

台中市政府 105 年度市政發展研究論文獎助計畫
論文節錄重點

都市微氣候對住宅熱環境及空調能耗的影響

The Influence of Urban Microclimate on Thermal Environment and
Air-Conditioning Energy Consumption in Houses

指導教授：鄭明仁 博士
研究生：廖峯淇
學 校：逢甲大學
系 所：土木及水利工程博士學位學程

中華民國 105 年 1 月



都市微氣候對住宅熱環境及空調能耗的影響

摘 要

氣候環境是影響建築物熱舒適及耗能的主要因素之一。然而，隨著全球工業發展及環境破壞，地球暖化問題日益嚴重，在人口集中的城市區域，更由於自然環境改變、人工構造物、高蓄熱鋪面、機具排熱等問題，形成城市核心區域高溫化的「熱島效應」現象。如今，顯著的都市微氣候變化，使得以氣象站數據為基礎的標準氣象年資料，已逐漸不適合用來準確地進行建築物熱環境解析。

有鑑於評估建築物熱得影響的相關模擬軟體，在規劃過程中日益重要，本研究希冀以台中市長期氣候實測數據為基礎，應用都市氣候預測模型來建構逐時氣象數據，並加入都市土地利用型態影響因素，以符合因應台灣都市環境發展的住宅熱得模擬之需求。研究中以實測資料及預測數據應用於 EnergyPlus 進行住宅熱得模擬解析，以量化方式探討都市微氣候變化對住宅建築的耗能和熱舒適的影響。

研究結果顯示，Morphing approach 及整合土地利用型態環境因子的 Morphing-LCLU Model 應用於都市微氣候的逐時數據預測時與實測值有很高的一致性，將其應用於建築空調耗能模擬時，仍有相當高的準確性，將其應用於自然通風住宅的熱舒適預測上卻有較大的誤差。研究中也發現，當市區的測點在實驗期間(七月到十月)的平均外氣溫度上升 1°C ，對於空調住宅會造成冷氣能耗增加 15.5%；同時對自然通風住宅的客廳、主臥室及兩間次臥室的過熱時數分別增加 57%、103%、66%和 72%。相關研究成果可作為建築能源管理及都市計畫未來擬定都市永續策略之參考。

關鍵字：熱島效應、都市土地利用型態、EnergyPlus、熱舒適、Morphing approach



目 錄

第一章 研究緣起.....	1
第二章 研究目的.....	3
第三章 文獻探討.....	5
1. 微氣候及都市熱島效應.....	5
2. 都市微氣候及熱島效應的影響因子	6
3. 標準氣象年.....	7
4. 戶外氣候對建築物能耗及熱舒適的影響.....	8
第四章 研究方法.....	11
1. 都市氣候預測模式.....	11
2. 都市環境調查與氣候實測.....	13
3. 建築物耗能模擬.....	15
4. 建築物熱舒適性評估.....	17
第五章 研究結果.....	19
1. 都市氣候數據預測模式之應用	19
(1) 建立實測氣候數據庫.....	19
(2) 都市逐時氣候預測數據.....	22
2. 都市微氣候對建築物的影響.....	25
(1) 都市微氣候與住宅能耗之關係.....	25
(2) 都市微氣候與自然通風住宅熱舒適性之關係.....	27
3. 都市土地覆蓋及利用型態.....	31
(1) 土地利用型態環境因子與氣候預測參數之相關性分析	31
(2) 整合土地利用型態環境因子之都市逐時氣候預測模式.....	35
第六章 結論與建議.....	42
參考文獻.....	44
中文文獻：	44

外文文獻：	45
-------	----



圖目錄

圖 1. 研究流程圖.....	4
圖 2. Köppen 氣候分類系統圖.....	5
圖 3. 辦公大樓空調能耗比較 (Chan, 2011)	9
圖 4. 測點相對位置與分布圖.....	14
圖 5. 測點周邊環境土地覆蓋及使用的量化過程.....	15
圖 6. 微氣候實測設計示意圖.....	15
圖 7. 研究中所建構的基本大樓住宅建築型式.....	16
圖 8. 測點 A~C 及氣象站的逐時氣溫曲線.....	20
圖 9. 測點 D~F 及氣象站的逐時氣溫曲線	21
圖 10. 測點 G~I 及氣象站的逐時氣溫曲線	21
圖 11. 測點及氣象站的每日平均溫、最高及最低氣溫平均值範圍.....	22
圖 12. A 點逐時氣溫的實測值與預測值的比較。.....	24
圖 13. A 測點逐時相對濕度實測值與預測值的比較。.....	25
圖 14. 建築物耗能差異與各地點外氣溫差之關係，以 I 測點為基準。.....	26
圖 15. 各測點自然通風住宅客廳的 H_e 值與外氣溫差關係.....	29
圖 16. 各測點自然通風住宅主臥室的 H_e 值與外氣溫差關係.....	30
圖 17. 各測點自然通風住宅客廳的 W_e 值與外氣溫差關係	30
圖 18. 各測點自然通風住宅主臥室的 W_e 值與外氣溫差關係	30
圖 19. A 點逐日平均氣溫的實測值與預測值的比較。.....	36
圖 20. 各測點與氣象站住宅耗能模擬值之差異。.....	37
圖 21. 各測點與氣象站住宅客廳的 H_e 模擬值之差異。.....	39
圖 22. 各測點與氣象站住宅主臥室的 H_e 模擬值之差異。.....	39
圖 23. 各測點與氣象站住宅客廳的 W_e 模擬值之差異。.....	40
圖 24. 各測點與氣象站住宅主臥室的 W_e 模擬值之差異。.....	40

表目錄

表 1. 模擬基本住宅建築結構材料及空調系統的設定項目	16
表 2. 各測點與氣象站逐時氣溫數據彙整，單位 $^{\circ}\text{C}$	19
表 3. 各測點的 T_m 、 $T_{\max,m}$ 、 $T_{\min,m}$ 、 RH_m 、 ΔT_m 、 $\Delta T_{\max,m}$ 及 $\Delta T_{\min,m}$ 數值	23
表 4. 各測點每月的 αT_m 及 αs_m 計算數值	24
表 5. 各測點氣溫與相對濕度之實測及預測值的誤差分析(假設 $y=ax+b$).....	25
表 6. 住宅於各地點的總空調耗電量模擬及其誤差值(七至十月份).....	26
表 7. 各測點自然通風客廳的 He 值和 We 值彙整.....	27
表 8. 各測點自然通風臥室的 He 值和 We 值彙整.....	28
表 9. 各測點周邊土地覆蓋與利用型態組成統計表.....	31
表 10. Morphing approach 過程之重要微變量參數.....	32
表 11. ΔT_m 與各項 LCLU 因子之相關性分析 (當 $y=ax+b$)	32
表 12. 逐步迴歸模式變數篩選概要.....	32
表 13. 各自變數間的相關係數表.....	33
表 14. αT_m 與各項 LCLU 因子之相關性分析 (當 $y=ax+b$)	33
表 15. 逐步迴歸模式變數篩選概要.....	34
表 16. αs_m 與各項 LCLU 因子之相關性分析 (當 $y=ax+b$).....	34
表 17. 以各測點 LCLU 型態組成推估之氣候微變參數	35
表 18. 各測點逐時氣溫的實測值與預測值之誤差分析.....	36
表 19. 以氣候實測值及預測值模擬之總空調耗電量比較 (七至十月份).....	37

第一章 研究緣起

根據聯合國的資料 (Department of Economic and Social Affairs, 2015) 指出，全球居住在都市的人口已於 1950 年的 30%，增至 2014 年的 54%，而在台灣約有高達 70% 的人口居住於都市。隨著城市規模的擴大，都市熱島效應的情形日益顯著。林憲德等人 (1999) 的調查中指出，台灣前三大城市台北、台中和高雄的熱島強度分別達 4.5℃、3.2℃、2.7℃。日趨嚴重的熱島效應加上全球暖化使得都市微氣候益加惡化，也導致都市住宅的自然通風效益不佳或需提高空調耗能來改善室內舒適性，這讓建築師在進行設計時面臨更嚴峻的挑戰。

過度的人為開發是造成都市熱島效應的主要因素，而影響都市微氣候的主要因子包括天空可見率、鋪面反照率、綠覆率、建築物及街道高寬比、各種土地利用型態等。其中，土地覆蓋及使用(land cover and land use)型態組成也許是一個能直接改善都市微氣候的指標性因素。而現今的城市發展日益巨大化，都市區域擴張，土地利用價值高；因此，如何透過都市規劃針對土地利用及覆蓋型態進行整合，改善都市微氣候環境，進而降低建築物耗能及創造舒適的室內空間，實為一項重要課題。

目前，不論是在學術研究或實務操作，建築環境模擬軟體是評估建築耗能及空間舒適性最方便且實用的方式，而氣象數據是其中進行模擬的重要資訊之一。現今的標準氣象年資料，主要是透過各區域氣象站取得的數據所建立。然而，一座都市通常僅有一座氣象站，且周邊環境與都市高度開發區域有所差異；同時，在城中心區域，由於自然環境改變、人工構造物、高蓄熱鋪面、機具排熱等問題所形成的「熱島效應」益加嚴重。顯著的都市微氣候差異及變化，使得以氣象站數據為基礎的標準氣象年資料，已逐漸不適合準確地進行建築物熱環境解析。



第二章 研究目的

有鑑於為了協助設計者達到創造節能及舒適住宅環境的目標，除了深入了解各項都市環境因子與都市微氣候的相關性，及戶外氣候對建築物能耗與室內熱環境的影響程度，建構一套可用來進行建築環境模擬且可信度高的都市氣候預測數據，實有其必要性及迫切性。因此，研究目的如下列四點：

- (1) 進行都市環境調查及微氣候實測，並進行住宅熱環境解析，探討微氣候對住宅能耗及熱舒適之影響。
- (2) 應用 Morphing approach 建立都市逐時氣候數據之預測模型，並解析該方法在熱溼氣候區的適用性。
- (3) 整合都市土地覆蓋及利用型態因子及考量都市微氣候變化的逐時氣候預測模型。
- (4) 進行都市住宅熱舒適及耗能模擬，進一步比較分析並評估逐時氣候預測模型應用之可行性，做為建築能源管理及都市計畫未來擬定都市永續發展策略之參考資料。

基於氣候變遷等環境因素前提下，都市的永續發展更應該由整體規劃出發，發展以土地、建築、氣候、能源及熱舒適之環境調適策略。本研究其重要性有二：

1. 應用預測方法，解析氣候影響

本研究中以實測建立基本氣候數據庫，並應用 Morphing approach 進行都市中各區域測點逐時氣候數據的預測，並以建築全環境能耗解析軟體進行解析，加以探討微氣候對住宅熱環境的影響，對於未來建築能耗模擬及熱舒適性評估將有相當幫助。

2. 整合環境因子，整合預測模式

本研究中亦將都市環境及土地規劃層面納入研究範疇中，將都市環境因子納入預測模式之中加以整合，使都市氣候預測模式更具操作

性及實用性。

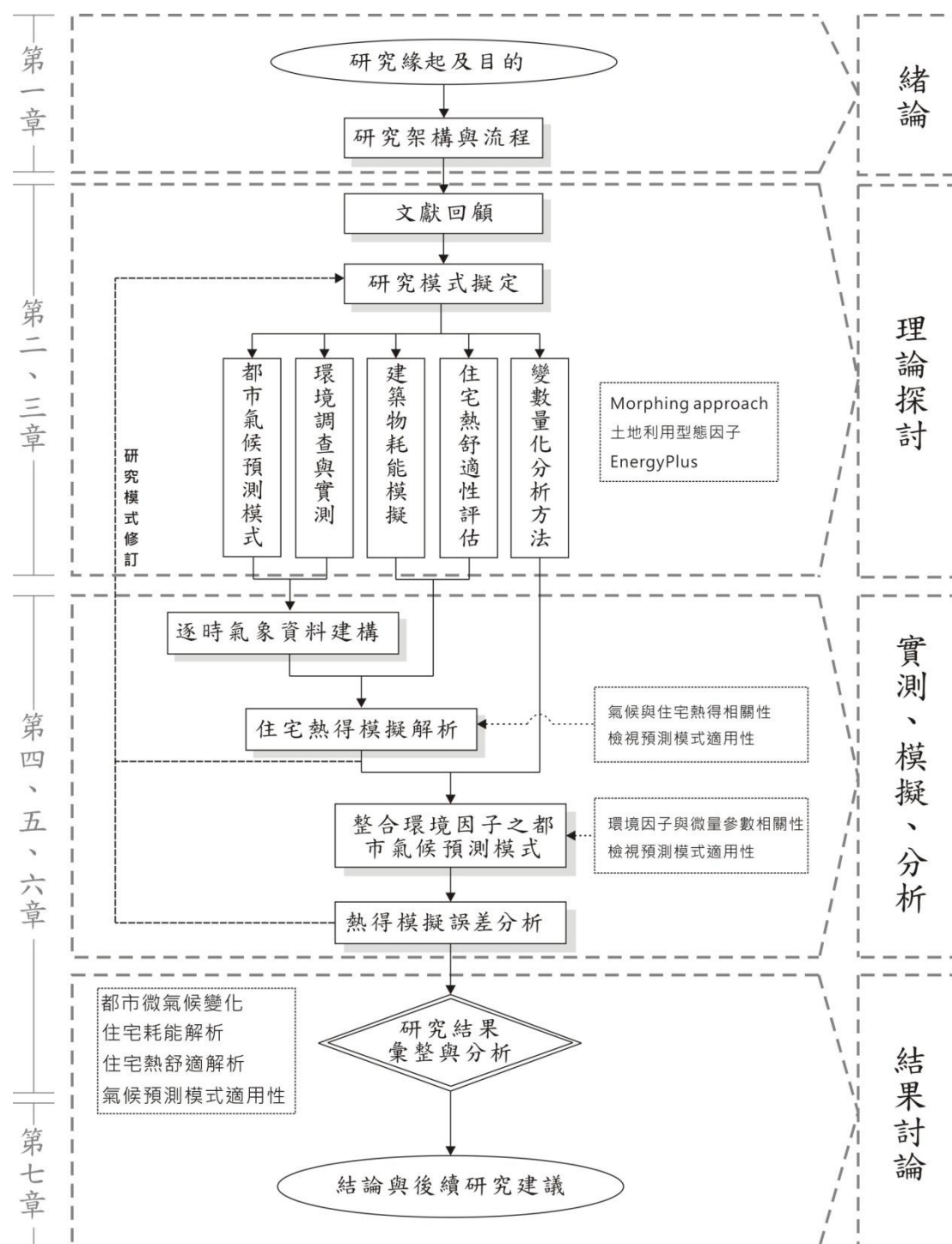


圖 1. 研究流程圖

資料來源：本研究繪製

第三章 文獻探討

1. 微氣候及都市熱島效應

氣候影響著建築熱環境及耗能，同時也是影響建築造型設計的主要原因之一，寒帶氣候著重於保溫設計，而熱帶氣候著重於遮陽設計，也因此形成不同的城鄉風貌。影響氣候的因子有其地域性及特殊性的關係，台灣處於亞熱帶氣候區，但在 Köppen 氣候分類系統中即分為四個不同的氣候區位，如圖 2 所示。

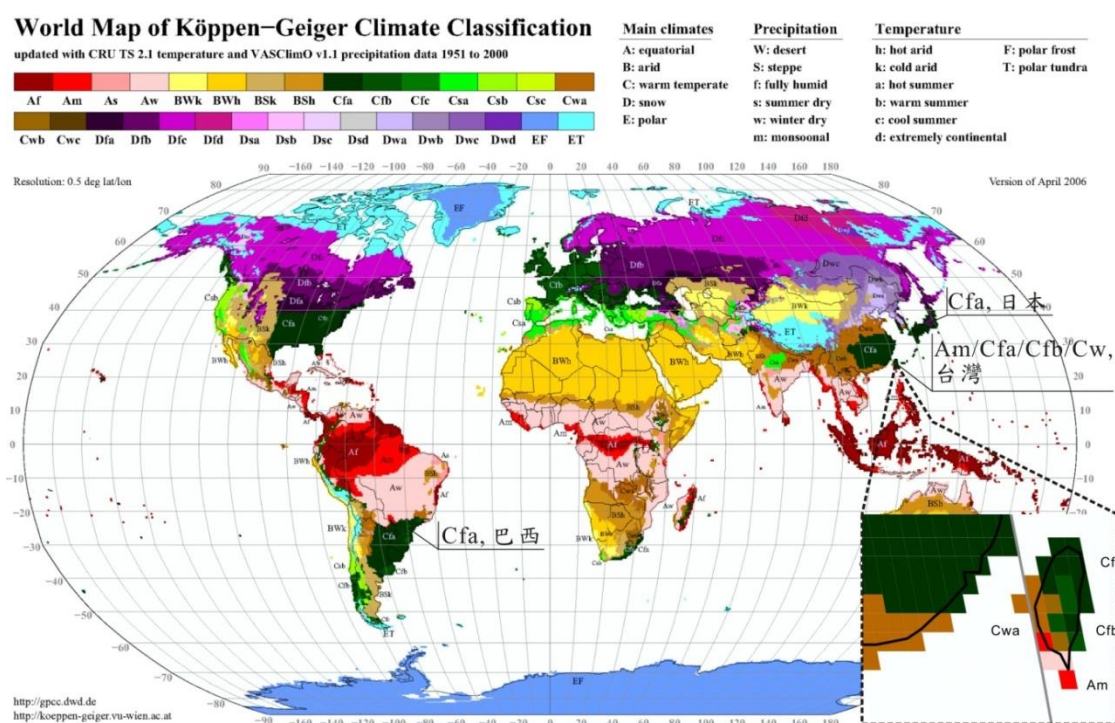


圖 2. Köppen 氣候分類系統圖

資料來源：(Köppen, 1936)

在城市，由於人口集中、工商發達、交通擁塞、大氣污染嚴重，且城市中大多為高熱傳導率及高熱容量的建築與鋪面構造物，加上來自大量燃燒石化燃料的大量熱源。如此溫暖化的都市在周遭低溫郊區的背景襯托下，有如一座發熱般的島嶼，其發熱量在都心區域產生上升氣流，再由四周郊區流入冷流補充氣流，使都心區呈現日漸高溫化的現象，這種現象在氣象學上稱之為「都市熱島 (Urban Heat Island)」(孫振義，2003)。

Luke Howard (1818) 早在1818年發行了第一本關於都市氣候的專書，更於1833 年首度提出「都市熱島效應」這理論，他提出都市溫度經常會高於周圍郊區溫度的實證研究 (Landsberg, 1981)。而在 Luke Howard 之後，都市高溫化的現象陸續被證實，同時一些關於都市熱島效應的特性也在許多國家的村落、城鎮及城市進行研究，並得到相關印證。透過實測研究發現，都市熱島強度最低也有2°C的差異，而最高曾達12°C。熱島效應主要是由都市化所引起的，建築物、道路和人工鋪面在白天會儲存熱氣，然後在晚上時候會緩慢釋放它，使都市土地比周遭地區還要熱 (Jusuf PR et al., 2006)。

2. 都市微氣候及熱島效應的影響因子

每個國家的地理區位及季節氣候不盡相同，因此各國所針對都市微氣候影響因子的相關研究也多有差異，大致上依調查尺度的不同可分為「都市型」及「街廓型」研究。在 Haider Taha (1997) 於世界各大都市的低空測量暨氣候模擬研究，以及 H. AKBARI 等人 (2001) 於美國各大都市的調查研究中，顯示植栽綠化、人造鋪面、建築物及鋪面反照率等，對都市溫度、空氣品質影響重大，進而對能源的消耗有直接的影響。在 N.H. Wong (2007) 於新加坡大學的實測暨電腦模擬研究中顯示，人工構造物將造成高溫的熱點分布，而植栽綠化及其面積大小對於微氣候的改善有重大貢獻。Janet Nichol 等人 (2005) 在香港的衛星熱感模擬研究中，進行地表覆蓋現況及都市熱島效應的相關性分析，顯示植栽綠化及建築陰影對都市有降溫效果。在 Eduardo Krüger (2007) 於巴西庫里奇巴市的戶外實測暨溫度比較研究中指出，土地利用組成對都市區域溫度有所影響。研究計算出的迴歸方程式(1)進一步顯示，不同地點最高溫的平均值(Avg_{Max})呈現出各測點環境的差異，人工鋪面(Paved)及建築物(Built)提高最大值，空地(Open) 及綠化植栽(Green)會降低最大值，海拔高度(Alt)也有一些影響。

在台灣，都市微氣候及熱島效應的研究，針對都市尺度及街廓尺度應用了包括移動實測、定點實測、衛星遙測等不同的調查方法。李魁鵬等人 (1999) 針對台灣四大都會區的移動實測研究中，比較不同

都會區的熱島效應特性，結果顯示台中、台南和高雄的最大熱島強度出現在晚上，分別為 3.2°C、4.4°C 和 3.4°C，台北則是在中午，其值高達 4.9°C。吳崇銘（2006）於台中市針對公園對於周圍街廓熱環境影響的研究發現，樓地板密度、空地與道路密度、建蔽率與溫度呈現正相關，而綠覆率與溫度呈現負相關。作者（2009）針對台中市不同土地利用型態進行微氣候定點實測的前期研究中，結果顯示建築物型態(Ba)與氣溫呈正相關，是為影響都市高溫化的主要因素，未使用土地型態(Fa)、植栽綠化型態(Ga)、水域型態(Wa)與氣溫呈負相關，其中未使用土地型態面積比例能夠有效改善都市環境溫度，而植栽綠化能夠緩和各時段最高溫的發生情形。

3. 標準氣象年

除了建築設計之外，外部氣候與建築物熱環境的優劣關係密切，因此在進行建築物耗能解析時需設定確切的氣象要素，如此才得以反映出建築物真正的熱負荷情形。標準氣象年(Typical Meteorology Year, TMY) (M. William et al., 1995)，是由逐時的氣象資料組成一年(8760 小時)的假想氣象年，被用來作為 DOE-2 (Winkelmann et al., 1993)、EnergyPlus (D. B. Crawley et al., 2001)、TRNSYS (University of Wisconsin, 1979) 等建築能源模擬解析程式的必要參數，以計算建築物全年熱負荷及空調用量。台灣所應用的 TMY2 (林憲德等人, 2005) 及 TMY3 (智慧綠建築資訊網)，即是以台北、台中、高雄三地之一級測站本土實測氣象數據，採用美國再生能源實驗室(NREL)於 1995 年公布的 Sandia Method 所建立之標準氣象年。

標準氣象年是基於各地區氣象站長期資料所建立之數據資料，因此在建築物耗能模擬解析的過程中，透過不同標準氣象年的設定，即可呈現出不同地區氣候環境對於建築物之影響。Wan et al. (2011) 以標準氣象年針對中國五個大城市進行耗能預測模擬，研究結果發現哈爾濱建築總耗能比平均值少 4.2%，而香港多 4.3%。該研究中也顯示，北京及上海的制冷及制暖一樣重要，2001-2100 年平均每年耗能將比 1971-2000 年分別高出 0.8% 及 0.7%。

建築物能源消耗及舒適性的相關模擬預測軟體，在規劃過程中日益重要。然而，目前提供給建築模擬使用的標準氣象資料不適合用來評估氣候變化的潛在影響，特別是夏天過熱的風險(Jentsch et al., 2008; Hui et al., 2005)。為了建立適當的未來氣象數據，學者們基於 UK Climate Projections (UKCP09) 的 Weather Generator (WG)發展出許多方法，包括 COPSE, PROCLIMATION, PROMETHEUS, Morphing methodology 等等。

英國皇家建築設備工程師學會(Chartered Institution of Building Services Engineers; CIBSE)提出的「Morphing methodology」(M Eames et al., 2010; Anastasia Mylona, 2012)是以大尺度氣候為基準建立統計模型，透過時間序列進行調整的一種降尺度方法，可基於現有氣候數據庫推估城市未來百年的典型氣象資料。Chan (2011)在香港應用 Morphing approach 建構出考量熱島效應的未來逐時氣象數據，藉此模擬熱島效應對於建築物耗能的影響。

4. 戶外氣候對建築物能耗及熱舒適的影響

鑑於全球氣候變遷的議題，戶外氣候變化對建築物能耗及室內熱舒適的影響更成為近年各國學者熱門的研究課題(Danny H.W. Li et al., 2012)。Humphreys (1978)的研究中指出，戶外氣溫與室內舒適有一個顯著的線性關係。Kolokotroni (2006)發現熱島效應常常是低估市區建築能耗的一項重要因素，例如在英國位於郊外的辦公建築冷氣能耗僅是在市區中的 84%。Jusuf et al. (2007)模擬在受熱島效應影響時，美國各大城市的辦公建築所產生的耗能差異，顯示熱島效應使市區氣溫比郊區平均高了 2°C，也導致建築物的冷氣能耗增加了 17.25%。

在澳洲，Ren et al. (2012)針對都市，郊區及都市-綠化三種區域的建築物進行熱性能模擬。結果顯示綠地可讓市中心的最高氣溫降低了 0.8°C，同時可將建築物熱壓力風險程度(heat stress risk level)從"嚴重"減緩至"中等"。Oxizidis et al. (2008)指出里斯本的都市熱島效應使得市中心建築物的暖氣能耗低於郊區。

Wong et al. (2007) 在新加坡的研究中發現，在同一所大學校園中的微氣候變化仍可使得建築能耗有 2.3%-14.3% 的差異。Wong et al. (2011) 也指出，不同的街廓設計對於都市氣溫有一個 0.9-1.2°C 的影響程度，善加規劃城市街廓可使建築物的冷氣耗能減少 5-10%。Chan (2011) 的研究中分別以氣象年資料及修正後氣象數據進行空調能耗模擬，結果顯示在香港市區的住宅比郊區多增加約 10% 的冷氣耗能；辦公大樓的空調能耗模擬之差異如圖 3 所示。

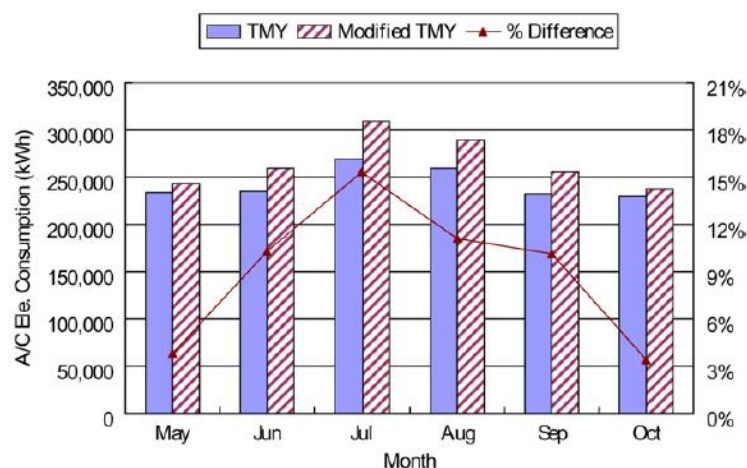


圖 3. 辦公大樓空調能耗比較 (Chan, 2011)

資料來源：本研究繪製



第四章 研究方法

本研究首先透過實測的方式取得氣溫及相對濕度等氣候參數，以台中市為研究對象透過 Morphing approach 建構出都市逐時預測氣候數據，並將之與實測數據進行比對誤差分析。同時，藉由建築物全耗能模擬軟體解析，以探討都市微氣候與住宅耗能及室內空間熱舒適性的關係。其次，考量都市環境因子於氣候的影響，研究中進一步將土地利用型態環境因子整合至都市預測氣候模式，以其建構出之逐時數據及建築熱得模擬結果探討其適用性。

1. 都市氣候預測模式

當今建築熱性能評價，以來自氣象站的逐時(hourly)氣象資料為基礎，藉由建築全能耗分析軟體 EnergyPlus、DOE-2、eQUEST、ECOTECT 等，進行建築物的耗能模擬來達成的。標準氣象年資料是透過氣象站取得，但一個城市通常最多僅設置一座氣象站，且氣象站位置經常位於郊區、城市邊緣或大面積公園內，與市中心環境大相逕庭。因而要取得都市中任何一點的逐時微氣候資料並不是那麼容易，這導致標準氣象年的資料始終與實際都市的氣候環境有部份誤差，也因而影響建築物耗能及熱環境模擬解析的結果。

Morphing approach (S. E. Belcher et al., 2005) 就是基於考量未來氣候變化而發展出的一套未來氣候數據預測模式，依此建構出逐時氣象資料提供建築熱環境模擬應用。這個方法以氣象站資料作為基準值(baseline climate)，參考了 CIBSE Guide J 中的氣象因子及 UKCIP02 中的氣候變異量。其中，包括三項基本的運算：a. 平移(shift)；b. 線性伸縮(linear stretch)；c. 結合平移及線性伸縮，如公式(1)~(3)。

$$x = x_0 + \Delta x_m \quad (1)$$

其中， Δx_m 是 m 月份氣候變數月平均值的絕對變化，而經由 Δx_m 的平移轉換與每個月的氣候變化有關。新的氣候變數每月平均值為 $\langle x \rangle_m = \langle x_0 \rangle_m + \Delta x_m$ 。

$$x = \alpha_m x_0$$

(2)

其中， α_m 代表 m 月份月平均值的微小變化，這個方法將月平均值表示為 $\langle x \rangle_m = \alpha_m \langle x_0 \rangle_m$ ，而變異數變為 $\langle \sigma^2 \rangle_m = \alpha_m^2 \langle \sigma_0^2 \rangle_m$ 。

$$x = x_0 + \Delta x_m + \alpha_m \times (x_0 - \langle x_0 \rangle_m) = \langle x_0 \rangle_m + \Delta x_m + (1 + \alpha_m)(x_0 - \langle x_0 \rangle_m)$$

(3)

所針對的氣候變數，在結合平移(shift)及線性伸縮(linear stretch)後，新的月平均為 $\langle x \rangle_m = \langle x_0 \rangle_m + \Delta x_m$ ，而變異數變為 $\langle \sigma^2 \rangle_m = \alpha_m^2 \langle \sigma_0^2 \rangle_m$ 。

本研究中，是以氣溫及濕度作為建構逐時氣象資料的主要修正因子，這兩項氣候變數在 Morphing approach 中所使用的公式如下：

$$T = T_0 + \Delta T_m + \alpha T_m (T_0 - \langle T_0 \rangle_m)$$

(4)

$$\alpha T_m = \frac{\Delta T_{\max, m} - \Delta T_{\min, m}}{\langle T_{0 \max} \rangle_m - \langle T_{0 \min} \rangle_m}$$

(5)

$$s = s_0 \times \alpha s_m$$

(6)

$$\alpha s_m = 1 + \text{SPHU}_m / 100$$

(7)

其中， T_0 代表氣象站所取得的每小時郊區環境乾球溫度數據； $\langle T_0 \rangle_m$ 代表 m 月份的環境乾球溫度的月平均值。 $\langle T_{0 \max} \rangle_m$ 及 $\langle T_{0 \min} \rangle_m$ 分別代表 m 月份的每日最高及最低環境乾球溫度的月平均值。 ΔT_m , $\Delta T_{\max, m}$ 及 $\Delta T_{\min, m}$ 分別代表在氣象站與市中心之間，每月平均環境乾球溫度、每日最高溫度及每日最低溫度的差異； αT_m 代表 m 月份的月平均溫度差異的微小變化。 s 及 s_0 代表市區及氣象站的每小時比濕度； SPHU_m 是 m 月份的月平均比濕度變化比率； αs_m 代表

m 月份的月平均比濕度差異的微小變化。

本研究中，以 Morphing 方法建構完逐時氣象數據後，將針對實際數據及模擬數據進行比較誤差分析，所採用的方法包括決定係數(coefficient of determination; R^2)、一致性係數(index of agreement; IA)、平均偏差(mean absolute bias error; MBE)、平均絕對偏差(mean absolute bias error; MABE)、均方根誤差(root mean square error; RMSE)等(盧信忠，2009；廖大經等人，2013)。

2. 都市環境調查與氣候實測

本研究是以台中市作為研究對象。台中市位於台灣中部($24^{\circ}15'N; 120^{\circ}40'E$)，氣候環境較為適中，然而其氣溫逐年上升幅度是台灣各都市中最高的，達 $+0.40^{\circ}C/10$ 年。台中市人口數約 270 萬，在都市土地使用分區上主要是朝向住宅及商業、辦公混合的方式發展。都市由火車站向新興擴展區發展。舊市區的建築物多為 5F 以下建築物，新興擴展區的多為 6~15F 的集合住宅、也有為數不少的 16F 以上的高層建築物分布在新興區的主要道路兩側。在氣候方面，台中市位於亞熱帶氣候區，近 30 年的平均年均溫為 $23.3^{\circ}C$ ，最高月均溫發生在七月份，近 30 年的七月月均溫為 $28.6^{\circ}C$ ，夏季都市熱島效應強度約為 $2.7^{\circ}C$ (Central Weather Bureau, 2010)。

本研究應用了 Morphing 的方法建立都市預測氣象資料，主要是以台中氣象站數據做為標準資料(baseline)，並取得都市局部氣候的氣溫及濕度數據進行差異性修正。研究中，以長期實測的方式取得各測點的逐時氣溫及濕度數據，並進一步計算出 ΔT_m 、 $\Delta T_{max,m}$ 、 $\Delta T_{min,m}$ 及 $SPHUm$ ，以便後續基於 Morphing 方法建構都市微氣候的逐時預測資料。

(1) 測點環境調查

研究中選取 A~I 共 9 個測點進行氣候實測。圖 4 顯示出各測點在台中市由市區至郊區的相對位置，並進一步敘述測點周邊環境及土地使用情形。各測點的選擇基於下列原則：a.測點分布範圍涵蓋市中心

區及郊區；b.預期各測點有不同程度的熱島效應。此外，為了後續數據分析的準確性，亦考量交通量影響、街道座向、街道及建築物高寬比（H/W）、天空可視角（SVF）等影響變數的一致性。

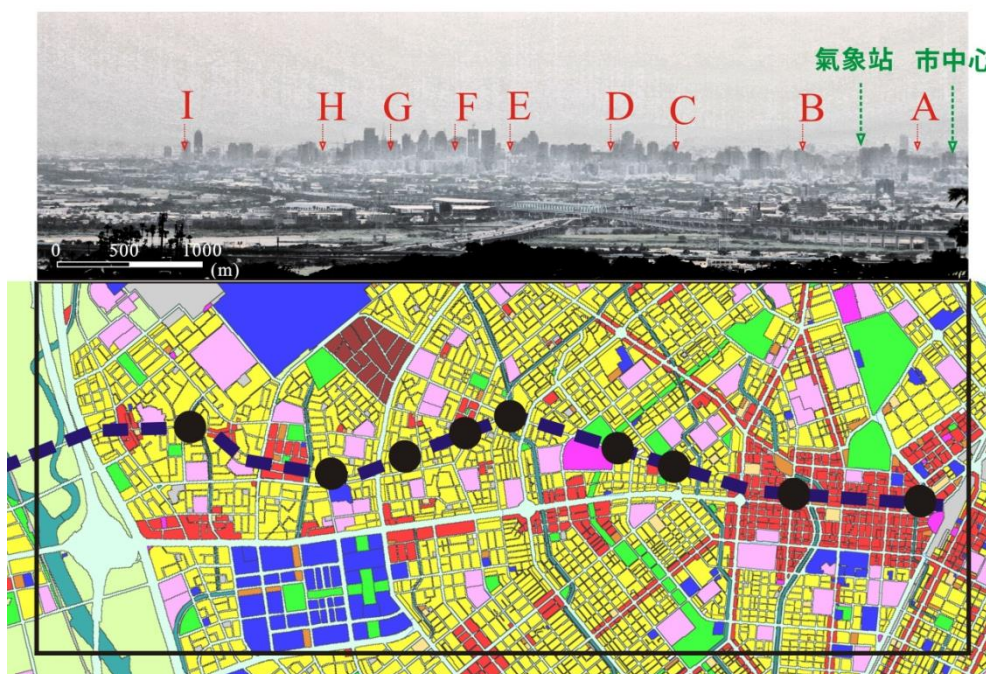


圖 4. 測點相對位置與分布圖

資料來源：本研究繪製

研究中將實測地點周邊環境的土地覆蓋及使用型態情形，透過環框分析及量化統計的方式進行彙整，以便進一步瞭解都市氣候與土地覆蓋及利用型態的相關性。本研究中將土地覆蓋及使用型態分為建築物、人工鋪面、空地、植栽綠化及水域五種因子。此外，為求取更精確的探討建築物與都市微氣候的關係，研究中亦彙整環框範圍內建築物的平均樓層數及總樓地板容積比，以探討建築物的實際興建規模與都市微氣候的關係。

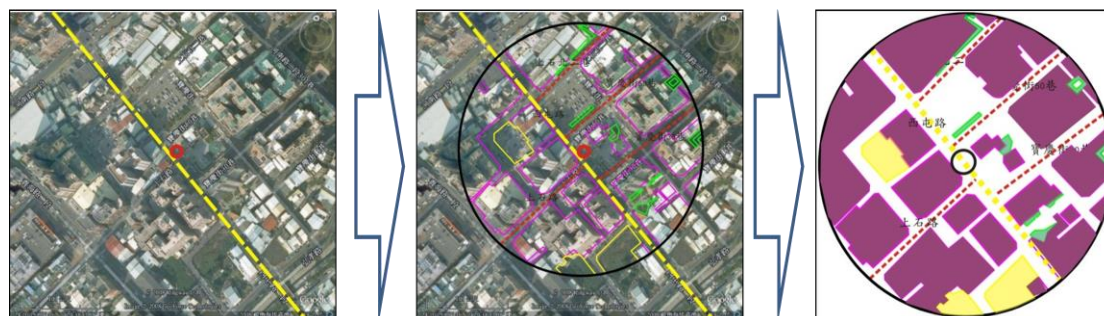


圖 5. 測點周邊環境土地覆蓋及使用的量化過程

資料來源：本研究繪製

(2) 都市氣候實測

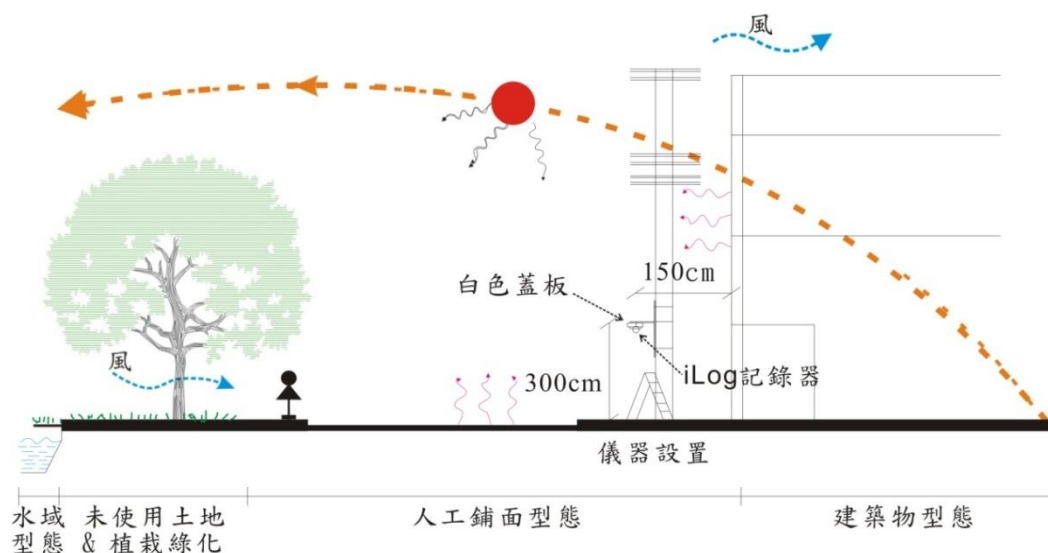


圖 6. 微氣候實測設計示意圖

資料來源：本研究繪製

各測點的都市氣候實測逐時數據是透過 ESCORT iLog 氣溫溼度紀錄器 (Cryopak, 2013) 的全日連續性紀錄而取得，以七月至十月的炎熱季節期間作為實際量測時間，儀器設置情形如圖 6 所示。

3. 建築物耗能模擬

本研究為了探討都市微氣候對住宅熱環境及空調能耗的影響，將以建築物全耗能模擬軟體 EnergyPlus 進行使用空調時的冷氣能耗計算，以及採用自然通風的室內熱環境模擬解析。EnergyPlus (D. B. Crawley et al, 2001) 是由美國能源部 (Department of Energy; DOE) 主導和勞倫斯柏克利國家實驗室 (Lawrence Berkeley National Laboratory; LBNL) 共同開發的一套建築物全能耗分析軟體，此軟體結合 DOE-2 和 BLAST 兩種運算程式的優點。將建築物模型建立之後，配合氣候資料、電器設備及使用情境設定，可透過熱平衡計算加以模擬空間熱環境及耗能量。其模擬操作過程包括下列幾個項目：(1) 建築物模型

之建立、(2) 逐時氣候參數之選擇及轉檔匯入、(3) 建築物構造材料及空間使用情境設定、(4) 選擇計算項目及 (5) 模擬結果輸出。

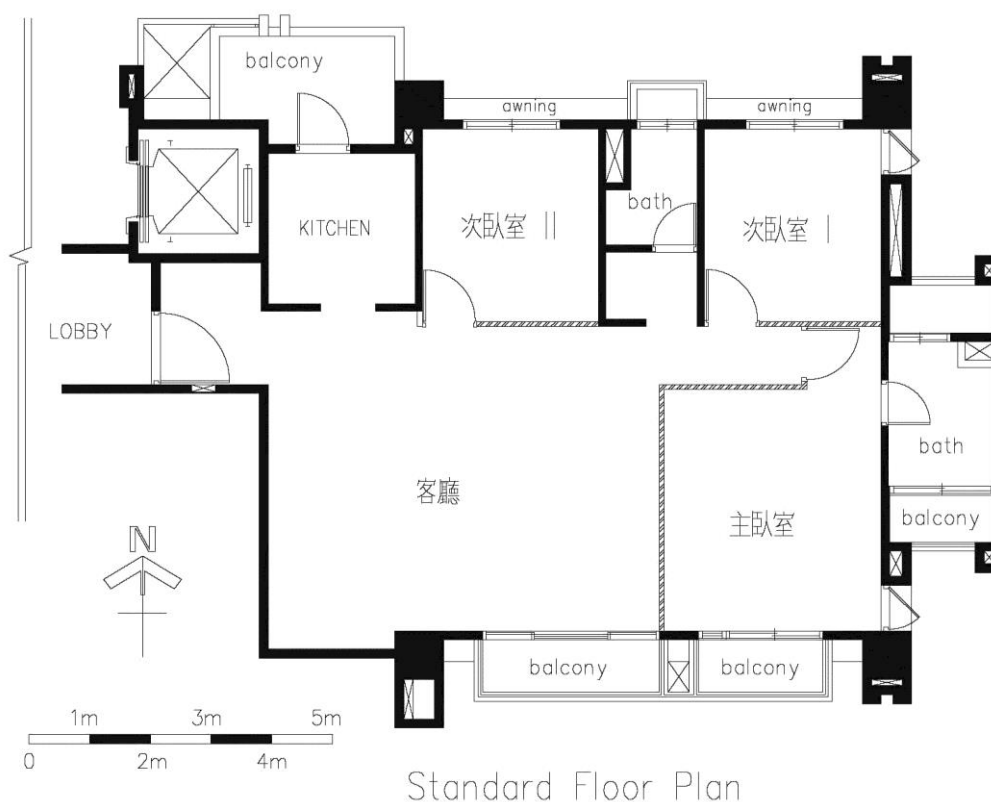


圖 7. 研究中所建構的基本大樓住宅建築型式

資料來源：本研究繪製

表 1. 模擬基本住宅建築結構材料及空調系統的設定項目

項目	設定內容
外牆構造	5 mm 馬賽克磚 (outer layer)
	10 mm 水泥砂漿
	150 mm 重混凝土
	10 mm 水泥砂漿 (inner layer)
總樓地板面積	90 m ² /flat
設備耗能強度	140 W/room
照明耗能強度	8 W/m ²
室內設計溫度	28°C
居住強度	4 persons/flat
空調設備操作時間	7:00pm to 11:00pm (客廳)
	8:00pm to 8:00am (臥室)

性能係數 C.O.P.

3.0

資料來源：本研究彙整

在建築物模型建立的部分，設定為台灣最為普遍的大樓住宅型式，並以基本的住宅單元進行空調能源消耗模擬及室內熱舒適性評估。圖 7 顯示做為模擬對象的大樓住宅範例：樓板面積為 90m²，包含 1 間客廳、1 間主臥室及 2 間次臥室。屬南北座向，利用陽台或水平遮陽板做為門窗的外遮陽。

在逐時氣象數據部分，通常是採用參考一級氣象站所製作的標準氣象年資料 TMY2 進行匯入，而本研究分別以台中氣象站資料、各測點氣象實測數據及都市氣候預測數據建立 EPW 檔，提供氣象數據匯入程式中進行模擬，以反映出各測點長期氣候變動的特性。

4. 建築物熱舒適性評估

在住宅空間熱舒適評估方面，ASHRAE 55 (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering, 2004) 及 CEN Standard EN 15251 (CEN, 2007) 是近年來常用的兩種熱適應模型及舒適溫度規範，藉以改善自然通風或混合通風的室內空間環境品質。依據 Hwang 和 Shih 等人 (2013; 2014) 的實測研究中指出，以熱舒適預測範圍的上限溫度進行比較時，ASHRAE 55 的預測值顯然較低，而台灣民眾可接受溫度上限是較接近 EN 15251 裡的熱適應模式預測數值；同時，比起 ASHRAE 55 所規範的 90% 及 80% 舒適範圍，EN 15251 的第一及第二種舒適範疇與實地調查更為一致。因此，本研究採用 EN 15251 的熱適應模式進行案例住宅的熱舒適評估。

EN 15251 的熱適應模式中考量了舒適溫度與使用者過去熱感受經驗的關係，以指數加權系統函數呈現出近期溫度對舒適溫度的影響程度 (F. Nicol et al., 2010)。基於實測數據分析，EN 15251 針對非空調建築物建立出最佳舒適溫度 (T_c) 與室外氣溫的可變動平均關係式 (T_{rm})，如公式(8)和(9)；同時藉此關係式定出滿意度 90%、80% 及 65% 三種熱舒適範疇，其範圍分別為： $T_c \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $T_c \pm 3^\circ\text{C}$ 及 $T_c \pm 4^\circ\text{C}$ 。本研究中是以較適用於一般新建築物的第二種舒適範疇作為標準，如

公式(10)。

$$T_c = 0.33 \times T_{rm} + 18.8 \quad (8)$$

$$T_{rm} = (T_{-1} + 0.8 \times T_{-2} + 0.6 \times T_{-3} + 0.5 \times T_{-4} + 0.4 \times T_{-5} + 0.3 \times T_{-6} + 0.2 \times T_{-7}) / 3.8 \quad (9)$$

$$T_{\max} = 0.33 \times T_{rm} + 21.8 \text{ for } 25 \leq T_{\max} \leq 32^\circ\text{C} \quad (10)$$

其中， T_c 是最理想舒適溫度； T_{rm} 代表前七天的外氣變動平均溫度， T_{-1} 是前一天的外氣平均溫度($^\circ\text{C}$)， T_{-2} 是前二天的外氣溫度($^\circ\text{C}$)，餘此類推； $T_{\max}$ 是本研究做為舒適溫度標準的上限值。

關於長期(long term)的室內熱環境舒適評估，研究中採用 ISO 7730 (International Standards Organization, 2005) 所建議採用的過熱時數 (Hours of Exceedance; H_e)及過熱嚴重度 (Weighted Exceedance; W_e)兩種新準則。其中，過熱嚴重度主要適用於呈現出空間的過熱嚴重程度，可說是比過熱頻率更加重要。其定義為：

在空間使用期間，實際操作溫度超出舒適範圍的時數，進一步透過加權係數的計算，以同時考量溫度上升及其過熱持續時間的函數來呈現出空間過熱的嚴重程度。當 t_o 等於 $t_{o, limit}$ 時，此加權係數 (wf) 等於 1。其計算方式如下：

$$wf = 1 + \frac{|t_o - t_{o, limit}|}{|t_{o, optimal} - t_{o, limit}|} \quad (11)$$

其中， t_o 為操作溫度， $t_{o, optimal}$ 為最佳舒適溫度 T_c ， $t_{o, limit}$ 為舒適溫度範圍上限值 T_{up} 。研究中針對一年中典型的溫暖季節期間，將加權係數與時間 (t) 相乘積並加總，其計算方式及限制如公式(12)。

$$\sum wf \cdot t \quad \text{for } t_o > t_{o, limit} \quad (12)$$

第五章 研究結果

1. 都市氣候數據預測模式之應用

本研究中，應用 Morphing approach 建立台中市逐時氣候數據之預測模型，並解析該方法在台灣之適用性。首先，經由取得台中氣象站氣象資料，以及長期實測所建立的都市區域基本氣候數據庫，建立台中市逐時的預測氣候數據；其次，檢討逐時氣候預測值與實際值之誤差，以探討 Morphing approach 於台灣本土氣候應用之可行性。

(1) 建立實測氣候數據庫

研究中選取一年之中較炎熱的月份進行長期監測，透過實測方式建立都市中各測點的逐時氣溫及相對濕度數據庫，再彙整出逐日及逐月的氣候資料，初步探討各測點及氣象站氣候數據之差異性。表 2 彙整了實測期間各測點與氣象站的逐時氣溫數據，其中 B 測點逐時氣溫較高，介於 23.4~39.6℃ 之間，其次為 F 點；D 測點逐時氣溫相對較低，介於 22.9~38.6℃ 之間，其次為 H 點。各測點逐時氣溫與台中氣象站之比較，最大值較高約 3.5~4.5℃，最小值較高約 0.5~1.3℃。

表 2. 各測點與氣象站逐時氣溫數據彙整，單位℃

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	氣象站
最大值	39.0	39.6	38.9	38.6	39.3	39.2	39.0	38.6	38.9	35.1
中位數	28.8	29.3	28.8	28.6	28.8	29.2	29.0	28.4	29.0	27.6
最小值	23.1	23.4	23.0	22.9	22.7	23.1	23.2	22.6	22.9	22.1
平均值	29.4	29.9	29.4	29.1	29.5	30.0	29.7	29.1	29.4	27.8
標準差	3.1	3.2	3.1	3.0	3.4	3.4	3.2	3.3	3.0	2.6

資料來源：本研究彙整

研究中也彙整了實測期間各測點與氣象站的逐時相對濕度數據。整體而言，H 測點逐時相對濕度較高，介於 62.4~95.2% 之間，其次為

F 點；G 測點逐時相對濕度較低，介於 57.9~94.4%之間，其次為 B 點。各測點逐時相對濕度與台中氣象站之比較，最大值較低約 0.6~1.6%，最小值較低約 5.5~10%。

圖 8~10 分別呈現出各測點與氣象站於 8/15~8/22 間的逐時氣溫與逐時相對濕度。實測結果顯示，各測點與氣象站取得之逐時氣溫有相似的升降趨勢，但氣象站資料仍明顯低於各測點實測數據，特別是於中午及午夜時段；而各測點與氣象站取得之逐時相對濕度的升降趨勢大致相似，而 A、B、C 及 G 等部分測點之實測數據明顯低於氣象站資料，特別是於午夜時段。

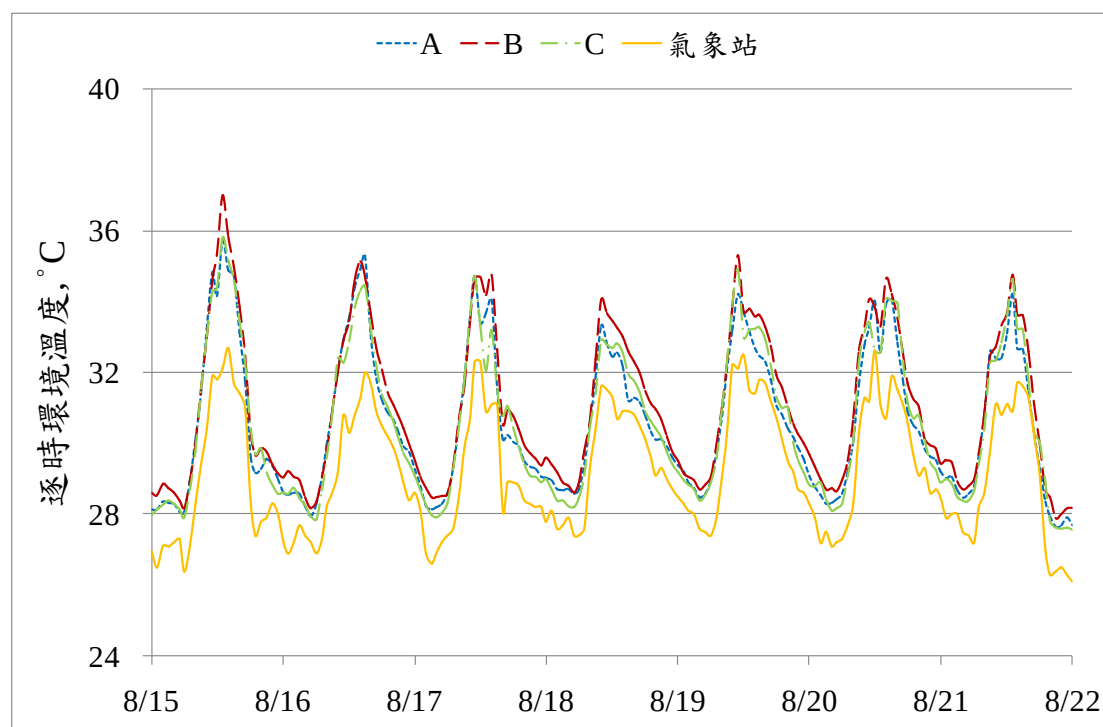


圖 8. 測點 A~C 及氣象站的逐時氣溫曲線

資料來源：本研究繪製

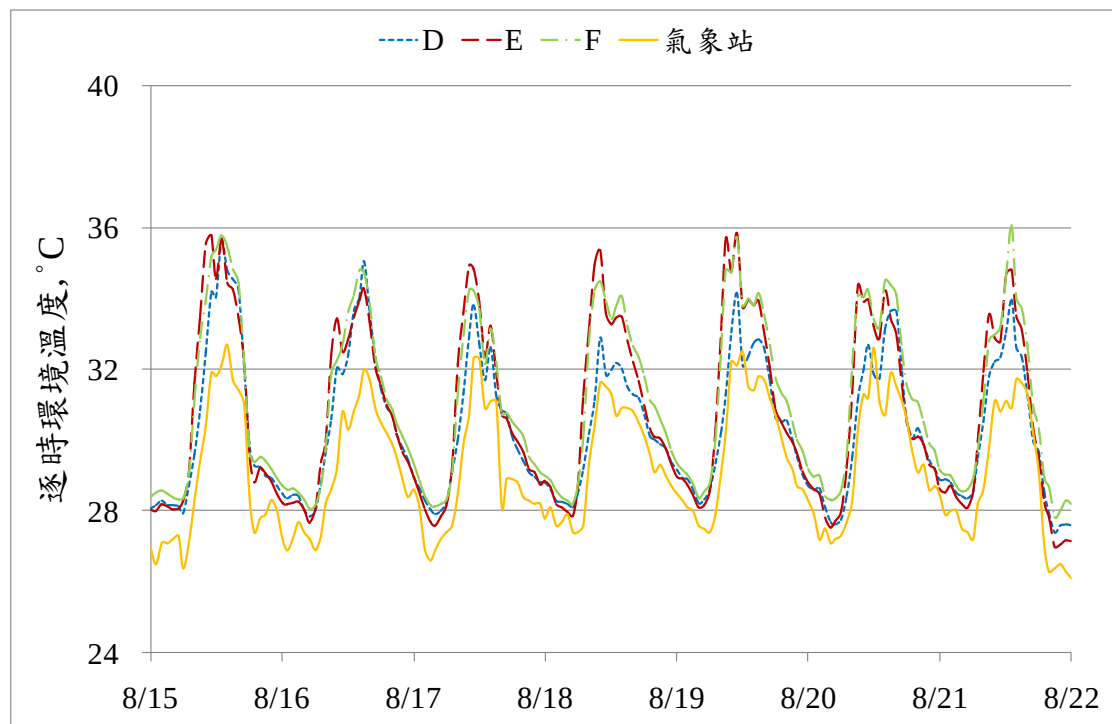


圖 9. 測點 D~F 及氣象站的逐時氣溫曲線

資料來源：本研究繪製

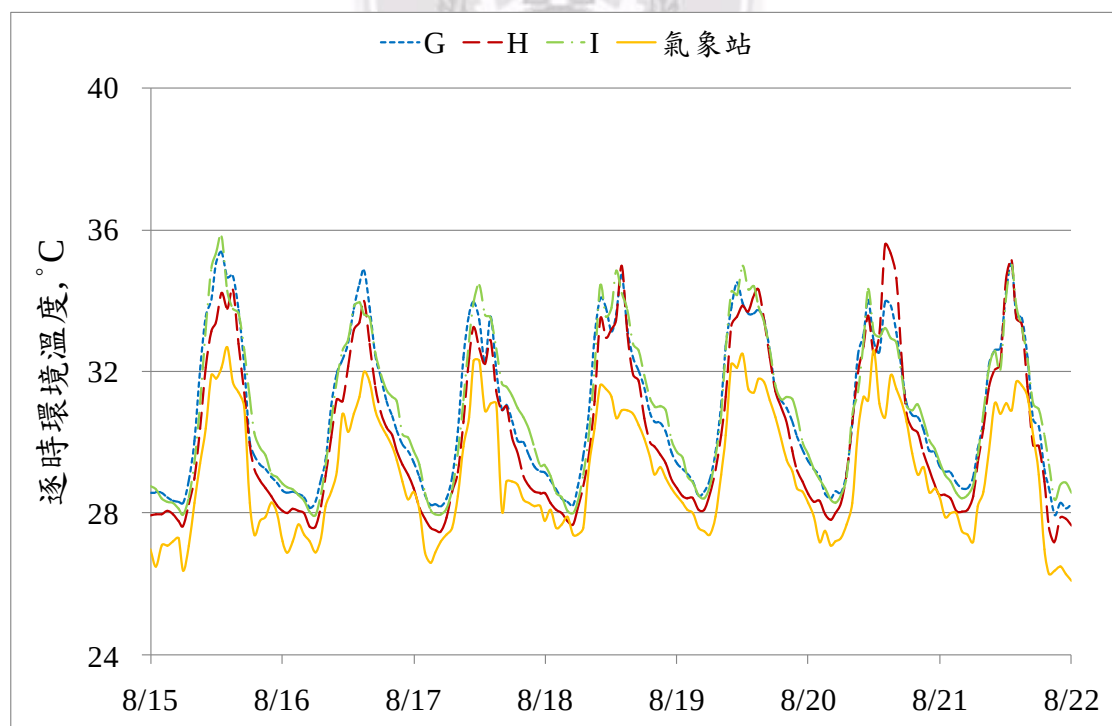


圖 10. 測點 G~I 及氣象站的逐時氣溫曲線

資料來源：本研究繪製

圖 11 進一步彙整了各測點與氣象站取得的每日平均氣溫的變動範圍。整體而言，氣象站於實驗期間所測得的日均溫變動範圍介於 25°C-31.6°C 之間；在各個測點中，以周圍有大片綠地的 D 測點有最低的平均溫度，以建築密集、交通量大的 F 測點平均溫度最高，周邊開發強度高的 B 點次之。各測點測得的平均溫度皆高於氣象站測得的平均溫度，其溫度差介於 1.3°C- 2.1°C 之間。此外，各測點與氣象站的平均相對濕度相差約 4%~8%，最大差異發生在 B 及 G 測點。

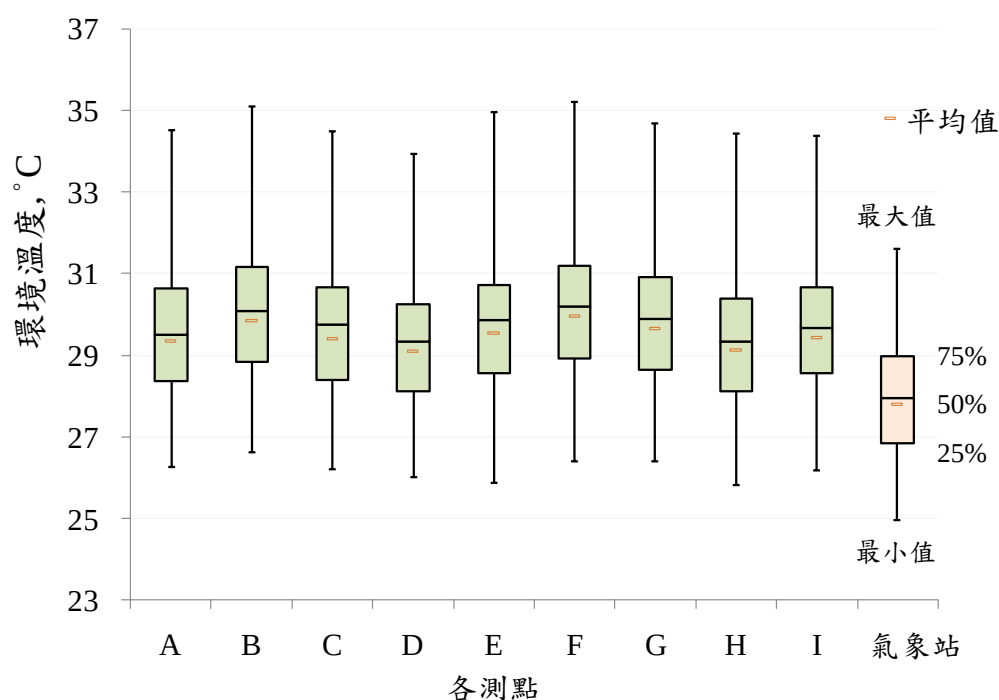


圖 11. 測點及氣象站的每日平均溫、最高及最低氣溫平均值範圍

資料來源：本研究繪製

(2) 都市逐時氣候預測數據

本研究在建構逐時氣候預測數據的過程中，首先依照 Morphing approach 運算過程的需求，進一步將實測數據彙整出七月至十月各測點與氣象站的 T_m 、 $T_{max,m}$ 、 $T_{min,m}$ 、 RH_m 、 ΔT_m 、 $\Delta T_{max,m}$ 及 $\Delta T_{min,m}$ ，如表 3 所示。然後，依照公式及相關氣象數據計算出每個測點的 αT_m 及 αS_m ，如表 4 所列。最後，依照公式求得逐時預測氣溫及濕度。

表 3. 各測點的 T_m 、 $T_{max,m}$ 、 $T_{min,m}$ 、 RH_m 、 ΔT_m 、 $\Delta T_{max,m}$ 及 $\Delta T_{min,m}$ 數值

月份	氣候參數	實測地點								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
七月	T_m	29.7	30.2	29.7	29.4	29.9	30.2	29.9	29.3	29.7
	$T_{max,m}$	34.9	35.5	34.8	34.2	35.5	35.6	35.1	34.5	34.8
	$T_{min,m}$	26.3	26.7	26.2	26.1	26.0	26.5	26.4	25.8	26.2
	RH_m	72	71	72	72	72	74	71	74	73
	ΔT_m	1.6	2.0	1.6	1.3	1.7	2.1	1.8	1.2	1.6
	$\Delta T_{max,m}$	3.0	3.6	2.9	2.3	3.6	3.7	3.2	2.6	2.9
	$\Delta T_{min,m}$	1.1	1.5	1.0	0.9	0.7	1.3	1.2	0.6	1.0
八月	T_m	29.7	30.2	29.7	29.4	29.9	30.2	29.9	29.3	29.7
	$T_{max,m}$	35.4	35.9	35.3	34.8	36.0	36.1	35.6	35.3	35.3
	$T_{min,m}$	27.4	27.7	27.3	27.1	26.9	27.5	27.5	26.9	27.3
	RH_m	68	67	68	69	69	71	67	70	69
	ΔT_m	1.6	2.1	1.6	1.3	1.8	2.2	1.9	1.3	1.8
	$\Delta T_{max,m}$	2.9	3.4	2.8	2.4	3.5	3.6	3.1	2.8	2.8
	$\Delta T_{min,m}$	1.4	1.8	1.4	1.2	1.0	1.6	1.6	1.0	1.4
九月	T_m	29.2	29.7	29.3	29.0	29.3	29.8	29.5	29.1	29.3
	$T_{max,m}$	34.0	34.6	34.0	33.4	34.4	34.7	34.1	34.1	33.8
	$T_{min,m}$	26.3	26.7	26.3	26.1	25.9	26.5	26.5	26.0	26.3
	RH_m	75	73	74	75	76	77	73	76	75
	ΔT_m	1.5	2.1	1.6	1.3	1.7	2.2	1.9	1.4	1.7
	$\Delta T_{max,m}$	2.8	3.4	2.8	2.2	3.2	3.5	3.0	2.9	2.6
	$\Delta T_{min,m}$	1.4	1.8	1.4	1.2	1.0	1.6	1.6	1.0	1.4
十月	T_m	28.3	28.8	28.4	28.0	28.5	28.9	28.6	28.1	28.4
	$T_{max,m}$	33.9	34.5	33.8	33.3	34.0	34.4	33.9	33.8	33.7
	$T_{min,m}$	25.0	25.4	25.0	24.8	24.7	25.2	25.2	24.6	25.0
	RH_m	69	68	69	70	70	72	68	71	70
	ΔT_m	1.5	2.0	1.5	1.2	1.7	2.1	1.8	1.3	1.6
	$\Delta T_{max,m}$	3.0	3.6	3.0	2.4	3.2	3.6	3.1	2.9	2.8
	$\Delta T_{min,m}$	1.2	1.5	1.1	1.0	0.9	1.3	1.3	0.8	1.1

資料來源：本研究彙整

以 A 測點作為代表，圖 12 為實測期間實際氣溫與依照 Morphing approach 求得的逐時預測氣溫之線性回歸式。各測點氣溫之實測值與預測值的 R^2 達 0.88~0.95，以 B、C 兩測點為最高；MBE 均近似 0.00；MAPE 為 0.51~0.98，以 D 測點為最低；IA 值均大於 0.97，以 C 測點

為最高；如表 5 所示。

表 4. 各測點每月的 αT_m 及 αS_m 計算數值

係數	月份	實測地點								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
αT_m	七月	0.28	0.31	0.28	0.22	0.43	0.37	0.30	0.30	0.29
	八月	0.22	0.25	0.22	0.18	0.39	0.31	0.23	0.28	0.22
	九月	0.23	0.26	0.23	0.17	0.36	0.31	0.22	0.30	0.20
	十月	0.26	0.29	0.26	0.20	0.32	0.32	0.24	0.31	0.24
αS_m	七月	1.00	1.01	0.99	0.99	1.01	1.07	0.99	1.00	1.01
	八月	0.98	1.00	0.99	0.98	1.01	1.06	0.99	1.00	1.01
	九月	1.01	1.02	1.01	1.01	1.04	1.09	1.01	1.02	1.02
	十月	0.99	1.00	0.98	0.98	1.01	1.06	0.98	1.00	1.00

資料來源：本研究彙整

以 A 測點為代表，圖 13 則呈現出實際與預測相對濕度之線性回歸式。各測點相對濕度之實測值與預測值的 R^2 為 0.87~0.94，以 A 測點為最高，E 測點最低；MBE 為 0.53~0.81；MABE 為 2.83~3.99，以 D 測點為最低，E 點最高；IA 值均大於 0.96，以 A 點為最高；如表 5 所示。各項相關性及誤差指標的分析結果顯示，Morphing approach 用於建立台中市預測氣候數據有相當高的準確性，其中以氣溫的預測值與實測值有較高的一致性。

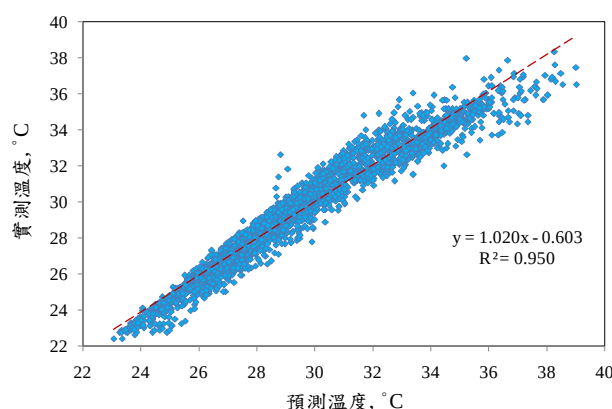


圖 12. A 點逐時氣溫的實測值與預測值的比較。

資料來源：本研究繪製

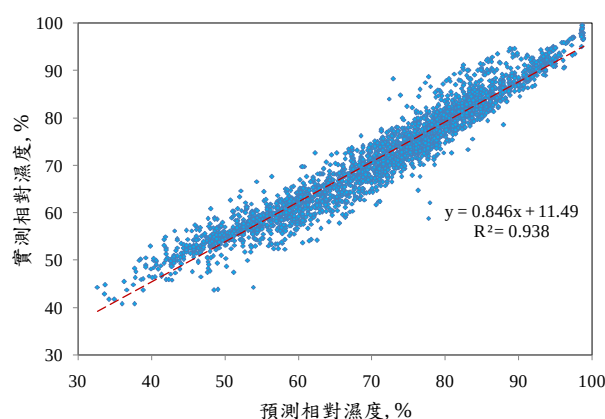


圖 13. A 測點逐時相對濕度實測值與預測值的比較。

資料來源：本研究繪製

表 5. 各測點氣溫與相對濕度之實測及預測值的誤差分析(假設 $y=ax+b$)

指標		實測地點								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
氣溫	a	1.02	1.03	1.01	1.01	0.97	0.99	1.00	1.00	1.03
	b	0.60	0.80	0.24	0.26	0.86	0.34	0.13	0.08	0.92
	R^2	0.95	0.95	0.95	0.95	0.88	0.93	0.94	0.93	0.94
	MBE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	MABE	0.56	0.56	0.54	0.51	0.98	0.75	0.63	0.67	0.60
	IA	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98
相對濕度	a	0.85	0.88	0.84	0.84	0.87	0.85	0.82	0.84	0.85
	b	11.5	9.3	11.6	11.9	9.9	11.8	13.5	12.5	11.5
	R^2	0.90	0.93	0.93	0.93	0.87	0.89	0.90	0.90	0.91
	MBE	0.61	0.81	0.64	0.62	0.73	0.58	0.65	0.53	0.68
	MABE	2.88	2.87	2.98	2.83	3.99	3.85	3.54	3.55	3.02
	IA	0.98	0.98	0.98	0.98	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97

資料來源：本研究彙整

2. 都市微氣候對建築物的影響

(1) 都市微氣候與住宅能耗之關係

為了瞭解都市微氣候差異對建築空調耗能及室內熱舒適度的影響，以及應用 Morphing approach 在建築物熱得模擬預測的可行性，研究中分別以實測氣象數據與來自 Morphing approach 的預測氣象數

據做為 EnergyPlus 模擬時輸入的氣象資料。表 6 中列出了以各測點的實測和預測氣象資料進行住宅熱得模擬解析，在實驗期間的空調耗能。使用實測氣候數據進行模擬的各測點住宅總空調耗能介於 18.8-21.8 kWh/m²，平均值為 20.0 kWh/m²；而使用預測氣候數據進行模擬的冷氣能耗介於 19.0-22.0 kWh/m²，平均值為 20.1 kWh/m²。表 6 也列出各測點使用實測與預測氣象資料在各測點的冷氣能耗誤差，其誤差介於 0.50-1.06%之間。

表 6. 住宅於各地點的總空調耗電量模擬及其誤差值(七至十月份)

氣象資料來源	實測地點								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
實測值	19.5	20.9	19.6	18.8	20.2	21.8	20.2	19.1	19.9
預測值	19.7	21.1	19.8	19.0	20.4	22.0	20.4	19.2	20.0
誤差	1.03	0.96	1.02	1.06	0.99	0.92	0.99	0.52	0.50

單位：能源消耗，kWh/m²；誤差，%。

資料來源：本研究彙整

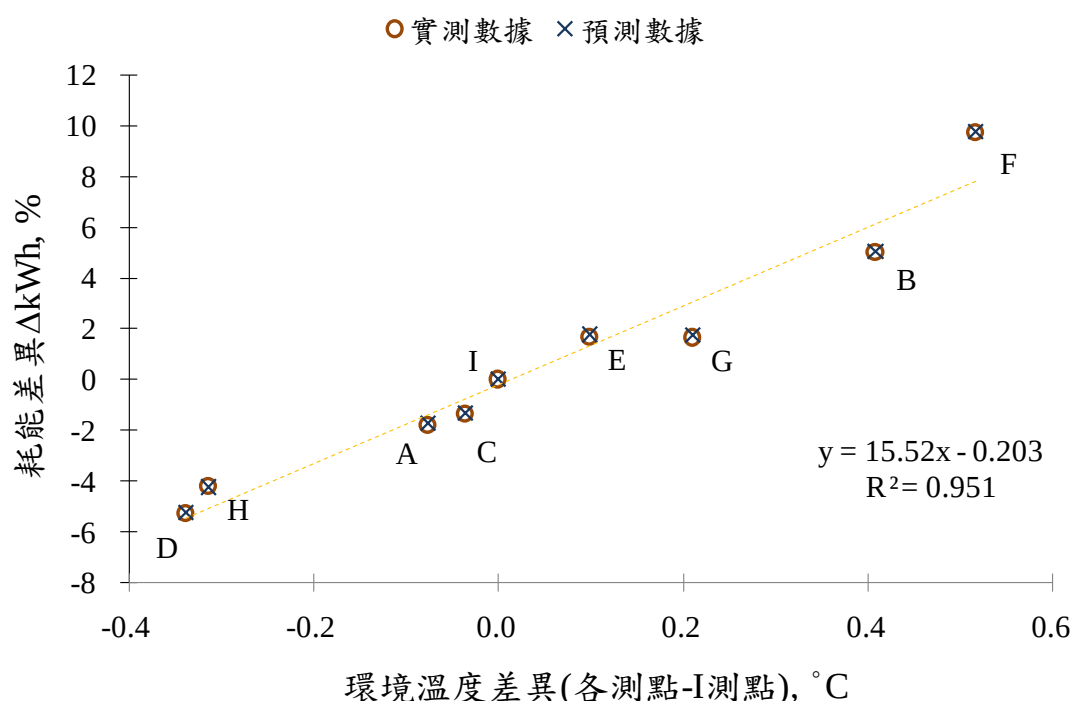


圖 14. 建築物耗能差異與各地點外氣溫差之關係，以 I 測點為基準。

資料來源：本研究繪製

為了瞭解都市熱島效應引起的都市微氣候差異對建築冷氣能耗以及室內熱舒適的影響，選擇氣溫較接近都市環境溫度平均值的 I 測點作為比較基準來進行分析。圖 14 呈現各測點於實測期間與氣象站數據的平均溫度差，以及空調耗能差值百分比的關係。圖中數據顯示位於都市微氣候最為炎熱的 F 測點上的住宅，其在七月到十月間的空調耗能，將比以 I 測點氣候數據進行模擬的住宅多出約 9.7%。同樣位在市區的 D 測點，因其周圍綠地對微氣候的緩和作用，使其七月到十月間的冷氣能耗反而較 I 測點減少約 5.3%。迴歸分析的結果顯示，相當市區平均外氣溫度較郊區上升 1°C，對於空調住宅會造成冷氣能耗約增加 15.5%。

(2) 都市微氣候與自然通風住宅熱舒適性之關係

表 7 及表 8 呈現利用預測氣象資料和實測氣象資料在模擬自然通風住宅室內熱環境的結果。不同於空調住宅是以整戶的冷氣能耗總和進行比較，針對自然通風住宅分別是選擇客廳、主臥室及兩間次臥室的模擬結果進行比較。在客廳的熱舒適評估部分，表 7 顯示以預測氣象資料進行模擬得到的過熱時數 (H_e) 和過熱嚴重度 (W_e) 都比以實測氣象資料得到數值高，其誤差百分比分別介於 3.8~17.0% 和 5.3%~24.7%。在主臥室部分，表 8 顯示各測點的 H_e 誤差百分比介於 8.8~63.3%， W_e 的誤差百分比介於 13.1~72.9% 之間；在次臥室 I 部分，顯示各測點的 H_e 誤差百分比介於 3.2~24.4%， W_e 的誤差百分比介於 7.5~33.2% 之間；在次臥室 II 部分，顯示各測點的 H_e 誤差百分比介於 3.5~30.4%， W_e 的誤差百分比介於 8.0~38.9% 之間。從表 6、表 7 及表 8 的比較發現，使用 Morphing approach 產生的都市微氣候資料用在空調耗能的模擬產生的誤差甚微小，但用在自然通風住宅的熱舒適預測上卻有較大的誤差。

表 7. 各測點自然通風客廳的 H_e 值和 W_e 值彙整

氣象資料來源		實測地點								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
H_e	實測值	391	516	408	326	381	526	464	311	432
	預測值	420	536	428	365	439	546	497	364	435

	誤差	7.4	3.9	4.9	12.0	15.2	3.8	7.1	17.0	0.7
W_e	實測值	485	684	512	400	474	698	595	374	546
	預測值	548	738	562	460	591	765	667	462	575
	誤差	13.0	7.9	9.8	15.0	24.7	9.6	12.1	23.5	5.3

單位： H_e ，小時； W_e ， $^{\circ}\text{C}$ -小時；誤差，%。

資料來源：本研究彙整

表 8. 各測點自然通風臥室的 H_e 值和 W_e 值彙整

氣象資料來源		實測地點								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
主臥室										
H_e	實測值	357	625	374	257	311	596	491	205	445
	預測值	460	680	480	341	508	720	588	334	508
	誤差	28.9	8.8	28.3	32.7	63.3	20.8	19.8	62.9	14.2
W_e	實測值	417	764	437	296	365	727	582	234	524
	預測值	556	864	582	403	631	927	733	400	617
	誤差	33.3	13.1	33.2	36.1	72.9	27.5	25.9	70.9	17.7
次臥室 I										
H_e	實測值	564	785	581	456	540	770	668	417	623
	預測值	631	810	643	512	672	840	749	503	666
	誤差	11.9	3.2	10.7	12.3	24.4	9.1	12.1	20.6	6.9
W_e	實測值	706	1035	731	564	675	1014	858	507	794
	預測值	822	1113	842	654	899	1171	1004	648	874
	誤差	16.4	7.5	15.2	16.0	33.2	15.5	17.0	27.8	10.1
次臥室 II										
H_e	實測值	520	762	540	429	494	746	645	383	589
	預測值	595	789	618	487	644	819	725	481	636
	誤差	14.4	3.5	14.4	13.5	30.4	9.8	12.4	25.6	8.0
W_e	實測值	646	991	673	524	612	969	816	460	742
	預測值	767	1070	798	614	850	1126	959	610	825
	誤差	18.7	8.0	18.6	17.2	38.9	16.2	17.5	32.6	11.2

單位： H_e ，小時； W_e ， $^{\circ}\text{C}$ -小時；誤差，%。

資料來源：本研究彙整

研究中以 I 測點的 H_e 和 W_e 作為基準值，透過計算各測點住宅室內空間的 H_e 與 W_e 與基準值的差值(即 ΔH_e 和 ΔW_e)，即了解都市微氣候的變化對自然通風住宅室內熱舒適的影響。以住宅客廳及主臥室空

間作為代表，圖 15、圖 16、圖 17 及圖 18 分別呈現實測期間空間 ΔH_e 及 ΔW_e 的計算結果。在最熱的 F 測點，其客廳較 I 測點多出約 22% 的過熱時數，而主臥室及兩間次臥室分別較 I 測點多出約 34%、24% 與 27%。在相對涼爽的 D 測點，其客廳較 I 測點減少約 25% 的過熱時數，而主臥室及兩間次臥室分別較 I 測點減少約 42%、27% 與 27%。整體而言，相當於市區平均外氣溫度上升 1°C ，自然通風住宅客廳的過熱時數會較郊區住宅分別增加 57%，而在主臥室及兩間次臥室分別會增加 103%、66% 和 72%。

在都市微氣候於住宅空間 W_e 值的影響比較分析中，當以 I 測點的客廳 W_e 作為基準值時，自最熱的 F 測點至最涼爽 D 測點將從增加 28% 到減少 27%；而主臥室則是從增加 39% 到減少 44%，次臥室 I 從增加 28% 到減少 29%，次臥室 II 從增加 30% 到減少 29%。整體而言，相當於市區平均外氣溫度上升 1°C ，自然通風住宅客廳的過熱嚴重度會較郊區住宅增加 68%，而主臥室及兩間次臥室分別會增加 111%、75% 和 80%。

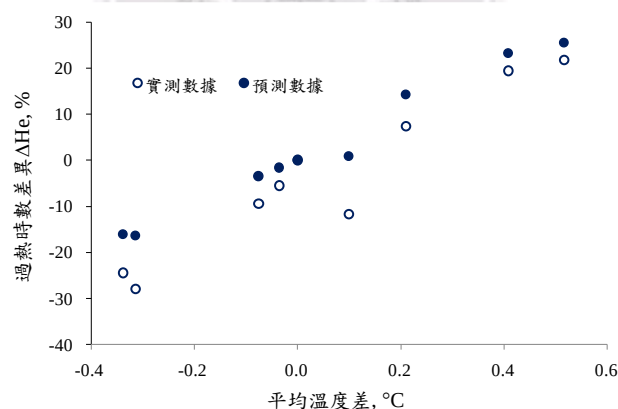


圖 15. 各測點自然通風住宅客廳的 H_e 值與外氣溫差關係

資料來源：本研究繪製

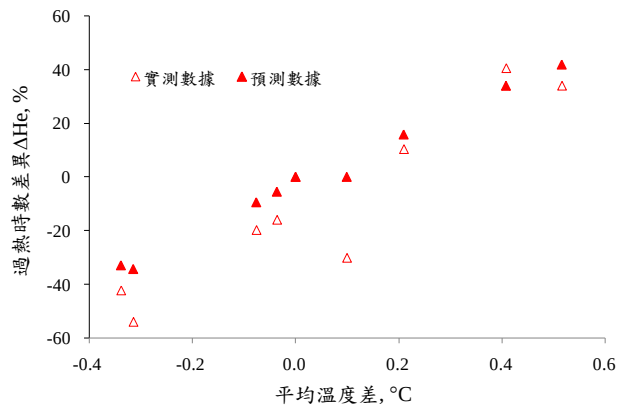


圖 16. 各測點自然通風住宅主臥室的 H_e 值與外氣溫差關係
資料來源：本研究繪製

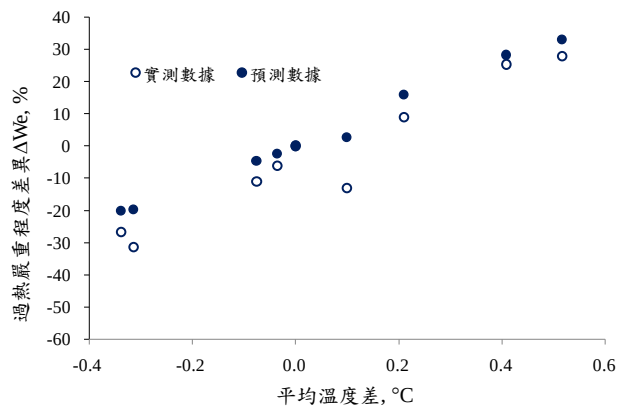


圖 17. 各測點自然通風住宅客廳的 W_e 值與外氣溫差關係
資料來源：本研究繪製

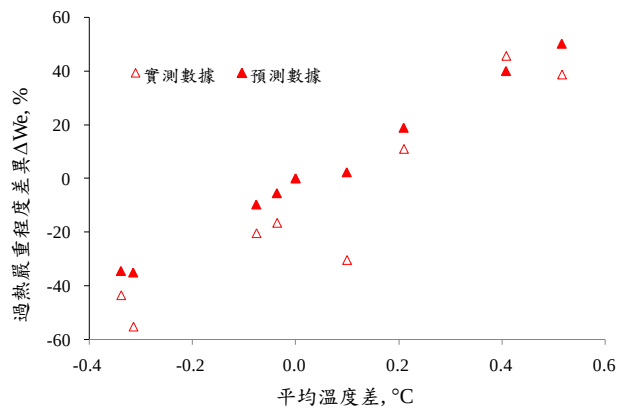


圖 18. 各測點自然通風住宅主臥室的 W_e 值與外氣溫差關係
資料來源：本研究繪製

3. 都市土地覆蓋及利用型態

(1) 土地利用型態環境因子與氣候預測參數之相關性分析

土地覆蓋及利用型態環境因子(land cover and land use; LCLU)包含建築物、人工鋪面、空地、植栽綠化、水域等因子，是影響都市微氣候的主要綜合性因素。因此，研究中依第三章第二節的方法，調查各測點周邊 150 公尺內的土地覆蓋及利用型態環境因子並進行量化，結果彙整如表 9 所示。本研究考量 LCLU 對都市微氣候之影響，利用 SPSS 軟體(吳明隆, 2007)將 LCLU 與表 10 中 Morphing approach 過程之各重要微變量參數進行迴歸分析，經由探討兩者之相關性，並以多元迴歸分析進一步建立迴歸方程式。

表 9. 各測點周邊土地覆蓋與利用型態組成統計表

影響因子		實測地點								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
環 框 範 圍 內 比 率 （ ％ ）	建築物	54.7	56.0	53.2	32.0	34.7	60.2	62.7	40.2	50.6
	人工鋪面	43.1	41.9	33.8	38.1	52.7	33.0	35.4	31.3	39.4
	空地	0.0	0.0	3.5	5.4	0.0	5.3	0.0	19.1	0.2
	植栽綠化	2.1	1.4	9.5	24.5	11.5	1.5	1.9	9.3	8.6
	水域	0.1	0.7	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	1.2
平均建築樓層數		4.92	4.82	3.84	3.73	3.78	3.66	3.83	6.18	4.61
總樓板容積比		2.69	2.70	2.05	1.19	1.31	2.20	2.40	2.48	2.33

資料來源：本研究彙整

各項線性迴歸分析彙整如表 11 所示， ΔT_m 與建築物型態因子呈現正相關， R^2 為 0.45，顯著值為 0.00；與植栽綠化型態因子呈現負相關， R^2 為 0.48，顯著值為 0.00；其餘空地型態因子、水域型態因子、建築物平均樓層數及總樓地板容積比的相關性相對較低， R^2 均低於 0.24；人工鋪面型態因子則與 ΔT_m 之相關性呈現不顯著。

表 10. Morphing approach 過程之重要微變量參數

參數	月份	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ΔT_m	七月	1.57	2.03	1.56	1.28	1.74	2.10	1.76	1.21	1.55
	八月	1.59	2.08	1.64	1.33	1.80	2.20	1.93	1.35	1.76
	九月	1.55	2.07	1.63	1.33	1.72	2.21	1.90	1.45	1.65
	十月	1.51	1.97	1.54	1.22	1.67	2.07	1.77	1.26	1.56
αT_m	七月	0.28	0.31	0.28	0.22	0.43	0.37	0.30	0.30	0.29
	八月	0.22	0.25	0.22	0.18	0.39	0.31	0.23	0.28	0.22
	九月	0.23	0.26	0.23	0.17	0.36	0.31	0.22	0.30	0.20
	十月	0.26	0.29	0.26	0.20	0.32	0.32	0.24	0.31	0.24
αS_m	七月	1.00	1.01	0.99	0.99	1.01	1.07	0.99	1.00	1.01
	八月	0.98	1.00	0.99	0.98	1.01	1.06	0.99	1.00	1.01
	九月	1.01	1.02	1.01	1.01	1.04	1.09	1.01	1.02	1.02
	十月	0.99	1.00	0.98	0.98	1.01	1.06	0.98	1.00	1.00

資料來源：本研究彙整

表 11. ΔT_m 與各項 LCLU 因子之相關性分析 (當 $y=ax+b$)

變數	a	b	R ²	F-statistic	顯著值
建築物 B	1.81	0.79	0.45	27.74	0.000
人工鋪面 P	0.45	1.51	0.01	0.34	0.561
空地 V	-2.33	1.77	0.24	10.52	0.003
植栽綠化 G	-2.85	1.90	0.48	31.89	0.000
水域 W	17.67	1.62	0.09	3.25	0.080
建築物平均樓層數 H	-0.13	2.24	0.13	5.10	0.030
總樓地板容積比 F	0.17	1.33	0.09	3.49	0.070

資料來源：本研究彙整

表 12. 逐步迴歸模式變數篩選概要

編號	選擇變數	排除變數	R ²	Adj- R ²
1	常數、G	B、P、V、W、H、F	0.484	0.469
2	常數、G、H	B、P、V、W、F	0.747	0.731
3	常數、G、H、W	B、P、V、F	0.807	0.789
4	常數、G、H、W、V	B、P、F	0.885	0.870

資料來源：本研究彙整

表 13. 各自變數間的相關係數表

	<i>B</i>	<i>P</i>	<i>V</i>	<i>G</i>	<i>W</i>	<i>H</i>	<i>F</i>
<i>B</i>	1	-	-	-	-	-	-
<i>P</i>	0.115	1	-	-	-	-	-
<i>V</i>	0.159	0.328	1	-	-	-	-
<i>G</i>	0.710	0.003	0.073	1	-	-	-
<i>W</i>	0.020	0.448	0.195	0.006	1	-	-
<i>H</i>	0.011	0.044	0.363	0.041	0.001	1	-
<i>F</i>	0.545	0.123	0.000	0.672	0.002	0.343	1

資料來源：本研究彙整

表 14. αT_m 與各項 LCLU 因子之相關性分析 (當 $y=ax+b$)

變數	a	b	R ²	F-statistic	顯著值
建築物 <i>B</i>	-0.03	0.29	0.00	0.12	0.727
人工鋪面 <i>P</i>	0.31	0.15	0.12	4.44	0.042
空地 <i>V</i>	0.07	0.27	0.00	0.15	0.699
植栽綠化 <i>G</i>	-0.26	0.29	0.09	3.50	0.070
水域 <i>W</i>	3.67	0.26	0.09	3.32	0.077
建築物平均樓層數 <i>H</i>	0.00	0.27	0.00	0.00	0.958
總樓地板容積比 <i>F</i>	-0.01	0.29	0.01	0.17	0.683

資料來源：本研究彙整

研究中透過多元迴歸分析中的逐步迴歸模式進行分析，逐步迴歸法結合順向選擇法與反向剔除法的優點，由於自變數較多，是以校正後的 Adj- R² (adjusted R²) 係數判斷其配合度，並 F 檢定來判斷其顯著水準。結果篩選出植栽綠化、平均建築樓層數、水域及空地等四項因子，相關變數篩選概要如表 12，模型建立程序詳表參閱附件一。在逐步迴歸的變數篩選過程中，同時考量了各自變數存在共線性的可能，如表 13 顯示，其中 *B*、*G* 及 *F* 三項因子有較高的共線性疑慮存在。最後，建立基於 LCLU 之 ΔT_m 線性迴歸方程式如下：

$$\Delta T_m = 3.18 - 3.99G - 0.31H + 27.95W + 2.47V \quad R_{adj}^2 = 0.87 \quad (13)$$

其中，*G* 為植栽綠化、*W* 為水域、*V* 為空地等環框範圍內各土地覆蓋及利用型態面積比率，而 *H* 為建築物平均樓層數。

研究中再透過多元迴歸分析，以逐步迴歸模式篩選出植栽綠化、平均建築樓層數、水域及空地等四項因子，相關變數篩選概要如表 15，模型建立程序詳表參閱附件二。逐步迴歸模式篩選過程亦考量自變數間共線性的疑慮，最後建立基於 LCLU 之 αT_m 線性迴歸方程式如下。

$$\alpha T_m = 0.65 - 1.31G + 0.68V - 0.15F + 5.08W \quad R_{adj}^2 = 0.70$$

(14)

其中， G 為植栽綠化、 V 為空地、 W 為水域等環框範圍內各土地覆蓋及利用型態面積比率，而 F 為總樓地板容積比。

表 15. 逐步迴歸模式變數篩選概要

編號	選擇變數	排除變數	R ²	Adj- R ²
1	常數、 P	B 、 V 、 G 、 W 、 H 、 F	0.116	0.090
2	常數、 P 、 G	B 、 V 、 W 、 H 、 F	0.221	0.174
3	常數、 P 、 G 、 V	B 、 W 、 H 、 F	0.445	0.393
4	常數、 P 、 G 、 V 、 F	B 、 W 、 H	0.713	0.676
5	常數、 P 、 G 、 V 、 F 、 W	B 、 H	0.756	0.716
6	常數、 G 、 V 、 F 、 W	B 、 P 、 H	0.738	0.704

資料來源：本研究彙整

表 16. αs_m 與各項 LCLU 因子之相關性分析 (當 $y=ax+b$)

變數	a	b	R ²	F-statistic	顯著值
建築物 B	0.05	0.98	0.05	1.66	0.206
人工鋪面 P	-0.03	1.02	0.01	0.19	0.668
空地 V	0.02	1.01	0.00	0.09	0.768
植栽綠化 G	-0.11	1.02	0.09	3.51	0.070
水域 W	0.42	1.01	0.01	0.20	0.658
建築物平均樓層數 H	-0.01	1.04	0.03	1.20	0.281
總樓地板容積比 F	0.00	1.01	0.00	0.01	0.918

資料來源：本研究彙整

(2) 整合土地利用型態環境因子之都市逐時氣候預測模式

本研究最後應用 Morphing approach 為基礎，並以 LCLU 作為變數，透過量化的方式建立起氣候微變參數迴歸方程式，進一步整合出考量都市熱島效應的都市氣候預測模型(Morphing-LCLU model)。

$$T = T_0 + \Delta T_m + \alpha T_m (T_0 - \langle T_0 \rangle_m)$$

(4)

其中：

$$\Delta T_m = 3.18 - 3.99G - 0.31H + 27.95W + 2.47V \quad R_{adj}^2 = 0.87$$

(13)

$$\alpha T_m = 0.65 - 1.31G + 0.68V - 0.15F + 5.08W \quad R_{adj}^2 = 0.70$$

(14)

在方程式中， T_0 代表氣象站所取得的每小時郊區環境乾球溫度數據； $\langle T_0 \rangle_m$ 代表 m 月份的環境乾球溫度的月平均值； ΔT_m 代表在氣象站與市中心之間，每月平均環境乾球溫度的差異，以公式(13)推估； αT_m 代表 m 月份的月平均溫度差異的微小變化，以公式(14)推估。其中， G 為植栽綠化、 V 為空地、 W 為水域等各土地覆蓋及利用型態面積比，而 H 為建築物平均樓層數、 F 為總樓地板容積比。

表 17. 以各測點 LCLU 型態組成推估之氣候微變參數

參數	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ΔT_m	1.58	1.81	1.68	1.17	1.85	2.10	1.90	1.35	1.74
αT_m	0.23	0.27	0.25	0.19	0.36	0.34	0.27	0.29	0.26

資料來源：本研究彙整

表 17 彙整了透過前項模式所推估之各測點氣候微變參數 ΔT_m 及 αT_m ，研究中再依此經由 Morphing approach 建立各測點逐時預測氣候數據。以 A 測點為代表，圖 19 呈現氣象站逐日平均氣溫與 A 測點的實測值與模式推估值的結果比較，結果顯示出兩種預測值與實測值

趨勢相近，且均與氣象站數據有明顯差異。表 18 彙整了經由 Morphing-LCLU model 建立的各測點逐時預測氣溫與實測值進行一致性分析的結果， R^2 值介於 0.88~0.95，MBE 介於 -0.23~0.12，MABE 為 0.51~0.98，IA 值均大於 0.97。整體而言，結果顯示各測點逐時氣溫實測值與預測值一致性甚高。

表 18. 各測點逐時氣溫的實測值與預測值之誤差分析

標準		A	B	C	D	E	F	G	H	I
氣溫	a	1.00	1.01	1.00	1.01	0.96	0.99	1.01	0.99	1.04
	b	-0.04	-0.58	0.03	-0.30	1.35	0.18	-0.10	0.33	-1.01
	R^2	0.95	0.95	0.95	0.95	0.88	0.93	0.94	0.93	0.94
	MBE	0.03	-0.23	0.09	-0.12	0.12	-0.04	0.06	0.03	0.11
	MABE	0.55	0.58	0.54	0.51	0.98	0.75	0.64	0.67	0.62
	IA	0.98	0.99	0.99	0.99	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98
	RMSE	0.71	0.75	0.71	0.69	1.21	0.94	0.84	0.88	0.83

資料來源：本研究彙整

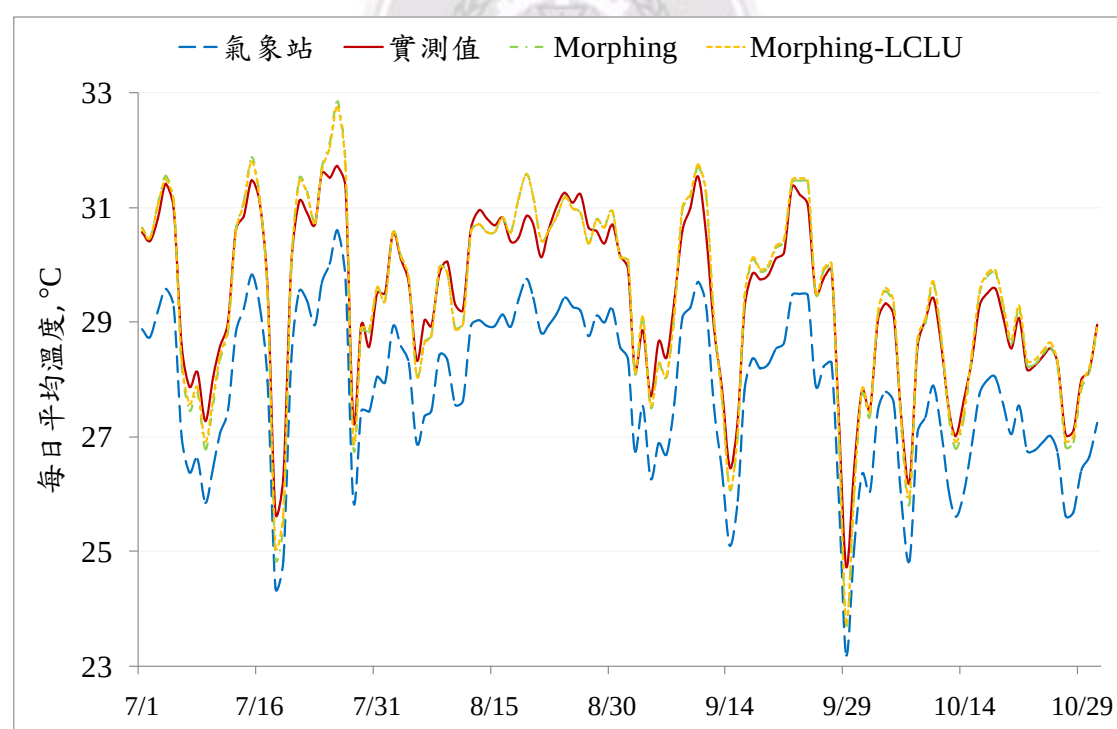


圖 19. A 點逐日平均氣溫的實測值與預測值的比較。

資料來源：本研究繪製

表 19 中彙整出以各測點的實測和 Morphing-LCLU model 之預測

氣象資料進行住宅熱得模擬解析後，於七月至十月之間的住宅空調總耗能。結果顯示，使用預測氣候數據進行模擬的空調耗能介於 19.5-22.5 kWh/m²，平均值為 21.1 kWh/m²；如以氣象站資料作為基準，各測點以實測與預測氣象資料進行住宅熱得模擬的空調耗能誤差值，介於 2.87-8.42%之間。

表 19. 以氣候實測值及預測值模擬之總空調耗電量比較 (七至十月份)

氣象資料來源	實測地點								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
實測值	19.5	20.9	19.6	18.8	20.2	21.8	20.2	19.1	19.9
預測值	20.8	21.5	21.1	19.5	21.7	22.5	21.9	20.0	21.3
誤差	6.67	2.87	7.65	3.72	7.43	3.21	8.42	4.71	7.04

單位：能源消耗，kWh/m²；誤差，%。

資料來源：本研究彙整

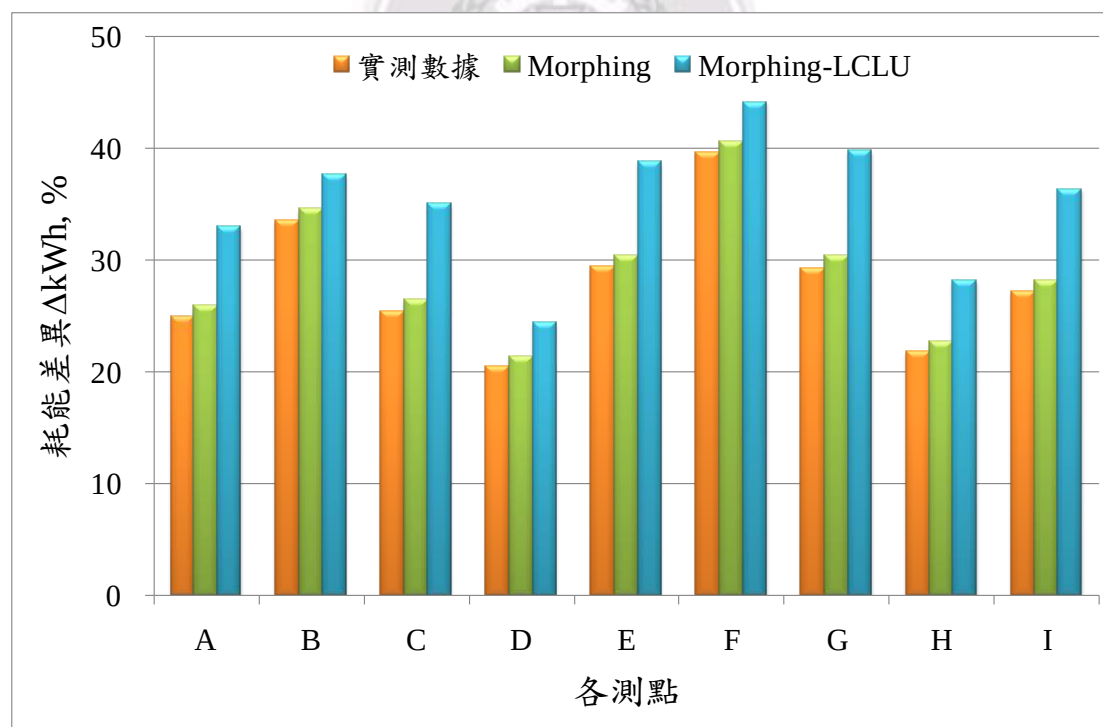


圖 20. 各測點與氣象站住宅耗能模擬值之差異。

資料來源：本研究繪製

圖 20 顯示出，各測點以實測氣候數據進行模擬時，與氣象站所

得結果之誤差約於 20~40%，平均誤差為 28%；以 Morphing approach 預測氣候數據進行模擬時，與氣象站所得結果之誤差約於 21~41%，平均誤差為 29%；以 Morphing-LCLU Model 預測氣候數據進行模擬時，與氣象站所得結果之誤差約於 24~44%，平均誤差為 35%。

研究中以 Morphing-LCLU Model 推估之預測氣象資料和實測氣象資料在模擬自然通風住宅室內熱環境的結果。在客廳的熱舒適評估部分，顯示以預測氣象資料進行模擬得到的 H_e 和 W_e 均比以實測氣象資料得到數值高，其誤差百分比分別介於 2.5~23.6%和 4.5~34.6%。在主臥室部分，顯示各測點的 H_e 誤差百分比介於 11.0~77.8%， W_e 的誤差百分比介於 9.4~90.1%之間。整體而言，以 Morphing-LCLU Model 產生的都市微氣候資料應用在自然通風住宅的熱舒適預測上會與實測值有較大的誤差。

圖 21~22 顯示出，各測點住宅客廳及主臥室的 H_e 值以實測氣候數據進行模擬預測時，與氣象站所得結果之差異值分別為 261~476 及 186~606 小時，平均差異值分別為 367 及 388 小時；以 Morphing approach 預測氣候數據進行模擬時，與氣象站所得結果之差異值分別為 314~496 及 315~701 小時，平均差異值分別為 398 及 494 小時；以 Morphing-LCLU Model 預測氣候數據進行模擬時，與氣象站所得結果之差異值分別為 288~489 及 268~664 小時，平均差異值分別為 399 及 487 小時。

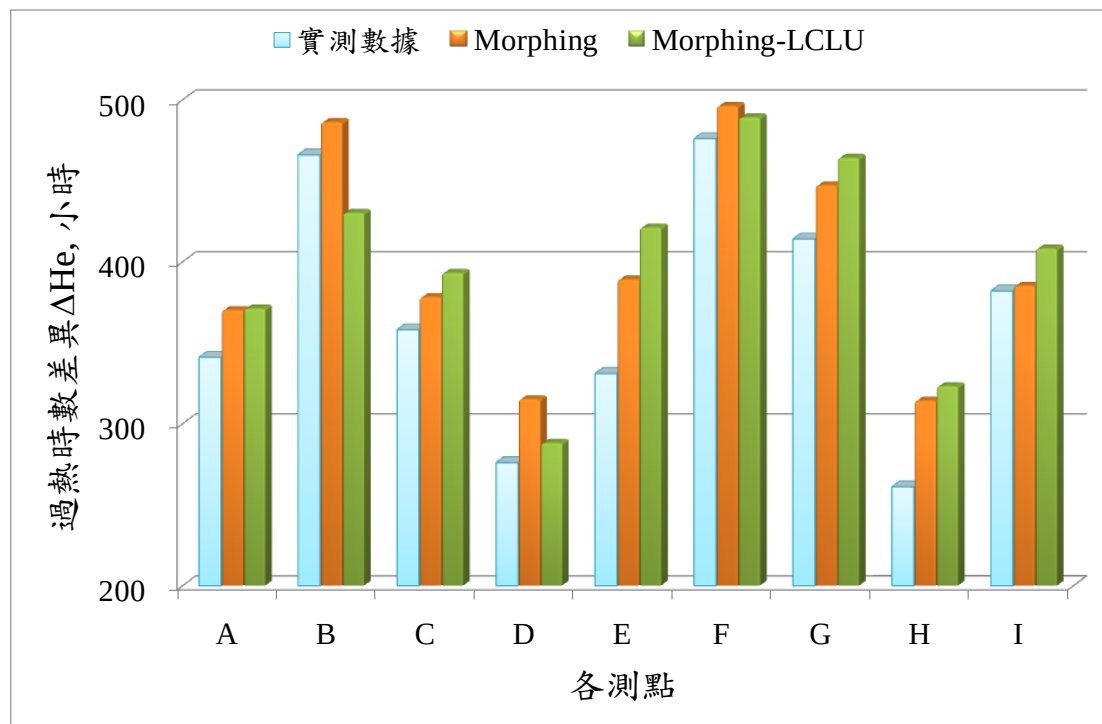


圖 21. 各測點與氣象站住宅客廳的 H_e 模擬值之差異。

資料來源：本研究繪製

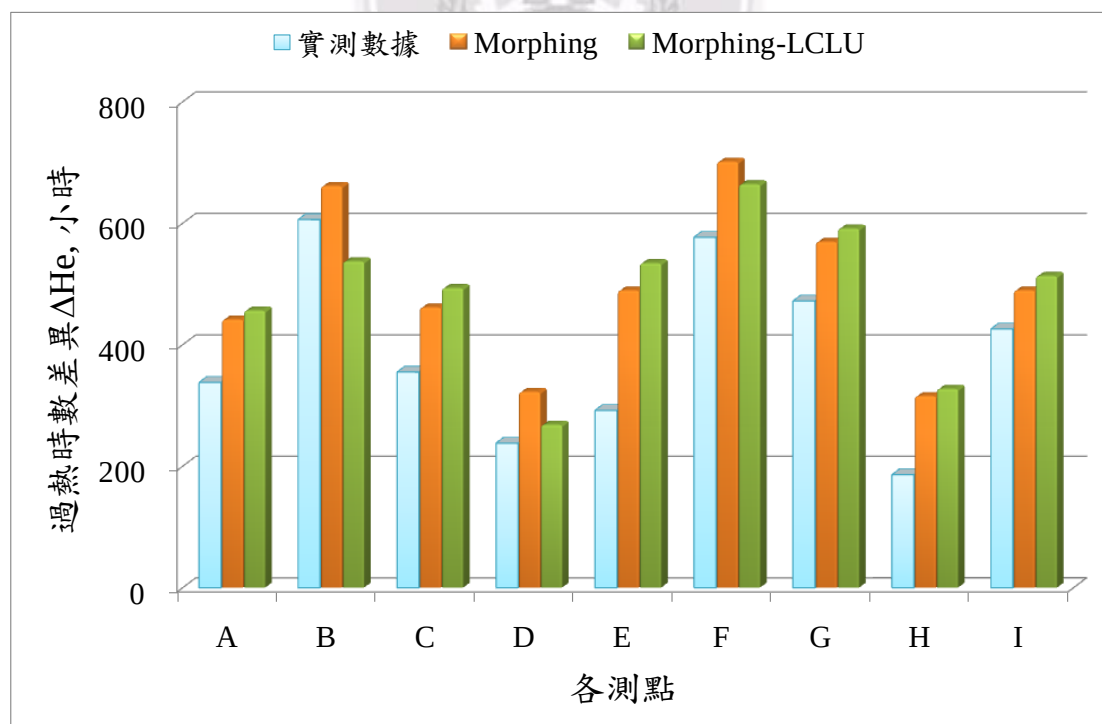


圖 22. 各測點與氣象站住宅主臥室的 H_e 模擬值之差異。

資料來源：本研究繪製

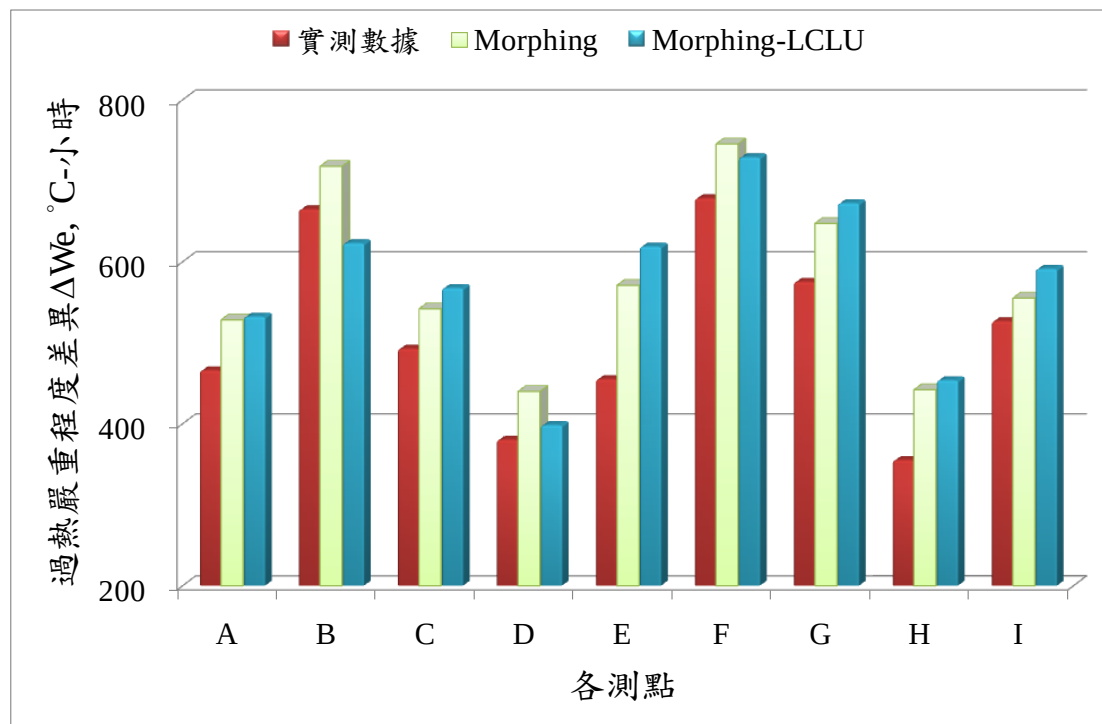


圖 23. 各測點與氣象站住宅客廳的 W_e 模擬值之差異。

資料來源：本研究繪製

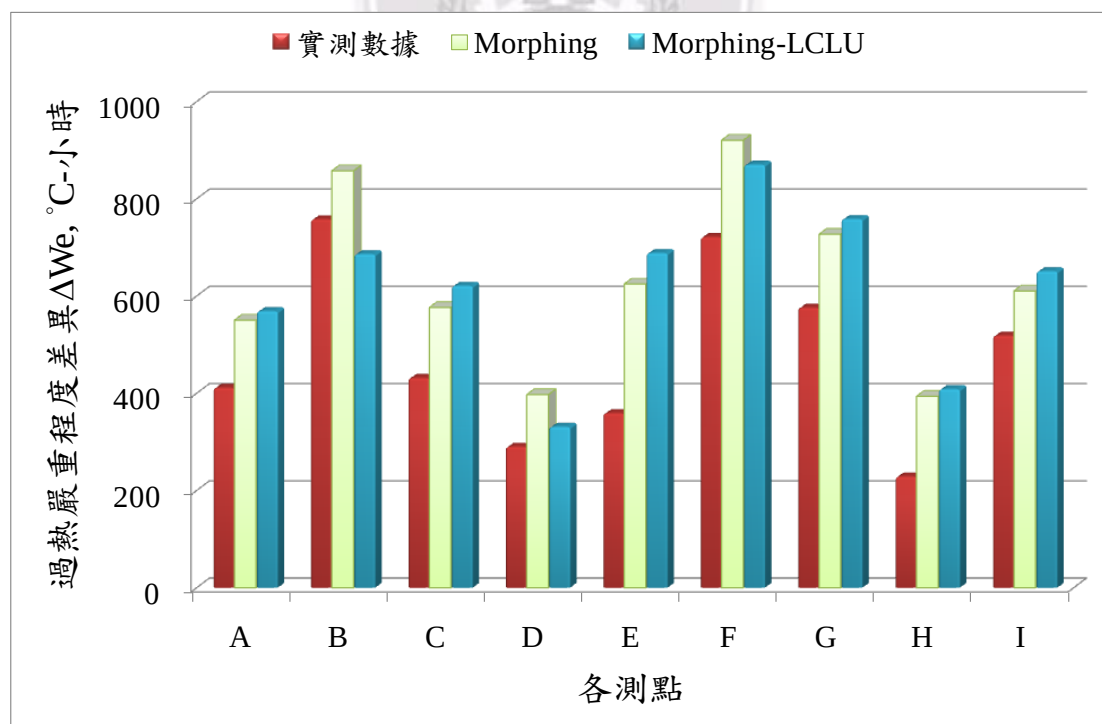


圖 24. 各測點與氣象站住宅主臥室的 W_e 模擬值之差異。

資料來源：本研究繪製

圖 23~24 顯示出，研究期間各測點住宅客廳及主臥室的 W_e 值以實測氣候數據進行模擬預測時，與氣象站所得結果之差異值分別為 355~678 及 228~758 °C-小時，平均差異值分別為 510 及 477 °C-小時；以 Morphing approach 預測氣候數據進行模擬時，與氣象站所得結果之差異值分別為 440~745 及 394~921 °C-小時，平均差異值分別為 576 及 629 °C-小時；以 Morphing-LCLU Model 預測氣候數據進行模擬時，與氣象站所得結果之差異值分別為 398~729 及 331~870 °C-小時，平均差異值分別為 576 及 620 °C-小時。



第六章 結論與建議

本研究以台中市長期實測的氣候數據為基礎，探討 Morphing approach 應用在建構都市微氣候資料的可行性，同時透過 EnergyPlus 模擬以量化探討都市微氣候變化對建築冷氣能耗和室內熱舒適的影響。最後，以考量土地覆蓋及利用型態為氣候微變參數迴歸方程式，發展考量都市發展及熱島效應的都市氣候預測模型。

研究實測顯示，氣象站及都市中各區域測點的實際氣象數據有顯著差異，各測點所測得的平均溫度高於氣象站測得的平均溫度約 1.3°C - 2.1°C 。而從氣候逐時實測及預測數據的比較中，顯示 Morphing approach 用於都市微氣候的逐時溫度與相對溼度預測有很高的準確性。

經由空調耗能誤差的比較，顯示使用實測和預測氣象數據其誤差極微，介於 0.50-1.06% 之間；但用於自然通風住宅的熱舒適預測上卻有較大的誤差。研究結果發現，以氣象站的數據資料做為比較基準，當市區的測點在實驗期間(七月到十月)的平均外氣溫度上升 1°C ，對於空調住宅會造成冷氣能耗增加 15.5%；同時對自然通風住宅的客廳及主臥室的 H_e 分別增加 57% 及 103%，以及在 W_e 分別增加 68% 及 111%。

研究結果也顯示，相較於以氣象站數據為基礎進行住宅各空間熱舒適性評估，如以 Morphing approach 及 Morphing-LCLU Model 產生之預測氣候數據進行模擬預測時之準確性較高，如此將可提升都市住宅能耗與熱舒適性預測之準確性。

研究結論指出，環境、氣候、能源及熱舒適四者彼此息息相關，都市土地覆蓋利用型態除了影響都市微氣候之外，更進一步會影響住宅熱環境，因而導致住宅熱環境的差異。住宅空調能耗及熱舒適性與都市環境溫度有一正相關之關係，因此為了合理的達到住宅節能及提升住宅熱舒適性，在環境規劃更需要著重於都市土地開發規劃，減緩都市微氣候及熱島效應的惡化。而都市氣候預測模型 Morphing approach 的高準確性不但可克服都市區域氣象觀測點不足的缺點，也

適用於解析都市微氣候差異對於住宅能耗及熱舒適性的影響，同時加入土地覆蓋利用因子以反映都市環境的影響，一方面希冀透過現有都市環境進行推估建築物興建後之耗能與舒適性，另一方面也得以期望的建築物熱環境，來推估未來適宜的都市環境規劃，如此可作為都市規劃、建築設計及都市管理者擬定策略之參考。



參考文獻

中文文獻：

1. 吉野正敏 (1976)。小氣候。東京：大明堂株式會社。
2. 李魁鵬 (1999)。台灣四大都會區都市熱島之研究。博士論文，國立成功大學建築學系研究所，台南市。
3. 吳崇銘 (2006)。公園對於周圍街廓熱環境影響之研究。碩士論文，朝陽科技大學建築及都市設計研究所，台中市。
4. 吳明隆 (2007)。SPSS操作與應用-變異數分析實務。台北市：五南圖書出版股份有限公司。
5. 林憲德、李魁鵬、陳冠廷、林立人、郭曉青、陳子謙 (1999)。臺灣四大都會區都市熱島效應實測解析(一)—國內外都市熱島強度之比較。建築學報，31，51-73。
6. 林憲德、黃國倉 (2005)。台灣 TMY2 標準氣象年之研究與應用。建築學報，53，79-94。
7. 孫振義 (2003)。台南地區都市熱島研究。碩士論文，國立成功大學建築學系研究所，台南市。
8. 智慧綠建築資訊網。建築能源模擬解析用 TMY3 標準氣象年資料。上網日期：2015 年 10 月 16 日，檢自：<http://smartgreen.abri.gov.tw/index.php>。
9. 廖峯淇 (2009)。土地利用型態組成與都市微氣候關係之實測研究-以台中市為例。碩士論文，逢甲大學建築研究所，台中市。
10. 廖大經、利幸貞、李炳和、陳俊仁、姚銘輝 (2013)。日射量估計模式比較之研究—以嘉義地區為例。作物、環境與生物資訊，10(4)，261-271。
11. 郭柏巖 (1999)。都市公園微氣候觀測解析。碩士論文，國立成功大學建築學系研究所，台南市。
12. 盧信忠 (2009)。台灣地區臭氧濃度預測方法之比較研究。碩士論文，弘光科技大學環境工程研究所，台中市。
13. 鄭師中譯 (1988)。都市氣候學。新北市：財團法人徐氏基金會。
14. 鄭婉純 (2003)。都市土地使用與都市氣溫關係之研究—台中地區之實證研究。碩士論文，逢甲大學土地管理所，台中市。

外文文獻：

1. Alexander Velazquez-Lozada, Jorge E. Gonzalez, Amos Winter (2006). Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico, *Atmospheric and Environment*, 40, 1731-1741.
2. Anastasia Mylona, (2012). The use of UKCP09 to produce weather files for building simulation, *Building Serv. Eng. Res. Technol.* 33 (1), 51–62.
3. A.L.S. Chan (2011). Developing a modified typical meteorological year weather file for Hong Kong taking into account the urban heat island effect, *Building and Environment*, 46, 2434-2441.
4. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering. (2004). Thermal environmental conditions for human occupancy. *ASHRAE Standard 55*, Atlanta, Ga, USA.
5. Central Weather Bureau. (2010). *Analysis on the Trend of Global and Taiwan's Climate*, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan. Retrieved October 15, 2015, from [http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate info/monitoring/monitoring 7.html](http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate%20info/monitoring/monitoring%207.html).
6. Cryopak, (2013). *ESCORT iLog User Guide*, Cryopak, New York, NY, USA. Retrieved October 15, 2015, from <http://www.cryopak.com/en/verification-products/data-loggers/ilog/>.
7. CEN, (2007). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. *CEN Standard EN 15251:2007*, CEN, Brussels, Belgium.
8. C.-P. Chen, R.-L. Hwang, and W.-M. Shih. (2014). Effect of fee-for-service air-conditioning management in balancing thermal comfort and energy usage. *International Journal of Biometeorology*.
9. Department of Economic and Social Affairs. (2015). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. United Nations, New York.
10. D. B. Crawley, L. K. Lawrie, F. C. Winkelmann et al. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, vol. 33 (4), 319–331.
11. Danny H.W. Li, Liu Yang, Joseph C. Lam. (2012). Impact of climate change on energy use in the built environment in different climate zones - A review. *Energy* 42, 103-112.
12. Erik Johansson. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment*, 41, 1326-1338.

13. Eduardo Krüger, Baruch Givoni. (2007). Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 42, 1685-1698.
14. F. Linke. Price. (1940). Climate and the city.
15. F. Nicol and M. Humphreys. (2010). Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. *Building and Environment*, 45, (1), 11–17.
16. HaiderTaha. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25, 99-103.
17. H. AKBARI, M. POMERANTZ, H. TAHA. (2001). COOL SURFACES AND SHADE TREES TO REDUCE ENERGY USE AND IMPROVE AIR QUALITY IN URBAN AREAS. *Solar Energy*, 70(3), 295-310.
18. Hadas Saaroni, Eyal Ben-Dor, Arie Bitan, Oded Potchter. (2000). Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. *Landscape and Urban Planning*, 48, 1-18.
19. Hui, S. C. M. and Tsang, M. F. (2005). Climatic data for sustainable building design in Hong Kong. In *Proceedings of the Joint Symposium 2005: New Challenges in Building Services*, Hong Kong SAR.
20. Humphreys MA. (1978). Outdoor temperatures and comfort indoors. *Building Research and Practice*, 6(2), 92–105.
21. International Standards Organization. (2005). Moderate thermal environments—determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. *ISO 7730:2005, International Standards Organization*, Geneva, Switzerland.
22. Jusuf PR, Martin PR, Grunert U. (2006). Synaptic connectivity in the midget-parvocellular pathway of primate central retina. *J Comp Neurol*, 494, 260-274.
23. Janet Nichol, Man Sing Wong. (2005). Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 73, 49-58.
24. Kevin K.W. Wan, Danny H.W. Li, Dalong Liu, Joseph C. Lam. (2011). Future trends of building heating and cooling loads and energy consumption in different climates. *Building and Environment* 46, 223-234.
25. Luke Howard. (1818). The Climate of London.
26. Landsberg, H.E. (1981). The urban climate. New York : Academic Press.
27. Liu Yang, Joseph C. Lam, Jiaping Liu. (2007). Analysis of typical meteorological years in different climates of China. *Energy Conversion and Management* 48, 654–668.
28. Liu Yang, Joseph C. Lam, Jiaping Liu, C.L. Tsang. (2008). Building energy

- simulation using multi-years and typical meteorological years in different climates.*Energy Conversion and Management* 49, 113–124.
29. Lisa Guan. (2009). Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings.*Building and Environment* 44, 793–800.
 30. Mestayer, P., P. Durand, P. and 33 others including J. A. Voogt. (2005). The Urban Boundary Layer Field Campaign in Marseille(UBL/CLU-ESCOMPTE) : Set-up and first results.*Boundary-Layer Meteorology*, 114(2), 315-365.
 31. M. William, U. Ken. (1995). User`s manual for Typical Meteorological Years.*National Renewable Energy Laboratory*, Colorado.
 32. Mark F. Jentsch, AbuBakr S. Bahaj, Patrick A.B. James. (2008). Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files.*Energy and Buildings* 40, 2148–2168.
 33. M Eames, T Kershaw, D Coley. (2010). On the creation of future probabilistic design weather years from UKCP09.*Building Serv. Eng. Res. and Technol.* 0 (0) 1–16.
 34. M. Kolokotroni, I. Giannitsaris, and R. Watkins. (2006). The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies.*Solar Energy*, 80, 383-392.
 35. N.H. Wong, S. K. Jusuf, A. A. L. Win, H. K. Thu, T. S. Negara, and W. Xuchao. (2007). Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics.*Building and Environment*, 42, 2949-2970.
 36. N. H. Wong, S. K. Jusuf, N. I. Syafii, and Y. Chen, N. Hajadi, H. Sathyanarayanan, and Y. V. Manickavasagam. (2011). Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption.*Solar Energy*, 85, 57-71.
 37. Paul J. Crutzen. (2006). Interactions between global change and human health.*The Pontifical Academy Of Sciences*, 106.
 38. R. Emmanuel. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka.*Building and Environment*, 40, 1591-1601.
 39. R.-L. Hwang, C.-P. Chen, F.-Y. Lin, W.-M. Shih, and K.-T. Huang. (2013). Applicability of ASHRAE Standard 55 and EN 15251 Adaptive Thermal Comfort Models in Hot-and-Humid Climate.*Environment and Health—Conference of the ISEE, the ISES, and the ISIAQ*, Basel, Switzerland.
 40. S. K. Jusuf, N.H. Wong, E. Hagen, R. Anggoro, and Y. Hong. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore.*Habitat International*, 31, 232-242.
 41. S. Oxizidis, A. V. Dudek, and A. M. Papadopoulos. (2008). A computational

- method to assess the impact of urban climate on buildings using modeled climatic data.*Energy and Buildings*, 40, 215-223.
42. S. E. Belcher, J. N. Hacker, and D. S. Powell. (2005). Constructing design weather for future climates.*Building services Engineering Research and Technology*, 26, 49-61.
 43. University of Wisconsin--Madison. Solar Energy Laboratory, & Klein, S. A. (1979). TRNSYS, a transient system simulation program.*Solar Energy Laboratary*, University of Wisconsin—Madison.
 44. Winkelmann, F. C., Birdsall, B. E., Buhl, W. F., Ellington, K. L., Erdem, A. E., Hirsch, J. J., & Gates, S. (1993). DOE-2 supplement: version 2.1 E. Lawrence Berkeley Lab. CA (United States); Hirsch (James J.) and Associates, Camarillo, CA (United States).
 45. Xiaoming Wang, Dong Chen, Zhengen Ren. (2010). Assessment of climate change impact on residential building heating and cooling energy requirement in Australia.*Building and Environment*, 45, 1663–1682.
 46. Y. Sun and G. Augenbroe. (2014). Urban heat island effect on energy application studies of office buildings.*Energy and Buildings*, 77, 171-179.
 47. Z. Bottya'n , J. Unger. (2003). A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 75, 233–243.
 48. Z. Ren, X. Wang, D. Chen, C. Wang, and M. Thatcher. (2012). Constructing weather data for building simulation considering urban heat island.*Building services Engineering Research and Technology*, 0, 1-14.

