

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(二)科

第二名

082914

「金」「壁」「灰」煌-會呼吸的智慧多孔創新材料初探

學校名稱：金門縣金城鎮中正國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳品蓉	李麗娟
小六 李子任	鄭亞設
小五 陳楚甯	
小五 黃羽寧	
小五 王亮淇	

關鍵詞：材料、多孔隙、金紙灰

## 摘要

金門居民根深蒂固「拜越多、燒越多、保佑越多」的風俗習慣，導致金紙灰滿天飛，嚴重汙染，我們無法改變居民陋習，加上金門材料出問題人心惶惶，因此結合兩大問題，邁向「清淨家園」。

實驗發現，以金紙灰分別替代砂和水泥，製成「會呼吸的智慧多孔創新材料」，不同替代率有不同的功能，替代5%砂和20%水泥以內，符合結構強度210kgf/cm<sup>2</sup>抗壓強度的需求；替代35%、40%水泥及35%砂作為「會呼吸的智慧多孔創新材料」的效果最佳。並實作校園生態池和洗手檯、開設diy課程推廣自製文創小物。

「會呼吸的智慧多孔創新材料」可應用於建築物外殼節能材料、室內牆板與裝修材料、綠化植生生態材料，綠色環保材料，已獲水泥預拌廠同意推廣，有賴官方納入施工規範。

## 壹、研究動機

「哈啾、哈啾」「鼻子過敏好難受喔！」

「咚咚鏘，咚咚鏘，咚隆冬咚咚鏘！」「哇！又在鬧熱拜拜燒金紙啦！」

金門是個熱愛拜拜的島嶼，幾乎天天都在拜，三天作醮、兩天奠安、遇到超大節日-迎城隍，廟會更是為期一個月，煙霧金紙滿天飛啊！不僅空氣汙染，滿坑滿谷的金紙灰該如何是好？老人家說丟在花圃、菜園當肥料，隨風飄散即可，或是「放水府」，水府王爺保佑大家平安順利。

天真的小品認為既然可以丟在花圃和泥土攪混，那可不可以和水泥、砂攪和呢？成為環保建材呢？而且媽媽也不用整天提心吊膽---金門某國小附設幼兒園發生「天花板水泥剝落」的意外事件，造成大家人心惶惶！擔心金門建材有問題，品質差，會不會再度發生意外呢？我們來不及逃跑呢？

老師覺得小品說的有點道理，有創意，可以嘗試看看，說不定真的可以解決金紙灰與材料問題，於是我們便開始一連串的挑战喔！



圖 1-1：金門「廟會」與「天花水泥坍塌」相關資料

## 貳、研究目的與問題

我們想要「清淨家園」，還給大家良好的健康生活環境，長久以來金門一直飽受中國大陸重工業空汙影響，空氣品質不佳，再加上的島上居民很愛拜拜，燒香、燒金紙的習慣根深蒂固，致使空氣品質雪上加霜，我們認為既然無法改變居民燒香拜拜的習慣，但至少可以想辦法來幫忙把燃燒後的廢棄金紙灰問題妥善處理，不要再讓廢棄金紙灰滿天飛、放水府(放水流)，造成更嚴重的汙染，改善環境品質，還給大家健康的生活環境，讓「清淨家園」不再是口號，「金」火相傳，讓愛循環，永續再生，永不止息。 我們的研究問題有：

- 一、訪談金門有多少宮廟？拜拜的習俗？一年大約進口多少金紙？大約產生幾頓金紙灰？
- 二、目前金紙灰如何善後？
- 三、以廢棄金紙灰分別取代砂及水泥，製成會呼吸的智慧多孔創新材料，測試吸水率。
- 四、以廢棄金紙灰分別取代砂及水泥，製成會呼吸的智慧多孔創新材料，測試抗壓強度。
- 五、以廢棄金紙灰分別取代砂及水泥，製成會呼吸的智慧多孔創新材料，計算孔隙率。
- 六、檢測會呼吸的智慧多孔創新材料濕度調節能力。
- 七、檢測廢棄金紙灰的氯離子含量，並探討耐久性。
- 八、實作會呼吸的智慧多孔創新材料應用於植生的可行性評估。
- 九、探討會呼吸的智慧多孔創新材料，並嘗試應用校園實作觀察後續。

## 參、研究設備與器材

我們向家長會、國立金門大學、TAF紹青實驗室借用相關設備資源。

				
廢棄金紙灰	砂	水泥	水	試體模具
				
篩網	刷子	針車油	拌合器	拌合碗
				
拌合桶	電子磅秤	烘箱	電子式萬能試驗機	恆溫養護水槽
				
搗棒	鋤刀	抹布	工作手套	石灰
				
溼度計	花盆	樂扣盒	金紙	

圖 3-1：研究設備與器材

# 肆、研究過程與方法

## 一、研究架構圖



圖 4-1：研究架構圖

## 二、執行進度表

表 4-1：執行進度表

109/06	討論與確認主題方向
109/07-09	資料收集 訪談：金門縣政府民政處宗教禮儀科科長 金門縣港務處處長 金紙店老闆 浯島城隍廟主委 台灣省土木技師公會金門辦事處處長 國立金門大學土木系教授
109/09	試算配比 準備實驗材料：砂、水泥、金紙灰、金紙 商借專業實驗器材：CNS 標準規格 5x5x5 cm 正立方體
109/10-12	燃燒金紙試驗 製作多孔綠建材試體 拆模 養護 測濕重 測乾重 測抗壓強度 測水中重 計算吸水率 計算孔隙率 測溫度調節能力 測氬離子
110/01-04	實作 資料整理與數據分析、討論
110/04-5	書面完成 推廣

## 二、文獻探討

以「多孔」、「調濕」為關鍵字，搜尋找到七篇相關，經研究探討分析後，確立研究方向，並與我們的研究做比較，得知我們是首創以金紙灰分別替代水泥和砂，製成會呼吸的智慧多孔創新材料

### (一)、相關期刊雜誌論文：

謝素蘭 2012 應用廢棄料製作多孔性透水綠建材之研究	以淤泥或汙泥廢棄料應用於多孔性透水綠建材。	材料 不同	方法 不同	目的 同
行政院農業委員會 農學報導 2013 調濕型生態建材研發趨勢	創新會呼吸的智慧建材，應用建築物外殼，有效達成現代智慧型建築物節能目的。	不同	不同	同
中華調研網 2010 室內調濕塗料應用範圍及最新研究進展	針對調濕材料最新研究進展進行綜述。	不同	不同	同

### (二)、歷屆科展：

陳力賓;陳泓誌;蔡皓宇 終結金紙灰－細菌對紙灰之降解研究 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會	利用細菌改造紙灰，使其成為可栽種植株之物質。	材料 同	方法 不同	目的 不同
--	------------------------	---------	----------	----------

陳黎安、葉昀昀、何代堯、駱怡君 讓神明保佑“泥”！金紙灰水泥砂漿試體試驗 中華民國第 47 屆中小學科學展覽會	藉由簡易實驗設計，測出取代或添加不同比例金紙灰對水泥砂漿試體強度的影響，瞭解金紙灰可否取代部分水泥及細骨材，達到廢物利用。	同	不同	不同
黃咨瑋；張宸馨；關榮盼；王思喻 神奇的金紙灰 中華民國第50屆中小學科學展覽會	探討如何製作有效的防火塗料，使其達到環保又省錢的利用。	同	不同	不同
楊子儀；林采穗；翁子懿 金日一舉、紙引未來、灰煌再現—環保建材、金紙灰用於陶土及灰釉試驗 中華民國第51屆中小學科學展覽會	藉由簡易測試，了解金紙灰添入陶土和釉藥中所產生的影響，以評估金紙灰可否取代部分陶土及灰釉中的草木灰，達到廢物利用。	同	不同	不同

#### 四、研究設計

面對金門滿坑滿谷的廢棄金紙灰，我們極力想解決，還給大家「清淨家園」健康的生活環境，首先資料收集，接著訪談專家和實驗，最後進行校園實作，我們訪問金門縣政府民政處宗教禮儀科科長、金門縣港務處處長、金紙店老闆、城隍廟主委、台灣省土木技師公會金門辦事處處長、國立金門大學土木系教授等。

##### (一)、訪談：

##### 1、金門縣政府民政處宗教禮儀科科長：

科長告訴我們金門縣立案寺廟198間，但有立案加上沒立案全金門約**500間寺廟**。金門宗教派別有佛教、道教、基督教、天主教、一貫道、佛道教，但居民主要以**佛道教**為主，金門的宗教盛事有保生大帝、媽祖、廣澤尊王、玄天上帝、關帝…等等，但最特別盛大的是迎城隍，農曆4/12，金門縣政府和民間城隍廟共同擴大辦理，兩岸三地都來共襄盛舉。金門拜拜重視燒金紙，**目前推廣環保，鼓勵不燒金紙**。科長說：「一爐一香、萬年千秋，金紙減量、功德無量，目前太武山海印寺已經沒再燒金紙了，很多佛教所屬的宗教團體，因環保都已經不插香燒金紙了」，金門拜拜習俗初一、十五土地公、佛祖，初二、十六地基主、宅神和金門特有的車公、歷代祖先忌辰紀念日、村莊寺廟各神明聖誕千秋日、重大節慶過年（俗稱「新正」）、清明、中秋、冬至等等，七月普渡拜門口初一、十五、月尾或各村里自訂的家拜，**金門燒金紙習慣是酌量，但各家酌量其總量就很大**，金紙灰處理有三：當**垃圾**、**客土**就是土壤改良和依照宗教習俗**交水府**，**放水流**。拜拜供品，老一輩的炒、煮、滷、煎、炸，「大魚大肉，山珍海味」；年輕人則披薩、炸雞、可樂，以便利性為主，可以看出世代差距。金門則因物資缺乏，有東西能夠拜神明已經是最高敬意，沒有拜拜禁忌，唯有早期不拜牛，因為是農家子弟，牛是神聖的。



圖 4-2：訪談金門縣政府民政處宗教禮儀科科長

##### 2、金門縣港務處處長：

處長告訴我們金門港務處負責範圍，包括料羅、水頭和九宮三個碼頭的人跟貨，所有貨物都在料羅上岸，國內主要航線有：高雄港-金門料羅、台中港-金門料羅、基隆港-金門料羅、台北港-金門料羅。國際航線主要以廈門同益碼頭-金門料羅碼頭。目前每年進口最大量是砂石、石材，金紙進口則以大陸為大宗，台灣則少量，查閱近106-110年度**金紙進口單**資料顯示，**每年大約300頓**，但進口量並不等於銷售量，因為金紙沒有保存期限，因此可能會趁大陸金紙便宜的時候，多進口一些金紙來囤積，然後慢慢銷售。一年當中，**農曆7月**是**金紙進口量最多**的月份。在金門風俗民情下，近年並沒有因為**推廣環保而減量進口**，老一輩的金門人**因風俗民情還是要燒金紙**，才覺得有**拜拜**的感覺，因此**很難推動燒金紙減量習慣，改變傳統習俗**。

一般船公司會有**放水府的習俗**，船公司會依照習俗在拜拜的時候在海上撒金紙；但如果有一般民眾到港務處的管轄水域放水府，被發現會依照廢棄物清理法取締開罰，且港務處範圍都會有港警，因此也很難將垃圾帶進港區。港區會有外包港池清潔人員，只要港區內海域有出現浮木等有可能影響航行安全之物品，會隨即通報港池清潔人員進行清理維護；平日也會清潔維護潮間帶。非洲豬瘟防疫則會在岸上設置廚餘桶，船上所有跟肉食有關的物品，會統一集中，最後交由動植物檢疫所協助銷毀。新冠肺炎防疫期間和中國大陸依然有通貨，但人跟人禁止接觸，大陸的貨櫃船、砂石船進港，船上人員不能上岸，也不能有接觸，如有被檢舉通報，會開單要求居家檢疫14天。



圖 4-3：訪談金門縣港務處處長

### 3、金紙店老闆：

金紙店的阿公很熱情告訴我們金門常用的金紙有哪些，但店裡最暢銷的是壽金、二五金、補運金，壽金是用來延壽，二五金用於拜祖，補運金用來補運，**金門人非常重視拜拜，而且拜很多，燒很多，才會保佑越多**，近來推行環保，要老人家拜拜不燒金紙的觀念，目前是無法改變的，年輕人可能好一點，現在有環保金紙，但是價錢比較貴，一開始客人都不習慣 有慢慢推廣，慢慢教育，就會習慣買環保金紙，不過大部分的人還是習慣買原來傳統的金紙，同樣價錢，量又大，可以保佑子孫越多，目前雖然**推行環保，生意並沒有變差**，信仰的力量是很大的，像今年**疫情**這麼嚴重也沒有影響宮廟熱鬧，跟信眾燒金紙的數量，有些**老人家還覺得要燒多一點金紙祈求子孫平安**，可以保佑子孫，更不易染病，尤其子孫在台灣的或在國外的，買更多燒更多金紙。我們要離開時，阿公還特別送我們金紙做實驗不用付錢，謝謝阿公支持我們研究。



圖 4-4：訪談金紙店老闆

#### 4、浯島城隍廟主委：

主委說城隍廟主要祭拜城隍爺、文武判官、董李排爺、范謝將軍，每一年農曆4月12日，是金門城隍遷治大遊行，這十幾年來政府有配合，在農曆4月12日開始前一個月，就先辦一系列的活動，有體驗鑼鼓、小孩「裝人」、「蜈蚣座」…辦得很熱鬧，把它變成觀光季，本來的金門人，和台灣來的、大陸來的觀光客，都會特地來參與活動，拜拜求平安，尤其迎城隍4月12日當日和前兩三天，兩岸三地的人潮都來了，許多宮廟團體都組隊來共襄盛舉，**每年從農曆三月二十六到四月十二，金紙燒最多，是一年拜拜燒金紙的最高峰期**，平常就是每月初一、十五及三八旗日(初三、初八、十八)、過年過節，大家都會習慣來城隍廟拜拜，祈求城隍爺保佑。來城隍廟拜拜要燒多少金紙是沒有限制的，**隨信眾酌量**。目前有**推廣燒金紙減量**，但**金門人燒金紙沒有減少**，因為金門人會認為「**燒越多越誠心、保佑越多**」，因此在金門很難提倡減量，另外在金門「環保金紙」不暢銷，金門人感覺跟傳統燒的金紙不一樣，感覺拜不夠，所以還是喜歡燒「高級」有金箔的，老一輩的還會特別挑好一點的，習慣燒有金箔的高級金紙，連蓋印章的金紙都不太燒，且每次燒的量都很多，中科院花了四百萬在金門城隍廟蓋一座環保金爐，但使用率非常低，因為燒的金紙不同，且不燒環保金紙，所以目前這環保金爐完全擱置沒用，主要還是使用傳統金爐。目前**金紙灰的處理**方式，由於垃圾車不太願意收金紙灰，因此主要是**放水府**，讓水府王爺保佑大眾平安順利。



圖 4-5：訪談浯島城隍廟主委

#### 5、台灣省土木技師公會金門辦事處處長：

處長百忙之中特別空出時間，接受我們訪談，他說金門**建材全仰賴進口，品質**的問題一直是大家擔心的，尤其海砂確實是一個值得注意的問題，**曾經發生海砂屋**，也發生**意外**，金門金紙灰確實是一大問題，對環保殺傷力很大，如果可以嘗試看看多做試驗是好事，很值得鼓勵，所有的應用都是從嘗試開始，如果金紙灰能夠運用在混凝土中，能夠解決很多問題。應用金紙灰，**少了垃圾將它變材料**，由5%、10%起慢慢嘗試，取代**水泥和砂**都可以**嘗試看看**，看看**孔隙大小**，**越大強度會變小**，但**運用的功能不同**，**牆上的裝飾材料**，**地面的透水磚或是隔音材料**都可以**試試看**，如果有需要任何協助，土木技師公會金門辦事處，都會盡全力協助的，我們很樂見孩子願意嘗試，也希望藉由試驗，小孩喜歡土木，也許有朝一日金門又多了很多位土木技師貢獻家鄉。



圖 4-6：訪談台灣省土木技師公會金門辦事處處長

## 6、國立金門大學土木系教授：

金大土木系教授也是土木技師，老師很熱心先教導我們土木基本常識，分辨水泥砂漿與混凝土的不同，水泥砂漿是由水泥+砂+水組成，用於粉刷牆壁、隙縫填補…，混凝土是由水泥+砂+水+碎石組成，用於樓板、樑柱、主結構，金門廢棄金紙灰確實很困擾，如果都是放水府或是放花圃隨風飄散都是不可忽視的污染問題，如果可以把廢棄物變黃金，那真是太棒了，**金紙灰到處飛很困擾，如果包起來呢？是不是可以呢？**老師建議可**往多孔隙材料的方向嘗試**，老師說可以先收集資料和訪談，有初步概念再來嘗試實驗，並教我們配比如何計算，比例如何增減，還教我們如何計劃，如何執行，有哪些地方可以有資源運用，還帶我們**去專業實驗室指導、操作**。老師說他很感動我們這群小學生這麼認真的態度，鼓勵我們**大膽嘗試，小心求證，不怕失敗**，做實驗是很有趣的事，經由**不斷嘗試，找出適合的比例與應用**。



圖 4-7：訪談國立金門大學土木系教授

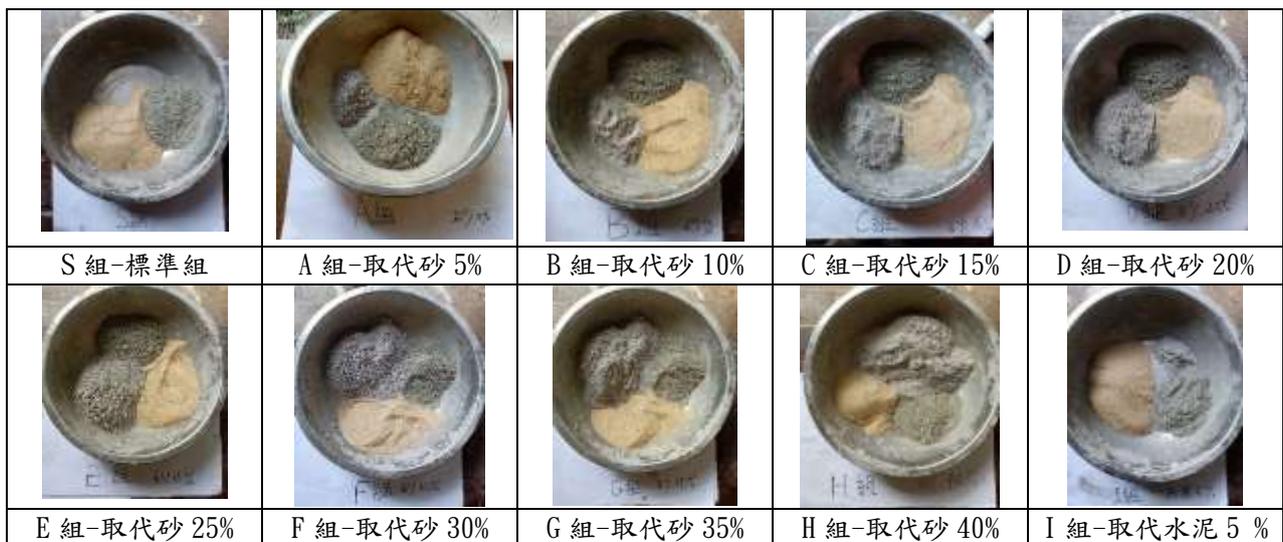
## 五、實驗過程：

### (一)、討論確認研究方向

我們研究相關資料，並和專家學者討論，決定以製作會呼吸的智慧多孔創新材料作為實驗研究對象。

### (二)、準備實驗材料

- 1、砂：由家長會提供
- 2、水泥：由家長會提供
- 3、金紙灰：由學校後門北鎮廟管理委員會提供
- 4、金紙：由金紙店贊助



				
J 組-取代水泥 10%	K 組-取代水泥 15%	L 組-取代水泥 20%	M 組-取代水泥 25%	N 組-取代水泥 30%
				
O 組-取代水泥 35%	P 組-取代水泥 40%	Q 組-取代砂 5%	R 組-取代砂 10%	T 組-取代砂 15%
				
U 組-取代砂 20%	V 組-取代砂 25%	W 組-取代砂 30%	X 組-取代砂 35%	Y 組-取代砂 40%
				
Z 組-取代砂 45%	ㄅ 組-取代砂 50%	ㄆ 組-取代砂 55%	ㄇ 組-取代砂 60%	ㄏ 組-取代砂 65%
				
ㄏ 組-取代砂 70%	ㄏ 組-取代砂 75%	ㄏ 組-取代砂 80%	ㄏ 組-取代砂 85%	ㄏ 組-取代砂 90%
				
ㄏ 組-取代砂 95%	ㄏ 組-取代砂 100%			

圖 4-8：S 組 A 組-ㄏ 組材料配比完成

### (三)、商借實驗器材

我們向家長會、國立金門大學、TAF 紹青實驗室借用相關設備資源。

### (四)、會呼吸的智慧多孔創新材料模具規格：

經由專家建議與文獻資料，我們依據中國國家標準 CNS1010 規範製作試體，規格 5x5x5 cm 正立方體。

(五)、會呼吸的智慧多孔創新材料配比設定：

我們依據專家建議，以中國國家標準CNS規範製作試體，配比为1：2.75：0.485，製成對照組S，1份水泥，2.75份砂，0.485份水。實驗組分別是A組-厂組，廢棄金紙灰依不同比率取代等量砂及水泥。

表 4-2：會呼吸的智慧多孔創新材料試體 S 組材料配比

試體	水泥：砂：水			
標準配比	配比	1	2.75	0.485
	重量	250 g	687.5 g	121 g

說明：對照組試體材料配比依據 CNS 標準配比的數值設定，每一個配比可製作三個 5x5x5 cm 試體。

1、實驗組 A-厂試體配比，以廢棄金紙灰取代砂，製成會呼吸的智慧多孔創新材料試體

表 4-3：會呼吸的智慧多孔創新材料試體 S 組 A 組-H 組材料配比

試體	水泥	砂	金紙灰	水	替代率
S	250g	687.5g	0g	121g	0%
A	250g	653.125g	34.375g	121g	5%
B	250g	618.75g	68.75g	121g	10%
C	250g	584.375g	103.125g	121g	15%
D	250g	550g	137.5g	121g	20%
E	250g	515.625g	171.875g	121g	25%
F	250g	481.25g	206.25g	121g	30%
G	250g	446.875g	240.625g	121g	35%
H	250g	412.5g	275g	121g	40%

2、實驗組 I-P 試體配比，以廢棄金紙灰取代水泥，製成會呼吸的智慧多孔創新材料試體

表 4-4：會呼吸的智慧多孔創新材料試體 S 組 I 組 P 組材料配比

試體	水泥	金紙灰	砂	水	替代率
S	250g	0g	687.5g	121g	0%
I	237.5g	12.5g	687.5g	121g	5%
J	225g	25g	687.5g	121g	10%
K	212.5g	37.5g	687.5g	121g	15%
L	200g	50g	687.5g	121g	20%
M	187.5g	62.5g	687.5g	121g	25%
N	175g	75g	687.5g	121g	30%
O	162.5g	87.5g	687.5g	121g	35%
P	150g	100g	687.5g	121g	40%

3. 實驗組 Q-Y 試體配比，以廢棄金紙灰取代砂，製成會呼吸的智慧多孔創新材料試體，並依據總灰量調整水量

表 4-5：會呼吸的智慧多孔創新材料試體 S 組 Q 組-厂組材料配比

試體	水泥	砂	金紙灰	水	替代率
S	250g	687.5g	0g	121.25g	0%
Q	250g	653.125g	34.375g	137.9219g	5%
R	250g	618.75g	68.75g	154.5938g	10%
T	250g	584.375g	103.125g	171.2656g	15%
U	250g	550g	137.5g	187.9375g	20%
V	250g	515.625g	171.875g	204.6094g	25%
W	250g	481.25g	206.25g	221.2813g	30%
X	250g	446.875g	240.625g	237.9531g	35%
Y	250g	412.5g	275g	254.625g	40%
Z	250g	378.125g	309.375g	271.2969g	45%
ㄅ	250g	343.75g	343.75g	287.9688g	50%
ㄆ	250g	309.375g	378.125g	304.6406g	55%
ㄇ	250g	275g	412.5g	321.3125g	60%
ㄏ	250g	240.625g	446.875g	337.9844g	65%
ㄏ	250g	206.25g	481.25g	354.6563g	70%
ㄏ	250g	171.875g	515.625g	371.3281g	75%
ㄏ	250g	137.5g	550g	388g	80%
ㄏ	250g	103.125g	584.375g	404.6719g	85%

《	250g	68.75g	618.75g	421.3438g	90%
万	250g	34.375g	653.125g	438.0156g	95%
厂	250g	0g	687.5g	454.6875g	100%

(六)、燃燒金紙，預估每年產生多少金紙灰？



圖 4-9：燃燒金紙，預估每年產生多少金紙灰

(七)、會呼吸的智慧多孔創新材料試體實作

對照組S與實驗組A-厂試體製作，每組製作三顆試體編號1、2、3供28天實驗用。

表 4-6：會呼吸的智慧多孔創新材料試體 S 組 A 組-厂組製作時間表

	DAY1	DAY2	DAY3	DAY4	DAY5	DAY6	DAY7	DAY8	DAY9	DAY10	DAY11	DAY12	DAY13
製作試體	S1-3	A1-3	B1-3	C1-3	D1-3	E1-3	F1-3	G1-3	H1-3	I1-3	J1-3	K1-3	L1-3
拆模	S1-3	A1-3	B1-3	C1-3	D1-3	E1-3	F1-3	G1-3	H1-3	I1-3	J1-3	K1-3	L1-3
香燭	S1-3	A1-3	B1-3	C1-3	D1-3	E1-3	F1-3	G1-3	H1-3	I1-3	J1-3	K1-3	L1-3
測面乾飽和重													
測水中重													
試體烘乾													
測量乾重													
測孔隙率													

	DAY14	DAY15	DAY16	DAY17	DAY18	DAY19	DAY20	DAY21	DAY22	DAY23	DAY24	DAY25	DAY26
製作試體	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	S1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3	Y1-3
拆模	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	S1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3	Y1-3
香燭	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	S1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3	Y1-3
測面乾飽和重													
測水中重													
試體烘乾													
測量乾重													
測孔隙率													

	DAY27	DAY28	DAY29	DAY30	DAY31	DAY32	DAY33	DAY34	DAY35	DAY36	DAY37	DAY38	DAY39
製作試體	Z1-3	AA1-3	AB1-3	AC1-3	AD1-3	AE1-3	AF1-3	AG1-3	AH1-3	AI1-3	AJ1-3	AK1-3	AL1-3
拆模	Z1-3	AA1-3	AB1-3	AC1-3	AD1-3	AE1-3	AF1-3	AG1-3	AH1-3	AI1-3	AJ1-3	AK1-3	AL1-3
香燭	Z1-3	AA1-3	AB1-3	AC1-3	AD1-3	AE1-3	AF1-3	AG1-3	AH1-3	AI1-3	AJ1-3	AK1-3	AL1-3
測面乾飽和重	S1-3	A1-3	B1-3	C1-3	D1-3	E1-3	F1-3	G1-3	H1-3	I1-3	J1-3	K1-3	L1-3
測水中重	S1-3	A1-3	B1-3	C1-3	D1-3	E1-3	F1-3	G1-3	H1-3	I1-3	J1-3	K1-3	L1-3
試體烘乾	S1-3	A1-3	B1-3	C1-3	D1-3	E1-3	F1-3	G1-3	H1-3	I1-3	J1-3	K1-3	L1-3
測量乾重	L1-3	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	S1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3
測孔隙率	L1-3	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	S1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3

	DAY40	DAY41	DAY42	DAY43	DAY44	DAY45	DAY46	DAY47	DAY48	DAY49	DAY50	DAY51	DAY52
製作試體													
拆模													
香燭													
測面乾飽和重	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3	Y1-3	Z1-3
測水中重	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3	Y1-3	Z1-3
試體烘乾	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3	Y1-3	Z1-3
測量乾重	L1-3	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3	Y1-3
測孔隙率	L1-3	M1-3	N1-3	O1-3	P1-3	Q1-3	R1-3	T1-3	U1-3	V1-3	W1-3	X1-3	Y1-3

	DAY53	DAY54	DAY55	DAY56	DAY57	DAY58	DAY59	DAY60	DAY61	DAY62	DAY63	DAY64	DAY65
製作試體													
拆模													
香燭													
測面乾飽和重	Z1-3	AA1-3	AB1-3	AC1-3	AD1-3	AE1-3	AF1-3	AG1-3	AH1-3	AI1-3	AJ1-3	AK1-3	AL1-3
測水中重	Z1-3	AA1-3	AB1-3	AC1-3	AD1-3	AE1-3	AF1-3	AG1-3	AH1-3	AI1-3	AJ1-3	AK1-3	AL1-3
試體烘乾	Z1-3	AA1-3	AB1-3	AC1-3	AD1-3	AE1-3	AF1-3	AG1-3	AH1-3	AI1-3	AJ1-3	AK1-3	AL1-3
測量乾重	Z1-3	AA1-3	AB1-3	AC1-3	AD1-3	AE1-3	AF1-3	AG1-3	AH1-3	AI1-3	AJ1-3	AK1-3	AL1-3
測孔隙率	Z1-3	AA1-3	AB1-3	AC1-3	AD1-3	AE1-3	AF1-3	AG1-3	AH1-3	AI1-3	AJ1-3	AK1-3	AL1-3

				
S 組-標準組	A 組-取代砂 5%	B 組-取代砂 10%	C 組-取代砂 15%	D 組-取代砂 20%
				
E 組-取代砂 25%	F 組-取代砂 30%	G 組-取代砂 35%	H 組-取代砂 40%	I 組-取代水泥 5 %
				
J 組-取代水泥 10%	K 組-取代水泥 15%	L 組-取代水泥 20%	M 組-取代水泥 25%	N 組-取代水泥 30%
				
O 組-取代水泥 35%	P 組-取代水泥 40%	Q 組-取代砂 5%	R 組-取代砂 10%	T 組-取代砂 15%
				
U 組-取代砂 20%	V 組-取代砂 25%	W 組-取代砂 30%	X 組-取代砂 35%	Y 組-取代砂 40%
				
Z 組-取代砂 45%	ㄊ 組-取代砂 50%	ㄎ 組-取代砂 55%	ㄏ 組-取代砂 60%	ㄏ 組-取代砂 65%
				
ㄎ 組-取代砂 70%	ㄎ 組-取代砂 75%	ㄎ 組-取代砂 80%	ㄎ 組-取代砂 85%	ㄎ 組-取代砂 90%
				
ㄎ 組-取代砂 95%	ㄎ 組-取代砂 100%			

圖 4-10：會呼吸的智慧多孔創新材料試體 S 組 A 組-ㄎ 組灌漿搗實完成

(八)、會呼吸的智慧多孔創新材料試體拆模寫編號

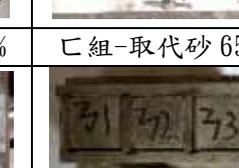
				
S 組-標準組	A 組-取代砂 5%	B 組-取代砂 10%	C 組-取代砂 15%	D 組-取代砂 20%
				
E 組-取代砂 25%	F 組-取代砂 30%	G 組-取代砂 35%	H 組-取代砂 40%	I 組-取代水泥 5%
				
J 組-取代水泥 10%	K 組-取代水泥 15%	L 組-取代水泥 20%	M 組-取代水泥 25%	N 組-取代水泥 30%
				
O 組-取代水泥 35%	P 組-取代水泥 40%	Q 組-取代砂 5%	R 組-取代砂 10%	T 組-取代砂 15%
				
U 組-取代砂 20%	V 組-取代砂 25%	W 組-取代砂 30%	X 組-取代砂 35%	Y 組-取代砂 40%
				
Z 組-取代砂 45%	ㄅ 組-取代砂 50%	ㄆ 組-取代砂 55%	ㄇ 組-取代砂 60%	ㄨ 組-取代砂 65%
				
ㄊ 組-取代砂 70%	ㄎ 組-取代砂 75%	ㄌ 組-取代砂 80%	ㄍ 組-取代砂 75%	ㄎ 組-取代砂 80%
				
ㄍ 組-取代砂 95%	ㄍ 組-取代砂 100%			

圖 4-11：會呼吸的智慧多孔創新材料試體 S 組 A 組-ㄍ 組拆模寫編號

(九)、會呼吸的智慧多孔創新材料試體養護

依據政府部門執行公共工程合約要求，將會呼吸的智慧多孔創新材料試體浸泡於恆溫水槽內的飽和石灰水養護，養護期為 28 天。

**(十)、會呼吸的智慧多孔創新材料吸水率測試**

首先測會呼吸的智慧多孔創新材料試體面乾飽和重，接著將試體浸泡養護28天取出，用布擦乾試體表面水，立即秤重，紀錄面乾飽和重。再來將試體置於烘箱，以110±5℃烘乾，測乾重紀錄，最後計算吸水率。

**(十一)、會呼吸的智慧多孔創新材料試體抗壓強度測試**

將會呼吸的智慧多孔創新材料試體S組、A組、F組置於恆溫水槽養護期滿後，放進「電腦伺服式萬能試驗機」內進行抗壓強度實驗，得知每一試體破壞時的抗壓強度。

**(十二)、計算會呼吸的智慧多孔創新材料試體孔隙率**

先測面乾飽和重、烘乾重、水中重，再將〔(面乾飽和重)-(水中重)〕÷ 水比重，得知試體體積，接著將〔(面乾飽和重)-(水中重)〕÷ 水比重，得知孔隙體積，最後將(孔隙體積)/(試體體積)得知孔隙率。

**(十三)、檢測會呼吸的智慧多孔創新材料濕度調節能力**

將試體置入密封樂扣盒，與空氣隔絕，測試濕度調節能力。

**(十四)、檢測廢棄金紙灰的氯離子含量，並探討耐久性。**

將金紙灰泡在蒸餾水內，再過濾萃取，做滴定試驗。

**(十五)、實作會呼吸的智慧多孔創新材料應用於植生的可行性評估**

**(十六)、探討會呼吸的智慧多孔創新材料，並嘗試校園實作觀察後續**

				
準備金紙	燒金紙試驗	收集廢棄金紙灰	收集水泥灰	收集砂子
				
篩析廢棄金紙灰	篩析砂子	秤重水泥灰	秤重廢棄金紙灰	秤重砂子
				
加水	攪拌均勻	組裝模具	塗抹針車油	灌漿搗實
				
試體完成	寫編號	拆模	試體恆溫養護	試體擦乾
				
測試體面乾飽和重	試體烘乾測乾重	試體抗壓實驗	測水中重	濕度調節測試



圖 4-12：會呼吸的智慧多孔創新材料試體實驗過程實錄

## 伍、結果與討論

### 一、訪談金門有多少宮廟？拜拜的習俗？一年大約進口多少金紙？大約產生幾頓金紙灰？

《結果》我們經由訪談得知金門縣登記立案宮廟198間，但有登記立案加上沒立案全金門約500間宮廟。居民主要以佛道教為主，主要宗教盛事有保生大帝、媽祖、廣澤尊王、玄天上帝、關帝…等等，但最特別是由縣政府和民間合辦的迎城隍為期一個月活動，兩岸三地共襄盛舉。金門各家戶拜拜時間以農曆初一、十五、土地公、佛祖，初二、十六地基主、宅神和金門特有的車公、歷代祖先忌辰紀念日、村莊寺廟各神明聖誕千秋日、重大節慶：過年(新正)、清明、端午、中秋等等，七月普渡拜門口(初一、十五、月尾或各村里自訂的家拜)，燒金紙習俗是酌量，沒有規定上下限，但金門人認為「燒越多保佑越多觀念」，導致每年燒金紙的量是巨大的，金紙進口每年大約300頓，我們嘗試燃燒一公斤，產生金紙灰29公克。

《發現》金門拜拜燒金紙習俗沒有因為環保減量，就算疫情影響仍然沒有減量，反而還有長輩要燒更多，才會保佑更多，不會染病。每年大約燃燒300頓金紙，大約產生8.7頓金紙灰。

1公斤得 29克灰，1公噸1000公斤，300頓 = 300000公斤

300頓 = 29 x 300000克 = 8700000公克 = 8700公斤 = 8.7頓

### 二、目前金紙灰如何善後？

《結果》我們經由訪談得知目前金紙灰處理方式有三：少量的則當垃圾處理，隨垃圾車載走。或是客土就是土壤改良，放花圃，但因沒有包住，會很自然地隨風飄散，回歸大自然。許多宮廟則是依照宗教習俗交水府，放水流-天地萬物皆有神，水神會保佑大家平安順利。

《發現》我們發現以目前處理方式會造成空氣污染和水污染

### 三、以廢棄金紙灰分別取代砂及水泥，製成會呼吸的智慧多孔創新材料，測試吸水率。

#### (一)對照組 S 組

對照組S組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體吸水率試驗結果如表6-1所示，吸水率平均為12%。

表 5-1：對照組 S 組會呼吸的智慧多孔創新材料試體吸水率試驗結果統計表

編號	面乾飽和重(g)	烘乾重(g)	吸水率% (面乾飽和重-烘乾重)/ 烘乾重	平均值	
S	1	257.6	226.2	14%	12 %
	2	263.5	235.0	12%	
	3	265.4	240.8	10%	

#### (二)實驗組 A 組~H 組

表 5-2：實驗組 A 組~H 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體吸水率試驗結果統計表

編號		面乾飽和重(g)	烘乾重(g)	吸水率% (面乾飽和重-烘乾重)/烘乾重	平均值
A 砂 5%	1	275.3	243.0	13%	13.67%
	2	270.4	237.9	14%	
	3	270.9	238.2	14%	
B 砂 10%	1	254.4	210.4	21%	20.67%
	2	252.9	209.1	21%	
	3	250.3	209.4	20%	
C 砂 15%	1	245.6	199.6	23%	23.33%
	2	237.0	190.2	25%	
	3	244.7	200.9	22%	
D 砂 20%	1	234.2	179.3	31%	27.33%
	2	241.4	189.3	28%	
	3	246.0	200.2	23%	
E 砂 25%	1	242.1	189.2	28%	27%
	2	243.6	192.2	27%	
	3	243.4	192.6	26%	
F 砂 30%	1	225.7	175.2	29%	29.67%
	2	236.2	185.1	28%	
	3	230.4	174.2	32%	
G 砂 35%	1	229.5	169.6	35%	35.67%
	2	224.4	164.3	37%	
	3	231.1	170.9	35%	
H 砂 40%	1	226.1	168.2	34%	34.33%
	2	226.6	170.5	33%	
	3	226.8	166.9	36%	

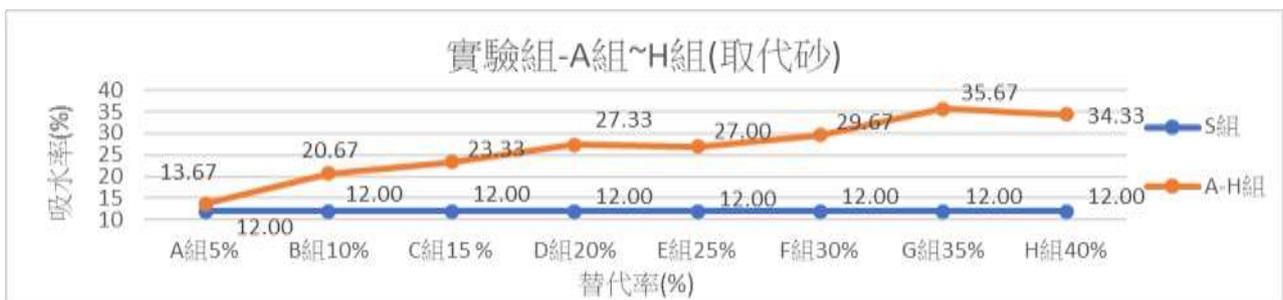


圖 5-1：實驗組 A 組~H 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體吸水率試驗結果統計表  
(三)實驗組 I 組~P 組

表 5-3：實驗組 I 組~P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體吸水率試驗結果統計表

編號		飽和面乾重(g)	烘乾重(g)	吸水率% (飽和面乾重-烘乾重)/烘乾重	平均值
I 水泥 5%	1	279.0	258.9	8%	8%
	2	273.1	252.1	8%	
	3	273.6	252.6	8%	
J 水泥 10%	1	269.5	244.5	10%	10.33%
	2	272.2	245.4	11%	
	3	273.0	247.9	10%	
K 水泥 15%	1	272.6	242.7	12%	12.66%
	2	271.9	240.7	13%	
	3	271.0	239.3	13%	
L 水泥 20%	1	268.9	235.4	14%	13.66%
	2	270.8	237.4	14%	
	3	274.8	242.7	13%	
M 水泥 25%	1	266.8	227.2	17%	17%
	2	269.7	231.3	17%	
	3	266.6	227.3	17%	
N 水泥 30%	1	254.6	216.9	17%	17%
	2	262.4	224.3	17%	
	3	261.4	223.5	17%	
O 水泥 35%	1	247.2	199.9	24%	23.33%
	2	245.9	199.8	23%	
	3	248.3	201.8	23%	
P 水泥 40%	1	255.1	207.9	23%	22%
	2	257.1	211.2	22%	
	3	260.4	214.9	21%	

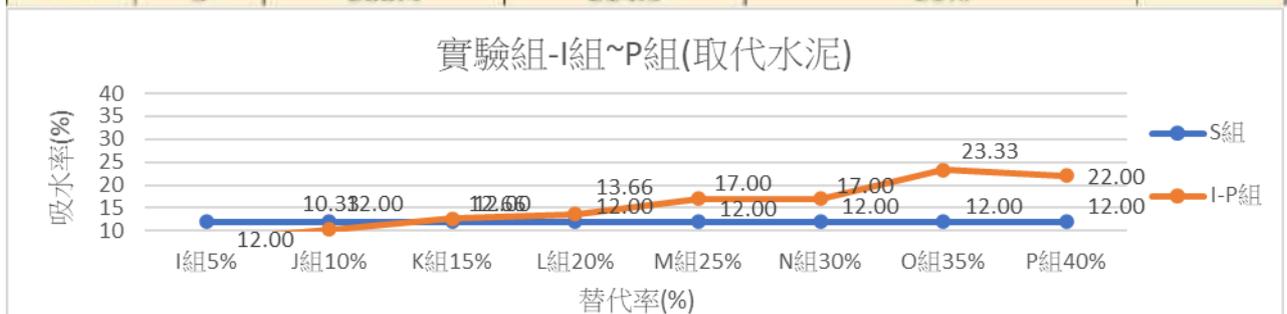


圖 5-2：實驗組 I 組~P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體吸水率試驗結果統計表

(四)實驗組 Q 組~P 組

表 5-4：實驗組 Q 組~P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體吸水率試驗結果統計表

編號	面乾飽和重(g)	烘乾重(g)	吸水率% (面乾飽和重-烘乾重)/烘乾重	平均值	
Q 砂 5%	1	270.3	242.8	11%	11.33%
	2	271.8	244.6	11%	
	3	268.6	239.3	12%	
R 砂 10%	1	257.4	225.5	14%	14%
	2	263.1	230.9	14%	
	3	265.7	232.7	14%	
T 砂 15%	1	297.1	262.1	13%	13.33%
	2	277.4	244.0	14%	
	3	278.4	246.3	13%	
U 砂 20%	1	270.9	234.2	16%	16%
	2	269.7	232.2	16%	
	3	267.7	230.4	16%	
V 砂 25%	1	259.3	219.9	18%	18%
	2	256.3	216.3	18%	
	3	259.4	219.5	18%	
W 砂 30%	1	262.5	210.8	20%	23.33%
	2	247.7	199.6	24%	
	3	256.2	212.1	21%	
X 砂 35%	1	258.6	213.6	21%	23.33%
	2	257.6	214.9	20%	
	3	252.9	208.6	21%	
Y 砂 40%	1	249.5	200.3	25%	24%
	2	253.7	206.8	23%	
	3	251.9	202.4	24%	
Z 砂 45%	1	243.8	192.6	27%	26.33%
	2	247.9	197.3	26%	
	3	246.9	195.5	26%	
ㄊ砂 50%	1	252.1	195.2	29%	27%
	2	238.4	191.1	25%	
	3	241.7	190.6	27%	
ㄊ砂 55%	1	248.5	191.5	30%	27.67%
	2	246.0	195.4	28%	
	3	245.6	193.4	27%	
ㄊ砂 60%	1	241.9	188.3	28%	28.67%
	2	241.2	187.0	29%	
	3	244.3	188.8	29%	
ㄊ砂 65%	1	222.7	174.0	28%	29.67%
	2	245.6	181.4	35%	
	3	220.6	175.3	26%	
ㄊ砂 70%	1	223.5	166.2	34%	35%
	2	225.5	165.7	36%	
	3	225.1	167.3	35%	
ㄊ砂 75%	1	224.5	164.8	36%	36%
	2	227.7	169.5	34%	
	3	225.4	163.3	38%	
ㄊ砂 80%	1	235.3	172.7	36%	37%
	2	230.2	167.3	38%	
	3	234.9	171.4	37%	
ㄊ砂 85%	1	216.9	155.7	39%	38.67%
	2	211.0	156.8	35%	
	3	205.1	144.4	42%	
ㄊ砂 90%	1	219.9	156.1	41%	42.33%
	2	220.5	157.3	40%	
	3	218.6	150.1	46%	
ㄊ砂 95%	1	213.5	150.1	42%	40.33%
	2	207.1	148.9	39%	
	3	208.7	149.3	40%	
ㄊ砂 100%	1	202.9	137.6	47%	45%
	2	206.4	146.3	41%	
	3	207.2	141.0	47%	



圖 5-3：實驗組 Q 組~P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體吸水率試驗結果統計表

《結果》由吸水率實驗結果得知，對照組的吸水率為12%，實驗組(A~P 組)的結果介於8~45%。

《發現》以廢棄金紙灰分別取代砂子和水泥製成會呼吸的智慧多孔創新材料，取代**35%砂和水泥的吸水率最高**；以廢棄金紙灰取代砂子，並依據總灰量調整水量的吸水率，以**100%砂的吸水率45%最高**。

四、以廢棄金紙灰分別取代砂及水泥，製成會呼吸的智慧多孔創新材料，測試抗壓強度。

(一)對照組 S 組

對照組S組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體抗壓試驗結果如表6-1所示，28天平均強度為378.23kgf/cm<sup>2</sup>。

表 5-5：對照組 S 組會呼吸的智慧多孔創新材料試體抗壓試驗結果統計表

		試體編號		
		S-1	S-2	S-3
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	28 天	375.8	383.8	375.1
	28 天平均值	378.23		

(二)實驗組 A 組~H 組

表 5-6：實驗組 A 組~H 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體抗壓試驗結果統計表

編號	抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	28 天平均值
A 取代砂 5%	1	333
	2	329
	3	342
B 取代砂 10%	1	161
	2	193
	3	183
C 取代砂 15%	1	105
	2	118
	3	116
D 取代砂 20%	1	48
	2	66
	3	78
E 取代砂 25%	1	72
	2	71
	3	79
F 取代砂 30%	1	75
	2	77
	3	76
G 取代砂 35%	1	39
	2	38
	3	36
H 取代砂 40%	1	40
	2	37
	3	38



圖 5-4：實驗組 A 組~H 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體抗壓試驗結果統計表

(三)實驗組-I組~P組

表 5-7：實驗組 I 組~P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體抗壓試驗結果統計表

編號		抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )		28天 平均值
I 取代水泥 5%	1	519		425.73
	2	456		
	3	383		
J 取代水泥 10%	1	382		369.3
	2	362		
	3	364		
K 取代水泥 15%	1	339		343.1
	2	343		
	3	347		
L 取代水泥 20%	1	269		287.87
	2	299		
	3	294		
M 取代水泥 25%	1	189		207.93
	2	220		
	3	215		
N 取代水泥 30%	1	141		150.7
	2	156		
	3	154		
O 取代水泥 35%	1	70		73.17
	2	74		
	3	76		
P 取代水泥 40%	1	71		76.87
	2	80		
	3	79		

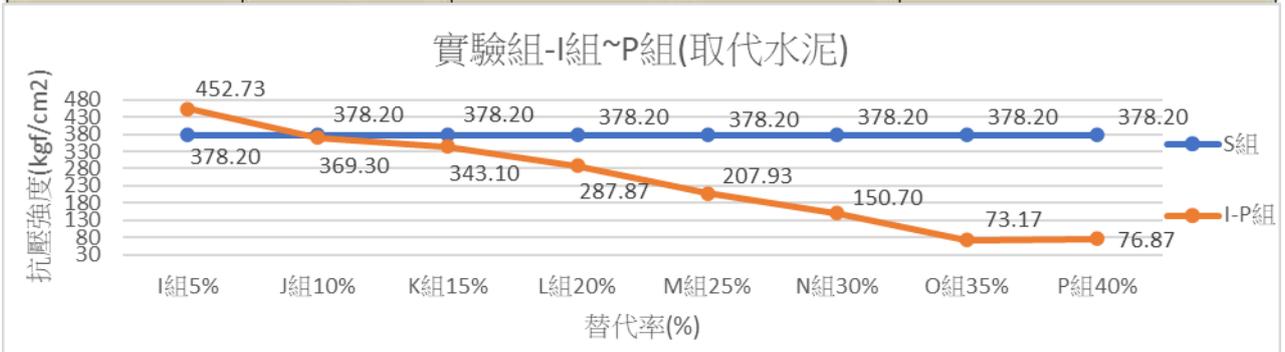


圖 5-5：實驗組 I 組~P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體抗壓試驗結果統計表

(四)實驗組 Q 組~Z 組

表 5-8：實驗組 Q 組~Z 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體抗壓試驗結果統計表

編號		抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )		28天 平均值
Q 取代砂 5%	1	363		354.2
	2	352		
	3	348		
R 取代砂 10%	1	273		270.3
	2	263		
	3	275		
T 取代砂 15%	1	280		277
	2	277		
	3	274		
U 取代砂 20%	1	223		220.1
	2	213		
	3	224		
V 取代砂 25%	1	178		158.3
	2	134		
	3	163		
W 取代砂 30%	1	113		112.7
	2	115		
	3	110		
X 取代砂 35%	1	126		126.3
	2	122		
	3	131		
Y 取代砂 40%	1	124		128.1
	2	125		
	3	136		
Z 取代砂 45%	1	112		117.4
	2	122		
	3	118		
ㄅ 取代砂 50%	1	89		84.9
	2	79		
	3	86		
ㄆ 取代砂 55%	1	88		85.3
	2	84		
	3	84		

Q 取代砂 60%	1	92	91.7
	2	93	
	3	90	
U 取代砂 65%	1	70	64.7
	2	57	
	3	68	
V 取代砂 70%	1	68	69.2
	2	73	
	3	66	
W 取代砂 75%	1	48	45.6
	2	41	
	3	48	
X 取代砂 80%	1	78	74.6
	2	74	
	3	72	
Y 取代砂 85%	1	43	45.1
	2	41	
	3	46	
Z 取代砂 90%	1	61	60.8
	2	64	
	3	58	
AA 取代砂 95%	1	39	38.9
	2	39	
	3	38	
AB 取代砂 100%	1	38	37.7
	2	38	
	3	37	



圖 5-6：實驗組 Q 組~AB 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體抗壓試驗結果統計表

《結果》由抗壓實驗結果得知，對照組的抗壓強度為 $378.23\text{kgf/cm}^2$ ，實驗組(A-AB)的結果介於 $37.7 - 425.73\text{kgf/cm}^2$ 。

《發現》以廢棄金紙灰分別取代砂子和水泥，取代量越多抗壓強度越低，但取代5%砂和20%水泥以內，符合一般公共工程 $210\text{kgf/cm}^2$ 抗壓強度的需求。

五、以廢棄金紙灰分別取代砂及水泥，製成會呼吸的智慧多孔創新材料，計算孔隙率。

#### (一)對照組 S 組

對照組S組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體孔隙率試驗結果如表6-1所示，孔隙率平均為22%。

表 5-9：對照組 S 組會呼吸的智慧多孔創新材料試體孔隙率試驗結果統計表

編號	面乾飽和重(g)	烘乾重(g)	水中重(g)	試體體積	孔隙體積	孔隙率%	平均值
				(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )		
				面乾飽和重-水中重	面乾飽和重-烘乾重	孔隙體積/試體體積	
S	1	257.6	226.2	130.8	126.8	31.4	22 %
	2	263.5	235.0	135.4	128.1	28.5	
	3	265.4	240.8	136.4	129	24.6	

#### (二)實驗組 A 組~H 組

表 5-10：實驗組 A 組~H 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體孔隙率試驗結果統計表

編號		面乾飽和重(g)	烘乾重(g)	水中重(g)	試體體積 (cm <sup>3</sup> )	孔隙體積 (cm <sup>3</sup> )	孔隙率% 孔隙體積/試體體積	平均值
					面乾飽和重-水中重	面乾飽和重-烘乾重		
A 砂	1	275.3	243.0	143.1	132.2	32.3	24%	24.67%
	2	270.4	237.9	139.9	130.5	32.5	25%	
	3	270.9	238.2	140.8	130.1	32.7	25%	
B 砂	1	254.4	210.4	126.6	127.8	44.0	34%	33.33%
	2	252.9	209.1	125.8	127.1	43.8	34%	
	3	250.3	209.4	123.6	126.7	40.9	32%	
C 砂	1	245.6	199.6	118.0	127.6	46.0	36%	35.67%
	2	237.0	190.2	111.9	125.1	46.8	37%	
	3	244.7	200.9	117.7	127.0	43.8	34%	
D 砂	1	234.2	179.3	106.2	128.0	54.9	43%	39.33%
	2	241.4	189.3	112.7	128.7	52.1	40%	
	3	246.0	200.2	116.2	129.8	45.8	35%	
E 砂	1	242.1	189.2	111.0	131.1	52.9	40%	39.33%
	2	243.6	192.2	113.0	130.6	51.4	39%	
	3	243.4	192.6	112.6	130.8	50.8	39%	
F 砂	1	225.7	175.2	99.2	126.5	50.5	40%	41%
	2	236.2	185.1	108.0	128.2	51.1	40%	
	3	230.4	174.2	100.3	130.1	56.2	43%	
G 砂	1	229.5	169.6	99.2	130.3	59.9	46%	46.33%
	2	224.4	164.3	95.8	128.6	60.1	47%	
	3	231.1	170.9	99.7	131.4	60.2	46%	
H 砂	1	226.1	168.2	97.1	129.0	57.9	45%	45%
	2	226.6	170.5	96.9	129.7	56.1	43%	
	3	226.8	166.9	98.8	128.0	59.9	47%	



圖 5-7：實驗組 A 組~H 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體孔隙率試驗結果統計表

### (三)實驗組 I 組~P 組

表 5-11：實驗組 I 組~P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體孔隙率試驗結果統計表

編號		面乾飽和重(g)	烘乾重(g)	水中重(g)	試體體積 (cm <sup>3</sup> )	孔隙體積 (cm <sup>3</sup> )	孔隙率% 孔隙體積/試體體積	平均值
					面乾飽和重-水中重	面乾飽和重-烘乾重		
I 水泥	1	258.9	279.0	147.5	131.5	20.1	15%	15.67%
	2	252.1	273.1	143.6	129.5	21.0	16%	
	3	252.6	273.6	144.1	129.5	21.0	16%	
J 水泥	1	244.5	269.5	140.6	128.9	25.0	19%	19.67%
	2	245.4	272.2	141.5	130.7	26.8	21%	
	3	247.9	273.0	142.0	131.0	25.1	19%	
K 水泥	1	242.7	272.6	141.2	131.4	29.9	23%	23.67%
	2	240.7	271.9	141.0	130.9	31.2	24%	
	3	239.3	271.0	140.0	131.0	31.7	24%	
L 水泥	1	235.4	268.9	138.0	130.9	33.5	26%	25%
	2	237.4	270.8	139.4	131.4	33.4	25%	
	3	242.7	274.8	142.0	132.8	32.1	24%	
M 水泥	1	227.2	266.8	134.8	132.0	39.6	30%	29.67%
	2	231.3	269.7	137.2	132.5	38.4	29%	
	3	227.3	266.6	135.0	131.6	39.3	30%	
N 水泥	1	216.9	254.6	123.9	130.7	37.7	29%	29%
	2	224.3	262.4	129.7	132.7	38.1	29%	
	3	223.5	261.4	129.2	132.2	37.9	29%	
O 水泥	1	199.9	247.2	115.6	131.6	47.3	36%	35.33%
	2	199.8	245.9	114.7	131.2	46.1	35%	
	3	201.8	248.3	116.8	131.5	46.5	35%	
P 水泥	1	207.9	255.1	123.4	131.7	47.2	36%	35%
	2	211.2	257.1	125.0	132.1	45.9	35%	
	3	214.9	260.4	127.4	133.0	45.5	34%	



圖 5-8：實驗組 I 組~P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體孔隙率試驗結果統計表

(四)實驗組 Q 組~厂組

表 5-12：實驗組 Q 組~厂組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體孔隙率試驗結果統計表

編號	面乾飽和重(g)	烘乾重(g)	水中重(g)	試體體積 (cm <sup>3</sup> ) <small>面乾飽和重 水中重</small>	孔隙體積 (cm <sup>3</sup> ) <small>面乾飽和重 烘乾重</small>	孔隙率% 孔隙體積 / 試體體積	平均值
Q 砂 5%	1	270.3	242.8	139.3	131.0	27.5	21.67%
	2	271.8	244.6	139.8	132.0	27.2	
	3	268.6	239.3	138.4	130.2	29.3	
R 砂 10%	1	257.4	225.5	130.6	126.8	31.9	25%
	2	263.1	230.9	133.3	129.8	32.2	
	3	265.7	232.7	134.3	131.4	33.0	
T 砂 15%	1	297.1	262.1	145.9	151.2	35.0	23.33%
	2	277.4	244.0	136.3	141.1	33.4	
	3	278.4	246.3	138.2	140.2	32.1	
U 砂 20%	1	270.9	234.2	131.7	139.2	36.7	26.67%
	2	269.7	232.2	130.6	139.1	37.5	
	3	267.7	230.4	129.8	137.9	37.3	
V 砂 25%	1	259.3	219.9	122.5	136.8	39.4	29%
	2	256.3	216.3	120.5	135.8	40.0	
	3	259.4	219.5	122.8	136.6	39.9	
W 砂 30%	1	262.5	210.8	121.9	140.6	51.7	35.33%
	2	247.7	199.6	115.7	132.0	48.1	
	3	256.2	212.1	121.7	134.5	44.1	
X 砂 35%	1	258.6	213.6	118.3	140.3	45.0	31.67%
	2	257.6	214.9	118.7	138.9	42.7	
	3	252.9	208.6	115.9	137.0	44.3	
Y 砂 40%	1	249.5	200.3	113.5	136.0	49.2	35.33%
	2	253.7	206.8	114.1	139.6	46.9	
	3	251.9	202.4	112.8	139.1	49.5	
Z 砂 45%	1	243.8	192.6	108.7	135.1	51.2	37.33%
	2	247.9	197.3	110.8	137.1	50.6	
	3	246.9	195.5	109.7	137.2	51.4	
ㄅ 砂 50%	1	252.1	195.2	109.7	142.4	56.9	37.33%
	2	238.4	191.1	102.8	135.6	47.3	
	3	241.7	190.6	105.0	136.7	51.1	
ㄆ 砂 55%	1	248.5	191.5	106.1	142.4	57.0	37.67%
	2	246.0	195.4	104.0	142.0	50.6	
	3	245.6	193.4	104.6	141.0	52.2	
ㄇ 砂 60%	1	241.9	188.3	103.8	138.1	53.6	39.33%
	2	241.2	187.0	102.9	138.3	54.2	
	3	244.3	188.8	104.7	139.6	55.5	
ㄏ 砂 65%	1	222.7	174.0	90.7	132.0	48.7	37.33%
	2	245.6	181.7	90.6	155.0	63.9	
	3	220.6	175.3	89.1	131.5	45.3	
ㄏ 砂 70%	1	223.5	166.2	90.9	132.6	57.3	43.67%
	2	225.5	165.7	92.2	133.3	59.8	
	3	225.1	167.3	91.3	133.8	57.8	
ㄏ 砂 75%	1	224.5	164.8	90.4	134.1	59.7	44.67%
	2	227.7	169.5	93.8	133.9	58.2	
	3	225.4	163.3	91.6	133.8	62.1	
ㄏ 砂 80%	1	235.3	172.7	98.1	137.2	62.6	46%
	2	230.2	167.3	94.9	135.3	62.9	
	3	234.9	171.4	97.1	137.8	63.5	
ㄏ 砂 85%	1	216.9	155.7	84.0	132.9	61.2	45.33%
	2	211.0	156.8	80.7	130.3	54.2	
	3	205.1	144.4	77.8	127.3	60.7	
ㄏ 砂 90%	1	219.9	156.1	86.1	133.8	63.8	48.67%
	2	220.5	157.3	86.4	134.1	63.2	
	3	218.6	150.1	85.0	133.6	68.5	
ㄏ 砂 95%	1	213.5	150.1	81.0	132.5	63.4	46.33%
	2	207.1	148.9	77.5	129.6	58.2	
	3	208.7	149.3	78.8	129.9	59.4	

厂	1	202.9	137.6	74.9	128.0	65.3	51%	49.33%
砂	2	206.4	146.3	76.8	129.6	60.1	46%	
100%	3	207.2	141.0	76.6	130.6	66.2	51%	

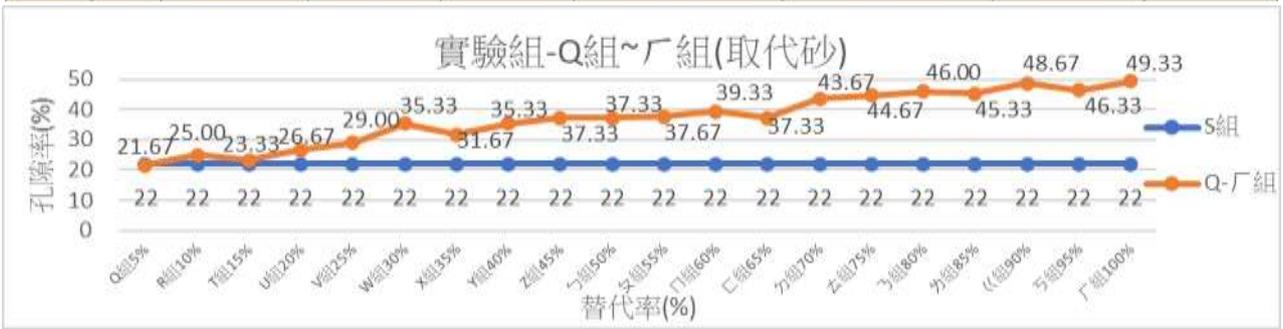


圖 5-9：實驗組 Q 組~厂組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體孔隙率試驗結果統計表  
《結果》由孔隙率實驗結果得知，對照組的孔隙率為22%，實驗組(A-厂組)的結果介於15.67~49.33%。

《發現》以廢棄金紙灰取代砂子所測得的孔隙率，以G組取代35%砂的孔隙率46.33%最高；以廢棄金紙灰取代水泥所測得的孔隙率，以0組取代35%水泥的孔隙率35.33%最高。依據總灰量調整水量所測得的孔隙率，以厂組取代100%砂的孔隙率49.33%最高。

## 六、檢測會呼吸的智慧多孔創新材料濕度調節能力。

### (一)吸濕：濕度吸收比較

#### 1、對照組 S 組

對照組S組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果如表5-13所示。

表 5-13：對照組 S 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

累計時間	0min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
試體編號	S1						
濕度(%)	99	99	99	99	99	99	99
累計時間	1.5hr	2hr	2.5hr	3.5hr	4.5hr	5.5hr	6.5hr
試體編號	S1						
濕度(%)	92	85	74	69	62	57	55

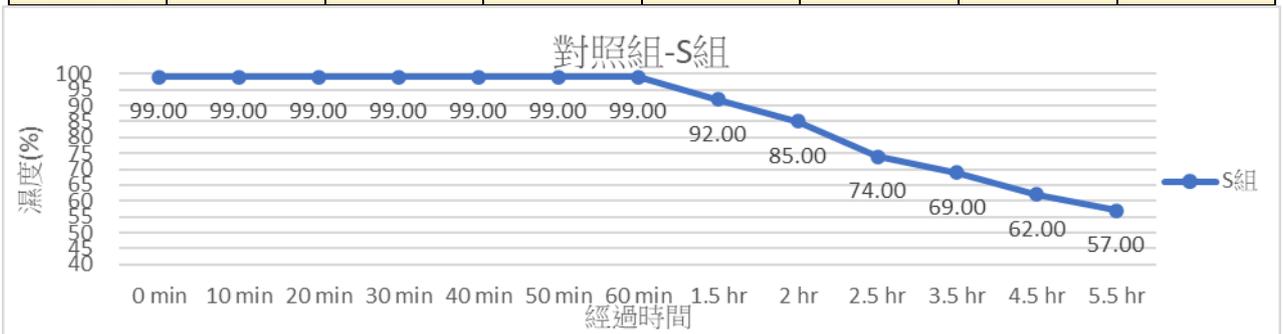


圖 5-10：對照組 S 組會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

#### 2、實驗組：取孔隙率最高三組-O、P、G 三組來作吸濕實驗

實驗組0組取代35%水泥，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果如表5-14所示。

表 5-14：實驗組 0 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

累計時間	0min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
試體編號	O1	O1	O1	O1	O1	O1	O1
濕度(%)	99	99	99	99	94	90	81

累計時間	1.5hr	2hr	2.5hr	3.5hr	4.5hr	5.5hr	6.5
試體編號	01	01	01	01	01	01	01
濕度(%)	77	70	64	60	55	51	47

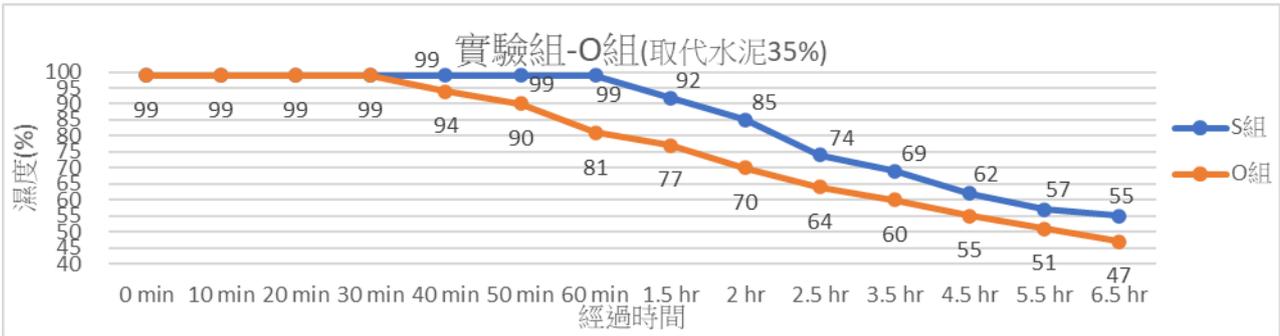


圖 5-11：實驗組 O 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

### 3、實驗組 P 組

實驗組P組取代40%水泥，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果如表6-3所示。

表 5-15：實驗組 P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

累計時間	0min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
試體編號	P1						
濕度(%)	99	99	99	99	95	92	90
累計時間	1.5hr	2hr	2.5hr	3.5hr	4.5hr	5.5hr	6.5
試體編號	P1						
濕度(%)	84	80	77	65	59	52	48

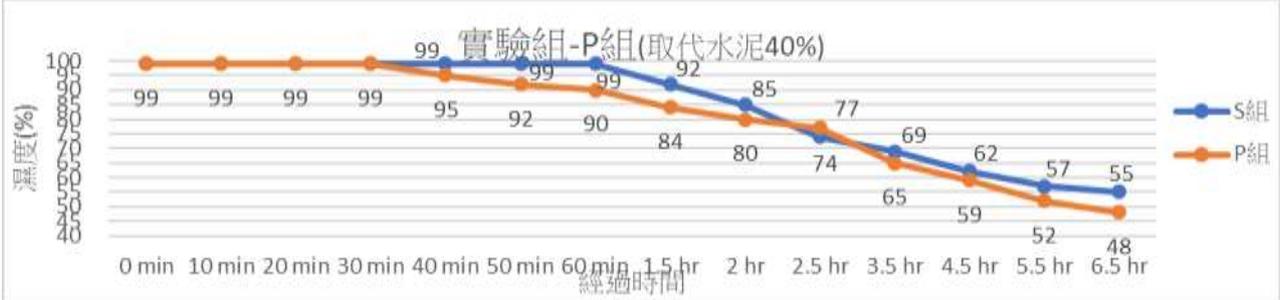


圖 5-12：實驗組 P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

### 4、實驗組 G 組

實驗組G組取代35%砂，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果如表6-4所示。

表 5-16：實驗組 G 組，創意金紙灰多孔隙綠建材試體濕度試驗結果統計表

累計時間	0min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
試體編號	G1						
濕度(%)	99	99	99	97	92	91	89
累計時間	1.5hr	2hr	2.5hr	3.5hr	4.5hr	5.5hr	6.5
試體編號	G1						
濕度(%)	82	79	72	64	58	51	48

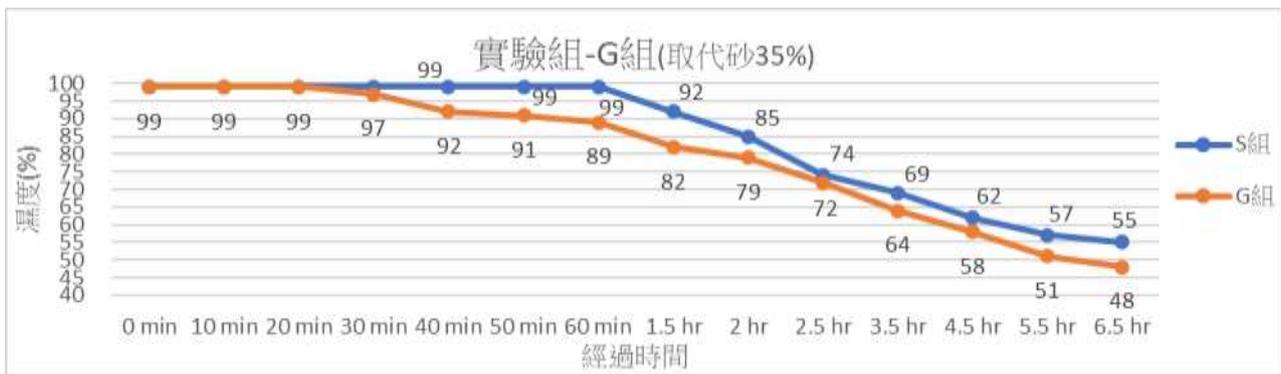


圖 5-13：實驗組 G 組，創意金紙灰多孔隙綠建材試體濕度試驗結果統計表

《結果》1、由實驗結果得知，實驗組O、P組於實驗30分鐘後、G組於實驗20分鐘後開始吸空氣中水氣，而對照組S組則於實驗1小時後才開始吸空氣中水氣。

2、實驗組OPG組實驗至6.5小時能使空氣中濕度由99%降至47-48%，而對照組只能調節至55%

《發現》以廢棄金紙灰分別取代水泥、砂子的多孔隙創新材料，具有調濕能力，濕度調節效率非常好。

## (二)排濕：濕度排出比較

### 1、對照組 S 組

對照組S組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果如表5-17所示。

表 5-17：對照組 S 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

累計時間	0min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
試體編號	S1						
濕度(%)	52	60	69	75	79	82	84
累計時間	1.5hr	2hr	2.5hr	3.5hr	4.5hr	5.5hr	6.5 hr
試體編號	S1						
濕度(%)	86	88	89	92	95	98	99

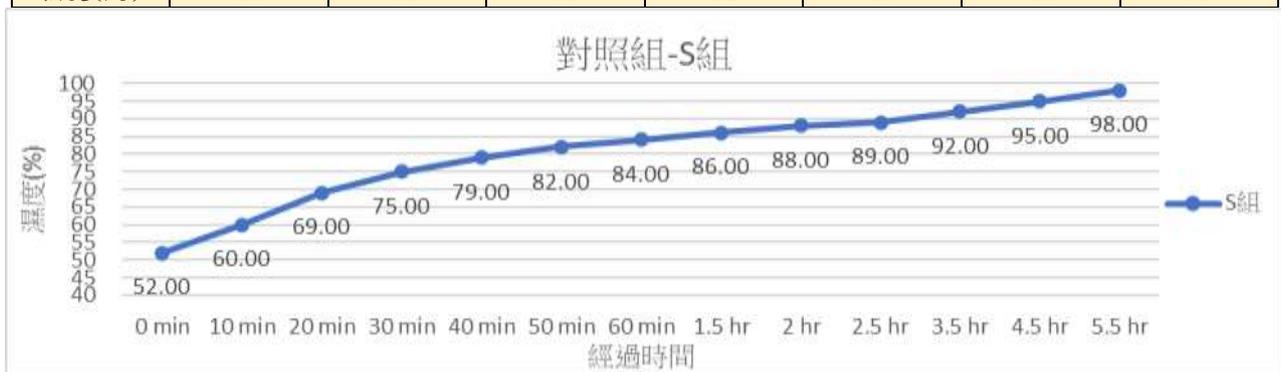


圖 5-14：對照組 S 組會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

### 2、實驗組：取孔隙率最高三組-O、P、G 三組來作濕度排出實驗

實驗組O組取代35%水泥，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果如表5-18所示。

表 5-18：實驗組 O 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

累計時間	0min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
試體編號	01	01	01	01	01	01	01
濕度(%)	50	59	69	77	81	83	85
累計時間	1.5hr	2hr	2.5hr	3.5hr	4.5hr	5.5hr	6.5
試體編號	01	01	01	01	01	01	01
濕度(%)	87	90	95	99	99	99	99

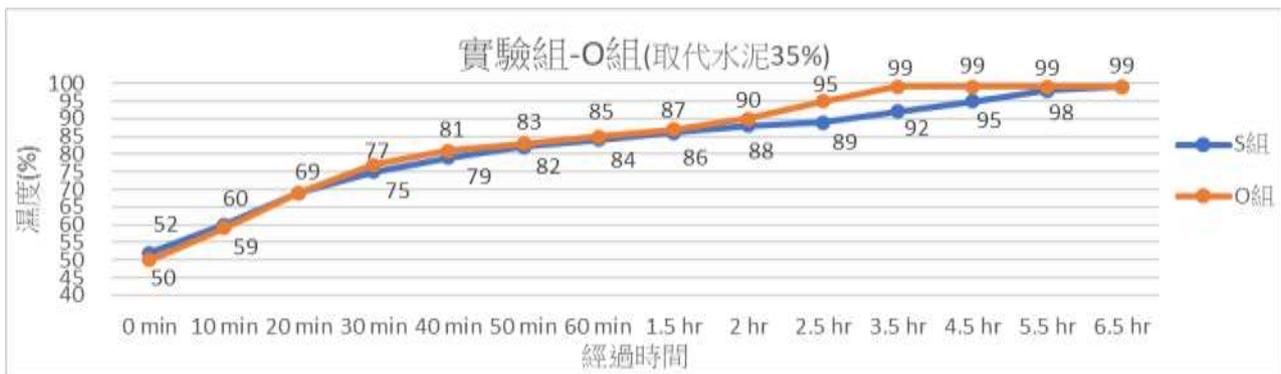


圖 5-15：實驗組 O 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

### 3、實驗組 P 組

實驗組P組取代40%水泥，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果如表5-19所示。

表 5-19：實驗組 P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

累計時間	0min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
試體編號	P1						
濕度(%)	51	62	71	77	80	84	85
累計時間	1.5hr	2hr	2.5hr	3.5hr	4.5hr	5.5hr	6.5
試體編號	P1						
濕度(%)	87	91	94	99	99	99	99

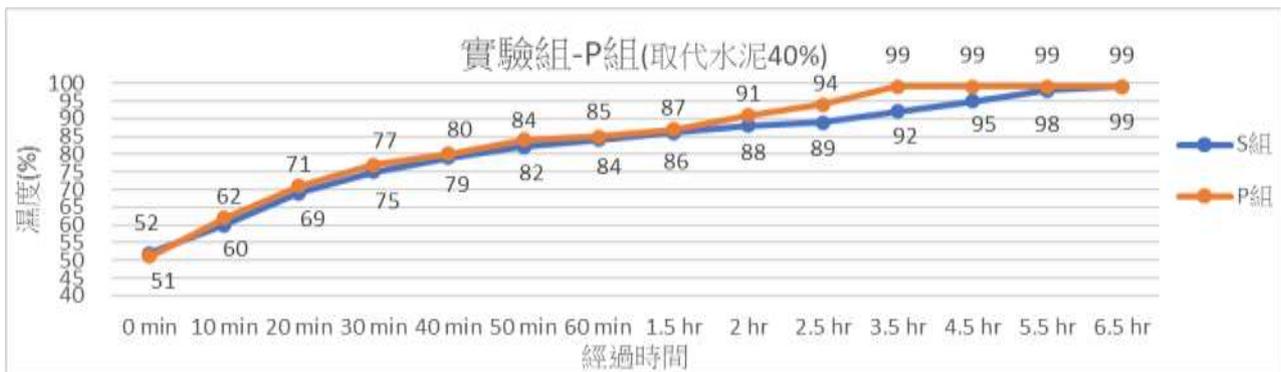


圖 5-16：實驗組 P 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

### 4、實驗組 G 組

實驗組G組取代35%砂，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果如表5-20所示。

表 5-20：實驗組 G 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

累計時間	0min	10min	20min	30min	40min	50min	60min
試體編號	G1						
濕度(%)	48	53	60	69	77	85	91
累計時間	1.5hr	2hr	2.5hr	3.5hr	4.5hr	5.5hr	6.5
試體編號	G1						
濕度(%)	93	96	98	99	99	99	99

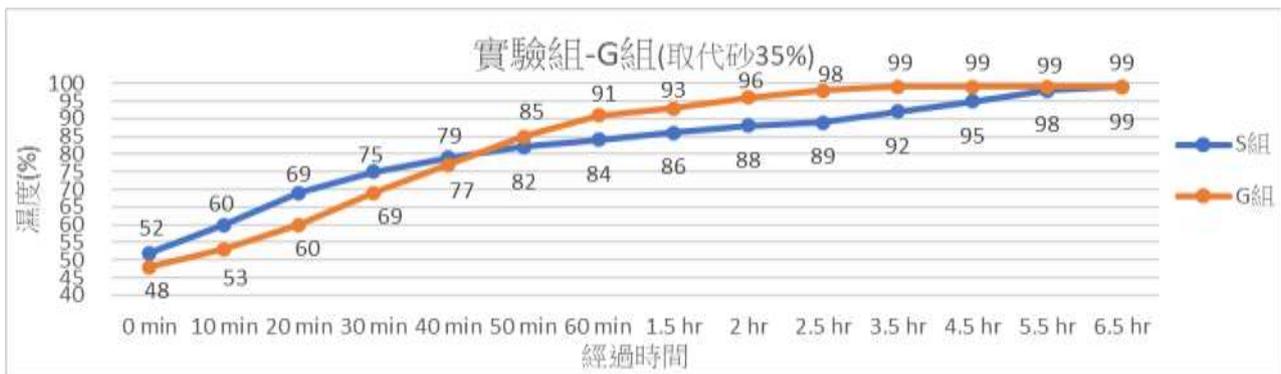


圖 5-17：實驗組 G 組，會呼吸的智慧多孔創新材料試體濕度試驗結果統計表

《結果》由實驗結果得知，對照組S組試體內濕度排放至空氣中須持續6.5小時，才能讓試體盒內濕度到99%，實驗組O、P、G組結果只要3.5小時就能讓試驗盒內濕度達到99%。

《發現》以廢棄金紙灰分別取代水泥、砂子的多孔隙創新材料，具有調濕能力，濕度調節效率非常好。

#### 七、檢測廢棄金紙灰的氯離子含量，並探討耐久性。

《結果》由實驗結果得知：廢棄金紙灰的氯離子含量為0.001%。

《發現》廢棄金紙灰的氯離子含量小於「綠建材標章評定基準」水泥相關製品0.1%及中國國家標準CNS14164要求，達到耐久性的需求。

#### 八、實作會呼吸的智慧多孔創新材料應用於植栽的可行性評估。

《結果》由實驗結果得知，小白菜、蔥可在摻有會呼吸的智慧多孔創新材料的料堆中生長。

《發現》以廢棄金紙灰分別取代水泥、砂子製成多孔隙創新材料，應用植生具透水功能。

#### 九、探討會呼吸的智慧多孔創新材料，並嘗試粉刷校園觀察後續。

《發現》依據實驗結果在土木技師處長與副處長建議下，應用於正在施工中的校園生態池和新建洗手檯，並在泥作師父指導下我們完成粉刷。

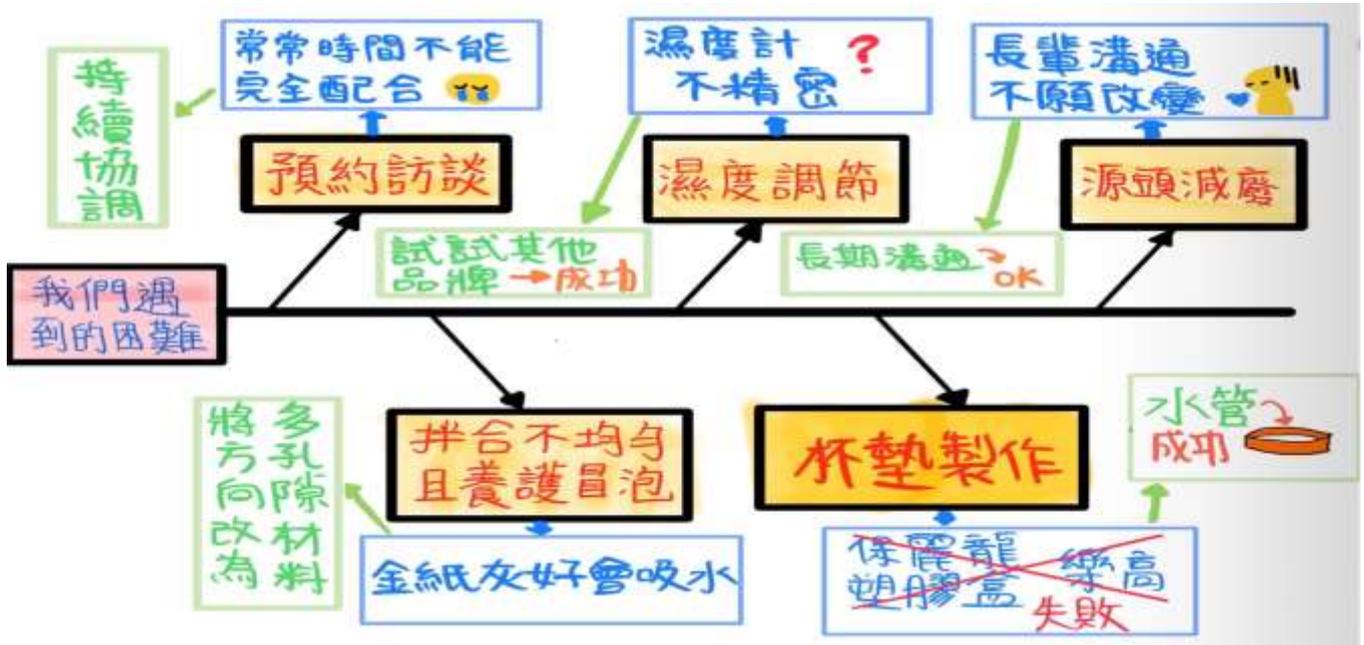


圖 5-18：會呼吸的智慧多孔創新材料嘗試粉刷校園

### 陸、結論

- 金門約 500 間宮廟，金門人認為「拜越多燒越多保佑越多」觀念，導致每年燃燒巨量金紙，以每年金紙進口量 300 噸推估每年產生 8.7 噸金紙灰。
- 目前金紙灰處理方式有三：當垃圾處理、客土、放水流。會造成空氣汙染和水汙染。
- 由吸水率、抗壓強度和孔隙率實驗結果得知，不同取代率有不同的功能，取代 5%砂和 20%水泥以內，符合一般公共工程 210 kgf/cm<sup>2</sup>抗壓強度的需求。取代 35%、40%水泥和 35%砂作為會呼吸的智慧多孔創新材料的效果最佳。
- 以廢棄金紙灰分別取代水泥、砂的會呼吸的智慧多孔創新材料，具有調濕能力，會呼吸。
- 廢棄金紙灰的氯離子含量為 0.001%，小於「綠建材標章評定基準」所規定的要求 0.1%，及中國國家標準 CNS 14164 要求，達到耐久性的需求。

- 六、以廢棄金紙灰分別取代水泥、砂子製成會呼吸的智慧多孔創新材料，可應用於綠化植生。
- 七、依據實驗結果在土木技師處長與副處長建議下，應用於正在施工中的校園生態池和新建洗手檯，並在泥作師父指導下我們完成塗抹完成。
- 八、根據實驗結果嘗試 DIY 製成文創小物杯墊。
- 十、我們遇到困難，逐步想辦法解決問題的過程圖



## 柒、應用與展望

我們認為既然無法改變居民根深蒂固「燒金紙」的陋習，但至少可以想辦法把燃燒後的廢棄金紙灰問題妥善處理，放對位置，定能「垃圾變黃金」，不要再讓廢棄金紙灰滿天飛、放水府(放水流)，造成更多汙染，所以我們嘗試將廢棄金紙灰分別取代水泥及砂，製成會呼吸的智慧多孔創新材料，不僅減少海砂疑慮，達到耐久的需求，還可「減廢」-減少廢棄金紙灰對環境的汙染；「減量」-減少營建材料水泥、砂石的開採，節省材料成本；「節能」--減少建築物熱負荷，少開冷氣、讓廢棄金紙灰「再生」，資源「永續」，還給大家健康的生活環境，打造「清淨家園」。

### 一、應用：

#### (一)、外殼節能材料

地球暖化日益嚴重，文獻得知台灣每年五月-九月氣溫可達27-35度C，七月均溫更高達30度C，加上都市熱島效應，不易散熱，使得建築物外殼高達40度C，屋內溫度相對升高，尤其文獻得知台灣建築物80%有西曬問題，致使熱能儲存於建築物的牆體內，晚上溫度仍高，為求降溫，屋內冷氣使用量增加，也會造成室外溫度越來越高。根據台電資料顯示建築物用電，有40%是空調用電，如果未來將「會呼吸的智慧創新材料」應用在建築物外殼、晚上吸附露水與水氣，白天日照水蒸發放水，大幅降低建築外殼的熱負荷，達成「節能」的目的。可應用於

- 1、智慧建築外殼材料
- 2、頂樓隔熱板與隔熱磚材料

#### (二)、室內牆板與裝修材料

由文獻得知濕度太高與太低都使人體產生不適，當室內溼度高於60%，潮濕細菌快速繁

殖、易發霉、腐爛與生鏽；當室內溼度低於40%，人體代謝功能下降、呼吸道抵抗力減弱、皮膚乾燥、家具變形爆裂，因此控制室內溼度極為重要，若將「會呼吸的智慧多孔創新材料」應用於隔間牆板與室內裝修材料，可自動調節室內空氣濕度，過程連續且無須消耗任何能源，利用多孔特性，把空氣中過多的溼氣及拖地洗嗽…活動時的濕氣，吸附牆面；當空氣溼度降低，孔隙中的濕氣又被釋放到空間中，增加房間的溼度。

### (三)、綠化植生生態材料：

利用多孔特性，綠化植生於平面或立面構造物。

### (四)、文創小物綠色環保材料：

應用多孔特性，自製創意杯墊、花盆…等文創小物。

## 二、實際推廣

### (一)、源頭減廢：

我們認為**減少**燒金紙的次數與數量是最根本的方法，持續跟長輩溝通「心誠則靈」觀念，拜託長輩逐步減少燒金紙的次數和數量，積少成多，還是可以為地球盡點心力。

### (二)、開設DIY課程：

本校開設文創小物DIY課程，**推廣**自製創意杯墊與花盆，杯水若不小心溢出、或冰水杯外小水滴滴落，杯墊可吸水，不會把桌面弄得溼答答。接著將推廣至社區DIY課程。

### (三)、由本校實作開始：

將會呼吸的智慧多孔創新材料粉刷於本校新建工程，**評估耗能**，以節省電費為觀察指標。

### (四)、由水泥預拌廠開始推廣：

向金門**水泥預拌廠**詢問是否**願意**使用金紙灰於水泥製品，**都獲得認同**，但還需要官方納入施工規範，創新材料推廣要產、官、學三方合作才能達成，未來若官方認可實施，只要在水泥預拌廠門口設置金紙灰回收桶，或由垃圾車代收，再送至水泥預拌廠即可。

### (五)、由公共工程開始：

向縣府報告實驗成果，請縣府**鼓勵、獎勵**，由**公共**工程開始試用推廣。

## 三、後續研究：

(一)、嘗試以廢棄金紙灰應用在建築物用的「**隔音建材**」與「**耐燃建材**」研究。

(二)、嘗試以廢棄金紙灰應用在各種形式的「**生態植栽器**」研究。

## 四、本作品的創新亮點

(一)、首創以金紙灰分別替代水泥和砂，製成會呼吸的智慧多孔創新材料

(二)、從科學探究到實踐綠色生活

(三)、著手申請專利中

## 捌、省思

一、我做完這個研究最大的想法是「**長輩不要再拜拜燒金紙了**」，於是我告訴家裡的阿嬤，如果她喜歡拜拜，我可以天天陪她散步去廟裡拜拜徒手拜拜，增進祖孫情感，但是要答應減少燒金紙的次數和數量，原本**阿嬤**不太想答應，但天天聽到我實驗的點滴，阿嬤現在在家裡的拜拜，已經**盡量減燒香**，改用手拜就好，**金紙則減少燒一小疊**，我好開心**阿嬤**願意調整，為地球盡一份心力。

- 二、這個實驗帶給我最大的震撼是，原本以為疫情大家會**減少群聚減少拜拜**，但似乎沒有影響，尤其廟的主委說「**燒越多保佑越多**」，**金紙店的老闆**也說疫情並沒有減少拜拜燒金紙，反而生意更好賣更多金紙，可以**保佑不得病**，連港務處長也說今年的**金紙進口量並沒有減少**，農曆七月的時候，**進口量還更多呢!**而且訪談時得知**金紙灰**除了隨風飄散，竟然說處裡的方法是放水流，稱為「**放水府**」水神保佑我們，感覺好荒謬，根本就是隨意丟棄水溝、河川、大海，造成水汙染。而且實驗初期還看到新聞報導，**彰化發生金紙灰在垃圾車爆炸**的問題，所以廢棄金紙灰的**後續處理**是該**值得重視**。
- 三、實驗剛開始原本是要以廢棄金紙灰做成混凝土或水泥砂漿，但是我們**拌合**時發現金紙灰好會**吸水**，**不好拌合**，加上有一天拆模時，將試體放入石灰水**養護**，突然發現一直**冒泡泡**，於是我們將這神奇的發現告訴老師，老師說那表示會**吸水**喔，可以調整朝著多孔性材料實驗看看，我覺得實驗很有趣，**有時候原本想的和做出來的不一樣**，**有新的發現是非常興奮的**，而且更棒的是有許多熱心的專家和老師協助我們幫助我們，真好。
- 四、我們將試體放入密封樂扣盒實驗是非常特別，看到溼度計數字一直爬升，或一直下降，感覺**試體好厲害會呼吸**耶，不僅聰明還懂得**吸放平衡**。
- 五、這次實驗我們將會呼吸的智慧多孔創新材料粉刷於**洗手台、生態池、缺損的破洞**，**新建工程**，我覺得**最有趣也最有成就感**，每次經過都會不經意偷瞄幾眼。
- 六、**製作杯墊**是我覺得最有創意的事，我們利用**水管**切成細圓框當成**模具**，灌漿製成杯墊，也曾嘗試用**樂高**來組成模具，雖然實驗還沒成功，我仍然會**繼續實驗**。
- 七、做實驗好辛苦，時間漫長，一拖就是快一年的時光，有時候看到別人放學在玩，我卻必須天天做實驗，放假也要因為有時效性，好幾次太累有點想放棄，可是我好喜歡大家在一起做實驗討論，互相幫忙的感覺，我是**資優生**做這實驗才發現**我雖然很厲害**，但是其實我沒辦法一個人完成一個這麼大的研究，我很感謝老師給我機會，讓我學習**團隊合作**。
- 八、從小到大我第一次參與訪談，非常喜歡訪談，所有**受訪的長輩**都對我們很好，只要我們有**疑問**都盡可能一直講，講到我們聽懂為止，所學到的知識都是平常課本學不到的知識，所看的東西也是平常不會去注意看，或是**有機會看到的**，而且有些受訪長輩長官還請我們吃東西，送我們小禮物，真不好意思。
- 九、最近金門某小學，又再度發生新建校舍塌陷，幸好小朋友已放學，否則後果不堪設想，因為參與這個研究，**我希望有朝一日我可以成為工程材料專家**，不要讓意外連連發生，讓所有的媽媽都可以安心，不用擔心小朋友上課上到一半，校舍會不會倒呢？會不會來不及逃跑呢？

## 玖、參考書目

- 1、陳力賓、陳泓誌、蔡皓宇 終結金紙灰—細菌對紙灰之降解研究 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
- 2、陳黎安、葉昀昀、何代堯、駱怡君 讓神明保佑“泥”！金紙灰水泥砂漿試體試驗中華民國第 47 屆中小學科學展覽會
- 3、黃咨瑋;張宸馨;關榮盼;王思喻 神奇的金紙灰 中華民國第 50屆中小學科學展覽會
- 4、楊子儀、林采穗、翁子懿 金日一舉、紙引未來、灰煌再現—環保建材、金紙灰用於陶土及灰釉試驗 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會
- 5、謝素蘭 2012 應用廢棄料製作多孔性透水綠建材之研究
- 6、調濕型生態建材研發趨勢 2013 行政院農業委員會 農學報導
- 7、室內調濕塗料應用範圍及最新研究進展 2010 中華調研網

## 【評語】 082914

能主動以家鄉的生活題材為主軸，進而解決在地的問題，符合科學探究的精神，而研究者也能善用在地資源 TAF 實驗室謹慎的依據 CNS 標準製作多孔性材料來進行比較，在研究變因中彼此的關聯性強，架構也完整，最後還能看見材料在運用上的可行性，包括建材、綠化生殖...等，實作精神值得鼓勵，其中，幾項建議：第一：綠化生殖的研究樣本數量要再增加，若只依單一盆栽的植物表現，很難說服綠化生殖的可行性；第二：所使用的研究物品金紙灰材料統一性，也要在文中加強說明，可再增加研究的可信度；第三：研究內容的版面設計可以參考歷屆科展架構，還有包括數據表格太小不利閱讀...等，以上再進行修正，將可期待更佳的作品表現。

## 作品簡報

# 「金」「壁」「灰」煌

## — — — 會呼吸的智慧多孔創新材料

國小組 生活與應用科學 (二)科



# 一、研究動機

金紙灰滿天飛  
空汙 → 過敏  
放水府 → 水汙  
天花板坍塌  
人心惶惶



## 金門幼兒園天花板崩落 緊急疏散補救

2016年04月14日(四) 03:03



崩落的天花板可以看到鋼筋外露，在確保絕對安全以前，這幢大樓將停止使用。(中時電子報圖)



中時電子報

金門幼兒園天花板崩落緊急疏散補救  
中·生活·中時

前往

## 金門幼兒園天花板坍塌 校方緊急善後

最新更新：2016/04/13 14:17



AA

(中央社記者黃慧敏金門縣13日電)金門縣金湖鎮金湖國小幼兒園發生教室天花板坍塌事件，造成師生和家長恐慌，校長陳為信深感抱歉與遺憾；不過，他說，所幸

# 二、研究目的與問題

## 清淨家園

- 一、訪談金門有多少宮廟？拜拜習俗？一年進口多少金紙？產生幾噸金紙灰？如何善後？
- 二、以廢棄金紙灰分別取代砂及水泥，製成會呼吸的智慧多孔創新材料，測試吸水率 抗壓強度 孔隙率 濕度調節
- 四、檢測氯離子含量，並探討耐久性。
- 五、實作應用於植生的可行性評估。
- 六、探討並嘗試應用校園實作觀察後續。

# 三、研究架構圖、計畫表

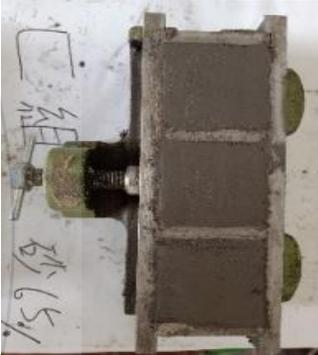


109/06	討論與確認主題方向
109/07-09	資料收集 訪談：金門縣政府民政處宗教禮儀科科長 金門縣港務處處長 金紙店老闆 浯島城隍廟主委 台灣省土木技師公會金門辦事處處長 國立金門大學土木系教授
109/09	試算配比 準備實驗材料：砂、水泥、金紙灰、金紙 高借專業實驗器材：CNS 標準規格 5x5x5 cm 正立方體
109/10-12	燃燒金紙試驗 製作多孔綠建材試體 拆模 養護 測濕重 測乾重 測抗壓強度 測水中重 計算吸水率 計算孔隙率 測溫度調節能力 測氫離子
110/01-04	實作 資料整理與數據分析、討論
110/04-5	書面完成 推廣

# 四、配比、實驗過程

試體	水泥 : 砂 : 水			
標準配比	配比	1	2.75	0.485
	重量	250 g	687.5 g	121 g

說明：對照組試體材料配比依據 CNS 標準配比的數值設定，每一個配比可製作三個 5x5x5 cm 試體。



燒金紙試驗

收集金紙灰、砂、水泥

篩析

秤取原料

拌和

灌漿搗實

試體完成

試體養護



測面乾內飽和重

測試體乾重

抗壓實驗

溫溼度調節測試

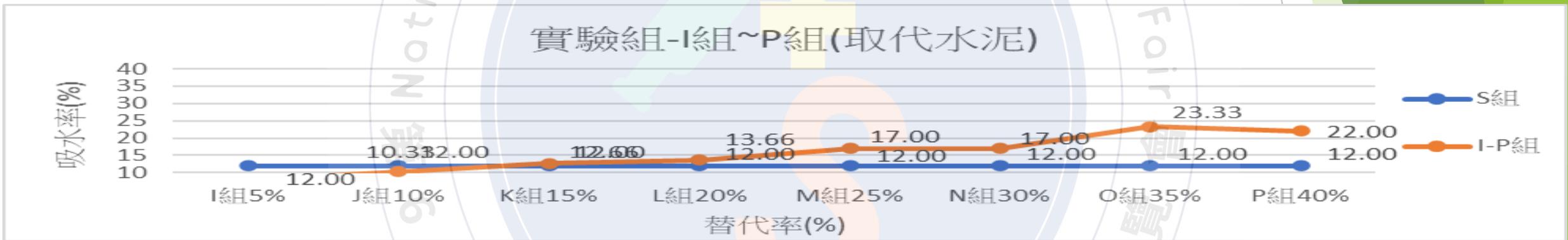
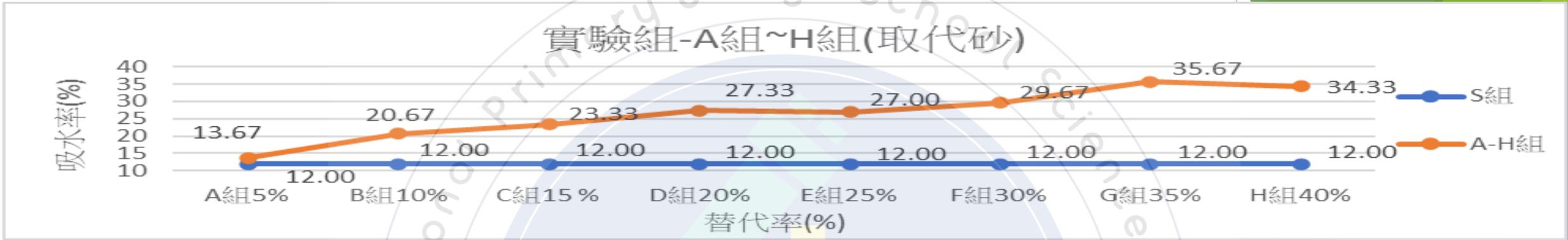
測試氯離子

植栽可行性實驗

文創小物實驗

校園實作

# 五、實驗結果-吸水率



# 五、實驗結果 - 抗壓強度

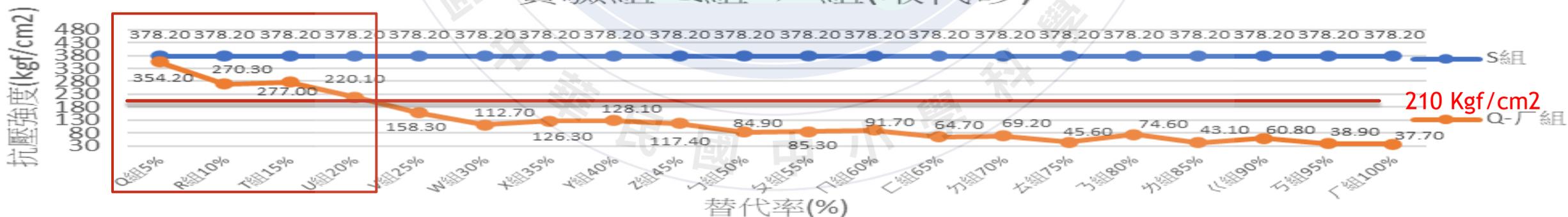
實驗組-A組~H組(取代砂)



實驗組-I組~P組(取代水泥)



實驗組-Q組~厂組(取代砂)



# 五、實驗結果 - 孔隙率

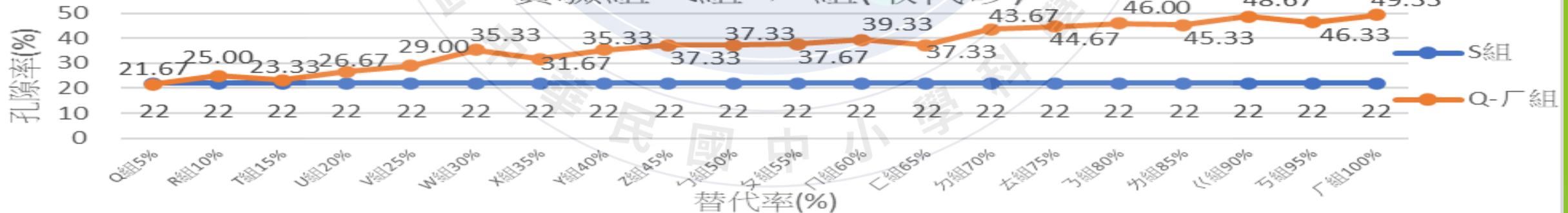
實驗組-A組~H組(取代砂)



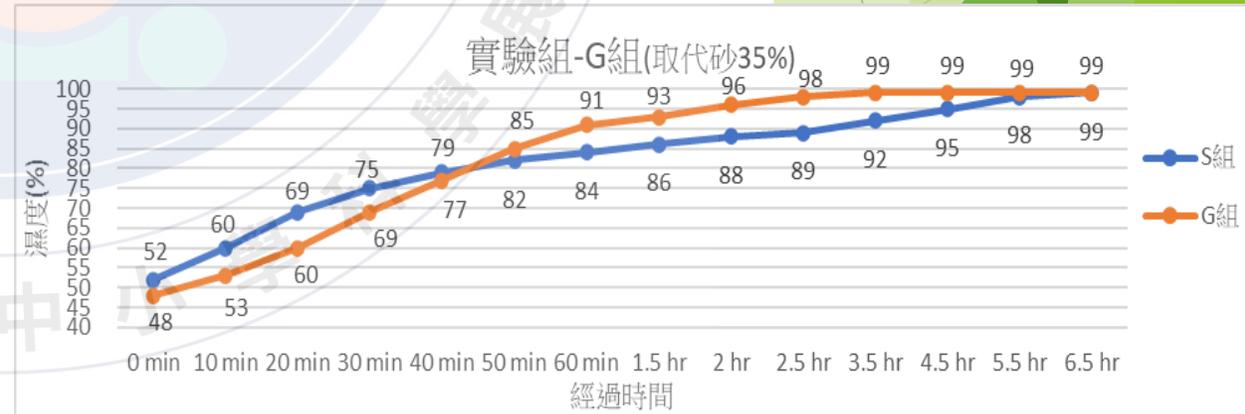
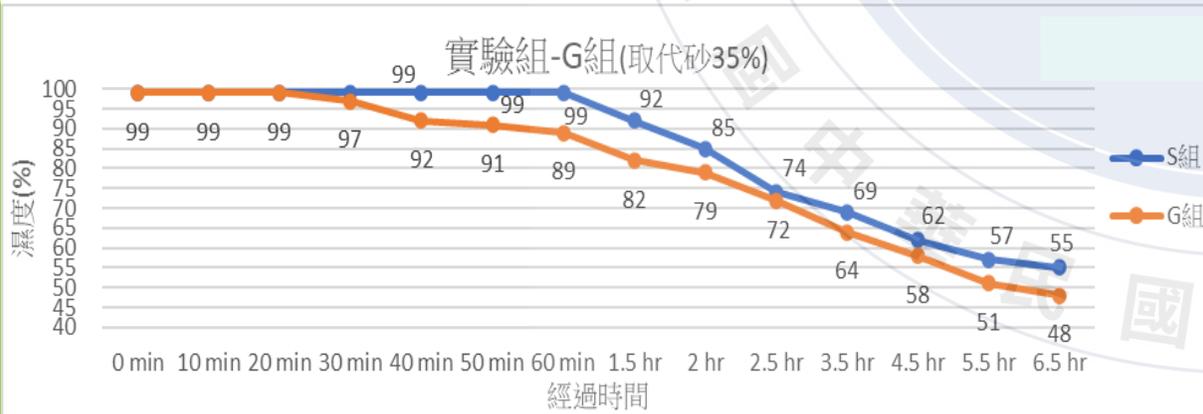
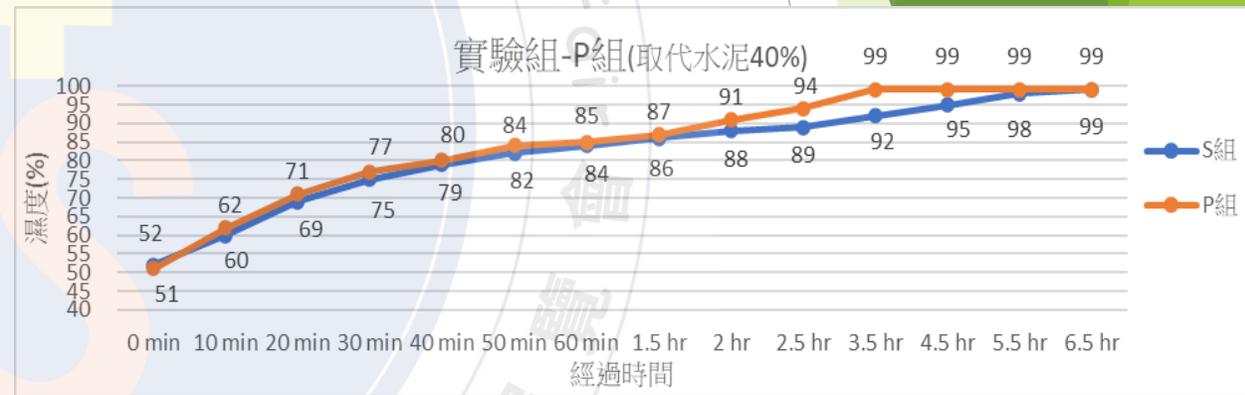
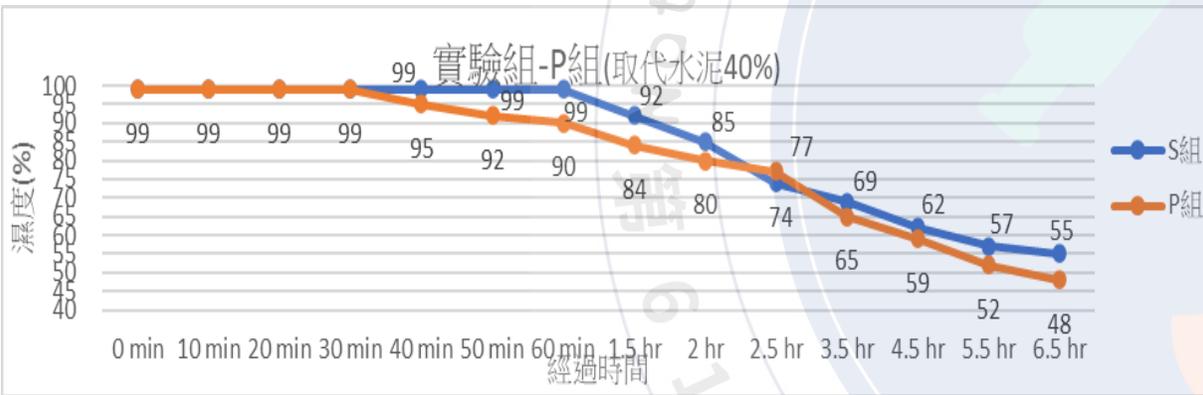
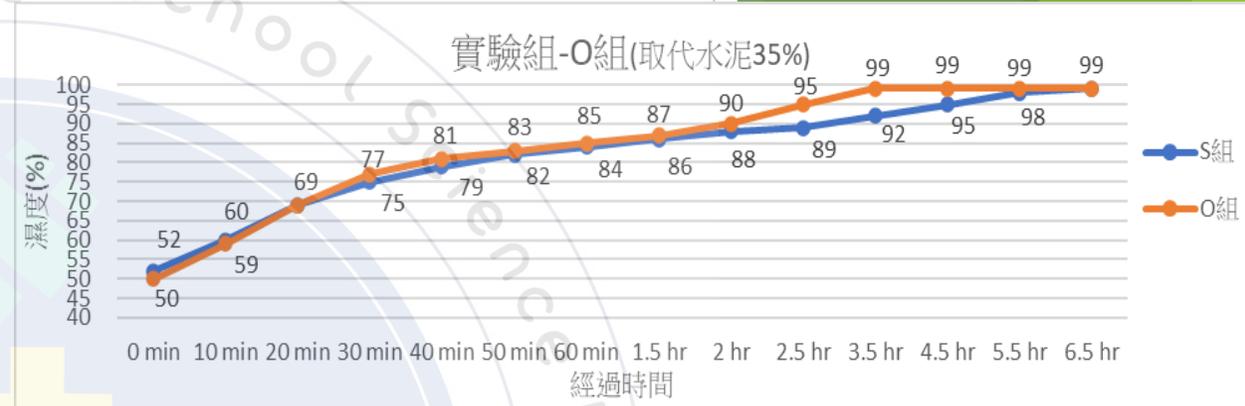
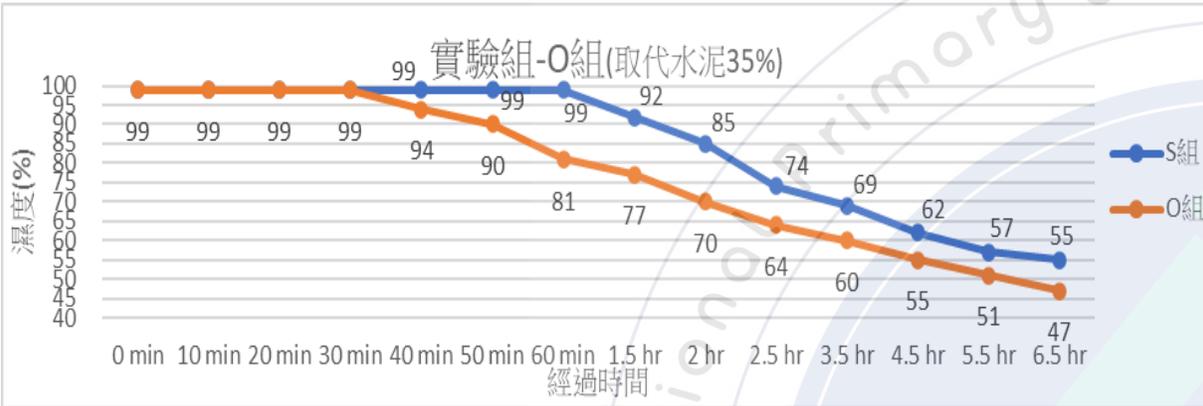
實驗組-I組~P組(取代水泥)



實驗組-Q組~厂組(取代砂)



# 五、實驗結果 - 吸濕/排濕

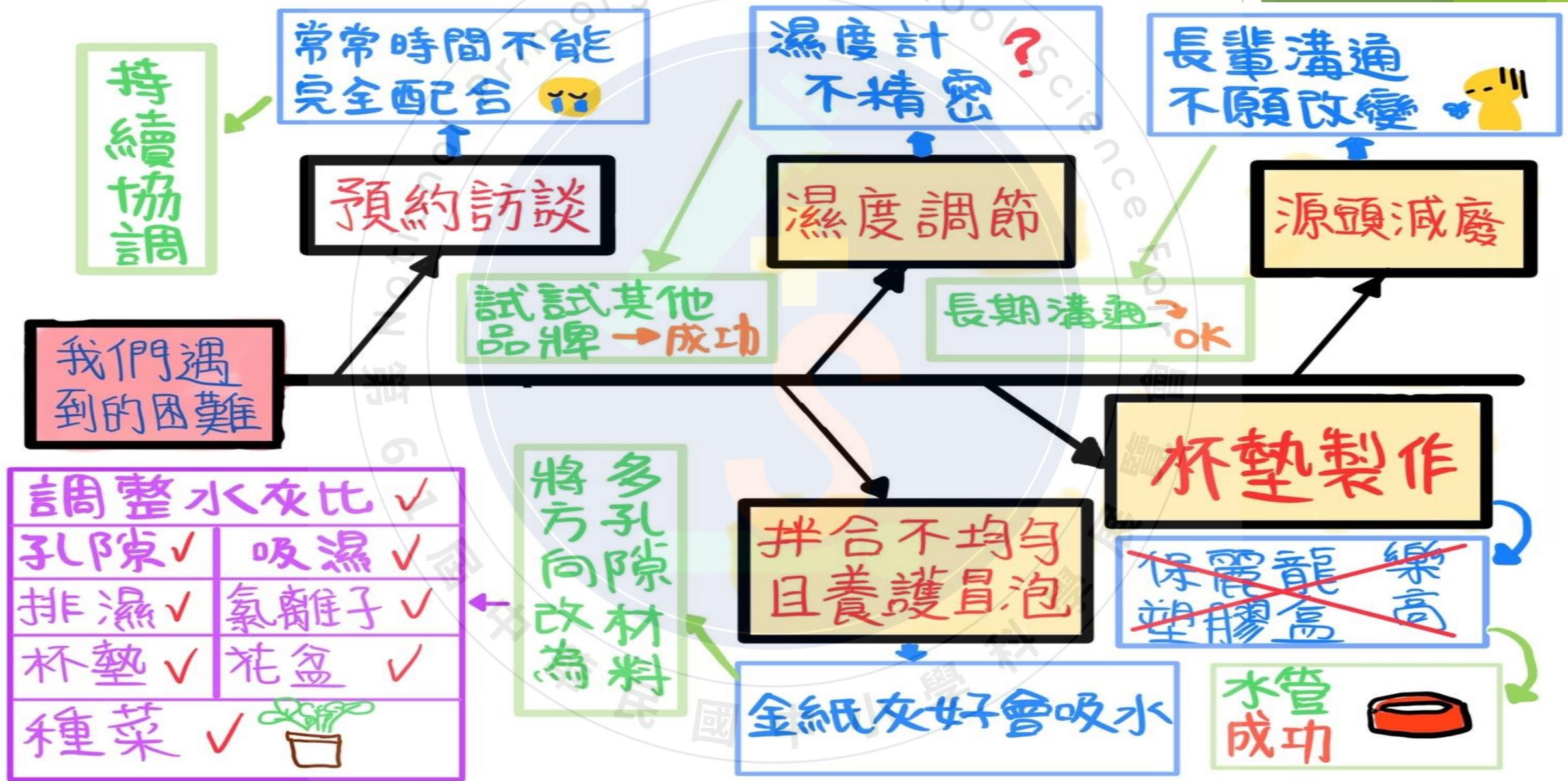


# 六、結論

- (一)金門約**500**間宮廟「**拜越多燒越多保佑越多**」觀念，年產**8.7**噸廢棄金紙灰。
- (二)金紙灰處理方式：當**垃圾**處理、**客土**、**放水流**。造成空汙和水汙。
- (三)由吸水率、抗壓強度和孔隙率實驗結果得知，**不同**取代率有**不同**的功能。
- (四)會呼吸的智慧多孔創新材料，具**調濕**能力、**會呼吸**，可應用於**綠化植生**。
- (五)廢棄金紙灰**氯離子**含量**0.001%**，符合「綠建材標章評定基準」及CNS14164，達耐久需求。
- (六)依實驗結果在土木技師處長建議下，**應用於校園生態池**和**新建洗手檯**。
- (七)根據實驗結果嘗試製成**文創小物**杯墊、花盆。



# 七、困難 → 解決



# 八、應用與展望

## 一、應用

- (一) 外殼節能材料：智慧建築外殼材料、頂樓隔熱板與隔熱磚材料
- (二) 室內牆板與裝修材料
- (三) 綠化植生生態材料
- (四) 文創小物綠色環保材料

## 二、實際推廣

- (一) 源頭減廢
- (二) 開設DIY課程
- (三) 由本校實作開始
- (四) 由水泥預拌廠開始推廣
- (五) 由公共工程開始

## 三、後續研究

- (一) 嘗試「隔音」與「耐燃」建材研究。
- (二) 嘗試應用在各種形式的「生態植栽器」研究。

## 九、本作品的創新亮點

- (一) 首創以金紙灰分別替代水泥和砂，製成會呼吸的智慧多孔創新材料
- (二) 從科學探究到實踐綠色生活
- (三) 著手申請專利中

