

逢甲大學學生報告 ePaper

綠屋頂對室內降溫效益影響之實測分析

The Green roof farm influence of indoor comfort

作者：廖珮辰

系級：建築學系 碩二

學號：M0301251

開課老師：林衍良

課程名稱：專題討論

開課系所：建築學系

開課學年：104 學年度 第 1 學期

中文摘要

從以往到現今，綠屋頂被國內外重視，綠屋頂在都市層面上可對抗熱島效應外，更擁有對建築物室內隔熱降溫的能力；根據研究指出，人的活動中有 90% 的時間處於室內空間，因此，室內舒適度將會影響人體的健康、舒適及工作效率。

本研究主要以現地實測法進行，實測方面依時間進行外氣與室內溫度之實測，將既有施作完畢的於休耕狀態之盆鉢式綠屋頂及下方室內空間環境與環境條件幾乎相同但屋頂為木平台之室內空間，利用以其兩者下方之室內實測數據比較的方式來探討不同綠屋頂木平台(A組)與盆鉢式屋頂農園(B組)之降溫效，本研究主要結果為：

1. 木平台屋頂(A組)之結果：由 A、B 兩組各自比較室內靠窗與中央之溫度，B 組比 A 組溫差大，因此驗證了木平台因抬高後產生下方空隙，雖無通風作用，但可將熱平均分散於室內；根據數據分析恆溫能力，B 室比 A 室平均多 0.2°，表示擁有大面積覆蓋率的木平台擁有較高的穩定室內溫度的能力。
2. 盆鉢式屋頂農園(B組)之結果：單以盆鉢及土壤論，外氣溫與盆鉢下方最大可差 9°C，具有相當的隔熱能力；若利用澆灌的方式最大可使 B 室比 A 室低 0.9°C，且利用風力通過通風層以及通氣的樓板最大可使 B 室比 A 室降低 2.4°C，證實了通風層與澆灌系統於屋頂農園的設置對室內擁有降溫的效益。

關鍵字：綠屋頂、熱環境、風環境、實測、降溫。

Abstract

to the present day, Green roofs are still much domestic attention, On the urban , Also has the ability to cool and insulation the building interior to achieve conserve energy and reduce carbon emissions. According to the study, human activity in 90% of the time in the interior space,so, indoor comfort will affect the health, comfort and efficiency of the human body.

In this research , according to the time of actual temperature of the air temperature and the interior,in existing facilities for completion in fallow state container-type green roof and the lower interior space and conditions are almost the same but the interior space of the roof is wooden platform, to explore different indoor temperature below the green roof by data-oriented approach.

1. wooden Roof (No.A) : Compare each temperature of the indoor and window with a central by No. A 、 B, No.A of maximum temperature 0.4°C , No.A Maximum temperature difference 0.7°C ,verification the layer after due elevated wooden platform voids below, although no ventilation, but, heat can be evenly distributed in interior. In dateanalysis constant capability, Room B on average Room A than the average 0.2° , representation has a large coverage has a high wooden platform thermostat capability.
2. Container-type green roof (No.B) : Roof layer alone on the pots and soil, the maximum difference of the air temperature than pots below on 9°C , it has considerable ability to insulation. in the maximum,the Room B can lower than Room A 0.9°C by watering method. in the maximum, Room B can lower than Room A 2.4°C by ventilation floor. It confirmed the ventilation layer and irrigation systems to setting the roof on the indoor farm has cooling efficiency. Confirmed,the roof have setting the ventilation layer and irrigation systems can be cooling on the indoor far.

Keyword : Green roof, Thermal environment , Wind environment , Temperature decreasing,Field test.

目錄

壹、前言.....	1
1.1 緣起與目的.....	1
1.2 研究理論與方法.....	1
貳、內文.....	2
2.1 文獻回顧.....	2
2-1-1 綠屋頂相關文獻.....	2
2-1-2 傳熱與隔熱定義.....	3
2-1-3 風環境相關理論.....	5
2.2 研究方法.....	6
2-2-1 研究地區概述.....	6
2-2-2 儀器介紹.....	9
2-2-3 實測方法.....	9
參、結果.....	12
3-1 依時段分析全體平均溫度數值變化.....	12
3-2 依時段各別比較 A 組與 B 組平均溫度數值變化.....	14
3-3 依每日時段比較 A 組與 B 組平均溫度探討室內溫度穩定性.....	17
肆、討論.....	18
五、結論與建議.....	20
陸、參考文獻.....	21



表目錄

表 1-1 研究內容與方法文獻表	1
表 2-1 國內綠屋頂案例表	2
表 2-2 土壤成分不同之熱傳導率	3
表 2-3 各材料之傳導率	4
表 2-4 地況與地表粗糙長度之關係	5
表 2-5 木平台屋頂配置與組成表	7
表 2-6 盆鉢式屋頂農園配置與組成表	7
表 2-7 7FAB 兩房配置與組成表	8
表 2-8 儀器規格表	9
表 2-9 中央氣象局風力儀器與架設高度表	10
表 3-1 數據關係簡表	12
表 4-1 A 組 $TA - c$ 與 $TA - w$ 最小溫差值與最大溫差值表	18
表 4-2 B 組 $TB - c$ 與 $TB - w$ 最小溫差值與最大溫差值表	18
表 4-3 澆灌與熱源記錄表	19

圖目錄

圖 2-1 傳熱過程之種類	3
圖 2-2 Wind profile 垂直風向分佈 (資料來源:網路)	5
圖 2-6 東側盆鉢式屋頂農園與 B 室測點設置示意圖	11
圖 2-5 西側木平台屋頂與 A 室測點設置示意圖	11
圖 3-1 9-10 月 9:00 全體平均溫度	12
圖 3-2 9-10 月 12:00 全體平均溫度	13
圖 3-3 9-10 月 15:00 全體平均溫度	13
圖 3-4AB 兩組室內靠窗之各天於 9:00 平均溫度	14
圖 3-5AB 兩組室內中央之各天於 9:00 平均溫度	14
圖 3-6 各天於 9:00 平均風速圖	14
圖 3-7AB 兩組室內靠窗之各天於 12:00 平均溫度	15
圖 3-8 AB 兩組室內中央之各天於 12:00 平均溫度	15
圖 3-9 各天於 12:00 平均風速圖	15
圖 3-10AB 兩組室內靠窗之各天於 15:00 平均溫度	16
圖 3-11AB 兩組室內中央之各天於 15:00 平均溫度	16
圖 3-12 各天於 15:00 平均風速圖	16
圖 3-13 $TA - w$ 與 $TB - w$ 趨勢比較圖	17
圖 3-14 $TA - c$ 與 $TB - c$ 趨勢比較圖	17
圖 4-1 於 9/26 日 pm9:00 $TA - w$ 與 $TB - w$ 平均溫度與風速疊圖	19

壹、前言

1.1 緣起與目的

因環境氣候的惡化使人們開始不得不正視環境問題，自從 1970 因石油危機的發生使環保意識抬頭，在 1981 年「華沙宣言」中提出了建築、環境及人應為一體的概念，並強調在創造生活環境的同時需顧及到生態層面，並於 1992 年世界高峰會議後，永續發展和可持續性等議題逐漸倍受重視，促使許多關於環境維護、綠化、節能減碳等公約、宣言、規範...等相關活動的出現。其中，都市綠化的思維最為普遍，植栽的導入在都市環境中除了美觀綠化環境以外，更改善了都市環境，而屋頂綠化成為了都市綠化中最为直接的方法。在室內層面上，若適當的應用屋頂綠化可有效控制室內熱環境並降低發生不舒適性的機率(張育森，2011)。但以往的研究及資料大多是以有植栽的狀態下所進行的研究，但以無植栽狀態的屋頂農園下，對室內環境又會帶來甚麼樣的影響？

本研究以休耕的盆鉢型屋頂農園及木平台為研究對象，可從室內恆溫能力、室內熱平均分佈程度、通風層的效益及盆鉢式屋頂農園之澆灌等面相並以兩種綠屋頂形式設置的不同，探討對室內降溫的影響及效益。

1.2 研究理論與方法

本研究就相關之隔熱及降溫歸納許多關於屋頂層與室內影響之相關文獻多以實測法為主，則實測方面通常以實測外氣、植栽、土壤、室內等溫度為主，(表 1-1)，故本研究主要以現地實測法進行，並以溫濕度計對外氣溫、已施作完畢的盆鉢式屋頂農園之盆鉢及木平台屋頂及其兩者下方之室內空間進行現地實測，接著將實測數據整理後，並轉化成圖表的方式進行比較及分析，並透過文獻之綠屋頂、傳隔熱與土壤熱性質及風等相關理論做為研究之基礎，提供綠屋頂不同型式對室內熱環境影響提供往後綠屋頂研究之參考。

表 1-1 研究內容與方法文獻表

作者、年份	名稱及內容概要	研究方法
林佩均，2011	不同屋頂綠化型式對屋頂隔熱效果影響之研究-以草本、灌木及棚架為例	調查法、實地實驗及實測法
	將三種不同屋頂綠化型式，進行屋頂綠化施作前後測量以及屋頂綠化隔熱效果測量，並將數據利用統計方式針對屋頂綠化隔熱效果進行探討。	
陳秋銓...等，2012	綠屋頂及立面植生對於屋頂降溫效益之研究	實地測量
	利用天然纖維質廢棄物作為建築物立面植生及屋頂薄層綠化栽培基質，在降低施設成本的情況下實測施作屋頂綠化、棚架薄層及立面植生綠化，從實測數據探討降溫及節能之效益。	
林慶元，2002	屋頂覆土植栽之熱收支研究-以鵝掌藤植栽為例	實驗及實測法
	主要探討屋頂覆土植栽對日射熱能之熱收支，透過國內外的文獻建立研究之屋頂覆土植栽之熱收支機制，以試驗方式探討植物層及土壤層熱收支機制，以鵝掌藤植物為例。	

(資料來源:本研究繪製)

貳、內文

2.1 文獻回顧

2-1-1 綠屋頂相關文獻

依據台灣綠屋頂暨立體綠化協會(2014)表示，狹義綠屋頂 (green roof) 之定義為以人工的方式為將植物、土壤或以生長媒介等資材覆蓋或種植於建築物戶外、半戶外之水平空間；則廣義的綠屋頂中主要是設置蓄水池(如:泳池、生態池)、木平台、發泡隔熱板、反射塗料、太陽能板等，以阻絕太陽直射、輻射熱，通稱為綠屋頂。並根據內政部建研所(2005)對於屋頂隔熱效益通常可分為，鋪設隔熱層、屋頂綠化、雙層屋頂構造、屋頂通風塔與排風扇、灑水設備。鋪設隔熱層中通常傳統的屋頂以具有蓄熱及反射陽光特性之材料(如防熱塗劑或隔熱磚)來降低室內溫度或減少屋頂吸收熱能；屋頂綠化則利用綠化方式使室內溫度更加穩定，以提升生活品質；雙層屋頂構造則透過外氣的流動將加蓋之屋頂或棚架上之熱量吹散、減少太陽對屋頂之輻射並且隔絕雨水等；屋頂通風塔及排風扇主要以自然、零成本之理念下而建立有助於環境的改善，但此設計容易破壞建築物之外觀、運轉之噪音及鳥群築巢等現象，易會破壞生活之品質，灑水設備主要藉由噴灑於屋面上的水將熱以蒸發吸收淺熱的方式將屋頂溫度降低。依循研究對象”盆鉢式綠屋頂”探討國內綠屋頂之案例，如下表(表 2-1):

表 2-1 國內綠屋頂案例表

案例名稱/盆鉢名稱	概述	盆鉢優缺點比較
台北行政院農委會/保綠植生盆 	利用盆鉢及桌椅的擺放，形成溫室兼休憩的空間。利用簡單、快速及經濟的保綠植生盆。此案例中，室內用了46盆、4盆放置於棚外，共為50組；以種植可觀賞型的植物為主，完成後將桌椅置入，增加了空間的使用頻率。	優點:蓄水超過7.5公分時，會直接溢流到水管、落水頭解決泥水漫流。垂入蓄水盆的布條吸水後供給水分。 缺點:因為針對草花及淺根植物所設計，覆土層只有7.5公分。
林口佐賀社區/植栽箱 	為2012年新北市綠能屋頂的示範點之一，利用閒置的屋頂開始建置菜園，從2011年原本20平方公尺擴展至300平方公尺，隨著土地的擴大也開始聚集更多的使用者，並且透過認養的方式進行管理不單只是省下了維護費用，更是創造了社區意識。	優點: 除了箱體大以外，可自由調整高度、設層，且通氣排水佳，價格低。 缺點: 土壤和養分容易流失，須經常澆灌、施肥和補土，且容易造成落水頭阻塞。
嘉義焚化廠/簡易底部植生盆 	植生盆部分以滴管方式給水，由嘉義市青年發展協會認養，由志工維護管理，頻率為每周半天、每次3名的方式進行維管。	優點: 以底部給水為特點且水位超出時可自動排水，且降低用水量及泥漿流出。 缺點: 盆子不夠大，流出的泥水可能造成落水頭的阻塞，滴灌管也可能造成阻塞。

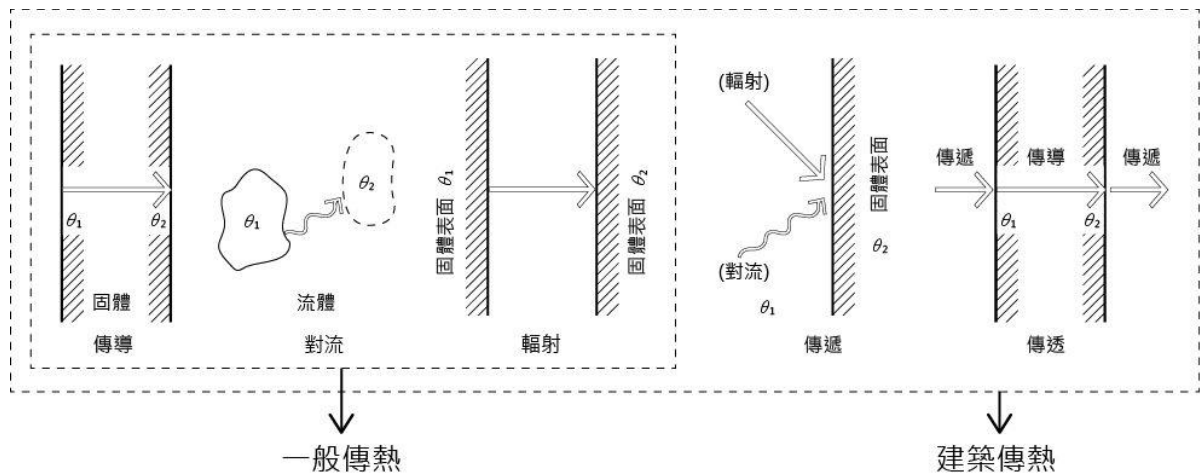
(資料來源：台灣綠屋頂暨立體綠化協會 天空之園，2014、本研究繪製)

經由綠屋頂之文獻，本研究以休耕的盆鉢型屋頂農園及木平台為研究對象，故在此各稱“盆鉢式屋頂農園”及“木平台屋頂”則兩者通稱“綠屋頂”，並經由上述四種屋頂隔熱做初步的分析，隔熱層的鋪設雖施工簡易、短期效果佳，但以長期維持來說必須持續更新、較為浪費且不實際；雙層屋頂構造雖說可避免外界氣候對建築物帶來直接的侵害，但無論是空間的活用、隔熱保溫、環境保護上都遠不及屋頂綠化所帶來的環境效益。

2-1-2 傳熱與隔熱定義

熱一般是藉著傳熱、對流、幅射，由高溫處傳向低溫處，建築上之傳熱過程，除了上述之傳導、對流、幅射外還加上傳遞、傳透等複合傳熱過程如圖 2-1(資料

圖 2-1 傳熱過程之種類



來源:黃漢泉 建築物理，1994)。

熱傳導為熱在固體、氣體及液體內，從高溫處流向低溫處之現象。在氣體及液體的情況下，通常會發生對流。熱對流為流體因自然或強制之對流而流動時，所產生熱移動。熱輻射物體之表面除非表面為絕對零度之外，一定會以輻射的形態放出熱量。此種輻射熱到達其他的物體表面時，一部分被反射，一部分被透過，剩餘部分吸收而使表面溫度升高。熱傳遞包括輻射熱傳遞與對流熱傳遞，前者為與流體相接觸之固體表面所發出之輻射現象，後者則為由於傳導和對流，所引起的固體表面和周圍流體間之熱交換。熱傳透為牆壁兩邊之兩流體間的傳熱稱為熱傳透或稱熱貫流。熱傳透極為熱流經過熱傳遞、熱傳導、熱傳遞而成。

於土壤的熱性質中，土壤之平均熱傳導率會因礦物成分、有機物含量、水分及空氣體積分率而定，土壤成分不同之熱傳導率如表所示(表 2-2):

表 2-2 土壤成分不同之熱傳導率

成分	W/m ⁰ k	成分	W/m ⁰ k
石英	8.8	水	0.57
其他礦物(平均)	2.9	冰	2.2
有機物	0.25	空氣	0.025

(資料來源：萬鑫森 基礎土壤物理學，1987)

因土壤中成分擁有水與空氣這兩種相變材料，則相變材料會隨著溫度而改變其物質狀態，在轉變物理性質的過程中會大量吸收或釋放潛熱，其過程可分為固-液相變、液-氣相變及固-氣相變三類，並稱為相變過程(郭昭儀，2011)。因此土壤中，水與空氣的變化通常會改變土壤的熱傳導率。

因為建築材料的不同對建築的傳熱及隔熱也有所不同，材料的選用對建築物及室內具有相當的影響，以下表 2-3 為各材料之傳導率：

表 2-3 各材料之傳導率

(資料來源：黃漢泉 建築物理，1994、The Engineering Toolbox 網站、本研究整理繪製)

屬性	名稱	w/(m.k)	屬性	名稱	w/(m.k)
金屬	銅	387.62	混凝土	普通混凝土	1.63
	鋁	237.36		輕量混凝土	0.52
	鐵(軟鐵)	48.05		氣泡混凝土	0.61
	不銹鋼	24.74	粉刷	水泥粉刷	1.08
石材	大理石	1.57	木材	塑膠漆	0.61
	花崗石	2.17		松	0.17
	水泥、石頭	1.7		杉	0.09
	蛭石顆粒	0.06		檜	0.10
土、沙	土(飽和)	0.6	其他	合板	0.12
	土(黏土)	1.1		石膏板	0.21
	土壤(有機物)	0.15		磁磚	1.27
	沙土(乾燥)	0.15		普通紅磚	0.61
	沙土(潮濕)	0.25		玻璃	0.77
	砂	0.48		瀝青	0.72
	砂礫	0.61		塑膠地板	0.32
水、冰	水	0.60	毛織布	0.13	
	冰	2.21			

除了以盆鉢式綠屋頂之案例了解本研究之三種盆體之優缺點差異外，透過傳熱之文獻結合傳熱之特性解析盆體及媒材之物理面相。以土壤層面來說，以覆土熱阻來減少室內的熱流，土層越厚其隔熱能力越好，並透過土壤的蒸散形式將熱能帶走，降低屋頂表面溫度。對於保綠植生盆及簡易底部給水植生盆方面，除了以土壤隔熱以外，前者盆體下的儲水空間也形成了另一種隔熱層，後者即利用底部水體進行蒸散以抽離屋頂之熱量；藉由此相變材料潛熱具有吸收與釋放熱能的能力，應用於建築外殼上必能有儲存及控制熱能、達到隔熱及保溫的效果，並透過上表比較可得知，土壤較其他材質之傳熱與隔熱能力較低，由此證明土壤可視為一種隔熱材料；植栽箱的部分則可利用通氣性及架高的性質形成陰影及通風層，藉由自然風形成的熱對流帶走熱能。

2-1-3 風環境相關理論

Wind profile 垂直風向分佈為根據風速測量得到地面至每公尺高度提升之風速變化如圖 2-2，以風功率密集度為風級，由中央氣象局統計測量出全年平均風級，其計算如公式：

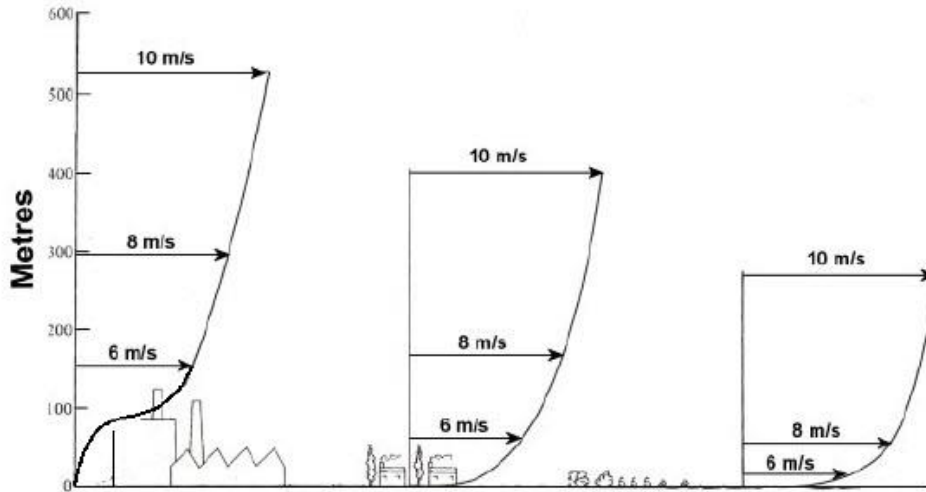


圖 2-2 Wind profile 垂直風向分佈 (資料來源:網路)

$$\frac{U}{U_{ref}} = \frac{\log(Z/Z_0)}{\log(Z_{ref}/Z_0)} \dots\dots\dots(1)$$

公式中 Z_0 為地表的粗糙程度: Suburban $> Z_0=0.1m$, Z_{ref} 為參考點的高度單位(m), Z 為高度單位(m), U 為風速單位(m/s), U_{ref} 為參考點風速單位(m/s)。

粗糙長度代表近地表處流場渦旋尺度的量測值，與地表上地物分佈有密切關係；如要直接量測值，通常甚為困難，一般均利用以對數律擬合近地表平均風速剖面，由所得之常數項計算得之。表 2-4 列出了不同地況與地表粗糙長度 Z_0 之關係：

表 2-4 地況與地表粗糙長度之關係

地況	地表粗糙長度 Z_0 (cm)
沙地	0.01~0.1
農村田地	4~10
偏遠郊區	20~40
鄉鎮區	80~120
都會區	200~300

(資料來源：數地生態環境科技之風環境科技，1998)

2.2 研究方法

以中央氣象局之當地風速與現地實測之溫濕度做為氣候資料，並利用實測法實測西側木平台屋頂與東側盆鉢型屋頂農園及其兩側下方之 7F A B 兩室，並做分析比較。

2-2-1 研究地區概述

1. 現地實測位置:

位於台中西屯區商圈海拔高度約 100 公尺之逢甲大學-忠勤樓，忠勤樓樓高約 34.4，實測場地分為戶外及室內 AB 兩室(圖 2-1)，共三種空間。

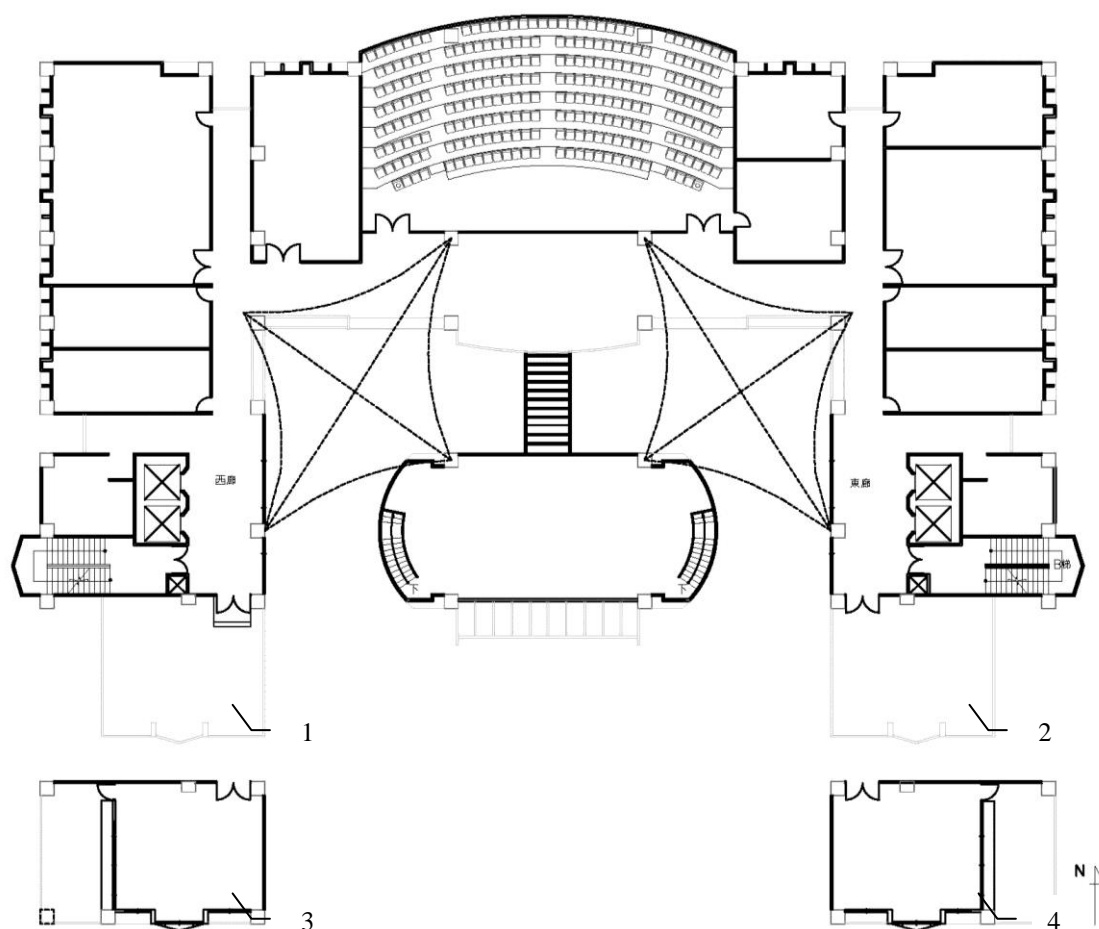


圖 2-1 忠勤樓平面配置示意圖

1. 8F 木平台屋頂(西側)(詳表 2-5)
2. 8F 盆鉢式屋頂農園(東側)(詳表 2-6)
3. 7F A 室(木平台屋頂下方)(詳表 2-7)
4. 7F B 室(盆鉢式屋頂農園下方)(詳表 2-7)

2. 中央氣象局風速資料:

透過中央氣象局之網站擷取相關之當日風速資料，台中測站站點海拔高度約 84 公尺，與臺中公園相鄰，綠地較廣故氣象要素受都市化之影響相對較低。

3. 實測環境:

一、戶外部分:

於樓高約30公尺之8F東側露臺盆鉢式屋頂菜園(表2-6)，樓板面積約70m²、綠化覆蓋率約38.5%，周圍無更高的大樓故無任何遮蔽物，故可排除遮蔽之變因。

表 2-5 木平台屋頂配置與組成表

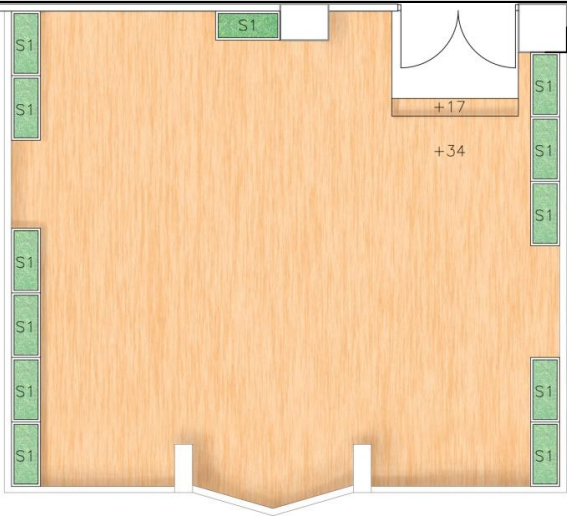

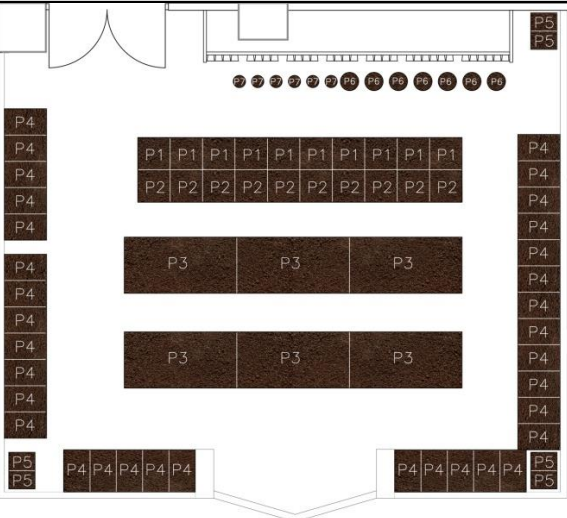



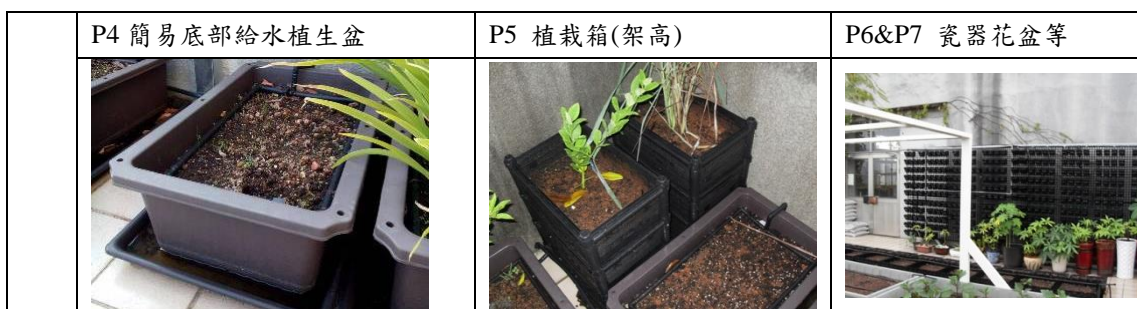
基地配置	木平台屋頂平面示意圖	長寬		樓板面積	
		798x932.5		70.757m ²	
		平台覆蓋率		平台覆蓋面積	
		95.6%		67.715m ²	
資材結構					
		代號	L × W × H cm	數量	
		S1	107 × 47 × 42	12	
					

表 2-6 盆鉢式屋頂農園配置與組成表

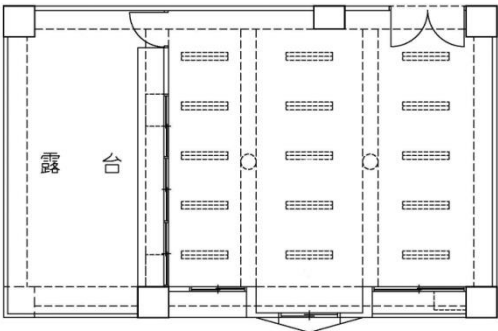
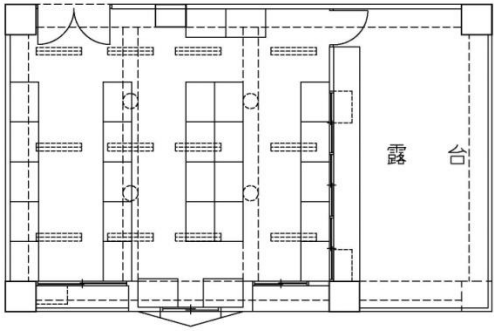






基地配置	盆鉢式屋頂農園平面示意圖	圖片																																													
				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">長寬</th> <th colspan="2">樓板面積</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">798x932.5</td> <td colspan="2">70.757m²</td> </tr> <tr> <th colspan="2">綠化覆蓋率</th> <th colspan="2">綠化覆蓋面積</th> </tr> <tr> <td colspan="2">38.5%</td> <td colspan="2">21.303m²</td> </tr> <tr> <th>代號</th> <th>L × W × H cm</th> <th colspan="2">數量</th> </tr> <tr> <td>P1</td> <td>53 × 53 × 15 cm</td> <td colspan="2">10</td> </tr> <tr> <td>P2</td> <td>53 × 51 × 25 cm</td> <td colspan="2">10</td> </tr> <tr> <td>P3</td> <td>184 × 92 × 40 cm</td> <td colspan="2">6</td> </tr> <tr> <td>P4</td> <td>69 × 43 × 24 cm</td> <td colspan="2">34</td> </tr> <tr> <td>P5</td> <td>43 × 30 × 52 cm</td> <td colspan="2">6</td> </tr> <tr> <td colspan="2">P6&P7</td> <td colspan="2">13</td> </tr> </tbody> </table>		長寬		樓板面積		798x932.5		70.757m ²		綠化覆蓋率		綠化覆蓋面積		38.5%		21.303m ²		代號	L × W × H cm	數量		P1	53 × 53 × 15 cm	10		P2	53 × 51 × 25 cm	10		P3	184 × 92 × 40 cm	6		P4	69 × 43 × 24 cm	34		P5	43 × 30 × 52 cm	6		P6&P7	
長寬		樓板面積																																													
798x932.5		70.757m ²																																													
綠化覆蓋率		綠化覆蓋面積																																													
38.5%		21.303m ²																																													
代號	L × W × H cm	數量																																													
P1	53 × 53 × 15 cm	10																																													
P2	53 × 51 × 25 cm	10																																													
P3	184 × 92 × 40 cm	6																																													
P4	69 × 43 × 24 cm	34																																													
P5	43 × 30 × 52 cm	6																																													
P6&P7		13																																													
資材結構	P1 保綠植生盆	P2 植栽箱(平放)	P3																																												
																																															



二、室內部分:

室內方面於西側木平台屋頂下方 7F A 室及東側盆鉢式屋頂農園下方之 7F B 室，共兩間空間如下表 2-7:


表 2-7 7FAB 兩房配置與組成表

西側木平台下方 7F A 室			東側盆鉢型屋頂農園下方之 7F B 室		
總樓板面積		室內面積	露臺面積		
92.383m ²		61.342m ²	31.041m ²		
					
名稱	圖示	數量	名稱	圖示	數量
T5 燈管		12	T5 燈管		15
吊扇		4	吊扇		2
冷氣機		3	冷氣機		3

2-2-2 儀器介紹

以研究之需求選擇之工具為溫濕度自動記錄器。利用溫濕度自動記錄器進行 AB 兩房室內及室外(8F 盆鉢式屋頂農園)之溫濕度，規格如下表 2-8:

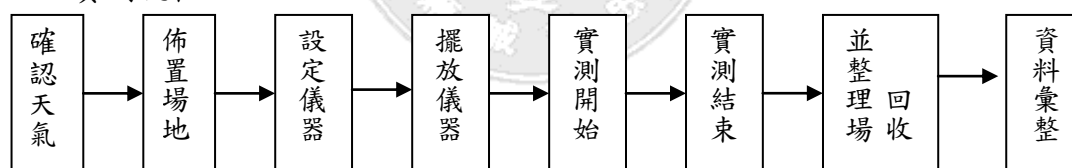
表 2-8 儀器規格表

儀器名稱與型號	溫濕度計預約時間自動記錄型	圖片	
感應器組成	溫度:快速反應型熱敏電阻感測器。		
資料輸出	RS-232 電腦連接介面		
精確度	溫度:±0.5°C (0.9°F) 濕度:±3%RH(25°C 時, 30~95%RH) ±5%RH(25°C 時, 10~30%RH)		
工作環境	溫度:0~60°C 相對溼度:95%RH 以下		
測量範圍	10%~95%RH -20°C ~+60°C ; (-4°F ~+140°F)		
		解析度	溫度:0.1°C 濕度:0.1%RH

2-2-3 實測方法

實測方法總共分為實測流程、實測規劃、資料記錄與收集方式、測點設置規劃等四項項目，實驗流程如下:

一、實測流程:



二、實測規劃

1. 因本研究主要在探討綠屋頂對下方室內之影響研究，為了測得外氣數據以安全、及保護實測儀器及相同條件之考量下進行實測，故主要樣本以天氣晴朗狀況下進行實測，避免氣候因素變異過大影響實測之結果。
2. 期間以夏至末分別於 9 月 3、4、8、9、10、11、12、13、26 日及 10 月 10 日進行實測。時間上考慮太陽角度的不同及人力及實測儀器因素，實測時間分為三個時段，第一個時段位於上午 9:00-9:10 分；第二個時段為上午 12:00-12:10 分；第三個時段為下午 15:00-15:10，進行短期實測。

三、資料紀錄及收集方式

除了考量人力以外，也配合儀器的使用範圍以分時段進行實測，因儀器擁有自動記錄功能，實測進行時以儀器將在同一時間記錄室內外溫度。之後於中央氣象局網路擷取所需之風速資料，應用方式如下:

- (1. 溫濕度計:利用儀器本身的記錄功能記錄，但無法長時間進行記錄，故採用時段的方式來做自動記錄，自動記錄時間為 10 分鐘，以 15 秒記錄一筆，共 41 筆資料。
- (2. 風速採用中央氣象局之當日風速，中央氣象局之風速相關儀器(表 2-9)使用風向計及三杯風速計，記錄方式為地面氣象自動測報系統，記錄即

時資料並提供逐時和極端資料。

表 2-9 中央氣象局風力儀器與架設高度表

儀器名稱	公尺	儀器名稱	公尺	儀器名稱	公尺	儀器名稱	公尺
風向計 wd	17.5	風杯風速計	17.5	風車型	17.5	自動系統	10

(資料來源:中央氣象局)

四、測點設置規劃

室內測點(A室、B室)以考慮人位於空間中普遍在行走及作業的範圍為測量高度，故以離地 150 公分為基準設置測量點。為了掌握開口變因，位於空間中央及靠窗各設置一點，共 2 個測量點，以了解其內部差異性。A 室放置兩台溫濕度計儀器(圖 2-5)，編號 10 位於室內中央，編號 7 位於室內靠窗；B 室放置兩台溫濕度計(圖 2-6)，編號 3 位於室內中央，編號 6 位於室內靠窗。

室外測點於 8F 盆鉢式屋頂農園共設置 3 個測量點(圖 2-6)，以溫濕度計分別實測外氣及屋頂農園(土壤表面及盆栽架空)之溫度。屋頂農園之測量點以土壤上方溫度及盆鉢下方空隙測量；編號 15 儀器於土壤上方溫度為距離土壤表面約 1 公分，為了避免陽光直射將偵測頭及儀器以紙片覆蓋；編號 13 儀器於盆鉢下方的空隙為將偵測頭放置於厚紙片上架高距離底盤 0.5 公分進行測量。外氣測量與室內測點高度一致，離地 150 公分，編號 14 儀器之偵測頭以紙片覆蓋的方式來遮蔽陽光直射。

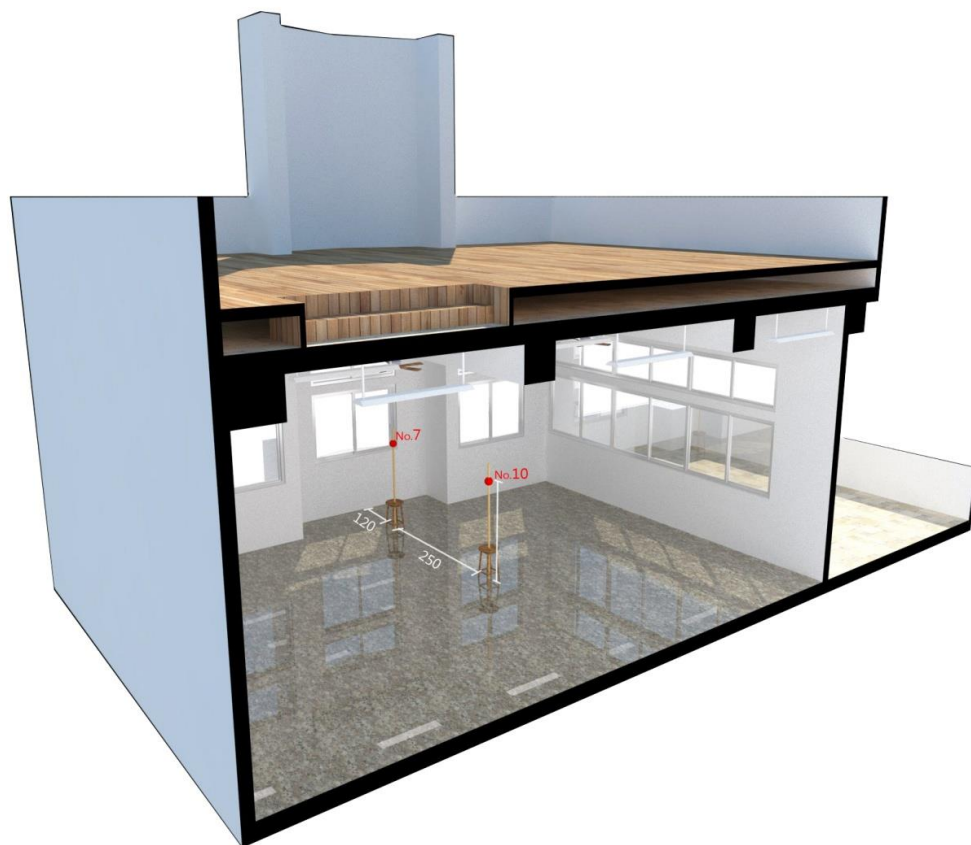


圖 2-4 西側木平台屋頂與 A 室測點設置示意圖

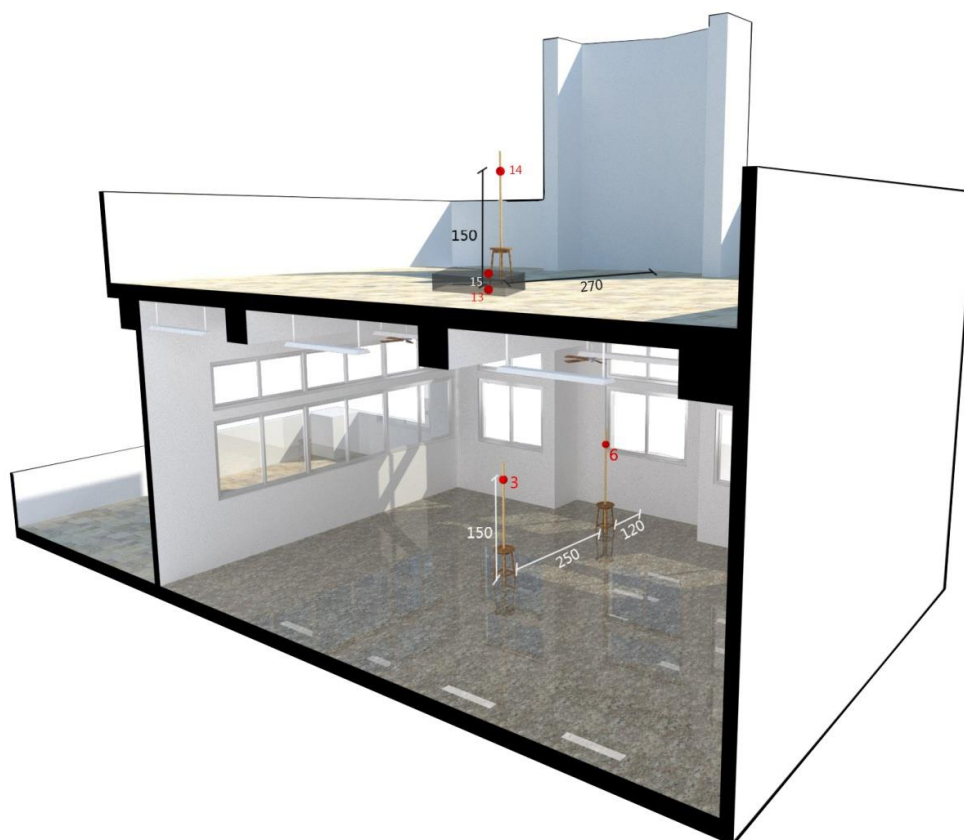


圖 2-3 東側盆鉢式屋頂農園與 B 室測點設置示意圖

參、結果

本研究實測可分為三組數據，第一組為外氣候基本數據，並可細分為實測及數據擷取，實測部分為外氣溫、土壤上方及盆鉢下方，以下各稱 T_{out} 、 T_{up} 、 T_{down} ；資料擷取部分為中央氣象局之風速，以下稱 W ；第二組數據為7樓A室(以下稱A組)，實測分別為中央及靠窗，以下各稱 T_{A-c} 及 T_{A-w} ；第三組為7樓B室(以下稱B組)，實測分別為中央及靠窗，以下各稱 T_{B-c} 及 T_{B-w} ，如下簡表 3-1 表示。

表 3-1 數據關係簡表

名稱	第一組數據	代號	第二組數據	代號	第三組數據(B組)	代號
內容	中央氣象局風速	W	7樓A室溫度數據	A組	7樓B室溫度數據	B組
	外氣溫	T_{out}	室內中央	T_{A-c}	室內中央	T_{B-c}
	盆鉢	土壤上方 T_{up} 盆鉢下方 T_{down}	室內靠窗	T_{A-w}	室內靠窗	T_{B-w}
研究方法	現地實測與資料擷取		現地實測		現地實測	

3-1 依時段分析全體平均溫度數值變化

1. 從9月至10月中，於09:00各測點之平均溫度數值變化如下圖 3-1:

- (1.)A組 T_{A-c} 為 29.2°C、 T_{A-w} 為 29.4°C。
- (2.)B組 T_{B-c} 為 28.9°C、 T_{B-w} 為 29.1°C。
- (3.) T_{out} 為 32.4°C、 T_{up} 為 30.9°C、 T_{down} 為 28.5°C。

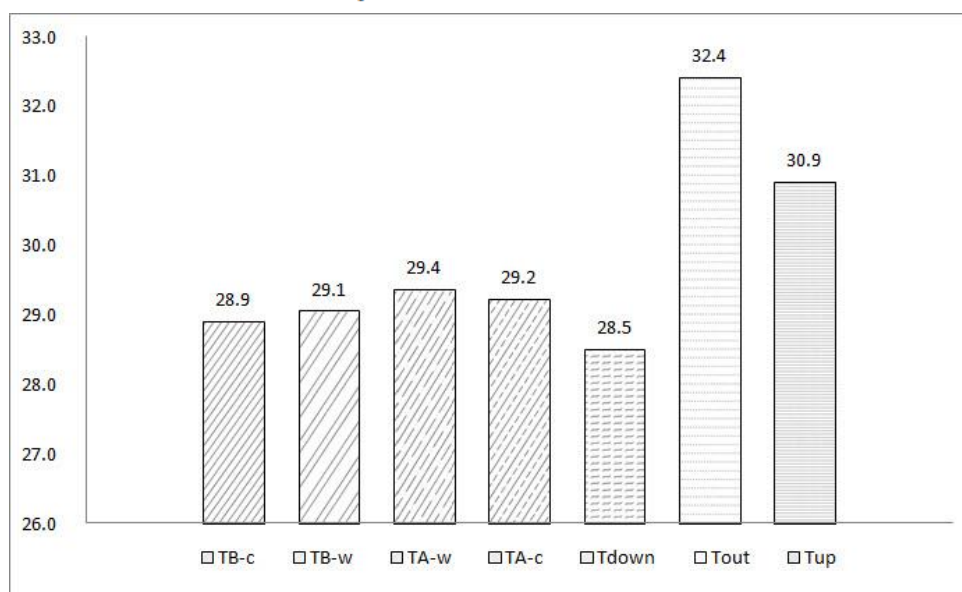


圖 3-1 9-10月 9:00 全體平均溫度

2. 從 9 月至 10 月比較於 12:00 各測點之平均溫度數值變化如下圖 3-2:

- (1.)A 組 T_{A-c} 為 29.9°C 、 T_{A-w} 為 29.9°C 。
- (2.)B 組 T_{B-c} 為 28.6°C 、 T_{B-w} 為 29.9°C 。
- (3.) T_{out} 為 33°C 、 T_{up} 為 32.8°C 、 T_{down} 為 30.4°C 。

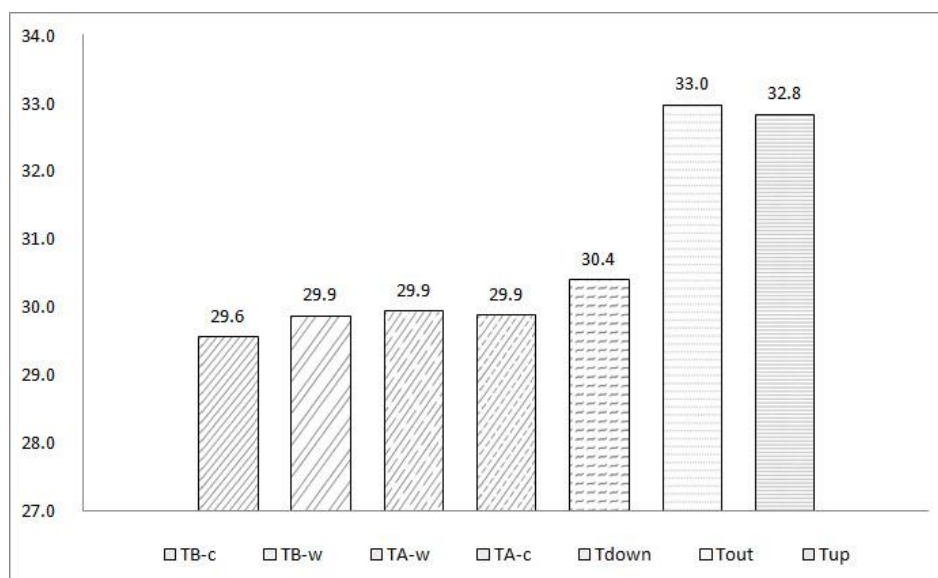


圖 3-2 9-10 月 12:00 全體平均溫度

3. 從 9 月至 10 月比較於 09:00 各測點之平均溫度數值變化如下圖 3-3:

- (1.)A 組 T_{A-c} 為 30.5°C 、 T_{A-w} 為 30.5°C 。
- (2.)B 組 T_{B-c} 為 30.2°C 、 T_{B-w} 為 30.6°C 。
- (3.) T_{out} 為 33°C 、 T_{up} 為 32.3°C 、 T_{down} 為 31.4°C 。

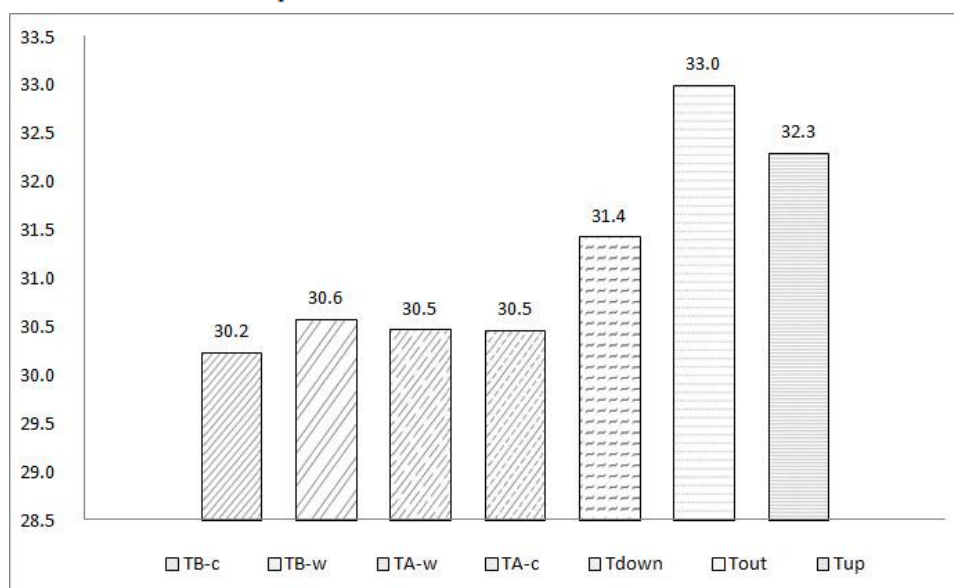


圖 3-3 9-10 月 15:00 全體平均溫度

3-2 依時段各別比較 A 組與 B 組平均溫度數值變化

1. 以 9:00 時段比較室內靠窗 T_{A-w} 、 T_{B-w} 最高溫差值與最小溫差值，最大溫差於 9/26 日中， T_{A-w} 31.6°C 比 T_{B-w} 29.2°C 溫度高 2.4°C；最小溫差則於 9/11 日，兩組皆為 29.4°C，同值。

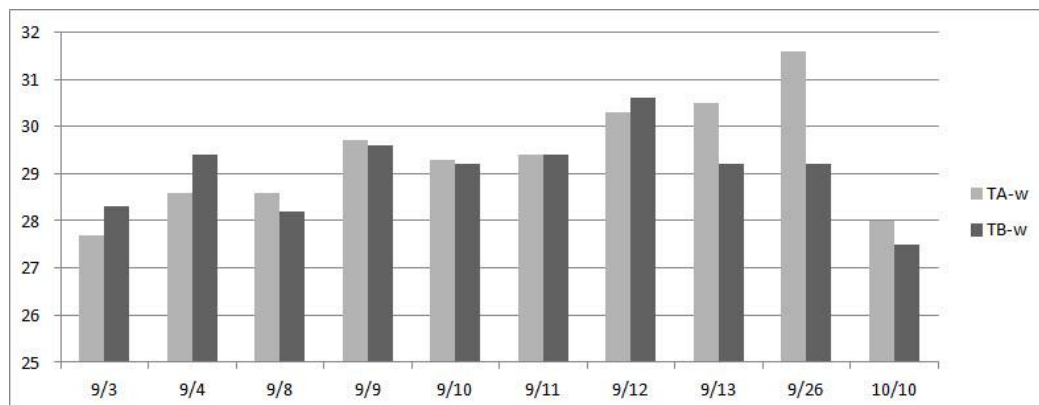


圖 3-4AB 兩組室內靠窗之各天於 9:00 平均溫度

2. 以 9:00 時段比較室內中央 T_{A-c} 、 T_{B-c} 最高溫差值與最小溫差值，最大溫差於 9/26 日中， T_{A-c} 31.3°C 比 T_{B-c} 29.1°C 溫度高 2.2°C；最小溫差則於 9/11 日， T_{A-c} 29.5°C 比 T_{B-c} 29.4°C 高 0.1°C。

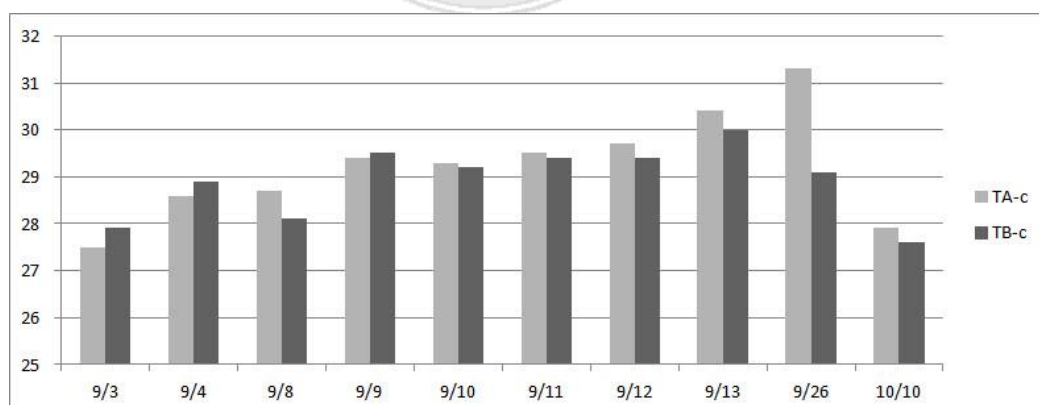


圖 3-5AB 兩組室內中央之各天於 9:00 平均溫度

3. 以 9:00 時段表示各天風速，於 9/26 日 2.9 ft/min 為最強風速，於 10/10 日 0.4 ft/min 為最小風速。

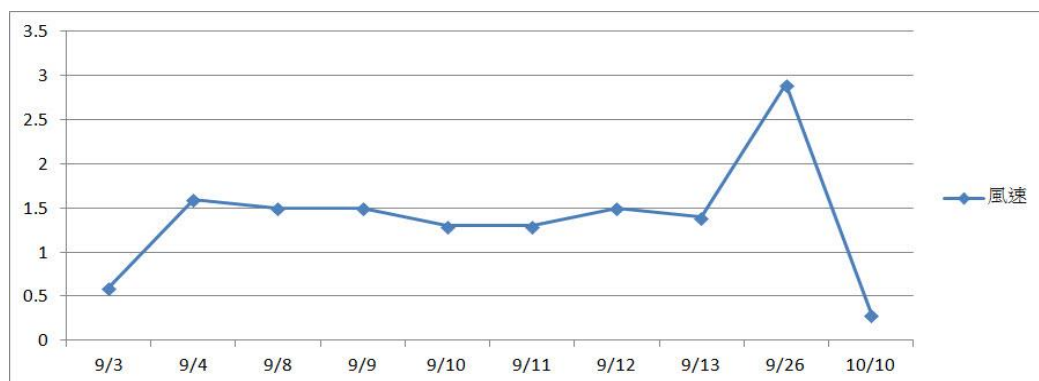


圖 3-6 各天於 9:00 平均風速圖

4. 以 12:00 時段比較室內靠窗 T_{A-w} 、 T_{B-w} 最高溫差值與最小溫差值，最大溫差於 9/9 日中， T_{A-w} 30.3°C 比 T_{B-w} 29.1°C 溫度高 1.2°C；最小溫差則於 9/10 日，兩組皆為 30°C，同值。

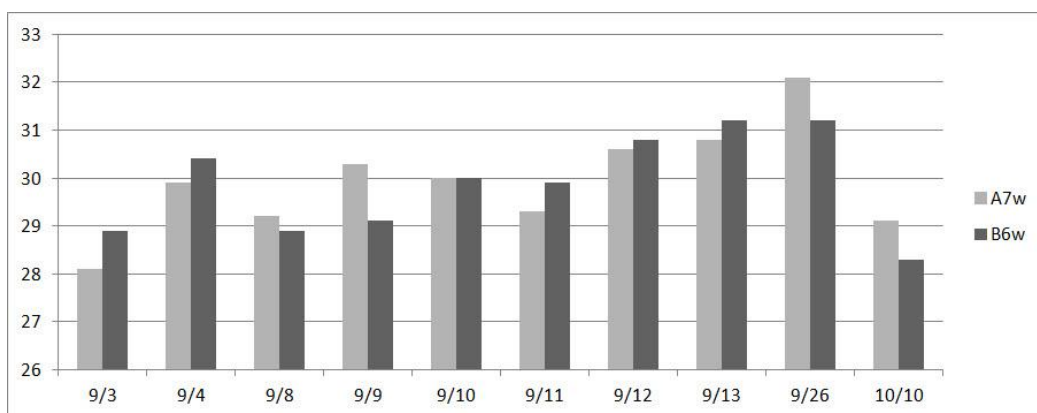


圖 3-7AB 兩組室內靠窗之各天於 12:00 平均溫度

5. 以 12:00 時段比較室內中央 T_{A-c} 、 T_{B-c} 最高溫差值與最小溫差值，最大溫差於 9/12 日中， T_{A-c} 30.9°C 比 T_{B-c} 29.8°C 溫度高 1.1°C；最小溫差則於 9/9 與 9/11 日，分別為 29.9°C 及 29.8°C， T_{A-c} 與 T_{B-c} 同值。

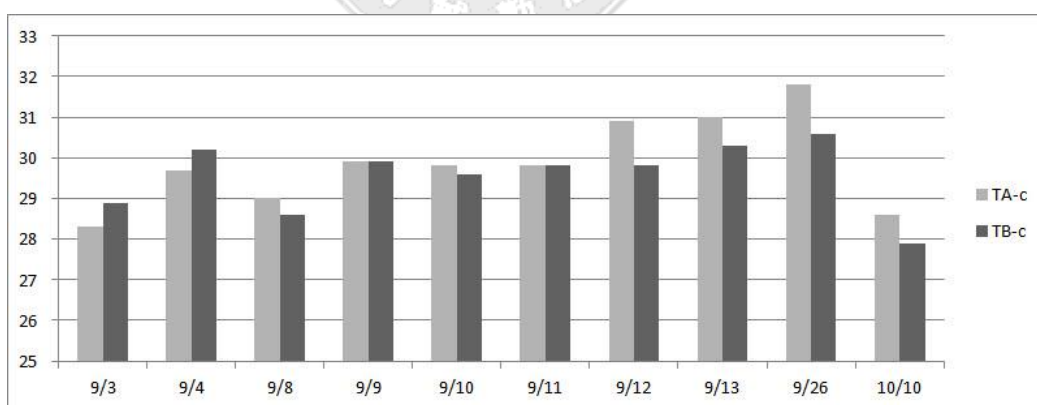


圖 3-8 AB 兩組室內中央之各天於 12:00 平均溫度

6. 以 12:00 時段表示各天風速，於 9 月 26 日 3.5 ft/min 為最強風速，於 9 月 13 日 1.6 ft/min 為最小風速。

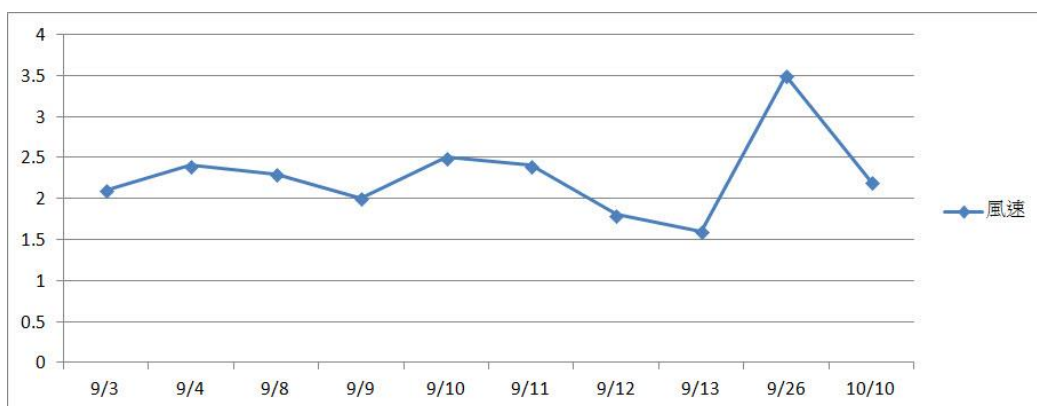


圖 3-9 各天於 12:00 平均風速圖

7. 以 15:00 時段比較室內靠窗(T_{A-w} 、 T_{B-w})最高溫差值與最小溫差值，最大溫差於 9/10 日中， T_{B-w} 30.6°C 比 T_{A-w} 29.7°C 溫度高 0.9°C；最小溫差則於 9/12 日， T_{A-w} 31.3°C 比 T_{B-w} 31.2°C 高 0.1°C。

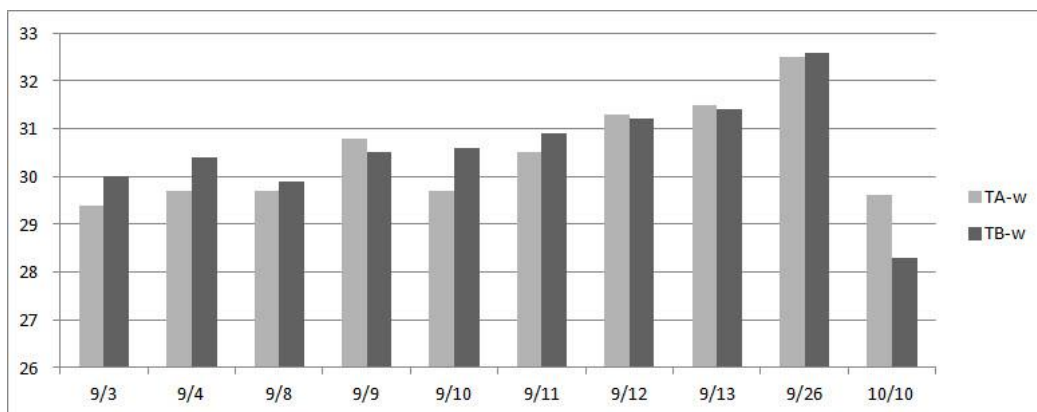


圖 3-10AB 兩組室內靠窗之各天於 15:00 平均溫度

8. 以 15:00 時段比較室內中央 T_{A-c} 、 T_{B-c} 最高溫差值與最小溫差值，最大溫差於 9/26 日中， T_{A-c} 32.5°C 比 T_{B-c} 31.3°C 溫度高 1.2°C；最小溫差則於 9/8 日， T_{A-c} 30°C 比 T_{B-c} 29.9°C 高 0.1°C。

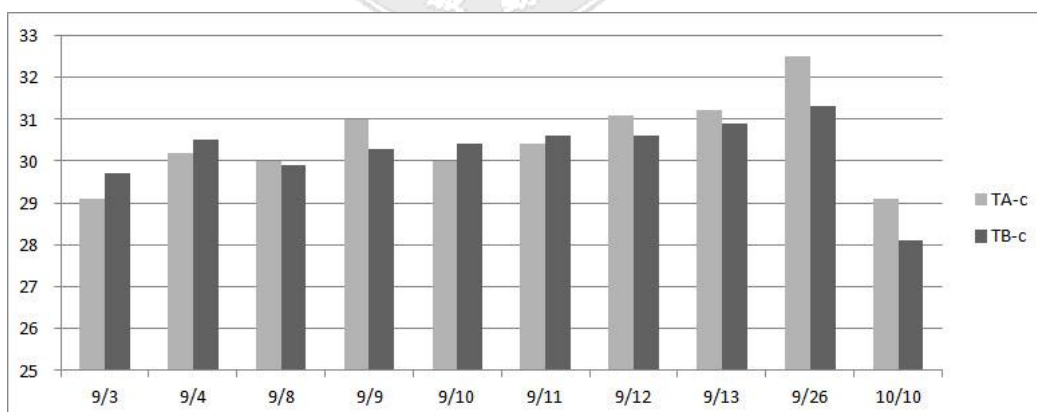


圖 3-11AB 兩組室內中央之各天於 15:00 平均溫度

9. 以 15:00 時段表示各天風速，於 9 月 26 日 4^{ft}/_{min} 為最強風速，於 9 月 13 日 2.3^{ft}/_{min} 為最小風速。

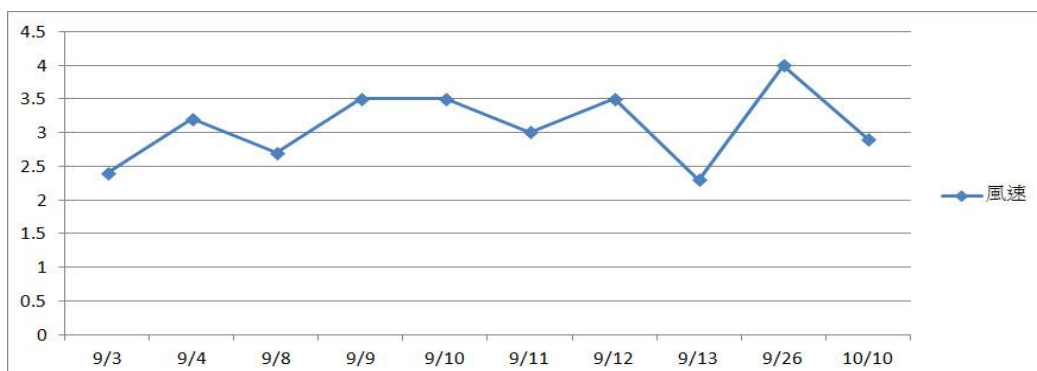


圖 3-12 各天於 15:00 平均風速圖

3-3 依每日時段比較 A 組與 B 組平均溫度探討室內溫度穩定性

1. 將室內靠窗部分 T_{A-w} 、 T_{B-w} 做趨勢圖比較如圖 3-13:

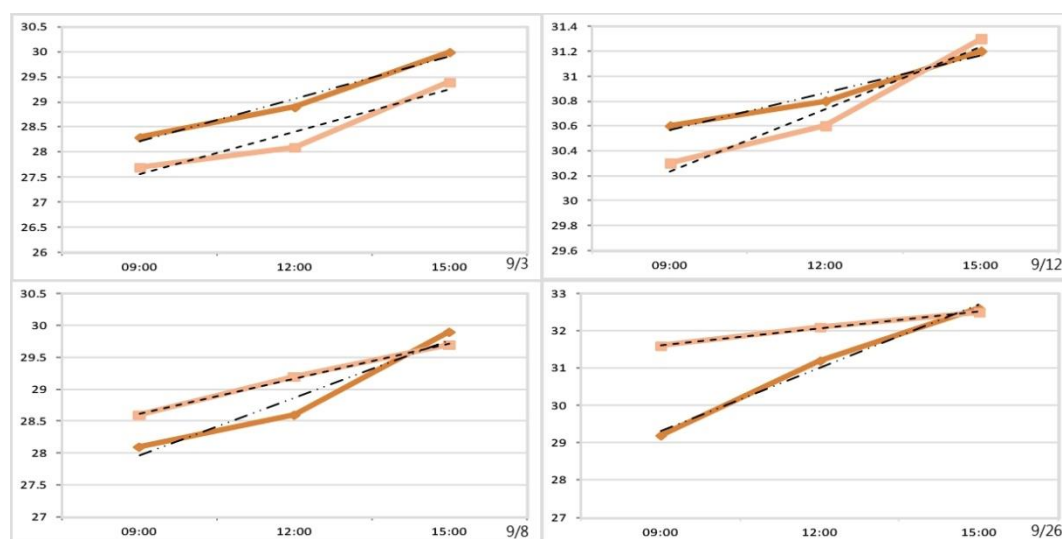
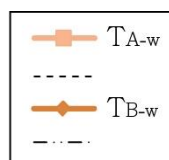


圖 3-13 與 趨勢比較圖



最大趨勢差於 9/26, T_{B-w} 為 1.7° 比 T_{A-w} 0.4° 大 1.3° ; 最小趨勢於 9/3、9/4 分別各為 0.8° 與 0.5° , T_{A-w} 與 T_{B-w} 同值。

2. 將室內中央部分 T_{A-c} 、 T_{B-c} 做趨勢圖比較如圖 3-14:

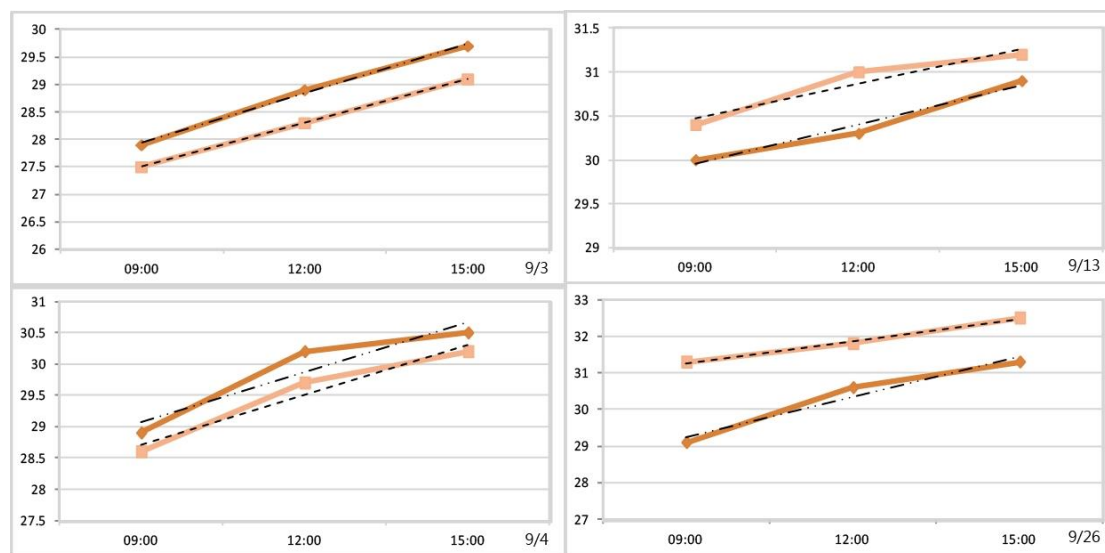
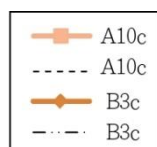


圖 3-14 與 趨勢比較圖



最大趨勢差於 9/26, T_{A-c} 為 0.6° 比 T_{B-c} 1.1° 大 0.5° ; 最小趨勢於 9/4、9/13 分別各為 0.8° 與 0.4° , T_{A-c} 與 T_{B-c} 同值。

肆、討論

4-1 由依時段分析全體平均溫度數值變化室外部分之溫度情況分析，如圖 3-1、3-2、3-3 實測之外氣候溫度最高於 9/10 日 am9:00 為 36.5°C；最低於 10/10 日 am9:00 為 28.9°C；以平均論，外氣溫為平均皆為最高，並比土壤上方溫度高平均 0.8°C、比盆鉢下方高將近 2.4°C；外氣溫與盆鉢下方溫度於 9/10 日 am9:00 時最大可差 9°C。

4-2 依時段之平均值分析分別比較 AB 兩室之室內中央與靠窗之溫度差，以平均論如圖 3-1、3-2、3-3 比較室內溫度分佈情況，在 A 組中，最大溫差於 am9:00， T_{A-w} 為 29.4°C 比 T_{A-c} 29.2°C 高 0.2°C，其於 pm12:00 與 pm15:00 中各為 29.9°C、30.5°C 溫差為 0 同值；在 B 組中，最大溫差值於 pm15:00， T_{B-w} 為 30.6°C 比 T_{B-c} 30.2°C 高 0.4°C，最小溫差值於 am9:00， T_{B-w} 為 29.1°C 比 T_{B-c} 28.9°C 高 0.2°C。

若以日期下探討室內中央與靠窗之最高溫差值平均及當日最小溫差值之平均來比較 AB 兩組會清楚發現，如表 4-1，A 組最小溫差值平均為 0.1、最大 0.4；如表 4-2，B 組最小平均溫差值平均則為 0.2°C、最大 0.7°C。

表 4-1 A 組 T_{A-c} 與 T_{A-w} 最小溫差值與最大溫差值表

測點	時間	9/3	9/4	9/8	9/9	9/10	9/11	9/12	9/13	9/26	10/10	平均
T_{A-c}	9:00	27.5	28.6	28.7	29.4	29.3	29.5	29.7	30.4	31.3	27.9	
	12:00	28.3	29.7	29	29.9	29.8	29.8	30.9	31	31.8	28.6	
	15:00	29.1	30.2	30	31	30	30.4	31.1	31.2	32.5	29.1	
T_{A-w}	9:00	27.7	28.6	28.6	29.7	29.3	29.4	30.3	30.5	31.6	28	
	12:00	28.1	29.9	29.2	30.3	30	29.3	30.6	30.8	32.1	29.1	
	15:00	29.4	29.7	29.7	30.8	29.7	30.5	31.3	31.5	32.5	29.6	
最小溫差值	0.2	0	0.1	0.2	0	0.1	0.2	0.1	0	0.1	0.1	
最大溫差值	0.3	0.5	0.3	0.4	0.3	0.5	0.6	0.3	0.3	0.5	0.4	

表 4-2 B 組 T_{B-c} 與 T_{B-w} 最小溫差值與最大溫差值表

測點	時間	9/3	9/4	9/8	9/9	9/10	9/11	9/12	9/13	9/26	10/10	平均
T_{B-c}	9:00	27.9	28.9	28.1	29.5	29.2	29.4	29.4	30	29.1	27.6	
	12:00	28.9	30.2	28.6	29.9	29.6	29.8	29.8	30.3	30.6	27.9	
	15:00	29.7	30.5	29.9	30.3	30.4	30.6	30.6	30.9	31.3	28.1	
T_{B-w}	9:00	28.3	29.4	28.2	29.6	29.2	29.4	30.6	29.2	29.2	27.5	
	12:00	28.9	30.4	28.9	29.1	30	29.9	30.8	31.2	31.2	28.3	
	15:00	30	30.4	29.9	30.5	30.6	30.9	31.2	31.4	32.6	28.3	
最小溫差值	0	0.1	0	0.1	0	0	0.6	0.5	0.1	0.1	0.2	
最大溫差值	0.4	0.5	0.3	0.8	0.4	0.3	1.2	0.9	1.3	0.4	0.7	

因不同測點以時段與日分析，比較 AB 兩室之溫度差。如圖 3-4、3-7、3-10，室內靠窗兩組 T_{A-w} 、 T_{B-w} 最大溫差值於 9/26am9:00， T_{A-w} 為 31.6°C 比 T_{B-w} 29.2°C 高 2.4°C；最小溫差值於 9/10 日 pm12:00 及 9/11 日 am9:00 分別為 30°C 及 29.4°C， T_{A-w} 與 T_{B-w} 溫差值為 0；如圖 3-1、3-2、3-3 溫度平均後 T_{A-w} 比 T_{B-w} 高 0.06°C，

兩組溫度差距甚小。如圖 3-5、3-8、3-11，室內中央兩組 T_{A-c} 、 T_{B-c} 最大溫差值於 9/26am9:00 發生， T_{A-c} 為 31.3°C 比 T_{B-c} 29.1°C 高 2.2°C；最小溫差值於 9/9pm12:00 及 9/11pm12:00，分別為 29.9°C 及 29.8°C， T_{A-c} 與 T_{B-c} 兩組溫差值為 0；如圖 3-1、3-2、3-3 溫度平均後 T_{A-c} 比 T_{B-c} 高 0.3°C，兩組溫度差距小。以中央氣象局之風速比較發現，當日風速程度對於室內溫度有足夠的影響，從 9-10 月中實測期間風速平均為 2.3ft/min，以當日風速平均高達 3.5ft/min 之 9/26 日為例，如圖 4-1 於 am9:00 風速為 2.9ft/min 時， T_{A-w} 為 31.6°C 比 T_{B-w} 29.2°C 高 2.4°C。

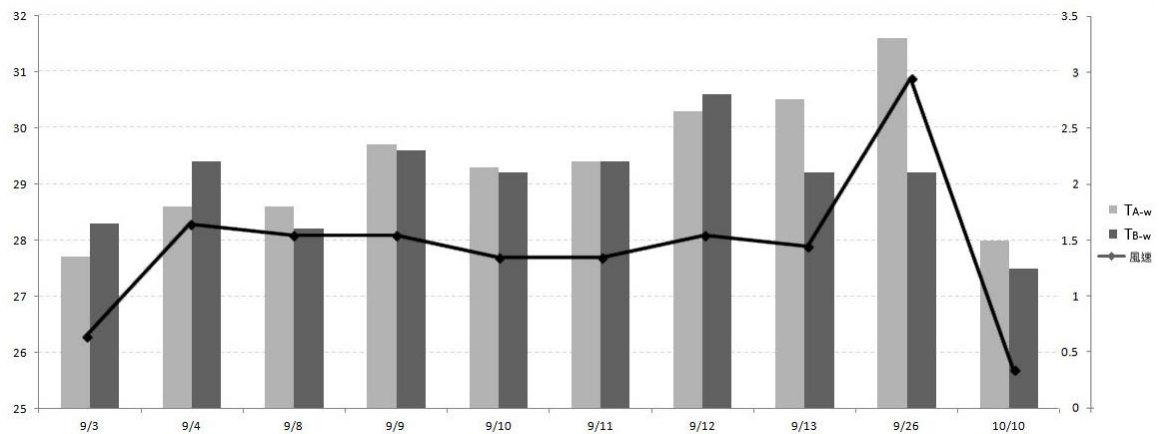


圖 4-1 於 9/26 日 pm9:00 T_{A-w} 與 T_{B-w} 平均溫度與風速疊圖

透過每日場地之記錄表(表 4-3)可以發現，從第 9/8 開始測試盆鉢澆灌系統，並與圖 3-4、3-5、3-7、3-8、3-10、3-11、做比對，除了 9/3 日及 9/4 日 am9:00-pm15:00 與 9/10 及 9/11pm15:00 無澆灌記錄外，其於有澆灌活動之日期明顯的表示 B 組溫度比 A 組低。如圖 3-10，溫差最大於 9/10 pm15:00， T_{B-w} 為 30.6°C 比 T_{A-w} 29.7°C 高 0.9°C；如圖 3-10；最小溫差於 9/11 日 pm15:00， T_{B-w} 為 30.9°C 比 T_{A-w} 30.5°C 高 0.4°C。

表 4-3 澆灌與熱源記錄表

日期	9/3		9/4		9/8		9/9		9/10		9/11		9/12		9/13		9/26		10/10	
澆灌/ 熱源	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H
9:00					Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N
12:00	N				Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N
15:00					Y	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N

4-3 透過圖 3-13，最大趨勢差於 9/26， T_{B-w} 為 1.7°，斜度比 T_{A-w} 0.4°大 1.3°；最小趨勢於 9/3 為 0.8°， T_{A-w} 與 T_{B-w} 同值。

以圖 3-14 表示，最大趨勢差於 9/26， T_{A-c} 為 1.1°比 T_{B-c} 0.4°大 0.7°；最小趨勢於 9/13 為 0.4°， T_{A-c} 與 T_{B-c} 同值。若將 T_{A-w} 與 T_{B-w} 之斜率平均後比較發現， T_{B-w} 平均斜率上升為 0.7°比 T_{A-w} 平均 0.5°為多 0.2°；則 T_{A-c} 與 T_{B-c} 之斜率平均後比較發現， T_{B-c} 平均為 0.6°比 T_{A-c} 平均 0.5°多 0.1°。

五、結論與建議

根據分析結果得知，室內溫度會因綠屋頂設置方法的不同而有極大的影響。因此若適當的設置綠屋頂可以有效的控制室內環境，針對木平台及盆鉢式綠屋頂實測分析後，歸納以下幾點：

1. A組之結果:木平台因抬高後產生下方空隙，雖無通風作用，若以室內溫度均勻程度來說，由討論4-2可知，A組較為均勻，由此驗證木平台可以將溫度平均散佈之特性。從覆蓋率高達95.6%的木平台，比覆蓋面積只有38.5%的盆鉢式屋頂農園大許多，由討論4-6可知，B組數值大部分比A組高，表示A組的室內恆溫能力比B組強。
2. B組之結果:盆鉢之土壤本為傳導率較低的材質，且加上盆鉢下方形成陰影的部分，由討論4-1可知，確實能夠有效的達到遮陰並降低樓板溫度。由於水蒸發可達到540kcal/kg，吸熱能力良好，並利用澆灌更讓室內溫度大幅下降，由討論4-5可知，澆灌系統對屋頂農園澆灌後降溫效益高，影響室內溫度程度高。利用通風層以及通氣的樓板可降低室內溫度，由討論4-4可知，由於B組由盆體(部分有通氣層)與裸露之樓板組成與A組之木平台無通風層相比後，A組比B組室內來得炎熱，證明了通風層之降溫效益。
3. 經由結論推測，若在無封閉、具有通風層、且覆蓋率越高的狀態下可提升穩定室內溫度及平均室內熱分布的能力。
4. 本研究除了自然變因外，人為因素僅於盆鉢型屋頂農園進行澆灌，其於無任何熱源(人、電燈、電腦…等)及通風機械(風扇、冷氣機…等)等因素，因此本次實驗是以排除其上述之變因之狀況下進行實測。往後可透過電腦數值模擬方便、低成本、快速之特性探討綠屋頂不同形式的構成對室內熱環境之影響，並對未來的綠屋頂的策略提出建議。
5. 以目前利用觀察法可得之，除了手動澆灌、吸菸、種植及擺設之行為外，目前還沒有其他休憩行為的出現，若可以不依靠現成的桌椅的情況下，利用現有之盆鉢依照人的尺度及行為來改變擺設及型態，也許可以增加空間之使用，並使空間的使用上更為活潑。
6. 若改變盆鉢型屋頂農園擺放形式也可增加通風層、陰影，所以不管是在開放空間的行為上或是以物理面相來說有相當的幫助。

陸、參考文獻

參考書目:

1. 張育森, 賴允慧, (2011), 綠屋頂的功能和技術, 「臺大農業推廣通訊雙月刊」, 94 期, pp.7-13。
2. 陳瑞源, (2003), 將都市外皮膚歸還自然—綠屋頂介紹, 「造園季刊」, 46 期, pp.39~42。
3. 陳秋銓、李權宸、陳俊麟、施能衡、呂博清、李錕翰, (2012), 綠屋頂及立面植生對於屋頂降溫效益之研究, pp69~83。
4. 林珮均, (2011), 不同屋頂綠化型式對屋頂隔熱效果影響之研究-以草本、灌木及棚架為例, 碩士論文, 朝陽科技大學建築及都市設計研究所。
5. 張簡宏裕, (2002), 屋頂覆土植栽之熱收支研究-以鵝掌藤植栽為例, 碩士論文, 國立台灣科技大學營建工程系。
6. 游立偉, (2004), 建築物雙層通風屋頂之隔熱性能研究 - 以平屋頂構造為例, 碩士論文, 國立台北科技大學建築與都市設計研究所。
7. 陳立武, (2006), 建築物增設屋頂隔熱設施改善空調用電之研究, 碩士論文, 立德管理學院資訊環境學系碩士班。
8. Wong,N.H., Chen,Y.,Ong,C.L.& Sia,A., (2003), Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment, 「Building and Environment」, 38(2), pp.261-270.
9. 張世典、丁育群、陳若華, (1998), 「敷地生態環境科技之風環境科技」, 內政部建築研究所專題研究案:綠建築物與居住環境科技計劃, 台灣。
10. 內政部建築研究所, (2005), 「建築物外遮陽暨屋頂隔熱:設計參考手冊」, 台北市:內政部建研所出版。
11. 台灣綠屋頂暨立體綠化協會, (2014), 「天空之園」, 台北市:麥浩斯出版。
12. 黃漢泉, (1994), 「建築物理」, 台中市:黃漢泉出版。
13. 萬鑫森譯, (1987), 「基礎土壤物理學」, 台北市:茂昌圖書出版。

參考網站:

1. 中央氣象局: <http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>
2. 中央氣象局-台中站
<http://cwb.gov.tw/V7/eservice/docs/overview/organ/stations/46749/index.htm>
3. 科技部高瞻自然科學平台: <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=54684>
4. The Engineering Toolbox:
http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html