



碩士論文

電漿水淬熔岩作為人造石之初步探討

Water Quenched Slag from Plasma Used as Man-Made Stone

指導教授：李明君 博士

研究生：胡詩欣

中華民國 97 年 7 月 7 日



朝陽科技大學營建工程系

Department of Construction Engineering
Chaoyang University of Technology

碩士論文

Thesis for the Degree of Master

電漿水淬熔岩作為人造石之初步探討

Water Quenched Slag from Plasma Used as Man-Made Stone

指導教授：李明君 博士(Dr. Ming-Gin Lee)

研究生：胡詩欣 (Shih-Hsin Hu)

中華民國 97 年 7 月 7 日

July 7, 2008



博、碩士論文授權書

本授權書所授權之論文為本人在朝陽科技大學_____營建工程_____系(所)
_____結構_____組 九十六 學年度第 二 學期取得 碩 士學位之論文。

論文名稱：_____電漿水淬熔岩作為人造石之初步探討_____

同意 不同意

本人具有著作財產權之論文全文資料，授予教育部指定送繳之圖書館及本人畢業學校圖書館，為學術研究之目的以各種方法重製，或為上述目的再授權他人以各種方法重製，不限地域與時間，惟每人以一份為限。。

上述授權內容無須訂立讓與及授權契約書；依本授權之發行權為非專屬性發行權利；依本授權所為之收錄、重製、發行及學術研發利用均為無償。上述同意與不同意之欄位若未勾選，本人同意視同授權。

指導教授姓名：李明君

研究生簽名：胡詩欣

學號：9351602

(親筆正楷)

(務必填寫)

日期：民國 97 年 7 月 7 日

註：本授權書(得自 <http://www.lib.cyut.edu.tw/eThesis> 下載)請以黑筆撰寫並影印裝訂於書名頁之次頁。



朝陽科技大學碩士班
論文口試委員會審定書

系所名稱：營建工程系(所)

論文題目：電漿水淬熔岩作為人造石之初步探討

研究生：胡詩欣 學號：9351602

本論文業經本委員會審查及口試合格，特此證明。

論文口試委員：

交通部運輸研究所 組長
陳桂清 陳桂清

朝陽科技大學營建工程系 教授
江支弘 江支弘

朝陽科技大學營建工程系 副教授
李明君 李明君

指導教授：李明君 李明君

系所主任：徐松圻 徐松圻

中華民國 九十七 年 七 月 七 日



We approve the thesis entitled "Water Quenched Slag From Plasma Used as Man-Made Stone" of Shih-Hsin Hu .

Date of Signature

Chih-Hung Chiang
Chih-Hung Chiang
Professor
Department of Construction Engineering
Chaoyang University of Technology

July 31, 2008

Ming-Gin LEE
Ming-Gin LEE
Associate Professor
Department of Construction Engineering
Chaoyang University of Technology
Thesis Advisor

July 31, 2008

Kuei-Ching Chen
Kuei-Ching Chen
Researcher
Harbor & Marine Technology Center, I.O.T., M.O.T.C.
Chair of Committee

July 31, 2008

Sung-Chi Hsu
Sung-Chi Hsu
Professor and Chairman
Department of Construction Engineering
Chaoyang University of Technology

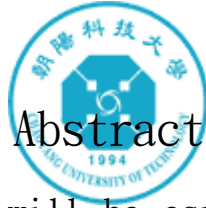
July 31, 2008



近年來台灣地區每年預估會有 850 萬噸的垃圾產生，經焚化爐燃燒後，可產生 150~200 萬噸的灰渣。然而，這些灰渣因為含有許多的重金屬以及戴奧辛等有害的物質，因此，政府推動「垃圾處理計畫」，建設大型的焚化廠以解決垃圾以及灰渣對於生態環境造成的嚴重衝擊。

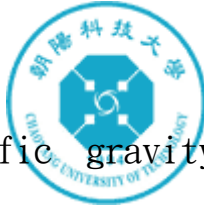
本研究藉由電漿融熔處理技術，將焚化後之灰渣給予高溫處理，以有效解決資源化再利用焚化灰渣，經過電漿融熔後用水冷卻把灰渣玻璃化成為微晶材料，即稱之為水淬熔岩。本文針對水淬熔岩的特性，探討人造石資源再利用之可行性，以水淬熔岩取代石粉製作人造石，試驗內容包含硬度、比重、吸水率、抗壓、抗拉、耐熱及毒物溶出等試驗，並針對水淬熔岩人造石不同粗細度與樹脂的比例進行分析。

研究結果顯示，粗水淬熔岩比例較多時所製成無膠殼試體之物理性質較接近一般人造石之物理性質；抗拉試驗中發現，水淬熔岩含量少樹脂較多時，其強度較高；抗壓強度則不按照樹脂或水淬熔岩量之多寡有規則變化；在耐熱試驗中其軟化點及破壞點與人造石相近，綜合試驗結果可得知，水淬熔岩可大量替代人造石之石粉成份，以作為生態環保之材料。



In recent years, there will be estimated 8.5 million tons of wastes each year in Taiwan, that is, such wastes will produce 1.5 to 2.0 million tons of ashes after being burned up in the incinerator. However, because these ashes contain a lot of pernicious materials including heavy metals and dioxins, the government promotes the “Waste Disposal Project” to building up large-scale incineration plants to solve the serious impact of wastes and ashes on the ecological environment.

This research adopts the plasma melting technology to treat the incinerator ashes in high temperature in order to effectively reach the recycling and reutilization of resources derived from incinerator ashes. Through plasma melting technology, the ashes will be vitrified into microcrystalline materials that are called as water quenched slag. In terms of the characteristics of water quenched slag, this article will study the feasibility of resource reutilization for the ingredient of artificial stones. This research will add coloring agents in the production to make the artificial stone have different colors in order to apply to the product made of artificial stones. Furthermore, this article will use the artificial stones made of water quenched slag by replacing stone powder. The testing items include such physical and chemical



tests as hardness, specific gravity, water absorption rate, compressive resistance, tensile strength, heat resistance and toxicity leaching. This research also uses different quality of the artificial stone made of water quenched slag and the proportion of resins to substitute for the effect analysis. The result shows that the physical property of test specimen without the case is more similar to that of the generally artificial stone if the proportion of coarse water quenched slag is high. For the tensile strength test, it is found that the strength will be stronger if the content of water quenched slag is less and the resin content is more. Besides, the compressive strength will not be changed regularly in compliance with the quantity of resins or water quenched slag. For the heat resistance test, it is shown that its softening point and break point is similar to those of artificial stones. For such testing result, we can know that the artificial stone powders made of water quenched slag can substitute for the artificial stone powders and can be used as ecological and environment-friendly materials.



本文得以順利完成，首先必須感謝恩師 李明君博士於研究所修業期間，有如神愛世人般的教導，熱心提供畢生所學及專業知識的開鑿，予以適切之建議，使我得以正確修正方向，調整寫作內容，一生受用無窮，感謝之意永誌於心，僅此致上最高的謝意。

口識期間承蒙交通部運輸研究所 陳桂清博士及本校 江支弘博士惠賜卓見，修正本文不足及錯誤之處，令本文更加充實完善，深表謝意。

在這求學修業期間，感謝系上諸多師長的教誨及指導及同窗好友佳飴、怡文、淑芬、仕明、正義、寬叡、春寶、鴻佑、治平等，於學業上的幫助，使本論文得以順利進行。

最後，僅以此論文獻給我親愛的家人、恩師以及關心與幫助過我一同走過的朋友，願他們與我共享這份榮耀與喜悅。



| | |
|------------------------|------|
| 中文摘要 | I |
| 英文摘要 | II |
| 誌謝 | IV |
| 目錄 | V |
| 表目錄 | VIII |
| 圖目錄 | X |
| 照片目錄 | XII |
| | |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 1-1 研究動機及目的..... | 2 |
| 1-2 研究方法及流程..... | 4 |
| 第二章 文獻回顧 | 7 |
| 2-1 人造石的發展及產業概況..... | 7 |
| 2-1-1 人造石的發展 | 8 |
| 2-1-2 人造石的產業概況 | 9 |
| 2-2 人造石的種類及製造方式..... | 11 |
| 2-2-1 人造石的原料分析 | 12 |
| 2-2-2 膠殼人造石的製作方式 | 14 |



| | |
|------------------------------|----|
| 2-2-3 人造崗石的製作流程 | 17 |
| 2-2-4 人造文化石的製作流程 | 18 |
| 2-3 電漿岩化技術之發展 | 19 |
| 2-3-1 電漿岩化技術之開發及應用 | 19 |
| 2-3-2 焚化灰渣電漿熔融之熔渣資源化技術 | 20 |
| 2-3-3 水淬熔岩的著色處理 | 24 |
| 2-3-4 水淬熔岩添加著色劑之燒結熱處理 | 25 |
| 第三章 實驗設計與方法 | 28 |
| 3-1 水淬熔岩人造石試作 | 28 |
| 3-2 試驗材料與配比 | 30 |
| 3-3 試體規劃與試驗 | 34 |
| 3-3-1 試體規劃與試驗儀器 | 34 |
| 3-3-2 試體之物理化學試驗方法 | 38 |
| 第四章 實驗結果與探討 | 41 |
| 4-1 吸水率試驗 | 41 |
| 4-2 比重試驗 | 46 |
| 4-3 硬度試驗 | 51 |
| 4-4 抗壓試驗 | 57 |
| 4-5 抗拉試驗 | 59 |



| | |
|---------------------------|----|
| 4-6 耐熱試驗..... | 62 |
| 4-7 毒物溶出試驗..... | 65 |
| 4-8 試驗結果與水淬熔岩人造石色板製作..... | 65 |
| 4-9 水淬熔岩人造石經濟效益..... | 68 |
| 第五章 結論與建議 | 70 |
| 5-1 結論..... | 70 |
| 5-2 建議..... | 72 |
| 參考文獻 | 73 |
| 附錄一 單因子變異數分析 | 75 |
| 附錄二 雙因子變異數分析 | 81 |



| | |
|---------------------------------------|----|
| 表 2.1 人造石之材質適用表 | 11 |
| 表 2.2 水淬熔岩燒結熱處理之微晶材料 | 25 |
| 表 2.3 添加 TiO_2 燒結熱處理之微晶材料著色結果 | 25 |
| 表 2.4 添加 MnO_2 燒結熱處理之微晶材料著色結果 | 26 |
| 表 2.5 添加 NiO 燒結熱處理之微晶材料著色結果 | 26 |
| 表 2.6 添加廢紅磚粉燒結熱處理之微晶材料著色結果 | 27 |
| 表 3.1 水淬熔岩之基本性質 | 32 |
| 表 3.2 水淬熔岩 TCLP | 32 |
| 表 3.3 水淬熔岩化學成分分析 | 33 |
| 表 3.4 石粉、水淬熔岩與樹脂 3.5:1 比例人造石之配比 | 34 |
| 表 3.5 石粉、水淬熔岩與樹脂 4:1 比例人造石之配比 | 35 |
| 表 3.6 石粉、水淬熔岩與樹脂 4.5:1 比例人造石之配比 | 35 |
| 表 3.7 水淬熔岩與石粉篩分析 | 36 |
| 表 4.1 樹脂與不同比例水淬熔岩人造石之吸水率結果 | 42 |
| 表 4.2 樹脂與不同比例水淬熔岩人造石之比重結果 | 47 |
| 表 4.3 樹脂與不同比例水淬熔岩人造石之硬度結果 | 52 |
| 表 4.4 莫氏硬度表 | 56 |
| 表 4.5 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之抗壓強度結果 | 58 |



| | |
|---------------------------------------|----|
| 表 4.6 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之抗拉強度結果 | 60 |
| 表 4.7 白直紋人造石與不同比例水淬熔岩人造石之耐熱試驗結果 | 62 |
| 表 4.8 水淬熔岩人造石毒物溶出試驗結果 | 65 |
| 表 4.9 水淬熔岩人造石色板配比 | 66 |



| | |
|---|----|
| 圖 1.1 研究流程圖 | 6 |
| 圖 2.1 人造石製作流程圖 | 16 |
| 圖 2.2 人造崗石製作流程圖 | 17 |
| 圖 2.3 人造文化石製作流程圖 | 18 |
| 圖 2.4 熔融技術流程圖 | 23 |
| 圖 2.5 電漿岩化處理系統流程示意圖 | 23 |
| 圖 2.6 水淬熔岩著色實驗流程圖 | 24 |
| 圖 3.1 水淬熔岩人造石試作及試驗流程圖 | 29 |
| 圖 4.1 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之吸水率試驗 | 44 |
| 圖 4.2 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之吸水率試驗 | 44 |
| 圖 4.3 樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 製作人造石之吸水率試驗 | 45 |
| 圖 4.4 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之比重試驗 | 48 |
| 圖 4.5 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之比重試驗 | 49 |
| 圖 4.6 樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 製作人造石之比重試驗 | 49 |
| 圖 4.7 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之吸水率與比重關係圖 . | 50 |
| 圖 4.8 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之吸水率與比重關係圖 ... | 50 |
| 圖 4.9 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之硬度試驗 | 53 |
| 圖 4.10 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之硬度試驗 | 54 |



| | |
|--|----|
| 圖 4.11 樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 製作人造石之硬度試驗 | 54 |
| 圖 4.12 蕭氏 SHORE (D) 硬度、Rockwell 硬度與 Brinell 硬度關係圖 .. | 55 |
| 圖 4.13 蕭氏 SHORE (D) 硬度、Rockwell M 硬度關係圖 | 55 |
| 圖 4.14 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之抗壓試驗 | 58 |
| 圖 4.15 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之抗拉試驗 | 60 |
| 圖 4.16 水淬熔岩人造石之抗壓與抗拉關係圖 | 61 |
| 圖 4.17 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之耐熱試驗圖 | 64 |



照片目錄

| | |
|--------------------------------|----|
| 照片 3.1 核能研究所先導型焚化熔融爐外觀照片 | 31 |
| 照片 3.2 水淬熔岩之外觀照片 | 31 |
| 照片 3.3 抗壓用試體 | 38 |
| 照片 3.4 抗拉用試體 | 39 |
| 照片 4.1 耐熱試驗 | 63 |
| 照片 4.2 水淬熔岩人造石的製作色板 | 66 |
| 照片 4.3 水淬熔岩人造石的製作色板 | 67 |



第一章 緒論

近年來由於全球環保意識的提升，環境保護已由污染防治、廢棄物處理進步為資源回收、永續生態環保的零廢棄目標努力。自90年代開始，電漿岩化技術應用於有害事業廢棄物及放射性廢棄物之處理日益受到重視，該技術即是以電漿火炬將廢棄物中可燃性物質及非燃性物質於熔融爐內，同時進行氣化減容和岩化處理，以獲得高品質之熔岩固化體，達到減容、去毒、固化及資源化等多重目的。

本研究藉由探討電漿水淬溶岩再利用，以電漿焚化熔融技術處理廢棄物係利用電漿火炬所產生的高溫，將可燃性及非燃性廢棄物同時進行焚化減容及熔融固化處理，獲得可回收再利用之高品質熔岩，達到減容、無害化、安定化及資源化等多重效益，進而探討人造石的製造，由產品的研究創新進而結合資源回收，再轉為永續資源發展的利用探討，希望因此對地球資源能更珍惜及有所貢獻。



1-1 研究動機及目的

在全球追求永續生態環保趨勢潮流，環保產業已成為新世紀中最具發展潛力的產業，而人造石是由天然石粉粒料與樹脂加工合成的營建材料，其產品酷似天然石材的紋理，用途已普及用於廚具、衛浴設備、燈具、裝潢飾板、地壁材等日常生活常見用品，由於製作技術的提升，更可製成類似琉璃的透光藝術品。天然資源使用畢竟有限的，傳統的營建石材加工業正逐年衰退，替代資源產品的開發與創新，是當今營建材料發展的重要議題，若能結合環保與資源回收再利用，將可減少對於天然礦石的開採，減少對環境與生態的影響。

政府目前的環保政策是將垃圾分為三類，即「資源垃圾」、「廚餘」及「一般垃圾」，其中一般垃圾是由廢棄物和垃圾清運車輛集中至垃圾焚化廠，進行焚化處理，處理後最終會產生飛灰與底灰。將飛灰與底灰送至飛灰固化廠處理後，再以掩埋貯存處理。環保署 88.5.12 修正公告「一般廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」規定：焚化灰渣之飛灰應分開貯存收集，不得與底渣混合。焚化灰渣之飛灰，溶出試驗超過有害事業廢棄物認定標準之規定者，得採固化法、高溫熔融法或其他經中央主管機關許可之處理方法處理，其處理後之廢棄物溶出試驗應低於有害事業廢棄物認定標準之溶出試驗標準。



蓋水淬熔岩與人造石相容性甚高，經初步評估後兩者結合性高，水淬熔岩具有取代天然石粉的潛力，而且性質無毒，仍保有人造石基本特性，本研究將水淬熔岩與人造石結合進行可行性分析，若能符合安全特性，將可取代天然石粉，成為人造石的主要材料，來製造資源再生產品。然而，諸多物理化學特性須經嚴謹科學方法測試，其主要基本特性如抗壓強度、抗拉力、硬度、吸水率、耐熱、毒物溶出等試驗，其探討結果是否可符合人造石材之材料性質，進而作為未來開發更具商業價值產品之基礎。



1-2 研究方法及流程

本文以廢棄物資源化之概念，利用水淬熔岩製作人造石並且探討人造石基本成分及物理特性，進而對水淬熔岩人造石及資源再生人造石製作的可行性分析，研究中以控制水淬熔岩混合比例、水淬熔岩顆粒大小及其他製程因子，進行一系列人造石試驗並檢測其基本特性，依照試驗結果，了解水淬熔岩人造石的製作工程參數及特性的關係，以期能發展出更多人造石產品，符合環保與經濟效益的需求。

本研究探討相關內容，主要分為下列四個項目，研究流程如圖 1.1。

1. 文獻回顧

- (1) 收集相關資料分析人造石的由來，常見天然石材的種類與缺點，人造石的發展過程等。
- (2) 人造石於現有市場上的種類及使用情形，以及原料分析，各種人造石的製作方法與流程。
- (3) 電漿岩化技術的發展與應用，電漿水淬熔岩的著色處理。

2. 實驗設計與方法

- (1) 利用水淬熔岩取代石粉製作人造石，尋求較適當取代配比，盡量取代大量的水淬熔岩來製作試體。
- (2) 試驗材料為樹脂、石粉與水淬熔岩，利用試誤法調配各種不同的配



比，以利進行各種試驗。

(3) 製作不同配比的試體，進行一系列的材料試驗。

3. 實驗結果與探討

將不同水淬熔岩人造石試體進行各種物理特性分析，以了解產品的差異性，如抗壓、抗拉、硬度、比重、吸水率、耐熱及毒物溶出的各項試驗結果，探討各項數據，做一分析比較其優缺點，以便讓人造石可提供較資源化的選擇。

4. 結論與建議

(1) 綜合研究的探討分析所得結論提供相關單位參考應用。

(2) 工程實務應用及後續相關研究之建議。

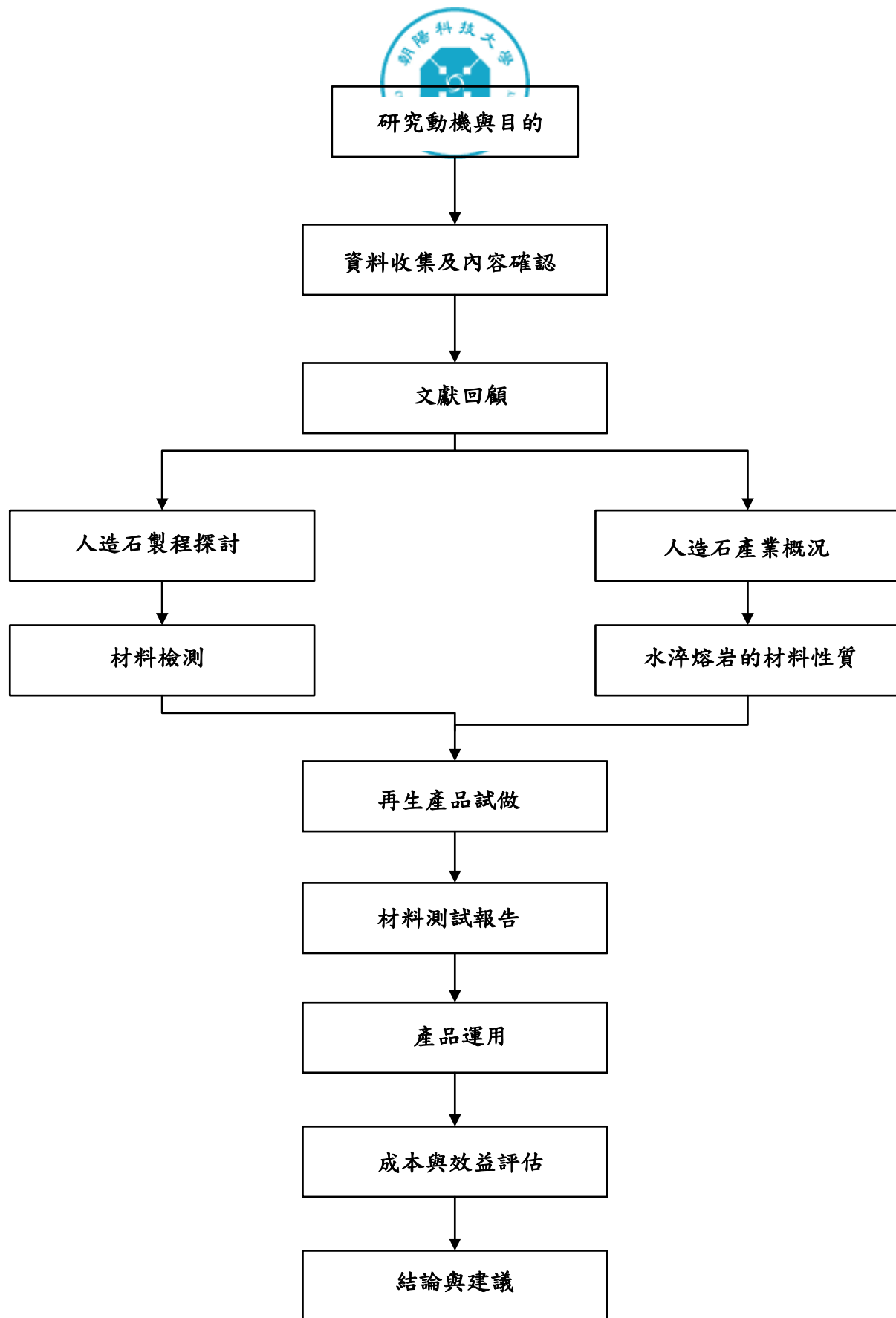


圖 1.1 研究流程圖



第二章 文獻回顧

天然石材於營建裝修工程中，常使用於室內外地壁材及景觀工程，具有獨特的天然色澤及價值感。人造石是仿天然石材的產品，而人造石的製造方式是人造石成型的重要因素，由人造石的製作與水淬熔岩的資料收集，作為水淬熔岩人造石的製作參考依據。

2-1 人造石的發展及產業概況

市場上常見的營建天然石材有大理石、花崗石、版岩等，早期台灣於花蓮地區有開採白大理石及蛇紋石，在北部則有觀音石，現今大多仰賴進口，再進行石材的加工。其常見石材種類成分如下：

- (1) 大理石：係由方解石、石灰石、蛇紋石及白雲石組成，具有獨特的紋理，主要成分為碳酸鈣，是地殼中原有岩石經過地殼內高溫高壓作用形成的變質岩。
- (2) 花崗石：係由長石、石英及雲母組成的火成岩，主要成分是二氧化矽，在岩石中正長石、斜長石、石英等礦物結晶的花崗石，硬度較大理石硬，火成岩是由岩漿或熔岩冷卻固化形成。
- (3) 版岩：係由各種自然力量形成的沉積岩，經壓密、膠結等作用形成，較多使用於景觀工程裝修中，是屬地表或較接近地表附近屬於常壓條件的聚積物【10】。



天然石材於營建工程已使用多年，亮麗的光澤和紋理色彩，是營建頂級材料之一，具有堅硬耐磨、防火耐久等自然型態之特性，加工細緻更顯高貴華麗、優雅大方的特色。但常見的缺點為自重過大、吸水率高、抗污性差、易斷裂、易產生水斑、紋理不易控制及開採困難等石材特性。然而近年來亦有石材放射性的議題，包括氡氣和 λ 射線，皆使天然石材品質受到質疑。然而，人造石是一種仿天然石材的複合材料，可塑性大，並具有天然石材的色澤及紋理，且可靈活設計製作不同的造型，顏色搭配更是可以隨心所欲，可改善天然石材的缺點，近年來已廣泛被使用於家庭中，頗受歡迎。

2-1-1 人造石的發展

人造石之發展順序，依年代分類如下：

- (1) 1960 年代末期：美國杜邦公司 SLOCUM 博士首次研發出礦物填充型聚鉀丙烯酸甲酯產品，屬初期研發階段，並沒有被市場化。
- (2) 1970 年代：杜邦公司推出一系列適合市場需求的顏色和圖案，於市場上大力的推廣。
- (3) 1980 年代：富美家、……等公司推出改良型的整體檯面產品，由於這些公司的投入量產，在市場上有了重大的發展，同時在眾多原料生產廠商的研究發展下，整體檯面的技術水準也得到提昇。



(4)1990 年代:美國杜邦和富美家公司將技術推廣至國內，國內開始生產相關產品。

(5)21 世紀:國內研發高價值的人造石產品，如超薄裝飾板、透光板等，結合資源再生材料，將成為環保與科技的新產品。

2-1-2 人造石的產業概況

台灣的人造石產業初期自美國引進人造石的製造技術投資生產，因產品的成熟度不高，與進口的產品相較之下品質略差，產品處於導入期，消費者接受意願不高、品質不穩定，成本與售價相對於替代性產品都偏高。

目前進口的人造石廚具檯面產品，除了美國杜邦公司、韓國三星、LG，大陸之劣質產品競相以低價搶攻市場，台南縣的東久公司改組之後，不再以原有品牌自行銷售，改以 OEM 方式代工，產品以「富美家」品牌外銷日本、美國及中國大陸。大陸投入此一產業之競爭品牌，成立時間約十幾年，技術、品質較為落後。

人造崗石由於製造的規模與設備需要投入相當大的資金，崗石原料需全數仰賴進口，目前台灣較具規模生產的公司只有桃園縣的光聯公司，人造石的系列產品有七十幾種色澤，融合精選的天然石材粒料與不飽合樹脂，仿大自然造山運動形成的合成崗石，彌補天然石材的色澤不均缺點，使用相當時間後可重新拋光，表面光亮如新。



人造文化石是仿天然石材的外形紋理，且質地輕、色彩豐富、不霉不燃、便於安裝，保有天然石材的魅力及特質，具環保又不會造成環境污染，產品有層岩系列、版岩系列、卵石砌片等多種造型，常使用於景觀工程及內外牆壁材。由於成型模具種類繁多，台灣從事生產的公司只有少數個位數，市面上較常看到產品是在台中幼獅工業區的葛瑞士公司製造，是台灣第一家合法登記的文化石工廠，目前的產能 80%外銷全球。

一般市面上常見的人造石產品如臉盆、檯面、門檻、桌椅等，皆為模具塑造的膠殼人造石，早期生產的餐桌椅，皆為很高價格的高級家具用品，可說是人造石產業的黃金時期，銷售及獲利皆有不錯的表現，表面的膠殼可防止污漬的滲透，保有亮麗的外觀。如今產品更創新發展出透光的人造雪花石產品，為人造石產品進入更高級的領域，還可依喜好量身訂製人造石產品。從事人造石生產的公司有數十家，由於投入資金與成本較低，製造流程簡便，很多人學到技術之後便自行創業，同業之間又削價競爭，又無產業公會管理約束，以致人造石產業成長受限。



2-2 人造石的種類及製造方式

人造石可分為有色膠殼、透明膠殼、無膠殼、人造崗石、文化石等種類。有色膠殼人造石是由模具生產，都是屬於單色系，如牙白色，無法辨識在該層膠殼後的內容組合物；透明膠殼人造石除了單色系外，紋理的表現較豐富。人造崗石則是經成形後再磨光，拋光而成。文化石也是屬於模具生產製造，色澤紋路保持自然原石風貌。人造石於市場上已廣泛使用，如表 2.1。

表 2.1 人造石之材質適用表

| 種類 用途 | 膠殼人造石 | 無膠殼人造石 | 人造崗石 | 人造文化石 |
|----------|-------|--------|--------|-------|
| 室內地坪裝修 | 不耐磨 | 不耐磨 | 可 | 可 |
| 室外地坪裝修 | 不耐磨 | 不耐磨 | 可 | 可 |
| 內牆裝修 | 可 | 可 | 可 | 可 |
| 外牆裝修 | 易變型 | 不耐久 | 不耐久 | 可 |
| 廚具檯面 | 可 | 可 | 有接合縫 | 表面粗糙 |
| 洗臉盆 | 可 | 可 | 非模具生產 | 表面粗糙 |
| 洗臉盆檯面 | 可 | 可 | 可 | 表面粗糙 |
| 桌子檯面 | 可 | 可 | 可 | 可 |
| 門檻 | 可 | 可 | 生產方式不同 | 表面粗糙 |
| 燈具 | 可 | 可 | 非模具生產 | 較難成型 |
| 屏風 | 可 | 可 | 可 | 尺寸受限 |

人造石依安裝需求分為訂製品及標準品，其訂製品需配合安裝地點尺寸量身訂做，所需耗費的時間流程較繁瑣，標準品則係依一般常用的模具尺寸為基準生產。



2-2-1 人造石的原料分析

人造石製作成型乃係樹脂由液態轉變成固態的過程，這個過程可以在不需任何加壓並於常溫的狀態下凝固而成，並且具有一定的強度、硬度及韌性的物理性能。而人造石的製作原料分別為不飽合樹脂、填充料、色料、固化劑、促進劑、脫模劑、膠殼等材料融合而成，以下分別一一介紹：

(1) 不飽合樹脂

為透明或略帶淡藍色黏稠狀液體，近年來隨著複合材料多樣性的發展，依據各種不同用途，分門別類成不同之型號。人造石樹脂具有高韌性、耐磨損、光澤度高等材料特性。

(2) 填充料

此材料係為白色無毒的氫氧化鋁粉末或是碳酸鈣粉末，於樹脂填充時粘度低，常溫時固化的時間快。加入不飽合樹脂時，可將其製作成各種透明、半透明、石材紋路及雲彩等各種質感，其製作目前為有透明質感的產品製作較好，市面上人造石產品大多使用此兩種石粉作為填充材料。

(3) 色料

此為一種特殊的聚酯樹脂色漿，可溶解於樹脂中，並製作出各種不同顏色，此材料亦可用可溶於不飽和樹脂的色粉代替。

(4) 固化劑

此材料劑為無色之透明液體，學名為過氧化甲乙酮，其有活性氧含量



高、固化時間快速、有刺激味等特性，此為促成人造石固化的反應劑。

(5) 促進劑

此材料係呈紫色透明液體狀，於樹脂溶解後會變成無色，由多種化學原料組成，能夠有效的引發過氧化物釋放游離基，加速樹脂的固化時間。

(6) 脫模劑

此材料特性係為方便人造石製作成品後與模具分離用，主要成分是聚乙烯醇的液態物質。

(7) 膠殼

膠殼使形成之人造石外表有極高的透明度，硬化後的硬度高，具有一定的可磨性，其為一種低黏稠性的樹脂，能使表面有如水晶玻璃(又稱水晶樹脂)，此材料更能確保人造石研磨的過程中不會產生變形而影響色彩紋路的特性。

蓋所有材料於使用上都有影響之因子，如外力衝擊、自然因素或所在環境等因素，皆有可能使材料變質，針對人造石原料使用上將受下列因素影響：

1. 生產人造石的工作環境，當冬天氣溫偏低時，樹脂硬化的速度會變得很緩慢，影響人造石的凝固時間。
2. 相對溼度過大時，水氣會對人造石產生緩凝作用，造成不良硬化。
3. 若要調整人造石的凝固速度，只需要調整促進劑的用量，而不是調整固



化劑的用量。

4. 樹脂、固化劑、促進劑均為易燃物，於儲存搬運時應避免陽光直接曝曬，並遠離火源，其中固化劑及促進劑應分開存放。
5. 一般樹脂的有效期限為三至六個月，而特殊的樹脂亦有保存期限的限制。
6. 一般常溫人造石的脫模時間為二十四小時，達到最高強度約為二十一天之後。

2-2-2 膠殼人造石的製作方式

膠殼人造石的製作流程(如圖2.1)及步驟如下【9】：

- 步驟一、調製人造石樹脂:將樹脂與固化劑依重量比約6:4混合調製而成。
- 步驟二、調製人造石材料:將混合調製而成的樹脂加入5~70%的氫氧化鋁並攪拌均勻，其氫氧化鋁的平均徑8mm~30mm，樹脂與氫氧化鋁的重量比為1:0.5~1:1.5，黏度15Pas~22Pas。
- 步驟三、調製人造石的第一道材料:將調製好的流體料中加入粉劑，繼續翻攪拌該粉劑與第一道流體材料結合並成膨鬆狀態，第一道材料與粉劑的重量比約為1:3。粉劑是由氫氧化鋁與碳酸鈣以重量比約97%:3%混合而成，粒徑約為3mm~5mm。
- 步驟四、調製人造石的第二道材料:將人造石的流體材料加粉劑，並翻攪拌



粉劑與第二道流體材料結合而呈現膨鬆狀態，第二道流體材料與粉劑的重量比約1:3。而第二道材料的粉劑是由氫氧化鋁與碳酸鈣以重量比75%:25%混合而成，粒徑約為3mm~5mm。

步驟五、成型膠殼:將成型膠殼材料注入成型模內，厚度約為1mm~5mm。

步驟六、成型其有圖樣的層體:將第一道人造石材料從高度約10~150cm高注入成型模具內，再將第二道人造石材料注入成型模具內，則第一道材料與第二道材料將會在成型模具內散開形成圖樣。第一道材料與第二道材料的重量比約為1:0.8~1:1.2。

步驟七、脫泡:利用震動及手工拍打將該底層與該圖樣層體的氣泡趕出。

步驟八、模塑成型取出成品:待底層體與該圖樣層體硬化成為人造石材後，即可脫模取出人造石材。

步驟九、成品修飾:成品可經由打蠟，磨光讓人造石具有更華麗的光澤。

步驟十、品管:成品經由品質管制，將人造石有瑕疵的部份作修飾處理。

步驟十一、包裝:產品包裝及運送要小心輕放，因為人造石材料容易在包裝搬運過程中損傷。

步驟十二、現場安裝，依照現場實際尺寸進行安裝。

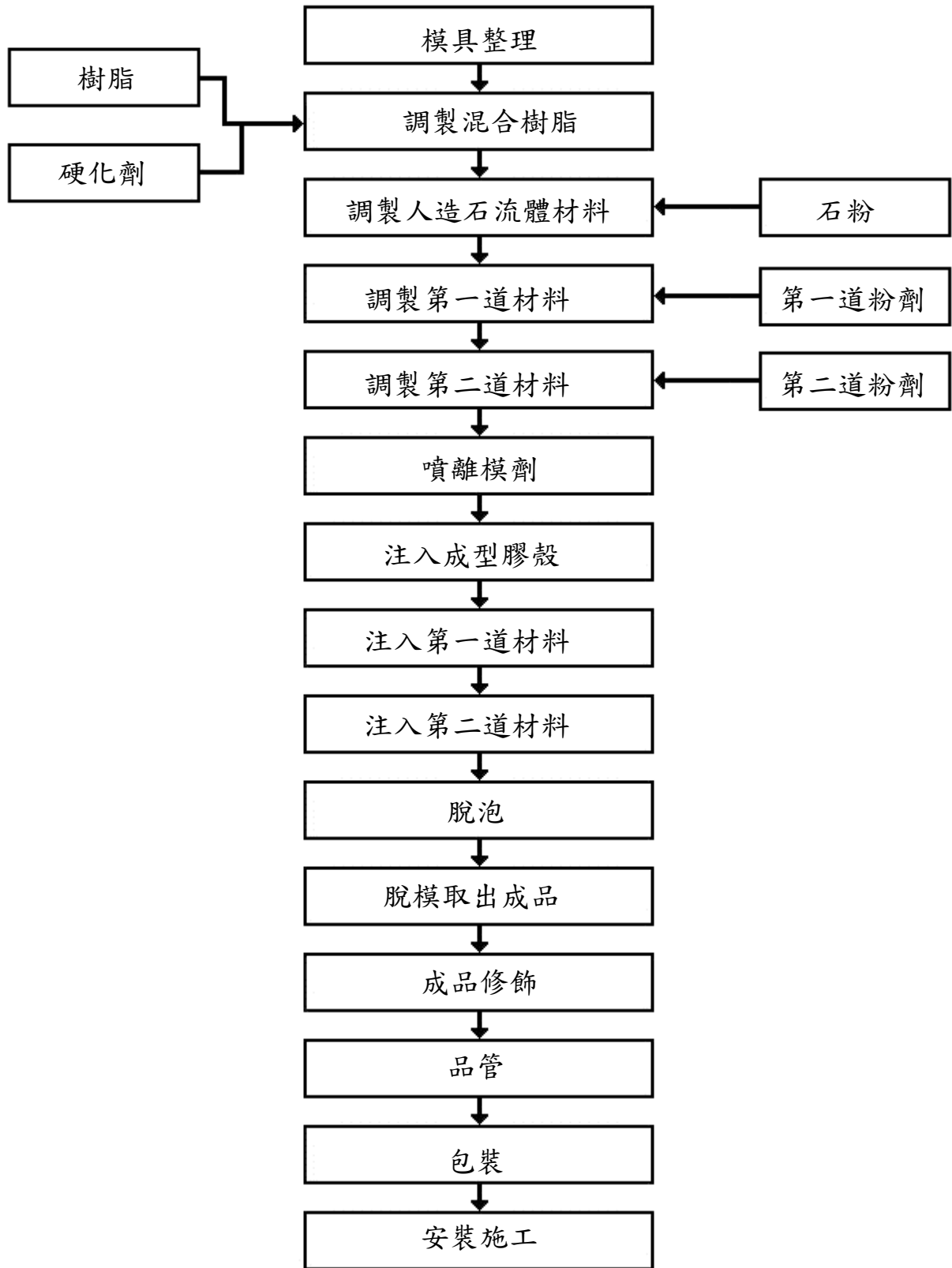


圖 2.1 人造石製作流程圖【9】



2-2-3 人造崗石的製作流程

人造崗石的製作流程(如圖2.2)及步驟如下:

以樹脂、石粉、天然石粒料製成立方體的塊體，再進行切割成版材。

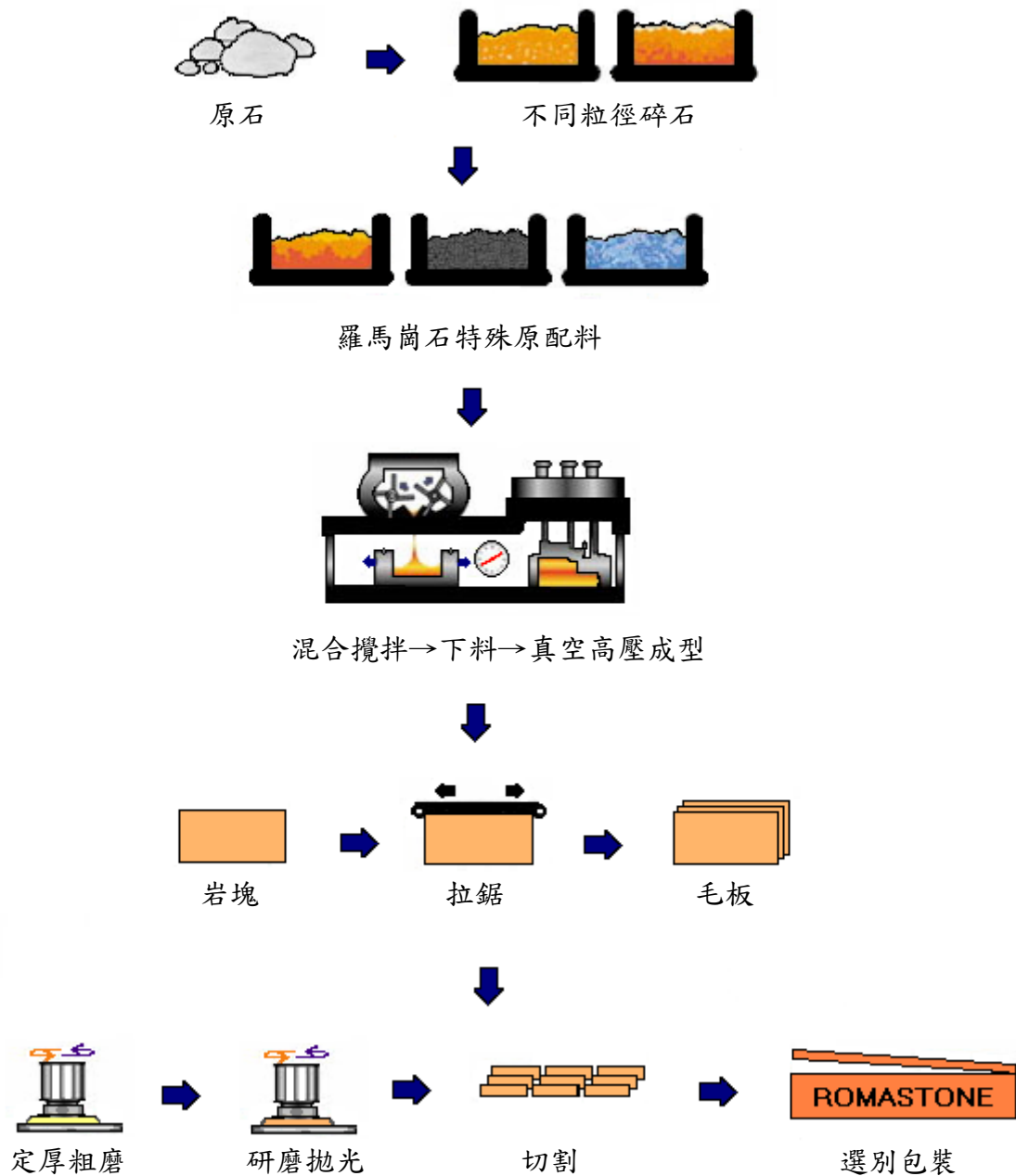


圖 2.2 人造崗石製作流程圖【11】



2-2-4 人造文化石的製作流程

人造文化石的製作流程(如圖2.3)及步驟如下:

以水泥、砂、樹脂、石粉、石膏、色料等原料，以模具灌注而成，再依造型需求，製成不同顏色。

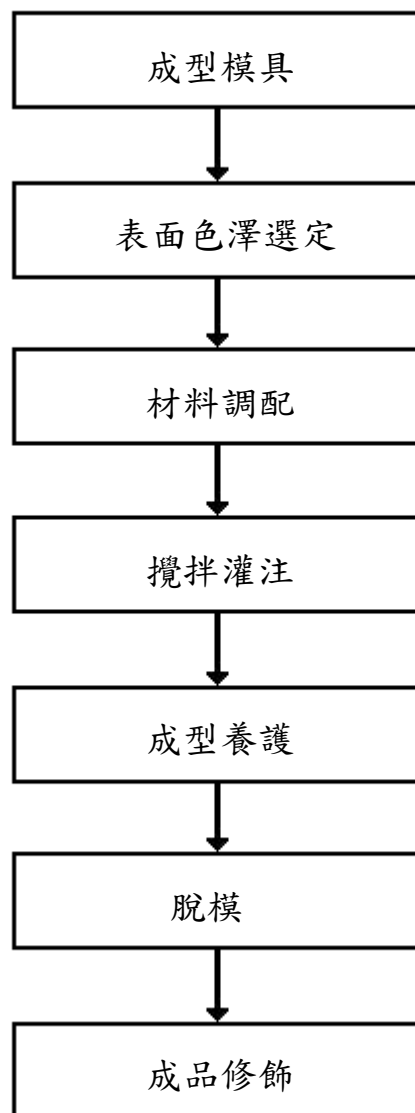


圖 2.3 人造文化石製作流程圖【12】



2-3 電漿岩化技術之發展

2-3-1 電漿岩化技術之開發及應用

台灣地區在環保署依據「台灣地區垃圾回收廠興建工程計畫」及「鼓勵公民營機構興建營運垃圾焚化廠推動方案」的政策大力推動下，目前已有20座大型垃圾焚化爐，加上另外施工中的7座，三、四年後共有27座大型垃圾焚化廠，每天將焚化處理2萬多公噸的生活垃圾，並產生約五分之一的底渣及百分之四至五的飛灰；依此估計，爾後底渣總產量為每天4000公噸，飛灰總產量為每天1000公噸。環保署88.5.12修正公告「一般廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」規定：焚化灰渣之飛灰應分開貯存收集，不得與底渣混合【1】。

自1980年代開始，電漿岩化技術應用於有害事業廢棄物及放射性廢棄物之處理日益受到重視，該技術即是以電漿火炬將廢棄物中可燃性物質及非燃性物質於熔融爐內同時進行氣化減容和岩化處理，以獲得高品質之熔岩固化體，達到減容、去毒、固化及資源化等多重目的。近年來，美國、歐盟、日本等工業先進國家均積極投入電漿熔融爐系統之研發，在低放射性廢棄物、有害工業廢棄物及灰渣熔融處理等應用上均獲得不錯的成果。此外，電漿熔融在日本已成為灰渣熔融資源化處理的主流技術，國際上並有多家公司已具備實際商業運轉實績【2】。



電漿岩化熔融技術處理廢棄物係利用電漿火炬所產生的高溫，將可燃性及非燃性廢棄物同時進行焚化減容及熔融固化處理，獲得可回收再利用之高品質熔岩，達到減容、無害化、安定化及資源化等多重效益。雖然電漿熔融技術商業化應用在國內仍屬萌芽階段，但已呈現明顯發展契機，環保產業市場對於此項有害廢棄物處理利器的需求極為殷切。在政府政策支持及經費支援下，核能研究所近年來戮力於建立本土化電漿熔融技術，除了具備電漿火炬設計開發能力，掌握電漿熔融核心技術外，並建立乙座低放射性廢棄物處理示範廠，累積了不少實場操作與工程驗證經驗，並培訓了維修、運轉等人力資源。目前仍持續進行高功率電漿火炬測試中心、高溫電漿程序發展中心、電漿熔岩資源化發展中心等設施之建置，以拓展高溫電漿的推廣應用範圍，並規劃永續發展之電漿產業，建構出國內電漿產業之發展平台【1】。

2-3-2 焚化灰渣電漿熔融之熔渣資源化技術

都市垃圾藉由焚化來處理之重要性逐年增加，因為許多國家的人口密度高，而能夠提供做為垃圾掩場的空間更是有限。焚化雖然可以減少都市垃圾的體積，但會殘留下大量的固體殘留物。另一方面人們對環境保護的重視且相關管制逐漸嚴格，這些固體殘留物在許多國家中都被視為有害廢棄物。因此，固體殘留物必須存放在特定的掩埋場，而且這些掩埋場必須



對流出之廢水作嚴格的處置和控制。若以固化法處理焚化灰渣，不但會增加其體積，且在最終處置場所中若受弱酸淋洗，將會破壞固化體使重金屬再度溶出。就經濟與環保觀點而言，並非完善的解決方法【3】。

焚化灰渣性質隨都市垃圾來源組成不同而異，其中焚化底灰的重金屬溶出毒性符合法定管制範圍，允許直接進行最終處置或再利用。而焚化飛灰一般都含有鉛、鎘等重金屬及戴奧辛等毒性物質，其重金屬溶出毒性，大多超出法定有害事業廢棄物管制標準，若焚化飛灰直接處置，其重金屬溶出將對人體健康及生活環境造成危害。在以往台灣地區之焚化灰渣處理處置程序，大都採取底灰及飛灰混合收集後貯存於貯坑中，再以衛生掩埋處置。但是，由於飛灰含有高濃度的重金屬，與底灰性質顯著不同，飛灰與底灰應按特性，而分別採行適當的處理及處置方式。依據環保署88.5.12修正公告之「一般廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」規定：焚化灰渣之飛灰應分開貯存收集，不得與底灰混合。焚化灰渣之飛灰，溶出試驗超過有害事業廢棄物認定標準之規定者，得採固化法、高溫熔融法或其他經中央主管機關許可之處理方法處理，其處理後之廢棄物溶出試驗應低於有害事業廢棄物認定標準之溶出試驗標準。並優先考量資源再利用，如其固化體採衛生掩埋處理，應獨立分區掩埋，且固化體之單軸抗壓強度應在 10 kg/cm^2 以上。由以上環保署法規已明確規定，飛灰經溶出試驗後，若超過有害事業廢棄物認定標準，必須以固化或高溫熔融法(如圖2-4)等方式進行處



理，處理後固化物應優先考量資源再利用，若無再利用價值時，再以衛生掩埋方式處置。顯見國內為妥善處理此類有害廢棄物，對於焚化灰渣之處理，已由底灰與飛灰混合掩埋，改採固化或高溫熔融法處理，進而導向「資源回收再利用」【4】。

2003 年11 月起核研所開發「焚化爐飛灰電漿熔融資源化處理技術」，並於2004 年7 月在核研所設置完成一座都市焚化灰渣電漿熔融資源化雛型系統，用以開發焚化灰渣電漿熔融水淬資源化處理程序(如圖 2.5)，並建立本土化技術能力。本系統目前已完成初步功能測試，並產出高品質之水淬熔岩，符合資源化應用的標準，可直接做為路基骨材，或再製成玻璃陶瓷、透水磚、熔岩藝品、泡沫熔岩等綠色產品，提昇附加價值【2】。

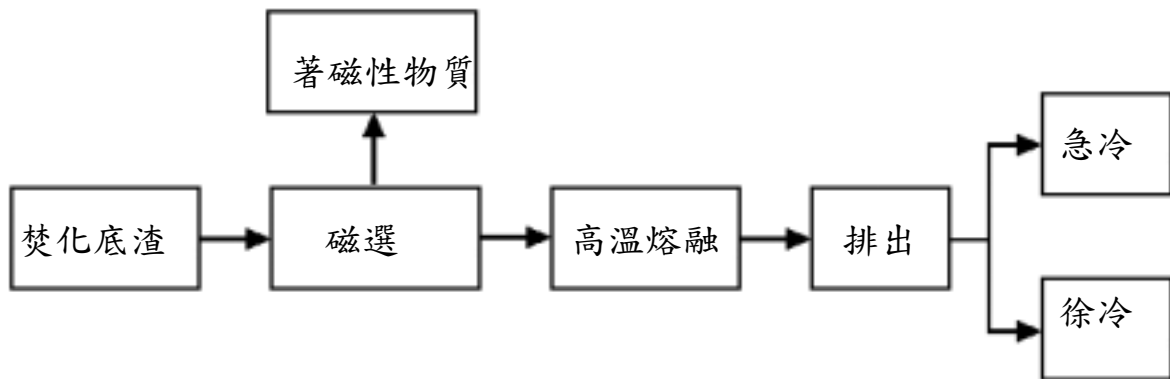


圖 2.4 熔融技術流程圖【4】

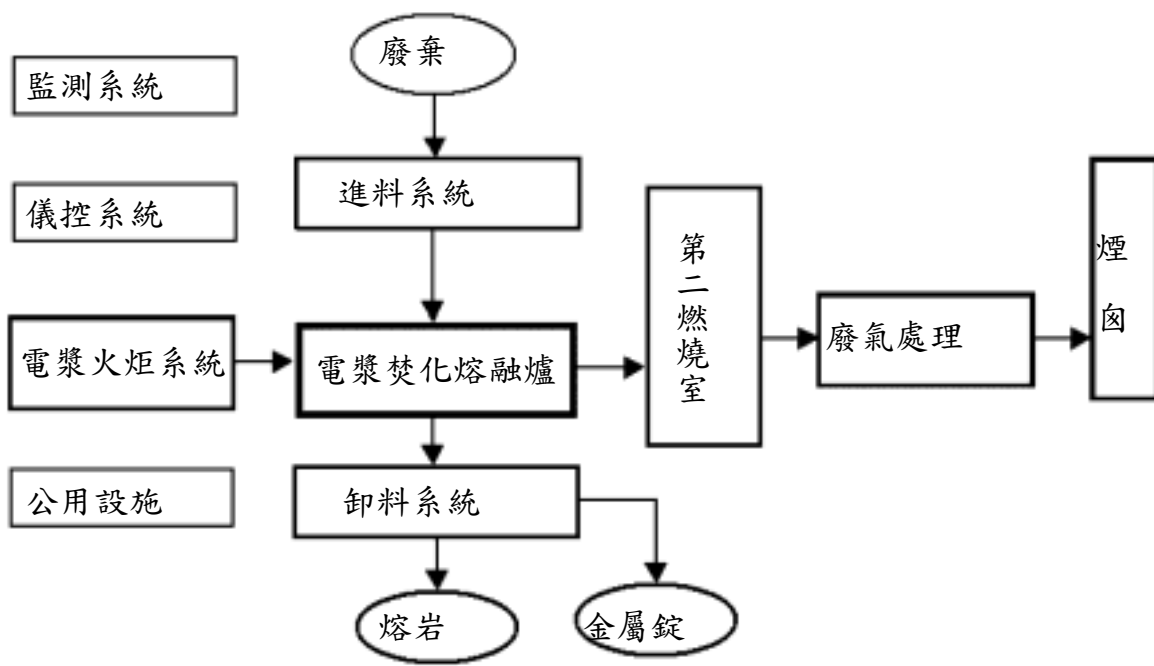


圖 2.5 電漿岩化處理系統流程示意圖【5】



2-3-3 水淬熔岩的著色處理

水淬熔岩的顏色呈現黑褐色，著色處理的方式為水淬熔岩摻著色劑、脫色劑等及控制化學成份，嘗試燒結熱處理製成不同色彩的微晶材料，水淬熔岩著色處理流程如圖2.6所示。

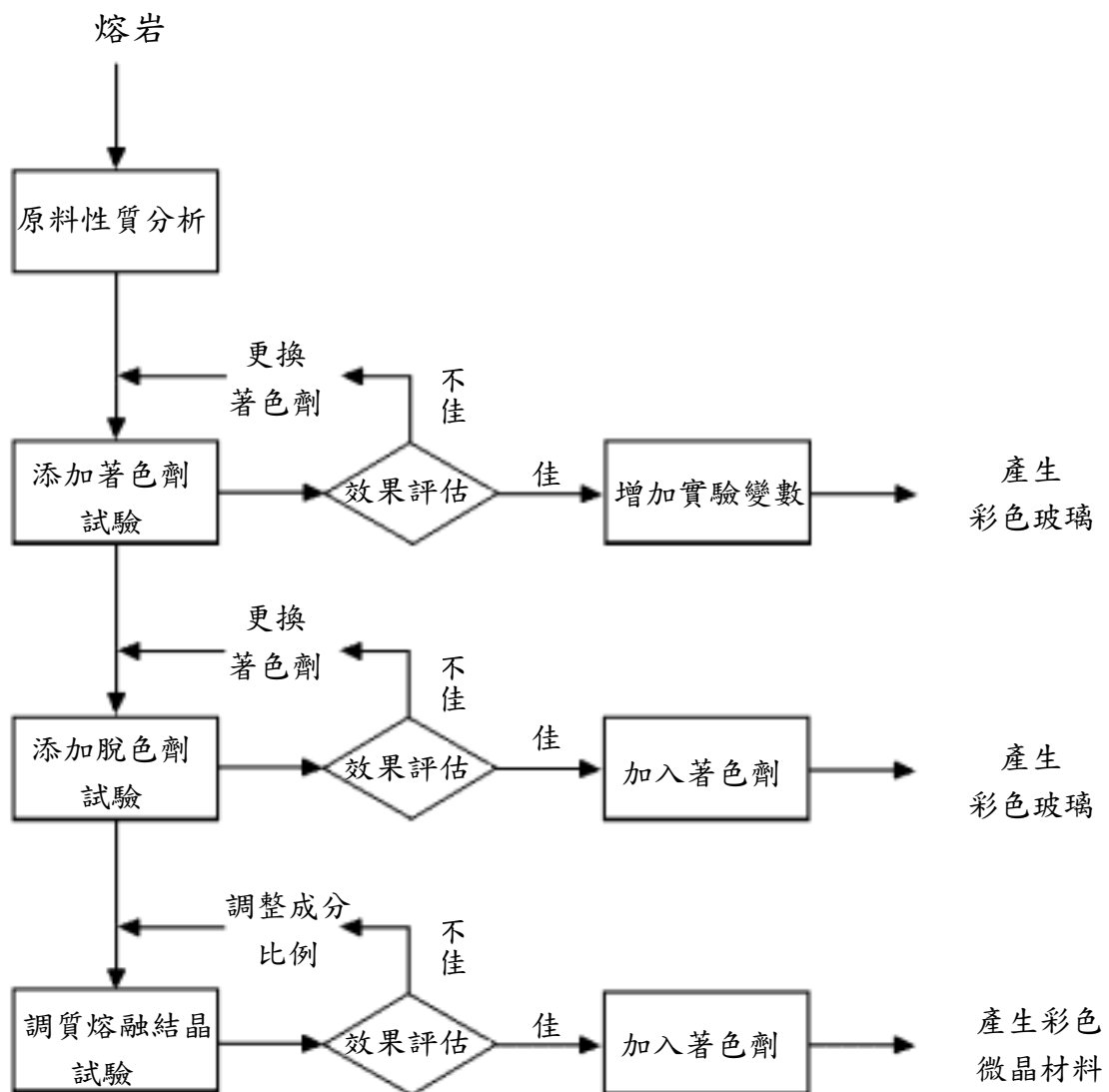


圖 2.6 水淬熔岩著色實驗流程圖【7】



2-3-4 水淬熔岩添加著色劑之燒結熱處理

水淬熔岩經過不同溫度熱處理的結果如表2.2所示。由表2.2之色澤顯示，水淬熔岩製成之微晶材料顏色較偏為土黃色；當熱處理溫度愈高時，微晶材料顏色有愈深的趨勢【7】。

表 2.2 水淬熔岩燒結熱處理之微晶材料

| 熱處理溫度 | 持溫時間 | 結果顏色 | 圖片 |
|--------|------|------|--|
| 1000°C | 2hr | 土黃色 |  |
| 1050°C | 2hr | 土黃色 |  |
| 1100°C | 2hr | 土黃色 |  |

一、添加TiO₂燒結熱處理之微晶材料著色結果，如表2.3所示【7】：

表 2.3 添加 TiO₂燒結熱處理之微晶材料著色結果

| 著色劑 | 添加百分比 | 熱處理溫度 | 持溫時間 | 結果顏色 | 圖片 |
|------------------|-------|--------|------|------|---|
| TiO ₂ | — | 1100°C | 2hr | 土黃色 |  |
| | 10wt% | 1000°C | 2hr | 膚色 |  |
| | 15wt% | 1000°C | 2hr | 粉紅色 |  |
| | 20wt% | 1000°C | 2hr | 粉紅色 |  |
| | 20wt% | 1050°C | 2hr | 深紅色 |  |
| | 20wt% | 1100°C | 2hr | 深粉紅 |  |



二、添加MnO₂燒結熱處理之微晶材料著色結果，如表2.4所示：

在氧化環境時，MnO₂添加量增加時，微晶材料內部結構愈緊密，在還原環境下15wt%時，結晶程度最完全，孔隙最少。

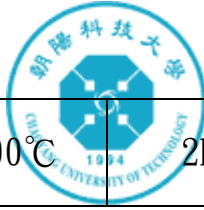
表 2.4 添加 MnO₂ 燒結熱處理之微晶材料著色結果

| 著色劑 | 添加百分比 | 熱處理溫度 | 持溫時間 | 燃燒環境 | 結果顏色 | 圖片 |
|------------------|-------|--------|------|------|------|---|
| MnO ₂ | — | 1100°C | 2hr | 氧化 | 土黃色 |  |
| | 5wt% | 1100°C | 2hr | 氧化 | 棕色 |  |
| | 10wt% | 1100°C | 2hr | 氧化 | 深棕色 |  |
| | 15wt% | 1100°C | 2hr | 氧化 | 黑色 |  |
| | 5wt% | 1100°C | 2hr | 還原 | 深棕色 |  |
| | 15wt% | 1100°C | 2hr | 還原 | 黑色 |  |

三、添加NiO燒結熱處理之微晶材料著色結果，如表2.5所示：

表 2.5 添加 NiO 燒結熱處理之微晶材料著色結果

| 著色劑 | 添加百分比 | 熱處理溫度 | 持溫時間 | 結果顏色 | 圖片 |
|-----|-------|--------|------|------|---|
| NiO | — | 1100°C | 2hr | 土黃色 |  |
| | 5wt% | 1000°C | 2hr | 棕色 |  |
| | 10wt% | 1000°C | 2hr | 棕色 |  |
| | 20wt% | 1000°C | 2hr | 棕色 |  |
| | 5wt% | 1050°C | 2hr | 棕色 |  |



| | | | | | |
|--|------|--------|-----|-----|---|
| | 5wt% | 1100°C | 2hr | 深棕色 |  |
|--|------|--------|-----|-----|---|

四、添加廢紅磚粉燒結熱處理之微晶材料著色結果，如表2.6所示：

並在過程中添加廢玻璃粉及矽酸鈉溶液，以降低微晶材料之燒結溫度，有利於粉末燒結。

表 2.6 添加廢紅磚粉燒結熱處理之微晶材料著色結果

| 廢紅磚粉 | 廢玻璃粉 | 矽酸鈉溶液 | 熱處理溫度 | 持溫時間 | 結果顏色 | 圖片 |
|-------|-------|-------|--------|------|------|---|
| — | — | — | 1100°C | 2hr | 土黃色 |  |
| 40wt% | 10wt% | 5wt% | 1000°C | 2hr | 橙色 |  |
| 40wt% | 10wt% | 5wt% | 1050°C | 2hr | 膚色 |  |
| 40wt% | 10wt% | 5wt% | 1100°C | 2hr | 黃褐色 |  |
| 40wt% | — | 5wt% | 1000°C | 2hr | 橙色 |  |
| 40wt% | 10wt% | 10wt% | 1000°C | 2hr | 橙色 |  |

水淬熔岩添加著色劑於熱處理溫度1100°C所製成的微晶材料，孔隙率及吸水率低、緻密性良好、具有不同色澤，水淬熔岩經燒結熱處理後微晶材料之顏色為土黃色；水淬熔岩添加TiO₂製成微晶材料之顏色為粉紅色；添加MnO₂製成微晶材料之顏色為黑色；添加NiO製成微晶材料之顏色為棕色；添加廢紅磚粉製成微晶材料之顏色為橙色。藉由添加著色劑後可使微晶材料具有不同色澤，增加應用上的選擇性及多樣性，有利於建材產業之推廣。



第三章 實驗設計與方法

本研究主要配合廢棄物資源化，利用水淬熔岩取代石粉製作人造石並探討此類人造石之基本物理化學性質，除針對下述相關之研究及技術之外，並可利用再生材料維護良好的環境，減少石材原料的開採和製造石材過程的消耗，並可大量的使用在公共建設上，使環境污染降至最低。

3-1 水淬熔岩人造石試作

由於人造石是由樹脂與石粉調製而成，利用水淬熔岩來替代部分石粉，有利於廢棄資源材料的利用發展，水淬熔岩人造石配比設計之原則是盡量取代大量粗細水淬熔岩，來製作水淬熔岩人造石試體，進行物理、化學試驗，流程如圖3.1所示。

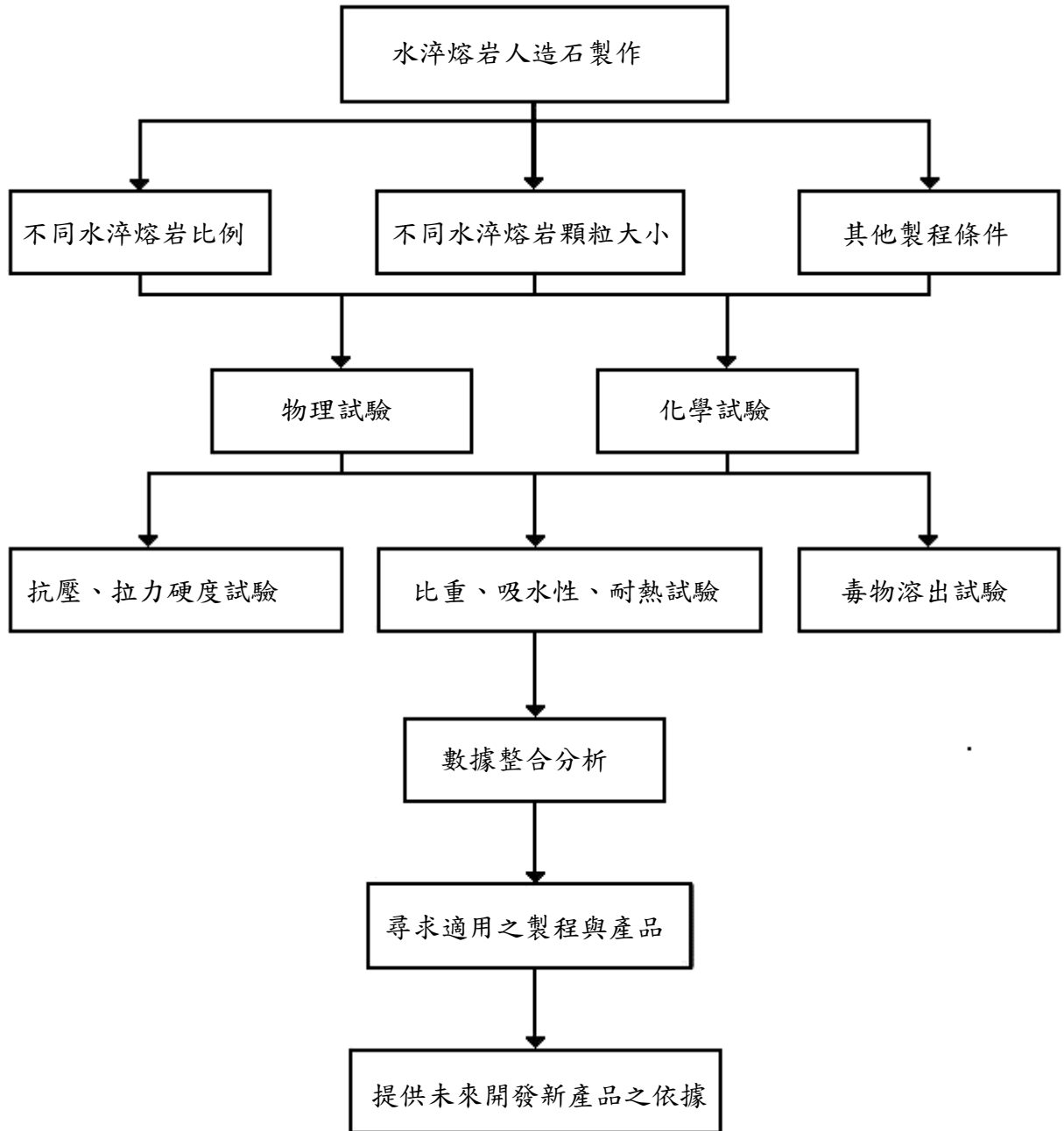


圖 3.1 水淬熔岩人造石試作及試驗流程圖【6】



3-2 試驗材料與配比

1. 樹脂

(1) 樹脂的化學結構:

一般採用間苯二甲酸-丙二醇型樹脂，可滿足耐熱衝擊500次循環的要求，用蒸餾水煮沸48小時，色彩保持不變，可抗白華、抗起泡性能，價格較貴。普通樹脂無法用於人造石製作。

(2) 樹脂固化性能:

要求樹脂於固化時應有適當的低收縮率以及較高的固化前期強度。

(3) 水淬熔岩作為充填料的樹脂原料為永純公司生產之編號MF-01原料。

2. 水淬熔岩

由核能研究所提供之水淬熔岩，係依照一定比例混合後，經先導型電漿焚化熔融爐(如照片3.1)高溫熔融後，再經過水淬所得之水淬熔岩。外觀如照片3.2，其基本物理特性如表3.1所示。而水淬熔岩通過TCLP重金屬含量測試結果如表3.2，水淬熔岩為一玻璃之物質【8】，其結構係由 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 成份組成，化學成份如表3.3。



照片 3.1 核能研究所先導型焚化熔融爐外觀照片【7】



照片 3.2 水淬熔岩之外觀照片【7】



表 3.1 水淬熔岩之基本性質【7】

| 性質 | 底灰：飛灰=1:1 |
|-------------------------|-----------|
| 體密度(g/cm ³) | 3.0 |
| 視比重 | 3.0 |
| 孔隙率(%) | 1.5 |
| 吸水率(%) | 0.5 |

表 3.2 水淬熔岩 TCLP(單位:mg/L)【6】

| | Zn | Pb | Cd | Cr | Cu | Hg | As |
|---------------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 1 底灰：飛灰 518kg：395kg | 0.82 | <0.1 | <0.05 | 0.40 | 0.72 | <0.05 | <0.1 |
| 2 底灰：飛灰 232kg：153kg | 1.97 | 0.19 | <0.05 | 0.36 | 0.75 | <0.05 | <0.1 |
| 法規標準 | — | 5.0 | 1.0 | 5.0 | — | 0.2 | 5.0 |



表 3.3 水淬熔岩化學成分分析【6】

| | | |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| 樣品重量(g) | 0.1019 | 0.103 |
| 編號 | 1 底灰:飛灰=518kg:395kg | 2 底灰:飛灰=232kg:153kg |
| 元素 | % | % |
| Fe | 5.28 | 4.59 |
| Mg | 1.02 | 1.31 |
| Ca | 28.48 | 31.25 |
| Al | 7.94 | 6.92 |
| Si | 16.04 | 12.09 |
| | | |
| 編號 | 1 底灰:飛灰=518kg:395kg | 2 底灰:飛灰=232kg:153kg |
| 氧化物 | % | % |
| SiO ₂ | 34.31 | 25.86 |
| CaO | 39.85 | 43.73 |
| Al ₂ O ₃ | 15.00 | 13.08 |
| MgO | 1.69 | 2.17 |
| Fe ₂ O ₃ | 7.55 | 6.57 |
| 合計 | 98.40 | 91.41 |
| | | |
| 編號 | 1 底灰:飛灰=518kg:395kg | 2 底灰:飛灰=232kg:153kg |
| ICP 檢測 | mg/L | mg/L |
| Fe | 53.80 | 47.30 |
| Mg | 10.40 | 13.50 |
| Ca | 290.20 | 321.90 |
| Al | 80.90 | 71.30 |
| Si | 163.40 | 124.50 |



3-3 試體規劃與試驗

3-3-1 試體規劃與試驗儀器

本研究試體的規劃製作將依不同的水淬熔岩比例、不同水淬熔岩顆粒大小及其他製程條件三種變數因子分別做有與無膠殼試體，經由實驗測試下比較各種材料的物理化學性質，有關上述實驗方法之製作試體配比如表3.4、3.5與3.6所示，依據各項配比製作三組重覆有無膠殼試體，粗細水淬熔岩與石粉之篩分析，如表3.7所示。

表 3.4 石粉、水淬熔岩與樹脂 3.5:1 比例人造石之配比(g/cm³)

| 人造石材料 | 樹脂 | 石粉 | 粗水淬熔岩 | 細水淬熔岩 | 膠殼 |
|-------------|-----|-----|-------|-------|---------|
| A300/50 | 100 | 0 | 300 | 50 | A 表示無膠殼 |
| A250/100 | 100 | 0 | 250 | 100 | A 表示無膠殼 |
| A250/100 石粉 | 100 | 100 | 250 | 0 | A 表示無膠殼 |
| A225/125 | 100 | 0 | 225 | 125 | A 表示無膠殼 |
| A200/150 | 100 | 0 | 200 | 150 | A 表示無膠殼 |
| A175/175 | 100 | 0 | 175 | 175 | A 表示無膠殼 |
| S300/50 | 100 | 0 | 300 | 50 | S 表示有膠殼 |
| S250/100 | 100 | 0 | 250 | 100 | S 表示有膠殼 |
| S250/100 石粉 | 100 | 100 | 250 | 0 | S 表示有膠殼 |
| S225/125 | 100 | 0 | 225 | 125 | S 表示有膠殼 |
| S200/150 | 100 | 0 | 200 | 150 | S 表示有膠殼 |
| S175/175 | 100 | 0 | 175 | 175 | S 表示有膠殼 |



表 3.5 石粉、水淬熔岩與樹脂 4:1 比例人造石之配比(g/cm³)

| 人造石材料 | 樹脂 | 石粉 | 粗水淬熔岩 | 細水淬熔岩 | 膠殼 |
|------------|-----|----|-------|-------|---------|
| A400/0 | 100 | 0 | 400 | 0 | A 表示無膠殼 |
| A350/50 | 100 | 0 | 350 | 50 | A 表示無膠殼 |
| A350/50 石粉 | 100 | 50 | 350 | 0 | A 表示無膠殼 |
| A300/100 | 100 | 0 | 300 | 100 | A 表示無膠殼 |
| A250/150 | 100 | 0 | 250 | 150 | A 表示無膠殼 |
| A200/200 | 100 | 0 | 200 | 200 | A 表示無膠殼 |
| S400/0 | 100 | 0 | 400 | 0 | S 表示有膠殼 |
| S350/50 | 100 | 0 | 350 | 50 | S 表示有膠殼 |
| S350/50 石粉 | 100 | 50 | 350 | 0 | S 表示有膠殼 |
| S300/100 | 100 | 0 | 300 | 100 | S 表示有膠殼 |
| S250/150 | 100 | 0 | 250 | 150 | S 表示有膠殼 |
| S200/200 | 100 | 0 | 200 | 200 | S 表示有膠殼 |

表 3.6 石粉、水淬熔岩與樹脂 4.5:1 比例人造石之配比(g/cm³)

| 人造石材料 | 樹脂 | 石粉 | 粗水淬熔岩 | 細水淬熔岩 | 膠殼 |
|----------|-----|----|-------|-------|---------|
| A225/225 | 100 | 0 | 225 | 225 | A 表示無膠殼 |
| S225/225 | 100 | 0 | 225 | 225 | S 表示有膠殼 |



表 3.7 水淬熔岩與石粉篩分析

粗水淬熔岩

| 號篩 | 留篩重(g) | | 留篩率(%) | | 累積留篩率(%) | |
|------|--------|--------|--------|-------|----------|--------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 3/2" | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3/4" | 25.90 | 20.90 | 8.01 | 6.47 | 8.01 | 6.47 |
| 1/2" | 26.70 | 29.40 | 8.26 | 9.10 | 16.27 | 15.57 |
| 3/8" | 24.90 | 23.30 | 7.70 | 7.21 | 23.98 | 22.79 |
| #4 | 28.20 | 31.60 | 8.72 | 9.78 | 32.71 | 32.57 |
| 底盤 | 217.40 | 217.70 | 67.28 | 67.42 | 100.00 | 100.00 |
| 總和 | 323.10 | 322.90 | | | | |

細水淬熔岩

| 號篩 | 留篩重(g) | | 留篩率(%) | | 累積留篩率(%) | |
|------|--------|--------|--------|-------|----------|--------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| #4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| #8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| #16 | 0.50 | 0.40 | 0.26 | 0.21 | 0.26 | 0.21 |
| #32 | 28.60 | 25.30 | 15.22 | 13.56 | 15.48 | 13.78 |
| #50 | 61.30 | 64.50 | 32.62 | 34.58 | 48.11 | 48.36 |
| #100 | 49.30 | 47.70 | 26.23 | 25.57 | 74.34 | 73.94 |
| #200 | 27.90 | 29.30 | 14.84 | 15.71 | 89.19 | 89.65 |
| 底盤 | 20.30 | 19.30 | 10.80 | 10.34 | 100.00 | 100.00 |
| 總和 | 187.90 | 186.50 | | | | |

石粉#3000

| 號篩 | 留篩重(g) | | 留篩率(%) | | 累積留篩率(%) | |
|------|--------|--------|--------|-------|----------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| #200 | 171.00 | 168.50 | 85.71 | 84.50 | 85.71 | 84.50 |
| 底盤 | 28.50 | 30.50 | 14.28 | 15.29 | 100.00 | 99.79 |
| 總和 | 199.50 | 199.40 | | | | |



本研究規劃以控制水淬熔岩混合比例、水淬熔岩顆粒大小及其他製程因子，進行一系列人造石試做並檢測其基本特性，檢測試驗包括：(1)抗壓試驗，(2)抗拉試驗，(3)吸水率試驗，(4)比重試驗，(5)硬度試驗，(6)耐熱試驗，(7)毒性溶出試驗等，本試驗所採用的儀器及設備如下：

1. HT-9501 50噸電腦式伺服控制材料試驗機：用來量測試體的抗彎強度。
2. FORNEY-200噸抗壓試驗機：用來測試試體的抗壓強度。
3. 蕭氏硬度儀：用來量測試體的硬度試驗。
4. 卡氏瓦斯爐：用來測試試體的耐熱試驗。
5. 其他設備：震動台、烘箱、電子磅秤、試體模等。



3-3-2 試體之物理化學試驗方法

1. 抗壓試驗：試體尺寸為 $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ ，根據 ASTM C39 或 CNS1232標準進行抗壓試驗，試體如照片3.3所示，水淬熔岩人造石試體與白直紋人造石試體之抗壓試驗，其計算式如下：

$$\sigma = P / \pi r^2$$

其中 σ ：材料抗壓強度(kgf/cm²)

P ：最大荷重(kgf)

r ：試體半徑(cm)



照片 3.3 抗壓用試體

2. 抗拉試驗：試體大小為 $2.54 \text{cm} \times 2.54 \text{cm} \times 7.62 \text{cm}$ 之8字型尺寸，根據ASTM C190標準進行抗拉試驗，試體如照片3.4所示。



照片 3.4 抗拉用試體

3. 吸水率試驗：試體大小為 $\phi 50.8\text{mm} \times 3.2\text{mm}$ 之圓盤尺寸，根據ASTM D570-98 標準進行吸水率試驗。
4. 比重試驗：試體大小為 $\phi 50.8\text{mm} \times 3.2\text{mm}$ 之圓盤尺寸，根據ASTM D792-00 標準進行比重試驗。
5. 硬度試驗：試體大小為 $\phi 50.8\text{mm} \times 3.2\text{mm}$ 之圓盤尺寸，根據ASTM D2240 或CNS 7095標準進行蕭氏SHORE(D)硬度試驗。
6. 耐熱試驗：
 - (1) 將不同的配比試片分類，分為兩種不同的方式進行試驗，試片在各種溫度下所產生的變化。
 - (2) 將維力清香油到入鐵盆內，以卡氏瓦斯爐加熱，把試片投入油中，



以溫度計讀取試片產生變化的溫度。

(3) 以卡氏瓦斯爐加接加熱清香油，清香油加熱速度控制約為 25°C

/min，加熱過程中，試片產生變化，如局部產生氣泡、全面產生氣泡、試體不產生氣泡、剝落軟化及破壞的溫度個別記錄下來。

(4) 加熱至試片破壞後，以夾子將試體夾出，擺回之前分類好的位置記錄。

7. 毒物溶出(TCLP)試驗：毒物溶出(TCLP)分析項目將包括汞、鉛、鎘、鉻(總鉻)六價鉻及砷等有毒重金屬，樣品送至上準環境科技公司檢驗。



第四章 實驗結果與探討

經由吸水率試驗、比重試驗及硬度試驗結果，尋求較優質的配比，再依較優質配比進行其它試驗，來探討水淬熔岩人造石的特性。

4-1 吸水率試驗

將吸水率試驗數據經單因子變異數分析 (ANOVA)，樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5，1:4 的水淬熔岩人造石，其結果分析如附表 1-1，1-2，1-3，1-4 所示，不同的水淬熔岩粗細比例對吸水率有顯著之影響。

將吸水率試驗數據經雙因子變異數分析-重複試驗 (ANOVA)，其結果分析如附表 2-1，2-2 所示，有無膠殼對吸水率有顯著之影響。

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5，1:4，1:4.5 製作有膠殼及無膠殼的水淬熔岩人造石試體各種配比及吸水率，試驗結果如表 4.1 及圖 4.1，4.2，4.3 所示，樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 中，有膠殼 S300/50 試體的變異係數最大，有膠殼 S175/175 試體的變異係數最小，顯示當粗水淬熔岩含量愈多，吸水率變化較大，水淬熔岩的粗細比例 1:1 時，吸水率變化較小，材質較穩定。

在樹脂與水淬熔岩比例 1:4 中，有膠殼 S400/0 與無膠殼 A400/0 試體的變異係數較大，無膠殼 A300/100 的變異係數最小，顯示當粗水淬熔岩含量愈多，吸水率變化較大，無膠殼試體 A300/100 吸水率變化較小。



由水淬熔岩人造石吸水率檢測結果，發現樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 中，無膠殼試體 A200/150 吸水率最低，無膠殼 A300/50 吸水率最高，無膠殼 A175/175 與無膠殼 A200/150 相近，有膠殼試體 S175/175 吸水率最低，有膠殼 S300/50 吸水率最高。

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 中，無膠殼 A200/200 吸水率最低，無膠殼 A400/0 吸水率最高；有膠殼 S300/100 吸水率最低，有膠殼 S400/0 吸水率最高。

粗水淬熔岩配比含量較多，則吸水率較高；粗水淬熔岩配比含量較少，則吸水率較低。同樣配比，有膠殼水淬熔岩試體比無膠殼水淬熔岩試體吸水率高。石粉添加含量多，則吸水率高。

表 4.1 樹脂與不同比例水淬熔岩人造石之吸水率結果

(1) 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之吸水率試驗表

| 水淬熔岩人造石配比 | 平均吸水率 | 標準差 | 變異係數% |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 無膠殼 A300/50 | 0.613 | 0.057 | 9.30 |
| 無膠殼 A250/100 | 0.479 | 0.050 | 10.44 |
| 無膠殼 A250/100 石粉 | 0.532 | 0.023 | 4.32 |
| 無膠殼 A225/125 | 0.457 | 0.034 | 7.44 |
| 無膠殼 A200/150 | 0.364 | 0.052 | 14.29 |
| 無膠殼 A175/175 | 0.373 | 0.016 | 4.30 |
| 有膠殼 S300/50 | 0.816 | 0.174 | 21.32 |
| 有膠殼 S250/100 | 0.608 | 0.049 | 8.06 |
| 有膠殼 S250/100 石粉 | 0.709 | 0.095 | 13.40 |
| 有膠殼 S225/125 | 0.649 | 0.017 | 2.62 |
| 有膠殼 S200/150 | 0.618 | 0.084 | 13.59 |
| 有膠殼 S175/175 | 0.543 | 0.009 | 1.66 |



(2) 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之吸水率試驗表

| 水淬熔岩人造石配比 | 平均吸水率 | 標準差 | 變異係數% |
|----------------|-------|-------|-------|
| 無膠殼 A400/0 | 0.810 | 0.201 | 24.81 |
| 無膠殼 A350/50 | 0.554 | 0.015 | 2.71 |
| 無膠殼 A350/50 石粉 | 0.573 | 0.028 | 4.89 |
| 無膠殼 A300/100 | 0.517 | 0.009 | 1.74 |
| 無膠殼 A250/150 | 0.381 | 0.041 | 10.76 |
| 無膠殼 A200/200 | 0.311 | 0.054 | 17.36 |
| 有膠殼 S400/0 | 1.448 | 0.402 | 27.76 |
| 有膠殼 S350/50 | 1.113 | 0.183 | 16.44 |
| 有膠殼 S350/50 石粉 | 0.755 | 0.049 | 6.49 |
| 有膠殼 S300/100 | 0.512 | 0.078 | 15.23 |
| 有膠殼 S250/150 | 0.754 | 0.134 | 17.77 |
| 有膠殼 S200/200 | 0.606 | 0.060 | 9.90 |

(3) 樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 製作人造石吸水率試驗表

| 水淬熔岩人造石配比 | 平均吸水率 | 標準差 | 變異係數% |
|--------------|-------|-------|-------|
| 無膠殼 A225/225 | 0.453 | 0.094 | 20.75 |
| 有膠殼 S225/225 | 0.512 | 0.042 | 8.20 |
| 白直紋人造石 | 0.642 | 0.100 | 15.58 |



樹脂與人造石比例1:3.5製作人造石之吸水率試驗

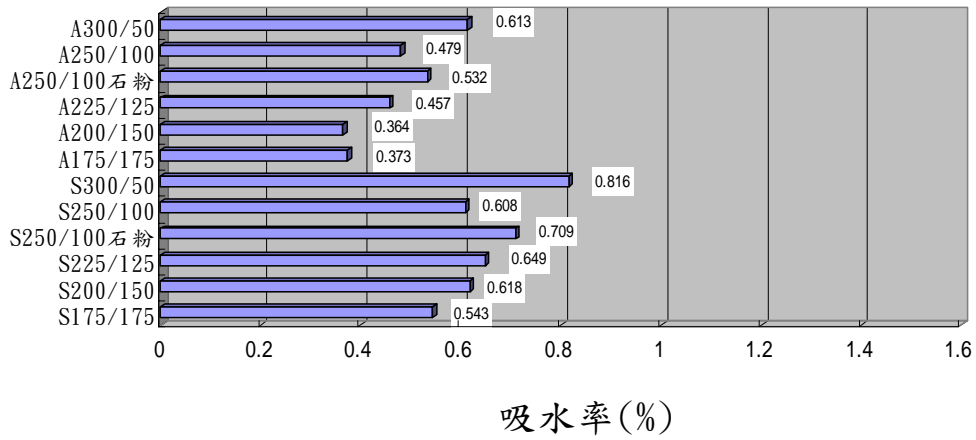


圖 4.1 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之吸水率試驗

樹脂與人造石比例1:4製作人造石之吸水率試驗

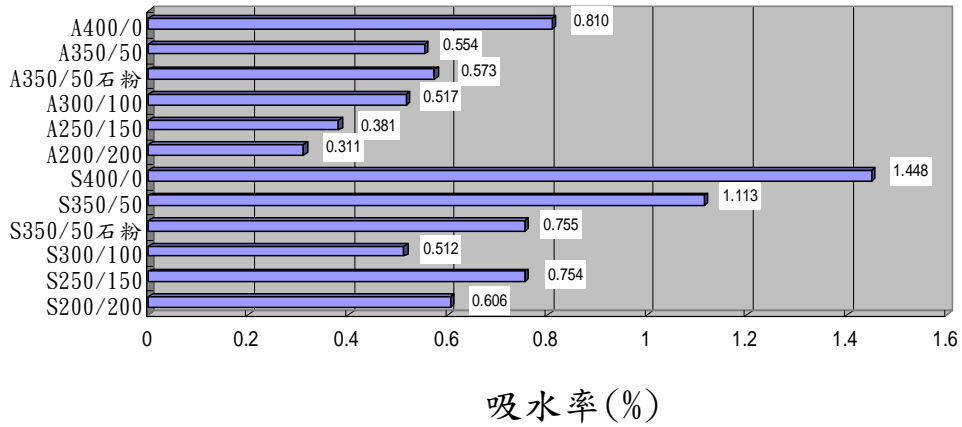


圖 4.2 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之吸水率試驗

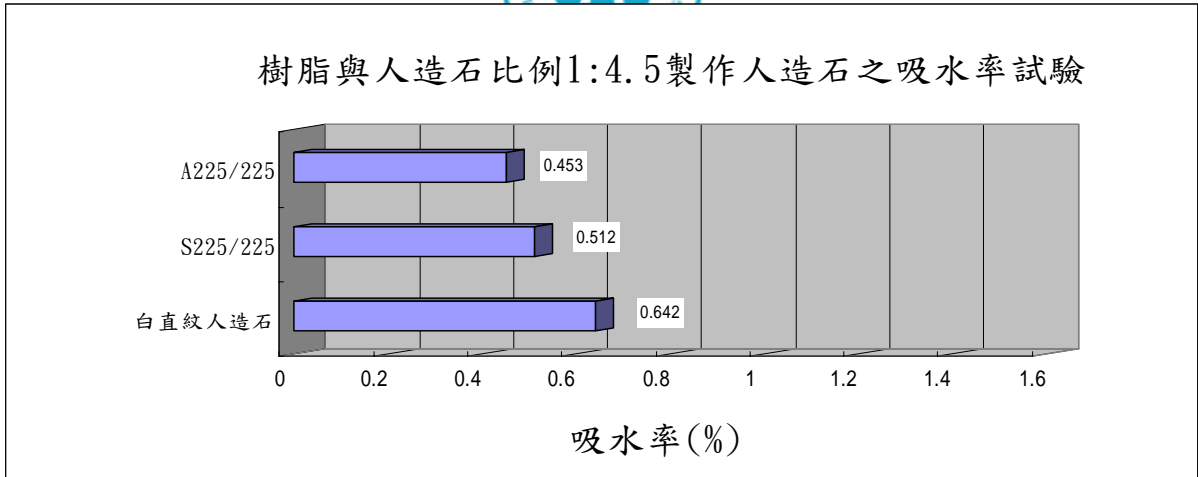


圖 4.3 樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 製作人造石之吸水率試驗



4-2 比重試驗

將比重試驗數據經單因子變異數分析 (ANOVA)，樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5, 1:4 的水淬熔岩人造石，其結果分析如附表 1-5, 1-6, 1-7, 1-8 所示，不同的水淬熔岩粗細比例對比重有顯著之影響。

將比重試驗數據經雙因子變異數分析-重複試驗 (ANOVA)，其結果分析如附表 2-3、2-4 所示，有無膠殼對比重有顯著的影響。

樹脂與水淬熔岩的比例 1:3.5, 1:4, 1:4.5 製作有膠殼及無膠殼的水淬熔岩人造石試體各種配比及比重試驗結果如表 4.2 及圖 4.4, 4.5, 4.6 所示，樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 中，有膠殼 S175/175 試體的變異係數較大，無膠殼 A250/100 試體的變異係數最小，比重的變化較無規律的變化。

在樹脂與水淬熔岩比例 1:4 中，無膠殼 A200/200 試體的變異係數較大，無膠殼 A300/100 試體的變異係數較小，比重的變化並無規律的變化。

由水淬熔岩人造石比重檢驗結果，發現樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 中，無膠殼試體 A250/100 石粉比重最大，A225/125 比重最小，A175/175 與 A225/125 相近。樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 中，有膠殼試體 S250/100 石粉比重最大，S175/175 比重最小。樹脂與水淬熔岩比例 1:4 中，無膠殼試體 A400/0 比重最大，A350/50 石粉與 A400/0 相近，A200/200 比重最小。樹脂與水淬熔岩比例 1:4 中，有膠殼試體 S400/0 比重最大，S350/50 與 S350/50 石粉相近，S250/150 比重最小。



白直紋人造石比重約 2.1，比較重，而粗水淬熔岩含量多，比重較大，粗細比例為 1:1 時，比重較小，但變異係數較大。

吸水率與比重關係如圖 4.7，4.8 所示，樹脂與水淬熔岩的比例 1:3.5 時，經迴歸分析後吸水率與比重並無正比或反比之關係，而樹脂與水淬熔岩的比例 1:4 時，經迴歸分析後，吸水率與比重成正比之關係。

表 4.2 樹脂與不同比例水淬熔岩人造石之比重結果

(1) 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之比重試驗表

| 水淬熔岩人造石配比 | 平均比重 | 標準差 | 變異係數% |
|-----------------|-------|-------|-------|
| 無膠殼 A300/50 | 1.835 | 0.019 | 1.04 |
| 無膠殼 A250/100 | 1.809 | 0.002 | 0.11 |
| 無膠殼 A250/100 石粉 | 2.017 | 0.021 | 1.04 |
| 無膠殼 A225/125 | 1.787 | 0.012 | 0.67 |
| 無膠殼 A200/150 | 1.810 | 0.009 | 0.50 |
| 無膠殼 A175/175 | 1.790 | 0.015 | 0.84 |
| 有膠殼 S300/50 | 1.857 | 0.013 | 0.70 |
| 有膠殼 S250/100 | 1.843 | 0.005 | 0.27 |
| 有膠殼 S250/100 石粉 | 1.973 | 0.014 | 0.71 |
| 有膠殼 S225/125 | 1.835 | 0.008 | 0.44 |
| 有膠殼 S200/150 | 1.847 | 0.013 | 0.70 |
| 有膠殼 S175/175 | 1.822 | 0.020 | 1.10 |

(2) 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之比重試驗表



| 水淬熔岩人造石配比 | 平均比重 | 標準差 | 變異係數% |
|----------------|-------|-------|-------|
| 無膠殼 A400/0 | 1.959 | 0.019 | 0.97 |
| 無膠殼 A350/50 | 1.802 | 0.004 | 0.22 |
| 無膠殼 A350/50 石粉 | 1.939 | 0.012 | 0.62 |
| 無膠殼 A300/100 | 1.818 | 0.003 | 0.17 |
| 無膠殼 A250/150 | 1.779 | 0.005 | 0.28 |
| 無膠殼 A200/200 | 1.767 | 0.037 | 2.15 |
| 有膠殼 S400/0 | 1.982 | 0.010 | 0.50 |
| 有膠殼 S350/50 | 1.928 | 0.006 | 0.31 |
| 有膠殼 S350/50 石粉 | 1.947 | 0.010 | 0.51 |
| 有膠殼 S300/100 | 1.849 | 0.005 | 0.27 |
| 有膠殼 S250/150 | 1.836 | 0.006 | 0.33 |
| 有膠殼 S200/200 | 1.847 | 0.028 | 1.52 |

(3) 樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 製作人造石之比重試驗表

| 水淬熔岩人造石配比 | 平均比重 | 標準差 | 變異係數% |
|--------------|-------|-------|-------|
| 無膠殼 A225/225 | 1.745 | 0.003 | 0.17 |
| 有膠殼 S225/225 | 1.787 | 0.006 | 0.34 |
| 白直紋人造石 | 2.110 | 0.008 | 0.38 |

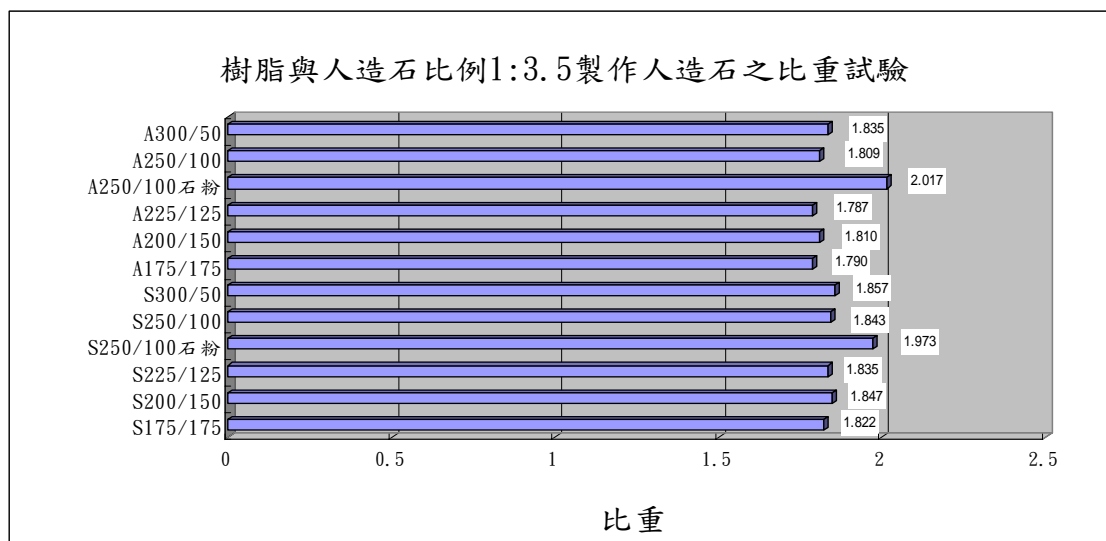


圖 4.4 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之比重試驗



樹脂與人造石比例1:4製作人造石之比重試驗

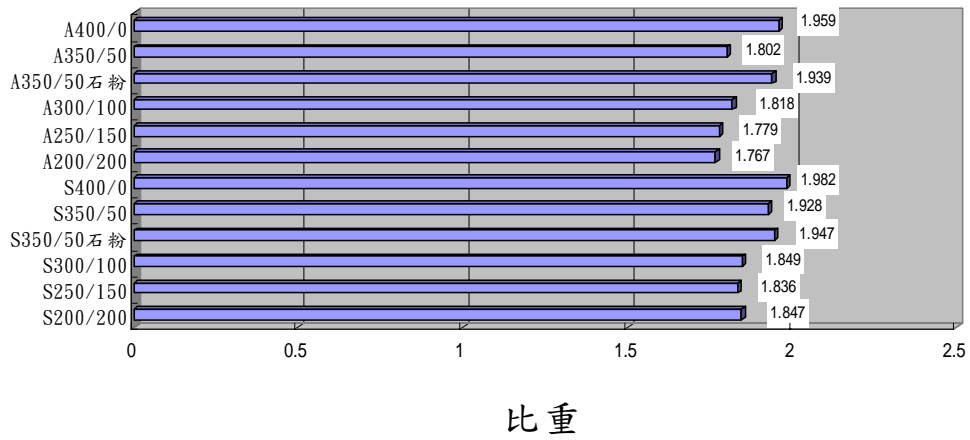


圖 4.5 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之比重試驗

樹脂與人造石比例1:4.5製作人造石之比重試驗

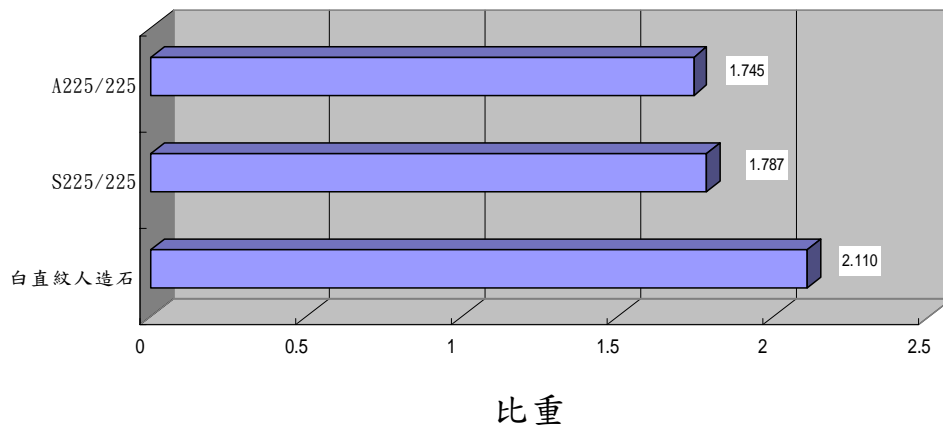


圖 4.6 樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 製作人造石之比重試驗

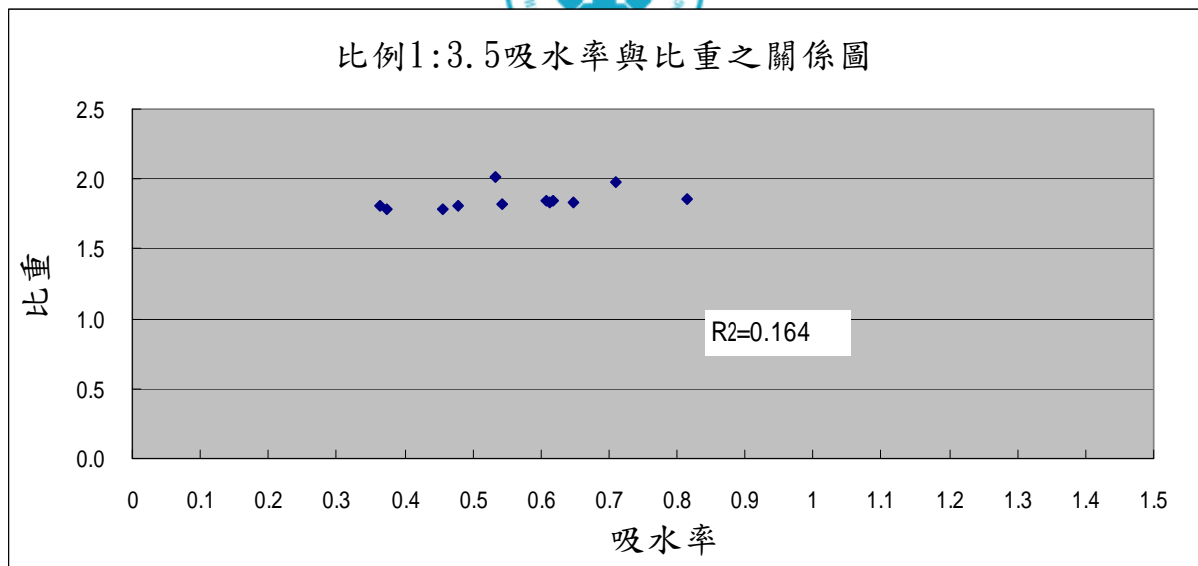


圖 4.7 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之吸水率與比重關係圖

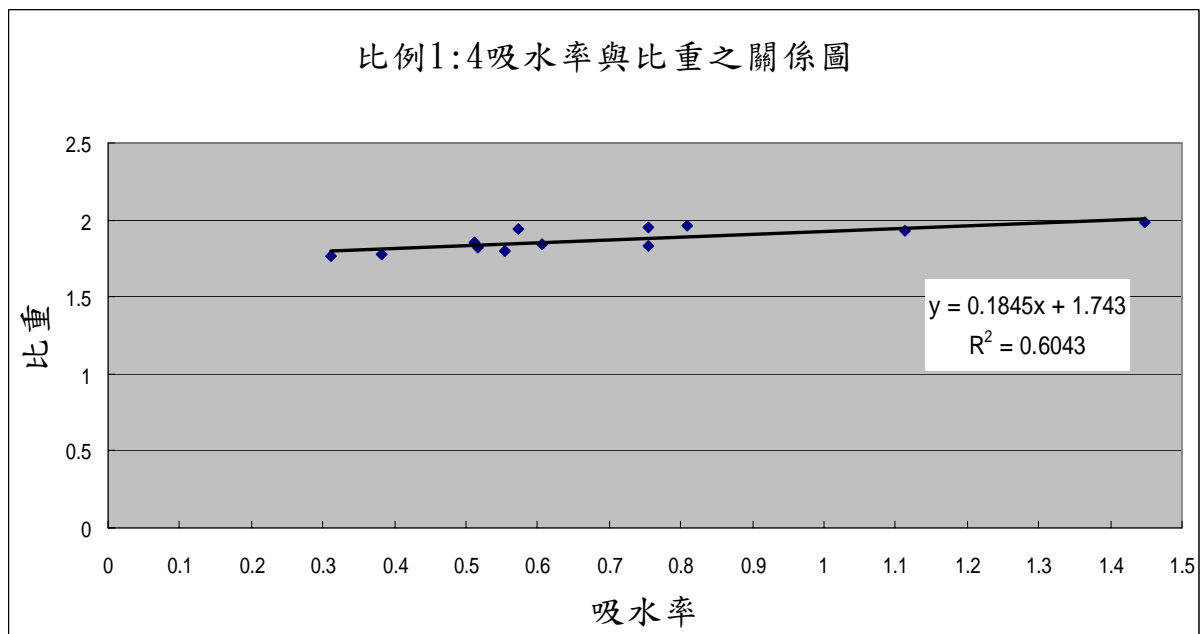


圖 4.8 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之吸水率與比重關係圖



4-3 硬度試驗

將硬度試驗數據經單因子變異數分析 (ANOVA)，樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5, 1:4 的水淬熔岩人造石，其結果分析如附表 1-9, 1-11, 1-12 所示，不同的水淬熔岩粗細比例對硬度有顯著之影響。而樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的有膠殼水淬熔岩人造石，其結果分析如附表 1-10 所示，不同的水淬熔岩粗細比例對硬度並無顯著之影響。

將硬度試驗經雙因子變異數分析-重複試驗 (ANOVA)，其結果如附表 2-5, 2-6 所示，有無膠殼對硬度有顯著之影響。

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5, 1:4, 1:4.5 製作有膠殼及無膠殼的水淬熔岩人造石試體各項配比及硬度試驗結果如表 4.3 及圖 4.9, 4.10, 4.11 所示，樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 中，有膠殼 S200/150 試體的變異係數較大，有膠殼 S175/175 與無膠殼 A225/125 試體的變異係數較小，顯示粗細水淬熔岩比例 1:1 時，比重變化較小。

在樹脂與水淬熔岩比例 1:4 中，有膠殼 S350/50 試體的變異係數較大，無膠殼 A350/50 試體的變異係數較小，顯示有無膠殼對硬度的變化較大。

由水淬熔岩人造石硬度試驗結果，發現水淬熔岩人造石雖然配比不同，其蕭氏硬度皆為 78~88 之間，與白直紋人造石硬度接近，蕭氏 SHORE (D) 硬度、Rockwell 硬度與 Brinell 之間尺度大約比照可詳圖 4.12，另外，蕭氏 SHORE (D) 硬度與 Rockwell M 硬度比較可詳圖 4.13，其莫氏硬度(如表



4.4)為 6 級與 7 級之間。試體無膠殼 A175/175、有膠殼 S175/175、無膠殼 A200/200 的蕭氏硬度較高，顯示當水淬熔岩的粗細比例為 1:1 時，可得到較高的硬度值。

表 4.3 樹脂與不同比例水淬熔岩人造石之硬度結果

(1) 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之硬度試驗表

| 水淬熔岩人造石配比 | 平均硬度 | 標準差 | 變異係數% |
|-----------------|------|-------|-------|
| 無膠殼 A300/50 | 85.7 | 0.579 | 0.68 |
| 無膠殼 A250/100 | 85.7 | 1.528 | 1.78 |
| 無膠殼 A250/100 石粉 | 84.3 | 1.155 | 1.37 |
| 無膠殼 A225/125 | 87.0 | 0 | 0 |
| 無膠殼 A200/150 | 87.7 | 1.155 | 1.32 |
| 無膠殼 A175/175 | 87.3 | 0.579 | 0.66 |
| 有膠殼 S300/50 | 84.0 | 1 | 1.19 |
| 有膠殼 S250/100 | 83.0 | 1 | 1.20 |
| 有膠殼 S250/100 石粉 | 81.7 | 0.577 | 0.68 |
| 有膠殼 S225/125 | 84.3 | 0.579 | 0.69 |
| 有膠殼 S200/150 | 82.0 | 1.732 | 2.11 |
| 有膠殼 S175/175 | 84.0 | 0 | 0 |

(2) 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之硬度試驗表



| 水淬熔岩人造石配比 | 平均硬度 | 標準差 | 變異係數% |
|----------------|------|-------|-------|
| 無膠殼 A400/0 | 82.3 | 1.150 | 1.40 |
| 無膠殼 A350/50 | 86.0 | 0 | 0 |
| 無膠殼 A350/50 石粉 | 83.7 | 0.579 | 0.69 |
| 無膠殼 A300/100 | 85.3 | 1.15 | 1.35 |
| 無膠殼 A250/150 | 86.7 | 1.528 | 1.76 |
| 無膠殼 A200/200 | 87.7 | 1.528 | 1.74 |
| 有膠殼 S400/0 | 80.0 | 1.732 | 2.17 |
| 有膠殼 S350/50 | 78.0 | 2.646 | 3.39 |
| 有膠殼 S350/50 石粉 | 80.7 | 0.579 | 0.72 |
| 有膠殼 S300/100 | 83.3 | 1.528 | 1.83 |
| 有膠殼 S250/150 | 79.7 | 0.579 | 0.73 |
| 有膠殼 S200/200 | 82.3 | 2.082 | 2.53 |

(3) 樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 製作人造石之硬度試驗表

| 水淬熔岩人造石配比 | 平均硬度 | 標準差 | 變異係數% |
|--------------|------|-------|-------|
| 無膠殼 A225/225 | 87.3 | 0.579 | 0.66 |
| 有膠殼 S225/225 | 84.0 | 1 | 1.19 |
| 白直紋人造石 | 85.3 | 0.579 | 0.68 |

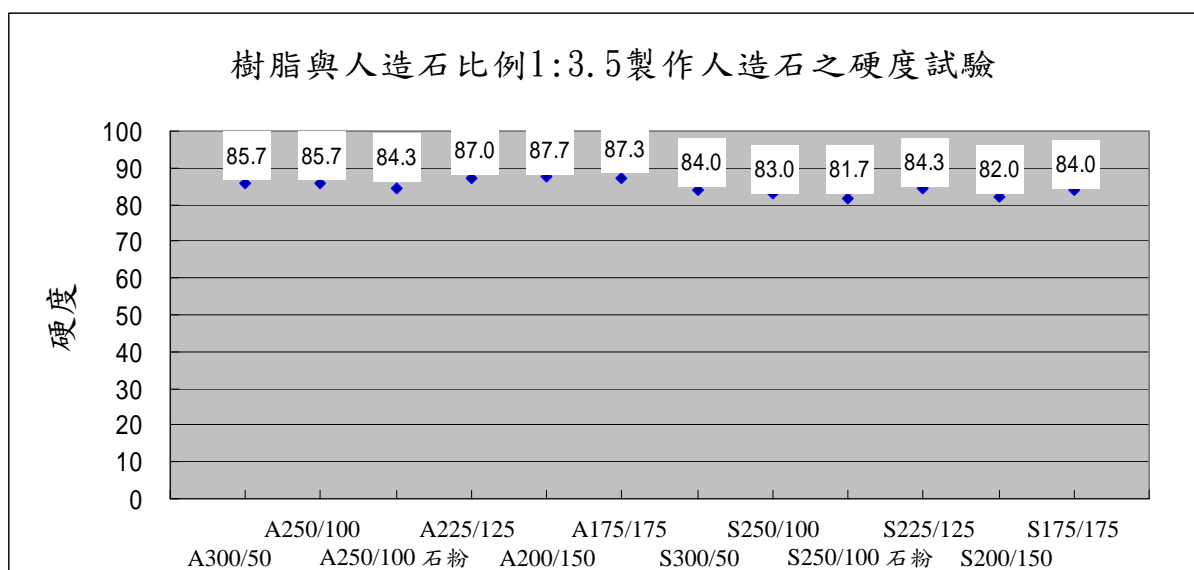


圖 4.9 樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 製作人造石之硬度試驗

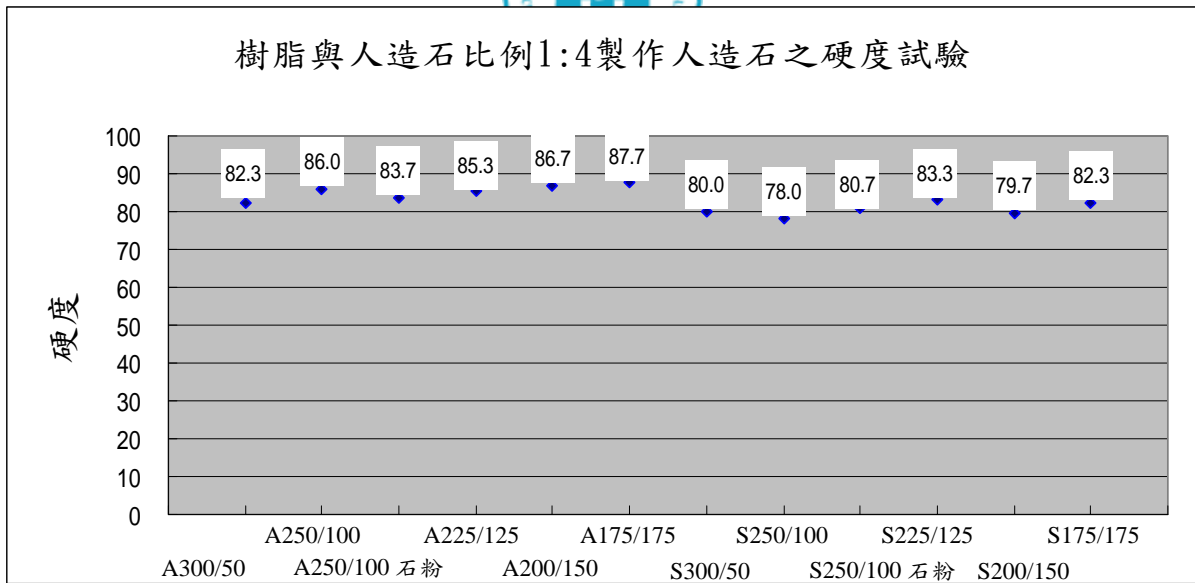


圖 4.10 樹脂與水淬熔岩比例 1:4 製作人造石之硬度試驗

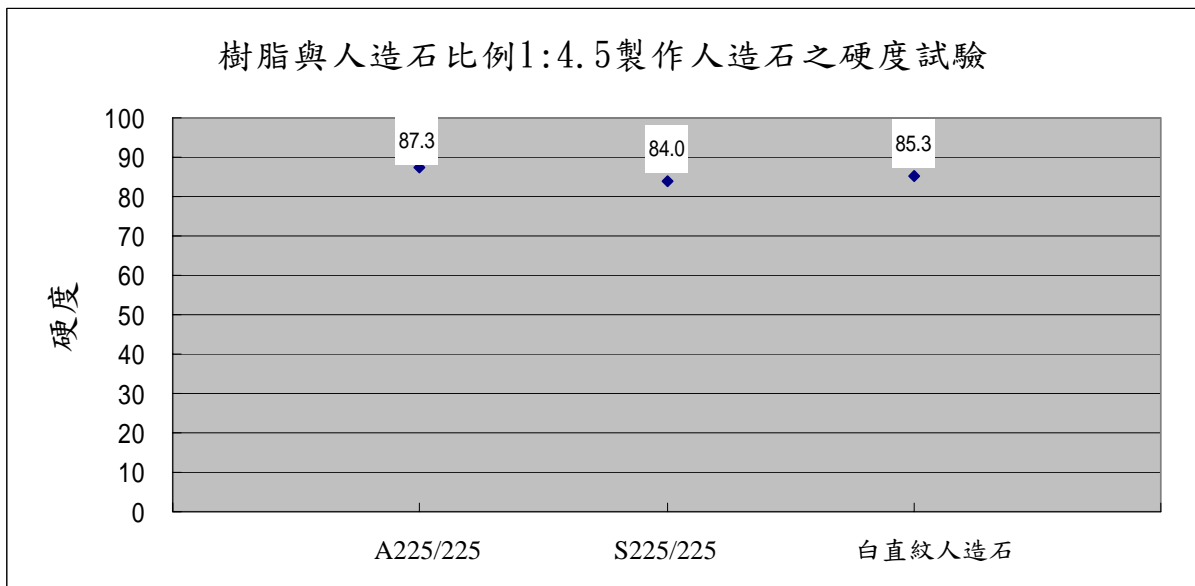
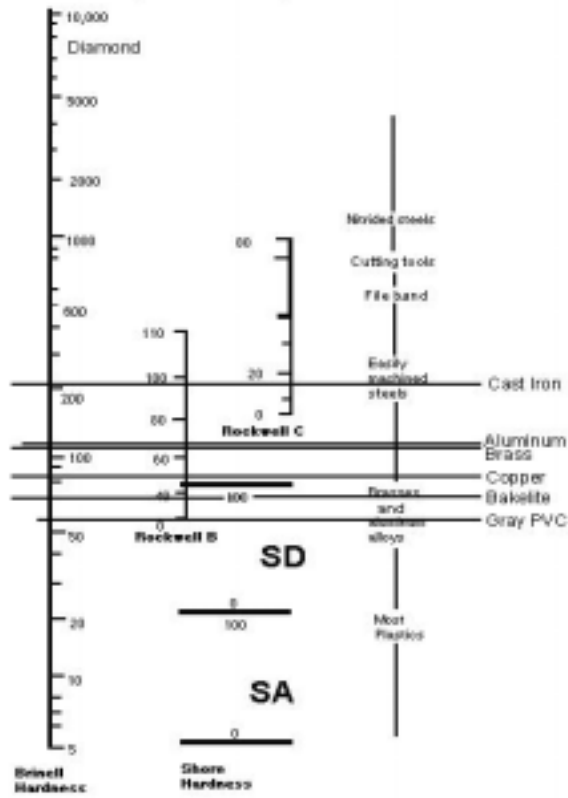


圖 4.11 樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 製作人造石之硬度試驗

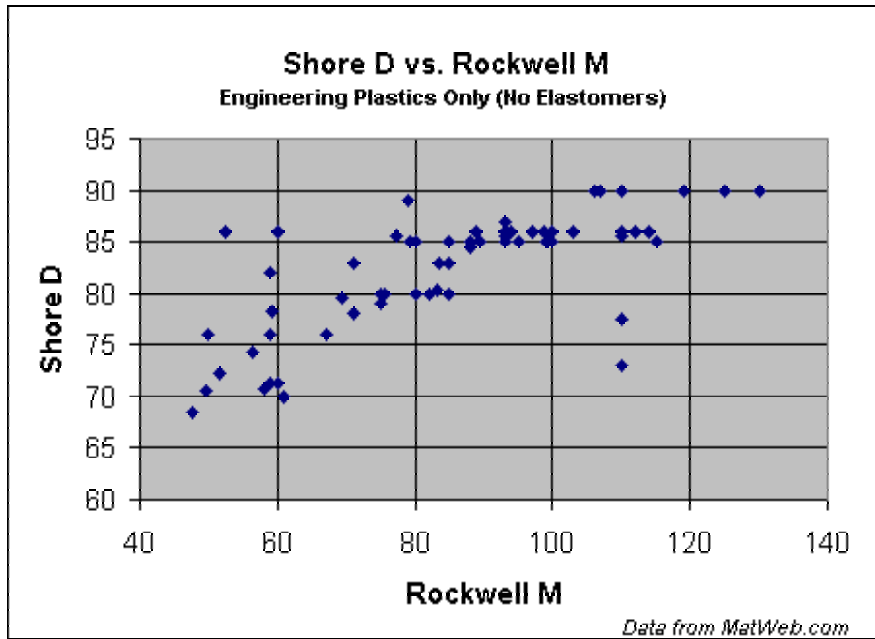


Aproximate Comparison of Hardness Scales



Hark Deggett IT 283

圖 4.12 蕭氏 SHORE (D)硬度、Rockwell 硬度與 Brinell 硬度關係圖【6】



Data from MatWeb.com

圖 4.13 蕭氏 SHORE (D)硬度、RockwellM 硬度關係圖【6】



表 4.4 莫氏硬度表【6】

| 等級 | 礦物 | 日常同等物 |
|----|-----|--------|
| 1 | 滑石 | 無日常同等物 |
| 2 | 石膏 | 指甲 |
| 3 | 方解石 | 銅幣 |
| 4 | 螢石 | 鐵釘 |
| 5 | 磷灰石 | 玻璃 |
| 6 | 長石 | 小刀 |
| 7 | 石英 | 挫鋼刀 |
| 8 | 黃石 | 砂紙 |
| 9 | 金剛石 | 無日常同等物 |
| 10 | 鑽石 | 無日常同等物 |



4-4 抗壓試驗

當水淬熔岩人造石的粗水淬熔岩與細水淬熔岩的比例 1:1 時，可得較低吸水率，比重較輕，硬度相當之產品，故後續抗壓、抗拉、耐熱及毒物溶出等，試驗皆以此種比例施作樣品。

將抗壓試驗數據經雙因子變異數分析-重複試驗 (ANOVA)，其結果分析如附表 2-7 所示，有無膠殼對抗壓強度有顯著之影響。當水淬熔岩粗細比例 1:1 時，樹脂與水淬熔岩的比例 1:4.5, 1:4, 1:3.5 對抗壓強度有顯著之影響。

水淬熔岩人造石之不同配比試體，抗壓試驗結果如表4.5及圖4.14所示，有膠殼S225/225試體的變異係數最大，無膠殼A200/200試體的變異係數最小，顯示樹脂與水淬熔岩比例1:4.5時，抗壓強度較不穩定，變化較大，樹脂與水淬熔岩比例1:4時，無膠殼的抗壓強度變化較小。

由水淬熔岩人造石抗壓試體檢測結果，發現試體無膠殼 A200/200、有膠殼 S200/200、無膠殼 A175/175、有膠殼 S175/175 抗壓強度均大於白直紋人造石，強度也較接近，判斷可能由於適當配比的水淬熔岩取代石粉，有助於人造石強度的提昇。其中試體無膠殼 A225/225 與有膠殼 S225/225 可能水淬熔岩添加量過大，或部分水淬熔岩顆粒過大，造成兩者抗壓強度差異過大，品質不易控制，雪花石由於材質關係，抗壓強度最低。



表 4.5 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之抗壓強度結果(強度單位：MPa)

| 人造石材料 | 平均抗壓強度 | 標準差 | 變異係數% |
|--------------|--------|-------|-------|
| 無膠殼 A225/225 | 96.1 | 3.46 | 3.60 |
| 有膠殼 S225/225 | 48.2 | 2.16 | 4.48 |
| 無膠殼 A200/200 | 104.7 | 0.42 | 0.40 |
| 有膠殼 S200/200 | 109.7 | 3.99 | 3.64 |
| 無膠殼 A175/175 | 100.1 | 2.74 | 2.74 |
| 有膠殼 S175/175 | 108.4 | 2.06 | 1.90 |
| 無膠殼 A 白直紋人造石 | 79.5 | 0.67 | 0.84 |
| 有膠殼 S 白直紋人造石 | 76.8 | 5.26 | 6.85 |
| 雪花石 | 42.4 | 10.51 | 24.79 |

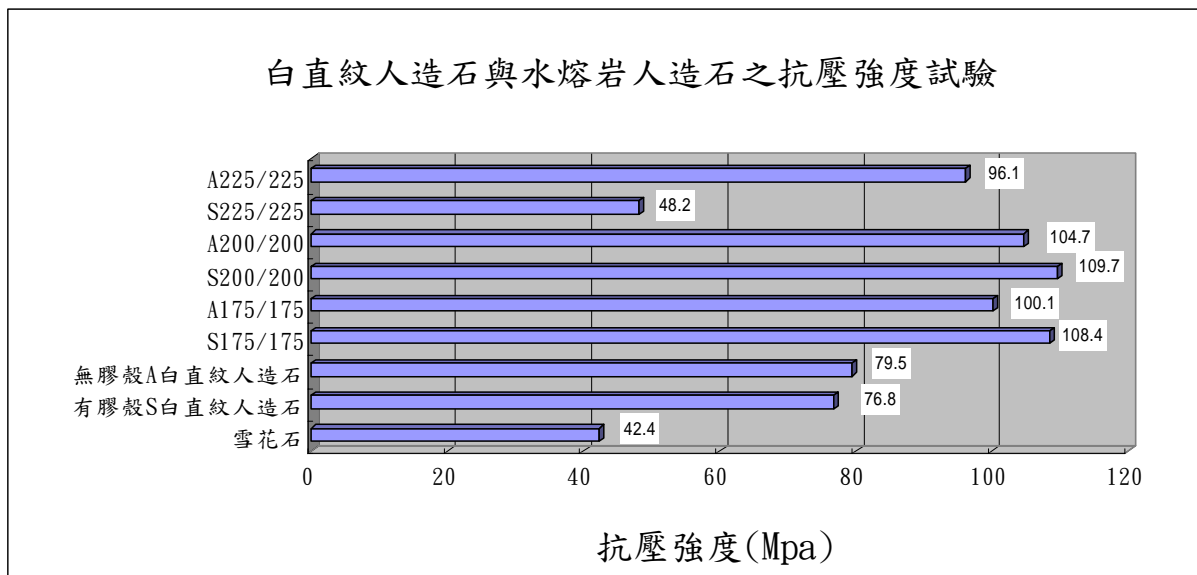


圖 4.14 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之抗壓試驗



4-5 抗拉試驗

將抗拉試驗數據經雙因子變異數分析-重複試驗 (ANOVA)，其結果分析如附表 2-8 所示，有無膠殼對抗拉強度並無顯著之影響。當水淬熔岩粗細比例 1:1 時，樹脂與水淬熔岩的比例 1:4.5, 1:4, 1:3.5 對抗拉強度有顯著之影響。

水淬熔岩人造石之不同配比試體，抗拉試驗結果如表 4.6 及圖 4.15 所示，無膠殼 A225/225 試體的變異係數最大，有膠殼 S200/200 試體的變異係數最小，顯示樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5 時，抗拉強度較不穩定，變化較大。樹脂與水淬熔岩的比例 1:4 時，有膠殼的抗拉強度變化較小。

由水淬熔岩人造石抗拉試體檢測結果，發現水淬熔岩人造石抗拉強度均小於白直紋人造石，無膠殼白直紋人造石抗拉強度最高，而試體無膠殼 A200/200 與無膠殼 A175/175 相近，試體有膠殼 S200/200 與有膠殼 S175/175 相近，判斷可能由於白直紋人造石配比中樹脂含量比較多，所得抗拉強度較高。水淬熔岩人造石試體的樹脂含量比較少，所得抗拉強度較低，試體無膠殼 A225/225 的抗拉強度最小，判斷為水淬熔岩添加量太多及部份顆粒過大造成抗拉強度最小。

抗壓強度與抗拉強度關係如圖 4.16 所示，水淬熔岩粗細比例 1:1 時，抗壓強度與抗拉強度經迴歸分析後，並無正比或反比之關係。



表 4.6 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之抗拉強度結果(強度單位：MPa)

| 人造石材料 | 平均抗拉強度 | 標準差 | 變異係數% |
|--------------|--------|------|-------|
| 無膠殼 A225/225 | 4.7 | 1.34 | 28.51 |
| 有膠殼 S225/225 | 11.7 | 1.71 | 14.62 |
| 無膠殼 A200/200 | 15.2 | 3.19 | 20.99 |
| 有膠殼 S200/200 | 12.3 | 0.42 | 3.41 |
| 無膠殼 A175/175 | 15.6 | 1.90 | 12.18 |
| 有膠殼 S175/175 | 12.2 | 2.20 | 18.03 |
| 無膠殼 A 白直紋人造石 | 17.4 | 1.48 | 8.51 |
| 有膠殼 S 白直紋人造石 | 15.7 | 1.27 | 8.09 |
| 雪花石 | 13.6 | 1.38 | 10.15 |

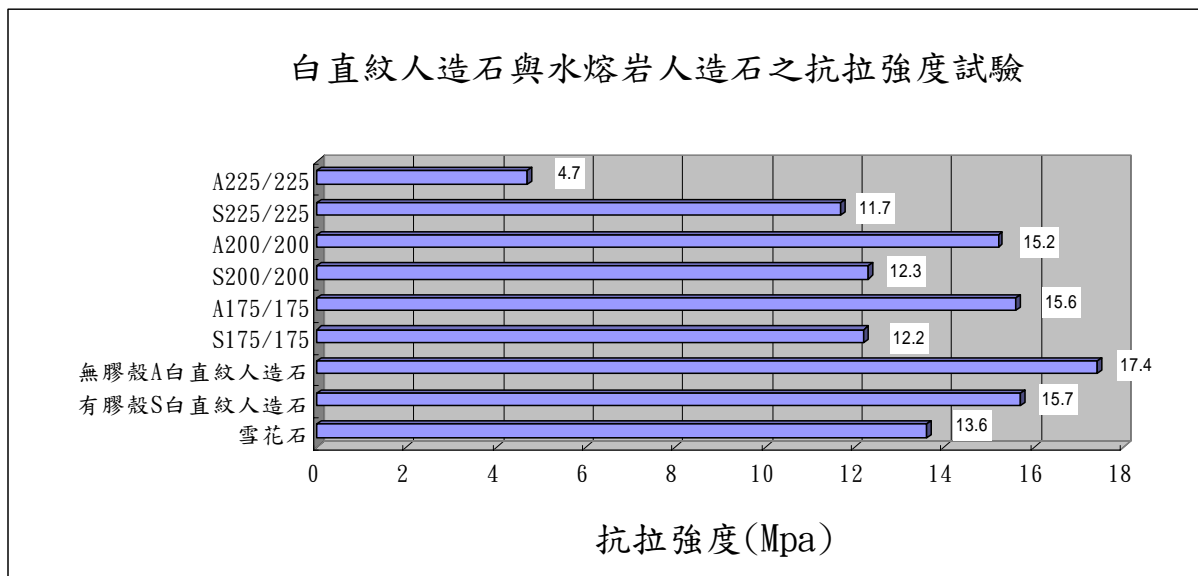


圖 4.15 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之抗拉試驗

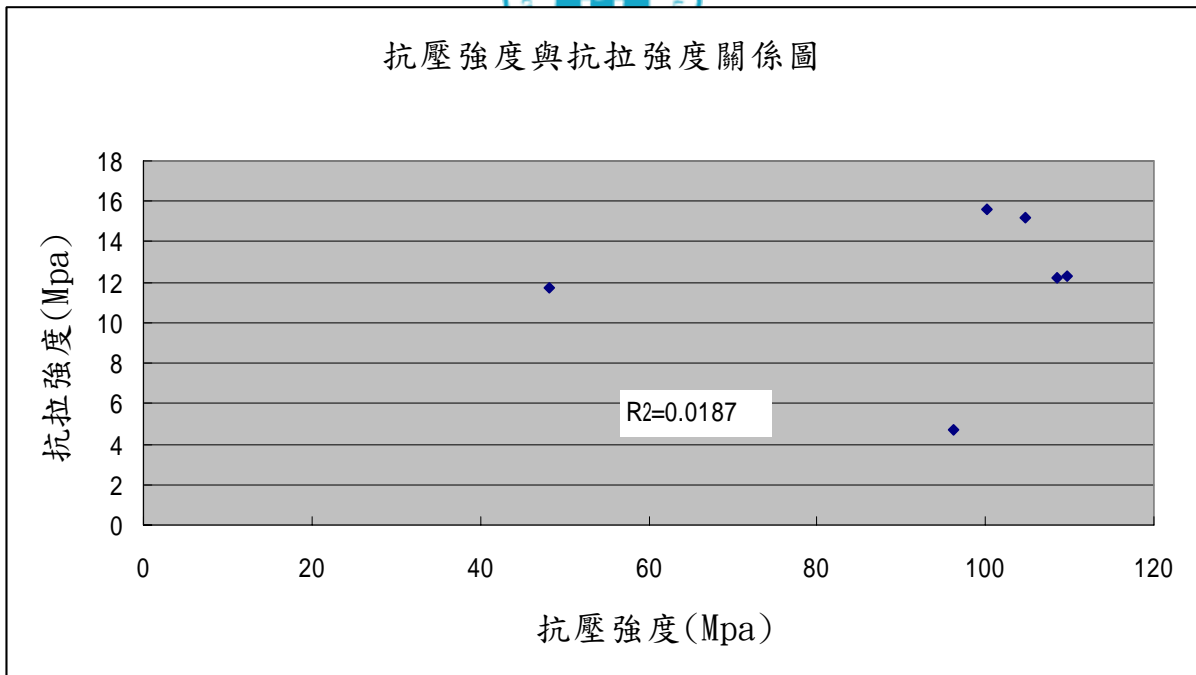


圖 4.16 水淬熔岩人造石之抗壓與抗拉關係圖



4-6 耐熱試驗

樹脂與水淬熔岩製作有膠殼及無膠殼的水淬熔岩人造石試體各項配比及耐熱試驗結果如表 4.7 及照片 4.1，圖 4.17 所示。

由水淬熔岩人造石耐熱試驗結果，水淬熔岩人造石與白直紋人造石約 100~110°C 開始冒小氣泡，發現大範圍冒泡介於 120~160°C，210°C 時會軟化及產生剝落，可能由於樹脂的關係，導致水淬熔岩人造石的耐熱度不佳。所以膠殼人造石適合使用於溫度不高的空間環境，如浴室檯面或門檻等。若作為人造雪花石的燈具外殼使用，須注意內部燈泡的溫度，以免造成軟化。

表 4.7 白直紋人造石與不同比例水淬熔岩人造石之耐熱試驗結果

| 試體配比 | 試體編號 | 冒小氣泡 | 冒氣泡嚴重 | 氣泡消失 | 試體剝落 | 軟化 | 明顯破壞 | 粉碎 |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S225/225 | 1 | 105°C | 200°C | - | 270°C | - | 280°C | - |
| | 2 | - | - | - | - | - | - | - |
| A225/225 | 1 | 100°C | 230°C | - | 270°C | - | - | 300°C |
| | 2 | 110°C | 130°C | 155°C | - | 210°C | 215°C | - |
| A200/200 | 1 | 100°C | - | 170°C | - | 234°C | 250°C | - |
| | 2 | 120°C | - | - | 230°C | 260°C | 270°C | - |
| S200/200 | 1 | 105°C | 120°C | 180°C | 220°C | 264°C | 272°C | - |
| | 2 | 110°C | 140°C | - | - | 170°C | 180°C | - |
| S175/175 | 1 | 100°C | 140°C | 180°C | 230°C | 260°C | 270°C | - |
| | 2 | 125°C | 145°C | 190°C | - | 216°C | 230°C | - |
| A175/175 | 1 | 110°C | 150°C | 170°C | 218°C | 240°C | 250°C | - |
| | 2 | 110°C | 130°C | 190°C | - | 210°C | 220°C | - |
| 白直紋 人造石 | 1 | 110°C | 160°C | - | 212°C | 260°C | 268°C | - |
| | 2 | 116°C | 160°C | 210°C | - | 226°C | 246°C | - |



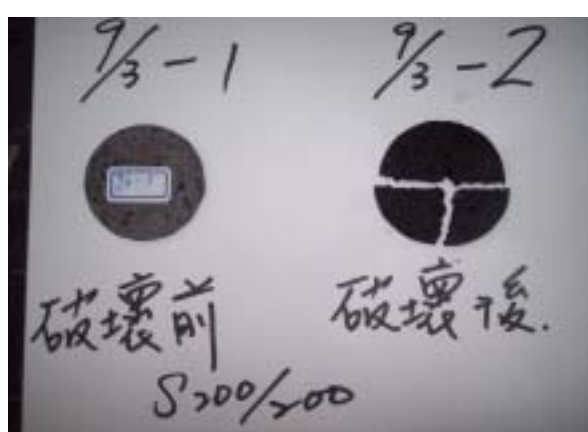
A175/175



S175/175



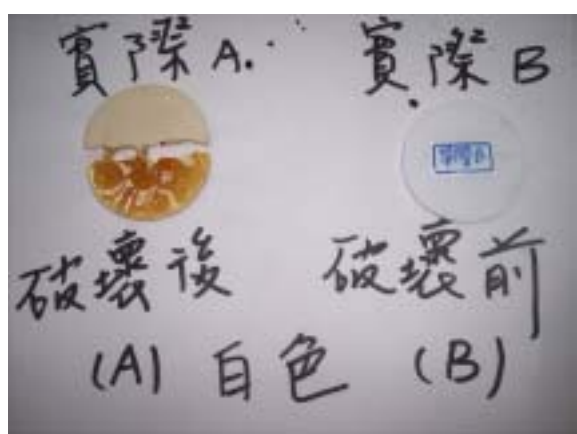
A200/200



S200/S200



A225/225



白直紋人造石

照片 4.1 耐熱試驗



白直紋人造石與水淬熔岩人造石之耐熱試驗

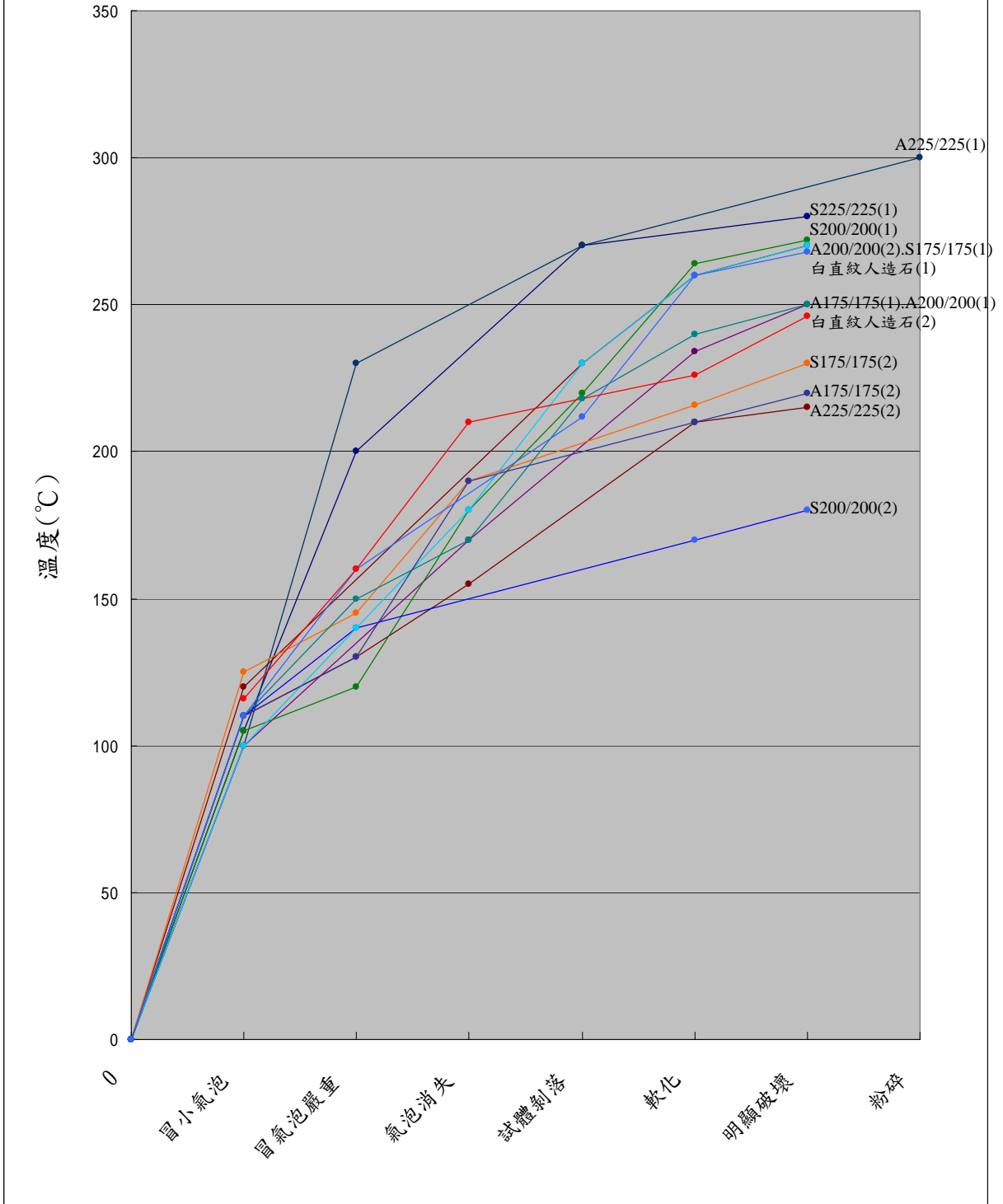


圖 4.17 白直紋人造石與水淬熔岩人造石之耐熱試驗圖



4-7 毒物溶出試驗

由水淬熔岩人造石毒物溶出試驗結果(表 4.8)，發現水淬熔岩人造石毒性溶出遠低於法規標準，可作為環保建材之使用。由上準環境科技公司進行樣品檢驗，結果如表 4.8。

表 4.8 水淬熔岩人造石毒物溶出 (TCLP) 試驗結果

| | PH 值 | Zn | Pb | Cd | Cr | Cu | Hg | As |
|------|------|-------------|------------|-------------|-------------|------|--------------|------|
| 檢驗值 | 6.4 | < 0.0031 | < 0.041 | < 0.0056 | < 0.0052 | 0.14 | < 0.00035 | 0.01 |
| 單位 | — | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L |
| 法規標準 | — | — | 5.0 | 1.0 | 5.0 | — | 0.2 | 5.0 |

4-8 試驗結果與水淬熔岩人造石色板製作

由水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1：3.5，1：4，或 1：4.5 中，水淬熔岩的粗細比例 1：1 時，可得較低吸水率，比重較輕、較高硬度，因此人造石之色板製作選擇樹脂與水淬熔岩(含石粉)比例為 1：4，而水淬熔岩的粗細比例以 1：1 為主，分為膠殼與無膠殼方式，在無膠殼色板設計部分為三種，包括灰常石、黑大理石與黑崗石；在膠殼色板設計部分有六種，包括棗紅、滿天星、墨綠、白雲石、白直紋與銀狐。如表 4.9 所示，其中，白直紋與銀狐色板為雙層板，第一層為純石粉與樹脂之人造石，第二層為水淬熔岩人造石。照片 4.2 與 4.3 為水淬熔岩人造石的製作色板



表 4.9 水淬熔岩人造石色板配比

| 人造石色板 | 膠殼 | 單雙層板 | 色板 配 比 |
|---------|----|------|---|
| A. 灰常石 | 無 | 單層板 | 樹脂:粗水淬熔岩:石粉 = 1:2:2 |
| B. 黑大理石 | 無 | 單層板 | 樹脂:細水淬熔岩 = 1:4 |
| C. 黑崗石 | 無 | 單層板 | 樹脂:細水淬熔岩 = 1:4 |
| D. 棗紅 | 有 | 單層板 | 樹脂:粗水淬熔岩:細水淬熔岩 = 1:2:2 |
| E. 滿天星 | 有 | 單層板 | 樹脂:粗水淬熔岩:細水淬熔岩 = 1:2:2 |
| F. 墨綠 | 有 | 單層板 | 樹脂:粗水淬熔岩:細水淬熔岩 = 1:2:2 |
| G. 白雲石 | 有 | 單層板 | 樹脂:粗水淬熔岩:細水淬熔岩 = 1:2:2 |
| H. 白直紋 | 有 | 雙層板 | (第一層)樹脂:石粉 = 1:2.5 (第二層)樹脂:粗水淬熔岩:細水淬熔岩 = 1:2:2 |
| I. 銀狐 | 有 | 雙層板 | (第一層)樹脂:石粉 = 1:2.5 (第二層)樹脂:粗水淬熔岩:細水淬熔岩 = 1:2:2 |



A. 灰常石



B. 黑大理石



C. 花崗石

照片 4.2 水淬熔岩人造石的製作色板



D. 棗紅



E. 滿天星



F. 墨綠



G. 白雲石



H. 白直紋



I. 銀狐

照片 4.3 水淬熔岩人造石的製作色板



4-9 水淬熔岩人造石經濟效益

人造石可改善天然石材的缺點，價格比天然石材低，是人造石所擁有的最大優勢，原物料的飆漲是目前各行各業的困擾，降低原料的成本，有助於產業的發展及經濟的成長，而人造石使用材料中的石粉及天然石粒料，皆為天然材料，須由天然資源的開採及加工得來，容易造成環境與景觀的不良影響，成本也不易控制。

而水淬熔岩取代石粉及粒料，製作水淬熔岩人造石，其經濟效益為：

1. 將可減低購買原料的成本，提昇產品的競爭力，作為更物美價廉的產品。
2. 降低天然石材的開採，減低對自然環境的破壞，
3. 提昇水淬熔岩的利用價值，生產高價值的環保建材，促進環保產業升級。
4. 可將焚化灰渣減容進而資源化利用，降低焚化灰渣的後續處理及廢料的堆置儲存問題。

一般人造石的產品特性為紋路細緻，有多種花色樣品具有天然石材的圖案及色彩。無縫接合，拼接或接合處可作無縫處理，不留痕跡，加熱後可彎曲變化造型，損傷後容易修復，具有優良的二次加工性能。外觀亮麗、表面光滑、無氣孔麻面等缺陷，比天然石材耐污，清洗容易。重量輕，厚度可以較薄，約 1~1.2cm，天然石材厚度一般為 1.8cm，於建築物裝修可減輕荷重，在搬運時也更加方便。

水淬熔岩人造石除了具有一般人造石的特性外，與一般人造石比較其



優缺點為：

優點：

1. 比重較輕，可減低自重、方便施工。
2. 可以節省消耗天然資源，兼具環保功能。
3. 原料成本較低，可以改善成本支出。

缺點：

1. 耐熱度與一般人造石一樣不佳。
2. 色澤缺乏多樣性，水淬熔岩的顏色較不討喜。



第五章 結論與建議

本研究以配合廢棄物資源化之概念，利用水淬熔岩取代石粉製作人造石並且探討人造石基本成分及物理特性，由不同變數因子製作試體，其結論於以下作一整理歸納。

5-1 結論

1. 粗水淬熔岩的配比含量愈多，吸水率愈高，變異係數愈大，水淬熔岩的粗細比例 1:1 時，可得較低吸水率，比重較輕，較高硬度值。粗水淬熔岩的最大粒徑過大，會嚴重影響人造石的比重、吸水率及外觀。
2. 水淬熔岩的粗細料比例對吸水率及比重有顯著影響，無膠殼的水淬熔岩人造石比有膠殼的水淬熔岩人造石吸水率較低。
3. 由適量的水淬熔岩取代石粉，有助於水淬熔岩人造石抗壓強度的提昇。但水淬熔岩粒徑過大或水淬熔岩添加量過多時，造成品質不易控制，抗壓強度差異很大，其樹脂與水淬熔岩比例上限 1:4 時，品質比較穩定。
4. 經統計分析後，有無膠殼對抗拉強度並無顯著影響，不同樹脂與水淬熔岩比例對於抗拉強度有顯著影響，人造石其樹脂含量愈多，水淬熔岩或石粉含量愈少，其抗拉強度也較高。
5. 水淬熔岩人造石與白直紋人造石其莫氏硬度相似，在 6 級與 7 級之間，由於材質關係，外觀色澤完全不同。



6. 水淬熔岩人造石與白直紋人造石耐熱過程及軟化點溫度相當接近，約100°C就開始冒小氣泡，由於樹脂的關係，導致人造石的耐熱度不佳。
7. 由水淬熔岩人造石試驗結果，發現水淬熔岩具有取代天然石粉或天然石材粒料的潛力，而且性質無毒，仍保有人造石的基本特性，可配合政府零廢棄政策，成為環保建材。



5-2 建議

1. 本研究水淬熔岩試作於人造石的運用中，僅試作有膠殼人造石及無膠殼人造石，往後可考慮施作於人造崗石及人造文化石，讓資源再生更廣泛的運用。
2. 水淬熔岩的現況為黑褐色，色澤較不討喜。而水淬熔岩的著色處理，現階段處於研發與試作階段，並未開始量產，無法得到更具體的材質運用於人造石。
3. 本研究初步探討水淬熔岩取代人造石原料中的石粉及粒料材料，但影響人造石製作成本的原料為樹脂，建議資源再生的方向可朝樹脂原料資源化的生產，有助於人造石成本的控制。
4. 人造石耐熱度不佳樹脂是主因，建議人造石的原料-樹脂應改善現有的缺點，以利人造石的發展。
5. 人造石是由模具塑造而成，可塑性相當高，但由於缺乏產品創新研究，以致人造石受限於現有的產品，研究創新是所有產業的存活之道，建議要讓產品多樣化及行銷，才能再創人造石的榮景。

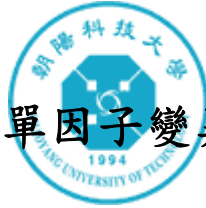


- 【1】 洪聰民、陳靖良，「高溫電漿熔融技術之發展應用」，第五屆兩岸核能學術交流研習會，台北市，2005年。
- 【2】 曾錦清，「台灣電漿岩化技術之開發與應用」，核能研究所報告 編號 INER-3262，2005年
- 【3】 鄭大偉、翁祖炘、朱瑾、曾錦清、杜志謙，「焚化灰渣電漿熔融之熔渣資源化技術與特性之研究」，第十八屆廢棄物處理技術論文集，中興大學、台灣台中 2003年。
- 【4】 曾錦清、李文成、洪聰民、鄭大偉，「焚化飛灰電漿熔融資源化處理技術介紹」，原子能委員會核能研究所研究報告 編號 INER-3001，2005年。
- 【5】 曾錦清，「電漿岩化技術之發展與應用」，核能研究所報告 編號 INER-3103，2004年。
- 【6】 朱清良、李明君，「水淬熔岩試作人造石委託技術服務計畫」，核能研究所期末報告，編號 NL941250，2005年。
- 【7】 鄭大偉，「電漿熔岩資源化產品的著色處理技術之研究」，編號 942001 INER-007，2005年。
- 【8】 郭晉延，「電漿水淬熔岩作為生態水泥之初步探討」，朝陽科技大學



營建工程系碩士論文，2007年。

- 【9】 台灣經濟發展研究院經智研究所，「人造石材之製造方法專利權侵害鑑定研究報告書」，2006年。
- 【10】 林國源，「企業核心能力與經營策略選擇之研究:以人造石產業為例」，成功大學企管系碩士論文，2005年。
- 【11】 光聯興業股份有限公司，「人造大理石系列」，桃園縣楊梅鎮，2008年。
- 【12】 葛瑞士國際人造石材股份有限公司，「產品系列」，台中縣大甲鎮，2008年。



附錄一 單因子變異數分析

附表 1-1

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 之粗細料比例的吸水率單因子變異數分析

| 無膠殼 A300/50 | 無膠殼 A250/100 | 無膠殼 A250/100 石粉 | 無膠殼 A225/125 | 無膠殼 A200/150 | 無膠殼 A175/175 |
|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0.678 | 0.426 | 0.548 | 0.472 | 0.423 | 0.384 |
| 0.592 | 0.527 | 0.506 | 0.481 | 0.323 | 0.355 |
| 0.569 | 0.483 | 0.541 | 0.418 | 0.346 | 0.378 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 0.135806 | 5 | 0.027161 | 15.50597 | 7.08E-05 | 3.105875 |
| 組內 | 0.02102 | 12 | 0.001752 | | | |
| 總和 | 0.156826 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的吸水率有顯著的影響。

附表 1-2

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 之粗細料比例的吸水率單因子變異數分析

| 有膠殼 S300/50 | 有膠殼 S250/100 | 有膠殼 S250/100 石粉 | 有膠殼 S225/125 | 有膠殼 S200/150 | 有膠殼 S175/175 |
|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.017 | 0.662 | 0.810 | 0.651 | 0.712 | 0.541 |
| 0.711 | 0.594 | 0.621 | 0.630 | 0.551 | 0.553 |
| 0.719 | 0.566 | 0.695 | 0.664 | 0.588 | 0.535 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 0.134945 | 5 | 0.026989 | 3.277073 | 0.042725 | 3.105875 |
| 組內 | 0.098829 | 12 | 0.008236 | | | |
| 總和 | 0.233774 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的吸水率有顯著的影響。



附表 1-3

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 之粗細料比例的吸水率單因子變異數分析

| 無膠殼 A400/0 | 無膠殼 A350/50 | 無膠殼 A350/50 石粉 | 無膠殼 A300/100 | 無膠殼 A250/150 | 無膠殼 A200/200 |
|---------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0.718 | 0.543 | 0.54 | 0.507 | 0.408 | 0.355 |
| 1.041 | 0.546 | 0.581 | 0.524 | 0.4 | 0.327 |
| 0.671 | 0.57 | 0.595 | 0.518 | 0.333 | 0.25 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 0.453452 | 5 | 0.09069 | 11.74339 | 0.000277 | 3.105875 |
| 組內 | 0.092672 | 12 | 0.007723 | | | |
| 總和 | 0.546124 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的吸水率有顯著的影響。

附表 1-4

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 之粗細料比例的吸水率單因子變異數分析

| 有膠殼 S400/0 | 有膠殼 S350/50 | 有膠殼 S350/50 石粉 | 有膠殼 S300/100 | 有膠殼 S250/150 | 有膠殼 S200/200 |
|---------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.893 | 1.320 | 0.795 | 0.452 | 0.646 | 0.636 |
| 1.112 | 1.018 | 0.700 | 0.483 | 0.711 | 0.644 |
| 1.338 | 0.996 | 0.769 | 0.600 | 0.903 | 0.537 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 1.850749 | 5 | 0.37015 | 9.905926 | 0.000613 | 3.105875 |
| 組內 | 0.448398 | 12 | 0.037367 | | | |
| 總和 | 2.299147 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的吸水率有顯著的影響。



附表 1-5

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 之粗細料比例的比重單因子變異數分析

| 無膠殼 A300/50 | 無膠殼 A250/100 | 無膠殼 A250/100 石粉 | 無膠殼 A225/125 | 無膠殼 A200/150 | 無膠殼 A175/175 |
|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.814 | 1.810 | 2.022 | 1.791 | 1.817 | 1.772 |
| 1.84 | 1.806 | 1.994 | 1.772 | 1.811 | 1.794 |
| 1.851 | 1.810 | 2.034 | 1.795 | 1.800 | 1.802 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 0.115912 | 5 | 0.023182 | 110.8909 | 1.29E-09 | 3.105875 |
| 組內 | 0.002509 | 12 | 0.000209 | | | |
| 總和 | 0.118421 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的比重有顯著的影響。

附表 1-6

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 之粗細料比例的比重單因子變異數分析

| 有膠殼 S300/50 | 有膠殼 S250/100 | 有膠殼 S250/100 石粉 | 有膠殼 S225/125 | 有膠殼 S200/150 | 有膠殼 S175/175 |
|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.847 | 1.839 | 1.960 | 1.828 | 1.834 | 1.804 |
| 1.851 | 1.848 | 1.970 | 1.834 | 1.848 | 1.816 |
| 1.871 | 1.840 | 1.987 | 1.843 | 1.859 | 1.844 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 0.045598 | 5 | 0.00912 | 54.10396 | 8.14E-08 | 3.105875 |
| 組內 | 0.002023 | 12 | 0.000169 | | | |
| 總和 | 0.04762 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的比重有顯著的影響。



附表 1-7

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 之粗細料比例的比重單因子變異數分析

| 無膠殼 A400/0 | 無膠殼 A350/50 | 無膠殼 A350/50 石粉 | 無膠殼 A300/100 | 無膠殼 A250/150 | 無膠殼 A200/200 |
|---------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.938 | 1.805 | 1.935 | 1.819 | 1.774 | 1.727 |
| 1.973 | 1.797 | 1.928 | 1.819 | 1.783 | 1.770 |
| 1.966 | 1.803 | 1.951 | 1.814 | 1.777 | 1.803 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 0.104696 | 5 | 0.020939 | 63.42036 | 3.29E-08 | 3.105875 |
| 組內 | 0.003962 | 12 | 0.00033 | | | |
| 總和 | 0.108658 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的比重有顯著的影響。

附表 1-8

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 之粗細料比例的比重單因子變異數分析

| 有膠殼 S400/0 | 有膠殼 S350/50 | 有膠殼 S350/50 石粉 | 有膠殼 S300/100 | 有膠殼 S250/150 | 有膠殼 S200/200 |
|---------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.976 | 1.928 | 1.951 | 1.845 | 1.835 | 1.823 |
| 1.976 | 1.934 | 1.953 | 1.846 | 1.830 | 1.841 |
| 1.993 | 1.922 | 1.935 | 1.854 | 1.842 | 1.877 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 0.057568 | 5 | 0.011514 | 66.02236 | 2.61E-08 | 3.105875 |
| 組內 | 0.002093 | 12 | 0.000174 | | | |
| 總和 | 0.059661 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的比重有顯著的影響。



附表 1-9

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 之粗細料比例的硬度單因子變異數分析

| 無膠殼 A300/50 | 無膠殼 A250/100 | 無膠殼 A250/100 石粉 | 無膠殼 A225/125 | 無膠殼 A200/150 | 無膠殼 A175/175 |
|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 86 | 84.000 | 83.000 | 87.000 | 87.000 | 87.000 |
| 86 | 86.000 | 85.000 | 87.000 | 89.000 | 88.000 |
| 85 | 87.000 | 85.000 | 87.000 | 87.000 | 87.000 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 24.27778 | 5 | 4.855556 | 5.141176 | 0.009458 | 3.105875 |
| 組內 | 11.33333 | 12 | 0.944444 | | | |
| 總和 | 35.61111 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的硬度有顯著的影響。

附表 1-10

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 之粗細料比例的硬度單因子變異數分析

| 有膠殼 S300/50 | 有膠殼 S250/100 | 有膠殼 S250/100 石粉 | 有膠殼 S225/125 | 有膠殼 S200/150 | 有膠殼 S175/175 |
|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 80 | 81.000 | 80.500 | 86.5 | 80.000 | 82.500 |
| 85 | 84.000 | 82.000 | 79.500 | 79.000 | 80.000 |
| 83.5 | 87.500 | 81.500 | 84.500 | 81.000 | 83.500 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 34.56944 | 5 | 6.913889 | 1.185238 | 0.372169 | 3.105875 |
| 組內 | 70 | 12 | 5.833333 | | | |
| 總和 | 104.5694 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 > 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的硬度並無顯著的影響。



附表 1-11

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 之粗細料比例的硬度單因子變異數分析

| 無膠殼 A400/0 | 無膠殼 A350/50 | 無膠殼 A350/50 石粉 | 無膠殼 A300/100 | 無膠殼 A250/150 | 無膠殼 A200/200 |
|---------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 83 | 86 | 84 | 86 | 85 | 86 |
| 83 | 86 | 83 | 84 | 88 | 88 |
| 81 | 86 | 84 | 86 | 87 | 89 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 58.27778 | 5 | 11.65556 | 9.121739 | 0.000892 | 3.105875 |
| 組內 | 15.33333 | 12 | 1.277778 | | | |
| 總和 | 73.61111 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的硬度有顯著的影響。

附表 1-12

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 之粗細料比例的硬度單因子變異數分析

| 有膠殼 S400/0 | 有膠殼 S350/50 | 有膠殼 S350/50 石粉 | 有膠殼 S300/100 | 有膠殼 S250/150 | 有膠殼 S200/200 |
|---------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 75.5 | 80.000 | 81.000 | 88.000 | 83.500 | 83.000 |
| 73 | 85.000 | 82.000 | 84.500 | 79.000 | 87.000 |
| 73.5 | 79.500 | 82.000 | 81.000 | 84.500 | 87.000 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 組間 | 249.7778 | 5 | 49.95556 | 7.992889 | 0.001598 | 3.105875 |
| 組內 | 75 | 12 | 6.25 | | | |
| 總和 | 324.7778 | 17 | | | | |

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的硬度有顯著的影響。



附錄二 雙因子變異數分析

附表 2-1

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 之有無膠殼與粗細料的吸水率雙因子變異數分析-重複試驗

| | 300/50 | 250/100 | 250/100 石粉 | 225/125 | 200/150 | 175/175 |
|-----|--------|---------|------------|---------|---------|---------|
| 無膠殼 | 0.678 | 0.426 | 0.548 | 0.472 | 0.423 | 0.384 |
| | 0.592 | 0.527 | 0.506 | 0.481 | 0.323 | 0.355 |
| | 0.569 | 0.483 | 0.541 | 0.418 | 0.346 | 0.378 |
| 有膠殼 | 1.017 | 0.662 | 0.810 | 0.651 | 0.712 | 0.541 |
| | 0.711 | 0.594 | 0.621 | 0.630 | 0.551 | 0.553 |
| | 0.719 | 0.566 | 0.695 | 0.664 | 0.588 | 0.535 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|-------|----------|-----|------------|----------|----------|----------|
| 有無膠殼 | 0.315469 | 1 | 0.31546944 | 63.17356 | 3.54E-08 | 4.259677 |
| 粗細料比例 | 0.258168 | 5 | 0.05163351 | 10.33974 | 2.23E-05 | 2.620654 |
| 交互作用 | 0.012584 | 5 | 0.00251684 | 0.504004 | 0.770247 | 2.620654 |
| 組內 | 0.119849 | 24 | 0.00499369 | | | |
| 總和 | 0.70607 | 35 | | | | |

因有無膠殼之 P 值 < 0.05 ，故有無膠殼對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的吸水率有顯著之影響。

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的吸水率有顯著之影響。



附表 2-2

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 之有無膠殼與粗細料的吸水率雙因子變異數分析-
重複試驗

| | 400/0 | 350/50 | 350/50 石粉 | 300/100 | 250/150 | 200/200 |
|-----|-------|--------|-----------|---------|---------|---------|
| 無膠殼 | 0.718 | 0.543 | 0.54 | 0.507 | 0.408 | 0.355 |
| | 1.041 | 0.546 | 0.581 | 0.524 | 0.4 | 0.327 |
| | 0.671 | 0.57 | 0.595 | 0.518 | 0.333 | 0.25 |
| 有膠殼 | 1.893 | 1.320 | 0.795 | 0.452 | 0.646 | 0.636 |
| | 1.112 | 1.018 | 0.700 | 0.483 | 0.711 | 0.644 |
| | 1.338 | 0.996 | 0.769 | 0.600 | 0.903 | 0.537 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|-------|----------|-----|------------|----------|----------|----------|
| 有無膠殼 | 1.042441 | 1 | 1.042441 | 46.23909 | 4.94E-07 | 4.259677 |
| 粗細料比例 | 1.879795 | 5 | 0.37595898 | 16.67624 | 3.99E-07 | 2.620654 |
| 交互作用 | 0.424406 | 5 | 0.08488113 | 3.765034 | 0.011701 | 2.620654 |
| 組內 | 0.54107 | 24 | 0.02254458 | | | |
| 總和 | 3.887712 | 35 | | | | |

因有無膠殼之 P 值 < 0.05 ，故有無膠殼對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的吸水率有顯著之影響。

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的吸水率有顯著之影響。



附表 2-3

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 之有無膠殼與粗細料的比重雙因子變異數分析-
重複試驗

| | 300/50 | 250/100 | 250/100 石粉 | 225/125 | 200/150 | 175/175 |
|-----|--------|---------|------------|---------|---------|---------|
| 無膠殼 | 1.814 | 1.810 | 2.022 | 1.791 | 1.817 | 1.772 |
| | 1.84 | 1.806 | 1.994 | 1.772 | 1.811 | 1.794 |
| | 1.851 | 1.810 | 2.034 | 1.795 | 1.800 | 1.802 |
| 有膠殼 | 1.847 | 1.839 | 1.960 | 1.828 | 1.834 | 1.804 |
| | 1.851 | 1.848 | 1.970 | 1.834 | 1.848 | 1.816 |
| | 1.871 | 1.840 | 1.987 | 1.843 | 1.859 | 1.844 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|-------|----------|-----|------------|----------|----------|----------|
| 有無膠殼 | 0.004182 | 1 | 0.00418178 | 22.14859 | 8.76E-05 | 4.259677 |
| 粗細料比例 | 0.153095 | 5 | 0.03061891 | 162.1717 | 1.11E-17 | 2.620654 |
| 交互作用 | 0.008415 | 5 | 0.00168298 | 8.913815 | 6.83E-05 | 2.620654 |
| 組內 | 0.004531 | 24 | 0.00018881 | | | |
| 總和 | 0.170223 | 35 | | | | |

因有無膠殼之 P 值 < 0.05 ，故有無膠殼對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的比重有顯著之影響。

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的比重有顯著之影響。



附表 2-4

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 之有無膠殼與粗細料的比重雙因子變異數分析-重複試驗

| | 400/0 | 350/50 | 350/50 石粉 | 300/100 | 250/150 | 200/200 |
|-----|-------|--------|-----------|---------|---------|---------|
| 無膠殼 | 1.938 | 1.805 | 1.935 | 1.819 | 1.774 | 1.727 |
| | 1.973 | 1.797 | 1.928 | 1.819 | 1.783 | 1.770 |
| | 1.966 | 1.803 | 1.951 | 1.814 | 1.777 | 1.803 |
| 有膠殼 | 1.976 | 1.928 | 1.951 | 1.845 | 1.835 | 1.823 |
| | 1.976 | 1.934 | 1.953 | 1.846 | 1.830 | 1.841 |
| | 1.993 | 1.922 | 1.935 | 1.854 | 1.842 | 1.877 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|-------|----------|-----|------------|----------|----------|----------|
| 有無膠殼 | 0.026623 | 1 | 0.02662336 | 105.5319 | 2.9E-10 | 4.259677 |
| 粗細料比例 | 0.147963 | 5 | 0.02959256 | 117.3015 | 4.67E-16 | 2.620654 |
| 交互作用 | 0.014301 | 5 | 0.00286029 | 11.33788 | 1.07E-05 | 2.620654 |
| 組內 | 0.006055 | 24 | 0.00025228 | | | |
| 總和 | 0.194942 | 35 | | | | |

因有無膠殼之 P 值 < 0.05 ，故有無膠殼對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的比重有顯著之影響。

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的比重有顯著之影響。



附表 2-5

樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 之有無膠殼與粗細料的硬度雙因子變異數分析-
重複試驗

| | 300/50 | 250/100 | 250/100 石粉 | 225/125 | 200/150 | 175/175 |
|-----|--------|---------|------------|---------|---------|---------|
| 無膠殼 | 86 | 84 | 83 | 87 | 87 | 87 |
| | 86 | 86 | 85 | 87 | 89 | 88 |
| | 85 | 87 | 85 | 87 | 87 | 87 |
| 有膠殼 | 80 | 81 | 80.5 | 86.5 | 80 | 82.5 |
| | 85 | 84 | 82 | 79.5 | 79 | 80 |
| | 83.5 | 87.5 | 81.5 | 84.5 | 81 | 83.5 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|-------|----------|-----|------------|----------|----------|----------|
| 有無膠殼 | 142.0069 | 1 | 142.006944 | 41.90369 | 1.08E-06 | 4.259677 |
| 粗細料比例 | 22.72917 | 5 | 4.54583333 | 1.341393 | 0.281002 | 2.620654 |
| 交互作用 | 36.11806 | 5 | 7.22361111 | 2.131557 | 0.096212 | 2.620654 |
| 組內 | 81.33333 | 24 | 3.38888889 | | | |
| 總和 | 282.1875 | 35 | | | | |

因有無膠殼之 P 值 < 0.05 ，故有無膠殼對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的硬度有顯著之影響。

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 > 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:3.5 的硬度並無顯著之影響。



附表 2-6

樹脂與水淬熔岩比例 1:4 之有無膠殼與粗細料的硬度雙因子變異數分析-重複試驗

| | 400/0 | 350/50 | 350/50 石粉 | 300/100 | 250/150 | 200/200 |
|-----|-------|--------|-----------|---------|---------|---------|
| 無膠殼 | 83 | 86 | 84 | 86 | 85 | 86 |
| | 83 | 86 | 83 | 84 | 88 | 88 |
| | 81 | 86 | 84 | 86 | 87 | 89 |
| 有膠殼 | 75.5 | 80 | 81 | 88 | 83.5 | 83 |
| | 73 | 85 | 82 | 84.5 | 79 | 87 |
| | 73.5 | 79.5 | 82 | 81 | 84.5 | 87 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|-------|----------|-----|------------|----------|----------|----------|
| 有無膠殼 | 121 | 1 | 121 | 32.1476 | 7.71E-06 | 4.259677 |
| 粗細料比例 | 253.3056 | 5 | 50.6611111 | 13.45978 | 2.6E-06 | 2.620654 |
| 交互作用 | 54.75 | 5 | 10.95 | 2.909225 | 0.034275 | 2.620654 |
| 組內 | 90.33333 | 24 | 3.76388889 | | | |
| 總和 | 519.3889 | 35 | | | | |

因有無膠殼之 P 值 < 0.05 ，故有無膠殼對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的硬度有顯著之影響。

因水淬熔岩粗細料比例之 P 值 < 0.05 ，故粗細料比例對水淬熔岩人造石樹脂與水淬熔岩比例 1:4 的硬度有顯著之影響。



附表 2-7

樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5、1:4、1:3.5 與有無膠殼的抗壓強度雙因子變異數分析-重複試驗

| | | | |
|-----|---------|---------|---------|
| | 225/225 | 200/200 | 175/175 |
| 無膠殼 | 92.108 | 104.235 | 98.35 |
| | 97.51 | 105.078 | 98.712 |
| | 98.559 | 104.696 | 103.28 |
| 有膠殼 | 47.194 | 114.314 | 106.961 |
| | 50.676 | 106.961 | 108.417 |
| | 46.714 | 107.941 | 109.873 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|---------------|----------|-----|------------|----------|----------|----------|
| 有無膠殼 | 594.8605 | 1 | 594.860529 | 84.08484 | 9.06E-07 | 4.747225 |
| 樹脂與水淬 熔岩比例 | 4543.898 | 2 | 2271.94897 | 321.145 | 3.81E-11 | 3.885294 |
| 交互作用 | 2983.583 | 2 | 1491.79147 | 210.868 | 4.48E-10 | 3.885294 |
| 組內 | 84.89433 | 12 | 7.0745275 | | | |
| 總和 | 8207.236 | 17 | | | | |

因有無膠殼之 P 值 < 0.05 ，故有無膠殼對抗壓強度有顯著之影響。

因樹脂與水淬熔岩比例之 P 值 < 0.05 ，故當水淬熔岩粗細比例 1:1 時，樹脂與水淬熔岩的比例 1:4.5、1:4、1:3.5 對抗壓強度有顯著影響。



附表 2-8

樹脂與水淬熔岩比例 1:4.5、1:4、1:3.5 與有無膠殼的抗拉強度雙因子變異數分析-重複試驗

| | 225/225 | 200/200 | 175/175 |
|-----|---------|---------|---------|
| 無膠殼 | 3.653 | 11.689 | 17.169 |
| | 6.21 | 17.899 | 16.246 |
| | 4.255 | 16.07 | 13.516 |
| 有膠殼 | 9.804 | 12.055 | 12.42 |
| | 13.15 | 12.055 | 14.246 |
| | 12.055 | 12.785 | 9.863 |

ANOVA

| 變源 | SS | 自由度 | MS | F | P-值 | 臨界值 |
|---------------|----------|-----|----------|----------|----------|----------|
| 有無膠殼 | 0.165504 | 1 | 0.165504 | 0.042231 | 0.840625 | 4.747225 |
| 樹脂與水淬 熔岩比例 | 127.6042 | 2 | 63.80208 | 16.28006 | 0.000381 | 3.885294 |
| 交互作用 | 103.4054 | 2 | 51.70272 | 13.19272 | 0.000933 | 3.885294 |
| 組內 | 47.02839 | 12 | 3.919033 | | | |
| 總和 | 278.2035 | 17 | | | | |

因有無膠殼之 P 值 > 0.05 ，故有無膠殼對抗拉強度並無顯著之影響。

因樹脂與水淬熔岩比例之 P 值 < 0.05 ，故當水淬熔岩粗細比例 1:1 時，樹脂與水淬熔岩的比例 1:4.5、1:4、1:3.5 對抗拉強度有顯著影響。