

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 土木科

佳作

091205

自然空調—地質條件對室內溫度影響之探討

學校名稱：國立彰化師範大學附屬高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 林奇緯	張盛進
職二 陳宜廷	翁麗敏
職二 李權承	

關鍵詞：地熱、循環、散熱

表 0-1 散熱管編號

量測位置 管號(地質)	模擬高度 180cm 人類 活動區溫度	底層溫度	進風口溫度	出風口溫度
無散熱管	P-N	B-N	I-N	O-N
U 型單管(水)	P -U(W)	B-U(W)	I-U(W)	O-U(W)
U 型三管(水)	P -3U(W)	B-3U(W)	I-3U(W)	O-3U(W)
L 型單管(水)	P -L(W)	B-L(W)	I-L(W)	O-L(W)
L 型三管(水)	P -3L(W)	B-3L(W)	I-3L(W)	O-3L(W)
U 型單管(水+砂)	P -U(WG)	B-U(WG)	I-U(WG)	O-U(WG)
U 型三管(水+砂)	P -3U(WG)	B-3U(WG)	I-3U(WG)	O-3U(WG)
L 型單管(水+砂)	P -L(WG)	B-L(WG)	I-L(WG)	O-L(WG)
L 型三管(水+砂)	P -3L(WG)	B-3L(WG)	I-3L(WG)	O-3L(WG)
U 型單管(砂)	P -U(G)	B-U(G)	I-U(G)	O-U(G)
U 型三管(砂)	P -3U(G)	B-3U(G)	I-3U(G)	O-3U(G)
L 型單管(砂)	P -L(G)	B-L(G)	I-L(G)	O-L(G)
L 型三管(砂)	P -3L(G)	B-3L(G)	I-3L(G)	O-3L(G)

註：中英文對照表

英文單字(代號)	中文翻譯
People	人們
Bottom	底部
Air Inlet	進氣口
Air Outlet	排氣口
Water	水
Water + Gravel	水+砂
Gravel	砂
NO	沒有(循環)
U	U 型管
L	L 型管

摘要

本實驗以研究運用地溫能降低空調消耗之探討為主軸，設定散熱管型、室內熱源及地質條件做為變因，為了要使模型和現實建築物相近，設計模型牆厚為 12mm；實際牆厚為 12cm，即以 1：10 縮小比例的建築物模型進行實驗，將散熱管置放於不同地質條件(水質層、水+砂質層及砂質層)之實驗槽中，再以燈泡(25W、100W)作為模擬室內人體或機器的發熱源，利用風扇將室內空氣導入散熱管，經過循環後再進入實驗箱，探討對於室內溫度減緩升溫情形及進出風口降溫效果。

實驗中，以無散熱管循環作為對照組，其餘以地質分組，將試驗數據整理、分析及探討後，獲得以下之結論：

1. 散熱管型：以銅管為例，散熱效果為 $3L > 3U > U > L$ 。
2. 地質條件：散熱效果為水+砂質層(WG)>砂質層(G)>水質層(W)。
3. 發熱熱源：燈泡 25W 乘上四倍使之與燈泡 100W 釋放能量相等，其散熱效能為 $100W > 25W$ 。
4. 各材質管型：散熱效果為鐵管>PVC 管 $\geq$ 銅管，且 U 型管>L 型管。

壹、研究動機

近年來隨著地球氣候條件不斷變遷，極端氣候屢創新高，在能源危機與環保意識高漲，世界各國早已開始爭相研發及使用綠色能源設備。台灣目前大部分以火力發電為主(根據經濟部能源局 2010 能源統計月報，台灣火力發電(包括煤炭、石油、天然氣、液化石油氣)能源用量在 2010 年 1-8 月，佔 91.24%)，排碳量高(如表 1-1)，溫室效應也隨之加劇，目前日本冷凍空調設備發展趨勢正漸漸地朝向自然冷媒或替代能源的開發，但依舊無法使空調能在低耗電的情況下運作，如何有效且環保的降低室內熱環境成為重要的課題。

日本大地震及海嘯影響福島核電廠無法正常為反應爐爐心降溫，導致爆炸等輻射外洩的危機，使得原本依賴核能發電的歐美各國及亞洲，重新思考核能發電的危機，也因為福島災變，迫使德國總理梅克爾宣布境內七座老舊核電廠暫停運轉三個月，並且聲稱核能電廠只是個過渡技術，再生能源才是目標。

這學期在學校接觸到土木營建新興科技的課程 12 單元中，我們探討的主題是「再生能源」單元，搜尋地熱能源資料時，發覺中國上海世博軸以及日本等地皆有運用地熱使建築物達到散熱或暖氣之取熱的案例，英國王室也提出要在白金漢宮下鑿洞攝取地熱為室內提供暖氣，國內在台北國際花博中，未來館地冷系統利用地下 3 公尺土壤溫度比空氣溫度低的溫差，來做為降溫手法，引起我們建立了對於地熱能源的求知慾，想進一步探討如何在運用地熱降低空調耗能，為建築物室內降低溫度保持舒適環境。

表 1-1 主要能源生命週期的二氧化碳產量

發電形式	g/度 CO2 產量			
	日本	瑞典	芬蘭	平均
煤	975	980	894	950
汽電共生	608	1,170	---	889
天然氣複循環	519	450	472	480
太陽能光電	53	50	95	66
風能	29	5.5	14	16
核能	22	6	10-26	15
水電	11	3	---	7

貳、研究目的：

有鑑於地熱空調雖在市面上運用的不少，但資料相當少，其中國內外多以報導為主，未發現有地熱空調之基本實驗分析，為了瞭解地熱使用在建物散熱的效能，散熱管於不同形狀、不同表面積、不同材質，且在不同瓦數的燈泡及地質中對室內溫度的影響，藉由試驗結果的分析，來探討散熱管於何種環境下，對室內環境的影響最能獲得降溫的效果，進而達到節能減碳之目的，作為改善室內空調耗電及綠建築趨勢的參考依據。

- 一、散熱銅管：了解散熱管在不同形狀(U 型及 L 型)、不同表面積(U 型銅單管約為 480cm^2 、L 型銅單管約為 775cm^2 、U 型銅三管約為 1402.5cm^2 、L 型銅三管約為 2290cm^2) 的散熱效率比。
- 二、地質條件：了解試驗槽中不同之地質條件(水質層、水+砂層、砂質層)散熱效率比及地質升溫情形。
- 三、室內熱源：了解室內發熱源--燈泡(25W、100W)在各管型搭配地質條件中的升溫狀況。
- 四、不同材質之管型：了解不同材質(銅管、鐵管、PVC 管)的散熱效率比。

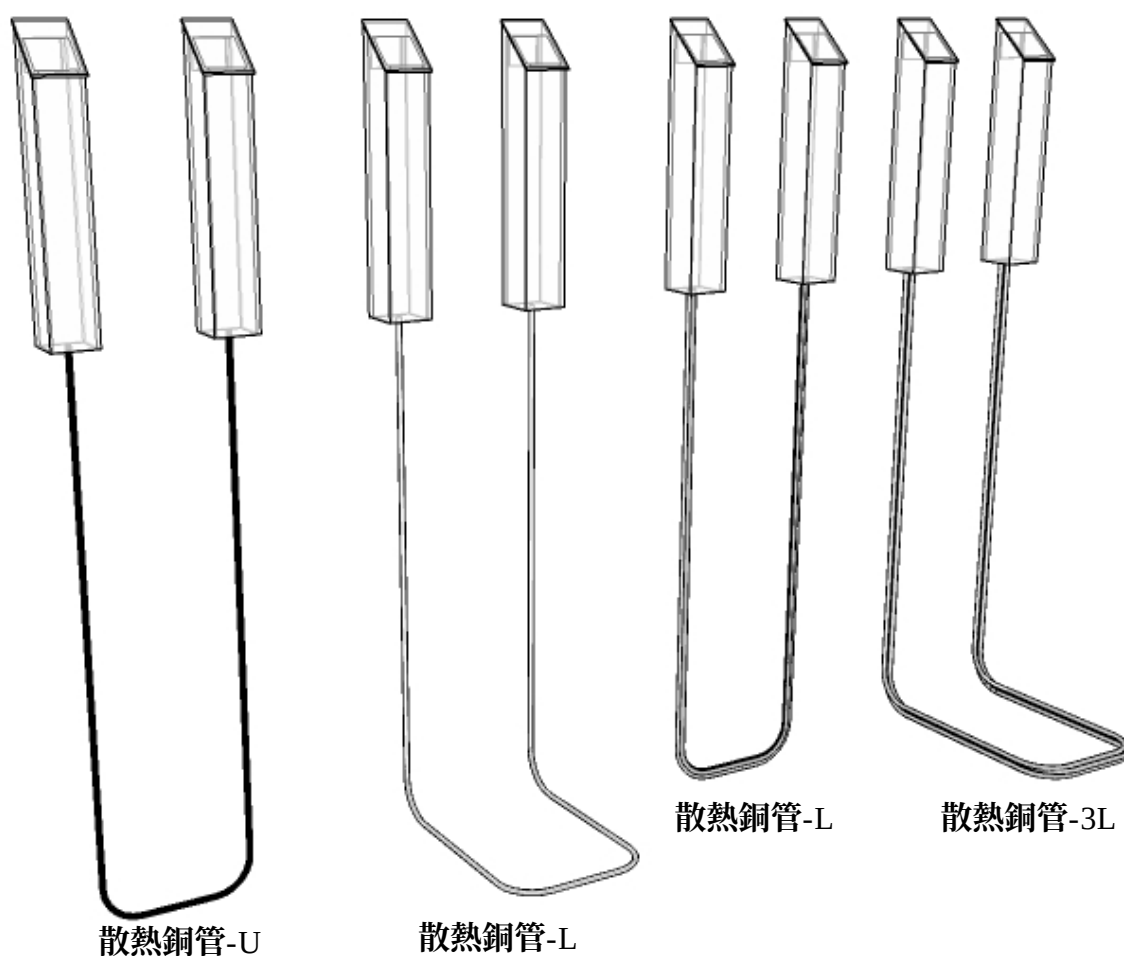


圖 2-1 散熱銅管示意圖

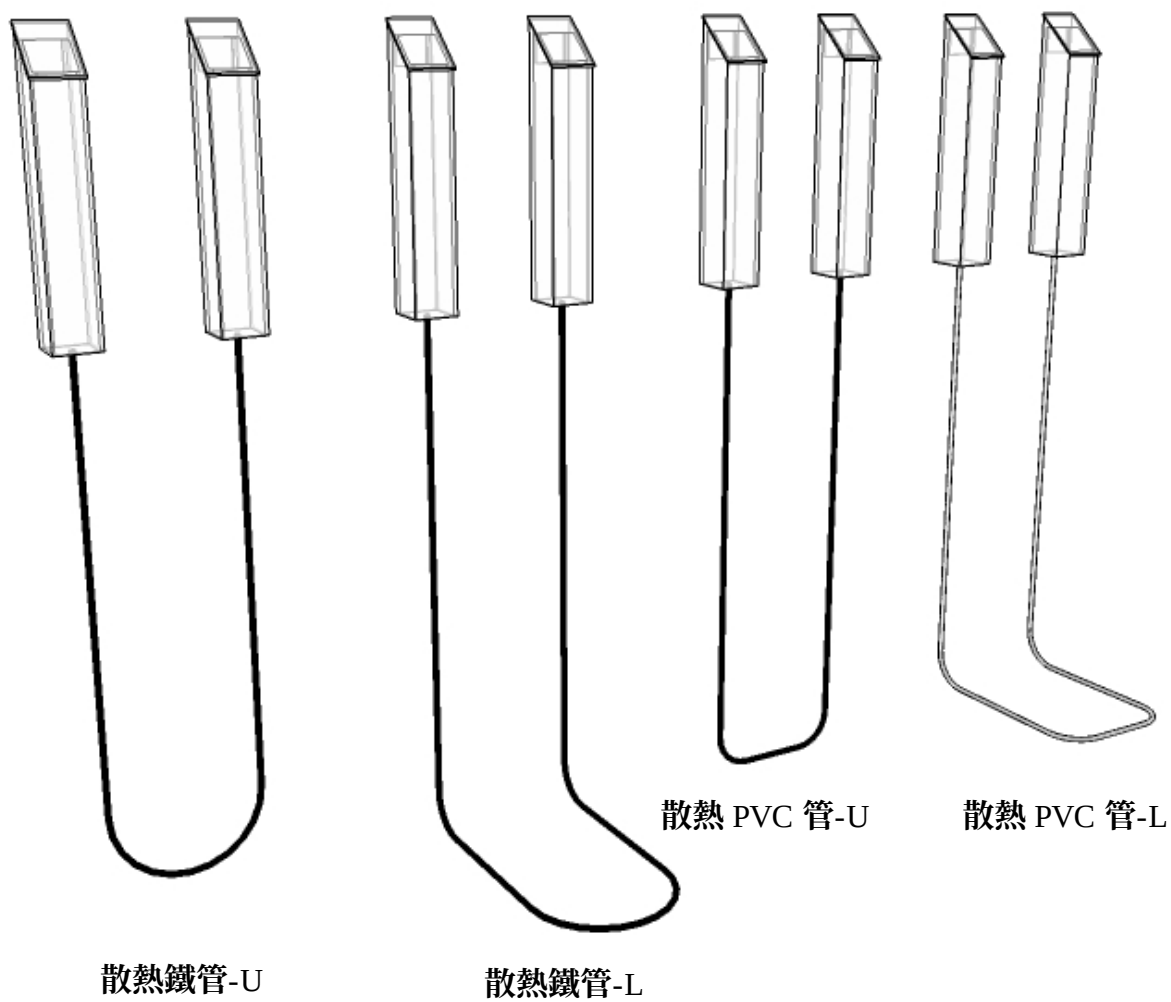


圖 2-2 散熱銅管示意圖

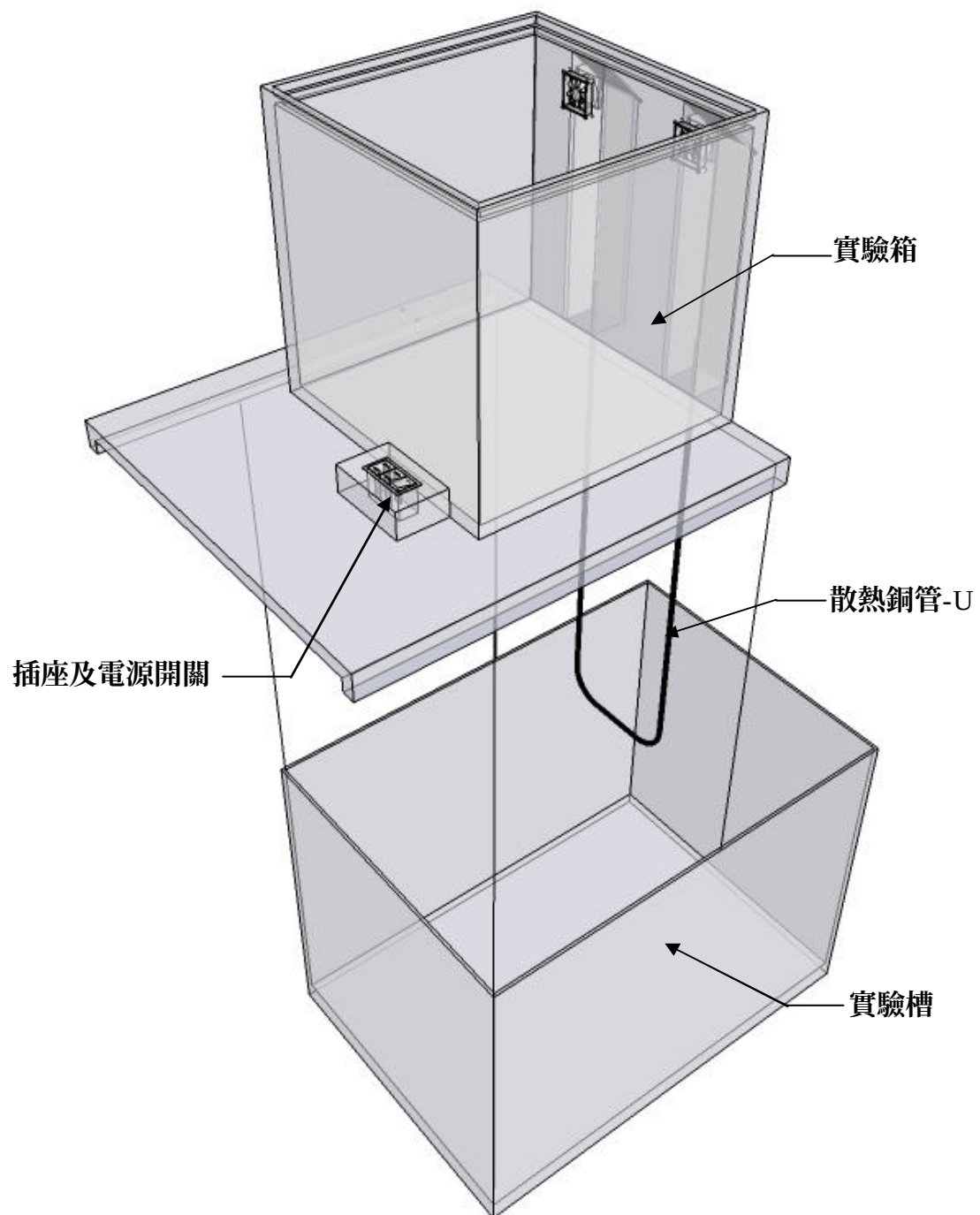


圖 2-2 實驗模型示意圖

參、研究設備及器材

- 一、使用機具：鐵捲尺、燈泡、熱熔膠(條)、直尺、直角尺、美工刀、尖嘴鉗、割管器、延長線、鐵夾、破壞剪、溫度計、12V 變壓器、彎管器。
(表 3-1)
- 二、使用材料：瓦楞紙、厚紙板、氣密條、電線、銅管、保麗龍膠、木條、彈性束帶、插座及開關、集線器、砂。(表 3-2)

表 3-1 本研究使用機具表

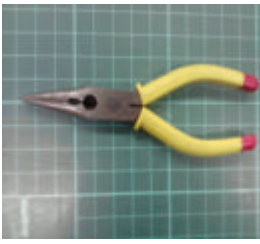
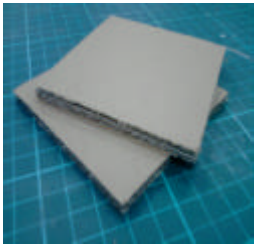
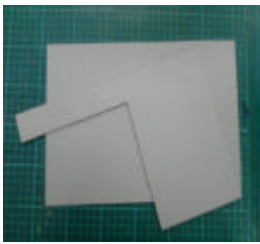
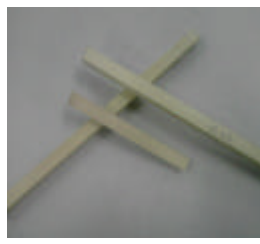
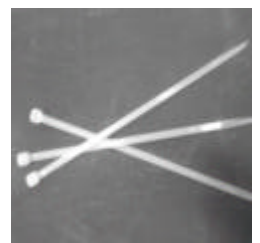
			
圖 3-1.鐵捲尺	圖 3-2.燈泡	圖 3-3.熱熔膠(條)	圖 3-4.直尺及直角尺
			
圖 3-5.美工刀	圖 3-6.尖嘴鉗	圖 3-7.割管器	圖 3-8.延長線
			
圖 3-9.彎管器	圖 3-10.破壞剪	圖 3-11.溫度計	圖 3-12.12V 變壓器

表 3-2 本研究使用材料表

			
圖 3-13.瓦楞紙	圖 3-14.厚紙板	圖 3-15.氣密條	圖 3-16.電線
			
圖 3-17.銅管	圖 3-18.保麗龍膠	圖 3-19.電線插頭	圖 3-20.木條
			
圖 3-21.彈性束帶	圖 3-22.插座及開關	圖 3-23.集線器	圖 3-24.砂
			
圖 3-25.鐵管	圖 3-26.PVC 管		

肆、研究過程及方法

一、研究流程圖

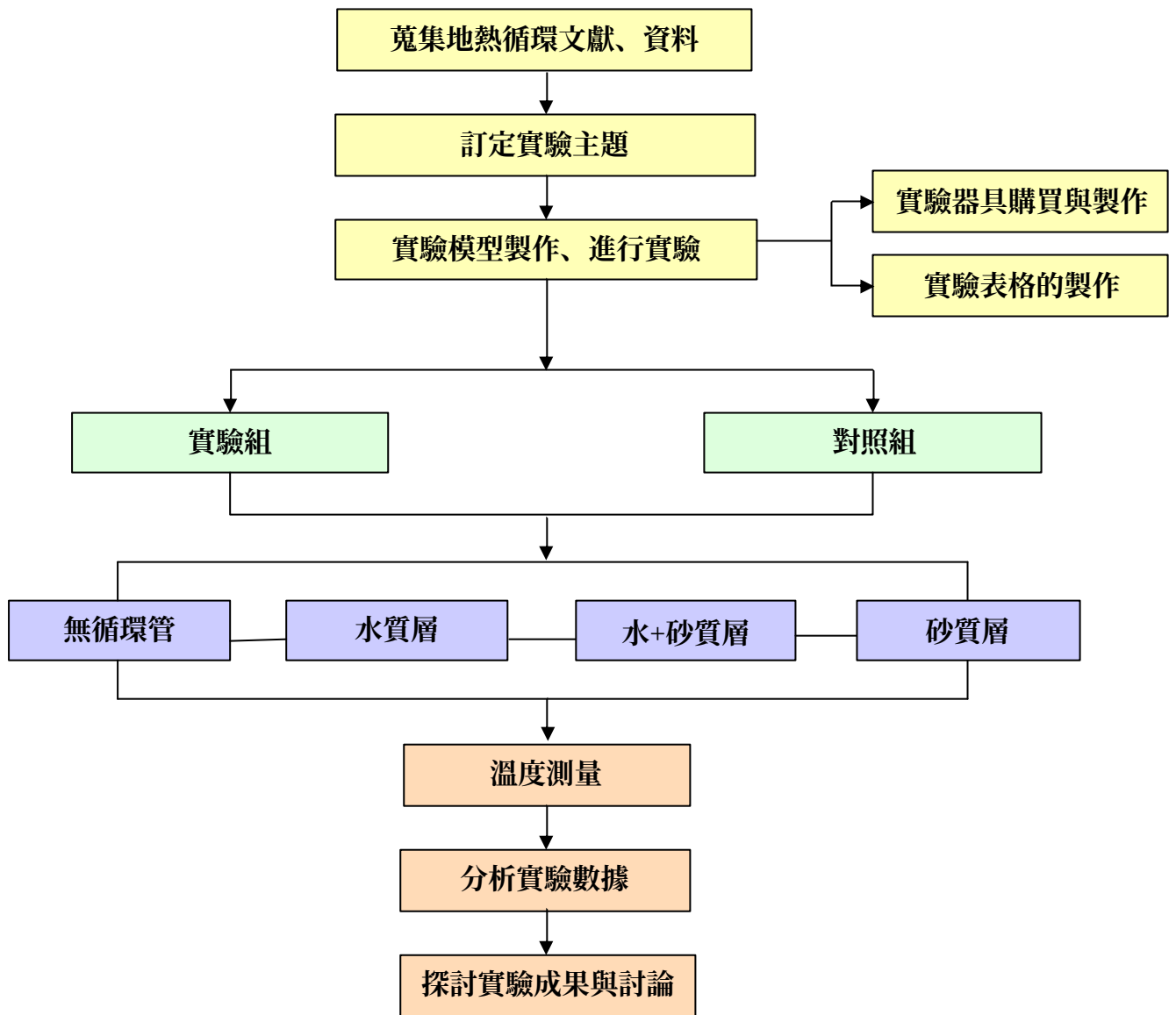


圖 4-1 研究流程圖

二、研究方法：

本實驗主要是探討地溫空調在不同散熱管、不同發熱源、不同地質的散熱情況，我們製作了一組無散熱管循環氣室作為對照組、八組散熱管氣室(U 型銅單管、L 型銅單管、U 型銅三管、L 型銅三管、U 型鐵單管、L 型鐵單管、U 型 PVC 單管、L 型 PVC 單管)，以熱傳導佳的銅管(U 型單管、L 型單管、U 型三管、L 型三管)作為主要實驗散熱管，另外選取以上銅管(U 型單管、L 型單管)，再加入鐵管(U 型單管、L 型單管)及 PVC 塑膠管(U 型單管、L 型單管)共六種管型，探討不同材質之散熱效率，並且分別在室內發熱源(25W、100W)下、依照地質條件(水質層、水砂混合層、砂質層)分組，作為實驗組。

將完成之氣室裝上實驗箱，並把氣室連通之散熱管埋入實驗槽所設定之地質中，裝上燈泡當作室內發熱源，放置溫度計(實驗箱中，模擬 180cm 溫度、底層溫度、進風口溫度、出風口溫度以及實驗槽中，三支溫度計)，在實驗箱上方蓋上壓克力蓋板當作觀測視窗，並用彈性束帶扣緊壓克力蓋板以提高實驗箱之氣密性。試驗模組(對照組+實驗組)共 50 組，實驗中，採用每分鐘紀錄實驗箱之溫度，每五分鐘記錄實驗槽溫度，每組實驗總長為六十分鐘。

十四種試驗內容如下：

- (一)、無循環
- (二)、U 型銅單管
- (三)、L 型銅單管
- (四)、U 型銅三管
- (五)、L 型銅三管
- (六)、U 型鐵單管
- (七)、L 型鐵單管
- (八)、U 型 PVC 單管
- (九)、L 型 PVC 單管
- (十)、25W 燈泡
- (十一)、100W 燈泡
- (十二)、水質層
- (十三)、水+砂層
- (十四)、砂質層

三、模型製作流程：



圖 4-1 將底板批土整平

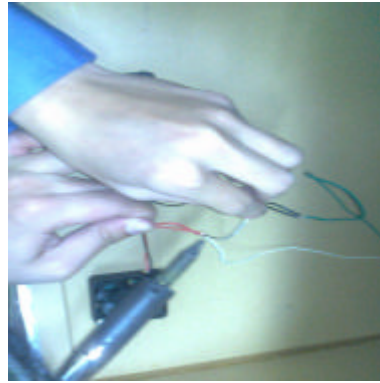


圖 4-5 將電線焊接風扇



圖 4-2 裁切各式所需模型瓦楞紙板



圖 4-6 模型封孔，增加氣密性



圖 4-3 組裝紙板



圖 4-7 模型主體大致組裝完成

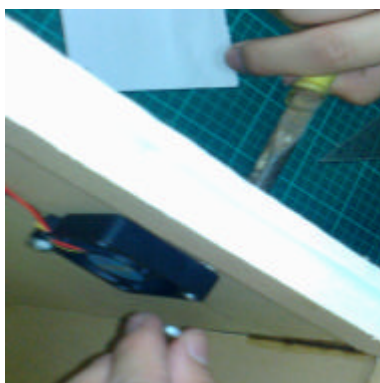


圖 4-4 將風扇鎖上



圖 4-8 電燈開關及變壓器電源配置



圖 4-9 裝上燈座



圖 4-13 黏上氣密條

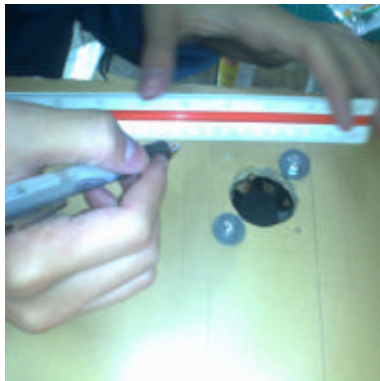


圖 4-10 配置氣室位置

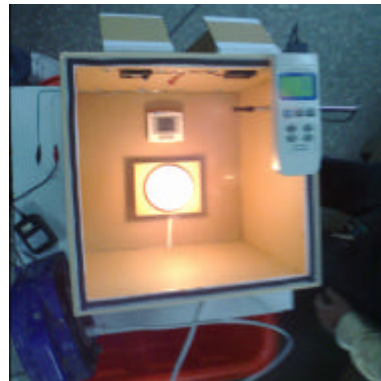


圖 4-14 模型完成並測試



圖 4-11 組裝氣室並接上銅管



圖 4-12 完成氣室

四、實驗流程：

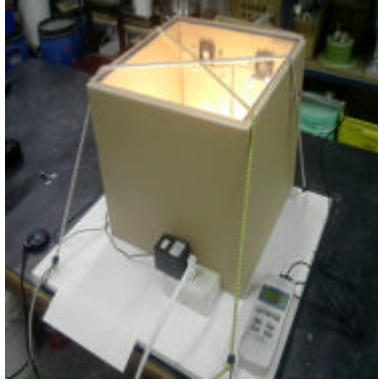


圖 4-1 基本對照組實驗開始

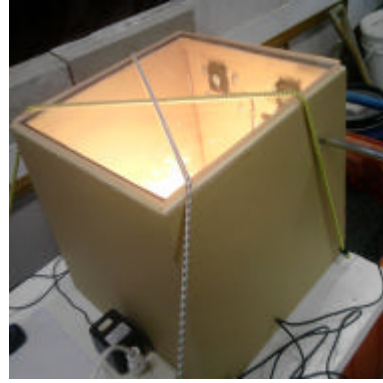


圖 4-5 開始實驗組(二)

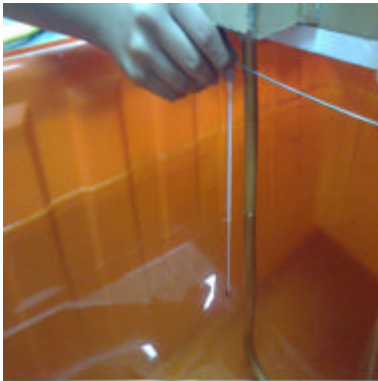


圖 4-2 水槽注水，配置溫度計，準備實驗組(一)



圖 4-6 實驗槽注砂，配置溫度計，準備實驗組(三)

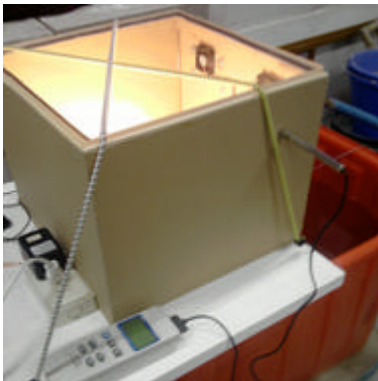


圖 4-3 開始實驗組(一)



圖 4-7 開始實驗組(三)



圖 4-4 水槽注水和砂，配置溫度計，準備實驗組(二)

伍、研究結果：

(註：以下所有列表溫度皆以扣初起始溫度，單位：℃)

一、實驗數值讀數時間確定：

表 5-1 100W 基本實驗-無循環管(對照組)

管號 \ 時間	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
B-N 底層溫度	0	5.37	13.35	18.16	21.6	24.1	25.85	27.2	28.37	29.15	29.84	30.45	30.94
O-N 出風口溫度	0	10.19	18	21.37	23.49	25.26	26.38	27.21	27.93	28.49	28.99	29.47	29.75

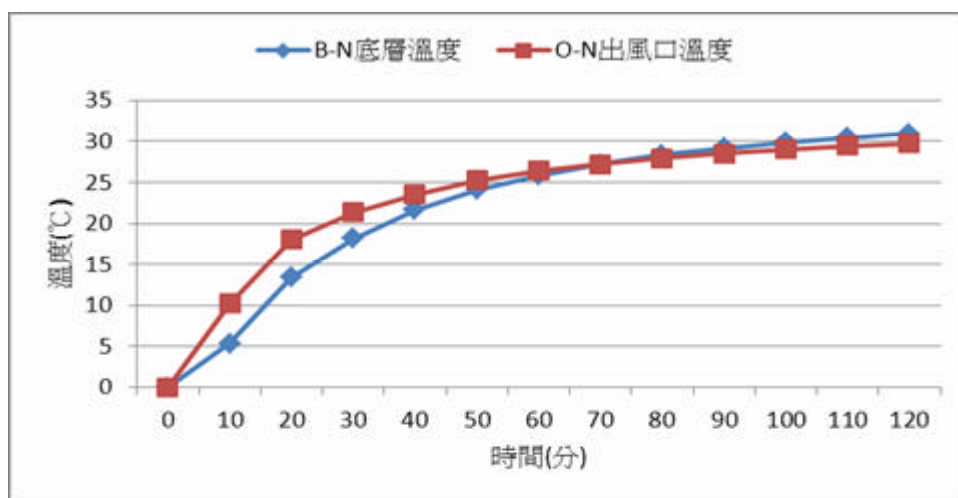


圖 5-1 100W 基本實驗-無循環管(對照組)

由表 5-1 及圖 5-1 可知，實驗約 60 分鐘後，試驗箱溫度已達平衡；實驗超過 60 分鐘，底層溫度高於出風口溫度(高層)已不符合熱對流性質。且由表 5-1、圖 5-1、表 5-2、圖 5-2 可知，實驗約 60 分鐘後，曲線略成線性比例，故本研究以 60 分鐘為實驗單元。

表 5-2 25W 基本實驗-無循環管(對照組)

管號 \ 時間	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
B-N 底層溫度	0	9.7	15.9	19.9	22.8	25	26.5	27.8	28.8	29.4	30.2	30.8	31.2
O-N 出風口溫度	0	15.2	19.9	22.5	24.3	25.8	26.8	27.6	28.2	28.7	29.2	29.6	29.8

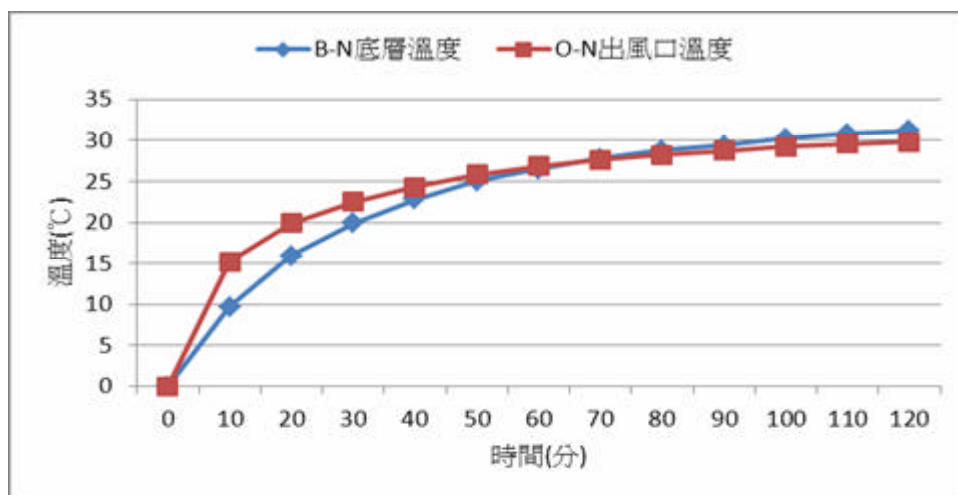


圖 5-2 基本實驗-無循環管(對照組)

註：1.列表中，10 分鐘溫度值為 1~10 分鐘之平均值，以此類推。

一、以散熱銅管總合分析：

(一)、各實驗組出風口溫度及進風口溫度之差值

表 5-3 25W 各實驗組出風口溫度及進風口溫度之差值

地質 \ 管號	N	U	L	3U	3L	平均	效率比
水質層(W)	0	1.40	1.53	1.70	1.66	1.57	123.66%
水+砂質層(WG)	0	1.24	1.35	1.42	1.58	1.40	109.98%
砂質層(G)	0	1.48	1.20	0.90	1.50	1.27	100.00%

註：1.以上數據皆已扣除無循環之對照組出風口溫度及進風口溫度之差值，以校正儀器誤差。

2.效率比假設砂質層為 100%

3.列表中，數字為 1~60 分鐘平均值

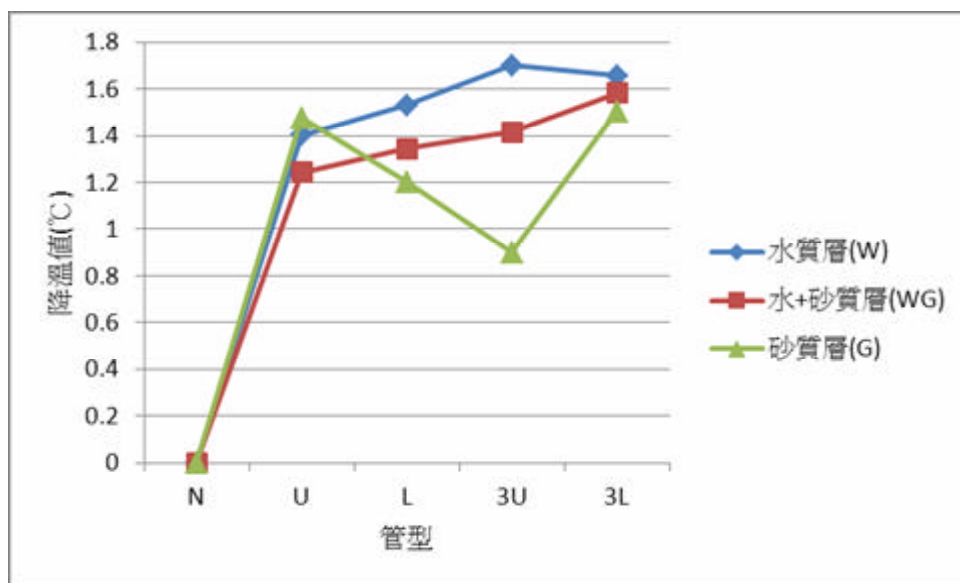


圖 5-3 25W 各實驗組出風口溫度及進風口溫度之差值曲線圖

由表 5-3 及圖 5-3 可知，水質層(W)及水+砂質層(WG)，四種管型溫度差值僅差距 0.1~0.3，表示此四種管型在上述兩地質中皆能使實驗箱中的溫度降低；而砂質層中，雖然 U 型三管較長，但在此組分析中，效能卻並非最高。在效率比方面以水質層(W)>水+砂質層(WG)>砂質層(G)，但三者實際平均溫差在 0.1~0.3°C 之間，在合理誤差值範圍內，表示 25W 熱源下在各種管型搭配各種地質效果相差不大，能使模擬室溫降低 1.3°C~1.6°C 左右。

表 5-4 100W 各實驗組出風口溫度及進風口溫度之差值

地質 \ 管號	N	U	L	3U	3L	平均	效率比
水質層(W)	0	1.38	1.52	1.90	2.20	1.75	110.79%
水+砂質層(WG)	0	1.34	1.71	1.22	1.58	1.46	92.48%
砂質層(G)	0	1.53	1.72	1.35	1.72	1.58	100.00%

註：1.以上數據皆已扣除無循環之對照組出風口溫度及進風口溫度之差值，以校正儀器誤差。

2.效率比假設砂質層為 100%

3.列表中，數字為 1~60 分鐘平均值

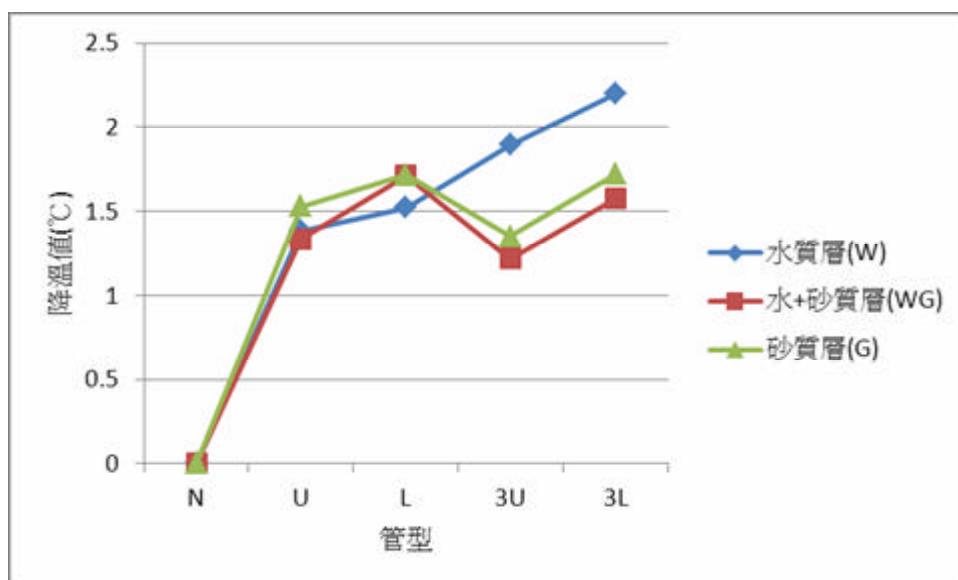


圖 5-4 100W 各實驗組出風口溫度及進風口溫度之差值曲線圖

由表 5-4 及圖 5-4 可知，水質層中，管型表面積增加，效率增加；水+砂質層(WG)及砂質層(G)曲線較為類似，U 型三管及 L 型三管管型較長，效能卻非最佳，這是因為三管圍束時，砂質不易進入中間的縫隙，導致中間夾縫僅有空氣當作介質傳導熱量，且夾縫的熱量被集中，更不易散失，導致長度雖較長，但效能卻不如預期；在水+砂質層(WG)中，亦有砂質不易進入管間縫隙之問題，但 25W 排放的熱量還不致使此兩種管型散熱不及，而 100W 因為熱量提高了四倍，所以出現圍束夾縫散熱不易之問題。

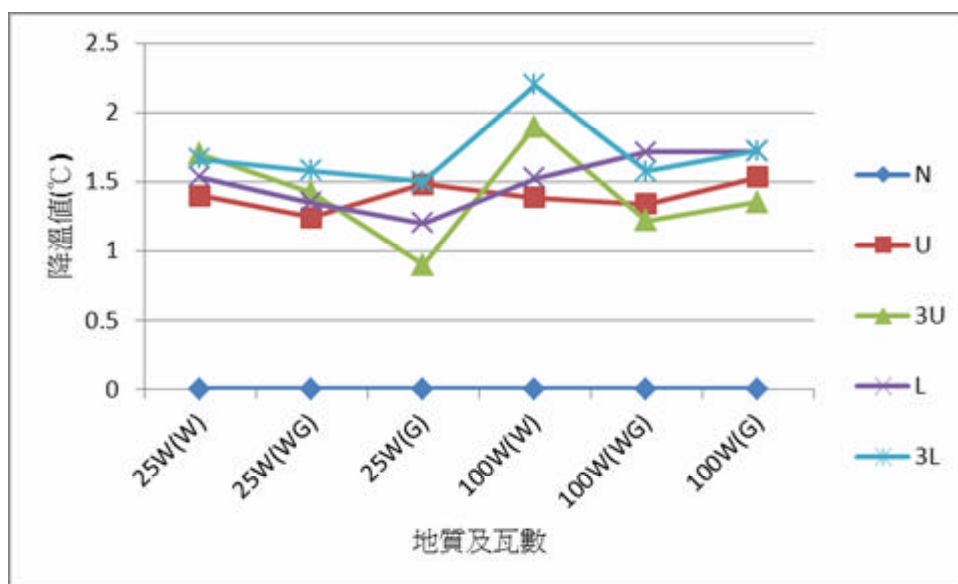


圖 5-5 綜合分析各管號於地質及瓦數出風口溫度及進風口溫度之差值

由表 5-5、圖 5-5 及圖 5-6 可知，U 形單管在各種地質及熱源下，曲線皆無太大異動，可見 **U 形單管適用性最大**；U 型三管及 L 型三管因圍束夾縫之因素，降溫效率因地質及瓦數不同效率有所差別，因此僅適用於特殊條件。

(二)依地質條件區分

表 5-5 25W 依地質平均溫度升溫表

地質 \ 時間	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	平均	效率比
無循環(N)	0.00	2.35	3.60	4.50	5.20	5.75	6.28	6.63	7.05	7.30	7.58	7.83	8.05	5.55	100.00%
水質層(W)	0.00	2.10	3.08	3.66	4.00	4.30	4.51	4.68	4.83	4.92	5.04	5.11	5.16	3.97	128.74%
水+砂質層(WG)	0.00	2.19	3.21	3.84	4.21	4.44	4.66	4.83	4.98	5.11	5.23	5.38	5.39	4.11	125.86%
砂質層(G)	0.00	1.84	2.84	3.49	3.94	4.34	4.63	4.91	5.16	5.37	5.51	5.69	5.83	4.12	125.72%

註：1.以上數據皆已扣除無循環之對照組出風口溫度及進風口溫度之差值，以校正儀器誤差。

2.效率比假設無循環(N)為 100%

3.列表中，以每 5 分鐘列表

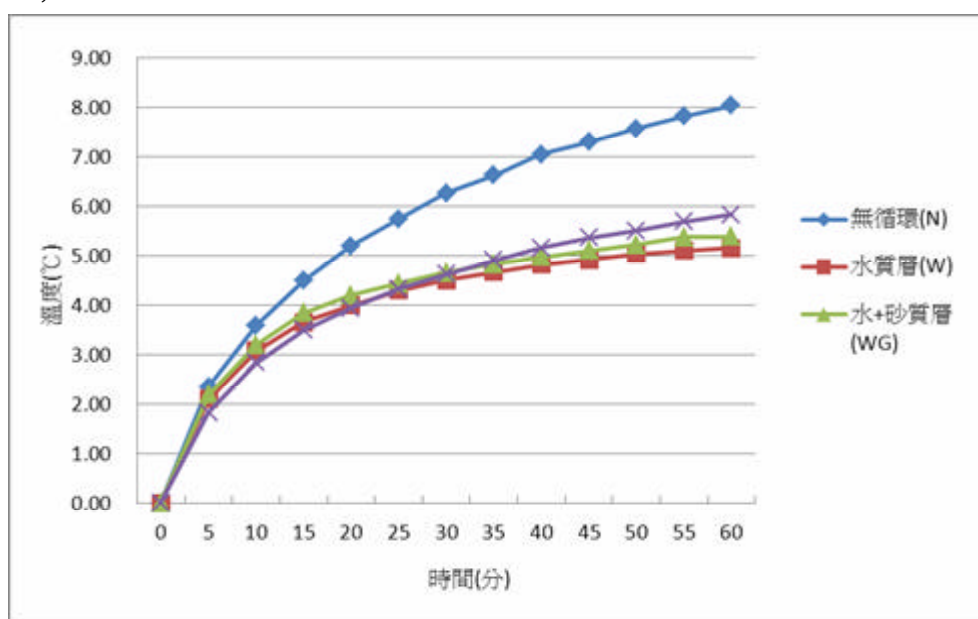


圖 5-6 25W 依地質平均溫度升溫曲線圖

由表 5-6 及圖 5-7 可知，**降溫效率比為水質層(W)>水+砂質層(WG)>砂質層(G)**；20 分鐘前散熱效率為，砂質層(G)>水質層(W)>水+砂質層(WG)；而 35 分鐘後散熱速度，為水質層(W)>水+砂質層(WG)>砂質層(WG)，這表示 20 分鐘前散熱速度符合，熱傳導中散熱速度：固態>液態>氣態，但 35 分鐘後，因為散熱管周遭之砂質溫度已升高，且砂質層散熱方式為砂粒傳至空氣再傳至砂粒，散熱效率慢慢降低(圖 5-8 所示)；而水質層(W)傳熱速度居中且於三管之管型沒有夾縫無介質之情形，故平均效率比較高。但降溫值僅差距約 0.1°C 上下，約**降溫 1.5°C**。

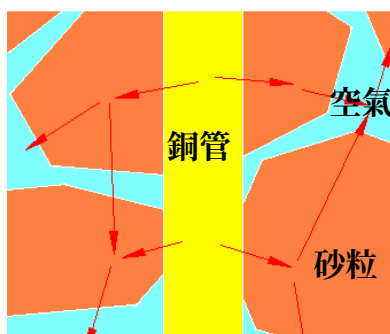


圖 5-7 砂質層散熱示意圖

表 5-6 100W 依地質平均溫度升溫表

地質-時間	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	平均	效率比
無循環(N)	0.00	8.21	12.96	16.28	18.73	20.48	22.13	23.38	24.51	25.41	26.23	26.98	27.61	19.46	100.00%
水質層(W)	0.00	7.91	11.94	14.19	15.91	17.19	18.25	19.07	19.78	20.44	20.99	21.42	21.84	16.07	117.39%
水+砂質層(WG)	0.00	7.89	11.74	14.09	15.75	17.05	18.07	18.96	19.70	20.34	20.90	21.44	21.86	15.98	117.84%
砂質層(G)	0.00	7.86	11.79	14.19	15.94	17.36	18.51	19.43	20.24	21.02	21.65	22.17	22.61	16.37	115.88%

註：1.以上數據皆已扣除無循環之對照組出風口溫度及進風口溫度之差值，以校正儀器誤差。

2.效率比假設無循環(N)為 100%

3.列表中，以每 5 分鐘列表

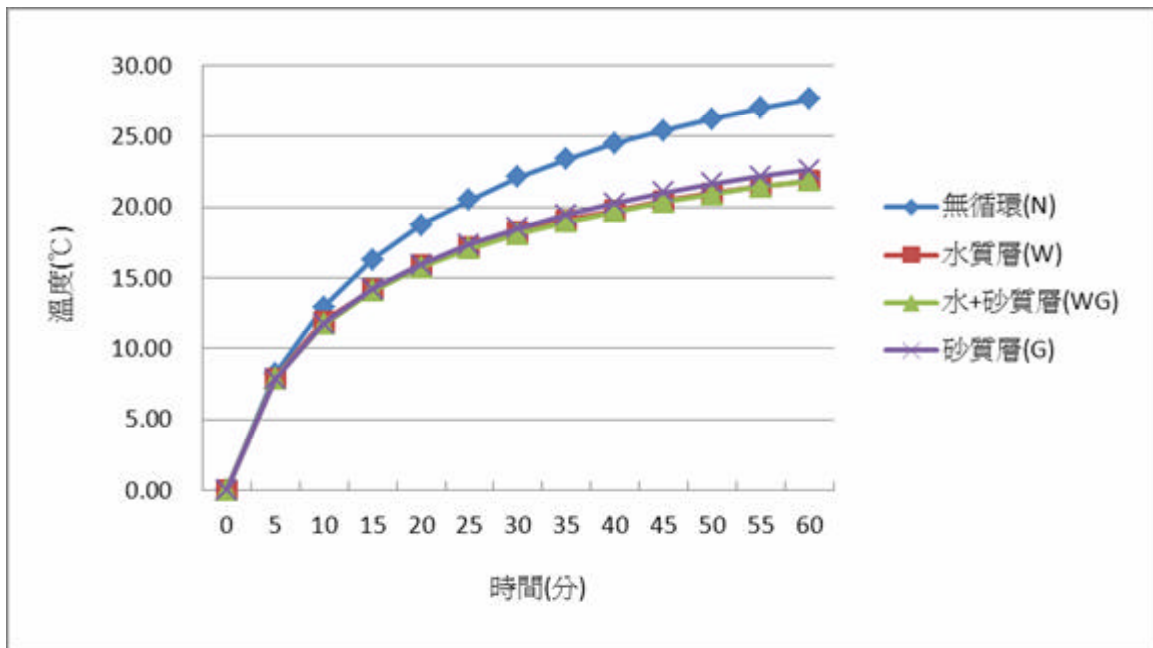


圖 5-8 100W 依地質平均溫度升溫曲線圖

由表 5-6 及圖 5-7 可知，**降溫效率比為水+砂質層(WG) > 水質層(W) > 砂質層(G)**；10 分鐘前散熱速度，為砂質層(G) > 水+砂質層(WG) > 水質層(W)；而 20 分鐘後散熱速度，為水+砂質層(WG) > 水質層(W) > 砂質層(WG)，因為 100W 熱源的熱量較 25W 多，因此較 25W 早 10 分鐘，效率降低。由此得知瓦數越高，砂質層散熱速度越快減緩。100W 熱量高，散熱效率越放大明顯，而水+砂質層(WG)，運用固體熱傳導最佳及砂粒與砂粒間亦有水質來傳導，兼具兩者之特性，故平均效率比為最高。降溫值僅差距 0.3°C 左右上下，約**降溫 3.4°C**。

(三)依管型條件區分

表 5-7 25W 依管型平均溫度升溫表

管型 \ 時間	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	平均	效率比
無循環(N)	0.00	2.35	3.60	4.50	5.20	5.75	6.28	6.63	7.05	7.30	7.58	7.83	8.05	5.55	100.00%
U	0.00	2.10	3.12	3.80	4.20	4.54	4.85	5.08	5.30	5.49	5.61	5.76	5.87	4.29	122.72%
L	0.00	2.47	3.61	4.29	4.73	5.12	5.38	5.61	5.83	6.01	6.19	6.42	6.46	4.81	113.34%
3U	0.00	1.86	2.78	3.33	3.67	3.98	4.15	4.32	4.48	4.59	4.69	4.85	4.93	3.66	133.95%
3L	0.00	1.61	2.54	3.11	3.47	3.73	3.95	4.14	4.27	4.38	4.48	4.55	4.58	3.45	137.86%

註：1.以上數據皆已扣除無循環之對照組出風口溫度及進風口溫度之差值，以校正儀器誤差。

2.效率比假設無循環(N)為 100%

3.列表中，以每 5 分鐘列表

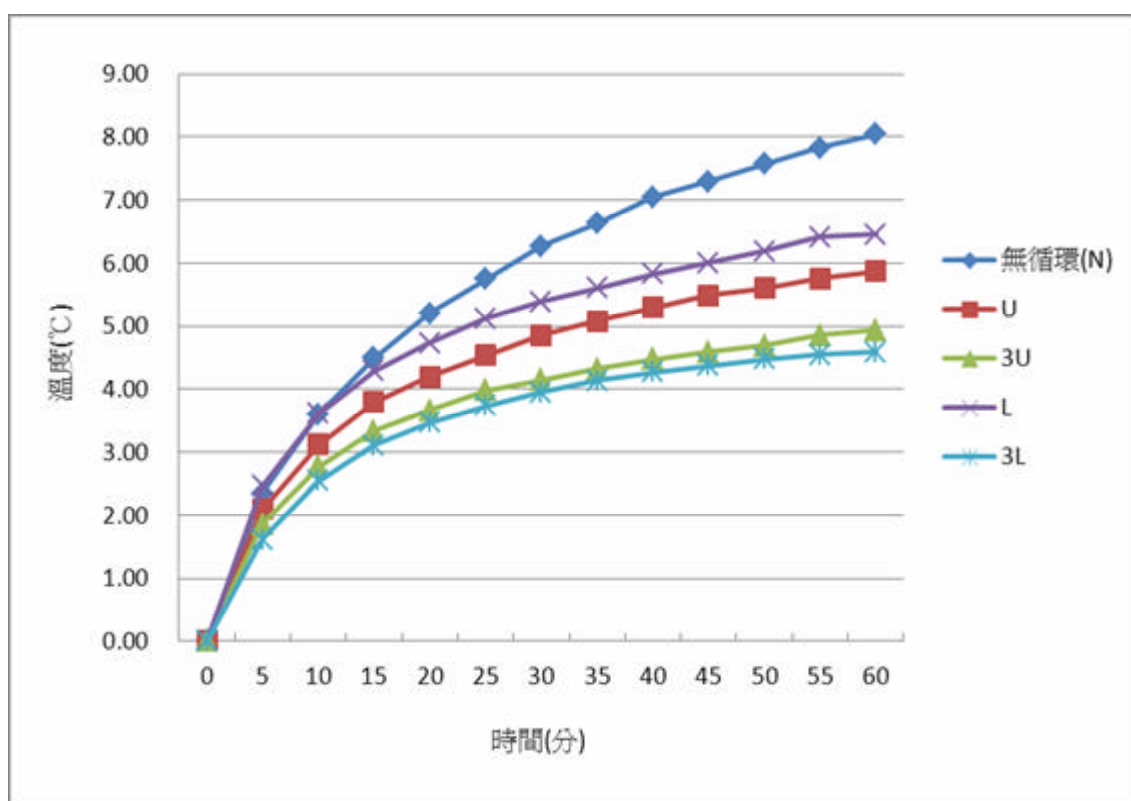


圖 5-9 25W 依管型平均溫度升溫曲線圖

由表 5-8 及圖 4-9 可知，散熱效果為 $3L > 3U > U > L$ ，其中 L 型散熱表面積雖然比 U 型管大，但散熱效果卻比較差，其餘散熱效果皆以表面積越大散熱效果越佳。

表 5-8 100W 依管型平均溫度升溫表

時間 管型	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	平均	效率比
無循環(N)	0.00	8.21	12.96	16.28	18.73	20.48	22.13	23.38	24.51	25.41	26.23	26.98	27.61	19.46	100.00%
U	0.00	7.80	11.85	14.26	15.99	17.34	18.47	19.47	20.28	21.03	21.62	22.22	22.71	16.39	115.77%
L	0.00	8.26	12.36	14.96	16.80	18.30	19.42	20.38	21.11	21.83	22.46	22.95	23.40	17.09	112.14%
3U	0.00	7.87	11.75	13.90	15.60	16.87	17.91	18.69	19.44	20.10	20.67	21.15	21.50	15.80	118.77%
3L	0.00	7.61	11.34	13.51	15.07	16.29	17.31	18.08	18.80	19.44	19.97	20.39	20.80	15.28	121.47%

註：1.以上數據皆已扣除無循環之對照組出風口溫度及進風口溫度之差值，以校正儀器誤差。

2.效率比假設無循環(N)為 100%

3.列表中，以每 5 分鐘列表

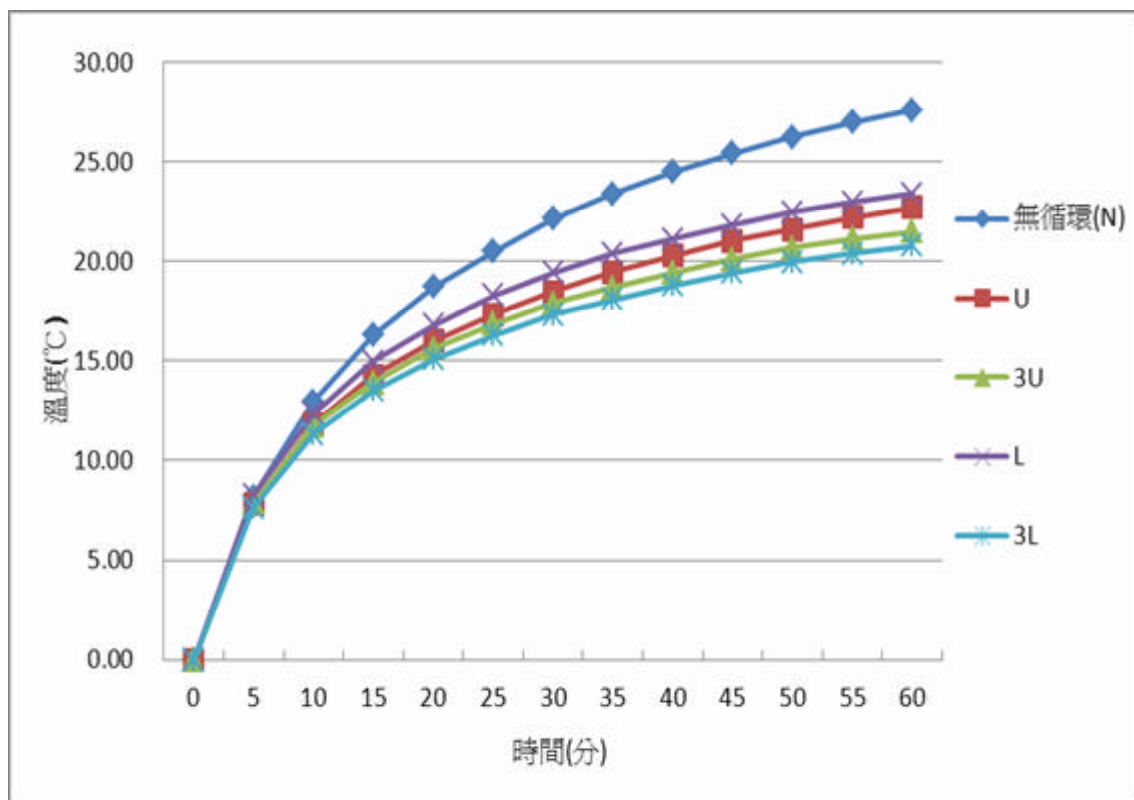


圖 5-10 100W 依管型平均溫度升溫曲線圖

由表 5-8 及圖 5-9 可知，散熱效果為 $3L > 3U > U > L$ ，其中 L 型散熱表面積雖然比 U 型管大，但散熱效果卻比較差，其餘散熱效果皆以表面積越大散熱效果越佳。

三、依研究變因討論：

(一) 散熱銅管：

表 5-9 25W 依管型效率比表

	表面積(cm)	表面積比	降溫值(°C)	降溫效率比	單位面積效率比
U	480	100.00%	1.26	100.00%	100.00%
L	775	161.46%	0.77	61.11%	37.85%
3U	1402.5	292.19%	1.89	150.00%	51.34%
3L	2290	477.08%	2.1	166.67%	34.93%

表 5-10 100W 依管型效率比表

	表面積(cm)	表面積比	降溫值(°C)	降溫效率比	單位面積效率比
U	480	100.00%	3.07	100.00%	100.00%
L	775	161.46%	2.37	77.20%	47.81%
3U	1402.5	292.19%	3.66	119.22%	40.80%
3L	2290	477.08%	4.18	136.16%	28.54%

註：1. 假設 U 型單管效率比為 100%

2. 降溫值為各管型之平均值和無循環系統之差值

由表 6-1 及表 6-2 可知，表面積比為 $3L > 3U > L > U$ ，降溫效率比為 $3L > 3U > U > L$ ，以 25W 來說，單位面積效率比為 $U > 3U > L > 3L$ ，降溫效率比以 3L 為最高，但 U 型單管單位面積效率比多出其他管型 50%~66%；以 100W 來說，單位面積效率比為 $U > L > 3U > 3L$ ，降溫效率比亦是 3L 為最高，但 U 型單管效率多出其他管型 60%~77%。若依造材料價格之經濟成本來說，應以 U 型單管作為首選，且開挖埋設也較為方便。

(二) 地質條件：

表 5-11 依地質效率比表

瓦數	25W		100W	
地質 \ 效率比	升溫平均值	降溫效率比	升溫平均值	降溫效率比
無循環(N)	5.55	100.00%	19.46	100.00%
水質層(W)	3.95	128.74%	16.07	117.39%
水+砂質層(WG)	4.11	125.86%	15.98	117.84%
砂質層(G)	4.12	125.72%	16.37	115.88%

註：1. 假設無循環(N) 效率比為 100%

由表 6-4 可知，25W 效率比為水質層(W) > 水+砂質層(WG) > 砂質層(G)；100W 效率比為水+砂質層(WG) > 水質層(W) > 砂質層(G)，但不論是 25W 或 100W 效率比差距皆在 3% 以內，以一小時的實驗來說，效率比差距並無很大。但依地質條件之分析升溫曲線來說，水質層(W)雖然初期散熱速度非最快，但不易將熱集中在散熱管周遭；砂質層(WG)初期散熱速度快，但熱量皆聚集在散熱管周遭，且砂粒間傳導介質為氣體；而水+砂質層(WG)則居中，兼具上述兩者之特性，所以若以長時間使用為水質層(W)為首選，若僅短時間使用則以砂質層(G)作為考量。

(三) 室內熱源：

表 5-12 25W 及 100W 總和平均升溫表

時間 瓦數	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	平均	效率比
25W 總和溫度	0.00	9.21	13.36	15.99	17.64	18.89	19.95	20.78	21.56	22.11	22.59	23.03	23.42	19.05	100.00%
100W 總和溫度	0.00	7.95	12.07	14.51	16.30	17.67	18.83	19.77	20.58	21.31	21.91	22.43	22.89	18.02	105.40%

- 註：1.列表中，數據為 25W 及 100W 全部實驗之總和平均值
 2.列表中，25W 之數值以乘上 4 倍，使之和 100W 之熱能相符
 3.列表中，以每 5 分鐘列表

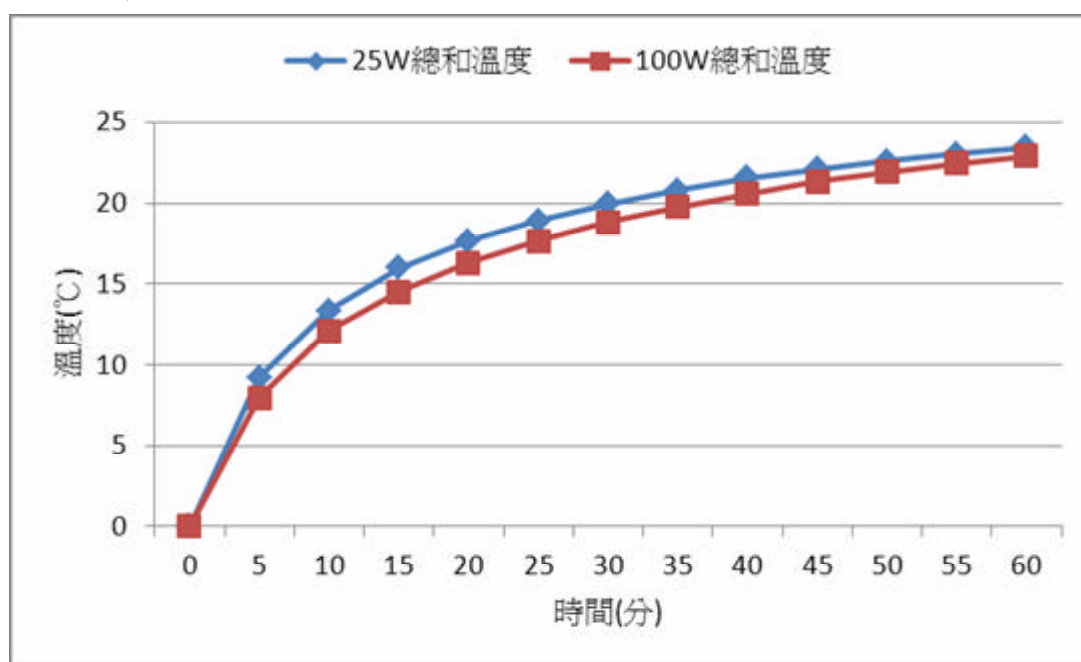


圖 5-11 25W 及 100W 總和平均升溫曲線圖

由表 6-3 及圖 6-1 可知，熱平衡原理中，燈泡 100W 溫度較高，不免熱量透過傳導的散失速度稍多，因此燈泡 25W 及燈泡 100W 升溫曲線兩者大致相符，由此可證，以燈泡 25W 及燈泡 100W 來說，對散熱效果差距約在 5%，但若**假設實驗為理想狀態，熱量越高 (100W) 散熱效果越佳。升溫曲線會慢慢趨於平緩，且成線性比例。**

(四) 各材質之管型

表 5-13 25W 依材質之管型平均升溫表

管型\時間	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	平均	效率比
無循環(N)	0.00	2.35	3.60	4.50	5.20	5.75	6.28	6.63	7.05	7.30	7.58	7.83	8.05	5.55	100.00%
U 型銅管	0.00	2.16	3.24	3.98	4.45	4.84	5.21	5.47	5.74	5.94	6.10	6.28	6.41	4.60	117.04%
L 型銅管	0.00	2.39	3.52	4.21	4.66	5.05	5.34	5.57	5.81	5.99	6.17	6.32	6.45	4.73	114.73%
U 型鐵管	0.00	2.10	3.06	3.65	4.07	4.38	4.65	4.84	5.05	5.20	5.35	5.46	5.57	4.11	125.95%
L 型鐵管	0.00	2.44	3.40	3.97	4.38	4.70	4.96	5.16	5.34	5.49	5.63	5.73	5.87	4.39	120.84%
U 型 PVC 管	0.00	2.51	3.63	4.22	4.59	4.89	5.15	5.35	5.53	5.69	5.82	5.92	6.03	4.56	117.81%
L 型 PVC 管	0.00	2.75	3.74	4.41	4.80	5.10	5.35	5.53	5.71	5.83	5.91	5.99	6.08	4.71	115.15%

註：1. 假設無循環效率比為 100%

2. 列表中，以每五分鐘列表

3. 各管型之代號為 U 型銅管(Ucu)、L 型銅管(Lcu)、U 型鐵管(Us)、L 型鐵管(Ls)、U 型 PVC 管(Upvc)、L 型 PVC 管(Lpvc)

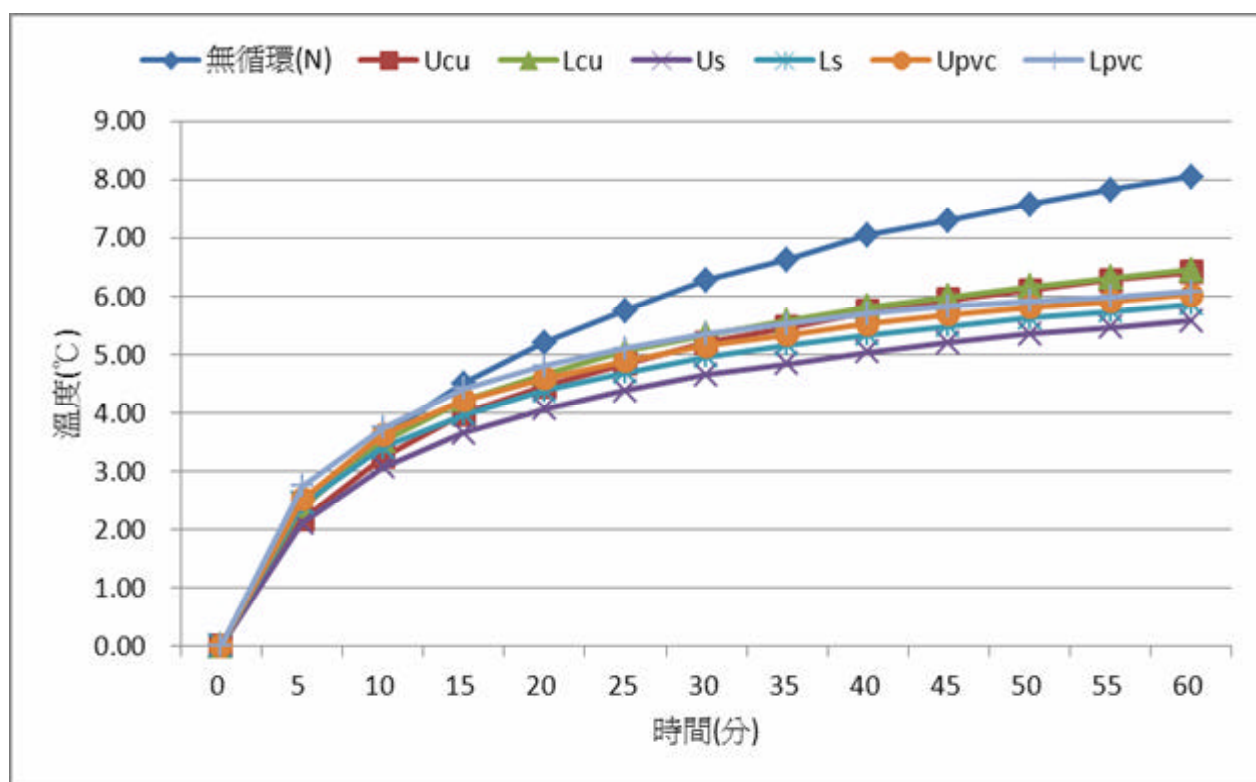


圖 5-12 25W 依材質之管型平均升溫曲線圖

由表 5-14 及圖 5-12 可知，各材質之管型效率比最佳為 U 型鐵管> L 型鐵管> U 型 PVC 管> L 型 PVC 管> U 型銅管> L 型銅管，即鐵管>PVC 管>銅管，且 U 型管>L 型管。以 U 型管及 L 型管依材質各別平均後，銅管約降溫 0.9°C；鐵管約降溫 1.3°C；PVC 管約降溫 0.9°C。

表 5-14 100W 依材質之管型平均升溫表

管型\時間	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	平均	效率比
無循環(N)	0.00	8.21	12.96	16.28	18.73	20.48	22.13	23.38	24.51	25.41	26.23	26.98	27.61	19.46	100.00%
U 型銅管	0.00	7.72	11.77	14.09	15.91	17.26	18.39	19.39	20.20	20.95	21.53	22.13	22.63	16.31	116.19%
L 型銅管	0.00	8.26	12.36	14.96	16.80	18.30	19.42	20.38	21.11	21.83	22.46	22.95	23.40	17.09	112.14%
U 型鐵管	0.00	7.47	11.03	13.27	14.83	16.04	17.03	17.82	18.43	19.02	19.48	19.88	20.20	14.96	123.11%
L 型鐵管	0.00	7.79	11.58	14.03	15.62	16.79	17.74	18.63	19.33	19.98	20.52	20.89	21.22	15.70	119.30%
U 型 PVC 管	0.00	8.13	12.03	14.52	16.28	17.66	18.68	19.60	20.44	21.13	21.75	22.21	22.64	16.54	114.97%
L 型 PVC 管	0.00	8.60	12.44	14.72	16.35	17.69	18.66	19.49	20.16	20.70	21.21	21.75	22.09	16.45	115.45%

註：1. 假設無循環效率比為 100%

2. 列表中，以每五分鐘列表

3. 各管型之代號為 U 型銅管(Ucu)、L 型銅管(Lcu)、U 型鐵管(Us)、L 型鐵管(Ls)、U 型 PVC 管(Upvc)、L 型 PVC 管(Lpvc)

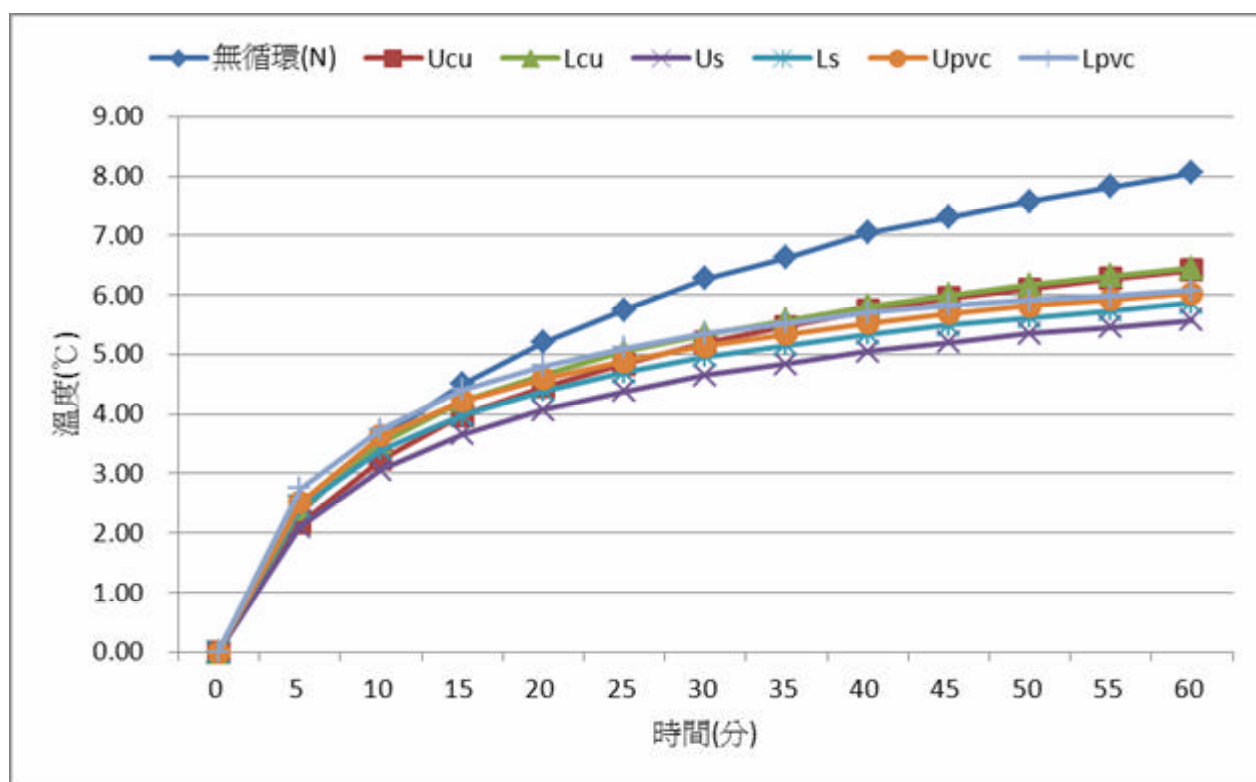


圖 5-13 25W 依材質之管型平均升溫曲線圖

由表 5-15 及圖 5-13 可知，各材質之管型效率比最佳為 U 型鐵管> L 型鐵管>U 型銅管 > L 型 PVC 管> U 型 PVC 管> L 型銅管，即 **U 型管>L 型管**。與 25W 相同，銅管及 PVC 管效率差距不大，後期銅管效率開始減緩；而 PVC 管效率則相對增加。以 U 型管及 L 型管依材質各別平均後，**銅管約降溫 2.8℃；鐵管約降溫 4.1℃；PVC 管約降溫 3.0℃。**

表 5-15 25W 依材質之管型效率比表

管型 \ 效率比	表面積	降溫表面積比	降溫值	降溫效率比	單位面積效率比
U 型銅管	480.00	100.00%	0.95	100.00%	100.00%
L 型銅管	775.00	161.46%	0.82	86.44%	53.54%
U 型鐵管	540.00	112.50%	1.44	152.28%	135.36%
L 型鐵管	858.00	178.75%	1.16	122.30%	68.42%
U 型 PVC 管	540.00	112.50%	0.99	104.53%	92.92%
L 型 PVC 管	840.00	175.00%	0.84	88.90%	50.80%

註 1. 假設 U 型銅管效率比為 100%

由表 5-16 中可知，**表面積比**為 L 型鐵管> L 型 PVC 管> L 型銅管> U 型鐵管= U 型 PVC 管> U 型銅管，**降溫效率比**為 U 型鐵管> L 型鐵管> U 型 PVC 管> U 型銅管> L 型 PVC 管> L 型銅管，**單位面積效率比**為 U 型鐵管> U 型銅管> U 型 PVC 管> L 型鐵管> L 型銅管> L 型 PVC 管。在經濟部能源局的家庭節能手冊中得知，冷氣冷媒管彎曲過多或過大，將阻礙冷媒運送，大幅降低冷房效率，故 U 型管長度較 L 型管長，但 U 型管較 L 型管少兩個彎曲角，效率則大大折損，而鐵管因為受限於彎曲長度不可過小，否則將出現彎曲處破裂或扁平之問題，所以彎曲角較小，則空氣傳輸阻礙較少效率較佳。

表 5-16 100W 依材質之管型效率比表

管型 \ 效率比	表面積	降溫表面積比	降溫值	降溫效率比	單位面積效率比
U 型銅管	480.00	100.00%	3.15	100.00%	100.00%
L 型銅管	775.00	161.46%	2.36	74.97%	46.44%
U 型鐵管	540.00	112.50%	4.50	142.73%	126.87%
L 型鐵管	858.00	178.75%	3.76	119.21%	66.69%
U 型 PVC 管	540.00	112.50%	2.91	92.43%	82.16%
L 型 PVC 管	840.00	175.00%	3.01	95.38%	54.50%

註 1. 假設 U 型銅管效率比為 100%

由表 5-16 中可知，**表面積比**為 L 型鐵管> L 型 PVC 管> L 型銅管> U 型鐵管= U 型 PVC 管> U 型銅管，**降溫效率比**為 U 型鐵管> L 型鐵管> U 型銅管> L 型 PVC 管> U 型 PVC 管> L 型銅管，**單位面積效率比**為 U 型鐵管> U 型銅管> U 型 PVC 管> L 型鐵管> L 型 PVC 管> L 型銅管。100W 之實驗中，也因 L 型管彎曲角較多之情形，效率則大大折損，而鐵管亦因彎曲角較小，則空氣傳輸阻礙較少，效率較佳。

四、冷氣空調比較：

經過網路及電話詢價後，假設一度電電費為 3 元，以一般空調業界在 4~5 坪的空間，設定室溫 27°C，以冷氣壽命為 10 年及風扇 3 半年即需汰換來說，且每日日照時間 12 小時，若夏季時間(6 月 9 月，共 122 天)，每日運轉 24 小時耗電量，如下：

表 5-17 電費及總價效率比表

空調 \ 效率比	消耗電力(瓦數)	壓縮機使用率	電費	購買價格	總價	效率比
聲 X 定頻分離式空調	963	0.65	54983	24000	78983	588%
聲 X 變頻分離式空調	651	0.65	37169	35500	72669	541%
地溫空調(工業排風扇)	125*2=250		21960	1500*6=9000	30960	230%
地溫空調(太陽能風扇)	15*2=30	0.5(僅夜間用電)	2635	3600*6=10800	13435	100%

由表 6-5 可知，地熱空調(太陽能風扇)比一般空調之總價減少 5.9 倍，而地熱空調比變頻空調之總價減少 5.4 倍。

若以台電公告每度電排放 0.92 公斤之二氧化碳來說，排碳量如下：

表 5-18 排碳量效率比表

空調 \ 效率比	消耗電力(瓦數)	壓縮機使用率	用電度數	排放二氧化碳量(kg)	效率比
聲 X 定頻分離式空調	963	0.65	18328	16862	2087%
聲 X 變頻分離式空調	651	0.65	12390	11399	1411%
工業排風扇	250		7320	6734	833%
太陽能風扇	30	0.5(僅夜間用電)	878	808	100%

由表 5-19 可知，地熱空調(太陽能風扇)比一般空調之排碳量減少 21 倍，而地熱空調比變頻空調之總價減少 14 倍。

陸、討論

- 一、進行實驗時，須每分鐘紀錄且實驗總長為 60 分鐘，所以事前確認各項準備(碼表預備、綁上彈性束帶、溫度計電量等)完成，實驗中必須警慎讀數，以免造成實驗數據上的誤差，以致實驗需要重來。
- 二、本次研究雖然模型比例以盡力擬真，但還是無法百分之百擬真，如樑、柱、樓板等，希望後續研究能更精進，使用水泥、細骨材及鐵絲等材料等作為模擬 RC 製之模型主結構。
- 三、本次研究結果表面積與單位面積效率比並無成正比，效率受限於彎曲角多寡或角度大小，希望後續研究能增加各式管型，了解彎曲角與單位面積效率比之關係。
- 四、本次研究搜尋資料時，發現市面上之地熱空調大多使用水循環，本實驗研究使用的是空氣循環，希望後續能增加水循環之實驗，並加以比較。
- 五、本次研究為基本實驗研究，地質方面採用最為方便簡單之水及砂，希望後續研究能增加符合台灣之地質，如黏土層、礫石層等。
- 六、本次研究燈泡瓦數僅採用 25W 及 100W，希望後續能增加不同瓦數，研究能達到室溫平衡之瓦數及散熱管表面積之比值。
- 七、本次研究經歷了冬、春兩個季節，起始溫度受寒流冷氣團影響，雖已扣除起使溫度之誤差，但依舊有少數誤差間接影響數據之探討，希望後續能在恆溫之環境空間進行實驗。
- 八、實驗結束，實驗箱中溫度升高，需用打開頂蓋搭配電風扇散熱，需要散熱到和室溫相同，才能進行下一組實驗，所以真正實驗總時間更長。

柒、結論：

一、地熱空調對於室溫降低效果如何？

由本實驗研究得知，對於散熱銅管(U 型單管、U 型三管、L 型單管、L 型三管)，置放於水質層、水+砂質層和砂質層之實驗槽中，以燈泡(25W、100W)做為模擬室內人體或機器的發熱源之實驗研究中，地熱空調對於散熱效果有顯著的降溫效果，以無循環和各地質條件比較降溫情形為例，使用地熱空調可降溫約 16%~18%；以無循環和各管型比較降溫情形為例，使用地熱空調可降溫約 16%~28%。綜合以上的實驗數據整理、分析及成果討論後，可以發現地熱空調，對於室溫降低有顯著的影響。

二、針對實驗數據中，我們歸納出以下降溫效果之比較：

(一) 散熱銅管：

- 1、表面積比為 $3L > 3U > L > U$ 。
- 2、降溫效率比為 $3L > 3U > U > L$ 。
- 3、單位面積效率比為 $U > 3U > 3L > L$ 。
- 4、以散熱單位面積效率比探討，以 U 型散熱管最佳，U 型三管次之。
- 5、以經濟成本探討，為 U 型管最佳，且實作之開挖埋設也較為方便。

(二)發熱熱源：

- 1、假設實驗為理想狀態以燈泡 25W 乘上四倍使之與 100W 熱量相同來說，對散熱效果 100W 比 25W 增加約 5%，升溫曲線大致相符，但熱量高散熱速度越快。

(三)地質條件：

- 1、25W 效率比為水質層(W) > 水+砂質層(WG) > 砂質層(G)。
- 2、100W 效率比為水+砂質層(WG) > 水質層(W) > 砂質層(G)。
- 3、以長時間使用為水質層(W)為首選，若短時間使用則以砂質層(G)作為考量。

(四)各材質管型：

- 1、鐵管 > PVC 管 $\geq$ 銅管，且 U 型管 > L 型管。
- 2、彎曲角減少或彎曲角度減小，效率越佳。

(五)冷氣空調比較：

- 1、以電費來說，一般空調 > 變頻空調 > 地熱空調(工業排風扇) > 地熱空調(太陽能風扇)。
- 2、一般空調比地熱空調(太陽能風扇)造價高出 4.9 倍。
- 3、變頻空調比地熱空調(太陽能風扇)造價也高出 4.4 倍。
- 4、一般空調比地熱空調(太陽能風扇)排碳量高出 21 倍。
- 5、變頻空調比地熱空調(太陽能風扇)排碳量也高出 14 倍。

捌、參考文獻：

經濟部能源局。宣導推廣-節約能源-家庭節能手冊。民 100 年 06 月 2 日。取自
http://www.moeaboe.gov.tw/Promote/saveenergy/PrSaveMain.aspx?PageId=pr_save_list。

再生能源網。日建築業看好「地熱空調」商機。民 99 年 04 月 2 日。取自
http://www.re.org.tw/Re2/hot_detail.aspx?PostID=4700。

北方網。英王室巨資建湖泊空調 造地熱系統取暖(圖)。取自
<http://tech.big5.enorth.com.cn/system/2005/08/22/001099833.shtml>

TETA 台灣碳排放交易協會。地熱能源介紹。取自
http://www.teta.org.tw/renewable%20energy_1.htm

採用地熱建築空調系統。取自
<http://www.j-tokkyo.com/2008/F24F/JP2008-076015.shtml>

地熱空調。取自
http://www.fklab.fukui.fukui.jp/yk/snow-method/pip_air_con/pile-air-cont.htm

民 99 年 09 月 06 日蘇州耗資過億建小學教室配洗手間地熱空調。揚子晚報

民 95 年 05 月 24 日《新聞中的科學》。聯合報

吳挺鋒。天下雜誌。368 期。天下雜誌。P.36。2011 年 3 月 23 日。

林倖妃。天下雜誌。368 期。天下雜誌。P.102。2011 年 3 月 23 日。

【評語】 091205

1. 研究團隊開發利用地熱/冷以提供自然空調，符合部分綠建築指標且具環保節能之永續精神，實物模型製作精美。
2. 建築物熱源可思考建物受日照等外部熱源所引致之外牆增溫與輻射熱阻絕。
3. 地質條件非如建物具選擇性，但對大樓建物而言似可利用地下室水塔之蓄水作為穩定地熱/冷源。
4. 不同材質管材應有相同比較基準，如相同通氣量或總表面積等，才足以合理評斷何者有整體較佳之熱傳導效應。
5. 未來可考慮將散熱管布置於直接受日照輻射熱之外牆、屋頂結構內，但須評估其對建物強度衝擊。
6. 散熱管內外若溫差過大達露點溫度時，將有冷凝結水可能，未來可思考其可能性與解決方法。