	37.7
塗料特色	平滑無顆粒 明度高	表面有 顆粒團聚	表面大量 顆粒團聚	明度低 透明感

(此實驗的所有顯微鏡照片由第3作者拍攝)

2. **混合不同顆粒大小自製碳酸鈣效果：**

類別	0分鐘：5分鐘：10分鐘			
溶液比例	1：1：1	3：1：1	5：1：1	7：1：1
紅外線功率	257	309	309	268
正面升溫(°C)	44.3	30.2	29.1	47.6
反面升溫(°C)	29.0	18.6	17.0	29.0



混合碳酸鈣顆粒塗漆效果

**研究結果：**1. 攪拌時間造成顆粒大小明顯差異，粒徑從1-9μm。  
2. 顆粒大的自製碳酸鈣塗料，效果佳！推測當粒徑過小時(攪拌10分鐘自製碳酸鈣)，會出現「團聚現象」造成分布不均！  
3. 市售碳酸鈣雖顆粒有大有小，但形狀雜亂不像自製碳酸鈣。  
4. 我們嘗試將**大中小顆粒混合**！發現效果比單一種顆粒效果佳！其中混合比例以0分鐘：5分鐘：10分鐘為**5：1：1**效果最佳！

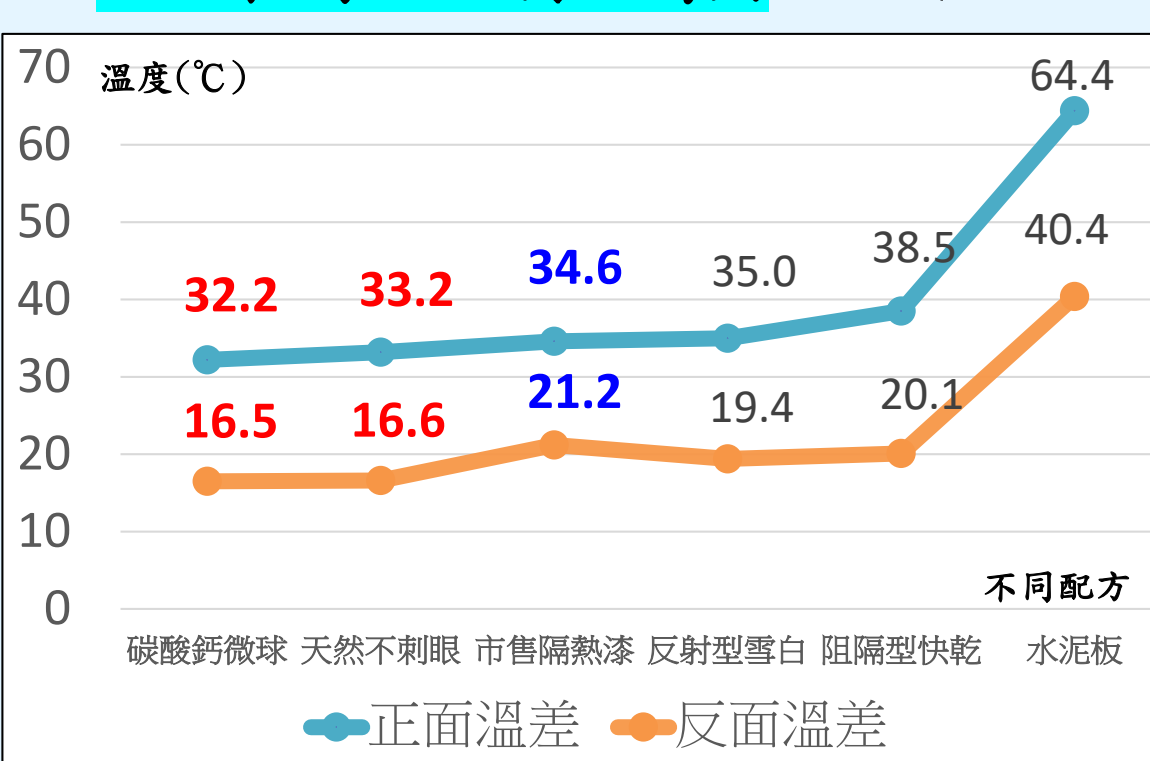
## 八、「降溫最佳配方」分析與市售隔熱漆的比較：

**(一)最佳配方分析：**經過**300**多次調配，**1000**多次檢測，我們研發出**四種降溫塗料**如右：

**(二)最佳配方與市售隔熱漆比較：**我們以自製最佳配方與市售隔熱漆

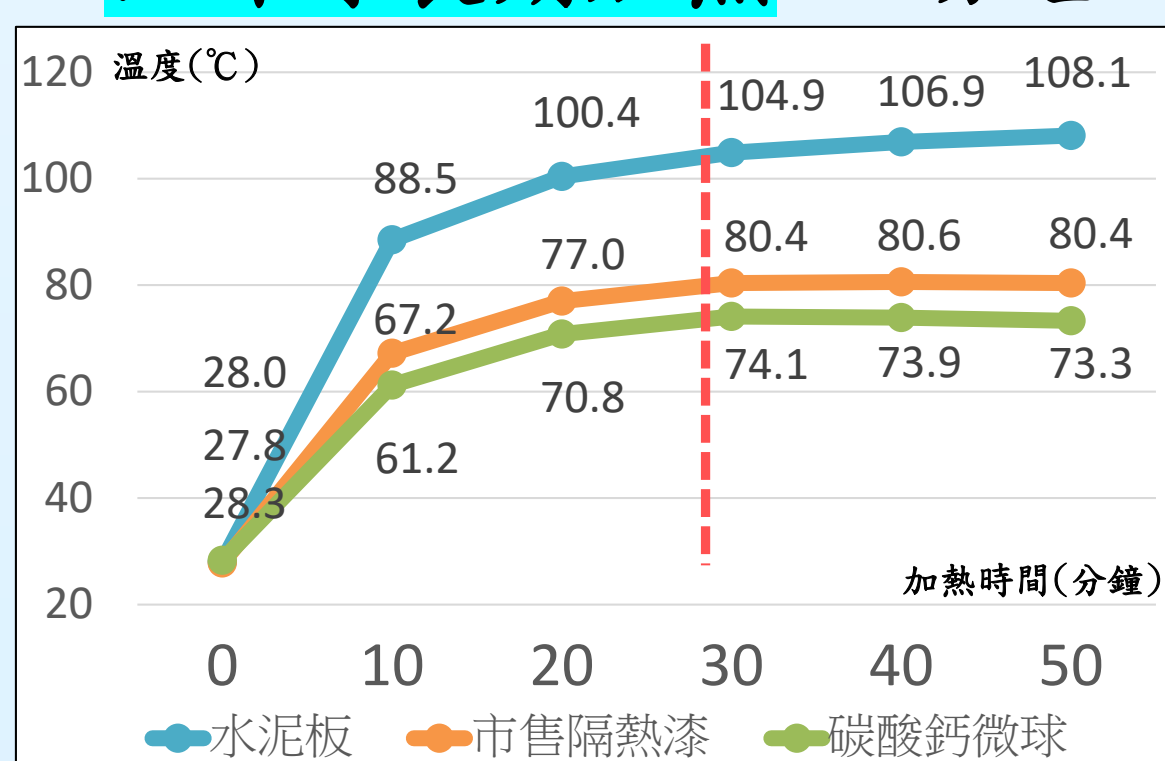
在以下四種不同測試中比較，**自製配方效果降溫效果都遠勝於水泥板**，而且**比市售隔熱漆略佳**！

1. **紅外線短期加熱：3分鐘**



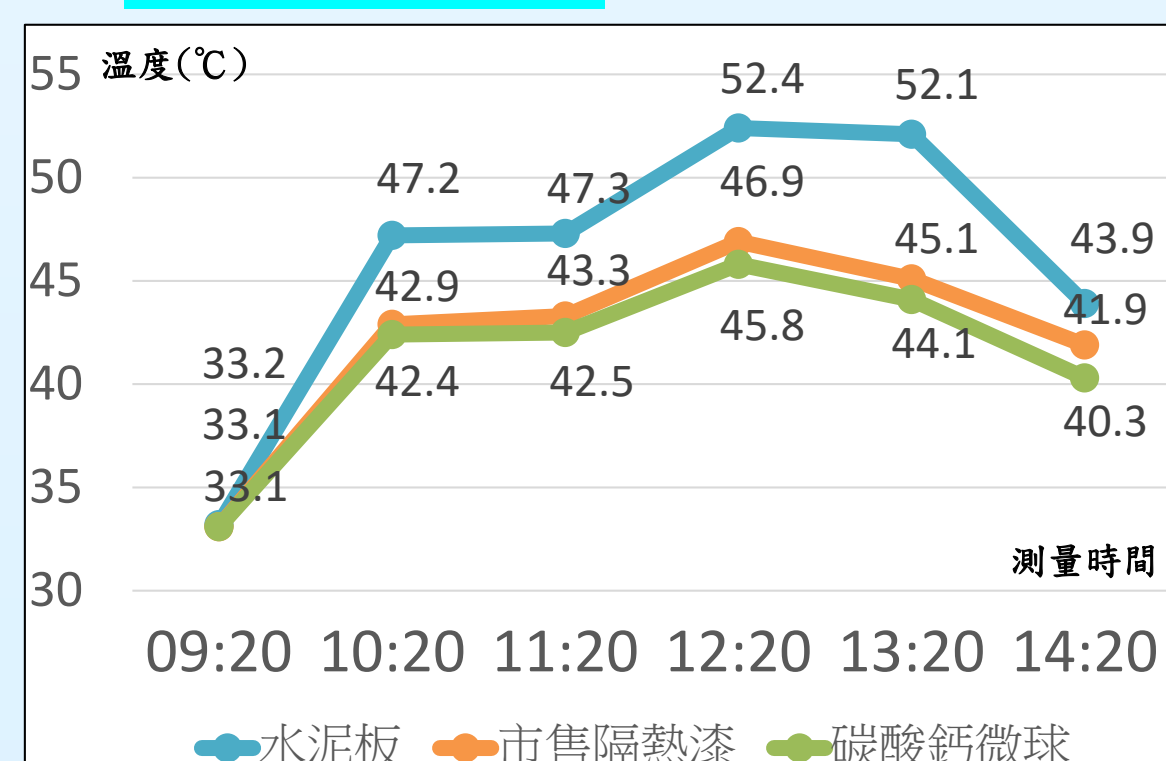
1. 四種自製最佳配方反面溫度都低於市售隔熱漆！  
2. 碳酸鈣微球塗料反面溫度比水泥板低**23.9°C**，比市售隔熱漆低**4.7°C**。

2. **紅外線長期加熱：50分鐘**



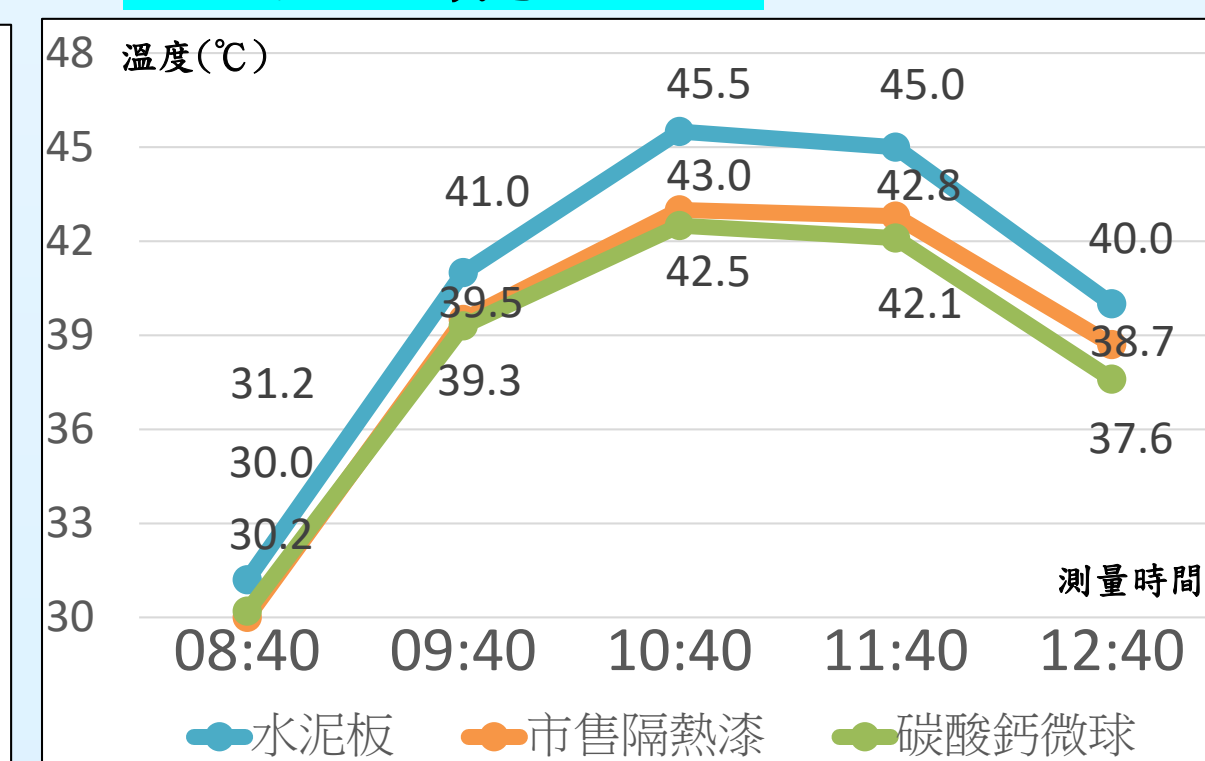
1. 自製和市售在**30分鐘**時已達到溫度上限！  
2. 碳酸鈣微球塗料反面溫度比水泥板低**34.8°C**，比市售隔熱漆低**7.1°C**。

3. **日曬水泥板：6月19日測量**



1. 碳酸鈣微球塗料反面溫度比水泥板低**6.6°C**，比市售隔熱漆低**1.1°C**。

4. **日曬保麗龍盒：5月30日測量**



1. 碳酸鈣微球塗料保麗龍盒內部溫度比水泥板低**3.0°C**，比市售隔熱漆低**0.5°C**。

## 降溫塗料變因分析：

## 陸、分析與討論

(分析與討論的所有顯微鏡照片由第3作者拍攝)

我們發現「**降溫塗料**」主要受到**漫射**和**阻隔**兩種方式影響，我們從實驗歸納出三大影響因素：

- 1. 白度：**白度越高，白色越明顯，漫射紅外線能力越佳，越適合成為降溫塗料。
- 2. 粉末性質：**根據性質分成**(1)漫射型粉末：二氧化鈦****(2)阻隔型粉末：二氧化矽****(3)兼具漫射和阻隔型粉末：蛤粉**。
- 3. 顆粒堆疊：**我們在實驗中，意外發現堆疊對塗料的影響可以分成四部份：

### (1)顆粒縫隙

塗抹不同層數的差異

TiO <sub>2</sub> 層數	一層	二層	三層
紅外線 (w/m <sup>2</sup> )	264	274	276
正面升溫 (°C)	38.0	35.3	34.7
反面升溫 (°C)	26.6	22.6	22.7

縫隙填滿=紅外線最大漫射！

### (2)顆粒形狀

顆粒形狀一致效果佳！

自製攪拌0分鐘	市售輕質碳酸鈣	市售重質碳酸鈣
正48.2°C 反29.2°C	正57.2°C 反42.9°C	正58.4°C 反42.8°C

### (3)顆粒大小

顆粒大?小? 誰, 效果好?

二氧化矽 (129μm)	光擴散劑 (4μm)	攪拌0分鐘 (9μm) (明度99)	攪拌5分鐘 (3μm) (明度96)	攪拌10分鐘 (1μm) (明度92)
正 49.1°C 反 38.0°C	正 39.6°C 反 29.4°C	正 39.4°C 反 23.6°C	正 40.8°C 反 25.7°C	正 43.4°C 反 27.8°C

顆粒越小，漫射效果越佳。但，若粒徑<3μm，易產生團聚干擾粉末塗料的均勻度

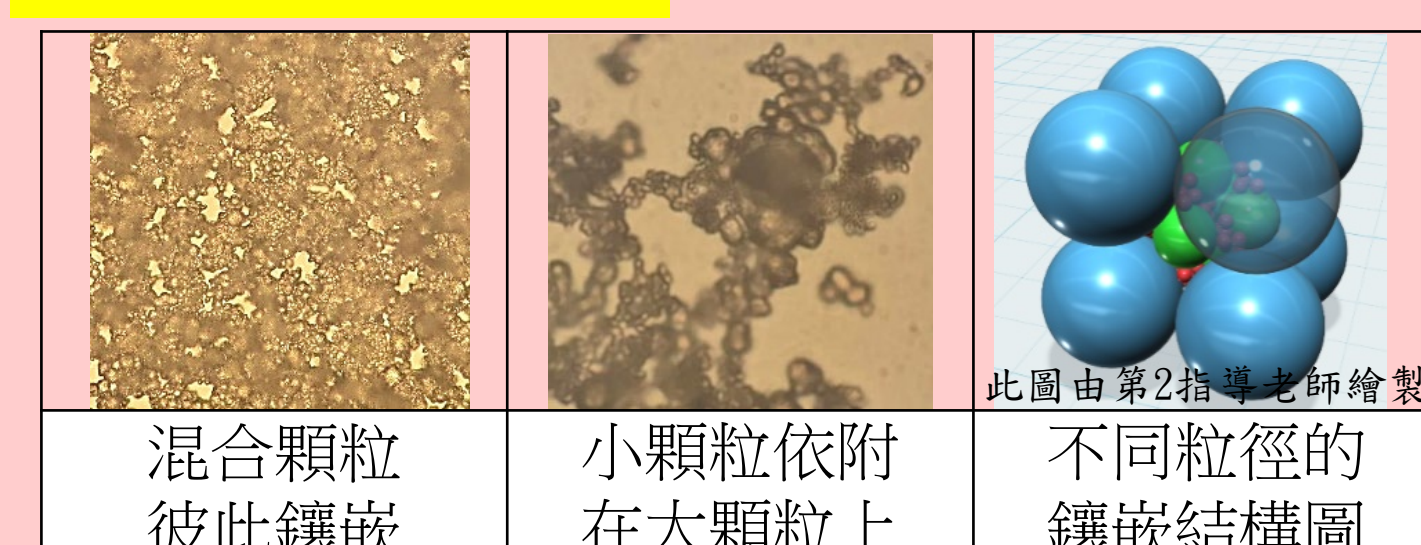
由研究我們意外破解了蛤粉身為填充顏料卻有高漫射的關鍵「**大小顆粒相互堆疊**」

蛤粉的秘密

## 柒、結論

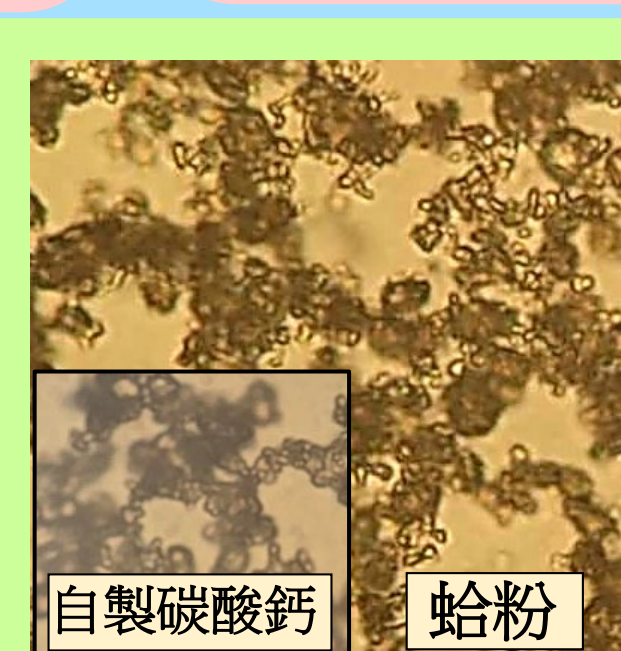
### (4)顆粒鑲嵌

混合不同顆粒的效果



混合不同顆粒大小的碳酸鈣微球

1. 大小顆粒會緊密排列，成串接結構
2. 小顆粒會附著在大顆粒，減少團聚



從蛤粉放大400倍的照片可以看見顆粒有**大小鑲嵌的狀態**！就像自製碳酸鈣堆疊效果提升了白度和漫射率。

### 一、自製降溫塗料最佳配方：

能有效降溫！加熱3分鐘比水泥板低**23.9°C**，比市售隔熱漆低**4.7°C**。

日曬保麗龍盒一天，比水泥板低**3.0°C**，比市售隔熱漆低**0.5°C**。

1. 漫射型雪白塗料：二氧化鈦：光擴散劑=15：5，水狀白度高、遮蔽強易塗漆。
2. 天然不刺眼塗料：蛤粉：雲母粉：氧化鋁=50：5：2.5，兼具漫射和阻隔、不刺眼。
3. 阻隔型快乾塗料：二氧化矽：二氧化鈦=30：10，奶油狀、快乾便宜、阻隔佳。
4. 碳酸鈣微球塗料：0 min：5 min：10 min=5：1：1，顆粒細膩、透過鑲嵌增加白度。

### 二、影響降溫塗料的三大變因：

1. **白度**、2. **粉末性質**、3. **顆粒堆疊**(分成縫隙、形狀、大小、鑲嵌四部份來看)

### 三、自製碳酸鈣微球探討

1. 透過檸檬酸和攪拌時間控制微球大小
2. 顆粒越小效果越佳，但顆粒小於3μm容易產生團聚影響塗料
3. 混合大小不同形狀相似的顆粒，漫射效果最佳。
4. 蛤粉就是不同顆粒大小碳酸鈣的組成結構，兼具漫射和阻隔效果！