

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)科

佳作

052409

「灰」「灰」衣袖，帶來一片商機

學校名稱：國立苗栗高級農工職業學校

作者： 職二 施繼雲 職二 洪勝郁 職二 江芳賢	指導老師： 羅維真 王淑璟
---	-----------------------------

關鍵詞：碳酸鈣、聚異丁烯、萬用黏土

摘要

本研究將校園中丟棄的短粉筆及粉筆灰回收再利用，以調配出具環保理念的萬用黏土。實驗將粉筆灰與聚異丁烯以不同的混合比例，可製備出具多樣性黏度與固化的萬用黏土，結果發現粉筆灰與聚異丁烯為1：3的混合比例下，有最佳黏度與固化的特性，並進一步探討粉筆灰的去色、粉筆灰的顆粒大小、黏土的染色以及環境濕度對黏性的影響，最後將環保萬用黏土與市售萬用黏土進行黏性比較。結果顯示粒徑大小40 mesh 以上的粉筆灰，在不添加染料和環境濕度60%以上時，具有最佳表現，故經本研究開發環保萬用黏土，具備良好性能表現，並具有資源再利用及環境保護生活化的概念。

壹、研究動機

在充滿文學氣息的校園，粉筆是我們在學校中老師教學不可或缺的物品，而粉筆在使用後會留下大量的粉筆灰，其含量是不容小覷的，這些粉筆灰在一般情況下，大多都是被丟棄、清理，但如此大量又容易取得的物品，是否能回收再利用呢？經由文獻參考並了解粉筆灰成分後，對其進行多方面資料蒐尋，思考粉筆灰能在何處能發揮功效，用有益處的方式回收粉筆灰，賦予粉筆灰新的生命力。

經成分分析及探討後發現，本實驗所使用的粉筆灰其碳酸鈣純度並不高，因此無法製作有關建築材料、玻璃、鈣片與其它用於人體的相關產品，考量以上因素及現有設備環境，決定製作成功率較高，且具備環保與經濟效益之萬用黏土。

我們利用所學的課程內容並上網搜尋粉筆灰、黏土及聚合物等相關資料進行統合，與師長多次討論後，開始著手設計粉筆灰之回收再利用計畫，本實驗設計原理包含高職材料與化工的課程內容結合延伸而成，其詳細內容如表1所呈現。

表 1、高職課程相關內容

科目名稱	年級	內容	作品應用部分
普通化學 II	一年級	主族元素	粉筆灰之成分
普通化學 II	一年級	化學鍵	黏土黏著性
普通化學 II	一年級	聚合物	黏土之成分

化工裝置 II	二年級	粒徑分析	粉筆灰之顆粒大小篩選
化工裝置 II	二年級	乾燥裝置	去除黏土中水分
化工裝置 II	二年級	吸附的原理	黏土之染色
工程材料 I	三年級	黏土之成分與性質	黏土之特性
工程材料 II	三年級	塑膠之種類	聚合物之選擇
工程材料 II	三年級	塑膠之添加物	黏土染色劑
工程材料 II	三年級	塑膠之一般特性	聚合物優缺點
工業安全與衛生	三年級	整體換氣	粉塵汙染

貳、研究目的







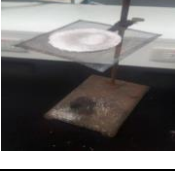
- 一、發掘粉筆灰的用途，使粉筆灰不再只是被丟棄，能有更多不同用途。
- 二、採用環保與低成本的方式製作出萬用黏土。
- 三、探討最有效益的自製萬用黏土比例。
- 四、探討不同濕度對黏土造成的影響。
- 五、藉由不同重量的物品比較自製與市面上販售的萬用黏土差異。
- 六、探討自製萬用黏土是否符合經濟效益。
- 七、探討自製萬用黏土環保功效。




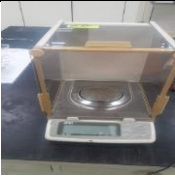





參、研究設備及器材

一、實驗器材與藥品

本研究使用的器具、藥品與設備如表2所示。

表 2、實驗器材、藥品與儀器

編號	名稱	實品圖
1	聚異丁烯	
2	碳酸鈣 (粉筆灰，校內自行收集)	
3	燒杯	
4	秤量瓶	
5	玻棒	
6	本生燈	
7	陶瓷纖維網	

8	錶玻璃	
9	烘箱	
10	粗秤天平	
11	精密天平	
12	30、40、50 mesh 篩網	
13	研磨器具	
14	超音波洗淨器	
15	染料	
16	抽氣系統	

肆、研究過程與方法

一、粉筆灰成分之介紹

(一) 粉筆之成分

粉筆灰的主要成分為碳酸鈣及硫酸鈣，次要成分為滑石粉與顏料，其中摻混滑石粉來增加觸感並避免碳酸鈣摩擦手指；顏料能使粉筆有顏色變化呈現，一般而言，紅色粉筆使用曙紅染色、黃色粉筆使用鉻黃染色、藍色粉筆則使用群青染色。

(二) 碳酸鈣常見之用途

碳酸鈣是一種無機化合物，在水中的溶解度小，是一種常見的物質，不僅是動物骨骼和外殼的主要成分，也是重要的建築材料，在工業上用途廣泛。

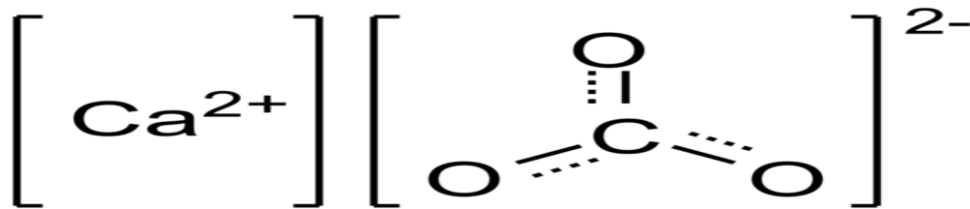


圖 1、碳酸鈣化學結構式

粉筆灰中含**30%~35%的碳酸鈣**(註1)，經文獻探討可知碳酸鈣用途極廣，說明描述如下。

1. 在冶金工業中，碳酸鈣主要用於助溶劑；加速反應速度。
2. 添加在建築材料中，以增加建築物的強度。
3. 中和酸性物質，如：二氧化硫、水、酸性土壤、農田；以達到經濟效應。
4. 製造玻璃及鈣片。
5. 醫療上可用作抑酸劑，中和過多的胃酸、保護胃和十二指腸潰瘍等病。
6. 製造環保垃圾袋，以加速微生物分解，有利於環境永存。

二、實驗原理

由文獻探討得知，黏土的主要成份為聚合物與無機化合物的混合物，其中聚合物須為熱塑性聚合物，以樹脂為佳。

(一) 聚合物的選用

適合製作黏土的樹脂包含：DEHP(鄰苯二甲酸二酯)、DINP(鄰苯二甲酸二異壬酯)、DOP(酞酸二辛酯)、己二酸、聚異丁烯以及 DBS(癸二酸二丁酯)。

表 3、適用於製作黏土的樹脂簡介

樹脂	縮寫	結構式	應用
鄰苯二甲酸二酯	DEHP	$C_{24}H_{38}O_4$	塑膠產品、地板磁磚
鄰苯二甲酸二異壬酯	DINP	$C_{26}H_{42}O_4$	塑化劑
酞酸二辛酯	DOP	$C_{24}H_{38}O_4$	可塑劑
己二酸	Adipic acid	$C_6H_{10}O_4$	尼龍聚合物、土壤改良劑
聚異丁烯	PIB	$H[C(CH_3)_2CH_2]_nH$	輪胎、黏著劑
癸二酸二丁酯	DBS	$C_{18}H_{34}O_4$	塑化劑

其中聚異丁烯為異丁烯的聚合物，為一種飽和聚烯烴，具有耐老化、耐多種無機酸、鹼、鹽和極性介質的侵蝕，且其 SP(溶解度參數)為7.7，具有濕潤表面的功能，而濕潤現象為黏著劑的基本條件，故選用聚異丁烯作為黏著劑。

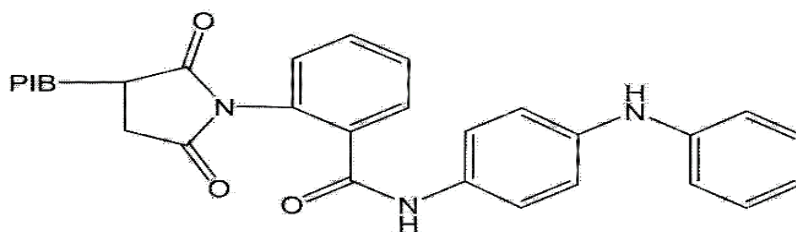


圖 2、聚異丁烯結構式(網路截取)

(二) 黏著劑黏著原理與作用力

1. 機械黏著理論

通常固體材料表面是由無數個無規則凹凸的峰谷構成，為獲得最佳黏著效果，液態黏著劑必須滲透到黏著物表面的縫隙或凹陷處，並將凹孔中空氣驅除，當黏著劑固化後會在介面處產生嚙合連結或投錨效果。

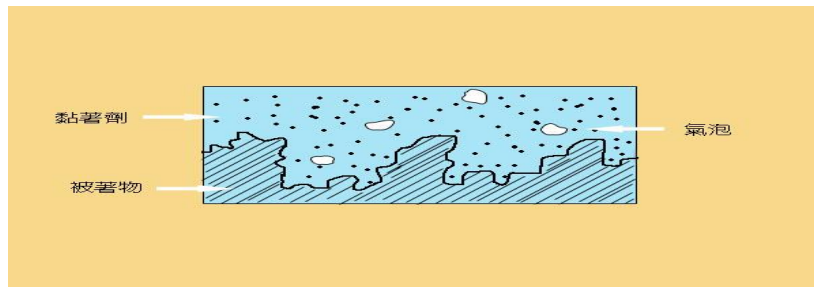


圖 3、機械黏著理論簡介圖

2. 凡德瓦力

(1) 偶極-偶極力(dipole-dipole interaction)

偶極-偶極力又稱為極性-極性力，為兩個或多個極性分子間互相產生的作用力，因極性分子的合偶極矩 >0 ，會造成分子內的電荷分布不均而形成永久偶極產生正負端，由此正負端所形成的靜電作用力即為偶極-偶極力(註2)。



圖 4、偶極-偶極力簡介圖

(2) 偶極-誘導偶極力(dipole-induced dipole interaction)

偶極-誘導偶極力為極性分子與非極性分子互相產生的吸引力，當極性分子接近非極性分子時，能使非極性分子的電荷分布產生極化(註3)，即使正電荷與負電荷分離而形成誘導偶極。

(3) 倫敦分散力(London dispersion force)

倫敦分散力又稱之為誘導偶極-誘導偶極力，是一種非極性分子間的凡得瓦力。

3. 氫鍵(Hydrogen bond)

氫鍵屬於一種永久偶極的分子間作用力，通常氫原子會與有較強的電負度原子(F、O、N等)，產生吸引力，使強電負度原子端帶負電荷，而氫端帶部分

正電荷，帶有部分正電的氫能吸引鄰近電負度較大的 F、O、N 上的孤對電子而形成氫鍵(註4)。

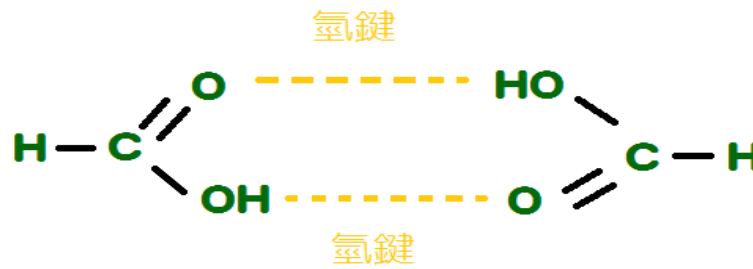


圖 5、氫鍵簡介圖

4. 內聚力與附著力

內聚力為同類分子間的吸引力；附著力為異類分子間的吸引力，當內聚力大於附著力時，液滴將內縮趨近球狀且不會潤濕界面；當附著力大於內聚力時，液滴將被拉開成扁形狀且會潤濕界面(註5)。

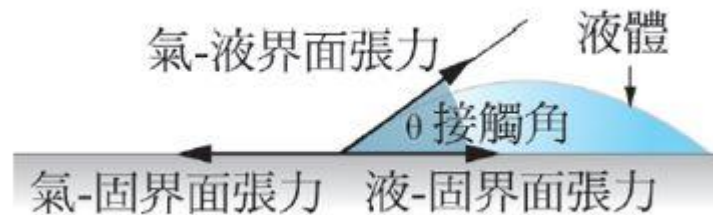


圖 6、濕潤現象(截取台科大基礎化工 I)

(三) 黏膠黏著方式

1. 溶劑揮發

將黏著劑塗佈至需要被接著的兩個材質的兩邊，待黏著劑乾燥揮發後，再貼合加壓，若在溶液揮發不完全情況下直接貼合加壓，會造成表面不平整的凸起，導致黏著不良容易脫落。

2. 聚合反應

當黏著劑塗佈在物件表面時，溶劑會迅速蒸發，而物件表面或來自空氣中的水份會使黏膠與物件迅速的進行陰離子聚合反應，形成長而強力的鍊子，達到快速黏合效果。

3. 冷卻固化

此黏著劑的主要成分為熱塑性樹脂或熱塑性彈性體，利用高分子熔體加熱後經冷卻就能發生固化的特性，將其製作成粒狀、棒狀、細繩狀、薄膜狀等，使用時只需加熱便能熔融，待熔體冷卻後，即可達到黏合效果。

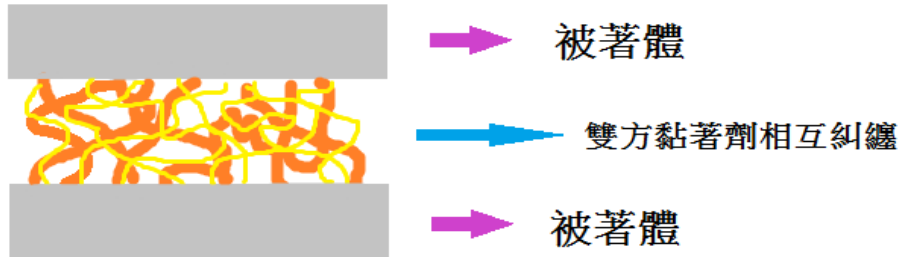


圖 7、黏著劑原理簡介圖

(四) 影響黏著強度的因素

1. 界面間濕潤的均勻度：若具有較高的濕潤效果，能使黏著劑均勻附在被接著物上，及具有較高的黏性。
2. 介面粗糙度：若介面具有高粗糙度時，黏著劑會因錨定定律而具有更強的黏著力
3. 接著劑與物體間熱膨脹係數的差異，兩材料結合在一起，彼此間熱膨脹係數的差異所造成在接點的結合面上和在接點的內部構造上產生應力。
4. 接著物的脆性，當應力超過黏著劑的負荷時，所造成的原子鍵斷裂，導致黏著力下降。

(五) 黏著劑相關應用

1. 萬用黏土所使用的黏著劑原理

萬用黏土使用的是乳膠狀黏著劑，塗在基材上會一顆顆分離，使單位面積內的黏著劑變少，導致黏性偏弱，撕下後不會沾黏住紙張的纖維，因此可保持黏性、重複使用。

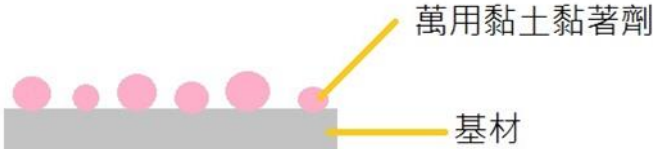
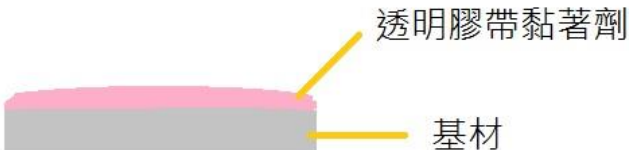

2. 透明膠帶所使用的黏著劑原理

透明膠帶使用的是溶劑型和乳膠狀黏著劑，利用增溫、乾燥的方式，破壞原本一顆顆分離的分子結構，使兩種均黏著劑均可均勻、平整的佈滿在基材上，因而達到較強的黏性。

3. 便利貼所使用的黏著劑原理

便利貼的黏著原理相似於萬用黏土，皆是使用乳膠狀黏著劑，塗在基材上會一顆顆分離，使單位面積內的黏著劑變少，導致黏性偏弱，即可保持黏性、重複使用。

表 4、黏著劑相關應用表

產品	原理	圖示
萬用黏土	機械黏著理論	 <p>圖 8、萬用黏土黏著劑與基材關係圖</p>
透明膠帶	機械黏著理論	 <p>圖 9、透明膠帶黏著劑與基材關係圖</p>
便利貼	機械黏著理論	 <p>圖 10、便利貼黏著劑與基材關係圖</p>

(六) 環保自製萬用黏土設計概念

本研究在做粉筆灰應用的探索實驗過程中，意外發現塑膠亦具有一定黏性可黏著物品，經資料搜尋發現，市售萬用黏土主成分包含聚合物與碳酸鈣，因此我們把研究目標鎖定於具有資源再利用及環境保護的萬用黏土。

聚異丁烯具有氣密性，需加入碳酸鈣等大分子使空氣進入聚異丁烯中，增加空氣滲透性，讓黏土內部產生大小不一的氣泡，這些氣泡根據機械黏著理論，如爪子般抓住黏著物，使黏土具有黏性。綜合上述，決定將要被丟棄的粉筆灰與穩定性高的聚異丁烯，兩者比力混合結合製成低成本之環保萬用黏土。

利用粉筆灰取代原本萬用黏土所使用之碳酸鈣，並與市售的萬用黏土進行黏著性以及黏著時間的比較，本實驗依四種比例製作自製萬用黏土，並以粉筆灰的顆粒大小、是否去色及有無上色為變因進行實驗設計及探討。我們以定量聚異丁烯與不同顆粒大小之粉筆灰調製出比例為(1：1)、(1：2)、(1：3)、(1：4)之自製萬用黏土，並進行黏著性與黏著時間之測試，選出最佳顆粒大小與混合比例之萬用黏土，再與市售萬用黏土進行黏著性比較，研究過程採重複性測試以減少實驗誤差。

三、實驗步驟

(一) 自製萬用黏土之成分比例比較

1. 在校園中收集粉筆灰以進行後續實驗。
2. 聚異丁烯與粉筆灰(碳酸鈣)以不同比例(1：1)、(1：2)、(1：3)、(1：4)，進行配置，製成「自製萬用黏土」。
3. 將步驟2之混合物放至120° C烘箱進行脫水固化10分鐘。
4. 對相同大小、相同形狀、不同比例之自製萬用黏土進行黏度測試，利用黏土將不同重量之物品黏至牆壁上，觀察其黏著重量以及黏著時間。
5. 紀錄步驟4之結果。

自製萬用黏土之成分比例成品差異實驗流程圖，如圖11所示。

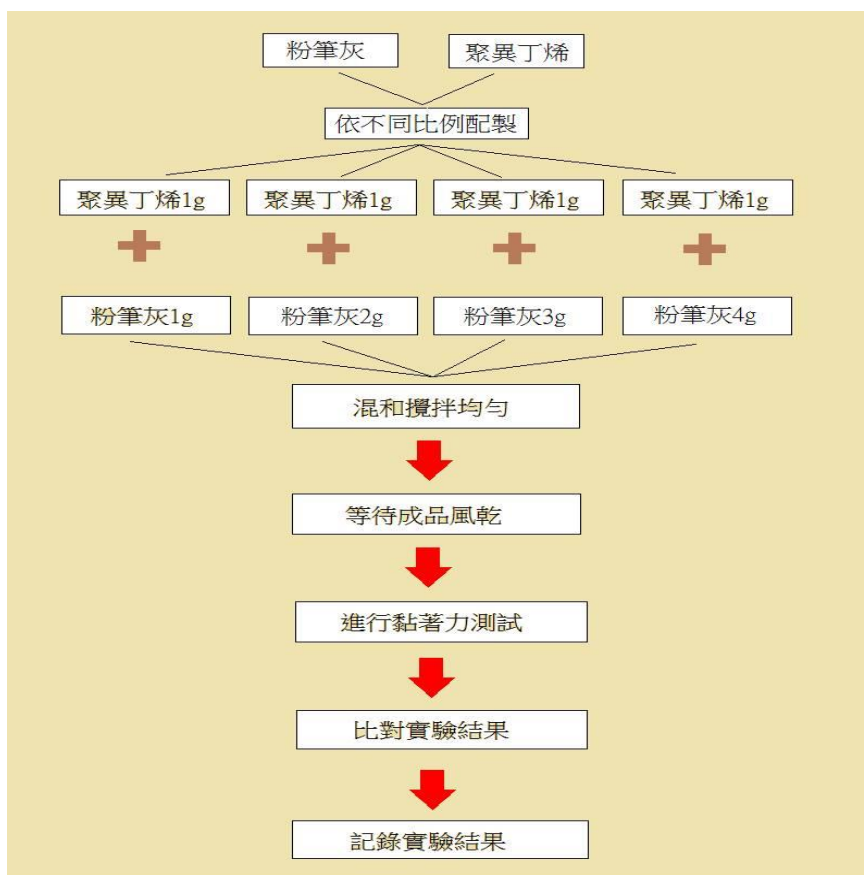


圖 11、自製萬用黏土之成分比例成品差異之實驗流程圖

(二) 去色粉筆灰之差異

1. 在校園中收集粉筆灰進行後續實驗。
2. 將取得的粉筆灰分為 A、B 兩組，A 組為已去色，B 組為未去色，並將 A、B 兩組所製成萬用黏土進行比較差異。
3. 將 A 組粉筆灰裝入燒杯中，並放至本生燈上進行加熱乾燒，使其去色至灰白色。
4. 取定量之聚異丁烯並分別加入 A、B 兩組粉筆灰，其比例為(1：3)，並攪拌使其均勻混合。
5. 將步驟4之混和物放至烘箱進行脫水固化。
6. 使用 A、B 兩組所製自製萬用黏土進行黏度測試，使自製萬用黏土將不同重量之物品黏至牆壁上，觀察其黏著重量以及黏著時間。
7. 紀錄步驟6之結果。

去色粉筆灰與未去色粉筆灰之成品差異實驗流程圖，如圖12所示。



圖 12、去色粉筆灰與未去色粉筆灰之成品差異實驗流程圖

(三) 粉筆灰之顆粒大小之比較差異

1. 在校園中收集粉筆灰進行後續實驗。
2. 將粉筆灰裝入燒杯中，並放至本生燈上進行加熱乾燒，使其去色至灰白色。
3. 將已去色粉筆灰分成 A、B、C 三組，A 組為使用 30 mesh 進行篩選，B 組為使用 40 mesh 進行篩選，C 組為使用 50 mesh 進行篩選，並將 A、B、C 三組所製成萬用黏土進行比較差異。
4. 取定量之聚異丁烯並分別加入 A、B、C 三組粉筆灰，其比例為(1：3)，並攪拌使其均勻混合。
5. 將步驟4之混和物放至烘箱進行脫水固化。
6. 使用 A、B、C 三組所製自製萬用黏土進行黏度測試，使自製萬用黏土將不同重量之物品黏至牆壁上，觀察其黏著重量以及黏著時間。
7. 紀錄步驟6之結果。

30 mesh、40 mesh 及 50 mesh 粉筆灰之顆粒大小成品差異實驗流程圖，如圖13所示。

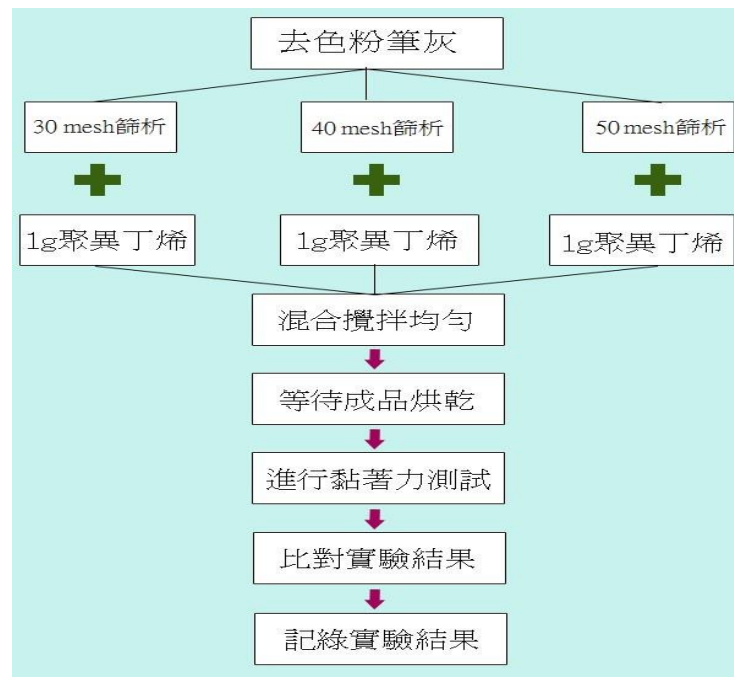


圖 13、網目 30 mesh、40 mesh 及 50 mesh 粉筆灰之顆粒大小成品差異實驗流程圖

(四) 染色黏土與未染色黏土之黏度比較

1. 在校園中收集粉筆灰進行後續實驗。
2. 將粉筆灰裝入燒杯中，並放至本生燈上進行加熱乾燒，使其去色至灰白色。
3. 取定量之聚異丁烯並加入小於40 mesh 去色粉筆灰，其比例為(1：3)，並在攪拌時加入油性壓克力染料使其染色均勻。
4. 將步驟3之混和物放至烘箱進行脫水固化。
5. 使用已染色及未染色兩組所製自製萬用黏土進行黏度測試，使自製萬用黏土將 100g 之物品黏至牆壁上，觀察其黏著重量以及黏著時間。
6. 紀錄步驟5之結果。

染色黏土與未染色黏土之成品黏度差異實驗流程圖，如圖14所示。

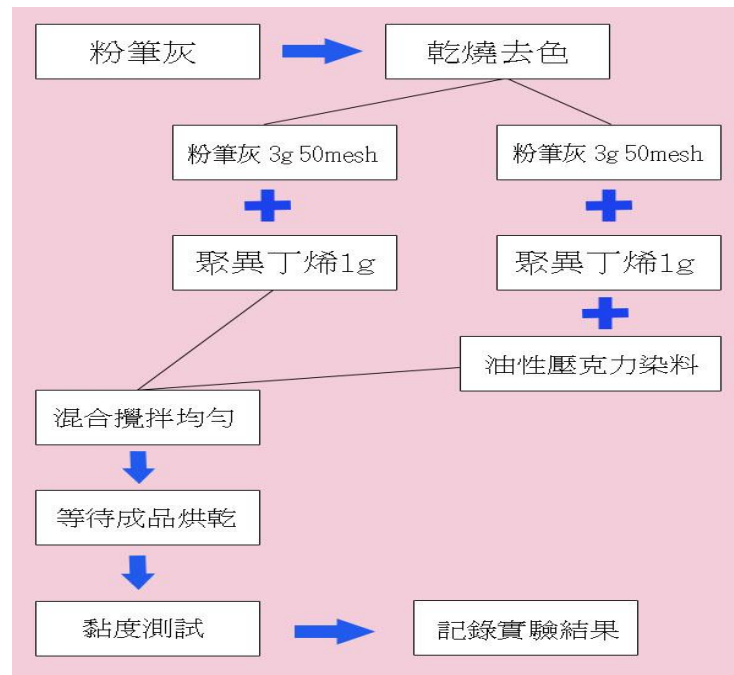


圖 14、染色黏土與未染色黏土之成品黏度差異實驗流程圖

(五) 自製萬用黏土與市售萬用黏土之黏度比較

1. 在校園中收集粉筆灰進行後續實驗。
2. 將粉筆灰裝入燒杯中，並放至本生燈上進行加熱乾燒，使其去色至灰白色。
3. 取定量之聚異丁烯並加入已小於 40 mesh 去色粉筆灰，其比例為(1：3)，並攪拌均勻。
4. 將步驟3之混和物放至烘箱進行脫水固化。
5. 使用自製萬用黏土與市售萬用黏土進行黏度比較，使自製萬用黏土與市售萬用黏土將不同重量之物品黏至牆壁上，觀察其黏著重量以及黏著時間。
6. 紀錄步驟5之結果。

自製萬用黏土與市售萬用黏土之成品黏度差異實驗流程圖，如圖15所示。

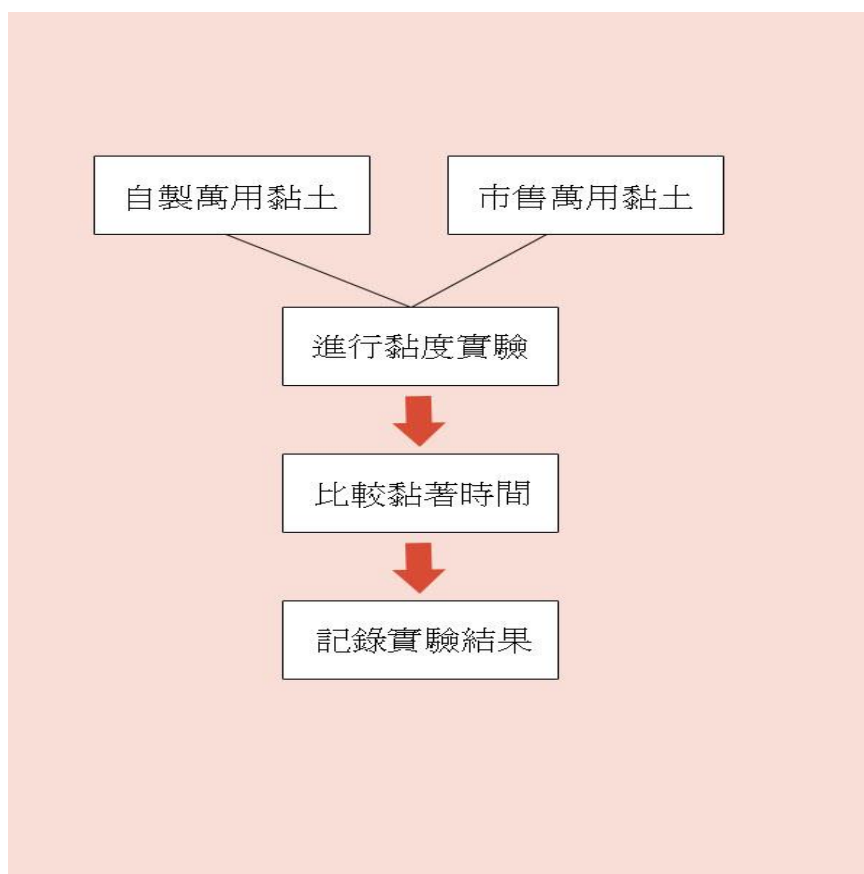


圖 15、自製萬用黏土與市售萬用黏土之成品黏度差異實驗流程圖

(六) 不同濕度對黏土黏著時間造成的影響

1. 在校園中收集粉筆灰進行後續實驗。
2. 將粉筆灰裝入燒杯中，並放至本生燈上進行加熱乾燒，使其去色至灰白色。
3. 取定量之聚異丁烯並加入已小於 40 mesh 去色粉筆灰，其比例為(1：3)，並攪拌均勻。
4. 將步驟3之混和物放至烘箱進行脫水固化。
5. 使用自製萬用黏土與市售萬用黏土在環境溼度80%、60%及50%中黏著重物進行黏度比較。
6. 記錄步驟5之結果

不同濕度對黏土黏著時間造成的影響實驗流程圖，如圖16所示。

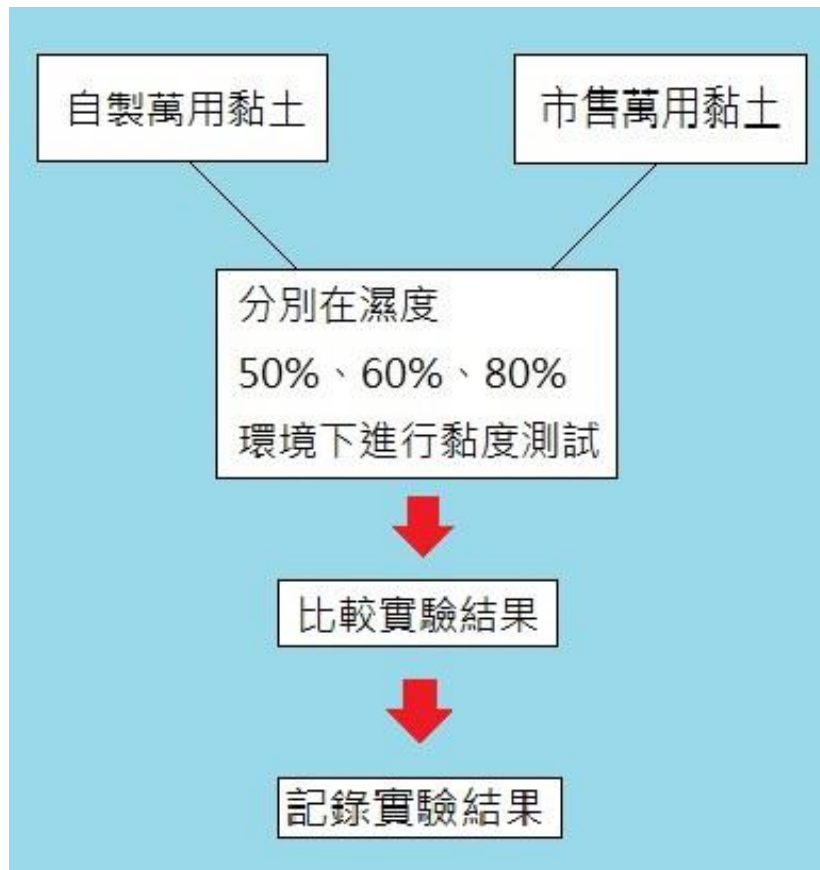


圖 16、不同濕度對黏土黏著時間造成的影響實驗流程圖

伍、研究結果

一、自製萬用黏土之成分比例比較之結果

本研究依比例(聚異丁烯：粉筆灰)不同製成萬用黏土($n \geq 3$)，如圖17所示，比較不同比例黏土黏著100g 物品的黏著時間，並做黏土的物理分析，特性如表5，數據如圖18所示。

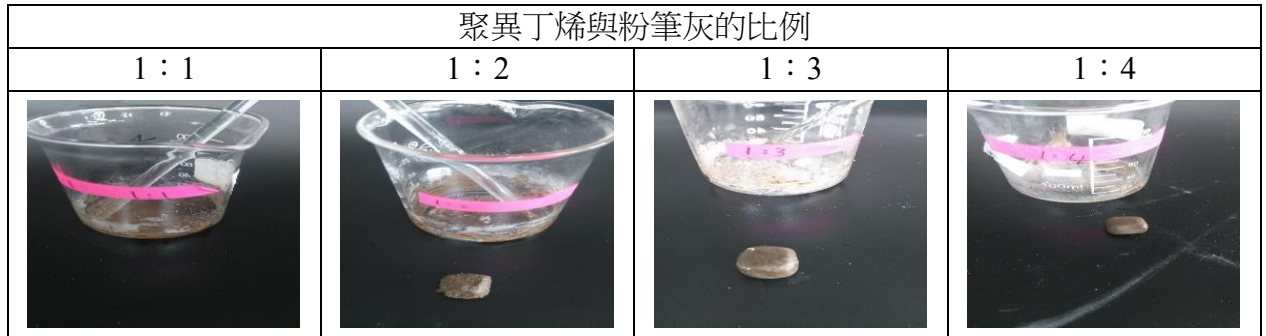


圖 17、不同比例之自製萬用黏土成品

表 5、不同比例黏土特性

特性 \ 聚異丁烯：粉筆灰	1 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 4
是否固化	無法	微量	可	可
黏著力	極強	弱	強	普通

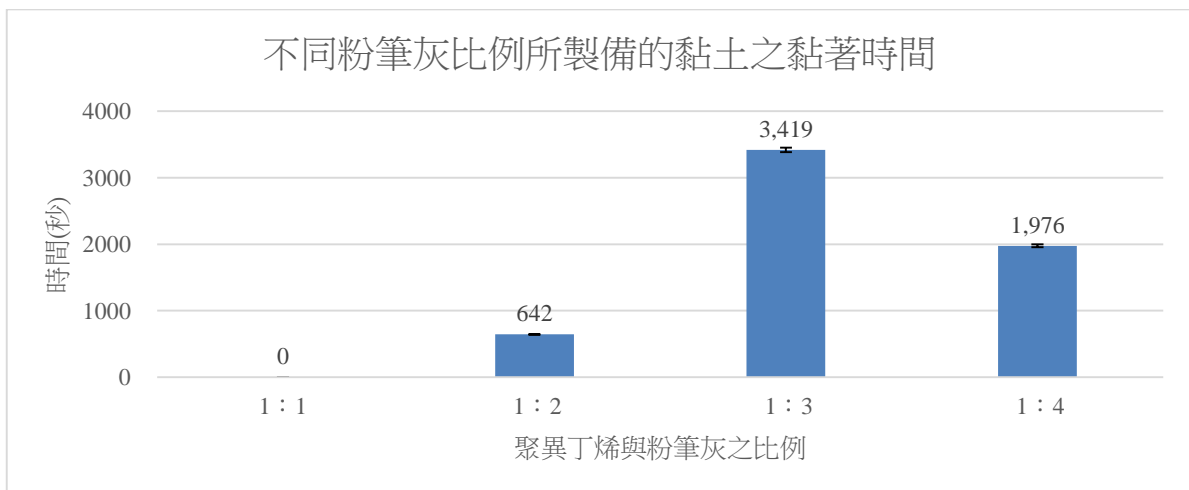


圖 18、不同粉筆灰比例所製備的黏土之均黏著時間比較

如圖18所示，當聚異丁烯與粉筆灰比例為1：1所製成的黏土無法固化，而其餘成品皆可。其中又以比例為1：3所製成的黏土黏著時間最長，黏著時間約3,419秒。由實驗結

果推論：粉筆灰比例愈低其固化程度越差，反之，但粉筆灰佔的比例愈高會使聚異丁烯無法完全吸附，導致黏性不足，因此後續的實驗探討皆以1：3的比例作最適化。



二、去色粉筆灰之差異之結果

本研究蒐集大量粉筆灰，並使用本生燈將粉筆灰進行加熱，使其去色，如圖19所示，並比較去色與未去色粉筆灰所製黏土黏著100g 物品的時間，結果如圖24所示。



圖 19、已去色之粉筆灰

將去色粉筆灰及未去色粉筆灰所製成自製萬用黏土，成品照片如圖20及圖21所示。

自製萬用黏土成品	
	
圖 20、去色粉筆灰所製備成品	圖 21、未去色粉筆灰所製備成品

由圖22及圖23可得知，未去色粉筆灰所製自製萬用黏土使用後會留下大量明顯痕跡，而去色粉筆灰所製自製萬用黏土卻不易留下痕跡。

自製萬用黏土殘留痕跡

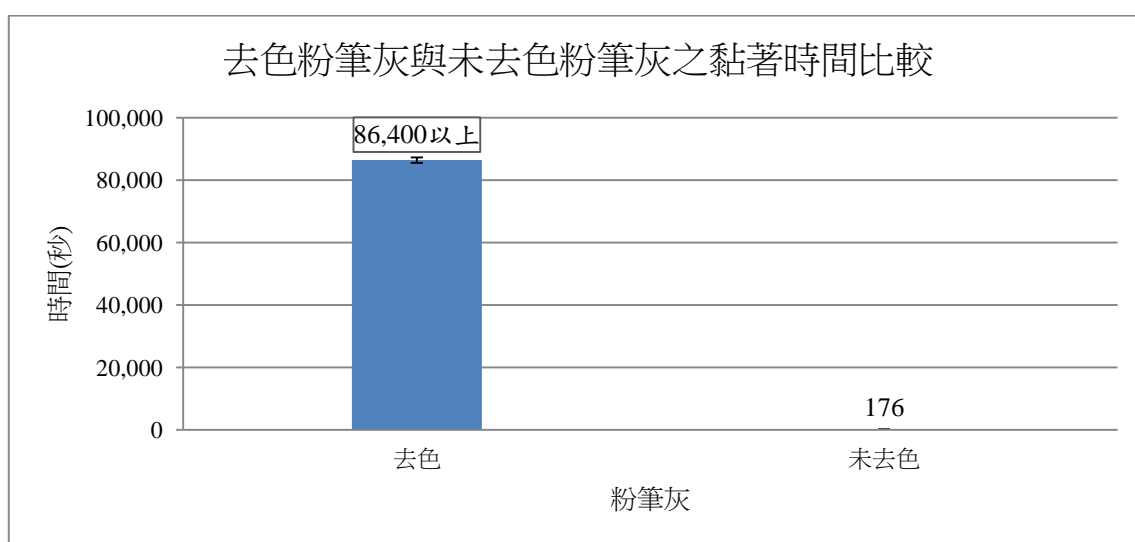
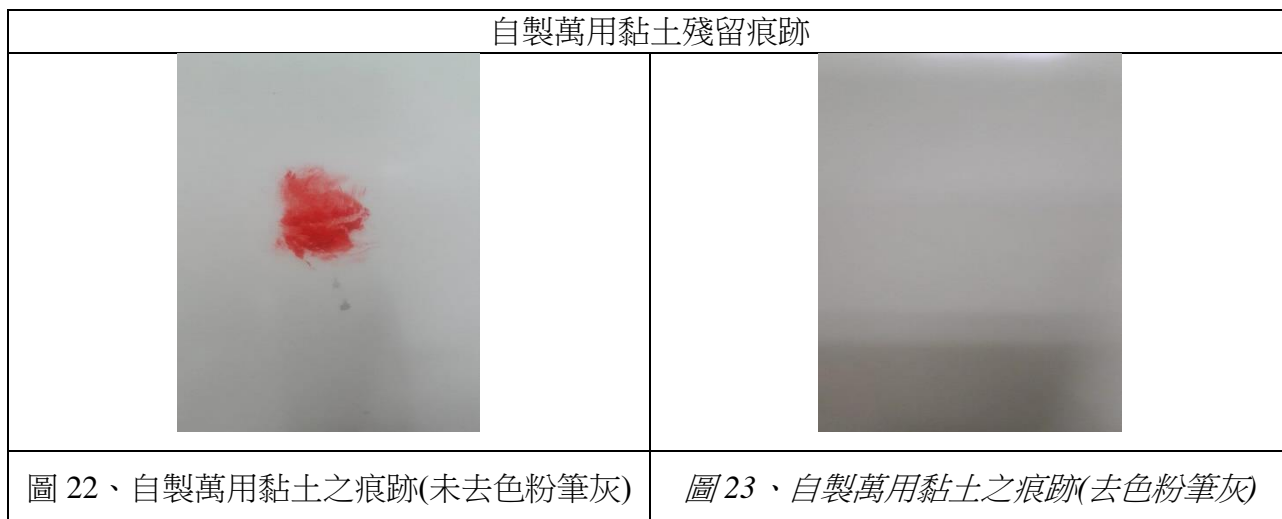


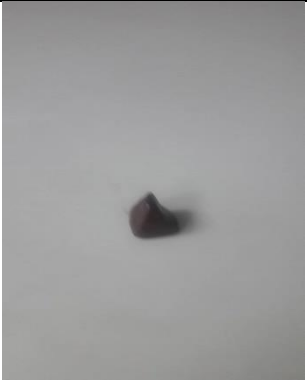
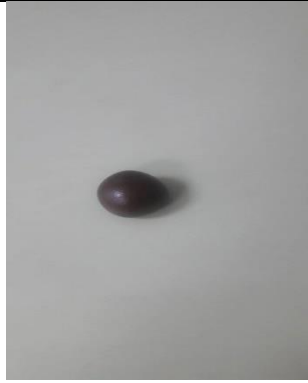

圖 24、去色粉筆灰與未去色粉筆灰之黏著時間比較

結果顯示，去色粉筆灰所製黏土均可黏著物品86,400秒以上，而未去色粉筆灰所製黏土平均只能黏著物品176秒，由此推測粉筆灰中的染料及其他雜質將降低黏土分子與物品間的黏著力。

三、去色粉筆灰之顆粒差異之結果

本研究將已去色粉筆灰分成30、40及50 mesh等顆粒大小，並製成自製萬用黏土，成品照片如表6所示，並比較不同顆粒大小所製黏土黏著100g物品的時間，結果如圖25所示。

表 6、粉筆灰顆粒大小差異之結果

顆粒大小	30 mesh	40 mesh	50 mesh
自製萬用黏土			
結果	黏性普通	黏性強	黏性強

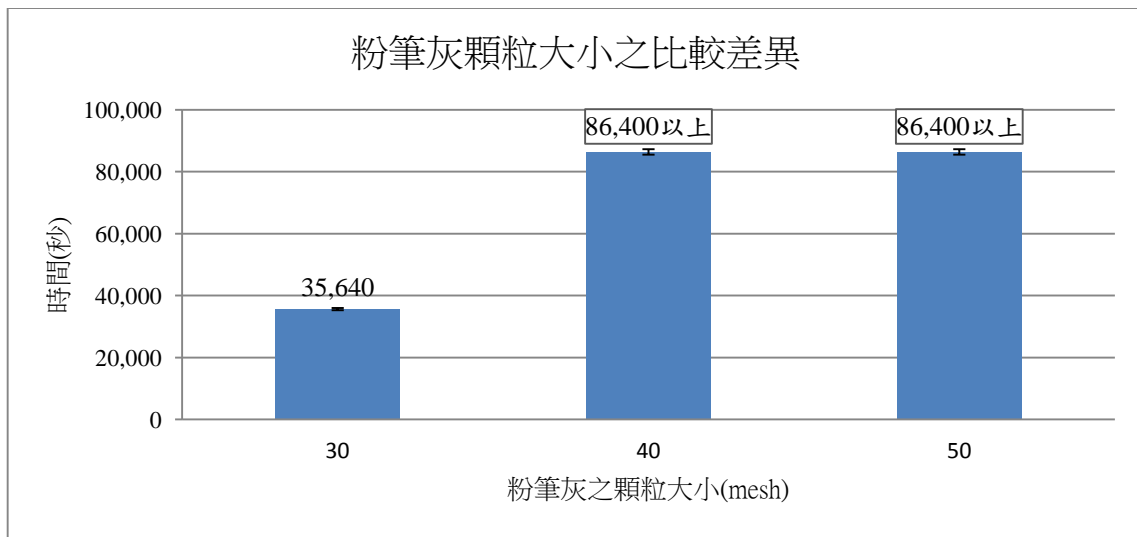


圖 25、比較不同顆粒大小的粉筆灰之黏著時間

結果顯示，當粉筆灰由40及50 mesh 篩選所製黏土均可黏著86,400秒以上，而30 mesh 篩選所製黏土平均只能黏著物品35,640秒。由以上數據推論：粉筆灰的顆粒愈細緻，其表面積愈大，可產生鍵結的範圍提高，故可製出的黏土黏度愈強。

四、已染色黏土與未染色黏土之黏度比較之結果

本研究將染料加入黏土中，其成品照片如圖26及圖27所示，並比較染色與未染色黏土黏著100g 物品的時間，結果如圖28所示。

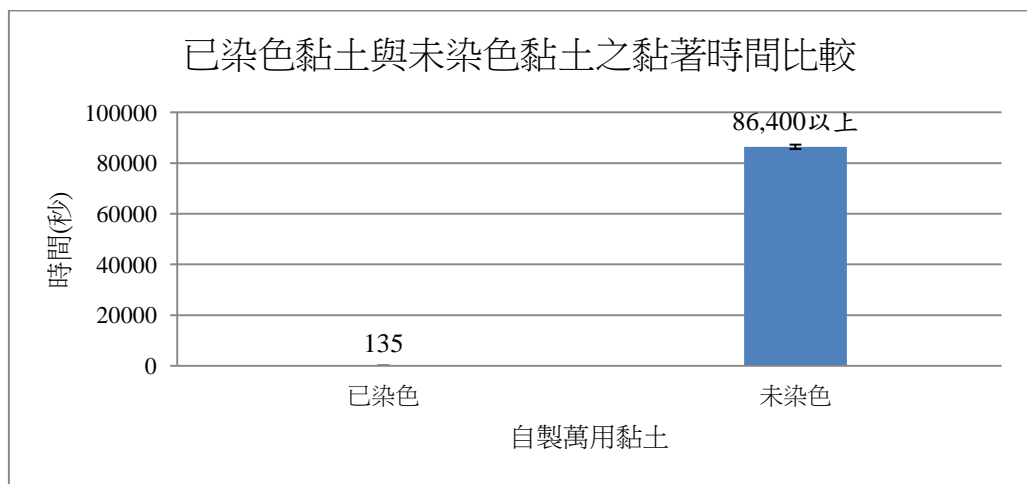
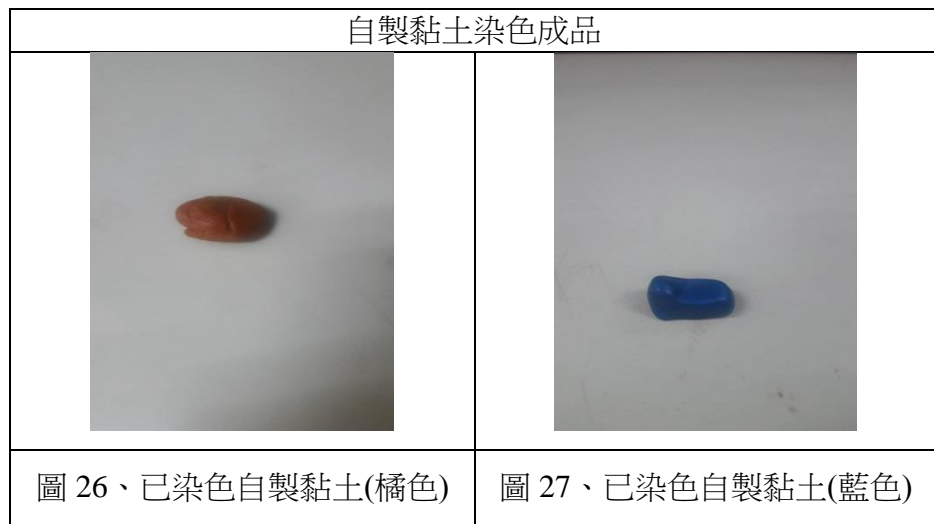
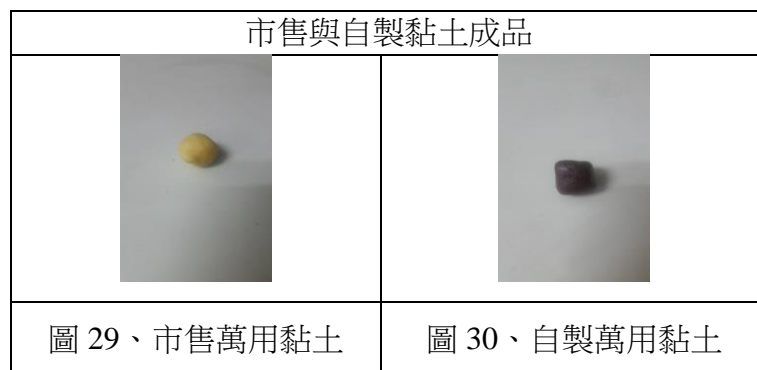


圖 28、已染色黏土與未染色黏土之黏著時間比較

由圖28發現，未染色黏土均可黏著物品86,400秒以上，而已染色黏土平均只能黏著物品135秒，由此可知，當黏土表面附著染料會破壞黏土分子的鍵結力與黏貼物間的作用力。

五、自製萬用黏土與市售萬用黏土示意之黏度比較之結果

本研究比較自製萬用黏土與市售黏土黏著100g 物品的時間，其結果如圖31所示。



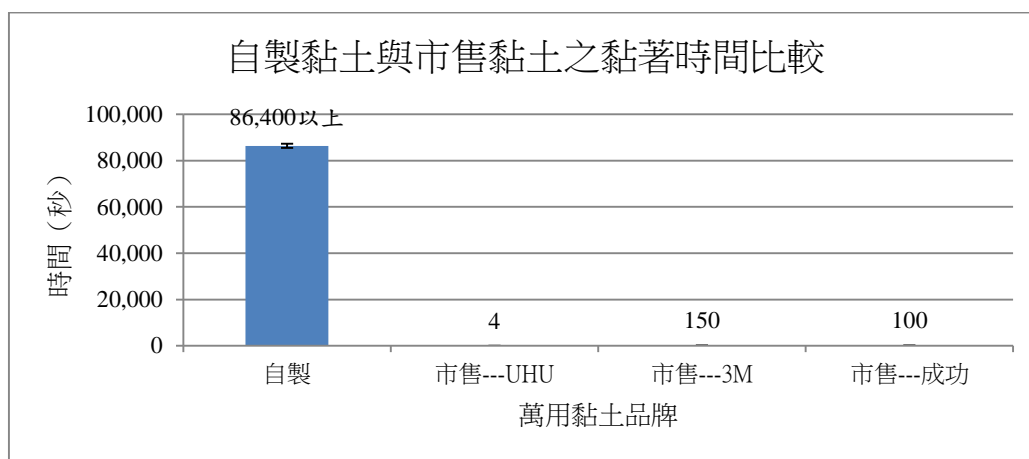


圖 31、自製黏土與市售黏土之黏著時間比較

自製黏土平均黏著時間為86,400秒以上，其餘廠牌黏著時間約為4至150秒，如圖28所示，由此推測，當物重100g時，市售黏土無法負荷，所以其主要黏著輕型物品。

六、不同濕度對黏土黏著時間造成的影響

本研究比較自製黏土與市售黏土在不同濕度環境下黏著100g 物品的時間，其結果如圖32所示。

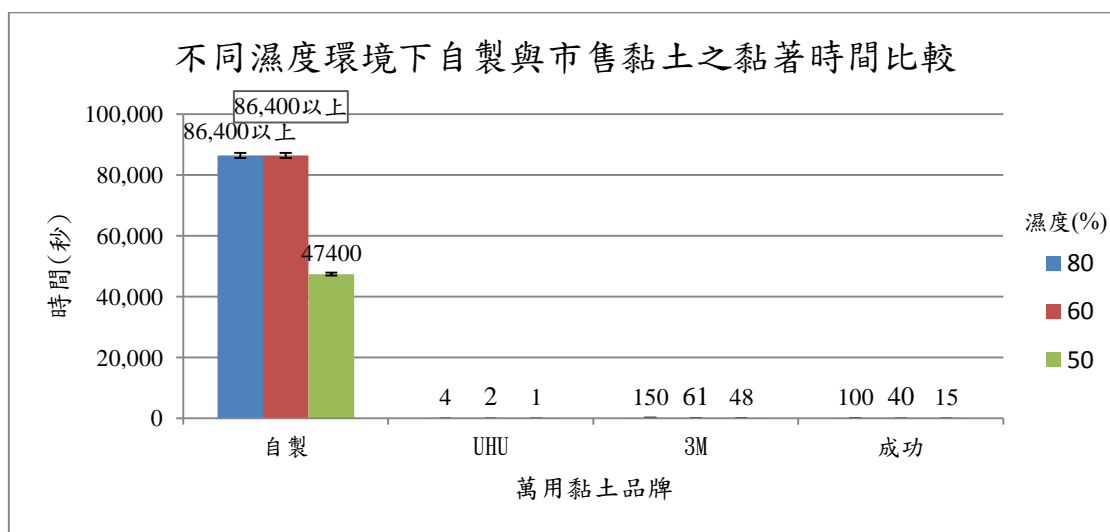


圖 32、不同濕度環境下自製與市售黏土之黏著時間比較

結果顯示：環境濕度越高，萬用黏土的黏著性越強，但殘留物也因濕度上升而增加，綜合以上推論：由機械黏著理論可知，黏土與被著物之間的空氣愈少，黏著強度愈大。黏土與固體被著物之間會有空氣的產生，當空氣濕度上升，黏著劑與黏土之間的空氣會被排除，因為黏土分子中的親水端會與空氣中的水份結合，致使黏土黏著度上升。

陸、討論

一、聚異丁烯與粉筆灰的比例不同，所產生的黏土型態

聚異丁烯和粉筆灰比例1：1所製的黏土，由於粉筆灰所占比例不足，故導致成品無法固化；比例1：2所製的黏土呈現黏稠狀，造成固化不穩定；比例1：3所製的黏土，效果最好，此比例所製備的萬用黏土中之聚異丁烯可完全固化並具有高黏度比例；比例1：4所製的黏土，雖可完全固化，但黏性較差，且粉筆灰超過聚合物聚異丁烯所能包裹的量，故容易鬆散。

二、有色粉筆灰與去色粉筆灰製成之萬用黏土差別

我們將未經處理的有色粉筆灰與去色粉筆灰製成的萬用黏土進行比較，發現有色粉筆灰的黏性比去色粉筆灰弱。由此推測是因為粉筆灰中的染料及其他雜質會破壞黏土分子與物品間的黏著力，導致黏度降低。

三、顆粒大小不同，對黏土造成的影響

由實驗三結果顯示，使用40 mesh 以上篩選過的粉筆灰，其黏著時間皆可達86,400秒以上，由以上數據推論：粉筆灰的顆粒愈細緻，其總表面積愈大，可產生鍵結的範圍提高，故黏土黏度愈強。

四、在萬用黏土中添加染料對黏度造成的影響

由實驗四數據可知，黏土在未染色情況可黏著長達86,400秒以上，而染色後只可黏著135秒左右，綜合以上結果得知，添加的染料會破壞黏土分子的鍵結力與黏貼物間的作用力，導致黏土黏性變弱。

五、在不同濕度環境下對萬用黏土的影響

由實驗六結果得知，萬用黏土會因為環境濕度而影響自身黏度大小，溼度愈高，黏土黏著力愈強，殘留物也因濕度上升而增加，反之黏著力則愈弱，殘留物也會減少。由機械黏著理論可知，黏土與被著物之間的空氣愈少，黏著強度愈大。黏土與固體被著物之間會有空氣的產生，當空氣濕度上升，黏著劑與黏土之間的空氣會被排除，因為黏土分子中的親水端會與空氣中的水分子結合，致使黏土黏著度上升。

八、各家萬用黏土與自製萬用黏土特性分析

表 7、自製與市售萬用黏土特性分析

	自製萬用黏土	市售萬用黏土
成本	0.1 NT\$/g	0.8~1.6 NT\$/g
外觀	深褐色	黃色、白色、灰色
黏度	極強	普通
殘留痕跡	多	少量

表 8、各家萬用黏土與自製黏土價格比較

各廠牌黏土	總價格	總克數	每克價格
UHU	NT\$95	60 g	1.58 NT\$/g
3M	NT\$48	58 g	0.83 NT\$/g
成功 success	NT\$60	50 g	1.2 NT\$/g
自製黏土	NT\$400	4000 g	0.1 NT\$/g

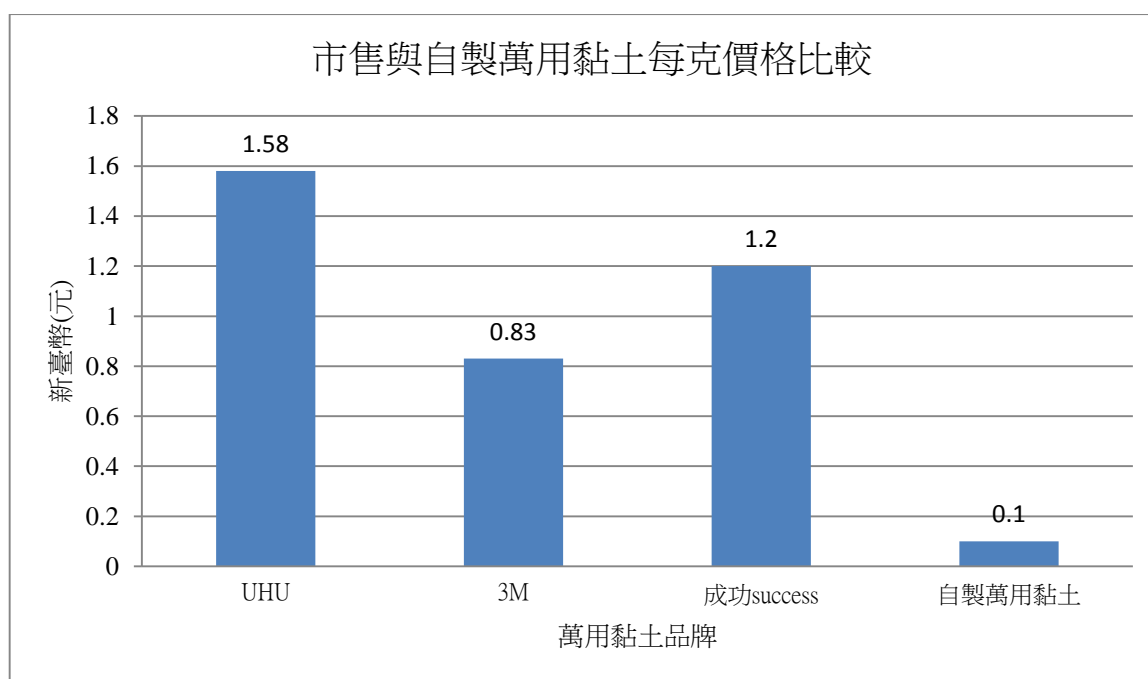


圖 33、市售與自製萬用黏土之價格分析圖

由表8及圖33數據可得知，三種市售萬用黏土每克成本為0.8至1.6元之間，而自製萬用黏土每克成本為0.1元，由此推斷，自製黏土使用的粉筆灰及聚異丁烯都可有效降低製作成本。

七、自製黏土之環保理念說明

我們所自製的萬用黏土是將被丟棄之短粉筆及粉筆灰取代碳酸鈣再加入聚異丁烯後所製成，藉由廢物利用的方式，達到回收再利用的環保效果。

八、去除自製萬用黏土之殘留痕跡

使用完自製黏土後，被黏著物上可能沾有少許黏土殘留物，文獻指出，自製萬用黏土中的聚異丁烯會溶於酯類而失去黏性，因此使用少許酯類，例如：沙拉油，即可將殘留物去除。

九、患有何種症狀者，不適用自製萬用黏土

粉筆灰的成分包含碳酸鈣、硫酸鈣及滑石，其中硫酸鈣容易吸收水分子，導致患有指掌角化症(富貴手)或肌膚敏感者產生皮膚乾燥、指頭龜裂、出血、指紋消失、手指僵硬及手指活動困難等症狀，故肌膚較敏感者不適合使用自製萬用黏土。

柒、結論

- 一、本研究之實驗成果使將被丟棄的粉筆灰及短粉筆進行回收再利用，轉變成美化環境之萬用黏土，減少粉塵及廢棄粉筆灰。
- 二、自製萬用黏土其聚異丁烯與粉筆灰比例為1：3，並且使用顆粒小於40 mesh 之去色粉筆灰製成的萬用黏土，具有最佳黏著性及實用性。
- 三、自製萬用黏土最適合在環境溼度為60%，既黏著力佳且殘留物較少。
- 四、自製萬用黏土產品可提供校內物品張貼等美化環境所使用。
- 五、市售黏土的價格分布在1.58元/公克與0.83元/公克之間，目前本探索試驗所需成本為0.9元/公克，若大量訂購聚異丁烯，可將其價格大幅降低，使萬用黏土所需成本降為0.1元

/公克。

六、自製萬用黏土不但具高經濟價值，並且可降低環境汙染，使教室的粉筆灰不再是個被丟棄的垃圾，反而成了高經濟價值的萬用黏土原料，達到資源回收再利用，創造美好生活的理想。

七、本實驗之過程及成品符合綠色化學12原則中的減廢與保安原則。

捌、參考資料及其他

劉孝駿(2014)•*碳酸鈣溶解系統的製程設計與模擬分析*(未出版的碩士論文)•桃園：長庚大學。

生活智慧王(2003年11月19日)自製便利貼 How to Make : Memo Stickers。取自
<https://www.youtube.com/watch?v=DKvXVrG11kw>

楊聖恩(1995)•*CaCO₃之高壓拉曼光譜研究*(未出版的碩士論文)•臺北：國立臺灣大學。

吳文政(無日期)。生活中的科學-黏著劑原理。取自

<http://www2.csic.khc.edu.tw/06/0610/09.補充教材/化/生活中的化學/接著劑.pdf>

林宛臻(2012)•*便利貼黏著劑之分析—老化性質及對紙質類藏品之影響*(未出版的碩士論文)•臺南：國立臺南藝術大學。

張耀懋(2008年9月28日)•粉筆灰飛 擔心肺受傷 不如保護手•*聯合報*•取自

http://www.aa-rich.com/home.php?xin=doc_show&news_id=12227858261

郭子銘(2013)•*不同黏著劑之抗沖蝕特性探討*•屏東：屏東科技大學。

朱鶴健(1992)•*土壤地理學·土壤物理學*(40頁)•臺北市：高等教育出版社。

溫台祥、楊時榮(2010)•*紙質文物維護用黏著劑：小麥澱粉漿糊*•*臺灣圖書館管理季刊*，11-12。

劉雅琳(2009)・粉筆再利用・取自

<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2009/11/2009111311310695.pdf>(註1)

郭修甫(2013)・分子間作用力・科學 Online 科技部高瞻自然科學教學資源平台・取自

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=48196>(註2)(註4)

蔡永昌(2014)・普通化學・新北市：台科大圖書(註3)

李景安(2015)・界面力學-表面張力之小兵立大功・取自

http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read_attach.php?id=2015(註4)

【評語】 052409

本作品以校園粉筆灰與聚異丁烯調配成萬用黏土。黏土的性能以黏著 100 公克物品維持黏著時間做比較，實驗結果發現，聚異丁烯與 40mesh 粉筆灰重量比為 1：3 的黏著時間最長。自製黏土與市售黏土黏著時間差異甚大，建議宜思考黏土產品的性能規格，調配符合市場需求的黏土。另在成本估算時，宜評估設備、人力及相關營運的成本。