

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第一名

080805

「囟」破「風」鎖線

—學校斜屋頂排熱效能之探究

學校名稱：新北市泰山區同榮國民小學

作者： 小六 王 晴 小六 許書瑄 小六 吳培熏 小六 孫煒勛	指導老師： 邱月良 姜文斌
---	-------------------------

關鍵詞：煙囪效應、斜屋頂、綠建築

得獎感言

從挫敗中追尋科學研究的成功經驗

科展，對我來說不陌生，畢竟這不是我第一次參加。還記得第一次參加時，因為剛升上國小五年級，還不習慣如此繁重的課業壓力，更怕做錯實驗步驟，惹得同儕哄堂大笑。因此，膽小的我們選擇將該做的實驗或記錄，像打太極一般，推來推去，也因此喪失了許多寶貴的經驗，更與通往全國科展的道路失之交臂，讓我們感到十分惋惜。

「失敗為成功之母」，有了第一次失敗的經驗，在第二次參展時，我們漸漸學到「共同處理」及「分工合作」，讓我們能夠更精確快速的做完實驗及記錄。此外在「分工」的過程中，不只要「公平」，更要能「適材適用」、「截長補短」，才可以讓大家做得快速又愉快。

此次參加全國科展巧遇颱風來攪局，雖然少了科展之旅，但因此多了一天的時間練習，做更充分的準備。在比賽前，老師把我們的缺點一一提出及修正，並給予我們極大的信心與鼓勵。初審時，我們看著評審個個專注的聆聽各組的報告，輪到我們報告時心裡有些緊張，但還是表現出一副胸有成竹、自信滿滿的樣子，回答評審所有提問。

在複審時，因為評審並不是一組組審查，而是需要作者主動去邀請評審，若是錯失了機會，很快就成了遺珠之憾。正因為如此，我們更珍惜每次報告以及和評審討論的機會，才能擊敗眾多強勁的對手，拿下期盼已久的榜首。正因為如此，在頒獎典禮上，當司儀宣布我們得到第一名時，大家都高興得跳起來歡呼。然而這一切都要謝謝老師不辭辛苦的指導我們，也要謝謝支持與鼓勵我們的爸媽，更要感謝一同努力付出的夥伴們。

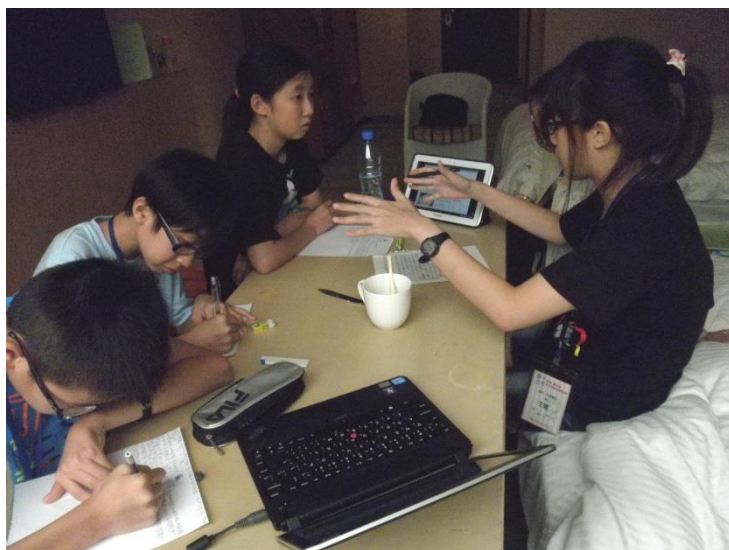
經歷以上的種種，我們學會了很多，像是分工、適才等等，都讓我們收穫良多，更讓我們有更多的經驗及知識，以迎接未來的各項挑戰。



在展覽作品前大家信心滿滿，準備接受來賓們的提問。



利用參展空檔時間，參加科教館舉辦的科普探索活動。



颱風天裡，大家窩在飯店一同討論與構思複審解說內容。

『窗』破『風』鎖線----學校斜屋頂排熱效能之探究

摘要

學校為了解決屋頂伸縮縫漏水問題，在前棟建築頂樓及原空中花園位置修建了斜屋頂。斜屋頂完成後，雖然我們有了美觀的建築，但炙熱的陽光照射在黑色的塑鋼屋頂，在屋頂下形成悶熱的空氣並封鎖住了，設置的通風口卻因位置過低無法發揮功能。這悶熱的空氣最後由較高的連接後棟的通道流向鄰近的教室(B405)及上、下樓層的樓梯間並停滯，形成此三處的溫度遠高於他處。在模型屋頂上設置煙囪式或聖誕樹形屋頂可有效導出熱空氣，因熱空氣上升的煙囪效應自然排出熱氣，使學校增添零污染節能的綠建築。

壹、研究動機

為了讓我們能有優質的學習環境，更舒適的上課場所，學校在原是開闊的空中花園加蓋了斜屋頂，其目的是為了改善前後棟伸縮縫的滲水問題。屋頂蓋好了，我們增加了一個室內的遊戲場所，在後棟上課時，下課再也不必特地跑到操場遊戲，也不怕下雨淋濕或受太陽直曬；在建築完成後，不但能有效防止之前屢屢發生的淹水和漏水問題，還能使較下面的樓層保持乾爽涼快。但是，建築完成一段時間後，斜屋頂有音量擴大和採光較差的問題漸浮現，天氣晴朗炎熱時，斜屋頂周遭的教室和樓梯間的溫度均高於其他教室。因為後棟學習區是我們重要的學習場所，所以這溫度問題也影響我們的上課情形。在五年級時學習『熱傳播方式』時，我們知道熱空氣會上升、冷空氣下降形成對流現象，在這次的探究活動，希望能透過進行各項實驗並深入討論探究的方法，能提出改善的有效方法，讓在校的學弟妹有優質的學習環境，能更專注於課業學習。

貳、研究目的

一、學校斜屋頂完成後，對周遭環境的影響

二、斜屋頂下熱空氣的流向探究

三、斜屋頂的熱氣流導流實驗及裝置設計

參、研究器材及設備

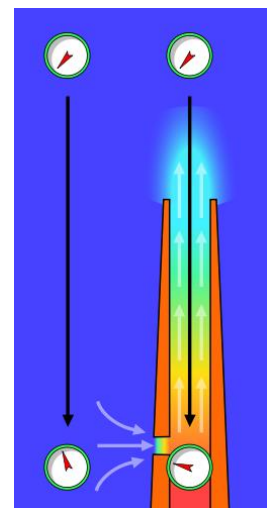
電子式溫度計、熱熔槍、吸管、木條、密集板、指北針、分貝計、捲尺、鬧鐘、香塔、鋁箔紙、碼錶

肆、研究方法及過程

一、專有名詞

(一) 煙囪效應 (Stack effect)

是指室內空氣沿著有垂直坡度的空間向上昇或下降，造成空氣加強對流的現象。最常見的煙囪效應是火爐、鍋爐運作時，產生的熱空氣隨著煙囪向上昇，在煙囪的頂部離開。因為煙囪中的熱空氣散溢而造成的氣流，將戶外的空氣抽入填補，令火爐的火更猛烈。煙囪效應亦可以是逆向的。當室內的溫度較戶外為低（例如在夏季時使用空氣調節），氣流可以在煙囪內向下流動，將戶外空氣從煙囪抽入室內。煙囪效應的強度與煙囪的高度，室內及戶外溫度差距，和室內空氣流通的程度有關。



(二) 綠(能)建築 (Green Building)

是指實踐了提高建築物所使用資源（能量、水、及材料）的效率，同時減低建築對人體健康與環境的影響，從更好的選址、設計、建設、操作、維修及拆除，為

整個完整的建築生命週期。相近觀念為自然建築 (Natural Building)，是指正常用於較小的比例，並偏向集中於使用當地所可取用的材料。其他常見的用詞包括了永續設計 (Sustainable design) 及綠色建築物 (Green architecture)。現代的綠色建築已經不止單純的建築，也包括建築材料以及建築方式等。

(三)斜屋頂

屋頂是建築物之最上層樓版的構造，其作用為防止日曬雨淋、隔熱避寒等。斜屋頂為斜面坡度造型外觀的主要詮釋構造稱呼，是坡度一般大於 10% 的屋頂，此坡度設計有其洩水、雪等機能。在建築中應用較廣，主要有單坡式、雙坡式、四坡式和折腰式。

二、學校斜屋頂完成後，對周遭環境的影響

(一)問卷調查

為了瞭解學校的同學及師長們對於 102 年 6 月才新建成之斜屋頂建築，經過 3 個月使用的體驗結果及想法，我們設計了一份調查問卷(問卷詳如附件 1)。

【問卷統計分析結果統計】

身分別	性別			哪裡比較熱				斜屋頂完成後											
	男	女	合計	後棟教室		前棟教室		變熱		沒感覺		變涼		美觀了		沒感覺		不美觀	
老師	3	21	24	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
學生	343	309	652	239	220	86	91	72	106	89	94	156	106	198	143	91	123	50	41
總計	676			459		177		178		183		284		340		214		91	
未作答	4			40				35						35					

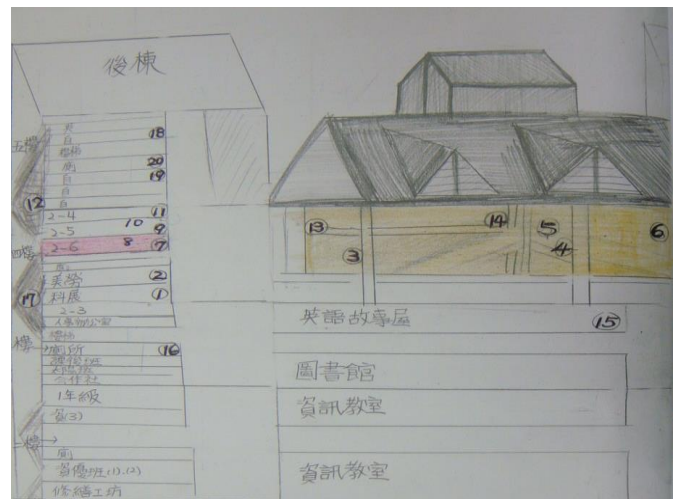
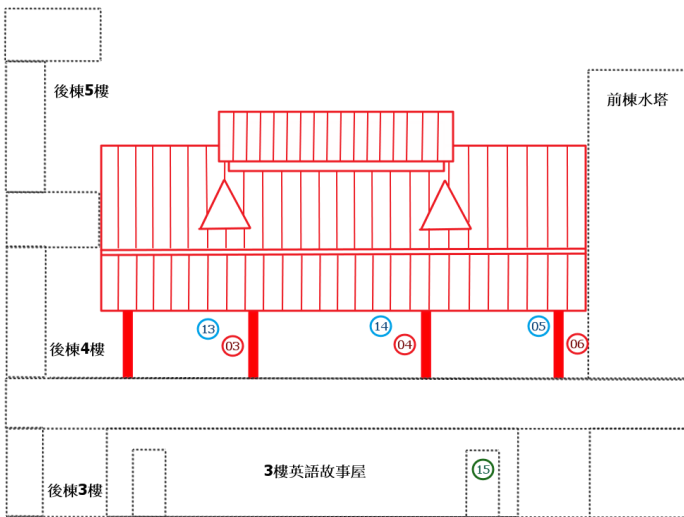
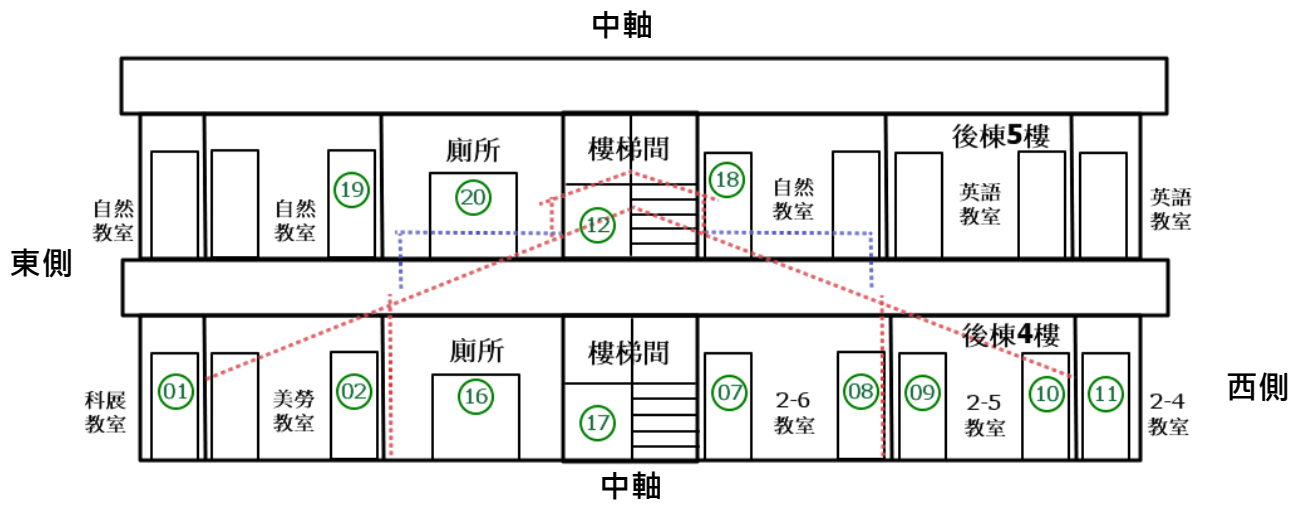
(二)環境溫度記錄

1. 設置溫度記錄站

在斜屋頂內、外、上、下周圍我們共設置了 20 個溫度觀測紀錄點，每天 10:10、12:30 及 15:00 記錄溫度 3 次，共紀錄 45 天(10~12 月)



◎各測溫點分布位置如下圖：

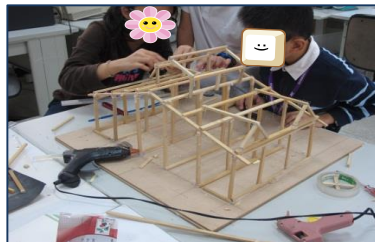


◎各測溫點環境特性說明：(如附件 2)

(三)斜屋頂下熱空氣的流向

1. 製作斜屋頂模型屋

為了清楚了解斜屋頂下冷、熱空氣流動方向，我們依據斜屋頂的實際長、寬、高縮小 64 倍，製作一個 1/64 比例模型屋。



建築(製作)規格	長	寬	高
建築(製作)項目			
斜屋頂實體建築(m)	18	32	9
製作模型屋(cm)	30	50	18.75

斜屋頂上小閣樓



2. 空氣流動實驗

(1) 斜屋頂下

斜屋頂空氣通道設置白色細繩，觀察記錄白色細繩飄動方向。



觀察記錄 日期及時間	氣溫		風向	風力	白色細繩飄動方向			
	室內	室外			斜屋頂 東側	斜屋頂連接 後棟走廊	斜屋頂中 坡道上方	斜屋頂西 側
103.2.6AM9:00	18°C	17°C	西	輕風	靜止垂下	靜止垂下	靜止垂下	靜止垂下



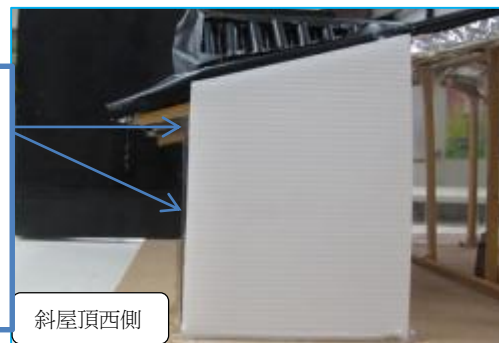
觀察記錄 日期及時間	氣溫		風向	風力	白色細繩飄動方向			
	室內	室外			斜屋頂 東側	斜屋頂連接 後棟走廊	斜屋頂中 坡道上方	斜屋頂西 側
103.2.17PM1:10	27°C	26°C	西	和風	靜止 垂下	南	南	東方

(2). 模型屋

在模型屋內放置三個點燃的香塔，觀察記錄香塔的煙流動方向。



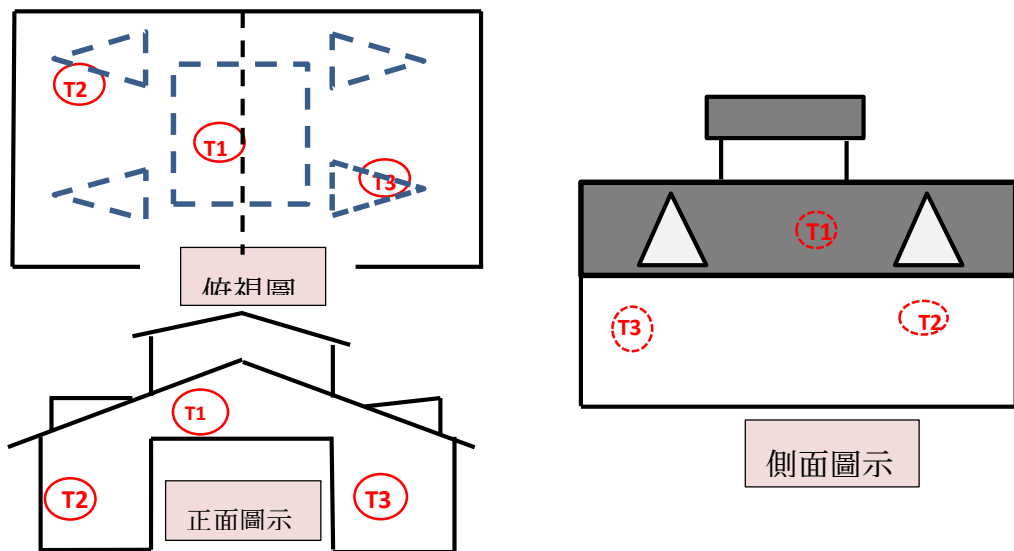
此處均有空隙設



三、熱氣流導流實驗及裝置設計

經空氣流動方向觀察記錄，我們發現：斜屋頂下的熱空氣沒有向上或由兩側的空隙流出，而是經由開口向後棟流動，以致發生觀測點 7 及 17 溫度偏高的現象。如何將熱空氣導向上方流動逸去，而冷空氣能由下方進入斜屋頂，以改善斜屋頂下悶熱的情況，是我們想做的。

首先我們在模型屋內設置三處測溫點，測試模型屋頂受熱時，屋內溫度上升分布情形。



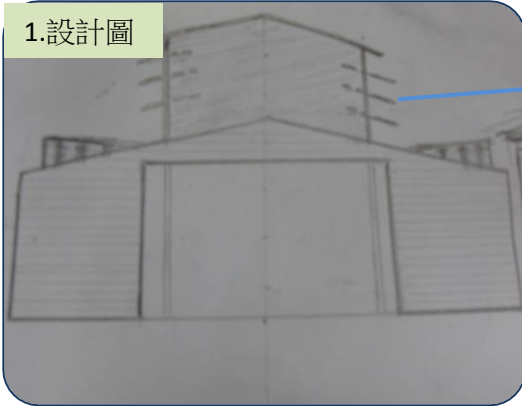
【閣樓式屋頂溫度記錄】

測溫點	鹵素燈照射			測溫點	鹵素燈關閉		
	T1	T2	T3		T1	T2	T3
t0	28.6	28.5	28.5	t0	31.5	30.3	30.5
t5	30.1	29.5	29.8	t5	31.2	30.1	30.3
t10	30.3	29.5	29.8	t10	31	30	30.1
t15	30.5	29.5	29.8	t15	30.8	29.6	29.8
t20	30.8	29.7	29.9	t20	30.3	29.5	29.6
t25	30.9	29.8	30.1	t25	29.9	29.3	29.5
t30	31	29.9	30.1	t30	29.5	29.2	29.3
t35	31.1	29.9	30.1	t35	29.4	29.2	29.3
t40	30.9	29.8	30.1	t40	29.4	29.2	29.3
t45	31	29.9	30.2	t45	29.4	29.2	29.2
t50	30.9	29.8	30.1	t50	29.3	29.2	29.2
t55	31.1	29.9	30.2	t55	29.3	29.2	29.2
t60	31.2	30.1	30.3	t60	29.3	29.2	29.2
t65	31.5	30.3	30.5	t65	29.4	29.2	29.2

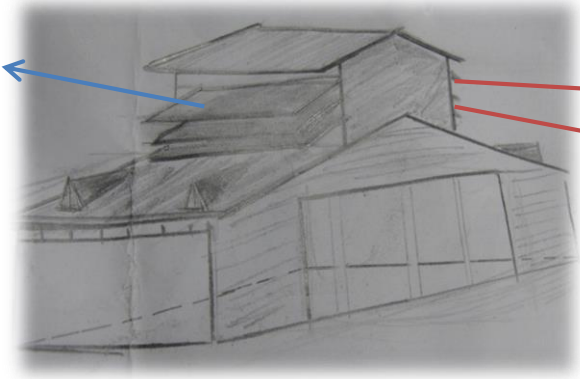
t70	31.5	30.3	30.5	t70	29.3	29.2	29.2
溫差	2.9	1.8	2	溫差	2.2	1.1	1.3

(一)熱氣流導流屋頂設計

裝置設計 1--聖誕樹型屋頂

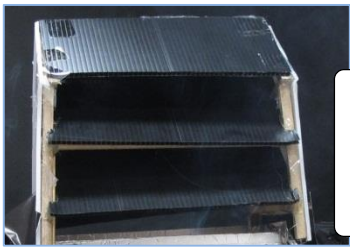


斜板設計防止雨水

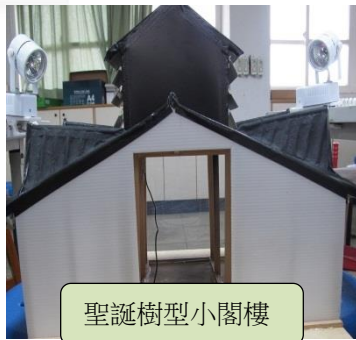


中空設計，讓熱氣可以飄流出去。

2.完成作品



閣樓東側窗

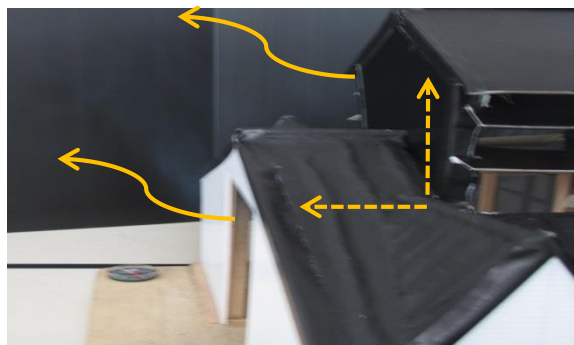
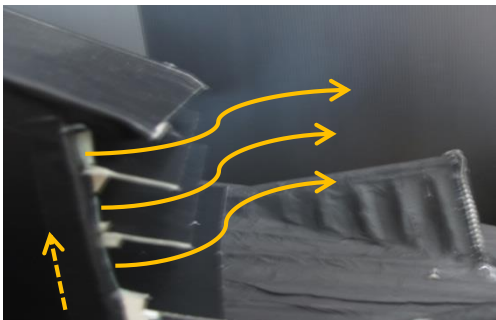


聖誕樹型小閣樓



閣樓西側窗

3.熱煙流向測試



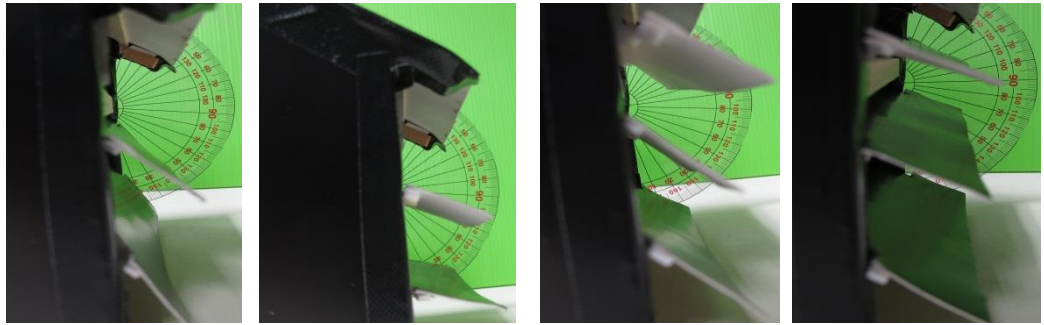
建築通氣空隙	小閣樓東側窗	東側縫	連接後棟出口	小閣樓西側窗	西側縫
熱煙流動情形	有	無	上方有	有	無

4.聖誕樹型屋頂變化

為能更深入了解聖誕樹型屋頂的隔板數及隔板角設計對熱氣流排出效能影響，我們

分別改變隔板的數量及隔板設置的角度，形成了以下四種聖誕樹型屋頂組合作測試。

屋頂型式 變化設計	聖誕樹型(1)	聖誕樹型(2)	聖誕樹型(3)	聖誕樹型(4)
斜隔板數	2	2	3	3
斜隔板角度	30°	60°	30°	60°



5.各樹型屋頂溫度記錄

模型屋內溫度記錄【聖誕樹型(1)屋頂】									
隔板數:2		隔板角度:30°			室溫:25~25.5°C				
鹵素燈照射	測溫點	T1	T2	T3	鹵素燈關閉	測溫點	T1	T2	T3
	t0	25.2	25.1	25.1		t0	28.2	27.5	28.3
	t5	25.5	25.2	25.5		t5	27.9	27.3	27.5
	t10	26.2	25.7	26.1		t10	27.6	27.2	27.2
	t15	26.8	26.1	26.5		t15	27.3	27	27.1
	t20	27.1	26.3	26.9		t20	27.2	26.9	26.9
	t25	27.3	26.6	27.1		t25	27.1	26.8	26.8
	t30	27.6	26.8	27.3		t30	26.9	26.7	26.7
	t35	27.8	27	27.7		t35	26.9	26.6	26.7
	t40	27.8	27.1	28		t40	26.9	26.6	26.7
	t45	27.8	27.1	28		t45	26.9	26.6	26.6
	t50	27.9	27.2	28		t50	26.8	26.5	26.5
	t55	28.1	27.3	28.1		t55	26.8	26.4	26.4
	t60	28.1	27.4	28.1		t60	26.6	26.3	26.3
	t65	28.2	27.5	28.2		t65	26.3	26.1	26.2
	t70	28.2	27.5	28.3		t70	25.9	25.8	25.9
溫差	3	2.4	3.1	溫差	2.3	1.7	2.4		

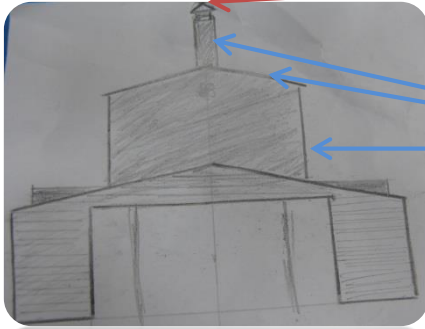
模型屋內溫度記錄【聖誕樹型(2)屋頂】									
隔板數:2		隔板角度:60°			室溫: 27.5~28 °C				
鹵素燈照射	測溫點	T1	T2	T3	鹵素燈關閉	測溫點	T1	T2	T3
	t0	27.7	27.5	27.5		t0	29.9	29.3	29.4
	t5	28.2	27.9	28.1		t5	29	28.5	28.5
	t10	28.7	28.2	28.4		t10	28.5	28.3	27.9
	t15	29	28.4	28.6		t15	28.1	27.8	27.8
	t20	29.2	28.5	28.8		t20	27.8	27.7	27.7
	t25	29.3	28.8	28.9		t25	27.8	27.6	27.6
	t30	29.5	28.8	29		t30	27.7	27.6	27.6
	t35	29.5	28.9	29.1		t35	27.7	27.6	27.6
	t40	29.7	29	29.1		t40	27.7	27.6	27.6
	t45	29.8	29.1	29.2		t45	27.7	27.6	27.6
	t50	29.8	29.1	29.2		t50	27.7	27.6	27.6
	t55	29.9	29.1	29.3		t55	27.7	27.6	27.6
	t60	29.9	29.2	29.3		t60	27.7	27.6	27.6
	t65	29.9	29.2	29.4		t65	27.7	27.6	27.6
	t70	29.9	29.2	29.4		t70	27.7	27.6	27.6
溫差	2.2	1.7	1.9	溫差	2.2	1.7	1.8		

模型屋內溫度記錄【聖誕樹型(3)屋頂】									
隔板數:3		隔板角度:30°			室溫: 27.8~27.5 °C				
鹵素燈照射	測溫點	T1	T2	T3	鹵素燈關閉	測溫點	T1	T2	T3
	t0	27.7	27.5	27.5		t0	29.7	29.1	28.8
	t5	28.3	28	28		t5	29.3	28.8	28.5
	t10	28.8	28.3	28.3		t10	28.9	28.4	28.3
	t15	29.2	28.5	28.7		t15	28.5	28.2	28.1
	t20	29.4	28.8	28.8		t20	28.3	28	27.9
	t25	29.4	28.8	28.9		t25	28.1	27.9	27.8
	t30	29.5	28.8	28.9		t30	28	27.8	27.8
	t35	29.5	28.8	29		t35	27.8	27.6	27.5
	t40	29.8	29	29.1		t40	27.7	27.5	27.5
	t45	29.8	29	29.1		t45	27.6	27.5	27.5
	t50	29.7	29.1	29.1		t50	27.6	27.5	27.5
	t55	29.7	29.2	28.9		t55	27.6	27.5	27.5
	t60	29.8	29.2	28.9		t60	27.6	27.5	27.5
	t65	29.6	29.2	28.8		t65	27.6	27.5	27.5
t70	29.7	29.1	28.8	t70	27.6	27.5	27.5		
溫差	2	1.6	1.3	溫差	2.1	1.6	1.3		

模型屋內溫度記錄【聖誕樹型(4)屋頂】									
隔板數:3		隔板角度:60°			室溫: 27.5~27.0 °C				
鹵素燈照射	測溫點	T1	T2	T3	鹵素燈關閉	測溫點	T1	T2	T3
	t0	27.6	27.5	27.5		t0	28.8	28.3	28
	t5	28.5	28.3	28.1		t5	28.3	27.8	27.8
	t10	28.8	28.5	28.2		t10	27.9	27.4	27.4
	t15	29.1	28.8	28.3		t15	27.5	27.2	27.2
	t20	29.2	28.8	28.4		t20	27.5	27.2	27.2
	t25	29.2	28.8	28.3		t25	27.5	27.2	27.2
	t30	29.2	28.8	28.3		t30	27.5	27.2	27.2
	t35	28.9	28.4	28		t35	27.5	27.2	27.2
	t40	28.9	28.5	28.1		t40	27.5	27.2	27.2
	t45	29.1	28.5	28.1		t45	27.5	27.2	27.2
	t50	28.8	28.4	28.1		t50	27.4	27.2	27.2
	t55	29	28.5	28.1		t55	27.4	27.2	27.2
	t60	28.8	28.3	28		t60	27.4	27.2	27.2
	t65	28.7	28.3	28		t65	27.3	27.2	27.2
t70	28.8	28.3	28	t70	27.3	27.2	27.2		
溫差	1.2	0.8	0.5	溫差	1.5	1.1	0.8		

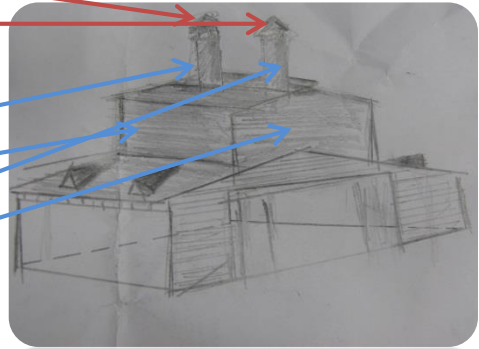
裝置設計 2--煙囪屋頂

1.設計圖



防止雨水
滲入設置

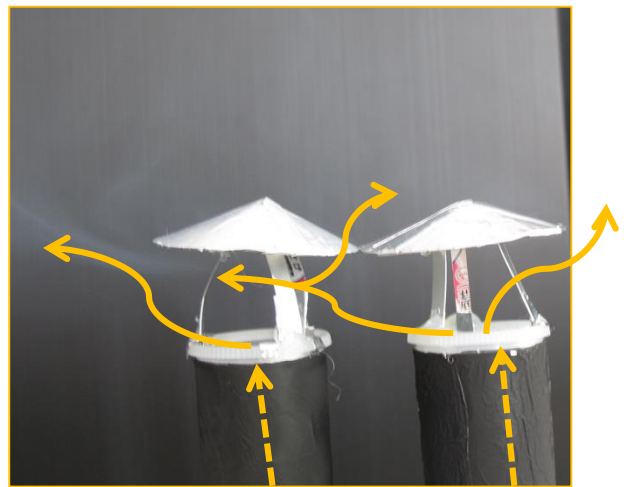
煙囪與小
閣樓均以
黑色鋁板
構成，以加
強煙囪效
應產生。



2.完成作品



3.熱煙測試

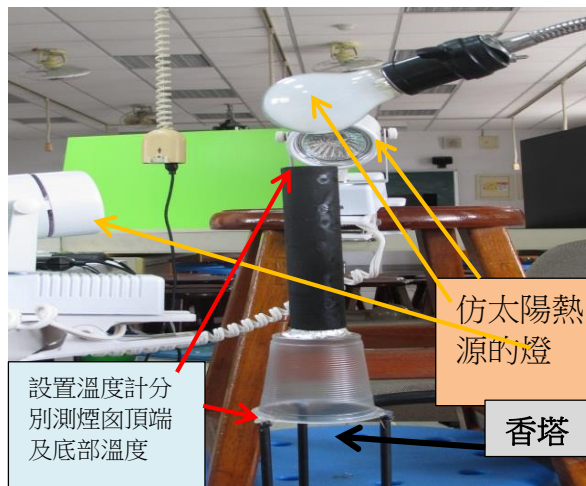


4. 延伸探究---煙囪長度與口徑大小對排煙速度之影響

前面專有名詞介紹中提及:煙囪長度、口徑大小對煙囪效應有影響,為了解其相關性,我們準備口徑分別為 3cm、4cm、5cm,長度 30cm 的鋁管及口徑 3cm,長度 15cm、30cm 的鋁管做測試。



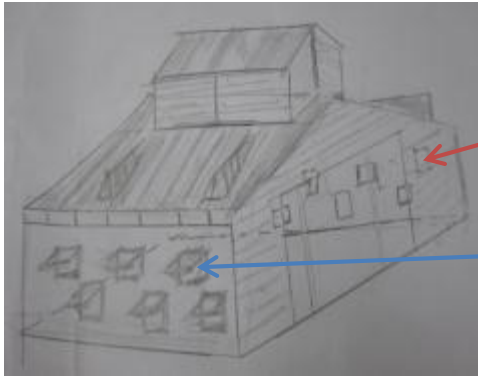
A 鋁管:口徑 3cm,長 15cm
 B 鋁管:口徑 3cm,長 30cm
 C 鋁管:口徑 4cm,長 30cm
 D 鋁管:口徑 5cm,長 30cm



A			B			C			D		
煙頂溫度 (°C)	煙底溫度 (°C)	菸到煙頂所需時間(秒)	煙頂溫度 (°C)	煙底溫度 (°C)	菸到煙頂所需時間(秒)	煙頂溫度 (°C)	煙底溫度 (°C)	菸到煙頂所需時間(秒)	煙頂溫度 (°C)	煙底溫度 (°C)	菸到煙頂所需時間(秒)
34	33.2	1"86	31	31	1"97	30	30	1"92	29.3	29.1	3"04
35	33.2	1"77	32	31	1"83	31	30	1"87	30	29.1	2"96
36	33.2	1"66	33	31.3	1"66	32	30	1"82	31	29.1	2"86
37	33.3	1"61	34	31.3	1"69	33	30	1"79	32	29.1	2"89
38	33.3	1"53	35	31.3	1"62	34	30.2	1"77	33	29.3	2"81
39	33.3	1"51	36	31.3	1"56	35	30.2	1"8	34	29.3	2"84
40	33.5	1"46	37	31.6	1"54	36	30.3	1"77	35	29.3	2"77
41	33.5	1"45	38	31.6	1"52	37	30.3	1"76	36	29.4	2"6
42	33.5	1"41	39	31.6	1"54	38	30.3	1"73	37	29.4	2"57
43	33.7	1"38	40	31.6	1"53	39	30.3	1"72	38	29.4	2"54
44	33.7	1"37	41	31.6	1"58	40	30.3	1"67	39	29.4	2"51
45	33.7	1"39	42	31.6	1"42	41	30.3	1"56	40	29.4	2"47
46	33.8	1"3	43	31.6	1"46	42	30.4	1"57	41	29.4	2"44
47	33.8	1"33	44	31.7	1"32	43	30.4	1"55	42	29.5	2"41
48	33.8	1"23	45	31.7	1"36	44	30.4	1"52	43	29.5	2"23
49	33.8	1"22	46	31.7	1"32	45	30.4	1"48	44	29.5	2"2
50	33.8	1"15	47	31.8	1"26	46	30.4	1"51	45	29.5	2"21
51	34	1"15	48	31.8	1"3	47	30.4	1.46	46	29.5	2"16
52	34	1"15	49	31.8	1"28	48	30.5	1.48	47	29.5	1"92
53	34	0"99	50	32	1"32	49	30.5	1.42	48	29.5	1"88
54	34.1	0"99	51	32.1	1"3	50	30.5	1.38	49	29.5	1"87

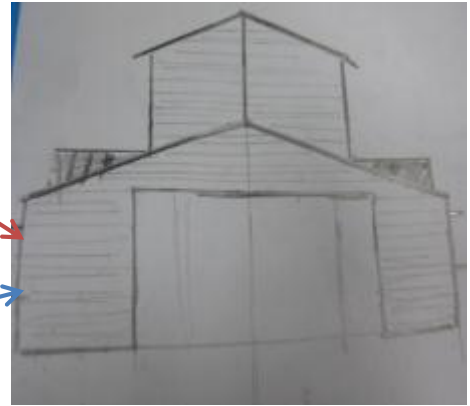
裝置設計 3--兩側增設通風孔

1.設計圖

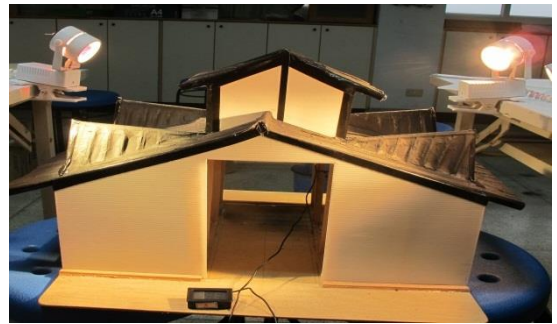


兩側各設置
兩排通風孔

通風孔上方
有遮雨板



2.完成作品



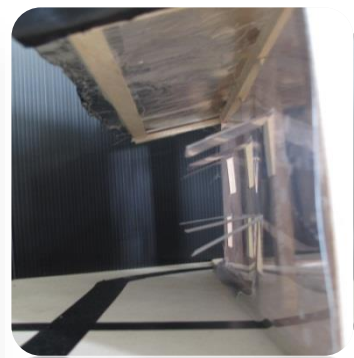
3.熱煙流向測試



側面通風孔



連接後棟出口正面



全開側面

開設位置	東側通風孔	西側通風孔	熱煙流動情形		
	下開	下開	東側通風孔	連接後棟出口	西側通風孔
圖例			無煙流出	有白色煙流出	無煙流出
開設位置	下開	上開			

圖例			無煙流出	有白色煙流出	無煙流出
開設位置	上開	上開			
圖例			無煙流出	有白色煙流出	無煙流出
開設位置	全開	全開			
圖例			上方隙縫有少量煙流出	有白色煙流出	上方隙縫有少量煙流出

(四) 聲響測試

斜屋頂未完成前，原本就是我們晴天上科任課下課時，不想老遠跑到操場就能盡情玩樂的地方。當斜屋頂完成後，更是讓我們不管天氣晴或雨，下課都能玩樂的理想場所。

但是這樣卻也造成了鄰近班級不少困擾。因為我們在下課玩樂時，聲音吵雜，一直吵到附近的班級教室。我們也針對我們製造出來『聲響』做了斜屋頂完成前與後比較。晴天測試時，以**鬧鐘聲**為聲響源。雨天測試時則以雨滴落在斜屋頂造成聲響為聲響源。

1. 斜屋頂下



距聲源距離(m)	0	5			10			氣候
		右	前	左	右	前	左	
音量	91.6	62.9	65.3	63	60.7	58.2	59.2	晴
(分貝)	82.9	82.4	82.4	82.4	80.5	80.6	80.6	雨

2. 開放空間

在斜屋頂建築前，這位置是冬天下課時，我們做日光浴的地方。現在我們利用另一同樣高度連接前後棟通道做聲響測試。



距聲源距離(m)	0	5			10			氣候
		右	前	左	右	前	左	
音量	78		60.2		51.1	58.1	55.5	晴
(分貝)	71.8		68.4		62.2	62.3	62.3	雨

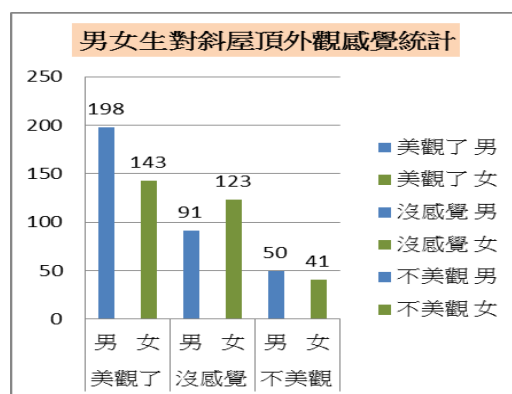
伍、研究結果及討論

一、學校斜屋頂完成後，對周遭環境的影響

(一)回收問卷統計結果：

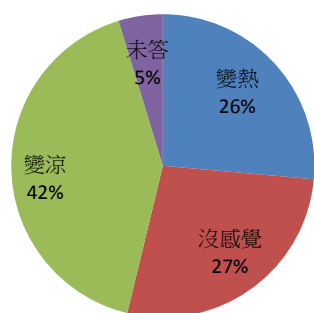
本校 102 學年度學生數 902 人，一年級新生 190 人因未經歷過空中花園時期，所以未發給問卷作調查，發出 700 份回收 680 份，有效問卷 676 份。

1. 676 份有效問卷中 340 人(50.3%)認為斜屋頂外型美觀。

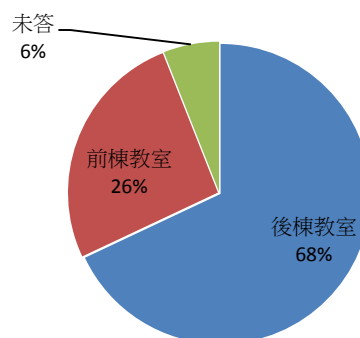


2. 斜屋頂完成後有 42% 的人感覺班級教室變涼了，26% 的人感到變熱了。因學校班級教室的配置，4~6 年級教室分配於前棟學習區，1~3 年級及專科教室配置在後棟學習區。42% 的人感覺班級教室變涼了多為班級教室位在前棟學習區，而 26% 的人感到變熱了多為班級教室位在後棟學習區的同學。
3. 所以我們在以前、後棟學習區做畫分，有 68% 的人覺得後棟學習區變熱了，覺得前棟學習區較熱的有 26%。

斜屋頂完成後教室熱感統計

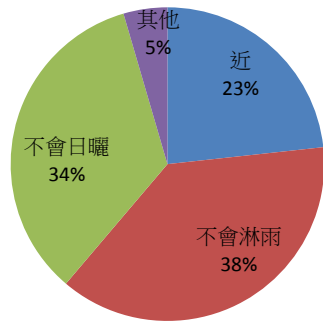


學習區熱感統計

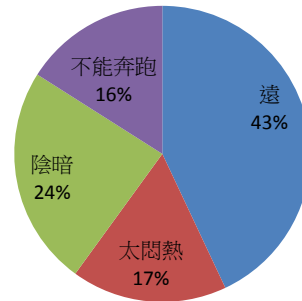


4. 以前有 57.5% 會到空中花園(斜屋頂的前身)活動，現在有 35.4% 會到斜屋頂下活動。
5. 現在會去斜屋頂下活動的人:各有 34% 是因不會日曬、雨淋。有 23% 是因場地較近。現在不到斜屋頂下活動的人:有 43% 的人因為距離遠，因為太陰暗的因素而不去的有 24%，因為斜屋頂下太悶熱而不去的有 17%，因斜屋頂下不能奔跑而不去的有 16%。

現在會到斜屋頂下活動原因統計



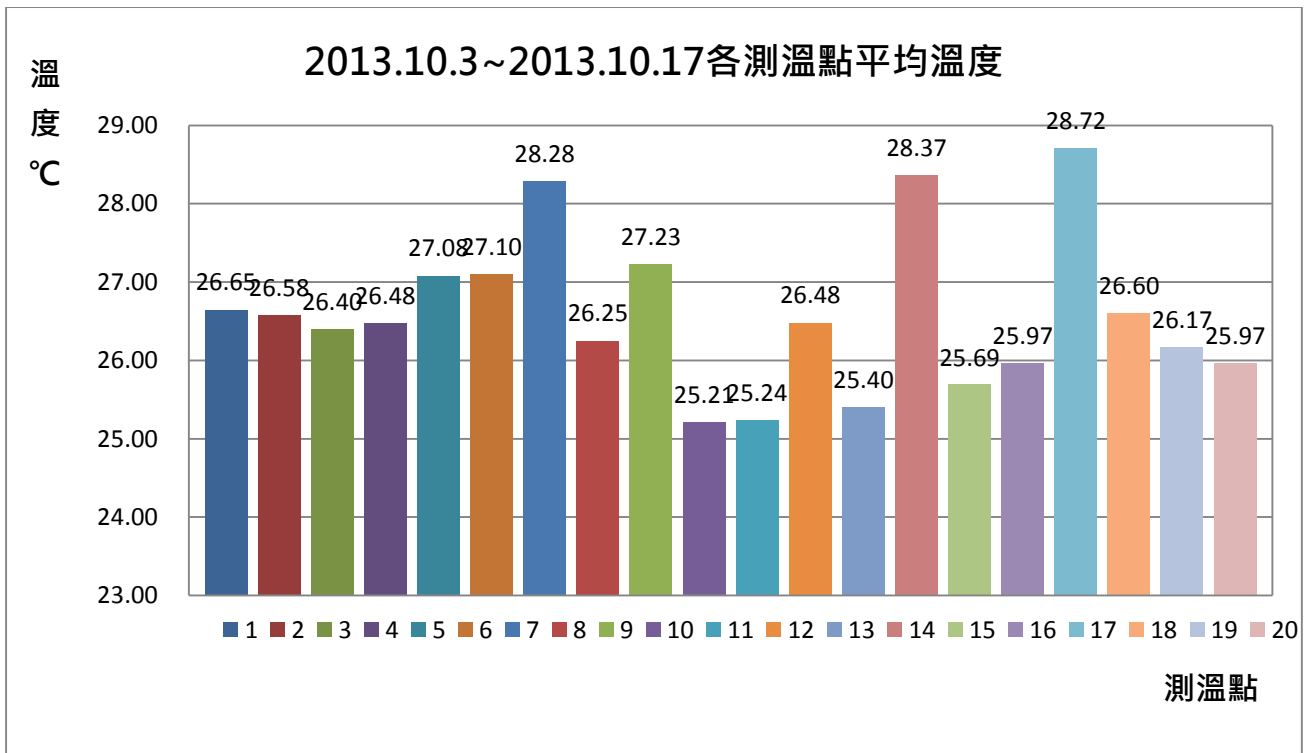
現在不到斜屋頂下活動原因統計



(二)溫度觀測紀錄(詳見附件二)

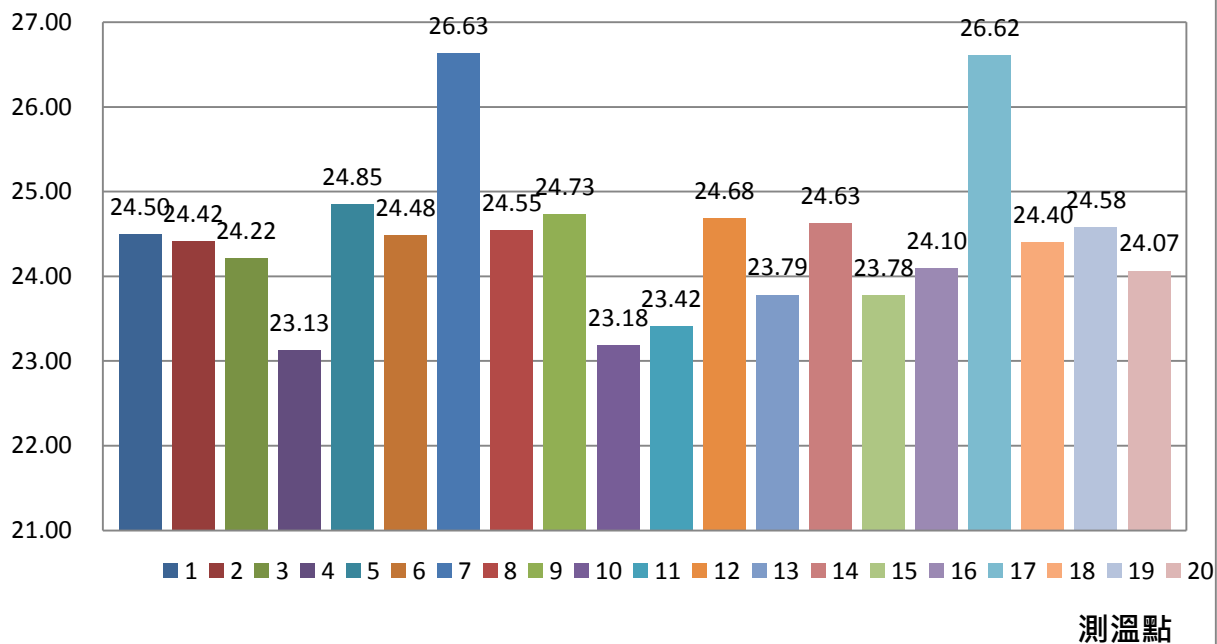
將觀測結果以 10~12 月各測溫點每 10 日平均溫度及每月平均溫度繪製成長條圖，經分析比較後發現：

1. 在設置的 20 個測溫點經過 45 天持續的紀錄，每日最高溫最常發生在測溫點 7 及 17。
每月的 10 日均溫幾乎都出現在測溫點 7。
1. 10~12 月的最高月均溫均發生在測溫點 7，且此溫度也高於台北市的月均溫(資料取自中央氣象局)。



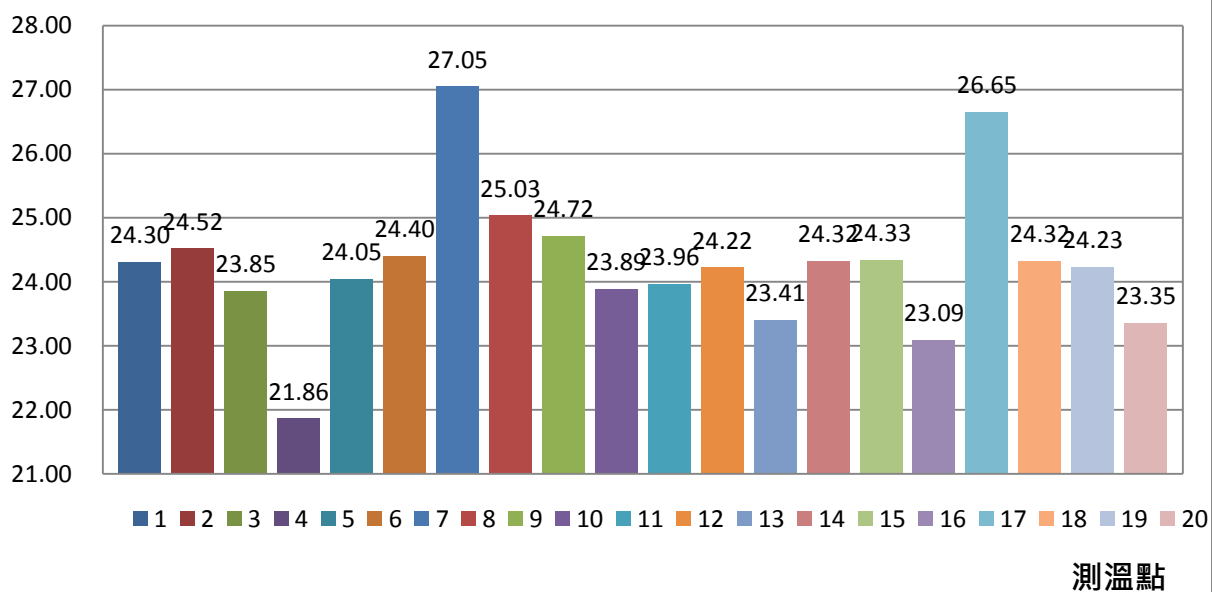
溫度
°C

2013.10.18~2013.10.31各測溫點平均溫度



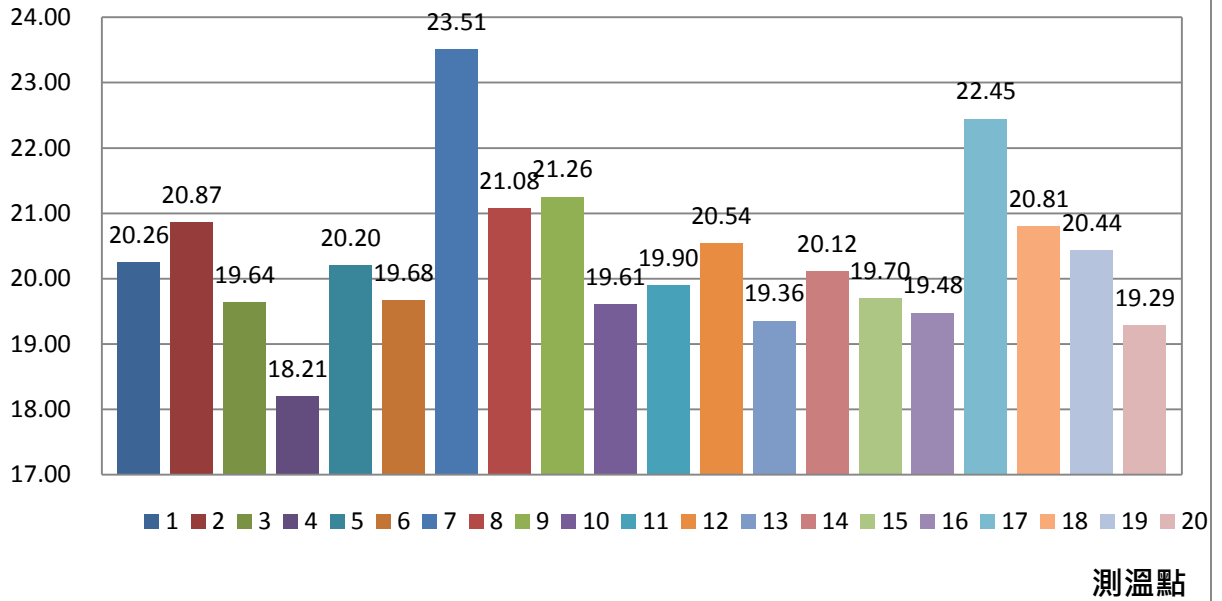
溫度
°C

2013.11.04~2013.11.15各測溫點平均溫度



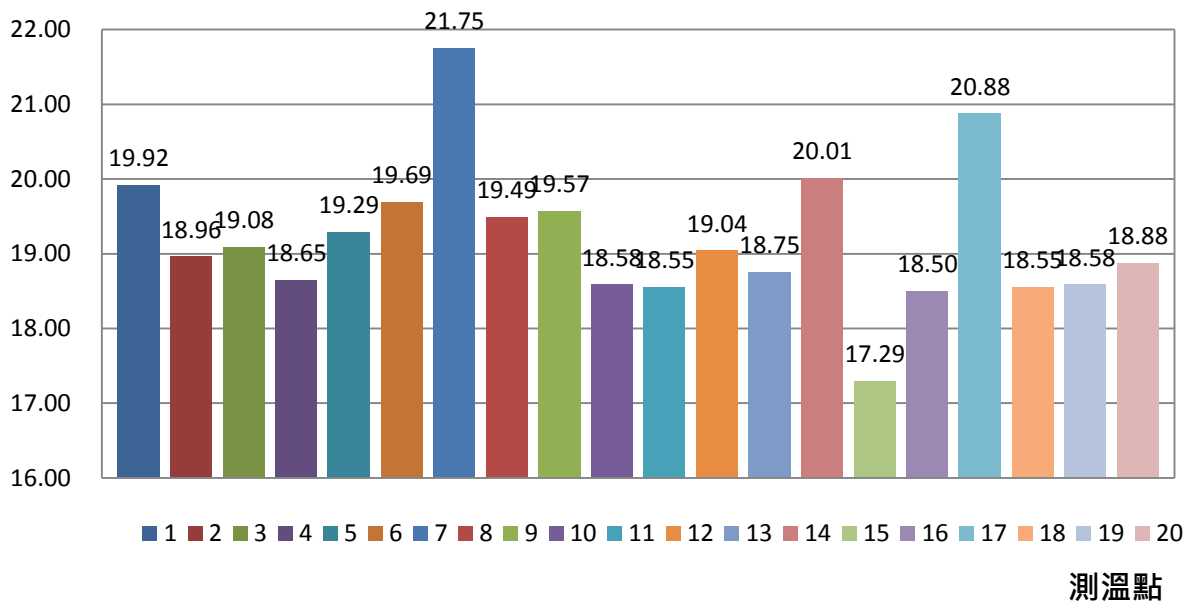
溫度
°C

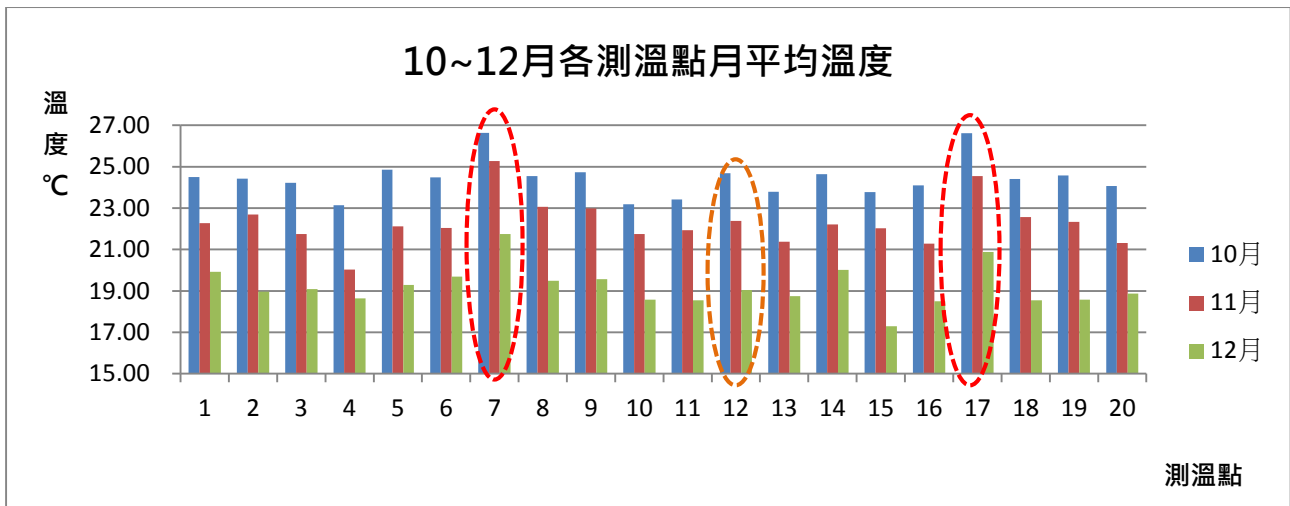
2013.11.18~2013.11.29各測溫點平均溫度



溫度
°C

2013.12.03~2013.12.06各測溫點平均溫度



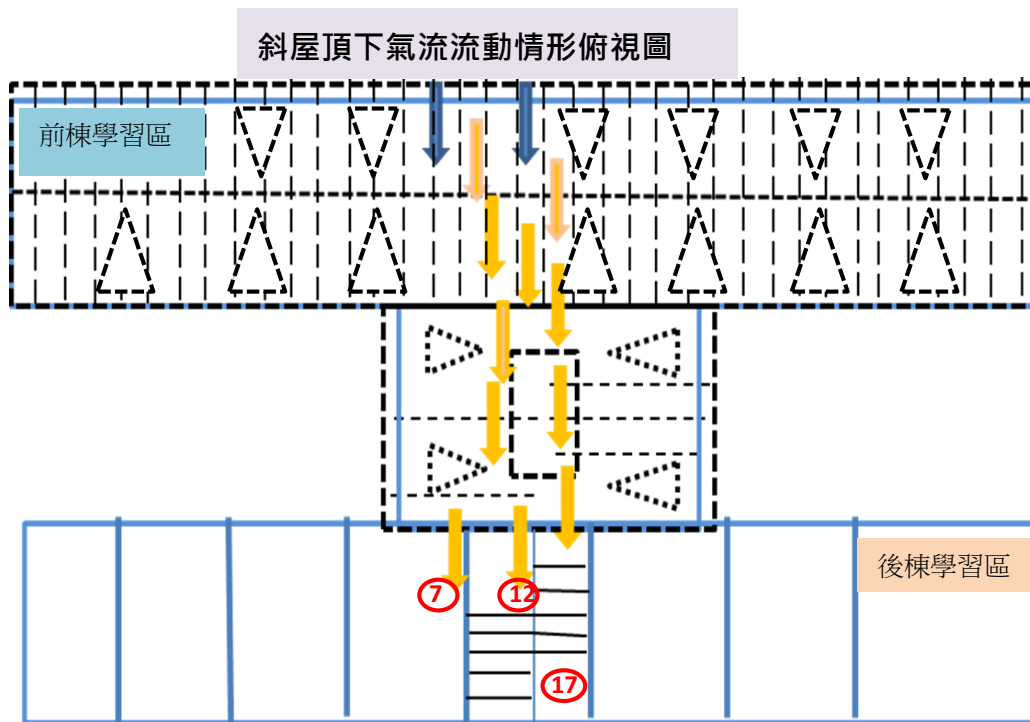
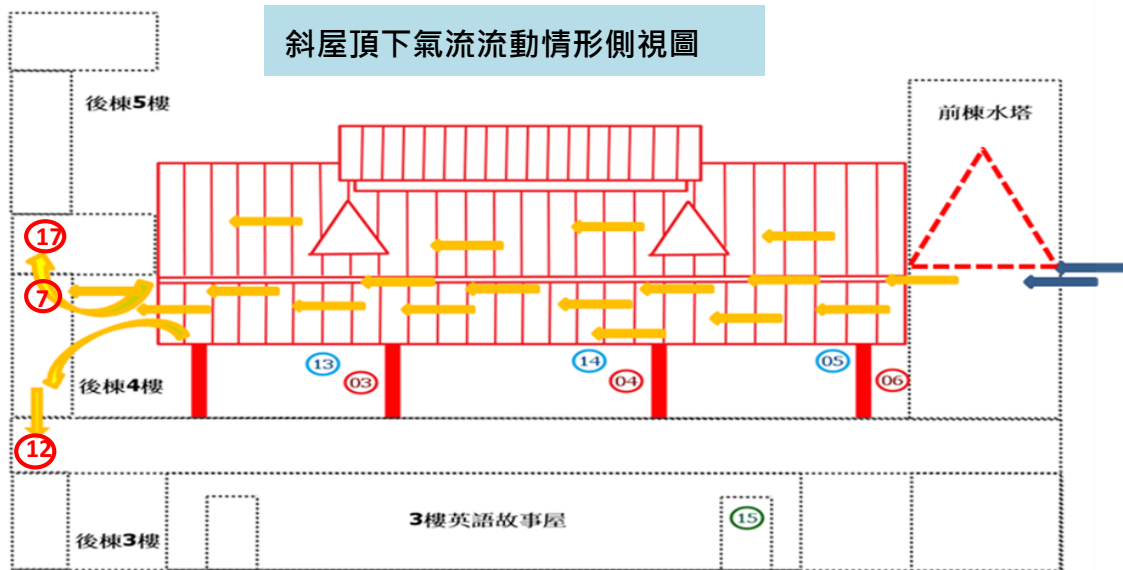


二、斜屋頂下熱空氣的流向探究

(一)斜屋頂下的觀察記錄

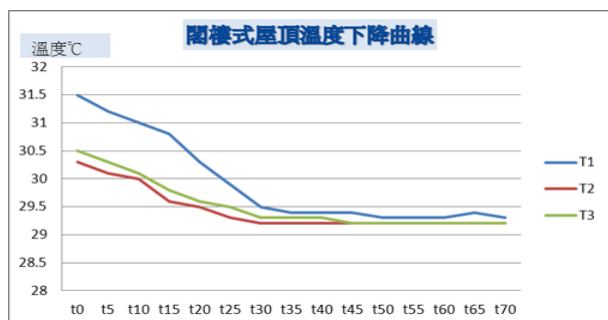
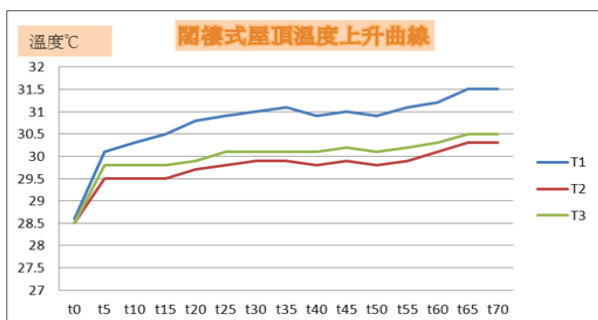
斜屋頂完成後，有 68%(問卷統計)反映後棟學習區變熱了。有了遮陽的斜屋頂卻變熱了，『熱』從何而來?測溫點 7 各次的均溫比較均為最高，測溫點 8 與測溫點 7 是在同一教室內，二者只有前後門之差，但同一時間卻有 2°C 的溫差，我們利用白色細繩做實地觀察斜屋頂下的空氣流動情形:

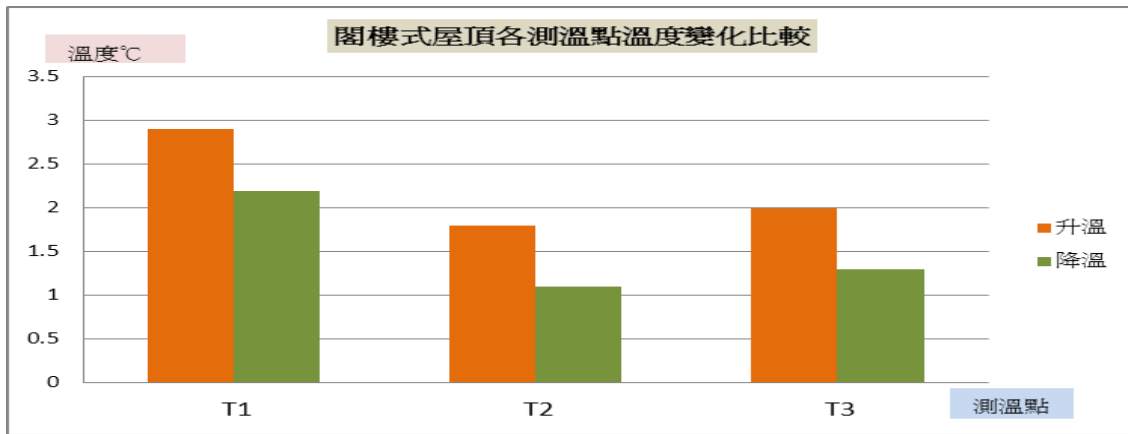
1. 在風力強度微弱(輕風)時，連設置在斜屋頂下東、西兩側的細繩都不為所動。其餘的細繩也都下垂不動。
2. 在風力微小(和風)，氣溫較高，斜屋頂有熱空氣產生時，西側細繩因當時風向西吹而飄向東，斜屋頂下及連接後棟走廊上方的細繩則隨熱空氣飄向南，東側細繩卻紋風不動的下垂。
3. 設置在斜屋頂兩側的細繩受當時風向影響較大，設置在斜屋頂下方及連接後棟走廊上方的細繩則受斜屋頂下熱空氣流向的影響大。而由觀察便可瞭解斜屋頂下熱空氣的流向，及觀測 7 為何呈現高於各觀測點的均溫了。
4. 觀測點 17 觀測紀錄的溫度為各點記錄溫度第 2 高的，由斜屋頂下熱空氣流向探究，應是發生了『**煙囪效應**』，且因觀測點 17 位置是銜接後棟 4、5 層樓的轉角，熱氣流至此便停滯下來，而形成這個位置的高溫狀態。
5. 觀測點 12 的 10 日均溫也屬各測溫點的高溫區，因位於後棟 5、6 樓的樓梯間，當斜屋頂下的熱空氣由銜接後棟通道流出時，分成 3 股:一股流向 B405 教室，一股向下流向觀測點 17，另一股則往上沿樓梯流向觀測點 12，因觀測點 12 可往上延伸至 6 樓走廊為開放空間，熱空氣並不作停滯。



(二)模型屋內的溫度記錄

經在模型屋下設置的 3 個溫測點每隔 5 分鐘記錄溫度變化結果顯示:





1. 設置於最高處的 T1 溫度升得較高，設置在最內側低處的 T2 溫度升得較少。
2. 鹵素燈連續照射 70 分鐘，各測試點的溫度持續上升飆高。
3. 當鹵素燈關閉後各測溫點溫度便開始下降，至 45 分鐘後模型屋下溫度便與室溫相近。

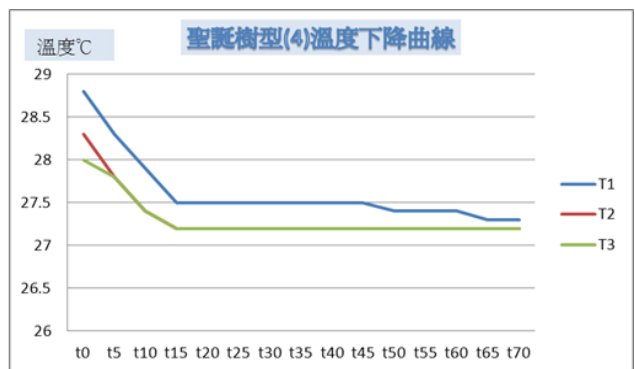
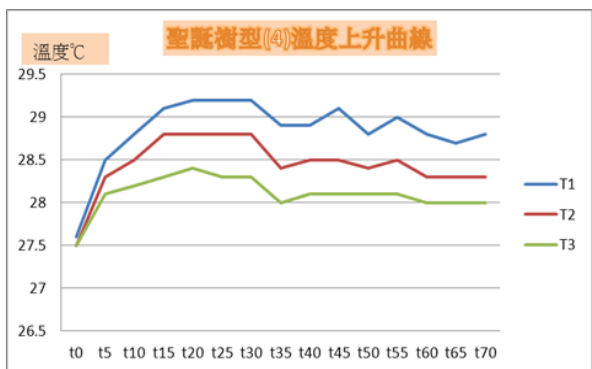
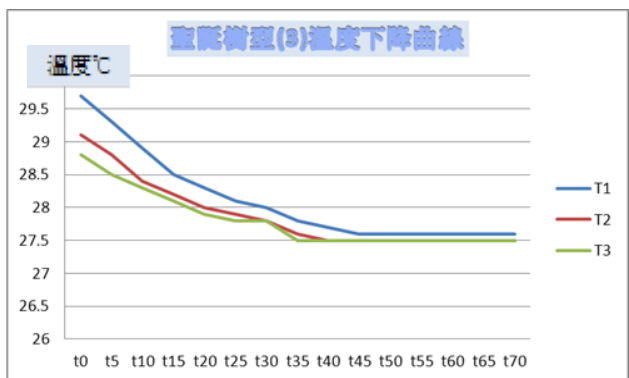
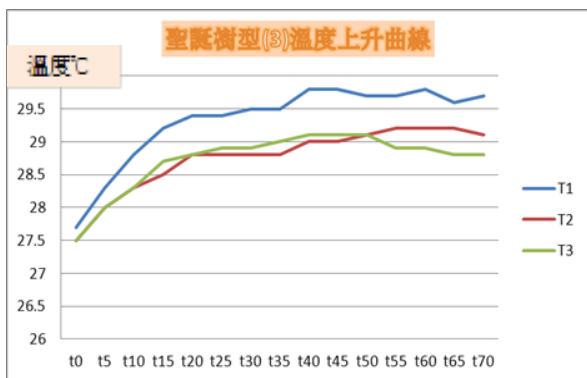
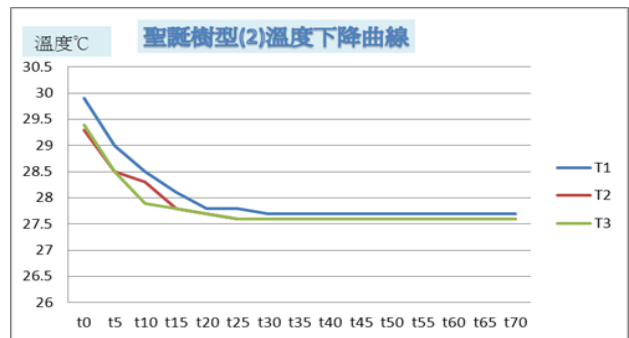
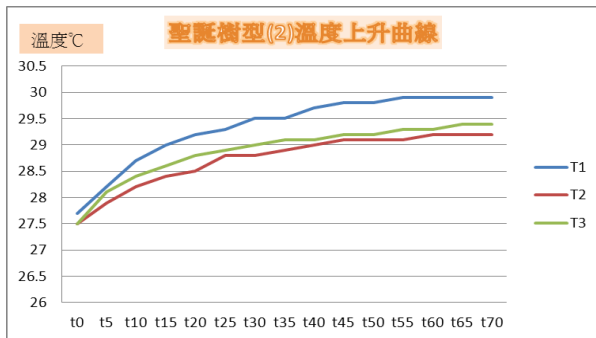
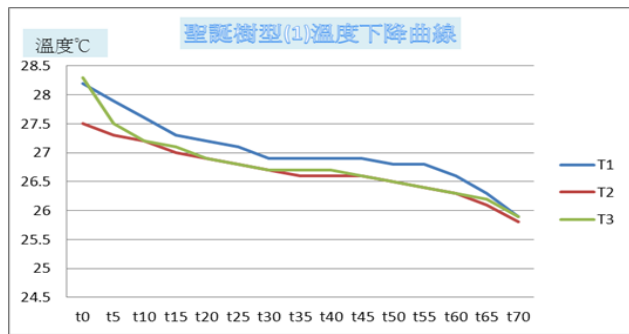
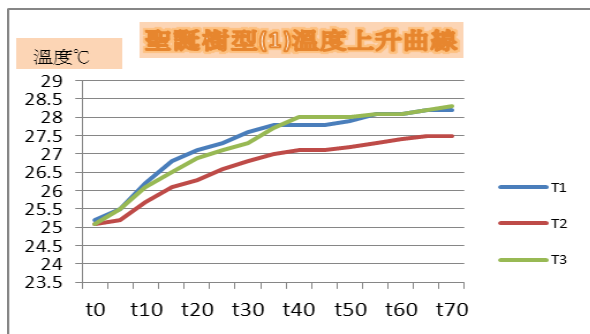
三、斜屋頂的熱氣流導流實驗及裝置設計

原先在建築斜屋頂時，應是有考量到熱空氣散去的問題，所以在斜屋頂東、西兩側上方各設置兩個三角窗，並在斜屋頂下設有鐵梯供技工先生爬上開啟，平時關閉防止下雨時，雨水潑入。但爬上屋頂開窗太過危險，完成至今從未開啟過，故並未發揮它(三角窗)原設置導散空氣的功能。我們做了幾個改善設計，改善設計的前提原則是不製造汙染，消耗能源的**綠建築**。



(一)聖誕樹型屋頂

1. 東、西兩側設有開放式窗口，因東、西側並不面對教室，導出的熱空氣不會對教室學習區造成影響，開放窗口再加裝斜片防止雨水潑入。因設計圖畫出來時，乍看形狀就像聖誕樹，所以就稱它為聖誕樹型屋頂。
2. 依設計圖製作完成，裝置在斜屋頂上並在斜屋頂下放入數個點燃的香塔測試，發現多數白煙會由聖誕樹型屋頂隔板間空隙飄出。同時也有極少部分由斜屋頂連接後棟通道上方流出。



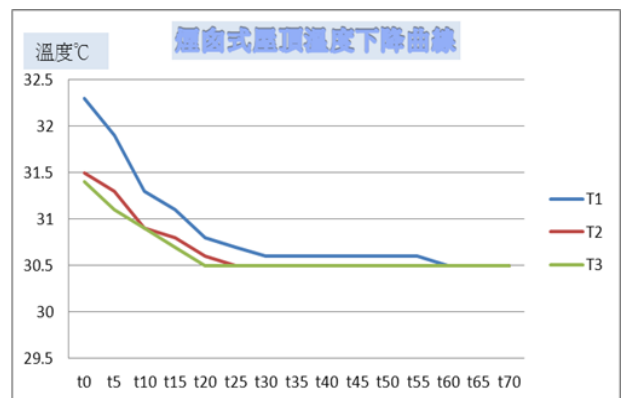
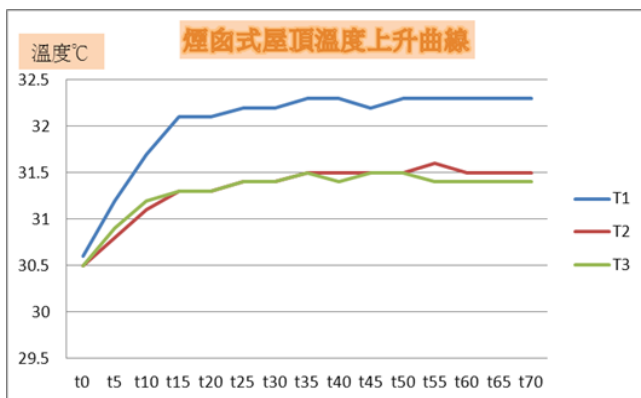
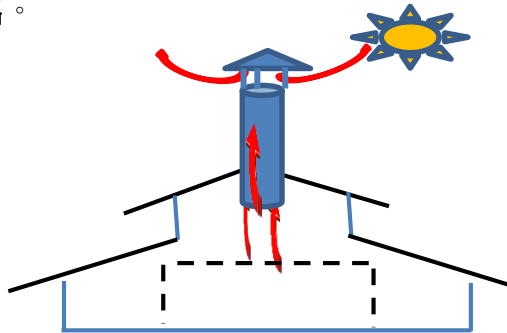
1. 聖誕樹各型設計以樹型(1)的溫度記錄結果最接近閣樓式屋頂;在鹵素燈的 70 分鐘照射, 屋頂下溫度持續上升飆高。當停止照射時, 樹型(1)屋頂下的溫度在紀錄的 70 分鐘內緩慢下降。
2. 隔板數 2, 隔板角度 60° 的屋頂, 鹵素燈照射 60 分鐘後溫度即不再上升, 停止照射屋頂下溫度在 25 分鐘後便與室溫相近。

3. 設置 3 個隔板的樹型(3)與(4)屋頂，鹵素燈照射下，屋頂下溫度分別在 40 分鐘及 20 分鐘便達到最高溫，甚至樹型(4)屋頂在燈光照射的 30 分鐘後，溫度有下降現象發生，顯示在此時屋頂下冷熱空氣對流旺盛。
4. 隔板設置的角度會影響溫度下降的快慢；隔板數 2 及 3，隔板設置角度 60° 時，鹵素燈停止照射後，分別於 20 分鐘及 15 分鐘屋頂下溫度便與室溫接近。

(一) 屋頂煙囪設置

我們經常在一些鐵皮屋的屋頂發現轉個不停像陀螺的風車，據說是為減少鐵皮屋裡悶熱而設置的。利用這概念再加強熱空氣上升的運用，在屋頂設置了**排熱煙囪**。

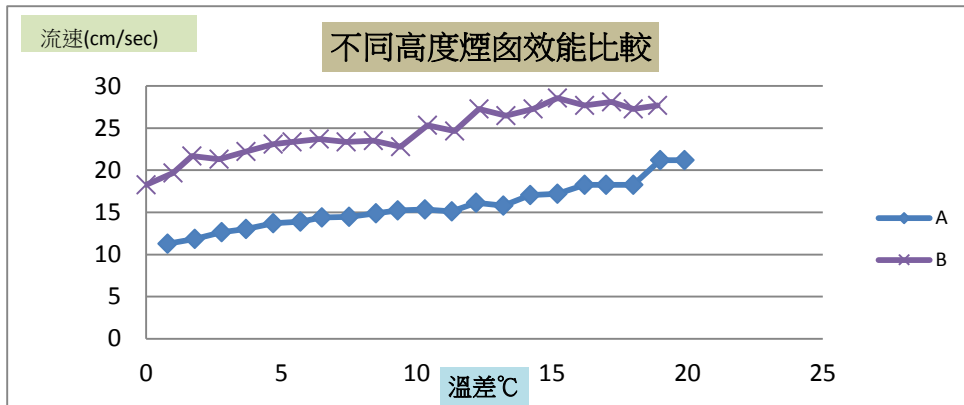
1. 天氣炎熱時，使塗黑的煙囪變熱，造成煙囪效應加速熱空氣上升。
2. 裝置在斜屋頂上並在斜屋頂下放入數個點燃的香塔測試，發現多數白煙會由屋頂煙囪口飄出。同時也有少部分由斜屋頂連接後棟通道口上飄出
3. 屋頂設置的黑色煙囪及下方小閣樓也以黑色鋁片構成，可以加成熟空氣的**煙囪效應**：讓斜屋頂下的熱空氣排出。



1. 煙囪式屋頂仍以 T1 點溫度升得較高，顯示經鹵素燈照射後屋頂溫度上升，便迅速上升經由煙囪排出。
2. 此時因大量熱空氣經由煙囪排出，T2、T3 的溫度上升的較慢。接近後棟通風口的

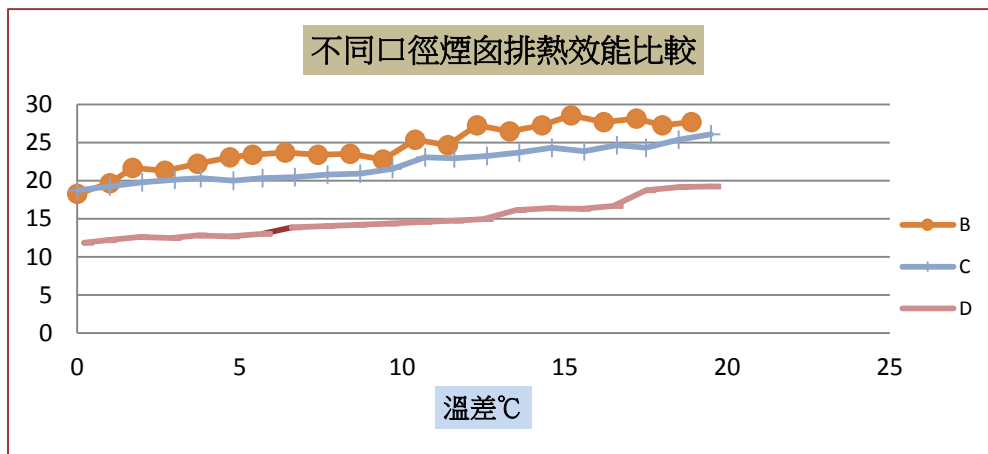
T3 溫度上升最慢，且在鹵素燈停止照射後，溫度迅速下降，20 分鐘即與室溫相近。

3. 煙囪頂端溫度與煙囪底部溫度差距越大，排煙效能越好。
4. 不同長度，口徑相同的煙囪排熱效能測試中，以較長的煙囪表現較佳。



同樣 3cm 口徑的 A 煙囪(15cm)在最大溫差(19.9°C)時，煙的流速為每秒 21.21cm，B 煙囪(30cm) 在最大溫差(18.9°C)時，煙的流速為每秒 27.69cm。

5. 相同高度煙囪，越小口徑的煙囪排熱效能較好。

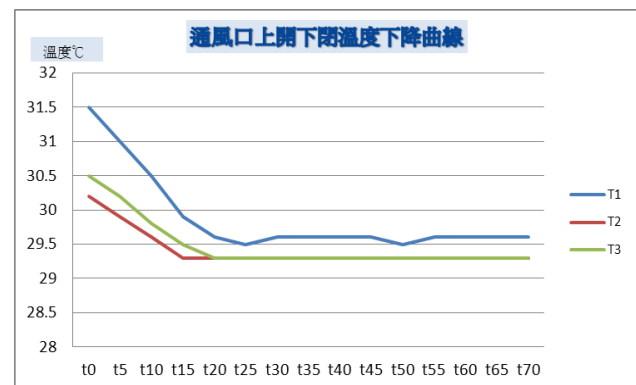
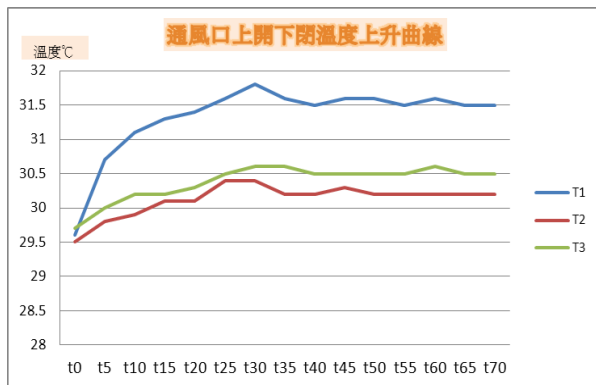
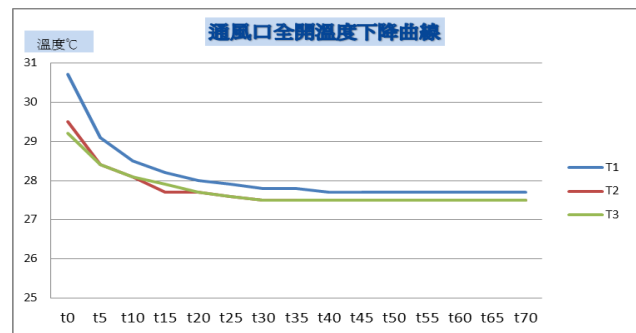
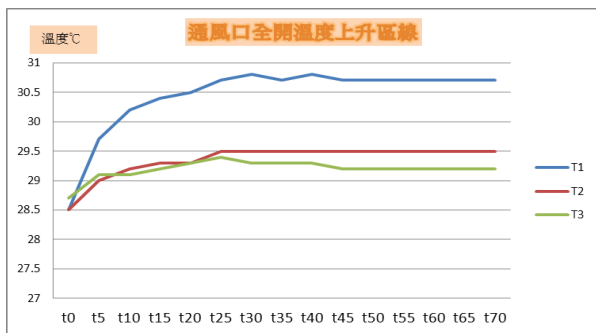
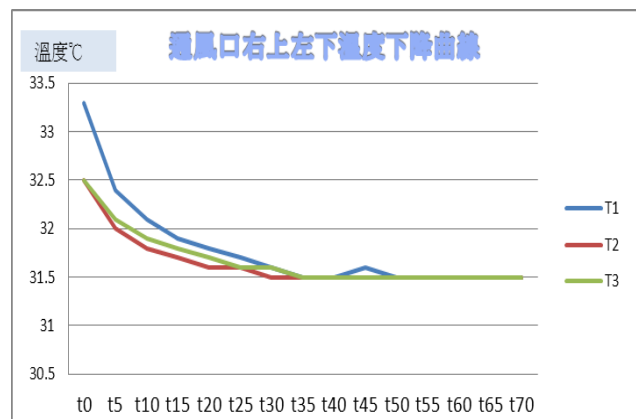
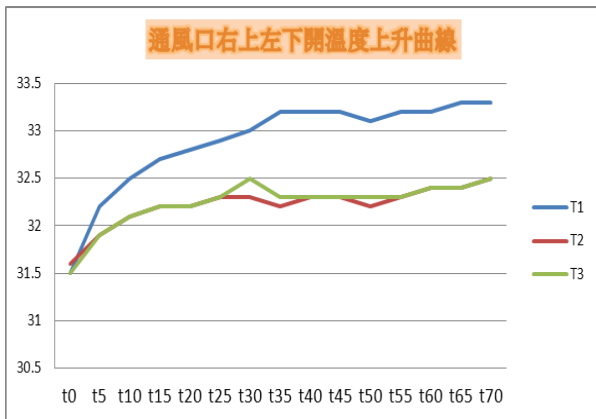
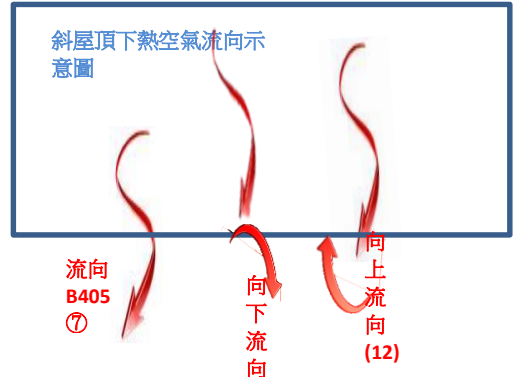


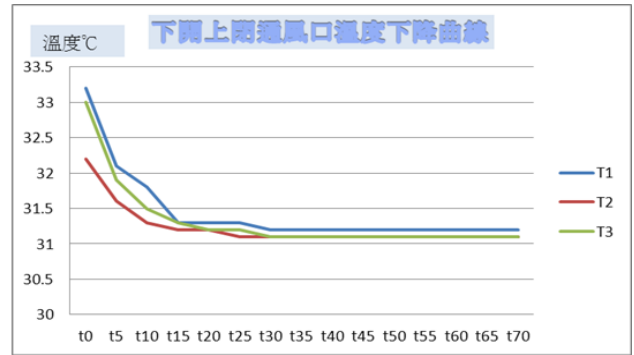
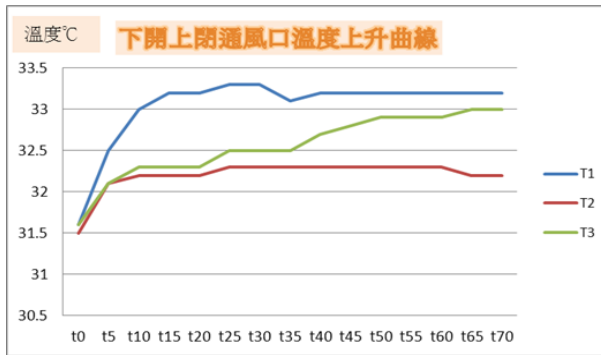
3cm 口徑的煙囪在最大溫差(18.9°C)時，煙的流速為每秒 27.69cm，口徑 4cm 的煙囪在最大溫差(19.5°C)時，煙的流速為每秒 26.08cm，口徑 5cm 的煙囪在最大溫差(19.5°C)時，煙的流速為每秒 19.25cm。

(二) 兩側增設通風孔

1. 在斜屋頂下方的矮牆上，開鑿數個通氣口，並做幾種通氣孔排列測試。
2. 發現上列的幾種排列通氣孔都無法導出白煙(熱空氣)。白煙仍由斜屋頂連接後棟通道的上方飄出。
3. 當我們仔細觀察測試發現：斜屋頂連接後棟通道高度遠遠高於我們設置的

通氣孔。熱空氣向上，所以白煙只會由開口較高的斜屋頂連接後棟通道飄出，而不會由我們增設的通氣孔飄出，這也是斜屋頂下東西兩側雖留有空隙，熱氣依然不會由這兩側流出的原因。





斜屋頂下左右兩側設置通風口，利用兩側通風口開、閉做溫度測試發現:

1. 一側開上排通風口另一側開下排通風口的方式，屋頂下的溫度在燈照的 70 分鐘內持續上升。燈關閉後 40 分鐘斜屋頂下溫度降至接近室溫。
2. 兩側通風口全開時，屋頂下的溫度在鹵素燈照射下，30 分鐘後溫度即不再升高。燈關閉後 35 分鐘斜屋頂下溫度降至接近室溫。
3. 兩側通風口上排均打開，下排關閉的情況下，燈照 30 分鐘後溫度也不再升高。燈關閉後 25 分鐘斜屋頂下溫度降至接近室溫。
4. 兩側通風口上排均關閉，下排打開時，燈照 35 分鐘後溫度就不再升高。燈關閉後 30 分鐘斜屋頂下溫度降至接近室溫。

(四)聲響測試

斜屋頂完成後，先有幾個班級的師生反映：**教室變熱了!** 便有人提出『在斜屋頂下裝設抽風機，將熱空氣抽出』的建議。合適嗎？裝了抽風機會不會又多了噪音的困擾?當我們做了斜屋頂下分別於晴天、雨天兩種氣候狀態下聲響的測試後結果發現:

1. 經過測試實驗後，兩個測試位置聲源前 10m 所記錄下來的數據非常接近，但由聲源兩側紀錄的數據可以明顯看出斜屋頂下的鬧鐘響聲分貝皆大於在空地上所測得的分貝。
2. 所以通過聲響實驗後斜屋頂確實有音量放大的現象，故裝置抽風機的建議似乎不太妥當。
3. 雨天時，雨點落在屋頂，雖造成響度稍低於鬧鐘聲源處，但整個斜屋頂下卻是相同的響度，教室內上課的師生受到干擾的嚴重程度可想而知。

陸、結論

- 一、學校原先設置空中花園的位置，因前、後棟建築連接的伸縮縫會有漏水影響到設置在下層的圖書室，在經過多次修整補強仍無法讓漏水問題獲得解決，校方最後在空中花園上方及前棟教室頂樓上修建了斜屋頂，使能一勞永逸的解決困擾許久的漏水問題。

- 二、斜屋頂完成後，解決了漏水問題，夏天在前棟學習區上課的師生也覺得涼快了，且許多人也覺得斜屋頂的建築造型美觀。
- 三、但夏天在後棟學習區的**測溫點 7(B405)、12、17** 出現超出其他測溫點的記錄溫度。且測溫點 7 及 8 是設置同一教室內，差別僅在於前後門，同一時間溫度可達 2 度的差距，可想見在此教室內上課應是不舒適的。
- 四、經觀察測試得知造成後棟學習區的**測溫點 7(B405)、12、17** 高溫的原因：
- (一)斜屋頂屋頂為黑色的塑鋼材質，會因太陽照射易吸熱造成屋頂下的高溫。
- (二)雖有設置可開閉的三角窗，但須爬上屋頂開啟，太危險，所以失去散熱的功能。
- (三)斜屋頂下的空隙高度遠低於連接後棟的通道口，熱空氣也不會經由此處散去。
- (四)斜屋頂的熱空氣只會經由連接後棟的通道口流出，經此處流出後分成三股，一股直接灌入測溫點 7(B405 教室後門)，一股向下流至測溫點 17(後棟 4、5 樓層的樓梯間)，最後一股向上流向測溫點 12(後棟 5、6 樓層的樓梯間)，**煙囪效應**造成此三處的高溫。
- 五、為了改善後棟學習區的測溫點 7(B405)、12、17 高溫問題，我們努力設計幾種方式：

(一)聖誕樹型的屋頂

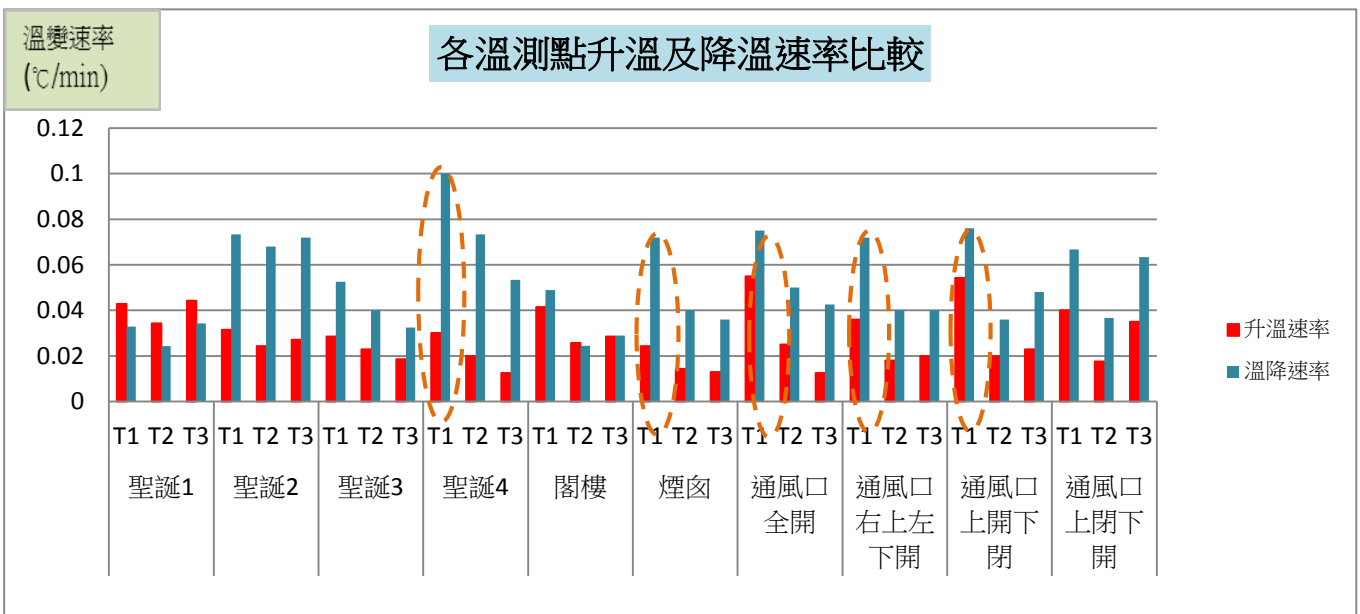
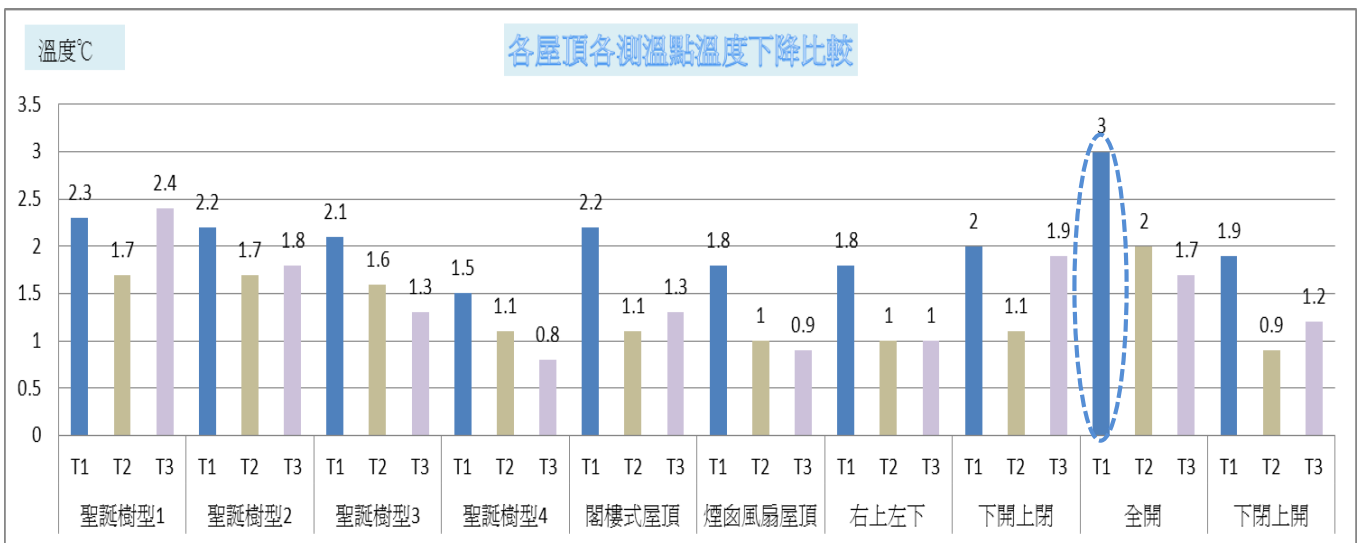
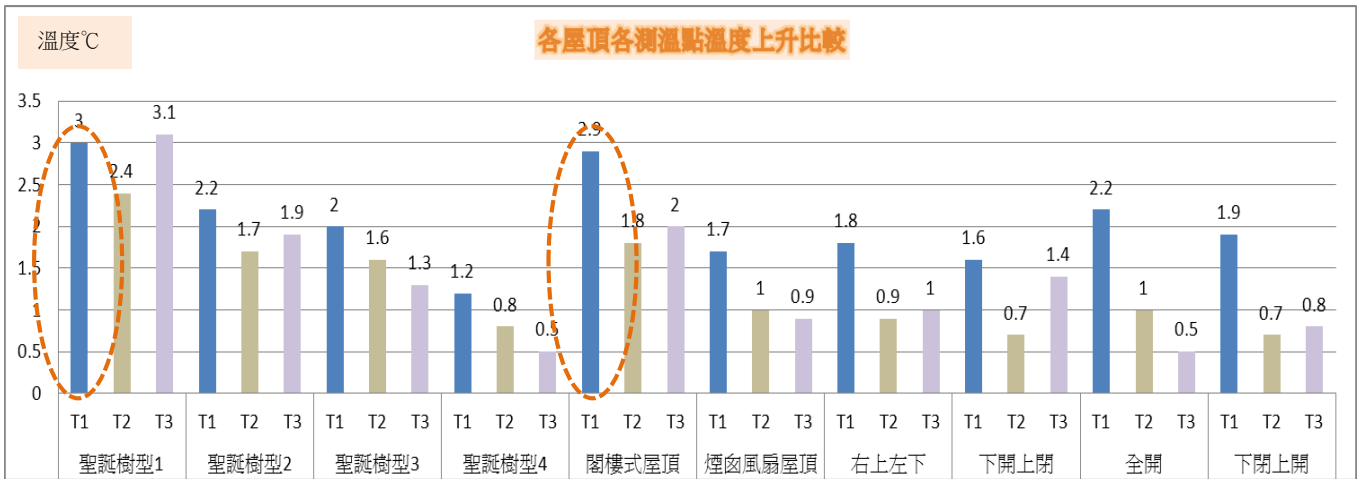
因熱空氣上升的原理，這屋頂構造可有效的導出讓熱空氣飄流出去。其中以隔板數 3，60° 斜度設置的聖誕樹型(4)的排熱效能較優。

(二)屋頂煙囪

1. 陽光照射在鋁製黑色的煙囪及小閣樓造成高溫，加上熱空氣上升形成**煙囪效應**，使熱空氣經由煙囪快速地流出。
2. 快速的熱空氣排出，冷熱空氣對流加速使斜屋頂下溫度下降變涼爽。
3. 屋頂下的熱空氣由所設置的煙囪排出，其熱能並不是我們額外提供電力或燃料，而是利用**太陽熱能**。
4. 在最大溫差時，相同口徑的煙囪，**越高的煙囪排熱效能越好**。
5. 相同高度的煙囪，在最大溫差時，則以**口徑較小的煙囪排熱效能較佳**。

(三)兩側增設通風口

1. 因設置位置未高於連接後棟通道口，熱空氣並不會經由此增設的通風口飄流出去，熱空氣仍會因熱空氣上升的原理由較高的連接後棟通道口流出。
2. 增設置通風口應設置於高處(高於連接後棟通道口)，才有助於熱空氣散去。



綜上測試數據分析其排熱效能，在各類屋頂形式中：

1. 升溫速率以**煙囪屋頂**及**聖誕樹型(3)**的效能表現較佳。尤其煙囪屋頂的煙囪高度若**加高**，應可使熱空氣加速排出，達到更佳的排熱效能。
2. 降溫速率則以**聖誕樹型(4)** 的效能表現最佳，兩側加設通風口的「全開」，及「上通風口開」的方式，和煙囪屋頂的效能表現次之。

(四)增設抽風機

1. 由晴、雨天聲響測試結果：斜屋頂像個巨型的音箱，會造成聲響擴大。
2. 設置了抽風機需提供電力啟動，運轉的抽風機造成聲響經斜屋頂的擴大，恐形成噪音，影響我們的學習。這可能也是當初不設抽風機的原因吧！

柒、參考文獻

- 一、 煙囪效應。維基百科。取自：
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%85%99%E5%9B%AA%E6%95%88%E6%87%89>
- 二、 綠能建築。維基百科。取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B6%A0%E8%89%B2%E5%BB%BA%E7%AF%89>
- 三、 朱正峰(2008)。 建築物通風與風洞試驗。國立中央大學土木工程學系。2008年3月26日，取自 <http://www.cute.edu.tw/sc/te/96te/96final/b/B3201/B3201-3.pdf>
- 四、 趙芳麟、游云豐(2008)。 建築通風口相對位置及其對氣流影響與流場定性觀察。取自：http://ms.ctl.cyut.edu.tw/portfolio/read_attach.php?id=718。

捌、附件

- 一、調查問卷
- 二、溫度紀錄測溫點設置位置說明
- 三、102年學校溫度觀測紀錄統計表
- 三、中央氣象局102年10~12月溫度記錄資料

【評語】 080805

該研究動機提供熱流輸送現象以解決屋舍排熱問題，同時可提供綠能建築的排熱範例，建議可增加不同季節狀態下室溫情形與室內濕度變化。