

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

032913

全光面花崗石新式拋光系統研究開發

學校名稱：臺北市立天母國民中學

作者： 國二 陳加恩 國二 楊麒勳	指導老師： 王禮章 羅文杰
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：花崗石、表面處理、研磨

摘要

針對現行石材養護業界以「物理性研磨」工法施工，耗時且不易取得高光澤之窘境，以「化學機械研磨法」為改善的策略，發展適合花崗石高光澤拋光用之拋光粉，研究過程：

1. 自石材文獻、石材養護藥劑資料安全表等資料，找出可能成份因子，分別進行研究及實驗。
2. 自十一個可能成份因子擷取七個要因(factor)成分。
3. 經由實驗找出最佳的花崗石物化性拋光組合配方。

本配方經實地驗證印度黑花崗石（富含 SiO_2 70% 以上）拋光，拋出 90 度以上光澤所耗費時間僅為傳統工法的 1/12，加施做晶化劑 1 分鐘內即可將光澤達到 100 度上下，施作平臺由上噸機臺可減輕至數十斤之手執研磨機。

壹、研究動機

2004 年義大利 Comenius University 有 Dr. Daniel Pivko 發表過 "The world's most popular granites" 文章提及約 150 種花崗石被運用到人類生活中當建材、石雕材、量床平台等。近年花崗石使用量大幅躍升，其中最大的運用量是在建材方面。相較於大理石，花崗石紋理及色澤雖沒有那麼多變化，但花崗石質地堅硬、耐磨損、抗化性等優異性能則非大理石所可比擬，因此花崗石有被廣泛運用於建築大樓、公共工程等室內外公共空間之趨勢。




近年公共空間地坪為提升花崗石裝飾質感及降低行李拖拉噪音，採用無接縫研磨法 (Seamless treatment methodology, STM) 做地坪裝置、另為維護裝置後花崗石日常光色澤水準，在其養護工序所需藥劑上延生了龐大生活化學品商機。花崗石為富含二氧化矽成分材質(*除氫氟酸、矽酸化物外二氧化矽並不易與其他物質起化學反應)，不容易利用化學性拋光法達拋光效果。因此目前國際開發之拋光粉(或膏)大多以物理性物質為拋光內涵。唯業界在應用上現行物理性拋光粉卻費時費工且平均光澤也困難達標 90 度；有很大改善空間。由此我們延續前年研究專題「全光面大理石新式拋光膏(粉)研究發展」，進行花崗石拋光粉(膏)的研究及開發。試圖為業界開發更友善操作、效率之花崗石新式拋光系統。

貳、研究目的



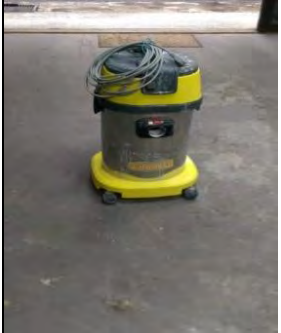



- 一、實地了解工廠全光面花崗石大板拋光工法，及其操作缺點限制。
- 二、研究大理石新式拋光膏(粉)配方各成分因子對花崗石拋光個別貢獻。
- 三、發展新式花崗石拋光膏(粉)配方，提升施工速度，提高花崗石表面光澤度。

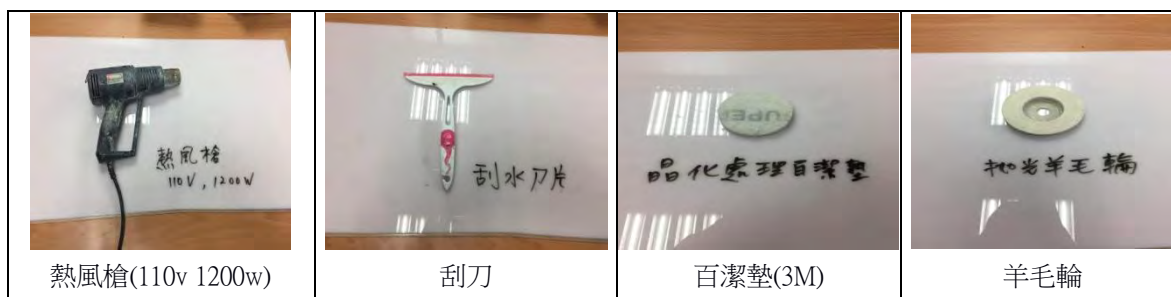
參、研究設備及器材

一、實驗材料

草酸	草酸鈉	草酸鉀	正矽酸鈉	氧化鋁粉	碳化矽 3000#
碳化矽 8000#	矽酸氟化鎂	稀土銻	稀土鐳銻鏽	二氧化錫	
					
印度黑花崗石石板 60*60cm ²	翡翠玉大理石石板 60*60cm ²	印度黑花崗石石板 15*15cm ²			

二、實驗器材

			
手提式研磨機 220V 50HZ 1600W 六段變速	手提式研磨機 220V 50HZ 800W 無段定速	研磨機	吸塵器
			
鑽石硬質磨片 #50~#3000	測光儀	pH 計&石蕊試紙	霧狀噴水壺



肆、研究過程與方法

一、基礎理論整理

(一)**莫氏硬度(Moh's Hardness)**：莫氏硬度廣泛普遍應用於量測礦物軟硬度。其數值由小到大區分 10 級

硬度等級	代表性礦物	主要化學成份
1	滑石	$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$
2	石膏	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
3	方解石	$CaCO_3$
4	螢石	CaF_2
5	磷灰石	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$
6	正長石	$K(AlSi_3O_8)$
7	石英	SiO_2
8	黃玉	$Al_2(SiO_4)(F,OH)_2$
9	剛玉	Al_2O_3
10	金剛石	C

(二)**商業用花崗石基礎性成分**：

- 花崗石**：為火成岩，主要成分為 SiO_2 (一般為 35%以上)，質地堅硬(有些石種硬度可高達莫氏 6.5)，其他含量還有 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 Fe_2O_3 ，微量成分如 MgO 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 MnO 等。
- 印度黑花崗石**：印度黑(Granite Indian Black) 被大量運用於建物公共空間地坪，為目前產業界公認最難拋光的石材，亦是養護業界公認最困難回復工廠拋光水準的石材。本次研究試片對象即為印度黑花崗石。

印度黑花崗石成分分析表

成分	二氧化矽	氧化鋁	氧化鐵	氧化鎂	氧化鈣	氧化鉀	氧化鈉	氧化鈦	氧化錳	氧化磷	燒失量	總量
含量 %	72.04	14.42	1.68	0.71	1.82	4.12	3.69	0.30	0.05	0.12	餘量	100.

(三)國際對花崗石養護工程拋光藥劑開發及應用情形：為因應現場（指安裝後 場所）花崗石研磨後光澤度產出需求，國外花崗石專用拋光粉、拋光膏、翻新漿等已行之有年。近年又有結晶光澤劑等拋光產品開發提供使用。但所產生之拋光產品大都以物理性拋光為主、產出光澤度一般很難達到 90 度以上水準。

(四)石材光澤度與量測依據(光澤度測量原理)：依據 CNS7773-Z8023” 光澤度測量方法。”

1.光澤度：板材表面對可見光反射的程度，呈現出之數值大小即為光澤度。

2.受光角：受光器系統之光軸與試樣面法線所成之夾角。

3.九點測試法：依據 CNS14447-M3209” 天然飾面石材表面光澤度測定法” 實施量測。

(五)工廠全光面花崗石大板拋光作法：大板工廠靠抽取地下大量水源進行水磨程序如下所述。以#50=>#150=>#300=>#500=>#1000=>#2000=>#3000 水磨片逐番水磨=>特製、特細磨料的 buff 緩衝片。依石種成分通常可拋出 80 以上光澤度，甚至高達 100 度上下清亮光澤水準(部分花崗石石種礙於結構較不緻密、吸水率高者在工廠很難於拋出高於 80 以上平均光度)。

現場養護工程，因機台比較工廠輕省許多，加上排水、廢水等處理不易，以物理性拋光法施工，有其侷限，很難產生倆好光澤度，又必須付出更多拋光所需人力、時間及資源。

(六)實驗設計法(Experimental Design Methodology, EDM)及 Prato chart(柏拉圖)分析要因法：

所謂 EDM 試利用重複性與隨機性，使特定因子以外之其他未之因素影響，相互抵消，以淨化特定因素以外的影響效果，而能提昇分析結果精確度的一種統計應用。本專題應用即是將影響花崗石拋光的可能因子，規畫逐項探討反映可能性、測試個別成分貢獻度，再利用” Statistics” 軟體中 Prato chart(柏拉圖)分析要因(Factor)，做出實驗設計表，設定實驗組合找出最佳成分配方。

二、研究設計流程

步驟一：量測花崗石工廠試片平均光澤水準(比對試片)：

- 1.依據 CNS7773-Z8023”光澤度測量方法”及 CNS14447-M3209”天然飾面石材表面光澤度測定法”實施量測。
- 2.對 15*15cm²全光面印度黑試片，以校正片 91 度 KW 測光儀石施 9 點量測並紀錄。
- 3.將 9 點量測結果，求其平均光澤度以利後續比對之用。

步驟二：蒐整國內外相關文獻獲整可能影響因子類表：

- 1.從礦物專業書籍、化工專業辭典、經濟部石材發展中心(SIDC)出刊花崗石圖鑑等文獻中彙整影響花崗石拋光粉成分可能因子類表。
- 2.國際石材養護藥劑供應商資料安全表(MSDS)、中國國家科學院有關編撰花崗石成分分析表、國內相關論文等文獻中彙整影響花崗石拋光粉成分可能因子類表。

步驟三：試片編號、將原全光面板水磨降光並量測均光澤水準整理成表以備比對：

- 1.以 220V 手動角磨機模擬工廠以鑽石水磨片由粗到細逐番號研磨至待拋光前光澤(完成降光程序)。
- 2.依步驟一量測並紀錄、求其平均光澤度。

步驟四：使用類表項目逐一拋光測試其個別成分對石材光澤貢獻程度：

- 1.將步驟二蒐集彙整成類表的各成分，設想為單一成份拋光粉對完成步驟三降光後編號試片實施拋光。
- 2.對拋光後試片量測各點光澤。
- 3.紀錄其最高、最低光澤度及其平均光澤度並計算其光澤貢獻情形。

步驟五：運用柏拉圖及相關學理檢討、選擇、過濾篩選影響拋光要因，擬出實驗設計表

- 1.利用步驟四結果，柏拉圖分析要因法及蒐整文獻中檢討、分析影響因子。
- 2.由中篩選出七個要因以利步驟六之安排運用。

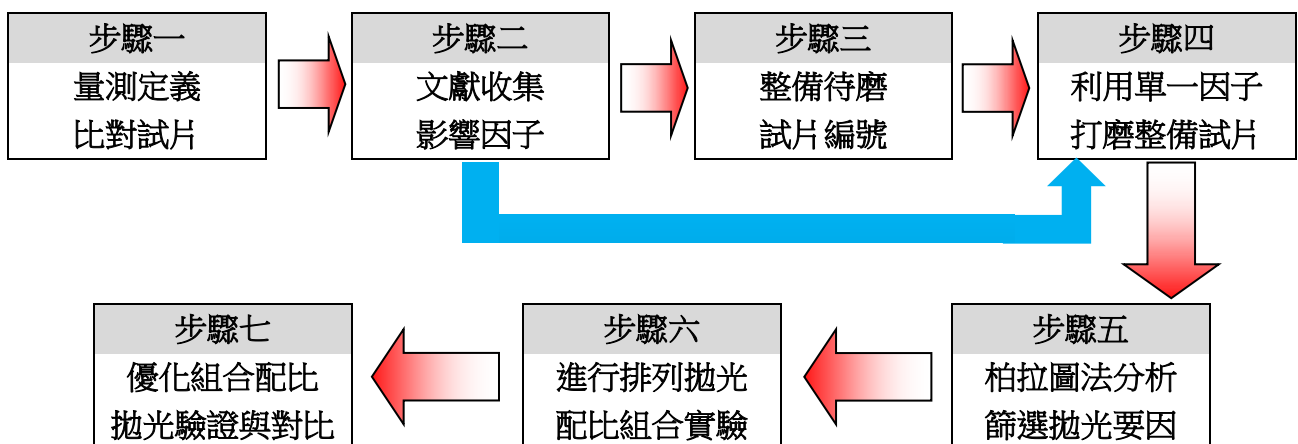
步驟六：依實驗設計表進行排列組合實驗：

- 1.製定二水準(lever)七因子實驗設計表，實驗次數決定為 8 次。[$R_n=2^{(7-4)}=8$]
- 2.將 8 次配比排列組合配方分別對降光澤之試片拋光，量測各點光澤。
- 3.拋光結果紀錄其最高、最低光澤度及其最後平均光澤度以為比較分析用。

步驟七：驗證與對比

- 1.選擇最優組合配比模擬養護工程現況：將花崗石石板 15*15cm² 試片改為 60*60cm² 大試片，以最優組合配比拋光粉拋光 5 分鐘，量測各點光澤，求其平均光澤度。
- 2.與國際知名廠牌花崗石拋光粉(義大利、法國、中國)以同大小試片(15*15cm² 試片)、採同工法與設計表實驗最優組進行交叉比對。其效果作為成效評論之依據。
- 3.模擬養護工程現況，對 60*60cm² 翡翠玉大理石大試片拋光，驗證施工時間是否符合養護業者實況操作需求。

研究設計流程表

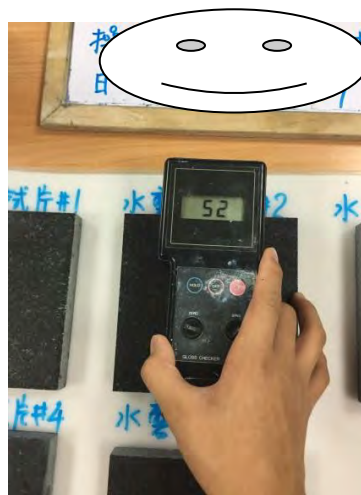


三、實驗操作過程

(一)標準對比試片光澤測試照片。



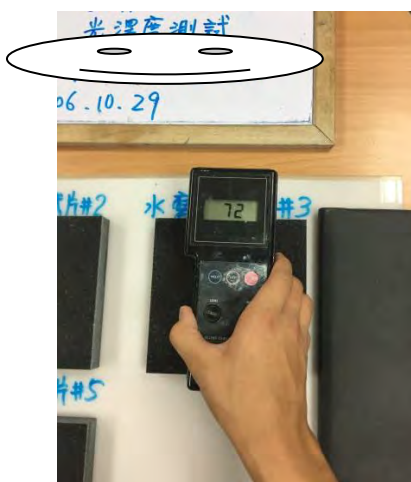
工廠對照試片



試片 2



試片 1



試片 3



試片 4



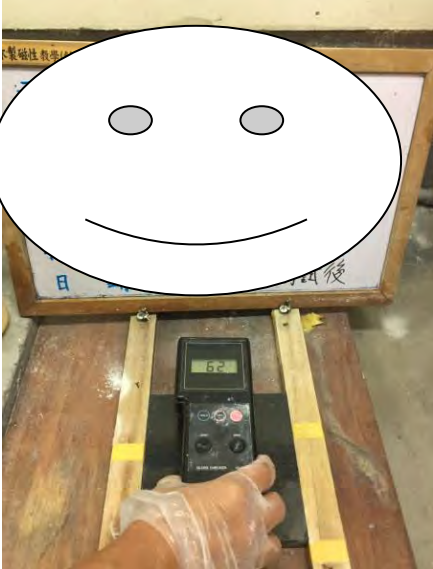
試片 5

(二)單一成分對試片拋光貢獻度測試照片。

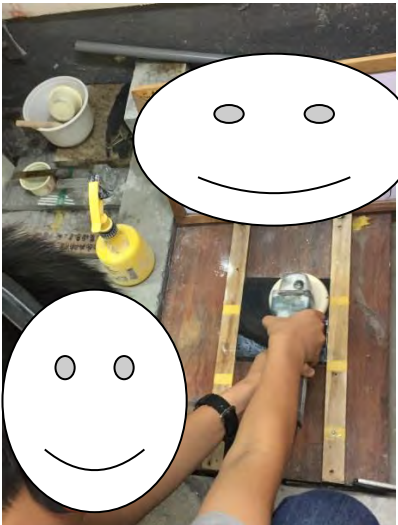
二氧化錫



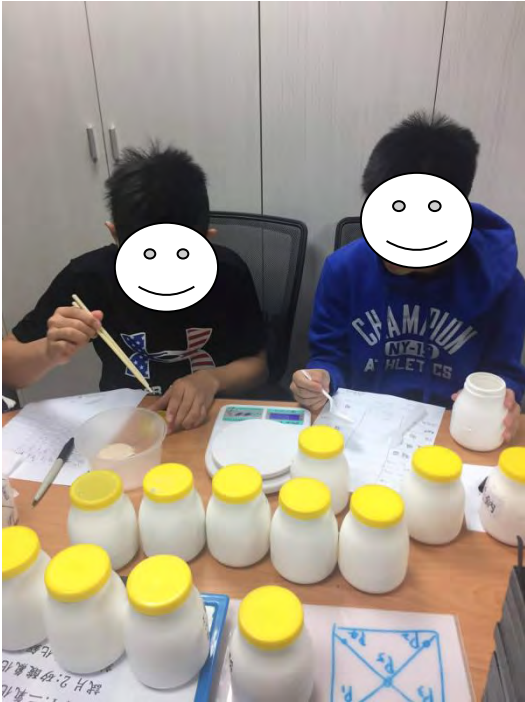
矽酸氟化鎂



氧化鋁粉



(三)依據實驗設計法調配藥粉照片。



(四)R2 配方大試片驗證照片。



(五)大理石、花崗石大試片速度比對驗證照片。



(六)實驗設計法實驗次序測試照片

Design:2^(7-4) design(1 片/次，測五點得平均值)							
因子 次序	正矽酸鈉	草酸鉀	二氧化錫	氧化鋁粉	稀土 (錯鉍鑷)	草酸	矽酸 氟化鎂
R.1	+1 12.05	+1 15.21	+1 15.01	+1 17.39	+1 14.62	+1 12.84	+1 12.84
R.2	+1 12.05	+1 15.21	-1 15.26	+1 17.39	-1 15.26	-1 10.47	-1 13.43
R.3	+1 12.05	-1 14.80	+1 15.01	-1 18.90	+1 14.62	-1 10.47	-1 13.43
R.4	+1 12.05	-1 14.80	-1 15.26	-1 18.90	-1 15.26	+1 12.84	+1 12.84
R.5	-1 11.84	+1 15.21	+1 15.01	-1 18.90	-1 15.26	+1 12.84	-1 13.43
R.6	-1 11.84	+1 15.21	-1 15.26	-1 18.90	+1 14.62	-1 10.47	+1 12.84
R.7	-1 11.84	-1 14.80	+1 15.01	+1 17.39	-1 15.26	-1 10.47	+1 12.84
R.8	-1 11.84	-1 14.80	-1 15.26	+1 17.39	+1 14.62	+1 12.84	-1 13.43

伍、研究結果

步驟一：量測花崗石工廠試片平均光澤水準(比對試片)

全光面印度黑 15*15cm 工廠標準式片光澤量測紀錄									
光澤點	1	2	3	4	5	6	7	8	9
光澤度	90	89	88	91	95	97	90	91	93
平均光澤度	92 度								

步驟二：蒐整國內外相關文獻獲整可能影響因子類表

可能因子	化學式	蒐整原由	相關文獻
草酸	$C_2H_2O_4$	可能產生化學性貢獻	礦物學報
草酸鉀	$K_2C_2O_4$	可能產生化學性貢獻	應用化學辭典
草酸鈉	$Na_2C_2O_4$	可能產生化學性貢獻	應用化學辭典
正矽酸鈉	Na_2SiO_3	可能產生化學性貢獻	礦物學報
氧化鋁粉	Al_2O_3	可能產生物理性貢獻	MSDS,M3 -Technology,Inc
矽酸氟化鎂	F_6MgSiO_3	可能產生化學性貢獻	應用化學辭典
碳化矽 3000#	SiC3000#	可能產生物理性貢獻	應用化學辭典
碳化矽 8000#	SiC8000#	可能產生物理性貢獻	應用化學辭典
稀土銻	CeO	可能產生催化性貢獻	應用生態學報
稀土鐳銻鐳	La.Ce.Pr-oxide	可能產生催化性貢獻	應用生態學報
二氧化錫	SnO_2	可能產生物化性貢獻	MSDS,-Laticrete,Co

步驟三：試片編號、將原全光面板水磨降光並量測均光澤水準整理成表以備比對

試片編號	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
影響因子	二氧化錫	矽酸氟化鎂	氧化鋁粉	碳化矽3000	碳化矽8000	稀土銻	稀土鐳銻鐳	草酸鉀	草酸鈉	草酸	正矽酸鈉
降光光澤	51	53	60	47	55	51	64	67	50	52	51

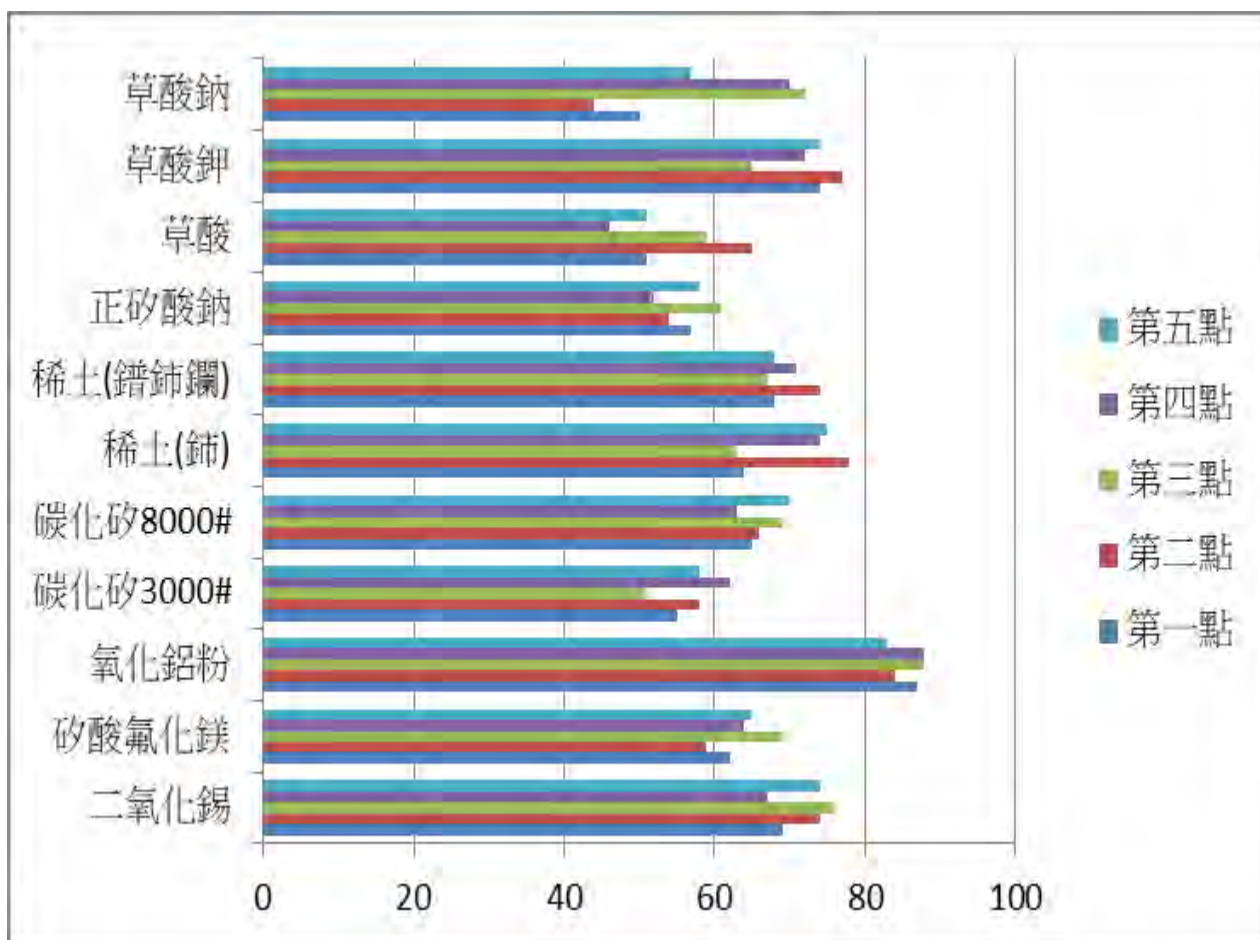
步驟四：使用類表項目逐一拋光測試其個別成分對石材光澤貢獻程度

試片編號	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
影響因子	二氧化錫	矽酸氟化鎂	氧化鋁粉	碳化矽#3000	碳化矽#8000	稀土銻	稀土鐳銻鏷	草酸鉀	草酸鈉	草酸	正矽酸鈉
降光光澤	51	53	60	47	55	51	64	67	50	52	51
拋光光澤	72	64	86	57	67	71	70	72	59	54	56
光澤貢獻度	21	9	26	10	12	20	6	5	9	2	5
貢獻屬性	物化性	化學性	物理性	物理性	物理性	催化性	催化性	化學性	化學性	化學性	化學性

*決策考量採拋光光澤優於光澤貢獻度，但卻不摒棄後者參考價值

步驟五：運用柏拉圖及相關學理檢討、選擇、過濾篩選影響拋光要因，擬出實驗設計表

1.單一成分對光澤之影響程度



由柏拉圖先優篩選氧化鋁粉為最重要物理性影響因子。

2.再續從相關文獻逐一探討、過濾、篩選其他六因子(原因分析儒表)併成七要因成分表

項次	要因成分	化學式	性能貢獻 區分	要因選取分析
1	草酸	$C_2H_2O_4$	化學性	花崗石含有與大理石相類似成分。延續前年專題研究成果確定草酸為拋光必備重要諸元。
2	稀土鏷銻鏷	Pr/Ce/La-oxide	催化性	柏拉圖要因分析雖不比稀土銻顯著但考量鏷銻鏷稀土涵蓋稀土銻且可能具複合催化作用，因此選取作為要因。
3	草酸鉀	$K_2C_2O_4$	化學性	花崗石仍含有與大理石相類似成分。草酸鉀與草酸鈉為拋光重要諸元、可擇其一。另柏拉圖要因分析草酸鉀平均光澤度明顯優於草酸鈉，可優選取作為要因。
4	矽酸氟化鎂	F_6MgSiO_3	化學性	矽酸氟化物為少數可與二氧化矽產生化學反應之化學成分且其柏拉圖要因分析居中，因此矽酸氟化鎂可選取作為要因。
5	矽酸鈉	Na_2SiO_3	化學性	花崗石含有與大理石相類似成分。延續前年專題研究成果確定矽酸鈉為拋光必備重要諸元。
6	氧化鋁	Al_2O_3	物理性	Al_2O_3 為剛玉構成份莫式硬度 7 可有效克服花崗石二氧化矽成分硬度且柏拉圖要因分析最為明顯可選取作為要因。
7	二氧化錫	SnO_2	具物理化學性	具良好磨潤性、柏拉圖要因分析明顯可、M3、Lat 等 MSDS 均列視為重要成分可選取作為要因。

3.七要因貢獻權重

項次	要因成分	光澤	光澤	各點 平均值	權重分佈(%)		正規化值(*10 轉化為重量 g)	
		最低值	最高值		低	高	低	高
1	矽酸鈉	52	61	56	11.8	12.1	118	121
2	稀土鐳銻鏷	68	74	70	14.8	15.2	148	152
3	草酸鉀	65	72	77	14.8	15.2	148	152
4	矽酸氟化鎂	59	69	64	12.9	14.2	129	142
5	草酸	46	65	54	10.0	13.4	100	134
6	氧化鋁粉	83	88	86	18.0	18.1	180	181
7	二氧化錫	67	76	72	14.6	15.6	146	156
	光澤總貢獻	459	486	479				

4.二水準七要因實驗設計表

試劑因子 實驗序	正矽酸鈉	稀土鐳銻鏷	草酸鉀	矽酸氟化鎂	草酸	氧化鋁粉	二氧化錫	實驗響應結果 (RESPONSE)
R1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
R2	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	
R3	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	
R4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	
R5	-1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	
R6	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	
R7	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	
R8	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	

步驟六：依實驗設計表進行排列組合實驗結果(每一試片五分鐘)

試劑因子 實驗序	正矽酸鈉	稀土鐳銻鏽	草酸鉀	矽酸氟化鎂	草酸	氧化鋁粉	二氧化錫	實驗響應結果 (平均光澤度)
R1	12.05	14.62	15.21	12.84	12.84	17.39	15.01	82
R2	12.05	15.26	15.21	13.43	10.47	17.39	15.26	93
R3	12.05	14.62	14.80	13.43	10.47	17.39	15.26	85
R4	12.05	15.26	14.80	12.84	12.84	18.90	15.26	84
R5	11.84	15.26	14.80	13.43	12.84	18.90	15.01	72
R6	11.84	14.62	15.21	12.84	10.47	18.90	15.26	88
R7	11.84	15.26	14.80	12.84	10.47	17.39	15.01	86
R8	11.84	14.62	14.80	12.84	12.84	17.39	15.26	85

步驟七：最優組合配比 R2 與各國產製拋光粉比較後並模擬養護工程現況進行驗證

1.60*60cm² 印度黑花崗石石板試片，拋光時間為 5 分鐘平均光澤高達 93 度(4hp、220V 單軸左轉 Klindex 研磨機)。

2.R2 配比與義大利、法國、中國品牌以 15*15cm 試片拋光比對結果：

廠牌	產地	最低光澤度	最高光澤度	平均光澤度	拋光時間
M*.	義大利	63	91	78	5 分鐘
ABRA**.	法國	78	83	82	
香*.	中國	61	80	72	
R2 成分組合		91	94	93	

3.與 60*60cm 同尺寸翡翠玉大理石，驗證拋光速度呈現情形。

石材名稱	水磨降光 平均光澤	拋光使 用時間	最高 光澤	最低 光澤	平均 光澤	一分鐘晶化最後平均光澤 成果(使用矽樹脂中性晶化劑)
印度黑花崗石	52 度	5 分鐘	95	90	93	100 度
翡翠玉大理石	47 度	2 分鐘	97	93	95	99 度

陸、討 論

- 一、就光澤而言一般市售的花崗石拋光粉，不容易形成 85 度以上的平均光澤度，操作過程耗時費力。
- 二、就速度而言，以 60*60cm 印度黑板材模擬現場保養景況，水磨#3000 號測平均光澤度 52 度、以 4Hp 馬力左轉研磨機用本科展開發的拋光粉試作拋光，僅需要五分鐘即可達到平均 93 度光澤相較市售國外進口商品至少快 20 分鐘。
- 三、與矽樹脂的晶化劑搭配使用，測試本拋光粉第一時間拋光後在加施做矽樹脂一分鐘內即可將光澤達到 100 度上下完成新式拋光系統開發構想。
- 四、一般研磨拋光花崗石，要達成理想水準，研磨機至少要 150 公斤以上，但測試本拋光粉性能僅以 4 匹馬力的 Klindex 左轉機加配重盤，總重約 70 公斤，即可拋光出 90 度以上高光澤度，破解花崗石必須使用鈍重機台方能施作養護之迷思。
- 五、稀土素來有”材料維他命”之稱，已知共有十七元素其運用甚為廣泛，本次選用單一銻稀土及銻銻鏷複方稀土做基礎測試與評估，但對兩者並未更深入探討，而僅考量後者工能涵蓋前者直覺式選擇銻銻鏷複方稀土作為要因配方，雖慶幸獲得良好成效，就科學研究而言後續將另行測試研究二者個別參入配方對光澤成效差異性。
- 六、花崗石種類繁多、成分變化複雜，就同一配方拋光而言，無法適用於所有花崗石，因此另將規劃白色、紅色、淺色系列石材針對性開發專屬型石材拋光系統。
- 七、本次專題研究雖有相當成效但在原料選用卻未將使用成分原料成本列入考量，未來將善用相關統計方法與軟體配合更精進實驗設計找出成品成效與製作成品成本整合之最佳化 (Integrate Optimization System) 系統。

柒、結 論

- 一、 大板工廠靠抽取地下大量水源進行水磨程序，因機台鈍重、供水、排水、廢水處理等因素配合，因此物理性拋光法並無窒礙。但養護工程，因機台比較工廠輕省許多，加上排水、廢水等處理不易，以物理性拋光法施工，有其侷限，很難產生倆好光澤度，又必須付出更多拋光所需人力、時間及資源。
- 二、 本研究結合物理性、化學性、催化性拋光物質，創新花崗石拋光系統。有別于傳統養護工程僅侷限物理性拋光，發現拋光速度大大提升(費時約為傳統工法的 1/12)；拋光後的光澤度為 93 度(5 分鐘)，遠高於國際各品牌(85 度以下)。
- 三、 以大理石新式拋光膏(粉)配方各成分因子對花崗石拋光個別貢獻，依物理性、化學性、催化性分別取氧化鋁(物理性)、二氧化錫(物化性)、草酸(化學性)、草酸鉀(化學性)、矽酸氟化鎂(化學性)、矽酸鈉(化學性)、稀土鐳鈾鐳(催化性)為要因，進行配方比對實驗，找出最適宜之組合。
- 四、 花崗石石材被開採、運用已達一、二千種。在工廠以相同機台，相同研磨程序，所得拋光結果也不盡相同，通常從 50 度到 100 度上下均有，差異性極大。本次以印度黑花崗石為標的，其商業運用超過 50 年，硬度非常堅硬，是養護業界公認最難拋光的石種，有其代表性意義。
- 五、 本課題引用實驗設計法七因子二水準單目標響應結果(response)表化繁為簡，就單目標”光澤度”而言確已獲得良好開發成果。但如同時考量原料成本、色澤等多目標響應結果則需導入七因子三水準多目標響應結果表。有關本研究後續商品化將另行研討。
- 六、 專題中引用七因子作為最後成分配方。整個研究過程均著墨於響應結果(及光澤度)，對於化學成份間真正反應機制、學理的研究並未加探討，有關這方面論證研究需仰賴 ICP、GCMS、SEM、XRD 等精密貴儀協助觀察、分析，將留置後續結合相關機構深入研究，以達更深、更完整、更合科學之研究目標。

參考資料

- 1.朱宣"應用化學辭典,"宏業書局印行(1970)。
- 2.陳瑞和、張一屏"實驗設計及響應曲面方法最佳化分析整合模式運用於武器零件設計與製程改善之研究,"中正理工學院兵器系統工程研究所碩士學位論文(中華民國 88 年 5 月 4 日)
- 3.汪仁官、陳榮昭"實驗設計與分析,"中國統計出版社發行(1995)
- 4.Douglas C. Montgomery "Design and Analysis of Experiments,"華泰書局發行(中華民國 69 年)
- 5.侯建華、胡雲林"石材清洗、防護、黏接與深加工,"化學工業出版社發行(2005)
- 6."STATISTICA,"台灣統軟顧問有限公司發行(1995)
- 7.潘國樑"工程地質學導論,"科技圖書股份有限公司發行(中華民國 96 年 9 月)
- 8.Dr.Daniel Pivko"THE WORLD' S MOST POPULAR GRANITES,"Comenius University, Faculty of Natural Science 發行(2004)
- 9."花崗石石材,"經濟部標準檢驗局印行(中華民國 89 年 7 月 29 日)
- 10."光澤度測量方法,"經濟部中央標準局印行(中華民國 70 年 7 月 20 日)
- 11."天然飾面石材表面光澤度測定法," 經濟部標準檢驗局印行(中華民國 89 年 7 月 29 日)
- 12.林志朋、溫紹炳"大理石材之化學機械研磨(CMP)性質研究,"國立成功大學資源工程系(民國 87 年 9 月)
- 13."Rare Earth Technology Alliance,"2013-2017 American Chemistry Council (<http://www.americanchemistry.com>) (2013-2017 綜合發行)
- 14.石材圖鑑(2004 年經濟部石材發展中心編撰)
- 15.ECOLAB CO."STONEMEDIC MPP MARBLE POLSHING POWDER,MSDS,(2016 下載)
- 16.STONE PRO CO." 5X POWDER - Marble Polishing Powder,MSDS,(2016 下載)
- 17.中國國家科學院編印"花崗石編碼寄物化性分析明細表" (2010 年版)
- 18.CNS 天然飾面石材表面光澤度測定法 14447,M3209
- 19.CNS 光澤度測定方法 7773,Z8023

【評語】 032913

本作品提出新的拋光粉配方(7種可溶於水的成分)，以提升花崗石的拋光速度與拋光度，內容具創新性。惟實驗步驟和儀器原理的說明不夠詳盡清楚。此外，宜解釋為何選擇「田口直交表實驗法」中之二水準七因子法。

摘要

針對現行石材養護以**物理性研磨**工法，耗時且光澤低之窘況，以**化學機械研磨法**為改善策略，發展花崗石高光澤拋光用之拋光粉，發現：

- 1.自文獻、石材養護資料，找出可能成份因子，分別進行研究及實驗。
- 2.自十一個可能成份因子擷取七個要因(factor)成分。
- 3.經由實驗找出最佳的花崗石物化性拋光組合配方。

驗證印度黑花崗石 ($\text{SiO}_2 > 70\%$) 拋光，拋出**90度**以上光澤耗時僅為傳統工法的**1/12**，加施做晶化劑**1分鐘**內即可達**100度**光澤，平臺也可減輕至**數十公斤**之手執研磨機施作便可。

關鍵詞：花崗石、表面處理、研磨



壹、研究動機

2004年義大利Comenius University有Dr. Daniel Pivko 發表“The world's most popular granites”提及約**150種**花崗石被運用到建材、石雕材、量床平台等。相較於大理石，花崗石紋理及色澤變化雖少，但花崗石質地堅硬、耐磨損、抗化性等優異性能則非大理石所可比擬。

為提升花崗石裝飾質感及降低行李拖拉噪音，採**無接縫研磨(Seamless treatment methodology, STM)**做地坪裝置。花崗石為富含二氧化矽成分，不易用化學性拋光法達拋光效果。目前國際開發之拋光粉(或膏)多以物理性物質為拋光內涵，應用上費時費工且平均光澤也難達標**90度**。由此我們延續前年研究，進行**花崗石拋光粉(膏)**的研究及開發。試圖為業界開發更友善操作、效率之花崗石新式拋光系統。

貳、研究目的

- 一、實地了解工廠全光面花崗石大板拋光工法，及其操作缺點限制。
- 二、研究大理石新式拋光膏(粉)配方各成分因子對花崗石拋光個別貢獻。
- 三、發展新式花崗石拋光膏(粉)配方，提升施工速度，提高花崗石表面光澤度。

參、研究設備及器材

一、實驗材料

草酸	草酸鈉	草酸鉀	正矽酸鈉	氧化鋁粉	碳化矽 3000#
碳化矽 8000#	矽酸氟化鎂	稀土銻	稀土錯銻鏽	二氧化錫	



印度黑花崗石石板 60*60cm² 翡翠玉大理石石板 60*60cm² 印度黑花崗石石板 15*15cm²

二、實驗器材



肆、研究過程與方法

一、相關文獻整理

(一)商業用花崗石基礎性成分：

- 1.花崗石：為火成岩，主要成分為 SiO_2 (一般為35%以上)，質地堅硬(有些石種硬度可高達莫氏6.5)，其他含量還有 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 Fe_2O_3 ，微量成分如 MgO 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 MnO 等。
- 2.印度黑花崗石：Granite Indian Black被大量運用於建物地坪，為目前產業界公認最難拋光的石材，亦是養護業界公認最困難回復工廠拋光水準的石材。本研究試片即為印度黑花崗石(成分如下表)。

成分	二氧化矽	氧化鋁	氧化鐵	氧化鎂	氧化鈣	氧化鉀	氧化鈉	氧化鈦	氧化錳	氧化磷	燒失量	總量
含量%	72.04	14.42	1.68	0.71	1.82	4.12	3.69	0.30	0.05	0.12	餘量	100.

(二)國際對花崗石養護工程拋光藥劑開發及應用情形：國外花崗石專用拋光粉、拋光膏、翻新漿等已行之有年，近年有結晶光澤劑等拋光產品，但都以物理性拋光為主、產出光澤度很難達到**90度**以上水準。

(三)石材光澤度與量測依據(光澤度測量原理)：依據CNS7773-Z8023”光澤度測量方法。”

- 1.光澤度：板材表面對可見光反射的程度，呈現出之數值大小即為光澤度。
- 2.受光角：受光器系統之光軸與試樣面法線所成之夾角。
- 3.九點測試法：依據 CNS14447-M3209”天然飾面石材表面光澤度測定法”實施量測。

(四)工廠全光面花崗石大板拋光作法：程序；#50=>#150=>#300=>#500=>#1000=>#2000=>#3000水磨片=>特製、特細磨料的buff緩衝片。依石種成分通常可拋出80以上光澤度，甚至高達100度上下清亮光澤水準(部分花崗石石種礙於結構較不緻密、吸水率高者在工廠很難於拋出高於**80**以上平均光度)。

(五)實驗設計法(Experimental Design Methodology, EDM)及Prato chart(柏拉圖)分析要因法：利用重複性與隨機性，使特定因子以外之其他未之因素影響，相互抵消，以淨化特定因素以外的影響效果。本專題將影響花崗石拋光的可能因子，規畫逐項探討反映可能性、測試個別成分貢獻度，再利用”Statistics”軟體中Prato chart(柏拉圖)分析要因(Factor)，設定實驗組合找出最佳成分配方。

二、研究設計流程

(一)步驟一：量測花崗石工廠試片平均光澤水準(比對試片)

- 1.依據CNS7773-Z8023"光澤度測量方法"及CNS14447-M3209"天然飾面石材表面光澤度測定法"實施量測。
- 2.對15*15cm²全光面印度黑試片，以校正片91度KW測光儀石施9點量測並紀錄。
- 3.將9點量測結果，求其平均光澤度以利後續比對之用。

(二)步驟二：蒐整國內外相關文獻獲整可能影響因子類表

- 1.從礦物專業書籍、化工專業辭典、經濟部石材發展中心(SIDC)出刊花崗石圖鑑等文獻中彙整影響花崗石拋光粉成分可能因子類表。
- 2.國際石材養護藥劑供應商資料安全表(MSDS)、中國國家科學院有關編撰花崗石成分分析表、國內相關論文等文獻中彙整影響花崗石拋光粉成分可能因子類表。

(三)步驟三：試片編號、將原全光面板水磨降光並量測均光澤水準整理成表以備比對

- 1.以220V手動角磨機模擬工廠以鑽石水磨片由粗到細逐番號研磨至待拋光前光澤(完成降光程序)。
- 2.依步驟一量測並紀錄、求其平均光澤度。

(四)步驟四：使用類表項目逐一拋光測試其個別成分對石材光澤貢獻程度

- 1.將步驟二蒐集彙整成類表的各成分，設想為單一成份拋光粉對完成步驟三降光後編號試片實施拋光。
- 2.對拋光後試片量測各點光澤。
- 3.紀錄其最高、最低光澤度及其平均光澤度並計算其光澤貢獻情形。

(五)步驟五：運用柏拉圖及相關學理檢討、選擇、過濾篩選影響拋光要因，擬出實驗設計表

- 1.利用步驟四結果，柏拉圖分析要因法及蒐整文獻中檢討、分析從影響因子。
- 2.由中篩選出七個要因以利步驟六之安排運用。

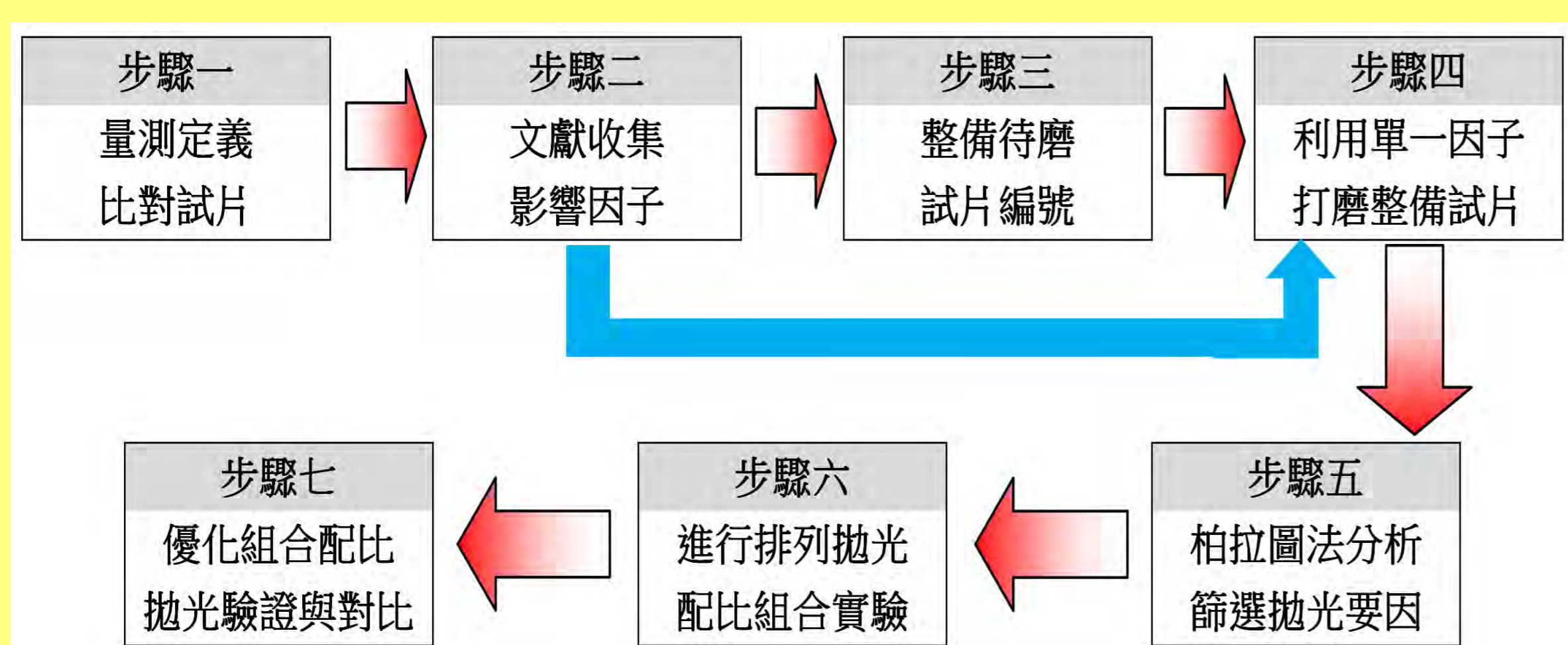
(六)步驟六：依實驗設計表進行排列組合實驗

- 1.製定二水準(lever)七因子實驗設計表，實驗次數決定為8次。 $[Rn=2^{(7-4)}=8]$
- 2.將8次配比排列組合配方分別對降光澤之試片拋光，量測各點光澤。
- 3.拋光結果紀錄其最高、最低光澤度及其最後平均光澤度以為比較分析用。

(七)步驟七：驗證與對比

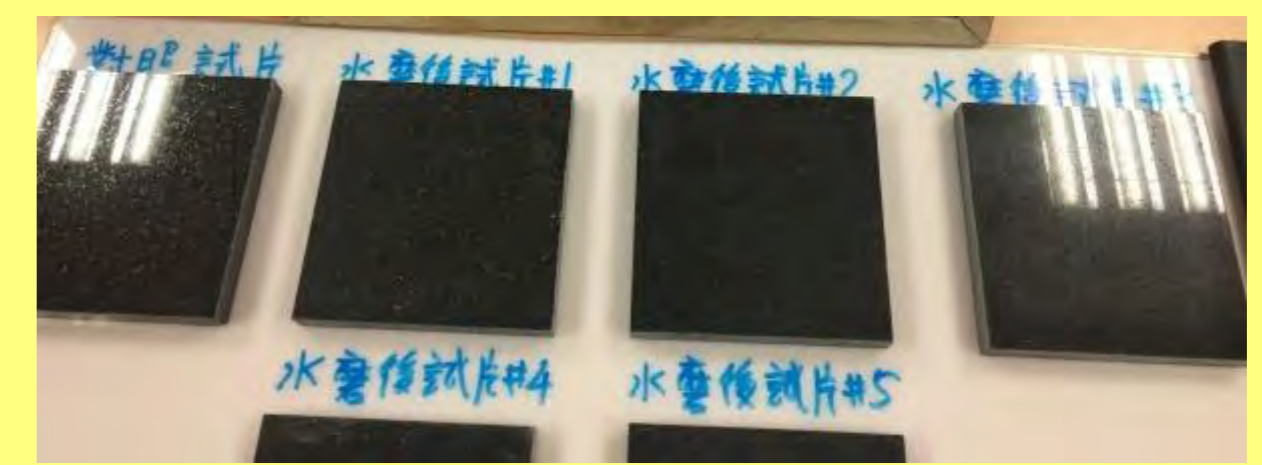
- 1.選擇最優組合配比模擬養護工程現況：將花崗石石板15*15cm²試片改為60*60cm²大試片，以最優組合配比拋光粉拋光5分鐘，量測各點光澤，求其平均光澤度。
- 2.與國際知名廠牌花崗石拋光粉(義大利、法國、中國)以同大小試片(15*15cm²試片)、採同工法與設計表實驗最優組進行交叉比對。其效果作為成效評論之依據。
- 3.模擬養護工程現況，對60*60cm²翡翠玉大理石大試片拋光，驗證施工時間是否符合養護業者實況操作需求。

研究設計流程表



三、實驗操作過程

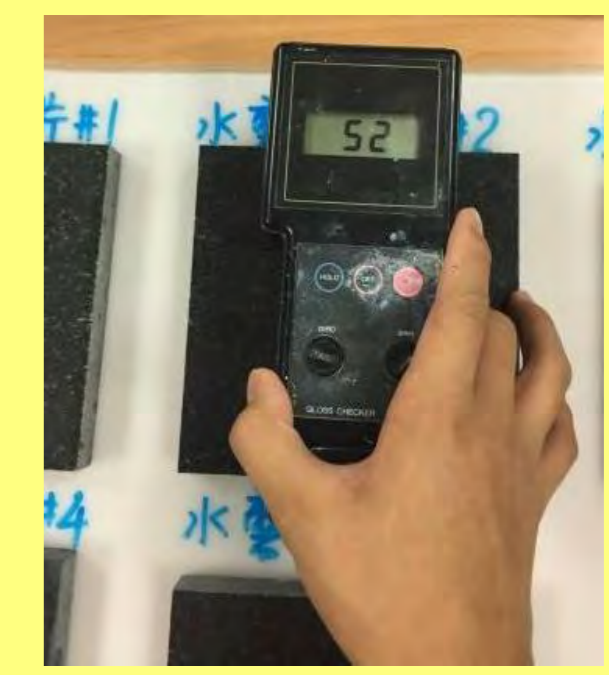
(一)標準對比試片 光澤測試照片



工廠對照試片



試片1



試片2



試片3



試片4



試片5

(二)單一成分對試片拋光貢獻度測試照片



(三)依據實驗設計法調配藥粉照片



(四)R2配方大試片驗證照片

(五)大理石、花崗石大試片 速度比對驗證照片



(六)實驗設計法實驗次序測試照片

Design:2**(7-4) design(1片/次，測五點得平均值)							
因子 次序	正矽 酸鈉	草酸鉀	二氧 化錫	氧化 粉	稀土 (錯鎳鏷)	草酸	矽酸 氟化鎂
R.1	+1 12.05	+1 15.21	+1 15.01	+1 17.39	+1 14.62	+1 12.84	+1 12.84
R.2	+1 12.05	+1 15.21	-1 15.26	+1 17.39	-1 15.26	-1 10.47	-1 13.43
R.3	+1 12.05	-1 14.80	+1 15.01	-1 18.90	+1 14.62	-1 10.47	-1 13.43
R.4	+1 12.05	-1 14.80	-1 15.26	-1 18.90	-1 15.26	+1 12.84	+1 12.84
R.5	-1 11.84	+1 15.21	+1 15.01	-1 18.90	-1 15.26	+1 12.84	-1 13.43
R.6	-1 11.84	+1 15.21	-1 15.26	-1 18.90	+1 14.62	-1 10.47	+1 12.84
R.7	-1 11.84	-1 14.80	+1 15.01	+1 17.39	-1 15.26	-1 10.47	+1 12.84
R.8	-1 11.84	-1 14.80	-1 15.26	+1 17.39	+1 14.62	+1 12.84	-1 13.43

伍、研究結果

步驟一：量測花崗石工廠試片平均光澤水準

光澤點	1	2	3	4	5	6	7	8	9
光澤度	90	89	88	91	95	97	90	91	93
平均光澤度	92度								

步驟二：蒐整國內外相關文獻獲整可能影響因子類表

可能因子	化學式	蒐整原由	相關文獻
草酸	C ₂ H ₂ O ₄	可能產生化學性貢獻	礦物學報
草酸鉀	K ₂ C ₂ O ₄	可能產生化學性貢獻	應用化學辭典
草酸鈉	Na ₂ C ₂ O ₄	可能產生化學性貢獻	應用化學辭典
正矽酸鈉	Na ₂ SiO ₃	可能產生化學性貢獻	礦物學報
氧化鋁粉	Al ₂ O ₃	可能產生物理性貢獻	MSDS,M3-Technology,Inc
矽酸氟化鎂	F ₆ MgSiO ₃	可能產生化學性貢獻	應用化學辭典
碳化矽3000#	SiC3000#	可能產生物理性貢獻	應用化學辭典
碳化矽8000#	SiC8000#	可能產生物理性貢獻	應用化學辭典
稀土銻	CeO	可能產生催化性貢獻	應用生態學報
稀土鏷銻	La,Ce,Pr-oxide	可能產生催化性貢獻	應用生態學報
二氧化錫	SnO ₂	可能產生物化性貢獻	MSDS,-Laticrete,Co

步驟三：試片編號、將原全光面板水磨降光並量測均光澤水準整理成表以備比對

試片編號	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
影響因子	二氧化錫	矽酸氟化鎂	氧化鋁粉	碳化矽3000	碳化矽8000	稀土銻	稀土鏷銻	草酸鉀	草酸鈉	草酸	正矽酸鈉
降光光澤	51	53	60	47	55	51	64	67	50	52	51

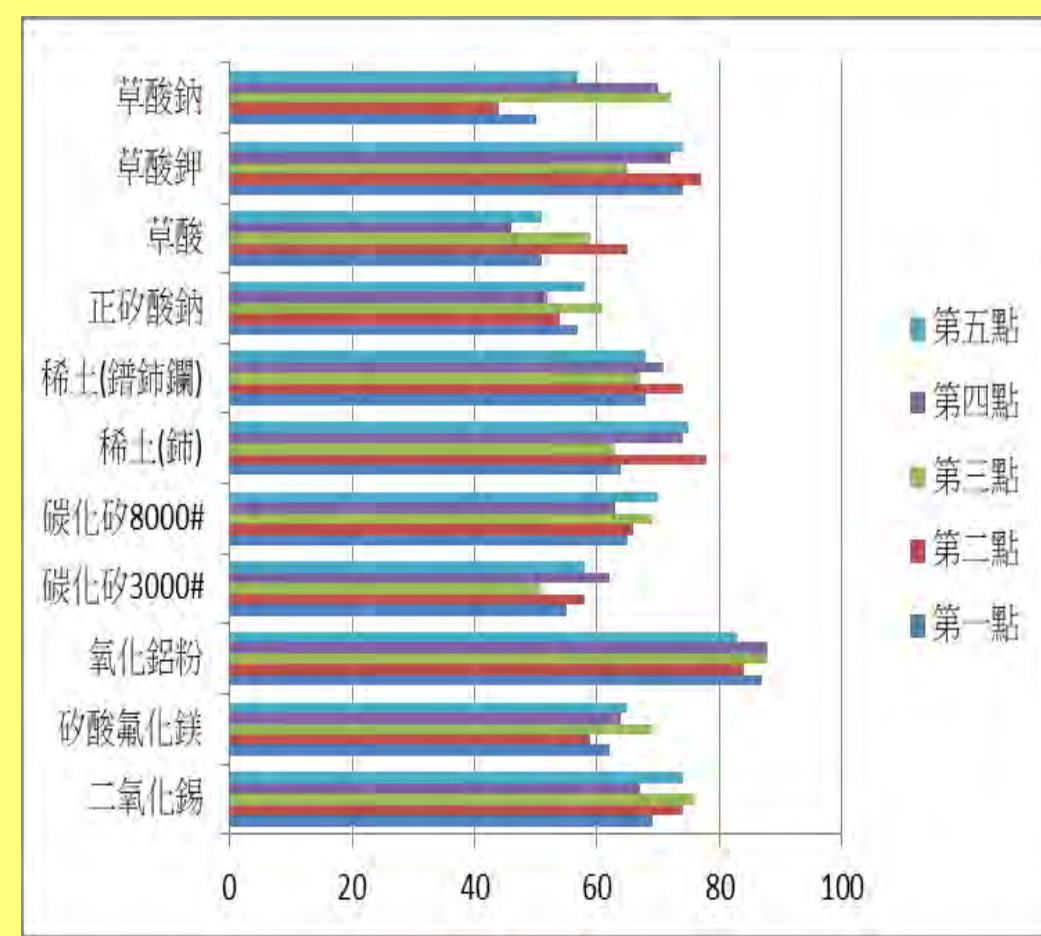
步驟四：使用類表項目逐一拋光測試其個別成分對石材光澤貢獻程度

試片編號	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
影響因子	二氧化錫	矽酸氟化鎂	氧化鋁粉	碳化矽3000	碳化矽8000	稀土銻	稀土鏷銻	草酸鉀	草酸鈉	草酸	正矽酸鈉
降光光澤	51	53	60	47	55	51	64	67	50	52	51
拋光光澤	72	64	86	57	67	71	70	72	59	54	56
光澤貢獻度	21	9	26	10	12	20	6	5	9	2	5
貢獻屬性	物化	化學	物理	物理	物理	催化	催化	化學	化學	化學	化學

*決策考量採拋光光澤優於光澤貢獻度，但卻不摒棄後者參考價值

步驟五：運用柏拉圖及相關學理檢討、選擇、過濾篩選影響拋光要因，擬出實驗設計表

1.單一成分對光澤之影響 2.文獻篩選其他六因子併成七要因成分表



項次	要因成分	化學式	性能貢獻區分
1	草酸	C ₂ H ₂ O ₄	化學性
2	稀土銻	Pr/Ce/La-oxide	催化性
3	草酸鉀	K ₂ C ₂ O ₄	化學性
4	矽酸氟化鎂	F ₆ MgSiO ₃	化學性
5	矽酸鈉	Na ₂ SiO ₃	化學性
6	氧化鋁	Al ₂ O ₃	物理性
7	二氧化錫	SnO ₂	具物理化學性

3.七要因貢獻權重

項次	要因成分	光澤最低值	光澤最高值	各點平均值	權重分佈(% 低 高)	正規化值(*10轉化為重量g) 低 高
1	矽酸鈉	52	61	56	11.8 12.1	118 121
2	稀土鏷銻	68	74	70	14.8 15.2	148 152
3	草酸鉀	65	72	77	14.8 15.2	148 152
4	矽酸氟化鎂	59	69	64	12.9 14.2	129 142
5	草酸	46	65	54	10.0 13.4	100 134
6	氧化鋁粉	83	88	86	18.0 18.1	180 181
7	二氧化錫	67	76	72	14.6 15.6	146 156
	光澤總貢獻	459	486	479		

4.二水準七要因實驗設計表

因子 實驗序	正矽酸鈉	稀土鏷銻	草酸鉀	矽酸氟化鎂	草酸	氧化鋁粉	二氧化錫	實驗響應結果
R1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
R2	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	
R3	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	
R4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	
R5	-1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	
R6	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	
R7	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	
R8	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	

步驟六：依實驗設計表進行排列組合實驗結果(每一試片五分鐘)

1.單一成分對光澤之影響程度

因子 實驗序	正矽酸鈉	稀土鏷銻	草酸鉀	矽酸氟化鎂	草酸	氧化鋁粉	二氧化錫	平均光澤度
R1	12.05	14.62	15.21	12.84	12.84	17.39	15.01	82
R2	12.05	15.26	15.21	13.43	10.47	17.39	15.26	93
R3	12.05	14.62	14.80	13.43	10.47	17.39	15.26	85
R4	12.05	15.26	14.80	12.84	12.84	18.90	15.26	84
R5	11.84	15.26	14.80	13.43	12.84	18.90	15.01	72
R6	11.84	14.62	15.21	12.84	10.47	18.90	15.26	88
R7	11.84	15.26	14.80	12.84	10.47	17.39	15.01	86
R8	11.84	14.62	14.80	12.84	12.84	17.39	15.26	85

步驟七：最優組合配比R2與各國產製拋光粉比較後並模擬養護工程現況進行驗證

- 1.60*60cm²印度黑花崗石石板試片，拋光時間為5分鐘平均光澤高達93度(4hp、220V單軸左轉Klindex研磨機)。
- 2.R2配比與義大利、法國、中國品牌以15*15cm試片拋光比對結果：

廠牌	產地	最低光澤度	最高光澤度	平均光澤度	拋光時間
M*	義大利	63	91	78	5分鐘
ABRA**	法國	78	83	82	
香*	中國	61	80	72	
R2成分組合		91	94	93	

3.與60*60cm同尺寸翡翠玉大理石，驗證拋光速度呈現情形。

石材名稱	水磨降光平均光澤	拋光使用時間	最高光澤	最低光澤	平均光澤	一分鐘晶化最後平均光澤成果(使用矽樹脂中性晶化劑)
印度黑花崗石	52度	5分鐘	95	90	93	100度
翡翠玉大理石	47度	2分鐘	97	93	95	99度

陸、討論

- 一、就光澤而言一般市售的花崗石拋光粉，不容易形成85度以上的平均光澤度，操作過程耗時費力，用本科展開發的拋光粉，僅需五分鐘即可達平均93度光澤相較市售國外進口產品至少快20分鐘。
- 二、與矽樹脂的晶化劑搭配使用，測試在加施做矽樹脂一分鐘內即可將光澤達到100度上下。
- 三、一般研磨拋光花崗石，要達成理想水準，研磨機至少要150公斤以上，但測試本拋光粉性能僅以4匹馬力的Klindex左轉機加配重盤，總重約70公斤，即可拋光出90度以上高光澤度。
- 四、本次選用單一銻稀土及鏷銻複方稀土做基礎測試與評估，但對兩者並未更深入探討。
- 五、花崗石種類繁多、成分變化複雜，就同一配方拋光而言，無法適用於所有花崗石，因此另將規劃白色、紅色、淺色系列石材針對性開發專屬型石材拋光系統。

柒、結論

- 一、大板工廠抽取地下水進行水磨，機台重、水資源因素配合，已物理性拋光法為主。但養護工程機台機台與水源不易配合，難以物理工法施做。而本研究結合物理性、化學性、催化性拋光系統，費時僅為傳統工法的1/12，光澤度為93度(5分鐘)，遠高於國際各品牌(85度以下)。
- 二、大理石新式拋光膏(粉)配方各成分因子對花崗石拋光個別貢獻，依物理性、化學性、催化性分別取氧化鋁(物理性)、二氧化錫(物化性)、草酸(化學性)、草酸鉀(化學性)、矽酸氟化鎂(化學性)、矽酸鈉(化學性)、稀土鏷銻(催化性)為要因，進行配方比對實驗，找出最適宜之組合。
- 三、本研究以印度黑花崗石為標的，其商業運用超過50年，硬度非常堅硬，是養護業界公認最難拋光的石種，有其代表性意義。
- 四、實驗設計法七因子二水準單目標響應結果(response)表化繁為簡，就單目標"光澤度"而言確已獲得良好開發成果。未來將考量原料成本、色澤等效應需導入七因子三水準多目標響應結果表。
- 五、專題中引用七因子作為最後成分配方。整個研究過程均著墨於響應結果(及光澤度)，對於化學成份間真正反應機制、學理的研究並未加探討，有關這方面論證研究需仰賴ICP、GCMS、SEM、XRD等精密貴儀協助觀察、分析，將留置後續結合相關機構深入研究。