

投稿類別:工程技術類

篇名:

PU防水層添加廢輪胎顆粒隔熱效能之探討

作者:

林姿妤。國立彰師附工。建築科三年忠班
林育呈。國立彰師附工。建築科三年忠班
賴彥均。國立彰師附工。建築科三年忠班

指導老師:

張盛進 老師。王秀芳 老師

壹●前言

本研究探討 PU 防水層添加粗、細廢輪胎粒料對其隔熱性及室內升溫之影響，以設計符合再生性及環保性之建材。首先蒐集相關文獻，進行資料分析。爲了瞭解各試樣之隔熱效能，先進行溫差試驗，透過正、反面之溫差來分析其隔熱效能。以 1 比 10 縮小比例之試驗箱，模擬建築物室內空間，進行不同熱源高度之升溫試驗，尋找最符合本試驗需求之升溫曲線，最後本試驗以熱源距離試樣 25cm 之高度進行試驗，探討各試樣對室內溫度上升之影響。試驗中爲了讓各試樣之表面能夠吸收相同的熱能，所以在各試樣之正面皆塗佈一層 PU，避免試樣吸收不等量之熱能，而對試驗結果產生影響。由試驗結果得知，PU 防水層添加廢輪胎粒料確實可以增加隔熱效能，且試樣厚度愈厚者，其隔熱效果愈佳。

貳●正文

一、研究動機

綠建材屬於土木建築群新興科技的一環，綠建材指標包含再生材料，如果能將廢輪胎再生運用到屋頂之隔熱材，應該能符合指標中的日常節能指標及廢棄物減量指標、生產再生綠建材，如能透過試驗證明，鋪設後真的能降低室內溫度，將能達到節約地球能源、解決廢棄輪胎處理問題，因此，激發我們要研究再生廢輪胎隔熱材之理念，能將廢輪胎減量，並改善我們的生活環境。

二、研究目的

爲了充分利用廢輪胎，使之回收再利用，再加上現在社會有不少利用橡膠的成功例子，但尚未有利用廢輪胎來作爲屋頂隔熱使用。於是我們便使用廢棄輪胎粒料搭配膠結粒料用之 PU，藉由試驗箱之試驗和水平光源試驗結果，探討不同配比、厚度、粒料粗細對隔熱效能之影響，本研究主要目的如下：

- (一)討各試樣之隔熱效能。
- (二)探討試樣表面顏色對升溫之影響。
- (三)用不同的配比製作各種厚度之試樣，置於試驗箱上量測試樣表面溫度、試驗箱內溫度及室內溫、濕度，經由數據之整理與分析，探討不同試樣對內部升溫之影響。
- (四)初步計算並比較製成的試樣成本，找出成本較低且又不影響其隔熱效能的試樣。

三、研究設備及器材

- (一)電子秤：量測各基本試驗、樣本所需之重量。
- (二)標準篩：用以篩分析粗、細輪胎粒料。

- (三)溫度計及濕度計：量測周圍環境、試樣表面和試驗箱內部之溫度上升情形。
- (四)鹵素燈：以適當的高度，模擬室外之陽光。
- (五)試驗箱：上層放置玻璃，模擬一層樓之高度。
- (六)200mm x 200mm x 2mm 玻璃板：主要防止溫度從箱內散失及支撐各試樣。
- (七)PU 防水塗料：隔熱試驗用，鋪設後作為對照組。
- (八)廢棄輪胎顆粒：隔熱試驗用，依各種比例厚度鋪設後為實驗組。

四、研究過程及方法

(一)研究流程

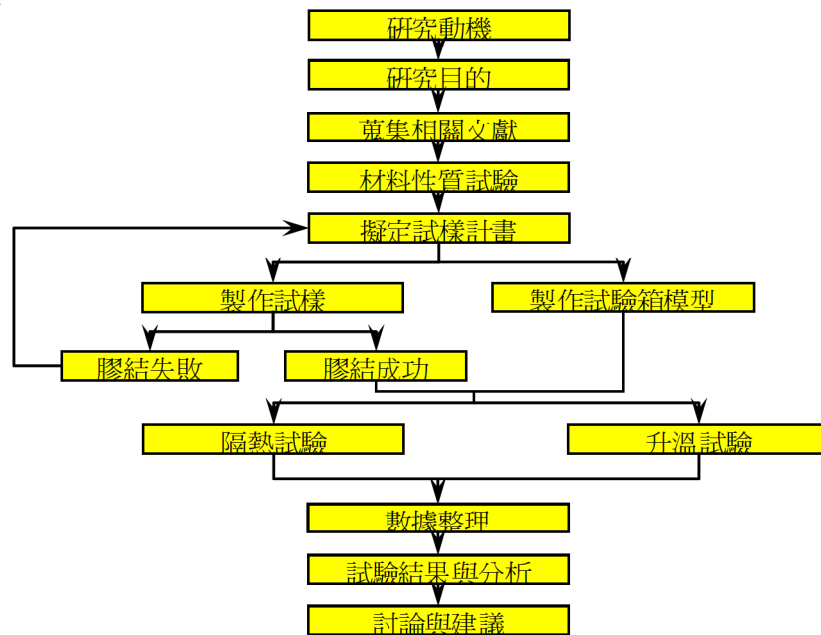


圖 4-1 研究過程流程圖

1.試驗流程

(1)廢棄輪胎粒料之隔熱及升溫試驗

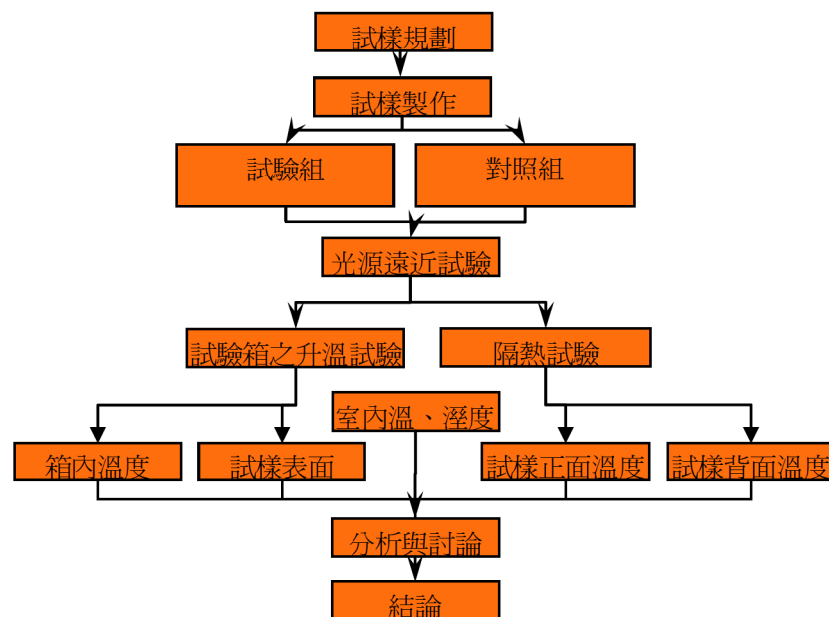


圖 4-12 試樣隔熱及升溫流程圖

光源遠近試驗步驟說明如下：

(1)試樣材料之準備：準備 PU、輪胎粒料與玻璃板等材料。

(2)試樣製作：

A.將粗、細粒料和 PU 依比例倒入免洗碗中拌合，使 PU 與粒料均勻混合。

B.裁切高 7mm 和 12mm 之厚紙板，黏合於 2mm 厚玻璃板四邊，依各種配比以厚度 10mm 及 5mm 塗布於玻璃板上。

(3)光源遠近試驗：

A.將鈉鈣玻璃置入試驗箱上，量測鹵素燈距離鈉鈣玻璃 20cm、25cm、30cm、40cm 及 60cm 處，找出在 30 分鐘內，使試驗箱溫度上升至 45℃ 之光源高度。

B.將鈉鈣玻璃置入架具上，量測鹵素燈距離鈉鈣玻璃 20cm、25cm、30cm 時，在 20 分鐘內溫度上升情形，並以此為試驗基準。

試驗箱升溫試驗步驟說明如下：

A. 將試樣放入試驗箱上，在適當高度(25 公分處)設置鹵素燈照射試樣，並於試驗箱上放置一片木板防止非 試樣區吸收熱能，影響試驗。

B.記錄各試樣的每分鐘箱內升溫狀況、試樣表面溫度及周圍環境的溫、溼度。

C.整理並分析所得之數據。

D.在各試樣上層塗抹一層 PU。

E.反覆 A、B、C、D 之試驗步驟。

隔熱試驗步驟說明如下：

A.將試樣放入架具上，設置鹵素燈以多種距離照射試樣。

B.量測試樣正面溫度及背面溫度。

C.記錄各種距離時試樣正、背面溫度及周圍環境溫、濕度變化。

五、研究結果與分析

隔熱試驗之分析

(一)相同距離及厚度但不同配比之隔熱效能

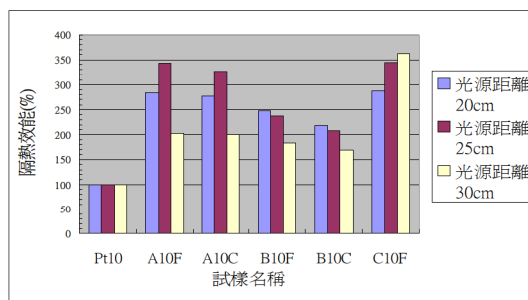


圖 5-13 厚度 10mm 不同配比之隔熱效率長條圖

2.光源與試樣距離 25 公分

(1)試樣 5 公厘厚

由表 5-3 得知，以對照組 PU 為基準分析：

- A.試樣 A5F 之隔熱效率為對照組的 6.22 倍。
- B.試樣 A5C 之隔熱效率為對照組的 4.74 倍。
- C.試樣 B5F 之隔熱效率為對照組的 4.00 倍。
- D.試樣 B5C 之隔熱效率為對照組的 3.19 倍。

得知試樣隔熱效能如下：

試樣 A5F > 試樣 A5C > 試樣 B5F > 試樣 B5C > 對照組 Pt5

表 5-3 試樣厚度 5mm 之正面溫度於 50℃時之背面溫度(光源距離 25cm)

試樣	背面溫度(℃)	溫差(℃)	隔熱效率(%)	環境溫度(℃)	環境濕度(%)
Pt5	47.3	2.7	100	24.3	55
A5F	33.2	16.8	622	24.8	56
A5C	37.2	12.8	474	24.8	55
B5F	39.2	10.8	400	24.9	54
B5C	41.4	8.6	319	24.2	59

(2)試樣 10 公厘厚

由表 5-4 得知，以對照組 PU 為基準分析：

- A.試樣 A10F 之隔熱效率為對照組的 3.42 倍。
- B.試樣 A10C 之隔熱效率為對照組的 3.27 倍。
- C.試樣 B10F 之隔熱效率為對照組的 2.38 倍。
- D.試樣 B10C 之隔熱效率為對照組的 2.08 倍。
- E.試樣 C10F 之隔熱效率為對照組的 3.44 倍。

得知試樣隔熱效能如下：

試樣 C10F > 試樣 A10F > 試樣 A10C > 試樣 B10F > 試樣 B10C > 對照組 Pt10

表 5-4 試樣厚度 10mm 之正面溫度於 50℃時之背面溫度(光源距離 25cm)

試樣	背面溫度(℃)	溫差(℃)	隔熱效率(%)	環境溫度(℃)	環境濕度(%)
Pt10	43.6	6.4	100	23.5	57
A10F	28.1	21.9	342	24.4	55
A10C	29.1	20.9	327	24.2	57
B10F	34.8	15.2	238	24.2	54
B10C	36.7	13.3	208	24.2	54
C10F	28	22	344	23.6	55

(二)相同距離及配比但不同厚度之隔熱效能

2.光源與試樣距離 25 公分

(1) A 組試樣

由表 5-9 得知，以試樣 A5C 為基準分析：

A.試樣 A5F 之隔熱效率為試樣 A5C 的 1.31 倍。

B.試樣 A10F 之隔熱效率為試樣 A5C 的 1.71 倍。

C.試樣 A10C 之隔熱效率為試樣 A5C 的 1.63 倍。

得知試樣隔熱效能如下：

試樣 A10F > 試樣 A10C > 試樣 A5F > 試樣 A5C

表 5-9 A 組試樣之正面溫度於 50℃ 時之背面溫度(光源距離 25cm)

試樣	背面溫度(℃)	溫差(℃)	隔熱效率(%)	環境溫度(℃)	環境濕度(%)
A5F	33.2	16.8	131	24.8	56
A5C	37.2	12.8	100	24.8	55
A10F	28.1	21.9	171	24.4	55
A10C	29.1	20.9	163	24.2	57

(2) B 組試樣

由表 5-10 得知，以試樣 B5C 為基準分析：

A.試樣 B5F 之隔熱效率為試樣 B5C 的 1.26 倍。

B.試樣 B10F 之隔熱效率為試樣 B5C 的 1.77 倍。

C.試樣 B10C 之隔熱效率為試樣 B5C 的 1.55 倍。

得知試樣隔熱效能如下：

試樣 B10F > 試樣 B10C > 試樣 B5F > 試樣 B5C

表 5-10 B 組試樣之正面溫度於 50℃ 時之背面溫度(光源距離 25cm)

試樣	背面溫度(℃)	溫差(℃)	隔熱效率(%)	環境溫度(℃)	環境濕度(%)
B5F	39.2	10.8	126	24.9	54
B5C	41.4	8.6	100	24.2	59
B10F	34.8	15.2	177	24.2	54
B10C	36.7	13.3	155	24.2	54

試驗箱之升溫試驗分析

將試樣置於試驗箱上，以鹵素燈照射模擬太陽光，量測並紀錄 30 分鐘內試驗箱之溫度上升情形，經計算分析與繪製圖表後，結果說明如下：

(一)同厚度不同配比：

1.試樣 5 公厘厚

由表 5-13、圖 5-16 得知，以對照組 PU 為基準分析：

- (1)試樣 A5F 之隔熱效率為對照組的 3.12 倍。
- (2)試樣 A5C 之隔熱效率為對照組的 2.52 倍。
- (3)試樣 B5F 之隔熱效率為對照組的 1.71 倍。
- (4)試樣 B5C 之隔熱效率為對照組的 1.61 倍。

得知試樣隔熱效能如下：

試樣 A5F > 試樣 A5C > 試樣 B5F > 試樣 B5C > 對照組 Pt5

表 5-13 試樣厚度 5mm 之正面溫度於 60°C 時之背面溫度

試樣	上升溫差(°C)	隔熱效率(%)	環境溫度(°C)	環境濕度(%)
Pt5	5.3	100	22	50
A5F	1.7	312	24	51
A5C	2.1	252	24	48
B5F	2.3	171	23	49
B5C	3.3	161	23	50

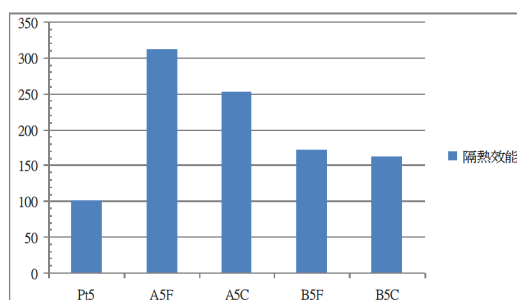


圖 5-16 試樣厚度 5mm 之隔熱效率長條圖

2. 試樣 10 公厘厚

由表 5-14、圖 5-17 得知，以對照組 PU 為基準分析：

- (1)試樣 A10F 之隔熱效率為對照組的 7.14 倍。
- (2)試樣 A10C 之隔熱效率為對照組的 3.57 倍。
- (3)試樣 B10F 之隔熱效率為對照組的 2.27 倍。
- (4)試樣 B10C 之隔熱效率為對照組的 1.72 倍。

得知試樣隔熱效能如下：

試樣 A10F > 試樣 A10C > 試樣 B10F > 試樣 B10C > 對照組 Pt10

表 5-14 試樣厚度 10mm 之正面溫度於 60°C 時之背面溫度

試樣	上升溫差(°C)	隔熱效率(%)	環境溫度(°C)	環境濕度(%)
Pt10	5	100	23	51
A10F	0.7	714	23	52
A10C	1.4	357	26	51
B10F	2.2	227	23	49
B10C	2.9	172	23	41

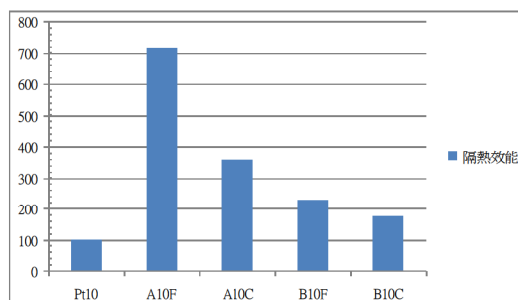


圖 5-17 試樣厚度 10mm 之隔熱效率長條圖

(二)同配比不同厚度：

1. A 組試樣

由表 5-15、圖 5-18 得知，以試樣 A5C 為基準分析：

- (1)試樣 A5F 隔熱效率為試樣 A5C 的 1.24 倍。
- (2)試樣 A10F 隔熱效率為試樣 A5C 的 3.00 倍。
- (3)試樣 A10C 隔熱效率為試樣 A5C 的 1.50 倍。

得知試樣隔熱效能如下：

試樣 A10F > 試樣 A10C > 試樣 A5F > 試樣 A5C

表 5-15 A 組試樣之正面溫度於 60℃ 時之背面溫度

試樣	上升溫差(℃)	隔熱效率(%)	環境溫度(℃)	環境濕度(%)
A5F	1.7	124	24	51
A5C	2.1	100	24	48
A10F	0.7	300	23	52
A10C	1.4	150	26	51

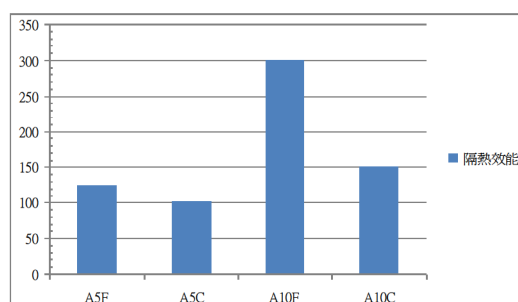


圖 5-18 A 組試樣之隔熱效率長條圖

2. B 組試樣

由表 5-16、圖 5-19 得知，以試樣 B5C 為基準分析：

- (1) 試樣 B5F 隔熱效率為對照組的 1.06 倍。
- (2) 試樣 B10F 隔熱效率為對照組的 1.50 倍。
- (3) 試樣 B10C 隔熱效率為對照組的 1.14 倍。

得知試樣隔熱效能如下：

試樣 B10F > 試樣 B10C > 試樣 B5F > 試樣 B5C

表 5-16 B 組試樣之正面溫度於 60℃ 時之背面溫度

試樣	上升溫差(℃)	隔熱效率(%)	環境溫度(℃)	環境濕度(%)
B5F	3.1	106	23	45
B5C	3.3	100	23	50
B10F	2.2	150	23	49
B10C	2.9	114	23	41

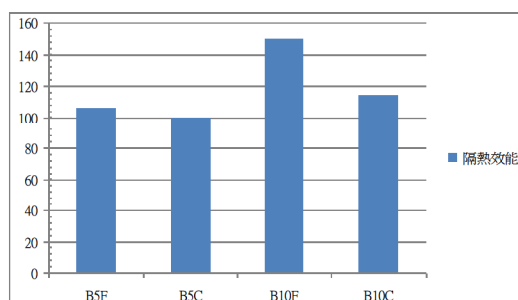


圖 5-19 B 組試樣之隔熱效率長條圖

六、討論

- (一)本研究盡力讓各試樣有相同的試驗環境，但仍然未能達百分之百之擬真程度，如：
 - 1.光源遠近：當調整光源距離時，未必能到達百分之百精確的預定距離。
 - 2.試樣厚度：並非精密儀器製作，因此多少會有人為誤差。
 - 3.試驗箱：雖然盡量依照樓層比例，但並非真實房屋，且材質也不相同。
- (二)室內升溫試驗之光源高度經過 25cm、30cm、40cm、60cm 四種不同高度之試驗與分析後，發現高度 30cm、40cm、60cm 之溫度上升狀況較無明顯之差異，因此決定將高度設置在 25cm 處。希望後續試驗能至室外量測升溫狀況，以得到更真實的數據。
- (三)為了使試驗數據更具可信度，因此將每組配比都製作了兩份試樣，透過其平均值以獲得更準確之數據。本研究同時記錄室內之溫度及溼度，可用來分析對試驗箱內溫度之影響，以提高試驗精確度。
- (四)表面溫度在長期照射下，溫度接近 70℃~97℃，表面升溫受到試樣顏色之影響很大，因此本試驗在試樣正面塗抹一層 PU，使表面顏色一致，同時可以改善 PU 與粒料結合後在防水性能上之問題。
- (五)在試驗中發現，室內溫度會影響數據，建議後續實驗能在一個恆溫狀態下進行，將能得到更精確之分析。

參 ● 結論

一、隔熱試驗中，分析後得知各距離對試樣的趨勢並無任何影響，但發現以距離 25 cm 之數值最為穩定，所以以此為例說明試樣之隔熱效能：

(一)如表 7-1 所示，試樣厚度為 5mm 時，以對照組 PU 為基準分析，得知隔熱效能
試樣 A5F > 試樣 A5C > 試樣 B5F > 試樣 B5C > 對照組 Pt5。

表 7-1 試樣厚度 5mm 之隔熱效率

試樣	Pt5	A5F	A5C	B5F	B5C
隔熱效率(%)	100	622	474	400	319

(二)如表 7-2 所示，試樣厚度為 10mm 時，以對照組 PU 為基準分析，得知隔熱效能
試樣 C10F > 試樣 A10F > 試樣 A10C > 試樣 B10F > 試樣 B10C > 對照組 Pt10。

表 7-2 試樣厚度 10mm 之隔熱效率

試樣	Pt10	A10F	A10C	B10F	B10C	C10F
隔熱效率(%)	100	342	327	238	208	344

(三)如表 7-3 所示，在同為 A 組試樣時，以試樣 A5C 為基準分析，得知隔熱效能
試樣 A10F > 試樣 A10C > 試樣 A5F > 試樣 A5C。

(四)如表 7-4 所示，在同為 B 組試樣時，以試樣 B5C 為基準分析，得知隔熱效能
試樣 B10F > 試樣 B10C > 試樣 B5F > 試樣 B5C。

表 7-4 B 組試樣之隔熱效率表

試樣	B5F	B5C	B10F	B10C
隔熱效率(%)	126	100	177	155

表 7-3 A 組試樣之隔熱效率

試樣	A5F	A5C	A10F	A10C
隔熱效率(%)	131	100	171	163

二、如表 7-1、表 7-2、表 7-3 及表 7-4 所示，除了 Pt5 及 Pt10，當試樣表面多鋪設一層 PU 後，將有助於降低試樣之升溫效能。

三、試驗箱之升溫試驗中，如表 7-5 及表 7-6 所示，以 PU 的升溫效能為基準，其對內部升溫影響為：

(一)在試樣可以膠結的狀況下，當粒料添加越多，隔熱效能越高。因此
A 組配比 > B 組配比。

(二)當厚度越厚時，升溫效能越低，隔熱越佳。因此試樣為隔熱效能
厚度 10mm > 厚度 5mm。

(三)當厚度及配比相同時，隔熱效能為添加
細粒料之試樣 > 添加粗粒料之試樣。

(四)隔熱效能：因 A10F 對內部溫度影響最大，隔熱率為同厚度 PU 之 7.14 倍。

表 7-5 表面未塗抹 PU10mm 試樣之升溫效率

試樣	Pt10	A10F	A10C	B10F	B10C
升溫效率(%)	100	82	89	104	104

表 7-6 表面未塗抹 PU5mm 試樣之升溫效率

試樣	Pt5	A5F	A5C	B5F	B5C
升溫效率(%)	100	105	111	113	118

表 7-7 表面塗抹 PU10mm 試樣之升溫效率

試樣	Pt10	A10F	A10C	B10F	B10C
升溫效率(%)	100	80	88	95	100

表 7-8 表面塗抹 PU5mm 試樣之升溫效率

試樣	Pt5	A5F	A5C	B5F	B5C
升溫效率(%)	100	95	98	100	100

表 7-9 表面塗抹 PU10mm 試樣之隔熱效率

試樣	Pt10	A10F	A10C	B10F	B10C
隔熱效率(%)	100	714	357	227	172

表 7-10 表面塗抹 PU5mm 試樣之隔熱效率

試樣	Pt5	A5F	A5C	B5F	B5C
隔熱效率(%)	100	312	252	171	161

四、PU5 加侖價錢為 2850 元，先經篩過之廢輪胎粒料 1 公斤為 12 元，而未經篩過之粗輪胎粒料 1 公斤為 5 元。經由計算後得到厚度 1cm 每 1m²各配比之成本價錢。由表 7-7 得知，CF(3 份 PU 比 7 份細橡膠顆粒)配比之成本為所有配比最低，隔熱效能為其中最好的。

表 7-11 成本比較

配比	CF	AC	AF	BC	BF	PU
成本(元)	1275	1495	1600	2180	2250	3550

肆 ● 參考文獻

- 一、蔡得時、李尙成(2007)。材料試驗。台北市：矩陣。
- 二、陳兩達、張簡宏裕、陳加宜(2011)。工程概論 I。台北縣：台科大。
- 三、林憲德(2006)。綠色建築。台北市：詹氏。