

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

佳作

030503

土角厝的奧秘

學校名稱：桃園縣立楊光國民中(小)學

作者： 國一 盧偉承 國一 洪立穎 國一 王 筠	指導老師： 張聰陽 彭淑媛
---	-----------------------------

關鍵詞：土角厝、熱傳導、孔隙比

題目：土角厝的奧秘

摘要：

傳統夯土的土角厝磚加入的稻草混合物，以混雜方式可以有效的減緩熱傳導效應，並對屋內或戶外蒸散水氣，以達到土角厝磚內部與外部的大氣平衡。研究結果顯示混雜方式雖好，但效率因不同地、不同土壤、夯土的技巧或加入不等量稻草的因素，呈現複雜多樣的變化，利用重量法、密閉加壓法求得相對的孔隙比，得知在每克飽和土壤加入 0.14 克的稻草研磨物為單位，依比例製作土角厝磚，飽和狀態加入研磨添加物 60%以上，土角厝磚正反兩面的溫差隨時間增加有逐步擴大的現象。

壹、研究動機

家鄉的土角厝一間一間被怪手推倒改建成水泥房子，我們詢問老人家土角厝的歷史，驚訝地發現土角厝磚做的房子居然可以調節氣溫，老人家還說：「以前土角磚蓋的房厝都冬暖夏涼，不像現在的房子在夏天都熱得要命，冬天冷得要死！」每回夏天要開冷氣時，都會想到家鄉老人家講的話。所以我們想到傾頹在鄉間角落的土角厝，想探討土角厝的科學成因，並研究如何把土角厝磚運用在現代生活上。

貳、研究目的

- 一、探討土角厝磚的組成成分
- 二、探討土角厝磚會冬暖夏涼的原因
- 三、探討土角厝磚的物理性質
- 四、土角厝磚的隔熱效果運用

參、研究設備與器材

土角厝磚、稻梗、燒杯、攪拌棒、鑷子、電子磅秤、測溫槍、槌子、箱子、顯微鏡、複製容器、培養皿、爆米香機、吹風機

肆、研究過程或方法

- 一、土角厝磚的組成成分分析，探討各地所製造的土角厝磚是否相同

【方法】採集來自各地的土角厝磚，將採集的土角厝磚成分還原配方。

【說明】

- (一) 把不同地區採集到的土角厝磚個別溶於水中。
- (二) 先用孔度較大的過濾網濾出植物纖維，再用不織布過濾，把土和水分離。
- (三) 探討不同地區的土角厝磚比例、成分是否相同。
- (四) 來自不同地點的土角厝磚，利用診斷表育層 O、A、E、B、C 層的土壤剖面特性，並利用顯微鏡觀察，參照台灣土地土壤¹分佈，判讀出土壤與添加物成分。

¹ 陳尊賢，許正一《台灣的土壤》p56~p73



圖 1-1 各地採集土角厝磚代表列舉



圖 1-2 溶解、搗碎、沈澱、過濾與土壤分離圖示

表 1-1 土角厝磚採集地理位置及內容物分析敘述

編號	採集地 GPS	土壤分析	土角厝磚大小	內含物重量比例
A	24.923425,121.13213	極育土	25×15×8 立方公分	1.362%
B	24.93151,121.121471	極育土	36×23×11 立方公分	1.584%
C	24.977228,121.08547	極育土	21×21×10 立方公分	1.63%
D	24.989987,121.044266	氧化物土	25×24×12 立方公分	2.45%
E	24.969937,121.043261	氧化物土	33×24×14 立方公分	2.165%
F	24.942639,121.074135	極育土	24×11×8 立方公分	1.287%
G	24.939643,121.081259	極育土	22×17×11 立方公分	1.76%
H	24.90446,121.148894	氧化物土	26×16×12 立方公分	2.56%
I	24.905511,121.141512	氧化物土	26×15×10 立方公分	2.89%
J	24.896675,121.152885	極育土	24×13×10 立方公分	3.12%



圖 1-3 採集地點土角厝

1. 深入研究：添加物與土角厝磚不含水之比例分析

【方法】烘乾不同地的土角厝磚和添加物，並計算其比例。

【說明】

- (1) 將不同地的土角厝磚切割成 5x5x5 立方公分大小，並溶解。
- (2) 採用上述『研究過程或方法一』的方法分離出土壤和添加物。
- (3) 分別將添加物和土壤用培養皿裝好，放入烤箱烘乾。
- (4) 比較兩者烘乾前和烘乾後時間的重量改變。

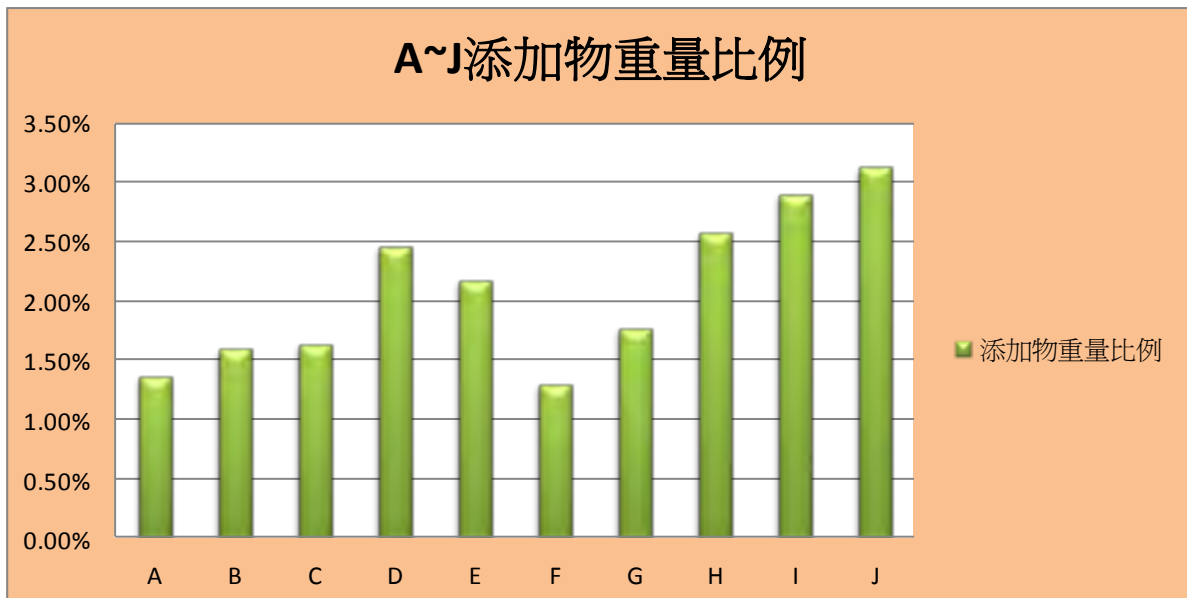


圖 1-4 烘乾添加物重量比烘乾土重量





圖 1-5 土壤、添加物飽和狀態與烘乾後對照圖

表 1-2 土塊與添加物乾濕前後重量比較表

編號	飽和濕土壤重量	烘乾土壤重量	重量減少率	飽和添加物重量	烘乾添加物重量	重量減少率
A	211.5g	162g	23%	2.8g	0.6g	79%
B	208g	157g	25%	2.1g	0.4g	81%
C	204.4g	159g	22%	2.6g	0.6g	77%
D	215g	170.5g	21%	3.6g	1.1g	69%
E	218.3g	152g	30%	1.9g	0.4g	79%
F	209g	164g	22%	3.2g	0.5g	84%
G	220g	177g	20%	3.9g	1.5g	62%
H	232g	168g	28%	3.4g	0.5g	85%
I	201.5g	159.5g	21%	2.4g	0.4g	83%
J	237.2g	180g	24%	4.1g	0.5g	88%

A~J地土壤、添加物重量減少率比較圖

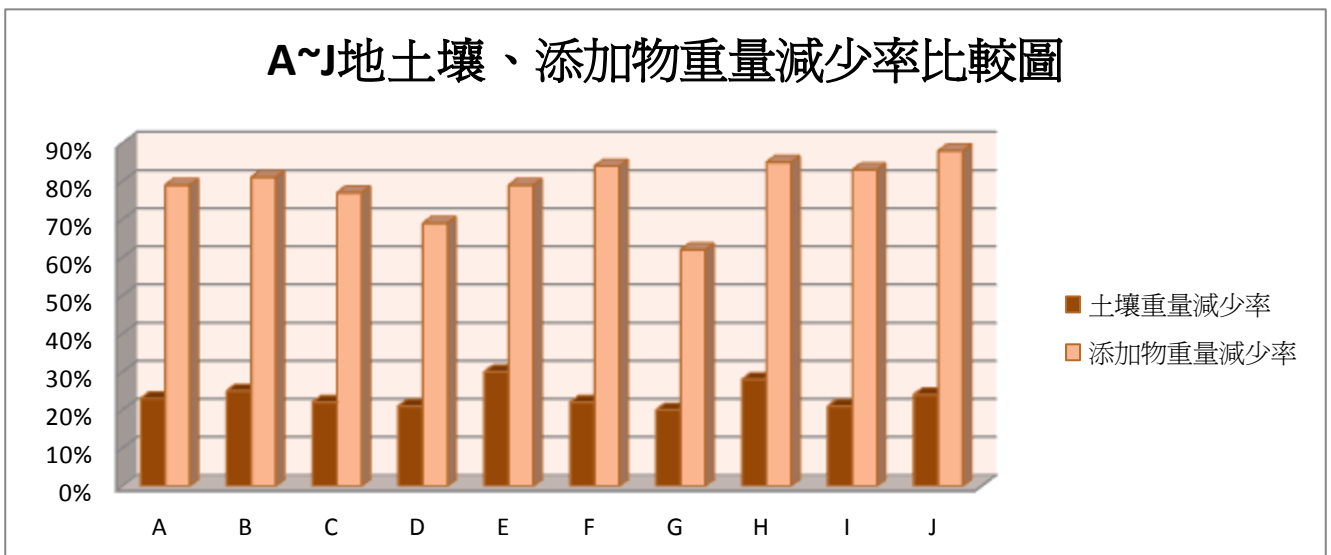


圖 1-6 A~J 的土壤、添加物重量減少率比較圖

由 飽和濕土壤重量 - (烘乾土壤重量 + 烘乾添加物重量) 得知不同採集地土塊的水分含量，如下表圖：

表 1-3A~J 地 5x5x5 土塊中的水分含量

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
48.9g	50.6g	44.8g	43.4g	65.9g	44.5g	41.5g	63.5g	41.6g	56.7g

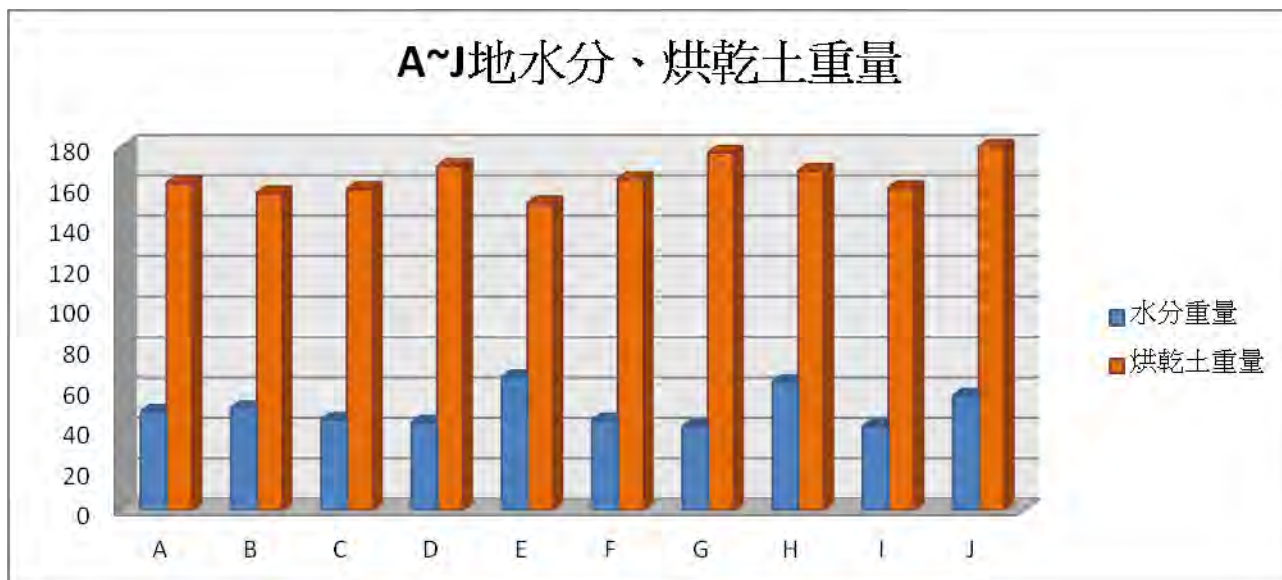


圖 1-7 A~J 的水分、烘乾土重量

又水分重量除以烘乾土重為土壤水分含量，如下圖：

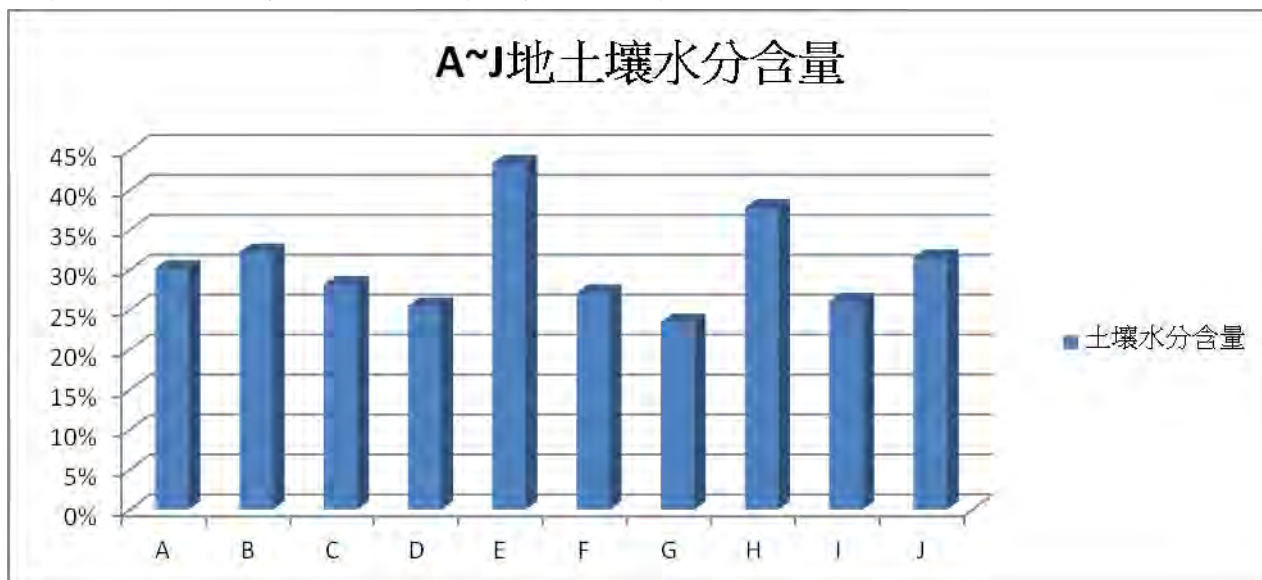


圖 1-8 A~J 的土壤水分含量

二、探討土角厝磚的熱傳導效應

【方法】用不同 10 個地點（A~J）取得的土角厝磚加熱實驗

【說明】

- （一）分別將不同地點的土角磚放置於烤箱內，用同時間、同溫度烤炙。
- （二）再以測溫槍以每 10 秒為間隔量測溫度。
- （三）將各地取得的土角厝磚溶解，並分離土壤與添加物。

表 2-1 土角厝磚熱傳導效應溫度紀錄表（A~J）

時間	A 土角厝磚		B 土角厝磚		C 土角厝磚		D 土角厝磚		E 土角厝磚	
	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度
0	19.2	19.6	20.6	20	19.5	22	18	22.4	22.4	19.6
10	25.6	41.6	38.4	30.6	26.8	25.5	26	24	25.8	23.7
20	30.8	45.6	38.4	28	37.4	29.4	32.5	29.7	31.5	29.9
30	33.4	39.6	50.4	36.2	40.4	32	33.4	35.4	36.8	39.7
40	40	51.8	54.8	43.8	55.6	31	43	39.9	43	42.5
50	42.4	55.6	54.9	38.2	58.9	43	45.7	43.3	47.9	47
60	50	62.6	55.8	50.6	63.4	49.5	53.5	47.6	55	59.9
70	56.2	66.8	59.6	61.6	71	53.7	59.2	52.3	59.8	64
80	58.4	72.8	66.8	64.3	73.2	58.4	64.5	59.6	62.6	70.4

時間	F 土角厝磚		G 土角厝磚		H 土角厝磚		I 土角厝磚		J 土角厝磚	
	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度	飽和濕土 溫度	烘乾土壤 溫度
0	18.2	17.8	19.8	18.2	17.5	18.5	17.2	18.1	17.9	17.4
10	22.5	19.9	24.6	22	21.6	21.2	19.8	22	26.7	21.2
20	29	24.3	33	30.5	26.5	23	26.4	27.8	30.3	24.6
30	31.5	27	34.7	36.7	32.4	29.9	33.1	31.2	35	30.2
40	38.4	33.2	39.7	41	39.2	32.6	38.3	37.5	41.5	33.5
50	44.8	39.6	43.5	44.7	45.5	36.4	46.3	42	45.3	39.5
60	53	43	49.8	47.9	51.3	41	52.1	49	50.2	45.5
70	58.7	49.1	56.5	53	56	48.5	54.5	55.8	57.2	53.8
80	60.8	54.9	67.2	59.5	61	53.9	58.3	62.2	63.9	61.7

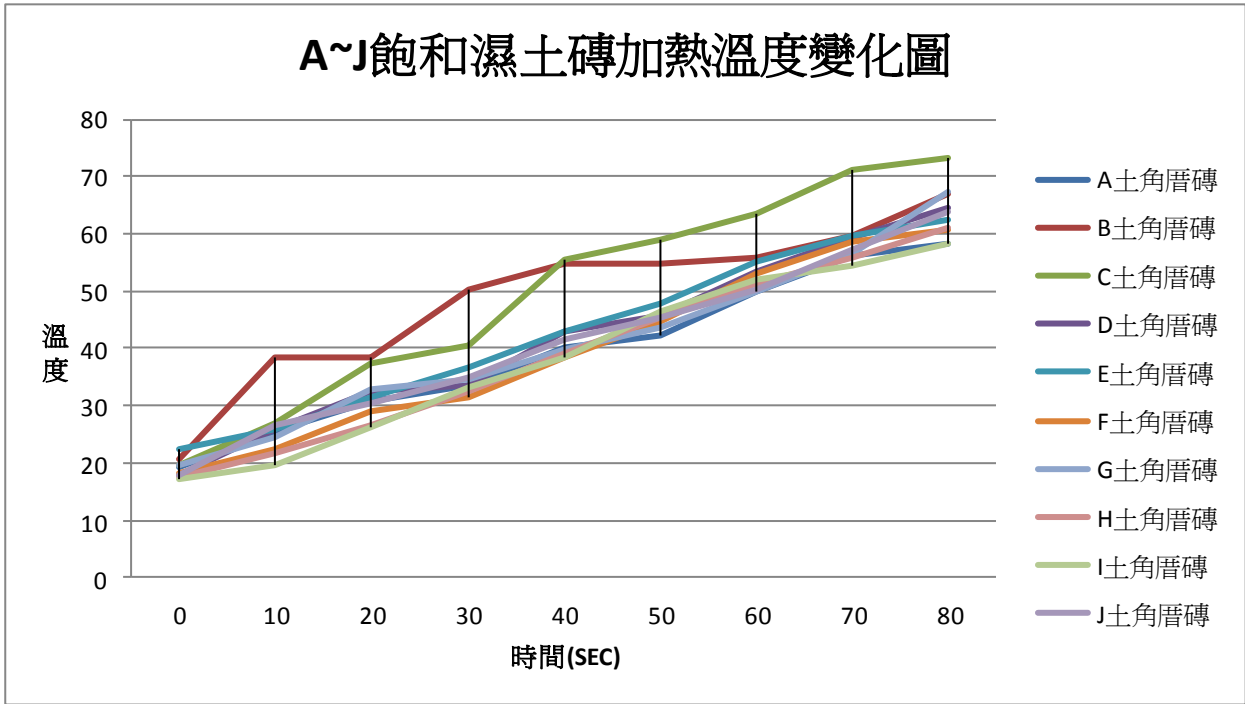


圖 2-1 A~J 飽和濕土磚加熱溫度變化圖

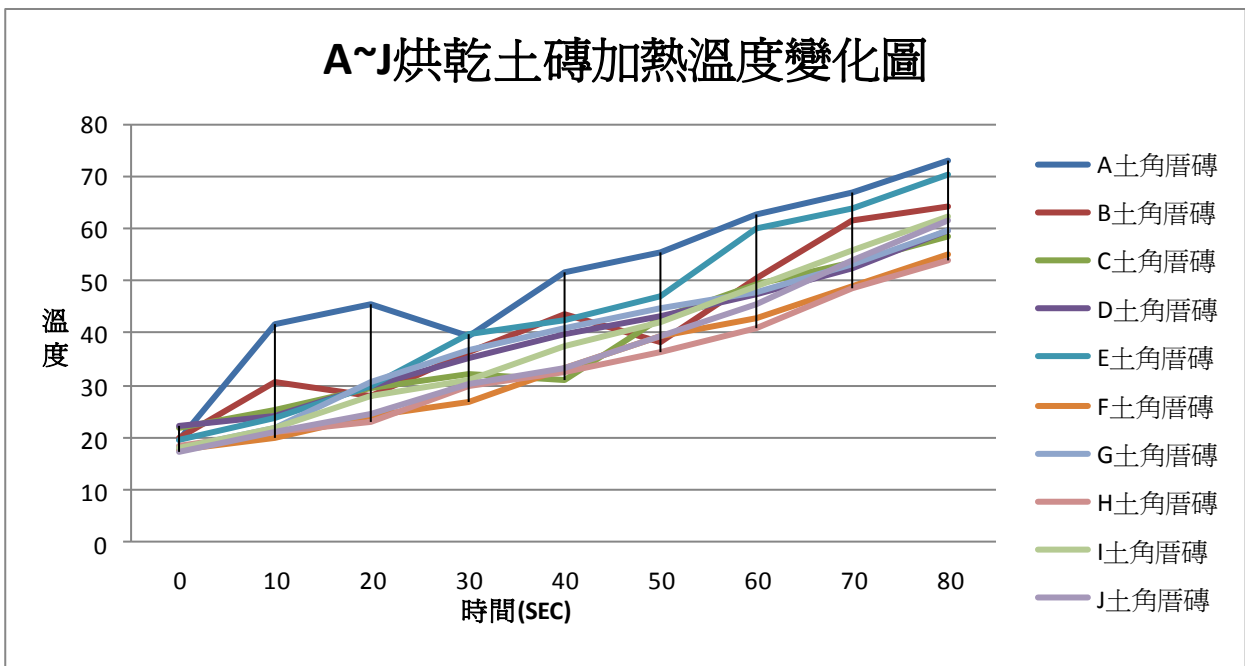


圖 2-2 A~J 烘乾土磚加熱溫度變化圖



圖 2-3 不同地土角厝磚之熱傳導效應圖示

三、探究不同比例添加物的土角厝磚熱傳導效應

【方法】採用 XX 地點的土角厝磚的相關成分比例大小，遞增添加物以混合和研磨兩類為主實驗。

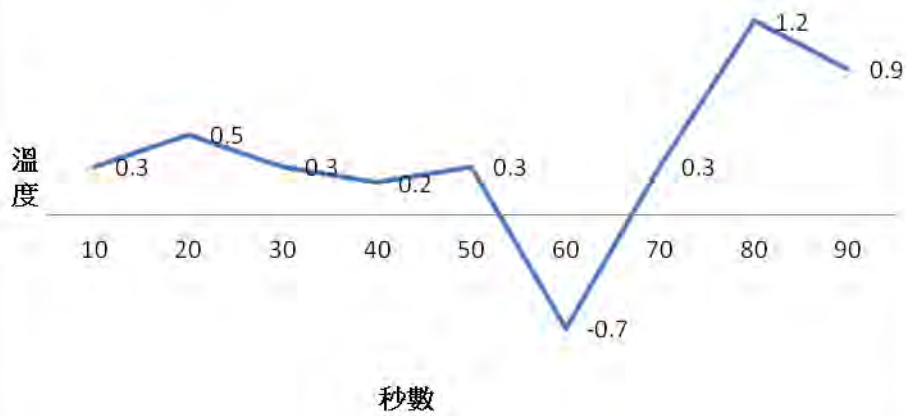
【說明】

- (一) 利用『研究一』所得知的成分複製土角厝磚，以 125 立方公分添加 3.0 公克添加物為 100%。
- (二) 逐步增加添加物的份量。
- (三) 以混合和研磨的添加物為實驗。
- (四) 自製土角厝磚土的構成和比率，加土夯實，如下圖示意，得知：

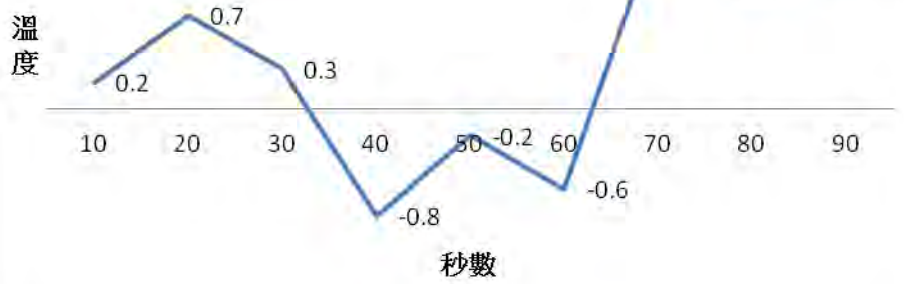
表 3-1 添加物 10%~100% 混合與研磨方式的熱傳導紀錄表

時間(秒)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
溫度(混合 10%)	20.8	21.8	23.3	23.9	24.8	26.6	28.6	31.6	32.3
溫度(研磨 10%)	20.5	21.3	23	23.7	24.5	27.3	28.3	30.4	31.4
溫度(混合 20%)	22	22.9	23.4	24.1	25.2	27	29.9	32	33.3
溫度(研磨 20%)	21.8	22.2	23.1	24.9	25.4	27.6	28.5	31	32.1
溫度(混合 30%)	22.3	23	23.9	24.5	26	28	30.4	32.5	34
溫度(研磨 30%)	21	22.7	23.4	24.3	25.9	27.9	29.1	31.2	33.1
溫度(混合 40%)	22.8	23.3	24.2	25	26.2	28.2	30.9	33	34.9
溫度(研磨 40%)	21.2	22.9	23.4	24.4	26.1	27.9	30.3	32.2	33.4
溫度(混合 50%)	23.4	25.6	26	27.1	28.2	29.6	31.8	34.8	35.2
溫度(研磨 50%)	22.3	23.1	23.9	24.6	26.2	28.1	30.7	32.8	34
溫度(混合 60%)	23.6	25.9	26.6	27.9	29	30.5	32	35.4	36.1
溫度(研磨 60%)	22.1	22.8	23.3	24.1	25.8	27.6	29.9	31.9	33.4
溫度(混合 70%)	23.9	26.3	27.2	28.4	29.4	31	33.1	36.1	37
溫度(研磨 70%)	21.8	22.1	22.6	23.5	25	26.6	28.9	30.7	32.7
溫度(混合 80%)	24.2	26.9	27.8	29	30.1	31.8	33.9	37.1	38.2
溫度(研磨 80%)	21.9	22.9	23.2	23.9	25.5	26.9	29	30.9	32.9
溫度(混合 90%)	24.8	27.1	28.5	29.4	30.9	32.5	34.1	37.3	38.8
溫度(研磨 90%)	22	23.2	23.9	24.5	26.1	27.6	29.7	31.4	33
溫度(混合 100%)	25	27.8	29.2	30	31	33	35.4	37.9	39.9
溫度(研磨 100%)	22.6	24	24.9	25.7	26.9	28.2	30.7	32	34.2

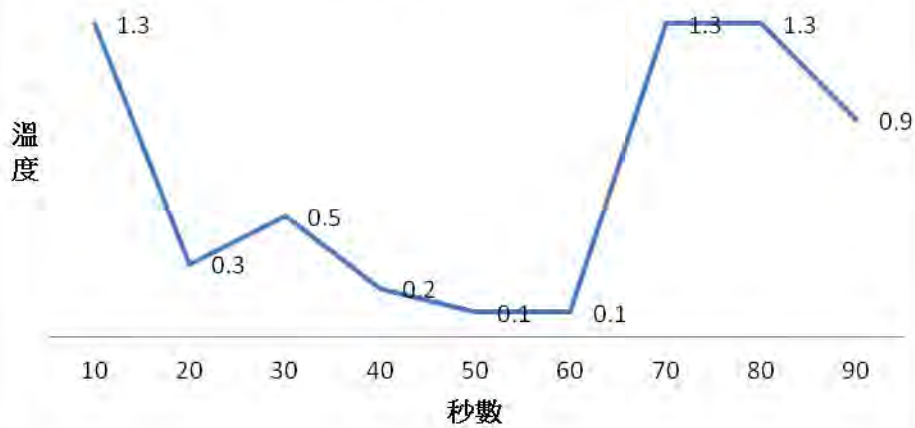
10%混合減研磨的溫度差



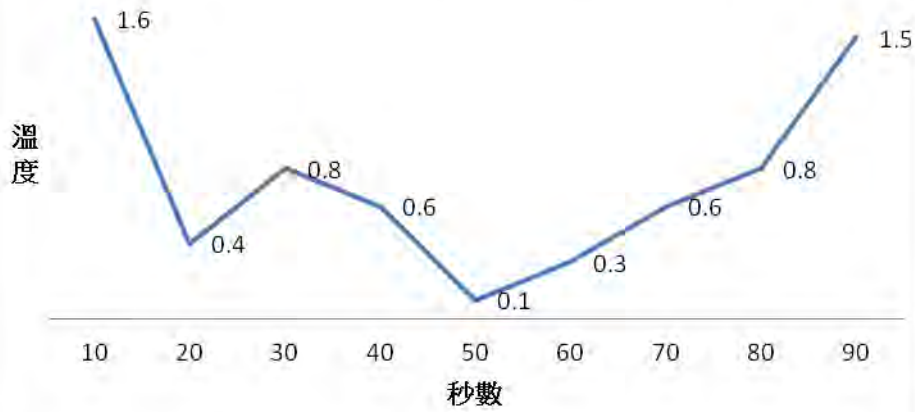
20%混合減研磨的溫度差



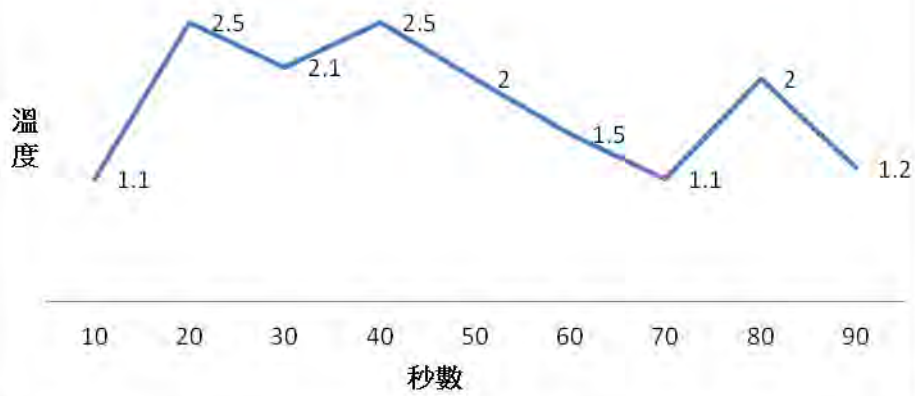
30%混合減研磨的溫度差



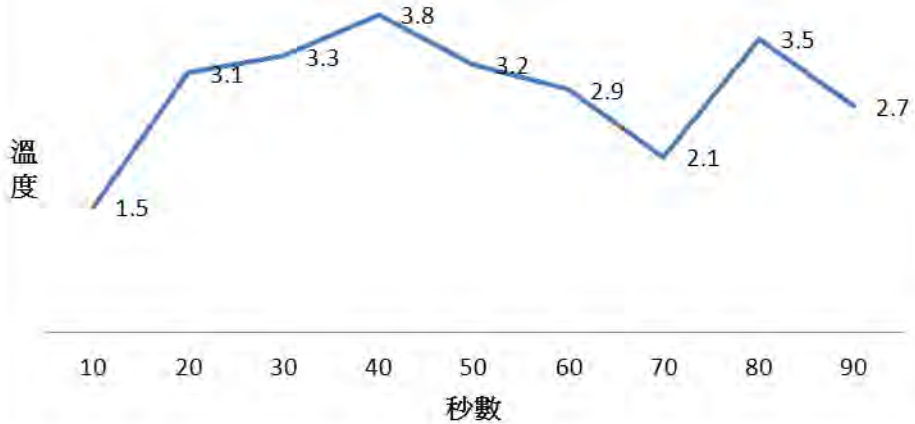
40%混合減研磨的溫度差



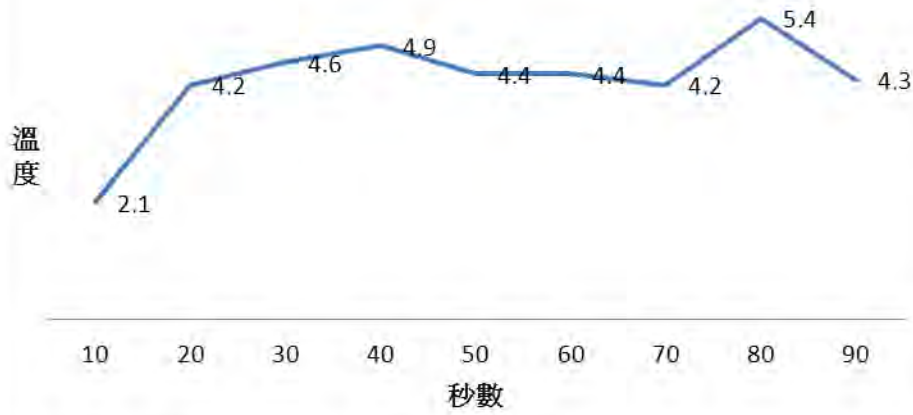
50%混合減研磨的溫度差



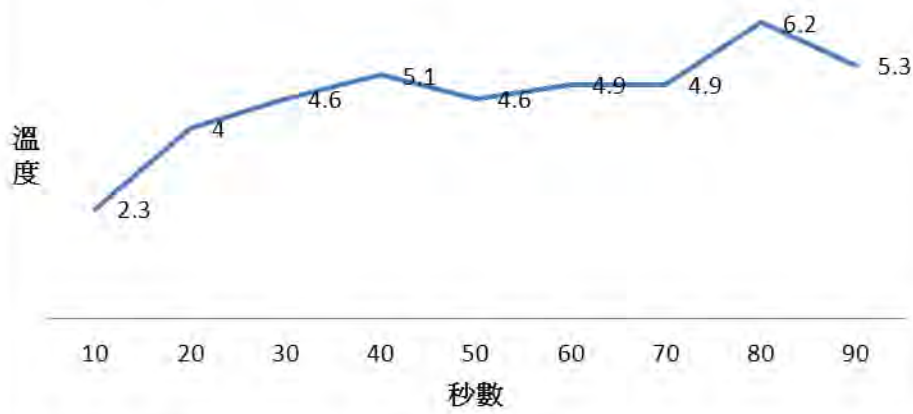
60%混合減研磨的溫度差



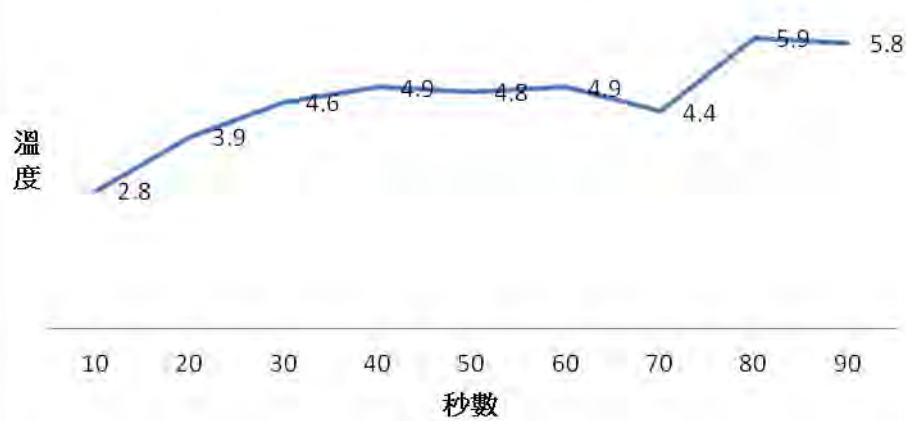
70%混合減研磨的溫度差



80%混合減研磨的溫度差



90%混合減研磨的溫度差



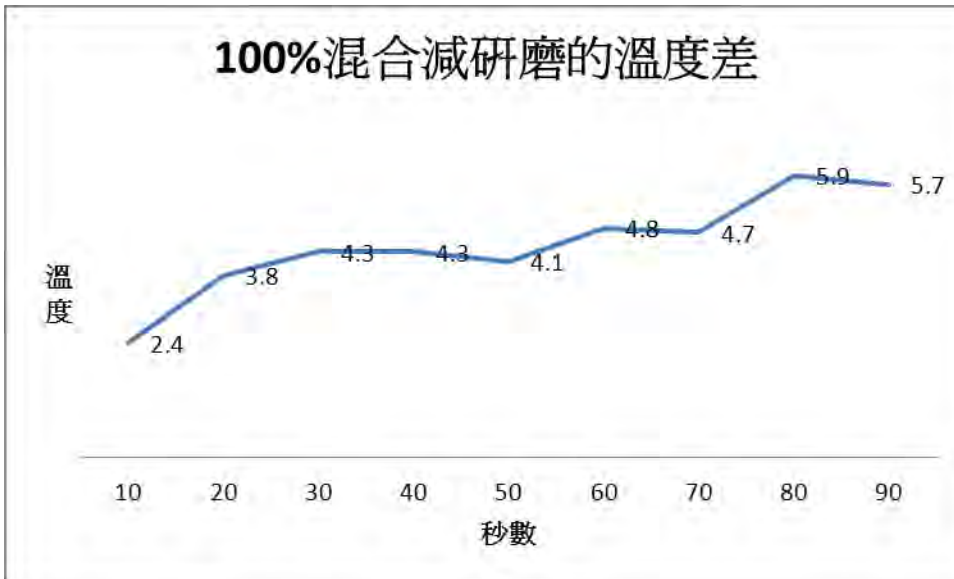


圖 3-1 10%~100%混和減研磨的差圖

		
切割不同長度的稻桿	分類切割後不同長度的稻桿	稻桿研磨成粉末狀
		
搓揉極育土並混入添加物	放入模型盒中夯實	將凸起的稻桿壓入
		
輕敲慢慢取出	自製的土角厝磚	傳統陰乾法

圖 3-2 自製不同稻桿長度以及研磨加入不同份量稻桿粉末之土角厝磚

四、探究不同比例添加物的土角厝磚熱傳導實驗

【方法】採用「研究一」全部地點的土角厝磚的土壤相關成分比例，改良自製土角厝磚，5x5x5 立方公分大小的平均添加物稻草的平均重量為 3.0 克，再換算自製容器大小用來夯土，以百分等第方式逐步增量添加物與含水飽和度實驗。

【說明】

- (一) 利用『研究一』所得知的成分複製土角厝磚。
- (二) 烤乾複製的土角厝磚。
- (三) 逐步增加添加物的份量，並用滴管逐量滴上水量，直到飽和為止。
- (四) 取實驗飽和土角厝磚。
- (五) 將飽和土角厝磚以隔熱方式加熱 0、5、10、15 分鐘，分別在土角厝磚正反兩面以測溫槍讀取數據。

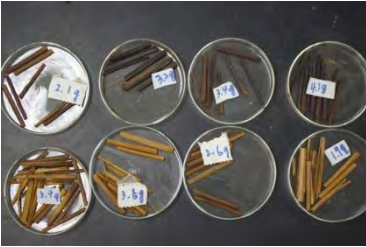





		
烘乾後之稻草	加水飽和試作	滴到土塊能滴下水為飽和
		
換算比例之原土	加入飽和之最大水量	夯實飽和土

圖 4-1 混合、研磨自製飽和土角厝磚實驗圖示

		
吹風機固定距離加熱	固定時間讀取溫度數據	反面測溫

圖 4-2 混合、研磨添加物之飽和土角厝磚實驗圖示

表 4-1 混合、研磨添加物之土角厝磚含水飽和度表

飽和水量 ml		分鐘	0	1	5	10	15
溫度							
溫度(混合 10%)前	98ml		18.2	29.4	42.6	50.8	60
溫度(混合 10%)後			18.2	18.2	19	20.2	21.6
溫度(研磨 10%)前	105ml		18.2	29.3	42.3	50.6	59.7
溫度(研磨 10%)後			18.2	18.2	18.3	18.9	21
溫度(混合 20%)前	102ml		18.2	30.2	43.1	51.3	61.2
溫度(混合 20%)後			18.2	18.2	18.5	19.8	21
溫度(研磨 20%)前	114ml		18.2	29.4	42.5	50.8	60
溫度(研磨 20%)後			18.2	18.2	18.3	18.7	20.7
溫度(混合 30%)前	108ml		18.2	30.5	43.9	51.8	61.9
溫度(混合 30%)後			18.2	18.2	18.3	19.6	20.6
溫度(研磨 30%)前	124ml		18.2	29.6	42.8	51.1	60.4
溫度(研磨 30%)後			18.2	18.2	18.3	18.6	20.5
溫度(混合 40%)前	112ml		18.2	30.6	44.3	52.4	62.9
溫度(混合 40%)後			18.2	18.2	18.2	19.3	20
溫度(研磨 40%)前	132ml		18.2	30	43.2	51.5	60.9
溫度(研磨 40%)後			18.2	18.2	18.2	19.2	19.9
溫度(混合 50%)前	120ml		18.2	30.6	44.2	52.3	62.8
溫度(混合 50%)後			18.2	18.4	18.9	20	20.5
溫度(研磨 50%)前	141ml		18.2	30.1	43.3	51.5	61
溫度(研磨 50%)後			18.2	18.2	18.2	19.1	19.7
溫度(混合 60%)前	129ml		18.2	30.4	43.9	52	62
溫度(混合 60%)後			18.2	18.5	19.2	20.2	21
溫度(研磨 60%)前	158ml		18.2	30	43.1	51.1	60.6
溫度(研磨 60%)後			18.2	18.4	18.9	19.7	20.8
溫度(混合 70%)前	133ml		18.2	30.1	43.5	51.5	61
溫度(混合 70%)後			18.2	18.8	20	20.7	22.1
溫度(研磨 70%)前	171ml		18.2	29.8	42.9	51	60.4
溫度(研磨 70%)後			18.2	18.6	19.3	20	21
溫度(混合 80%)前	139ml		18.2	29.7	43	50.8	60.1
溫度(混合 80%)後			18.2	19	20.4	22	23.2
溫度(研磨 80%)前	182ml		18.2	29.6	42.6	50.4	60
溫度(研磨 80%)後			18.2	19	20.3	20.8	21.4
溫度(混合 90%)前	143ml		18.2	29	42.1	49.6	59
溫度(混合 90%)後			18.2	19.7	21.2	22.9	24.5

溫度(研磨 90%)前	201ml	18.2	29.4	42.3	49.3	59.5
溫度(研磨 90%)後		18.2	19.2	20.9	21	21.7
溫度(混合 100%)前	150ml	18.2	28.5	41.4	48.7	58.1
溫度(混合 100%)後		18.2	20	22.1	23.9	25.6
溫度(研磨 100%)前	221ml	18.2	29.2	42	48.9	59
溫度(研磨 100%)後		18.2	19.4	21.3	21.5	22.4

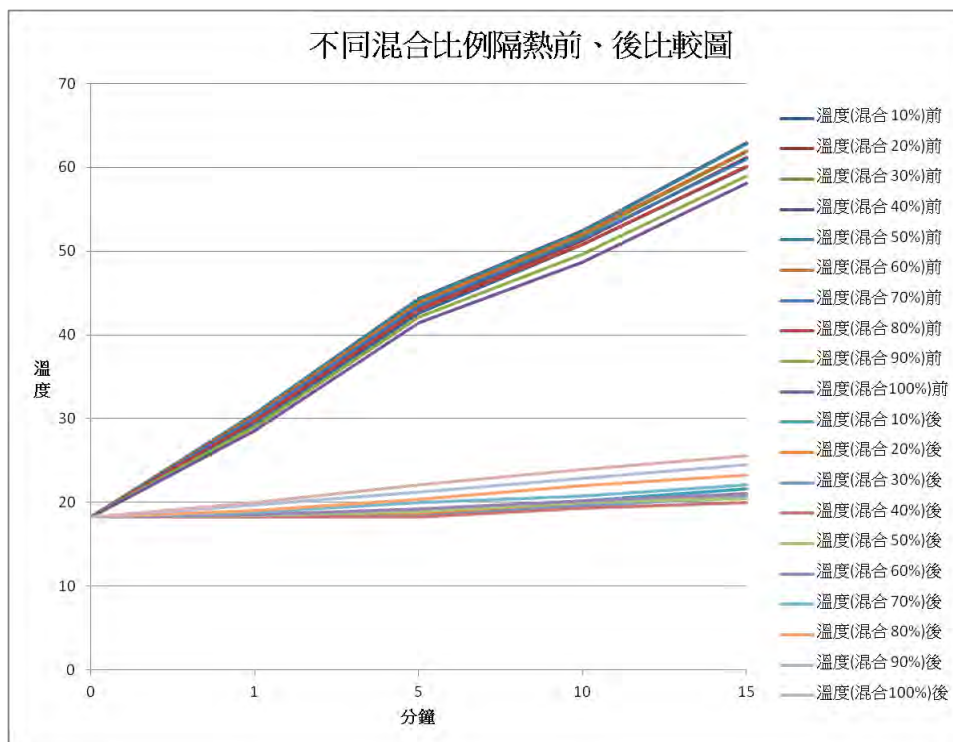


圖 4-3 不同混合比例隔熱前、後比較圖

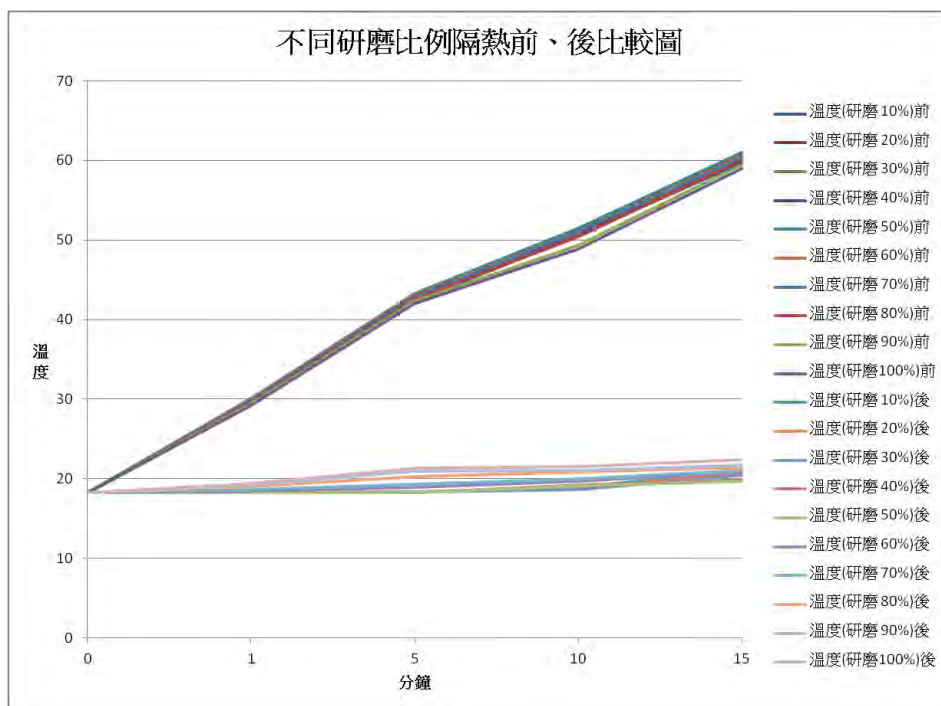


圖 4-4 不同研磨比例隔熱前、後比較圖

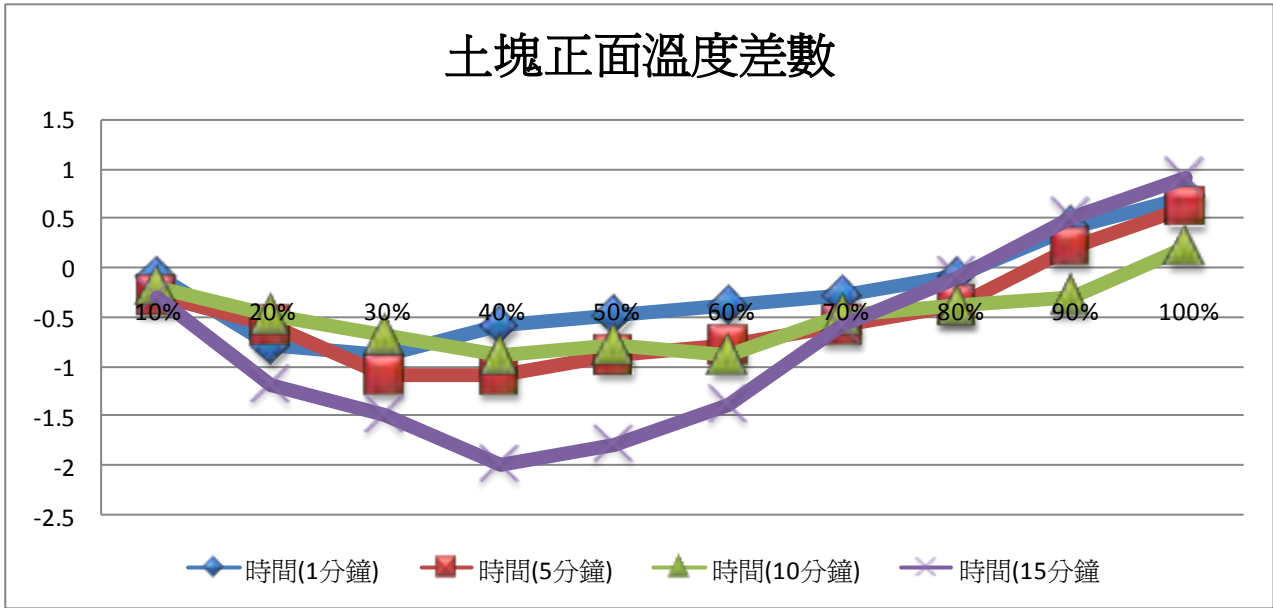


圖 4-5 混合、研磨添加物之土角磚含水飽和度各土塊正面之溫度差數圖

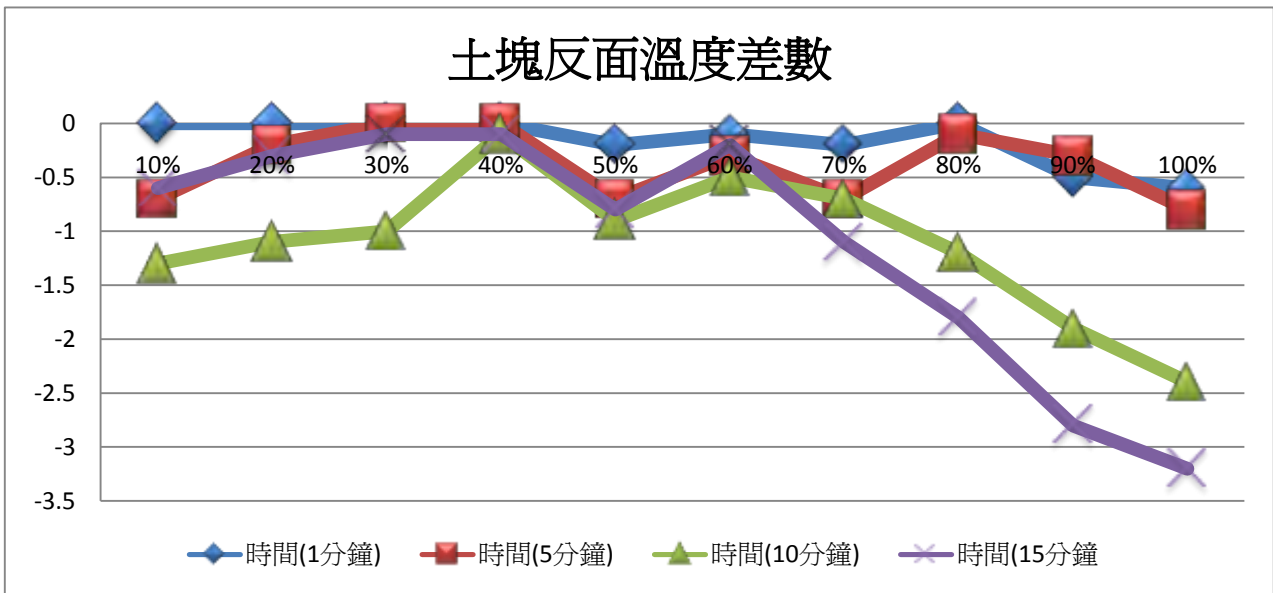


圖 4-6 混合、研磨添加物之土角磚含水飽和度各土塊反面之溫度差數圖

五、探究飽和與含研磨添加物的土角厝磚，烘乾後的體積、孔隙密度變化實驗。

【方法】採重量法方式進行，將實驗對象置入烤箱中，比對體積變化。

【說明】

(一) 將土壤調成 100g 飽和狀態，量測其體積；並將土壤依比例扣除將要加入研磨添加物的重量，使對照組與實驗組兩者重量相同，而體積不同。烘烤！

(二) 將土壤調成 100ml 飽和狀態，量測其重量；並將土壤依比例加入研磨添加物，使對照組與實驗組兩者體積相同，而重量不同。烘烤！







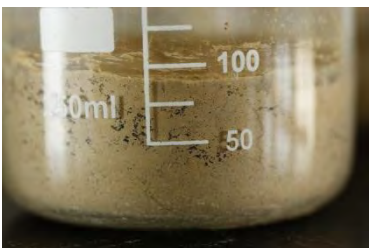


		
加入研磨稻草添加物	重量或體積相同飽和土塊	飽和土塊置入烤箱
		
調成 105°C 烘烤	烘乾的實驗土塊	烘乾土塊後有收縮現象
		
烘乾體積縮小	利用阿基米德原理	收取並量測溢出的水分

圖 5-1 體積、重量固定飽和、烘乾圖示

表 5-1 飽和狀態固定重量、體積平均數量表

	重量相同而體積不同		體積相同而重量不同	
	重量(g)	平均體積(cm ³)	體積(cm ³)	平均重量(g)
加入添加物	100	62	100	162
無添加物	100	60	100	186

表 5-2 烘乾狀態後重量、體積平均數量表

	重量相同而體積不同		體積相同而重量不同	
	重量(g)	平均體積(cm ³)	體積(cm ³)	平均重量(g)
加入添加物	66	44.2	91.8	95
無添加物	72	39.5	83.4	116

伍、研究結果

一、土角厝磚的組成成分分析，探討各地所製造的土角厝磚是否相同：

- (一) 十個採集點所做的外觀分析，本鄉鎮的土角厝來說，分為兩種樣式，土壤經由溶解、搗碎、沈澱、過濾後，土壤以極育土及氧化物土居多。
- (二) 添加物經由過濾發現，大多是以稻桿和些許的稻殼為主。
- (三) 土壤和稻桿的重量比例並沒有一定。
- (四) 以 5x5x5 立方公分切割的各地土角厝磚，飽和含水平均重量是 215.69 克，烘乾後平均重量是 164.9 克；含水飽和添加物平均重量 3.0 克，烘乾後平均重量 0.65 克。

二、探討土角磚的熱傳導效應：

- (一) 各地採集到的土角厝磚，在含水飽和狀態下溫度上升的曲線平緩。
- (二) 在 C 地採集到的土角厝磚，在含水飽和狀態下溫度上升曲線較陡峭。
- (三) 在 B 地採集到的土角厝磚，在含水飽和狀態下溫度上升呈現不規則狀。
- (四) 烘乾的土角厝磚相對於水飽和的土角厝磚，在溫度熱傳導效應曲線的差別度變化較大。

三、探究不同添加物比例的土角厝磚熱傳導效應實驗：

- (一) 以不研磨模仿夯土的方式，得出下圖：

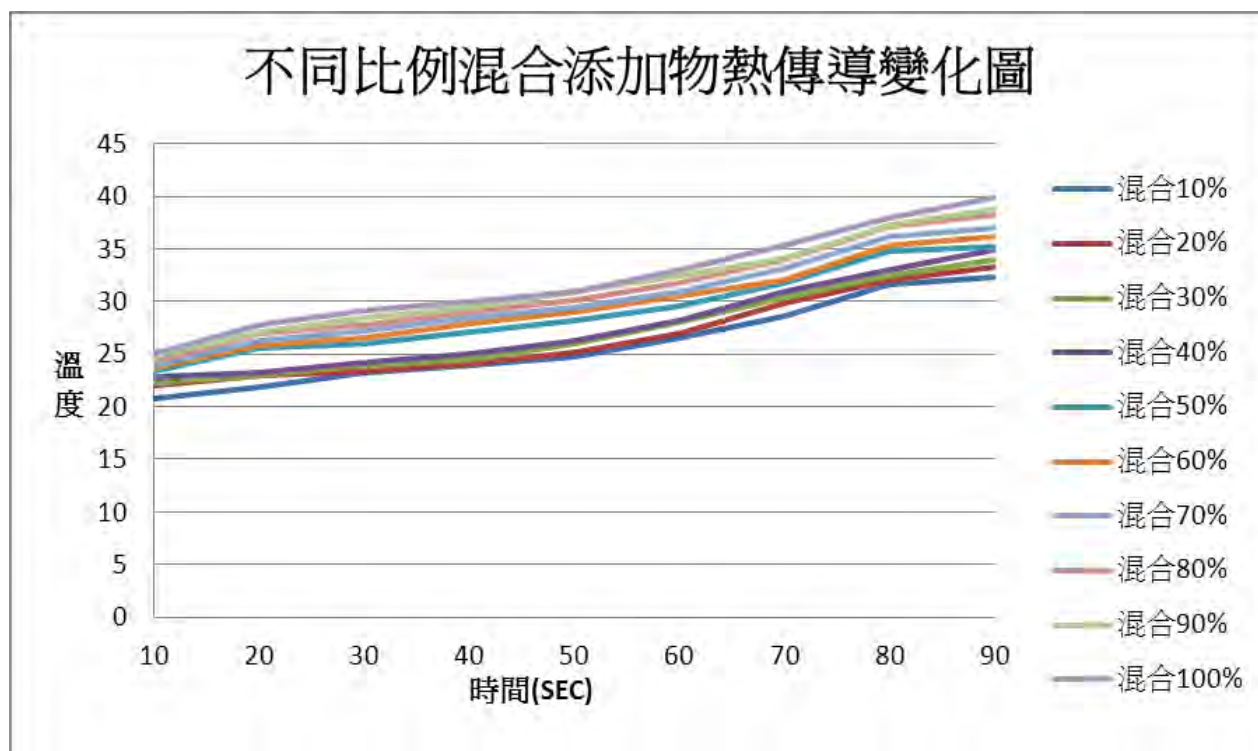


圖 5-1 不同比例混合添加物熱傳導變化圖

(二) 以研磨方式均勻混合再加以夯土的方式，得出下圖：

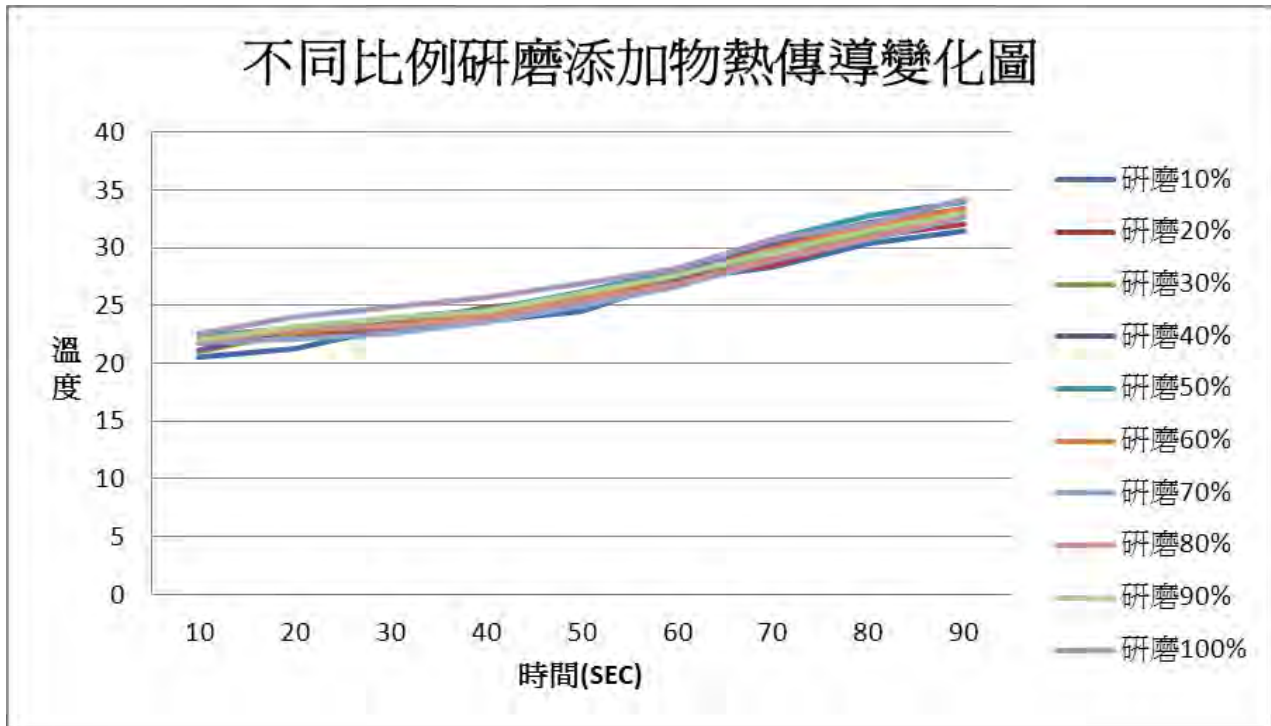


圖 5-2 不同比例研磨添加物熱傳導變化圖

四、探究不同比例添加物的土角厝磚含水飽和度實驗：

- (一) 添加混合物稻桿以 10% 的比例加重，含水量有遞增現象
- (二) 添加研磨後的粉末狀稻桿以 10% 的比例加重，含水量有遞增現象。
- (三) 同重量未研磨和研磨的稻桿比較，研磨的稻桿含水量大於未研磨的稻桿。
- (四) 混合加熱面的實驗平均溫度：正面 40% 溫度 41.68°C 最高、100% 溫度 38.98°C 最低；反面以 100% 溫度 21.96°C 最高、40% 溫度 18.78°C 最低。
- (五) 研磨加熱面的實驗平均溫度：正面 50% 溫度 40.82°C 最高、100% 溫度 39.46°C 最低；反面以 100% 溫度 20.56°C 最高、50% 溫度 18.68°C 最低，兩者的溫度差在 30% 開始往下掉，在接近 0.8 正負 0.1 後，溫度差異數又跟 1 分鐘時間數接近，此後 10、15 分鐘後急轉直下，研磨、混合溫差正反面差異變大。
- (六) 混合添加物土塊在正面（吹風機）的溫度遞增到 50% 後開始下降，由於熱傳導效應，土塊為平衡空氣中水氣，土塊中的水分會往吹風機方向移動，從數據可以看出混合物遞增到 50% 後，土塊反面溫度呈現遞減現象，但溫度差異非常小。
- (七) 混合土塊添加物大於 50% 後，正面溫度開始下降，但幅度不大。
- (八) 研磨添加物土塊在正面（吹風機）的溫度遞增到 60% 後開始下降，但下降的幅度不會很大。而反面的溫度在實驗前半部時，起始溫度一樣不變，但到了 60% 後才開始有改變。

五、探究飽和與含研磨添加物的土角厝磚，烘乾後的體積、孔隙密度變化實驗：

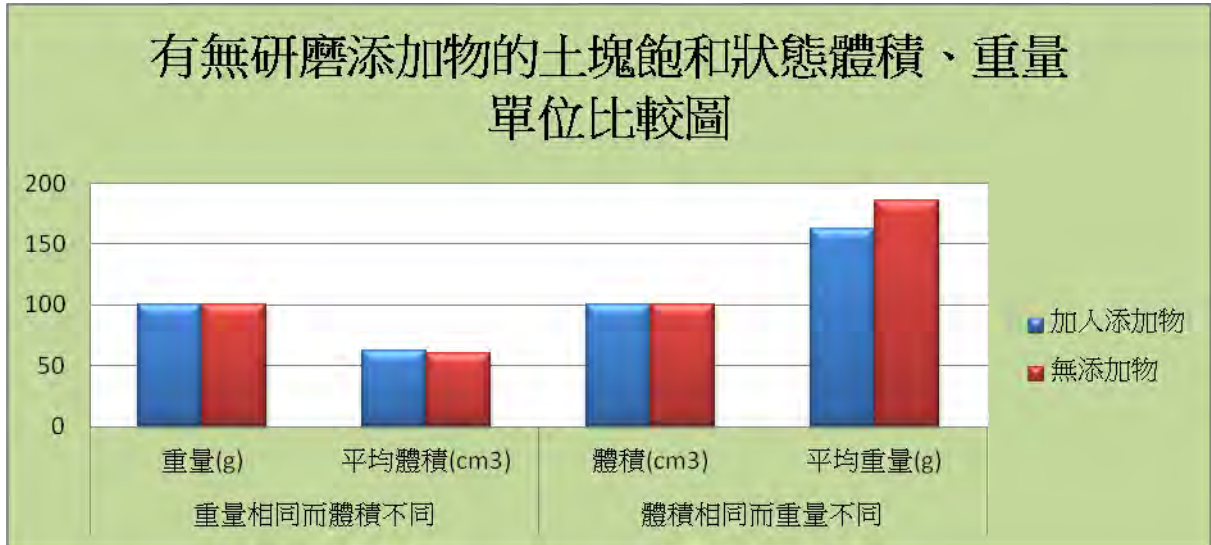


圖 5-3 有無研磨添加物的土塊飽和狀態體積、重量單位比較圖

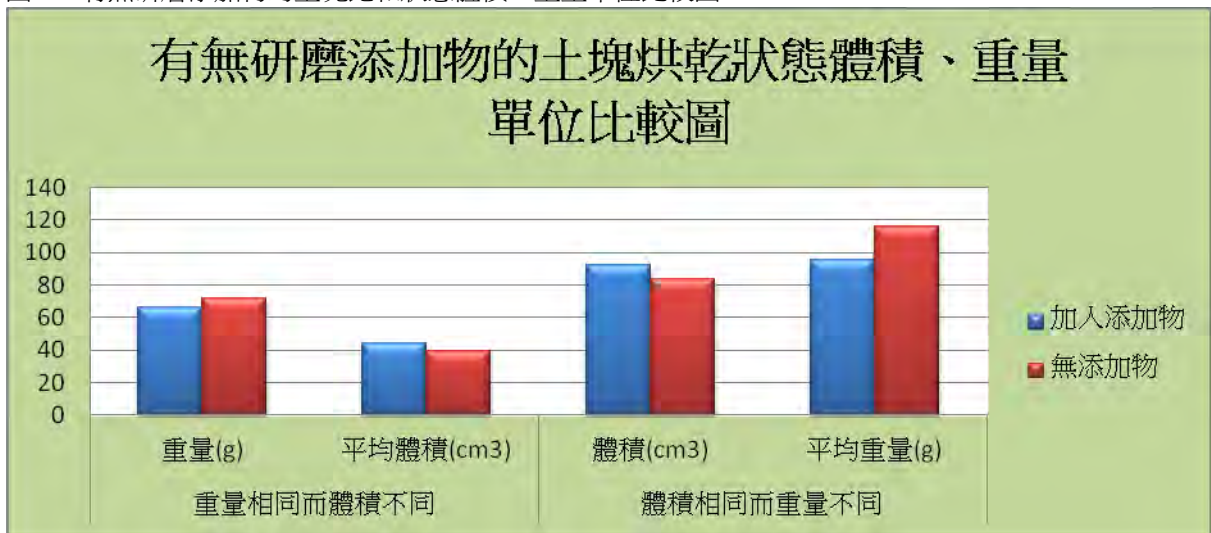


圖 5-4 有無研磨添加物的土塊烘乾狀態體積、重量單位比較圖

陸、討論

一、GPS 定位取土角厝磚在本鄉鎮十個地點，雖說盡量相對位置距離遠，但以縣市土壤分佈在高溫多雨的環境中，在 B 層中有一黏粒洗入聚積的層次為黏聚層²，它的特色是黏性較大且偏向紅棕色，所以判定為極育土，若顏色更加紅豔且顆粒較小，經顯微鏡觀察發現其中礦物多剩下高嶺石和石英，其矽酸鹽粘土礦物含量較少可以判定為氧化物土。

二、採取的實驗土角厝磚均屬於不飽和土，在於土塊內部產生負的孔隙水壓，而呈現不飽和化。

三、當水分帶有負壓時，可以考量吸力汞和虹吸現象，土中的孔隙水和樹木中的導管一樣，都是由表面張力和凝聚力附著在孔隙中，土角厝磚為使水分蒸發或減少，房屋內的蒸氣壓必須降至水分的飽和蒸氣壓以下，才會使室內溫度下降。

四、在自製土角厝磚考慮土塊的吸力和土壤的黏稠度，我們利用培養皿的大小固定，將

²陳尊賢、許正一著，〈土壤分類〉《台灣的土壤》，P67

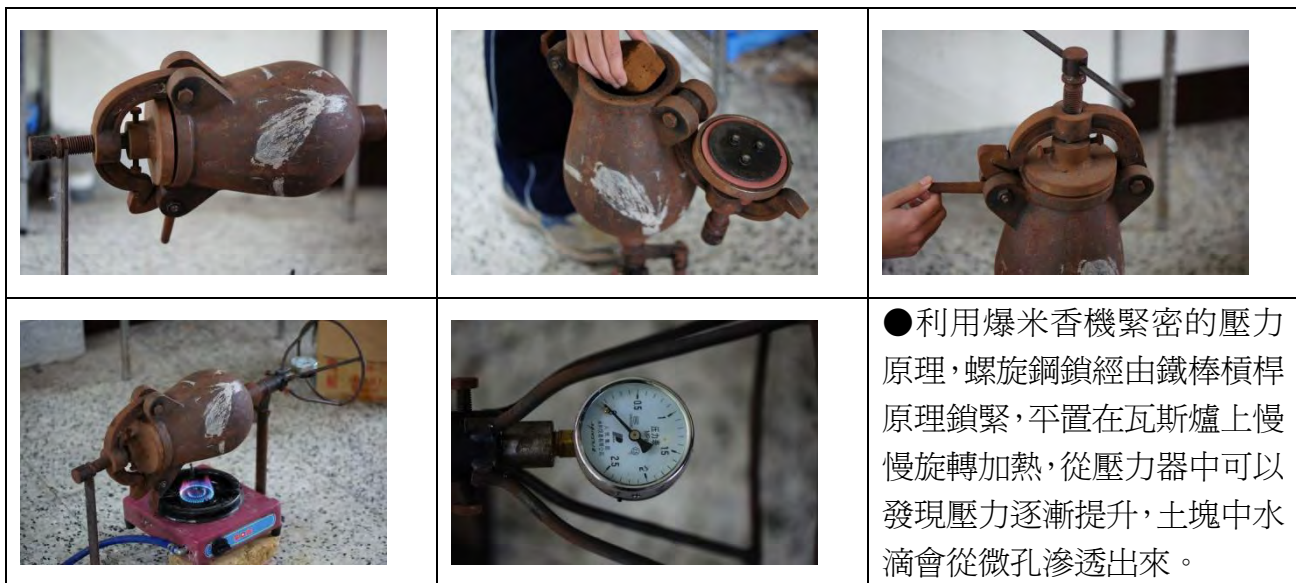
體積變因減至最小，把不同比例的極育土和水放置在培養皿中，放置烤箱烘烤，可以得到最大的塑性限界。

五、飽和度越小，透氣性就越大，自製土角厝磚，在於土粒中的孔隙大小，當土角厝磚在相對濕度大時，經由毛細現象會呈現濕潤，所以在夯土過程中為將孔隙縮小，必須不停地平敲土塊，讓空氣伴隨水分流出，但土塊此時為非飽和狀態，也非純乾燥狀態，如呈純乾燥狀態好比小孩玩沙坑的沙如何也無法挖出山洞，如有微微濕潤就可以築成，當置入烤米香機烘烤水分消失，土粒以互相抗力支撐而成型。

六、不同添加物（稻草）比例以 10%~100% 逐量增加的方式，在同一時間下採用烤箱燒烤，對照燒烤前後的重量，以瞭解土角厝磚稻草條狀與均勻粉末狀之吸水性的不同大小現象。

七、前項粗略得知稻草不管在粉末狀或條狀都有在不飽和狀態下往飽和的現象增進，我們的目標是賦予「老物新生命」，既然土角厝磚有冬暖夏涼的特性，代表它是熱的不良導體，在熱傳導實驗中，非飽和和飽和的土角厝磚都有一定的誤差，我們研判是在夯土過程中，土壤中的水無法精準的控制。理論上我們知道孔隙水壓與大氣壓相等，表示在大氣壓與孔隙壓是互相流動，意味在孔隙壓中的水分可以在蒸散或吸收空氣中的水氣，所以耆老才會說老土角厝住得舒服。利用土壤三相理論公式，導入土角厝磚的製作，參照室內吸力的眾多測定方法³，決定採用加壓法，我們借用學校鄉土教材機器的「爆米香機」，利用它封閉有壓力計，且可以逸散出蒸氣，此時吸力是 $u_a - u_w = u_a$ ，這樣可以很精準的做出切割未含水的土角厝磚，並由研究六可以由密度、重量、體積三位互換，經由烘乾後的土塊重量、體積改變計算出孔隙的體積大小。

³陳信雄，〈不飽和土的調查與試驗，吸力測定方法〉《應用土壤與環境科學》p27~30



●利用爆米香機緊密的壓力原理，螺旋鋼鎖經由鐵棒槓原理鎖緊，平置在瓦斯爐上慢慢旋轉加熱，從壓力器中可以發現壓力逐漸提升，土塊中水滴會從微孔滲透出來。

圖 6-1 5x5x5 立方公分土塊 $u_a - u_w = u_a$ 製作法圖示

八、飽和狀態的熱傳導實驗，吹風機前正面蒸發的水分加速，在土角厝磚內的水分，經由研磨物均勻、混合內的添加物或土塊內的水分傳遞到前面。往前的毛細作用平衡力漸漸減退，我們可以從背面溫度開始上升佐證，所以後面的溫度變化不大。

九、研究實驗四中的自製夯土的目的，是想找出最佳的的孔隙比、飽和度、含水比。當土角厝磚完全飽和狀態（即所有孔隙體積被水填滿），土角厝磚之全濕單位重 = 飽和單位重。

十、研究實驗六中，發現以重量為條件，其飽和狀態、烘乾狀態的有無加入添加物的密度比分別為：0.96、0.81；而以體積為條件，其飽和狀態、烘乾狀態的有無加入添加物的密度比分別為：0.87、0.74，可以推出添加物的吸水效果，在烘乾狀態下會逐步逸散出水分而有熱膨脹現象，造成密度下降。



圖 6-2 飽和、烘乾土塊密度比

當土塊處於飽和狀態，可以視土壤中的空氣為 0，從飽和到烘乾的過程中，土壤粒子受熱膨脹，由孔隙比公式 $e = \frac{V - V_s}{V_s}$ 、含水比(%)公式 $W = \frac{W_w}{W_s} \times 100$ 可得⁴：



圖 6-3 孔隙比

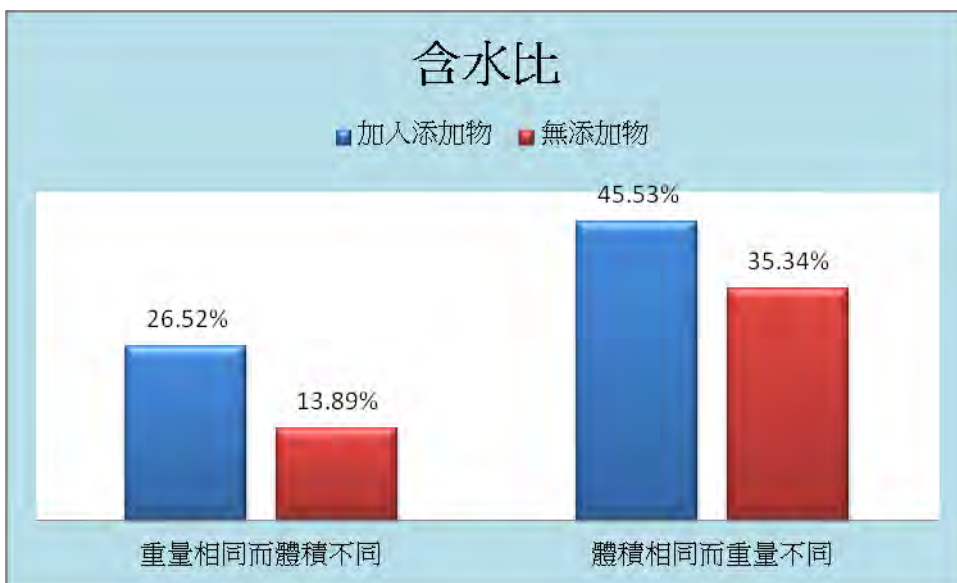


圖 6-4 含水比

⁴ 陳信雄，〈作用於地盤內的自重應力〉《應用土壤與環境科學》p123

柒、結論：

一、各地的土角厝磚大小不一，內含物以稻草為主，其中雜有些許的稻殼，研判是打穀未去除的剩餘物，各地的土角厝塊的土壤在烘乾後的土壤重量減少比例介於 20%~30%之間、稻草添加物烘乾後的減少重量比例介於 62%~88%之間，但並非以體積加大而增加，表示先民是以隨機經驗、大約的方式加入稻草添加物。

二、各地的土角厝磚在飽和狀態和乾燥狀態的數值，有一定程度的誤差，由溶解過程中可以得知是添加物排列不均勻所致。

三、不同添加物稻草 10%~100% 混合與研磨方式的熱傳導實驗得知：均勻的研磨方式比混合稻草的方式較呈現規律性數據，且研磨自製的土角厝磚比混合的土角厝磚有較不良的熱傳導性。

四、傳統隨意的混合稻草的方式，還是有不良的熱傳導效應，但對室內的溫度、濕度平衡作用不是很一致，但我們自製的土角厝磚可以很均勻的產生平衡效果，對戶外的相對濕度而言，藉由土塊內均勻的稻草研磨物吸附水分，使毛細作用產生平衡作用效果，並延長室內濕度、溫度的改變，達到舒適的效果。

五、125 立方公分的土角厝塊內含 3 克的稻草添加物是較趨穩的平均值，若要加大土角厝磚的製作可以依此比例加大，耆老說的：「大ㄟ三曼（台語）！」是大約數，實驗所得可以取 70%的研磨法添加物製作，土角磚厝對戶外相對濕度要達到平衡會藉由稻草附著力的水揮發到空氣中，反之會慢慢吸收，可以達到戶內外的平衡，舒適的原因在於土角厝磚的添加物減緩水份平衡的時間性。

七、不管以重量或體積考量，有含添加物的含水比皆大於未含添加物；土角厝磚水分蒸散後的土壤收縮，有含添加物的土角厝磚是小於未含添加物的土角厝磚，所以在收縮的過程中添加物產生抵抗力支撐土粒子，但在吸取水分的時候又可以讓較多的水分吸附在添加物的纖維微細的導管之中。

八、衍生應用：市面尚有一種產品矽（硅）藻土塗布在牆面具有質輕、多孔性、吸附強，號稱可以除濕調節室內溫度，但售價昂貴，其實我們可以利用老祖宗的智慧，將研究出的最佳比例塗抹在室內的牆上也一樣可以達到相同的效果。

捌、參考資料

- 陳尊賢、許正一著《台灣的土壤》遠足文化
- 單信瑜 《土壤材料與土壤取樣 鑿井公會鑽探訓練班講義》
- 陳文山 《岩石入門》遠流
- 陳培源《台灣的地質》科技圖書
- 李方胤、陳士賢 《土壤分析實驗手冊》新文京
- 陳信雄 《應用土壤環境科學》科技圖書
- 郭來松、徐瑞祥《土壤力學實驗》全華科技
- 王康 《非飽和土壤水流運動及溶質遷移》科學出版社
- 林少雯《蓋土角厝》源雜誌 p84 p85
- 高宜凡《蓋土角厝 弱勢族群請命架站搶救「老孀婆的土角厝」》天下 60 P176-177
- 曾阿柱《土角堀》臺灣月刊 13 頁 5

【評語】 030503

本研究分析土角厝泥磚材質的組成。了解在粘土中加入稻草添加物後對泥磚之熱傳導、吸水效果、與整體材質密度的影響。

優點：本作品學生動手做的比例頗高。

缺點：本作品比較不像是地球科學之作品，倒比較偏向不同成分之

「土角厝磚」之比熱及對熱之傳導能力之物理特性之探討。

建議改進事項：不同材料（泥及稻草）本身比熱的分析以及合成後

比熱特性的變化。