

戶外遮蔽因子對微氣候影響之 實測與解析

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

戶外遮蔽因子對微氣候影響之 實測與解析

研究主持人：何明錦 所長

協同主持人：林子平 教授

研 究 員：黃國倉 助理教授

研究助理：郭勇志

研究助理：邱怡婷

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

內政部建築研究所協同研究報告

100
年度

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	XI
第一章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究緣起	2
第三節 研究目的	3
第四節 研究流程	4
第二章 文獻回顧	5
第一節 微氣候的範圍與定義	5
第二節 微氣候的測量與分析	7
第三節 熱舒適性的理論與接受範圍	18
第四節 戶外遮蔽因子定義與相關法規	21
第三章 研究方法	23
第一節 第一階段：熱環境預測模型建立	23
第二節 第二階段：綠建築改造案例模擬	40
第四章 第一階段實測結果與探討	55
第一節 實測基本資料	55
第二節 各次實測結果	56
第三節 實測結果分組比較	65
第四節 實測成果小結	87
第五章 第二階段結果與討論	89
第一節 各案例模型建立	89
第二節 各案例陰影分布狀況	91
第三節 長期熱舒適性模擬	107
第六章 戶外遮蔽手法研擬	119

第一節 戶外遮蔽手法研擬原則	119
第七章 結論與建議	123
第一節 結論	123
第二節 建議	124
期中評審意見及回應表	125
期末評審意見及回應表	128
參考書目	131

表次

表 2-1	微氣候尺度	5
表 2-2	微氣候範圍與氣候用語	6
表 2-3	熱環境因子	7
表 2-4	國內外微氣候相關研究	9
表 3-1	各實測點圖示及說明	29
表 3-2	以 SVF 及鋪面分類	36
表 3-3	氣溫因子實測儀器	37
表 3-4	風速因子實測儀器	38
表 3-5	天空可視因子測量儀器	39
表 3-6	輸入 RayMan 模型的氣象資料格式示範 ...	41
表 4-1	戶外實地測量月份及日期	55
表 4-2	研究平均溫度表	56
表 5-1	上午 8 時於各時節陰影分布圖	93
表 5-2	上午 11 時於各時節陰影分布圖	94
表 5-3	下午 2 時於各時節陰影分布圖	95
表 5-4	下午 5 時於各時節陰影分布圖	96
表 5-5	各時節於上午 8 時陰影分布圖	98
表 5-6	上午 11 時於各時節陰影分布圖	99
表 5 -7	各時節於下午 2 時陰影分布圖	100
表 5-8	各時節於下午 5 時陰影分布圖	101
表 5-9	上午 8 時於各時節陰影分布圖	103
表 5-10	上午 11 時於各時節陰影分布圖	104
表 5-11	下午 2 時於各時節陰影分布圖	105
表 5-12	下午 5 時於各時節陰影分布圖	106
表 6-1	遮棚植栽與活動區關係配置圖	119

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

圖次

圖 1-1	研究流程圖	4
圖 2-1	研究地點位置和面積	14
圖 2-2	實測點的位置	14
圖 2-3	實測器材與狀況	15
圖 2-4	實測點魚眼圖及 SVF	16
圖 2-5	冬天不同日照量舒適溫度範圍	17
圖 3-1	RayMan 模型	24
圖 3-2	天空魚眼圖	25
圖 3-3	雲林縣虎尾科技大學所在地	27
圖 3-4	雲林縣虎尾科技大學基地空照圖	28
圖 3-5	戶外實地測量點分佈圖	28
圖 3-6	A 點虎科大操場	31
圖 3-7	B 點人文大樓與文理大樓中間	32
圖 3-8	C 點文理大樓後側草皮	32
圖 3-9	D 點摩托車停車場	33
圖 3-10	E 點文理大樓中庭	33
圖 3-11	F 點經國體育館側邊人行步道	34
圖 3-12	G 點校區柏油空地	34
圖 3-13	H 點校區馬路中間	35
圖 3-14	I 點校區外糖廠舊宿舍	35
圖 3-15	RayMan 模擬軟體介面	41
圖 3-16	RayMan 模擬建模示範	41
圖 3-17	國立高雄大學校園建築物配置圖	43
圖 3-18	改善前圖資館往理學院人行道	44
圖 3-19	改善前圖資館往法學院人行道	45
圖 3-20	改善前法學院往管理學院人行道	45
圖 3-21	改善前圖資館往校門口人行道	46

圖 3-22	圖資館至理學院間戶外遮棚竣工照片	46
圖 3-23	圖資館東側戶外遮棚竣工照片	47
圖 3-24	戶外遮棚海報牆竣工照片	47
圖 3-25	戶外遮棚細部構造照片	48
圖 3-26	九二一地震教育園區外觀	49
圖 3-27	改善前聯外橋樑現況	50
圖 3-28	改善後聯外橋樑照片	50
圖 3-29	文化資產總管理籌備處	51
圖 3-30	改善前未設置戶外遮棚	52
圖 3-31	改善後戶外遮棚照片	53
圖 4-1	4 月 12 日各點空氣溫度比較圖	57
圖 4-2	4 月 21 日各點空氣溫度比較圖	58
圖 4-3	5 月 26 日各點空氣溫度比較圖	58
圖 4-4	4 月 12 日各點之相對濕度比較圖	59
圖 4-5	4 月 21 日各點之相對濕度比較圖	60
圖 4-6	5 月 26 日各點之相對濕度比較圖	60
圖 4-7	4 月 12 日各點黑球溫度比較圖	61
圖 4-8	4 月 21 日各點黑球溫度比較圖	62
圖 4-9	4 月 12 日各點黑球溫度比較圖	62
圖 4-10	4 月 12 日各點平均輻射溫度比較圖	63
圖 4-11	4 月 21 日各點平均輻射溫度比較圖	64
圖 4-12	5 月 26 日各點平均輻射溫度比較圖	64
圖 4-13	A 實測點外觀及魚眼圖	65
圖 4-14	B 實測點外觀及魚眼圖	65
圖 4-15	C 實測點外觀及魚眼圖	66
圖 4-16	4 月 12 日 A/B/C 點之平均輻射溫度比較圖	67
圖 4-17	4 月 21 日 A/B/C 點之平均輻射溫度比較圖	67

圖 4-18	5 月 26 日 A/B/C 點之平均輻射溫度比較圖	68
圖 4-19	D 實測點外觀及魚眼圖	68
圖 4-20	E 實測點外觀及魚眼圖	69
圖 4-21	F 實測點外觀及魚眼圖	69
圖 4-22	4 月 12 日 D/E/F 點之平均輻射溫度比較圖	70
圖 4-23	4 月 21 日 D/E/F 點平均輻射溫度比較圖	70
圖 4-24	5 月 26 日 D/E/F 點之平均輻射溫度比較圖	71
圖 4-25	G 實測點外觀及魚眼圖	71
圖 4-26	H 實測點外觀及魚眼圖	72
圖 4-27	I 實測點外觀及魚眼圖	72
圖 4-28	4 月 12 日 G/H/I 點之平均輻射溫度比較圖	73
圖 4-29	4 月 21 日 G/H/I 點之平均輻射溫度比較圖	73
圖 4-30	5 月 26 日 G/H/I 點之平均輻射溫度比較圖	74
圖 4-31	A 實測點外觀及魚眼圖	75
圖 4-32	D 實測點外觀及魚眼圖	75
圖 4-33	G 實測點外觀及魚眼圖	76
圖 4-34	4 月 12 日 A/D/G 點之平均輻射溫度比較圖	77
圖 4-35	4 月 21 日 A/D/G 點之平均輻射溫度比較圖	77
圖 4-36	5 月 26 日 A/D/G 點之平均輻射溫度比較圖	78
圖 4-37	B 實測點外觀及魚眼圖	78
圖 4-38	E 實測點外觀及魚眼圖	79

圖 4-39	H 實測點外觀及魚眼圖	79
圖 4-40	4 月 12 日 B/E/H 點之平均輻射溫度比較圖	80
圖 4-41	4 月 21 年 B/E/H 點之平均輻射溫度比較圖	80
圖 4-42	5 月 26 日 B/E/H 點之平均輻射溫度比較圖	81
圖 4-43	C 實測點外觀及魚眼圖	81
圖 4-44	F 實測點外觀及魚眼圖	82
圖 4-45	I 實測點外觀及魚眼圖	82
圖 4-46	4 月 12 日 C/F/I 點之平均輻射溫度比較圖	83
圖 4-47	4 月 21 日 C/F/I 點之平均輻射溫度比較圖	83
圖 4-48	5 月 26 年 C/F/I 點之平均輻射溫度比較圖	84
圖 4-49	A 實測點外觀及魚眼圖	84
圖 4-50	E 實測點外觀及魚眼圖	85
圖 4-51	I 實測點外觀及魚眼圖	85
圖 4-52	4 月 12 日 A/E/I 點之平均輻射溫度比較圖	86
圖 4-53	4 月 21 日 A/E/I 點之平均輻射溫度比較圖	86
圖 4-54	5 月 26 日 A/E/I 點之平均輻射溫度比較圖	87
圖 5-1	RayMan 操作介面	89
圖 5-2	RayMan 模型平面圖繪製介面	90
圖 5-4	選擇模擬的日期	90
圖 5-5	陰影模擬及選擇時間	91
圖 5-6	高雄大學模擬平面圖	92

圖 5-7	地震教育園區連通橋模擬平面圖	97
圖 5-8	管理籌備處戶外遮棚模擬平面圖	102
圖 5-9	高雄大學戶外遮棚模擬點位置圖	108
圖 5-10	戶外遮棚天空魚眼模擬圖	109
圖 5-11	戶外遮棚天空魚眼模擬圖	110
圖 5-12	高雄大學熱感受尺度發生頻率圖(2001-2010)	111
圖 5-13	地震教育園區連通空橋模擬位置圖	112
圖 5-14	園區連通空橋天空 A 點魚眼鏡模擬圖 ...	113
圖 5-15	地震園區戶外遮棚熱感受尺度發生頻率圖 (2001-2010)	114
圖 5-16	文化資產總管理處模擬點位置圖	115
圖 5-17	文化資產總管理處機車遮棚天空魚眼鏡模 擬圖	116
圖 5-18	文化資產總管理處熱感受尺度發生頻率 (2001-2010)	117
圖 6-1	關係配置圖表定義	119

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

摘要

關鍵詞：遮蔽因子、微氣候、熱舒適性、都市熱島

一、研究緣起

都市日趨高溫化影響下，除了造成室內空調耗能增加、降低戶外熱舒適性，已嚴重影響都市生態問題。其中戶外遮蔽對於微氣候更有顯著影響，戶外遮蔽一方面能直接阻擋太陽輻射量，減少因短波輻射而造成人體的不舒適感受；再則遮蔽所形成陰影能有效降低地面溫度，減少鋪面表面高熱所產生長波輻射量影響。然而植栽、人工建築或構造物等不同戶外遮蔽因子，對於長波及短波反應特性不盡相同，故對於整體之微氣候應有不同影響，亦將反應於抑制熱島效應之效果。在台灣氣候炎熱且面對全球暖化衝擊現況下，亟需探討不同戶外遮蔽因子對於微氣候及長期熱環境影響，以提供設計者戶外遮蔽設計參考，達到都市退燒與提升熱舒適性效果。

再則，本所歷年均補助綠建築更新診斷與改造計畫，有顯著的室內節約能源成效。而在各個案例的設計手法中，也有多項喬木栽種及鋪面的改造，應可對都市高溫化有相當多的抑制及改善效果，因此，也亟需以模型驗證其改造前、後熱環境的變化，以印證綠建築更新診斷與改造計畫在戶外環境提升的良好成效。

二、研究方法及過程

本研究之研究方法及過程根據研究目的分為兩個階段，第一階段為戶外平均輻射溫度 (mean radiant temperature, T_{mrt}) 預測模型建立，第二階段為綠建築更新診斷與改造計畫案例模擬。其細節分述如下：

(一) 戶外平均輻射溫度預測模型建立：根據多種遮蔽程度(不同天空可視因子 SVF, sky view factor)及不同鋪面材質(不同反射率 albedo)選擇九個不同的實測點，並利用儀器進行戶外長期監測，紀錄

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

空氣溫度、相對溼度、黑球溫度、風速等，匯入 RayMan 模型預測長年平均輻射溫度及建立模型並校正。

(二) 綠建築更新診斷與改造計畫案例模擬：進行綠建築更新診斷與改造計畫案例檢視並選擇三處，將其案例改造前、後的建築、材料及植栽狀況及相關氣象資料建立在 RayMan 模型之中，建立長年平均輻射溫度預測數值進而驗證改善前後之成效。

三、本研究的成果摘要如下：

1. 戶外實測數據收集及比較

本研究從四月至九月期間進行了八次的戶外實測，收集平均熱輻射預測模型所需資料，並將所得之資料結果，分別依「同遮蔽程度不同鋪面」及「同鋪面不同遮蔽程度」等不同條件將實測點之平均輻射溫度進行比較。發現不同鋪面材質之間，高度遮蔽下之平均輻射溫度明顯低於中度及低度遮蔽的平均輻射溫度，有較舒適的戶外環境。

2. 第二階段綠建築更新診斷與改造計畫案例模擬及驗證

模擬及驗證具代表性的三個驗證對象分別為：高雄大學、國立自然科學博物館九二一地震教育園區、行政院文化建設委員會文化資產總管理籌備處，驗證其遮蔽效果在改造後較改造前好，並提出提升遮蔽效果的改善方針。

四、主要建議事項

立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

1. 提高戶外環境遮蔽設施

第一階段研究顯示較高遮蔽程度能提供較舒適的戶外環境在鋪面的選擇上對熱環境的影響是較小的，因此建議應該在將來戶外舒適

環境的設計上因該多加遮蔽考量。

2. 考慮遮蔽設施座向及搭配植栽

由於季節關係太陽軌跡影響陰影的形成，因此建議遮棚可為南北座向因此需考慮遮蔽物的座向以及季節所產生的陰影效果，且搭配植栽，利用植栽所產生陰影可補償遮棚不足之處。

長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

1. 建立以台灣微氣候尺度的資料庫

由於目前國內有關微氣候的相關研究為少數，應系統性的建立相關實測資料，完整建立屬於以台灣尺度的戶外微氣候預測模型以及相關資料庫。

2. 與綠建築評估體系中的生態社區指標配合

本研究是為綠建築更新診斷與改造計畫案例作驗證，建議未來可以將相關遮蔽因子的考量納入綠建築生態社區指標中，並以相關驗證方法運用在綠建築指標上。

3. 相關法規鬆綁

由相關建築法規回顧發現，不同土地使用層級或不同使用方式，以往有限於相關建蔽率法規限制，導致戶外遮棚的建立受到限制，因此建議可將有關建築建蔽率法令鬆綁或修正，提高戶外遮蔽率。

Abstract

Keywords : shading factor, microclimate, thermal comfort, urban heat island

1. Introduction

Global warming effects not only increase the energy consumption of indoors but also decrease the thermal comfort in outdoor environment. Shading is the import factors contribute to micro-climate due to the blocking sunlight mitigate the thermal uncomfortable due to of short-wave radiation. Furthermore, the shadows on the ground decrease surface temperature which reduces the long-wave radiation. However, the trees and artificial may cause different effect of thermal comfort which should be further discussed. Since Taiwan have hot and humid weather, its important to offer a guideline for the designer while deal with the microclimate, which help to release the heat island effect and enhance the thermal comfort.

Furthermore, the green building improvement project supported by the Architecture and Building Research Institute contribute significant results on the energy consumption for indoors. Concerning the strategies applied in outdoors, e.g. trees and pavements, may also contribute to the mitigation and improvement of the outdoor thermal environment. Therefore, it is needed to apply the model to validate the variation between the before/after construction to prove the improvement of outdoor environment.

2. Method and procedure

The methods applied in this research include two stages. The first stage is to establish the mean radiant temperature mode and the second stage is to validate the effect of green building improvement projects. The details related to both stages are listed below

(1) Establishing the mean radiant temperature model: This research conducted field experiment in nine locations combined of different SVF and albedo values and measure the air temperature, relative humidity, globe temperature and wind speed. The data is then imported to the RayMan model to validate it on the predicting of long-term Tmrt.

(2) Validating the effect of green building improvement projects: This research choose three project from the previous green building improvement projects and import the building types, materials, and vegetation in the RayMan model to validate the effect of mitigation of microclimate in long-term studies.

3. Initial results

Compared to the material of pavement in outdoors, the shading effect more important for the mitigation of hot condition in outdoors. Further more, three green building improvement projects have been chosen for this research.

4. Suggestions

For instant suggestions, the shading devices should be added in the outdoor environment. For the long-term suggestions, the database for local context should be established and the guideline should be included in the future ecological communities in the Green Building Evaluation System in Taiwan.

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

第一章 緒論

第一節 研究背景

密集的都市中因為材料蓄熱與人工排熱的因素，造成都市中心區域較郊區高溫的問題，亦即都市熱島效應(urban heat island effect)。典型的都市熱島是以一個都市為範圍或跨越數個都市為範圍，早期的Luke Howard、Oke 都驗證了許多都市的核心及其郊區有顯著的溫差，亦即「都市熱島強度」(urban heat island intensity)。而後也有大量的研究從不同的尺度、採用不同的方法來探討都市熱島強度、時空分佈、減緩對策、改善效益等。(Eliasson, 1996; Goldreich, 1995; Harlan et al., 2006; Johansson and Emmanuel, 2006; Kruger and Givoni, 2007; Makar et al., 2006; Mochida et al., 1997; Pauleit et al., 2005; Rosenfeld et al., 1995; Saaroni et al., 2000; Synnefa et al., 2007; Taha, 1997; Velazquez-Lozada et al., 2006; Voogt and Oke, 2003)。

都市高溫化造成室內空調的用電量增加，也嚴重地影響了戶外的「熱舒適性」(thermal comfort)。Fanger 指出熱舒適性為人體對溫度、濕度、風速、輻射等物理環境的感受與喜好(Fanger, 1972)。隨著目前愈來愈多的活動發生在戶外空間，例如休閒，遊憩，運動，表演、餐飲等，因此，在全球暖化與都市熱島效應的加劇下，戶外的熱舒適性的提升也深具經濟價值，成為必須考量的重要因子 (Spagnolo and de Dear, 2003)。

由於戶外熱環境難以像室內空間利用主動式的控制(如空調設備)加以改善，因此，戶外環境的設計對策就成為改善熱環境的關鍵因素。過去對於戶外熱環境及微氣候的改善對策包含如遮蔽因子(Ali-Toudert and Mayer, 2006; Ali-Toudert and Mayer, 2007a; Ali-Toudert and Mayer, 2007b; Emmanuel and Johansson, 2006; Johansson, 2006; Johansson and Emmanuel, 2006)、地表綠化或鋪面(Asaeda and Ca, 2000; Lin et al., 2007; Taha, 1997; Tan and Fwa, 1992;

Wong et al., 2007)，屋頂材質(Bretz and Akbari, 1997; Synnefa et al., 2007; Takebayashi and Moriyama, 2007; Wong et al., 2003)、人工發熱量(Ichinose et al., 1999; Taha, 1997)等。而其中由於遮蔽物能直接阻擋太陽輻射量，因此在台灣濕熱的氣候環境中，遮蔽因子對於戶外熱環境具有關鍵性的影響

第二節 研究緣起

都市日趨高溫化影響下，除了造成室內空調耗能增加、降低戶外熱舒適性，已嚴重影響都市生態問題。其中戶外遮蔽對於微氣候更有顯著影響，戶外遮蔽一方面能直接阻擋太陽輻射量，減少因短波輻射而造成人體的不舒適感受；再則遮蔽所形成陰影能有效降低地面溫度，減少鋪面表面高熱所產生長波輻射量影響。然而植栽、人工建築或構造物等不同戶外遮蔽因子，對於長波及短波反應特性不盡相同，故對於整體之微氣候應有不同影響，亦將反應於抑制熱島效應之效果。在台灣氣候炎熱且面對全球暖化衝擊現況下，亟需探討不同戶外遮蔽因子對於微氣候及長期熱環境影響，以提供設計者戶外遮蔽設計參考，達到都市退燒與提升熱舒適性效果。

再則，本所歷年均補助綠建築更新診斷與改造計畫，有顯著的室內節約能源成效。而在各個案例的設計手法中，也有多項喬木栽種及鋪面的改造，應可對都市高溫化有相當多的抑制及改善效果，因此，也亟需以模型驗證其改造前、後熱環境的變化，以印證綠建築更新診斷與改造計畫在戶外環境提升的良好成效。

第三節 研究目的

本研究的目的是在於以本土氣候特性及當地人們的舒適性需求為基礎，首先透過現地實測建立熱環境預測模擬，接著針對綠建築更新診斷與改造計畫之案例改造前、後之熱環境及熱舒適性改善狀況進行探討，其具體目的如下

1. 經由實測與熱環境預測建模，欲瞭解台灣氣候條件下遮蔽及鋪面等因子對於戶外微氣候的關鍵性影響。
2. 檢討綠建築更新診斷與改造計畫案例改造前、後之熱環境及熱舒適性改善狀況，評估案例改造計畫是否有達到成效。
3. 經由改造計畫的驗證及熱環境的預測模擬，本研究團隊將提出有關改善戶外環境及戶外遮蔽設計的策略，以建立舒適的戶外熱環境並提升戶外熱舒適性，進而減緩都市熱島效應。

第四節 研究流程

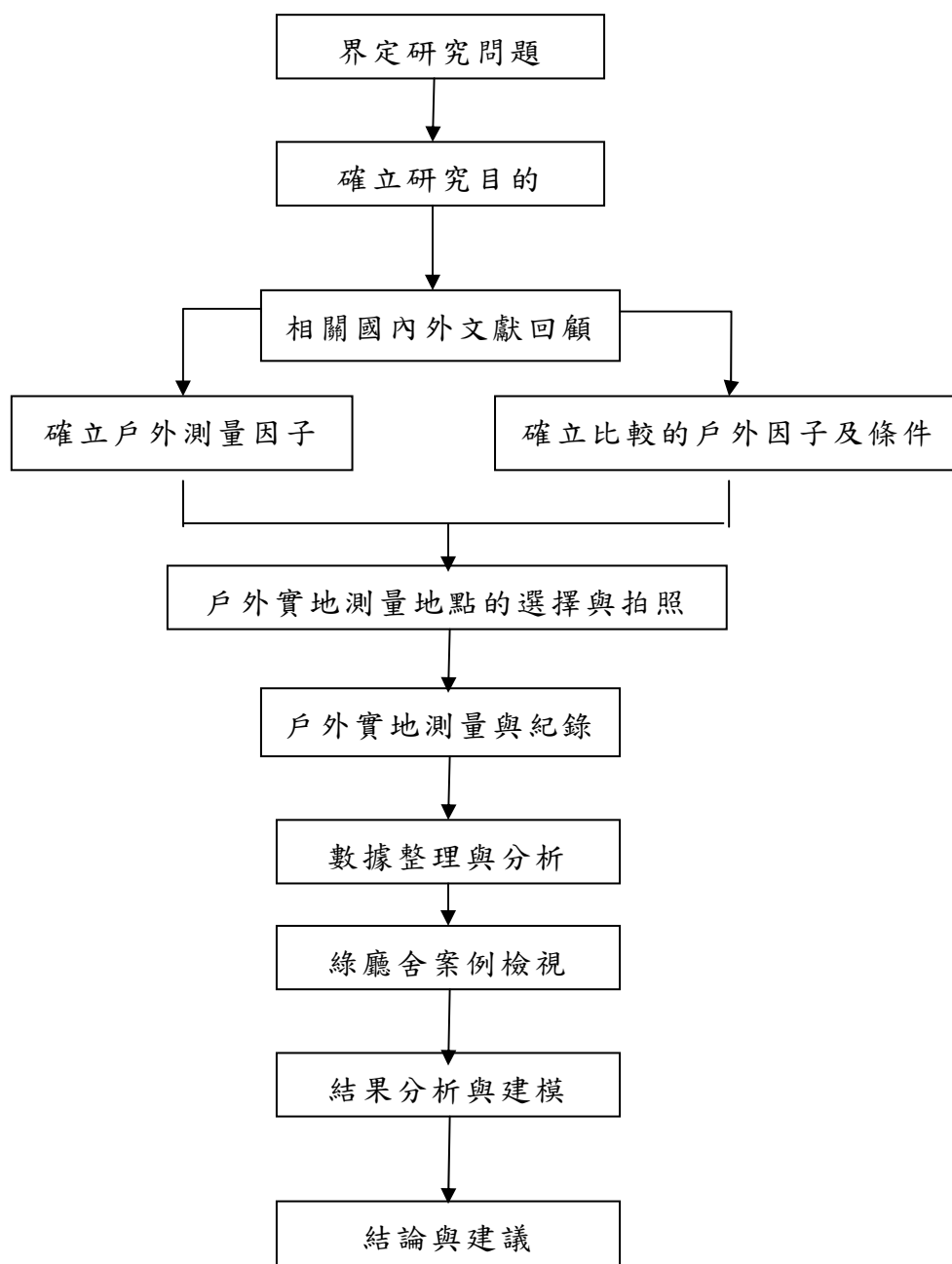


圖 1-1 研究流程圖
(圖表來源：本研究繪製)

第二章 文獻回顧

第一節 微氣候的範圍與定義

國內外學者對於微氣候的見解有些許不同，薑善鑫（1995）認為微氣候與氣候的不同在於都市氣候學與氣候學之間存在著尺度上的差異是在都市尺度之下，會因為都市的規模、都市所在的地理位置與鄰近地區的氣候間的影響而存在著微氣候（micro-climate）和中氣候（meso-climate）的差異(李明晃,2004)。微氣候（Micro-climate）是指在相同緯度與地段的同一氣候區內，因為其微氣候影響因子，（例如地形起伏、土壤成分、地表覆蓋物、及自然環境因子如植物與水體，以及人造環境物體等的條件）之不同，而其氣候因素（如氣溫、溼度、風速、風向等）呈現些微程度不同之結果，這種氣候現象就稱為微氣候。(黃裕能，2008)，根據吉野正敏(1976)「小氣候」一書中，將氣候尺度分為大氣候，中氣候，小氣候及微氣候，不同的氣候尺度也對應不同的現象。

表 2-1 微氣候尺度

氣候/美語用詞	圖塊編號	水平範圍 (m)	垂直範圍 (m)	氣候現象	氣象現象時間
微氣候 micro climate	M1~M10	$10^{-2} \sim 10^2$	$10^{-2} \sim 2 \times 10^0$	水田氣候 溫室內的氣候	$10^{-1} \sim 2 \times 10^1$ 秒
小氣候 micro climate	L1~L5	$10^1 \sim 10^4$	$10^{-1} \sim 10^3$	霜道 斜面的溫暖帶	$10^1 \sim 10^4$ 秒
中氣候 meso climate	S1~S2	$10^3 \sim 2 \times 10^5$	$10^0 \sim 6 \times 10^8$	都市氣候 盆地氣候	$10^3 \sim 10^5$ 秒
大氣候 marco climate	A1	$(2 \sim 4) \times 10^5 \sim 10^7$	$10^0 \sim 2 \times 10^5$	氣候帶 季節風帶	$10^5 \sim 10^7$ 秒

(資料來源:轉引自黃裕能, 2008)

表 2-2 微氣候範圍與氣候用語

氣候尺度	水準尺度範圍	垂直尺度範圍	氣候用語例
大氣候	200~40,000km	1m~200km	氣候分區、季節風、亞熱帶氣候。
中氣候	1km~200km	1m~6km	台北盆地之氣候、嘉南平原的日射分佈、山地氣溫遞減。
小氣候	10m~10km	10cm~1km	都市氣候、公園氣候、山谷風。
微氣候	1cm~100m	1cm~2m	大樓風害、防風林、結露、永久陰影、儲藏室氣候。

(資料來源：林憲德，現代人類的居住環境，胡氏圖書出版社，1994, p.5。資料來源:引自黃裕能, 2008)

由於都市特殊的環境狀況，加上密集的群眾居住在都市裡面，都市微氣候的議題越來越受到注目且備受討論，薑善鑫等(1995)提到，都市氣候受人類活動影響非常大，都會區中建築物多為水泥鋼筋建材，這些構造會受到太陽短波輻射及地表長波輻射影響，防止輻射散失。都會區的石質建材及水泥鋪面大量被使用，因為熱容量較大，儲存較多的熱能，再加上都會區人口較為密集、電動車輛較多、工商機構也較多，產生較多的人工熱源，風的流動也較低，這些都是構成都市溫度較郊區高的原因。

第二節 微氣候的測量與分析

國內對於熱環境施測的環境因子依據每一個研究者的需求有些許不同，Asaeda Takashi(2000) 等人提出現場實測及數據分析之方法，針對透水性鋪面、草地、瀝青鋪面、陶磚四項材料進行研究，同時量測其空氣溫度、風速濕度、直接日照、向下及向下的長波輻射、地表溫度及地表下之溫度、表面熱流等。林俊毅(2010)則整理的國內以下學者再針對不同研究對象，所測量的戶外環境因子如表 2-3。本研究團隊也重新整理了黃宇菘(2005)，莊家梅(2008)及林俊毅(2010)等人所彙整的國內外微氣候相關研究之概要文獻如表 2-4。

表 2-3 熱環境因子

研究人員	相關熱環境因子							
	黑球溫度	空氣溫度	濕度	風速	日射量	鋪面溫度	土壤溫度	陰影
陳恩右 (2004)		●	●	●	●			
黃宇菘 (2005)	●	●	●	●	●	●	●	
黃嘉華 (2005)		●	●	●				
林子平 (2007)	●	●	●	●	●			
吳黛岑 (2007)		●		●	●	●		
柯秀鳳 (2007)								●
李凱傑(2008)		●	●					
黃裕能(2008)		●	●					
Asawa 等 (2001-2002)	●	●	●	●				●

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

Ahmed(2003)	●	●	●	●				
Hong Chen(2004)	●	●	●	●				

(資料來源:引自林俊毅, 2010)

Krüger, Minella 和 Rasia (2011)在 2009 年 1 月到 8 月進行超過 14 次的實測與監測 SVF(sky view factor)及溫度和舒適度並對當地民眾施測舒適度問卷，問卷第一部分內容包括性別，年齡，身高，體重，服裝隔熱，居住時間。第二部分則包括對熱的偏好與認知。李明晃 (2004)則運用移動觀察法測量探討台北市內的都市熱島現象。

黃裕能(2008)利用實地量測法探討校園外部環境氣候變化與影響因素，針對校園基地內戶外開放空間鋪面類型進行測量及分析，將分析結果作為校園永續建築基地規劃之應用。現場實測數據分析法是屬較為多研究者所使用的測量法，移動觀測，在量測溫度時可能因移動所產生的風產生降溫現象，進而導致測量產生誤差。而 Deb 和 Ramachandraiah (2011)試圖提出一個較為簡單的模型 HXG，試圖加入綠覆率作為分析的因子，這在該領域研究較為新興的概念。Kantor 及 Unger(2011)則認為不管是怎樣的模型，總是假設部份的物理參數，例如：表面溫度，反射率常用一些常數代替，因此並不能完全代表真實也不具有代表性。

表 2-4 國內外微氣候相關研究

國內相關論文		
文獻名稱	作者/年代	內容摘要
台灣四大都會區都市熱島效應之研究	李魁鵬(1999)	證明土地使用狀況(都市計劃方法)能有效改善都市熱島效應。
都市公園微氣候觀測解析-以台南市公園為例	郭柏巖(2000)	經實測解析，建立六個「都市構成因子」，證明增設綠地是緩和都市高溫化方法之一。
壁面綠化之隔熱效能之研究	宋必璿(2002)	證明壁面綠化可降低夏季壁面吸收之日射量，並有效抑制壁面溫度上升，減少建築壁面熱負荷。
校園生態工法對於熱島效應影響之研究	張鳳翔(2002)，	指出自然生態景觀可以有效降低區域性質熱島效應，並將該區域的溫度適時的予以降低。
屋頂覆土植栽之熱收支研究-以鵝掌藤植栽為例	張簡宏裕(2002)	透過植栽層及土壤層減少熱流進入室內，可減少能源的損耗，並建立建築與環境共生的生活。
透水性鋪面透水性研究	莊世隆(2002)	針對土木與防災研究所針對多孔性瀝青及連鎖磚、植草磚等塊磚材質作一系列透水試驗。進而提供透水鋪面之可行性。
戶外鋪面對建築外部熱環境影響之研究--以高速公路南投服務區為例	黃宇菘(2004)	現地實測方式為連鎖磚、草地、混凝土和瀝青等各類型鋪面，進行各項溫熱環境因子量測。同時，進行其表面溫度、熱流量、風速、直達日射量、材料反射量及土壤含水量之量測，運數值模擬方式建立戶外鋪面熱輸出模型。
以微氣候觀點探討公園構成因子對熱環境影響之研究—以台中都會公園為例	郭晉溢(2005)	瞭解台中都會公園全年微氣候變化情形；針對硬鋪面面積、設施面積、綠地面積、水域面積透過迴歸方程式預測全年各構成因子氣溫與氣象觀測站氣

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

		溫之關係，探討構成因子影響微氣候之變量，並建立氣溫變動量預測模式。
都市公園與局地氣溫效應之關係研究-以臺北市公園為例	李明晃(2004)	顯示都市公園局地溫度差異以夏季中午較大，此時大部分公園為冷島，但並非所有公園均為冷島公園會影響公園周圍街道的溫度，且影響程度因公園面積大小而異。
道路特性與都市局部熱島關係之研究-以臺北市主要道路為例	陳恩右(2004)	以移動式觀測法收集資料並分析都市中道路溫度特性和對於都市局部熱島之影響程度與範圍，並探討都市主要道路綠化對熱島之緩衝效益。
溼熱區建築基地因子微氣候調節之研究-以大學校園為例	黃嘉華(2005)	選取台灣北部六所校園基地內四種鋪面類型，進行量測紀錄，將測得之溫度、溼度、風速的結果與氣象局當地的量測值做比較。
集合住宅中庭植栽微氣候之數值模擬研究	吳黛岑(2007)	利用實地量測法、電腦模擬法探討建築基地上之植栽對於都市為氣候熱環境因子的影響與關係。利用數值模擬的方式，可針對建築風口配置對於環境流暢特性的影響，做為未來環境設計評估參考之應用。
熱濕氣候區戶外熱舒適接受範圍與環境設計對策	林子平(2007)	以實地量測法、問卷調查法本研究採取問卷調查與同步實測方式，提出臺灣民眾處於半戶外、戶外及室內三種空間所能接受的舒適範圍，研究之結果可提供設計者針對各種空間利用設計手法達到良好的舒適熱環境。
喬木覆蓋率對街道溫度影響之研究—以臺北市仁愛路段與信義路段為例	莊藍欣(2007)	以移動式觀測法在觀測記錄上，選定兩條街道空間，並藉由兩個區域內不同的喬木覆蓋率研究對於街道溫度的影性，研究內容是針對喬木覆蓋率、

		喬木種類、街道溫度的變化為主。
靜宜大學校園鋪面與建築戶外空間對於溫溼環境影響之研究	黃裕能(2008)	對於草坪鋪面、PU 鋪面、透水鋪面及不透水鋪面等，進行量測不同鋪面的上方空氣溫度、溼度、及熱環境因子的變化，解釋校園戶外鋪面熱環境的變化及其影響。
夏季戶外空間熱舒適性之研究-以台南縣市、高雄市戶外空間為研究對象	莊家梅(2008)	證明在相同之日射量下，影響周壁平均輻射溫度之主要因子為「表面材質之吸收率」、「透射率」及「遮陰效果」。
大學校園建築戶外空間與鋪面形式對溫濕環境影響之研究 - 以逢甲大學為例	李凱傑(2008)	透過實地量測方式，將校園中各類型的戶外鋪面做各項溫濕環境因子調查，並將數據由統計分析方式進行相關構成因子之變動量預測，瞭解校園鋪面種類與建築戶外空間兩者舒適性之關連。
國外相關論文		
Influence of pavement materials on the thermal environment of outdoor spaces	Tan, Siew-Ann ; Fwa,Tien-Fang, 1992	新加坡住宅的戶外空地使用相當頻繁，然而由於不當的鋪面材料使用，致使戶外的溫熱環境造成相當大的影響。
Pavement Evaluation for Thermal/Glare Comfort during Footdrills	Tan, Siew-Ann ; Fwa,Tien-Fang, 1996	探討新加坡地區鋪面的溫度環境及地表反光對於行人行走時造成的影響。並建立了戶外鋪面熱傳遞過程，並提出相關的平衡方程式。
Temperature Variation of Flexible and Rigid Pavements in Eastern Saudi Arabia	Ramadhan, Rezqallah H.; Wahhab, Hamad I.Al-Abdul, 1997	以鋪面設計之安全性為研究基礎，探討柔性鋪面和剛性鋪面內部溫度與空氣溫度之關聯性。

Characteristics of permeable pavement during hot summer weather and impact on the thermal environment	Asaeda, Takashi; Ca, Vu Thanh, 2000	研究利用現地實測及數值分析的方法，針對透水性鋪面、瀝青鋪面、草地、陶磚四項材料進行研究。量測其空氣溫度、濕度、風速、直接日照、地表及地表下溫度、地面熱流等
---	-------------------------------------	---

(資料來源:整理自黃宇菘,2005,莊家梅,2008 及林俊毅,2010.)

在其中幾個重要的研究方面，莊家梅(2008)以現地實測的方式測量戶外及半戶外空間之空氣溫度、黑球溫度、建築表面溫度、鋪面溫度、屋頂遮罩表面溫度，證明在相同的日射量下，影響平均輻射溫度之主要因子為「表面材質之吸收率」、「透射率」及「遮陰效果」。

Ali-Toudert 曾以模擬的方式(ENVI-MET 模型)，針對阿爾及利亞不同的街道高度比及座向的街廓，探討在街道層的 PET 空間分布，他發現遮蔽造成的陰影有助於緩和熱季時的街道高溫。

林子平(2010)於台灣中部的校園進行了 12 次實測，並透過輸入近 10 年的氣象資料來發展 RayMan 以預測長期的熱舒適性。以 PET 來做為熱舒適指標，並以過去調查中完成的當地熱舒適範圍做為評估是否舒適的基準。研究結果顯示代表遮蔽因素的天空可視因子 SVF，對戶外熱環境有極大的影響。這也說明了戶外環境在設計遮蔽時，應對於當地人們熱需求以在地環境、氣候的特性，做更謹慎的考量。

Asaeda Takashi(2000)研究結果發現透空率較高的透水鋪面有較好的蒸發效果，吸收較少的靜輻射，能有效降低環境溫度。黃宇菘(2005)，以第二高速公路-南投服務區戶外鋪面為例，以各類型的鋪面為例，如連鎖磚、草地、混凝土、瀝青等，進行各項溫熱環境因子的量測。研究顯示不透水的人工鋪面不僅吸熱量高，也影響戶外的舒適性，研究結果發現可透過選擇較好的鋪面來改善建築物外部的熱環境。

在植物景觀對微氣候的部份，張鳳翔（2002）以實測方式將微觀

區域之生態景觀對於動植物生存環境之改善情況以實地量測之數據予以量化，結果顯示自然生態景觀確實可以有效降低區域性熱島效應並有效降低該地的溫度。張簡宏裕(2002)及宋必璿(2002)針對建築物外部綠化，如屋頂花園及綠籬等對隔熱之效果，結果發現屋頂綠化及綠壁之隔熱手法能有效降低室內的溫度確實是，可見植物或是綠籬等綠化都能有效降低熱環境的溫度及提高舒適性。

而鄭明仁等人(2009)針對大學校園進行戶外熱環境監測，發現植栽對於戶外環境之具有重要性。由民眾對溫度的容忍度來看，發現有樹蔭和無樹蔭相差了 1.6 度，顯見民眾對於輻射熱有明顯負面的感受，也可以了解到有樹蔭的戶外空間將能提供更寬廣的戶外氣候條件範圍，提升戶外環境使用上的熱舒適性。

也有學者研究發現，都市的紋理也有程度上影響都市的微氣候，林俊毅(2010)研究結果發現，在冬季時南北軸向戶外空間的 T_{mrt} 平均輻射溫度為 44.9°C ，東西軸向戶外空間的 T_{mrt} 平均輻射溫度為 27.5°C ；夏季時南北軸向戶外空間的 T_{mrt} 平均輻射溫度為 46.3°C ，東西軸向戶外空間的 T_{mrt} 平均輻射溫度為 39.2°C ，顯示出南北軸向戶外空間的熱舒適變化在冬、夏季時偏高東西軸向戶外空間各為 17.4°C 與 7.1°C ，南北軸向戶外空間的熱舒適變化不論在冬季或夏季時較東西軸向戶外空間來的差。顯示不同的都市紋理，將有可能形成不同的都市微氣候，該研究可以作為都市規劃及設計的參考。

為了深入探討並瞭解相關微氣候研究，本研究以從測量巴西 Curitiba 幾何形狀對城市戶外熱舒適和空氣品質之現地測量作為深入報導案例。由於本案例之研究及分析方式與本研究預計進行的方法極為接近，故本研究中將詳述之。該案例研究地點及對象主要是以為 Curitiba 城如圖 2-1，位於南巴西，海拔 934 公尺屬於海洋溫帶性氣候是一個人口為 180 萬人，平均最高氣溫為 26.0°C ，平均最低為 7.4°C ，盛行風向為東風、東南風及東北風，平均風速為 $2\sim 3\text{m/s}$ ，夏季氣溫從 16°C 至 27°C 常帶有暴雨。冬季的少雨時期，存在較高溫在晴朗的天空條件下，每天的空氣溫度範圍在平均 $8\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。測量的氣候因素分別為：空氣溫度 (T_a)，風速 (V)，相對濕度 (RH)，太陽輻射 (SR)

和黑球溫度 (T_g)，圖 2-2 為該研究監測點的位置。

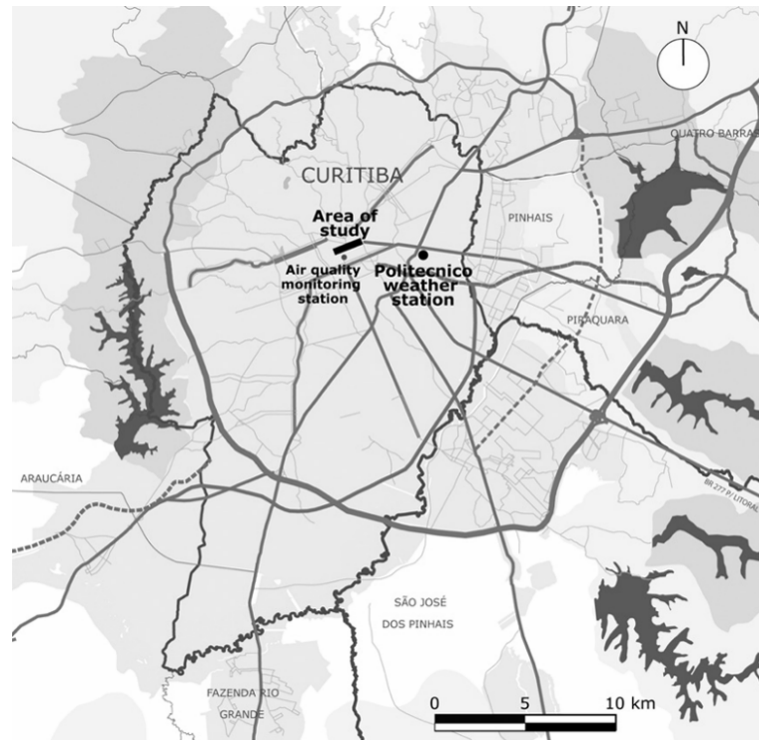


圖 2-1 研究地點位置和面積

(圖片來源:Krüger et al., 2011)

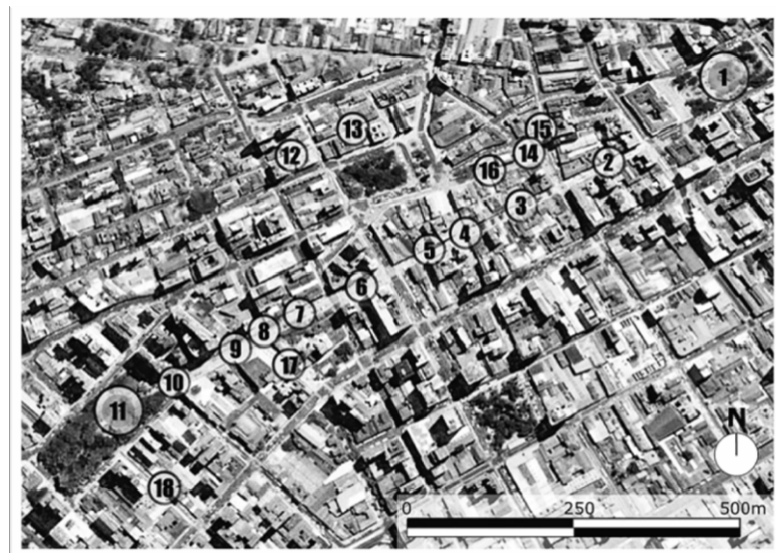


圖 2-2 實測點的位置

(圖片來源:Krüger et al., 2011)

研究時間和研究的内容是在 2009 年 1 月到 8 月進行超過 14 次的實測與監測 SVF 如圖 2-4，溫度和舒適度，圖 2-3 為實測的狀況，並對當地民眾施測舒適度問卷，問卷內容包括性別，年齡，身高，體重，服裝隔熱，居住時間。調查問卷第二部分涉及的項目是熱的認知與偏好。該研究主要結果經由 SVF 分析後證實，氣溫較高的日子，地點少遮蔽的天空，即具有最高價值的 SVF，由於熱量導致更大的不適。



圖 2-3 實測器材與狀況
(圖片來源:Krüger et al., 2011)

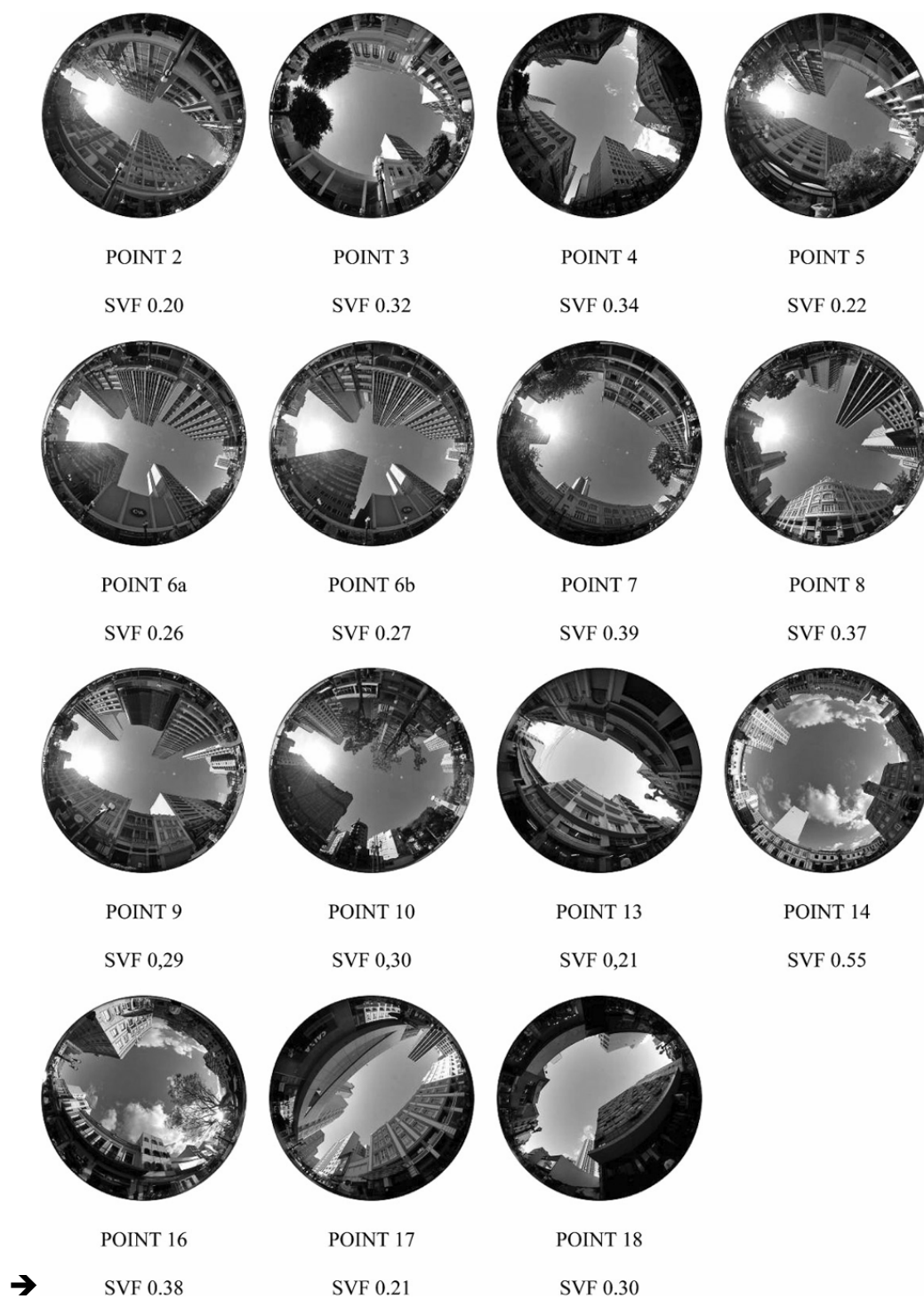


圖 2-4 實測點魚眼圖及 SVF
(圖片來源:Krüger et al., 2011)

然而，同樣的地點溫度較低可以提供舒適的條件。城市熱島晝夜間和 SVF 無相關聯性。然而，線性回歸分析在不同溫度具有較高的相關性。在給定的位置 T_{mrt} 和太陽輻射量有直接關係，這表明城市設計對人體熱舒適度的重要性。從太陽能圖表分析觀察，SVF 的限制，該地區現有的天空與太陽照射沒有直接關係。因此，不同的 SVF 值可以達到太陽輻射。城市峽谷具有較高的 SVF 接觸更多的陽光，因此比冬季期間的數量有限制的天空的地區溫暖(圖 2-5)。

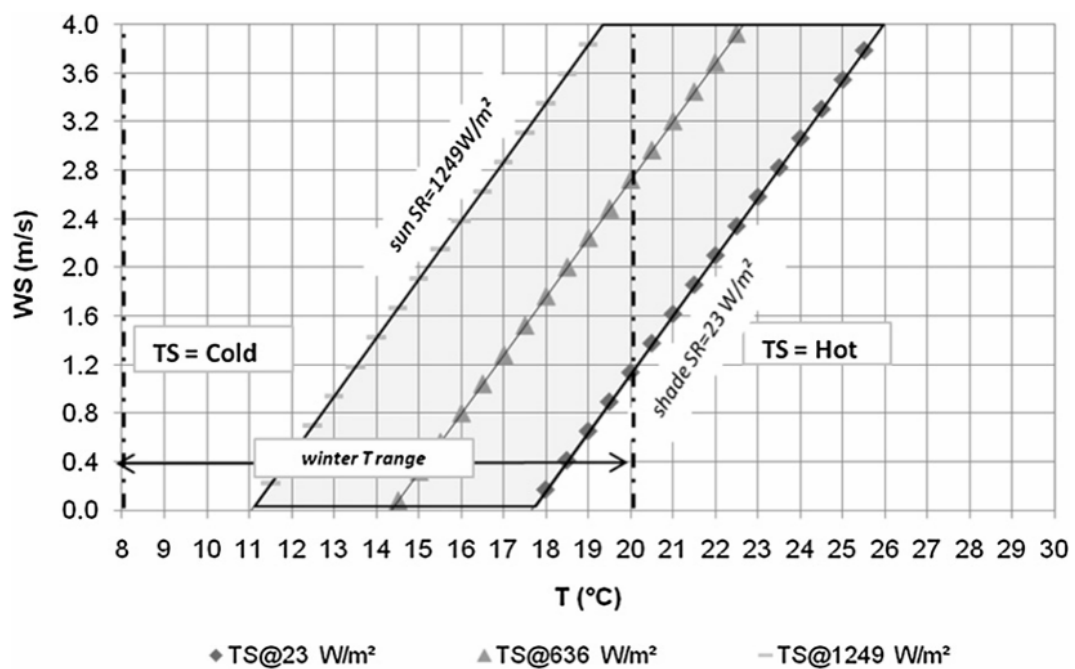


圖 2-5 冬天不同日照量舒適溫度範圍

(圖片來源:Krüger et al., 2011)

第三節 熱舒適性的理論與接受範圍

1.舒適性定義及 PET 的意義

過去的熱舒適指標與基準之研究多著重於室內空間，對於戶外空間則甚少提出探討。Spagnolo and de Dear 也在研究中曾提到，「在戶外或半戶外空間的舒適性在目前為止較少被探討，是因為研究者或使用者過去一直存在以下的想法(Spagnolo and de Dear, 2003)：

1. 已開發國家的人們花較長之時間處於室內空間。
2. 在工作的環境，熱環境舒適性被認為與生產力有關，所以室內熱舒適性被認為是影響經濟的因素。
3. 戶外熱環境空間被認為比室內熱環境空間較不易被營造或控制。
4. 戶外環境的使用權限，並不像室內空間容易被清楚劃分的。

然而，上述的想法及立論在當前的環境已有極有的轉變。目前愈來愈多的活動發生在戶外空間，例如休閒，遊憩，運動，表演、餐飲等活動，故也深具經濟價值。再則，戶外的溫熱環境亦可透過不同的空間規劃、材料選用等誘導式的設計(passive design)來改善其舒適性。因此，對於戶外空間舒適性評估，不僅有其經濟價值上之必要性，更對於人類住居環境的省能、舒適、環保的課題能夠予以兼顧(林子平, 2006)。

過去 Fanger 在建立 PMV、PPD 指標的基準，是以實驗艙內為穩態環境下建立，因此如果將其直接應用在戶外，與真實情況可能會有差異性之存在。Chun 於 2004 年研究中也說明 PMV 與 PPD 並不適用於戶外及半戶外空間的評估，此評估方法僅限於評估室內熱環境（引自林益崧, 2009）。因此 PMV 是一個室內性的舒適性指標。錢煒 (2001)提到 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature, 綜合溫度熱指數)可用來作為戶外熱環境的評價指標，但它主要是針對戶外活動的熱安全性極端值，並沒辦法考量戶外熱舒適性最適合人的情況，因此它是一個安全

性的指標（林益崧，2009；引自黃英哲，2011）。

近年許多研究皆使用戶外熱舒適性的整體評估指標 PET (physiologically equivalent temperature, 生理等效溫度)，PET 的定義是指空氣溫度在人體能量平衡的條件下，戶外複雜的環境，會相當於典型無風速無日照下的室內溫度（Höppe, 1999；引自 Lin, 2009）。計算 PET 則需包含空氣溫度，相對濕度，平均輻射溫度和風速等數據，也必須隨著性別，年齡，體重，身高，服裝水平和覆蓋範圍，位置和訪談人的活動量（Thorsson 等，2007；Lin, 2009；Tseliou, Tsiros, Lykoudis, & Nikolopoulou, 2010）。Matzarakis, Rutz, 與 Mayer (2007, 2010) 建立之 RayMan 模型，可將戶外的熱環境物理參數與人體參數（空氣溫度、相對濕度、風速、日射、雲量、反射率、著衣量、代謝量等）進行整合換算成 PET 數值。Tseliou 等 (2010) 表示熱感覺指標 (THI) 風寒指標 (K) 以及生理等效溫度 (PET) 三項指標在從事熱舒適研究中，PET 指標預測真實熱感覺投票中，優於其他兩項指標。因此從事熱舒適性研究採用 PET 指標是可行的。（林益崧，2009；引自黃英哲，2011）

從 Hodder 與 Parsons (2007) 的研究中可知熱輻射是影響舒適性的一個重要指標，因此本研究將太陽輻射熱列為一個影響舒適性的重要因子。但是如果只單純使用單一的物理環境參數，並無法完全反映出真實的環境狀況，所以本研究之後將採用一個綜合性的環境因子指標來更清晰的描述微氣候與舒適性的關係。WBGT 雖是一個戶外性綜合指標，但它主要用是一個安全性指標，因而並不適合本研究，而 PMV 指標雖然在許多研究中都被使用，可 PMV 主要是一個室內性的舒適性指標，應用在戶外可能會產生問題，因此也不適合本研究。本研究後續將採用 PET 指標，PET 可整合戶外的熱環境物理參數及人體活動量著衣量，經過計算後，讓它等同於無風速無日照的室內環境。（林益崧，2009；引自黃英哲，2011）

2.PET 的舒適範圍

Lin 與 Matzarakis (2008)比較台灣與中西歐感受的舒適溫度範圍，發現台灣比起中西歐而言，可以接受高溫的狀態但低溫的接受範圍則相對較差。中西歐地區感受的舒適範圍為 18-23°C PET，而台灣則是 26-30°C PET。設定 4°C 為一溫度頻度，將問卷調查到的 PET 分為九個區間，分別是 14°C 以下、14-18°C、18-22°C、22-26°C、26-30°C、30-34°C、34-38°C、38-42°C 及 42°C 以上，並將不同的區間給予不同的熱感受等級，14°C 以下稱為很冷，14-18°C 為冷，18-22°C 為涼，22-26°C 為微涼，26-30°C 為舒適，30-34°C 為微暖，34-38°C 為暖，38-42°C 為熱，42°C 以上則稱為很熱。

第四節 戶外遮蔽因子定義與相關法規

在前章節已經回顧過有關戶外微氣候因子及相關文獻探討，由於本研究目的重點在於驗證案例之戶外遮蔽效果，因此本研究在這此一章節將明確定義戶外遮蔽因子，將遮蔽因子分為三種，分別為植栽，建築，以及人工構造物。植栽為一定高度的植物所形成，可提供人遮蔽，如景觀植栽，行道樹等。而建築則以奇量體造成該空間及環境之遮蔽，而在人工構造物方面，則為植栽與建築物外的永久性或臨時性構造物，如涼亭、棚架、遮棚、有局部頂蓋之廊道等。而在相關法規方面，若該遮蔽物位於基地內，例如棚架、涼亭等，則其投影面積亦需計入建築面積，若位於廣場、人行道上且具有公共使用之特性，例如公車亭等，則可不列入建築相關法令管理。以下簡要列出有關於建築遮蔽的建築法規。

依照建築技術規則建築設計施工編

三、建築面積：建築物外牆中心線或其代替柱中心線以內之最大水平投影面積。但電業單位規定之配電設備及其防護設施、地下層突出基地地面未超過一點二公尺或遮陽板有二分之一以上為透空，且其深度在二點零公尺以下者，不計入建築面積；陽臺、屋簷及建築物出入口雨遮突出建築物外牆中心線或其代替柱中心線超過二點零公尺，或雨遮、花臺突出超過一點零公尺者，應自其外緣分別扣除二點零公尺或一點零公尺作為中心線；每層陽臺面積之和，以不超過建築面積八分之一為限，其未達八平方公尺者，得建築八平方公尺。

四、建蔽率：建築面積占基地面積之比率。

十、屋頂突出物：突出於屋面之附屬建築物及雜項工作物：

- (一) 樓梯間、升降機間、無線電塔及機械房。
- (二) 水塔、水箱、女兒牆、防火牆。
- (三) 雨水貯留利用系統設備、淨水設備、露天機電設備、煙囪、避雷針、風向器、旗竿、無線電桿及屋脊裝飾物。

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

- (四) 突出屋面之管道間、採光換氣或再生能源使用等節能設施。
- (五) 突出屋面之三分之一以上透空遮牆、三分之二以上透空立體構架供景觀造型、屋頂綠化等公益及綠建築設施，其投影面積不計入第九款第一目屋頂突出物水平投影面積之和。但本目與第一目及第六目之屋頂突出物水平投影面積之和，以不超過建築面積百分之三十為限。
- (六) 其他經中央主管建築機關認可者。

二十、露臺及陽臺：直上方無任何頂遮蓋物之平臺稱為露臺，直上方有遮蓋物者稱為陽臺。

四十一、退縮建築深度：建築物外牆面自建築線退縮之深度；外牆面退縮之深度不等，以最小之深度為退縮建築深度。但第三款規定，免計入建築面積之陽臺、屋簷、雨遮及遮陽板，不在此限。

由相關建築法規回顧可以發現，如果增設兩棟建築物間聯通橋梁或是機車遮棚等提高遮蔽的建物皆須納入建蔽投影面積，礙於法規規定，為減低建蔽率，新設建物必須減少投影量，但因此降低遮蔽效果。

第三章 研究方法

本研究依照研究目的分為兩個階段，其中第一階段為「戶外平均輻射溫度的預測模型建立」，目的是要依照實測的資料來建立並校正模型，以準確預估戶外的平均輻射溫度。而第二階段為「綠建築更新診斷與改造計畫案例模擬及驗證」，也就是利用這個校正後的模型，選定三個已完工之綠建築更新診斷與改造計畫案例，驗證施工前／施工後對於戶外環境的改善。以下就以此第二階段描述之。

第一節 第一階段：熱環境預測模型建立

1. 平均輻射溫度的計算及量測

在戶外熱環境中，平均輻射溫度(mean radiant temperature, T_{mrt})最能反應出人體在空間受到太陽直接短波輻射量及周壁材料間接長波輻射量的整體狀況，是戶外熱舒適性指標及熱壓力評估中最重要的評估參數。過去常以標準黑球的方式量測黑球溫度，再代入 ISO 7726 來計算，如下述式所示。

$$T_{mrt} = \left[(T_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times v^{0.6} \times (T_g - T_a) \right]^{0.25} - 273 \quad \text{式(1)}$$

其中 T_g 為黑球溫度， T_a 為空氣溫度， v 為風速，可透過實測值代入式(1)計算。

2. 平均輻射溫度的長期模擬

然而，若每次都需要例用實測的方式來取得 T_{mrt} 並不可行，同時，對於開發前的狀況也無法透過實測得知。因此，本研究將應用微氣候的電腦模型進行預測及評估。有關微尺度的熱環境模擬部分，目前有 EnviMet (Bruse, 2008), SOLWEIG (Lindberg et al. 2008), 以 RayMan (Matzarakis et al. 2010)等模型，由於 RayMan 對熱輻射模擬方式可配合標準的氣象資料，且有諸多應用的效果，因此本研究採

RayMan 學術用模型 (如圖 3-1)進行。RayMan 模型過去普遍地用於諸多有複雜遮蔽的都市建成環境熱環境相關研究之中 (Gulyas et al., 2006; Lin et al., 2006; Matzarakis et al., 2007)，而且只要輸入少次的實驗數據來校正模型，就可以有良好的驗證效果。如果再輸入當地氣象，即可預測長期的熱舒適性效果。

RayMan 1.2

File Input Output Table Language ?

Date and time

Date (day.month.year) 28.12.2000

Day of year 363

Local time (h:mm) 9:50

Now and today

Geographic data

Location:

1st location - erster Ort

Add location Remove location

Geogr. longitude (°...'E) 7°51'

Geogr. latitude (°...'N) 48°0'

Altitude (m) 323

time zone (UTC + h) 1.0

Current data

Air temperature Ta (°C) 20.0

Vapour pressure VP (hPa) 12.5

Rel. Humidity RH (%) 53.5

Wind velocity v (m/s) 1.0

Cloud cover C (octas) 0

Global radiation G (W/m²)

Mean radiant temp. Tmrt (°C)

Personal data

Height (m) 1.75

Weight (kg) 75.0

Age (a) 35

Sex m

Clothing and activity

Clothing (clo) 0.9

Activity (W) 80.0

Thermal indices

☒ PMV ☒ PET ☒ SET*

Calculation:

New

Add

Close

圖 3-1 RayMan 模型

(圖片來源：本研究提供)

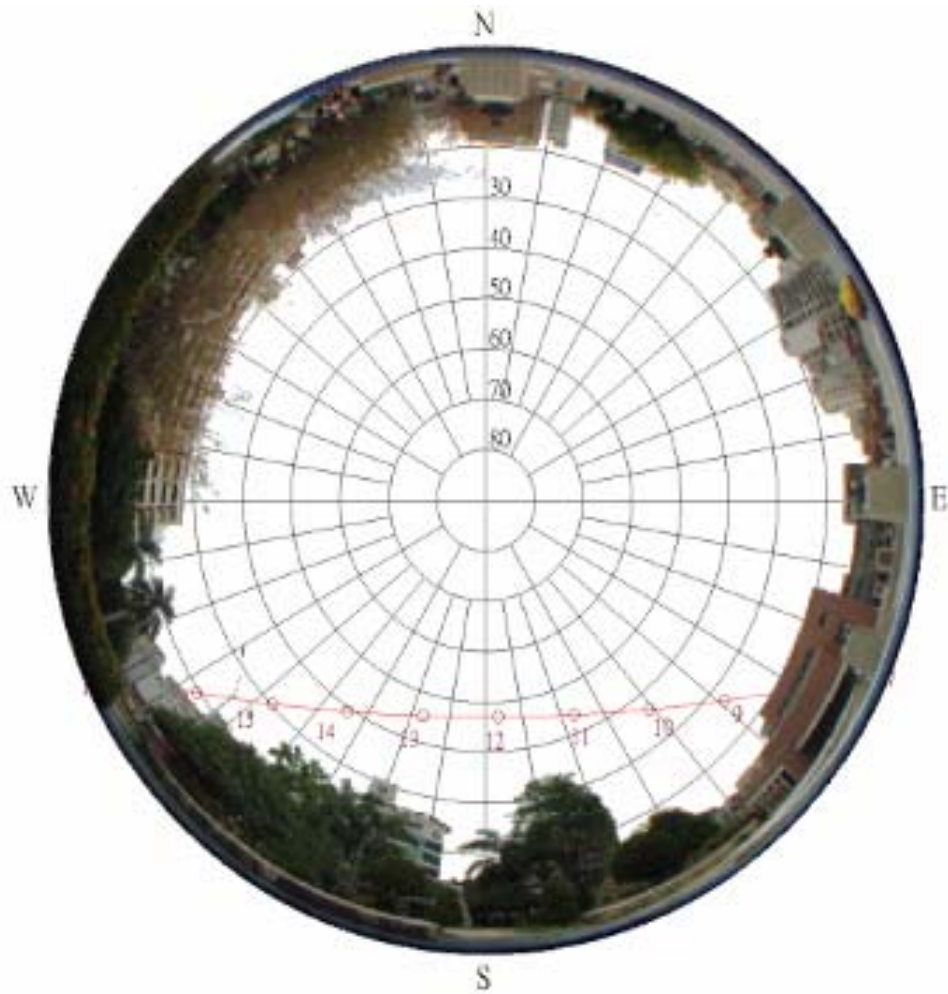


圖 3-2 天空魚眼圖
(圖片來源：本研究提供)

3. 模型之校正與驗證

然而，既有的模擬程式未必能符合台灣當地的氣候或環境特性，為了使 RayMan 模型能夠適合當地的氣候紋理，且能可靠地用來預測長期的熱舒適性，故必需對模型加以驗證。因此，本研究需以實測資料的校正才能驗證模型的可行性。

在驗證過程中，將找出模型的最佳化的參數設定，使模擬和實測

的結果相近。由於測點的 Tmrt 能反映出空氣溫度、風速及短長波輻射量，是影響人體舒適性的戶外重要的整合性指標。再則，在 RayMan 模型中，Tmrt 也是除了生理等校溫度(PET)之外另一個模擬得到的結果，因此，本研究以實測及模擬的 Tmrt 的一致性做為驗證本模型的評判基準，實測的 Tmrt 值是以 ISO 公式為基準(如式 1)、並參照 Thorsson 對平均對流係數的修正、將黑球溫度、空氣溫度、風速輸入公式中而得。

4. 實測區域選擇

為了達到上述模型預測的準確性，因此選擇一個區域進行實測，以便做模型的校正。影響戶外熱環境的因子極多，過去文獻顯示上方「遮蔽」及地表下方「反射」因子為熱帶地區 Tmrt 變化的關鍵(Akbari and Konopacki, 2005; Ali-Toudert et al., 2005; Ali-Toudert and Mayer, 2007a; Ali-Toudert and Mayer, 2007b; Lin et al., 2010)，因此，本研究將以多種遮蔽程度(不同天空可視因子 SVF)及鋪面(不同反射率 albedo)的區域，進行多個測點進行同步的量測。

經過多處的尋訪，由於校園中各類的不同遮蔽程度地點較多，鋪面的類型也有多樣性，因此，本研究預計以台灣雲林縣虎尾鎮虎尾科技大學第三校區為實測地點。該校位置位於東經 120 度 2 分 6 秒，北緯 2 度 4 分 5 秒，所屬氣候屬於亞熱帶季風氣候區，全年氣溫以 7 月為最高，1 月最低，年平均溫度約在 23 °C 左右，冬季為乾季，以東北季風為主，夏季西南風盛行，由於位居侵台颱風主要路徑地區，7~9 月常有颱風侵襲，降雨量以 8 月份降雨量最多，其次為 6 月份。相對濕度平均值約為 77.6%，年降水量總計為 1430.1mm，年平均風速約為 2.0 公尺 / 秒。(資料來源：雲林縣環境保護計畫)

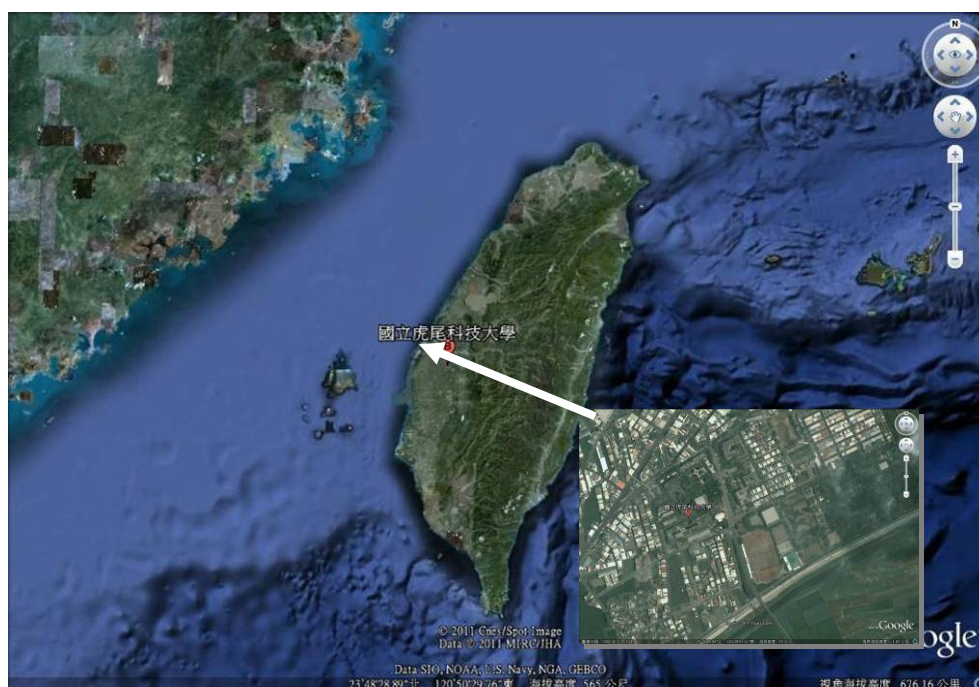


圖 3-3 雲林縣虎尾科技大學所在地

(圖片來源：改繪自 Google Earth)

5. 實測點位之考量

本研究將根據研究的需求，將在實測點位的選擇條件上，依遮蔽的程度不同，分為低度遮蔽，中度遮蔽，高度遮蔽，而不同的遮蔽程度代表不同的天空可視因子 SVF，本研究將低度遮蔽定義為 $SVF=0.5-0.9$ ，中度遮蔽為 $SVF=0.3-0.5$ ，高度遮蔽為 $SVF=0.1-0.3$ ，及不同的鋪面材質，分別為草地鋪面，磚造鋪面以及柏油鋪面，同時也考慮了是否造成他人活動影響及環境及交通上的干擾。圖 3-4 為虎尾科大校區，圖 3-5 為所選擇之實測點，表 3-1 為九個實測點位之概略資料。



圖 3-4 雲林縣虎尾科技大學基地空照圖

(圖片來源：google earth)

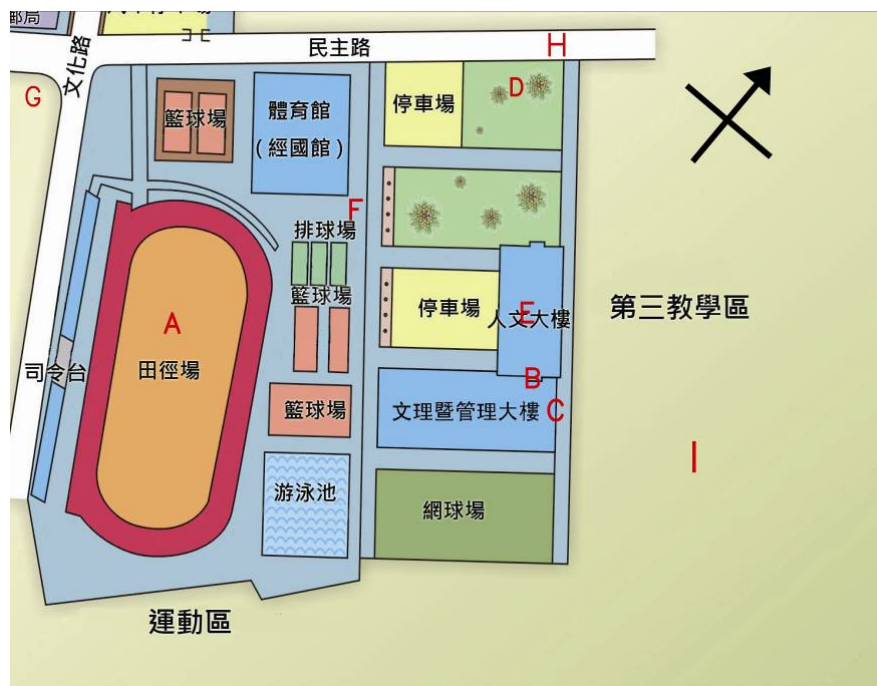












圖 3-5 戶外實地測量點分佈圖

(圖片來源：改繪製虎科大平面圖)

表 3-1 各實測點圖示及說明

觀測點編號	外觀	使用儀器	魚眼照片	測量因子	鋪面種類
A		center314 記憶式溫濕度計		空氣溫度 黑球溫度 相對溼度	草地
B		center314 記憶式溫濕度計		空氣溫度 黑球溫度 相對溼度	草地
C		center314 記憶式溫濕度計		空氣溫度 黑球溫度 相對溼度	草地
D		center314 記憶式溫濕度計		空氣溫度 黑球溫度 相對溼度	紅磚
E		center314 記憶式溫濕度計		空氣溫度 黑球溫度 相對溼度	紅磚

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

F		center314 記憶式溫 濕度計		空氣 溫度 黑球 溫度 相對 溼度	紅 磚
G		center314 記憶式溫 濕度計		空氣 溫度 黑球 溫度 相對 溼度	柏 油 鋪 面
H		center314 記憶式溫 濕度計		空氣 溫度 黑球 溫度 相對 溼度	柏 油 鋪 面
I		center314 記憶式溫 濕度計		空氣 溫度 黑球 溫度 相對 溼度	柏 油 鋪 面

(資料來源：本研究整理)

6. 各實測點介紹

本研究各觀測選點主要位於第三校區及週邊環境，選點的考量依照不同的遮蔽及鋪面需求，A點為虎科大操場中央，為草地鋪面，並無太多遮蔽，遮蔽程度屬於空曠，SVF 天空可視因子介於 0.5-0.9，B點為人文大樓與紋理大樓中間草皮，為草地鋪面，遮蔽為兩側大樓，SVF 介於 0.3-0.5，為半遮蔽狀況，C點文理大樓後側草皮，主要的遮蔽為大樓及一棵主要的大榕樹，遮蔽程度為高遮蔽，SVF 為 0.1-0.3，D點為第三校區機車停車場，鋪面是以磚為鋪面，為主遮蔽程度為空曠 SVF 為 0.5-0.9，並無明顯的遮蔽，E點為文理大樓中庭，遮蔽物為

大樓本身，F 點為本校經國體育館側邊人行步道，主要遮蔽為體育館本體及部分的人行道植栽，SVF 為 0.3-0.5，遮蔽程度為中度遮蔽，G 點校區內柏油鋪面空地，平時交通量較少，且並無太多遮蔽物，SVF 為 0.5-0.9，遮蔽程度為空曠，H 點為校外道路中央分隔島旁，主要遮蔽物為榕樹及椰子樹及建築體，SVF 為 0.3-0.5，I 點為校區後方糖場就宿舍區道路，為柏油鋪面，主要遮蔽物為茂密的榕樹，屬於高度遮蔽程度，SVF 為 0.1-0.3，圖片 3-6 至 3-14 為九個實測點之照片。



圖 3-6 A 點虎科大操場

(圖片來源：本研究拍攝)

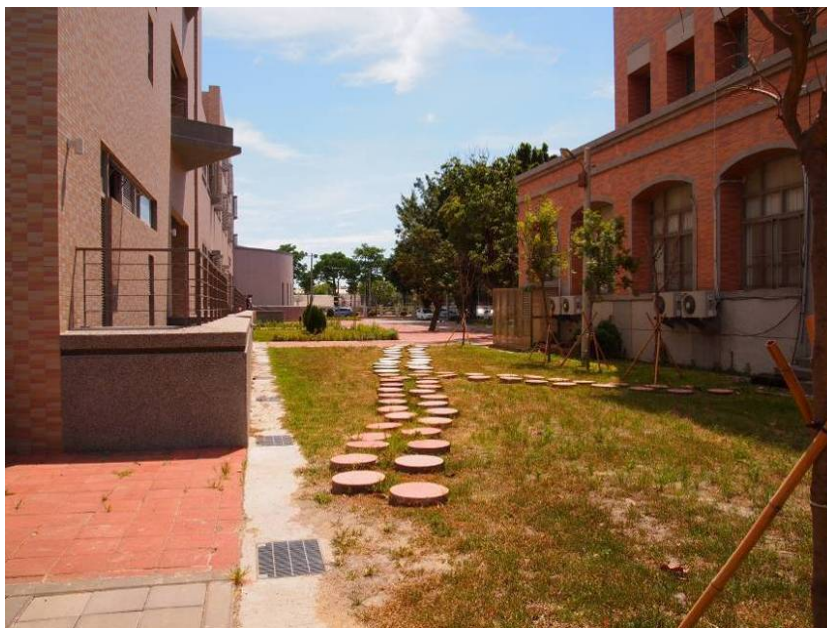


圖 3-7 B 點人文大樓與文理大樓中間
(圖片來源：本研究拍攝)



圖 3-8 C 點文理大樓後側草皮
(圖片來源：本研究拍攝)



圖 3-9 D 點摩托車停車場
(圖片來源：本研究拍攝)



圖 3-10 E 點文理大樓中庭
(圖片來源：本研究拍攝)



圖 3-11 F 點經國體育館側邊人行步道
(圖片來源：本研究拍攝)



圖 3-12 G 點校區柏油空地
(圖片來源：本研究拍攝)



圖 3-13 H 點校區馬路中間
(圖片來源：本研究拍攝)






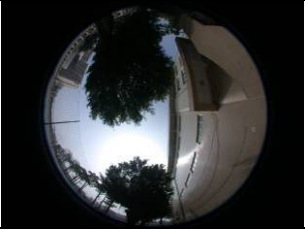





圖 3-14 I 點校區外糖廠舊宿舍
(圖片來源：本研究拍攝)

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

本研究根據草皮鋪面，磚鋪面及柏油鋪面，以及高中低遮蔽程度，將九個實測點整理成表 3-2，可看出九個實測點之間關係，水準是同一種鋪面不同遮蔽程度之魚眼圖比較，而垂直則是同一種遮蔽程度下，不同鋪面之間的魚眼圖比較，之後分析的方式將依照該分類作比較。

表 3-2 以 SVF 及鋪面分類

SVF 鋪面	0.5-0.9(空曠)	0.3-0.5(半遮蔽)	0.1-0.3(高遮蔽)
草皮	A 	B 	C 
紅磚	D 	E 	F 
柏油	G 	H 	I 


(資料來源：本研究整理)

7. 實測儀器與設置

在實際進行上，本研究以 Center314 記憶式溫濕度計紀錄環境因子，紀錄的項目有空氣溫度，黑球溫度及濕度。在物理環境因子的量測上，將以三角架將儀器(表 3-3 及表 3-4)固定於地面，以 1.1M 的高度量測空氣溫度、濕度、黑球溫度，風速及全天日射量也同時被觀測，所有的儀器均以 1 分鐘的頻率做自動記錄，每次實測的時間當天 08:00-17:30。

本研究分別將 9 台 Center314 儀器設置於上節所述之虎尾科技大學校區共 9 個不同的施測點(本研究將即測點與儀器編號為 A、B、C、D、E、F、G、H、I)再以實測的資料建立平均輻射溫度的預測模型，以做為後續綠建築更新診斷與改造計畫案例模型的準備。

表 3-3 氣溫因子實測儀器


實驗儀器名稱	Center314
用途及測量因子：長期監測空氣溫度、濕度、黑球溫度	
整體外觀	儀器顯示面板
	
黑球	熱偶線
	
Center314 使用介面說明	

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

		
編號	內容	說明
(1)	REC	儀器電量、資料容量、紀錄狀態
(2)	RH	相對溼度
(3)	T1	空氣溫度
(4)	T2	黑球溫度

(資料來源：本研究提供)

表 3-4 風速因子實測儀器

儀器名稱	測量因子	儀器照片
風速計	風速	

(資料來源：本研究提供)

再者，對於各點也需要計算其戶外遮蔽的程度，亦即前述的天空可視因子(SVF)。本研究是以該點向天空拍攝的魚眼鏡(表 3-5)來做認定，也就是空曠面積占整個魚眼鏡視野的比例，其無因次單位從 0 到

1 代表全部遮蔽及全部空曠。各實測點並以魚眼相機記錄各點的遮蔽狀況，即可匯入模型求得 SVF 值儀器。

表 3-5 天空可視因子測量儀器

儀器名稱：Nikon coolpix 995 數位相機及 FC-E8 魚眼鏡頭	
用途：(1)拍攝儀器周邊狀況 (2)拍攝上空照片以便匯入軟體	
整體外觀	
1. Nikon coolpix 995 數位相機	2. 相機照相面板
	
圖片來源：本研究拍攝	圖片來源：本研究拍攝
配置 FC-E8 魚眼鏡頭	魚眼鏡頭拍攝相片(B 點)
	
圖片來源：本研究拍攝	圖片來源：本研究拍攝

(資料來源：本研究提供)

第二節 第二階段：綠建築改造案例模擬

本所歷年均補助綠建築更新診斷與改造計畫，有顯著的空調節約能源成效，也有相當多技術報告加以證實。而在各個案例的設計手法中，也有多項喬木栽種及鋪面的改造，應可對都市高溫化有相當多的抑制及改善效果，因此，在第二階段中將應用第一階段所校正後的模型，來驗證案例在改造前、後熱環境的變化，以印證綠建築更新診斷與改造計畫在戶外環境提升的良好成效，相關的模擬方法如下所述：

1. 模型中建築植栽與氣象資料之輸入

由於第一階段中將完成模型的驗證，以確保可以對戶外平均輻射溫度有精準的模擬，而在第二階段中，為了要模擬案例在改造前、後的熱環境狀況，首先必需將其改造前、後的建築、材料及植栽狀況精確地建立在 RayMan 模型之中，如圖 3-15 及圖 3-16 所示。而後需將近 10 年的氣象資料整理成逐時的格式，包含時間、經緯度、雲量、全天空日射量等氣象要素如表 3-6，另外材料的反射率、空氣濁度、波恩比也可以選擇預設或自行設定的方式進行。即可輸出模型中單點的長年 Tmrt 的數值。

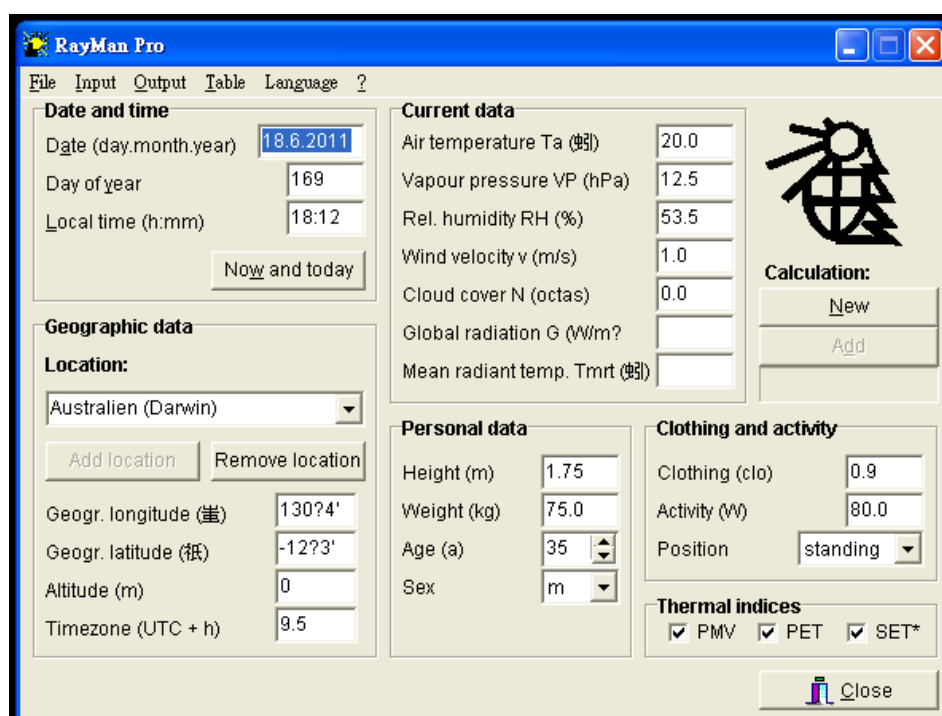


圖 3-15 RayMan 模擬軟體介面

(圖片來源：本研究提供)

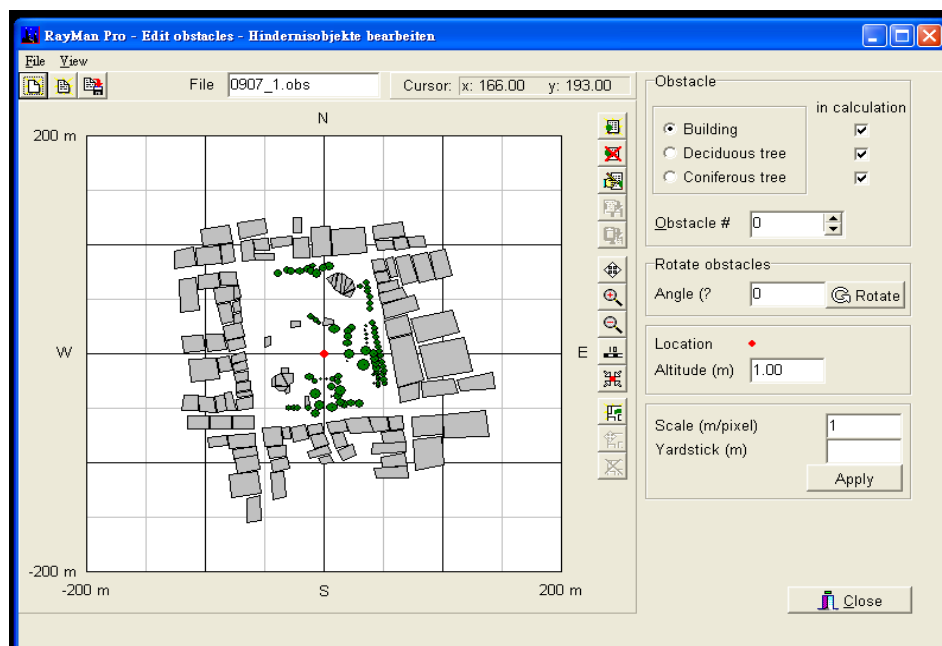


圖 3-16 RayMan 模擬建模示範

(圖片來源：本研究提供)

表 3-6 輸入 RayMan 模型的氣象資料格式示範

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

日期	時間	經度	緯度	高度	空氣溫度	水蒸氣壓	風速	空氣濁度	反照率	波恩比	水平日射量	衣著量	代謝量
date	time	longitude	latitude	Altitude	Ta	VP	V	ltf	albedo	bowen ratio	G	CLO	MET
1999/6/29	1:00	120°25'	23°29'	27	26.23	31.1	0.65	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80
1999/6/29	2:00	120°25'	23°29'	27	25.93	30.4	0.76	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80
1999/6/29	3:00	120°25'	23°29'	27	25.82	30.0	0.71	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80
1999/6/29	4:00	120°25'	23°29'	27	25.39	29.1	0.35	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80
1999/6/29	5:00	120°25'	23°29'	27	23.72	28.4	0.18	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80
1999/6/29	6:00	120°25'	23°29'	27	23.73	28.6	0.24	2.8	0.15	0.7	13.89	0.9	80
1999/6/29	7:00	120°25'	23°29'	27	24.84	29.5	0.35	2.8	0.15	0.7	80.53	0.9	80
1999/6/29	8:00	120°25'	23°29'	27	27.90	28.4	0.47	2.8	0.15	0.7	327.69	0.9	80
1999/6/29	9:00	120°25'	23°29'	27	28.91	28.3	1.35	2.8	0.15	0.7	458.21	0.9	80
1999/6/29	10:00	120°25'	23°29'	27	30.42	27.6	2.29	2.8	0.15	0.7	627.60	0.9	80
1999/6/29	11:00	120°25'	23°29'	27	30.79	26.9	2.12	2.8	0.15	0.7	680.37	0.9	80
1999/6/29	12:00	120°25'	23°29'	27	31.37	26.9	1.76	2.8	0.15	0.7	658.15	0.9	80
1999/6/29	13:00	120°25'	23°29'	27	31.70	29.7	2.41	2.8	0.15	0.7	633.16	0.9	80
1999/6/29	14:00	120°25'	23°29'	27	32.23	30.6	3.12	2.8	0.15	0.7	485.98	0.9	80
1999/6/29	15:00	120°25'	23°29'	27	31.58	30.0	3.41	2.8	0.15	0.7	352.68	0.9	80
1999/6/29	16:00	120°25'	23°29'	27	31.86	30.6	4.23	2.8	0.15	0.7	297.14	0.9	80
1999/6/29	17:00	120°25'	23°29'	27	28.36	26.1	1.06	2.8	0.15	0.7	66.65	0.9	80
1999/6/29	18:00	120°25'	23°29'	27	28.20	26.3	1.12	2.8	0.15	0.7	11.11	0.9	80
1999/6/29	19:00	120°25'	23°29'	27	26.37	30.2	1.18	2.8	0.15	0.7	8.33	0.9	80
1999/6/29	20:00	120°25'	23°29'	27	25.80	30.4	1.06	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80
1999/6/29	21:00	120°25'	23°29'	27	25.58	29.3	1.35	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80
1999/6/29	22:00	120°25'	23°29'	27	25.29	29.8	0.12	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80
1999/6/29	23:00	120°25'	23°29'	27	26.50	29.5	0.65	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80
1999/6/29	0:00	120°25'	23°29'	27	24.58	29.8	0.12	2.8	0.15	0.7	0.00	0.9	80

(資料來源：以嘉義氣象站 1999/6/29 該日的資料為範例，本表是利用依 RayMan 模型讀取的格式加以整理，其中空氣濁度、反照率、波恩比等需依實際測點的特性來設定代入。)

2. 綠建築更新診斷與改造計畫模擬案例選擇

依據期初計畫及工作項目合約，本研究預計進行三個綠建築更新診斷與改造計畫改善案例其改善前/改善後的評估。由於本研究是要探討遮蔽因子對熱環境的影響，因此主要針對有種植喬木或增加人工遮蔽物的案子加以討論。由於過去在改善案例中對於單純喬木的種植有所限制，因此，選擇的案例以增加人工遮蔽物，或進行保水改善時有增加喬木綠化的案例為主。經多個北、中、南三區的案例檢視後，較有代表性的案例進行評估，在進行評估之前，簡要對案例簡要的探討，其選擇案例分別為：高雄大學、國立自然科學博物館九二一地震教育園區、行政院文化建設委員會文化資產總管理籌備處，希望藉由上述對象驗證綠建築更新診斷與改造計畫在戶外舒適環境的改善下是有成效。

案例一：高雄大學

高雄大學位於南台灣，校址為高雄市楠梓區高雄大學路 700 號。校園瀕臨海邊之空曠區域，與海邊之距離為僅約 1.5 公里左右，一年四季除冬季外，其餘三季之中午時段，整個校區均為處於高溫炙熱的日射環境，在夏季尤為強烈。



圖 3-17 國立高雄大學校園建築物配置圖

(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)

(1) 改善原因

由於本校屬新設學校，建校初期校園整地採用阿公店水庫底泥進行回填，由於其底泥屬於月世界一帶惡劣地形地質，所冲刷而下的黏土土質，缺乏有機質成分，導致本校栽種多年之樹木，因土質因素而生長不良。每逢颱風來襲，樹穴極易形成浴盆效應，無法有效滲透或排除積水，樹根泡在積水中一兩天後，極易因根部無法呼吸而死亡，造成新建大樓周遭行道樹之樹冠成長極慢。每到夏季時，在校園內學習、研究與辦公的師生與教職員，於校區內圖書資訊大樓、法學院大

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

樓、理學院大樓與管理學院大樓間穿梭時，常需忍受酷熱日曬之苦，是一個亟需改善的環境。

(2) 改善策略

將校區主要建築群間的步道遮陽系統建立起來，於周遭人行道上構築戶外遮棚，並提供爬藤類攀附的棚架，一方面可以提供戶外遮蔭的步道空間，另一方面可以增加校園綠意，這對全校師生及教職員而言，將是一大福音。待爬藤植物覆蓋滿戶外遮棚，對於圖書資訊大樓、法學院大樓、理學院大樓、管理學院大樓周遭環境之微氣候，將有明顯的改善，建築周遭景觀也將更加美化與舒適。若採用終年常綠之爬藤類植栽，能維持終年之綠色廊道，校方僅需例行性施、澆水及修剪外，並無需其他繁雜或大量之維護管理工作，即可維持綠廊道之功能與美意。



圖 3-18 改善前圖資館往理學院人行道

(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)



圖 3-19 改善前圖資館往法學院人行道
(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)



圖 3-20 改善前法學院往管理學院人行道
(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)



圖 3-21 改善前圖資館往校門口人行道
(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)



圖 3-22 圖資館至理學院間戶外遮棚竣工照片
(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)



圖 3-23 圖資館東側戶外遮棚竣工照片
(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)



圖 3-24 戶外遮棚海報牆竣工照片
(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)



圖 3-25 戶外遮棚細部構造照片

(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)

(3) 使用本案為模擬對象之原因

該案例改善重點為建築間步道遮陽系統，該設施之遮陽板之構造是有間隙的，該間隙會照射部分陽光到步道上，加上步道上的陰影受太陽的運行與遮陽系統設置的軸向影響，所以本研究欲以該案例作為驗證的對象，驗證該案例步道遮陽系統，透過改善遮蔽，提升步道的舒適。

案例二：國立自然科學博物館九二一地震教育園區

九二一地震教育園區位於台中縣霧峰鄉坑口村中正路 46 號，可由國道 3 號 211 霧峰交流道下，開道靠右順行至盡頭紅綠燈，右轉後直行(中正路；省道台 3 線)往草屯方向，循指標至該園區。或行駛中投公路(台 63 線)，於中投交流道出口下，依循指標轉接至國道 3 號

南下，(往南投方向)下 211 霧峰交流道亦可到達該園區。



圖 3-26 九二一地震教育園區外觀

(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)

(1) 問題說明

九二一地震教育園區位於南投縣霧峰鄉，其入口廣場區域及主要園區由乾溪區隔兩於兩岸，南岸園區主要為入口停車場的使用，園區內此區域的綠化程度相當低，僅在週邊有部分的單調綠化，該停車場原設置之植草區由於興建多年草皮經長期輪胎滾壓，造成草皮死亡，風勢吹過裸露之地表容易捲起風沙，缺乏有效之整體改善；而其餘的廣場空間，亦皆為不透水的柏油鋪面。

橫跨乾溪之空橋係聯繫南園區及北園區之主要動線，僅供行人通行使用。橋上原設置供蔓藤類植物攀爬之桁架棚架，惟完工多年後仍無藤蔓生長，以致橋面上無任何遮蔽物，日曬嚴重。

(2) 改善策略

於橫跨乾溪之南園區及北園區之聯通空橋部分，則利用原有棚架作遮蔭使用，配合使君子等爬藤植物的栽種，改善原無植栽鋼棚架，提供綠美化同時增加遮蔭效果。



圖 3-27 改善前聯外橋樑現況

(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)



圖 3-28 改善後聯外橋樑照片

(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)

(3) 使用本案模擬對象之原因

該案例改善重點為改善鋪面為植草磚及高壓磚鋪面，以及在聯通空橋上原有棚架增設布棚作遮蔭使用，本研究選擇本案例之目的是欲探討聯通空橋上增設布棚的角度範圍受太陽運行所行程的遮蔽效果，是否能達到成效。

案例三：行政院文化建設委員會文化資產總管理籌備處

自 2004 年文建會開始針對遍及全台 5 處酒廠進行一連串賦予歷史空間新生命等再利用改造工作，經主管機關與專家學者研議後，於 2005 年 6 月將原有的「台中創意文化園區」正式更名為「台灣藝術·設計與建築展演中心」（簡稱 TADA.Center），顯示將藉由舊酒廠邁向更多元化、豐富性之建築設計及藝術創意的領域。



圖 3-29 文化資產總管理籌備處

(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

(1) 問題說明

戶外廣場無遮陽設備，造成夏季廣場過熱，人的活動量不多。

(2) 改善策略

於原有廣場設置戶外遮棚以婆羅洲鐵木搭配角鐵及鋼構等構件構築，種植炮仗花等爬藤類植物，並於遮棚頂板設置木格柵供爬藤類植物攀爬以達遮陰效果。提供綠美化同時增加綠化量、減少 CO₂ 排放量、增加 CO₂ 固定量。

(3) 使用本案模擬對象之原因

本研究選擇本案例之目的是欲探討外部遮棚設施是否有達到改善環境之效果。

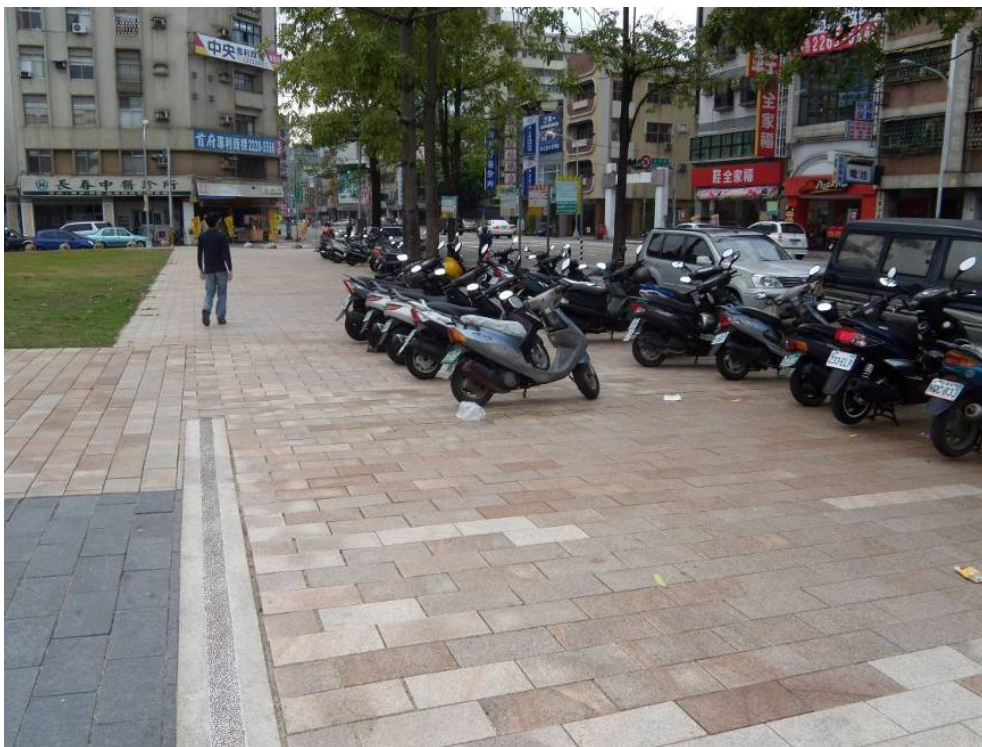


圖 3-30 改善前未設置戶外遮棚

(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)



圖 3-31 改善後戶外遮棚照片

(資料來源：綠建築更新診斷與改造計畫報告, 2010)

本計畫受限於預計模擬綠建築診斷與改造計畫均僅補助公部門案例，故案例同性質較高。而有關不同土地使用型態應用遮蔽因子的議題極為重要。故本研究將以對策方式呈現，以反應出不同分區及使用型態上遮蔽手法，提出較為廣泛全面性之研擬對策。

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

第四章 第一階段實測結果與探討

第一節 實測基本資料

本研究由 2011 年春季的 4 月開始至夏季 2011 年 9 月期間分別進行了八次的戶外實測，戶外實測的日期分別為 2011 年 4 月 12 日、2011 年 4 月 21 日、2011 年 5 月 9 日、2011 年 5 月 26 日、2011 年 6 月 30 日、2011 年 7 月 6 日、2011 年 8 月 17 日及 2011 年 9 月 19 日如表 4-1。

表 4-1 戶外實地測量月份及日期

月份	實測日期
四月	2011/04/12
	2011/04/21
五月	2011/05/09
	2011/05/26
六月	2011/06/30
七月	2011/07/06
八月	2011/8/17
九月	2011/9/19

(資料來源:本研究整理)

表 4-2 為八次戶外實地測量之各項目數據之平均，包含空氣溫度平均、黑球溫度平均、相對溼度平均、平均輻射溫度平均。8 次戶外實測中平均空氣溫度以 8 月 17 號攝氏 36.0 度，最高平均黑球溫度以 8 月 17 號為攝氏 43.5 度，平均最高相對濕度為 5 月 26 日 76.3%，最高平均輻射溫度為 7 月 6 日攝氏 51.6 度。

表 4-2 研究平均溫度表

季節	日期	平均 空氣溫度	平均 黑球溫度	平均 相對濕度	平均 輻射溫度
春	2011/04/12	26.9	32.6	60.1	39.7
	2011/04/21	27.2	32.1	58.6	36.0
	2011/05/09	32.9	37.9	59.9	41.7
	2011/05/26	30.2	34.9	76.3	38.5
夏	2011/06/30	32.6	37.2	70.5	46.1
	2011/07/06	34.1	40.3	63.6	51.6
	2011/08/17	36.0	43.5	51.6	48.8
	2011/09/19	32.8	36.8	67.7	39.8

(資料來源:本研究整理)

第二節 各次實測結果

以下為戶外實測量測所得數據，由於 5 月 9 日因為人為狀況，造成收集數據不夠完整，故本次成果報告暫不採納及呈現當日數據，僅呈現並比較 4 月 12 日、4 月 21 日，5 月 26 日之數據成果，本研究分成兩階段呈現，第一階段分別為當日九個不同的點位之空氣溫度比較圖、黑球溫度比較圖、相對濕度比較圖及轉換求得之平均輻射溫度比較圖。第二階段為根據不同的 SVF 及鋪面條件，將九個點分別分組並繪製成圖並做比較。

在圖 4-1 至 4-3 中為實測各點空氣溫度比較圖，圖中顯示 A 點、D 點及 G 點當日空氣溫度為較高者，A 點為低遮蔽的草地鋪面操場，D 點低遮蔽的磚鋪面摩托車停車場，而 G 點為校外低遮蔽的柏油空地，這三點之間雖然為不同鋪面組成，但共同特徵同為高 SVF，同樣具有較低的遮蔽率。然而空氣溫度較低點為 C 點、F 點及 I 點，C 點為文理大大樓後側邊，為草皮鋪面且具有高度的建築遮蔽及榕樹遮蔭，屬於高遮蔽低 SVF 的測點。F 點為校內體育館旁邊的磚造人行步道，具有建物的遮蔽以及榕樹遮蔽，屬於高度遮蔽的點位。I 點為校

區外面糖廠舊宿舍區的柏油道路，道路兩旁有高度的樹蔭遮蔽，屬於高遮蔽低 SVF 的點位。三點為不同鋪面組成，但屬於皆具有較低的 SVF 較高遮蔽率的點位。由圖可發現整體空氣溫度的變化。與區域的遮蔽程度有著明顯的關係，SVF 天空可視因子越低，遮蔽越高，整體空氣溫度就越高，SVF 天空可視因子越高，該點整體空氣溫度就會越低。

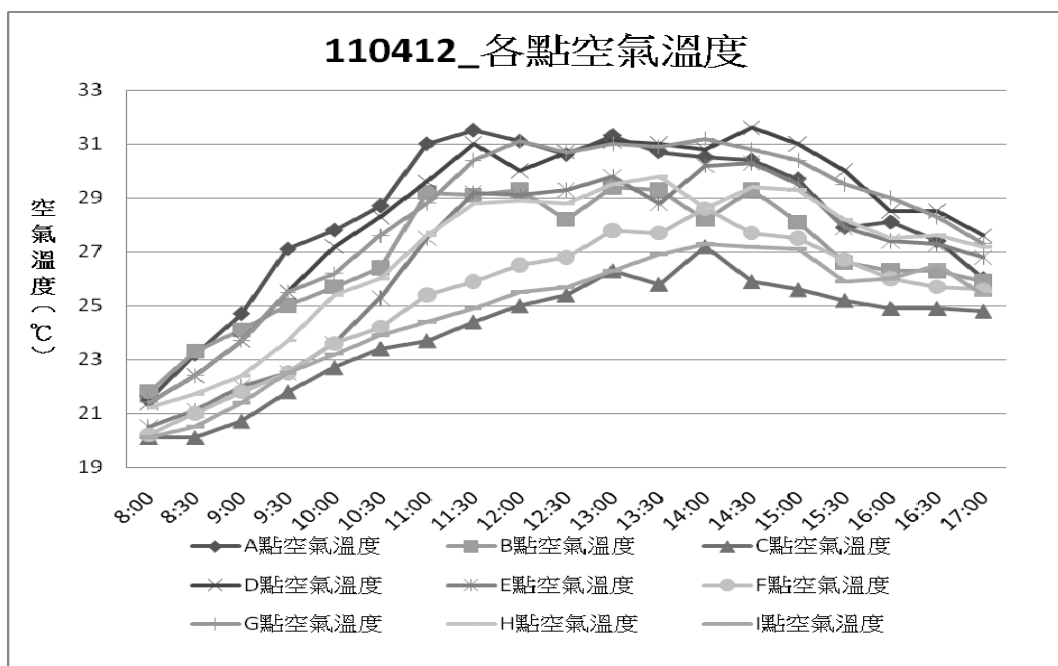


圖 4-1 4 月 12 日各點空氣溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

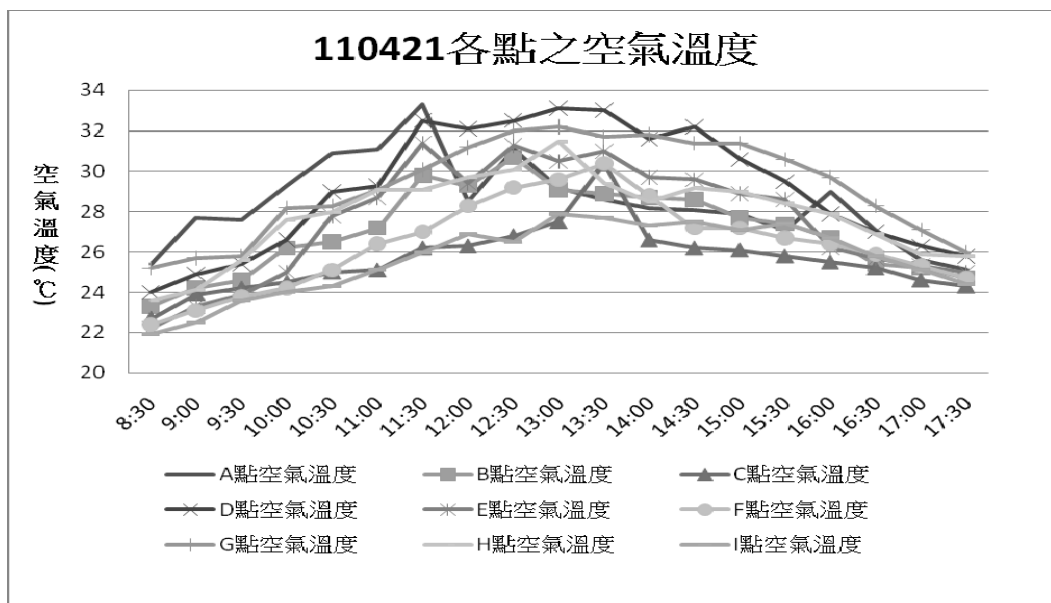


圖 4-2 4 月 21 日各點空氣溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

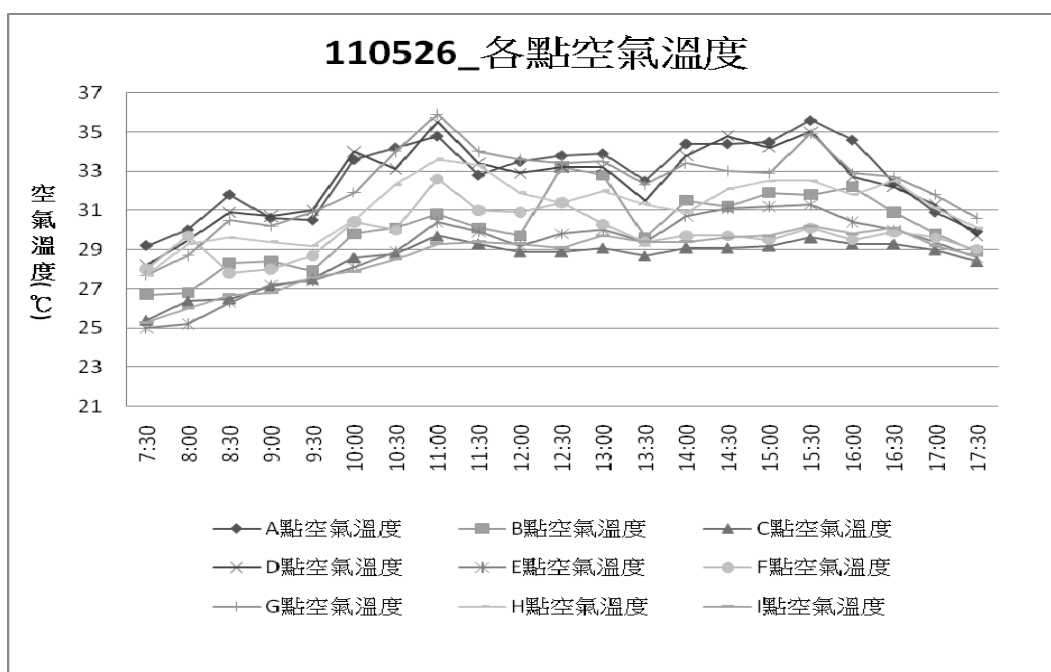


圖 4-3 5 月 26 日各點空氣溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

而圖 4-4 至 4-6 為各點相對濕度比較圖，在 4 月 12 日及 4 月 21 日相對溼度皆以 C 點 F 點及 I 點較高，C 點為文理大大樓後側邊，為草皮鋪面且具有高度的建築遮蔽及榕樹遮蔭，屬於高遮蔽低 SVF 的測點。F 點為校內體育館旁邊的磚造人行步道，具有建物的遮蔽以及榕樹遮蔽，屬於高度遮蔽的點位。I 點為校區外面糖廠舊宿舍區的柏油道路，道路兩旁有高度的樹蔭遮蔽，屬於高遮蔽低 SVF 的點位。三點雖為不同鋪面，但皆為高遮蔽，本研究推論遮蔽程度可能與相對濕度有關係。

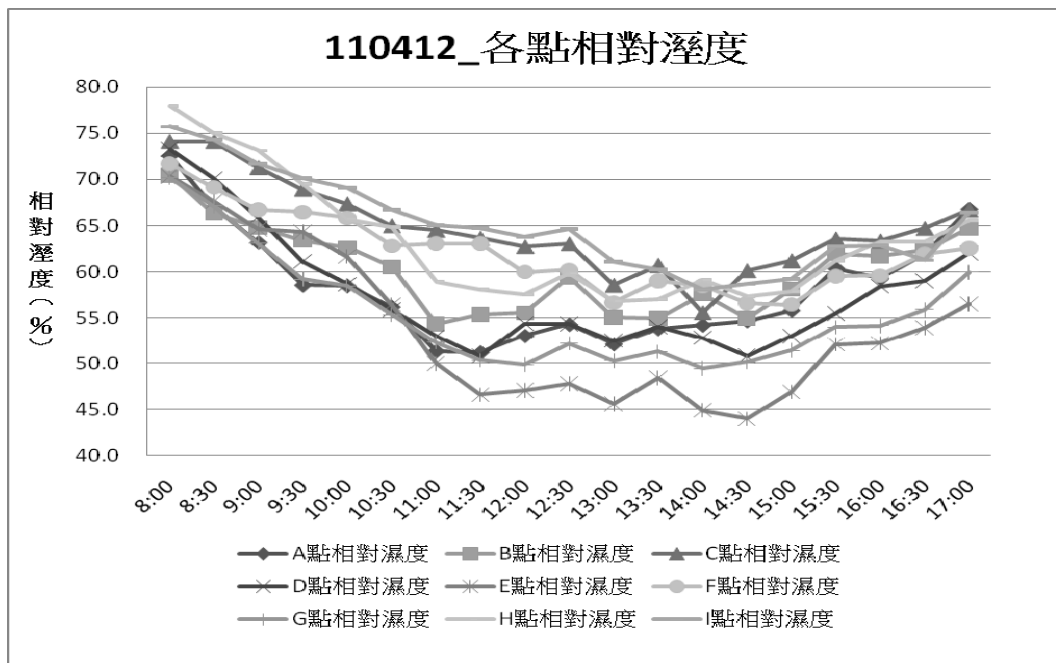


圖 4-4 4 月 12 日各點之相對濕度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

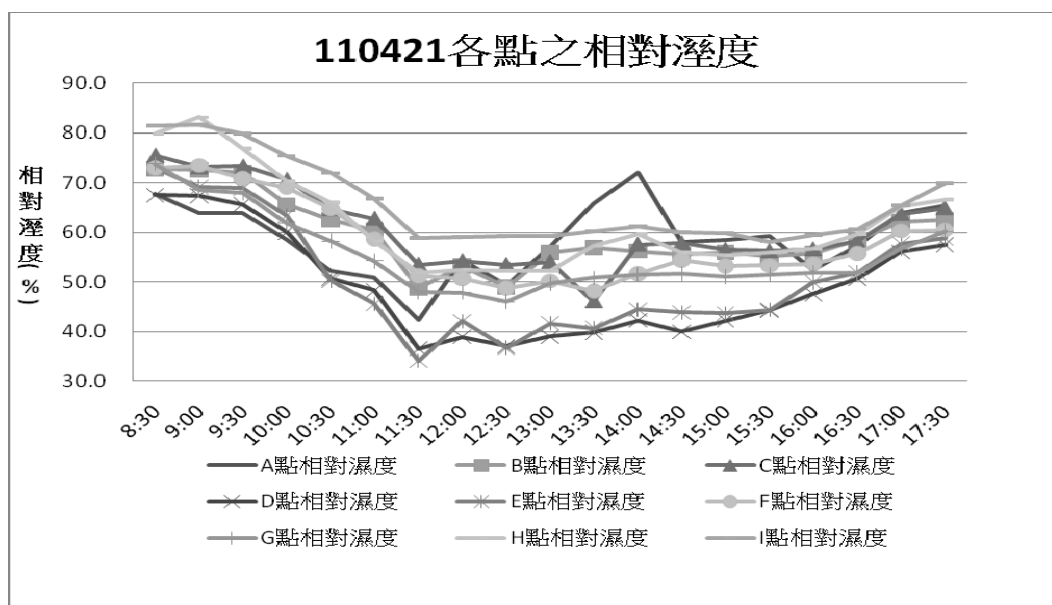


圖 4-5 4 月 21 日各點之相對濕度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

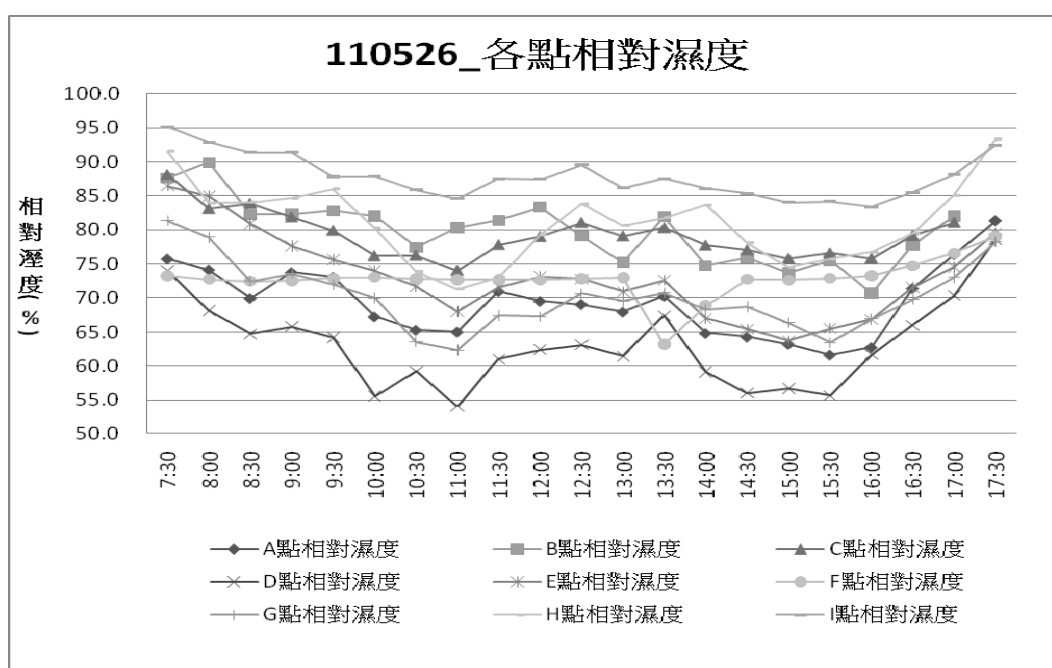


圖 4-6 5 月 26 日各點之相對濕度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

接下來為實測各點黑球溫度比較圖如圖 4-7 至 4-9，圖中顯示 A 點、D 點及 G 點為當日黑球溫度較高者，A 點屬於低遮蔽的草地鋪面操場，D 點是低遮蔽的磚鋪面摩托車停車場，而 G 點為校外低遮蔽的柏油空地，這三點之間雖然為不同鋪面組成，但共同特徵同為高 SVF，同樣具有較低的遮蔽率。然而空氣溫度較低點為 C 點、F 點及 I 點，C 點為文理大大樓後側邊，為草皮鋪面且具有高度的建築遮蔽及榕樹遮蔭，屬於高遮蔽低 SVF 的測點。F 點為校內體育館旁邊的磚造人行步道，具有建物的遮蔽以及榕樹遮蔽，屬於高度遮蔽的點位。I 點為校區外面糖廠舊宿舍區的柏油道路，道路兩旁有高度的樹蔭遮蔽，屬於高遮蔽低 SVF 的點位。三點為不同鋪面組成，但屬於皆具有較低的 SVF 較高遮蔽率的點位。由圖可發現整體黑球溫度的變化。與區域的遮蔽程度有著明顯的關係，SVF 天空可視因子越低，遮蔽越高，黑球受太陽輻射照射增加，整體黑球溫度就越高，同理，SVF 天空可視因子越高，該點整體黑球溫度就會越低。

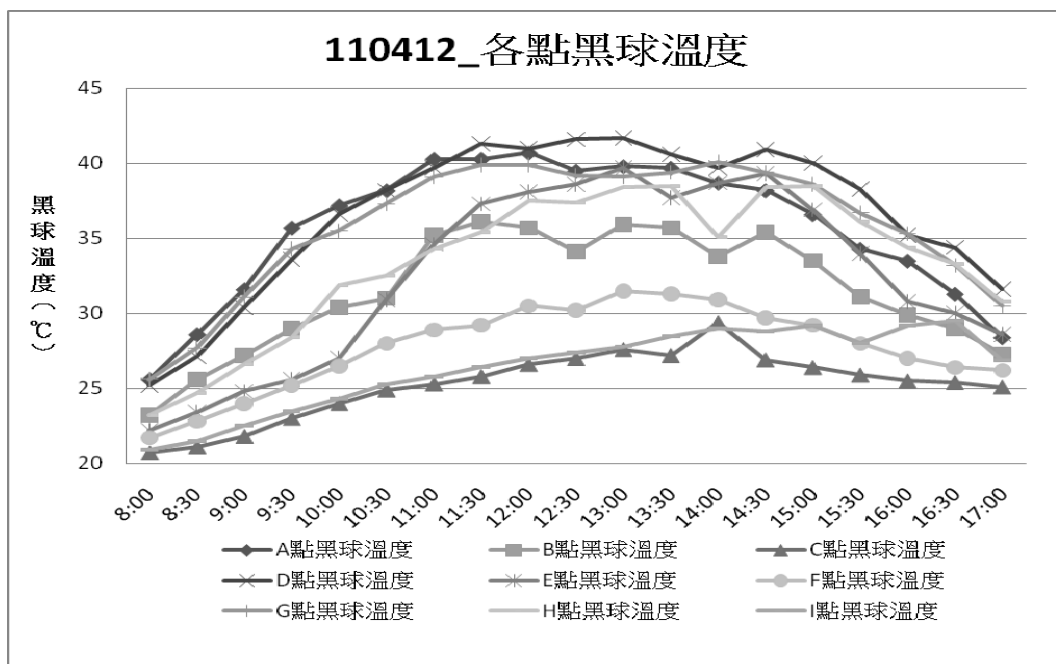


圖 4-7 4 月 12 日各點黑球溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

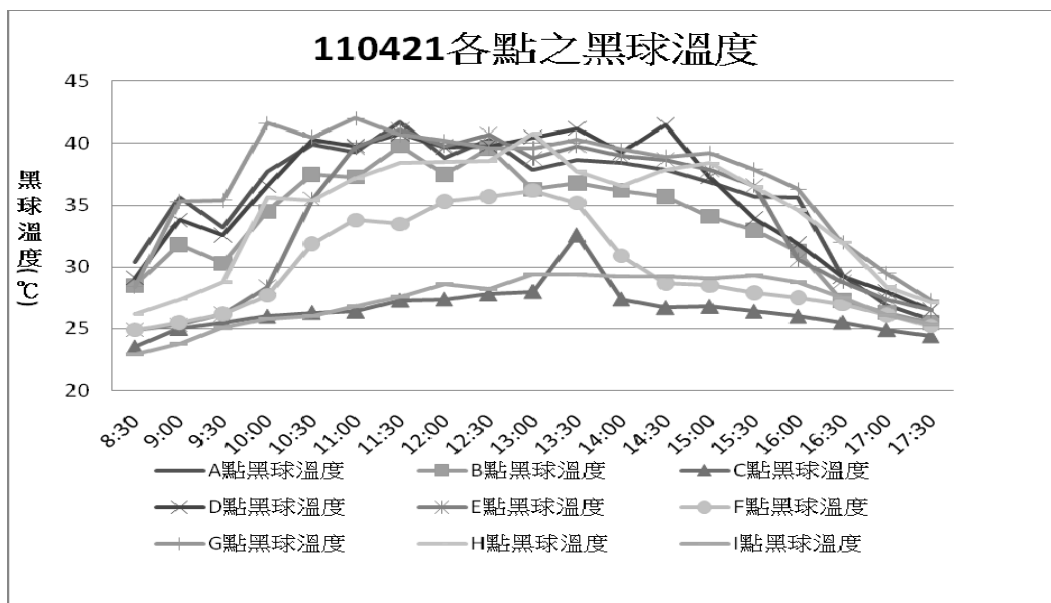


圖 4-8 4 月 21 日各點黑球溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

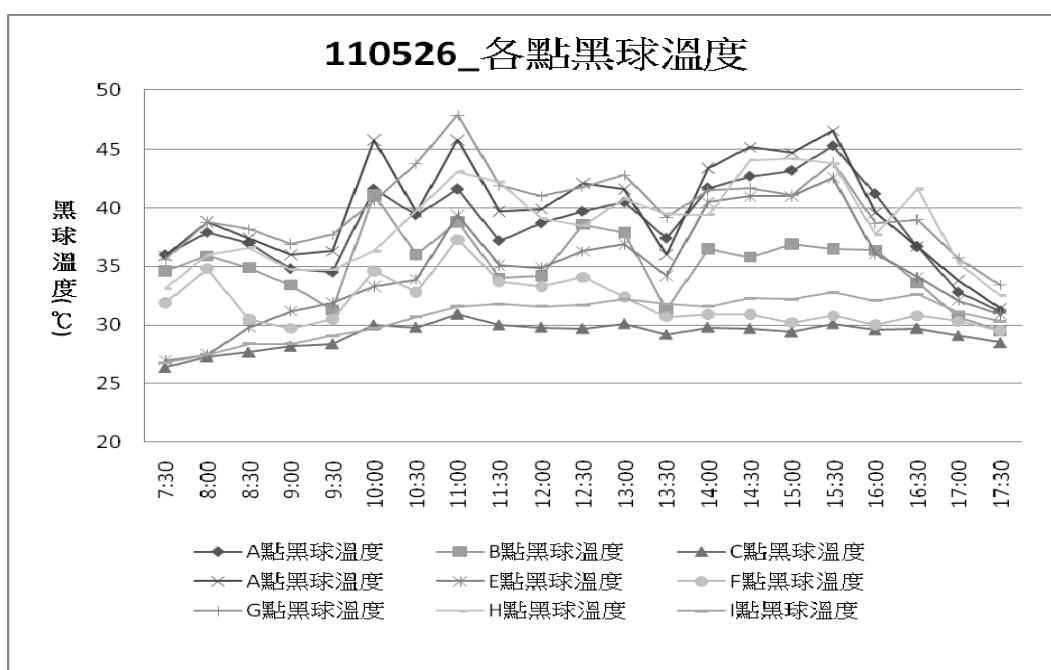


圖 4-9 4 月 12 日各點黑球溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

各點平均輻射溫度比較方面，顯示 C 點、F 點及 I 點為當日平均輻射溫度較低者，C 點為文理大大樓後側邊，為草皮鋪面且具有高度的建築遮蔽及榕樹遮蔭，屬於高遮蔽低 SVF 的測點。次低為 F 點，F 點為校內體育館旁邊的磚造人行步道，具有建物的遮蔽以及榕樹遮蔽，屬於高度遮蔽的點位。第三低者為 I 點，I 點為校區外面糖廠舊宿舍區的柏油道路，道路兩旁有高度的樹蔭遮蔽，屬於高遮蔽低 SVF 的點位。且發現 F 點及 I 點之平均輻射溫度在下午會有一個交會點 F 點平均輻射溫度會由高慢慢變低，I 點則會由高變低。圖 4-10 至 4-12 為各點平均輻射溫度。

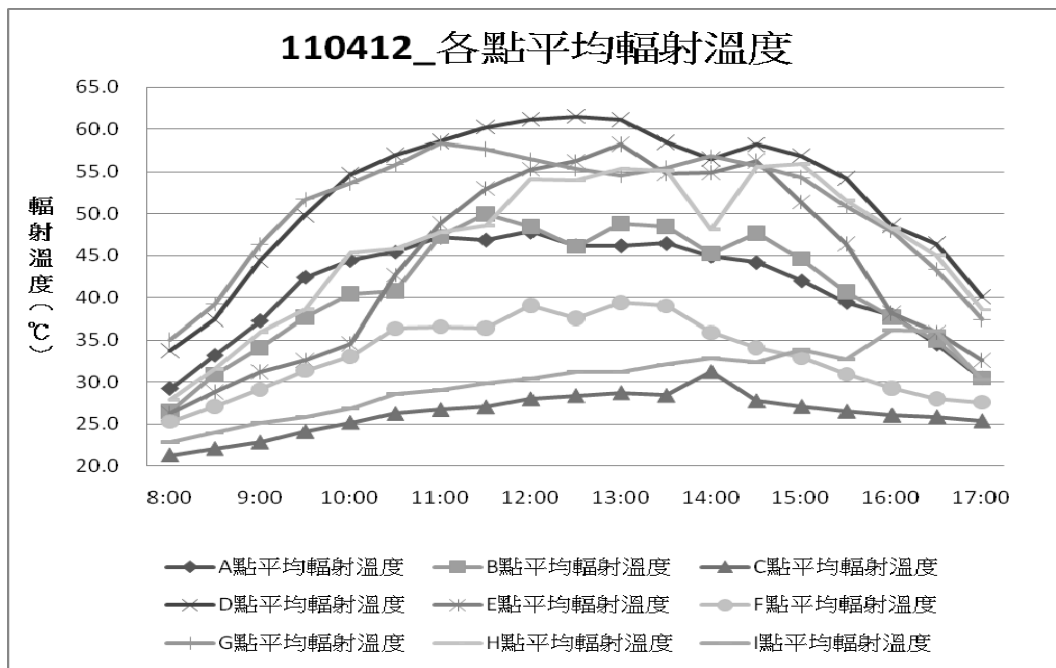


圖 4-10 4 月 12 日各點平均輻射溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

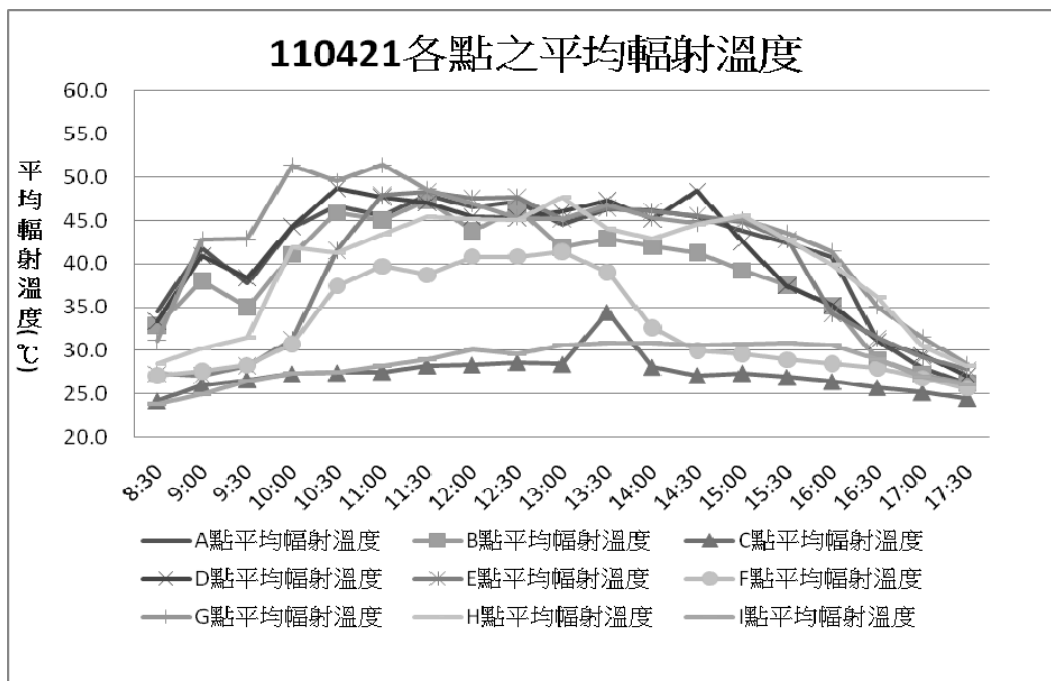


圖 4-11 4 月 21 日各點平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

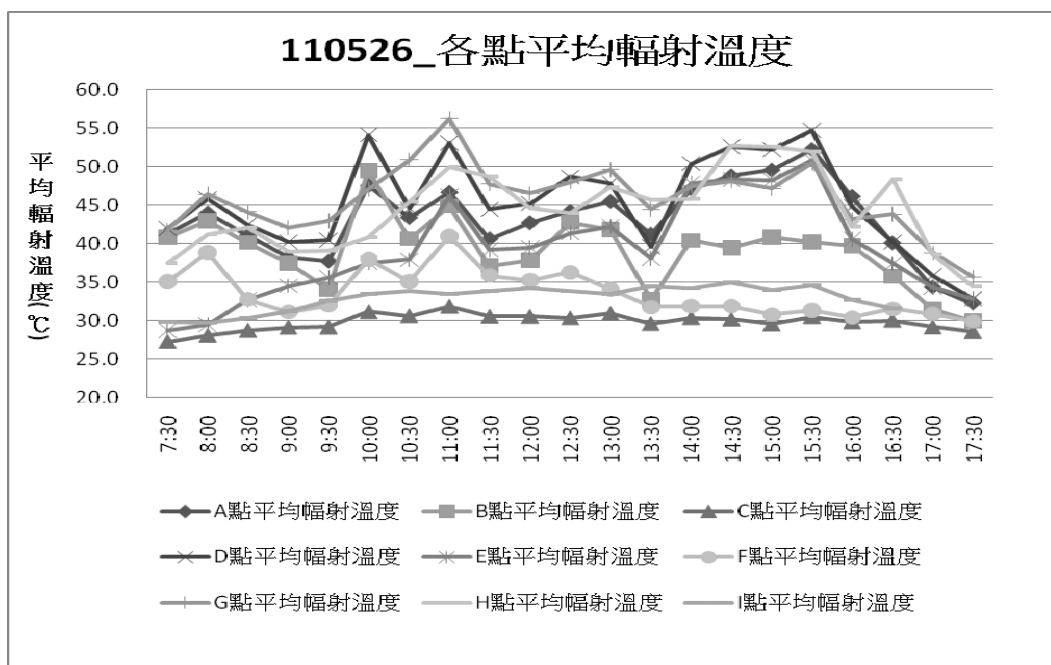


圖 4-12 5 月 26 日各點平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

第三節 實測結果分組比較

為了能夠以單一的因子去比較同一種因子下不同程度上對微氣候影響異，本研究先以將同樣條件的鋪面固定，比較不同遮蔽下各平均輻射溫度的變化，探討其原因及結果。再者以同樣的遮蔽程度，比較不同鋪面間的平均輻射溫度變化並探討結果。

1. 同草地鋪面不同 SVF 之平均輻射溫度比較



圖 4-13 A 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-14 B 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-15 C 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)

首先是以同為草地鋪面不同的遮蔽程度作比較，圖 4-13 至圖 4-15 為三點的外觀圖及魚眼比較圖。圖 4-16 至圖 4-18 為同為草地鋪面，不同 SVF 之平均輻射溫度比較圖，圖 4-16 至圖 4-18 中顯示 C 點的平均輻射溫度較其他兩點低，而 A 點及 B 點的平均輻射溫度較高也較為相近，A 點為高 SVF 低遮蔽，B 點為中度 SVF，C 點為低度 SVF 高遮蔽。本研究推論 C 點平均輻射溫度遠低於其他兩點原因應該為遮蔽程度極高，有效遮蔽太陽行進軌道間所照射的日照及太陽輻射。加上為草皮鋪面，造成整體平均輻射溫度較低。

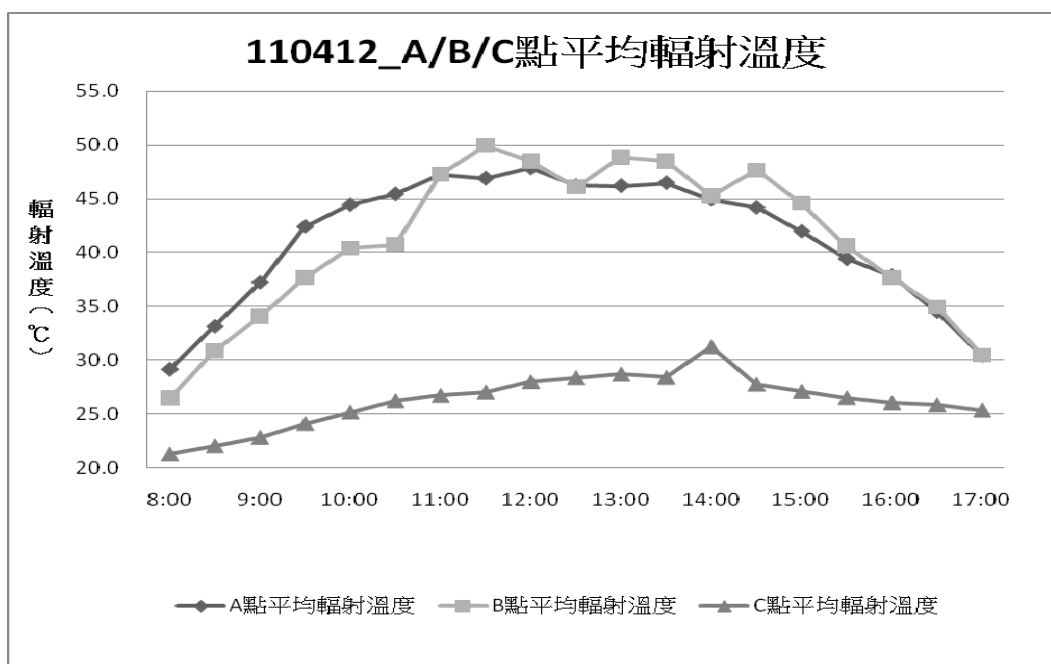


圖 4-16 4 月 12 日 A/B/C 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

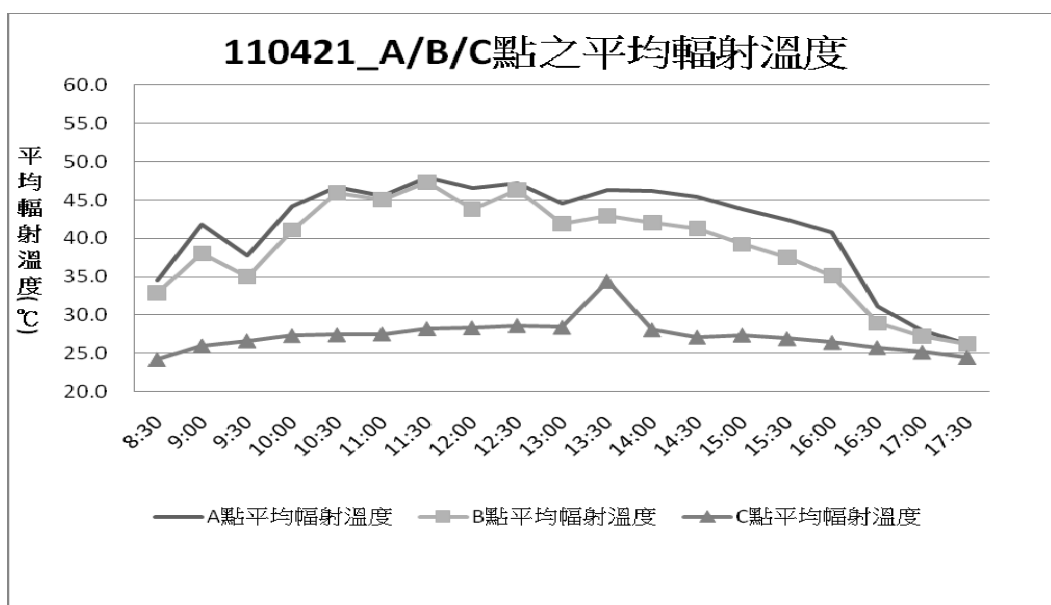


圖 4-17 4 月 21 日 A/B/C 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

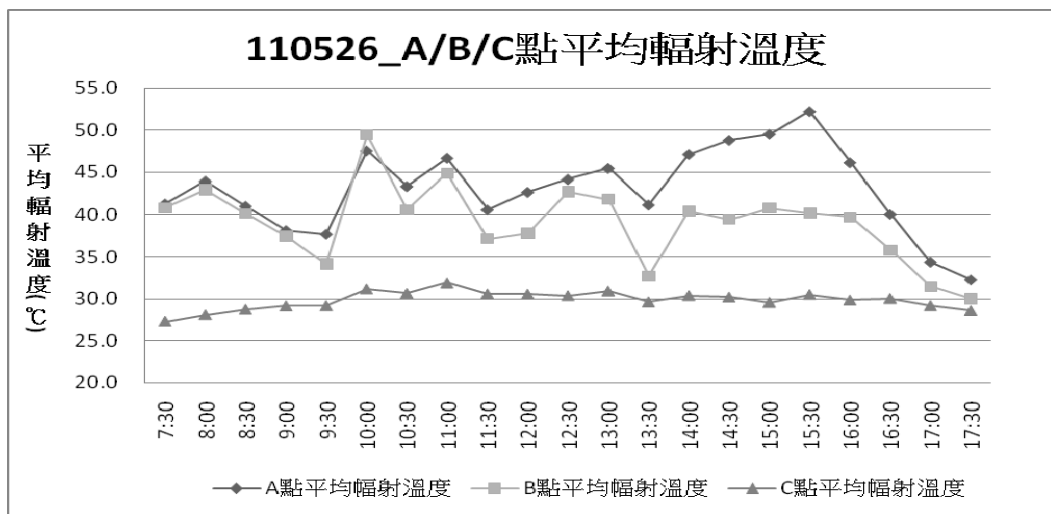


圖 4-18 5 月 26 日 A/B/C 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

2. 同為磚地鋪面不同 SVF 實測點平均輻射溫度比較



圖 4-19 D 實測點外觀及魚眼圖
(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-20 E 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-21 F 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)

圖 4-19 至圖 4-21 為三點的外觀圖及魚眼比較圖，圖 4-14 至圖 4-16 為同樣磚造鋪面，不同程度 SVF 之平均輻射溫度比較圖，皆顯示較高平均輻射溫度為 D 點，平均輻射溫度較低者為 F 點，D 點低遮蔽的磚鋪面摩托車停車場，F 點為校內體育館旁邊的磚造人行步道，具有建物的遮蔽以及榕樹遮蔽，屬於高度遮蔽的點位。顯示高度遮蔽地點是較低遮蔽舒適的。

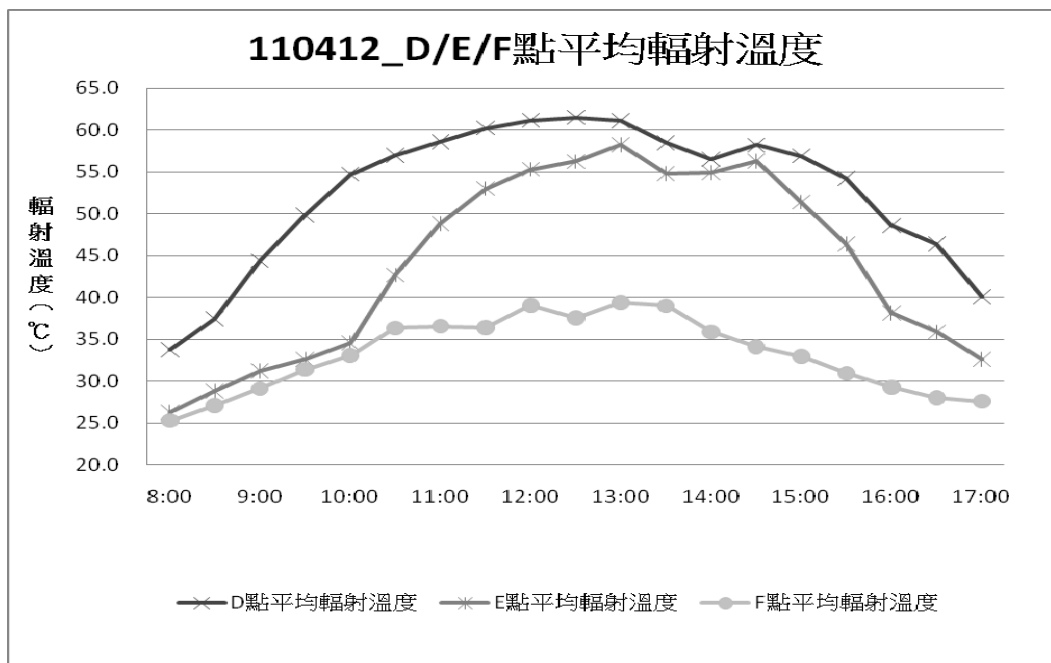


圖 4-22 4 月 12 日 D/E/F 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

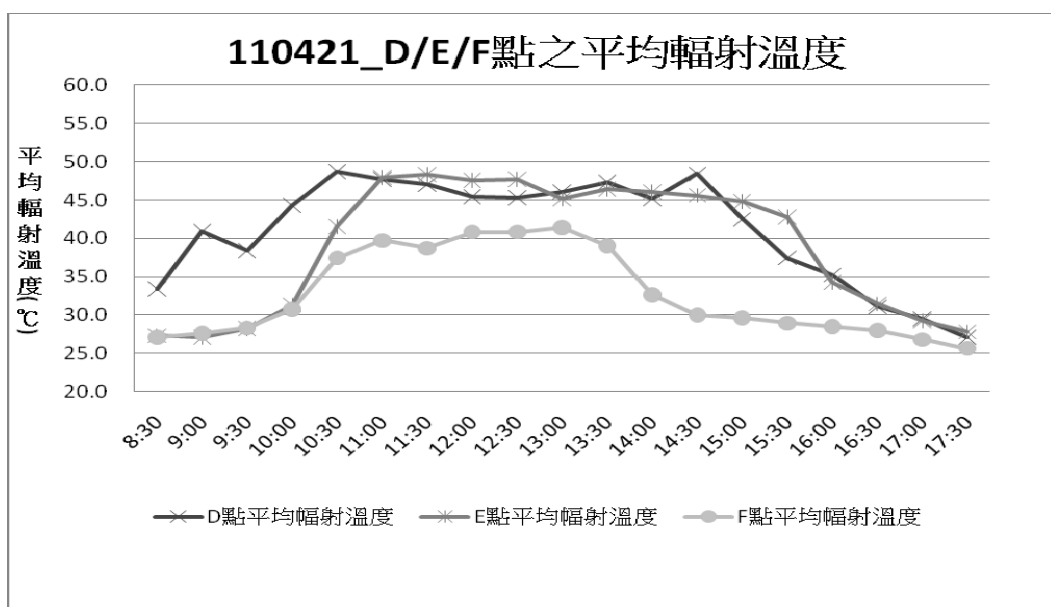


圖 4-23 4 月 21 日 D/E/F 點平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

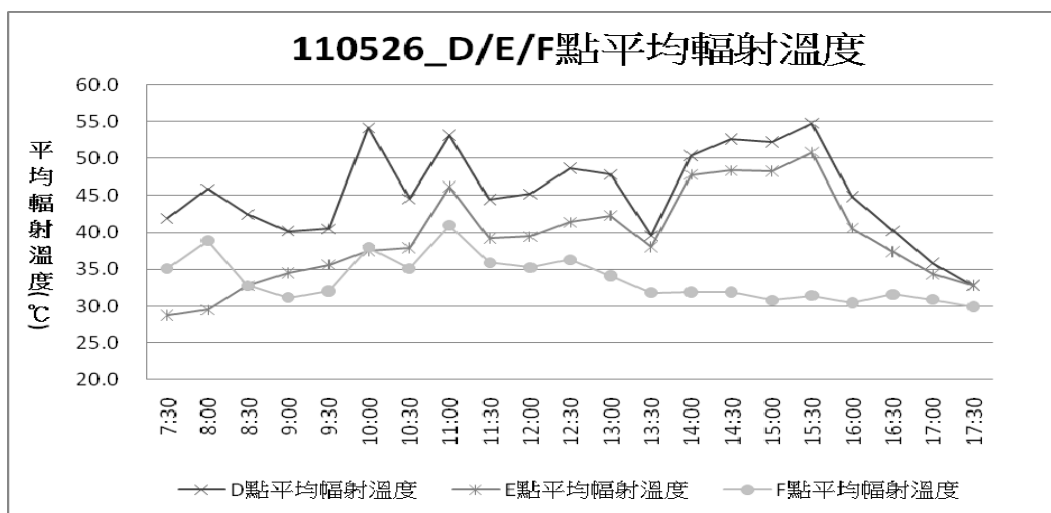


圖 4-24 5 月 26 日 D/E/F 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

3. 同為柏油鋪面不同 SVF 之平均輻射溫度比較



圖 4-25 G 實測點外觀及魚眼圖
(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-26 H 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-27 I 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)

圖 4-25 至圖 4-27 為三點的外觀圖及魚眼比較圖，圖 4-17 至圖 4-16 為同樣柏油鋪面，不同程度 SVF 之平均輻射溫度比較圖，皆顯示較高平均輻射溫度為 G 點及 H 點，平均輻射溫度較低者為 I 點，I 點明顯低於其他兩者，G 點為校外柏油空地，H 點為馬路中間，I 為校外糖廠舊宿舍區，顯示高度遮蔽地點是較低遮蔽舒適的。本研究推論原因是 I 點受太陽照射量較少，相對受太陽輻射也較低，黑球溫度較低，使整體平均輻射溫度也較低，因而導致該區較其他實測點舒適。

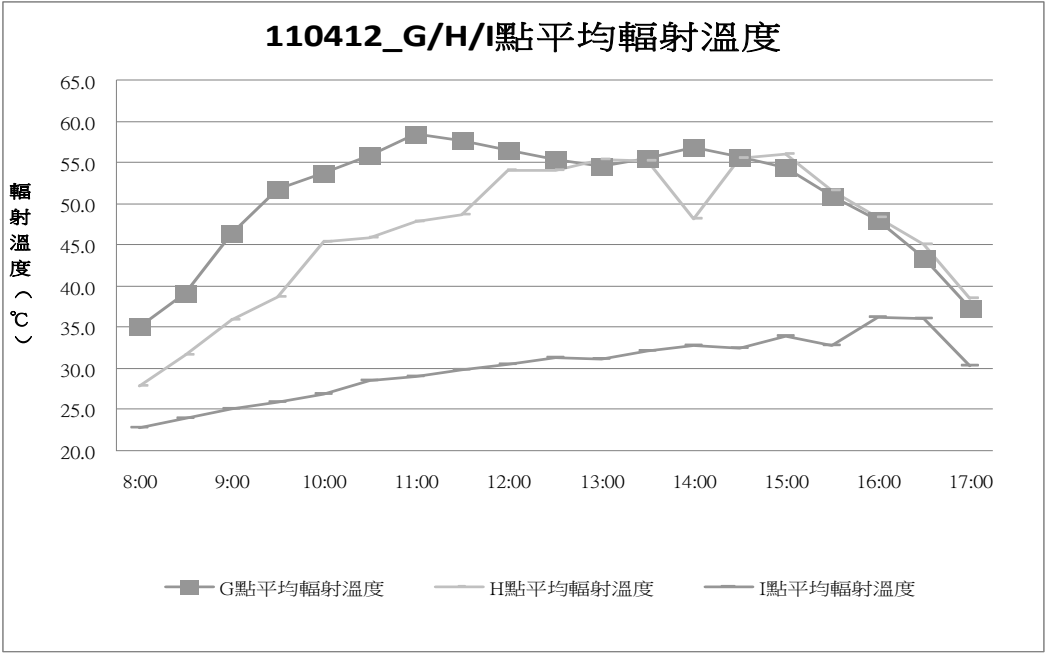


圖 4-28 4 月 12 日 G/H/I 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

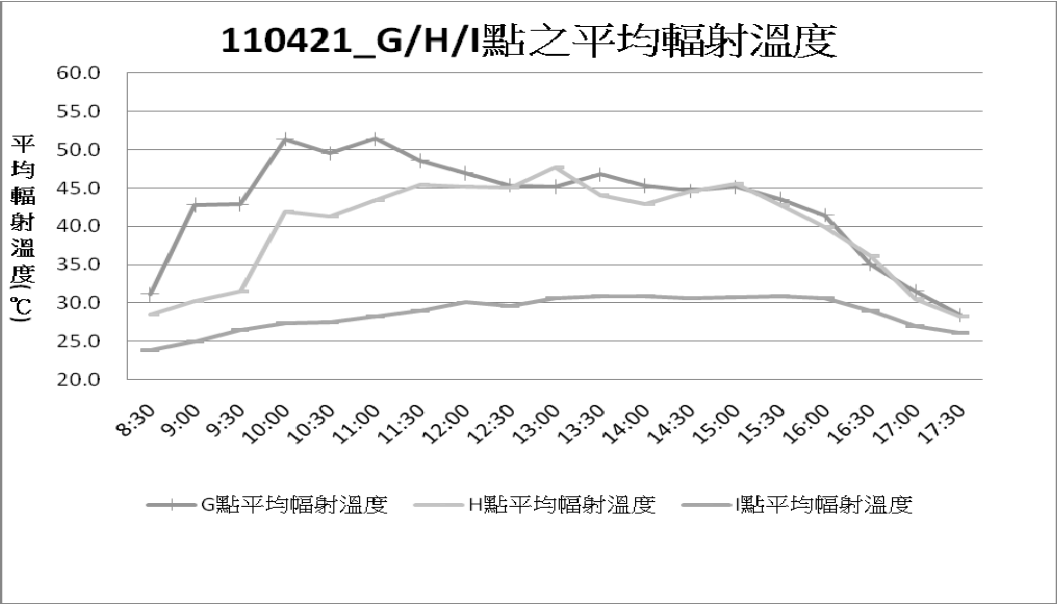


圖 4-29 4 月 21 日 G/H/I 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

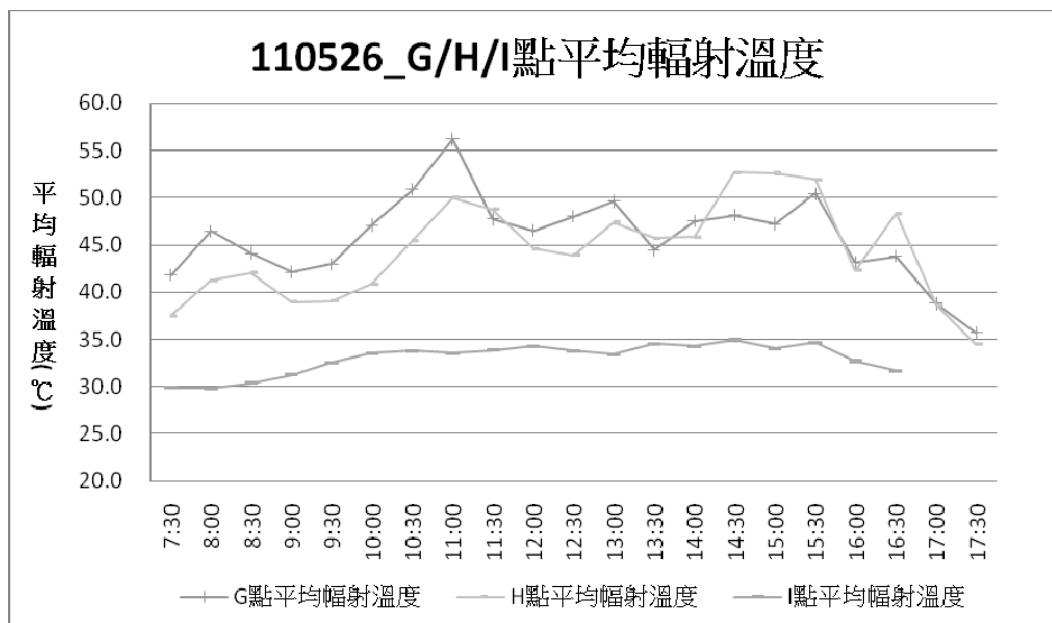


圖 4-30 5 月 26 日 G/H/I 點之平均輻射溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

由上述三組相同鋪面不同遮蔽狀況的各別比較之下，可從中發現不管鋪面為何，戶外環境的遮蔽程度明顯影響平均輻射溫度，遮蔽程度越低，平均輻射溫度越高，相對的，遮蔽程度越高，平均輻射溫度越低，較為舒適，所以增加遮蔽能有效的降低平均輻射溫度，能有效改善整體環境。

4. 同為低遮蔽程度下不同鋪面之平均輻射溫度比較



圖 4-31 A 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-32 D 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-33 G 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)

圖 4-31 至圖 4-33 為三點的外觀圖及魚眼比較圖，圖 4-34 至 4-36 為同低遮蔽率，不同鋪面之平均輻射溫度比較，除了 4 月 12 號的 A 點平均輻射溫度較低，而其他天數三點的平均輻射溫度都相當接近，同時相當的高，最高平均輻射溫度為 D 點的觀測值達攝氏 61.2 度。本研究推論由於在遮蔽因子為低遮蔽的狀況下，黑球溫度及空氣溫度相近，雖然鋪面因子也會影響溫度的變化，但無遮蔽因子影響大，所以平均輻射溫度較為相近。

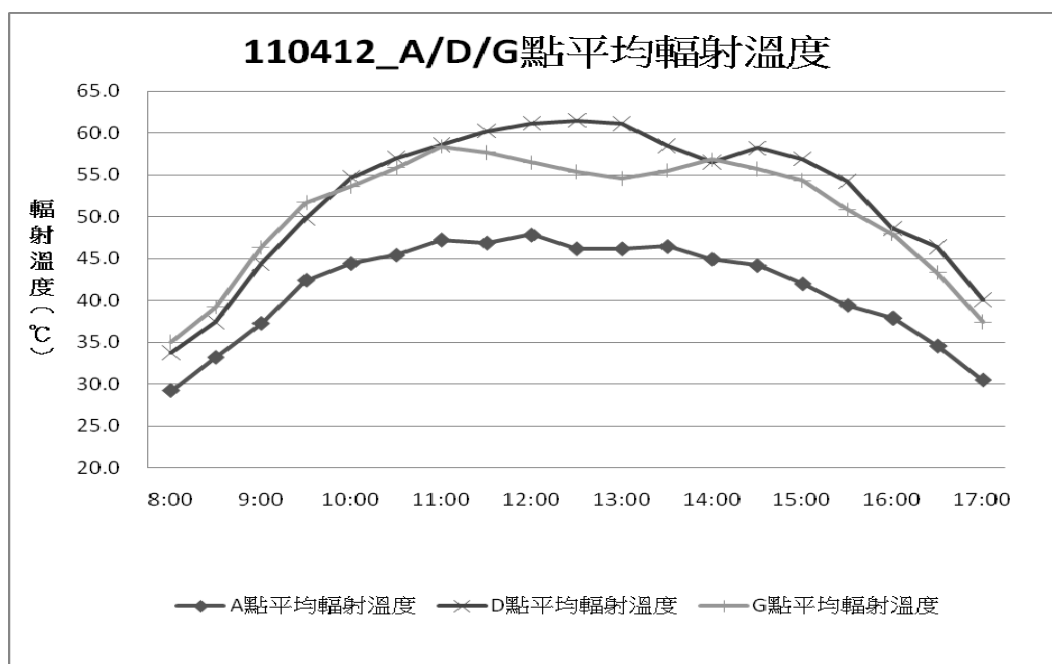


圖 4-34 4 月 12 日 A/D/G 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

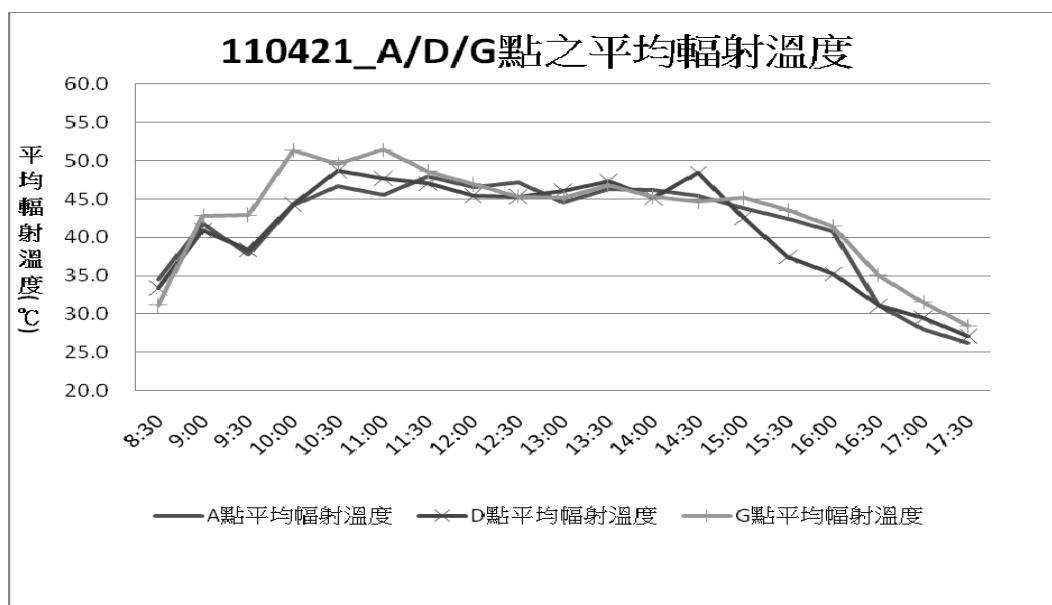


圖 4-35 4 月 21 日 A/D/G 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

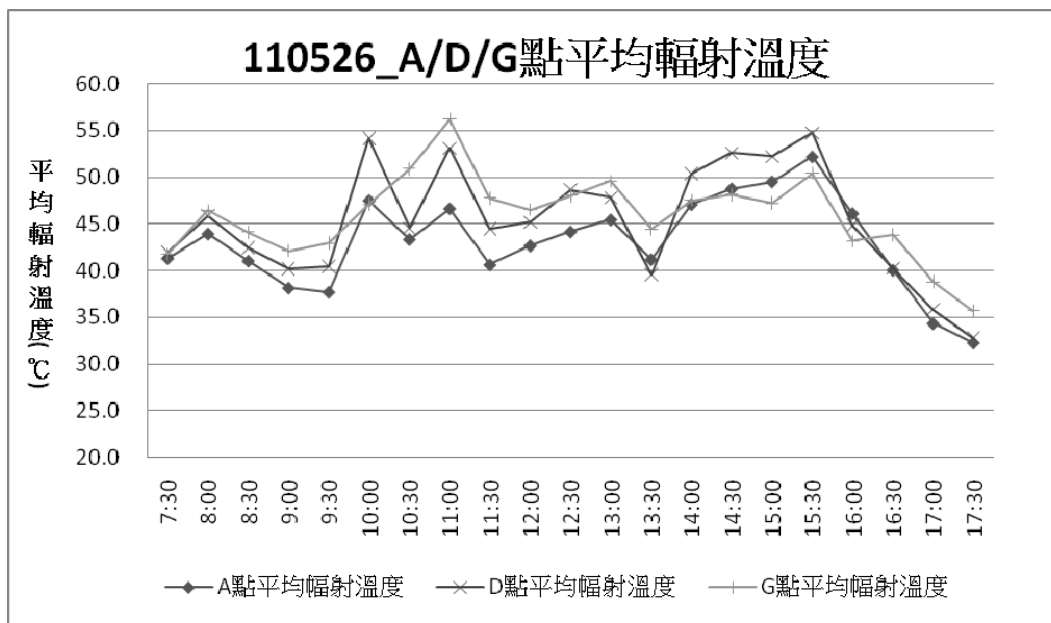


圖 4-36 5 月 26 日 A/D/G 點之平均輻射溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

5. 同為中度遮蔽不同鋪面之平均輻射溫度比較



圖 4-37 B 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-38 E 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-39 H 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)

圖 4-37 至圖 4-39 為三點的外觀圖及魚眼比較圖，圖 4-40 至圖 4-42 為中度遮蔽率，不同鋪面之平均溫度比較圖，B 點為人文大樓與文理大樓之間草皮，為草地鋪面，E 點為人文大樓中庭，鋪面為磚鋪面，H 點為校區外馬路中間，柏油鋪面，由下圖中可以發現三點的趨勢皆較為差異較為不大，由此可知鋪面的種類在中度遮蔽率的狀況之下，平均輻射溫度變化不大。

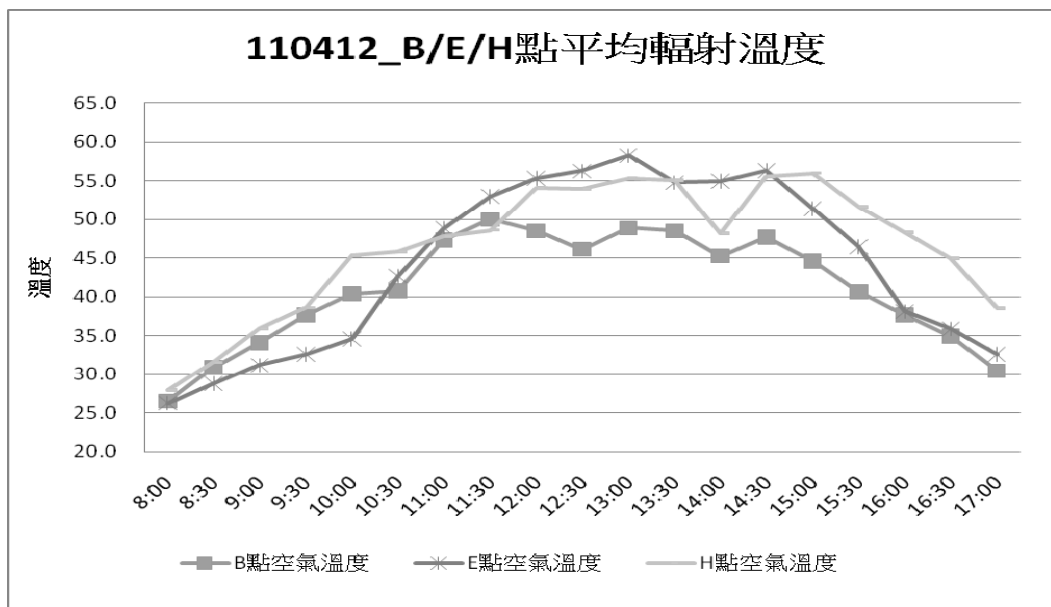


圖 4-40 4 月 12 日 B/E/H 點之平均輻射溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

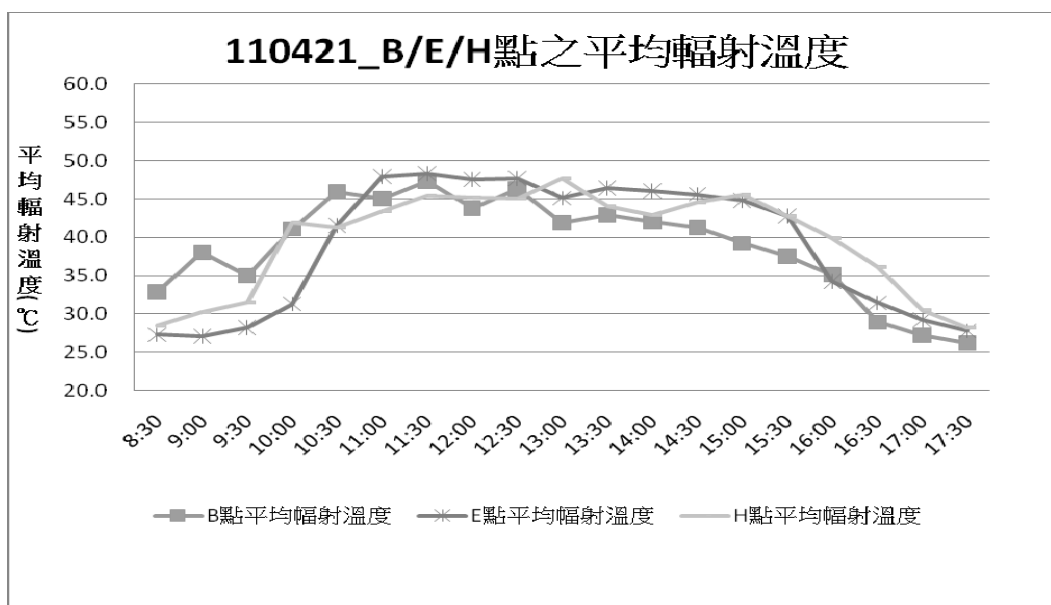


圖 4-41 4 月 21 年 B/E/H 點之平均輻射溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

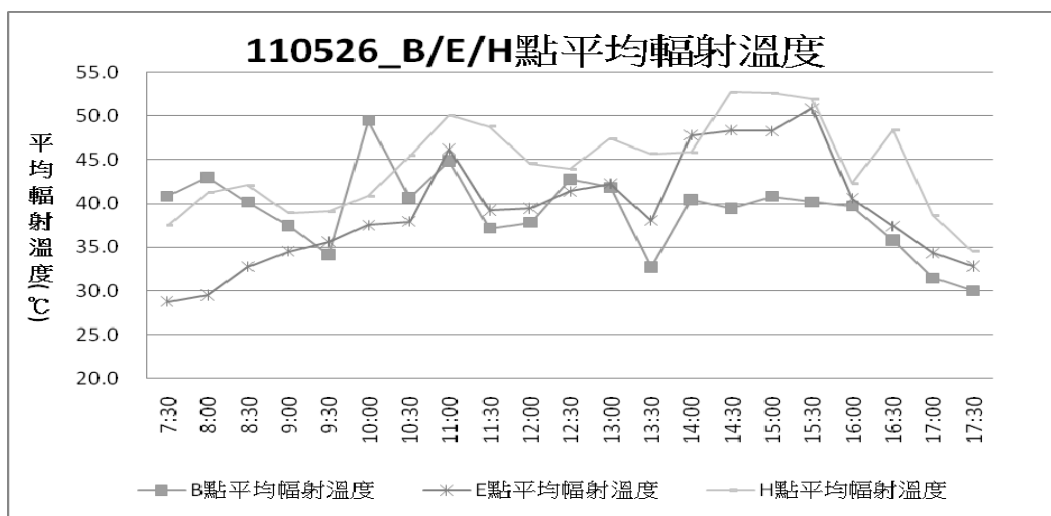


圖 4-42 5 月 26 日 B/E/H 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

6. 同為高度遮蔽率不同鋪面平均輻射溫度之比較



圖 4-43 C 實測點外觀及魚眼圖(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-44 F 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)

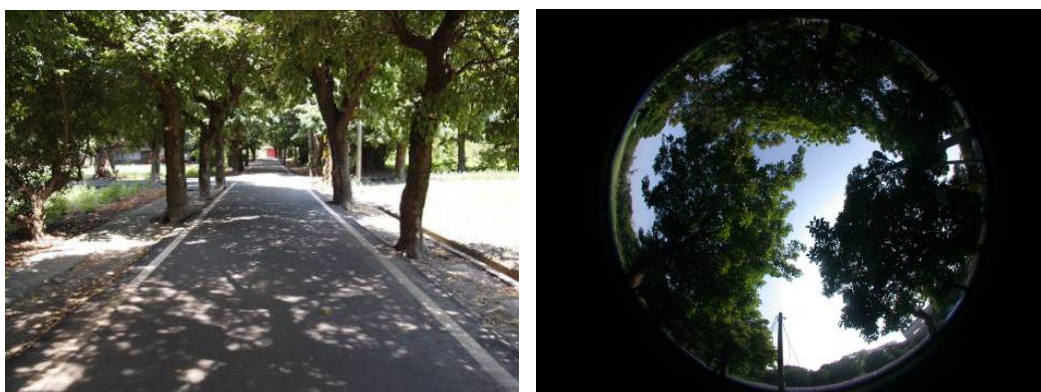


圖 4-45 I 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)

圖 4-43 至圖 4-45 為三點的外觀圖及魚眼比較圖，圖 4-46 至圖 4-47 為高度遮蔽的狀況之下，不同鋪面組成的平均輻射溫度比較圖，C 點為草皮鋪面，F 點磚鋪面，I 點為柏油鋪面，從中可以發現 C 點之平均輻射溫度曲線較其他兩點低，而 F 點及 I 點在下午的時候，F 點平均輻射溫度略微下降而 I 點之平均輻射溫度慢慢上升，而會產生一個交叉點，會產生這樣的狀況是因為兩點的遮蔽因子，所位於的方向不一樣，F 點是南北向，I 點則是東西向。所以導致，該結果產生。

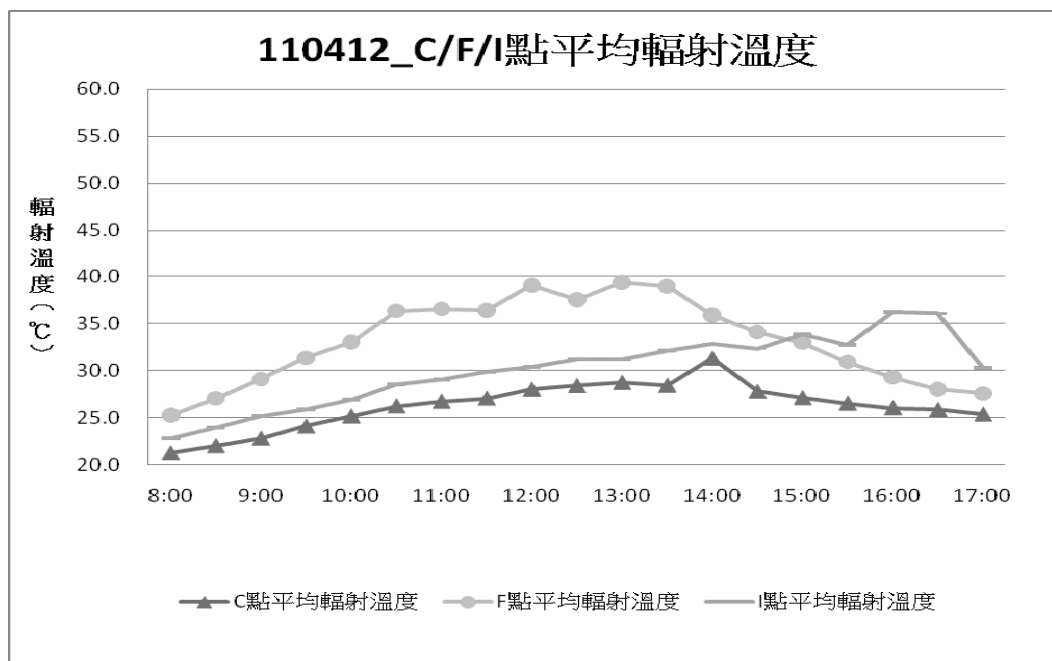


圖 4-46 4 月 12 日 C/F/I 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

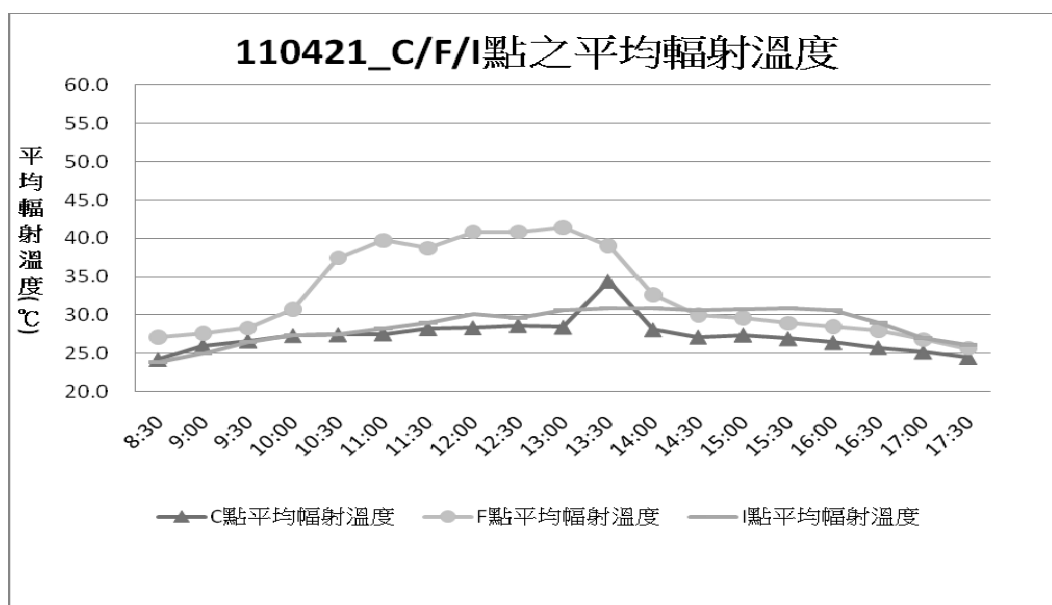


圖 4-47 4 月 21 日 C/F/I 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究繪製)

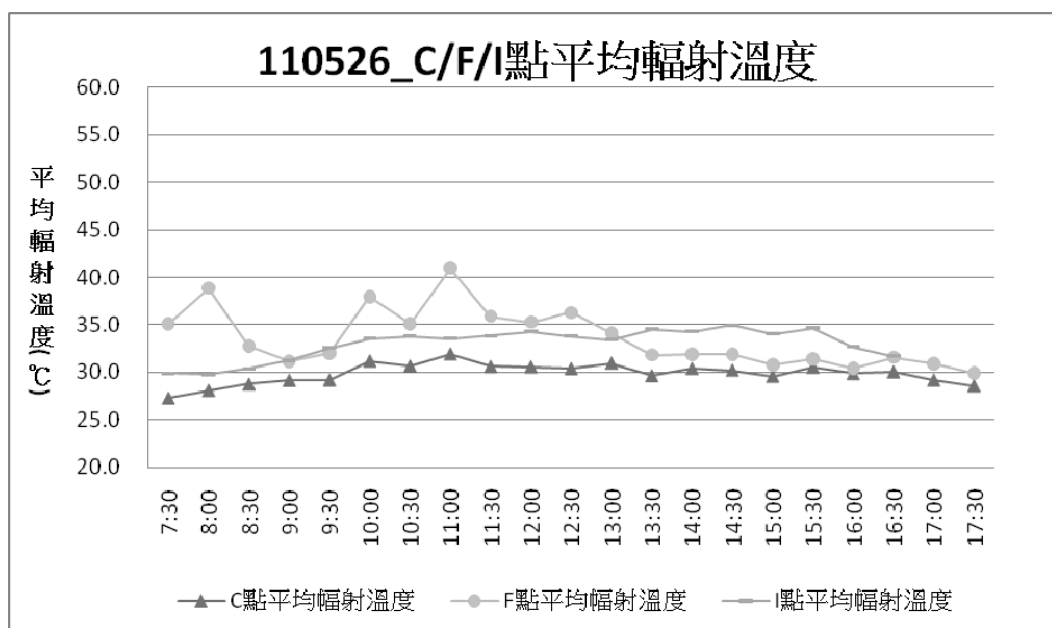


圖 4-48 5 月 26 年 C/F/I 點之平均輻射溫度比較圖

(資料來源:本研究繪製)

7.空曠遮蔽草皮鋪面及中遮蔽磚鋪面及高遮蔽柏油鋪面比較

在固定單一因子可以瞭解另外一個因子對微氣候的影響之後，本研究欲瞭解在空曠遮蔽及草皮鋪面的狀況下和中度遮蔽，鋪面為紅磚的狀況，高度遮蔽柏油鋪面的狀況下，比較之間對微氣候的平均輻射溫度變化，比較如下：



圖 4-49 A 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)



圖 4-50 E 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)

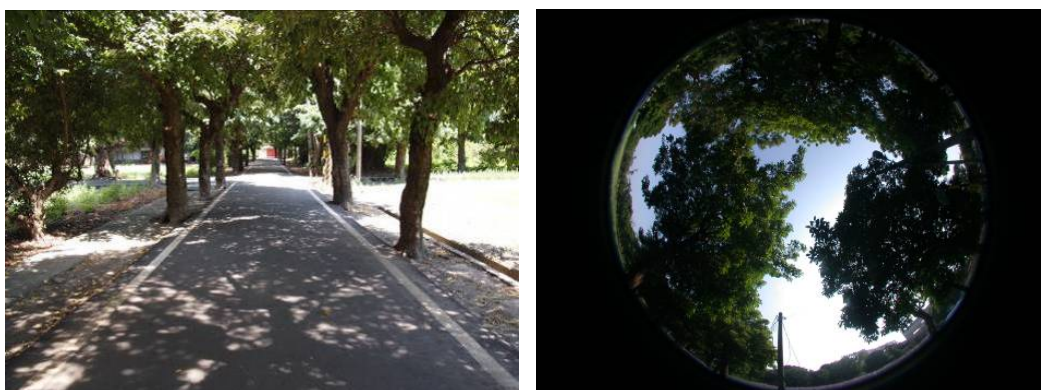


圖 4-51 I 實測點外觀及魚眼圖

(資料來源:本研究拍攝)

圖 4-49 至圖 4-51 為 A 點 E 點及 I 點的外觀圖及魚眼比較圖，圖 4-52 至圖 4-54 為低遮蔽草皮鋪面，中度遮蔽磚鋪面與高度遮蔽柏油鋪面之平均輻射溫度比較，由 3 圖中可發現 I 點之平均輻射溫度明顯低於其他兩點之平均輻射溫度，由此推論高度遮蔽及柏油鋪面受太陽照射較低，地面反射輻射熱較少，所以平均輻射溫度較其他點為低，相對較為涼爽舒適。

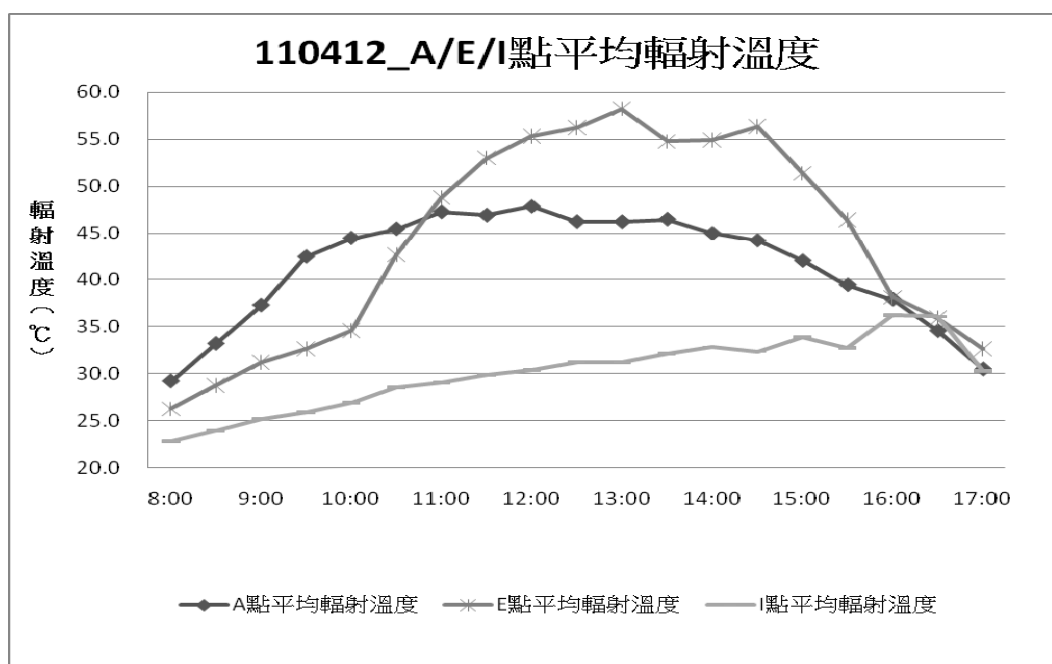


圖 4-52 4 月 12 日 A/E/I 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究拍攝)

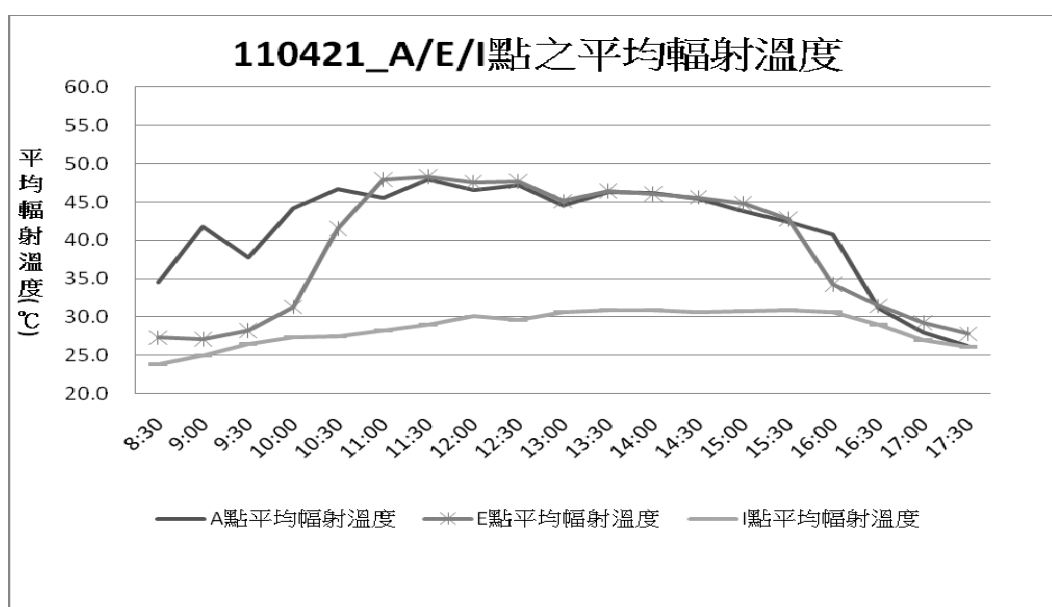


圖 4-53 4 月 21 日 A/E/I 點之平均輻射溫度比較圖
(資料來源:本研究拍攝)

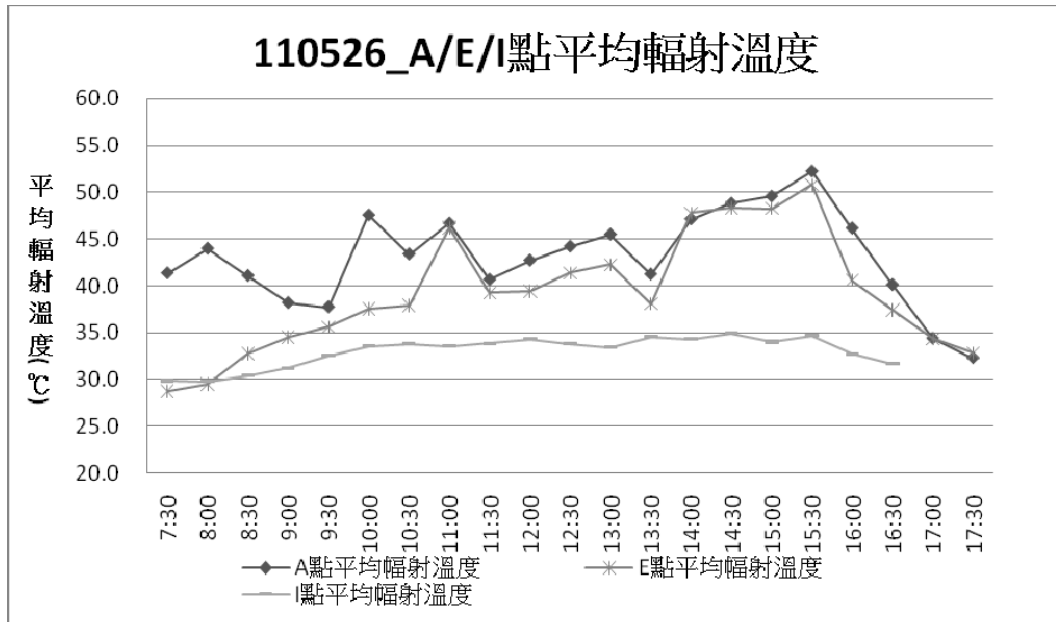


圖 4-54 5 月 26 日 A/E/I 點之平均輻射溫度比較圖

(資料來源:本研究拍攝)

第四節 實測成果小結

經過八次戶外實測之數據整理及比較後，本研究發現成果如下：

1. 遮蔽程度較高的實測點(如樹蔭下)，其平均輻射溫度均明顯地低於遮蔽程度較低(如空曠地)的點。
2. 反射率較高的點(如草地)，其平均輻射溫度均明顯地低於遮蔽程度較低的點。
3. 遮蔽因子對平均輻射溫度的影響性高於鋪面的因子。舉例來說，如遮蔽程度較高且鋪面反射率較低的點(如 I 點，圖 4-51)之平均輻射溫度明顯比遮蔽程度較低且鋪面反射率較高的點(如 A 點，圖 4-49)低。

由此可知遮蔽的程度比鋪面材質的選擇在更能影響熱環境的變化。

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

第五章 第二階段結果與討論

第一節 各案例模型建立

(一)模型建立過程

在模擬各案例之前，須先以 RayMan 模型先建立欲模擬區域的模型，在模型建立過程中，可匯入欲模擬案例之平面圖，並以同樣比例繪製，根據案例的狀況，繪製植栽以及建築，根據並給予高層，以及表面反射率等詳細數據，模擬平面圖繪製完成，選定模擬的日期以及設定模擬地點的地理資料等即可生成在欲模擬日期，整日的陰影模擬圖，圖 5-1 至圖 5-5 為 RayMan 模型建立過程。

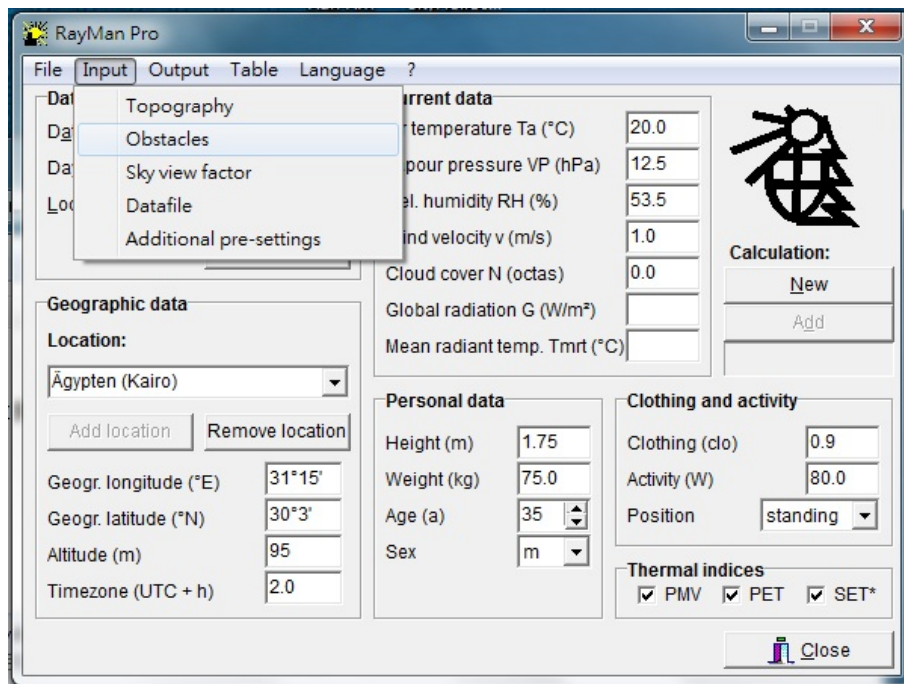


圖 5-1 RayMan 操作介面

(資料來源:本研究拍攝)

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

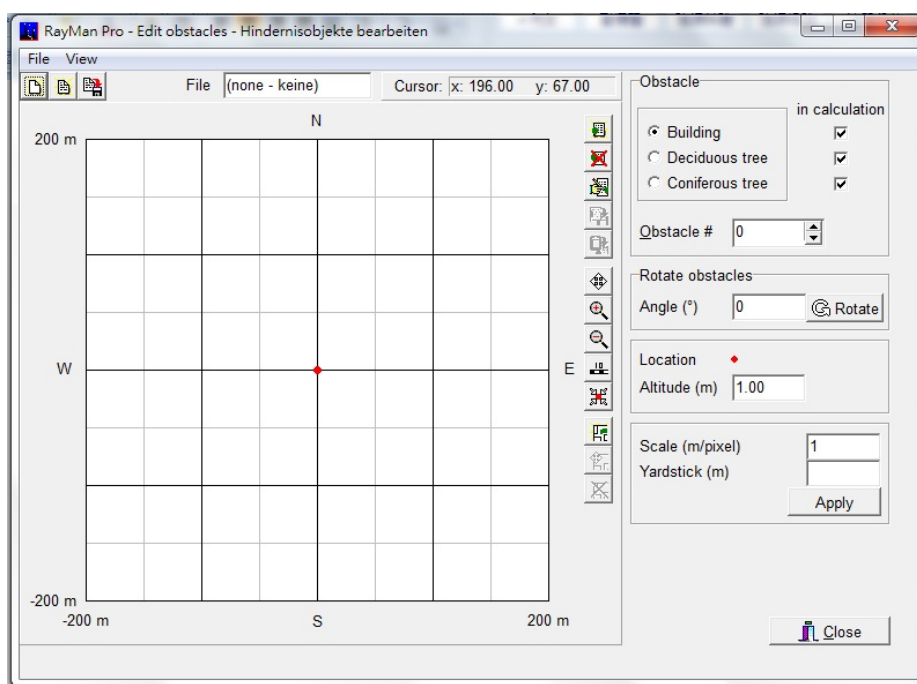


圖 5-2 RayMan 模型平面圖繪製介面

(資料來源:本研究拍攝)

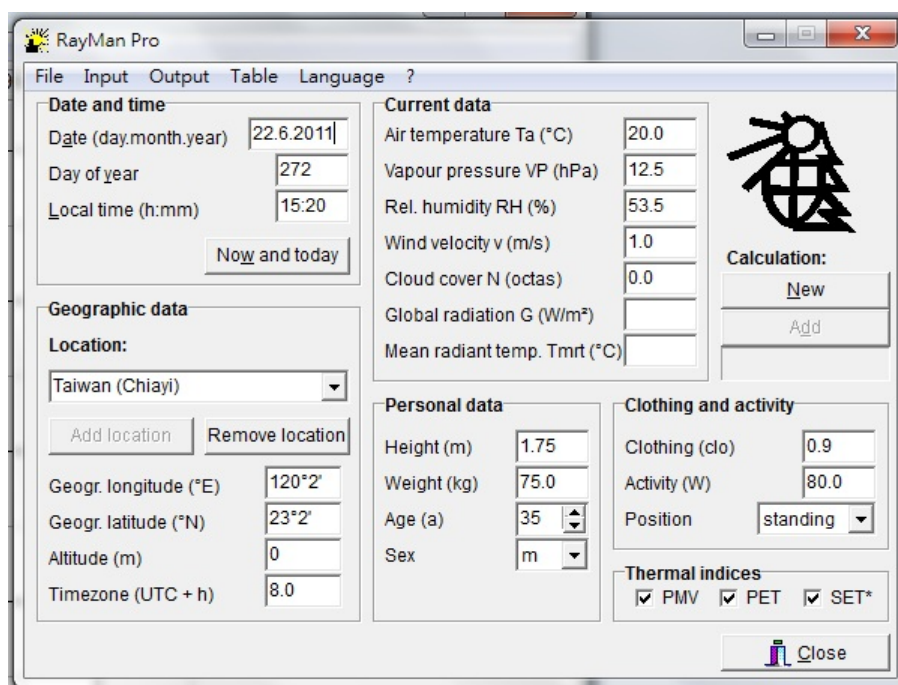


圖 5-4 選擇模擬的日期

(資料來源:本研究拍攝)

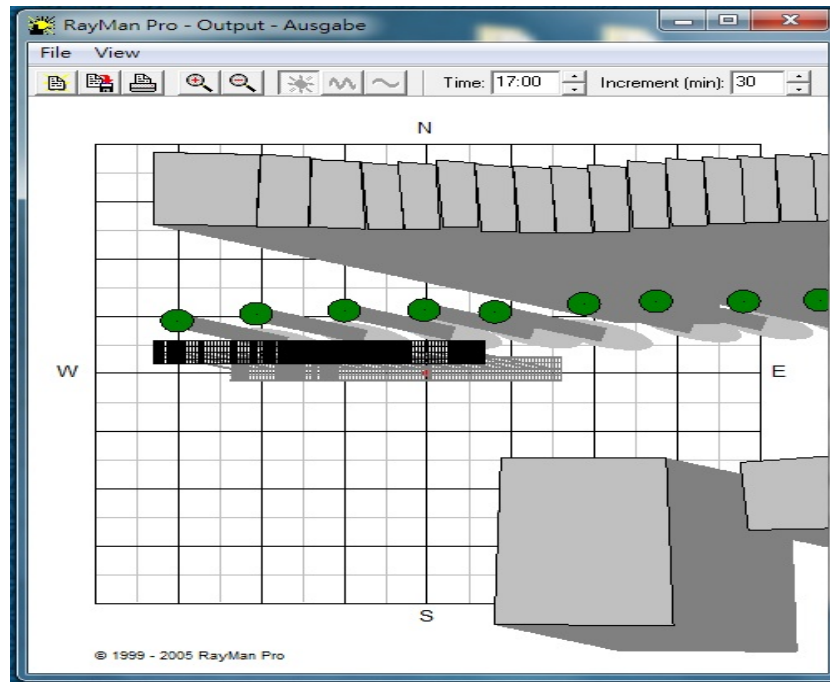


圖 5-5 陰影模擬及選擇時間

(資料來源:本研究拍攝)

第二節 各案例陰影分布狀況

為探討及驗證各改善案例之成效，此章節將各個案例的模型，針對不同的時間之陰影分布狀況，進行探討，為分別選定 3 月 21 日 9 月 23 日 6 月 22 日及 12 月 22 日為春分秋分夏至以及冬至，選定以上四個時節原因為各日期皆為天文學上定義的各季節轉換的日期，而在以上日期每一天中選定四個時間點做為陰影及遮蔽的分析探討的根據，因此分別選擇上午兩個時 8 時，11 時以及下午兩個時段 2 時及 5 時，選擇以上四個時間之原因為四個時段其間隔各為三個小時，以下將簡單呈述三個案例在各個時節以及不同時間點下的比較及探討。

1. 高雄大學

在該案例中本研究將針對圖書館南方的戶外遮棚做為模擬及驗證的對象，並將戶外棚架及周邊植栽，以及圖書館和周邊的系館建築物加入模型之中，周邊建築物除了圖書館本身距離戶外棚架較近，其餘建築構造物皆距離戶外遮棚有一定的距離。

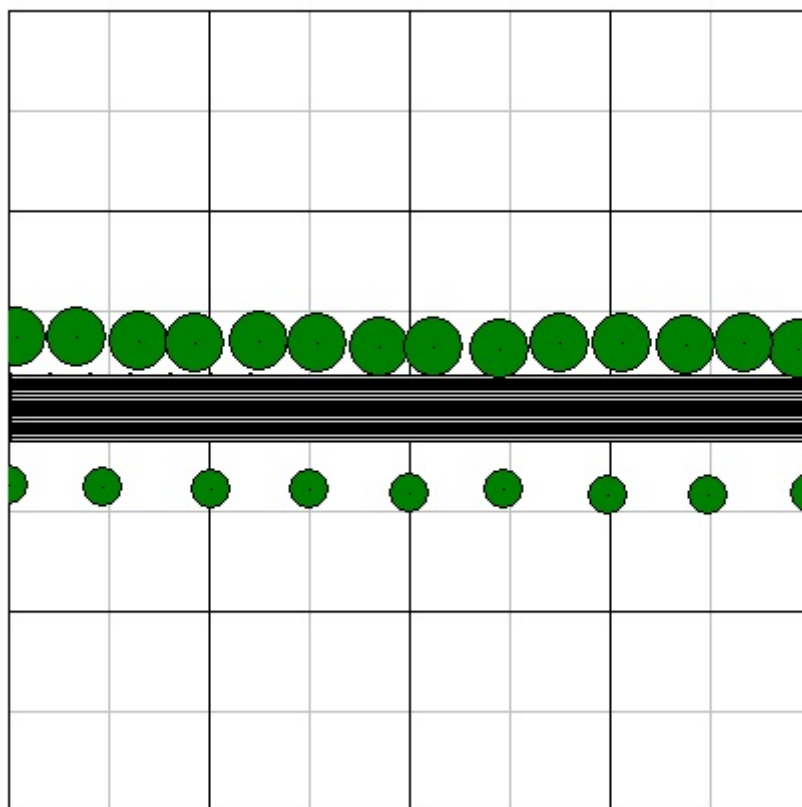


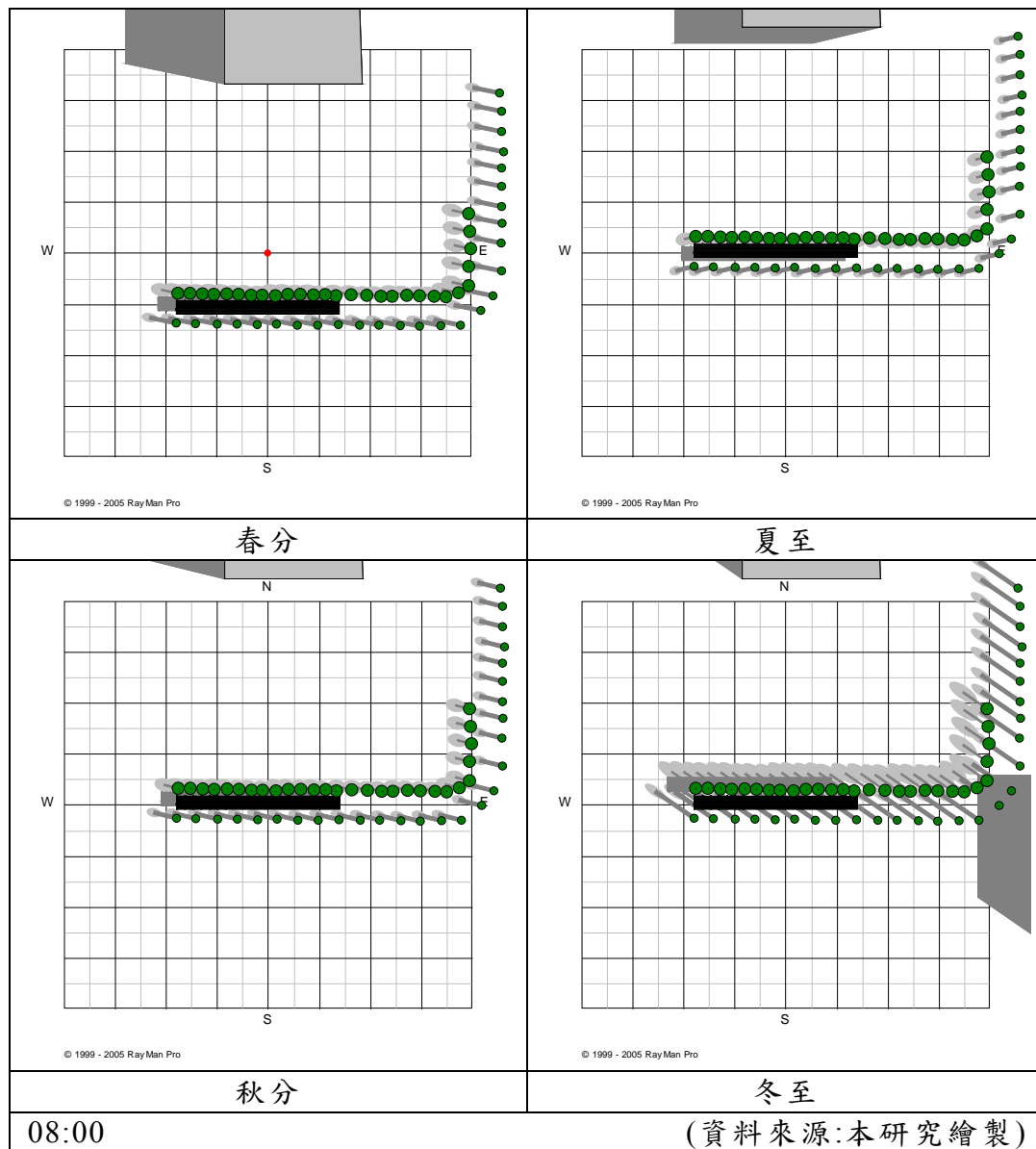
圖 5-6 高雄大學模擬平面圖

(資料來源:本研究繪製)

表 5-1，春分及秋分所產生的陰影在上午八時覆蓋在戶外遮棚的北方，有較高的覆蓋面積，戶外遮棚在春分及秋分是有良好的遮蔽效果。而在夏至，所產生的陰影多覆蓋在遮棚的南方，其遮蔽效果與春分和秋分一樣有較良好的效果。而遮棚在冬至所產生的陰影，並未

提供戶外遮棚有良好的遮蔽效果，但戶外遮棚南側植栽所形成的陰影是有提供遮蔽效果的。以上可以發現該案例除了冬至以外，春分秋分及夏至皆提供良好的遮蔽效果。

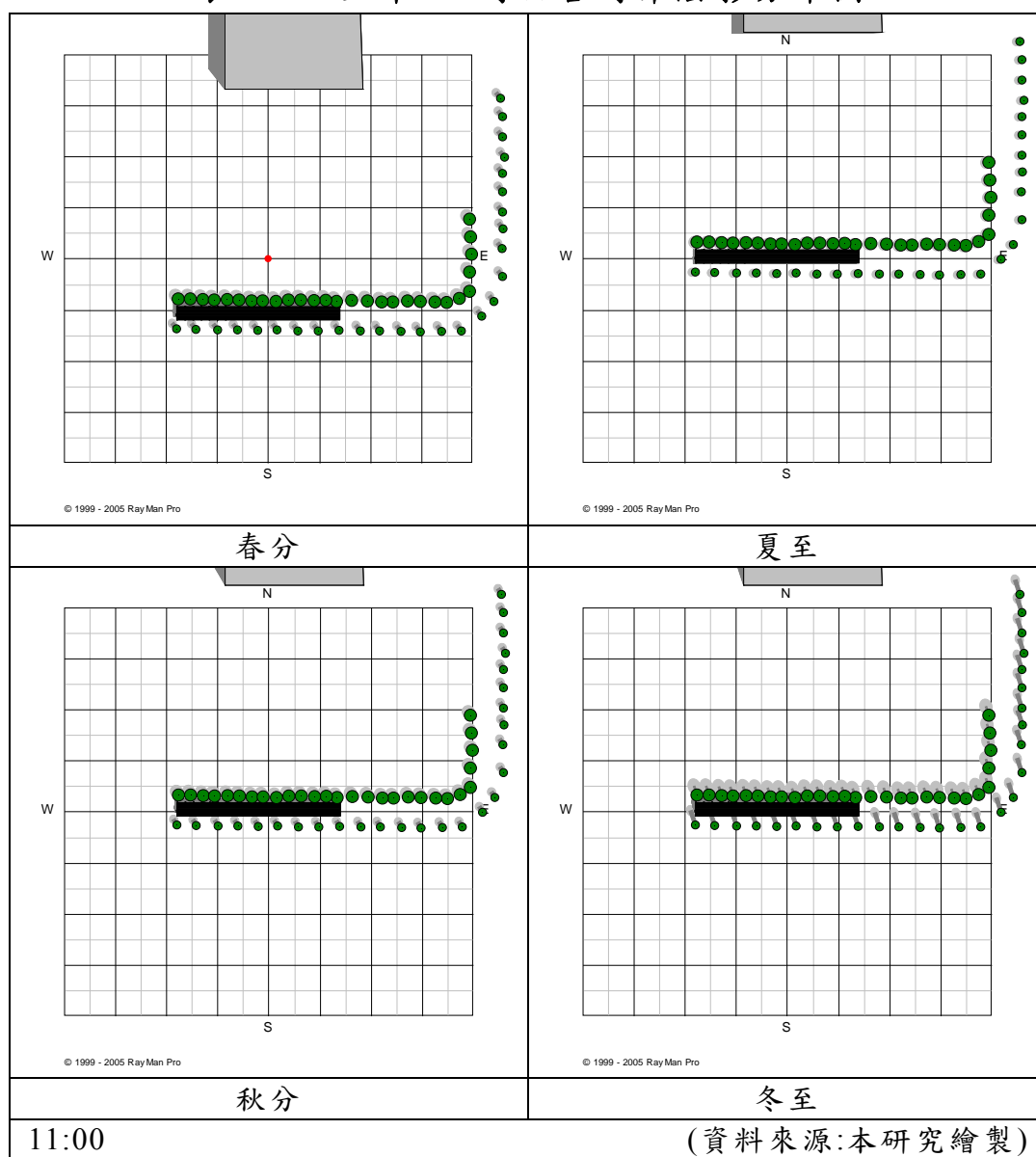
表 5-1 上午 8 時於各時節陰影分布圖



戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

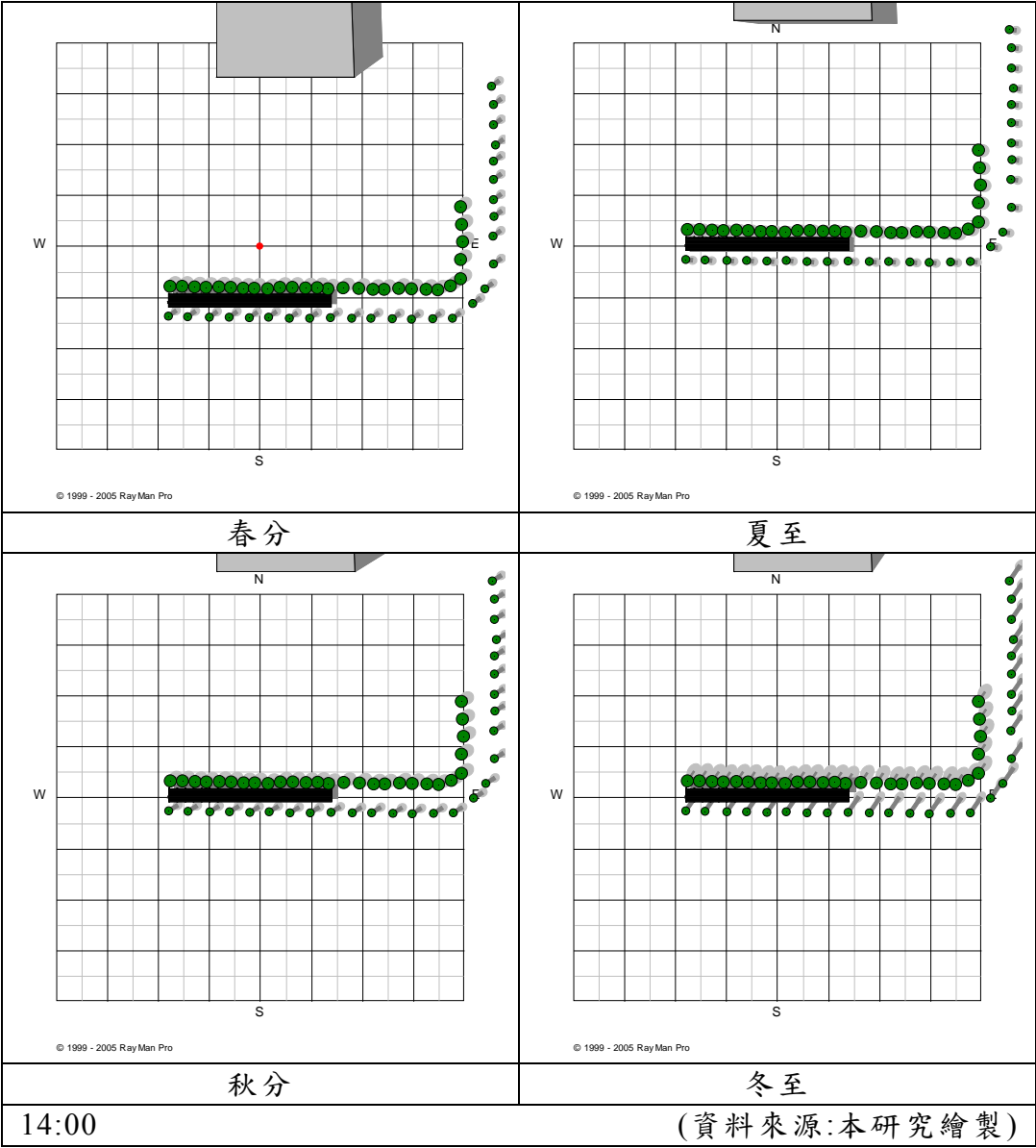
戶外遮棚在春分及秋分上午十一時(表 5-2)的時候，所產生的陰影有大面積的覆蓋在戶外遮棚上方，是有達到良好的遮蔽效果的，而夏至的時候，太陽接近正上方，所以形成的陰影恰巧在覆蓋大面積的戶外遮棚，而冬至所產生的陰影並尚未大量覆蓋在遮棚上，而是南側的植栽所形成的陰影形成良好的遮蔽。

表 5-2 上午 11 時於各時節陰影分布圖



由表 5-3 可看出，戶外遮棚在春分及秋分下午二時所產生的陰影面積大部分皆覆蓋在戶外遮棚的北邊，是有良好的遮蔽效果，而戶外遮棚在夏至所形成的陰影覆蓋的程度較同一時間在春分及秋分的面積大，有較好的遮蔽效果。而在冬至的時候，戶外遮棚本身的陰影並未覆蓋在遮棚上方，因此並沒有發揮遮蔽的效果，一樣是由南側的植栽提供遮蔽。

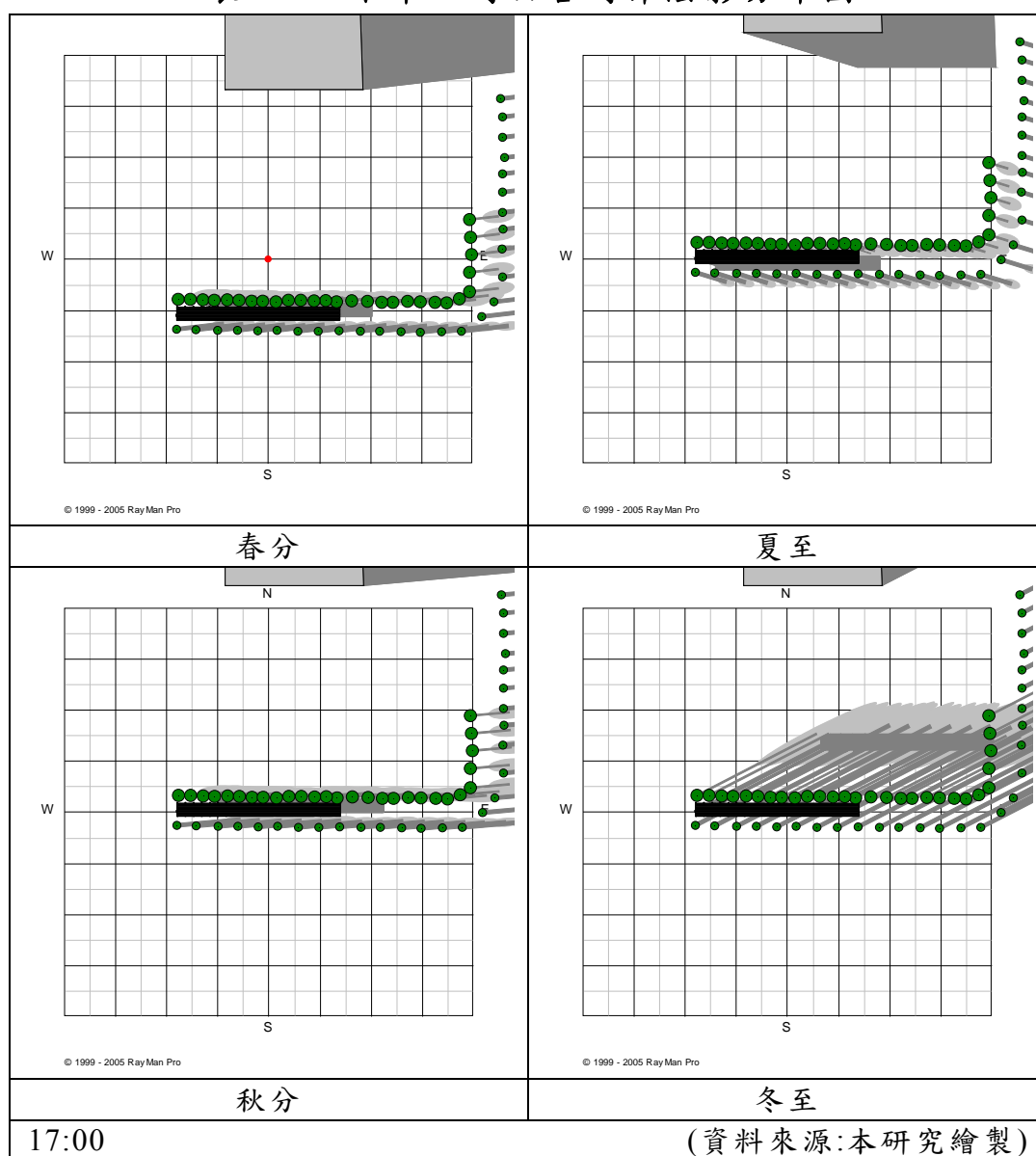
表 5-3 下午 2 時於各時節陰影分布圖



戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

而在戶外遮棚在春分及秋分下午五時(表 5-4)所產生的陰影分布與同日期的下午二時結果皆近，陰影覆蓋在戶外遮棚的東北方，是有發揮部分的遮蔽效果，而夏至所產生的陰影是多在遮棚的東南側，而部分的遮蔽來至北方的植栽，植栽與遮棚的配合之下，整體來說，是有良好的遮蔽效果的，而冬至的時候陰影分布狀況，由於太陽角度的關係，遮棚產生的陰影皆落在遮棚遠處，相對的是南方的植栽給予部分的遮蔽。

表 5-4 下午 5 時於各時節陰影分布圖



17:00

(資料來源:本研究繪製)

經過以上模擬與分析，此一案例與前一案例皆為東西向戶外遮棚，但前一案例所種植植栽在於北側，而高雄大學案例是遮棚南北兩端皆有種植，植栽提供的遮蔽性較前一案例來的高。

2. 國立自然科學博物館九二一地震教育園區

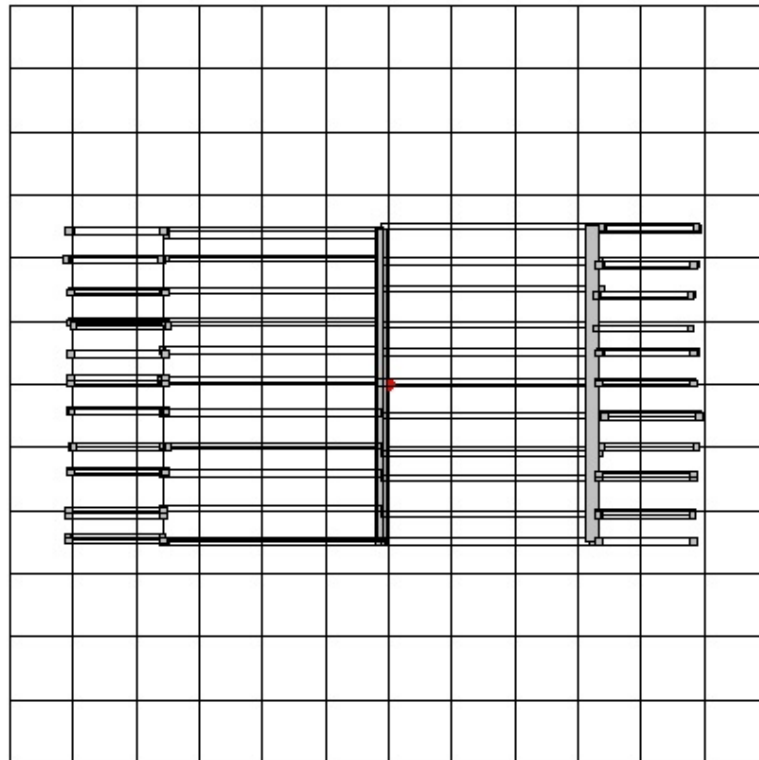
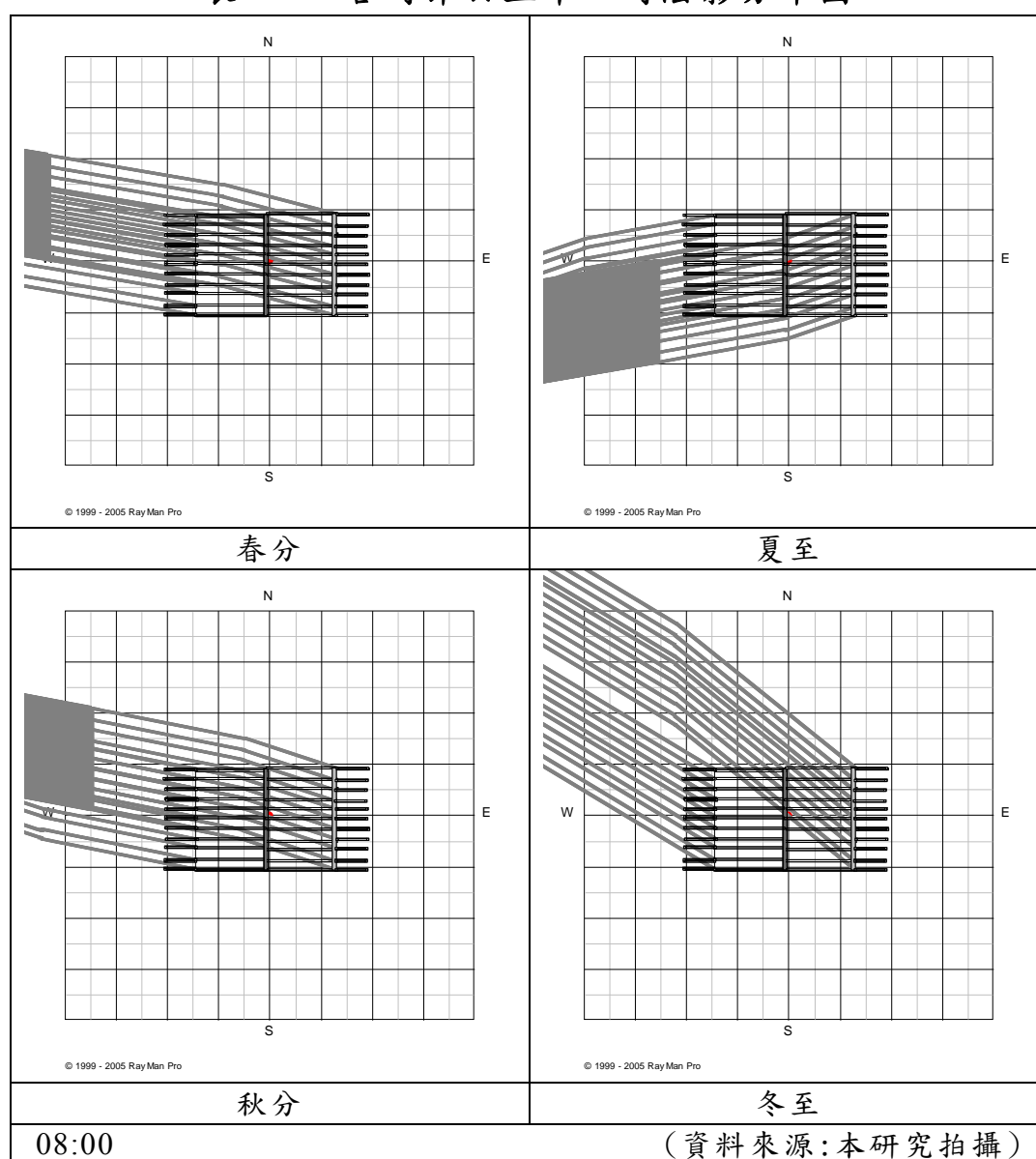


圖 5-7 地震教育園區連通橋模擬平面圖

(資料來源:本研究拍攝)

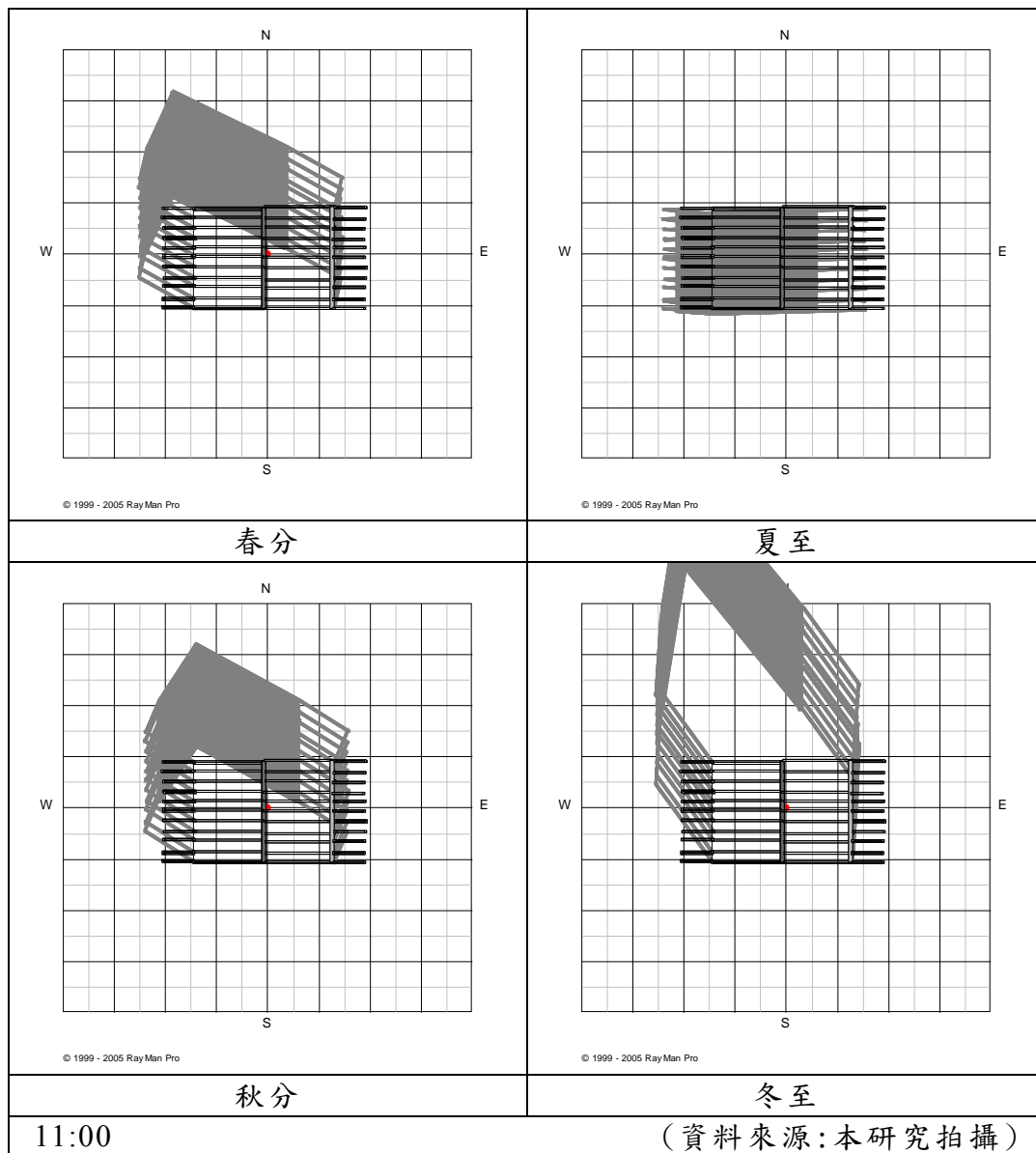
九二一教育園區聯通空橋的棚架陰影由表 5-5 可發現陰影在春分，秋分以及夏至時，由於時間的關係以及太陽的角度，只有原先的航架所造成的影子積覆蓋在橋面上，後面增設的薄膜並未發揮用途，且而由冬至的陰影圖可看見，覆蓋的陰影大約只有二分之一，這說明了在冬至的時候，由棚架遮蔽的效果是較其餘的三個時節低。

表 5-5 各時節於上午 8 時陰影分布圖



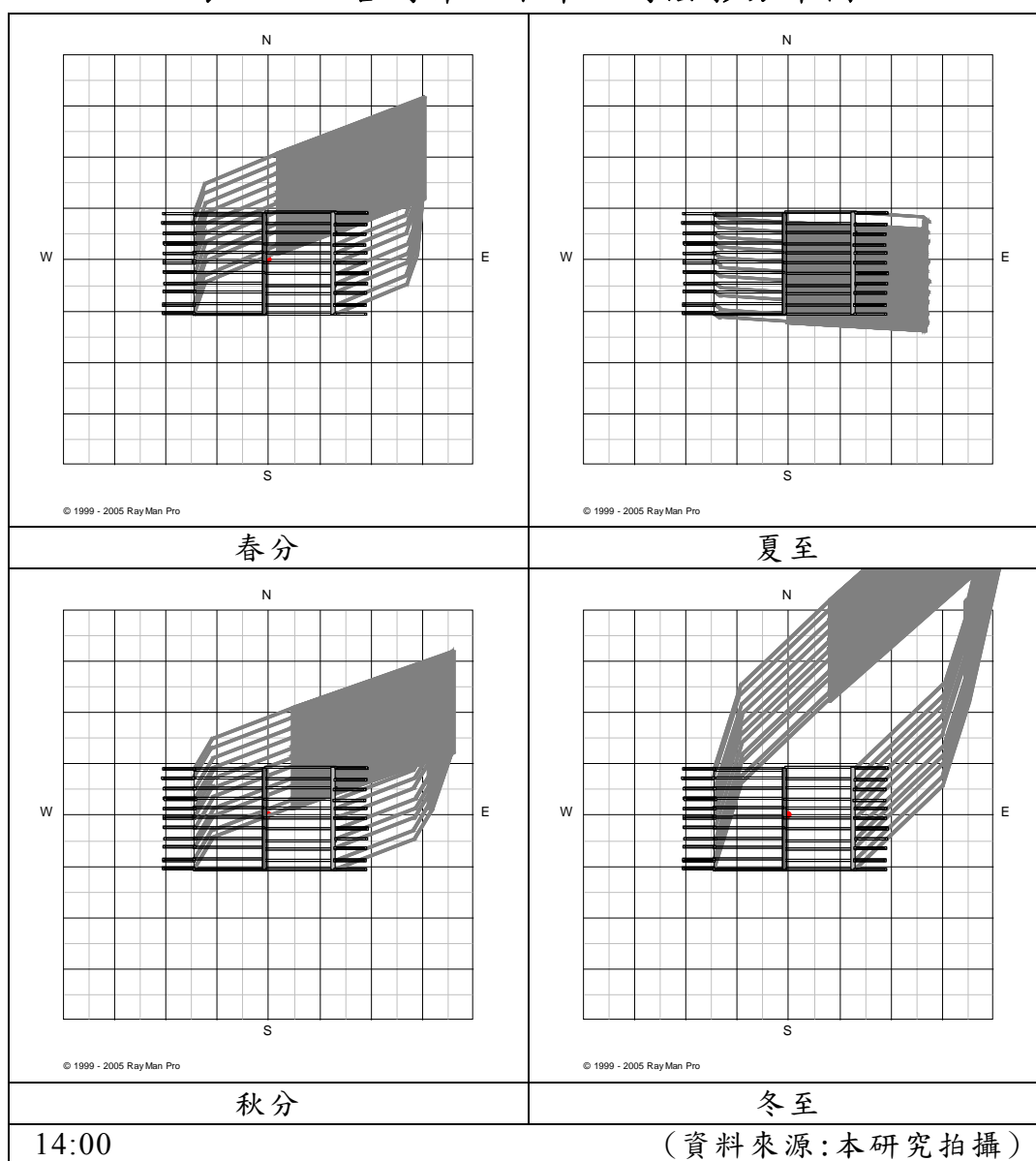
在上午十一時由表可以發現在春分及秋分的時候，新增的布棚構造開始發揮遮蔽的作用，有局部的陰影開始落在連通橋的橋面上，而夏至的時候，布棚所形成的陰影已經大範圍的給予聯通空橋面遮蔽，達到非常好的遮蔽效果，而在冬至的模擬狀況，由於太陽軌跡的關係，棚架以及布棚所形成的陰影，尚未給予聯通空橋太大的遮蔽效果。由該表可發現該案例上午十一時是以夏至有遮蔽效果。

表 5-6 上午 11 時於各時節陰影分布圖



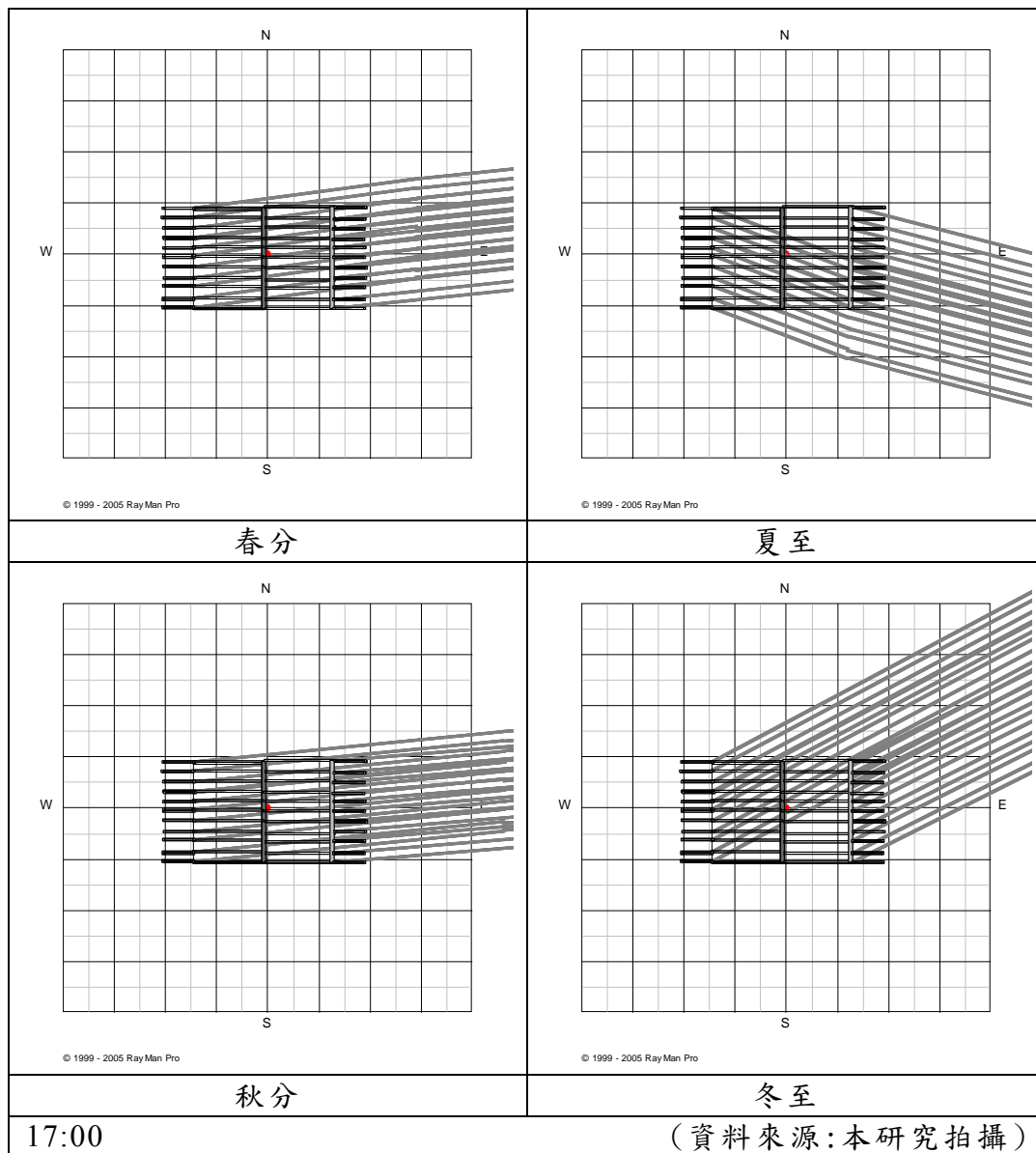
在表下午二點的陰影分布，由春分圖及秋分圖可以看出，在聯通空橋的西北半側還有陰影存在，但布棚所形成的陰影只有對局部的橋面給予遮蔽，而東南側是沒有遮蔽效果的。在夏至的部分，因為時間的關係，陰影形成的遮蔽由西側移至東側，西側剩下棚架本身的陰影，布棚給予的遮蔽集中在東側。冬至的時候，布棚所形成的陰影皆落到聯通空橋外，由圖可知在下午二時布棚的遮蔽效果最低。

表 5-7 各時節於下午 2 時陰影分布圖



而在下午五時由於時間接近日落，太陽角度的關係，布棚所形成的陰影已經全部落到聯通空橋外，僅剩下棚架本身的陰影，布棚本身是沒有發揮任何遮蔽的效果，但可以發現，由於角度關係，除了冬至時候的覆蓋面積較少，棚架本身形成的陰影是可以大面積覆蓋在聯通空橋上，所以可以發現，雖然布棚並無發揮作用，但可以透過棚架本身形成的陰影給予聯通空橋，一個良好的遮蔽效果。

表 5-8 各時節於下午 5 時陰影分布圖



經過國立自然科學博物館九二一地震教育園區此一案例，本研究提出部分結論，該案例的戶外遮棚為南北走向，而太陽軌跡是為東西走向，冬至上午八點的時候，由棚架遮蔽的效果是較其餘的三個時節低。該案例上午十一時是以夏至遮蔽效果最高。冬至在下午二時的時候布棚的遮蔽效果最低。下午五時的時候，布棚所產生的陰影在四個時節皆沒有發揮效用。因此本研究推論南北側的遮棚夏至提供最好遮

蔽效果，冬至效果最差，而布棚覆蓋棚架的角度也考量。

案例 3. 行政院文化建設委員會文化資產總管理籌備處

在此一案例中，本研究將針對籌備處外的戶外遮棚進行模擬，並將周邊的植栽與主要建物納入模型的建立當中，圖為總管理籌備處戶外遮棚模擬平面圖。

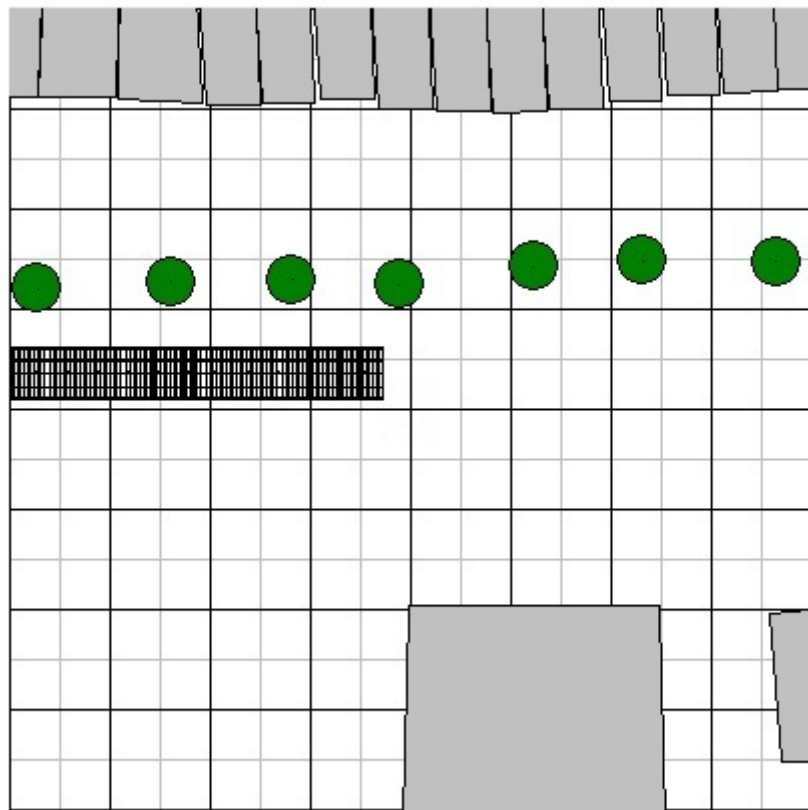
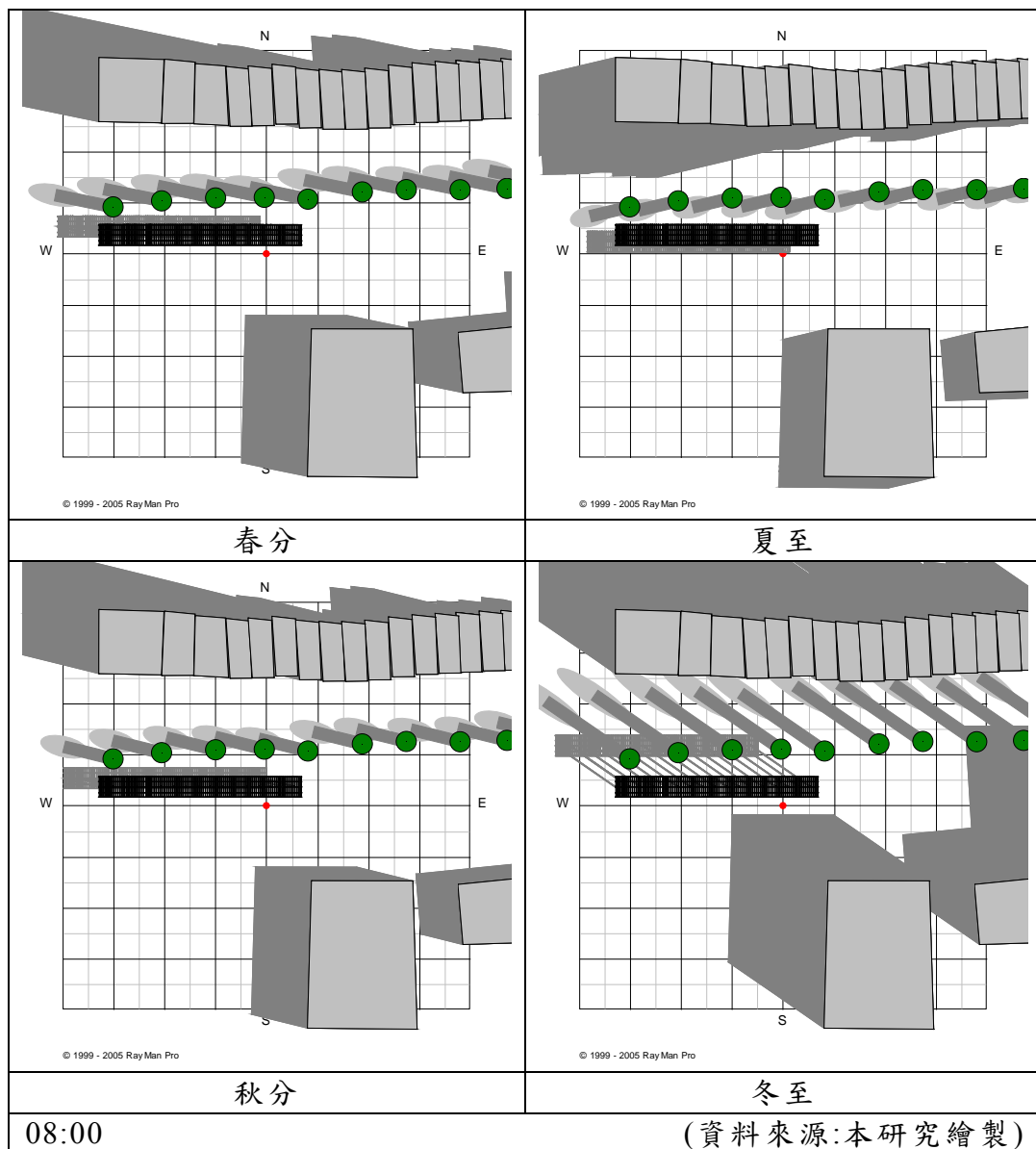


圖 5-8 管理籌備處戶外遮棚模擬平面圖

(資料來源:本研究繪製)

由表 5-5 可以看出機車戶外遮棚給予的陰影在春分及秋分的時候落在遮棚的西北方，所以遮棚南側的遮蔽效果比較低的，而在夏至的時候，陰影的位置恰好與春分與秋分相反，給予的陰影視落在西南的位置，但陰影給予覆蓋的面積及遮蔽效果是比春分和秋分好，在冬至的時候，因為太陽軌跡的關係，格柵所形成的陰影角度較為傾斜，陰影皆落到遮棚的外面，因此遮蔽效果最為不佳。

表 5-9 上午 8 時於各時節陰影分布圖



如表 5-10 在十一點的陰影分布，可以看出夏至的陰影分布，由於太陽接近正上方，所以形成的陰影，覆蓋大部分的遮棚，並給予高遮蔽效果，而春分的陰影分布與秋分的陰影分布，也涵蓋了部分的遮棚，發揮並給予良好的遮蔽效果，而在冬至的時候，格柵所形成的陰影較為上午八時所形成的陰影接近遮棚，覆蓋的面積但並未落在遮棚上，因此在冬至，遮棚的遮蔽效果相較其他時節是較低的。

表 5-10 上午 11 時於各時節陰影分布圖

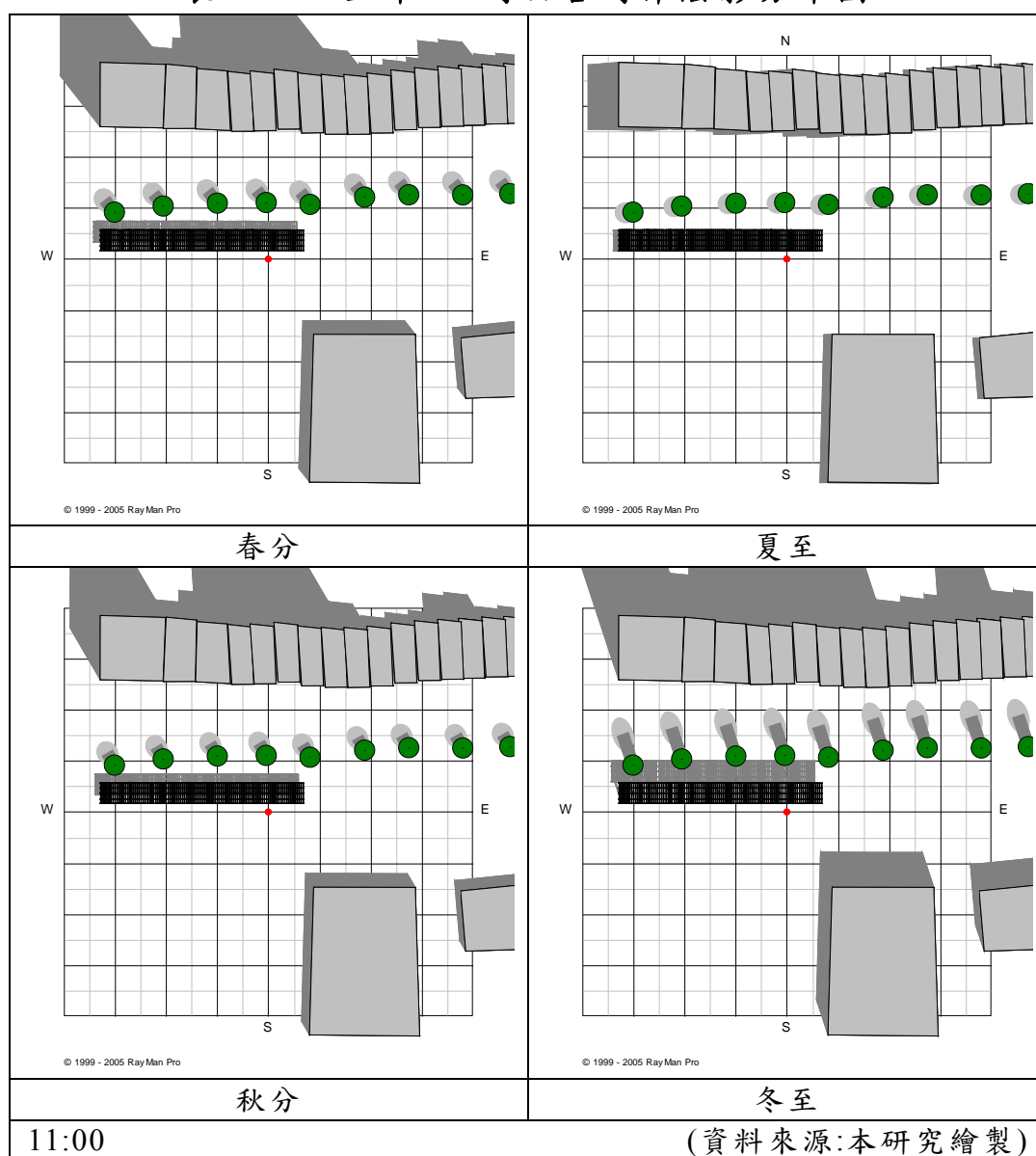


表 5-11 為下午二時的陰影分布狀況，由於太陽運行軌跡的關係，春分與秋分的陰影分布與上午 11 時的分布是相類似，涵蓋部分的遮棚，給予良好的遮蔽效果，而夏至在此一時間中，遮蔽狀況是所有時節中陰影覆蓋在遮棚上最大的，所給予的遮蔽效果是最好的。而在冬至冬至，遮棚所形成的陰影皆落在遮棚的北方，並未有效的提供遮蔽，由此表可見，夏至上午 11 時的遮蔽效果最佳，冬至的遮蔽效果最低。

表 5-11 下午 2 時於各時節陰影分布圖

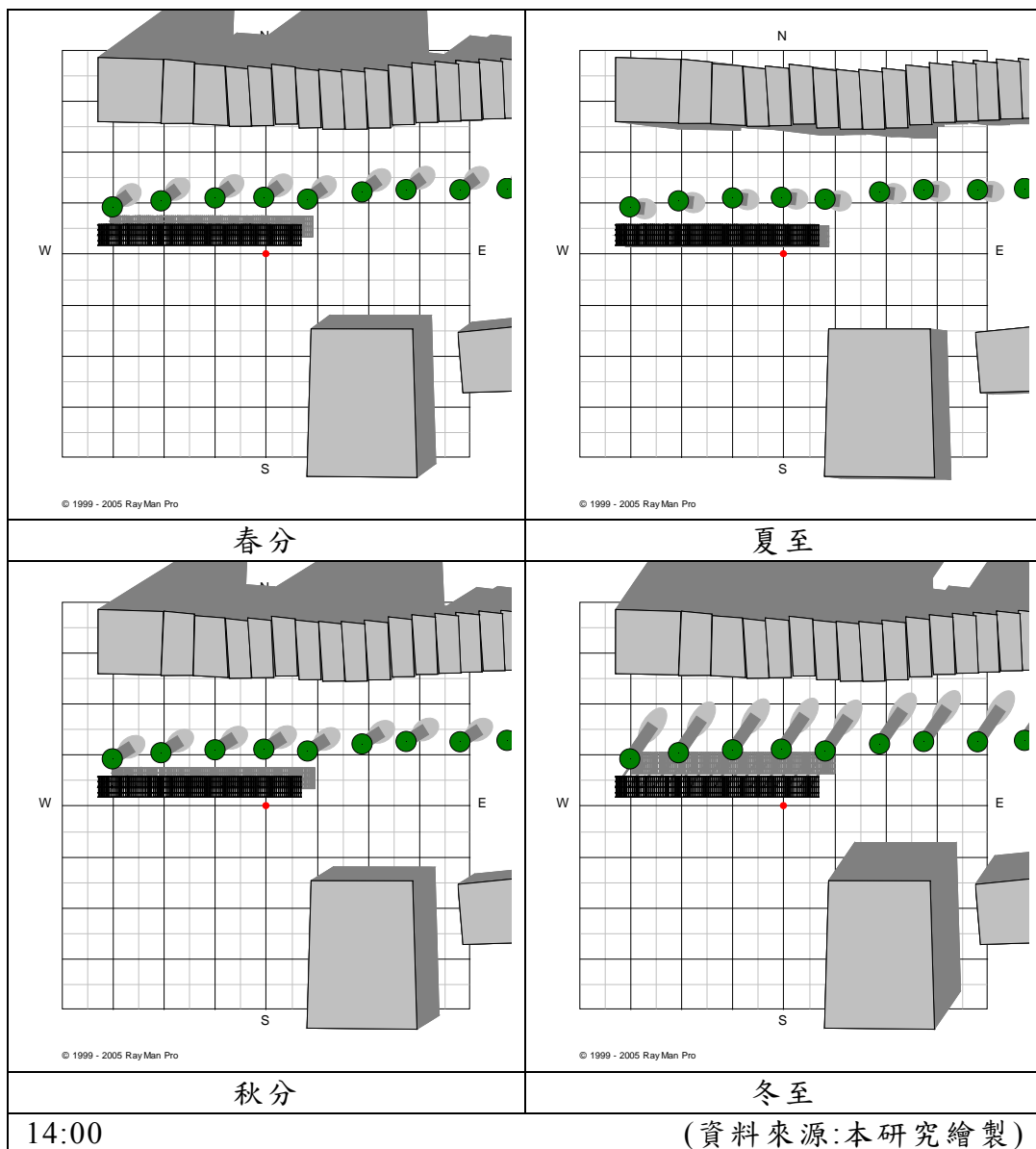
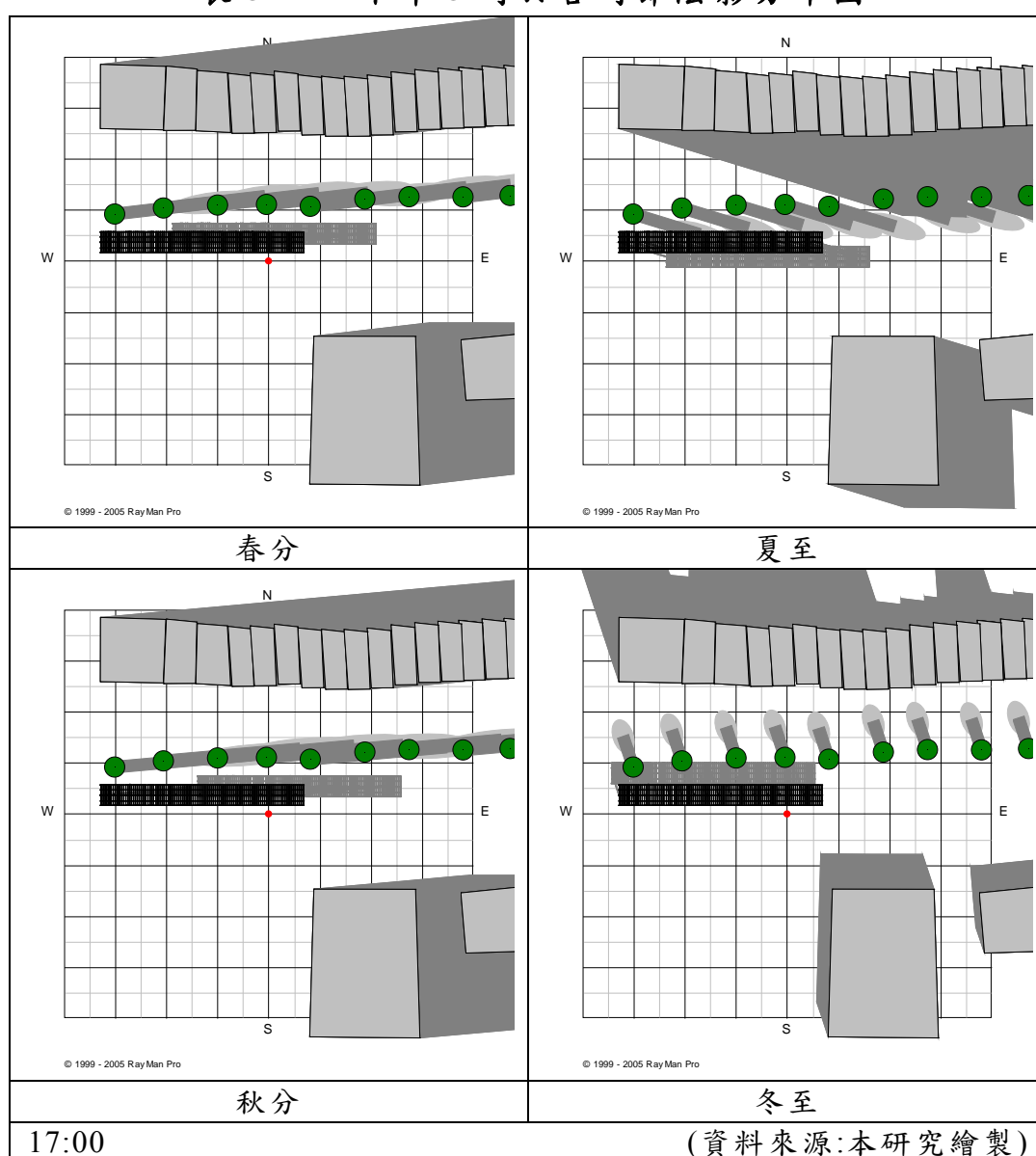


表 5-12，在下午五時的陰影分布圖，在春分的時候，陰影集中在東北方，覆蓋了部分的遮棚，給予一定的遮蔽效果，而秋分的覆蓋程度較春分低，但一樣是覆蓋在遮棚的東北方，然而在夏至的，是要為特別的雖然遮棚本身形成的陰影並只有局部覆蓋在遮棚上，約只提供了五成的遮蔽效果，但周邊的植栽形成的陰影是有提供遮棚遮蔽效果的，所以在夏至的時候，是可以提供良好的遮蔽。而冬至，只有少範圍的遮棚被陰影所遮蔽，效果是所有時節中最低的。

表 5-12 下午 5 時於各時節陰影分布圖



17:00

(資料來源:本研究繪製)

經過模擬成果，籌備處外的戶外遮棚以整體來說，四個時節中以夏至之遮蔽效果是比其他時節高，而冬至是四個時節中最差的。而夏季為全季節中最需要遮蔽的季節，因此該改善範例應是屬於成功改善的。

第三節 長期熱舒適性模擬

1. 模擬背景與方法

由於全年的戶外氣候及熱環境變化起伏差異非常大，如果單純只使用少數幾天的氣象資料進行模擬將無法正確預測及代表性，因此本研究將在模擬的模型建立選定兩個模擬點，模擬該模擬點遮蔽狀況及輸出魚眼圖，並輸入經過長年實測及反射率校正後之模型資料，同時分別針對不同的驗證案例，輸入該地近十年的逐時的氣象資料。而後由軟體計算匯出頻率圖。

2. 模擬結果

(1) 高雄大學

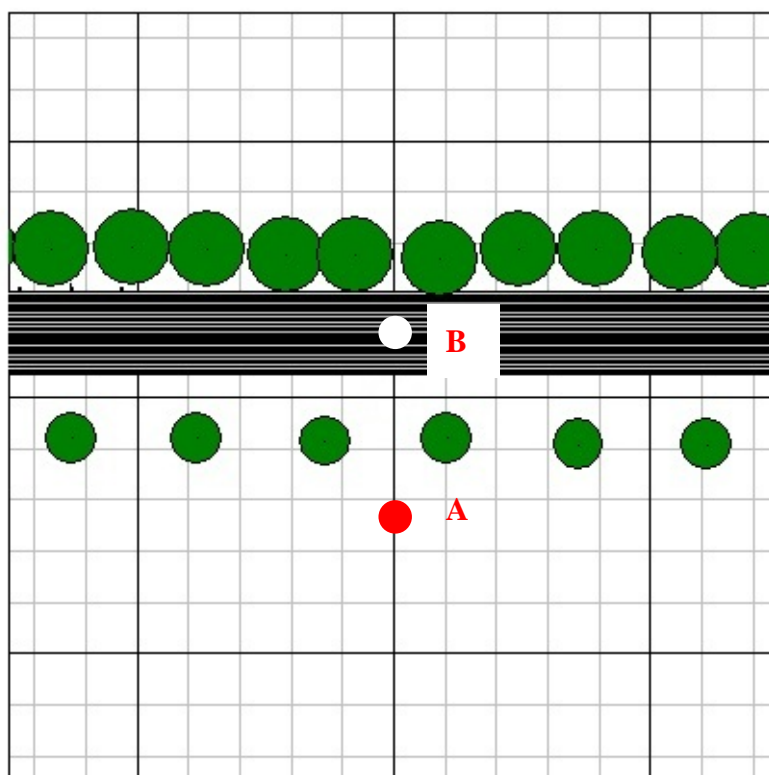
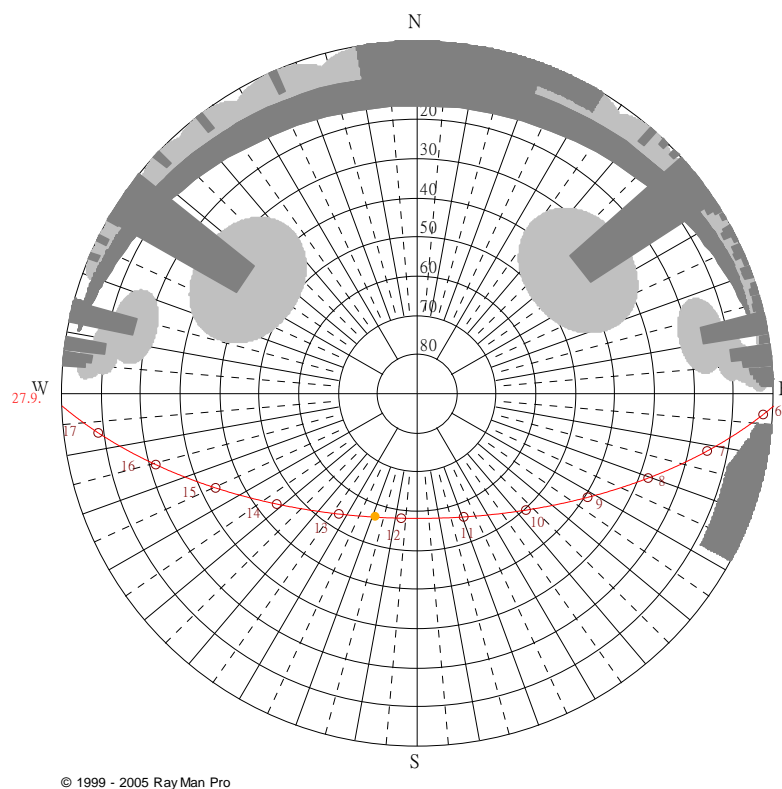


圖 5-9 高雄大學戶外遮棚模擬點位置圖

(資料來源:本研究拍攝)

高雄大學圖書館前的戶外遮棚，圖 5-9 為模擬點位置圖，A 點為低遮蔽程度的魚眼模擬圖，A 點則為高遮蔽的魚眼模擬圖，圖 5-10 為 A 點之魚眼模擬圖，由圖 5-10 圖可以看出在空曠的模擬點，顯示僅有少數的北側植栽提供遮蔽，在太陽軌跡上完全沒有任何的遮蔽物，其遮蔽效果與遮棚下的效果，圖 5-11 為在 B 點之魚眼模擬圖，可以發現當模擬點位在遮棚剩下方，戶外遮棚是完全遮蔽住太陽軌跡，大部分時間太陽是被遮住的，而在魚眼鏡圖的北方，可以看到有周邊植栽提供遮蔽，而從魚眼鏡圖可以看到南方僅有少樹木遮蔽，而

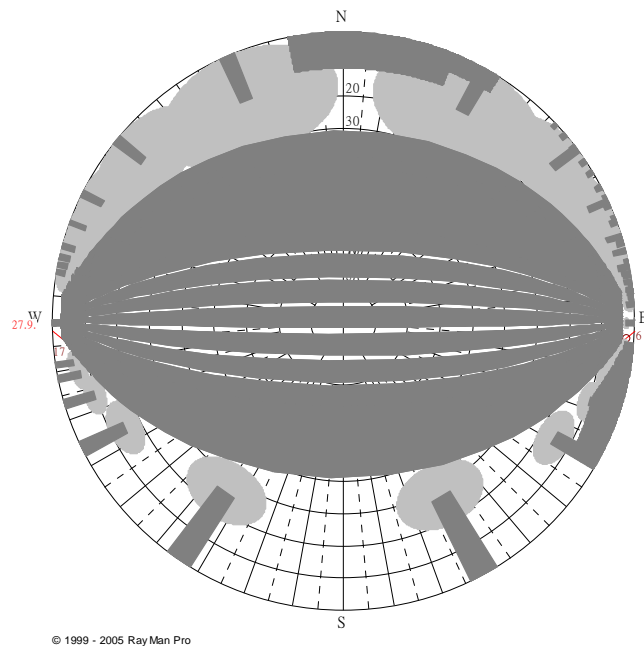
太陽軌跡為偏南，表示在南側是會有部分陽光，這可隨著提高南側植栽而改善，是相差懸殊，顯示增設戶外遮棚可提供明顯的遮蔽效果。



(A)

圖 5-10 戶外遮棚天空魚眼模擬圖

(資料來源:本研究拍攝)

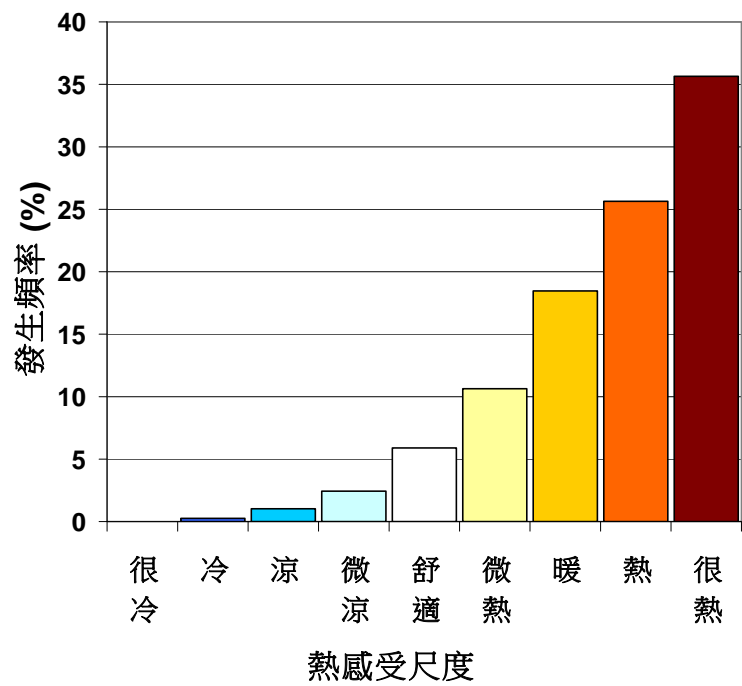


(B)

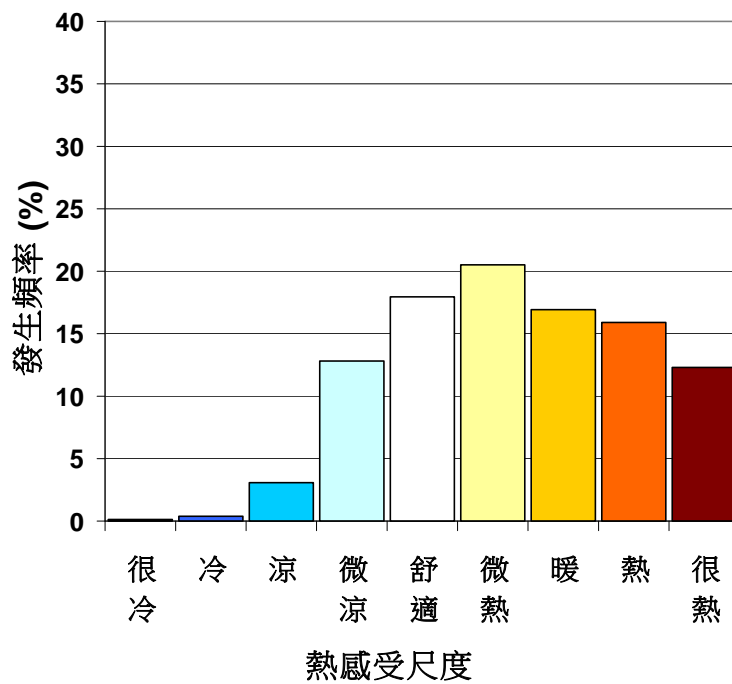
圖 5-11 戶外遮棚天空魚眼模擬圖

(資料來源:本研究拍攝)

圖 5-12 為高雄大學圖書館前的戶外遮棚於 A 點及 B 點的長年熱舒適性模擬圖。輸入 RayMan 的氣象資料為最近氣象站之 2001-2010 十年的氣象資料，本研究將 RayMan 輸出的逐時 PET 資料，依據過去台灣文獻所求得的熱感受尺度的標準(如第二章第三節所述)，將其繪製成熱舒適感受的發生頻率圖。由圖 5-12 的(A)可發現，最高尺度為「很熱」，佔 35%，其次為「熱」，約 25%，而尺度「暖」接近 20%，「微熱」約佔 10%，而「舒適」達 5%未滿 10%，而圖(B)顯示最熱尺度為「微熱」約佔 20%，其次為「舒適」佔約 18%，再來為「暖」佔約 16%。由兩圖比較可以發現，整體熱感受趨勢向左偏移，原最熱尺度的「很熱」，百分比降為約 13，而尺度「熱」由約 25%降為 15%，「微熱」及「舒適」皆提高了約 10%。顯示在 A 點遮蔽之下，能有效將熱舒適感受往「舒適」的尺度移動。



(A)



(B)

圖 5-12 高雄大學熱感受尺度發生頻率圖(2001-2010)

(2)國立自然科學博物館九二一地震教育園區

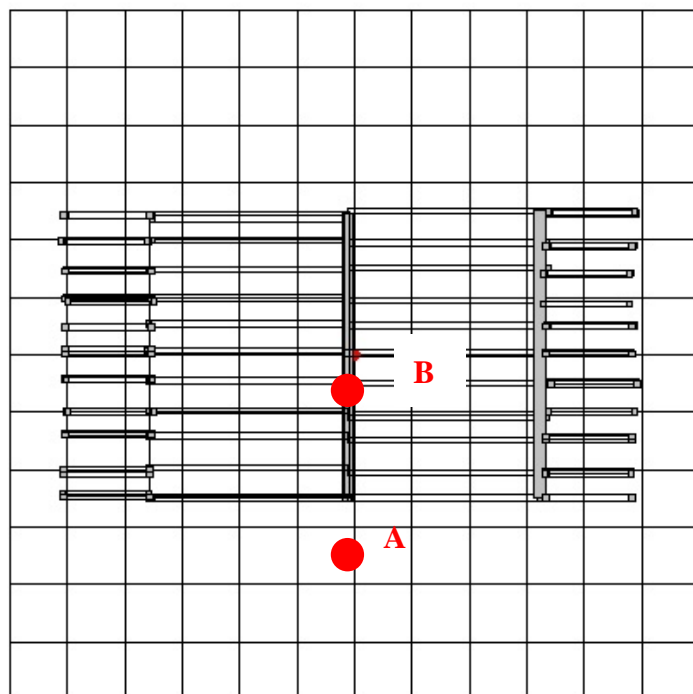
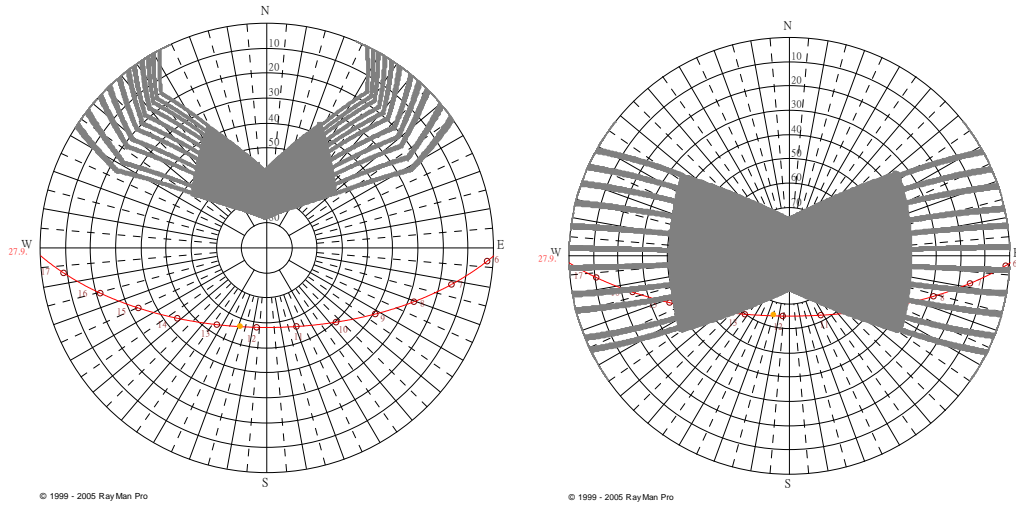


圖 5-13 地震教育園區連通空橋模擬位置圖

(資料來源:本研究拍攝)

在該案例，本研究將地震教育園區的連通空橋上方的戶外遮棚棚架以及棚架上新增設的布棚建置在 RayMan 模型裡，圖 5-13 為模擬點位置圖，A 點為較無遮蔽處，而 B 點為陰影較密集點，圖 5-14 為連通空橋魚眼模擬圖，圖左為 A 點之魚眼模擬圖，顯示，圖右為在 B 點之魚眼模擬圖，新設遮棚遮蔽的範圍約為仰角 90 度至 35 度之間，35 度至 0 度為棚架本身給予的遮蔽。上午九時之前會有部分日照照射至空橋上，上午九時至十一時的太陽是有被布棚遮住，上午十一時至下午一時並未被布棚遮住，這時間是日照逐漸增強的時候，到了下午一時至三時，日照同樣被布棚所遮住，而過了下午三時直至日落，皆有棚架做為遮蔽，由此看出中午時段無法遮蔽日照，其他時段棚架及布棚皆有良好的遮蔽效果。



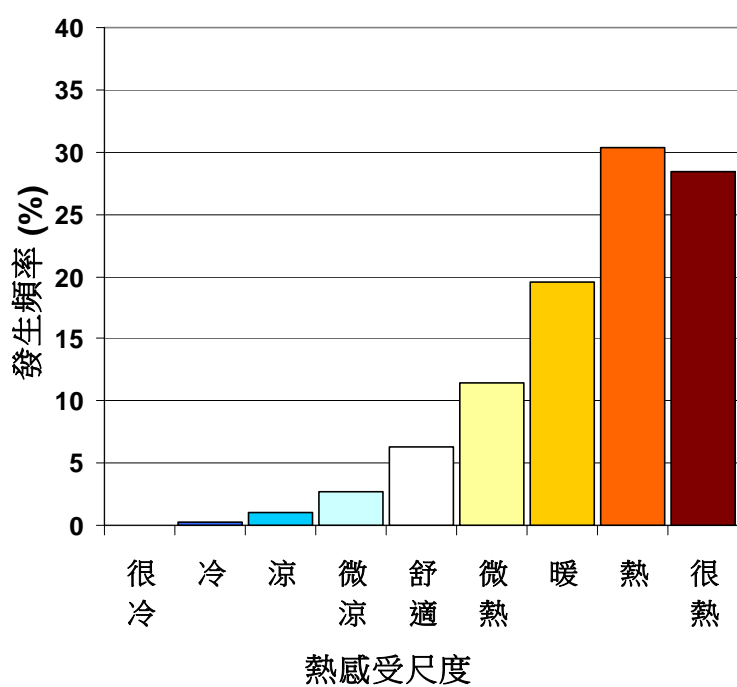
(A)

(B)

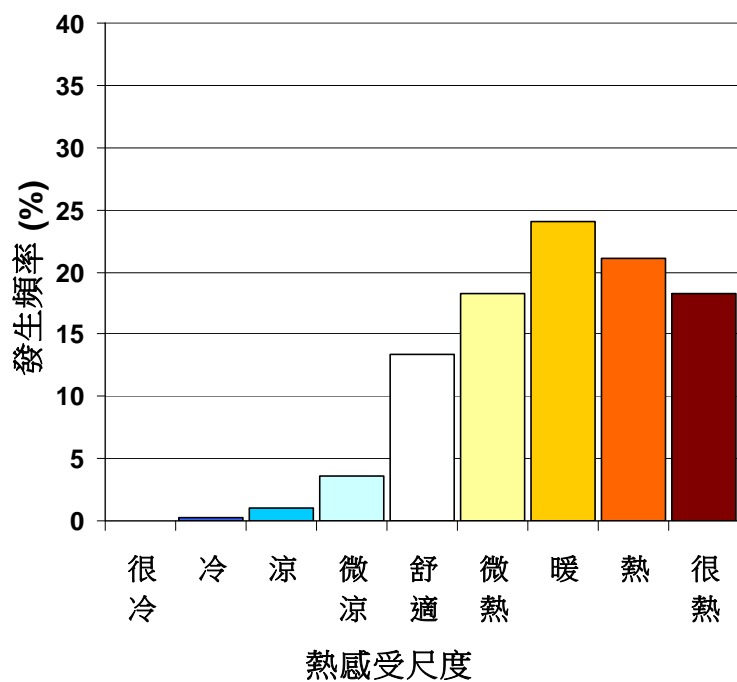
圖 5-14 園區連通空橋天空 A 點魚眼鏡模擬圖

(資料來源:本研究拍攝)

圖 5-15 為地震園區連通空橋於 A 點及 B 點的長年熱舒適性模擬圖。由圖(A)可發現，最高尺度為「熱」，約佔 31%，其次為「很熱」，約 28%，而尺度「暖」接近 19%，「微熱」約佔 12%，而舒適約佔 7%，而圖(B)顯示最熱尺度為「暖」約佔 24%，其次為「熱」佔約 21%，再來為「很熱」佔約 17%。由兩圖比較可以發現，整體熱感跟上案例的趨勢同樣向左偏移，原最熱尺度的「熱」，百分比下降約 10%，而尺度很「熱」由約 28%降為約 18%，「微熱」及「舒適」皆提高了約 5%。顯示在 A 點遮棚的遮蔽之下，較 B 點有效提高熱舒適感受感受。



(A)



(B)

圖 5-15 地震園區戶外遮棚熱感受尺度發生頻率圖
(2001-2010)

(3) 行政院文化建設委員會文化資產總管理籌備處

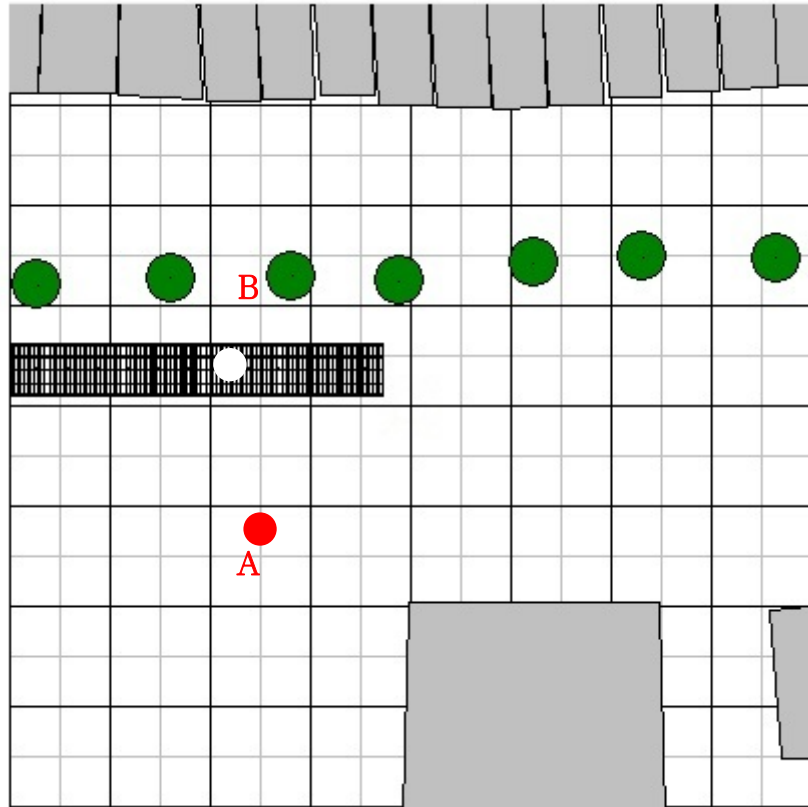


圖 5-16 文化資產總管理處模擬點位置圖

(資料來源:本研究拍攝)

在行政院文化建設委員會文化資產總管理籌備處這一案例中，選擇籌備處外戶外遮棚底下與附近兩點做為模擬點，圖 5-16 為模擬點位置圖，A 點為低遮蔽程度的魚眼模擬圖，B 點則為高遮蔽的魚眼模擬圖，圖 5-17 為戶外遮棚魚眼模擬圖，圖左為 A 點之魚眼模擬圖，顯示，而圖左 A 點為遮棚南側空曠處，可以發現，僅有魚眼北側周邊有遮棚與植栽提供少數，與 A 點遮蔽程度比較相差懸殊，因此可以推論該案例，空曠處與遮棚下遮蔽程度是差異非常大的。圖右為在 B 點之魚眼模擬圖，可以發現當模擬點位在遮棚剩下方，由於模擬點的關係，戶外遮棚邊緣接近遮住太陽軌跡，遮棚可以遮住部分的陽光，提

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

供部分遮蔽，如果將模擬點，往北移動，是可以完全遮蔽住太陽軌跡，因此隨著遮棚下的位置不同，遮棚能給予的遮蔽程度也會不同，同時可以看見北方的植栽提供了魚眼的遮蔽，但未能遮蔽住太陽軌跡，如與陰影圖對照，因此可以發現，植栽因該配置在戶外遮棚的南側較為恰當。

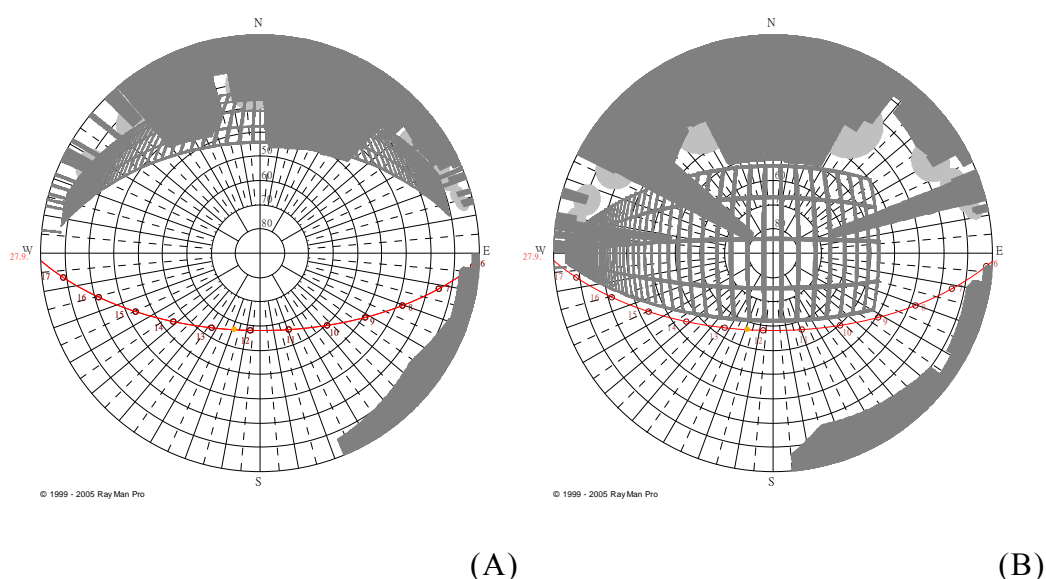
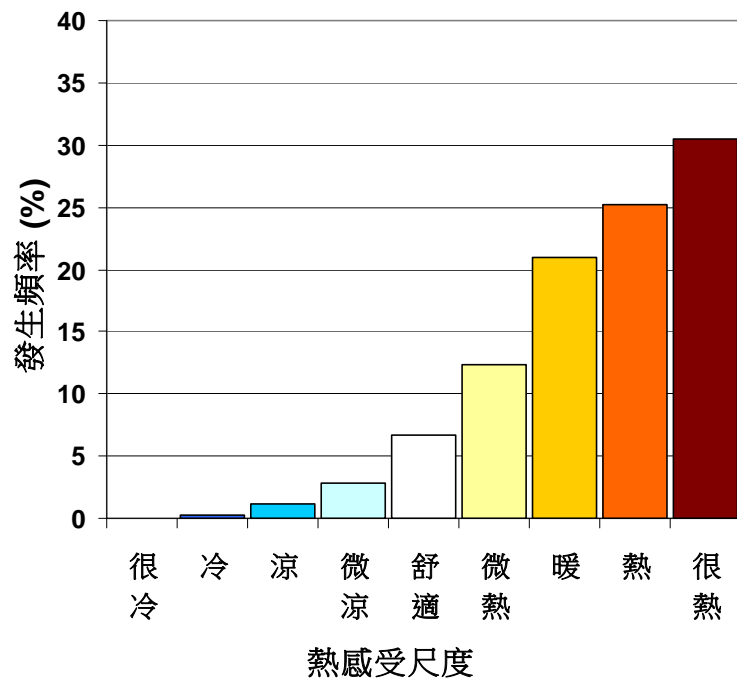


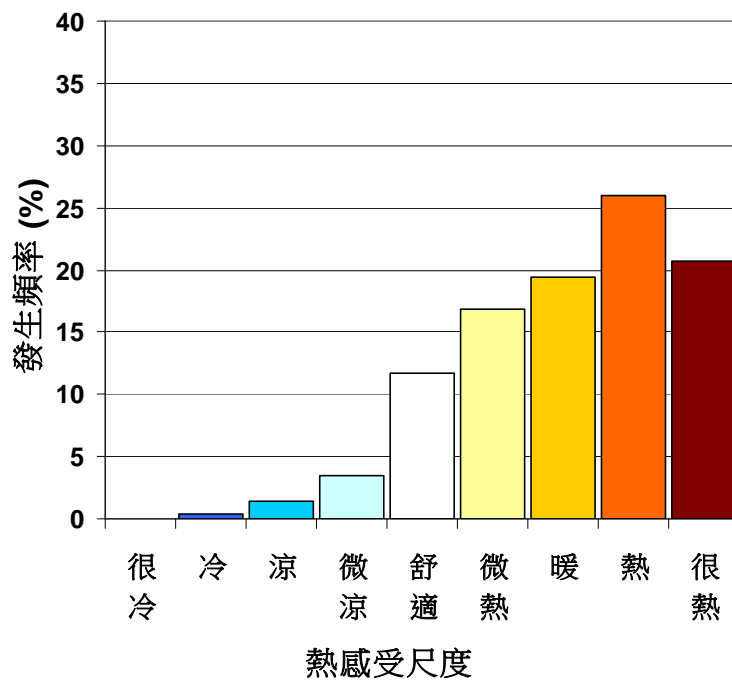
圖 5-17 文化資產總管理處機車遮棚天空魚眼鏡模擬圖

(資料來源:本研究拍攝)

圖 5-18 為籌備處外遮車遮棚於 A 點及 B 點的長年熱舒適性模擬圖。由圖(A)可發現，最高尺度為「很熱」，約佔 31%，其次為「熱」，約 25%，而尺度「暖」接近 21%，「微熱」約佔 17%，而「舒適」約佔 7%，而圖(B)顯示最熱尺度為「熱」約佔 26%，其次為「很熱」佔約 21%，再來為「暖」，佔約 17%，微熱約佔 17%，舒適」約佔 12%，由兩圖比較可以發現，原最高為很熱尺度變為「熱」，百分比下降約 10%，而尺度「熱」的比例沒有明顯增減，尺度暖的比例略降低，而「舒適」尺度約提高 5%，。顯示在 A 點遮棚的遮蔽之下，較 B 點有效提高熱舒適感受感受。



(A)



(B)

圖 5-18 文化資產總管理處熱感受尺度發生頻率
(2001-2010)

由三個案例之過去十年熱感受尺度發生頻率比較發現，三個案例皆對熱感受的舒適有一定程度提升，然而以高雄大學圖書館前的戶外遮棚效果最佳，本研究推論其戶外遮棚高度較矮且格柵構造較粗較密，且遮棚有一定角度傾斜。其次為九二一地震教育園區，雖然已新增布棚能提供部分遮蔽，但因為布棚涵蓋的角度，在某些時段未能提供遮蔽。而文化資產總管理籌備處之遮蔽效果最差，本研究推論由於戶外遮棚之格柵構造較細且較疏，且高度較高，因此導致舒適的程度為低。由此可見，遮蔽因子對於長年的舒適性具有十分顯著的影響，這也反應了戶外環境的重要性。

第六章 戶外遮蔽手法研擬

第一節 戶外遮蔽手法研擬原則

本研究研擬此原則目標在於經過更有效的提高戶外環境舒適性，希望透過淺顯的操作及設計模式，提供遮蔽物在設計上的參考，基於 RayMan 軟體的分析，以陰影的產生，做為本研究提供設計方法之依據，研擬表 7-1 遮棚與植栽與民眾活動區之間的關係配置及探討，圖表定義如圖 7-1。

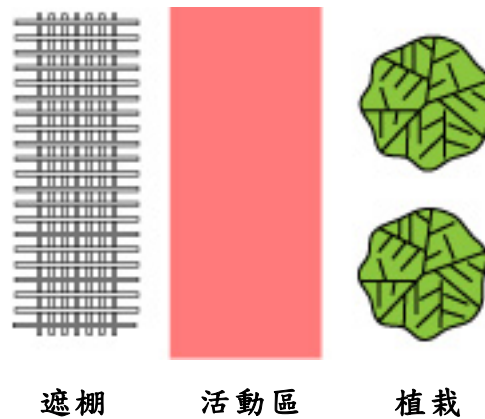

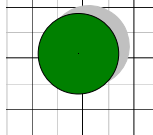
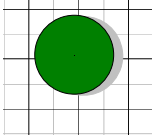
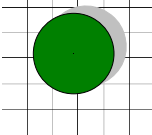
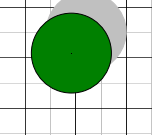


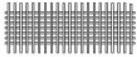
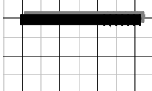
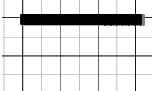
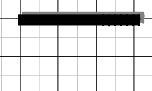
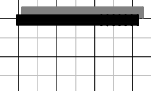
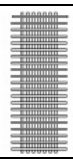
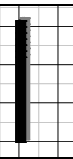
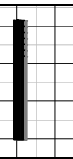
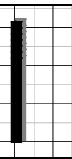
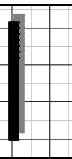
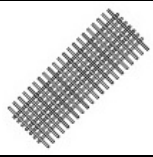
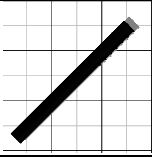
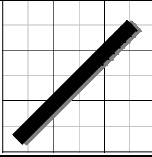
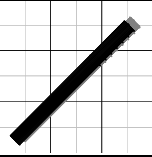
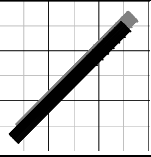
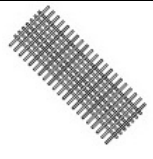
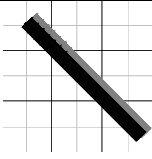
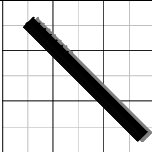
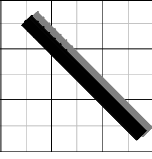
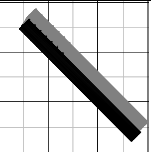
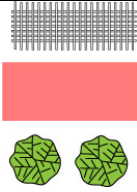
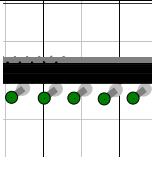
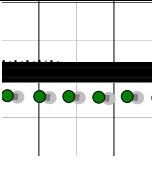
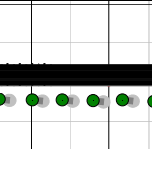
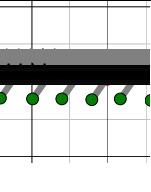
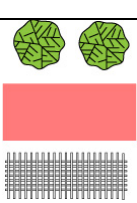
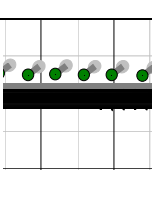
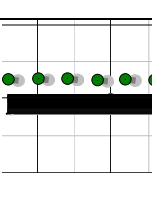
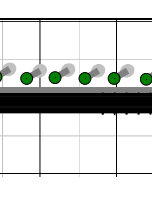
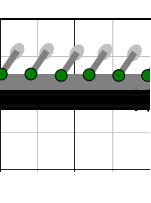
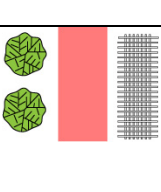
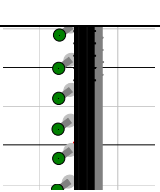
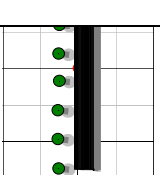
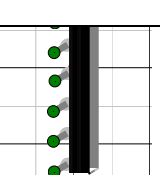
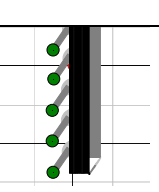
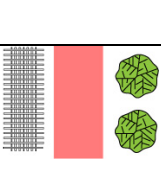
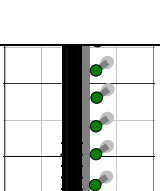
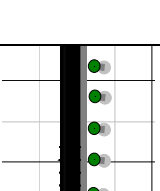
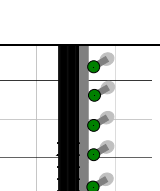
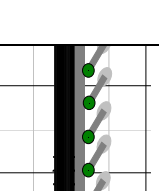
圖 6-1 關係配置圖表定義

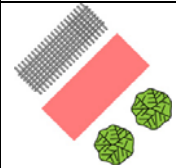
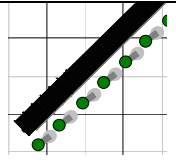
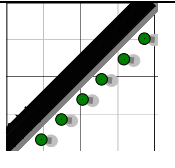
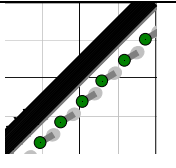
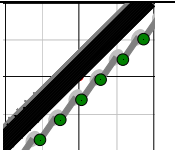
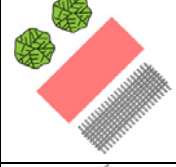
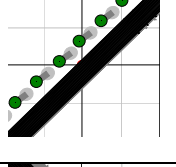
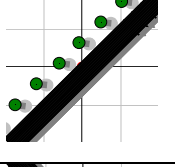
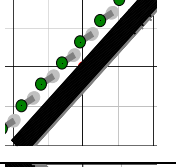
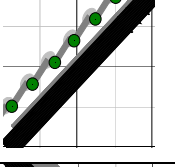
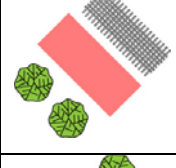
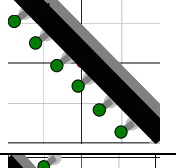
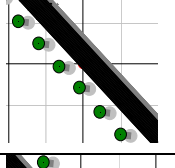
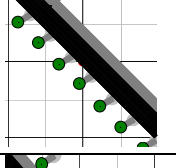
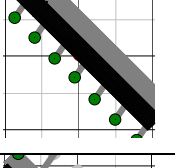
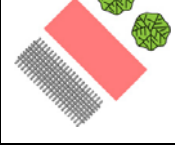
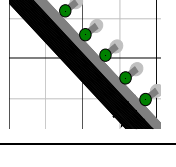
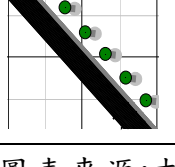
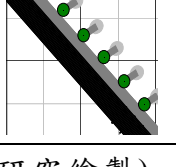
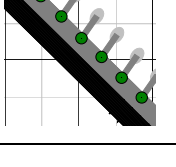
(圖片來源:本研究繪製)

表 6-1 遮棚植栽與活動區關係配置圖

基本元素	春分	夏至	秋分	冬至	評價/留意
植栽 					陰影均落在北側居多。

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

東西向遮棚 					陰影在冬季會產生偏離。可適度給予陽光。
					活動區可設置在東側。
					活動區可設在遮棚下方。
					陰影偏東北側，活動區可設在在東北側。
植栽與遮蔽的組合	春分	夏至	秋分	冬至	
					春分陰影有補償，但夏至秋分無，冬至有補償。
					其他時節有良好遮蔽，但夏至遮蔽不佳。
					雖然遮棚陰影偏離，但植栽有補償，遮蔽效果佳
					遮棚全年遮蔽效果都是好的，推

					薦。
					夏至時遮棚本身陰影提供遮蔽，尚可。
					夏至時有植栽的補償，尚可。
					推薦，遮棚的陰影偏離，可由植栽補償
					推薦，遮棚本身發揮良好遮蔽效果。

(圖表來源:本研究繪製)

附註:材料的選擇應使用熱導率較低之材質，如木頭，塑膠，等建材。

而在建材表面可使用較不易吸收輻射的淺色系顏色如白色灰色等，植栽的選擇，可選擇落葉木，冬天落葉可減少遮蔽，提高舒適性。

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

第七章 結論與建議

第一節 結論

本研究就兩個階段研究成果提出以下結論，由第一階段發現，在同鋪面材質比較之下，高度遮蔽之平均輻射溫度低於中度及低度遮蔽，同樣遮蔽狀況比較之下，鋪面反射率越高，平均輻射溫度較低；鋪面反射率越低，平均輻射溫度越高，但差異的程度沒有同鋪面材質下比較之下的大。不同鋪面材質之間，高度遮蔽下之平均輻射溫度明顯低於中度及低度遮蔽的平均輻射溫度，能提供較舒適的戶外環境。

在第二階段模擬與驗證中，根據研究結果，其南北側的戶外遮棚遮蔽效果應是最差的，而東西向戶外遮棚之遮蔽效果較佳，但由於台灣的緯度關係及太陽軌跡，遮棚遮蔽效果有限，因此發現東西向的遮棚，如果在南側配置植栽，可以補償戶外遮棚本身陰影因為太陽角度而形成陰影偏離設施物，進而提供更佳的遮蔽效果。最後經由模擬驗證證明三個案例皆能改善熱環境，及提高遮蔽狀況，但不同季節的太陽運行軌跡有些需差異，戶外遮棚座向與周邊植栽，形成的陰影不同而會影響其戶外遮棚的遮蔽效果，遮蔽效果以國立自然科學博物館九二一地震教育園區連通空橋最低，行政院文化建設委員會文化資產總管理籌備處的戶外遮棚其次，高雄大學戶外遮棚效果最佳。

由此可見，遮蔽因子對於長年的舒適性具有十分顯著的影響，這也反應了戶外環境的重要性。

第二節 建議

根據本研究研究過程及模擬驗證結果，提出以下幾點建議：

1. 提高戶外環境遮蔽設施

第一階段研究顯示較高遮蔽程度能提供較舒適的戶外環境在鋪面的選擇上對熱環境的影響是較小的，因此建議應該在將來戶外舒適環境的設計上因該多加遮蔽考量。

2. 參考香港空橋模式提高遮蔽性及便利性

可參考香港聯通空橋本研究三個驗證案例，性質皆為人行穿越通道遮蔽狀況的改善，與香港典型的建築與建築之間的空中人天橋之目的相類似，因此建議，可參照香港空中天橋的模式，增加行人在戶外及建築間穿越時的遮蔽，提高舒適程度。

3. 考慮遮蔽設施座向及搭配植栽

由於季節關係太陽軌跡影響陰影的形成，因此建議遮棚可為南北座向因此需考慮遮蔽物的座向以及季節所產生的陰影效果，且搭配植栽，利用植栽所產生陰影可補償遮棚不足之處。

4. 相關法規鬆綁

由相關建築法規回顧發現，不同土地使用層級或不同使用方式，以往有限於相關建蔽率法規限制，導致戶外遮棚的建立受到限制，因此建議可將有關建築建蔽率法令鬆綁或修正，提高戶外遮蔽率。

5. 建立以台灣微氣候尺度的資料庫

由於目前國內有關微氣候的相關研究為少數，應系統性的建立相關實測資料，完整建立屬於以台灣尺度的戶外微氣候預測模型以及相關資料庫。

6. 與綠建築評估體系中的生態社區指標配合

本研究是為綠建築更新診斷與改造計畫案例作驗證，建議未來可以將相關遮蔽因子的考量納入綠建築生態社區指標中，並以相關驗證方法運用在綠建築指標上。

附錄一 戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析 期中評審意見及回應表

審查委員	項次	審查意見	廠商回應
曹昌勝 建築師	1	請先對戶外遮蔽因子下定義，並說明應用範圍。	本研究已明確定義遮蔽因子及應用範圍，並針對相關法規進行檢討，以利未來推廣之可行性。請參閱第二章第三節之建議所述。
	2	請將涉及之法規及施工規範列表，並考量人工遮蔽物之法定名稱是否納入雜項工作物，申請證照或建照、建蔽率、結構計算、綠建築評估等。	
照明燈具工會 宋福生 組長	3	是否對都市熱島效應影響較大之屋頂部分納入，可參考新加坡綠屋頂。	屋頂遮蔽的議題已納入遮蔽因子之設計對策。
台灣綠建築發展協會	4	「綠廳舍改善計畫」名稱有誤，正確為「綠建築更新診斷與改造計畫」，建議再確認	名稱有誤的部分將在確認後修正。植栽的部分本研究已列入模擬。
	5	模擬案例中格柵上有植栽，是否列入模擬。	
李鐸翰 教授	6	本研究探討遮蔽因子對都市退燒與提升戶外熱舒適效果之影響，主題切合當前政策需要，成果十分期待。運用實測與模型推導預測相結合的方法來進行，符合研究需求	本模型適用於街廓尺度下的複雜建築尺度之熱輻射分析，並已在多個氣候區應用的成果，在台灣的應用成果已有多篇 SCI 期刊發表，有關其優越性及本土適應性已於文中補充說明。另重要文獻及相關名詞如 SVF 及 Tmrt 等，本研究已統一翻譯用語並詳細說明。
	7	能否大略補充說明 RayMan 模型外與其它模型方法說明，以及闡述 RayMan 模型之優越性及本土適應性。	
	8	文本 22 頁重要文獻應提前於第二章做說明	
	9	應明確說明及定義 SVF 及 Tmrt 等，以及維持名詞翻譯一致。	

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

何友鋒教授	10	台灣氣候濕熱，本研究極為重要，本研究方法明確，研究方法適宜。	本研究後續已把香港人行通道遮蔽之概念、台灣氣候適宜性議題及立體綠化等因素納入後續研究討論。另受限於本計畫預計模擬之「綠建築更新診斷與改造計畫」均僅補助公部門案例，故案例之同質性較高。而有關不同土地使用型態應用遮蔽因子的議題極為重要，故本研究將以對策手法方式呈現，以反應出不同分區適合之遮蔽手法，提供較為全面性之對策。請參閱第六章第二節建議所述。
	11	建議可參照香港案例及經驗，納入當地氣候，使研究更貼近當地，更能提高可用性。	
	12	考量戶外遮蔽因子類型，如綠化寬度、立體型綠化、遮陽廊道形式及因子。	
	13	三個實測點同質性高，能否考慮不同土地使用型態如商業區、市中心區等。	
張世典教授	14	研究應具可行性，可管制，應可直接反應在法令上，如都市設計審議，綠建築審議，可直接納入相關系統之中	本研究嘗試將成果納入綠建築評估體系中的生態社區(EEW-EC)，以便未來納入評估或管制。而有關國外的實際管制方案已於後續研究中呈現。請參閱第六章第二節建議所述。
	15	建議可多探討相關國內外研究比較，執行方式，管理方式，如大陸	
	16	本計劃是否有國外實際案例，管制的方式	
彭文信協理	17	本研究案後續所能提供的建議策略對居住環境改善應具有相當參考作用。建議持續深入探討，且針對台灣各區域做差別研究。如台灣北中南氣候有些許差異，應反映出其設計對策之差異。	本研究在對策上已納入北中南氣候差異，使用不同區域的長年氣候資料進行模擬，也將其差異反應在設計對策中。
廖組長	18	可進一步分析遮蔽材料差異對熱環境及熱舒適性之影響，並納入該研究之中。研究成果的對策宜以量化呈現並導入相關	本研究以量化方式呈現不同材料及型式的遮蔽因子對熱舒適性的提升與熱島抑制成效，並提

附件一 評審意見及回應表

		規範。	出具體設計對策，且嘗試將成果納入綠建築評估體系中的生態社區(EEWH-EC)中評估。
何所長	19	應說明本研究之研究限制	本研究之研究限制已描述於 53 頁，模型的解釋為 23 頁，應用性及建議如請參閱第六章第二節建議所述。
	20	應說明採用的模型為商業軟體或學術模型，提供後續研究應用	
	21	說明本研究之研究成果的應用性為何	
	22	請提出初步對熱島降溫的建議	

附錄二 戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析 期末評審意見及回應表

審查委員	審查委員建議	廠商回應
建築師公會蔡建築師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不同的遮蔽框架，綠植的型式及方位對舒適性會有不同之效果，建議可以提供設計者之參考 2. 遮蔽建蔽率的法規可利用透空率的概念做管制。 3. 香港案例對都市景觀衝擊也須納入考量。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將提供類似遮蔽設計構想於成果報告書。 2. 將納入委員建議。 3. 將會重新檢討香港案例與台灣應用之可行性。
照明工會宋福生組長	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將氣候因素納入戶外環境，如植栽遮蔽,可以達到節能、減碳、舒適值得肯定。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員的肯定。
照明工會馮文信協理	<ol style="list-style-type: none"> 1. Microclimate 美語譯是否相同？ 2. P69 等頁有文字重複描述須修正。 3. 不同季節，植栽的選用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 日文有將”微”及”小”分開定義，但美語無再細分。 2. 錯誤的部分將會修正。 3. 將納入委員建議。
黃瑞隆教授	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議可將舒適頻率換成季節、時段 2. 並將人的使用概念帶入。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 此兩項建議將整合於遮蔽設計構想參考。
張世典所長	<ol style="list-style-type: none"> 1. 文獻的分析不足，且應回應到研究的推行，再行回顧(舒適度的影響)。 2. 應將背景時空考量，以求設計在使用及管理上的落差。 3. 正確的答案也要有客觀的條件來配合，須讓建議”在何者條件下才能適用”，以免斷章取義被誤用。 4. 都市不是單一，因其位置會有分區的概念，須考量在研究所提出的策略和管制上 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 文獻的部分將會再深入回顧。 2. 將納入委員建議。 3. 會將限制條件納入考量 4. 將納入委員建議，有關分區的概念納入考量
廖慧燕	<ol style="list-style-type: none"> 1. 金屬板也會影響其舒適性，應 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 材料的種類會納入遮

附件一 評審意見及回應表

組長	<p>予以考量</p> <p>2. 希望將其整理成期刊論文發表。</p> <p>3. 應從使用上突破法令的限制。</p> <p>4. 綠建築不能只從水和電判定成效，期望本研究成果能納入其改善效益。</p>	<p>蔽設計構想</p> <p>2. 將會整理後發表於期刊</p> <p>3. 將納入委員建議。</p> <p>4. 本研究印證了熱舒適性可提升空間的使用率及滿意度，將具有其價值。</p>
----	--	--

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

參考書目

英文部分

- Akbari H, Konopacki S. (2005). Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy* 33(6): 721-756.
- Ali-Toudert F, Djenane M, Bensalem R, Mayer H. (2005). Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Climate Research* 28(3): 243-256.
- Ali-Toudert F, Mayer H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41(2): 94-108.
- Ali-Toudert F, Mayer H. (2007a). Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* 81(6): 742-754.
- Ali-Toudert F, Mayer H. (2007b). Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. *Theoretical and Applied Climatology* 87(1-4): 223-237.
- Asaeda T, Ca VT. (2000). Characteristics of permeable pavement during hot summer weather and impact on the thermal environment. *Building and Environment* 35(4): 363-375.
- Bretz SE, Akbari H. (1997). Long-term performance of high-albedo roof coatings. *Energy and Buildings* 25(2): 159-167.
- Bruse(2008). <http://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/agklima/envimet/>. 2008
- Deb ,C. & Ramachandraiah, A. (2011). A simple technique to classify urban locations with respect to human thermal comfort: Proposing the HXG scale. *Building and Environment*, 46, 1321-1328.

- Eliasson I. (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment* 30(3): 379-392.
- Emmanuel R, Johansson E. (2006). Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: the case of Colombo, Sri Lanka. *Climate Research* 30(3): 189-200.
- Fanger PO. (1972). *Thermal Comfort*. McGraw Hill: New York.
- Goldreich Y. (1995). Urban climate studies in Israel--A review. *Atmospheric Environment* 29(4): 467-478.
- Gulyas A, Unger J, Matzarakis A. (2006). Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. *Building and Environment* 41(12): 1713-1722.
- Hwang ,R. L., Lin, T.P. & Matzarakis, A. (2011) Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 46, 8630-870.
- Harlan SL, Brazel AJ, Prashad L, Stefanov WL, Larsen L. (2006). Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science & Medicine* 63(11): 2847-2863.
- Ichinose T, Shimodozono K, Hanaki K. (1999). Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. *Atmospheric Environment* 33(24-25): 3897-3909.
- Johansson E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment* 41(10): 1326-1338.
- Johansson E, Emmanuel R. (2006). The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology* 51(2): 119-133.
- Kruger E, Givoni B. (2007). Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil. *Building and Environment* 42(4): 1685-1698.

- Krüger, E.L., Minella, F.O. & Rasia F. (2011) Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil, *Building and Environment*, 46, 621-634.
- Kántor, N. & Unger, J. (2011). The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment – the mean radiant temperature. *Central European Journal of Geosciences*, 3(1), 90-100.
- Lindberg F, Holmer B, Thorsson S. 2008. SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International Journal of Biometeorology* 52(7): 697-713.
- Lin TP, Ho YF, Huang YS. (2007). Seasonal effect of pavement on outdoor thermal environments in subtropical Taiwan. *Building and Environment* 42(12): 4124-4131.
- Lin TP, Matzarakis A, Huang JJ. (2006). Thermal comfort and passive design of bus shelters. In the 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA2006), Geneva.
- Lin TP, Matzarakis A, Hwang RL. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment* 45(1): 213-221.
- Makar PA, Gravel S, Chirkov V, Strawbridge KB, Froude F, Arnold J, Brook J. (2006). Heat flux, urban properties, and regional weather. *Atmospheric Environment* 40(15): 2750-2766.
- Matzarakis, A. & Matuschek, (2011). Sky view factor as a parameter in applied climatology – rapid estimation by the SkyHelios model. *Meteorologische Zeitschrift*, 21, 001-007.

- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H. 2010. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 54(2): 131-139.
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H. (2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 51: 323-334.
- Mochida A, Murakami S, Ojima T, Kim S, Ooka R, Sugiyama H. (1997). CFD analysis of mesoscale climate in the Greater Tokyo area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 67-68: 459-477.
- Pauleit S, Ennos R, Golding Y. (2005). Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change--a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* 71(2-4): 295-310.
- Rosenfeld AH, Akbari H, Bretz S, Fishman BL, Kurn DM, Sailor D, Taha H. (1995). Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings* 22(3): 255-265.
- Saaroni H, Ben-Dor E, Bitan A, Potchter O. (2000). Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. *Landscape and Urban Planning* 48(1-2): 1-18.
- Spagnolo J, de Dear RJ. (2003). A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment* 38(5): 721-738.
- Synnefa A, Santamouris M, Akbari H. (2007). Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings* 39(11): 1167-1174.

- Taha H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings* 25(2): 99-103.
- Takebayashi H, Moriyama M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment* 42(8): 2971-2979.
- Tan SA, Fwa TF. (1992). Influence of pavement materials on the thermal environment of outdoor spaces. *Building and Environment* 27(3): 289-295.
- Velazquez-Lozada A, Gonzalez JE, Winter A. (2006). Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico. *Atmospheric Environment* 40(9): 1731-1741.
- Voogt JA, Oke TR. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86(3): 370-384.
- Wong NH, Chen Y, Ong CL, Sia A. (2003). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment* 38(2): 261-270.
- Wong NH, Jusuf SK, La Win AA, Thu HK, Negara TS, Wu XC. (2007). Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. *Building and Environment* 42(8): 2949-2970.
- Tseliou, A., Tsiros , I.X. , Lykoudis, S. , & Nikolopoulou, M. (2010). An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions. *Building and Environment*, 45, 1346–1352.

中文部分

- 李明晃(2004)都市公園與局地氣溫效應之關係研究-以台北市公園為例，文大碩士論文，臺北。
- 黃宇崧(2005)戶外鋪面對建築外部熱環境影響之研究—以高速公路南投服務區為例，碩士論文，朝陽科技大學建築及都市設計研究所，臺中。
- 林子平(2006). 綠建築半戶外空間溫熱環境之實測研究：國科會專題研究計畫成果報告。
- 黃裕能(2008)靜宜大學校園鋪面與建築戶外空間對於溫溼環境影響之研究，碩士論文，逢甲大學建築學系碩士班，臺中。
- 莊家梅(2008)夏季戶外空間熱舒適性之研究—以台南縣市、高雄市戶外空間為研究對象—，碩士論文，國立成功大學建研研究所，臺南。
- 鄭明仁等人(2009)大學校園戶外環境熱舒適性之實測調查研究，中華民國建築學會「建築學報」第 69 期，1~16 頁。
- 林俊毅(2010)低密度住宅社區戶外熱環境之研究—以台中市七期住宅社區為例，朝陽科技大學建築及都市設計研究所，臺中。
- 林益崧(2009)戶外環境熱舒適性之研究-以工、商業區為例(未出版碩士論文)，私立逢甲大學建築學系碩士班，台中。
- 黃英哲(2011)公園之遮蔽程度及熱環境對民眾參與行為之影響，碩士論文，國立虎尾科技大學休閒遊憩所，雲林。

戶外遮蔽因子對微氣候影響之實測與解析

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：何明錦、林子平、黃國蒼、郭勇志、邱怡婷

出版年月：100 年 12 月

版次：第一版

ISBN：978-986-03-0812-9 （平裝）