

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 工程學(二)科

(鄉土)教材獎

052408

不怕熱的瀝青-遮熱塗層應用於瀝青路面

學校名稱：國立臺南第二高級中學

作者： 高二 林廷諺 高二 倪佑慈	指導老師： 何雅修
-------------------------	--------------

關鍵詞：蚶殼、二氧化鈦、遮熱塗層

摘要

本研究目的為替柏油路增加遮熱塗層以延長使用年限，參考文獻曾利用二氧化鈦，但因為遇到液體時摩擦係數會變得非常小，所以文獻中有增加粒料用來增加摩擦力。為兼顧環保與成本，我們想利用台南盛產的蚵殼代替粒料及二氧化鈦來完成成本更低的遮熱塗層。

為確保研究成果符合工程實用性，我們使用公路總局近年新研發的密級配瀝青磚作為實驗對象，利用高強度凝固快的 EB1 環氧樹脂與二氧化鈦與蚵殼，便可作為瀝青上方的遮熱塗層。EB1A 劑：EB1B 劑：二氧化鈦：蚵殼=60g：20g：20g：80g，其配方混合而成之遮熱塗層進行測試時得到最好的升溫抑制能力，凝固時間 1 小時，2 小時會達到完全硬化，其兼顧強度、成本與道路安全規範，且鋪設流程相當方便。

壹、前言

一、研究動機

隨著氣溫日趨上升，印度柏油路傳出因氣溫過高而熔化，鞋子也會被柏油黏住而脫落。我們在物理課中曾經學到光是一種波，而波遇到障礙物時，會反射同時也會被吸收部分能量，尤其是深色且不平坦的物體表面吸收效果更好，所以我們在想如果摻雜或是鋪上一些反射材質或許能減少柏油路的吸熱能力，法國就曾由工程師利用碎貝殼鋪路達到了升溫抑制的效果。(王蕙文，2019 年 8 月 5 日)

我們想正好台南有非常多的蚵仔，可以此為出發點，試著混合蚵殼與其他材料在柏油路面上，看是否有類似效果。這樣既可以讓蚵殼有更大的使用價值也可以解決柏油路高溫的問題。而在查找文獻時，找到一篇以二氧化鈦為遮熱塗層的研究論文，在仔細閱讀後，發現二氧化鈦結合粒料做為遮熱性鋪面能達到升溫抑制的效果，所以我們決定試著把論文中的二氧化鈦及粒料用蚵殼取代，做出「環保再生」與「遮熱功能」兼具的遮熱性鋪面，接下來我們會以「遮熱塗層」進行說明研究內容。

二、研究目的

- (一) 研究各形式瀝青混凝土及瀝青磚文獻探討
- (二) 製作以二氧化鈦為遮熱塗層，探討升溫抑制能力
- (三) 製作以蚵殼為遮熱塗層，以不同操縱變因探討升溫抑制能力
- (四) 製作以蚵殼混合二氧化鈦為遮熱塗層，探討升溫抑制能力
- (五) 探討遮熱塗層的耐用性
- (六) 探討遮熱塗層的靜摩擦係數(防滑係數)
- (七) 與相同條件之路用粒料所做遮熱塗層比較及成本分析

三、文獻回顧

(一)密級配瀝青磚

瀝青混凝土依照使用情境特性不同，目前共有密級配、多孔性、石膠泥、澆注式四種瀝青混凝土，由於因日照吸熱而導致的意外發生在民眾日常行進場所，這次研究便以路面最常見的密級配瀝青混凝土做為實驗基底，為所有實驗的控制變因。但瀝青混凝土為重要交通基礎建設，相關品質標準相當嚴格。

(二)二氧化鈦性質

二氧化鈦又名氧化鈦或鈦白，俗稱鈦白粉。是應用最廣、用量最大的一種白色顏料。二氧化鈦的化學性質相當穩定，在一般情況下與大部份化學試藥不會發生反應，也不溶於水、脂肪酸和弱無機酸，但微溶於鹼及溶於熱強酸或強酸。根據二氧化鈦於體內吸收、分布及排出情形指出，口服的二氧化鈦吸收率極低、生物利用率差，此特性與其粒徑的大小並無關係。二氧化鈦用於食品添加物中並不會引起基因毒性。二氧化鈦吸收率低的特性、以及安全極限值認為二氧化鈦對於使用者的健康並無風險上的疑慮。所以對於用於遮熱塗層對用路人與施工人員是相當安全的。

(三)蚵殼成份與性質

牡蠣殼成分主要含有 37.4%的鈣，和其他微量金屬：鈉(0.594%)、鎂(0.269%)、鉀(0.012%)、鐵(0.034%)等組成(Kwon et al., 2004)。牡蠣殼的密度約為 2.41 g/cm³ (Yoon et al.,2004)，密度大於水，且具有耐熱、耐壓的性質，使得牡蠣殼有再利用的特性。磨碎的牡蠣殼可應用在取代混凝土中的細骨材，且混凝土的壓縮強度不會減小(Yang et al.,2005)。至此可以發現，其實蚵殼能做為瀝青成分的粒料是沒有問題的，如果拿來做成遮熱塗層，也應能有足夠的耐用度。(林巧雯、張文亮，2011)

(四)陽光照度與影響

- 1.輻射能跟接收太陽輻射的面積與曝光時間有關。在垂直陽光方向的截面上，當陽光強度均勻時，可把輻射能除以面積，得到照射量或輻射曝光量 (Insolation,Irradiation)，也就是單位面積上的能量，單位為焦耳每平方公尺 (J/m²) 或度每平方公尺 (kWh/m²)。
- 2.當陽光強度穩定時，可以把輻射能除以時間，得到輻射功率 (Radiant power) 或稱為輻射通量 (Radiant flux)；功率就是單位時間的能量變化，單位為瓦特 (W=J/s) 或度每單位時間 (kWh/P，P 為計算平均功率的某個周期，例如時、天、年)。

3.假如把輻射能除以面積與時間，即得到輻射度或照射度（Irradiance，簡稱照度），單位為瓦特每平方公尺（ W/m^2 ）或度每單位時間（某個周期 P，例如：天、月、年）每平方公尺（ $kWh/(m^2P)$ ）。（黃明輝，2015）

4.台灣全年日照射量為 $1010 kWh/m^2 \sim 1265 kWh/m^2$ ，平均太陽日照度約在 $115 \sim 144 W/m^2$ ，台灣每年接受陽光照射的能量強度致使氣溫升高，連帶造成瀝青路面會跟著升高。

以台灣為例說明，在北迴歸線 23.5 度處：

(1)若七天平均最高空氣溫度： $36^\circ C$ ，平均路面最高溫度值為 $58.74^\circ C$

(2)若七天平均最高空氣溫度偏差 $2^\circ C$ ，即七天平均最高空氣溫度達 $38^\circ C$ ，平均路面最高溫度則為 $60.65^\circ C$ 。（劉文宗，2019）

(3)台灣出現最高溫的紀錄是 2020 年 7 月 25 日在大武 $40.2^\circ C$

換算推測，平均路面最高溫度可達 $63^\circ C$ 。（交通部中央氣象局）











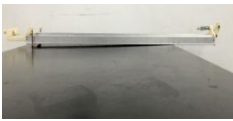




(4)台灣在 2016 年夏至，曾有過最強日照強度，在正午十二點過後，一小時不到的時間內，瀝青路面升溫到 70 度。（交通部中央氣象局）

(5)台灣日照率最長時間為 6 小時。

(6)本研究會以上述文獻中找到的極端情況進行測驗。

貳、研究設備及器材

瀝青塊	瀝青混凝土	二氧化鈦	蚵殼粒	蚵殼粉
				
環氧樹脂	硫酸	氫氧化鈉	氨水	醋酸
				
C 型夾(固定用)	橡膠墊	溫度計讀取器	溫度感應計	光感應器
				

攪拌用杯子筷子	塑膠片	電子磅秤	熱熔膠與槍	力與加速度計
				
840W 鹵素暖燈	4 目篩網	8 目篩網	16 目篩網	30 目篩網
				
定滑輪軌道	密級配瀝青磚	銅管	100g 砝碼	棉繩
				

參、研究過程或方法

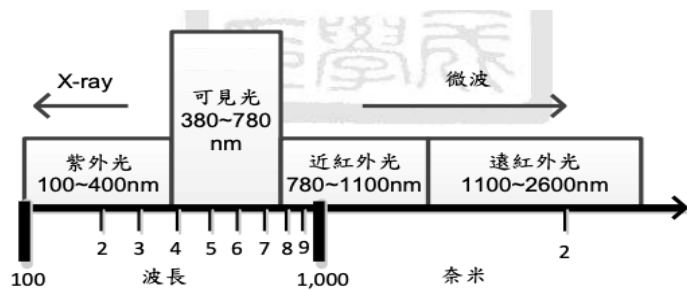
一、實驗原理

(一)反射比與透射比

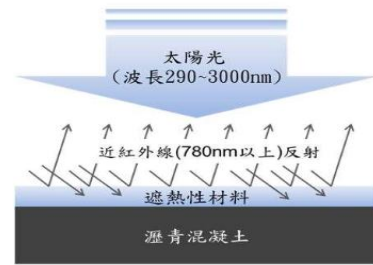
一定功率的入射光被界面反射的比例稱為反射比R；折射的比例稱為透射比 T。透射比無論在哪種情況下都是 $T=1-R$ ，當光波被物體表面反射時，會發生能量耗損，也就是一部分能量被物體吸收，一部分反射。當物體吸收這些光能則溫度就會升高，所以反射效果越好，則可吸收光能越少，溫度就更不易上升。

(二)光譜與輻射熱能量波段

紅外光為主要輻射熱能量波段，近紅外光波長為 780~1100nm，遠紅外光波長為 1100~2600nm，因為可以選定近紅外光與遠紅外光交界波長約為 1100nm，作為紅外光之波長。(羅敏甄，2014) 所以只要能反射這些可見光及不可見光(主要是紅外光)，就能降低吸收熱量。但遮熱塗層自身的「放射」會有紅外光，同時也會「反射」紅外光。依照一個不透明物體的「放射率+反射率=1」來看，低反射就代表高放射，依照下表來看，我們認為要找到反射率高於瀝青的材質並不難，但同時要兼固耐用、速效、安全、易施作及低成本，這樣的選擇就變得非常少，所以實驗中不測反射率，因為反射率一定比瀝青高，一定會升溫抑制，我們還有其他不可忽略因素要考量。



【圖一】



【圖二】

被測物	反射率	被測物	反射率	被測物	反射率
瀝青柏油	0.05~0.02	黑布	0.02	鉛(已氧化)	0.8~0.4
混凝土	0.06	塑膠(不透光)	0.05	黃銅(磨光)	0.99~0.95
水泥	0.05	橡膠(黑)	0.05	黃銅(光滑)	0.7
沙	0.9	陶瓷	0.1~0.05	紅銅(光滑)	0.5
土壤	0.1~0.02	石膏	0.2~0.05	碳(石墨)	0.3~0.1
皮革	0.25~0.2	紅磚	0.07~0.05	木材	0.1~0.05

【表一】

(三)熱力學第零定律與潛熱

1. 熱力學第零定律： 將兩個不同溫度的物體放入絕熱系統中，經過一段時間後，這兩個物體必會達到「熱平衡」的狀態，也就是溫度相同的狀態。

(1)根據定律，得知當遮熱塗層升溫時，也會把熱量傳導給瀝青磚，瀝青磚便會升溫。

(2)在文獻中有發現到一個重要結論，用暖燈照射有遮熱塗層的瀝青磚，從上層、中層、下層三個地方測量溫度時，溫度與升溫斜率都比沒有遮熱塗層的瀝青磚還要低及平緩，這能證明遮熱塗層不止能降低表面溫度也能降低瀝青磚的內部溫度。

(3)綜合以上二點，我們實驗時會只測量瀝青磚的表面溫度，表面溫度如果有下降，那內部溫度必然也會下降。所以只需測量瀝青的表面溫度即可得知該遮熱塗層有沒有發揮作用。

2. 潛熱是物質在三態變化(相變)過程中，在溫度沒有變化的情況下，吸收或釋放的能量。由於瀝青混凝土的熱傳導會將白天太陽的熱輻射吸收儲存在瀝青混凝土中，因此在白天時瀝青混凝土會由於鋪面溫度提高，使得瀝青混凝土產生軟化，勁度下降，抗車轍能力減弱。到了夜晚，大氣環境溫度驟降，鋪面與環境交換熱能，將潛熱輻射到大氣中。一熱一冷過程中亦逐漸對瀝青產生老化效果，使得鋪面耐久性降低。(羅敏甄，2014)

(四)防滑係數

1. 防滑係數(slip index)是地面防滑之程度之衡量指標，因測試儀器之不同，理論上分為靜摩擦係數及動摩擦係數，惟目前在應用上，通常以防滑係數稱之，與 CNS 相關標準中之「止滑係數」意義相同。

下頁表二為國內常見的摩擦係數檢測方法：

方法	靜摩擦係數	動摩擦係數	數值型態	備註
靜滑塊式	0	0	0~1 之間	已廢止
拖撬式	0	✘	0~1 之間	國內又稱 C.S.R 值(可再細分)
擺錘式	✘	0	0~150 之間	源自英國又叫 BPN 值
傾斜平台	0	✘	R1~R15 之間	歐洲盛行，有考量角度

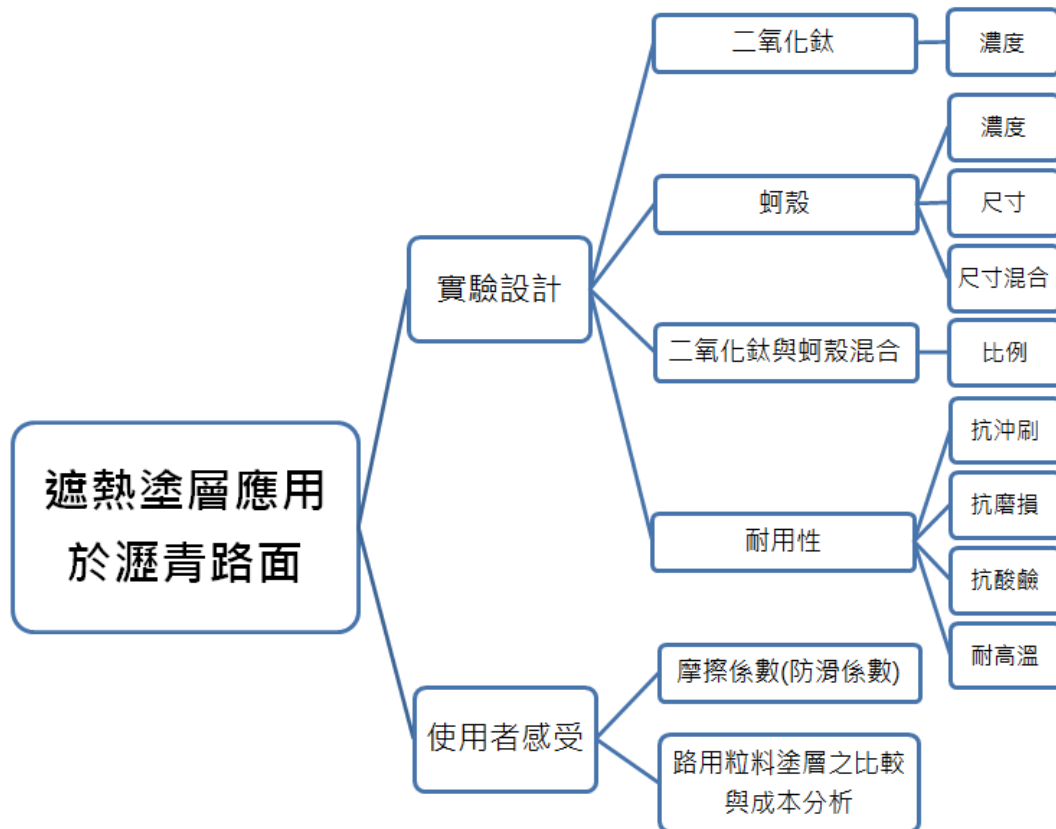
【表二】

2.為方便分析與判別，我們採用從學校學過的「靜摩擦係數」來分析，除了比較熟悉之外，也跟國內相關法規常用數值相似。而動摩擦係數是指兩接觸面間有相對運動時之摩擦係數。動摩擦係數隨著兩接觸面之相對移動速度改變而改變，而速度越快使動摩擦係數漸小，越容易滑倒。

3.動摩擦係數是可變值，而靜摩擦係數是一定值。(盧榮鈞，2011)

綜合以上，會以靜摩擦係數的檢測為主。

二、研究流程圖



三、實驗方法

(一)合格密級配瀝青磚的取得

本次實驗所使用之瀝青磚為經公路總局材料試驗所授權製造的晶準實驗室成品，以確保符合國家規範，這些瀝青磚為實驗的控制變因，同時附件會有檢驗報告。

(二)遮熱塗層調製與塗抹

1.遮熱塗層製作原料：二氧化鈦、蚶殼、環氧樹脂 AB 劑

2.挑選環氧樹脂 AB 劑：

環氧樹脂有相當多種規格，但依據參考文獻中的經驗，要不吸熱、高反射、強度
高、防塵、耐磨、耐壓、止滑(要油性非水性)，還要能快速硬化及方便施作。

型號	EB1	EH1	EB3	GB1	GH1	GB3	QB1	QH1	QB3
黏度(流動性)	高	高	高	中	中	中	低	低	低
硬化速度	快	中	慢	快	中	慢	快	中	慢
抗壓強度(Kg/cm ²)	905	878	924	856	876	1044	226	542	623
抗壓彈性係數(MPa)	1637	1650	1400	1664	1611	1836	511	1266	1350
抗彎強度(Kg/cm ²)	913	478	920	685	622	942	145	607	691
抗彎彈性係數(MPa)	2690	2680	3433	2182	2892	3435	1107	1713	2203
抗拉強度(Kg/cm ²)	513	349	489	577	310	534	155	362	485
抗拉彈性係數(MPa)	3648	4139	4130	4199	3687	2730	1016	2652	2909
伸長率(%)	1.4	1.2	1.2	2.3	0.7	1.2	24.8	1.9	2.0
熱變形溫度(攝氏)	61	63	66	53	55	61	40	43	46
硬度(SHORED)	82	84	84	86	85	85	78	82	85

【表三】

前頁表三為台灣市面上最為常見油性環氧樹脂，紅字部分是該數據的前三名。可得知硬化速度慢的型號，強度都比較高，因為硬化速度過快，結鏈後會比較脆。而黏度主要是看有無溶劑稀釋，要耐用還是要選中高黏度以上的。我們採用能快速硬化、抗壓強度高、可耐高溫等等，綜合考量下選擇 EB1，它並非綜合表現最好的，但它是綜合表現前三名中，硬化速度最快的，如果要應用到道路上，硬化速度是工程上需要考量的因素，EB1 從攪合到完全凝固只需要 2 小時。

但也因為使用的環氧樹脂 EB1 並非是文獻中從日進化成株式會社進口的環氧樹脂，二氧化鈦在 EB1 的升溫抑制需要重新測定才行。不可直接用文獻中的數據進行比較。

3.遮熱塗層調製與塗抹步驟

(1)環氧樹脂 A 劑：B 劑 = 3：1

(此為固定比例，而本次實驗均使用 60g:20g 是因為混合塗料後需達 7mm 的厚度)

(2)A 劑摻入反射成份，B 劑也摻入反射成份，各自輕輕攪拌至均勻混合

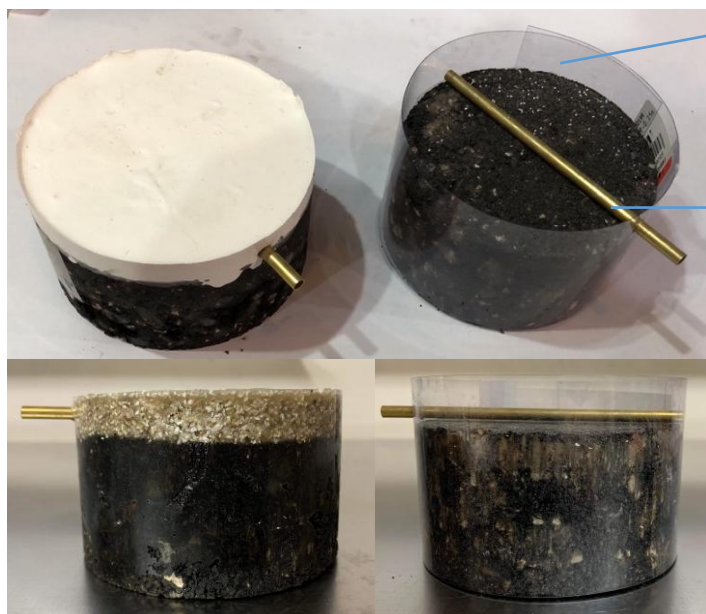
(3)A 劑+B 劑後，五分鐘內要攪拌至均勻混合，此時我們稱為「遮熱塗料」

(4)瀝青磚上固定一銅管(外徑 5mm，長 120mm)以便實驗時插入溫度計探針，再用塑膠膜封將瀝青磚封起來

(5)倒入遮熱塗料，再推抹至均勻在整個瀝青磚上

(6)要注意遮熱塗料的厚度要 7mm (由參考文獻中得知，厚度越厚升溫抑制效果越好，但 1mm 以上的厚度不影響升溫抑制效果，所以 5mm+2mm 為遮熱塗層厚度，將此視為控制變因)

(7)靜置 12 小時後拆掉塑膠膜，瀝青磚之上的部分即稱為遮熱塗層，可看下圖。



塑膠墊包覆瀝青磚，會利用熱熔膠黏起來，除了可以更穩固外，也可以防止遮熱塗料外漏，方便靜置凝固。

銅管需要埋在遮熱塗層裡，尺寸可以插入溫度計且與銅管內壁完全貼住。

【圖三】

左上為試做的純二氧化鈦遮熱塗層

右上為要上塗層的前置作業

左下為成品側面圖

右下為前置作業側面圖

(三)試驗遮熱塗層升溫抑制效果

- 1.為了模擬室內太陽光光源產生之照射熱能，可以藉由鹵素燈發光產生之大量熱能來作為熱源，並由文獻中可知太陽光照射能量波長與鹵素燈發出光波長曲線是接近的，使用鹵素燈來模擬太陽光是具有可行性的。(吳正鵬，2011)故我們利用 840W 鹵素燈進行照射跟加熱瀝青磚，燈與瀝青磚垂直距離 8 公分，使之被照射半小時內，表面溫度可達到 70°C，以符合台灣曾發生的最強日照強度。
- 2.將電子溫度計探針插入銅管中，測量並記錄其溫度在照射過程中的上升情況，取樣時間以 30 秒為間隔。



全新 840w 鹵素燈

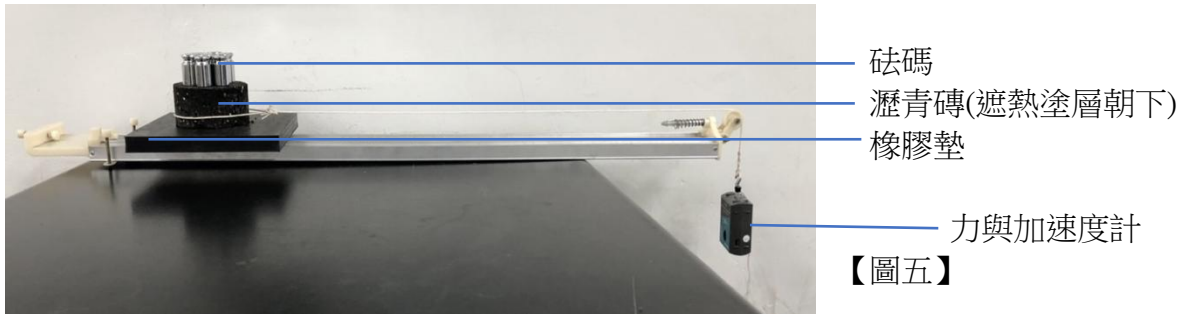
瀝青磚(遮熱塗層面面向鹵素燈)

電子溫度計 (單位：°C)

【圖四】

(四)靜摩擦係數檢驗

文獻中靜摩擦係數檢測時，主要以橡膠材質為底，所以我們也準備了相同的橡膠墊。上面放置瀝青磚及砝碼，並接上力與加速度計，如圖五。



滑動瞬間得到最大靜摩擦力值 $f_{s,max}$ ， $f_{s,max}/(\text{砝碼重量}+\text{瀝青磚重量})=\text{靜摩擦係數}(\mu_s)$ 單位:牛頓 N

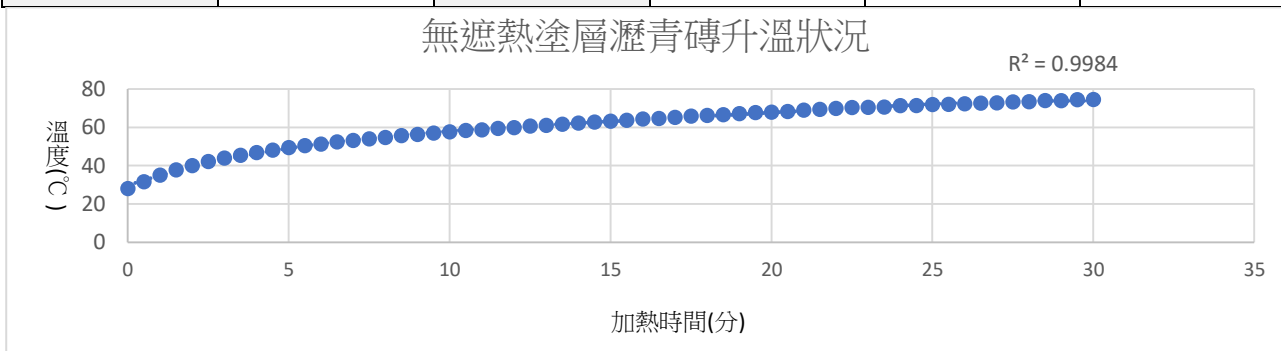
四、實驗過程

【對照組】瀝青磚沒有遮熱塗層時的升溫狀況

初溫：28.01°C，末溫：74.48°C，0-15 分鐘內溫度上升：35.15°C

【表四】

時間(分)	溫度(°C)	時間(分)	溫度(°C)	時間(分)	溫度(°C)
0	28.01	10.5	58.32	21	68.93
0.5	31.57	11	58.63	21.5	69.33
1	35.02	11.5	59.40	22	69.83
1.5	37.75	12	59.79	22.5	70.29
2	39.98	12.5	60.62	23	70.38
2.5	42.12	13	60.98	23.5	70.52
3	43.92	13.5	61.58	24	71.27
3.5	45.36	14	62.18	24.5	71.32
4	46.78	14.5	62.71	25	71.84
4.5	48.07	15	63.17	25.5	71.94
5	49.38	15.5	63.64	26	72.23
5.5	50.40	16	64.30	26.5	72.57
6	51.20	16.5	64.58	27	72.72
6.5	52.35	17	65.15	27.5	73.21
7	53.12	17.5	65.80	28	73.32
7.5	53.93	18	66.17	28.5	73.92
8	54.66	18.5	66.55	29	73.87
8.5	55.63	19	67.10	29.5	74.38
9	56.26	19.5	67.65	30	74.48
9.5	56.96	20	67.87		
10	57.60	20.5	68.22		



【圖六】

說明：1.此為未塗遮熱塗層時，看瀝青磚表面被加熱時的升溫情況。

2.照射 30 分鐘的理由是為了證實瀝青磚表面真的可以被加光照加熱下，升到足以燙傷人的程度，同時亦做為對照組。

【實驗一】：不同二氧化鈦濃度的升溫抑制能力

實驗一想先測試只有二氧化鈦時升溫抑制效果，因為摩擦力會是用路人重視的安全因素，實驗一中如果沒有放粒料在塗層中是沒有摩擦力的，此研究的目的本就在於將二氧化鈦用蚵殼取代，看是否會影響升溫抑制能力，及是否能達到道路的安全規範。

1.操縱變因：二氧化鈦濃度

2.步驟

- (1)用 10g 二氧化鈦加入 60g 環氧樹脂 A 劑並攪拌均勻
- (2)用 10g 二氧化鈦加入 20g 環氧樹脂 B 劑並攪拌均勻
- (3)把上述二者製成遮熱塗料，再做成遮熱塗層
- (4)試驗遮熱塗層升溫抑制效果(做三次取平均，每次都要從室溫出發)
- (5)改用 20g、30g、40g、50g 的二氧化鈦重覆上述步驟

【實驗二】：不同蚵殼濃度的升溫抑制能力

根據實驗一，濃度高效果好。但我們想知道蚵殼濃度的結果會不會跟實驗一雷同。用尺寸最大的蚵殼為主，反射面會最粗糙。反射定律提到反射面要平整堅硬，反射效果好。最粗糙反射面，實驗數據走向如與實驗一雷同的話，則其他尺寸的蚵殼也會符合。

1.操縱變因：蚵殼濃度

2.步驟

(1)挑選蚵殼尺寸(單位：mm)

參考文獻中有說明，日本樹脂鋪裝技術協會樹脂型防滑鋪裝要領書中以通過 8 目篩網停留在 16 目篩網的細粒料，粒徑為 1.18~2.36mm，適合用在車輛行駛道路。台灣在一般馬路上常可見大型車種行駛，摩擦力是行車安全重要考量，為此我們準備了 4 目(篩孔尺寸：4.75)的篩網過篩，收集通過 4 目停留在 8 目(篩孔尺寸：2.36)的蚵殼，尺寸即為 2.36~4.75mm

- (2)用 2.36~4.75mm 蚵殼 30g 加入 60g 環氧樹脂 A 劑並攪拌均勻
- (3)用 2.36~4.75mm 蚵殼 30g 加入 20g 環氧樹脂 B 劑並攪拌均勻
- (4)把上述二者製成遮熱塗料，再做成遮熱塗層
- (5)試驗遮熱塗層升溫抑制能力(做三次取平均，每次都要從室溫出發)
- (6)改用 40g 蚵殼及 50g 蚵殼重覆上述步驟(2)~(5)

【實驗三】：不同蚵殼尺寸的升溫抑制能力

根據實驗一、二結果，比例配方採用 40 克蚵殼配上環氧樹脂(A：B=60：20)為主，並使用不同尺寸的蚵殼。

1.操縱變因：蚵殼尺寸

2.步驟

(1)準備四種尺寸的篩盆

篩孔尺寸：4.75mm 標準目數：4 目 篩孔尺寸：2.36mm 標準目數：8 目

篩孔尺寸：1.18mm 標準目數：16 目 篩孔尺寸：0.60mm 標準目數：30 目

(2)用 4 目的篩網過篩，收集通過 4 目停留在 8 目的蚵殼(2.36~4.75mm)

(3)步驟 2 通過 8 目的蚵殼，再用 16 目的篩網過篩，收集在上面的蚵殼(1.18~2.36mm)

(4)步驟 3 通過 16 目的蚵殼，再用 30 目的篩網過篩，收集在上面的蚵殼(0.6~1.18mm)

(5)用 2.36~4.75mm 蚵殼 40g 加入 60g 環氧樹脂 A 劑並攪拌均勻

(6)用 2.36~4.75mm 蚵殼 40g 加入 20g 環氧樹脂 B 劑並攪拌均勻

(7)把上述二者製成遮熱塗料，再做成遮熱塗層

(8)試驗遮熱塗層升溫抑制能力(做三次取平均，每次都要從室溫出發)

(9)改用 1.18~2.36mm 蚵殼、0.6~1.18mm 蚵殼、0.6mm 以下蚵粉重覆上述步驟(5)~(8)



【圖七】

【實驗四】：不同尺寸蚵殼混合的升溫抑制能力

實驗二與實驗三的結果導致衍生出實驗四，我們猜想，「混合」會不會將三種尺寸的優缺點也「混合」了，我們先以 1：1 試做，如果有新發現，再延伸其他比例

1.操縱變因：蚵殼混合

2.步驟

(1)實驗二的三種顆粒大小不同的蚵殼按重量比 1：1 慢慢混合

(2)準備三種組合：A 組(2.36~4.75mm)+(0.6~1.18mm)

B 組(2.36~4.75mm)+(1.18~2.36mm)

C 組(1.18~2.36mm)+(0.6~1.18mm)

(3)用 A 組蚵殼 40g 加入 60g 環氧樹脂 A 劑並攪拌均勻

- (4)用 A 組蚵殼 40g 加入 20g 環氧樹脂 B 劑並攪拌均勻
- (5)把上述二者製成遮熱塗料，再做成遮熱塗層
- (6)試驗遮熱塗層升溫抑制能力(做三次取平均，每次都要從室溫出發)
- (7)改用 B 組與 C 組蚵殼重覆上述步驟(3)~(6)

【實驗五】：不同二氧化鈦與蚵殼混合比例的升溫抑制能力

實驗四的結果不盡理想，「混合不同尺寸」沒有達到好的升溫抑制效果，翻閱先前文獻再次討論，我們認為二氧化鈦的升溫抑制能力十分出色，與蚵殼的比例在恰到好處的情況下，應該能互相截長補短，所以設計實驗五。蚵殼採用粒徑 1.18~2.36mm，需使用原本的重量，再額外加入二氧化鈦。

1.操縱變因：二氧化鈦與蚵殼混合(用翻炒方法混合)

2.步驟

(1)二氧化鈦與粒徑 1.18~2.36mm 蚵殼依不同重量比例混合：

- X 組 4：3(蚵殼：二氧化鈦 =40g：30g)
- Y 組 4：2(蚵殼：二氧化鈦 =40g：20g)
- Z 組 4：1(蚵殼：二氧化鈦 =40g：10g)

(2)用 X 組 70g 二氧化鈦與蚵殼混合料加入 60g 環氧樹脂 A 劑並攪拌均勻

(3)用 X 組 70g 二氧化鈦與蚵殼混合料加入 20g 環氧樹脂 B 劑並攪拌均勻

(4)把上述二者製成遮熱塗料，再做成遮熱塗層

(5)試驗遮熱塗層升溫抑制效果(做三次取平均，每次都要從室溫出發)

(6)改用 Y 組與 Z 組二氧化鈦與蚵殼混合料重覆上述步驟(2)~(5)

【實驗六】：遮熱塗層的耐用性

實驗五的 XYZ 三組是所有遮熱塗層中，有最好升溫抑制能力的三組，但我們仍需考量使用上的需求，因此設計四種測驗其性能的實驗。以下實驗是為了測試遮熱塗層受到環境的影響後，升溫抑制能力會不會下降，因此先進行環境影響後再量測升溫抑制能力。

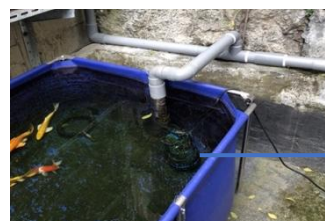
(一)遇到強力雨水沖刷後，升溫抑制能力會不會下降?

1. 利用同學家中的小魚池循環系統，調整沉水馬達與水管閥的大小，模擬雨水沖刷。

以台灣史上最大雨量紀錄 1994mm/24hr 澆灌 24 小時。



【圖八】
含遮熱塗層的瀝青磚



【圖九】
沉水馬達

含遮熱塗層的瀝青磚



沉水馬達

【圖十】

2.步驟

(1)採用實驗五中 XYZ 三組比例配方做成遮熱塗層進行澆灌

(2)試驗遮熱塗層升溫抑制能力(做三次取平均，每次都要從室溫出發)

(二)、遇到強力輾壓磨損後，升溫抑制能力會不會下降?

1.合格瀝青磚有許多重要檢驗，例如抗車轍能力，就是看瀝青磚是否能抵抗高壓，我們選擇位於台南安定區的瀝青工廠直接進行高流量大型車體輾壓及磨損的實測。

2.步驟

(1)採用實驗五中 XYZ 三組比例配方做成遮熱塗層進行磨損一週

(2)試驗遮熱塗層升溫抑制能力(做三次取平均，每次都要從室溫出發)

(三)、接觸到不同強弱的酸鹼物質，升溫抑制能力會不會下降?

1. 調製 PH 值為 1、4、8、13 的溶液

2.步驟

(1)採用實驗五中 XYZ 三組比例配方做成遮熱塗層進行浸泡 60 分鐘

(2)試驗遮熱塗層升溫抑制能力(做三次取平均，每次都要從室溫出發)

(四)、長時間的強熱烘烤，升溫抑制能力會不會下降?

1.調整鹵素燈，準備進行烘烤。

2.步驟

(1)採用實驗五中 XYZ 三組比例配方做成遮熱塗層進行烘烤到 70 度以上且達 5 小時

(2) 試驗遮熱塗層升溫抑制能力(做三次取平均，每次都要從室溫出發)

【實驗七】：靜摩擦係數檢測

1.國內並沒有對靜摩擦係數進行特定規範，在文獻中有提到美國普遍接受以靜摩擦係數 0.5 作為地面步道摩擦係數的最低值(勞工安全衛生研究，2010)。所以我們最後會以有沒有超過 0.6 為該遮熱塗層是否對用路人安全為判斷原則。

2.步驟

(1)採用實驗五中 XYZ 三組比例配方做成遮熱塗層檢測靜摩擦係數(做 10 次取平均)

(2)將 XYZ 三組淋濕再測試，檢測靜摩擦係數(做 10 次取平均)

【實驗八】：與相同條件之粒料所做遮熱塗層比較

1.粒料為我國國家標準（CNS）之標準用語，係指製造水泥砂漿或混凝土時，與水泥及水混合之天然沙、人造砂、卵石、碎石及其它相似材料。

2.步驟

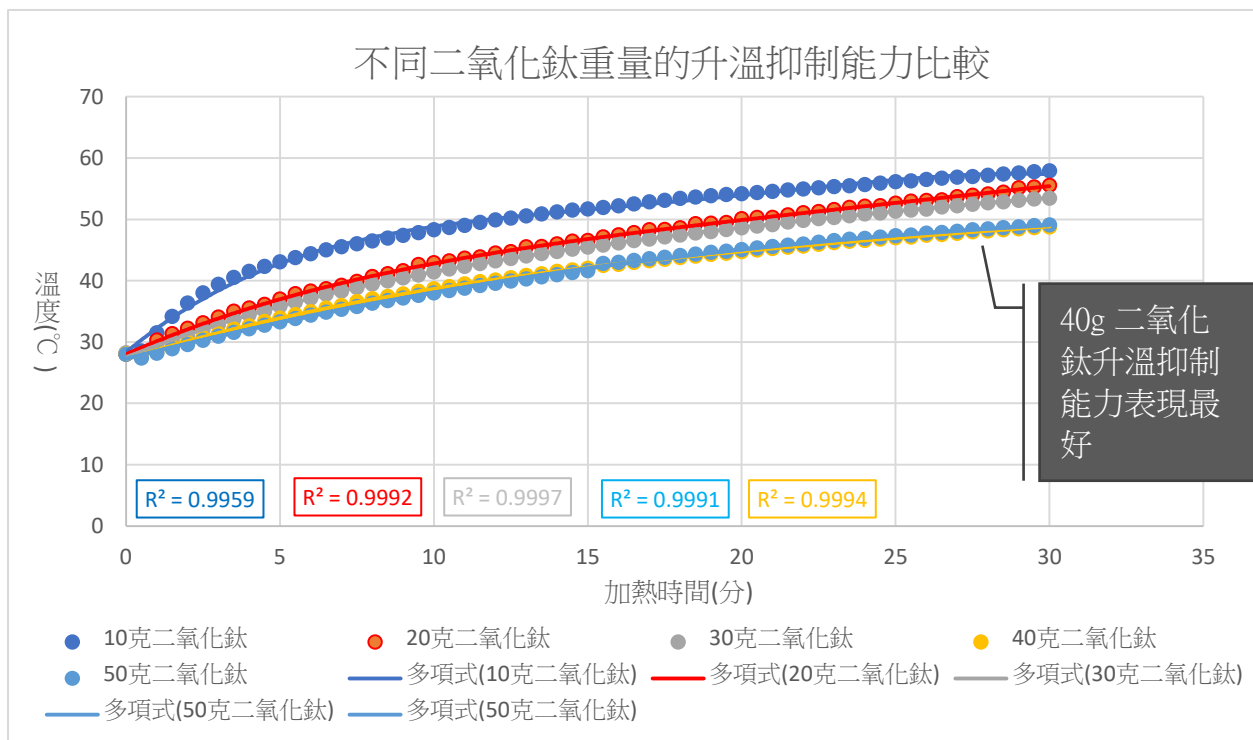
- (1)取用粒徑 1.18~2.36mm 的粒料按 Z 的比例配方做成遮熱塗層進行測試
- (2) 試驗遮熱塗層升溫抑制效果(做三次取平均，每次都要從室溫出發)
- (3)與 Z 組數值進行比較

肆、研究結果

【實驗一】：不同二氧化鈦濃度的升溫抑制能力（單位：℃） 【表五】

0-15min 溫差	23.68	18.51	17.24	13.97	13.63
時間(分)	10g 二氧化鈦	20g 二氧化鈦	30g 二氧化鈦	40g 二氧化鈦	50g 二氧化鈦
0	28.04	28.08	28.27	28.08	28.01
0.5	28.57	28.07	28.04	27.56	27.41
1	31.53	30.36	29.10	28.40	28.20
1.5	34.20	31.39	30.17	29.19	28.92
2	36.38	32.26	31.15	29.99	29.61
2.5	38.03	33.16	32.04	30.72	30.30
3	39.43	34.09	32.86	31.37	30.97
3.5	40.56	35.05	33.74	32.16	31.59
4	41.55	35.58	34.48	32.65	32.18
4.5	42.36	36.16	35.10	33.38	32.77
5	43.10	37.03	35.86	33.92	33.31
5.5	43.79	37.91	36.54	34.50	33.86
6	44.42	38.33	37.18	34.96	34.41
6.5	45.05	38.72	37.82	35.56	34.89
7	45.56	39.27	38.32	35.98	35.35
7.5	46.04	39.91	38.89	36.61	35.82
8	46.50	40.71	39.48	37.08	36.35
8.5	46.97	41.16	39.99	37.46	36.77
9	47.41	41.65	40.48	37.86	37.20
9.5	47.86	42.66	40.95	38.29	37.63
10	48.33	42.96	41.45	38.70	38.03
10.5	48.70	43.26	41.93	39.06	38.41
11	49.04	43.70	42.36	39.50	38.80
11.5	49.53	43.90	42.81	39.87	39.23
12	49.94	44.53	43.25	40.14	39.60
12.5	50.23	44.76	43.64	40.51	39.96
13	50.58	45.55	44.05	40.88	40.31
13.5	50.91	45.60	44.45	41.15	40.65
14	51.24	46.02	44.79	41.55	41.00
14.5	51.54	46.47	45.16	41.77	41.35
15	51.72	46.58	45.51	42.05	41.65
15.5	51.96	47.16	45.83	42.51	42.84
16	52.23	47.50	46.18	42.69	43.02

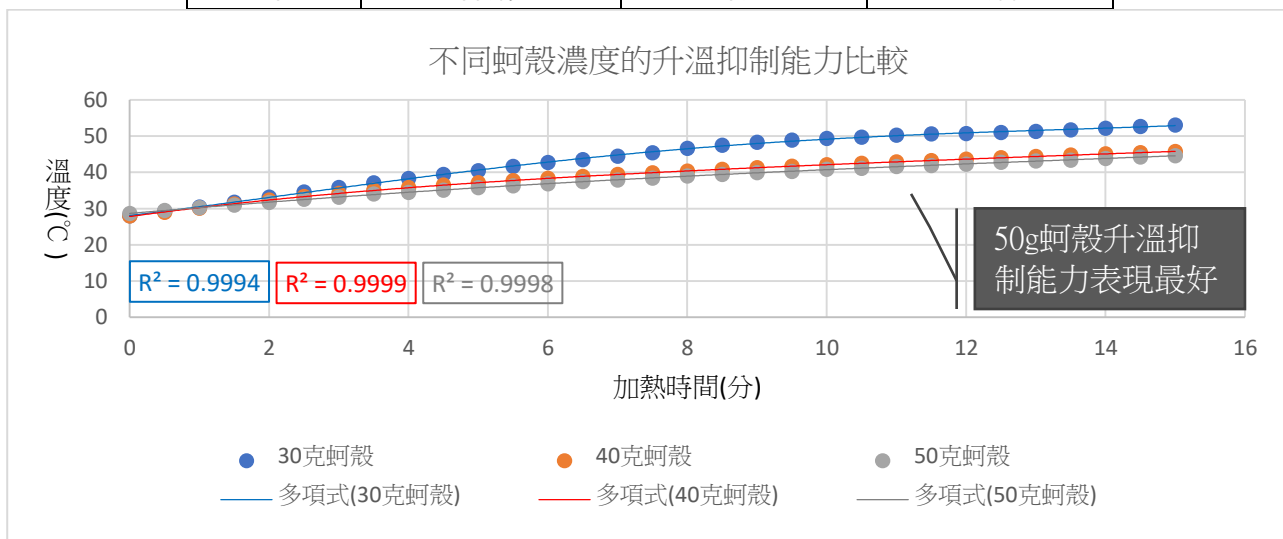
16.5	52.54	47.86	46.56	42.99	43.33
17	52.88	48.34	46.81	43.28	43.61
17.5	53.13	48.38	47.16	43.51	43.84
18	53.44	48.65	47.47	43.79	44.13
18.5	53.66	49.32	47.80	44.03	44.36
19	53.88	49.40	48.02	44.32	44.65
19.5	54.08	49.51	48.36	44.50	44.83
20	54.20	50.13	48.64	44.76	45.09
20.5	54.39	50.34	48.93	45.03	45.36
21	54.59	50.35	49.16	45.27	45.60
21.5	54.81	50.75	49.59	45.48	45.81
22	54.98	51.11	49.85	45.67	46.00
22.5	55.17	51.30	50.14	45.96	46.29
23	55.37	51.63	50.32	46.23	46.57
23.5	55.50	51.98	50.61	46.45	46.78
24	55.70	52.17	50.91	46.59	46.92
24.5	55.93	52.25	51.06	46.81	47.14
25	56.16	52.66	51.36	47.02	47.36
25.5	56.29	53.00	51.54	47.14	47.47
26	56.53	53.11	51.69	47.44	47.77
26.5	56.73	53.21	52.05	47.55	47.88
27	56.90	53.72	52.23	47.74	48.08
27.5	57.01	53.95	52.48	48.00	48.33
28	57.21	54.17	52.73	48.14	48.47
28.5	57.42	54.46	52.88	48.33	48.67
29	57.59	55.17	53.13	48.48	48.81
29.5	57.80	55.31	53.35	48.67	49.01
30	57.94	55.58	53.47	48.79	49.12



圖【十一】

【實驗二】：不同蚵殼濃度的升溫抑制能力 (單位：℃) 【表六】

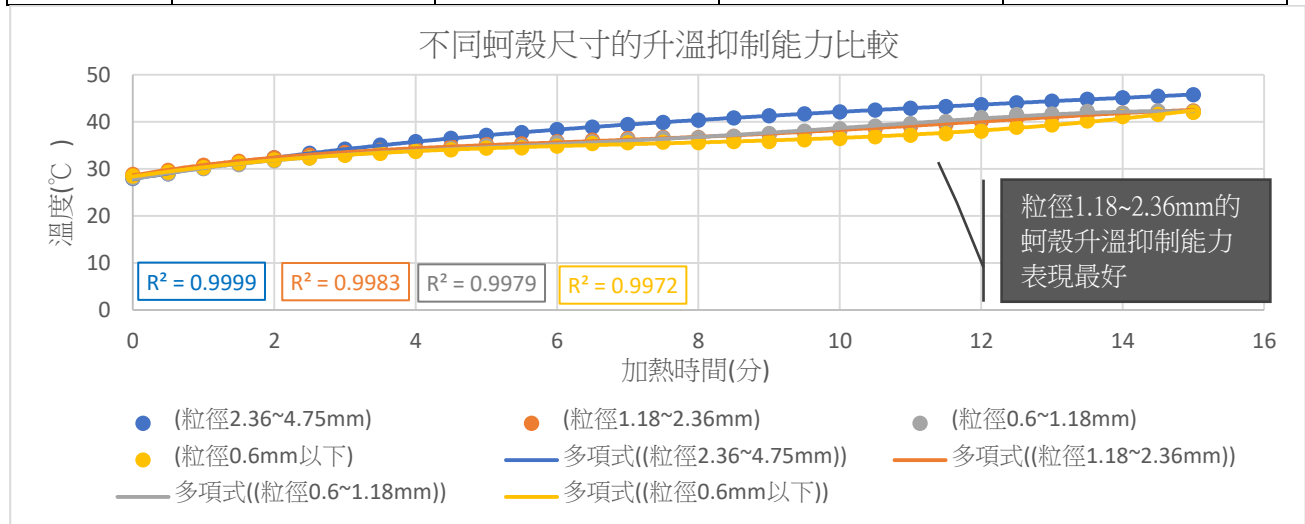
0-15min 溫差	25.07	17.16	15.96
時間(分)	30g 蚵殼	40g 蚵殼	50g 蚵殼
0	28.01	28.61	28.64
0.5	29.24	28.96	29.47
1	30.42	30.10	30.24
1.5	31.75	31.26	30.96
2	33.16	32.36	31.71
2.5	34.58	33.33	32.57
3	35.83	34.20	33.14
3.5	37.11	35.06	34.04
4	38.31	35.81	34.47
4.5	39.43	36.51	35.09
5	40.46	37.14	35.78
5.5	41.66	37.73	36.29
6	42.74	38.36	36.85
6.5	43.53	38.88	37.46
7	44.48	39.43	37.90
7.5	45.42	39.88	38.41
8	46.65	40.36	39.01
8.5	47.51	40.84	39.43
9	48.33	41.30	39.93
9.5	48.92	41.71	40.26
10	49.38	42.12	40.87
10.5	49.73	42.51	41.12
11	50.29	42.90	41.63
11.5	50.64	43.26	41.89
12	50.73	43.66	42.27
12.5	51.03	44.05	42.79
13	51.33	44.40	43.16
13.5	51.75	44.80	43.37
14	52.20	45.12	43.84
14.5	52.69	45.45	44.25
15	53.09	45.77	44.60



圖【十二】

【實驗三】：不同蚵殼尺寸的升溫抑制能力（單位：℃） 【表七】

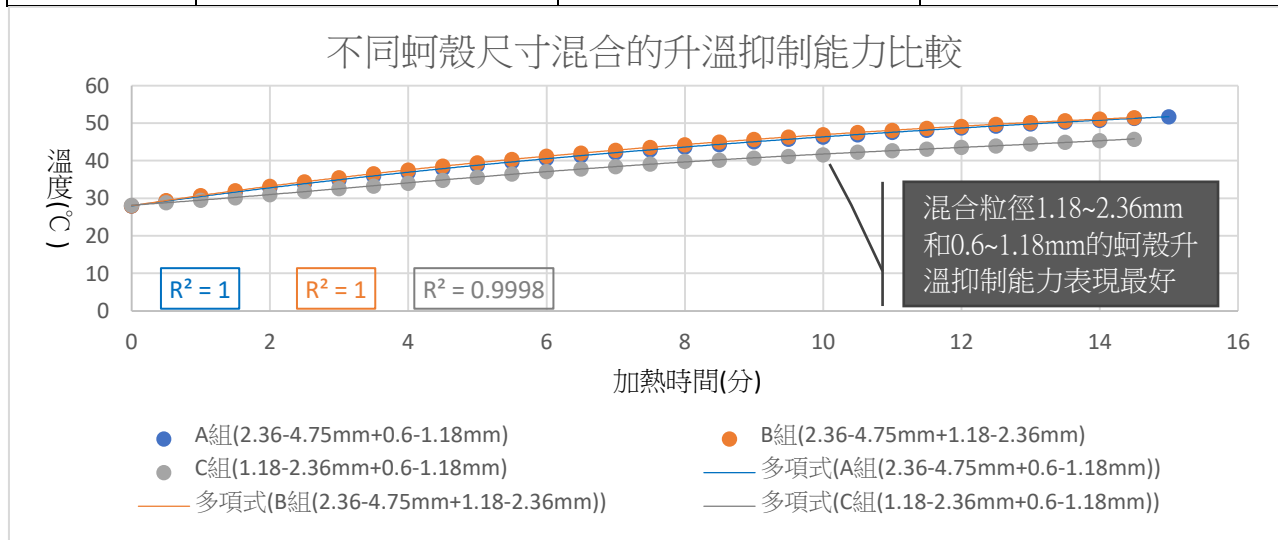
0-15min 溫差	17.80	14.49	14.51	15.51
時間(分)	粒徑 2.36~4.75mm	粒徑 1.18~2.36mm	粒徑 0.6~1.18mm	粒徑 0.6mm 以下
0	27.97	28.84	28.11	27.50
0.5	28.96	29.69	28.96	27.99
1	30.10	30.78	30.10	28.63
1.5	31.26	31.62	30.89	29.97
2	32.36	32.38	31.72	30.41
2.5	33.33	32.91	32.33	31.23
3	34.20	33.49	32.96	31.69
3.5	35.06	33.96	33.46	31.95
4	35.81	34.32	33.79	32.31
4.5	36.51	34.77	34.30	32.86
5	37.14	35.22	34.88	33.52
5.5	37.73	35.31	34.90	33.89
6	38.36	35.78	35.57	34.23
6.5	38.88	36.11	35.73	34.69
7	39.43	36.46	36.19	35.13
7.5	39.88	36.70	36.55	35.42
8	40.36	36.68	36.60	35.90
8.5	40.84	36.93	36.89	35.96
9	41.30	37.29	37.53	36.01
9.5	41.71	37.70	38.03	36.29
10	42.12	38.14	38.54	36.60
10.5	42.51	38.63	39.09	36.99
11	42.90	39.03	39.63	37.59
11.5	43.26	39.44	40.07	37.89
12	43.66	40.17	40.94	38.59
12.5	44.05	40.81	41.54	38.99
13	44.40	41.13	41.67	39.89
13.5	44.80	41.69	42.23	40.83
14	45.12	41.85	41.86	41.89
14.5	45.45	42.22	42.30	42.46
15	45.77	43.32	42.62	43.01



【圖十三】

【實驗四】：不同尺寸蚵殼混合的升溫抑制能力（單位：℃） 【表八】

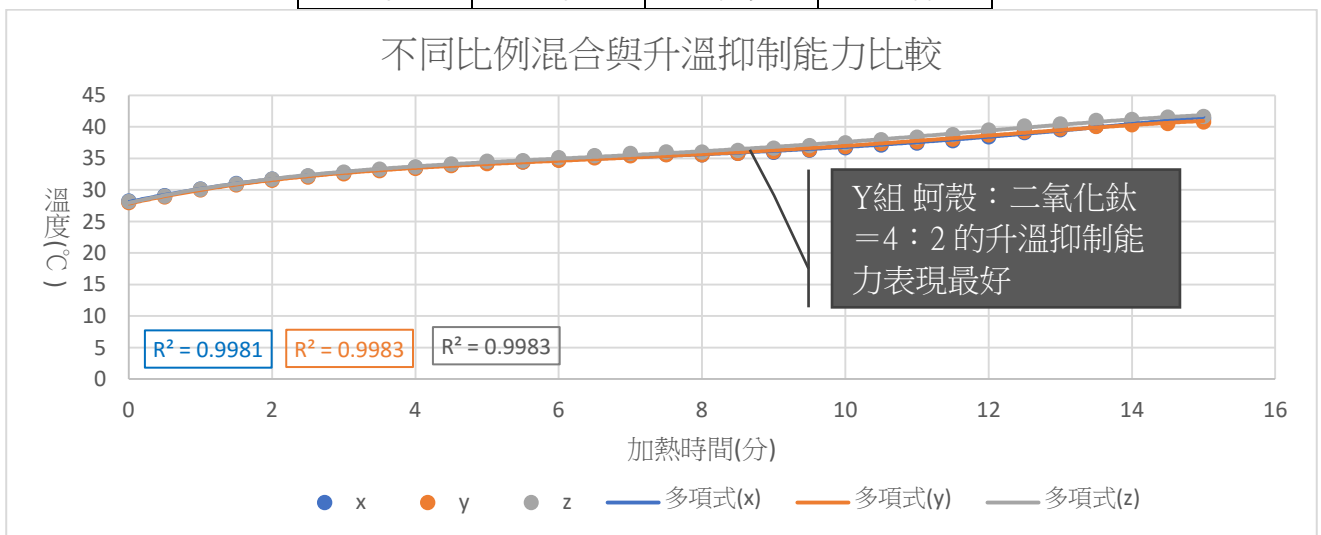
0-15min 溫差	23.745	24.026	17.781
時間(分)	A 組	B 組	C 組
	(2.36-4.75mm+0.6-1.18mm)	(2.36-4.75mm+1.18-2.36mm)	(1.18-2.36mm+0.6-1.18mm)
0	27.97	27.99	28.15
0.5	29.24	29.40	28.85
1	30.49	30.73	29.50
1.5	31.64	32.03	30.15
2	32.81	33.21	30.98
2.5	33.87	34.39	31.89
3	34.90	35.49	32.60
3.5	35.98	36.56	33.26
4	36.89	37.53	34.01
4.5	37.87	38.59	34.80
5	38.81	39.46	35.61
5.5	39.71	40.36	36.48
6	40.56	41.22	37.14
6.5	41.35	42.04	37.82
7	42.15	42.79	38.44
7.5	42.90	43.55	39.13
8	43.66	44.27	39.86
8.5	44.29	44.99	40.16
9	45.07	45.69	40.71
9.5	45.74	46.32	41.17
10	46.32	46.95	41.58
10.5	46.92	47.54	42.30
11	47.56	48.10	42.69
11.5	48.13	48.64	43.11
12	48.75	49.15	43.58
12.5	49.24	49.70	43.95
13	49.82	50.17	44.48
13.5	50.32	50.67	44.93
14	50.76	51.11	45.36
14.5	51.30	51.47	45.72



【圖十四】

【實驗五】：不同二氧化鈦與蚵殼混合比例的升溫抑制能力 (單位：°C) 【表九】

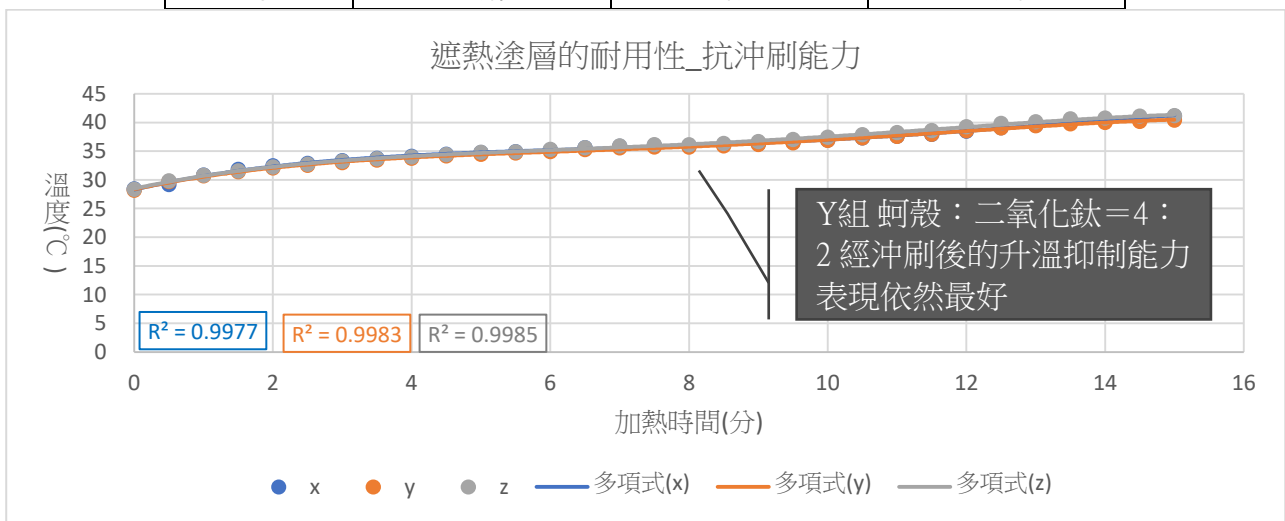
0-15min 溫差	13.07	12.80	13.49
時間(分)	X組	Y組	Z組
0	28.25	27.99	28.18
0.5	29.10	28.89	29.03
1	30.15	30.01	30.12
1.5	31.03	30.80	30.96
2	31.72	31.54	31.72
2.5	32.19	32.05	32.25
3	32.72	32.56	32.83
3.5	33.17	33.06	33.31
4	33.55	33.42	33.67
4.5	33.96	33.87	34.11
5	34.29	34.18	34.56
5.5	34.45	34.43	34.65
6	34.77	34.70	35.13
6.5	35.23	35.09	35.45
7	35.49	35.42	35.80
7.5	35.64	35.59	36.04
8	35.58	35.58	36.02
8.5	35.81	35.81	36.27
9	35.97	36.08	36.64
9.5	36.30	36.39	37.04
10	36.70	36.88	37.48
10.5	37.14	37.36	37.97
11	37.44	37.65	38.38
11.5	37.82	38.07	38.78
12	38.43	38.74	39.51
12.5	39.10	39.28	40.15
13	39.56	39.71	40.47
13.5	40.13	40.08	41.03
14	40.68	40.35	41.19
14.5	41.00	40.55	41.56
15	41.32	40.79	41.66



【圖十五】

【實驗六(一)】：遮熱塗層的耐用性_是否耐強力雨水沖刷 (單位：℃) 【表十】

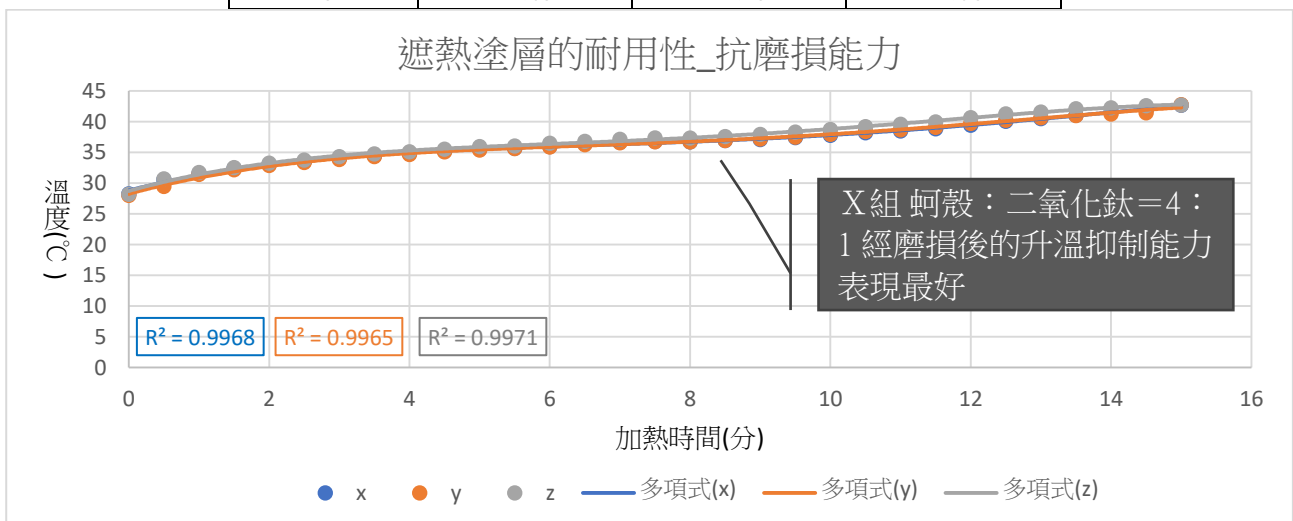
0-15min 溫差	12.66	12.22	12.84
時間(分)	X組	Y組	Z組
0	28.42	28.19	28.36
0.5	29.19	29.70	29.83
1	30.83	30.71	30.81
1.5	31.83	31.42	31.57
2	32.45	32.08	32.25
2.5	32.87	32.54	32.73
3	33.35	33.01	33.25
3.5	33.75	33.45	33.67
4	34.10	33.78	34.00
4.5	34.46	34.18	34.40
5	34.76	34.46	34.80
5.5	34.91	34.69	34.89
6	35.19	34.93	35.31
6.5	35.60	35.28	35.60
7	35.84	35.58	35.92
7.5	35.97	35.73	36.13
8	35.92	35.72	36.12
8.5	36.13	35.93	36.35
9	36.27	36.17	36.67
9.5	36.57	36.45	37.04
10	36.93	36.89	37.43
10.5	37.32	37.32	37.87
11	37.60	37.58	38.24
11.5	37.93	37.96	38.60
12	38.49	38.56	39.26
12.5	39.09	39.05	39.84
13	39.50	39.44	40.12
13.5	40.01	39.77	40.63
14	40.51	40.01	40.77
14.5	40.80	40.19	41.10
15	41.09	40.41	41.20



【圖十六】

【實驗六(二)】：遮熱塗層的耐用性_是否耐強力輾壓 (單位：℃) 【表十一】

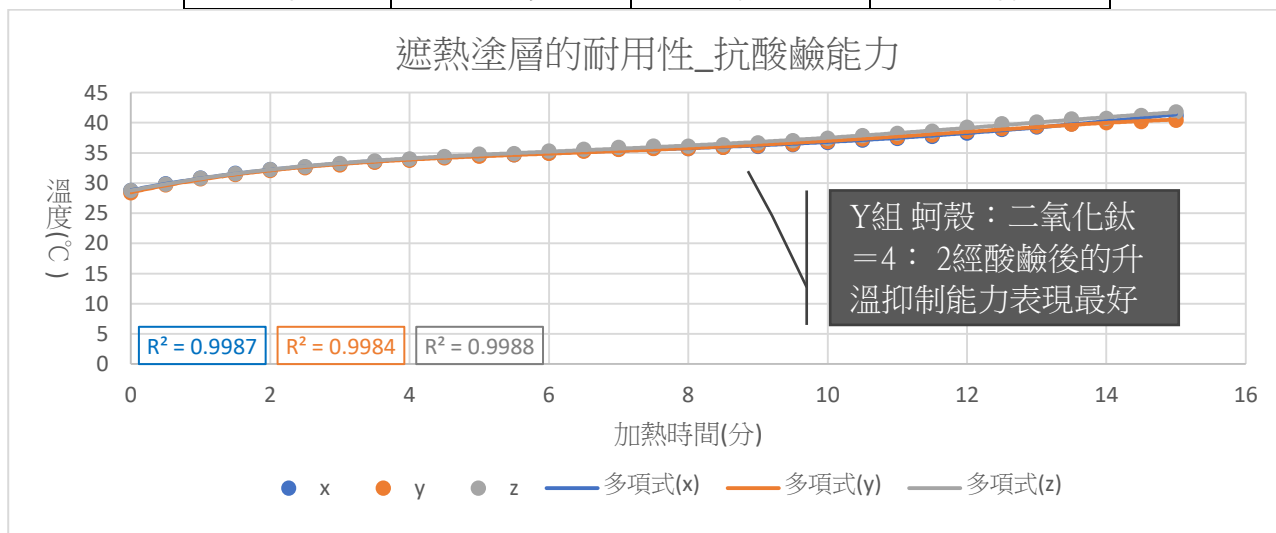
0-15min 溫差	14.40	14.76	14.50
時間(分)	X組	Y組	Z組
0	28.25	27.99	28.18
0.5	30.54	29.45	30.68
1	31.54	31.41	31.72
1.5	32.38	32.16	32.52
2	33.03	32.86	33.23
2.5	33.48	33.35	33.74
3	33.98	33.83	34.29
3.5	34.41	34.31	34.74
4	34.78	34.65	35.08
4.5	35.16	35.07	35.51
5	35.48	35.37	35.93
5.5	35.63	35.61	36.02
6	35.93	35.87	36.47
6.5	36.37	36.24	36.78
7	36.62	36.55	37.11
7.5	36.76	36.71	37.34
8	36.70	36.70	37.32
8.5	36.92	36.92	37.56
9	37.07	37.18	37.90
9.5	37.39	37.47	38.29
10	37.76	37.93	38.71
10.5	38.18	38.39	39.17
11	38.47	38.67	39.56
11.5	38.83	39.06	39.94
12	39.41	39.70	40.63
12.5	40.04	40.22	41.25
13	40.48	40.63	41.55
13.5	41.02	40.97	42.08
14	41.54	41.23	42.23
14.5	41.85	41.42	42.58
15	42.65	42.75	42.68



【圖十七】

【實驗六(三)】：遮熱塗層的耐用性_是否耐酸鹼物質 (單位：℃) 【表十二】

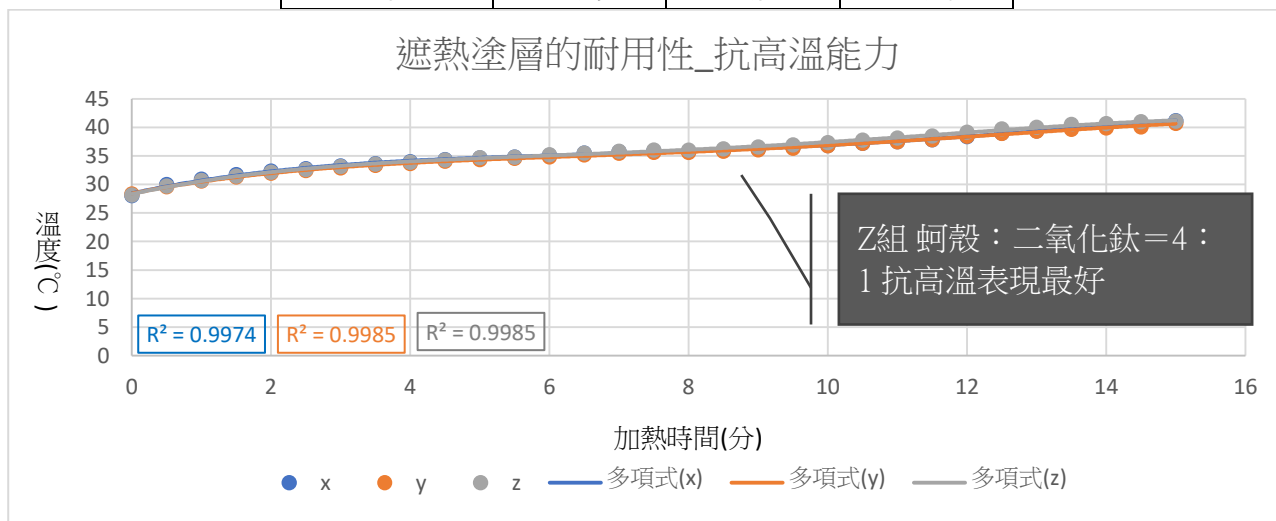
0-15min 溫差	12.41	12.02	13.02
時間(分)	X組	Y組	Z組
0	28.78	28.39	28.78
0.5	29.89	29.70	29.83
1	30.83	30.71	30.81
1.5	31.63	31.42	31.57
2	32.25	32.08	32.25
2.5	32.67	32.54	32.73
3	33.15	33.01	33.25
3.5	33.55	33.45	33.67
4	33.90	33.78	34.00
4.5	34.26	34.18	34.40
5	34.56	34.46	34.80
5.5	34.71	34.69	34.89
6	34.99	34.93	35.31
6.5	35.40	35.28	35.60
7	35.64	35.58	35.92
7.5	35.77	35.73	36.13
8	35.72	35.72	36.12
8.5	35.93	35.93	36.35
9	36.07	36.17	36.67
9.5	36.37	36.45	37.04
10	36.73	36.89	37.43
10.5	37.12	37.32	37.87
11	37.40	37.58	38.24
11.5	37.73	37.96	38.60
12	38.29	38.56	39.26
12.5	38.89	39.05	39.84
13	39.30	39.44	40.12
13.5	39.81	39.77	40.63
14	40.31	40.01	40.73
14.5	40.90	40.19	41.20
15	41.19	40.41	41.80



【圖十八】

【實驗六(四)】：遮熱塗層的耐用性_是否耐高溫烘烤 (單位：℃) 【表十三】

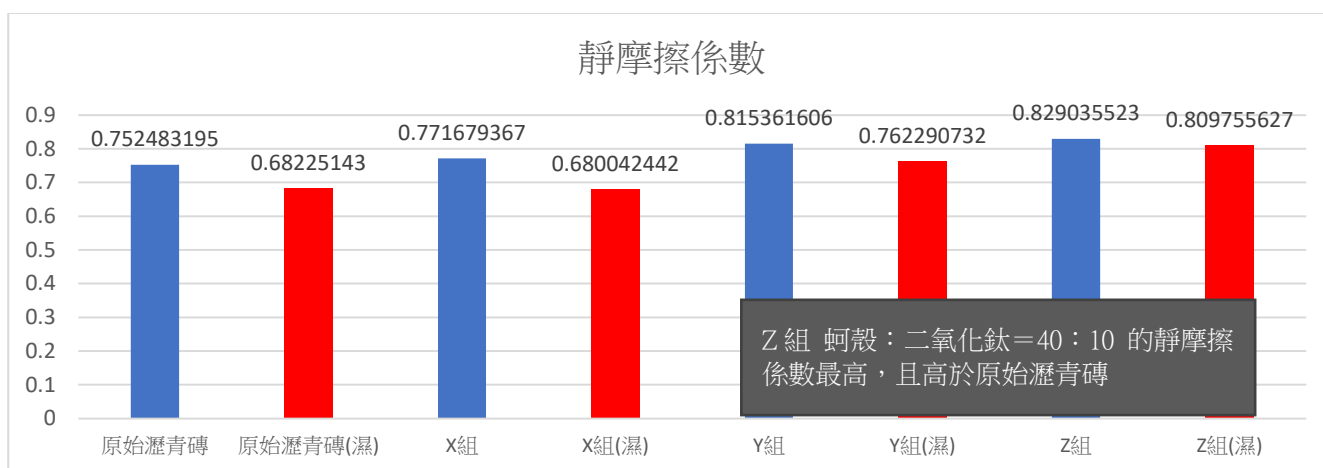
0-15min 溫差	13.34	13.18	12.95
時間(分)	X 組	Y 組	Z 組
0	28.05	28.33	28.15
0.5	29.99	29.60	29.73
1	30.93	30.61	30.71
1.5	31.73	31.32	31.47
2	32.35	31.98	32.15
2.5	32.77	32.44	32.63
3	33.25	32.91	33.15
3.5	33.65	33.35	33.57
4	34.00	33.68	33.90
4.5	34.36	34.08	34.30
5	34.66	34.36	34.70
5.5	34.81	34.59	34.79
6	35.09	34.83	35.21
6.5	35.50	35.18	35.50
7	35.74	35.48	35.82
7.5	35.87	35.63	36.03
8	35.82	35.62	36.02
8.5	36.03	35.83	36.25
9	36.17	36.07	36.57
9.5	36.47	36.35	36.94
10	36.83	36.79	37.33
10.5	37.22	37.22	37.77
11	37.50	37.48	38.14
11.5	37.83	37.86	38.50
12	38.39	38.46	39.16
12.5	38.99	38.95	39.74
13	39.40	39.34	40.02
13.5	39.91	39.67	40.53
14	40.41	39.91	40.67
14.5	40.70	40.09	41.00
15	41.49	41.51	41.10



【圖十九】

【實驗七】：靜摩擦係數檢測 (單位：牛頓) 【表十四】

種類	原始瀝青磚	原始瀝青磚(濕)	X組	X組(濕)	Y組	Y組(濕)	Z組	Z組(濕)
重量+砝碼	9.967	9.967	20.727	20.727	20.734	20.734	20.747	20.747
第一次	6	6	16	13	17	15	18	16
第二次	7	6	16	13	18	15	18	16
第三次	8	6	17	13	14	16	18	16
第四次	8	7	17	14	15	15	19	17
第五次	7	7	14	15	19	14	17	18
第六次	8	8	15	13	17	12	16	18
第七次	9	7	16	14	18	18	15	17
第八次	7	7	17	15	16	17	14	17
第九次	7	7	18	16	15	18	18	16
第十次	8	7	14	15	20	18	19	17
總和	75	68	160	141	169	158	172	168
平均	7.5	6.8	16	14.1	16.9	15.8	17.2	16.8
靜摩擦係數	0.75248	0.68225	0.77168	0.68004	0.81536	0.76229	0.82904	0.80976



【圖二十】

【實驗八】：與相同條件之粒料所做遮熱塗層比較 (單位：°C)

種類	Z組	路用粒料
0-15min 溫差	13.49	17.1

(本實驗直接測量溫差，礙於篇幅因此只放結果)

【表十五】

伍、討論

一、實驗一：二氧化鈦濃度的升溫抑制能力

實驗結果顯示，濃度高則升溫抑制能力好，做了五種濃度，其溫度走向都相似。而以 A 劑比 B 劑為 60g : 20g 的劑量下，50 克二氧化鈦在攪拌上有相當大的阻力，而其溫度走向幾乎與 40 克二氧化鈦重疊，效果只多降了約 0.25°C。考量到施工上的方便與成本效益，應以 40 克二氧化鈦才是最好的濃度，所以實驗二的數據，便不會再做到五種濃度，只做前三大濃度用來驗證，同時也因為五個數據趨勢線的 R 平方值相當的接近 1，我們覺得這數據與趨勢是可靠的，往後的數據收集，只收集 15 分鐘，並檢查趨勢線的 R 平方值是否接近 1 來判斷收集的數據是否可靠。

二、實驗二：蚵殼濃度的升溫抑制能力

實驗結果顯示，濃度高則升溫抑制能力好，做了三種濃度，其溫度走向也都相似。這裡的情況跟實驗一結果也非常相似。如 50 克蚵殼在攪拌上也有相當大的阻力，而其溫度走向也與 40 克蚵殼相差很少，效果只多降了約 1.2°C。考量到施工上的方便與成本效益，應以 40 克蚵殼才是最好的。由於實驗一跟實驗二結果很雷同，濃度部分已經找到了最佳濃度。

三、實驗三：蚵殼尺寸的升溫抑制能力

實驗結果顯示，尺寸小則升溫抑制能力好，做了四種尺寸，其溫度走向也都相似。蚵殼尺寸 2.36~4.75mm 比 1.18~2.26mm 溫度多了約 4°C，1.18~2.26mm 與 0.6~1.18mm，溫度下降差異並不大。0.6mm 以下的蚵粉，做出來的遮熱塗層不僅平滑，且目視看起來就比前三個尺寸更加深色，所以升溫抑制能力不好也是可預期的。接著，考量到摩擦力，因此接續的實驗四就只針對前三大尺寸的相互混合來測試。

四、實驗四：混合蚵殼尺寸的升溫抑制能力

實驗結果顯示，三個混合組合，以 C 組(1.18~2.26mm +0.6~1.18mm)這組效果最好，但跟前幾組實驗結果比較，升溫抑制能力並沒有比較突出。我們原先認為畢竟物體顆粒越小，在鋪面時，表面當然會越平滑，其反射效果當然會比較好，升溫抑制能力當然也會比較好，但也由於不同尺寸的混合，也會讓表面看起來更加凌亂，升溫抑制能力還是會打折扣。

在實驗中，我們更想知道的是 A 組(2.36-4.75mm+0.6-1.18mm) 與 B 組(2.36-4.75mm+1.18-2.36mm)，這兩組能不能有好的表現，主要考量是這兩組一看就知道有較大的靜摩擦係數，但其結果是令我們失望的，這兩組升溫抑制能力是有的，但是更不如前幾個實驗的表現。所以得知，雖然混合尺寸一樣有升溫抑制能力，但如果要兼顧靜摩擦係數的話，其升溫抑制能力很有限。

綜合以上各實驗的結果，可得知，對蚵殼這種材質而言，靜摩擦係數與升溫抑制能力是如同魚與熊掌不可兼得的兩種性質。如再以不同比例進行混合，也不會有更好的升溫抑制能力，同一種材質間是無法截長補短的，應該要拿二氧化鈦來截長補短才對。

五、實驗五：混合蚵殼與二氧化鈦的升溫抑制能力

實驗結果顯示，只要加了二氧化鈦，就能明顯有更高的升溫抑制能力，這個結果令我們相當高興，但是按以往經驗來說，兩種物質混合，其基本性質應該會互相影響，混合的結果應該要在兩者的數據之間，就如同兩種物質混合，不管比例為多少，混合密度一定介於兩者密度之間。為什麼實驗五結果會比前面所有實驗結果的升溫抑制能力都還要高？

我們查找了所有相關文獻都不曾提到相關問題，一直到我們重新做實驗來確認這個數據有沒有誤差時，在取下暖燈前的瀝青磚，我們發現瀝青磚背面溫度並沒有很高，照射面摸了燙手，背面卻完全不會，我們才察覺到原來是傳熱速率的問題。

下表十六是查到的基本資料

	實驗用環氧樹脂	二氧化鈦	蚵殼
熱導係數 W/mK(數字大導熱快)	0.3	1.809~10.3	0.044
比熱 J/g°C(數字大升溫慢)	1.1	0.7	0.88
密度 g/cm ³	1.85	3.8~4.23	2.41

【表十六】

二氧化鈦雖然反射率非常高，但由於熱導係數高，比熱小，導致易吸熱易導熱易升溫，反觀蚵殼，反射率不如二氧化鈦，但熱導係數小，比熱小但比二氧化鈦高，整體而言並不容易導熱吸熱，所以升溫慢，當兩者結合在一起時，兩者的性質更可以截長補短，讓遮熱塗層反射率可以在高的情況下，還擁有不易導熱吸熱的性質，而且用手感觸摸，表面只比純蚵殼遮熱塗層光滑些許，實驗七會檢驗實驗五三種組合的靜摩擦係數是否符合道路安全規範。另外有一點要注意的是，混合比例以蚵殼：二氧化鈦=40g：20g，則升溫抑制能力最好。這表示二氧化鈦不是越多越好。

六、實驗六之一：抗沖刷能力

實驗結果顯示，遮熱塗層能耐雨水沖刷，升溫抑制能力完全不受影響。

七、實驗六之二：抗磨損能力

實驗結果顯示，遮熱塗層的升溫抑制能力下降，溫度多高了1~3°C，很明顯在多次磨損後有造成損傷，但是升溫抑制能力還是非常好，仔細觀察表面，有很多刮傷，刮傷多，表面越不平滑，所以可得知，遮熱塗層還是有使用年限。

八、實驗六之三：抗酸鹼能力

實驗結果顯示，遮熱塗層能耐酸鹼侵蝕，升溫抑制能力幾乎不受影響。由於環氧樹脂能抗酸鹼，可保護內部的蚵殼與二氧化鈦，相當於一層保護膜在外，還兼固了強度。

九、實驗六之四：耐高溫能力

實驗結果顯示，在高溫烘烤五小時後，升溫抑制能力幾乎不受影響。但是值得注意的是，剛取下的三組瀝青磚，為了測試是否變軟，我們刻意取筷子用力戳遮熱塗層，塗層表面有1~2塊碎塊剝落，因為高溫而有裂開但表面整體而言無大損，同時瀝青磚本體周圍也有少量碎塊剝落，不過這也是這是唯一一個出現瀝青磚及遮熱塗層有碎塊剝落的實驗。

我們起先不知道會碎裂，事後緊接著秤總重量與碎塊重量。

下頁表十七為碎塊與樣本的關係

	X	Y	Z
a.遮熱塗層碎塊重量(g)	4	4	3
b.瀝青碎塊重量(g)	11	9	7
c.遮熱塗層重量(g)	108	109	100
d.瀝青磚重量(g)	1017	1017	1017
e.總重量(g)	1115	1116	1117
f.遮熱塗層碎裂率 = a/c	3.7%	3.6%	3%
g.瀝青磚碎裂率 = b/d	1.08%	0.88%	0.68%

【表十七】目前看起來，兩種碎裂率之間沒有關係，也跟遮熱塗層的比例沒有關係。

十、實驗七：使用者會關注的其他性質_靜摩擦係數檢測

實驗結果顯示，遮熱塗層的靜摩擦係數都在安全規範以上，就算在潮濕的狀態之下也在安全規範以上，這個結果同時也顯示，如果二氧化鈦量較少時，靜摩擦係數還是會比較高。原先以為靜摩擦係數高是件好事，但在一篇職業性疾病資料中，作者黃程暉指出，太高的摩擦係數是會造成絆倒，也就是反而會造成容易跌倒的情況發生，目前我們只知道塗層相當防滑，但會不會造成跌倒尚不可知。

十一、實驗八：與相同條件之路用粒料所做遮熱塗層比較及成本分析：

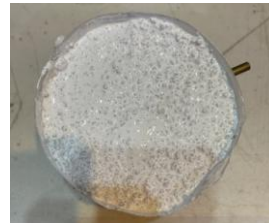
1.比較

(1)如圖二十一利用粒料所做成之遮熱塗層

(2)試驗此遮熱塗層升溫抑制能力，三次取平均

(3)結果：溫差為 17.1 度

(4)結論：粒料做出來的遮熱塗層效果也相當不錯，但相較於蚵殼而言，蚵殼升溫抑制能力還是比粒料高了 25%左右。



【圖二十一】

2.成本分析

蚵殼 25kg 250 元 二氧化鈦 500g 159 元 環氧樹脂 AB 劑組 400 元

組別	A 劑	B 劑	蚵殼	二氧化鈦	AB 劑成本	蚵殼成本	二氧化鈦成本	總成本
X 組	1000g	340g	1340g	1005g	400 元	13.4 元	319.59 元	732.99 元
Y 組	1000g	340g	1340g	670g	400 元	13.4 元	213.06 元	626.46 元
Z 組	1000g	340g	1340g	335g	400 元	13.4 元	106.53 元	519.53 元

【表十八】

從遮熱塗層逆推可鋪蓋面積：

鋪蓋體積 $5*5*33.14159*0.7=54.977825\text{cm}^3$

銅管體積 $0.3*0.3*3.141259*10=2.2827431\text{cm}^3$

鋪蓋體積扣除銅管體積後為遮熱塗層真實體積 52.150394cm^3

如果鋪在一般瀝青路上只鋪設 0.2cm 的厚度，則可以鋪設 $52.150394/0.2=260.75197\text{cm}^2$

上述面積為 AB 劑 80 克所能鋪設面積，整瓶 AB 劑是 1340 克，是實驗劑量的 16.75 倍

則總面積為 $260.75197*16.75=4367.595\text{cm}^2=0.4367595\text{m}^2$ (約是邊長 0.66 公尺的正方形面積)

三組的升溫抑制能力差異很小，考量到成本，選擇 Z 組最為便宜只需要 519.53 元。

陸、結論

一、遮熱塗層如果視為工程應用要有不易吸熱、高反射、高強度、耐磨、耐壓、止滑、快速硬化、方便施作及低成本等重要因素。

二、基本數據匯整 (單位：°C) 【表十九】

零	對照組	原始瀝青磚				
	0-15min 溫差	35.15°C				
一	二氧化鈦濃度	10g 二氧化鈦	20g 二氧化鈦	30g 二氧化鈦	40g 二氧化鈦	50g 二氧化鈦
	0-15min 溫差	23.68	18.51	17.24	13.97	13.63
二	蚶殼濃度	30g 蚶殼	40g 蚶殼	50g 蚶殼	取 2.36~4.75mm 蚶殼	
	0-15min 溫差	25.07	17.16	15.96		
三	蚶殼尺寸	2.36~4.75mm	1.18~2.36mm	0.6~1.18mm	0.6mm 以下	
	0-15min 溫差	17.80	14.49	14.51	15.51	
四	尺寸混合	A 組	B 組	C 組		
	0-15min 溫差	23.74	24.03	17.78		
五	蚶殼+二氧化鈦	X 組	Y 組	Z 組		
	0-15min 溫差	13.07	12.80	13.49		

三、濃度越高升溫抑制能力越好，但相對的，濃度越高越難攪拌均勻，這樣做出來的品質不見得好，工程應該是要考量全面因素，所以要從升溫抑制能力最好中挑選出最好做的。

四、物質之間混合使用，要想對性質截長補短，應該採用其他物質的性質來加以利用，而不是對同一物質進行物理篩選而混合使用。

五、二氧化鈦反射能力雖高，但自身其他性質也會造成升溫，蚶殼反射能力較弱，但自身其他性質卻讓它不易升溫。整體來看，蚶殼會是很好的遮熱塗層原料，只有升溫抑制能力比二氧化鈦差一些，但其他性質能力卻大於二氧化鈦，例如成本方面、導熱率及比熱。

六、我們採用了蚶殼為主體，二氧化鈦為輔，混合了 EB1 高強度硬化快環氧樹脂，做出了可以在相同條件下，可以降下 22~23 度左右的遮熱塗層，升溫抑制能力還比高濃度純二氧化鈦遮熱塗層再好一點。

七、以蚶殼、二氧化鈦、EB1 環氧樹脂為遮熱塗層，升溫抑制能力好、抗酸鹼、抗沖刷、耐高溫耐磨損，其成本價格隨著二氧化鈦比例增高而增高。而實驗六顯示出，利用這樣配方做出來的遮熱塗層，其實經過沖刷、酸鹼、磨損、高溫的考驗後，X Y Z 三組的表現其實沒有多大差異，升溫抑制能力相差都少於 1 度。

八、故綜合各方面考量而言，本次研究推薦以 Z 組蚶殼：二氧化鈦 = 40g：10g 的比例製作遮熱塗層為最佳。

九、二氧化鈦卻有很好的反射效果，但在與蚶殼混合使用時，量越多並不是越好，過量會使升溫抑制能力變差，也會導致成本大幅度提升。

十、蚶殼與二氧化鈦做出來的塗層，比一般路用粒料與二氧化鈦做出來的塗層有著更好的升溫抑制能力，前者比後者多降了 25% 的溫差。

- 十一、瀝青在經歷高溫烘烤後，會有碎裂的情況，由此可知一般路面或者高速公路上常見的坑洞，是因為這種熱脹冷縮的過程造成的，然而遮熱塗層則可以避免這種情況發生，雖然在鋪路過程，多了一份成本，但卻可延長瀝青路面的使用年限，同時也兼顧了安全，長期來看，是一舉數得的。
- 十二、各種塗層的靜摩擦係數都相當的高，這意味著行用或駕駛人用路不需要擔心滑倒，但在文獻中亦有說到太高的靜摩擦係數其實容易造成「跌倒」。我們討論了許久，仔細去觀察台南路面上現有的路平專案，我們發現了一件重要的事，那就是「輾壓」，我們的塗層都沒有經過輾壓，輾壓有兩個功能，壓實跟平整，未來如果要投入到真正的工程應用，可以在遮熱塗層剛硬化後進行輾壓，除了可以讓塗層更加緊貼路面及結實，也可以讓它更加平整，這樣應該可以在止滑與過度防滑之間取得一個平衡點。
- 十三、致謝：為確保實驗成果符合國家安全規範，特別接洽交通部公路總局材料試驗所洪明澤科長，請教洪科長開發的新型瀝青磚後確認可用於本次實驗，避免自製瀝青基底的品質問題及過程中的安全問題。

柒、參考文獻資料

- 1.羅敏甄(2014)，*遮熱性塗料應用於瀝青混凝土鋪面之評估*，碩士論文，台南：國立成功大學土木工程研究所。
- 2.林巧雯 and 張文亮 (2011)，*利用牡蠣殼分等溫吸附磷之研究*(3~4 頁)。
- 3.游景翔(2006)，*骨材級配對瀝青混凝土性質影響之研究*，碩士論文。台南：國立成功大學土木工程研究所。
- 4.黃明輝(2015 年 3 月)，*台灣日照量高低的爭議*。取自 https://scitechreports.blogspot.com/2015/03/blog-post_5.html
- 5.苗栗工務局(2015)，*瀝青混凝土教育訓練*，苗栗：王祐瑋。
- 6.*道路鋪面防滑安全要求及相關標準發展*，取自 <https://www.taftw.org.tw/report/2020/36/road/>
- 7.經濟部(2018)，*各類材質地磚之防滑性研究*，經濟部標準檢驗局自行研究計畫(107BSMI)，作者：林進祥、鄭光珮、楊淑吟。
- 8.*台灣公路工程*，第 46 卷，第 9 期，(ISSN：1812-2868)
- 9.內政部(2007)，*地面材料防滑性能基準之研究*，內政部建築研究所自行研究報告。作者：何明錦、廖慧燕。
- 10.內政部(2020)，*人行面磚防滑測試(含導盲磚)之研究_以 CNS16106 試驗法試驗*，內政部建築研究所自行研究報告，作者：褚政鑫。
- 11.行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所(2010)，*污染物對鞋與地板間抗滑性影響研究*，作

者：劉立文 (IOSH99-H320)。

12.盧榮鈞(2011)，*水平與斜坡道上地板抗滑性之主觀認知*，碩士論文，新竹：中華大學工業管理學系碩士班。

13.劉文宗(2019)，中國生產力中心公共工程品質管理訓練班。

14.蕭崇賢(2020)，使用漢堡輪跡試驗評估瀝青混凝土之抗車轍能力。

15.徐天佑、曾鴻陽(2007)。環境教育學刊。*台灣地區有關太陽能日照量之環境時空因素研究探討*

16.王蕙文(2019年8月5日)，法國城測試抗熱新科技_降低熱島效應，公視新聞，取自

<https://news.pts.org.tw/article/440719>

(以下為附件 備註:僅放上 2 張主要試驗報告)


 **晶準實驗室**
試驗報告 



*工程名稱：自主檢査
*委託單位：晶準實驗室
*樣品名稱：瀝青混合料壓實試體(避青磚10cm)
送檢人員：晶準實驗室-林麗萍

報告編號：C20220038
收件日期：2022/01/06/11:00
試驗開始日期：2022/01/06/13:40
試驗結束日期：2022/01/07/16:00
報告日期：2022/01/07

試體編號 *(取樣位置)	*混合料種類 分層狀態	*量測層數 (自路面量測)	量測方法	試體平均直徑 (cm)	試體平均厚度 (cm)	*規範值 (cm)	
1	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.2	---
2	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.2	---
3	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.2	---
4	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.2	---
5	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.1	---
6	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.1	5.1	---
7	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.2	---
8	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.1	5.2	---
9	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.2	---
10	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.1	---
11	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.2	---
12	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	共1層	第1層	直接量測法	10.2	5.1	---

註1：試體為： 預製瀝青混合料 由瀝青鋪面攪取。
2：鋪面狀態： 側面 水平整面 平整面
*3：取樣日期：2022年01月06日
4：試驗場所：雲林縣斗六市保正里後庄路16-2號。
5：本實驗室為公共工程材料實驗室認證服務計畫認可實驗室。
----- 第1頁，共2頁 -----

報告簽署人 

 **晶準實驗室**
試驗報告 

*工程名稱：自主檢査
*委託單位：晶準實驗室
*樣品名稱：瀝青混合料壓實試體(避青磚10cm)
送檢人員：晶準實驗室-林麗萍

報告編號：C20220038
收件日期：2022/01/06/11:00
試驗開始日期：2022/01/06/13:40
試驗結束日期：2022/01/07/16:00
報告日期：2022/01/07

試體編號 *(取樣位置)	*混合料種類	試體 標稱直徑 (cm)	試驗時 水溫 (°C)	吸水率 (%)	*容積比重 (25/25°C)	25°C密度 (g/cm ³)
1	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.311	2.304
2	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.313	2.306
3	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.315	2.308
4	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.309	2.302
5	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.323	2.316
6	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.327	2.320
7	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.311	2.304
8	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.319	2.312
9	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.315	2.308
10	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.337	2.330
11	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.312	2.305
12	密級配, 標稱最大粒徑3/4"	10	25	---	2.341	2.334

註1：試體為： 預製瀝青混合料 由瀝青鋪面攪取。
*3：取樣日期：2022年01月06日
3：試驗場所：雲林縣斗六市保正里後庄路16-2號。
4：本實驗室為公共工程材料實驗室認證服務計畫認可實驗室。
----- 第2頁，共2頁 -----

報告簽署人 

【評語】 052408

利用蚵殼代替粒料及二氧化鈦，以製成兼顧強度、成本與道路安全之遮熱塗層，應用於公路瀝青鋪面，選用 EB1 環氧樹脂 AB 劑、二氧化鈦及蚵殼，依據密級配瀝青磚之配比設計，混拌製成瀝青上方遮熱塗層。為何蚵殼可部分取代二氧化鈦及粒料？三種不同尺寸蚵殼混合比例皆一半，所混合蚵殼粒徑差異不大，最後考量升溫抑制效果，仍需使用二氧化鈦。作者除了調整配方，還考量實際耐用性與摩擦係數值得鼓勵。但評估這些環境因素與耐用性除了其升溫抑制實驗應綜合觀察其形貌和其他性質是否有改變。討論的部分較簡略。蚵殼與二氧化鈦混合發現有抑制升溫的效果，並找尋最佳的組成。耐磨損能力於工廠測試但並未列出確切的耐磨損能力數值。宜列出路用粒料成分並進一步探討蚵殼中的成分為何可達到抑制升溫的功能。作品雖有列出成本分析，但成本計算過於簡略且並未與路用粒料作比較，若以其成本算法含有遮熱塗層的價格偏高，較不符合一般市場價格，宜說明適用此遮熱塗層的特殊地點與理由。

作品簡報



不怕熱的瀝青 ——遮熱塗層應用於瀝青路面

組
科

別：高級中等學校組

別：工程學科（二）

動機

我摔車了!



- 馬路上的坑洞=高溫曝曬+車輛輾壓
- 幫馬路撐一把傘(遮熱性塗層) →降低溫度，延長瀝青馬路壽命



目的

- (一) 研究各形式瀝青混凝土及瀝青磚文獻探討
- (二) 製作以二氧化鈦為遮熱塗層，探討升溫抑制能力
- (三) 製作以蚶殼為遮熱塗層，以不同操縱變因探討升溫抑制能力
- (四) 製作以蚶殼混合二氧化鈦為遮熱塗層，探討升溫抑制能力
- (五) 探討遮熱塗層的耐用性
- (六) 探討遮熱塗層的靜摩擦係數(防滑係數)
- (七) 與相同條件之路用粒料所做遮熱塗層比較及成本分析

文獻探討和我們的做法

遮熱性塗層

次要研究

二氧化鈦

【成大土木所羅敏甄《遮熱性塗料應用於瀝青混凝土鋪面之評估》】

貝殼

【網路資訊，法國科學家以貝殼鋪馬路，在地取材】

主要研究

蚶殼

銅管

埋入遮熱性塗層並與瀝青磚表面接觸

公路總局研發合格的瀝青磚

為此實驗控制變因讓我的實驗貼近真實環境減少誤差



研究成果

- 加熱15分鐘升溫抑制效果(溫差越小越好)：



- 成本計算(以三公尺寬的兩個車道鋪設10公尺長為例)：



研究成果(實驗一和實驗二)

不同二氧化鈦濃度的升溫抑制能力

不同蚶殼濃度的升溫抑制能力

實驗一

二氧化鈦

探討二氧化鈦抑制升溫的能力並和之後的實驗做對照

13.9°C

實驗二

蚶殼

此次實驗的重點
測試其抑制升溫的能力

15.9°C

研究成果(實驗三和實驗四)

不同蚵殼尺寸的升溫抑制能力

不同尺寸蚵殼混合的升溫抑制能力

實驗三

蚵殼尺寸

因買來的蚵粉有尺寸大小之分
而好奇是否影響升溫抑制

14.4°C

實驗四

蚵殼尺寸混合

因前一實驗的結果而有混合尺寸的
想法，望其能截長補短

17.7°C

研究成果(實驗五和實驗六)

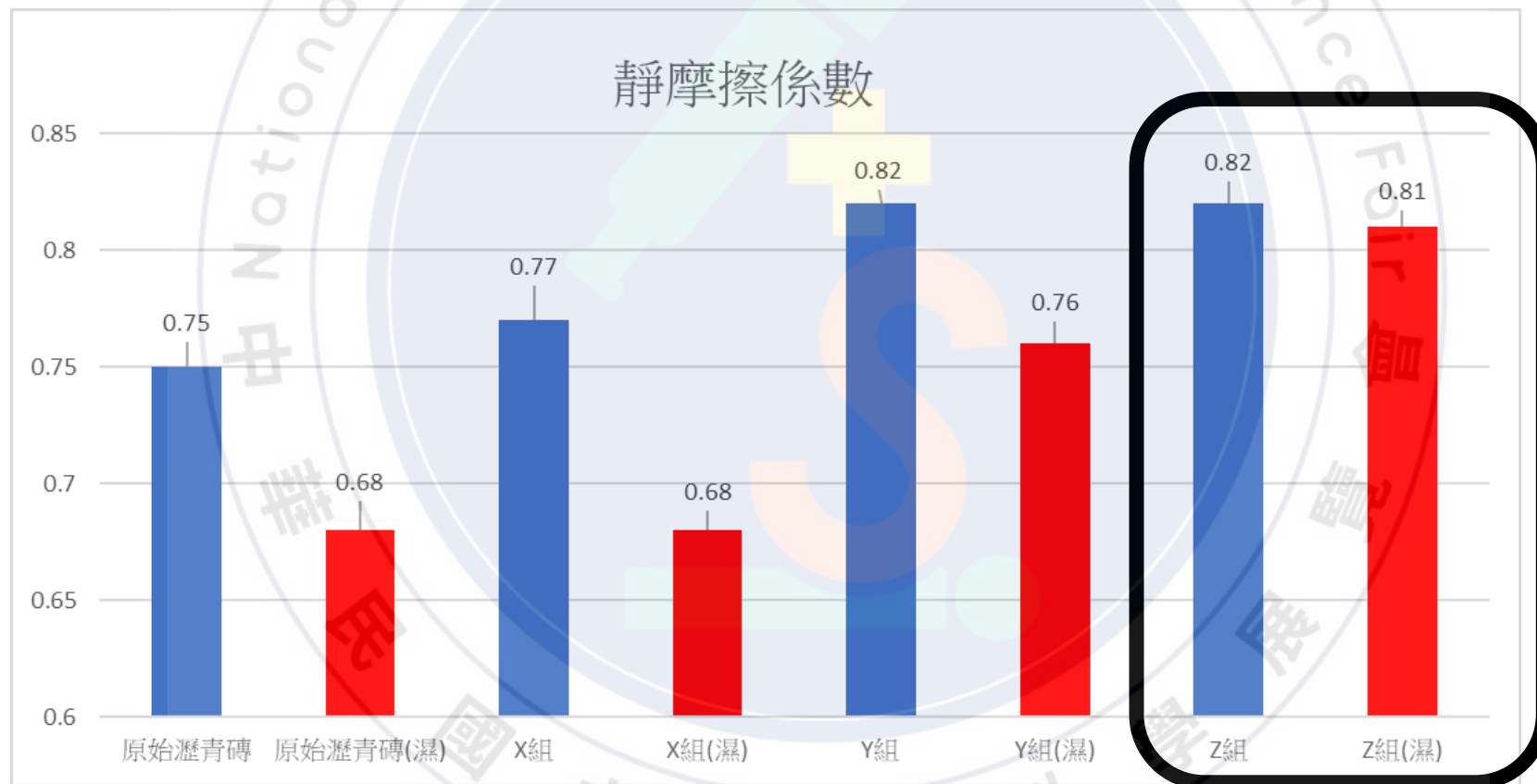
遮熱塗層的耐用性能的比較：

*以三公尺寬的兩個車道鋪設10公尺長為例

	蚶殼： 二氧化鈦	15分鐘 上升溫度	抗沖刷 能力	抗磨損 能力	抗酸鹼 能力	耐高溫 能力	*成本 計算
X組	4 : 3	13.07		●			20138
Y組	4 : 2	12.80	●		●		17212
Z組	4 : 1	13.49				●	14274

研究成果(實驗七)

靜摩擦係數檢測



Z組(蚵殼：二氧化鈦=40：10)的靜摩擦係數最高，且高於原始瀝青磚

結論

- 遮熱塗層如果視為工程應用應具有不易吸熱、高反射、高強度、耐磨、耐壓、止滑、方便施作及低成本等重要因素。
- 遮熱材料的配比越高升溫抑制能力越好，但相對的，濃度越高越難攪拌均勻，這樣做出來的品質不見得好，所以要從升溫抑制和實際操作兩方面挑選出最合適的。
- 蚶殼會是很好的遮熱塗層原料，只有升溫抑制能力比二氧化鈦差一些，但其他性質能力卻大於二氧化鈦，例如成本方面、導熱率及比熱。
- 以蚶殼、二氧化鈦、EB1環氧樹脂為遮熱塗層，其成本價格隨著二氧化鈦比例增高而增高。而利用這樣配方做出來的遮熱塗層，其實經過沖刷、酸鹼、磨損、高溫的考驗後，XYZ三組的表現其實沒有多大差異，升溫抑制能力相差都少於1度。
- 故綜合各方面考量而言，本次研究推薦以Z組蚶殼：二氧化鈦=40g：10g的比例製作遮熱塗層為最佳。
- 二氧化鈦有很好的反射效果，但在與蚶殼混合使用時，量越多並不是越好，過量會使升溫抑制能力變差，也會導致成本大幅度提升。

結論

- 蚵殼與二氧化鈦做出來的塗層，比一般路用粒料與二氧化鈦做出來的塗層有著更好的升溫抑制能力，前者比後者多降了25%的溫差。
- 瀝青在經歷高溫烘烤後，會有碎裂的情況，由此可知一般路面或者高速公路上常見的坑洞，是由於熱脹冷縮的過程造成的，而遮熱塗層則可以避免這種情況發生。雖然在鋪路過程多了一份成本，但卻可延長瀝青路面的使用年限，同時也兼顧了安全，長期來看，是一舉數得的。
- 各種塗層的靜摩擦係數都相當的高，這意味著行用或駕駛人用路不需要擔心滑倒，但在文獻中亦有說到太高的靜摩擦係數其實容易造成「跌倒」。因此我們仔細去觀察台南路面上現有的路平專案，發現了一件重要的事「輾壓」，我們的塗層都沒有經過輾壓。輾壓有兩個功能，壓實跟平整，未來如果要投入到真正的工程應用，可以在遮熱塗層剛硬化後進行輾壓，除了可以讓塗層更加緊貼路面及結實，也可以讓它更加平整，這樣應該可以在止滑與過度防滑之間取到一個平衡點。

參考資料

1. 羅敏甄(2014)，遮熱性塗料應用於瀝青混凝土鋪面之評估，碩士論文，台南：國立成功大學
2. 台灣公路工程，第 46 卷，第 9 期，(ISSN:1812-2868)

可改進之處

- 我們沒有測試有機溶劑對遮熱塗層的抑制升溫效果是否有影響，但我們有搜索資料顯示有機溶劑並不會造成遮熱鋪面的損壞
- 對於抗磨損的測定並不是很精確，希望之後有機會可以用較好的實驗器具做量測