

中華民國第 61 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

032909

蛋殼翻身之路～建築具蛋

學校名稱：金門縣立金沙國民中學

作者： 國二 吳威葳 國二 王心瑜 國二 李侑怡	指導老師： 鄭瑞銘
---	------------------

關鍵詞：建築材料、防火、抗輻射

摘要

研究中的蛋殼從實驗角度來看，在製作水泥樣本前後與砂調和水泥過程相同，甚至在加熱溫度變化、傳熱表現、隔音效果、抗輻射熱及防火測試都有優於純水泥及商業用水泥砂，其中防火測試的結果與碳酸氫鈉相同；再則從環境角度來看，在不同比例的水泥樣本中，雖然 20%的蛋殼水泥各項測試最佳，但還有更高比例的樣本比商業用水泥砂好，因此，若能降低水泥用量也能降低製造水泥的 CO₂ 的排放量，還能解決大量蛋殼的問題。

壹、研究動機

回家或上學的路上常常看到高粱田上有二、三堆的蛋殼，心裡想說什麼人這麼沒有公德心隨地亂丟蛋殼，原來得知是把蛋殼可以當作肥料，只是蛋殼還蠻硬的，沒有經過處理是很難分解掉的，就好像蚵殼，拿來研究做作為其他用途，既然如此就來研究蛋殼的其他用途吧。

貳、研究目的

- 一、探討蛋殼作為建築材料添加物可能性。
- 二、了解蛋殼水泥耐撞力是否與水泥製品相似。
- 三、了解蛋殼水泥加熱溫度變化與熱傳導與隔音效果是否與水泥製品相似。
- 四、了解蛋殼粉作為塗料抵抗輻射熱的能力。
- 五、了解蛋殼滅火效果能否與碳酸氫鈉相同。

參、研究流程、對象、藥品與儀器

研究對象、藥品與儀器



清洗→蛋膜分離→曬乾



蛋殼擊碎設備



粗蛋粉過濾(100目)



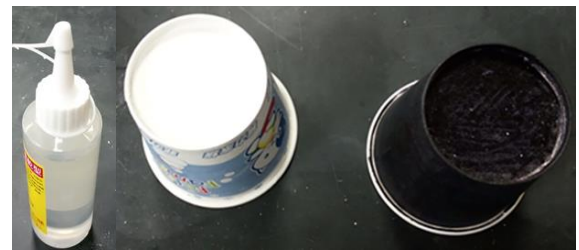
細蛋粉過濾(150目)



熱傳導測試裝置



防火測試裝置



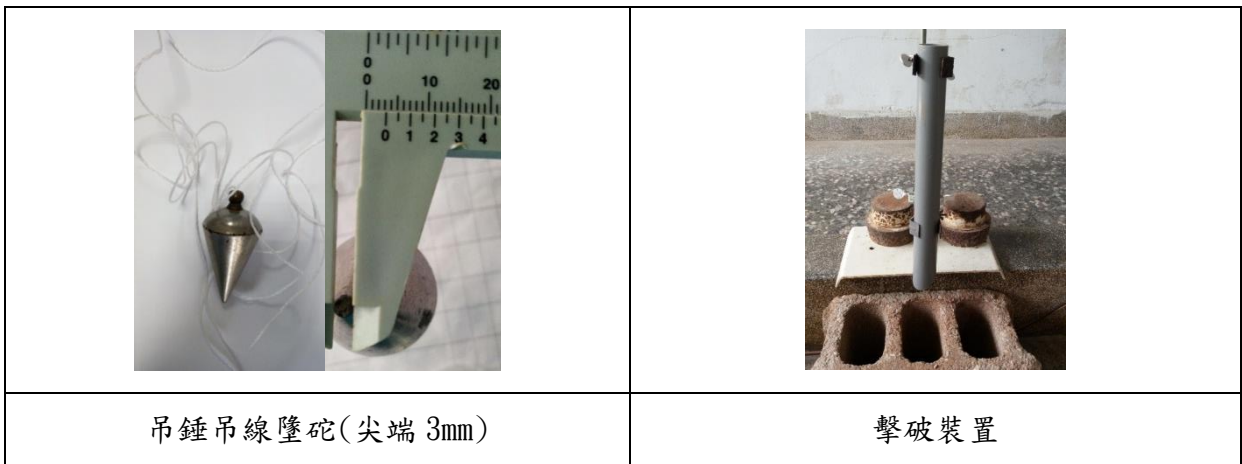
熱輻射測試裝置



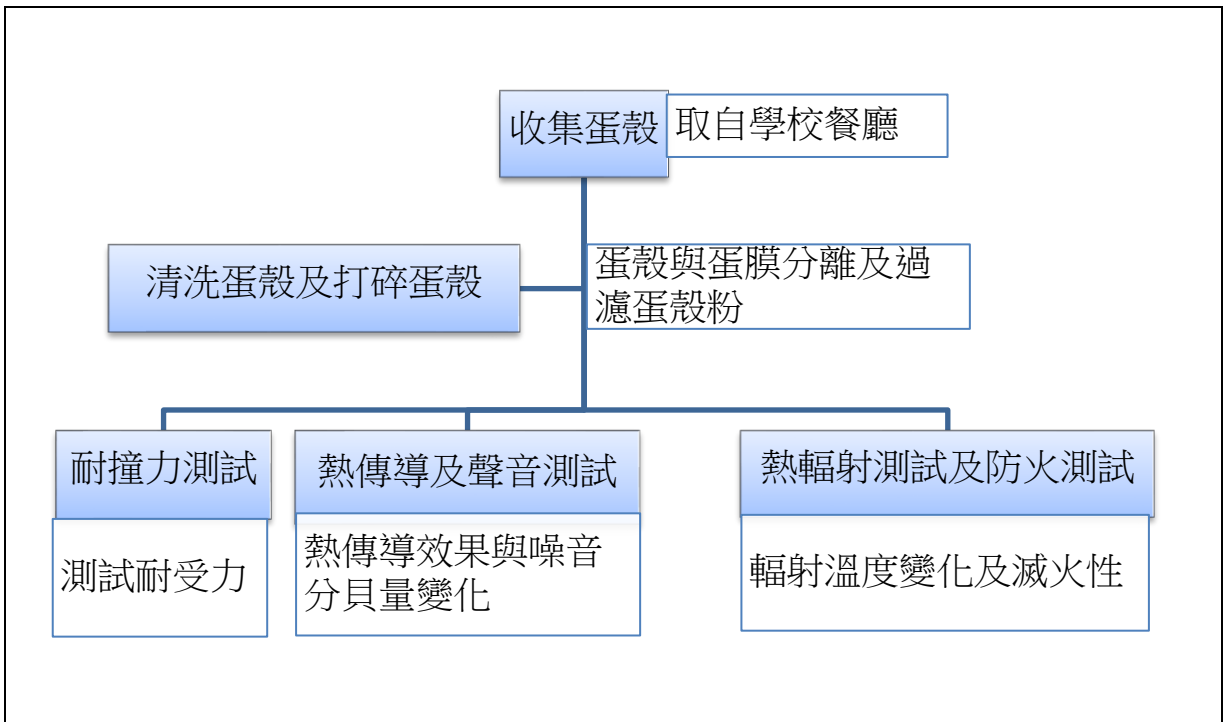
熱輻射槍與固體溫度計



鬧鐘與紙盒



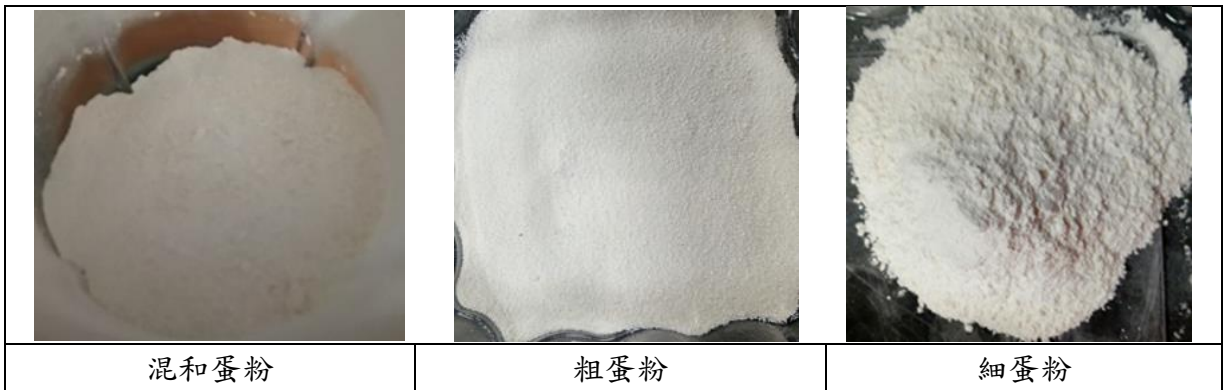
研究流程



肆、實驗步驟

一、使用蛋殼作為建築材料的步驟如下

(一)、 將蛋殼清洗→蛋膜分離→曬乾→破碎→過濾(成品如下)。



(二)、 將混和蛋粉、粗蛋粉與細蛋粉依下列比例調和水泥，和水溶解在到入固定規格容器中，放置半個月後取出(期間固定澆水以防裂痕)，製品提供下述研究使用。

1. 混和蛋粉與水泥粉比例如下

蛋粉(%)	蛋粉(g)	水泥粉(%)	水泥粉(g)	總重(g)
5	25	95	475	500
10	50	90	450	500
15	75	85	425	500
20	100	80	400	500
25	125	75	375	500
30	150	70	350	500
35	175	65	325	500
40	200	60	300	500
45	225	55	275	500

2. 粗蛋粉與水泥粉比例如下

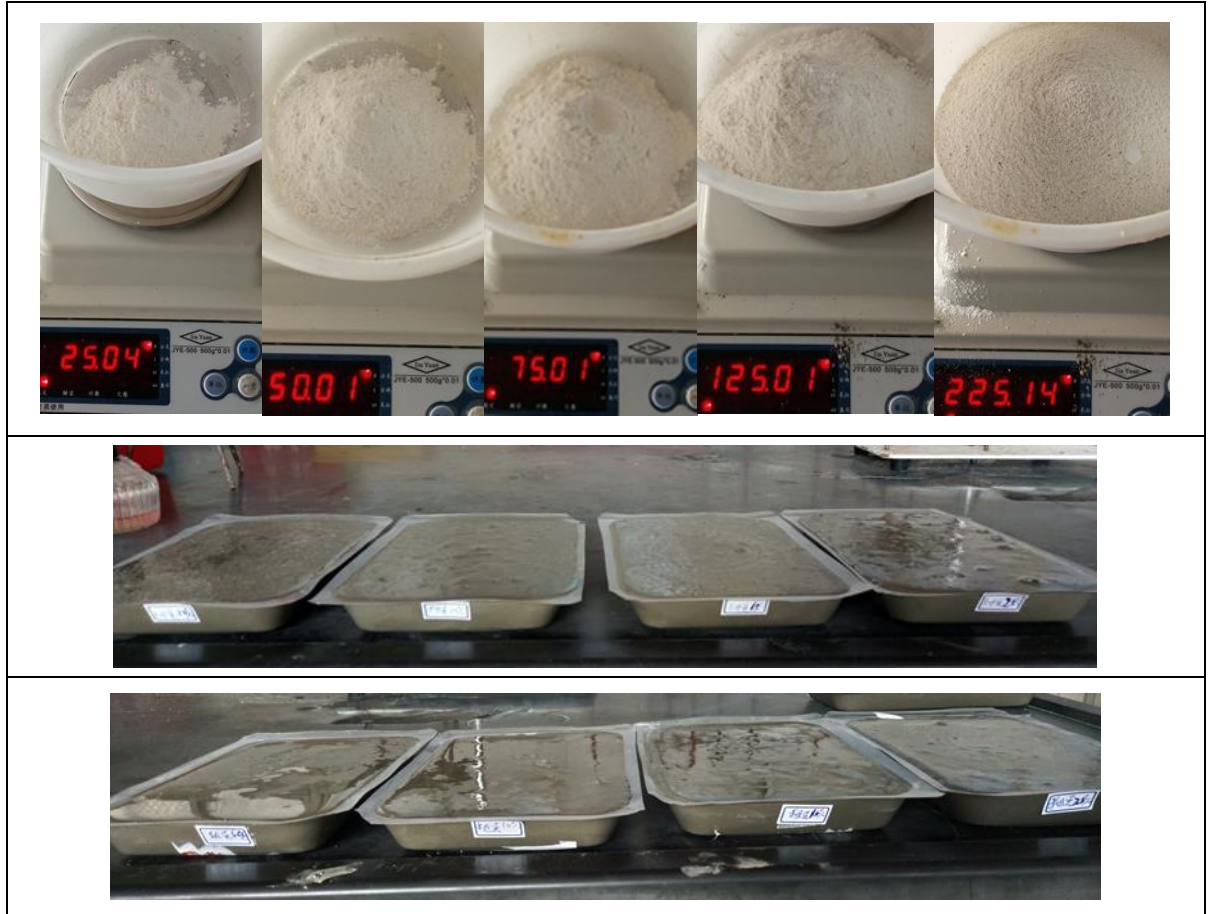
蛋粉(%)	蛋粉(g)	水泥粉(%)	水泥粉(g)	總重(g)	蛋粉(%)
5	25	95	475	500	5
10	50	90	450	500	10
15	75	85	425	500	15
20	100	80	400	500	20
25	125	75	375	500	25

3. 細蛋粉與水泥粉比例如下

蛋粉(%)	蛋粉(g)	水泥粉(%)	水泥粉(g)	總重(g)
5	25	95	475	500
10	50	90	450	500
15	75	85	425	500

20	100	80	400	500
25	125	75	375	500

4. 秤重→調和→灌模→陰乾(如下圖)，另取純水泥及水泥砂(商業用)製成成品作為對照組。



二、測試蛋殼水泥耐撞力步驟如下

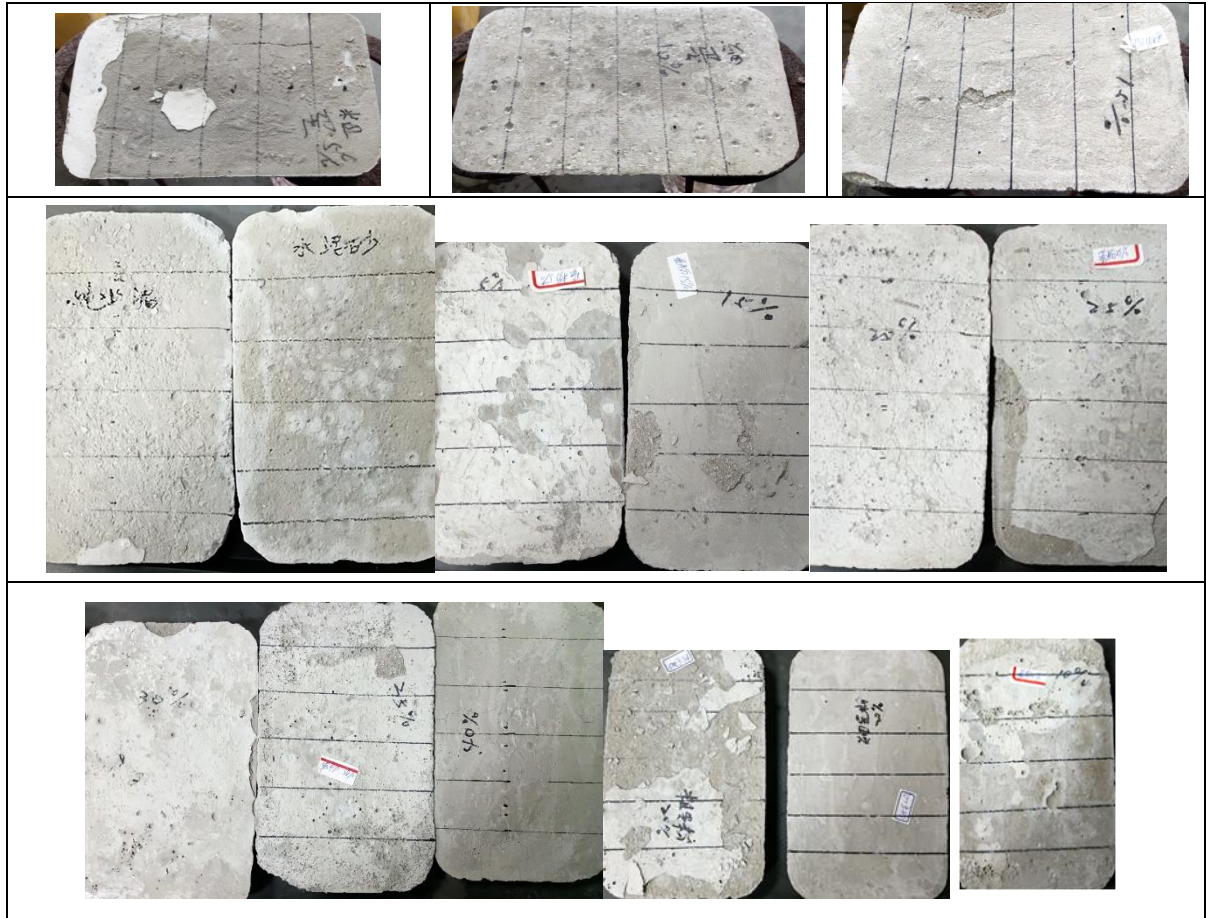
- (一)、 使用定滑輪裝置(如下圖)，將吊錘吊線墜砵綁上尼龍繩穿過定滑輪，把待測樣本放在撞擊處上，拉高吊錘吊線墜砵離待測樣本 5cm 然後釋放，若不能擊破則吊錘吊線墜砵再升高 1cm，重複上述動作直到擊破為止，觀察並記錄之。



(二)、 將測量數據整理成表格將資料整理成圖表以利判讀。

三、測試蛋殼水泥加熱溫度變化與熱傳導與隔音效果的步驟如下

(一)、 加熱溫度變化與熱傳導部分，將已完成蛋殼水泥樣本先劃分為六個區塊作為導熱測試(如下圖)，再將樣本放在三腳架上進行酒精燈加熱(參考儀器)，加熱處為端點位置，使用熱輻射槍紀錄 1、2、3、4、5、6 分鐘的溫度，然後測量個區塊的溫度，第七分鐘開始量取向降溫度變化至 13 分鐘，觀察並記錄之。



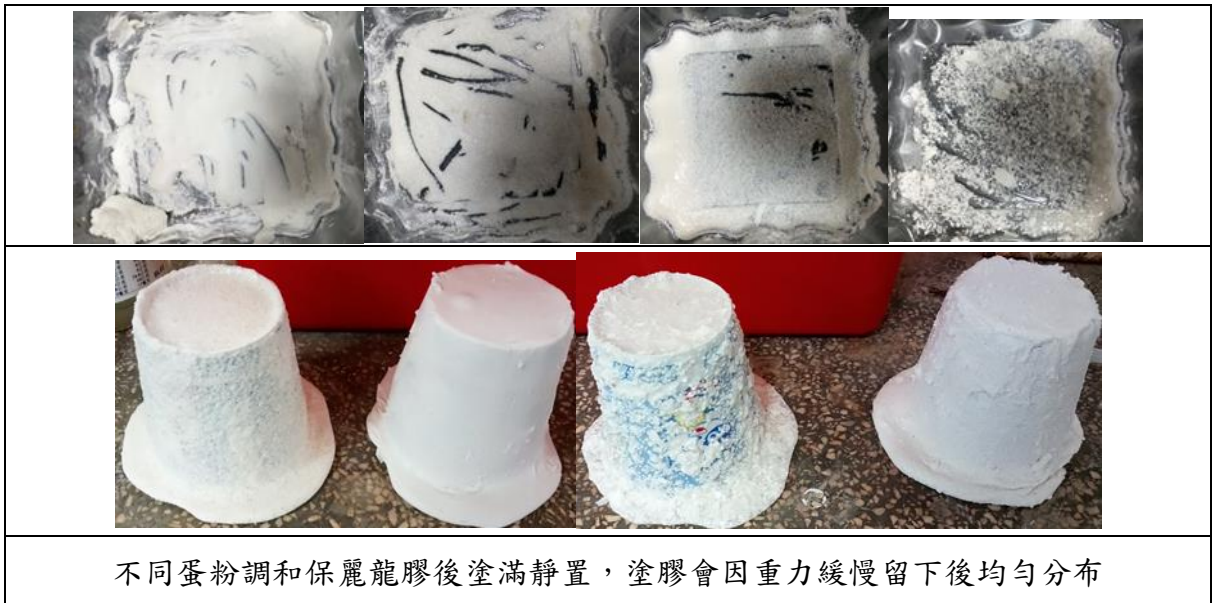
(二)、 將水泥樣本放在紙盒上描繪，從描繪處中央切開，測量時將鬧鐘放置紙盒內，並打開鐘響，放上待測水泥後(如下圖)，使用手機噪音測試 APP 放在樣本上測試分貝量，觀察並記錄之。



(三)、 將測量數據整理成表格將資料整理成圖表以利判讀。

四、測試蛋殼粉作為塗料抵抗輻射熱的步驟如下

(一)、 取六個紙杯，一只塗黑、一只原樣、其餘四個塗上粗蛋粉、細蛋粉、混和蛋粉及捏碎蛋粉調和保麗龍膠，放置一個禮拜完成成品(如下圖)



(二)、 將上述步驟完成的測試樣本插上溫度計(如下圖)，帶至室外空曠處，測驗時間為早上九點~一點較為適合，在使用熱輻射槍測試杯壁的溫度變化，同時觀察並記錄兩者溫度變化。



五、測試蛋殼滅火效果步驟如下

(一)、使用儀器中的滅火裝置(如下圖)，鐵罐上插入固體溫度計(上限 2000℃)，鋁罐底部裝滿酒精並點上火源，將鐵罐蓋上，觀察溫度上升變化，將準備的粗蛋粉、細蛋粉、混和蛋粉倒入，觀察溫度是否下降，下降表示火勢已經撲滅。



滅火測試：從上圖開口處撒入待測物，熄滅後等溫度降低再取出鐵罐(溫度超過讀數)

(二)、依序減少粗蛋粉、細蛋粉、混和蛋粉的質量，直到無法將火勢撲滅為止，觀察並記錄之。

使用上一步驟撲滅火勢得最少質量取用碳酸氫鈉，是否能將火勢撲滅，如果不能則增加碳酸氫鈉的質量直到能撲滅火勢，觀察並記錄之。

伍、實驗結果：

一、蛋殼作為建築材料添加物的成品如下。

(一)、細蛋粉為原料的樣本表面較細緻(如下圖 1)；粗蛋粉為原料的樣本表面上有一薄層會脫落，可以看到水泥上布滿粗蛋殼(如下圖 2)；混和蛋粉為原料的樣本表面有氣孔且樣態有些具有細蛋粉水泥外觀，有些則具有粗蛋粉水泥外觀(如下圖 3)。



1. 細蛋粉水泥樣本及純水泥製品



2. 粗蛋粉水泥樣本及水泥砂製品



3. 混和蛋粉水泥樣本

(二)、 以上樣本提供下述步驟測試，測試順序為噪音音量→熱傳導→耐撞力

二、蛋殼水泥耐撞力測試如下。

(一)、 吊錘吊線墜砵從高處掉落所施加的力以及擊落水泥樣本的壓力參考表如下

利用位能公式 $U=mgh$ (焦耳)， $F=mg$ (牛頓)， $P=F/A$ (N/m^2)

P ：壓力、 A ：截面積、 F ：力、 U ：位能、 m ：質量、 g ：重力加速度($9.8m/s^2$)

吊錘吊線墜砵質量：0.203Kg；撞擊面截面積： $7.065 \times 10^{-5} m^2$ ($1.5mm \times 1.5mm \times 3.14$)

$F = 0.203 \times 9.8 = 1.9894N \approx 2.0N$ ； $P = 1.9894 / 0.00007065 = 28158.528 N/m^2$ (約 0.28atm)

1atm= $101300 N/m^2$ ；因此每一個樣本的撞擊點壓力約 0.28atm

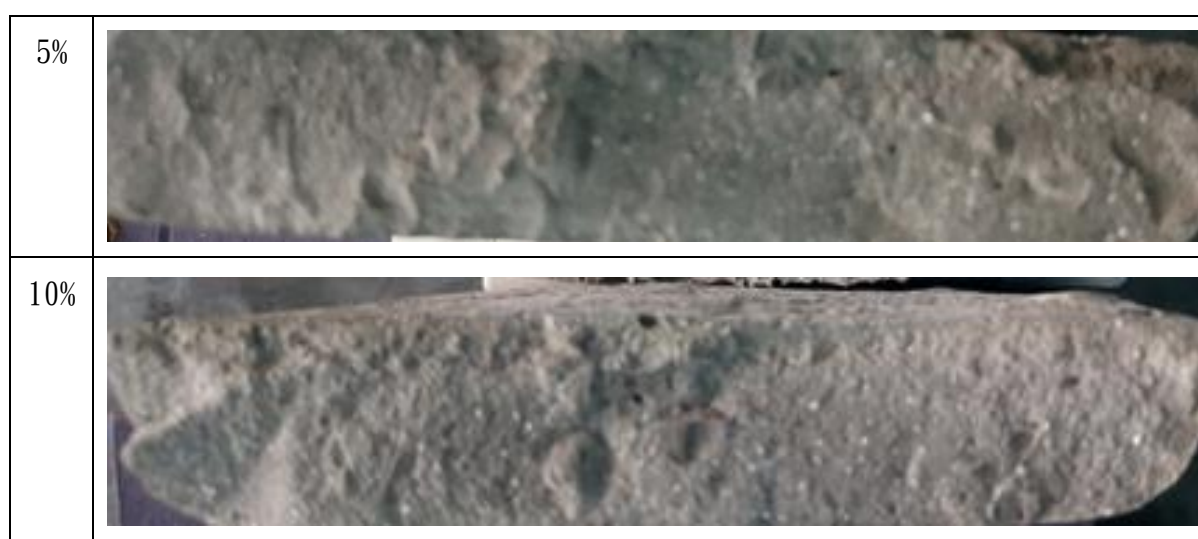
高度(公尺)	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24
位能(焦耳)	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.44	0.48
高度(公尺)	0.26	0.28	0.3	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
位能(焦耳)	0.52	0.56	0.60	0.64	0.68	0.72	0.76	0.80
高度(公尺)	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56
位能(焦耳)	0.84	0.88	0.92	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12
高度(公尺)	0.58	0.60	0.62	0.64	0.68	0.70	0.72	0.74
位能(焦耳)	1.16	1.20	1.24	1.28	1.32	1.36	1.40	1.44








(二)、 混和蛋粉水泥耐撞力測試如下

項目	5%	10%	15%	20%	25%	30%
承受高度(m)	0.48	0.36	0.52	0.60	0.48	0.42
承受位能(J)	0.96	0.72	1.04	1.20	0.96	0.84
項目	35%	40%	45%	純水泥	水泥砂	
承受高度(m)	0.48	0.26	0.46	0.34	0.42	
承受位能(J)	0.96	0.52	0.92	0.68	0.84	

除了 40% 的水泥樣本耐撞力較純水泥及水泥砂樣本低以外，其他皆較佳

內部構造圖



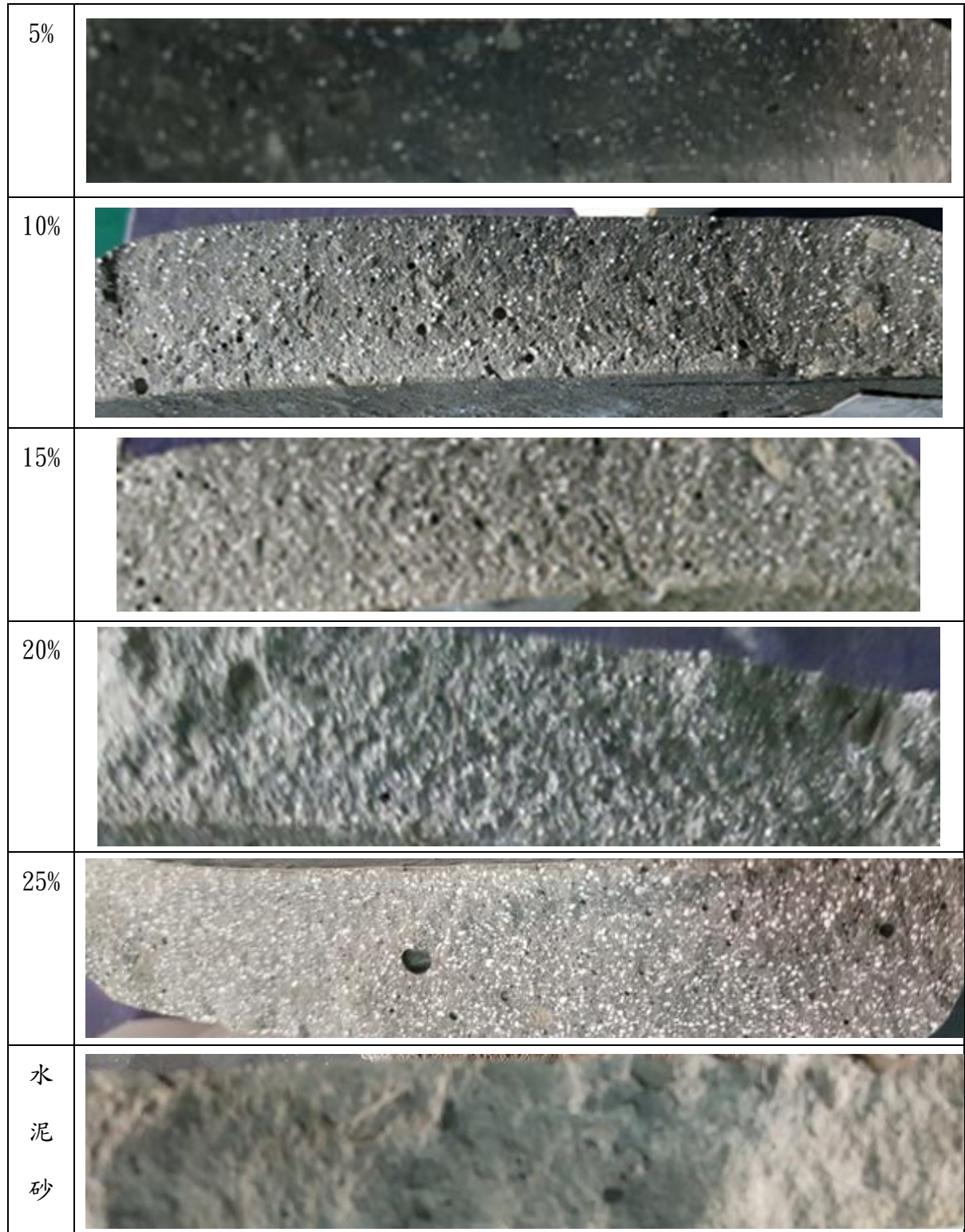
15%	
20%	
25%	
30%	
35%	
40%	
45%	

由斷面圖初步判斷 40%水泥樣本蛋粉在內部分布不均。

(三)、 粗蛋粉水泥耐撞力測試如下

項目	5%	10%	15%	20%	25%	水泥砂	純水泥
承受高度	0.40	0.18	0.22	0.26	0.54	0.42	0.34
承受位能	0.80	0.36	0.44	0.52	1.08	0.84	0.68

內部構造圖

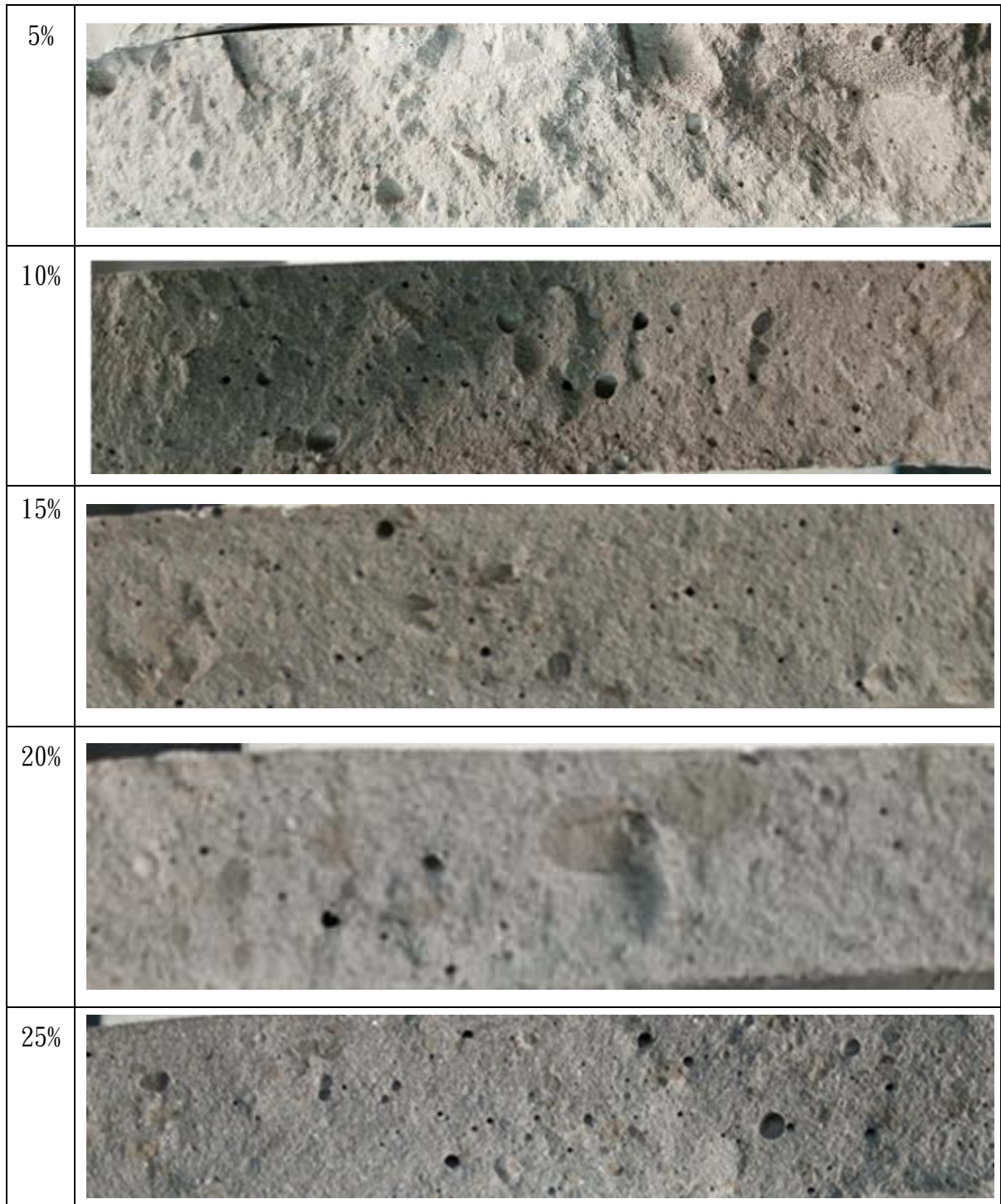


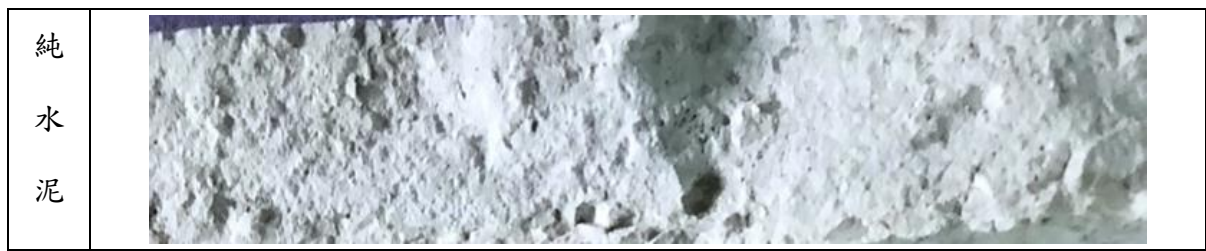
水泥樣本 5%及 25%耐撞力較其他為佳，斷面較平整。

(四)、 細蛋粉水泥耐撞力測試如下

項目	5%	10%	15%	20%	25%	純水泥	水泥砂
承受高度(m)	0.42	0.48	0.26	0.30	0.30	0.34	0.42
承受位能(J)	0.84	0.96	0.52	0.60	0.60	0.68	0.84

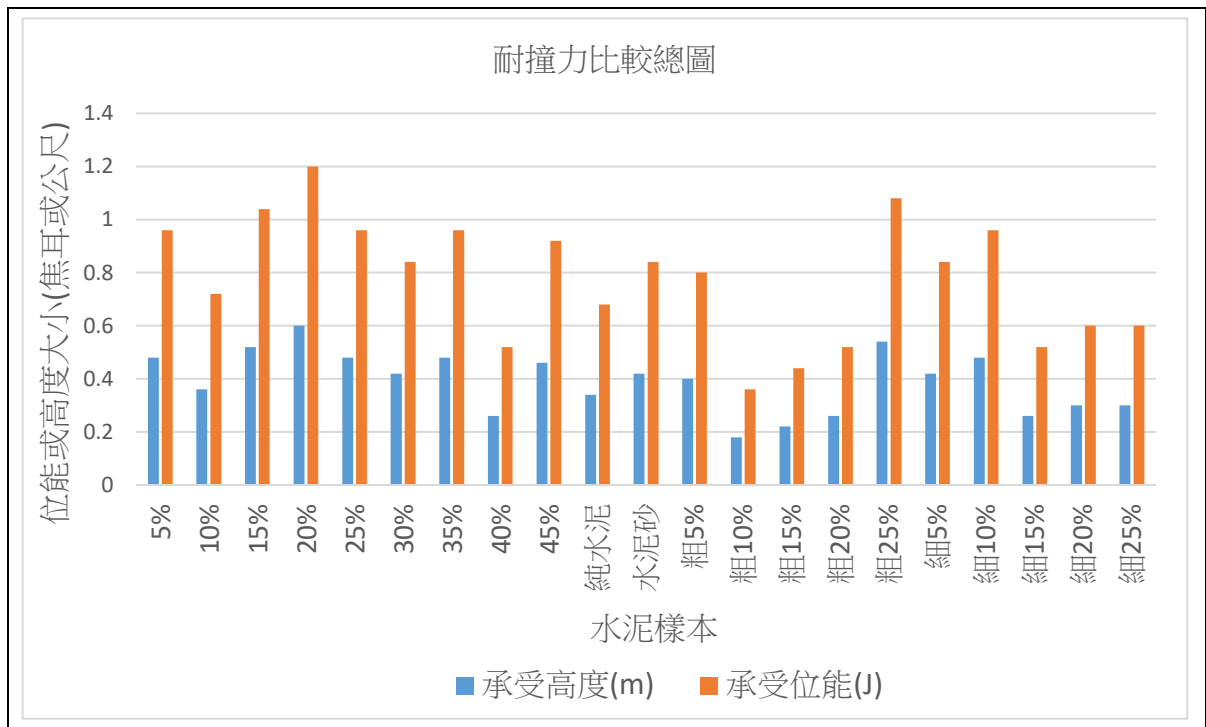
內部構造圖





細蛋粉水泥樣本不易從斷面來判斷耐撞力。

(五)、 比較總圖



由總圖來判斷，蛋粉作為水泥添加物大部分能增加耐撞力。

三、了解蛋殼水泥加熱溫度變化與熱傳導與隔音效果是否與水泥製品相似。

(一)、 加熱溫度變化與熱傳導測試如下

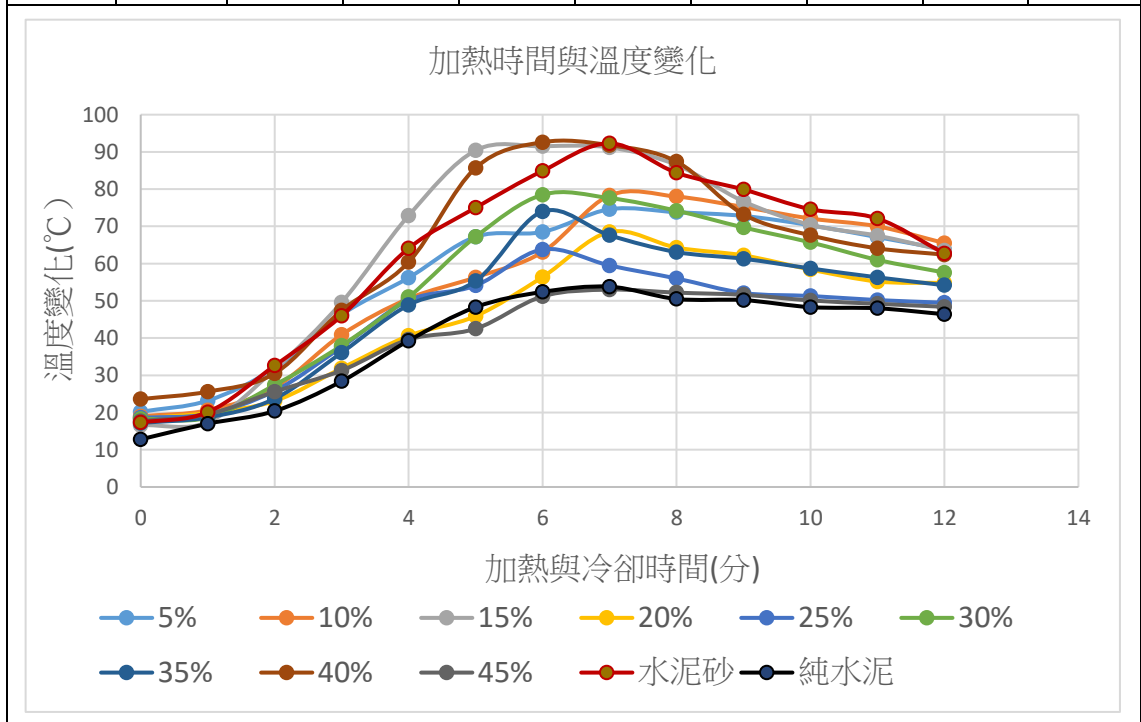


1. 1~13 分鐘溫度變化如下(1~6 分鐘加熱時間、7~13 分鐘降溫時間)

混和蛋殼粉，縱行為時間，橫列為混和蛋殼粉所占比例。

項目	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%
----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

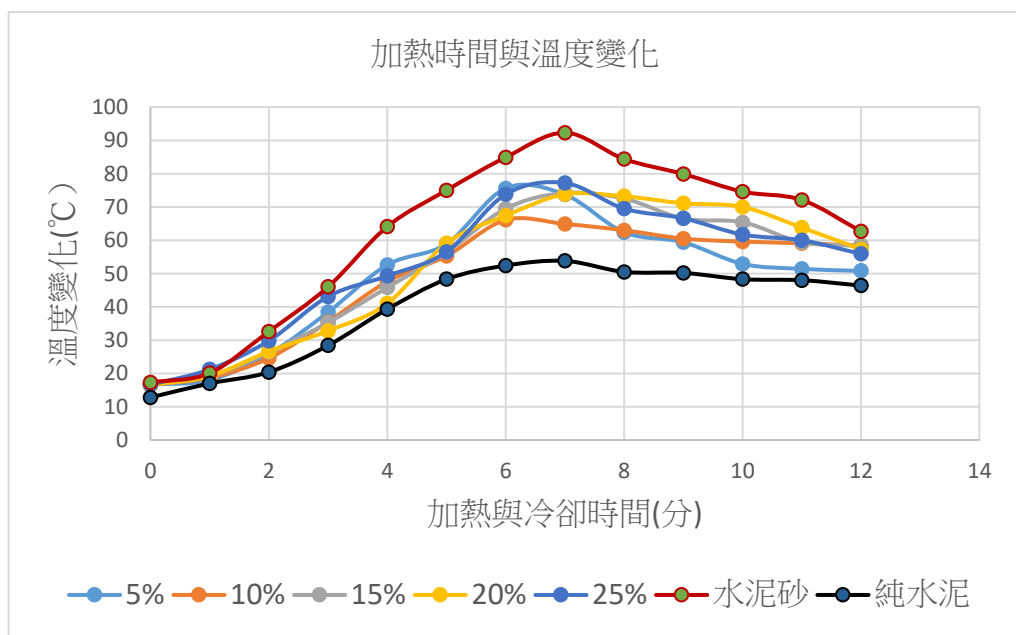
0分	20.2	19.0	16.6	18.4	18.6	18.3	17.2	23.6	17.7
1分	23.2	20.6	17.4	19.9	19.6	18.6	18.7	25.6	19.5
2分	31.9	26.7	31.6	23.1	25.8	27.4	23.7	30.5	25.6
3分	46.3	40.9	49.6	31.9	37.6	38.0	36.1	47.4	31.3
4分	56.2	50.6	72.9	40.6	50.1	51.0	48.9	60.4	39.6
5分	67.2	56.3	90.4	45.9	54.1	67.2	55.3	85.7	42.5
6分	68.5	63.1	91.5	56.4	63.8	78.5	74.0	92.6	51.2
7分	74.6	78.3	91.2	68.5	59.5	77.6	67.6	91.8	53.0
8分	73.8	78.0	86.5	64.3	56.0	74.2	63.1	87.4	52.2
9分	72.8	75.2	76.7	62.2	52.1	69.7	61.3	73.2	51.6
10分	70.3	72.1	70.4	58.4	51.3	65.7	58.7	67.6	50.1
11分	67.1	70.0	67.5	55.2	50.2	61.0	56.3	64.1	49.2
12分	63.8	65.5	63.5	54.8	49.5	57.6	54.2	62.4	48.4
13分	60.0	64.1	62.6	53.0	48.9	55.3	50.5	59.8	47.9



15%及40%混和蛋粉加熱溫度上升較高，仔細觀察水泥調和時氣泡生成少及水泥塊外觀發現表面孔隙較小，因此熱較不易散失。

粗蛋殼粉，縱行為時間，橫列為粗蛋殼粉所占比例。

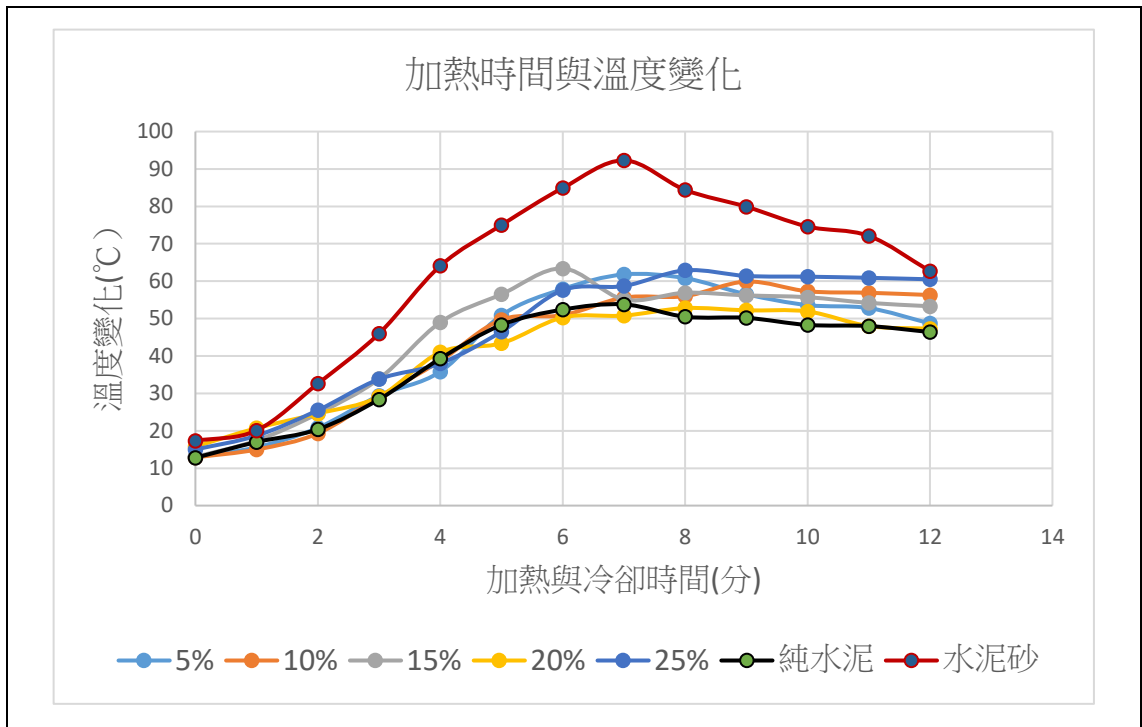
項目	5%	10%	15%	20%	25%	水泥砂	純水泥
0分	16.6	16.6	16.6	16.5	16.6	17.3	12.8
1分	18.0	18.7	19.1	19.2	21.2	20.1	17.0
2分	25.8	24.6	26.4	26.6	29.8	32.6	20.4
3分	38.4	35.5	35.3	32.8	43.1	46.0	28.4
4分	52.6	47.6	45.8	41.0	49.3	64.1	39.3
5分	58.9	55.3	56.4	59.1	56.5	75.0	48.3
6分	75.6	66.1	69.5	67.4	73.8	84.9	52.4
7分	73.7	64.9	74.2	73.8	77.2	92.3	53.8
8分	62.4	63.0	72.5	73.2	69.5	84.4	50.5
9分	59.4	60.5	66.5	71.1	66.6	79.9	50.2
10分	52.9	59.6	65.4	70.0	61.7	74.6	48.3
11分	51.4	59.1	59.4	63.8	60.0	72.1	48.0
12分	50.8	58.4	58.3	57.3	55.9	62.7	46.4
13分	47.9	58.2	55.1	51.7	54.2	56.7	45.0



粗蛋粉水泥塊溫度變化介於水泥砂與純水泥之間。

細蛋殼粉，縱行為時間，橫列為細蛋殼粉所占比例。

項目	5%	10%	15%	20%	25%	純水泥	水泥砂
0分	13.0	12.9	13.0	15.8	15.0	12.8	17.3
1分	15.6	15.0	17.4	20.7	18.7	17.0	20.1
2分	20.8	19.3	24.6	24.6	25.5	20.4	32.6
3分	29.4	29.1	33.9	29.1	33.8	28.4	46.0
4分	35.8	38.7	49.0	41.0	38.0	39.3	64.1
5分	50.9	49.7	56.5	43.4	46.5	48.3	75.0
6分	57.9	50.9	63.4	50.3	57.6	52.4	84.9
7分	61.8	55.6	55.1	50.8	58.7	53.8	92.3
8分	60.8	56.0	56.9	52.8	62.9	50.5	84.4
9分	56.5	59.9	56.2	52.2	61.4	50.2	79.9
10分	53.6	57.3	55.7	51.9	61.2	48.3	74.6
11分	52.8	56.9	54.2	48.0	60.9	48.0	72.1
12分	48.7	56.3	53.3	47.3	60.5	46.4	62.7
13分	48.1	50.2	51.4	45.7	55.8	45.0	56.7

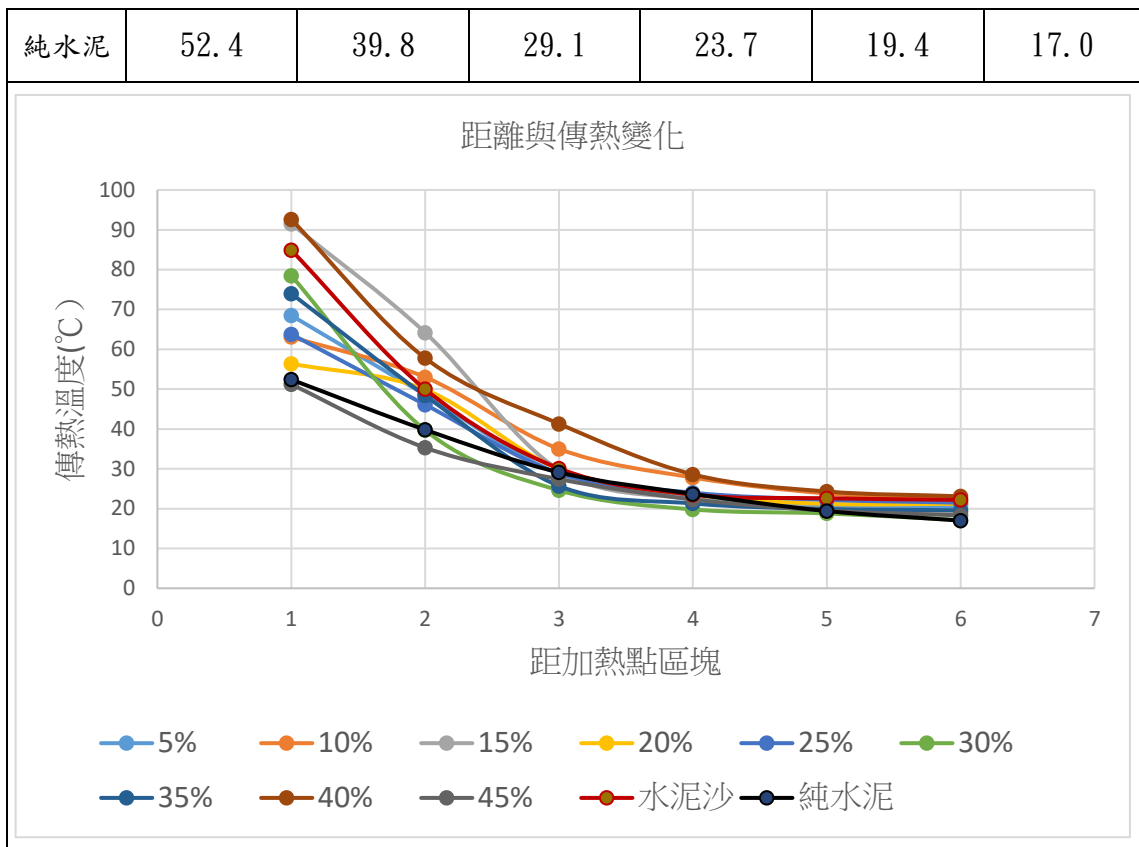


水泥砂加熱溫度高是因為混入沙的比熱太小溫度上升快，降溫時因為純水泥使比熱小的砂不易將熱傳導到外界，而有些細蛋粉的水泥塊溫度變化與純水泥相同。

2. 熱傳導溫度變化如下

混和蛋殼粉，縱行為混和蛋殼粉所占比例，橫列為樣本區塊(數據越大距加熱處越遠)。

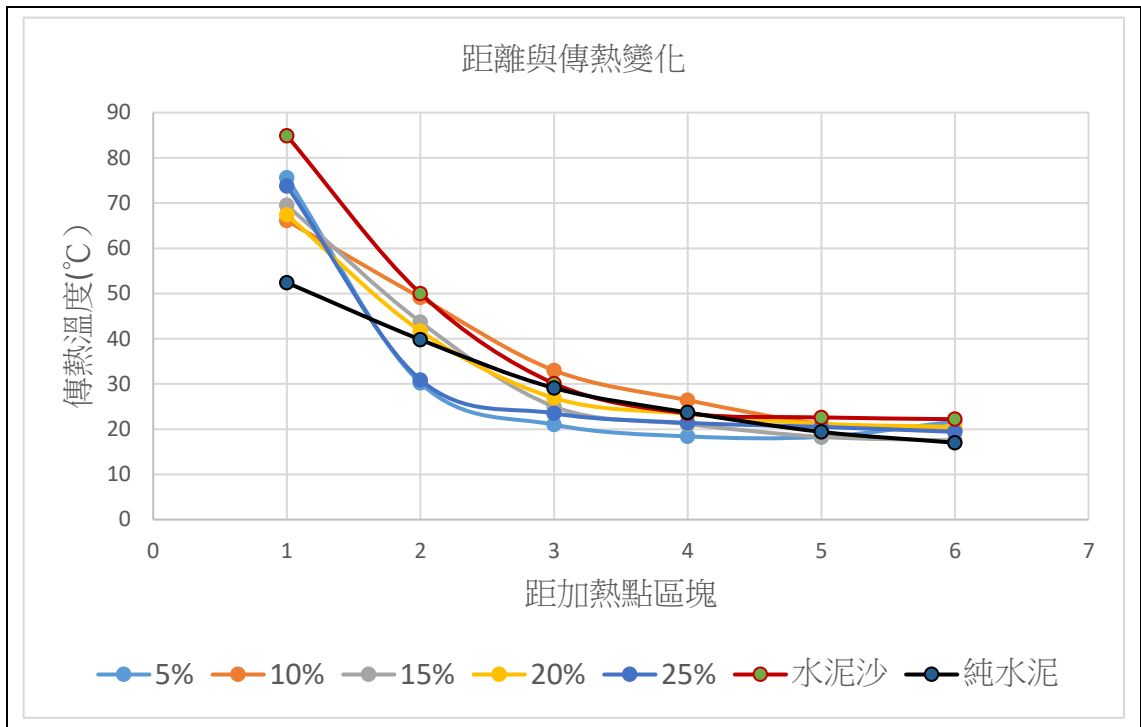
項目	1	2	3	4	5	6
5%	68.5	48.6	28.8	23.2	20.8	20.6
10%	63.1	53.0	35.0	27.8	23.8	22.2
15%	91.5	64.2	29.7	22.4	20.1	19.1
20%	56.4	49.9	29.9	23.5	21.2	21.2
25%	63.8	46.1	28.9	24.0	22.2	21.5
30%	78.5	39.7	24.6	19.8	18.8	17.1
35%	74.0	48.4	25.7	21.3	19.9	19.6
40%	92.6	57.8	41.3	28.6	24.3	23.1
45%	51.2	35.3	27.4	22.3	19.5	18.3
水泥砂	84.9	50.0	30.1	23.5	22.6	22.2



20%水泥塊上升溫度較低傳熱較均勻，45%水泥塊與純水泥上升溫度低也較均勻傳熱。

粗蛋殼粉，縱行為粗蛋殼粉所占比例，橫列為樣本區塊(數據越大距加熱處越遠)。

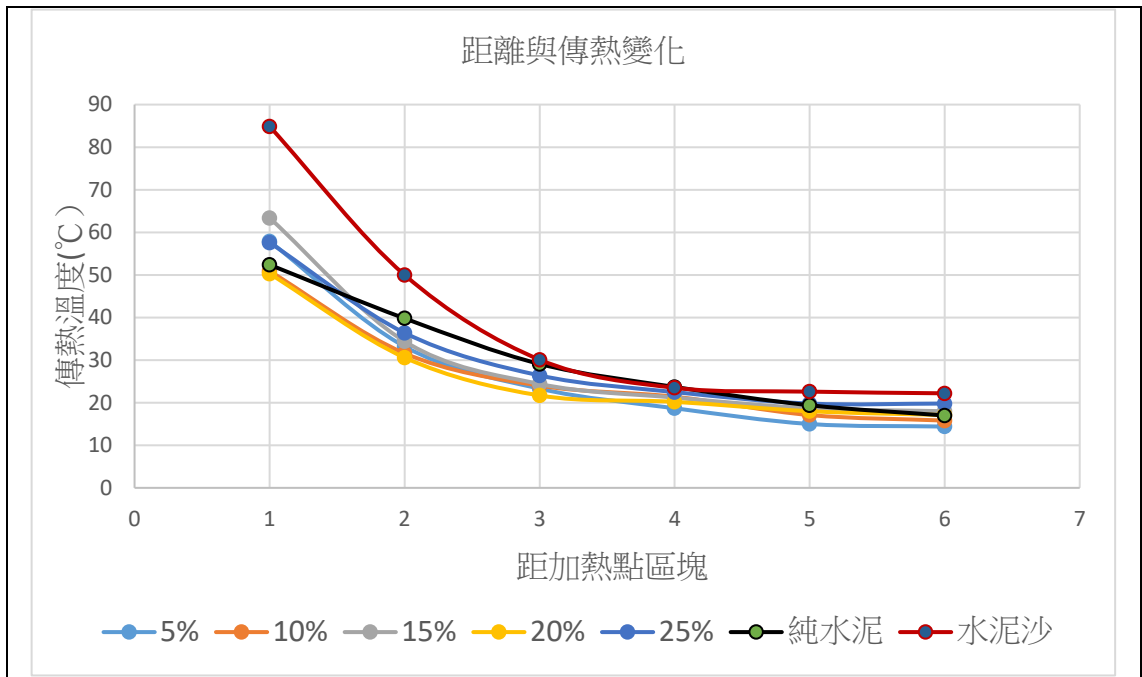
項目	1	2	3	4	5	6
5%	75.6	30.2	21.0	18.4	18.3	21.7
10%	66.1	49.1	33.0	26.4	21.2	19.6
15%	69.5	43.7	25.0	21.1	18.3	17.5
20%	67.4	41.7	26.9	23.4	21.2	20.5
25%	73.8	30.9	23.5	21.4	20.5	19.4
水泥沙	84.9	50.0	30.1	23.5	22.6	22.2
純水泥	52.4	39.8	29.1	23.7	19.4	17.0



5%、25%水泥塊與水泥砂熱都集中在加熱點上，但水泥砂傳熱較高。

細蛋殼粉，縱行為細蛋殼粉所占比例，橫列為樣本區塊(數據越大距加熱處越遠)。

項目	1	2	3	4	5	6
5%	57.9	33.2	23.3	18.7	15.0	14.4
10%	50.9	31.6	24.0	21.4	17.1	15.8
15%	63.4	34.4	24.4	21.2	18.7	18.0
20%	50.3	30.6	21.7	20.2	18.0	17.1
25%	57.6	36.4	26.4	22.5	19.8	19.8
純水泥	52.4	39.8	29.1	23.7	19.4	17.0
水泥沙	84.9	50.0	30.1	23.5	22.6	22.2



從純水泥比較混和蛋粉與粗蛋粉的傳熱效率相對性低，而細蛋粉的傳熱效率又比純水泥相同或更低，因此細蛋粉比混和蛋粉與粗蛋粉的傳熱效率低。

(二)、 隔音效果測試數據如下(寧靜音量 49 分貝、鬧鐘音量 80 分貝)

混和蛋粉(APP 音量測試單位：分貝 dB)

項目	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%
APP1	70	73	73	68	70	73	70	72	70
APP2	69	72	74	68	69	73	71	74	73
平均	69.5	72.5	73.5	68	69.5	73	70.5	73	71.5

粗蛋粉及水泥砂

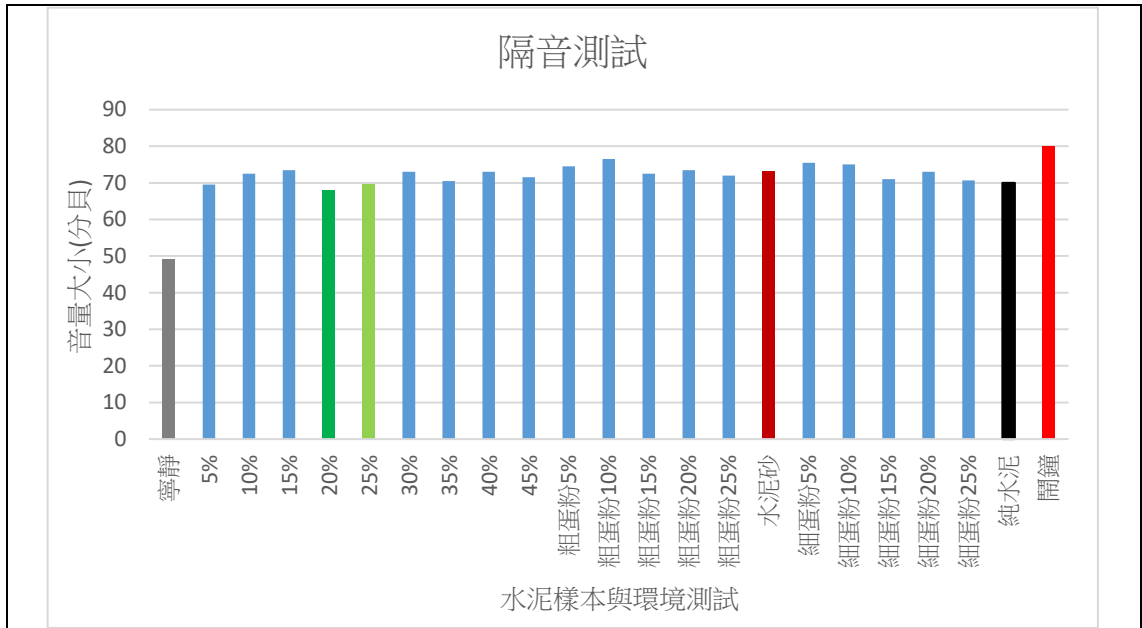
項目	5%	10%	15%	20%	25%	水泥砂
APP1	74	79	73	73	72	75
APP2	75	74	72	74	72	71
平均	74.5	76.5	72.5	73.5	72	73

細蛋粉及純水泥

項目	5%	10%	15%	20%	25%	純水泥
APP1	77	77	71	74	72	69

APP2	74	73	71	72	69	71
平均	75.5	75	71	73	70.7	70


各式樣本隔音數據比較總圖



從相同比例不同蛋粉水泥來看，混和蛋粉 5% < 粗蛋粉 5% < 細蛋粉 5%、混和蛋粉 10% < 粗蛋粉 10% < 細蛋粉 10%、混和蛋粉 20% < 粗蛋粉 20% < 細蛋粉 20%、混和蛋粉 25% < 粗蛋粉 25% < 細蛋粉 25%。

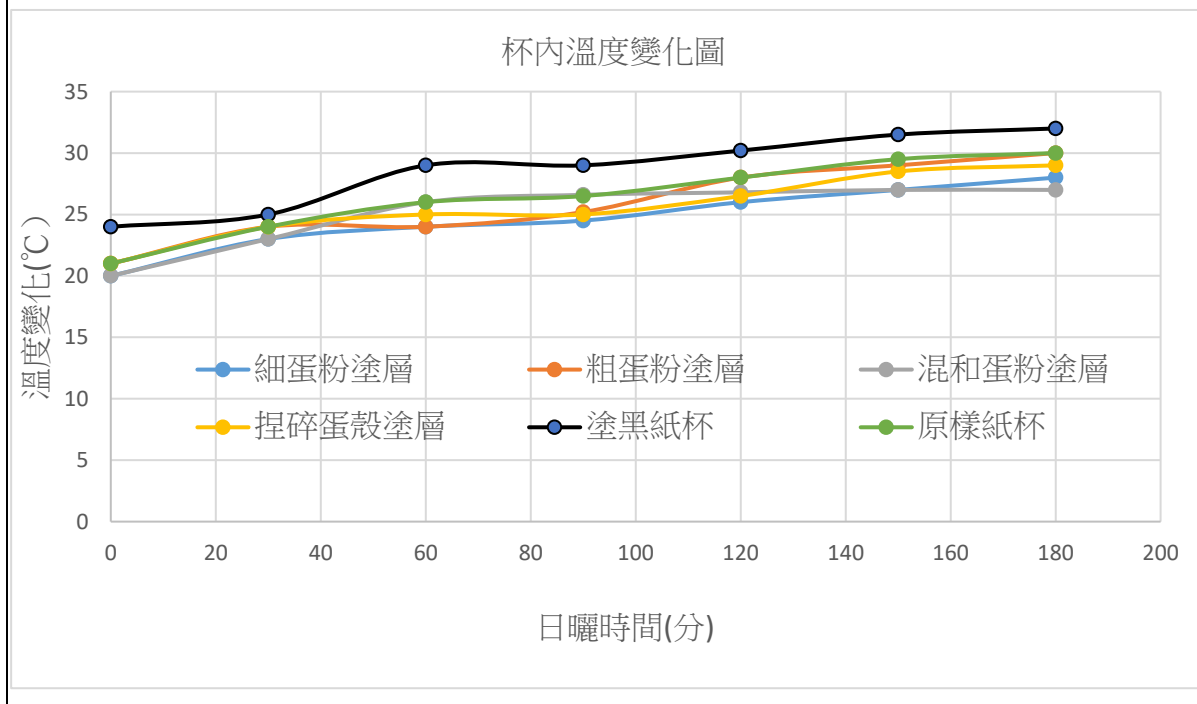
四、蛋殼粉塗層抵抗輻射熱的測量如下。

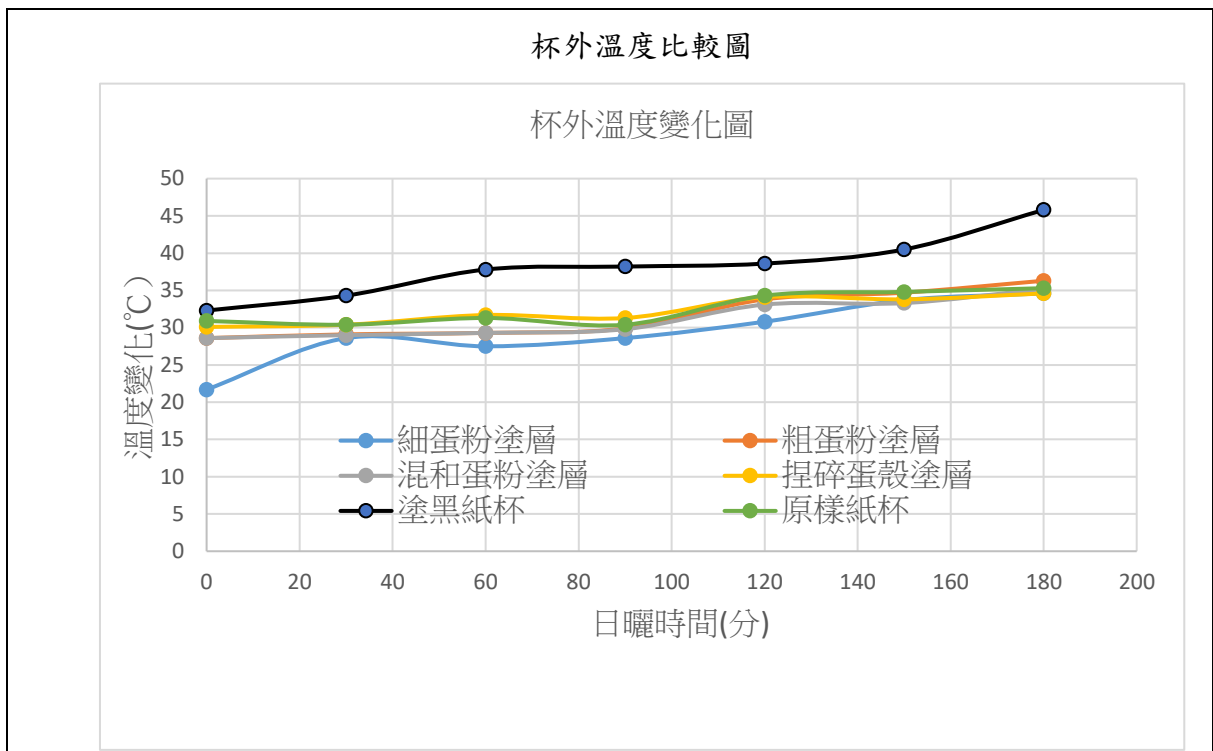
輻射熱測試如下

		時間(分)	0	30	60	90	120	150	180
		樣本位置 溫度°C							
細蛋粉	杯內	20.0	23.0	24.0	24.5	26.0	27.0	28.0	

塗層	杯外	21.7	28.6	27.5	28.6	30.8	33.7	34.6
粗蛋粉塗層	杯內	21.0	24.0	24.0	25.2	28.0	29.0	30.0
	杯外	28.6	29.1	29.3	29.9	33.8	34.7	36.3
混和蛋粉塗層	杯內	20.0	23.0	26.0	26.6	26.8	27.0	27.0
	杯外	28.6	29.0	29.3	29.8	33.1	33.3	35.2
捏碎蛋殼塗層	杯內	21.0	24.0	25.0	25.0	26.5	28.5	29.0
	杯外	30.1	30.4	31.7	31.3	34.1	33.8	34.6
塗黑紙杯	杯內	24.0	25.0	29.0	29.0	30.2	31.5	32.0
	杯外	32.3	34.3	37.8	38.2	38.6	40.5	45.8
原樣紙杯	杯內	21.0	24.0	26	26.5	28.0	29.5	30.0
	杯外	30.9	30.4	31.3	30.4	34.3	34.8	35.3

杯內溫度比較圖





由數據顯示細蛋粉塗層抗輻射熱的效果較好才能使杯內溫度較低。

五、各式蛋殼粉與碳酸氫鈉滅火測試如下

混和蛋粉、粗蛋粉、細蛋粉、碳酸氫鈉測試數據如下(○表示撲滅、×表示未撲滅)

次數 待測物 質量 g	1	2	3	4	5	6	7
混和蛋粉	2.0 ○	1.0 ○	0.5 ○	0.3 ○	0.15 ○	0.07 ×	0.09 ○
粗蛋粉	5.5 ×	5.0 ×	4.0 ×	3.5 ×	3.0 ×	2.5 ×	2.0 ○
細蛋粉	2.0 ○	1.0 ○	0.5 ○	0.2 ○	0.1 ○	0.05 ○	0.02 ○
碳酸氫鈉	2.0 ○	1.0 ○	0.5 ○	0.2 ○	0.1 ○	0.05 ○	0.02 ○

根據化學反應方程式(如下)

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ <p>分子量: $\text{CaCO}_3=100$, $\text{CO}_2=44$</p> <p>mol : $\text{CaCO}_3 = 0.02/100 = \text{CO}_2 = 0.0002$</p> <p>根據理想氣體方程式 $PV=NRT$ 中</p>	$2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ <p>分子量: $\text{NaHCO}_3=84$, $\text{CO}_2=44$</p> <p>mol : $\text{NaHCO}_3 = 0.02/84 = \text{CO}_2 = 0.000238$</p> <p>根據理想氣體方程式 $PV=NRT$ 中</p>
---	---

室溫 27°C、1mol 的氣體體積為 24.6L 因此 $0.0002 \times 24.6L = 4.92\text{ml}$	室溫 27°C、1mol 的氣體體積為 24.6L 因此 $0.0002381 \times 24.6L = 5.38\text{ml}$
---	--

細蛋粉滅火效果最好，混和蛋粉內含有細蛋粉所以至少要 0.1g 才能撲滅，而粗蛋粉效果最差因此需再研磨成細蛋粉再使用，雖然細蛋殼粉產生 CO₂ 的體積少於 NaHCO₃，但也可以取代小蘇打作為滅火材料。

陸、結果與討論

- 一、從製作好的水泥樣本外觀是很難判斷出添加物是蛋殼或沙，但從耐撞力可以確定添加蛋殼粉並不比添加沙較差，因此未來建築業可以選擇蛋殼粉並能有效利用廢棄物。
- 二、樣本加熱時溫度變化可以看出只要混入蛋粉的水泥溫度相對比水泥砂低，但建築材料還要考慮其他因素，需要精密儀器測量符合標準就可以做為水泥添加劑。
- 三、隔音實驗發現蛋粉比例太高或太低效果變差了，混和蛋粉又比粗蛋粉及細蛋粉效果較好，是因為混和蛋粉在水泥塊分布不均且孔隙較多的原因。
- 四、細蛋粉抗輻射熱效果較好是因為表面較光滑，不易吸收太陽輻射熱並可以做為隔熱材料，若能用在屋頂、儲油或儲氣槽的話，則油漆材料將會更環保。
- 五、細蛋粉使用在小型火場已經從實驗得知，用在大型火場是否能與實驗相同？這從碳酸氫鈉與細蛋粉的燃燒實驗得知，粉末月細接觸面積越大，遇到火源迅速燃燒分解成二氧化碳的氣體覆蓋住火源，噴灑得越多產生 CO₂ 的氣體越多，而且 CO₂ 的密度比空氣重。
- 六、從耐撞力、加熱溫度變化量、傳熱效率、隔音效果來判斷，成效最好時的蛋殼粉比例是 15%~25%，根據參考資料金門縣 13 萬多人口每年能有 44.5 噸的蛋殼量，那全台約 1300 萬人口就有 4450 噸蛋殼，添加水泥平均占比例約 20%，則可使用水泥量約 17800 噸，而 108 年台灣消費水泥量 1138 萬噸，因此年蛋殼量可以提供十年的水泥添加物，若能提高蛋粉在水泥的比例且品質穩定下並能大大降低水泥成本。

柒、研究檢討

- 一、研究中在蛋殼與蛋膜分離的工序中花費很多時間，為什麼要進行蛋膜分離的步驟呢？因為一開始蛋殼曬乾後直接放入果汁機打碎，過程中產生濃郁的味道及煙灰，若不考慮以上因素是可以少一道殼膜分離程序。

二、研究中的隔音裝置容易受到外界因素的干擾，須將紙箱內外黏上保麗龍板或吸音材料以減少誤差。

三、研究中抗輻射的紙杯製作如何讓杯外塗層厚度一致討論結果，是取質量相同、不同顆粒大小的蛋殼及定量的保麗龍膠互相調和後，再將紙杯放入調和膠水中靜置相同時間後取出倒放陰乾。

四、研究中滅火測試中細蛋粉的成效與小蘇打相同，若大量使用時會不會造成粉塵爆炸的問題？已知二者都會遇熱分解產生 CO_2 ，而且密度比空氣重，分解後會覆蓋火源之上能有效阻隔與氧氣的結合，而且未分解的蛋殼及分解後產生的氧化鈣也會覆蓋火源上。

捌、參考文獻

1. 陳柏澄、黃天睿、陳威廷、歐陽凱宸、蔡顯擎，酒研英雄，中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
2. 崔祐荃、洪英捷、張立欣、陳淳彥，水泥快乾的探討，第 33 屆全國中小學科展作品
3. 潘咨伶、蔡嘉慧、陳姿妤，廢物利用～愛護地球土地，金門地區第 59 屆科學展覽
4. 廖國裕，& 彭耀南. (2003). 混凝土中骨材與水泥漿界面處過渡區性質與耐久性之研究 (Doctoral dissertation).
5. 自然與生活科技二上，康軒文教事業
6. 台灣水泥股份有限公司，網址：
<https://www.moneydj.com/kmdj/wiki/wikiviewer.aspx?keyid>

【評語】 032909

1. 由實驗證實添加適當比例的蛋殼粉，可在不降低力學強度之下，達到防火、隔音與抗輻射熱的效果。實驗設計有趣且合理，研究成效明顯，唯過往已有類似作品。
2. 探討加入隔音效果、抗輻射熱及防火測試，具有民生實用之可能。
3. 實驗數據整理用心，團隊合作表現突出。
4. 實驗中只有一個樣品作測試，可能會導致結論上的偏差。許多實驗的測試細節應可說明再詳細一些。

作品簡報

蛋殼翻身之路～建築貝蛋

摘要

研究中的蛋殼從實驗角度來看，在製作水泥樣本前後與砂調和水泥過程相同，甚至在加熱溫度變化、傳熱表現、隔音效果、抗輻射熱及防火測試都有優於純水泥及商業用水泥砂，其中防火測試的結果與碳酸氫鈉相同；再則從環境角度來看，在不同比例的水泥樣本中，雖然20%的蛋殼水泥各項測試最佳，但還有更高比例的樣本比商業用水泥砂好，因此，若能降低水泥用量也能降低製造水泥的CO₂的排放量，還能解決大量蛋殼的問題。

研究動機

回家或上學的路上常常看到高粱田上有二、三堆的蛋殼，心裡想說什麼人這麼沒有公德心隨地亂丟蛋殼，原來得知是把蛋殼可以當作肥料，只是蛋殼還蠻硬的，沒有經過處理是很難分解掉的，就好像蚶殼，拿來研究並作為其他用途，既然如此就來研究蛋殼的其他用途吧。

研究方向: 建築材料、防火、抗輻射

研究目的

- 一、探討蛋殼作為建築材料添加物可能性。
- 二、了解蛋殼水泥耐撞力是否與水泥製品相似。
- 三、了解蛋殼水泥加熱溫度變化與熱傳導與隔音效果是否與水泥製品相似。
- 四、了解蛋殼粉作為塗料抵抗輻射熱的能力。
- 五、了解蛋殼滅火效果能否與碳酸氫鈉相同。

研究流程



清洗→蛋膜分離→曬乾



混和蛋粉



100目



粗蛋粉

收集蛋殼

取自學校餐廳

清洗蛋殼及打碎蛋殼

蛋殼與蛋膜分離及過濾蛋殼粉



150目

細蛋粉

耐撞力測試

熱傳導及聲音測試

熱輻射測試及防火測試

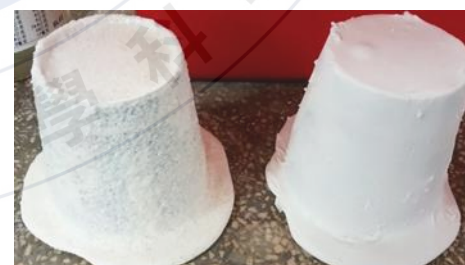
測試耐受力

熱傳導效果與噪音
分貝量變化

輻射溫度變化及滅火性



蛋殼擊碎設備



使用蛋殼作為建築材料的步驟如下

清洗→蛋膜分離→曬乾→破碎→過濾→
以比例調和水泥→陰乾→澆水→成品



→進行隔音效果測試

→加熱測試溫度變化

→撞擊測試耐受力

→蛋粉抗輻射測試

→滅火測試

蛋粉與水泥粉調和比例如下

蛋粉 (%)	蛋粉 (g)	水泥粉 (%)	水泥粉 (g)	總重 (g)
5	25	95	475	500
10	50	90	450	500
15	75	85	425	500
20	100	80	400	500
25	125	75	375	500
30	150	70	350	500
35	175	65	325	500
40	200	60	300	500
45	225	55	275	500

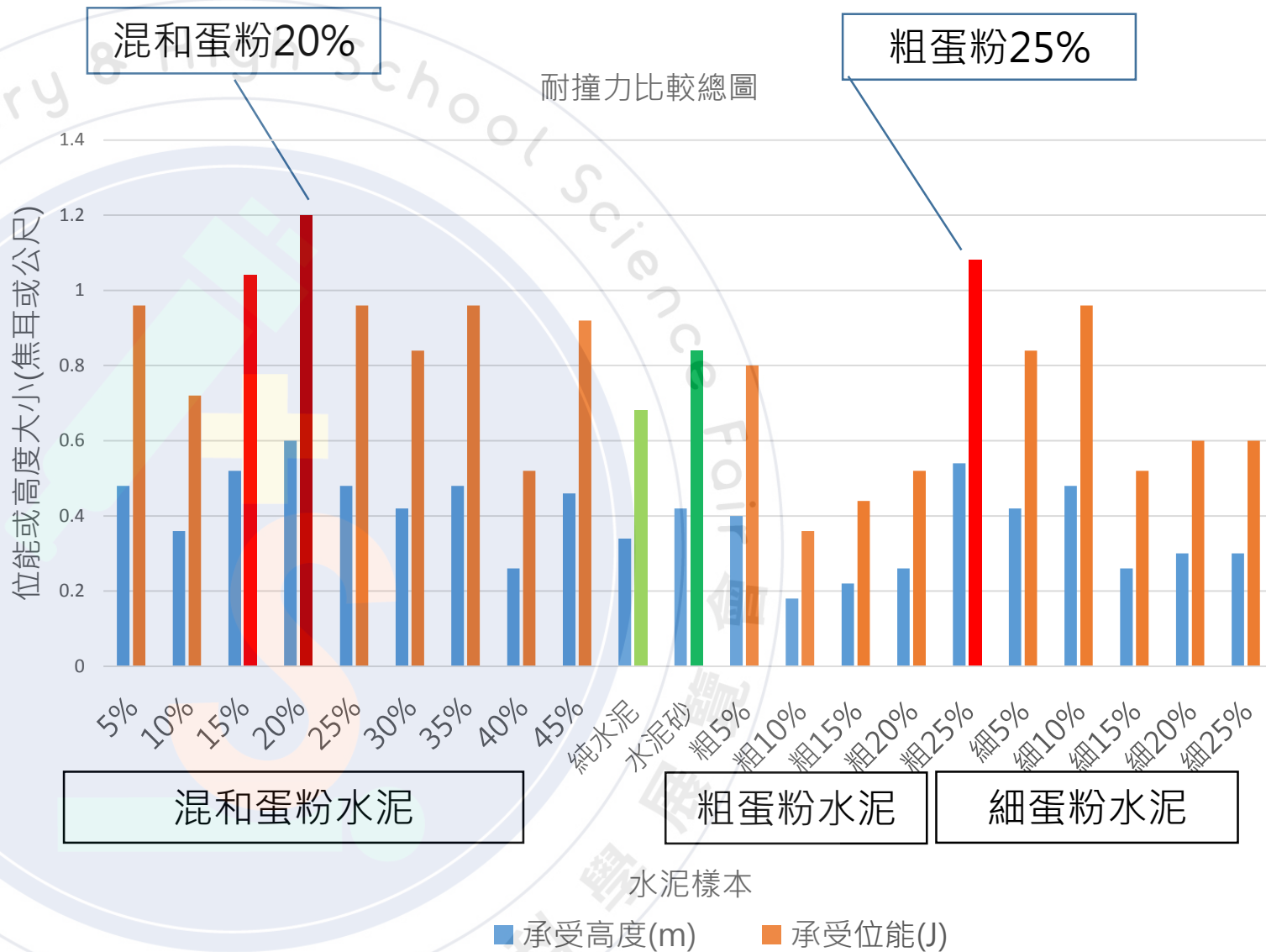
蛋殼水泥耐撞力測試如下



吊錘吊線墜砵撞擊水泥樣本

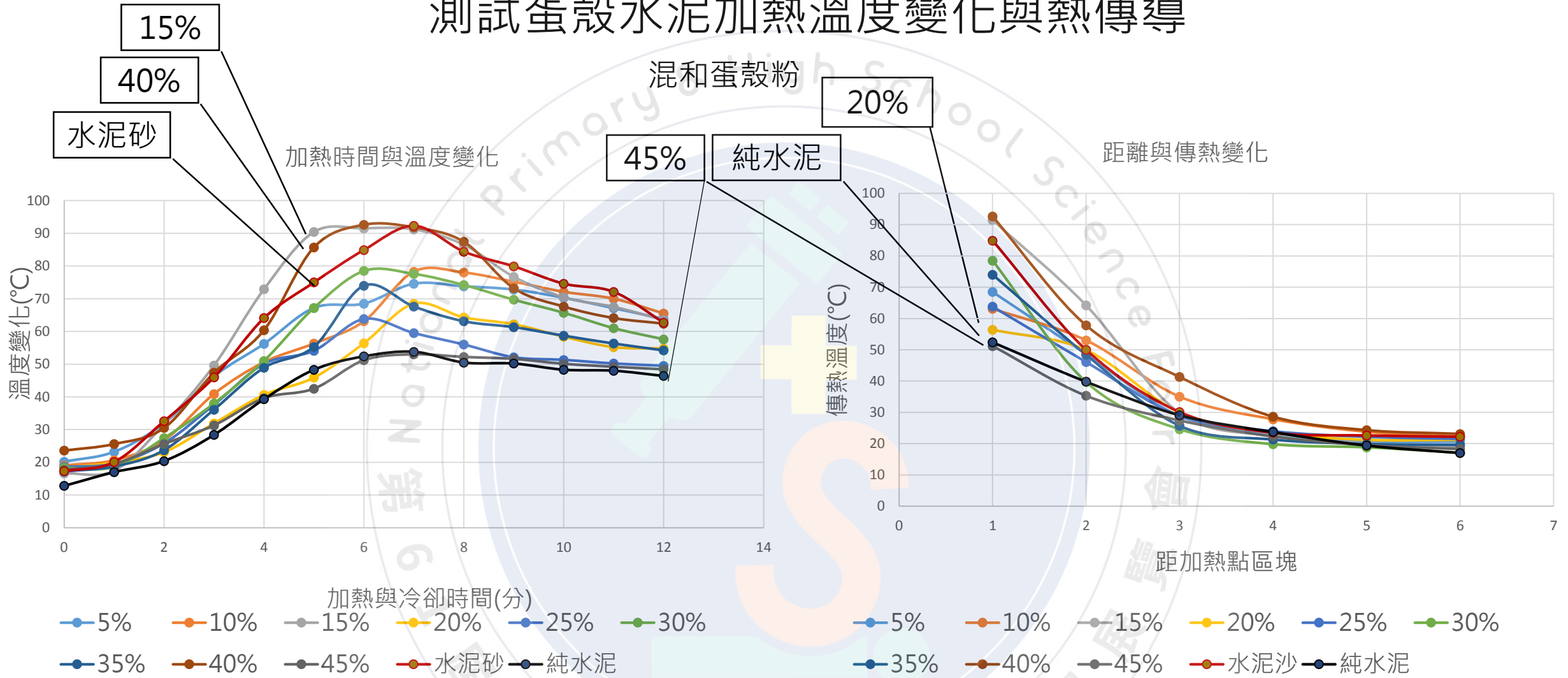


以混和蛋粉的水泥樣本耐撞力大部分優於其他



從製作好的水泥樣本外觀是很難判斷出添加物是蛋殼或沙，但從耐撞力可以確定添加蛋殼粉並不比添加沙較差，因此未來建築業可以選擇蛋殼粉並能有效利用廢棄物。

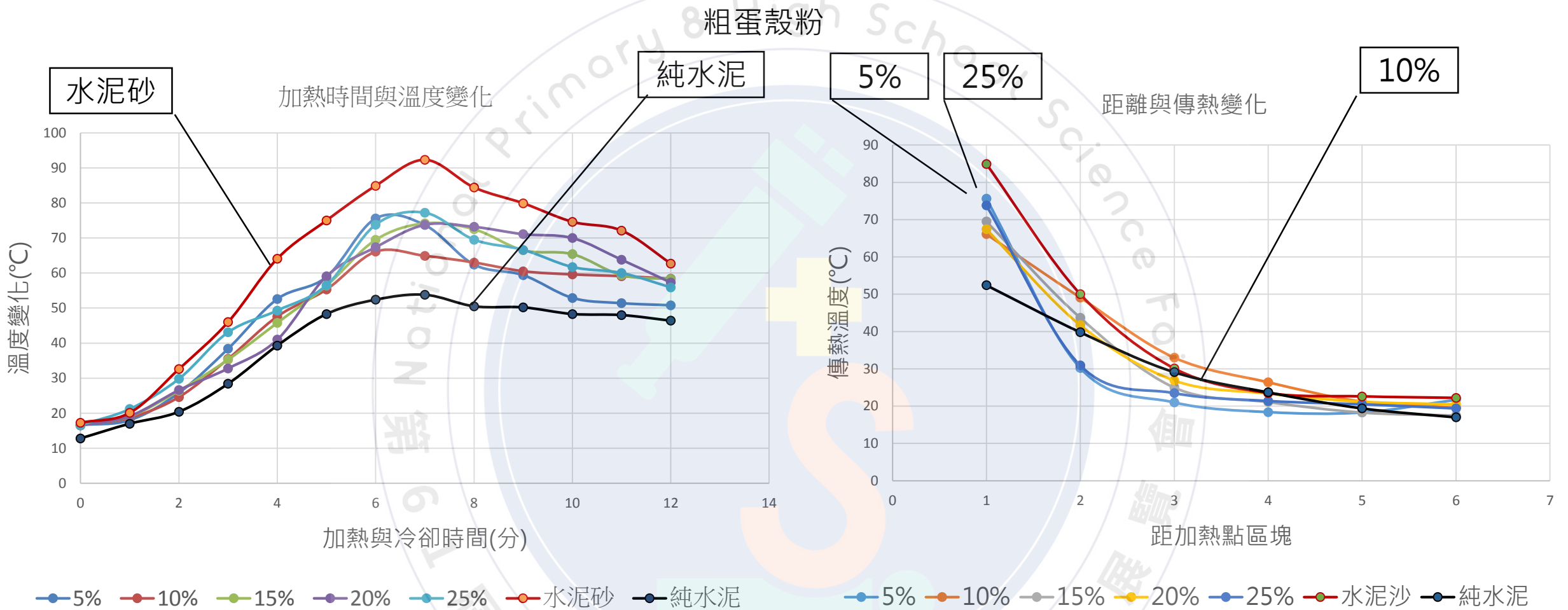
測試蛋殼水泥加熱溫度變化與熱傳導



15%及40%混和蛋粉加熱溫度上升較高，仔細觀察水泥調和時氣泡生成少及水泥塊外觀發現表面孔隙較小，因此熱較不易散失。

20%水泥塊上升溫度較低傳熱速度慢，45%水泥塊與純水泥上升溫度低也較均勻傳熱。

測試蛋殼水泥加熱溫度變化與熱傳導



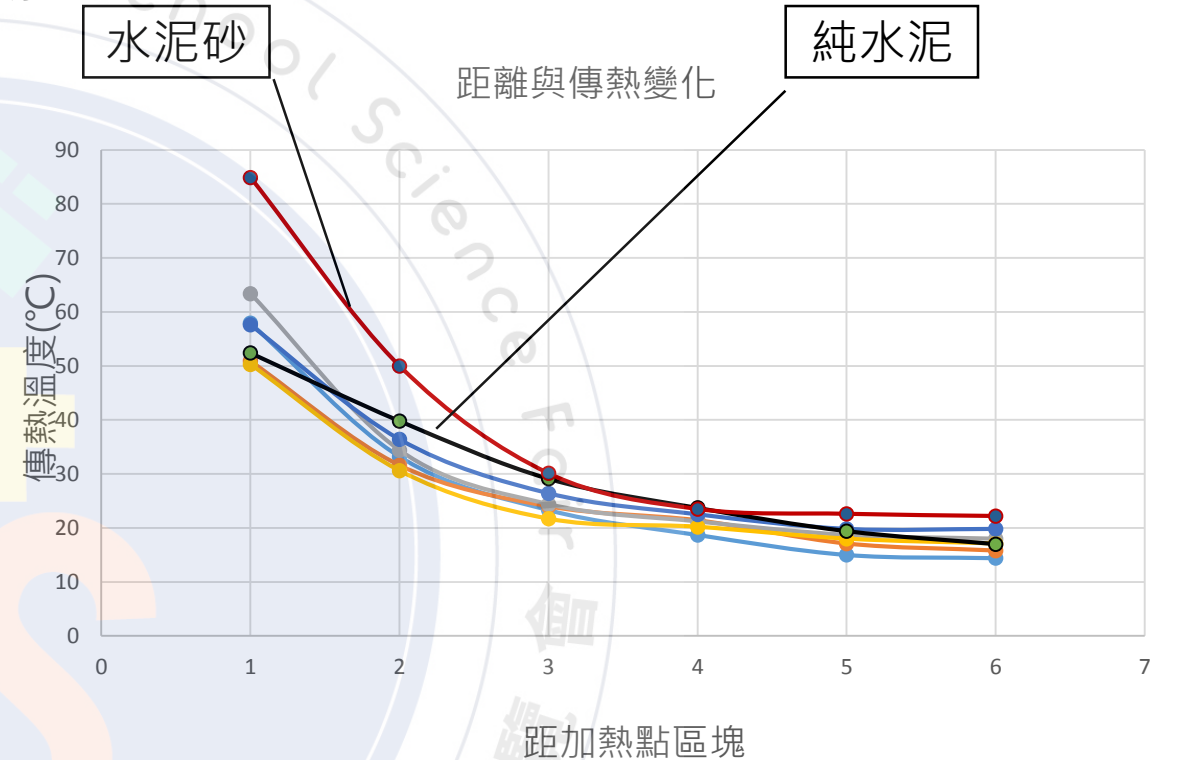
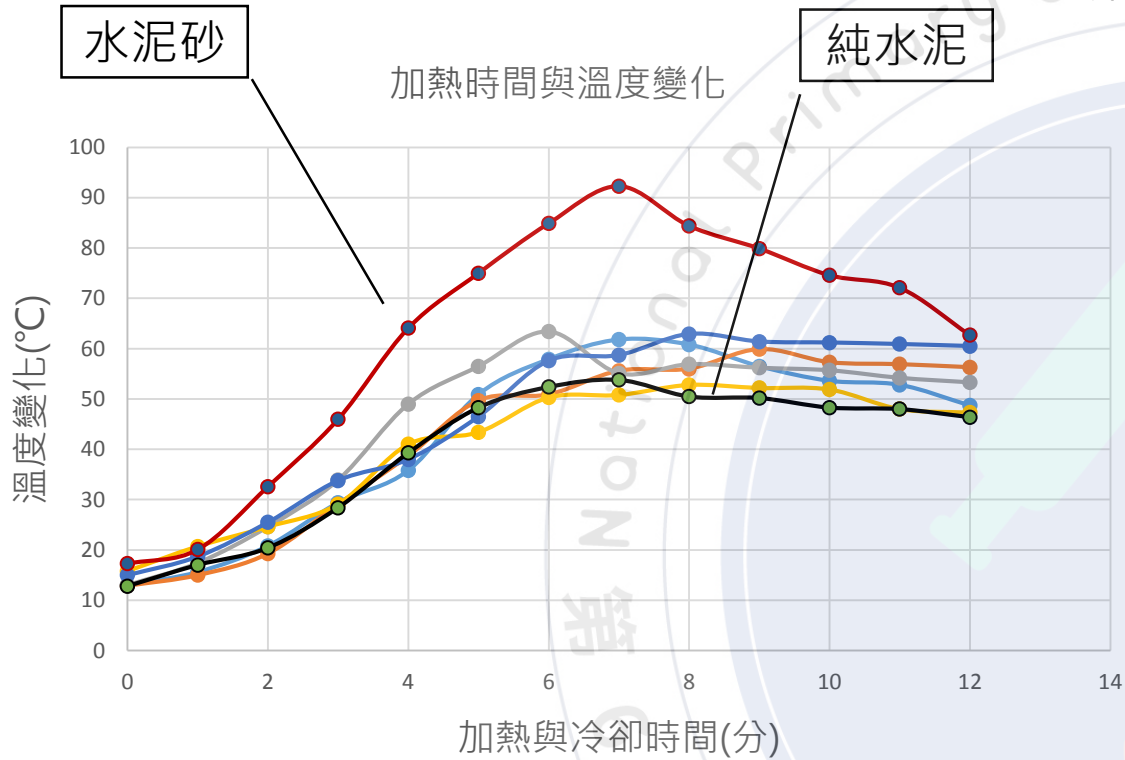
粗蛋粉水泥塊溫度變化介於水泥砂與純水泥之間。

5%、25%水泥塊與水泥砂熱都集中在加熱點上、10%傳熱較平均，以水泥砂傳熱較高。

測試蛋殼水泥加熱溫度變化與熱傳導

細蛋殼粉

細蛋粉水泥傳熱
溫度較低較均勻



● 5% ● 10% ● 15% ● 20% ● 25% ● 純水泥 ● 水泥砂

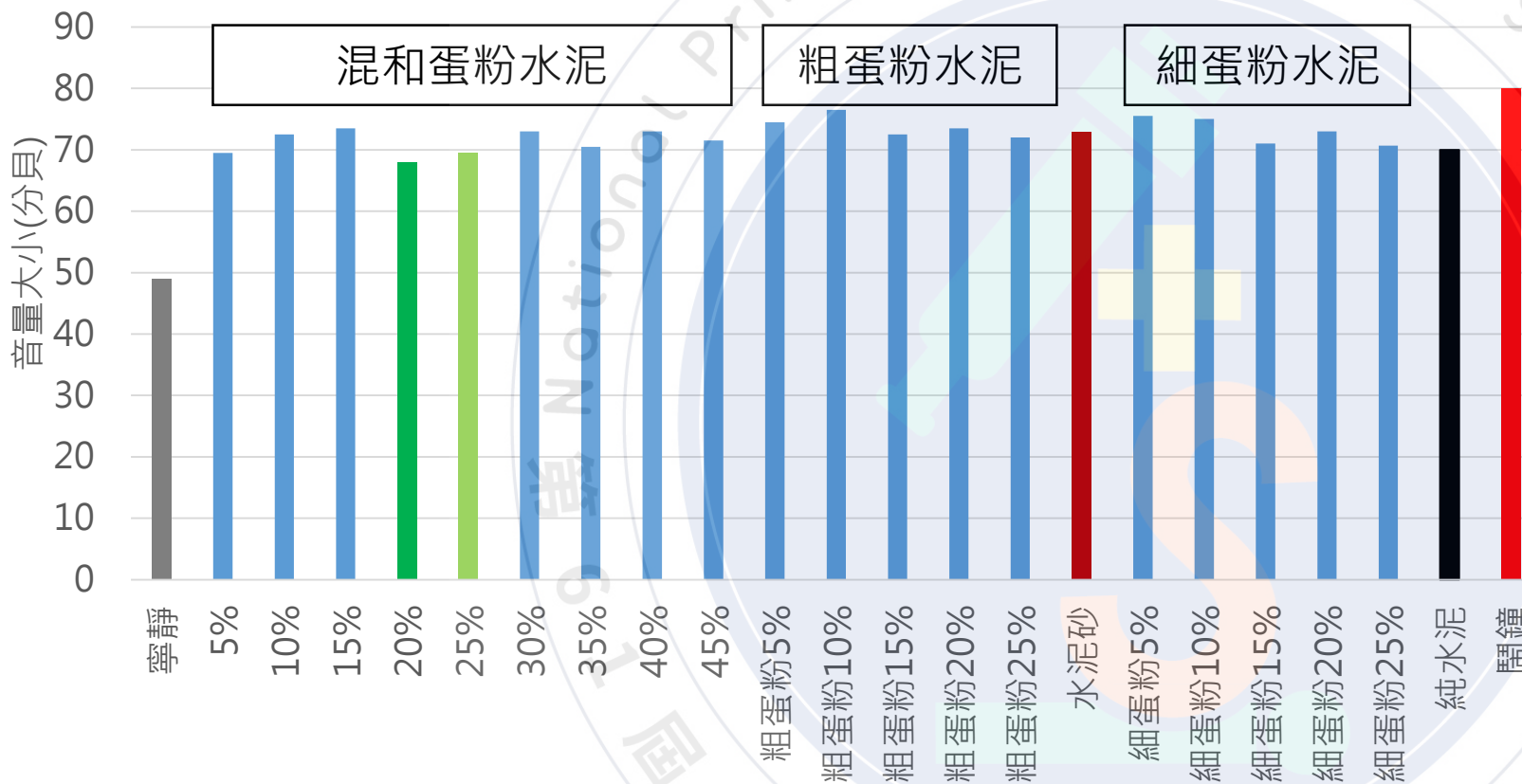
● 5% ● 10% ● 15% ● 20% ● 25% ● 純水泥 ● 水泥砂

水泥砂加熱溫度高是因為混入沙的比熱小，溫度上升快，降溫時因為純水泥使比熱小的砂不易將熱傳導到外界，而有些細蛋粉的水泥塊溫度變化與純水泥相同。

從純水泥比較混和蛋粉與粗蛋粉的傳熱溫度相對性低，而細蛋粉的傳熱溫度又比純水泥相同或更低，因此細蛋粉比混和蛋粉與粗蛋粉的傳熱溫度低。

隔音效果測試數據如下

隔音測試



水泥樣本與環境測試

同比例不同蛋粉水泥來看

1. 5%:混和蛋粉 < 粗蛋粉

< 細蛋粉

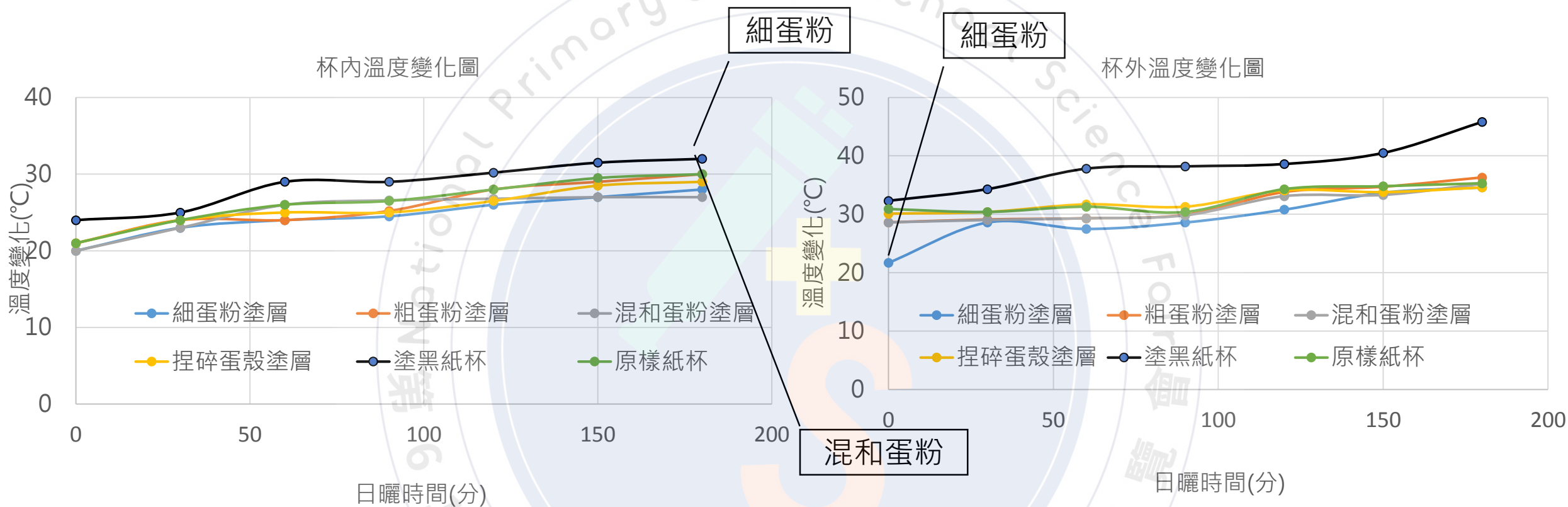
2. 10%:混和蛋粉 < 粗蛋粉 < 細蛋粉

3. 20%:混和蛋粉 < 粗蛋粉 < 細蛋粉

4. 25%:混和蛋粉 < 粗蛋粉 < 細蛋粉

隔音實驗發現蛋粉比例太高或太低效果變差了，混和蛋粉20%效果較好。

蛋殼粉塗層抵抗輻射熱的測量如下



結論:細蛋粉抗輻射熱效果較好是因為表面較光滑，不易吸收太陽輻射熱並可以做為隔熱材料，若能用在屋頂、儲油或儲氣槽的話，則油漆材料將會更環保。



各式蛋殼粉與碳酸氫鈉滅火測試如下

次數	1	2	3	4	5	6	7
待測物 質量 g							
混和蛋粉	2.0 ○	1.0 ○	0.5 ○	0.3 ○	0.15 ○	0.07 ×	0.09 ○
粗蛋粉	5.5 ○	5.0 ×	4.0 ×	3.5 ×	3.0 ×	2.5 ×	2.0 ×
細蛋粉	2.0 ○	1.0 ○	0.5 ○	0.2 ○	0.1 ○	0.05 ○	0.02 ○
碳酸氫鈉	2.0 ○	1.0 ○	0.5 ○	0.2 ○	0.1 ○	0.05 ○	0.02 ○

結論:細蛋粉使用在小型火場已經從實驗得知，用在大型火場是否能與實驗相同？這從碳酸氫鈉與細蛋粉的燃燒實驗得知，粉末越細接觸面積越大，遇到火源迅速燃燒分解成二氧化碳氣體，而且CO₂的密度比空氣重會覆蓋住火源，噴灑得越多產生CO₂的氣體越多。

研究討論與結論

- 一、研究中在蛋殼與蛋膜分離的工序中花費很多時間，為什麼要進行蛋膜分離的步驟呢？因為一開始蛋殼曬乾後直接放入果汁機打碎，過程中產生濃郁的味道及煙灰，若不考慮以上因素是可以少一道殼膜分離程序。
- 二、研究中的隔音裝置容易受到外界因素的干擾，須將紙箱內外黏上保麗龍板或吸音材料以減少誤差。
- 三、研究中抗輻射的紙杯製作如何讓杯外塗層厚度一致討論結果，是取質量相同、不同顆粒大小的蛋殼及定量的保麗龍膠互相調和後，再將紙杯放入調和膠水中靜置相同時間後取出倒放陰乾。
- 四、研究中滅火測試中細蛋粉的成效與小蘇打相同，若大量使用時會不會造成粉塵爆炸的問題？已知二者都會遇熱分解產生 CO_2 ，而且密度比空氣重，分解後會覆蓋火源之上能有效阻隔與氧氣的結合，而且未分解的蛋殼及分解後產生的氧化鈣也會覆蓋火源上。

未來展望

- 一、環境上：台灣人對蛋的使用量很大，甚至全世界都偏好這類食物，因此蛋殼的產生相當大，若隨意丟棄不僅難以分解而且會影響環境(資料指出蛋殼泡水會有腐臭味，並不利於植物生長)，妥善處理對環境十分友善。
- 二、民生上：將蛋殼融入建築材料會減少砂的用量，將減少河川砂的使用量，有助於橋墩的維護並確保民生的安全，而且樣本的各项測試優於砂的使用，並提高生活品質。
- 三、經濟上：提供另一種新興產業並降低建築上的成本，有助於民生經濟與環境成本。