

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030815

節能建築之水冷散熱系統設計與改進

學校名稱：屏東縣立崇文國民中學

作者： 國二 黃世宇 國二 詹雅淇 國二 石家華 國二 林思妤	指導老師： 吳明耀 杜濬光
---	-----------------------------

關鍵詞： 節能建築、鋼筋混凝土(RC)結構、水冷系統

作品名稱：節能建築之水冷散熱系統設計與改進

摘要

本研究的動機是來自於利用日夜溫差的現象，在夜間儲存冷卻水體，而於日間將低溫水送入建築結構裏的冷卻管路中，降低來自天花板和牆面的輻射熱。

本研究的目的是在於設計具備簡易溫度控制之水冷散熱系統，用於降低建築物的溫度。採用內含冷卻管之 1:10 比例的鋼筋混凝土(RC)結構房屋模型，模擬建築物外部和內部受熱後的各牆面溫度變化情況，並探討不同冷卻管路配置和冷卻劑的冷卻效果。

本研究主要的結論：(一)、視不同房間之需要，於各個受熱的地方，彈性配置冷卻管路，可以主動移除特定位置之熱量。(二)、含冷卻管之懸吊式鋁製天花板，可以有效阻隔並移除來自屋外和屋內的熱量。(三)、本研究之構想對能節能建築之設計，具有可行性和參考價值。

壹、研究動機

由日常生活的經驗得知，臺灣的夏天非常的炎熱，位於頂樓或受到日照的房間總是特別的悶熱，甚至半夜時牆壁摸起來仍是溫溫的，打開冷氣機雖然可以降溫，不過，可想而知，大部份的電費卻是用在冷卻房屋內部牆壁因日照時所累積的熱量，這是很沒有效率而耗費電能的。在國中一年級下學期的自然與生活科技課程的營建科技章節，老師提到了各式各樣的建築結構和綠建築的概念，並舉了日本 EPSON 公司新建節能建築的新聞為例，報導中提到該棟建築完全不採用冷氣和暖氣系統，而是利用夜間離峰電力將水冷卻(夏天)或加熱(冬天)，並於白天時透過循環系統將室內降溫或加溫。而在我們的生活的週遭也經常可以看到學校或房屋興建的案例，因此我們興起了一個念頭，想利用臺灣最豐富的再生能源--太陽能為能源，並嘗試利用白天和夜晚的氣溫差異，為房屋設計一套水冷散熱系統，將建築物吸收的熱量予以抽離，用以輔助冷氣機或電扇的運轉，以達降低溫度和節能之目的，過個舒適涼爽又省電的夏日生活。

貳、研究目的

- 一、製作模組化之 RC 結構房屋模型和冷卻系統。
- 二、探討受熱後不同材質天花板的溫度變化。
- 三、探討房屋外側受熱後不同冷卻管配置之效率差異。
- 四、探討室內受熱後冷卻系統之效率。
- 五、探討懸吊式鋁製天花板之冷卻效率。
- 六、探討不同冷卻劑之冷卻效率差異。

參、研究設備及器材

- 一、太陽能電池板 (單晶矽, 3V, 850mA, 工作溫度 25°C)
- 二、沉水馬達 (3V)
- 三、數位溫度計(熱對偶式, 解析度: 0.1°C, 精確度: 1°C, 取樣頻率: 3 秒 1 次)
- 四、溫度控制器套件(感溫範圍: -50°C~125°C, 精密度: ±1°C)
- 五、檯燈(60W 白熾燈泡, 室外熱源)
- 六、水泥砂漿(1:4)
- 七、鐵絲網(20 分)和鐵絲(2 分)
- 八、電源供應器(0~12V)
- 九、保麗龍板(25mm 厚)
- 十、紅銅管(外徑 6mm, 內徑 5mm, 厚度 1mm)
- 十一、鋁板(200mm x 200mm x 1mm)
- 十二、玻璃片 110 mm*110 mm、170 mm*170 mm
- 十三、鐵製空奶粉罐(1 公升)
- 十四、木質天花板
- 十五、白熾燈泡組(15W, 室內熱源)
- 十六、酒精(95%)

肆、研究過程及方法

一、研究方法

本研究採用 1:10 比例建置 RC 結構之房屋模型以進行各項測量和模擬實驗。房屋模型採用模組化設計, 視實驗之需要進行變更不同型態的組合。

東西兩側牆、樓板和鋁製天花板內均配置銅製冷卻管路, 構成房屋之三大主要冷卻位置。在南北兩側牆中設計特定面積之玻璃窗。屋外散熱裝置包含太陽能電池、沉水式馬達、冷卻劑、冷卻水塔、溫度控制器和螺形散熱管。簡易型溫度控制器, 可以模擬自動化溫度控制的功能。由於太陽能電池板和日照易受天候影響, 因此實驗數據的取得以電源供應器代替太陽能電池板, 採用白熾燈(檯燈)代替日照, 有利於控制實驗之操作條件。

二、研究流程

(一) 文獻探討

1. 根據中央氣象局資料顯示, 臺灣全年月均溫以七月份為最高。由民國 95 年七月屏東縣恆春氣象站全月氣溫資料統計後發現, 最高日均溫為 31.6°C, 最低日均溫為 26.3°C, 而日夜溫差平均值達 5.3°C, 如圖 1 所示。因此本研究初步研判, 若有效利用夜間儲存之低溫水體, 將可作為日間冷卻系統降溫之用。

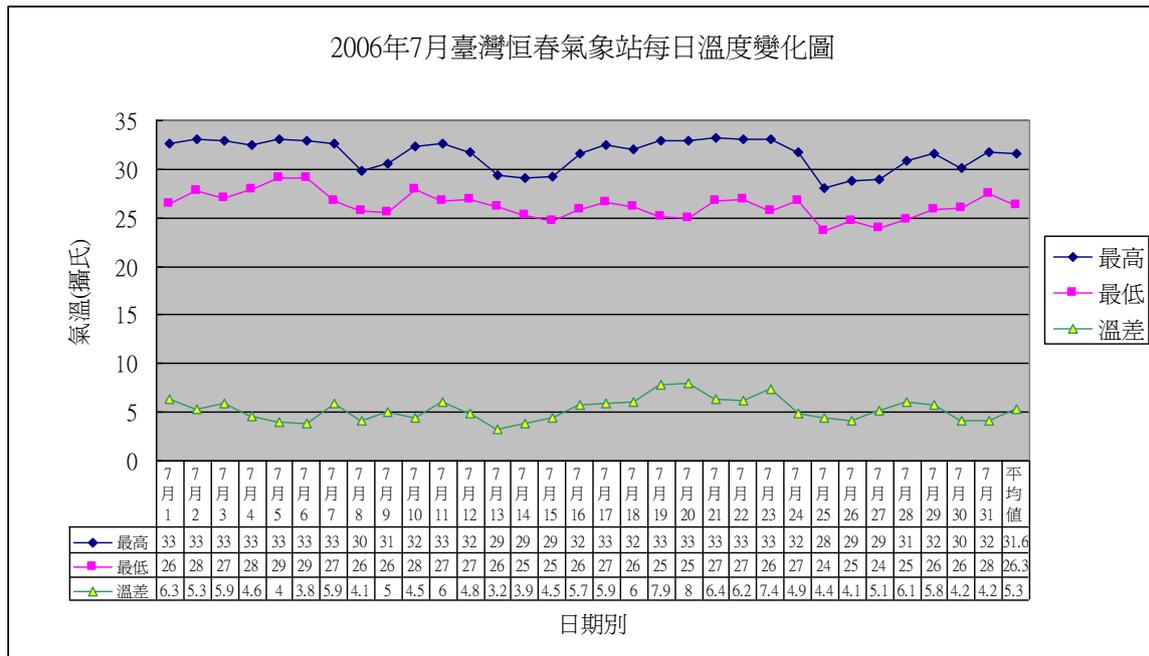


圖 1 2006 年 7 月份恆春氣象站每日溫度變化圖
(資料統計：本研究整理)

2. 依據建築與工程相關參考資料顯示，一般鋼筋混凝土(RC)結構物的施工過程，大致為基地整地→放樣→模板組立→鋼筋組立→水電配管→封模→灌漿→養護拆模→表面修飾 等步驟，本研究之模型製作大致參考上述之流程完成，為降低製作之難度和成本，採用保麗龍板代替木製模板，並以鐵絲代替鋼筋以加強模型結構的強度。
3. 表 1 是常見建築材料的導熱性，導熱係數越大者，導熱的速率越快。本實驗採用紅銅管為冷卻管路和散熱管，因為導熱性佳且質地較軟容易加工。天花板則採用重量輕和導熱性佳的鋁板，並與冷卻銅管結合。根據熱的傳播方式，當房屋外側受熱時，熱能首先將以傳導的方式進入房屋結構中，造成屋頂內側和牆內側溫度逐漸升高，接著熱能將以輻射的方式傳播進入室內，房屋內側溫度越高，產生的熱輻射量會更大。因此，本研究的將以降低房屋內側溫度為主要方向。

表 1 常見建築物質的導熱性

名稱	導熱係數 W/(m-K)
銅	385
鋁	205
矽玻璃(普通玻璃)	0.8
混凝土	0.8

(二) 建置房屋模型

房屋模型採用 RC 結構，使用預鑄方式先行完成骨架部份，再完成各個牆面和樓地板。依實驗的需要，可以為房屋模型配置不同之管路或不同面積的窗戶(玻璃片)的牆面。

1. 房屋骨架

(1)房屋尺寸長寬高均為 30 公分，樑柱寬度和厚度均為 2.5 公分。利用 2.5 公分厚之保麗龍板為模板，放樣後挖除應灌漿之部份，並配置二條以上之粗鐵絲，接著再進行灌漿等程序。

(2)施作順序先完成骨架上下兩個水平部份(樑)，再以鐵絲連結兩個水平部份。如下圖 2。

2. 牆與樓地板

本模型共有六面，其中四面為牆，樓板與地板各一面。規格長*寬*厚均為 25cm*25cm*2.5cm。製作過程如下圖 3。

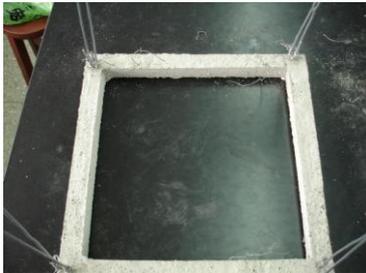


圖 2a 水平樑與垂直柱鐵絲



圖 2b 垂直柱施作(平置式)



圖 2c 垂直柱的濕布養護



圖 2d 第二次垂直柱施作



圖 2e 第二次垂直柱施作



圖 2f 骨架完成

(1)東側與西側牆在結構中放置冷卻銅管，牆的內側放置 25cm*25cm 鐵絲網，並使用細鐵絲與銅管緊密纏繞，利用鐵絲網的面積增強內側之冷卻效果。

(2)南側與北側向則開設玻璃製窗戶，可模擬陽光照射進入屋內。

(3)樓板在結構中放置冷卻銅管，地板則無設置冷卻管路。樓板另行設計內置銅管之鋁製天花板，尺寸為 20cm*20cm(長*寬)。

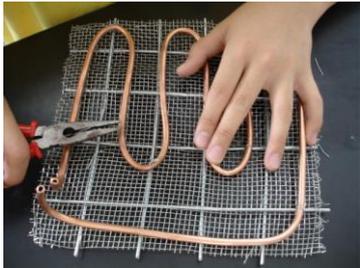


圖 3a 固定散熱管路



圖 3b 散熱管路置入模板中



圖 3c 牆/樓板完成圖

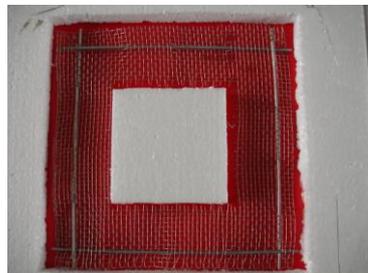


圖 3d 窗戶結構配置



圖 3e 窗戶結構灌漿



圖 3f 嵌入玻璃之牆面

(三) 建置室外散熱裝置

1. 由太陽能電池、沉水馬達、室外水塔、螺形散熱管、塑膠管路和溫度控制器等六個部份組成如圖 4。
2. 太陽能電池模組單晶矽在正常發電狀態及 25°C 環境下，其輸出電壓和電流可達 3V 800mA(開路狀態)，提供的電力用以驅動 3V 直流沉水馬達。
3. 室外水塔容量約 1 公升，為主要散熱點，因為冷卻管路的進入導致水溫上升，可利用日夜溫差、住戶抽取地下水或自來水補充、對流或熱輻射等方式加以冷卻。
4. 螺形散熱管由彎曲的 100cm 的銅管(外徑 6mm 內徑 5mm)，彎製成兩層螺線形，以利置入水塔中，並增加在水中的散熱面積和效率。
5. 溫度控制器連結開關盒，可依設定溫度自動啟動或關閉沉水馬達。開關盒具備連結電源供應器和太陽能電池的切換開關，並提供手動和自動啟動的三段式開關。



圖 4a 溫度控制器及開關盒



圖 4b 水塔與螺形散熱管

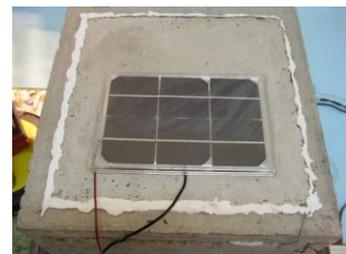


圖 4c 太陽能電池板

(四) 懸吊式鋁製天花板

1. 本研究所設計之鋁製天花板由一片 200 mm*200 mm*1mm(長*寬*厚)鋁板，並以鉚釘和銅製夾具，將管徑 4.8mm 總長度為 80 cm的銅管與鋁板緊密固定，並以長螺絲吊掛在樓板下方。其製作過程如圖 5 所示。



圖 5a 在鋁板上標定與鑽孔



圖 5b 鐵質鉚釘



圖 5c 自製銅管夾具

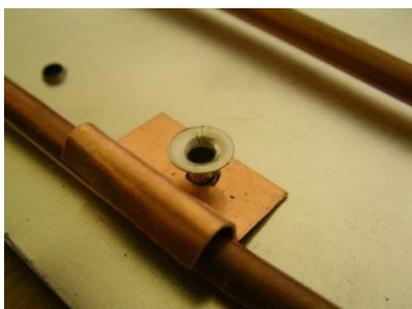


圖 5d 銅管固定



圖 5e 完成圖(背面)



圖 5e 完成圖(正面)

(五) 系統運轉測試方式

1. 房屋模型採用密閉方式，避免空氣進出影響溫度的變化。
2. 距屋頂 10 公分處以白熾燈照射屋頂，當屋頂內側溫度達 30°C 之設定溫度時，記錄各溫度計之初始溫度，並以手動或自動方式啓動系統運轉，每五分鐘記錄一次溫度，直到 30 分鐘。若測試內部熱源時，則不需達到設定溫度，即可啓動系統。
3. 每次運轉測試需間隔一段時間，以確保房屋模型、水池及管路冷卻至平衡狀態。

伍、研究結果與分析

一、房屋模型及各式組件



圖 6a 房屋模型骨架



圖 6b 房屋模型組裝



圖 6c 嵌頂式鋁製天花板(與樓板結合)



圖 6d 嵌頂式鋁製天花板完成圖



圖 6e 房屋內部配管與溫度計探針



圖 6f 房屋全部組件展開圖



圖 6g 系統運轉測試圖

- 太陽能電池
- 模擬日照
- 水塔(池)
- 沉水馬達(幫浦)
- 管路
- 電源供應器
- 溫度計
- 溫度控制器及開關盒

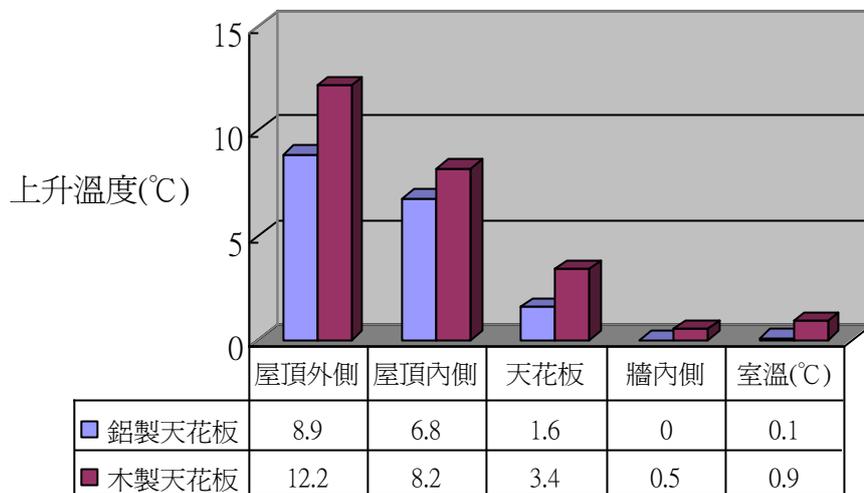
二、探討受熱後不同材質天花板的溫度變化

表 2a 垂直照射屋頂外牆之溫度變化(天花板：鋁製 冷卻系統：未使用)

照光時間(分鐘)	屋頂外側(°C)	屋頂內側(°C)	天花板(°C)	牆內側(°C)	室溫(°C)
0	30.4	30.3	28.9	28.9	29.4
5	33.5	31.4	29.2	28.9	29.4
10	35.7	32.6	29.4	28.9	29.7
15	36.9	34.2	29.4	28.5	29.0
20	37.6	35.2	30.3	28.6	29.4
25	38.3	36.1	30.4	28.6	29.8
30	39.3	37.1	30.5	28.9	29.5
上升溫度	8.9	6.8	1.6	0.0	0.1

表 2b 垂直照射屋頂外牆之溫度變化(天花板：木製 冷卻系統：未使用)

照光時間(分鐘)	屋頂外側(°C)	屋頂內側(°C)	天花板(°C)	牆內側(°C)	室溫(°C)
0	30.8	30.9	30.8	31.3	30.6
5	35.6	32.6	30.9	31.1	31.4
10	38.8	34.8	31.8	31.4	31.3
15	40.8	36.4	32.2	31.3	31.4
20	41.8	37.3	32.8	31.4	31.1
25	42.7	38.4	33.4	31.0	31.3
30	43.0	39.1	34.2	31.8	31.5
上升溫度	12.2	8.2	3.4	0.5	0.9



不同材質天花板及位置

圖 7 不同材質天花板的溫度變化綜合分析圖

綜合分析：

- 1.由圖七的「屋頂內側」和「天花板」上升溫度之差異可知，設置天花板能有效阻隔來自室外的熱量。
- 2.鋁製天花板受熱後溫度僅上升 1.6°C，而木製天花板溫度上升 3.4°C，可能原因是鋁板表面容易反射由屋頂傳入的輻射熱。

三、探討房屋外側受熱後，不同冷卻管配置之效率差異

表 3a 冷卻系統的冷卻效率 1

(冷卻劑：水； 冷卻管路：屋頂 牆管 鋁製天花板)

照光時間(分鐘)	水塔(°C)	屋頂外側(°C)	屋頂內側(°C)	鋁製天花板(°C)	牆內側(°C)	室溫(°C)
0	27.9	31.1	30.0	29.6	29.6	30.3
5	28.0	33.8	30.2	29.5	29.8	30.4
10	28.9	34.1	30.9	29.8	29.7	30.1
15	29.3	35.0	31.3	29.4	29.7	30.4
20	29.5	35.2	31.3	29.3	30.0	30.2
25	30.1	35.3	31.6	30.1	30.2	30.6
30	30.1	35.9	31.5	30.1	30.4	30.9
上升溫度	2.2	4.8	1.5	0.5	0.8	0.6

結果分析：

增加屋頂管路時，屋頂內外側溫度上升較緩和，但代價卻是水塔水溫上升幅度很大；因此，長時間而言，吸收屋頂外側熱量將會犧牲系統的效益。

表 3b 冷卻系統的冷卻效率 2

(冷卻劑：水； 冷卻管路：屋頂 牆管 鋁製天花板)

照光時間(分鐘)	水塔(°C)	屋頂外側(°C)	屋頂內側(°C)	鋁製天花板(°C)	牆內側(°C)	室溫(°C)
0	26.6	32.1	30.0	27.2	28.0	28.7
5	26.9	33.0	31.4	26.7	28.1	28.5
10	26.6	34.0	31.8	26.5	28.3	28.4
15	26.8	35.5	33.1	26.8	28.0	28.9
20	26.6	36.7	33.8	26.7	28.0	28.8
25	26.9	37.3	35.4	26.6	27.9	28.9
30	26.8	37.9	35.6	26.9	28.0	28.6
上升溫度	0.2	5.8	5.6	-0.3	0.0	-0.1

結果分析：

1. 僅使用天花板冷卻管路時，可在天花板位置產生較低的溫度，甚至天花板溫度幾乎與水塔水溫相同，而且水塔水溫上升幅度很小。
2. 屋頂外側與鋁製天花板的溫差最高可達約 11°C。

表 3c 冷卻系統的冷卻效率 3

(冷卻劑：水； 冷卻管路：屋頂 牆管 鋁製天花板)

照光時間(分鐘)	水塔(°C)	屋頂外側(°C)	屋頂內側(°C)	鋁製天花板(°C)	牆內側(°C)	室溫(°C)
0	27.8	33.3	30.9	28.0	28.9	29.3
5	28.0	35.4	32.0	28.1	28.6	29.5
10	28.4	36.3	33.4	28.4	28.9	29.6
15	28.2	36.9	34.9	28.1	28.9	29.8
20	28.4	37.9	35.9	28.3	28.5	29.1
25	28.0	38.6	36.1	28.0	28.7	29.4
30	28.3	39.9	36.7	28.3	28.9	29.7
上升溫度	0.5	6.6	5.8	0.3	0.0	0.4

結果分析：

1. 在天花板位置和牆內側產生較低的溫度，而且天花板溫度幾乎與水塔水溫相同。
2. 各個位置的溫度上升幅度均略高於表 3b。
3. 屋頂外側與鋁製天花板的溫差最高可達約 11°C。

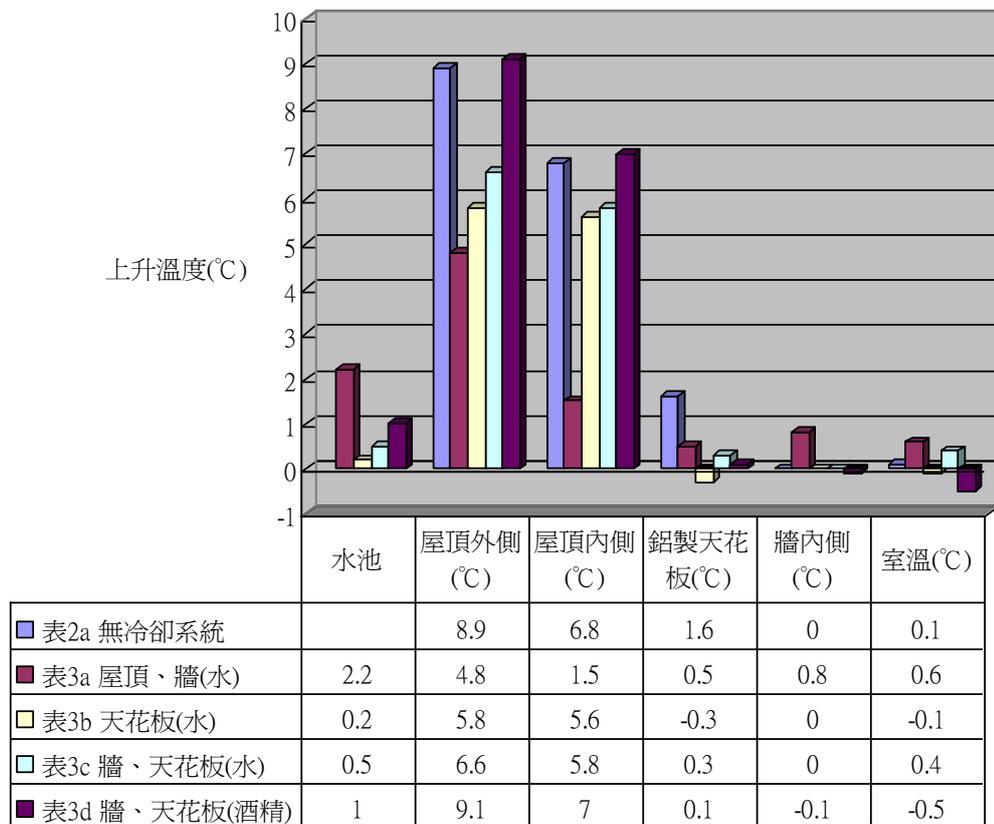
表 3d 冷卻系統的冷卻率 4

(冷卻劑：酒精； 冷卻管路：屋頂 牆管 鋁製天花板)

照光時間(分鐘)	水塔(°C)	屋頂外側(°C)	屋頂內側(°C)	鋁製天花板(°C)	牆內側(°C)	室溫(°C)
0	27.9	31.3	30.0	28.8	29.4	29.9
5	28.3	33.9	31.4	28.0	28.9	29.2
10	28.3	35.6	32.8	28.1	28.7	29.9
15	28.3	37.4	34.8	28.4	28.7	29.3
20	28.2	38.0	35.6	28.3	28.8	29.8
25	28.6	38.7	36.6	28.6	29.0	29.1
30	28.9	40.4	37.0	28.9	29.3	29.4
上升溫度	1.0	9.1	7.0	0.1	-0.1	-0.5

結果分析：

1. 採用酒精為冷卻劑，屋頂內外側溫度上升幅度都較為明顯，水塔水溫上升亦高。
2. 在天花板、牆內側和室溫等項目的冷卻效果較明顯。



不同的冷卻管路配置

圖 8 不同冷卻管配置之效率差異綜合分析圖

綜合分析：

1. 由表 3a 可知，屋頂內側溫度上升是最少的，但是由於吸收較多屋頂外側熱量，造成水塔溫度上升是最高的，若無較大冷卻水塔，預期將不利於長時間使用。
2. 表 3b 的冷卻效果略優於表 3c，前者適用於僅屋頂受熱之房間，後者則適用於屋頂及牆面均受日照之房間。前者較有利於長時間使用，因為水塔升溫較緩慢。此二種配管方式可視房間狀況選擇。
3. 由表 3d 可知，各處位置的溫度變化均較為明顯，應是受酒精低比熱特性影響。
4. 因為模擬的狀況為密閉房屋，在室內空氣溫度方面均無明顯的變化，可以得知空氣的流通對於屋內空氣溫度應該有重大的影響。

四、探討室內受熱後冷卻系統之效率

表 4a 室內受熱之溫度變化(未使用冷卻系統)

照光時間(分鐘)	鋁製天花板(°C)	牆內側(°C)	室溫(°C)
0	23.6	24.4	24.5
5	26.2	25.6	27.3
10	26.8	26.3	27.8
15	27.6	26.4	28.0
20	28.3	26.5	28.4
25	28.7	26.9	28.1
30	28.7	27.2	28.4
上升溫度	5.1	2.8	3.9

表 4b 室內受熱之溫度變化(使用冷卻系統)

(冷卻劑：水； 冷卻管路： 屋頂 牆管 鋁製天花板)

照光時間(分鐘)	鋁製天花板(°C)	牆內側(°C)	室溫(°C)	水塔(°C)
0	27.4	27.3	27.8	26.8
5	28.8	28.4	30.2	26.8
10	30.3	28.3	30.3	26.5
15	30.6	28.0	30.4	26.6
20	30.6	28.3	30.0	26.9
25	31.4	28.1	30.5	27.1
30	31.4	28.3	30.6	27.3
上升溫度	4.0	1.0	2.7	0.5

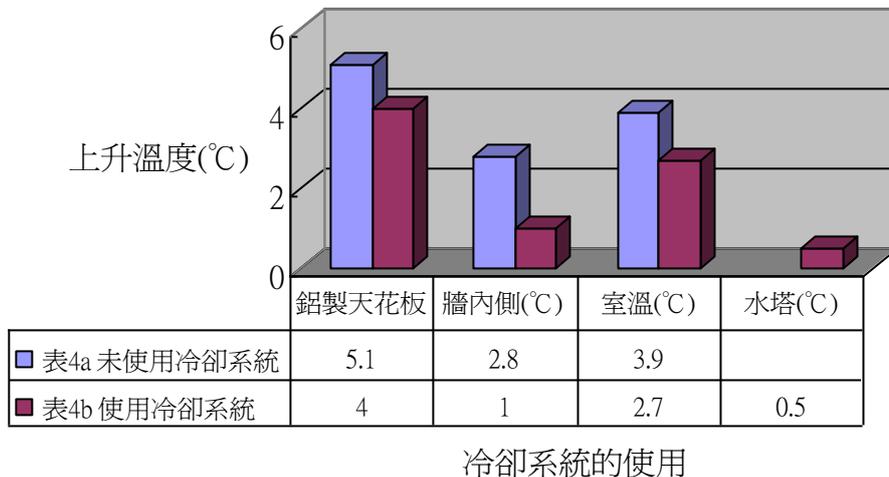


圖 9 室內受熱時冷卻系統之效率綜合分析圖

綜合分析：

1. 由表 4a 和 4b 數據得知，雖然溫度上升皆明顯，但仍可以清楚觀察到使用冷卻系統溫度上升較少，由此可知，此套水冷系統可有效將來自室內的熱量帶走。

五、探討懸吊式鋁製天花板之冷卻效率

1. 以「天花板的末溫」和「天花板上升溫度」來代表冷卻效率，由數據發現，僅啟動鋁製天花板管路時(表 3b)表現最佳，甚至與水池具有相同溫度(低溫)；無冷卻管路(表 2a)時表現最差。
2. 以「與屋頂內側的溫差」來約略代表天花板的阻隔熱量的效果，以酒精為冷卻劑(表 3d)時產生的表現較佳，約為 7°C。

六、探討不同冷劑之冷卻效率

由圖 7 可明顯看出，冷卻劑採用低比熱的酒精，冷卻效率較高，放熱或吸熱的速率上比採用水來得快，連室溫都有些微的下降傾向；由數據顯示水塔溫度升溫比水快，反而造成屋頂內外側升溫最高。

陸、問題討論

- 一、本系統中的散熱水體為影響降溫的重要因素之一，採用現有的屋頂水塔並在內部增設螺形散熱管，本研究認為將是具有以下三個優點：(1)因為頂樓房屋經常是日晒較嚴重，屋頂水塔的管路是最近的，可因此採用較低功率的馬達。(2)大部份房屋並未有地面水池，但卻幾乎都有屋頂水塔，可以節省設置成本。(3)在最佳狀態下，屋頂水塔將因為用戶持續用水，而得到較低溫的地下水或自來水補充。可能的缺點則有兩點：(1)在日晒下水塔有可能升溫。(2)可能因用戶用水而使水位下降。上述兩個缺點應該可以透過適當的溫度偵測、調整水位浮球和加裝水塔防晒裝置而獲得解決。綜合上述的討論，散熱水體的選擇可以因地制宜，儘量選擇溫度低和與目標房間較近者，若僅針對頂樓房間則採用大型的屋頂水塔應該是較佳選擇。
- 二、在屋頂水塔冷卻管材質方面，於實驗過程中發現水塔內水質容易受銅管生銹影響，因此在水塔內之冷卻管路材質應改用不銹鋼製或其他具備防銹能力的金屬管為宜。
- 三、因為採用屋頂飲用水塔冷卻，對於冷卻劑的採用則有安全上之考量。低比熱冷卻劑的效率較佳，但滲漏時則會影響飲用水，因此為了便利性和安全性，採用水為冷卻劑為宜。
- 四、採用保麗龍為模板，雖然較便宜和容易加工，但卻容易造成模型的變型，增加後續表面修飾和組裝的處理的麻煩，因此若採用薄木板和木條，對於模型的尺寸將較準確。
- 五、懸吊式天花板的材質經過討論，使用鋁製天花板與木製天花板雖都有隔熱之效果，但採用鋁金屬材質，質地輕導熱快，有利於移除來自房間上方和下方的熱量，仍是較佳之選擇。

柒、結論

本研究採用 1:10 的 RC 結構房屋模型，用以研究和模擬建築物受太陽照射後的溫度變化情況，並進一步提出可行的水冷散熱系統。本研究有以下三個主要的結論：(一)、在房屋結構內依視不同房間之需要，於各個受熱的地方，彈性配置冷卻管路，可以主動移除特定位置之熱量。(二)、含冷卻管之懸吊式鋁製天花板，可以有效阻隔並移除來自屋外和屋內的熱量，屋頂外側和屋內天花板之間，最佳可達十幾度以上的溫差。(三)、本研究之構想對能節能建築之設計，具有可行性和參考價值。

綜合上述的結論，我們在此提出節能建築的改進方式和建議。(一)、在實際應用層用上，本研究提出在 RC 結構中加上冷卻管路的設計和構想，必須融入在房屋規畫設計和興建的過程之中；若是現有的建築物和房間，仍可採用增設含冷卻管路之懸吊式天花板的方案。(二)、利用日夜溫差，儲在夜間低溫水，用於日間的冷卻。若是白天低溫水有些許上升，仍可以因家庭用水時而得到較低溫的地下水或自來水。(三)採用自動化溫度控制功能和設計，可以視溫度變化啟動相關的冷卻系統。(四)、採用屋頂水塔，預期將可以縮短管路長度，採用較低功率的幫浦即可推動冷卻水流，有利於採用較低發電容量的太陽能電池為電源。(五)、冷卻管路主要用於降低牆面和天花板溫度上升速率，減少輻射的熱量，可降低其他冷卻裝置(冷氣或電扇)的運轉時間並可以有效節省電費。

本冷卻散熱系統在模擬狀況下進行測試，提供不少節能建築的設計上可行的方向，但是在實際狀況下，相信仍需要更週延地考量更多的可能因素。未來努力方向，將進一步利用溫度控制套件和房屋模型，思考並探索房屋整體自動化溫度控制的可行性。

捌、參考資料

- 一、林金面，土木施工學，文笙書局，民 85。
- 二、中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw>，民 96。
- 三、營建科技，自然與生活科技第二冊第七章，南一書局，民 95。
- 四、冷暖天地，自然與生活科技第三冊第四章，南一書局，民 96。
- 五、呂以寧、張文男譯，Edward Allen 原著，建築構造的基本原則—材料和工法，第三版，六合出版社，民 90。
- 六、混凝土施工規範，中國土木工程學會，民 95。
- 七、國科會，電池資訊網，<http://www.nsc.gov.tw/dept/acro/version01/battery/index.html>，2000。

【評語】 030815

該作品在於設計建築物簡易溫控之水冷散熱系統，頗具科學觀察能力。未來在水塔冷卻、實際應用與講解演練上應有改善的空間。