

投稿類別：工程技術類

篇名：自然空調—地熱(冷)升降溫系統

作者：

林奇緯。國立彰師大附工。建築三忠

陳宜廷。國立彰師大附工。建築三忠

李權承。國立彰師大附工。建築三忠

指導老師：張盛進 老師

翁麗敏 老師

壹 前言

本研究以地熱能降低空調消耗之探討為主軸，以 1:10 縮小比例的建築物模型進行實驗，以銅管作為散熱管、以燈泡做為模擬室內的發熱源、利用風扇將室內空氣經過實驗槽循環後再進入實驗箱，探討對於室內溫度降溫情形及效果。

一、 研究動機

近年隨著地球氣候條件變遷，能源危機與環保意識高漲，世界各國早已開始研發使用綠色能源。台灣目前以火力發電為主，排碳量高，溫室效應也隨之加劇，如何有效且環保的降低室內熱環境成為重要的課題。

這學期在學校接觸到土木營建新興科技的課程，我們探討的主題是「再生能源」，搜尋地熱能源資料時，發現中國上海世博軸及台北花博等皆有運用地熱使建築物達到散熱或暖氣之取熱的案例，想進一步探討如何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。

二、 研究目的：

有鑑於地熱空調在市面上運用不少，但資料相當少，未發現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，散熱管於不同長度、瓦數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。

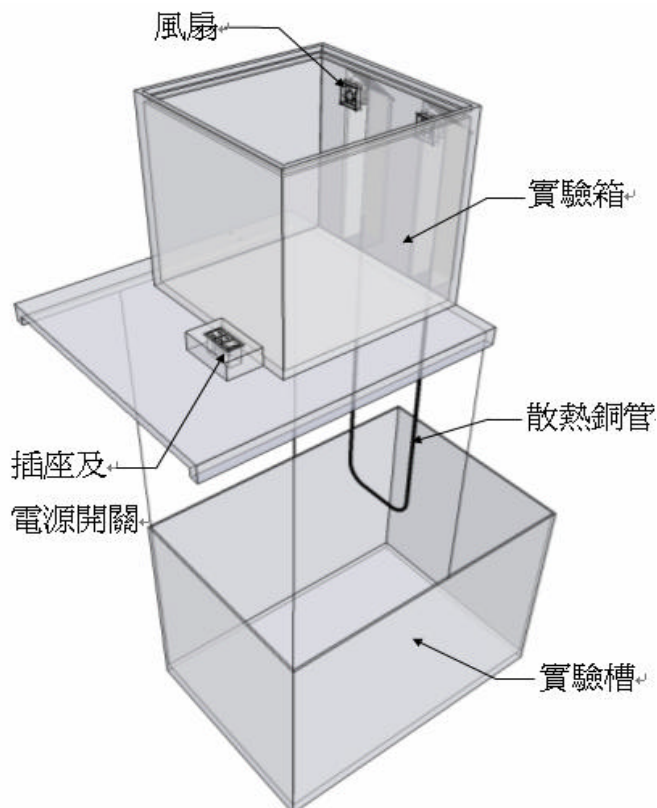


圖 1-1 實驗模型示意圖

三、研究過程及方法

(一) 研究流程

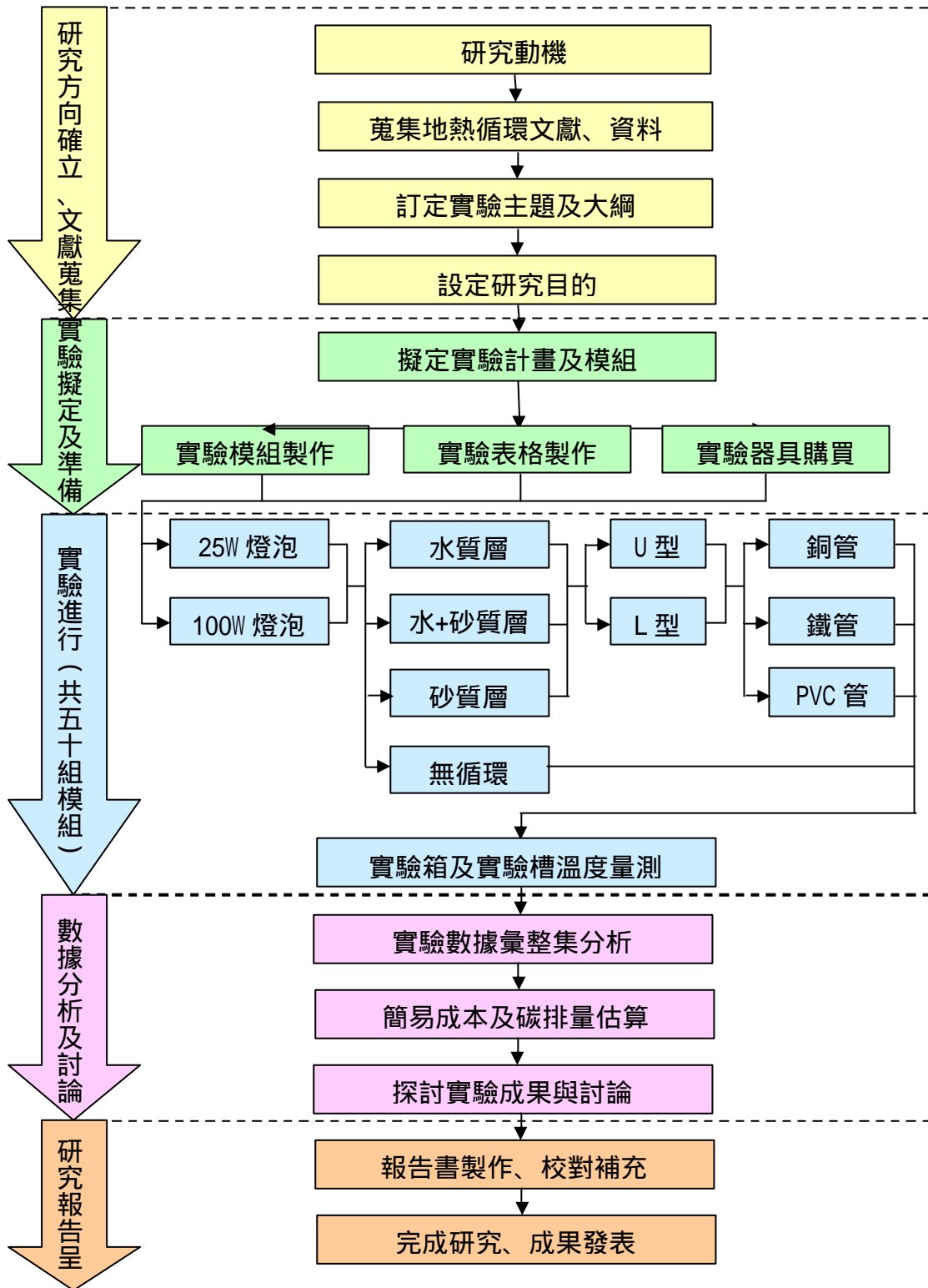


圖 1-2 研究流程圖

(二) 研究方法

以一組無循環氣室為對照組、八組散熱管氣室，並分別在室內發熱源下、依照地質條件分組，作為實驗組，將完成氣室裝上實驗箱，把氣室連通之散熱管埋入實驗槽之地質中，裝上燈泡作室內熱源，放置溫度計，蓋上壓克力板為觀測視窗，用彈性束帶扣緊，提高氣密性。實驗模組共 50 組，採每分鐘紀錄實驗箱溫度，每五分鐘記錄實驗槽溫度，每組總長六十分鐘。

貳 正文

一、實驗數值讀數時間確定：

由下圖 2-1、圖 2-2 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。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。並未消除季節是溫之不同，以下所有列表溫度皆以扣初起始溫度，單位：。

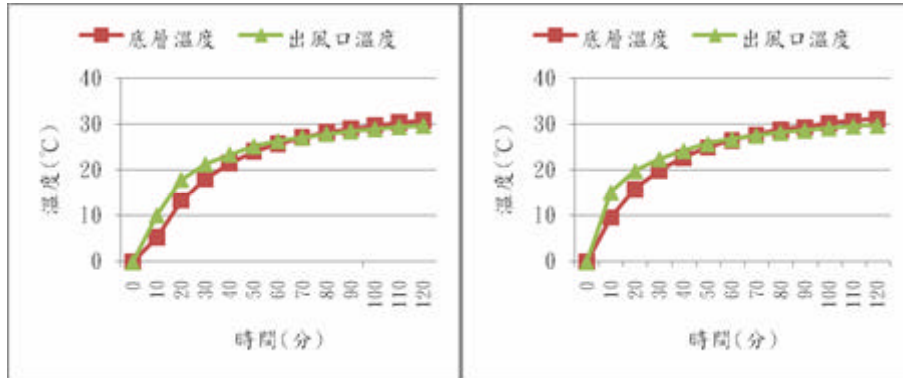


圖 2-1 100W 基本實驗-無循環管(對照組) 圖 2-2 基本實驗-無循環管(對照組)

註：1.列表中，10 分鐘溫度值為 1~10 分鐘之平均值，以此類推。

二、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

此數據分析是為了確保本實驗有實際降溫之效果，故以連通氣室之出風口溫度及進風口溫度之差表現降溫值

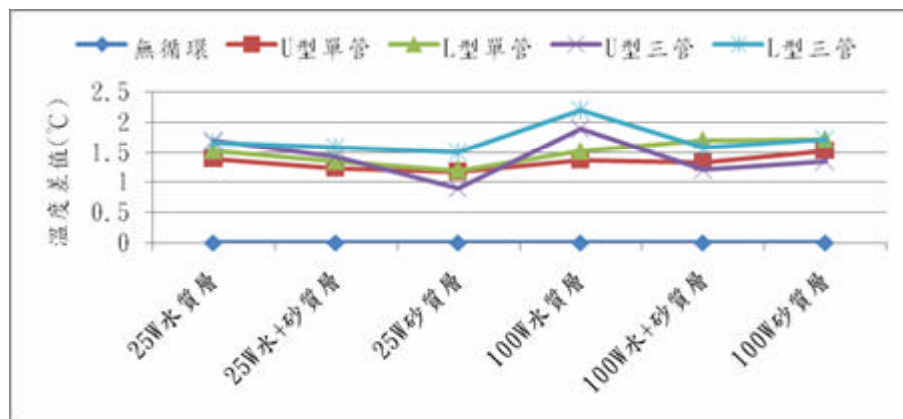


圖 2-3 25W 及 100W 各組出風口溫度及進風口溫度之差值曲線圖

由圖 2-3 可知如下：

1.各種地質的降溫效果：

(1)各地質層中，四種管型在個別瓦數，溫度差值僅差距 0.2~0.4，表示各地質層皆能使實驗箱溫度降低，其中以水質層效率比最佳。

2.各種管型的降溫效果：

(1)U 型三管較長，但在此組分析中，於含有砂質的砂質層及水+砂質層效能卻非較高，因此推測三管圍束時，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。

(2)U 形單管在各種地質及熱源下，曲線平緩，可見 U 形單管於各地質效率相當適用性最大。

(二)依管型條件區分

表 2-1 25W 及 100W 依管型平均溫度升溫表

管型 \ 效率	25W 平均	25W 效率比	100W 平均	100W 效率比
無循環	5.55	100.00%	19.46	100.00%
U 型單管	4.29	122.72%	16.39	115.77%
L 型單管	4.81	113.34%	17.09	112.14%
U 型三管	3.66	133.95%	15.80	118.77%
L 型三管	3.45	137.86%	15.28	121.47%

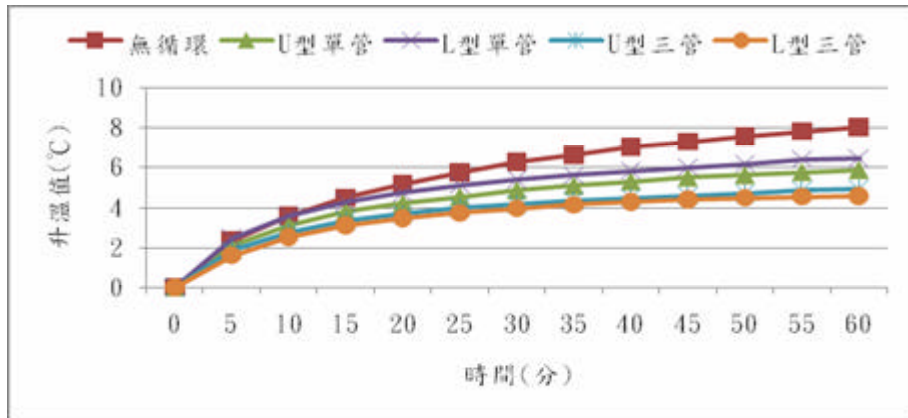


圖 2-4 25W 依管型平均溫度升溫曲線圖

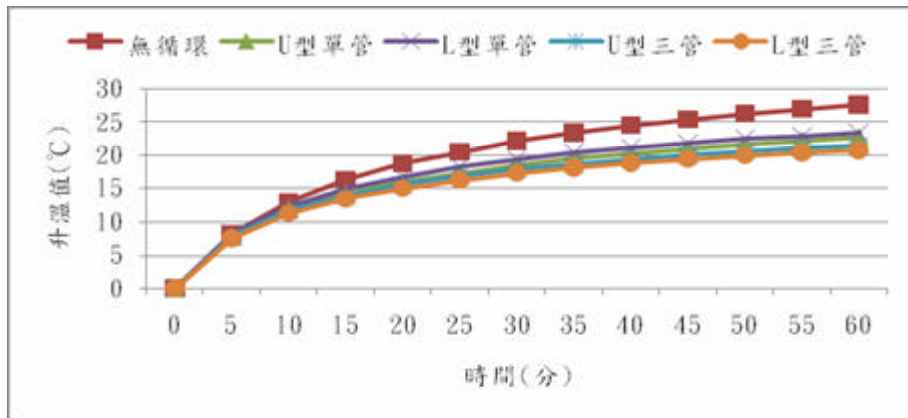


圖 2-5 100W 依管型平均溫度升溫曲線圖

由表 1-1、圖 2-4 及圖 2-5 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 2-2 25W 及 100W 依管型效率比表

管型 \ 效率比	表面積(cm)	表面積比	降溫值()	降溫效率比	單位面積效率比	
25W	U 型單管	540	100.00%	1.42	100.00%	100.00%
	L 型單管	858	158.89%	0.85	60.14%	37.85%
	U 型三管	1620	300.00%	2.18	153.96%	51.32%
	L 型三管	2574	476.67%	2.36	166.52%	34.93%

100W	U 型單管	540	100.00%	3.45	100.00%	100.00%
	L 型單管	858	158.89%	2.62	75.97%	47.81%
	U 型三管	1620	300.00%	4.23	122.36%	40.79%
	L 型三管	2574	476.67%	4.70	136.04%	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 2-2 可知：

1. 表面積比為 $3L > 3U > L > U$ ，降溫效率比為 $3L > 3U > U > L$
2. U 型單管單位面積效率比較其他管型高，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，故推測 U 型管長度較 L 型管短，但 U 型管較 L 型管少兩個彎曲角，效率則較佳。
3. 依造材料價格之經濟成本來說，以 U 型單管作為首選，且開挖埋設也較為方便。

(二) 室內熱源：

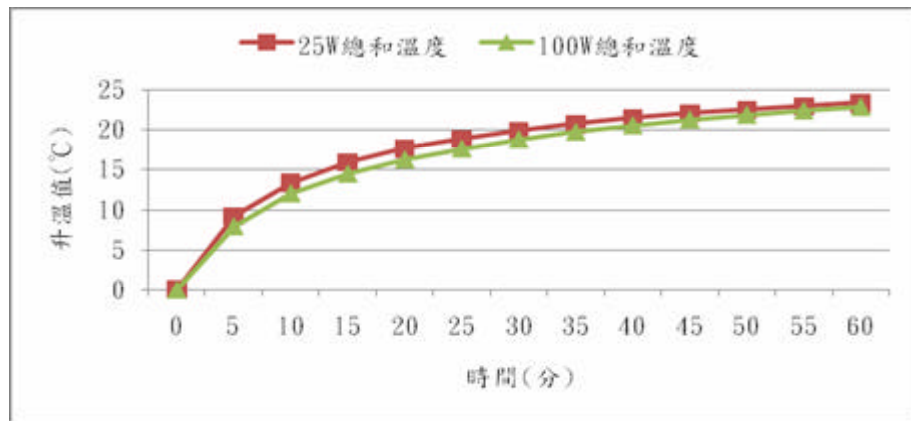


圖 2-6 25W 及 100W 總和平均升溫曲線圖

由圖 2-6 可知：

1. 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
2. 假設實驗為理想狀態，熱量越高(100W)散熱效果越佳。升溫曲線趨於平緩，且呈線性比例。

(三) 依地質條件區分

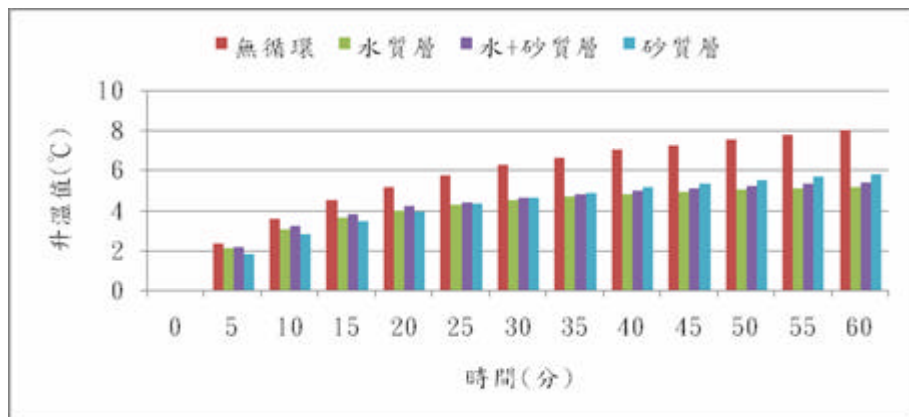


圖 2-7 25W 依地質平均溫度升溫曲線圖

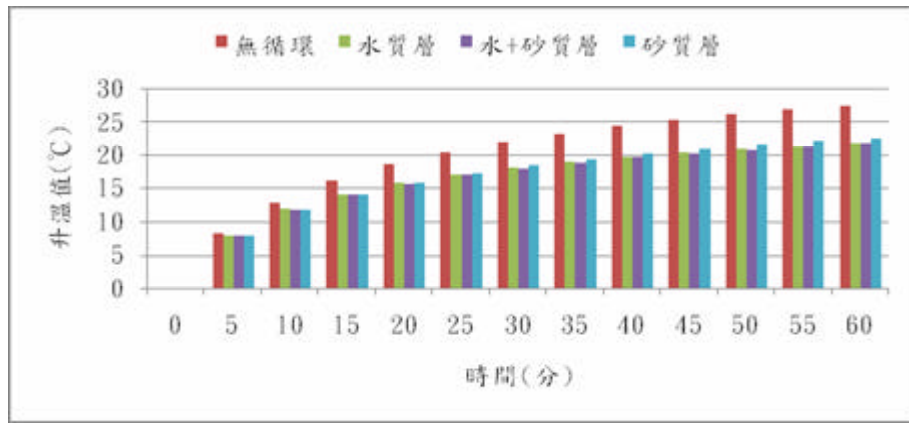


圖 2-8 100W 依地質平均溫度升溫曲線圖

由圖 2-7 及圖 2-8 可知：

1. 降溫效率比為水質層>水+砂質層>砂質層。各地質升溫平均差距小，視熱能釋放多寡，降溫效率比達 15% 30%，由此判斷，任何地質皆適用本實驗之系統。
2. 前期升溫速度為砂質層較慢，符合熱傳導中：固態>液態>氣態 之固態性質，後期銅管與砂質層之接觸面溫度升高，且砂粒間必有空氣之空隙，則散熱方式為砂粒傳至空氣再傳至砂粒，散熱效率漸漸降低。

四、 各材質之管型

(一)各材質降溫平均比較

表 2-3 25W 及 100W 依材質之管型平均升溫表

管型 \ 時間	25W 平均	25W 效率比	100W 平均	100W 效率比
無循環	5.55	100.00%	19.46	100.00%
U 型銅管	4.60	117.04%	16.31	116.19%
L 型銅管	4.73	114.73%	17.09	112.14%
U 型鐵管	4.11	125.95%	14.96	123.11%
L 型鐵管	4.39	120.84%	15.70	119.30%
U 型 PVC 管	4.56	117.81%	16.54	114.97%
L 型 PVC 管	4.71	115.15%	16.45	115.45%

註：1. 假設無循環效率比為 100%

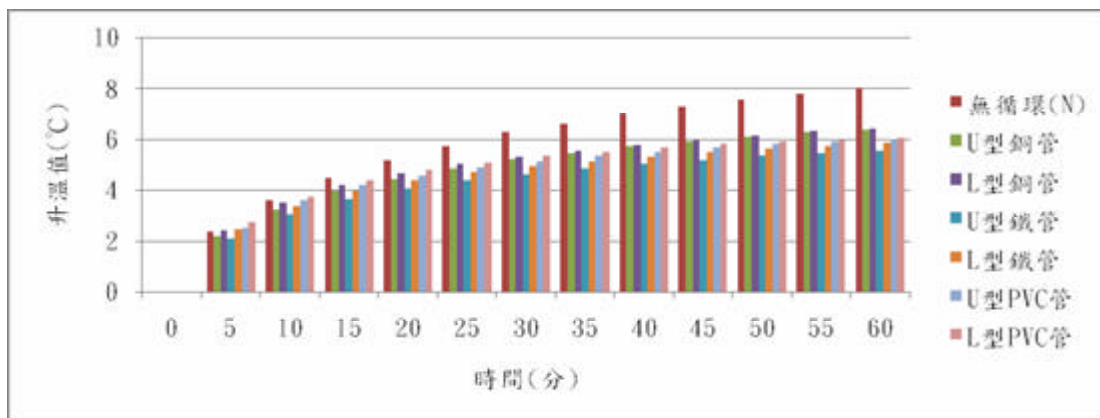


圖 2-9 25W 依材質之管型平均升溫曲線圖

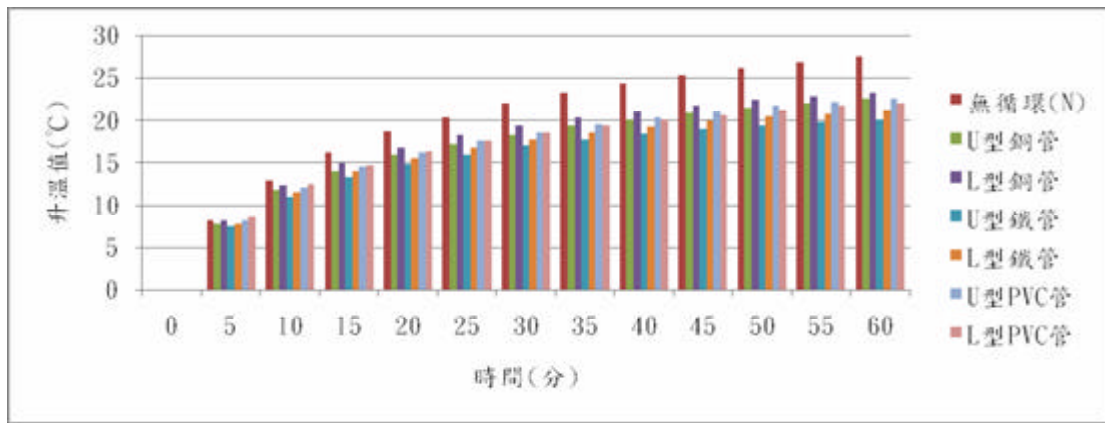


圖 2-10 25W 依材質之管型平均升溫曲線圖

由表 2-3、圖 2-9 及圖 2-10 可知

- 1.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，故推測意與彎曲角多寡有關係。

(二) 各材質降溫效率比比較

表 2-4 25W 及 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
25W	U 型銅管	540	100.00%	1.07	100.00%	100.00%
	L 型銅管	858	158.89%	0.91	84.94%	53.46%
	U 型鐵管	540	100.00%	1.44	134.74%	134.74%
	L 型鐵管	858	158.89%	1.16	108.54%	68.31%
	U 型 PVC 管	540	100.00%	0.99	92.63%	92.63%
	L 型 PVC 管	858	158.89%	0.86	80.28%	50.53%
100W	U 型銅管	540	100.00%	3.54	100.00%	100.00%
	L 型銅管	858	158.89%	2.61	73.73%	46.40%
	U 型鐵管	540	100.00%	4.50	126.98%	126.98%
	L 型鐵管	858	158.89%	3.76	106.10%	66.78%
	U 型 PVC 管	540	100.00%	2.91	82.12%	82.12%
	L 型 PVC 管	858	158.89%	2.95	83.16%	52.34%

註 1.假設 U 型銅管效率比為 100%

由表 2-4 中可知

- 1.降溫效率比為 U 型鐵管>L 型鐵管>U 型銅管>U 型 PVC 管>L 型銅管>L 型 PVC 管。
- 2.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，由單位面積效率比可明顯看出 U 型管>L 型管。
- 3.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。

五、冷氣空調比較：

經網路及電話詢價後，假設一度電電費 3 元，以一般空調在 4~5 坪的空間，設定室溫 27℃，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 2-5 電費及總價效率比表

空調 \ 效率比	耗電量(瓦)	壓縮機使用率	電費	購買價	總價	效率比
定頻分離式空調	963	0.65	54983	24000	78983	588%
變頻分離式空調	651	0.65	37169	35500	72669	541%
地溫空調-工業扇	125*2=250		21960	9000	30960	230%
地溫空調-太陽扇	15*2=30	0.5(夜間用電)	2635	10800	13435	100%

由表 2-5 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 2-6 排碳量效率比表

空調 \ 效率比	耗電量(瓦)	壓縮機使用率	用電度數	排放 CO ² (kg)	效率比
定頻分離式空調	963	0.65	18328	16862	2087%
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(夜間用電)	878	808	100%

由表 2-6 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。

六、討論：

(一)依散熱管型之性質討論結果歸納如下：

1. 散熱管材質選定

金屬的熱傳導速率中以銀為最佳，但成本較高，因此本研究以熱傳導速率次之的銅和地球上最容易取得的鐵以及非鐵金屬的 PVC 所製成的銅管、鐵管和 PVC 管為研究對象。

2. 散熱管長度

本研究以兩種不同長度的散熱管，分別為 U 型 100 公分及 L 型 200 公分，以探討不同的表面積所降低溫度的效率比。

3. 不同材質之管型的彎曲形式

本研究最初以銅管及 PVC 管為研究對象，校內初賽結束後，為了更有效比較出不同材質的散熱效率，且銅價成本亦高，為求是否有替代之金屬，並加入鐵管進行研究實驗，因此未能事前考慮到鐵管的彎曲角度不能過小，僅能大角度彎曲，因此造成鐵管的彎曲形式與銅管及 PVC 管不同。

(二)依地質條件之性質討論結果歸納如下：

1.地質層選定

本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。

2.埋入地質深度

本研究為確認地表下溫度確實比氣溫恆定，特別至中央氣象局 台中氣象站申請地下五公尺之全年溫度，其溫度約恆溫於 24.6 27.2 ，故選取 5 公尺作為實驗之埋入深度。

3.地質條件之不可更變性

以實驗數據得知，地質對本系統之散熱效果影響不如管型及材質大，皆能達到相似之效果，如為大樓建物亦可使用地下筏式基礎之蓄水層，做為地熱(冷)源。

(三)依發熱熱源之性質討論結果歸納如下：

1.發熱熱源選定

本研究之基本實驗時，試選 25W、40W、100W 三種燈泡，為求發熱熱量差距較大，故選用 25W 及 100W。

2.實驗箱恆溫

為求得散熱管長度及熱源不斷發熱下能否平衡，將延長實驗時間，了解升溫曲線。

(四)其他之研究討論結果歸納如下：

1.實驗之事前準備

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。

2.實驗之模型

本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 結構之模型。

3.散熱管之散熱形式

本研究搜尋資料時，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；另外亦有案例將散熱管直接佈設環繞於外牆，希望後續亦能增加，並加以比較之。

4.研究季節

本研究經歷了冬、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。

參 結論

一、地熱空調對於室溫降低效果如何？

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。以地質條件區分，地熱空調可降溫約 15%~25%；以管型條件區分，地熱空調可降溫約 15%~26%。

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 及 100W 效率比為水質層(W) > 水+砂質層(WG) > 砂質層(G)。
2. 以長時間使用為水質層(W)為首選，若短時間使用則砂質層(G)作為考量。

(四) 各材質管型：

1. 鐵管 > PVC 管 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(工業扇) > 地熱空調(太陽扇)。
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。

肆 引註資料

- (一) 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。
- (二) 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。
- (三) 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
- (四) 採用地熱建築空調系統。取自 <http://www.j-tokkyo.com/2008/F24F/JP2008-076015.shtml>
- (五) 地熱空調。取自 http://www.fklab.fukui.fukui.jp/yk/snow-method/pip_air_con/pile-air-cont.htm
- (六) 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
- (七) 民 95 年 05 月 24 日《新聞中的科學》。聯合報
- (八) 劉克峰、林芳怡、蘇睿弼。A-RING。實構築 ing。P148-P151。2010 年 12 月。
- (九) 吳挺鋒。天下雜誌。368 期。天下雜誌。P.36。2011 年 3 月 23 日。
- (十) 林倖妃。天下雜誌。368 期。天下雜誌。P.102。2011 年 3 月 23 日。