

[在此鍵入]

都市戶外通風效益分析 與推動策略研議 成果報告書

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 108 年 12 月

都市戶外通風效益分析 與推動策略研議

研究主持人：鄭元良

協同主持人：林子平

研究員：梁文宇、郭建源、張淇喻、陳育成

研究助理：施文玫、洪國安

研究期程：中華民國 108 年 2 月至 108 年 12 月

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 108 年 12 月

目次

表次	V
圖次	VII
摘要	XIV
ABSTRACT	XVI
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目標.....	2
第三節 研究流程.....	4
第四節 國內外文獻回顧.....	5
第五節 名詞解釋.....	16
第二章 研究方法.....	19
第一節 研究區域.....	20
第二節 氣候資料取得方法.....	21
一、 氣候模擬.....	21
二、 實際量測.....	25
第三節 建成資料取得方法.....	32

一、 數值地形圖.....	32
二、 地表覆蓋.....	35
三、 植生指標.....	37
四、 局部氣候分區.....	39
五、 數值建築資料.....	45
六、 土地使用分區資料.....	47
七、 地表粗糙長度預估.....	50
八、 能源消耗.....	54
第四節 都市戶外風熱環境評估方法.....	64
一、 風速預估.....	66
二、 風廊評估.....	70
三、 低風速敏感區.....	71
四、 高溫敏感區.....	73
第五節 通風效益評估方法.....	74
一、 格點化模式.....	75
二、 關聯分析.....	76
第六節 法規推動方法.....	77

一、 可行法令路徑.....	77
二、 基地通風率.....	81
三、 建築棟距管制.....	90
第三章 研究成果.....	93
第一節 戶外通風及熱環境與能耗評估.....	93
一、 風速分布圖.....	94
二、 風向分布圖.....	97
三、 風廊分布圖.....	98
四、 低風速敏感區分布圖.....	100
五、 空氣溫度分布圖.....	104
六、 生理等效溫度分布圖.....	105
七、 高溫敏感區分布圖.....	107
八、 能源消耗強度分布圖.....	108
第二節 戶外通風效益分析.....	111
一、 空氣溫度與風速之關聯.....	111
二、 生理等效溫度與風速之關聯.....	112
三、 能源消耗與風速之關聯.....	113

第三節 戶外通風推動策略研議.....	115
一、 都市法令策略研擬及政府相關部門盤點	115
二、 都市通風降溫規範.....	119
三、 都市風熱環境情境模擬分析	122
第四章 研究結論與建議.....	132
一、 研究結論.....	132
二、 研究建議.....	135
參考書目	138
附錄一 期中報告審查會議意見回應	142
附錄二 第一次專家會議審查會議意見回應	148
附錄三 期末報告審查會議意見回應	154
附錄四 第二次專家會議審查會議意見回應	159
附錄五 第一次專家會議簽到表	168
附錄六 第二次專家會議簽到表	169

表次

表 1-1 香港空氣流通評估綱領	14
表 1-2 本研究名詞解釋表	16
表 2-1 風熱環境定點量測資料表	25
表 2-2 移動實測資料格式	29
表 2-3 局部氣候分區因子對照表	40
表 2-4 土地使用分區之 RGB 值	44
表 2-5 各土地使用分區對照之代碼	47
表 2-6 住宅模型設置	55
表 2-7 常見建築類型 EUI 排名圖	61
表 2-8 粗糙度與粗糙長度計算及轉換公式表.....	65
表 2-9 蒲福氏風級表	69
表 2-10 台灣生理等效溫度熱舒適度分級.....	70
表 2-11 都市計劃中央及地方可操作之項目.....	86
表 2-12 不同層級之法規與可操作項目及利害關係人表..	95
表 3-1 測試模擬之三時段平均空氣溫度、輻射溫度、	

風速表.....	95
----------	----

圖次

圖 1-1 計畫區內建築各棟立面總寬度說明	8
圖 1-2 日本 CASBEE HI 對建築基地之規範	9
圖 1-3 都市建成環境對應之地表粗糙度以及風速	10
圖 1-4 香港九龍都市風廊道評估	12
圖 1-5 建築立面面積指數計算方法	13
圖 1-6 香港空氣流通評估操作流程	15
圖 1-7 香港空氣流通評估計算標準	16
圖 2-1 方法對應成果架構圖	17
圖 2-2 研究區域示範區台北市	19
圖 2-3 (a)經濟部能源局台北地區 10 米風速圖(b)不同土地 使用對應之粗糙度	20
圖 2-4 ENVI-met 操作方式	21
圖 2-5 RayMan 操作方式	23
圖 2-6 風熱環境定點量測	24
圖 2-7 風熱環境定點量測結果	26

圖 2-8 台北市氣象局局屬測站位置	27
圖 2-9 移動實測搭載器材之小客車	28
圖 2-10 移動實測路線及搭載之儀器	29
圖 2-11 數值地形模型示意圖	31
圖 2-12 研究示範區台北市之地表高層模型(DEM&DSM) ..	31
圖 2-13 研究示範區台北市之數值地形模型(nDSM).. ..	32
圖 2-14 研究區域示範區台北市之綠帶與水域分佈	33
圖 2-15 研究區域示範區台北市之地表覆蓋分類狀況圖 .	34
圖 2-16 研究區域示範區台北市之常態化植生指標分佈 圖	35
圖 2-17 局部氣候分區分類圖說	37
圖 2-18 局部氣候分區分類訓練過程	38
圖 2-19 SAGA GIS 操作過程	38
圖 2-20 台北市之 Landsat8 衛星影像	39
圖 2-21 台北市之局部氣候分區分佈圖	41
圖 2-22 台北市數值建築資料	42
圖 2-23 台北市建築地板面積與建築總樓地板面積分佈 .	43

圖 2-24 台北市網格內建築分度	43
圖 2-25 土地使用分區隔柵轉向量示意圖	45
圖 2-26 台北市局部土地使用分區分佈圖	45
圖 2-27 台北市全區土地使用分區分佈圖	46
圖 2-28 台北市地表粗糙長度分佈圖	49
圖 2-29 台北市局部放大地表粗糙長度分佈圖	50
圖 2-30 網格環域示意圖	53
圖 2-30 潛在風廊門檻設定	56
圖 2-31 標準住宅平面圖	54
圖 2-32 最高溫網格每日可自然通風時數	56
圖 2-33 最低溫網格每日可自然通風時數	57
圖 2-34 熱季可自然通風時數	57
圖 2-35 最高溫網格與最低溫網格的每日空調能源耗用 強度	59
圖 2-36 熱季 5-10 月的住宅空調 EUI 分佈	60
圖 2-37 涼季 11-4 月的住宅空調 EUI 分佈	60
圖 2-38 邊界層風速折減示意說明	66

圖 2-39 潛在風廊門檻設定	67
圖 2-40 最小路徑法示意圖	67
圖 2-41 網格化台北市包含都市發展及氣候資訊	72
圖 2-42 風速資料與溫度及能耗資料分析流程	73
圖 2-43 都市規劃設計法規法源及階層	76
圖 2-44 建築基地通風之權利與義務示意圖	78
圖 2-45 基地通風率迎風面積示意圖	79
圖 2-46 基地通風率建築配置示意圖	79
圖 2-47 基地通風率建築型態示意圖	80
圖 2-48 基地通風率需評估對象說明圖	81
圖 2-49 基地通風率界定潛在通風區域方法說明圖	82
圖 2-50 基地通風率計算基準風阻面積方法說明圖	83
圖 2-51 基地通風率計算基準風阻面積之必要間距限制 說明圖	84
圖 2-52 基地通風率計算實際風阻面積之方法說明圖 ..	85
圖 2-53 基地通風率計算合格之獎勵辦法說明圖	86
圖 2-54 建築棟距管制對都市風環境之影響示意圖	87

圖 2-55 建築棟距管制之操作方法示意圖	87
圖 3-1 台北市使用天氣研究和預報模式之風速分佈圖 ..	91
圖 3-2 台北市使用粗糙度折減之風速分佈圖	92
圖 3-3 台北市夏季風花圖	93
圖 3-4 台北市冬季風花圖	94
圖 3-5 台北市夏季潛在風廊分佈	95
圖 3-6 台北市冬季潛在風廊分佈	96
圖 3-7 台北市全年低風速敏感區	97
圖 3-8 台北市局部全年低風速敏感區(a)基隆河(b)台灣 大學	98
圖 3-9 台北市夏季低風速敏感區	99
圖 3-10 台北市夏季空氣溫度分佈圖	101
圖 3-11 台北市生理等效溫度分布圖	102
圖 3-12 台北市高溫敏感區分布圖	103
圖 3-13 台北市全年能源消耗強度分布圖	104
圖 3-14 台北市全年能源消耗強度街廓尺度分布圖	105
圖 3-15 台北市全年能源消耗強度建築尺度分布圖	106

圖 3-16 空氣溫度與風速之關聯圖	107
圖 3-17 生理等效溫度與風速之關聯圖	108
圖 3-18 能源消耗與風速之關聯圖	109
圖 3-19 平均能源消耗與風速區間之關聯圖.....	110
圖 3-20 都市通風納入法令之層級及管制方法.....	112
圖 3-21 都市計劃與通盤檢討流程	113
圖 3-22 促進都市通風降溫方式	113
圖 3-23 基地通風率之管制規範擬定	115
圖 3-25 都市配置氣候模擬型態	117
圖 3-26 不同基地通風率配置氣候模擬型態.....	120
圖 3-27 基地通風率 0%配置(平均風速 0.51m/s)	121
圖 3-28 基地通風率 10%配置(平均風速 0.7m/s)	122
圖 3-29 基地通風率 20%配置(平均風速 1.03m/s)	122
圖 3-30 基地通風率 30%配置(平均風速 1.63m/s)	123
圖 3-31 基地通風率 40%配置(平均風速 1.17m/s)	123
圖 3-32 基地通風率對初始風速折減之效果.....	124
圖 3-33 不同建築棟距配置氣候模擬型態.....	125

圖 3-34 建築棟距配置之基地內通風效果圖.....	125
-----------------------------	-----

摘要

關鍵字：戶外通風、氣候暖化、降溫效益分析、通風策略、能源耗用

一、研究緣起

在台灣炎熱高濕且都市密集的背景下，都市高溫化所造成的熱壓力不僅影響環境生態及居民健康，外氣溫度上升也導致空調等電器開啟及運轉時間增加，造成能源耗用及大量碳排放問題。台灣氣候變遷科學報告結果(2011)指出，1911 年至 2009 年期間，每 10 年平均溫度上升 1.4°C ，近幾十年建的全球氣候變遷以及高溫化的問題已是刻不容緩。國內外的研究顯示，都市中若有良好的通風條件，可引進新鮮及涼爽的空氣，減緩都市熱島現象，降溫藉以提高行人熱舒適性，並有助於建築空調耗能的降低及戶外空氣品質的提昇，為低碳與健康城市的重要策略。

二、研究方法及過程

本研究針對示範地點進行都市戶外通風政策推動研議與效益分析，藉以應用研究結果套用至都市規畫設計之建議以及包含由都市以及建築兩方面法規及限制之擬訂，藉以解決都市中微氣候以及公共衛生等環境議題，利用各級測站的風環境氣象資料，配合衛星影像、數值地表模型、土地利用/土地覆蓋資訊及利用效益分析之方式，了解不通的都市風環境狀況與多種的都市因子如多時段的風速與溫度關聯、不同氣候模式下風環境與高溫及與能源耗用關聯與預估模式，利用實際數值效益成果呈現方式將氣候之現實狀況可以被理解，並藉此降低都市微氣候的壓力與負荷。

三、重要發現

本研究計畫透過對台北市風環境之評估了解都市風環境狀況與多種的都市因子如多時段的風速與溫度與能源耗用之關聯，藉此提供不具氣候專業背景之都市規劃人員一個可快速且輕易瞭解之都市風熱環境氣候平台。於通風效益分析結果顯示，風速對於空氣溫度以及生理等效溫度皆為負相關，意即風速越高將會造成溫度下降之趨勢，而對於能源則發現，在風速較低的密集高層建築區域，因為粗糙度提高關係而使風速減弱，其出現高能源使用之可能性將會提高。於法令部份，本研究整理盤點可提供相關策略之政府相關部門進行管制研擬，藉由基地通風率以及對基地內建築棟距地管制，利用不同百分比地基地通風率進行敏感度分析以提供後續建築規劃之發展。

四、主要建議事項

[建議一]

短期建議-各縣市將都市通風概念如基地通風率與棟距管制等，納入都市更新規範中，藉由設定門檻值篩選需評估之項目以及相關獎勵辦法制定，提高應用可能性。

主辦機關：各縣市都市發展局

協辦機關：內政部建築研究所

本研究計畫藉由地表數值模型與衛星資訊取得都市中之建築物高度以及面積，並利用流體力學軟體模擬不同通風與棟距之情境風速，將可了解不同地建築布局對風環境之影響。短期內將可利用本方法應用至不同縣市之都市更新規範中，因都市更新規範並不需要透過需要較長期程之討論及宣告期來發布修法或立法等，且較能符合在地土地特徵及需求，透過法規地訂立，除可增益都市風環境之通風效果亦可減緩氣候變遷對都市的影響。

[建議二]

中期建議-各縣市於各都市計畫區劃設風速敏感區以及風廊分布，以及制訂需要納入都市規劃設計之規範。

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：各縣市都市發展局、建設處、工務局

本研究於中期建議分為三級，第一級為應於細部計畫書中放入風廊圖，並提及風環境的應導入使用分區及強度，及此風廊對於未來的影響，以揭示風廊的重要性。於第二級則應於細部計畫書中明定風廊經過基地，需進行風環境之評估並符合規範，如二維棟距及三維基地通風率。而第三級則應於細部計畫書中明定全區需進行風環境之管制，風廊經過處並加強管制。

[建議三]

長期建議-開放地表數值模型資料，並製作不同時間之全國都市風環境分布地圖，並將低風速區納入國土計畫中考量，以朝向都市降溫及永續發展。

主辦機關：內政部國土測繪中心、內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

本研究利用數值地形模型及風速指數折減公式，取得快速可應用至不同地區之地表風速預估模式，本研究建議後續可將都市風環境之研究成果應用於可能造成之環境議題進行即時可視化的評估與呈現。本研究亦建議內政部營建署明確制定風環境於都市永續發展中所需考量之項目使都市規劃人員方便操作，同時建議於國土計畫中加入考慮氣候現況之配置情形與對環境之敏感程度分別訂定不同區域之開發限制。

ABSTRACT

Keywords: outdoor ventilation, climate warming, cooling benefit analysis, ventilation strategy, energy consumption

In view of the global climate warming and the urban heat island effect and other climate change issues have become an important issue in the face of development and urbanization, this study will promote urban outdoor ventilation policy promotion research and benefit analysis for demonstration sites, so that application research The results are applied to the urban planning design proposal and include the formulation of urban and architectural regulations and restrictions to solve the urban micro-climate and public health and other environmental issues, and use the benefit analysis method to understand the impaired urban wind environment.

Correlation with a variety of urban factors such as multi-period wind speed and temperature, wind environment and high temperature in different climate models, and energy consumption correlation and prediction mode, using the actual numerical benefit results presentation method to understand the reality of the climate, and In order to reduce the pressure and load of urban microclimate, this study will select the demonstration area as the research scope, and use the wind environment meteorological data of each station to cooperate with satellite imagery, numerical surface model, land use/land cover information.

Complete the following research contents and projects within the scope: 1. Establish low-speed high-temperature potential area maps, analyze the potential impact of current conditions on energy-saving and carbon-reducing comfort in the demonstration area, and evaluate the possible quantitative benefits after improvement. 2. Collect existing regulations and controls for domestic and international ventilation strategies, and take stock of the departments and

mechanisms that may be promoted by central and local governments in Taiwan. 3. Design a metropolitan ventilation environment sensitive area in the demonstration area and propose a strategy for the corresponding central and local method control.

The results of the scientific report on climate change in Taiwan (2011) also pointed out that every 10 years from 1911 to 2009 The average temperature has risen by 1.4 °C, and the problem of global climate change and high temperature built in recent decades is an urgent task.

Studies have shown that if there are good ventilation conditions in the city, fresh and cool air can be introduced to slow down the urban heat island phenomenon, cooling can improve pedestrian thermal comfort, and contribute to the reduction of building air conditioning energy consumption and outdoor air. Quality improvement is an important strategy for low carbon and healthy cities.

This study will complete the urban wind environment distribution map and propose suggestions for follow-up urban planning through different wind environment estimation and measurement methods to improve the urban climate environment.

The objectives include:

1. Complete the wind speed and direction in the demonstration area in different months and days and nights. Characteristics and problems, and their analysis of the benefits of energy saving and cooling.

2. Analyze the development process of the foreign ventilation strategy, and apply it to the feasible path under the geographical and climatic characteristics of Taiwan and the legal framework, and respond to the climate change adaptation issue of the national land plan.

3. Establish information on the ventilation environment in the demonstration area for the development of the objective principles of the urban planning law, the process of land use control, and the production of the principles of urban design review.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

鑑於全球氣候暖化以及都市熱島效應等氣候變遷議題已成為區域在面對開發及都市化下刻不容緩的重要議題，IPCC(intergovernmental Panel on Climate Change)於 2007 年指出，全球平均溫度於近 100 年，增加了約 0.74℃；台灣氣候變遷科學報告結果(2011)也指出，1911 年至 2009 年期間，每 10 年平均溫度上升 1.4℃，近幾十年建的全球氣候變遷以及高溫化的問題已是刻不容緩。都市化的過程因為居住人口及開發密度增加，導致人工的地表及建築材料蓄熱增加、空調系統等人工發熱高、綠地稀少而植栽蒸發散量降低，再加上通風不佳熱量不易擴散等因素，使得都市市中心呈現高溫化的現象，都會區與郊區間的溫度差逐漸加大，加上近年全球氣候變遷以及溫室效應的多重因素影響下，全球氣溫皆有所升高，而都市中更是尤其明顯。

台灣位處熱帶與副熱帶氣候區之交界，氣候炎熱高濕且都市開發呈現高密度且密集，由於高密度的城市發展，台灣多個都市正受都市熱島效應影響，市區氣溫顯著較周邊郊區為高，各都市的全年平均溫度都在明顯升高，過度密集的建築環境會造成都市熱島效應，都市高溫化所造成的熱壓力不僅影響環境生態及居民健康，外氣溫度上升也導致空調等電器開啟及運轉時間增加，

造成能源耗用及大量碳排放問題。國內外的研究顯示，都市中若能有良好的通風條件，可引進新鮮及涼爽的空氣，減緩都市熱島現象，提高行人熱舒適性，並有助於建築空調耗能的降低及戶外空氣品質的提昇，為低碳與健康城市的重要策略。

內政部建築研究所於前期計畫中，已針對南部示範區(台南都會區、高雄都會區)，利用各級測站的風環境氣象資料，配合衛星影像、數值地表模型、土地利用/土地覆蓋資訊，提出都市風廊的標準製作方法及驗證方式，並建構完成跨區域之風廊成果。然而，這些資訊對於節能減碳舒適的效益，仍需進一步分析及呈現，以提高都市通風推動之必要性。同時，關於都市通風資訊的應用方式及對象，以及導入國土計畫及都市相關政策之路徑，亦亟需進行探討以推動都市通風進行。

第二節 研究目標

本研究透過預估及實際量測都市風環境針對都市中的風向及風速等風環境參數及通風潛力進行分析與評估，與都市發展因子與特徵如熱環境、熱舒適性以及能源消耗等進行關連與效益分析，並在了解都市中通風環境與多種因子之關連後，分析現況對於示範區節能減碳舒適的潛在衝擊，並評估改善後的可能達成的量化效益。透過蒐集以及整理國內外之相關微氣候因子如風、熱等納入法規之文獻與法規等限制，以利盤點台灣中央及地方政府可能推動

的部門及機制，並於研究示範區內化設通風敏感區即低風速風險區，以便提供政府檢視都市中通風能力較差的區位，進而可提出可對應的中央及地方法令管制之策略。利用以上目的及研究內容所述，期望藉由本研究之結果比較其準確性以及適用性，以有效利用風對熱的調節能力減緩都市高溫化現象，提高住居環境品質，由此上述優點即可見都市戶外通風之重要性，研究目的之內容包含以下三項

1. 建立低風速高溫潛勢區圖資，分析現況對於示範區節能減碳舒適的潛在衝擊，並評估改善後的可能達成的量化效益。利用粗糙度折減以及實際量測的都市風速及風向資訊與包含空氣溫度、熱舒適指標、能源耗用等因子進行關聯性以及效益分析，了解風速的提升與下降將會如何對都市中的環境產生不同層度的影響、藉此以量化的方式呈現，同時並模擬評估環境品質較低之區域改善後之差異以及效益，藉此提供後續法規擬定之科學依據。

2. 蒐集國內外通風策略現有規範及管制，盤點台灣中央及地方政府可能推動的部門及機制。本研究針對國內外包含日本、德國、香港等先進國家對其將微氣候納入都市規劃設計法規之方法與具體方式進行分析，其中包含風廊道之留設以及都市通風評估之流程與方法等，同時並整理盤點台灣中央及各縣市之地方政府內與都市規劃設計及建築物管理相關之部門如營建署、都市發展局、建築管理科等局處科室做為進行臺灣後續相關法規研擬推動之

基礎及對象。

3. 劃設示範區內都市通風環境敏感區，並提出可對應的中央及地方法令管制之策略。本研究將於示範區基地中透過風環境評估劃設不同等級之通風環境敏感區，如考慮能耗以及溫度等，並將考慮現實層面並與國家土地使用相關之上位計畫進行連結，其中包含國土計畫以及土地使用管制等法令以及規範，其中將針對有關於氣候變遷之相關條例以及都市永續發展之目標進行研擬與探討。

第三節 研究流程

本研究計畫之重要性在於利用都市通風環境評估以及其與多樣性的都市發展因子進行效益分析，台灣城市的人口密度高，快速都市化的過程造就高密度開發之建成環境包含建築高度以及建築密度，並減少了都市空地及綠地空間的面積，進而使得都市通風能力下降，或使得原本處於高風流通特性的地區消失，無法透過風廊吹拂帶離都市中大量人為產熱所造成之熱壓力，使得都市熱負荷因此增加造成都市中居民健康以及工作效率下降等議題，在不同的季節亦有機會造成的環境與公衛議題，皆是與都市風環境有相關影響之主題。

在理論上的結果將可協助連結都市規劃者以及政府相關都市設計部門等，提供不具氣候專業背景之都市規劃人員一個可快速且輕易瞭解之都市風環境

氣候平台，亦可了解島都市中風環境對不同因子之影響如溫度、熱舒適性以及能源耗用間之關聯，如探討不同的建物配置對風環境的影響進而改善未來都市規劃設計時之參考依據，而在實際面的結果更可透過戶外通風政策的擬定以及推動，因應氣候變遷，確保都市中人居環境的舒適性，並降低氣候變遷以及都市熱島所帶來的熱致死以及過高熱壓力所致的相關疾病。

本研究計畫之重要性為透過都市風環境的評估以及了解風環境與都市中熱環境、能源消耗環境之關聯與效益分析，了解都市中風環境之重要性以及其未來於都市規劃設計法規中可發展之潛力，完成都市風環境分布圖以及提出後續國土計畫以及都市計畫相關建議，改善都市氣候環境，藉此降低氣候變遷以及都市發展所帶來的環境衝擊，其中包含：

1. 完成示範區內風速風向在不同月份及日夜特徵及問題，及其對於節能及降溫之效益分析。
2. 分析完成國外通風策略的發展過程，及應用於台灣地理氣候特徵及法令架構下的可行路徑，並對應國土計畫之氣候變遷調適議題。
3. 建立示範區內格點化的通風環境資訊，供都市計畫法之目標原則研擬、土地使用管制之流程訂定，及都市設計審議原則準則之製作。

第四節 國內外文獻回顧

在將風環境可視化並連結都市規劃設計人員方面，因都市氣候環境在近

年已逐漸成為政府及各領域重視之議題，在台灣研究方面，已有多個城市如臺北市、新北市、臺中市、嘉義市、臺南市以及高雄市有相關的氣候可視化研究(Chen et al., 2016; Chen et al., 2016; Lin et al., 2017; Chen et al., 2017; 林奉怡等, 2014)，當中包含呈現都市中熱環境以及風環境的分佈，例如高溫熱點、熱壓力、通風條件、風廊、低風速風險區等分布圖，其主要製作目的為將都市中的氣候現況透過可視化的方法迅速連結沒有氣候背景的都市規劃設計人員得以參考，不僅提供規劃設計者建議，甚至形成規劃設計的準則或法令，以有效改善既有環境之惡化並提升未來都市空間之氣候調適性，這在氣候變遷及都市高溫化的未來趨勢中尤其重要。並有效進入下一步驟即提供不同區域之規劃設計建議參考。

而國外研究則而在法規限制方面則目前在全球有多個國家及城市都已針對都市環境氣候圖進行分析及建置如德國(Katzschner and Mulder, 2008.)、葡萄牙(Alcoforado et al. 2009.)、英國(Smith et al. 2009.)、瑞士(Parlow et al. 2001.)、希臘(Charalampopoulos and Chronopoulou 2005.)、瑞典(Svensson et al. 2003.)、以及香港(Ren et al. 2007.)、新加坡(Wong et al. 2012)。過去風熱環境研究多注重在都市熱島、或是過度人為開發的地區，然而近年來因為氣候變遷之因素，極端氣候現象遽增，使得都市及周遭地區皆遭受高溫的衝擊。沿海區域因環境變遷、土地利用、土地覆蓋的因素，其

生活的地區及產業的空間都受到高溫化極大的衝擊。因此如何防範未然，秉持著科學研究精神，本研究將探討濱海一帶氣候環境之變遷對聚落的影響，以及高溫現象下環境需要關注在那些調適策略，才能不僅改善現有高熱不舒適之生活環境，更能提倡聚落永續發展。

而在計算風環境之方法上，在臺灣的南部都市臺南及高雄，王安強等(2018)，利用多種計算地表粗糙度以及實測驗證之方法，利用都市地表覆蓋及土地使用之特徵以及實測所量得之風速資料採用風速剖面指數進行地表風速之折減，同時亦採用地表粗糙度做為風阻預估都市中的通風潛力及風廊分佈，透過該種方式不同地況的城市皆可快速掌握都市中風環境的分佈。

在國外案例則 Bottema and Mestayer (1998) 藉由建築高度及坐向計算地表粗糙長度。其在 SkyHelios 中使用 Voronoi 圖為每個區域計算粗糙度的參考範圍。使用 Voronoi 圖的主要優勢與任意參考區域，如與常規網格或多區域相比，Voronoi 單元對實際建築物的依賴顯著性。這確保粗糙度長度是根據最近的障礙物確定(Faivre et al., 2017; Ketterer et al., 2016)。

而在法規實際執行面，在臺灣過去在新北市板橋（江翠北側地區）都市設計審議原則中即採用將風環境納入規範考量，在第四節風環境管制事項中規定：（一）建築基地平均寬度大於十五公尺以上者，建築物各幢立面最大寬度（以淨寬度計算）與送審基地平均寬度之百分比應不大於百分之七十為原

則。(二)為促進環境通風的效果，降低都市熱島效應，並避免高樓風對人行的影響，沿河第一排街廓之高層建築物，應提出環境風場試驗成果說明(圖1-1)。而在臺南高速鐵路臺南車站特定區(公三、公六、產業專用區)之都市設計準則中也規定連續性風廊設計，其為形成本計畫區地面層良好通風環境，及增進人行空間微氣候品質，產業專用區內應留設連續性風廊，其規劃應以寬 20 公尺以上之南北向連續性風廊連接，而指定留設之連續性風廊，其長度、位置、形狀、形式之規劃設計，應就其開發當時環境條件(如周邊建成區、地上物及植栽等)進行風環境模擬檢討，在建築配置規劃設計上作適當回應，並將檢討結果一併提送都市設計審議委員會審議。此兩個案例皆說明風環境不只在理論上的發展更可實際應用於都市設計規劃中以實現調適或減緩都市熱島效應等都市微氣候議題之潛力。

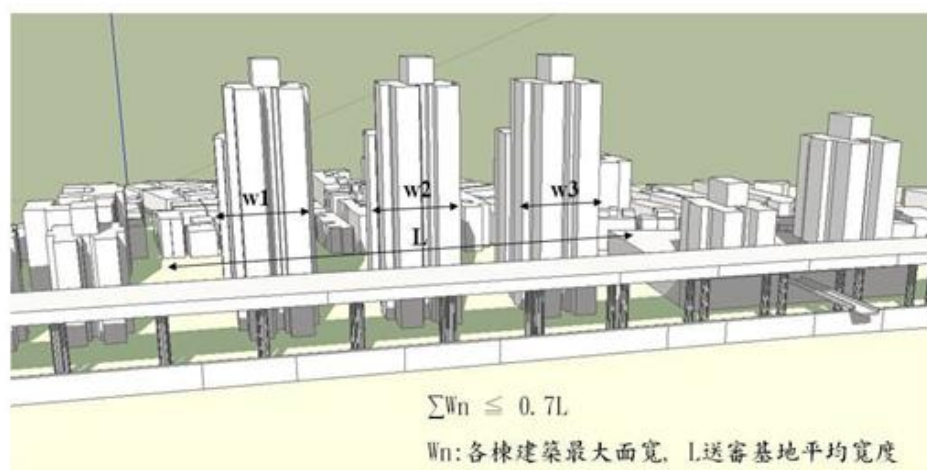


圖 1-1 計畫區內建築各棟立面總寬度說明

(資料來源：新北市板橋(江翠北側地區)都市設計審議原則)

而國外之案例則在日本其建築環境綜合性能評估系統(CASBEE, Comprehensive Assessment System for Building Environment Efficiency)中則利用多種不同的都市規劃設計方法如：公園綠地設置方案、建築迎風面積等指數來達到最佳的都市通風效益(圖 1-2)，而以生態城市及永續社區著名的德國弗萊堡(Freiburg)亦透過將風環境評估納入都市設計審議來解決都市熱能聚集無法排散之問題，該城市設計規範將黑森林之出山風口視為重要流通廊道，限制管制該區域之建築高度已達到避免阻擋風流通潛力之方式來導入涼風，將都市中所產生的熱源帶離，減少都市熱島等環境問題的發生機率。

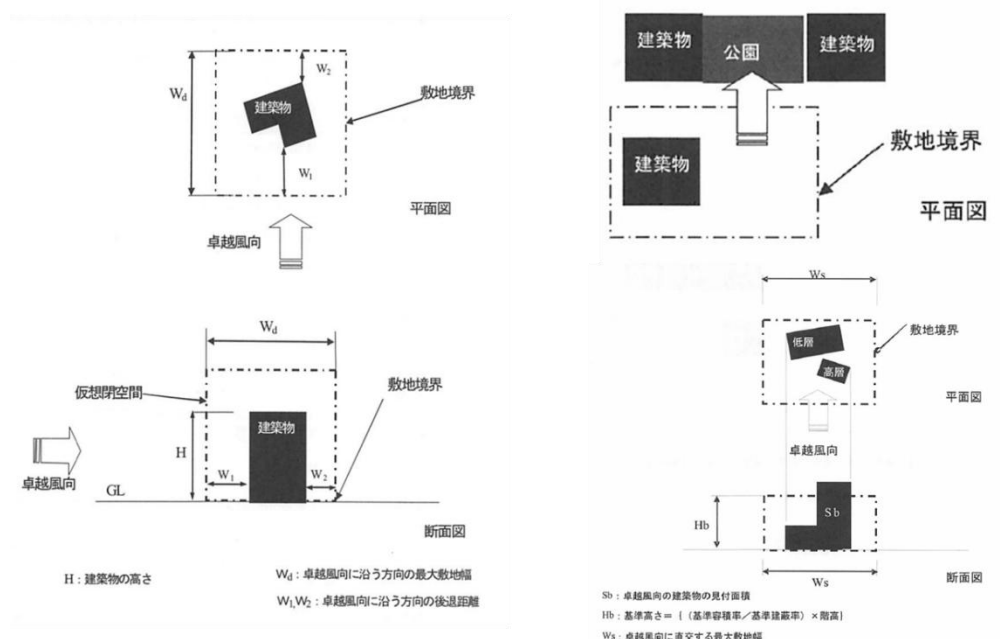


圖 1-2 日本 CASBEE HI 對建築基地之規範

(資料來源：CASBEE_EB 2014 手冊)

在計算都市中風環境很重要的指標便是利用地表粗糙度 α (roughness) 以及粗糙長度 Z_0 (roughness length) 進行預估，不同的指標相對應用於計算地表風速折減之公式有所不同。這兩種指標可透過公式進行換算，本研究在計算地表地況時將採用粗糙長度進行預估，後利用換算公式取得粗糙度再進行人行尺度之都市風速折減運算(圖 1-3)，以此方式都市中不同地況之人行尺度風速即可被快速預估。

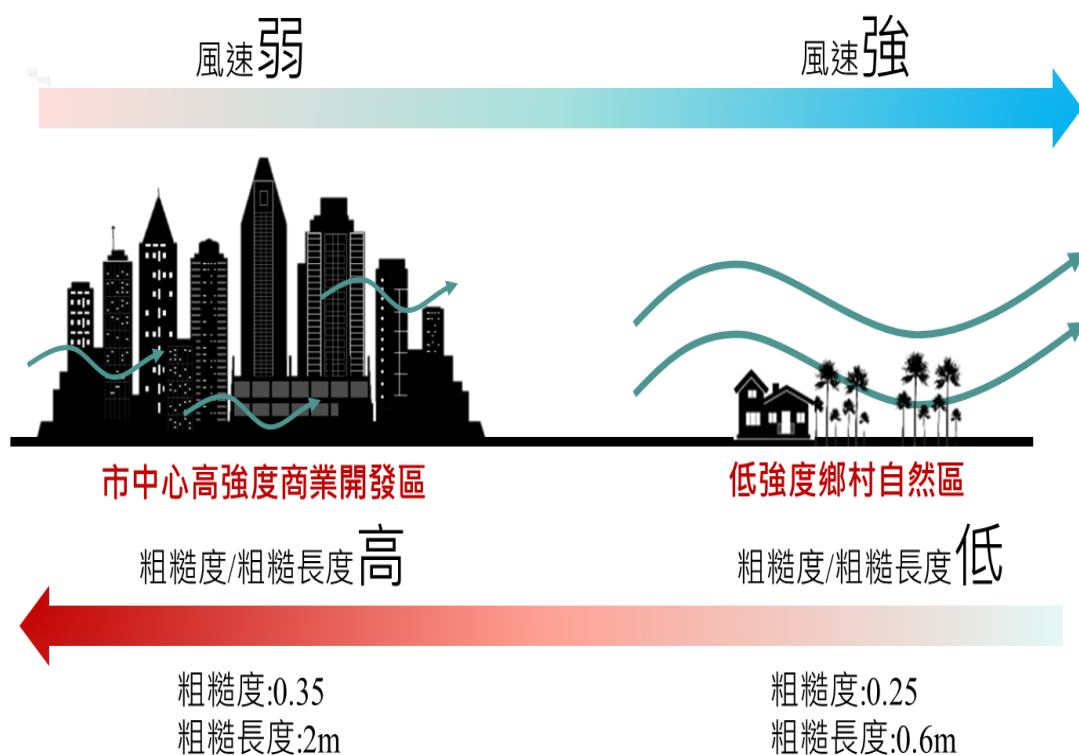


圖 1-3 都市建成環境對應之地表粗糙度以及風速

(資料來源：王安強等，2018)

過去有些研究對於戶外熱環境的分析，是以實測配合模擬的方式來進行探討，有不少研究是利用 ENVI-met 這款模型進行相關的模擬及分析。ENVI-met，此模型主要以模擬都市與景觀戶外物理環境為主，包含潛在空氣溫度(Potential temperature)、平均輻射溫度(Mean Radiant Temperature Tmrt)、風速(Wind speed)、風向(Wind direction)、空氣懸浮微粒(PM10 concentration)等等…利用 ENVI-met 探討氣候變遷未來對環境的影響。

本研究使用 FlowDesigner2017 版本，進行戶外環境風及熱溫度場域的模擬，此模擬軟體為透過日本電腦計算流體力學，可對室外建築環境的風場、熱環境及舒適度 SET*的預測與探討(唐琳雅，2017)。FlowDesigner 模擬軟體在使用上可在軟體裡面建置需模擬的模型，也可使用 SketchUp 3D 模型檔案類型匯入至此模擬軟體進行模擬，以使用 SketchUp 3D 檔案模型匯入模擬，較可降低內建模型在尺寸角度上的誤差，而模擬出的結果可提供架設於大環境遮蔽設計規畫配置之參考。

過去研究在分析都市風環境的方法如下：利用都市優勢風向與建築的立面迎風面面積建立了迎風面積指數 FAI (frontal area index)，採用風將朝阻力小的區域移動之概念，來評估建築物型態對優勢風向的阻擋或流通的程度，並藉由都市內迎風面積指數的分布藉最小成本路徑法來預估風廊(。

Wong (2010)利用都市建築物的迎風面立面面積指數(FAI)來進行都市中

風廊流通路徑的預估(圖 1-4)，結果呈現在香港九龍地區，因開發密度極高導致建築物的迎風面立面面積指數進而升高，使得多個區域無法將風廊引入進而強化都市熱島效應，而其亦透過季節不同所導致之多樣性主導風納入研究參考，藉由不同風向的風環境情況製作不同的迎風面立面面積指數分布圖，提供多時段的都市風廊預估分佈圖。

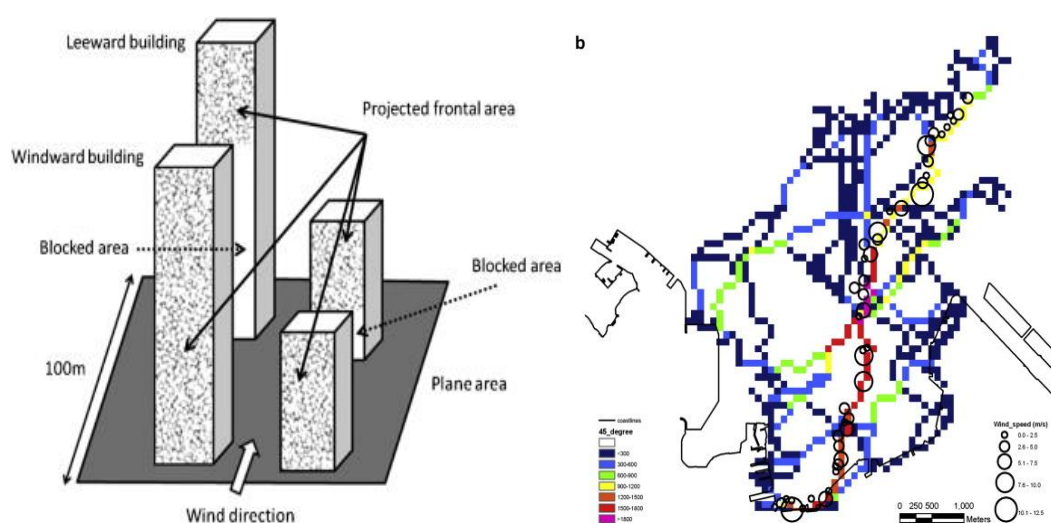


圖 1-4 香港九龍都市風廊道評估

(資料來源：Wong, 2010)

建築立面面積指標是根據建築物的方位(Grimmond and Oke, 1999; Wong et al., 2011) 根據各個方向的風阻程度計算出來的，用於評估熱負荷和風環境之間的關係。因其可綜合為考量季節風向、建築物立面座向、高度及密集度的一項標準，同時也為評估地表粗糙度的其中一項指標，定義為對一特

定風向之建築立面，所垂直投影出來的面積，如圖 1-5，再與評估範圍之基地面積相除的比值，其公式如下公式 1 所示：

$$FAI(\Theta) = A_{proj} / A_T \text{ ----- (公式 1)}$$

Θ ：風向角度

A_{proj} ：建築立面投影面積

A_T ：基地面積

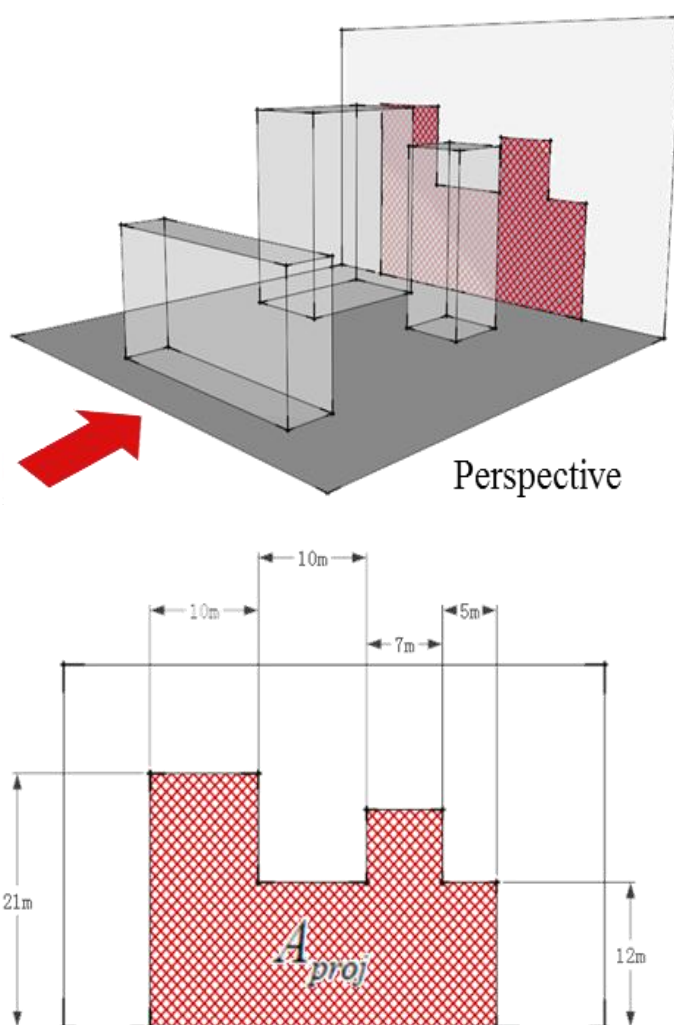


圖 1-5 建築立面面積指數計算方法

(資料來源：林建廷，2016)

而在香港則使用 AVA(air ventilation assessment)評估機制，香港房屋及規劃地政局協同環境運輸及工務局在 2005 年聯合頒布“技術通告 No. 1/06 - 空氣流通評估”(Technical Circular No. 1/06 - Air Ventilation Assessments)，該項技術規範正式成為大型政府工程必要的評估項目，亦被納入「香港規劃標準與準則」的第十一章，並鼓勵半政府或私人機構開發案件自發採用，此方法建議，除了考慮城市空氣流通環境，亦應較全面地檢視香港的都市氣候環境，從而在整體及地區層面上作出更佳的規劃決定。在最高開發強度的案件下必須使用風洞進行風環境評估，而在中高強度的開發條件下則必須使用氣候模擬模式 CFD 進行風環境評估(圖 1-6)，在一般開發下則須進行機地周遭之風環境整體分析，並按照通風規範進行規劃設計如下表 1-1。

表 1-1 香港空氣流通評估綱領

(資料來源：香港規劃標準與準則第十一章)

地盤布局	地盤層面
通風廊／風道.	平台建築
街道布局的定向、	建築物的排列
模式及擴闊街道.	建築物的透風度
海旁用地.	建築物的高度和外形
高度輪廓	園景美化設施
休憩用地及行人區的綠化和分布	外伸的障礙物 冷質物料

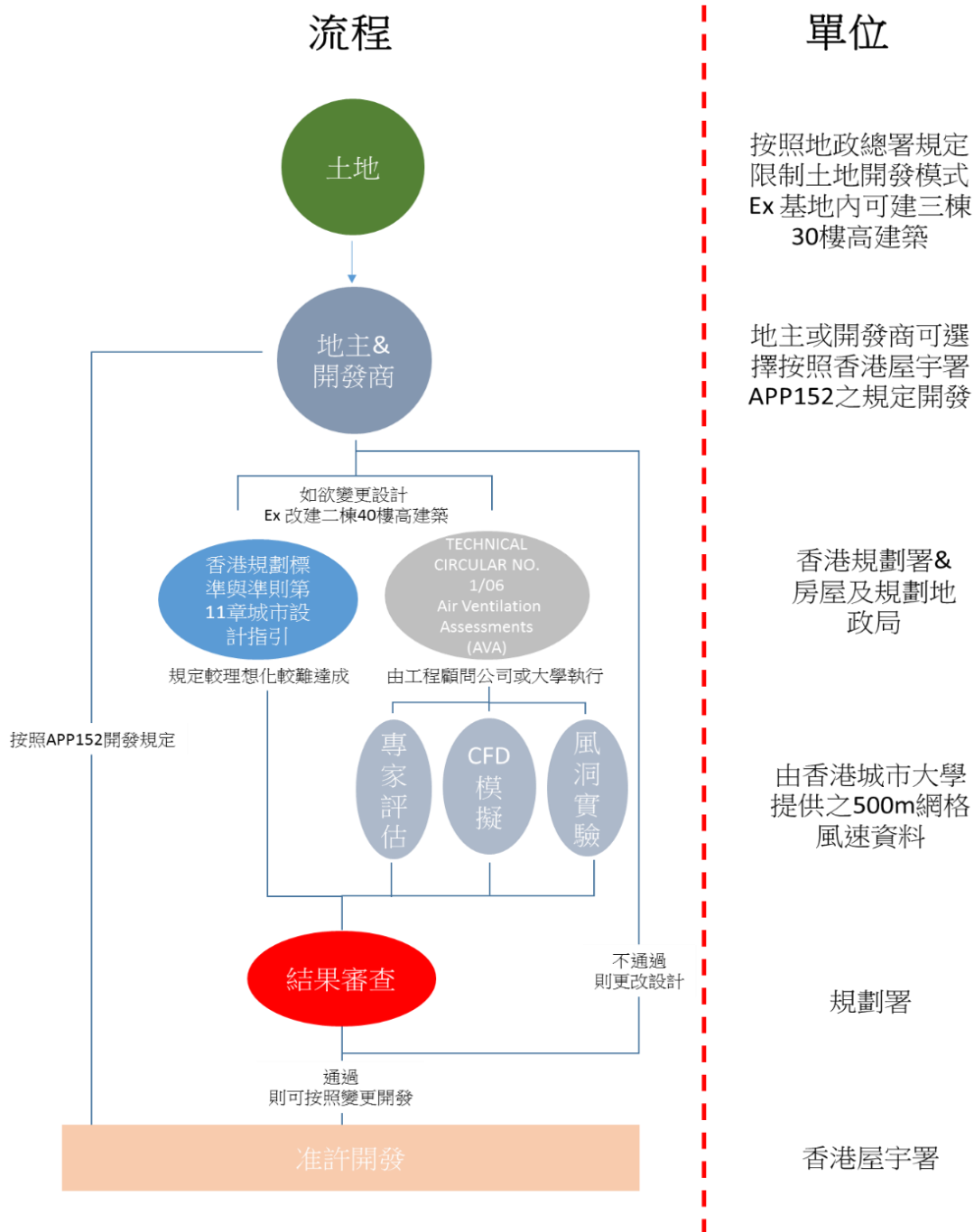


圖 1-6 香港空氣流通評估操作流程

(資料來源：本研究製作)

其中香港空氣流通評估規定在開發前後的都市風環境狀況必須在地表與高空 450 公尺的邊界層風速進行評比，設計規劃後之風環境必須等於或高於原規定開發模式，藉此方法來管制行人風場的風流通性以及維持都市風環境之通風效果(圖 1-7)。

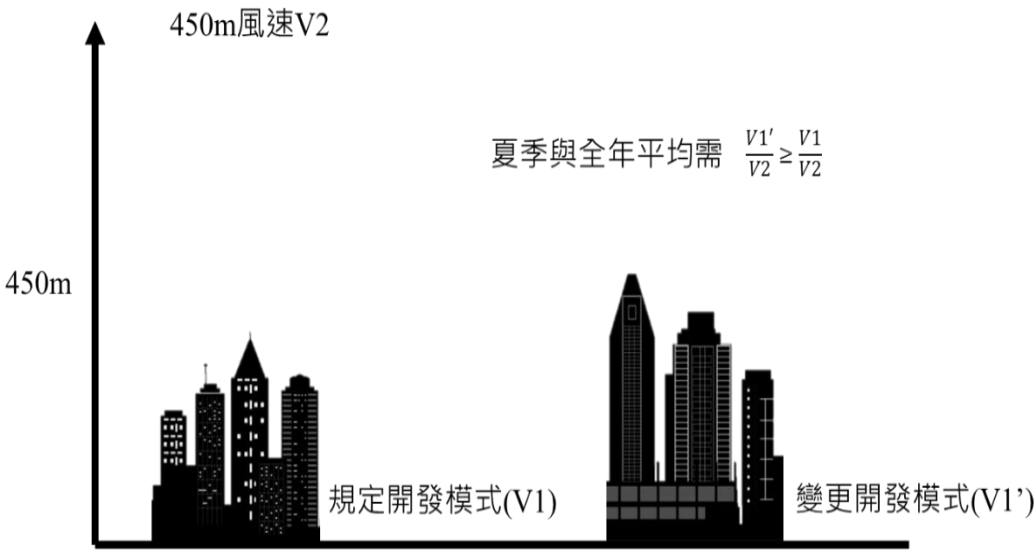


圖 1-7 香港空氣流通評估計算標準

(資料來源：本研究製作)

第五節 名詞解釋

表 1-2 本研究名詞解釋表

(資料來源：本研究製作))

名詞	解釋
粗糙長度	粗糙長度是流體流經表面時的參考指標之一，也代

	表著一個範圍內表面起伏的程度，同時粗糙長度的差別也會造成不同程度上隨高度折減的風速剖面，詳 2.3.7 節
數值地形圖	利用空拍影像所取得之地形圖資訊資料可以準確地獲得高解析度以及地表現況之資料，包含地表地形以及地上物的高度及形狀等可用於計算不同地況之粗糙長度，詳 2.3.1 節
能源耗用強度	能源耗用強度是一種廣泛使用的建築能源耗用表示的指標，即每單位米平方的樓地板面積所耗費的能源用量。能源耗用強度定義是指將單一棟建築物於單位時間(通常為 1 年)內的總耗電量，除以該建築物總樓地板面積[kWh/(m ² ·yr)]，詳 2.3.8 節
都市風廊	本研究透過德國對於通風廊道的定義，表面粗糙長度應小於 0.5 公尺限制進行篩選，透過這種網格製作及篩選的方式能夠更簡易的找出潛在風能夠流過的區域，詳 2.4.2 節
生理等效溫度	生理等效溫度 (PET) 是指在一個典型室內環境的空氣溫度中，以人體的體核溫度、皮膚溫度與複雜的戶外環境進行熱平衡的預算與評估之熱環境指標，詳 2.2.1 節
低風速敏感區	本研究根據「蒲福氏風級」利用現代測風儀把風速分為十七級並定義 0m/s~1.6m/s 為低風速敏感區，1.6m/s~3.4m/s 為一般通風區，3.4m/s 以上為良好通風區，詳 2.4.3 節
高溫敏感區	本研究依照過去的研究中已針對台灣居民完成大規模的戶外熱舒適之現地實測及問卷調查環境，以 PET 熱舒適指標加以評估，其中 26 - 30°C PET 為「舒適」，30 - 34°C PET 為「微暖」，34 - 38°C PET 為「暖」，38°C PET 以上為「熱」。故本研究使用台北夏季的氣候數據並搭配 38°C 作為熱風險門檻進行高溫敏感區的劃設，詳 2.4.4 節
移動量測	移動實測即是將氣象測量儀器與具全球定位系統的軌跡紀錄器搭載於小客車之車頂，並以移動方式

	行駛於都市中各區域，包含是中心及郊區之道路上進行實測，具有高機動性及可收及大範圍資料與觀測時段彈性等優點，並可直接測量行人尺度之溫溼度及不同的氣後數據，詳 2.2.2 節
局部氣候分區	局部氣候分區包含天空可視率、建物高度、街道高寬比、建物投影面積、不透水鋪面面積比率、透水鋪面面積比率、平均建築高度、平均植栽高度及地表粗糙程度等多項地表環境因子來歸納出具備廣義涵蓋都市建成環境特徵之系統，詳 2.3.4 節

第二章 研究方法

本研究計畫之方法針對上述所提出之三項預期目標，將其區分為三部分，包含(一) 完成示範區內風速風向在不同月份及日夜特徵及問題，及其對於節能及降溫之效益分析、(二) 蒐集國內外通風策略現有規範及管制，盤點台灣中央及地方政府可能推動的部門及機制、(三) 劃設示範區內都市通風環境敏感區，並提出可對應的中央及地方法令管制之策略。以下詳述如下：

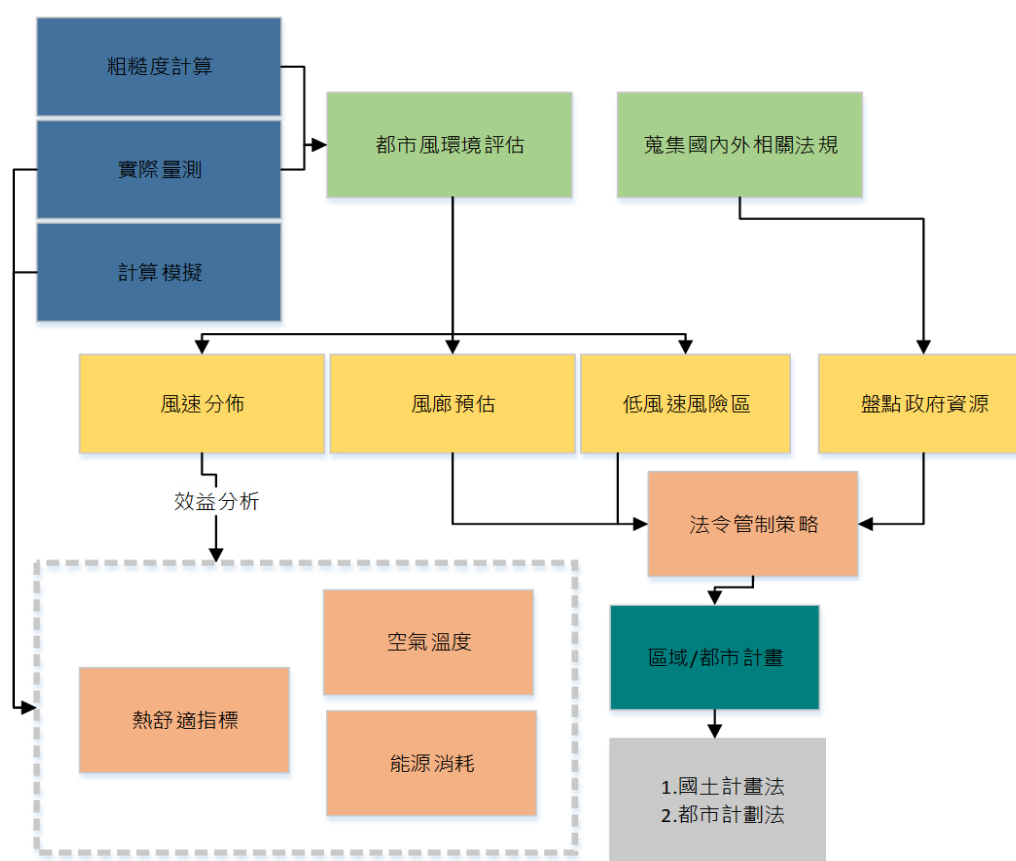


圖 2-1 方法對應成果架構圖

(資料來源：本研究製作)

第一節 研究區域

本計畫之示範基地以台北為研究區域，台北市為臺灣首都並且為高度開發之都市市中心，市內腹地約 271.8 平方公里，人口高達 269 萬人，為臺灣人口密度最高之縣市，故本研究以台北市作為研究對象(圖 2-2)。

該地區位屬於副熱帶季風氣候區，並因其盆地地形使該地區在夏季時不易將都市中熱氣排出，導致市內氣溫較周圍地區高溫；冬季則因該地形造成多雨的氣候。根據臺灣中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)自 1981 年至 2010 年量測之氣象統計，台北市年均溫落在 23°C，其中最熱的月份為七月，月均溫可達 29.6°C；最冷月份則是一月，月均溫為 16.1°C。

台北市早期沿著淡水河週邊發展，故都市發展集中在該市中西部，進而向東邊水平向開發，其次為西部縱向發展，市區內部與新北市相輔相依。北部地區為陽明山國家保護區域，人工開發較少；東南邊亦接壤於南港山系。配合首都發展，台北市應更加著重於未來都市熱環境改善之考量。

本研究計畫考量都市發展程度以及氣候議題解決之急迫性，選以台北市作為為研究示範區域，進行都市戶外通風之評估以及效益分析與後續推動策略研議。

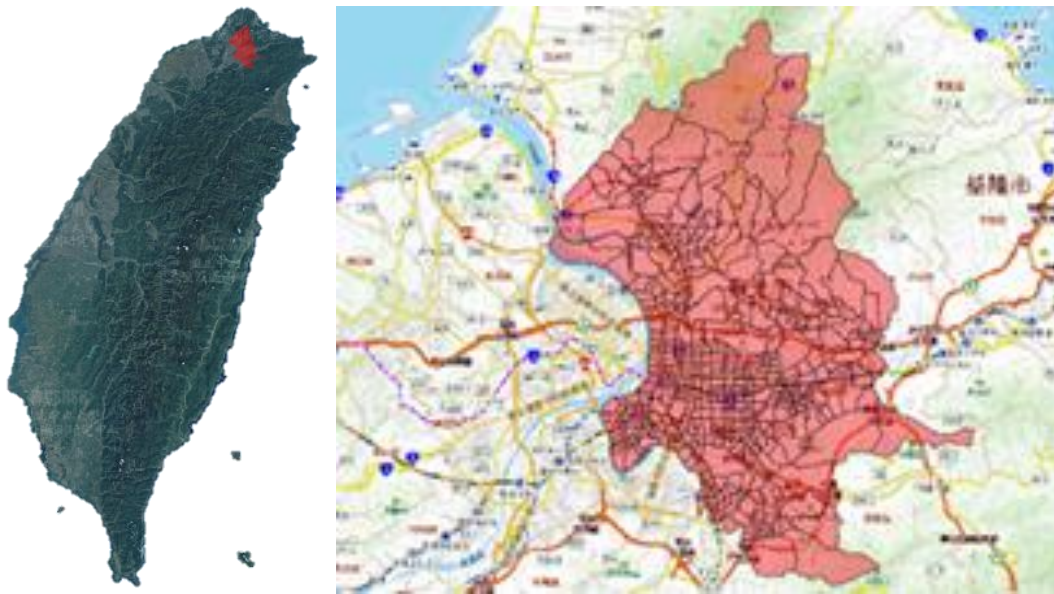


圖 2-2 研究區域示範區台北市

(資料來源：本研究製作)

第二節 氣候資料取得方法

本研究計畫透過實際量測以及氣候模擬軟體模擬之方式取得示範區域之氣候資料，包含風速風向以及溫度濕度等資訊其中。

一、氣候模擬

2.2.1.1 天氣研究和預報模式

本研究利用經濟部能源局全台 10 米模擬風速資料，該資料利用實際量測資料與天氣研究和預報模式(Weather Research and Forecasting, WRF)進行全台風能評估分析並經地理資訊系統處理，進行風能資料視覺化(圖 2-3)、

分析與整合，以便於了解全國各地區的風能相關資訊，並屠利用解析度 2000 公尺作為風力開發潛能的估算依據(經濟部能源局，2018)。

於本研究前期因需要收集完整之都市建成資訊且大範圍的風速資料在實測實際操作上取得困難，並且都市大範圍的風環境較難以長時間測量，故將使用地表之粗糙度並搭配使用粗糙度與風速運算之指數公式進行台北市的人行尺度層的風速預估(Peterson and Hennessey, 1978; Touma, 1977)，透過此方法即可快速取得都市風環境的重要風速指標，後續並且可用於搭配不同方法取得之粗糙度進行區域的風速折減。

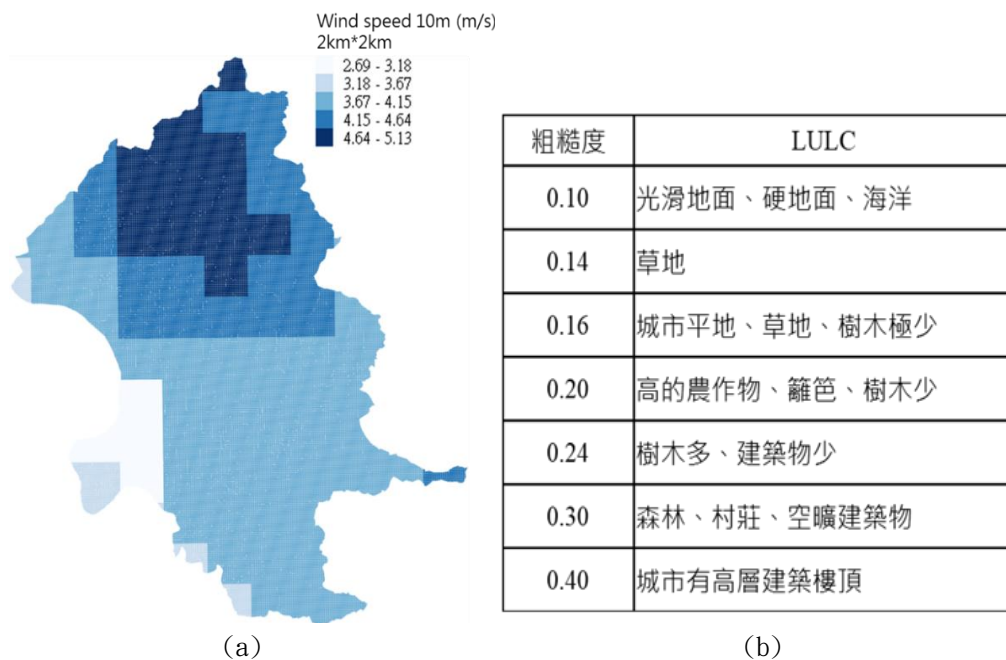


圖 2-3 (a)經濟部能源局台北地區 10 米風速圖(b)不同土地使用

對應之粗糙度

(資料來源：本研究製作)

2.2.1.2 計算流體力學模式

本研究為驗證研究結果及提出未來適合示範區之都市型態配置，使用 1995 年由德國波鴻魯爾大學(Ruhr-Universität Bochum)的 Michael Bruse 所研發之環境氣候模擬軟體(Computational Fluid Dynamics, CFD)ENVI-met 進行都市情境分佈理論之驗證。ENVI-met 是一套具有可藉由建立模型包含建築物及植栽以及選擇模型之材料以及地表覆蓋材質與土壤溫度、植栽種類等因子搭配所設定的氣候條件來模擬計算空氣溫濕度、風速、輻射溫度的模式，其好處在於可利用不同種類的建成環境進行情境模擬以及敏感度測試，在土地尚未開發前先進行氣候數據的收集，並可匯入至地理資訊系統整合多種格式資料進行疊合分析(Bruse and Fleer, 1998)，並了解到不同建成環境造成的都市氣候差異，藉以了解都市中的通風潛力(圖 2-4)。



圖 2-4 ENVI-met 操作方式

(資料來源：本研究製作)

2.2.1.3 熱舒適指標計算模式

氣候資訊有多種指標，其中包含一般單靠儀器取得知數據即可呈現的空氣溫度以及黑球溫度及風速等，但如要探討人體熱舒適的體感溫度則必須透過多種指標綜合加權計算方可獲得，而本研究使用生理等效溫度呈現台北市之熱舒適，生理等效溫度（PET）是由德國 Peter Höppe（1999）提出，修改自 Fanger 的室內熱舒適性指標 PMV、PPD。Höppe（1999）對 PET 的定義，是指在一個典型室內環境的空氣溫度中，以人體的體核溫度、皮膚溫度與複雜的戶外環境進行熱平衡的預算與評估。也就是將實際上戶外環境的狀況，與室內環境的狀況進行比較，而室內氣候參考的假設是，平均輻射溫度等於空氣溫度、風速為 0.1m/s（約相對濕度 50%、空氣溫度 20℃），目前 PET 已被納入德國 VDI 3787 國家標準，是德國為城市與區域規劃師，所訂定的指導方針中建議的指數之一，它適用於城市及區域氣候之熱構成要素變化的預測，並已普遍使用於多個戶外熱舒適性之研究」（黃淑靜, 2012）。Lin et al(2013)則認為 PET 充分地考量了戶外的長短波輻射對人體的熱平衡的影響，所以在研究都市內熱環境時，必須考慮到人體對熱的感受，故非常適合最為本研究用於都市熱環境的評估指標。而其中一套用於計算多種熱舒適指標之模式 RayMan 即是一種可以提供計算及多種氣候資訊的模式，當中可以匯入地圖以建立區域量體模型或地形模型，並輸入實測以及氣象站等氣候紀錄資料以模擬計算多時間區間之生理有效溫度等等熱舒適指標（圖 2-5）。

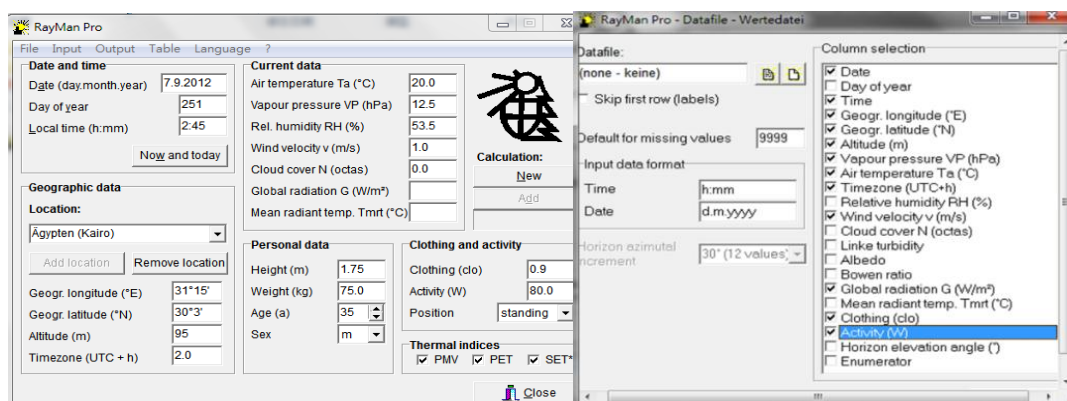


圖 2-5 RayMan 操作方式

(資料來源：本研究製作)

二、實際量測

2.2.2.1 定點量測

傳統的氣象觀測法主要為選取台北市內具代表性的觀測站作為基準點，而在定點測量部分亦可依照所測範圍以及不同的研究目的著手，使用儀器進行全天候的氣候觀測紀錄，本實驗室常用資料紀錄器 Logpro 進行包含空氣溫濕度、等進行實測以及使用 Navis Wind logger Type JWSD-L400 作為風速量測儀器，風速量測範圍為 0,6-50 m/s 精準度 0,1 m/s，風向量測範圍為 0-359° 精準度則為 1°，其使用目的亦將用來檢驗模擬之風速風向圖之準確性以及取得都市風環境特徵(圖 2-6)。實測之時間為 2019 年 6 月 7 日以及 9 月 26 日，實測之點位設定包含高開發商業區以及住宅區與都市公園等多種不同地況以及不同使用分區之地區，可以取得受不同地表粗糙度所影響的風速，

除不影響行走安全外亦可獲取行人層之氣後數據(表 2-1)(圖 2-7)。



圖 2-6 風熱環境定點量測

(資料來源：本研究製作)

表 2-1 風熱環境定點量測資料表

(資料來源：本研究製作)

日期	時間	101風速	火車站風速	大直河風速	101溫度	火車站溫度	大直河溫度	101濕度	火車站濕度	大直河濕度
07/06/2019	下午 04:01:00	1.4	2.4	3.1	32.6	31.7	32.8	74.9	74	61.8
07/06/2019	下午 04:06:00	1.4	3.0	3.0	32.6	31.5	32.7	74.3	75.4	63.5
07/06/2019	下午 04:11:00	1.3	2.7	3.1	32.5	31.3	32.4	74.3	75.1	63.3
07/06/2019	下午 04:16:00	1.4	2.3	3.1	32.4	31.2	32.3	73.4	76.1	62.7
07/06/2019	下午 04:21:00	1.2	2.2	3.1	32.4	31.4	32.2	73.8	75.8	65.1
07/06/2019	下午 04:26:00	1.6	1.6	2.9	32.4	31.3	32	75.7	75	65.1
07/06/2019	下午 04:31:00	1.4	3.1	2.6	32.1	31.3	31.9	76.3	75.8	65.9
07/06/2019	下午 04:36:00	0.9	2.0	3.7	32.1	31.3	31.8	77.2	75.8	67.8
07/06/2019	下午 04:41:00	0.4	2.4	2.9	31.8	31.2	31.5	81.1	74.9	69.2
07/06/2019	下午 04:46:00	1.4	2.8	3.6	31.8	31.1	31.5	81.6	76.2	68.8
07/06/2019	下午 04:51:00	1.5	1.6	3.1	31.9	31.2	31.4	81.7	76.3	69.3
07/06/2019	下午 04:56:00	1.4	2.3	3.2	31.8	31	31.3	82.2	75.7	69.8
07/06/2019	下午 05:01:00	0.5	2.1	2.8	31.6	31	31.1	82.4	76.2	70.7
07/06/2019	下午 05:06:00	0.9	2.2	2.6	31.6	31	31.2	82.6	76.8	70.7
07/06/2019	下午 05:11:00	1.4	1.8	3.0	31.6	31.1	31.1	82.7	75.5	71.6
07/06/2019	下午 05:16:00	1.3	3.1	2.6	31.6	31.1	30.9	83	75.3	71.9
07/06/2019	下午 05:21:00	1.3	2.4	3.0	31.6	31	30.7	82.2	76.5	76.9
07/06/2019	下午 05:26:00	1.1	0.8	2.9	31.4	30.9	29.9	82.7	76.9	81.8
07/06/2019	下午 05:31:00	1.2	2.8	3.1	31.4	30.8	29.4	80.8	76.6	82.8
07/06/2019	下午 05:36:00	1.2	2.4	2.9	31.3	30.8	29.3	81.1	76.6	83.1
07/06/2019	下午 05:41:00	1.2	1.3	3.0	31.1	30.9	29.1	82.5	77.3	83.2
07/06/2019	下午 05:46:00	1.5	2.1	3.0	31	31	28.9	82.7	75.8	83.3
07/06/2019	下午 05:51:00	1.2	2.1	2.5	31	30.9	28.9	83.4	74.3	83.3
07/06/2019	下午 05:56:00	1.3	2.3	2.6	30.9	30.9	28.9	84.5	73.8	83.4
07/06/2019	下午 06:01:00	1.0	2.6	2.6	30.8	31	29	84.9	73.9	82.9
07/06/2019	下午 06:06:00	0.7	2.0	3.0	30.8	31	29	84	74.6	82.8
07/06/2019	下午 06:11:00	0.9	1.8	2.8	30.8	31	28.9	85	76.3	82.5
07/06/2019	下午 06:16:00	1.4	2.5	2.6	30.6	30.6	28.9	85.8	80.6	82.6
07/06/2019	下午 06:21:00	1.2	2.2	2.8	30.4	30.4	28.8	86	81.2	82.1
07/06/2019	下午 06:26:00	1.4	2.1	2.5	30.3	30.4	28.6	86.9	81.3	82.2
07/06/2019	下午 06:31:00	1.2	1.6	3.0	30.2	30.4	28.5	87.2	81.1	82.3
07/06/2019	下午 06:36:00	1.4	2.3	2.6	30.2	30.4	28.4	87	81	82.1
07/06/2019	下午 06:41:00	1.2	1.8	2.9	30.2	30.4	28.4	86.5	80.3	82.2
07/06/2019	下午 06:46:00	1.5	1.8	2.8	30.3	30.4	28.3	86.6	75.8	82.4
07/06/2019	下午 06:51:00	1.2	1.5	2.7	30.2	30.3	28.1	86.7	75.1	82.5
07/06/2019	下午 06:56:00	1.0	2.0	2.8	30.1	30.3	27.9	87	74.9	82.7
07/06/2019	下午 07:01:00	1.3	2.0	2.9	30	30.3	27.8	87.3	74.7	82.7
07/06/2019	下午 07:06:00	0.8	2.0	2.6	30	30.3	27.7	87.5	74.7	83.1
07/06/2019	下午 07:11:00	1.1	2.0	2.8	29.9	30.2	27.6	87.5	74.4	83.7
07/06/2019	下午 07:16:00	1.4	1.6	2.7	29.9	30.2	27.4	87.7	74.9	84.2
07/06/2019	下午 07:21:00	1.4	1.6	2.5	29.9	30.2	27.2	86.9	74.7	84.8
07/06/2019	下午 07:26:00	1.4	1.8	2.1	29.9	30.2	27.1	87.9	75	85.1
07/06/2019	下午 07:31:00	1.5	1.6	2.6	29.8	30.1	27	88	74.9	85.6
07/06/2019	下午 07:36:00	1.4	1.6	2.6	29.8	30.1	27	88.3	74.7	85.8
07/06/2019	下午 07:41:00	1.4	1.8	2.8	29.7	30	27	87.5	74.7	86
07/06/2019	下午 07:46:00	1.2	2.4	2.7	29.8	30	27	87.2	75.1	86.3
07/06/2019	下午 07:51:00	1.2	2.5	2.5	29.7	30	27	87.5	75	86.6
07/06/2019	下午 07:56:00	1.2	2.1	2.5	29.7	29.9	26.9	87.6	74.9	86.8
07/06/2019	下午 08:01:00	1.2	2.0	2.5	29.7	30	26.9	88	74.7	87
07/06/2019	下午 08:06:00	1.4	1.8	2.2	29.7	30	26.9	88.1	74.3	87.3
07/06/2019	下午 08:11:00	1.5	2.3	2.9	29.6	30	26.8	88.2	74.3	87.6
07/06/2019	下午 08:16:00	0.9	1.6	2.0	29.6	30	26.7	88.1	74.2	87.9
07/06/2019	下午 08:21:00	1.3	1.4	2.6	29.6	30	26.7	88.1	74.2	87.8
07/06/2019	下午 08:26:00	1.4	1.6	2.4	29.6	30.1	26.6	87.7	73.8	87.9

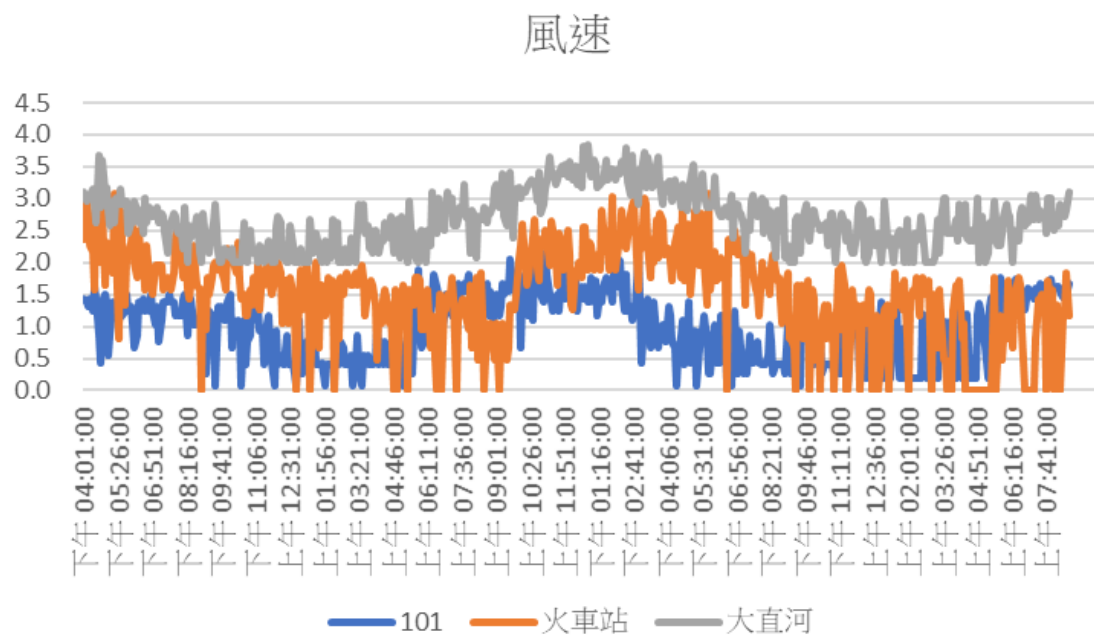


圖 2-7 風熱環境定點量測結果

(資料來源：本研究製作)

本研究亦從中央氣象局之長期氣候資料庫中獲取逐時之氣候資訊包括空氣溫濕度、風速、輻射量等數值，亦可做為示範區量測氣候資料之校正點，本研究亦增加氣候數據之來源，應用中央氣象局之氣象站，下載其長年風環境之資料用於呈現都市風環境特徵之呈現與風環境評估中做為未來模擬區域之邊界條建設定，可使得其氣候參數更接近現況，較不容易因起始條件的落差造成後續模擬結果的失準(圖 2-8)。

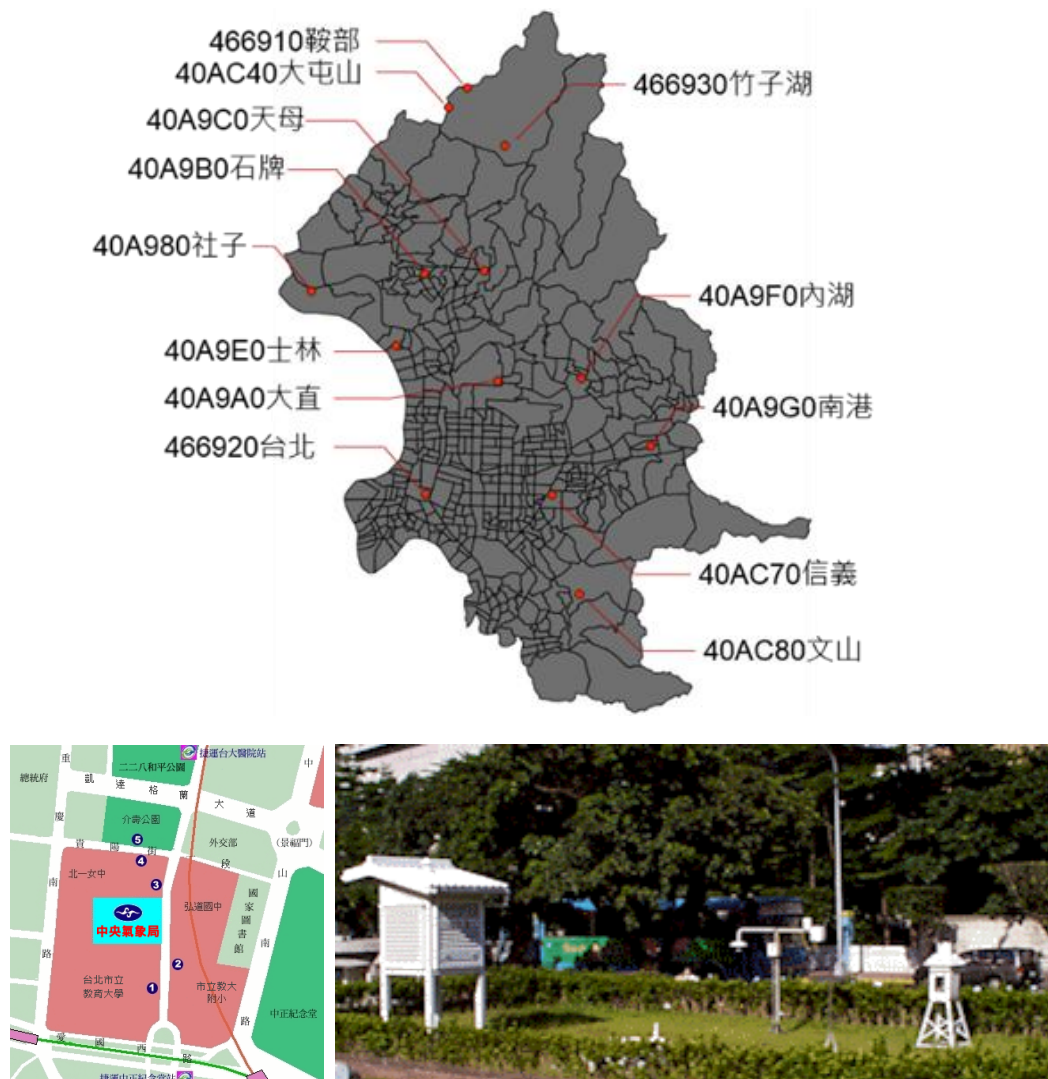


圖 2-8 台北市氣象局局屬測站位置

(資料來源：Chen et al., 2018)

2.2.2.2 移動量測

移動實測即是將氣象測量儀器與具全球定位系統的軌跡紀錄器搭載於小客車之車頂(圖 2-9)，並以移動方式行駛於都市中各區域，包含是中心及郊區之道路上進行實測，具有高機動性及可收及大範圍資料與觀測時段彈性等

優點，並可直接測量行人尺度之溫溼度及不同的氣後數據（陳育成，2014；林建廷，2016）。

進行移動實測時，小客車邊進行移動實測時邊紀錄相對的經緯度路徑，透過這樣的方式，將地理訊息及氣象資訊進行整合，移動實測配合每次移動實測開始記錄至結束之時間(圖 2-10)，從資料庫中擷取同時段之氣候站資料，進行配對即可獲得實測氣候資料與相對的氣候站資料，且移動過程之數據皆可透過具有經緯度及氣候資料的記錄點位將所研究之範圍內的熱環境過移動實測路徑的軌跡可視化呈現於地圖中，可在實測完成後即可了解氣候環境現況(表 2-2)。



圖 2-9 移動實測搭載器材之小客車

（資料來源：本研究製作）

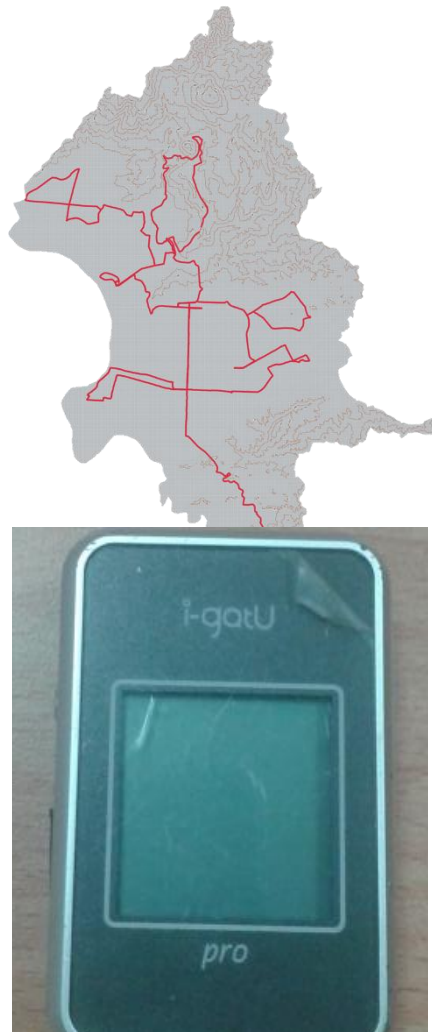


圖 2-10 移動實測路線及搭載之儀器

(資料來源：本研究製作)

表 2-2 移動實測資料格式

(資料來源：本研究製作)

date	time	Latitude	Longitude	Elevation	Ta	RH	Tg	Wind speed	Solar radiation
2019/4/18	14:51:00	24.980453	121.582698	55	23.36	67.6	25.28	3.76	9430
2019/4/18	14:51:05	24.980693	121.582436	53	23.36	67.4	25.24	4.54	10380
2019/4/18	14:51:10	24.980668	121.582356	51	23.35	67.1	25.21	6.41	10890
2019/4/18	14:51:15	24.98105	121.581825	48	23.35	67	25.17	3.42	10390
2019/4/18	14:51:20	24.9813	121.581566	45	23.35	66.9	25.14	3.8	9440
2019/4/18	14:51:25	24.981666	121.581205	42	23.34	67	25.11	4.52	9350
2019/4/18	14:51:30	24.981826	121.5811	36	23.33	67.2	25.07	4.38	7440
2019/4/18	14:51:35	24.982568	121.580451	36	23.32	67.1	25.04	1.81	9380
2019/4/18	14:51:40	24.982738	121.580286	35	23.31	67.1	25.01	3.94	8810
2019/4/18	14:51:45	24.982893	121.580121	35	23.3	67.8	24.98	5.17	8680
2019/4/18	14:51:50	24.983116	121.579928	34	23.29	67.8	24.95	5.95	9280
2019/4/18	14:51:55	24.983343	121.579931	34	23.29	67.4	24.91	6.46	8700
2019/4/18	14:52:00	24.983548	121.579866	33	23.29	67.1	24.89	4.64	8680
2019/4/18	14:52:05	24.983735	121.579716	32	23.29	67	24.86	5	9690
2019/4/18	14:52:10	24.983863	121.579585	32	23.28	67.1	24.82	6.26	7610

第三節 建成資料取得方法

一、數值地形圖

利用空拍影像來取得數質地形圖資訊資料可以非常準確地獲得高解析度以及現況之資料，包含地表地形以及地上物的高度及形狀都可以快速取得，利用衛星的地表掃描技術，地表의建築以及植栽及道路等等可以被整體以及單獨建模，同時還可以取得到最精確的建築資訊(圖 2-11)，如都市發展圖層中之建築物並沒有登入的頂層加蓋或違章建築可以顯示，但其應用之議題在於，解析度較高的衛星影像耗資不貲，需要大量資金挹注方能有效進行，而其中政府內亦有台灣各縣市之光達資料，惟因其高解析度因素有可能造成軍事機密外洩而將其視為國安機密之資料，另過去台灣的空載光達多使用於非都市的地區，以因其可以快速製造地表資訊模型地表高度模型，並以對地質、

防災地勘查為主要的目的，而使用於建築及都市的領域近年來也逐漸興盛，因高準度地資可以將都市中不存在於建築資訊的項目如違建及鐵皮加蓋顯示於結果中，並可針對不同使用目的分開為地表表面模型及各項元件的檔案，目的在於建立三維影像，並會在未來持續擴大應用於都市建成環境等議題之使用。(陳致宇，2016)。

本研究透過使用 30 平方公尺的高度資訊(圖 2-12)，得到 1m 解析度的 Digital Surface Model (DSM)，再與 Digital Elevation (DEM)相減，即可得到地表物的高度資訊(nDSM) (圖 2-13)。

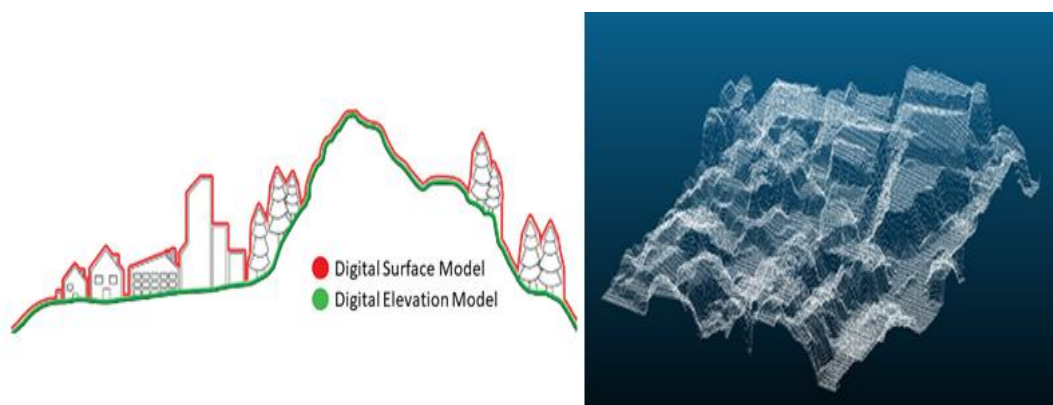


圖 2-11 數值地形模型示意圖

(資料來源：陳致宇，2016)

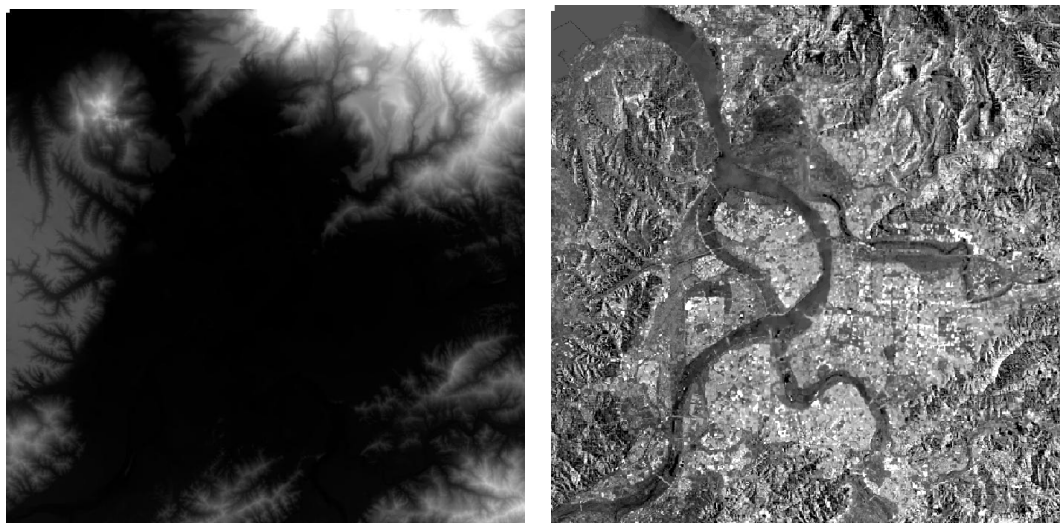


圖 2-12 研究示範區台北市之地表高層模型(DEM&DSM)

(資料來源：本研究製作)

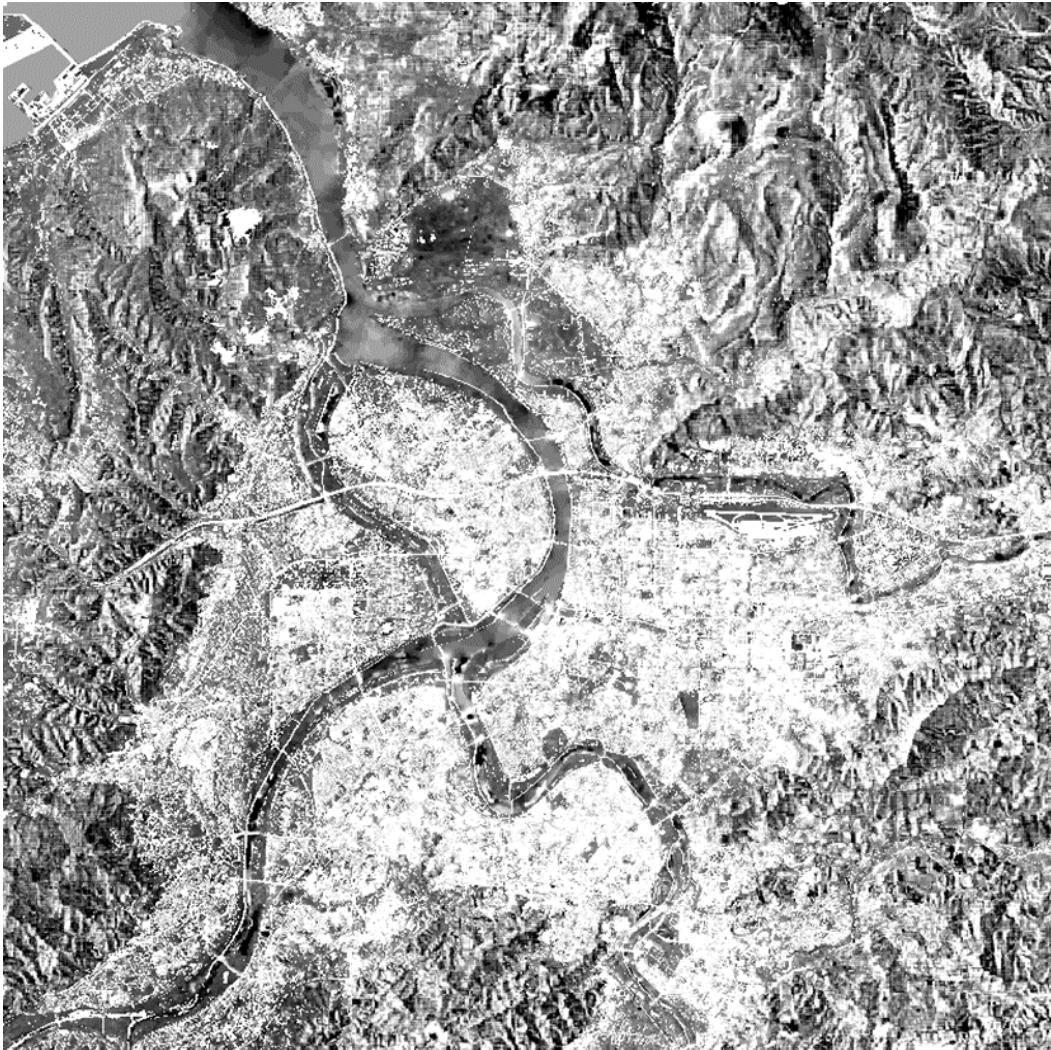


圖 2-13 研究示範區台北市之數值地形模型(nDSM)

(資料來源：本研究製作)

二、地表覆蓋

本研究利用 Spot6 衛星進行研究示範區域台北市之地表覆蓋之判別(圖 2-14)，Spot6 衛星之解析度為 6m 搭載 4 個光譜波段，並每 20 天經過。本研

究利用 Spot6 衛星影像搭配利用 GIS 工具，將影像以監督式分類的方法，定義範圍內的土地覆蓋狀況。

本研究為將研究區的地表覆蓋進行分類，將衛星圖原本的四種波段合併為一彩色衛星圖，因地表物的屬性狀態複雜，本研究為利後續的研究分析，將地表物分成建築、水體、植栽、道路、裸露地等類型以便後續地表粗糙度計算過程中面積資訊之取得(圖 2-15)。地表覆蓋資訊可透過下載氣候背景較良好，如冬季雲量較低之衛星影像進行分類，可於地理資訊系統中利用監督式與非監督式分類兩種方式，藉由地表不同的覆蓋特徵會有不同的能量及波長反射，將都市中各區域的地表分類為不同項目，透過地表覆蓋的圖層，都市許多進階圖層如建蔽率、綠化率等，此圖層資訊為研究都市環境與氣候間不可或缺的資訊。

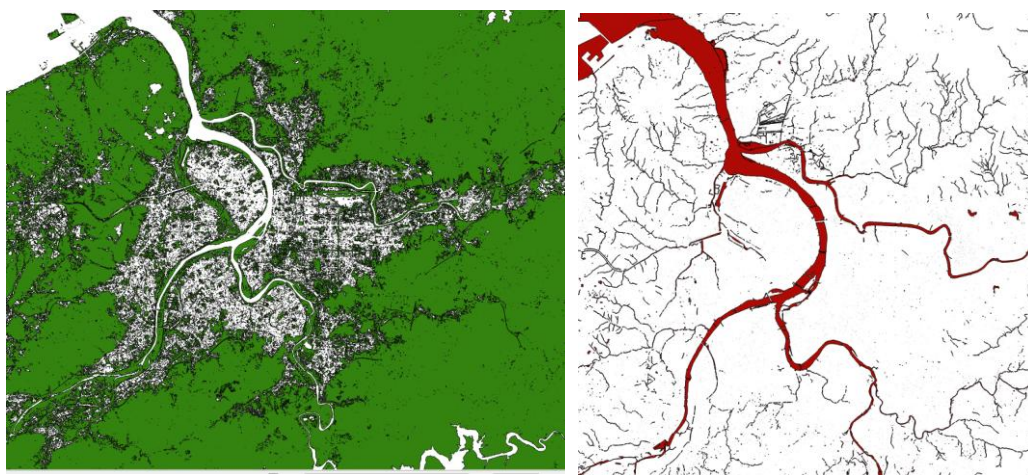


圖 2-14 研究區域示範區台北市之綠帶與水域分佈

(資料來源：本研究製作)

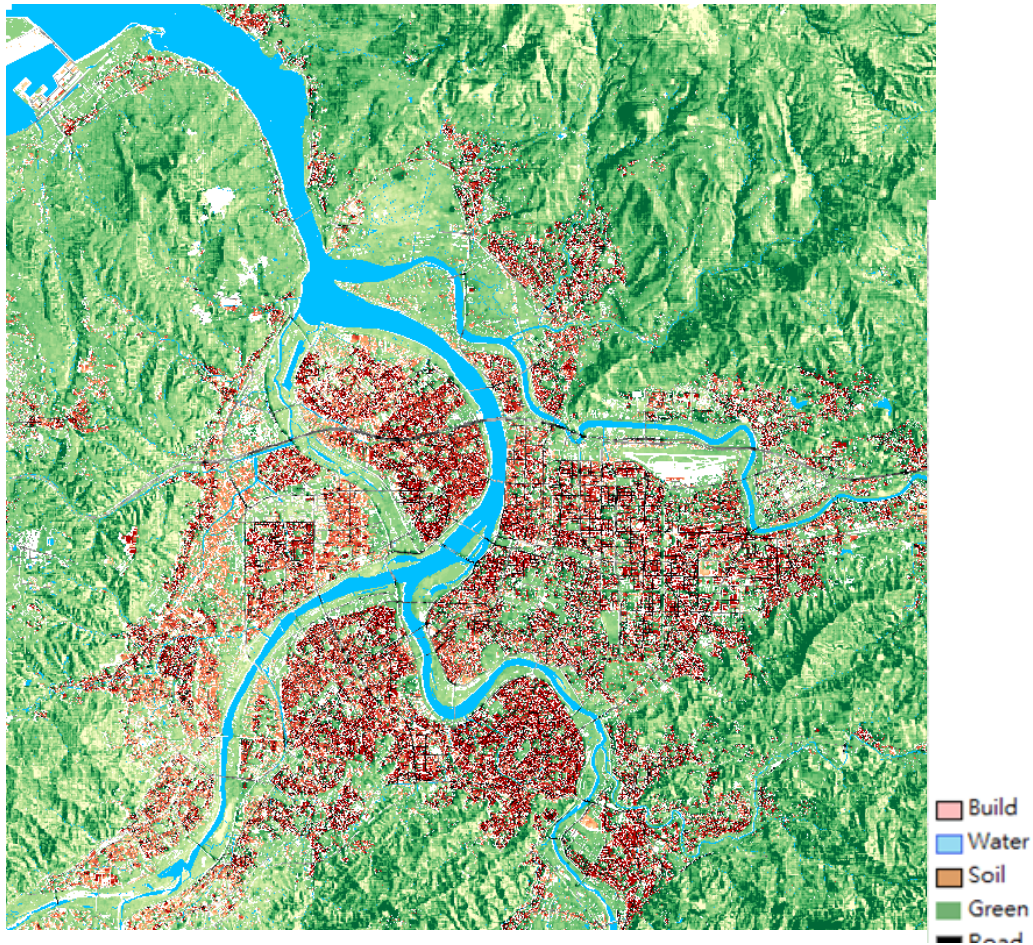


圖 2-15 研究區域示範區台北市之地表覆蓋分類狀況圖

(資料來源：本研究製作)

三、植生指標

本研究為提高監督式分類較精準的成果，在原始的衛星影像上，利用 NDVI 的分布圖，將 NDVI 的數值分為 0 至 1 及 0 至-1 兩類，主要利用紅光與近紅外光的反射等兩波段，能顯示植生的茂密程度，當值越接近 1 代表植生量越多如式 2，本研究利用 Landsat8 衛星，其解析度為 30m，目的在於先利

用 NDVI 簡單分類出自然鋪面及人工鋪面兩個區塊，後續再將兩張拆開的圖各自利用訓練之方式選出所定義的五種地表狀況，兩張圖分類完成後再將其合併為一張研究範圍內的監督式分類結果，合併後本研究發現衛星影像對水體的判視誤差率較高，為此本研究再利用土地使用分區圖的套疊，將原始判定為河川、湖泊、魚塭…等水體區域進行後續的誤差修正(圖 2-16)。

$$NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)-----(\text{式 } 2)$$

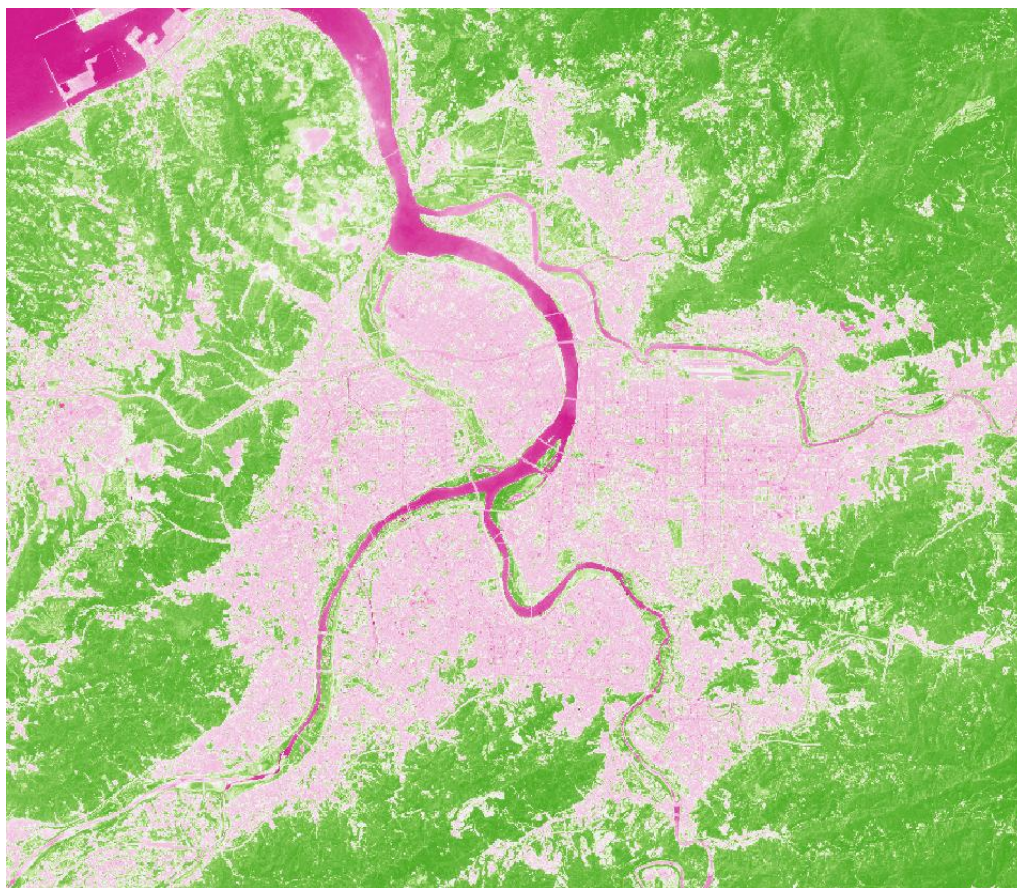


圖 2-16 研究區域示範區台北市之常態化植生指標分佈圖

(資料來源：本研究製作)

四、 局部氣候分區

本研究使用局部氣候分區(Local Climate Zone, LCZ)之原因為，各國對於地表上各種人造環境及自然環境描述及定義不同，若要建立一套能夠適應各個使用者的都市平台便須經由系統化標準化之氣候環境因子準則(圖 2-17)。

局部氣候分區最初由 Stewart& Oke 提出之局部氣候分區系統並進行一系列量化及驗證相關數據資訊(表 2-3)包含天空可視率、建物高度、街道高寬比、建物投影面積、不透水鋪面面積比率、透水鋪面面積比率、平均建築高度、平均植栽高度及地表粗糙程度等多項地表環境因子來歸納出具備廣義涵蓋都市建成環境大多數特徵之 LCZ 系統(Stewart& Oke, 2012)。

LCZ 系統可依照各地區不同之地表特性進行調整及校正。主要為廣義的涵蓋都市開發地區之大多數地表分類特徵。其涵蓋 17 種地表特徵種類，大致可分為 10 種建物特徵及 7 種鋪面特徵。

本研究使用 Landsat8 衛星進行局部氣候分區之分類，藉以利用其包含都市中不同區域之粗糙度進行風速演算，本衛星解析度為 30m 並搭載 11 個光譜波段，並每 16 天經過同一地區。計算結果為排除因雲霧狀況而產生的誤差數值，利用 Quality Band 的波段進行全範圍的資料確認，排除雲霧狀況的 Pixel 後進行分析。

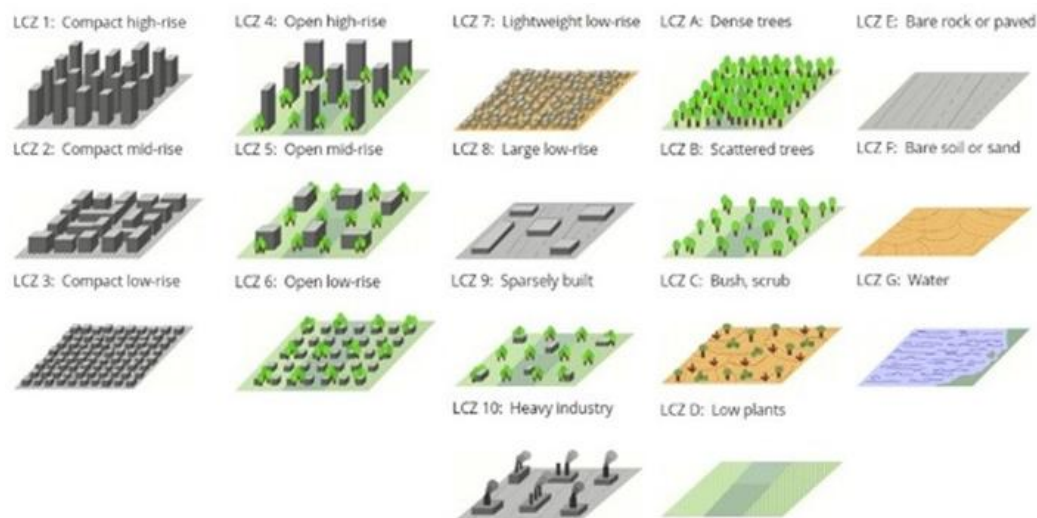


圖 2-17 局部氣候分區分類圖說

(資料來源：Stewart& Oke, 2012)

LCZ 系統之分類程序為透過 World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT)所構成。整套系統乃經由遙測影像作為基礎參考圖層，再經由 Google Earth Pro 進行人工框選示範區域(Training area)以提供分類軟體辨識地表特徵依據(圖 2-18)，最終分類程序以 SagaGIS (2.2.0)軟體進行合併與自動化分類而成(圖 2-19)。

LCZ 系統之地表分類尺度受到遙測影像解析度限制，本研究使用美國航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)與美國地質調查局(United States Geological Survey, USGS)共同所屬之 Landsat8 衛星拍攝之影像作為分類之基礎圖層(圖 2-20)。分類時可參照研究

範圍大小及分類準確性評估作分類解析度設定，本研究以 Google map 進行反覆比對，並經過幾種解析度分類測試後，最終以 100m*100m 網格尺寸作為本研究之台北市 LCZ 分類解析度(圖 2-21)。



圖 2-18 局部氣候分區分類訓練過程

(資料來源：本研究製作)

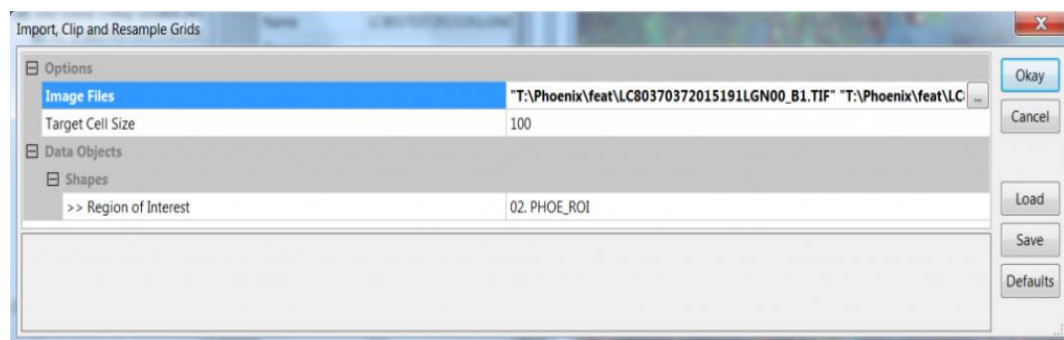


圖 2-19 SAGA GIS 操作過程

(資料來源：本研究製作)

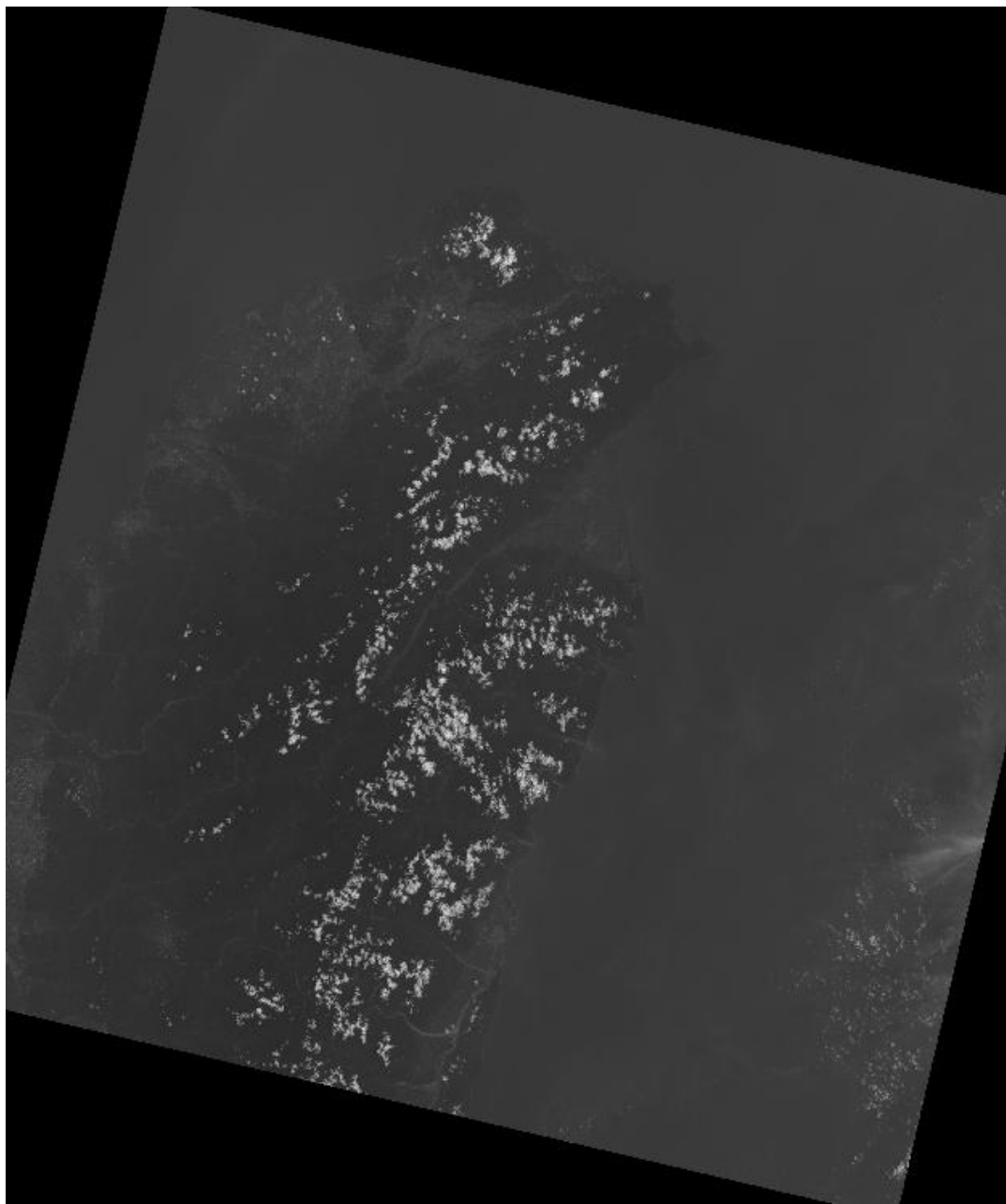


圖 2-20 台北市之 Landsat8 衛星影像

(資料來源：本研究製作)

表 2-3 局部氣候分區因子對照表

(資料來源：Stewart& Oke, 2012)

Local climate zone (LCZ)	Sky view factor ^a	Aspect ratio ^b	Building surface fraction ^c	Impervious surface fraction ^d	Pervious surface fraction ^e	Height of roughness elements ^f	Terrain roughness class ^g
LCZ 1 <i>Compact high-rise</i>	0.2–0.4	> 2	40–60	40–60	< 10	> 25	8
LCZ 2 <i>Compact midrise</i>	0.3–0.6	0.75–2	40–70	30–50	< 20	10–25	6–7
LCZ 3 <i>Compact low-rise</i>	0.2–0.6	0.75–1.5	40–70	20–50	< 30	3–10	6
LCZ 4 <i>Open high-rise</i>	0.5–0.7	0.75–1.25	20–40	30–40	30–40	>25	7–8
LCZ 5 <i>Open midrise</i>	0.5–0.8	0.3–0.75	20–40	30–50	20–40	10–25	5–6
LCZ 6 <i>Open low-rise</i>	0.6–0.9	0.3–0.75	20–40	20–50	30–60	3–10	5–6
LCZ 7 <i>Lightweight low-rise</i>	0.2–0.5	1–2	60–90	< 20	<30	2–4	4–5
LCZ 8 <i>Large low-rise</i>	>0.7	0.1–0.3	30–50	40–50	<20	3–10	5
LCZ 9 <i>Sparsely built</i>	> 0.8	0.1–0.25	10–20	< 20	60–80	3–10	5–6
LCZ 10 <i>Heavy industry</i>	0.6–0.9	0.2–0.5	20–30	20–40	40–50	5–15	5–6
LCZ A <i>Dense trees</i>	<0.4	>1	<10	<10	>90	3–30	8
LCZ B <i>Scattered trees</i>	0.5–0.8	0.25–0.75	<10	<10	>90	3–15	5–6
LCZ C <i>Bush, scrub</i>	0.7–0.9	0.25–1.0	<10	<10	>90	<2	4–5
LCZ D <i>Low plants</i>	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3–4
LCZ E <i>Bare rock or paved</i>	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25	1–2
LCZ F <i>Bare soil or sand</i>	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	< 0.25	1–2
LCZ G <i>Water</i>	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	—	1

^a Ratio of the amount of sky hemisphere visible from ground level to that of an unobstructed hemisphere^b Mean height-to-width ratio of street canyons (LCZs 1–7), building spacing (LCZs 8–10), and tree spacing (LCZs A–G)^c Ratio of building plan area to total plan area (%)^d Ratio of impervious plan area (paved, rock) to total plan area (%)^e Ratio of pervious plan area (bare soil, vegetation, water) to total plan area (%)^f Geometric average of building heights (LCZs 1–10) and tree/plant heights (LCZs A–F) (m)^g Davenport et al.'s (2000) classification of effective terrain roughness (z_0) for city and country landscapes. See Table 5 for class descriptions

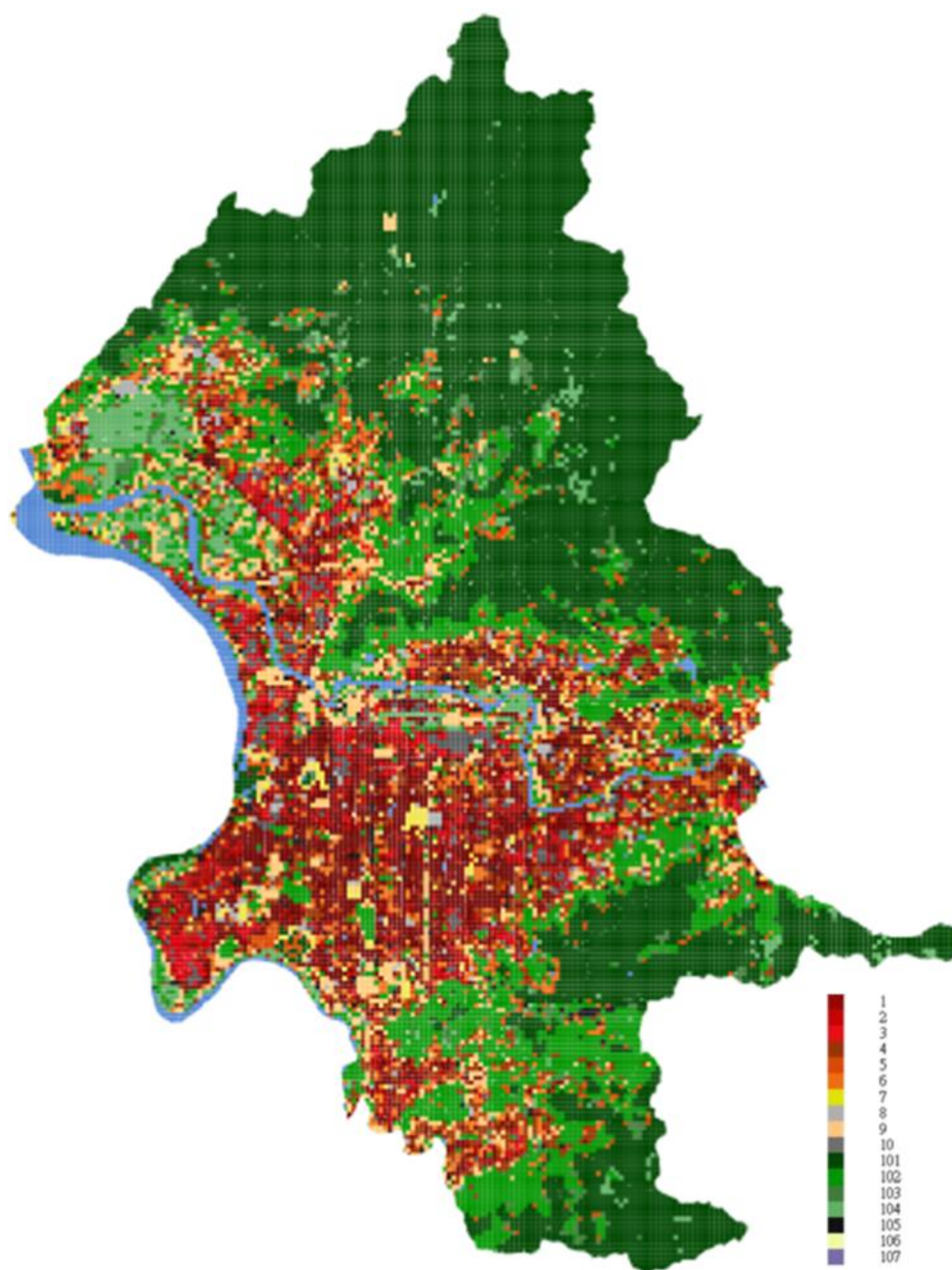


圖 2-21 台北市之局部氣候分區分佈圖

(資料來源：本研究製作)

五、數值建築資料

在研究過程中使用多重都市發展因子包含台北市數值地形圖之建築資訊與土地使用作為計算粗糙度以及預估能源消耗與預估熱舒適之圖層。其中建築樓地板面積資訊為重要的都市向量資訊，其包含建築的面積以及樓層高度，亦包含後續計算能源及舒適的總樓地板面積資訊(圖 2-22)，透過此圖層可以快速計算不同地況區域內的都市發展特徵。由台北市之建築資訊可視化可直接觀察到都市發展程度趨勢明顯，建物開發密集之區域集中在中西部地區，並且因高樓集中於中部區域，因此總樓地板面積較高之區域亦顯示於城市中部偏西區。(圖 2-23 & 2-24)

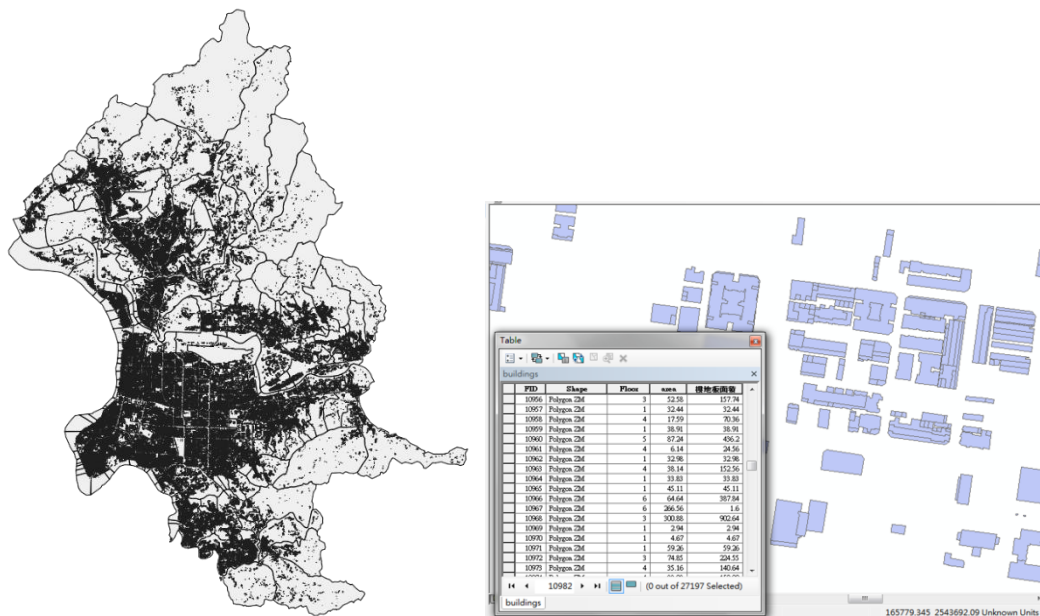


圖 2-22 台北市數值建築資料

(資料來源：本研究製作)

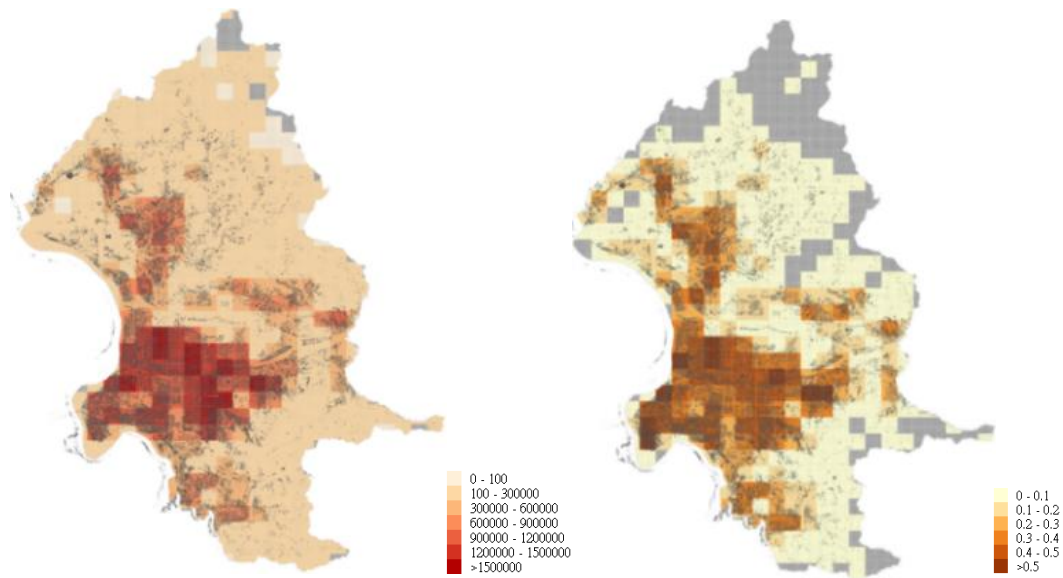


圖 2-23 台北市建築地板面積與建築總樓地板面積分佈

(資料來源：Chen et al., 2019)

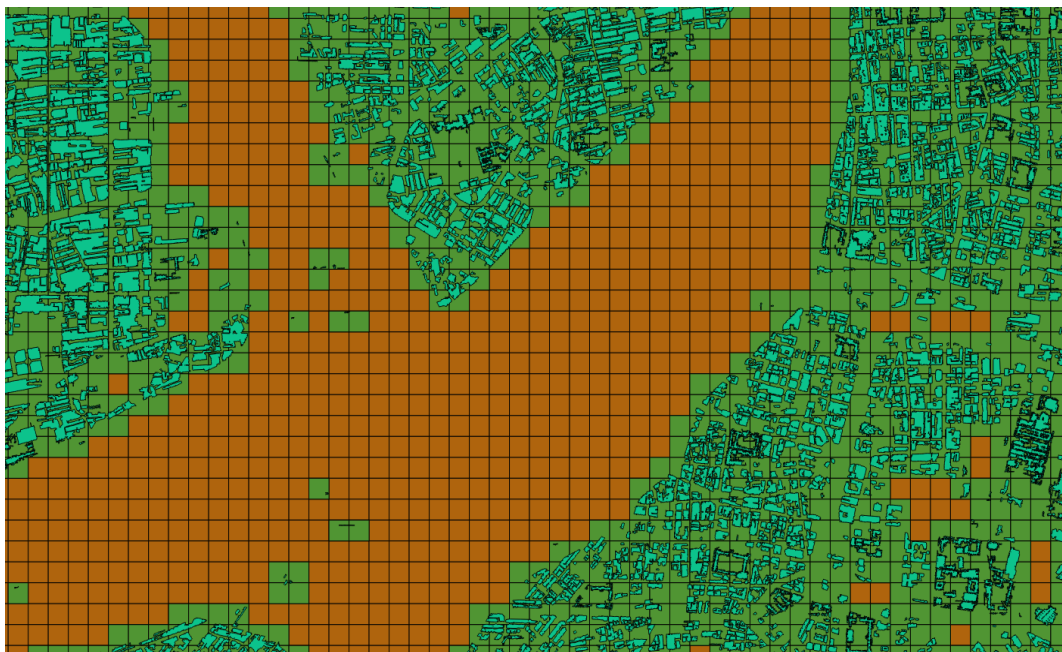


圖 2-24 台北市網格內建築分度

(資料來源：本研究製作)

六、 土地使用分區資料

土地使用會影響整個城市的建築形式、高度、密集度、人口能源之消耗及交通，會直接的影響民眾的生活品質，取得台北市土地使用圖後即能製出該圖層以了解各區所占比例及面積，該圖層分析主要由分布區域之面積進行討論，由於土地使用是解析都市氣候最基本的圖層之一，將與許多圖層如以及能源消耗以及熱舒適等密切相關。本研究透過國土測繪中心之國土利用調查成果進行圖片與向量的轉換(圖 2-25)，利用將 RGB 累算為一 DN 值之方式方便後續分類使用(表 2-4 & 表 2-5)，並透過地理資訊系統將擷取的 TIFF 轉成 polygon 後進行面積以及其所屬之土地使用進行製作(圖 2-26 & 2-27)。

表 2-4 土地使用分區之 RGB 值

(資料來源：內政部營建署城鄉發展分署國土規劃分組)

類別代碼	類別名稱	R	G	B	DN	類別代碼	類別名稱	R	G	B	DN
1	農業利用土地152	152	230	0	2370	5	建築利用土地	255	161	161	4495
101	水田209	209	255	115	4325	501	商業	194	0	6	1048
10101	水稻田171	171	220	97	3656	50101	零售批發	216	5	61	1908
10102	其他水田110	110	221	97	3358	50102	服務業	228	62	106	2952
102	旱田233	233	255	190	5420	50200	純住宅	255	244	41	3516
10201	旱作198	198	230	150	4550	503	混合使用住宅	235	224	82	3809
10202	茶園56	56	204	61	2501	50301	兼工業使用住宅	202	178	26	2594
10203		200	205	56	3163	50302	兼商業使用住宅	228	180	25	2725
103	果園126	126	237	39	2796	50303	兼其他使用住宅	236	193	83	3610
10301	常綠果樹99	99	192	59	2606	50400	製造業	255	194	61	3426
10302	落葉果樹170	170	192	60	2974	50500	倉儲	165	129	68	2612
10303	檳榔142	142	169	68	2777	50600	宗教	197	0	255	4300
10400	水產養殖138	138	255	218	5309	50700	殯葬設施	130	130	130	3250
105	畜牧159	159	177	105	3399	508	其他建築用地	205	205	102	3786
10501	畜禽舍112	112	134	79	2525	50801	興建中	209	136	9	2114
10502	牧場147	147	203	62	2962	50802	其他	186	104	73	2607
106	農業相關設施168	168	168	0	2016						
10601	溫室107	107	144	75	2518	6	公共利用土地	255	197	89	3811
10602	其他農業相關設施77	77	101	57	1833	60100	政府機關	255	159	41	2921
2	森林利用土地90	90	194	0	1808	602	學校	232	190	255	5805
20100	針葉林58	58	122	42	1690	60201	幼兒園	235	186	255	5792
20200	闊葉林56	56	168	0	1456	60202	小學	227	158	255	5556
20300	竹林79	79	190	15	1920	60203	中學	218	129	255	5308
204	混濁林24	24	141	13	1276	60204	大專院校	209	101	235	4807
20401	針闊葉混濁林44	44	124	10	1218	60205	特種學校	201	73	255	4831
20402	竹闊葉混濁林74	74	162	37	1985	60300	醫療保健	161	139	246	4976
20403	竹針葉混濁林36	36	97	10	989	60400	社會福利設施	249	224	165	4958
20404	竹針闊葉混濁林35	35	81	16	950	605	公用設備	255	218	150	4751
						60501	氣象	148	172	176	4232

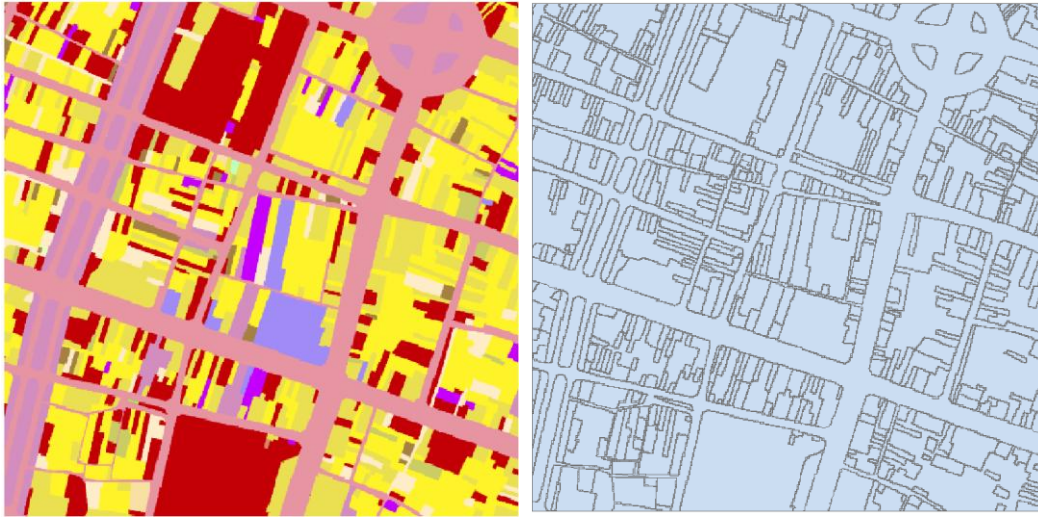


圖 2-25 土地使用分區隔柵轉向量示意圖

(資料來源：本研究製作)



圖 2-26 台北市局部土地使用分區分佈圖

(資料來源：本研究製作)

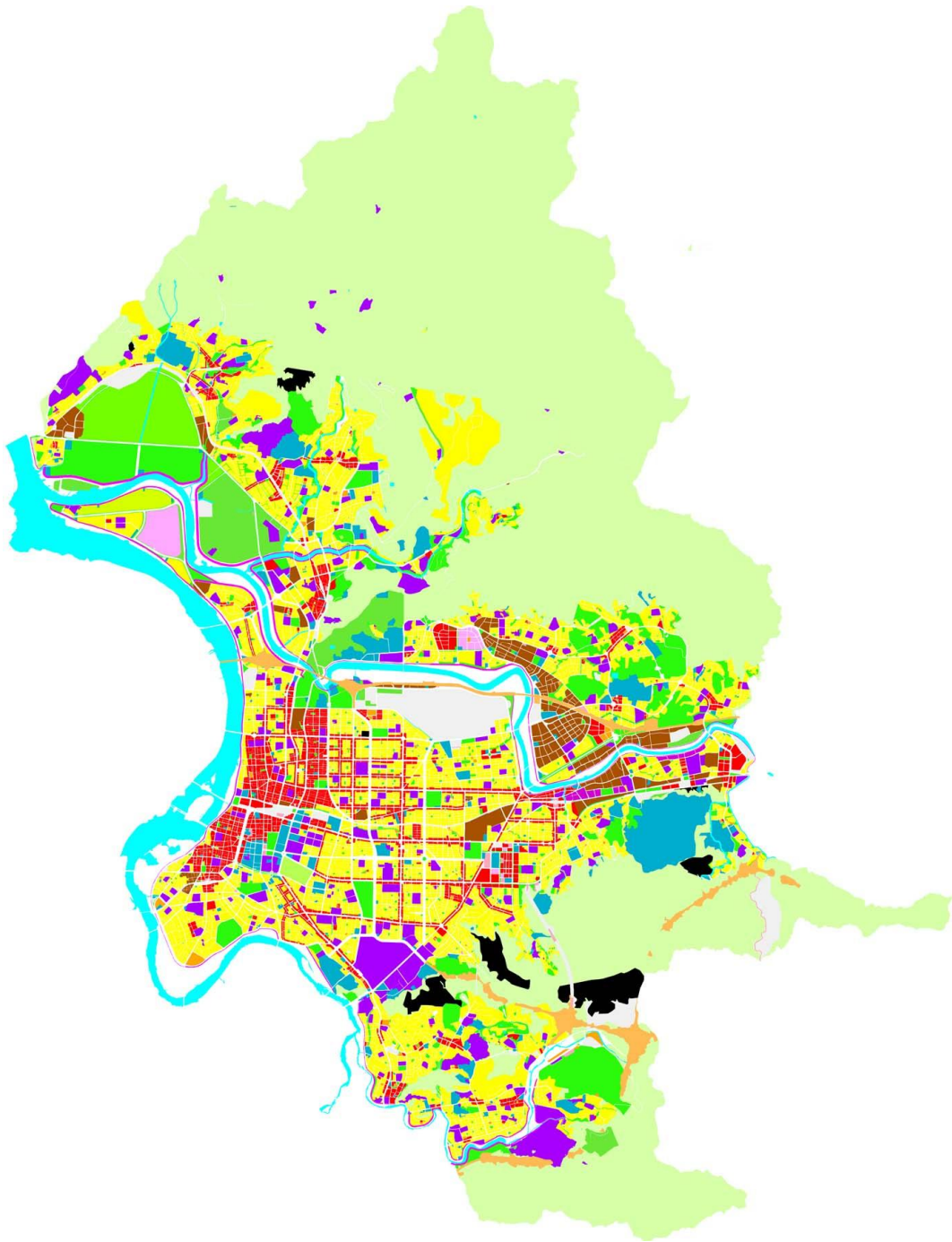


圖 2-27 台北市全區土地使用分區分佈圖

(資料來源：本研究製作)

上隨高度折減的風速剖面，計算時會使用都市區域不同的建成環境因子圖資來進行，透過監督式的分類將建築、植栽、道路及空地這三種不同的因子進行篩選，接著透過網格化的劃分將整個台北地區分成許多 100 米的網格。開始進行粗糙長度計算前需要先針對網格內部三種因子進行分析，取得各種因子的占比及平均高度的計算，並根據下列本研究修正至(Kondo, 1986)之地表粗糙度公式 3 進行計算：

$$Z_0 = 0.25 \cdot A_{build} \times \overline{H_{build}} + 0.125 \cdot A_{veg} \times \overline{H_{veg}} + 0.01 \cdot A_{open} \times 0.1m \quad - (式 3)$$

A_{build} ：建築占比

A_{veg} ：植栽占比

A_{open} ：空地及道路占比

$(\overline{H_{build}})$ ：建築平均高度

$(\overline{H_{veg}})$ ：植栽平均高度

因台北為一高發展城市經過計算的台北市粗糙度圖層大致呈現高粗糙度(圖 2-28)，尤其在高層建築密集之區域如火車站周遭與信義區等建築面積較大之區域，而如大安森林公園以及機場等較無地上物或者多為植栽之地區，則粗糙度較低，從此圖層亦可了解到都市中粗糙度的整體分布，可方便後續通風評估時對於台北市中潛力風廊的判定(圖 2-29)。

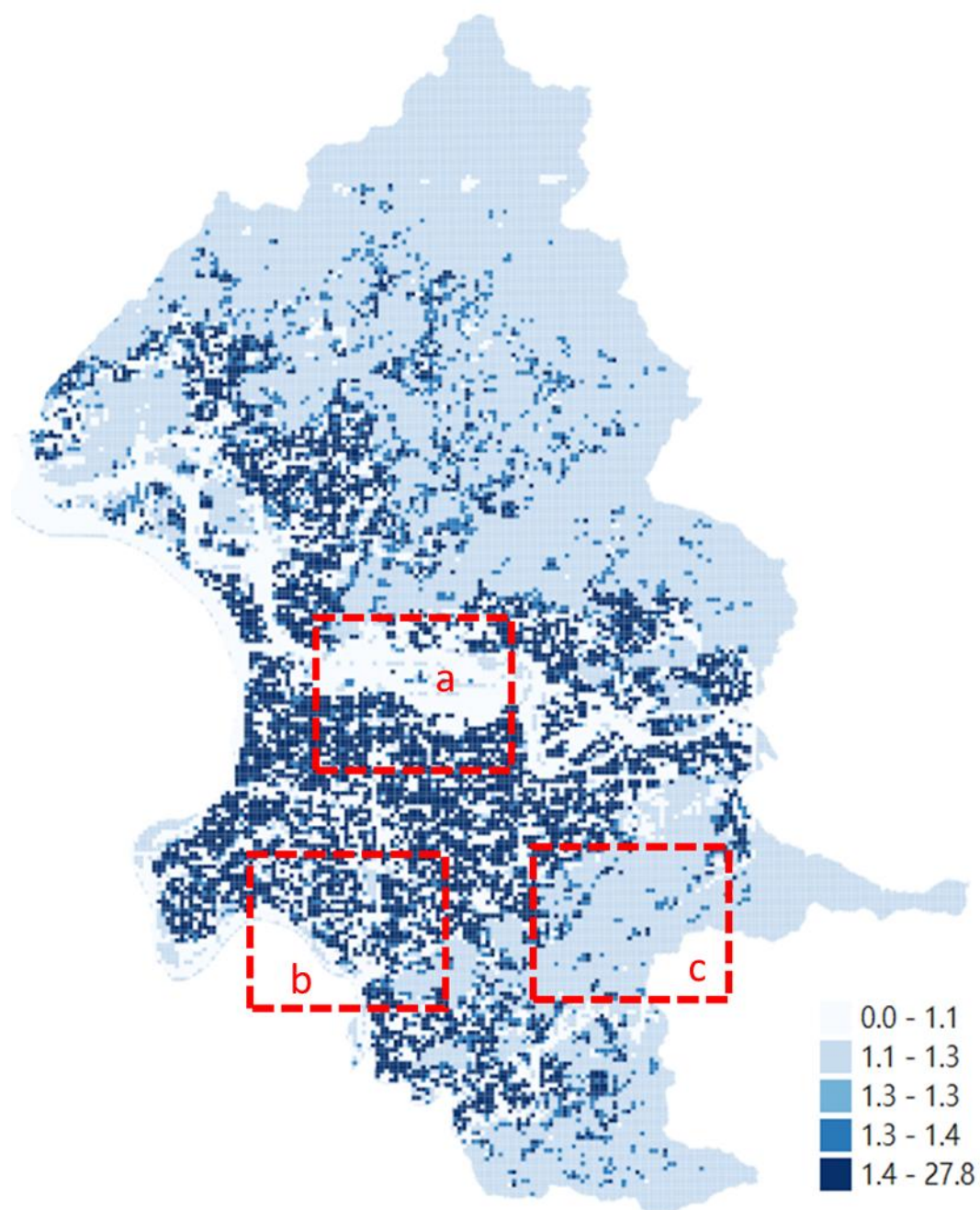


圖 2-28 台北市地表粗糙長度分佈圖

(資料來源：本研究製作)



圖 2-29 台北市局部放大地表粗糙長度分佈圖

(資料來源：本研究製作)

八、 能源消耗

隨著經濟的快速成長，都市不斷的向外擴張，規模也愈來愈大，都市熱島效應也逐漸增強。與此同時，建築周遭溫度上升又會對建築的冷負荷、空調系統的 COP、以及最終的空調能耗及室內熱舒適程度會產生直接影響 (Bueno, Pigeon, Norford, Zibouche, & Marchadier, 2012; C. Li et al., 2014)。目前市面上有包含 EnergyPlus、eQuest、TRNSYS、DOE-2 等來協助評估與規劃建築的供暖和製冷設計。這些軟體需要一份氣象資料來計算建築的熱量需求。而這份氣象文件大多數是使用典型氣象年(Typical Weather Year, TMY)或者採用周邊的或郊區的氣象站資料。然而，這些氣象資料不容易反映都市熱島效應導致的都市區域之間的能耗差異。

為了製成台北各網格每一小時的局部氣象資料，根據 Lin 等人在 2018 年的研究成果進行計算，利用擬態演算法(Morphing approach)來產生每個網格的逐時空氣溫度與相對溼度資料，如(式 5)-(式 6)。以台北的標準氣象站的逐時溫度(T_0)、月均溫($T_{0,m}$)和逐時相對溼度(RH_0)做為計算的基準值，並根據 Lin 等人利用地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 所提供之建築面積(B)、道路面積(R)、綠地與水體面積(G)等資料建立之 ΔT_m , αT_m , αRH_m 等氣象因子的多元迴歸式，計算每個網格的 ΔT_m , αT_m , αRH_m ，如(式 7)-(式 8)。該迴歸式的計算範圍考量到周遭環境與中心觀察點距離，

以及常年風向等問題。採用的環域大小為 100×100 m²，並根據台北夏季吹西南風、冬季吹東風的常年風向將 100×100 m² 的環域分成內層上風區(inside upwind; i, u)、內層下風區(inside downwind; i, d)、外層上風區(outside upwind; o, u)和外層下風區(outside downwind; o, d)等 4 層，具體分類方法如圖 2-30。

$$T = T_0 + \Delta T_m + \alpha T_m (T_0 - T_{0, m}) \quad - (式 4)$$

$$RH = RH_0 \quad (1 + \alpha RH_m) \quad - (式 5)$$

$$\begin{aligned} \Delta T_m = & 2.44 \times G_{o, u} - 5.59 \times G_{i, u} + 0.66 \times G_{o, d} - 0.39 \times G_{i, d} + 1.13 \times B_{o, u} + 5.25 \\ & \times B_{i, u} - 1.64 \times B_{o, d} + 6.27 \times B_{i, d} + 4.06 \times R_{o, u} + 6.60 \times R_{i, u} - 1.88 \times R_{o, d} - 3.91 \times \\ & R_{i, d} - 0.57 \quad - (式 6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha T_m = & -0.76 \times G_{o, u} + 0.27 \times G_{i, u} - 0.68 \times G_{o, d} + 0.53 \times G_{i, d} - 0.07 \times B_{o, u} \\ & + 2.37 \times B_{i, u} - 0.07 \times B_{o, d} - 0.78 \times B_{i, d} - 3.82 \times R_{o, u} + 0.16 \times R_{i, u} + 0.02 \times R_{o, d} \\ & + 3.59 \times R_{i, d} + 0.08 \quad - (式 7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha RH_m = & -0.05 \times G_{o, u} + 0.55 \times G_{i, u} + 0.05 \times G_{o, d} - 0.02 \times G_{i, d} - 0.21 \times B_{o, u} \\ & + 0.17 \times B_{i, u} + 0.27 \times B_{o, d} - 0.70 \times B_{i, d} - 0.09 \times R_{o, u} - 0.37 \times R_{i, u} + 0.12 \times R_{o, d} \\ & + 0.23 \times R_{i, d} + 1.09 \quad - (式 8) \end{aligned}$$

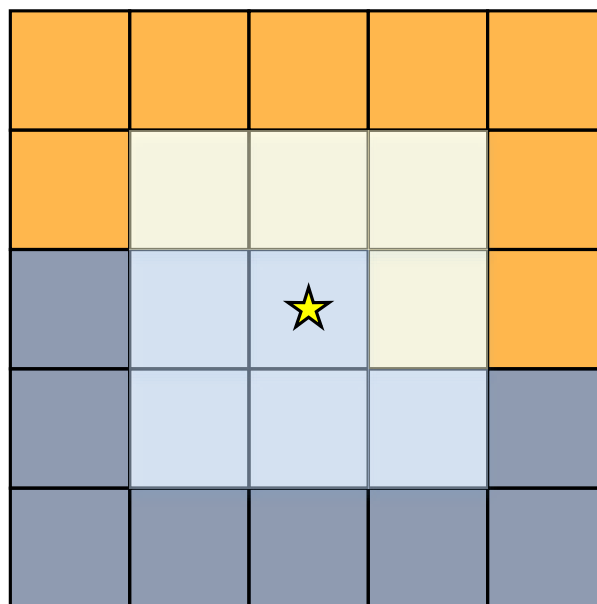


圖 2-30 網格環域示意圖

(資料來源：本研究製作)

本研究以一棟台北常見且有良好隔熱之透天住宅為模擬對象。主要結構為鋼筋混凝土。總樓地板面積為 102.6m²。共 3 層樓高，同時等同綠建築手冊定義公寓建築之一戶用電量設定，一層樓為客廳、餐廳和廚房(LDK)，二和三樓各有二間臥室。具體配置及開窗部位可參考圖 2-31。牆體構造、遮陽系統、開口比例、玻璃、照明、電氣、使用人數及時間表等設定如表 2-6。LDK 與四個臥室皆有一台一對一分離式空調，C.O.P 皆為 3。由於住宅建築通常是混合通風模式(自然通風與空調混用)，故分別模擬在全年空調情況下的空調能耗以及自然通風模式下的室內操作溫度。自然通風模式與空調模式的控制

溫度分別為 21°C 和 26°C。以 ASHRAE Standard 55 建議的 80%可接受度上限溫度做為判斷是否使用自然通風或者開冷氣的依據。一旦室內操作溫度高於上限時，就需要使用冷氣降低室內溫度。ASHRAE Standard 55 建議的上限溫度(T_{max})是大氣月平均溫度(T_{om})的函數，如式 9。根據台北氣象站提供的 12 個月的大氣月平均溫度在 17.5-31.0°C，換算得到的 T_{max} 介於 26.7-30.9 °C。

$$T_{max}=0.31 \times T_{om}+21.3 \quad - - - - - (式 9)$$

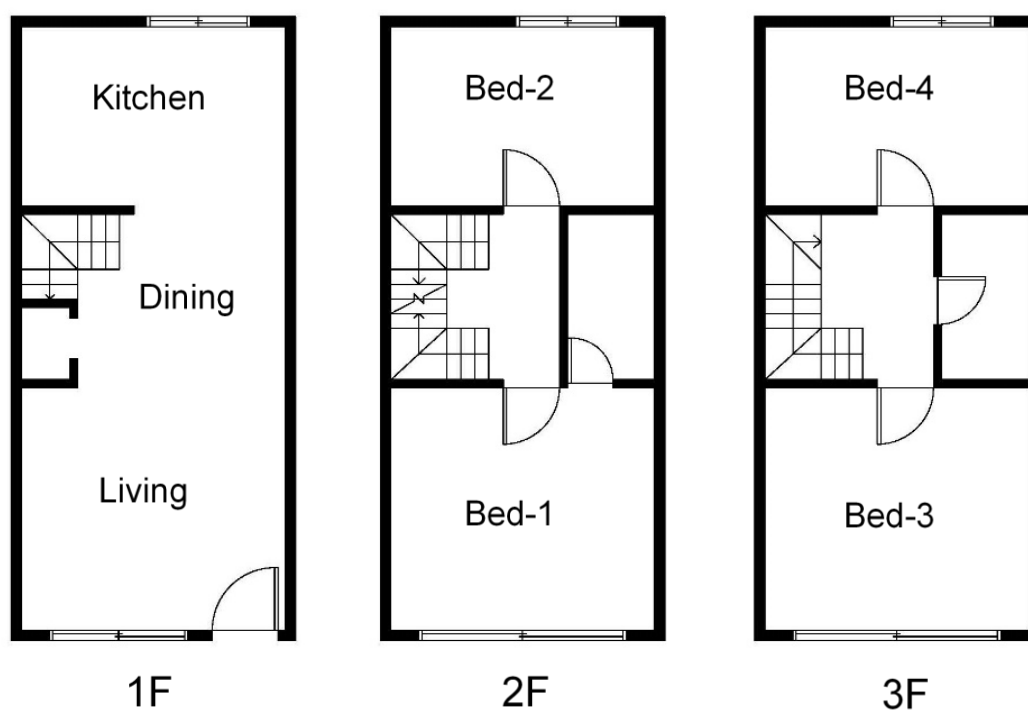


圖 2-31 標準住宅平面圖

(資料來源：本研究製作)

表 2-6 住宅模型設置

項目	設定內容
外牆	13mm 磁磚，U 值 1.3 W/m·K (outer layer) 10mm 水泥砂漿，U 值 1.5W/m·K 150mm 混凝土，U 值 1.4W/m·K 50mm 隔熱材，U 值 0.0042W/m·K 10mm 水泥砂漿，U 值 1.5W/m·K (inner layer)
內牆	10mm 水泥砂漿，U 值 1.5W/m·K 100mm 混凝土，U 值 1.4W/m·K 10mm 水泥砂漿，U 值 1.5W/m·K
天花板/地板	10mm 磁磚，U 值 1.3 W/m·K 10mm 水泥砂漿，U 值 1.5W/m·K 50mm 隔熱材，U 值 0.0042W/m·K 100mm 混凝土，U 值 1.4W/m·K 10mm 水泥砂漿，U 值 1.5W/m·K
開窗率	40%
玻璃	6mm 清玻璃
遮陽	水平遮陽，深度 40cm
人數	4 人
照明	10W/m ²
電器	總負荷 15kW
使用時程	依 ASHRAE Standard 90.1 第 13 節的建築類型時間表設置

圖 2-32 與圖 2-33 分別為最高溫網格與最低溫網格的每日可自然通風時數。從圖中可發現最高網格在 5-10 月期間幾乎需要使用空調才可能維持室內舒適度。而最低溫網格在 5-10 月間的自然通風時數較最高溫網格多一倍左右，

但仍有一半的時間需空調輔助。11-4 月期間，最低溫網格可完全依靠自然通風，最高溫網格除了 4 月與 11 月這二個月份需要部份空調協助，其它時間也幾乎採自然通風就可維持在舒適範圍內。

圖 2-34 則是特別針對熱季(5-10 月)繪製的台北市區可自然通風時數分佈圖。從圖可知，市區大多數網格(41%)在熱季的自然通風時數為 1990-2420 小時，另有 18%的網格的自然通風時數只有 1560-1990 小時。郊區或是公園綠地等區域的自然通風潛力較大，通常有 2850-3710 小時可自然通風。

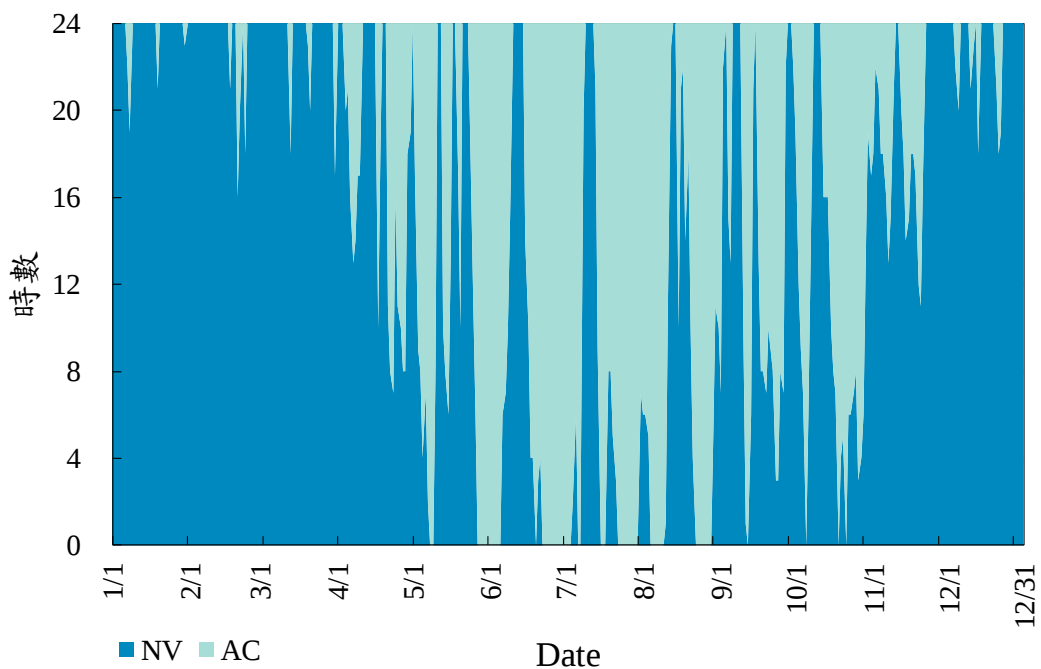


圖 2-32 最高溫網格每日可自然通風時數

(資料來源：本研究製作)

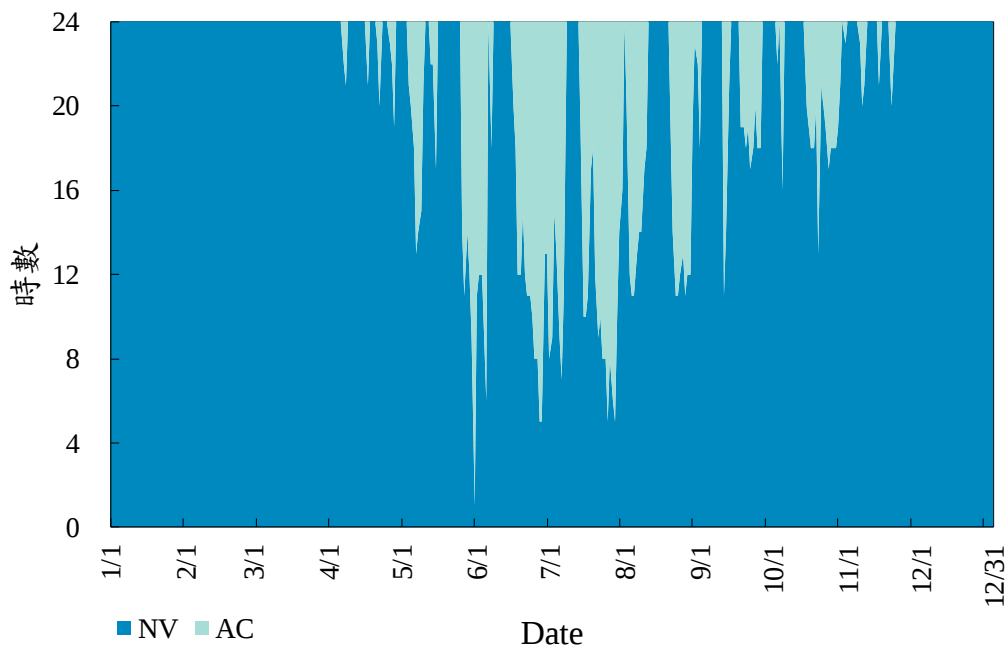


圖 2-33 最低溫網格每日可自然通風時數

(資料來源：本研究製作)

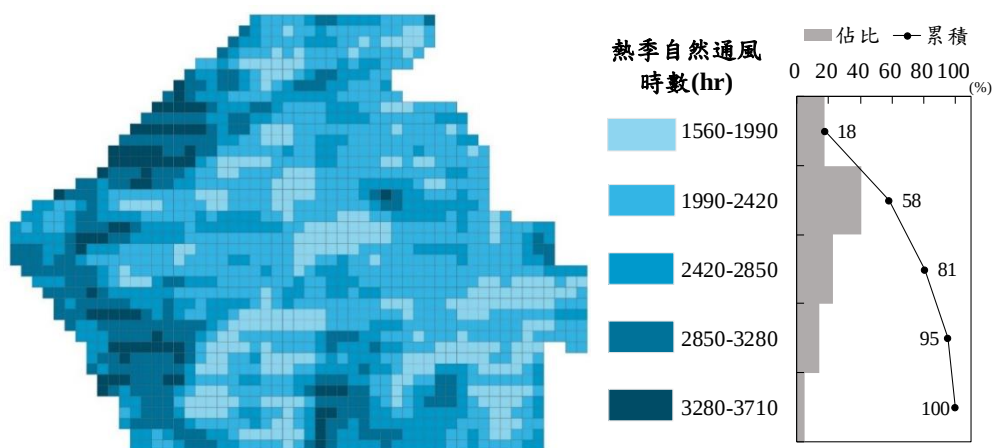


圖 2-34 熱季可自然通風時數

(資料來源：本研究製作)

利用生成的各個網格氣象資料模擬同一棟標準住宅在台北各區域的空調能源耗用強度(Energy use intensity, EUI)，即每單位米平方的樓地板面積所耗費的能源用量。能源耗用強度是一種廣泛使用的建築能源耗用表示的指標。EUI 定義是指將單一棟建築物於單位時間(通常為 1 年)內的總耗電量，除以該建築物總樓地板面積 $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{yr})]$ 。而建築設計隔熱遮陽不佳、通風採光不良、嚴重西曬、設備超量、設備效率差、生活習慣不良，都會造成用電強度 EUI 上升，因此用電強度 EUI 是衡量建築節能水準的優良指標。台灣的辦公建築用電強度 EUI 由高層的 $241 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{yr})$ 到低層的 $169 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{yr})$ ，小企業低層無電梯辦公室也達 $97 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{yr})$ (表 2-7)。

EUI 的計算方法有很多種，包括實地調查、抽樣調查和模型模擬。最常用的方法是採樣和模擬。陳介慧將建築物依不同領域與不同使用方式分類成 134 種類型，並將每種類型進行採樣調查作為參考數據。因此，各類型建築物的 EUI 可藉由採樣樣本的統計和迴歸分析方法而取得。(陳介慧，2008) 而在台灣的綠色建築評估手冊也制定了不同空間的使用模式以提高能源的使用效率。(林憲德等，2014)

圖 2-35 呈現最高溫以及最低溫網格每日的空調能源使用情況。從圖可知，不論最高溫或最低溫網格，在 5-10 月間的空調能耗量幾乎大於 $0.1 \text{ kWh}/\text{m}^2$ 。

day 以上。4 月和 11 月為熱季與涼季的過渡期，最高溫網格仍有空調需求，空調能耗量最多需 $0.1 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{day}$ ；反之，最低溫網格的空調需求非常低，僅部份日子需要使用空調，最多 $0.03 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{day}$ 。整體而言，都市中最高溫的網格空調能耗需求比郊區平均多 $0.04 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{day}$ 。熱季 5-10 月平均增加 $0.07 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{day}$ ，涼季 11-4 月平均僅增加 $0.006 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{day}$ 。

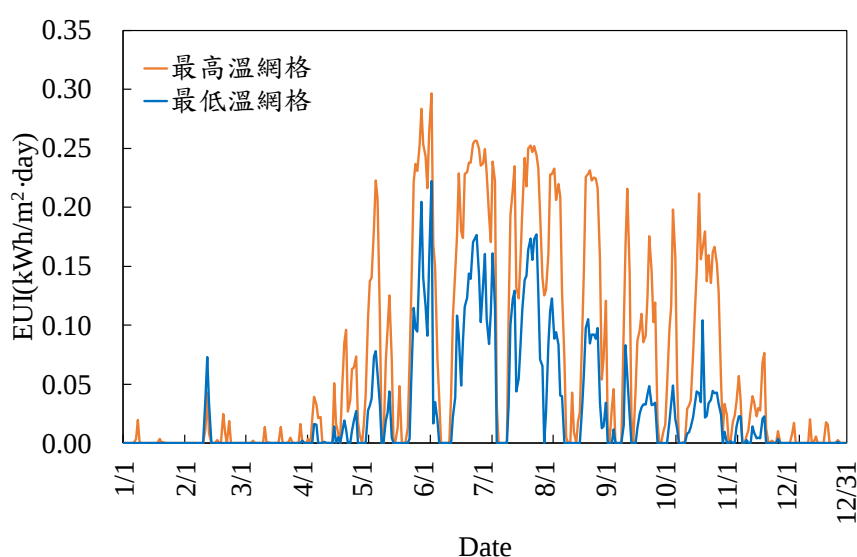


圖 2-35 最高溫網格與最低溫網格的每日空調能源耗用強度

(資料來源：本研究製作)

在了解全年每日空調EUI的變化後，進一步分析台北市中心的分佈情況。

圖 2-36 至圖 2-37 分別為熱季 5-10 月及涼季 11-4 月的平均空調 EUI 分佈圖。

結果顯示，熱季的 EUI 在 $4.0\text{--}25.0 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{year}$ ，涼季在 $0.0\text{--}2.3 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{year}$ 。從圖 2-36 的分佈可知，郊區在熱季的 EUI 小於 $11.0 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{year}$ ，市區中 60% 的網格平均 EUI 在 $14.5\text{--}21.5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{year}$ ，8% 在 $21.5\text{--}25.0$

kWh/m²·year。圖 2-37 顯示郊區有大量綠地及水體之區域在涼季幾乎完全不用使用空調。在以郊區最低溫度的 5 個網格之平均 EUI 為基準，市區每單位樓地板的空調能耗量最少會增加 7kWh/m²·year，最多增加至 19 kWh/m²·year。

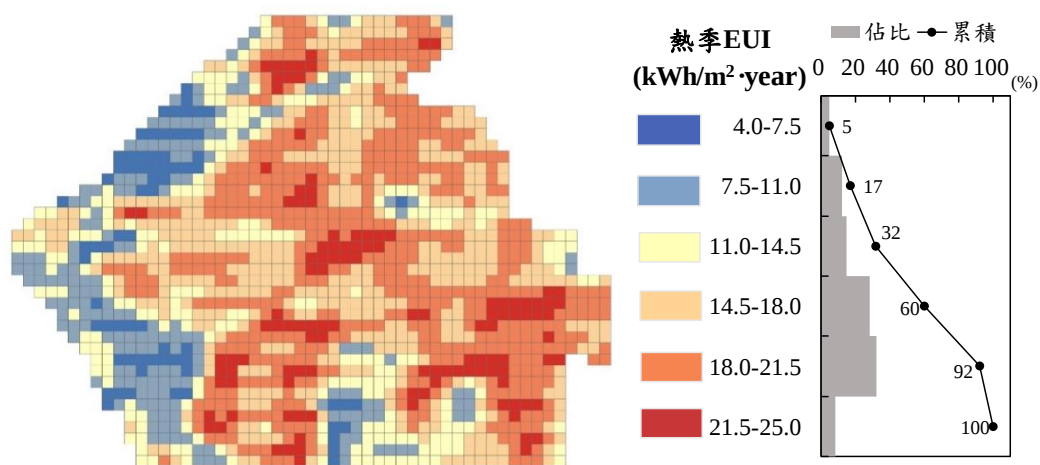


圖 2-36 熱季 5-10 月的住宅空調 EUI 分佈

(資料來源：本研究製作)

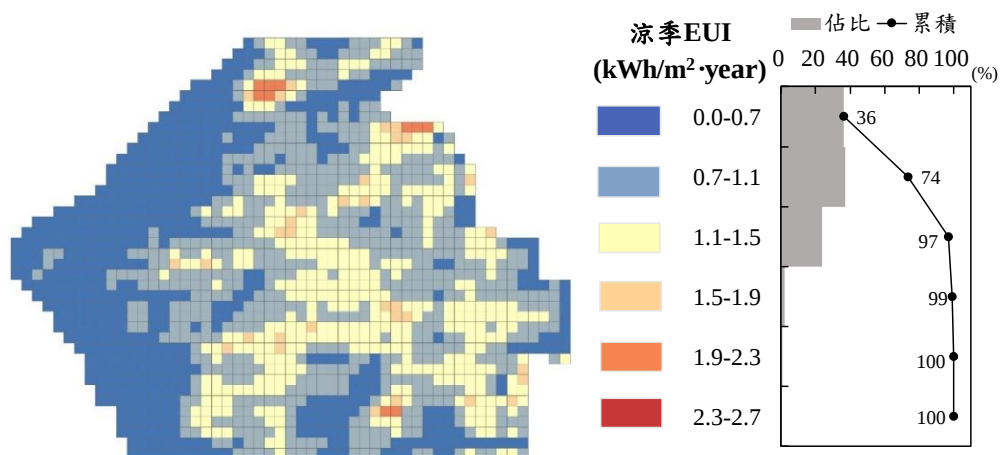


圖 2-37 涼季 11-4 月的住宅空調 EUI 分佈

(資料來源：本研究製作)

表 2-7 常見建築類型 EUI 排名圖

(資料來源：建築節能法規建築耗電強度 EUI 統計)

土地利用類型	EUI(kWh/m ² yr)
學校	28.6
住宅	39.3
公寓	45.6
旅館	173.6
購物中心	371.7
百貨公司	421
餐廳	462.7

第四節 都市戶外風熱環境評估方法

首先本研究以示範基地為例進行都市通風環境評估。並建立包含不同季節及時段之風花圖，風速風向分布圖，通風廊道路徑圖以及低風速高溫潛勢區。本項目標採用過去研究已建立且確立的方法用以評估都市通風環境以及風廊建置之分析，並與都市中不同的因子如熱舒適與能源消耗進行關聯及效益分析，了解風環境對其之影響，其進行方法包含：

(1)多時段風花圖

本研究計畫透過地表實測的方式利用風速風向儀之現地量測以進行驗證。而地表實測包含中央氣象局已設置之各級測站之資料與本研究室內之儀器搭配使用，於都市中多種不同空間與尺度之區域進行地表量測，並以風花圖呈現風環境，可準確了解實際情況並與模擬預估結果比較驗證。

(2)風速風向分布圖

利用地表高層模型 DSM 計算地表粗糙度預估都市風速分布並繪製風速分布圖，其中地表粗糙度之計算方法為：利用土地使用及土地覆蓋之都市土地特徵進行加權計算，其中都市空曠區域如草地及大片空地之粗糙度將較高密度開發建築區域高。而風向則透過模擬軟體 SkyHelios 模擬繪製風向分布圖。

(3)通風廊道路徑圖

使用衛星影像與土地使用分區進行地表粗糙度計算，作為風廊前進之阻力值，同時利用最小路徑法計算長年風行進風向之通風潛力，而假設風將會往阻力較小的區域移動則可利用最小路徑法來評估建築物型態對優勢風向的阻擋或流通的程度作為風廊流通預估，可將都市中主要風廊透過可視化的方式呈現，繪製通風廊道路徑圖，並同時採用計算流體動力學模式模擬軟體 SkyHelios 進行風廊之驗證，結果顯示於都市中粗糙度較低之地區，風廊將

較容易形成並產生較高之風速。

(4) 低風速高溫潛勢區

本研究利用不同季節的風速分布圖並依照蒲氏風力級數作為門檻，繪製低風速風險區，以及利用本研究於過去基地內量測之氣溫資料產製都市中高熱風險區域，藉由結合都市中兩個重要的氣候因子，產出低風速高溫潛勢區，藉以提供後續都市規劃設計規範制定之區域，以及標示出通風評估之重點區域。

一、風速預估

根據過去研究的結果可以分成指數與對數兩個風速剖面公式。各自所需的參數中摩擦速度 u_* 與地表阻力有關，也就表示氣流等流體流經靜止物體表面其產生的曳引力的 u_* 大小，粗糙長度和零風面位移則與地表粗糙度有關，也能解釋為都市表面其高低起伏等紋理產生的阻礙大小。建築密度及高度越大地表愈粗糙，粗糙長度和零風面位移愈大(表 2-8)。Oke et al (2018)提出粗糙長度以及風速剖面的指數能夠透過公式進行轉換，來獲得指數風速剖面的折減係數，取得該參數後便能夠將量測獲得特定高度的風速進行不同高度之間的風速轉換。後續分析通風降溫效益的部分會使用此方式來進行不同區域的風速預測。

本研究使用中央氣象局架設的標準測站以及以實測的風速資料進行檢驗

校正，以及都市區域內的建成環境圖資包含高度及座標位置，並假設邊界層高度以上的風速基本上不受地表起伏影響趨近於一定值，在計算各個網格的粗糙長度後，將該數值與台北市標準氣象站的風速進行轉換，以此來獲得整個台北地區的風速的分布。

本研究利用現有的都市圖資來計算 200 公尺大小之網格化的粗糙長度，並按照下列步驟製作全台北市網格化的風速，首先透過公式 10 計算各個網格的粗糙長度，並透過公式 11 轉換成表示風速剖面的地況折減係數 α ，取得標準氣象站的風速資料及氣象站架設高度後，並假設台北地區邊界層高度以上的風速均為定值並且較不受地表起伏影響，根據公式 12 將氣象局測站量測到的風速轉換至台北市平均邊界層高度 500 公尺的風速(圖 2-38)。

$$\alpha = 0.096 \log_{10} Z_0 + 0.0166(\log_{10} Z_0)^2 + 0.24 \text{ ----(式 10)}$$

$$\bar{u}_{z1} = \bar{u}_{z2} \left[\frac{z_1}{z_2} \right]^\alpha \text{ ----(式 11)}$$

接著使用計算出來台北邊界層的風速與先前計算網格化的地況折減係數，再次使用公式 12 的計算方式進行不同高度之間的風速折減，此時邊界層高度 Z_1 定為平均得 500 公尺及台北邊界層風速為已知，而各個網格行人層高度 2 米則可透過此種網格化風速的計算流程之式 5 來獲得全台北的風速分布資訊。

$$\bar{u}_{ip} = \bar{u}_{bl} \left[\frac{z}{500} \right]^{\alpha_i} \text{ ----(式 12)}$$

表 2-8 粗糙度與粗糙長度計算及轉換公式表

(資料來源：王安強等，2018)

	對數剖面(粗糙長度使用)	指數剖面(粗糙度使用)
公式	$\bar{u}_z = \frac{u_*}{k} \ln \left(\frac{z-z_d}{z_0} \right)$	$\bar{u}_{z1} = \bar{u}_{z2} \left[\frac{z_1}{z_2} \right]^\alpha$
相關參數	$\bar{u}_z$ 高度 z 的風速 z_0 氣體動力學的粗糙長度 z_d 零平面位移 u_* 表面的摩擦速度 k 馮卡門常數 0.4	$\bar{u}_{z1}$ 高度 z_1 的平均風速 $\bar{u}_{z2}$ 高度 z_2 的平均風速 α 為指數並根據其地況的差異而改變，台灣也有不同地況之參考值
計算來源	z_0 氣體動力學的粗糙長度 (roughness length)，可以經由既有的之都市圖資進行計算。	α 粗糙度 (roughness)，可參考現有之都市地況進行經驗預測或透過實場量測之不同高度之風速進行轉換計算。
公式	$\alpha = 0.096 \log_{10} z_0 + 0.016 (\log_{10} z_0)^2 + 0.24$	

數 值 驗 證	透過現有圖資根據不同組成因子計算目標區域的粗糙長度，並透過 α 的公式(Oket, 2017)進行轉換，再帶入指數剖面中計算出實測高度的風速預測值，並將預測與實測兩數值進行對照驗證，以確定透過氣象站進行風速預測方法的可行性。
------------------	---

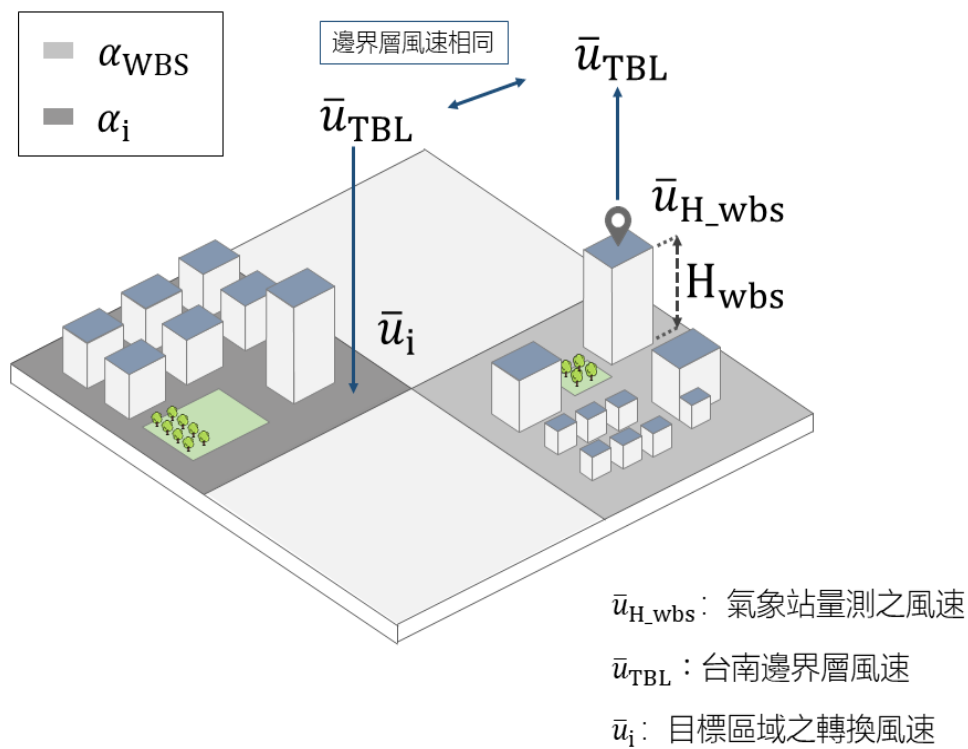


圖 2-38 邊界層風速折減示意說明

(資料來源：侯凱山，2019)

二、風廊評估

本研究透過光達的高度及面積資訊建置全台北市網格化的粗糙長度，並透過德國對於通風廊道的定義，表面粗糙長度應小於0.5公尺限制進行篩選，因此在進行此部分潛在風廊製作的時候，透過這種網格製作及篩選的方式能夠更簡易的找出潛在風能夠流過的區域，若一個網格的表面粗糙度小於0.5公尺在製作上則定義為通風區(圖 2-39)，使用 ArcGIS 軟體中之最小路徑法對各網格的數值進行風廊的繪製，並透過對比較大的顏色使之更容易去辨識風廊位置(圖 2-40)。

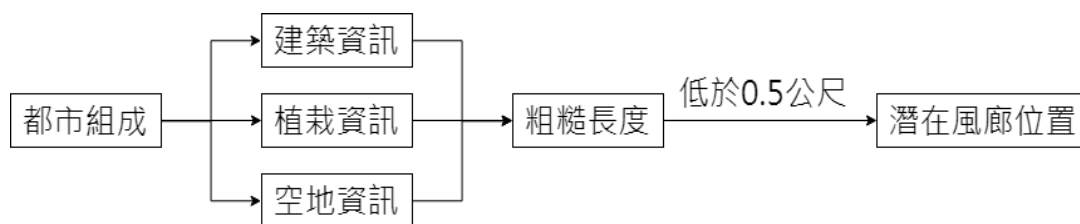


圖 2-39 潛在風廊門檻設定

(資料來源：侯凱山，2019)

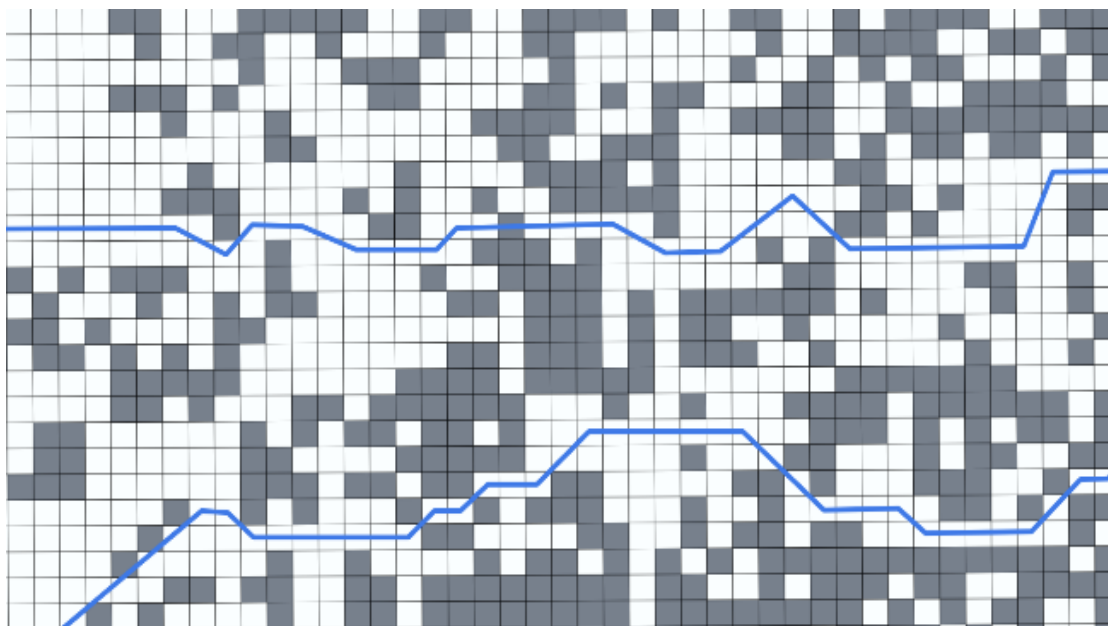


圖 2-40 最小路徑法示意圖

(資料來源：侯凱山，2019)

三、低風速敏感區

西元1805年，英國海軍上將蒲福，根據地面塵土飛揚和樹枝擺動的情形，把風速分為十三級，稱為「蒲福氏風級」。到了1940年，美國氣象機構以蒲福氏風級為基礎，利用現代測風儀把風速分為十七級。因為十七級分級法是根據蒲福風級修正而來的，本研究定義 $0\text{m/s} \sim 1.6\text{m/s}$ 為低風速敏感區， $1.6\text{m/s} \sim 3.4\text{m/s}$ 為一般通風區， 3.4m/s 以上為良好通風區(表 2-9)。

如所示在都市中密集建成區如商業區，以及大量喬木型植栽種值之區域如都市公園都將會因為有較高的粗糙度值而造成風速較低的結果，而都市中較空曠或建築物高度較低之區域如郊區之住宅區與機場等地區則顯示出較高

的風速結果，較強的風速可以說明此地之通風效能較佳，而低風速之地區則

因為過多的遮蔽物，往往會形成通風環境較差容易蓄熱之環境。

故透過可視化的風速分布結果可以更快速的連結都市設計師以及都市規劃人員了解氣候問題的所在地以及其原因，進而將此結果回饋至都市計畫法規之制定與限制建築物以及土地使用開發之相關條例，藉以減緩都市日益嚴重的氣候環境。

表 2-9 蒲福氏風級表

(資料來源：中央氣象局)

級數	風的名稱	風 的 說 明	速 度
0	無 風	毫無風的感覺，炊煙筆直向上。	0~0.2
1	軟 風	炊煙斜升，可看出風向。	0.3~1.5
2	輕 風	有風吹在臉上的感覺，樹葉搖動。	1.6~3.3
3	微 風	樹葉與小樹枝被吹動。	3.4~5.4
4	和 風	旗幟飄動不止，紙張飛揚，且有風沙。	5.5~7.9
5	清 風	池塘的水面波浪起伏。	8.0~10.7
6	強 風	張傘困難，大樹枝搖動，電線被吹的呼呼作響。	10.8~13.8
7	疾 風	樹全身搖動，逆風行走困難。	13.9~17.1
8	大 風	寸步難行，樹枝被折斷。	17.2~20.7
9	烈 風	煙囪被吹倒，屋頂瓦片被吹翻。	20.8~24.4
10	狂 風	樹木被連根拔起，房屋會遭受嚴重災害。	24.5~28.4
11	暴 風	風力更強，許多建築物被吹壞。	28.5~32.6
12	颶 風	災害更大	32.7~36.9
13	颶 風		37.0~41.4
14	颶 風		41.5~46.1
15	颶 風		46.2~50.9
16	颶 風		51.0~56.0
17	颶 風		56.1~61.2

四、 高溫敏感區

本研究依照過去的研究中已針對台灣居民完成大規模的戶外熱舒適之現地實測及問卷調查環境，並以 PET 熱舒適指標加以評估，其中 26 – 30°C PET 為「舒適」，30 – 34°C PET 為「微暖」，34 – 38°C PET 為「暖」，38°C PET 以上為「熱」(Lin et al., 2011; Lin and Matzarakis, 2011)。指出台灣居民的熱舒適在不舒適的門檻為平均生理等效溫度超過 38°C (Lin and Matzarakis, 2008) (表 2-10)。故本研究使用台北夏季的氣候數據並搭配 38°C 作為熱風險門檻進行高溫敏感區的劃設，熱風險表示根據氣候數據的背景，區域內溫度超過某設定的熱壓力門檻值溫度的狀況。這個統計單位將有助於闡明一個地區的長期氣候特徵及風險，因為它將不會受到在單時期內的極端天氣的影響 (陳育成，2014; Lin et al., 2008)。

由都市熱壓力指標預估模式建立後，即可求得給定時段的各格點推估之熱壓力指標 PET_i。本研究以台北市近 10 年氣象站資料計算出 10 年*365 天*24 小時=87600 筆資料，故可求得每格點共計 87600 小時之預測 PET 值，即代表了該格點在過去氣候特性下可能的逐時 PET 值。

表 2-10 台灣生理等效溫度熱舒適度分級

(資料來源：Lin et al., 2008)

Thermal sensation	PET range for Taiwan (°C PET)
Very cold	14
Cold	18
Cool	22
Slightly cool	26
Neutral	30
Slightly warm	34
Warm	38
Hot	42
Very hot	

第五節 通風效益評估方法

因本研究之題目為都市戶外通風效益分析與推動策略研議，故本節將利用都市中多種環境因子做為探討目標，探討其與風環境之關聯藉此提高風環境之應用性以及改善後之實質量化效益，其中本研究利用實測取得的風熱環境數據計算生理等校溫度用以表呈現人體熱舒適性之指標，藉以了解到風環境與人體熱舒適之關聯性，而在能源消耗方面，則使用土地使用分區與其對應之能源使用強度(EUI)作為效益分析之指標，分析不同地區往格內的建築物已及土地分區等共同計算出能源使用強度以及能源消耗，因戶外通風將可以提高熱舒適性，即代表更優良的通風將可降低空調等電器的使用藉而降低都

市中能源消耗以及排放，此因子亦是影響台北市都市中能以節能減碳並具有長期達到永續之目標與潛力。

一、 格點化模式

因需探討包含生理等效溫度及能源耗用與風速的關聯，本研究運用將台北市區域切分為長寬各 200 公尺尺寸之網格，進行都市發展因子占比以及平均生理等效溫度以及平均能源消耗量之計算標準(圖 2-41)，藉此進行與量化風速數據的散佈圖繪製，以明確的探討不同時間風速與都市熱環境與能源消耗的影響關係及通風對其之效益變化。

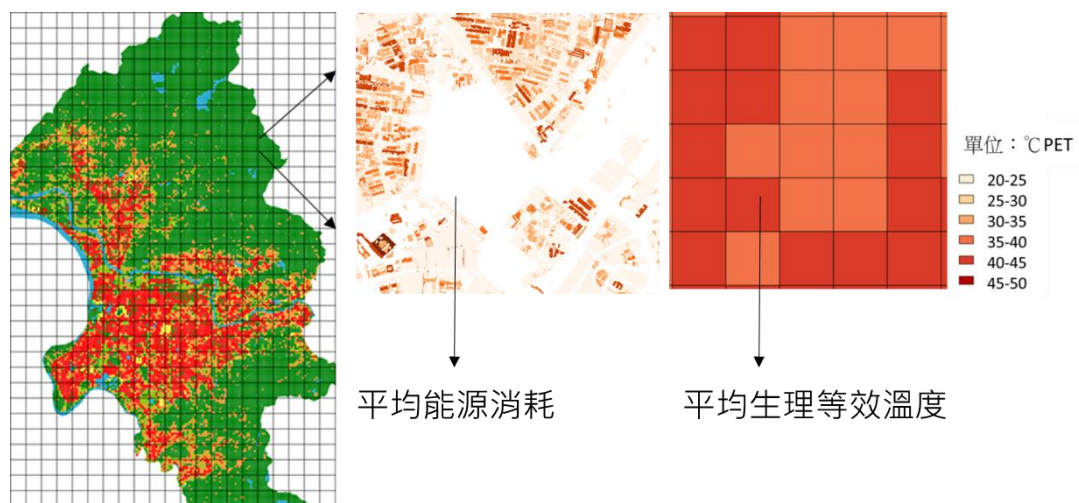


圖 2-41 網格化台北市包含都市發展及氣候資訊

(資料來源：本研究製作)

二、 關聯分析

本研究對風速與空氣溫度、生理等效溫度以及能源消耗進行線性迴歸，迴歸方式則會使用 EXCEL 的迴歸分析功能來進行迴歸分析。首先，對於風速的資料來源進行解釋，會先計算各個網格的粗糙長度，接著會使用該數值來使用台北氣象站的風速資料來做轉換，以獲得研究區域內所有網格之風速預測資料。接著對欲探討時段之風速及空氣溫度、生理等效溫度以及能源消耗進行相同時段的平均值的計算，相同時段的平均空氣溫度、生理等效溫度以及能源消耗及風速將會被記錄在各自的網格中進行相關性分析。獲得每個網格不同時段的預測風速以及平均空氣溫度、生理等效溫度以及能源消耗值，最後本研究透過 EXCEL 的散佈圖繪製功能來討論不同時段下不同因子與風速之間的關係。藉此了解不同時段下的斜率變化情形來量化通風降溫效果以及通風與能耗之關聯(圖 2-42)。

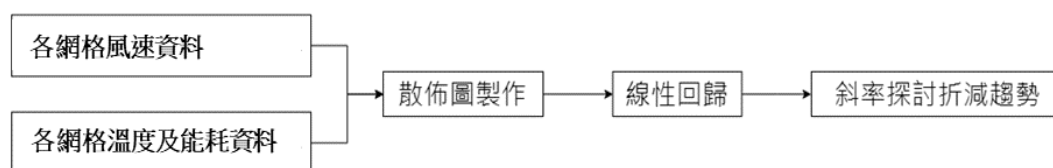


圖 2-42 風速資料與溫度及能耗資料分析流程

(資料來源：本研究製作)

第六節 法規推動方法

為因應氣候變遷而導致的都市氣候環境惡化以及因開發而導致的都市通風不良與高熱壓力之議題，本研究針對既有條例嘗試進行修訂，以本研究之研究成果導入既有法條之規定，同時亦提出法規外可實際操作之路徑與方法，包含至自主限制以及限制招標等方法，藉此提高都市氣候環境之良好調適能力。

一、可行法令路徑

本計畫藉由蒐集國外案例以及本研究之成果提出通風改善策略與法令制度修訂方向，以達成都市降溫、節能減碳的長期目標，則透過回顧日本建築環境綜合性能評估系統(CASBEE)中，對於公園下風側通風效益以及分區配置對於風流通潛力之影響，以及建築物立面遮蔽率與棟距之規劃與通風的關聯性。探討不同的都市建成環境與都市型態對風環境的優勢劣勢，藉以提出符合示範區域的通風改善策略，利用實際將微氣候風環境納入都市規劃之經驗了解都市風廊配置以及廊道上建築設計的限制以及規範，並結合本研究計畫所得之風速分布圖，風廊分布圖，藉以協助提出緩和都市熱島效應之通風改善策略之參考。

本研究計畫也參考高密度開發具有極高代表性的城市香港之空氣流通評

估(AVA, Air Ventilation Assessments)案例作為參考，AVA 規模涵蓋建築規劃設計、土地使用規劃及道路規劃等，利用建築物迎風面積指數以及風洞實驗與體動力學模式模擬軟體，進行都市中不同尺度的風環境評估，此方法包含了城市規劃、廢氣排放、生態綠化及能源策略等的正面影響，並可有效提供達成都市降溫、節能減碳的長期目標之建議與法令制度修訂方向。

蒐集整理後則盤點台灣過去案例，以及從不同角度如都市規劃以及建築面，探討在台灣中央及地方政府可能推動的部門及機制並建立流程，以供後續法規擬定之參考以確立主要推動之途徑如下表 2-11，其中分為都市計畫已及都市設計審議以及建築行政規則，而相對應可行之策略則包含都市計畫定期通盤檢討的土管規定以及都市設計審議中短、中、長期之都審規範與建築行政規則中建築各縣市建築自治條例與建築行政規則如台中之宜居建築與高雄之高雄厝案例皆為可參考之可行策略方向，並應用本研究計畫之實際成果導入法規建議。

表 2-11 都市計劃中央及地方可操作之項目

(資料來源：本研究製作)

法規種類	擬新增或修改之法規	可行策略
A.都市計畫	都市計畫定期通盤檢討辦法	1.修改中央法規。 2.通盤檢討辦法未修改前，於市政政策決策後，可先增訂細計之土管規定。 3.現行已都計通檢案，優先增訂於土管。
B.都市設計審議	都市設計審議	需有足夠宣告期，續以發布。 1.長期：修訂 全市型都審規範。 2.中期：新訂特定區都審規範 3.短期：都市更新申請案，新增風廊降溫基本規定，以提高容積獎勵。
C.建築行政規則	建管自治條例(需議會通過) 建築行政規則(市府訂定)	1.修訂自治條例 →宜居建築<臺中> →高雄厝<高雄>

為增進都市地區居住環境品質，新擬定之都市計畫，需配合未來計畫區內之計畫人口，於適當之位置配置合於都市計畫規定之公共設施項目與公共設施面積並畫設都市通風環境敏感區，最普遍的公共設施就是公園、兒童遊戲場、廣場及道路用地等。

另近年來，各級都市計畫（主要計畫、細部計畫）均加強「土地使用分區管制」之章節內容，對於各宗建築基地，依其建蔽率及使用強度之不同，而有特定之建築線、前院、後院，以及側院退縮深度之規範。此刻，若欲推廣風熱環境之評估與制訂相關開發限制，建議得於國土計畫中開宗明義，要求各級都市計畫依循。同時，於都市計畫法中明訂，對於新擬定之都市計畫或都市計畫通盤檢討，擬定單位應考量前述幾類公共設施之配置，以達都市通風與都市風廊之需求(圖 2-43)。

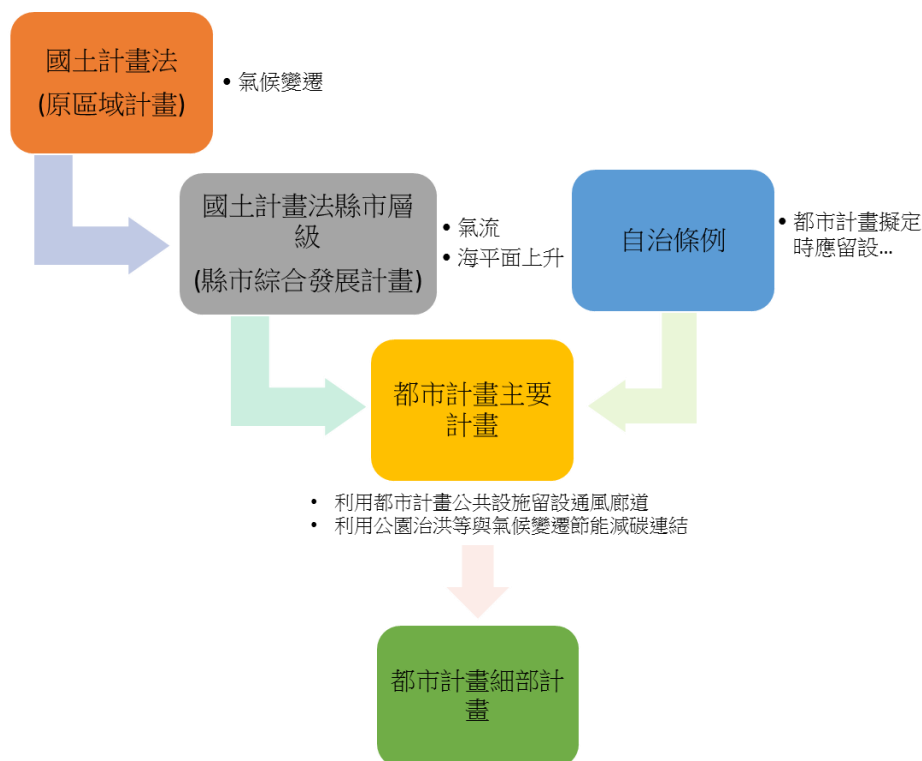


圖 2-43 都市規劃設計法規法源及階層

(資料來源：本研究製作)

因此建議，為達到保留都市風廊、促進都市通風、降低熱島效應，關於風熱環境之評估與開發限制應考量併入現行都市計畫之擬定程序中，同時，得視需要，調整土管條文，以符風熱環境之需求，以免相類似的條文重複規定，同時需考量基地配合退縮後之可使用面積，避免因過度的空地保留導致開發困難。另外，可由研究所得之都市溫度及風速敏感區地圖，訂定該地區之適宜開發強度，都市計畫擬定時，應依據該地圖之歸類，來訂定該都市計畫區之建蔽率、容積率、綠覆面積、建築物最高高度、建築物排列方式（建築物與盛行風向）同時本研究藉由成果提出可對應的中央及地方法令管制之

策略方向，以及列出不同層級計畫的可操作項目與利害關係人，以達成都市降溫、節能減碳的長期目標，藉以協助提出緩和都市熱島效應之通風改善策略之參考如表 2-12。

表 2-12 不同層級之法規與可操作項目及利害關係人表

(資料來源：本研究製作)

法規	國土計畫(區域計畫)	縣市國土(綜合開發)	都市計畫	細部計畫
可操作項目	氣候變遷之定義 如高熱高汙染	具體評估項目 以及檢討方法	都市設計審議 自治條例	土地使用 管制 建築技術 規則
利害關係人	中央政府 非都市土地地主	縣市政府 NGO團體	顧問公司&縣市政府 地主 審查委員 政府	地主 建商 社區管委會 一般民眾 建築師

二、基地通風率

於都市基地開發時不只要確保自身基地內通風且舒適，也要確保其它基地有通風的機會，使不同基地皆有權利接受到風，也有義務將風傳遞到下個基地。於相同基地內相同樓地板面積，只要配置能留設方與長年風向的通道，即能改善都市風環境，因此本研究計畫提出基地通風率，即使用建築於基地內之投影面積以及面永久綠地或道路側之合理樓高，並使用百分比之方式量化基地的通風潛力，可以使建築師或都市規劃設計師可以更快速且簡便的透

過簡算式之方法取得都市中風環境之數據，以便為城市帶來更永續之都市發展(圖 2-44)。

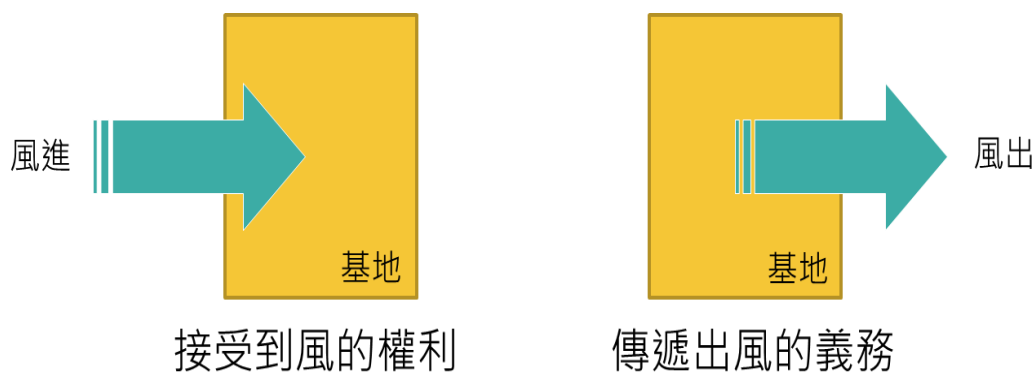


圖 2-44 建築基地通風之權利與義務示意圖

(資料來源：本研究製作)

如下圖 2-45 所示，建築基地在建築開發強度不變狀況下，只要使建築物側身配置就可以達到通風效果，即於相同基地內相同樓地板面積，只要配置能留設方與長年風向的通道，即能改善都市風環境，而本基地通風率之規範則將使用本概念進行規範限制(圖 2-46, 圖 2-47)。

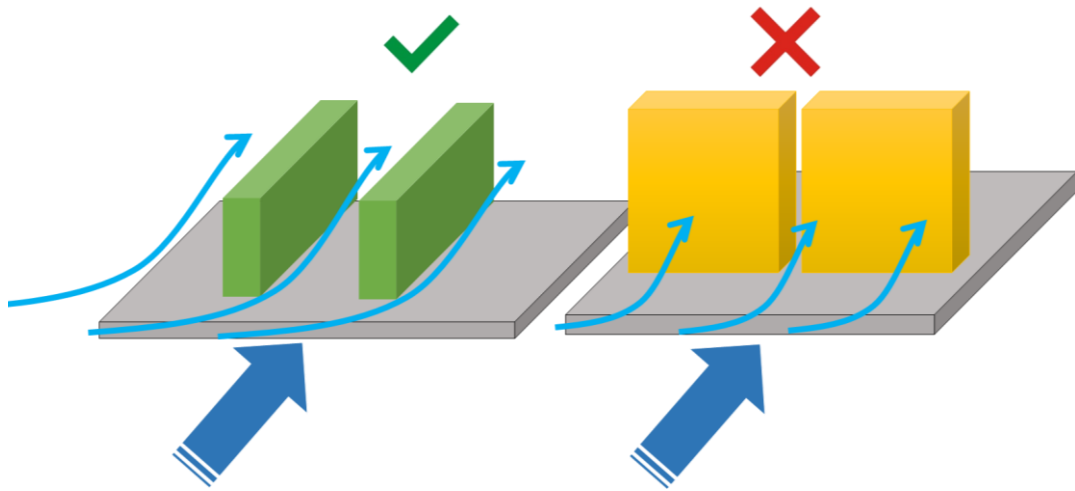


圖 2-45 基地通風率迎風面積示意圖

(資料來源：本研究製作)

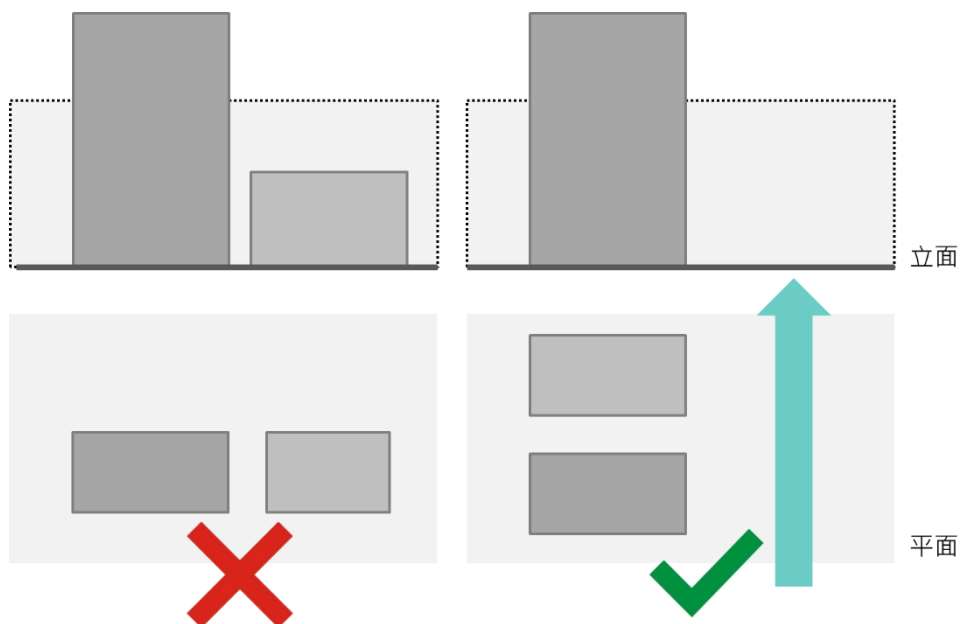


圖 2-46 基地通風率建築配置示意圖

(資料來源：本研究製作)

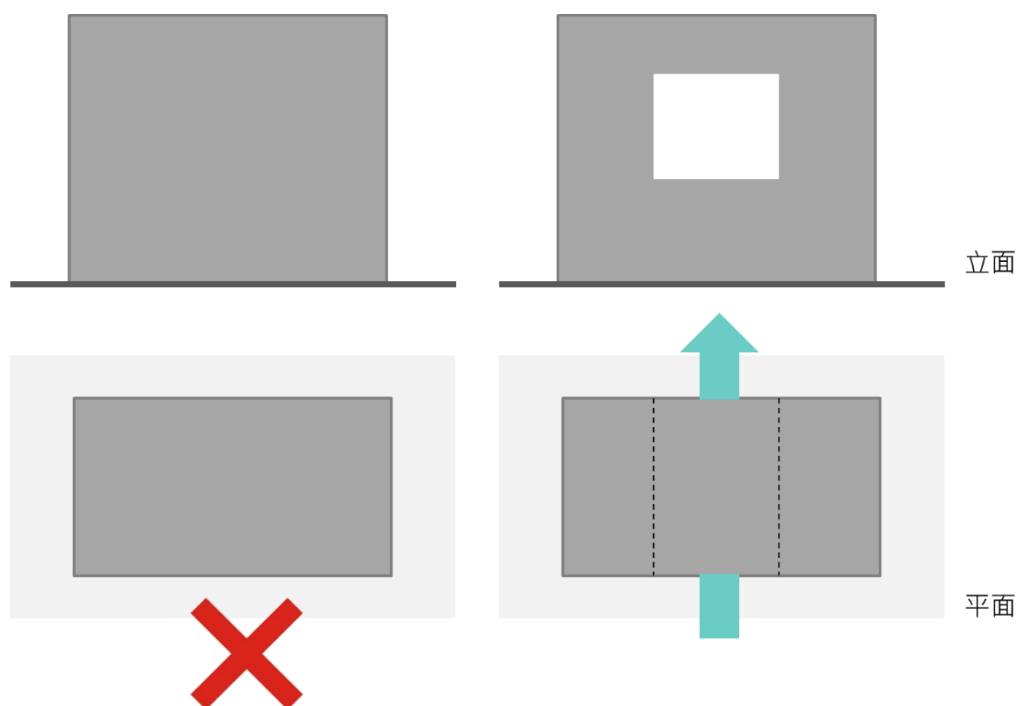


圖 2-47 基地通風率建築型態示意圖

(資料來源：本研究製作)

步驟一 評估對象確認

本研究計畫擬於都市中之高層建築即會明顯影響都市通風以及基地通風率之建築進行通風率評估，因低矮建築所造成之地表粗糙度以及風阻較小故一般低於七層樓或 21 公尺以下免評估，同時基地內有一棟建築高於 21 公尺以上或七層以上之建築物則需進行評估，以上數值之訂立為本研究與台中市政府都市發展局進行都更條例訂定之討論後決定(圖 2-48)。

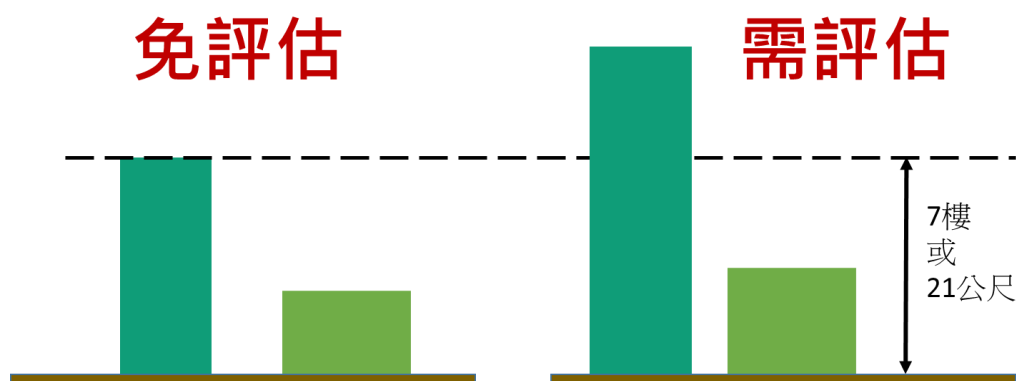


圖 2-48 基地通風率需評估對象說明圖

(資料來源：本研究製作)

步驟二 界定潛在通風區域

「潛在通風區域」意指基地周邊具有潛在氣流來源之區域。可為道路或永久性空地，若基地有多向鄰接道路或永久性空地，可任擇一側認定之，而期中永久性空地之定義則依建築技術規則建築設計施工編第一條第卅六款對永久性空地定義為「指依法不得建築或因實際天然地形不能建築之土地(不包括道路)」，包括：

(一)都市計畫法或其他法律劃定並已開闢之公園、廣場、體育場、兒童遊戲場、河川、綠地、綠帶及其他類似之空地。

(二)海洋、湖泊、水堰、河川等。(圖 2-49)

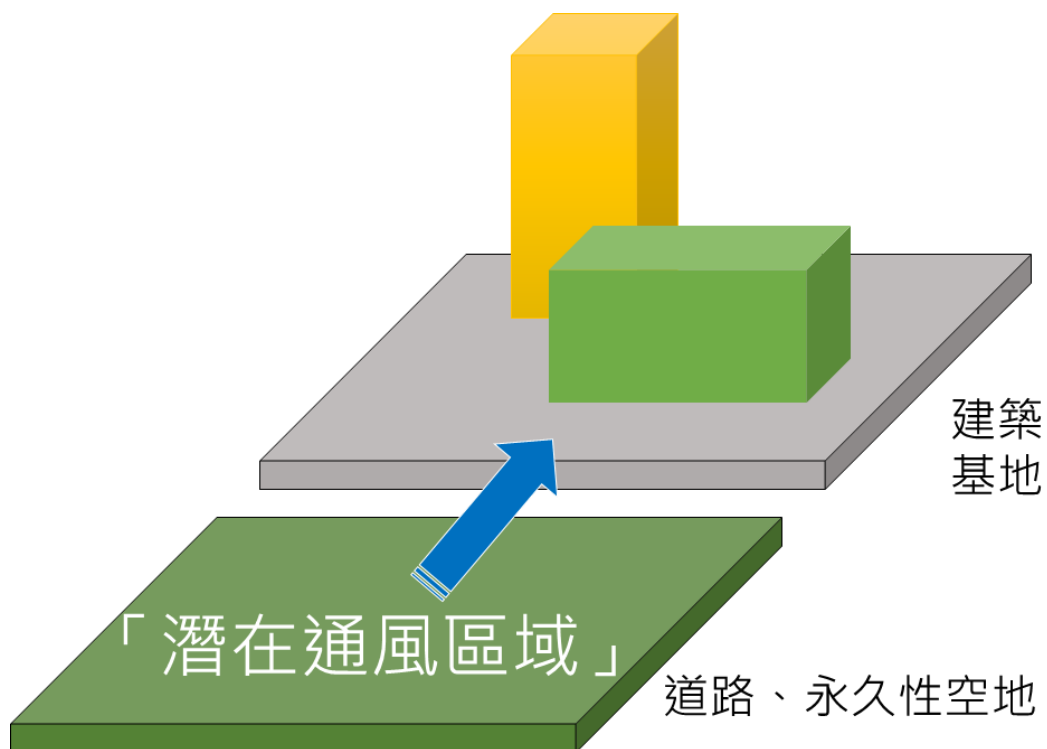


圖 2-49 基地通風率界定潛在通風區域方法說明圖

(資料來源：本研究製作)

步驟三 計算基準風阻面積

利用基地之合理樓高(即基地內依建蔽率及法定容積及增加容積下可能的建築高度)及面風的寬度，計算出該基地的風阻面積基準，而基準風阻面積則將會作為評估基地通風率之主要背景比較值已進行通風率之量化計算(圖 2-50)。

A_s ：基地內基準風阻面積 $A_s = (H_s \times W_s)$ ----- (公式 13)

H_s ：基地內合理建築高度 $H_s = (1.5 \times \text{基準容積率} / \text{法定建蔽率}) \times 3.5$ ----- (公式 14)

W_s ：基地通風寬度。基地面對「潛在通風區域」之垂直向最大投影寬度。

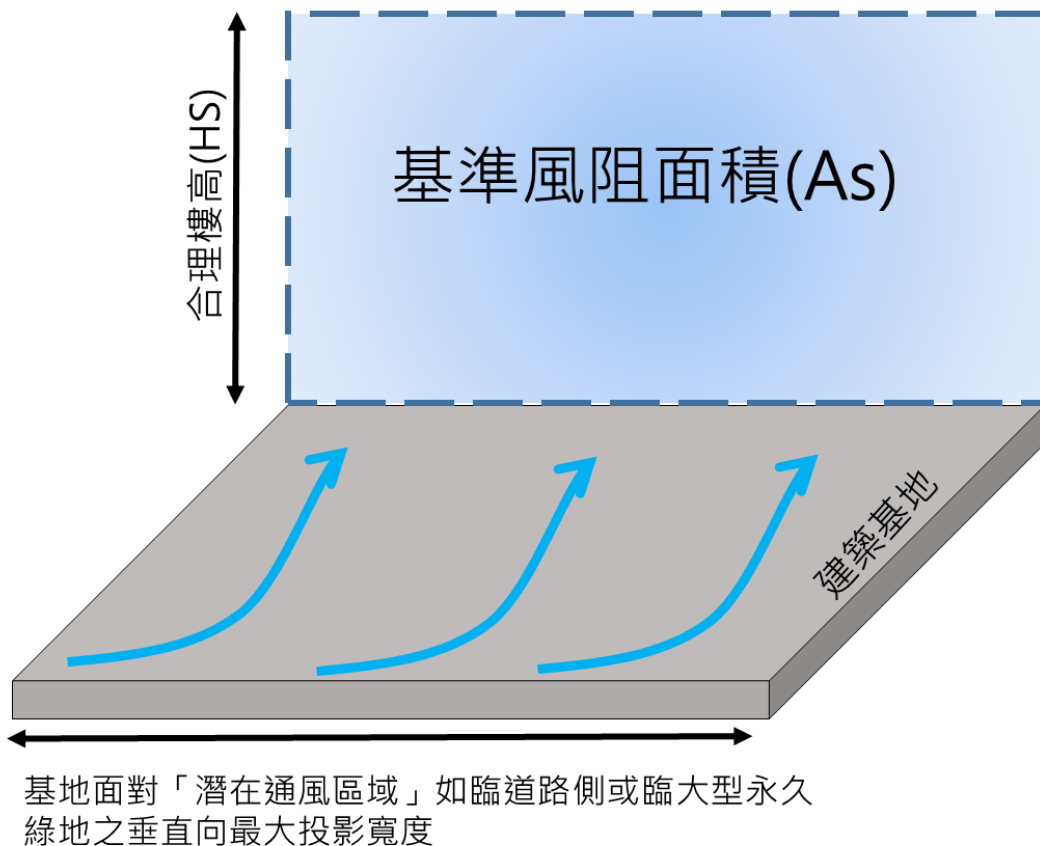


圖 2-50 基地通風率計算基準風阻面積方法說明圖

(資料來源：本研究製作)

步驟四 必要條件

因建築物之間距同時也將影響風之傳遞，如未考慮亦會造成基地內風環境之弱化，固本研究與台中市政府都市發展局進行都更條例訂定之討論後，

決定執行通風率評估時基地內建築物鄰幢間隔應達六公尺以上，以確保基地能將接受到的風往下傳遞(圖 2-51)。

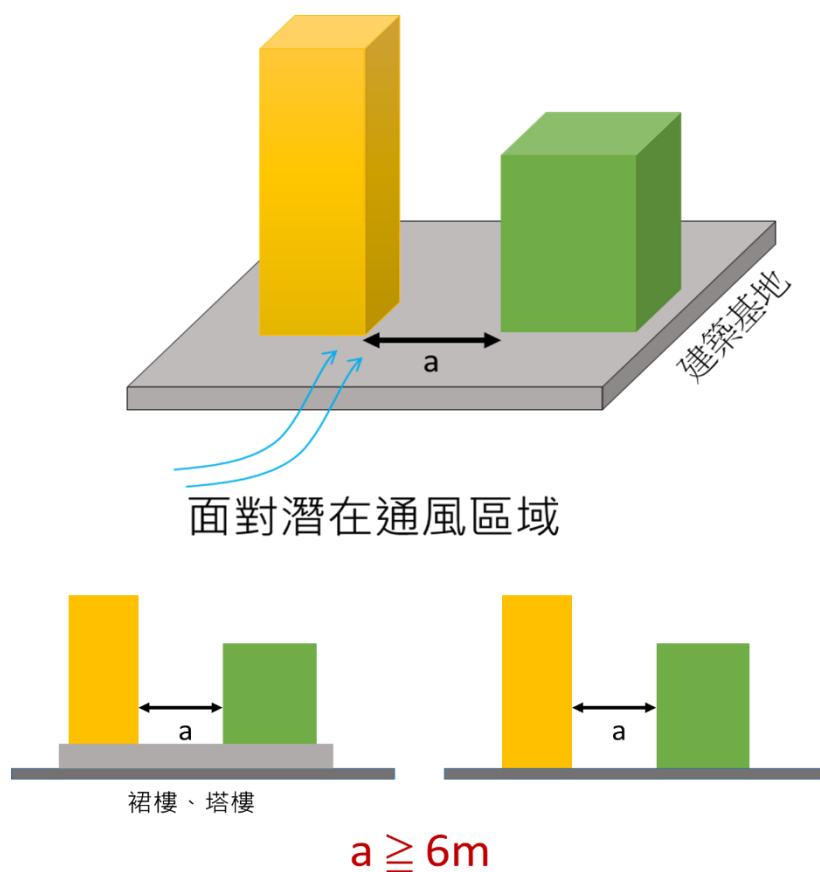


圖 2-51 基地通風率計算基準風阻面積之必要間距限制說明圖

(資料來源：本研究製作)

步驟五 計算實際風阻面積

基地內建築物量體(含陽臺、雨遮、造型版等)垂直投影到「潛在通風區域」之虛擬面積，單位為平方公尺(圖 2-52)。

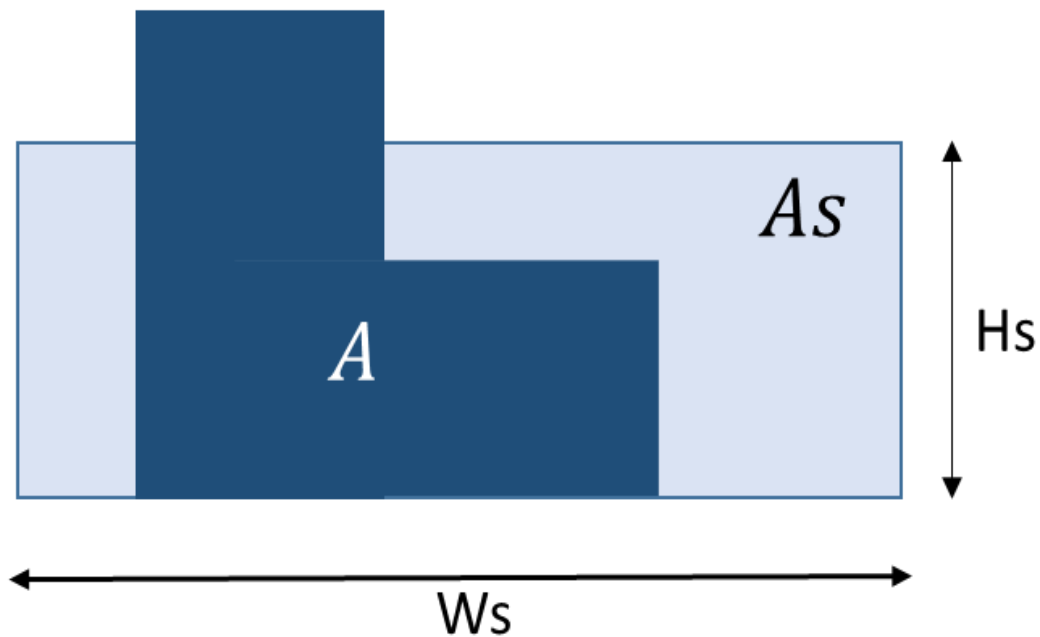


圖 2-52 基地通風率計算實際風阻面積之方法說明圖

(資料來源：本研究製作)

步驟六 容積獎勵

為求所擬定之法案得以符合台灣都市之氣候現況以及應用方式可提高規劃商及建築師採納意願，本研究計畫設置容積獎勵作為基地符合基地通風率規範之獎勵措施，容積獎勵之標準為下，基地通風率，基地通風率(SVR)大於百分之二十以上，給予基準容積百分之二。基地通風率(SVR)大於百分之十，未達百分之二十，給予基準容積百分之一。(以上容積獎勵不得累計申請)(圖 2-53)。

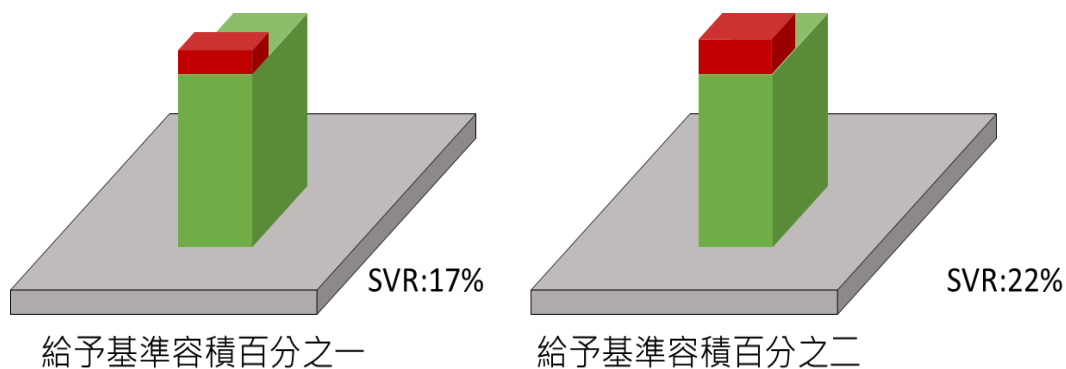


圖 2-53 基地通風率計算合格之獎勵辦法說明圖

(資料來源：本研究製作)

三、 建築棟距管制

建築物之棟距將高度影響基地內之通風環境，如下圖 2-54 所示，當周邊建築物之棟距與街道寬度較寬敞時，若基地面對公園等大型綠地時則公園之涼風將可降低周遭之溫度，但若周邊街道與棟距較狹窄時，則涼風以及溫度降低之效果將會大打折扣，故本研究計畫亦提出針對棟距管制之規範，以求更良好的基地通風環境(圖 2-55)。

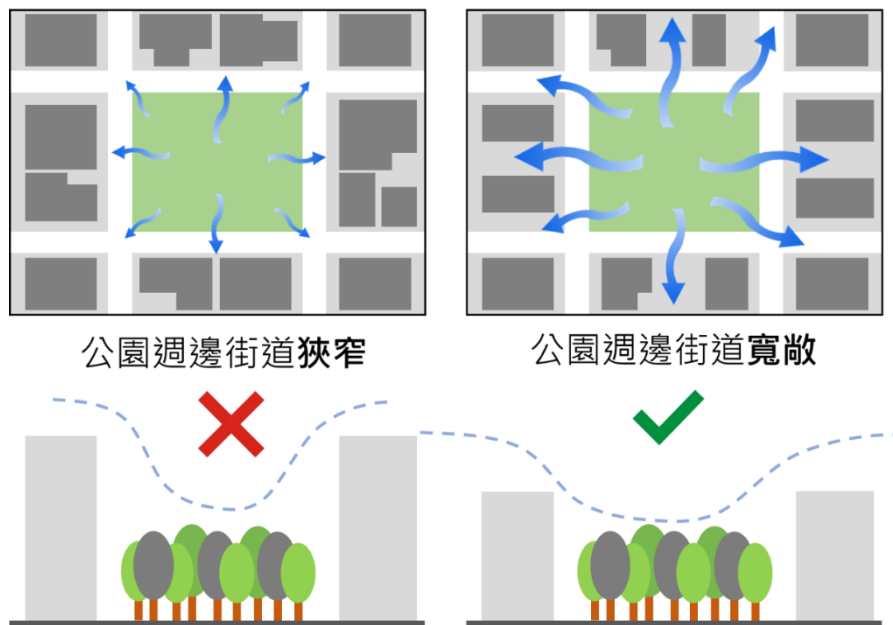


圖 2-54 建築棟距管制對都市風環境之影響示意圖

(資料來源：本研究製作)

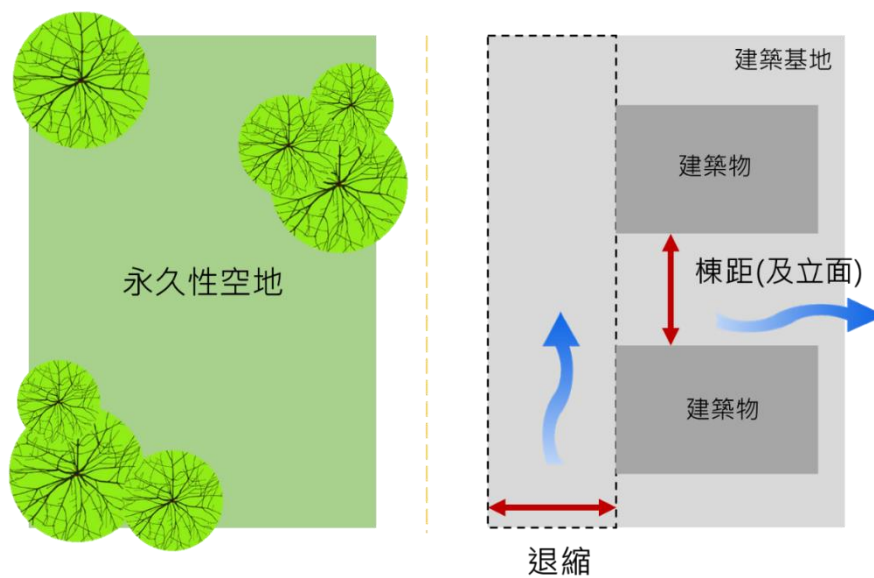


圖 2-55 建築棟距管制之操作方法示意圖

(資料來源：本研究製作)

第三章 研究成果

第一節 戶外通風及熱環境與能耗評估

本節將著重將本研究透過收集基礎圖資與氣象資料所建置而成之都市風環境地圖，主要將包含用於檢是都市不同時段風速的風速分布圖以及利用實際量測資料所產製之風向分布圖並利用風花圖表示呈現之，並透過最小路徑法將研究區域台北市都市中較具通風潛力的風廊道進行解析，並因應後續銜接都市計畫相關法令之需求，訂定低風速門檻並繪製低風速潛勢區分布圖來探索都市中風速較低區域之分布，以利後續針對都市規劃以及都市設計時得以藉由限制以及管制的方式針對通風敏感區進行不同層級的規劃設計規範以及開發指導。

而在熱環境地圖方面，本研究透過實際量測取得台北市之空氣分佈圖以及透過與風速、輻射、相對濕度的資訊共同計算後取得知台北市體感溫度分布圖，與透過台灣熱舒適門檻結合所繪製之高溫敏感區分佈圖，本結果除用於呈現研究區域中熱環境的分佈以及熱不舒適區域用於呈現，更將可以分析風環境與熱環境之關聯，對於後續都市降溫的實質效應將有很大的發展潛力。

最後在能源消耗部份，本研究使用台北市的建築數值圖搭配使用臺灣的

能源耗用強度進行不同區域的能源耗用預估，可以在準確依造土地使用分區與臺灣用電習慣的狀況下，快速取得研究區域內的能源消耗分佈，同時亦可將之與風環境之風速資料進行關連分析，了解不同風環境的環境對於能源消耗的差異。

一、風速分布圖

本研究利用不同方法包括利用第 2.2.1.1 節所述之模擬模式並利用局部氣候分區進行粗糙度及風速折減，主要為利用快速且方便取得的衛星影像以及經濟部能源局之模擬風速資料進行，以下簡稱方法一，亦利用 2.4.1 節中所述使用數值地形圖包含建築、植栽、地面等不同圖層運算支地表粗糙長度，並透過轉換公式將高空風速推算至行人尺度，以了解都市中居民對於風速的感知以及實際風環境現況，本方法須花費較多時間於圖資之取得，但卻可以得到高解析度的都市風速資料，以下簡稱方法二。

下圖 3-1 即為利用方法一所製作之全年平均風速分佈圖，如圖中所示在市中心區域因為高樓建成區座落且密集度高，其所圍塑的空間將會產生與低矮樓房比起較高的粗糙度，故其風速將會因折減而顯得較低來到 1.26 m/s ~ 1.82 m/s ，但在都市中的河川以及空地以及山區則會有較高的風速值，主要原因即為河川可以提供沒有阻擋物的通風空間，使得風可以維持原速行進，至於空地及山區則因為其粗糙度較低的原因，使得風速被折減的比率減少，

而呈現較高的風速數值，此風速之結果可應用於了解都市中不同時段的風速狀況亦可用於計算生理等效溫度。

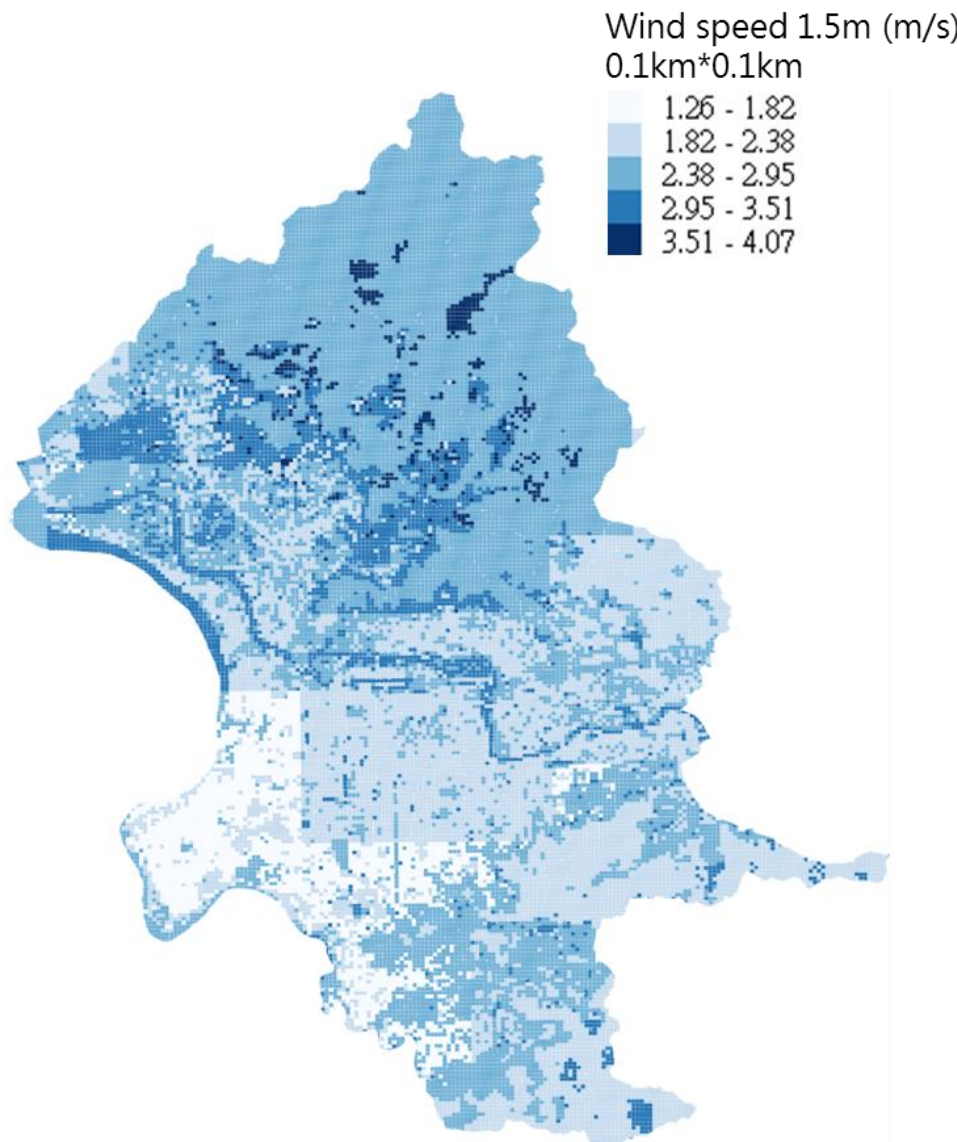


圖 3-1 台北市使用天氣研究和預報模式之風速分佈圖

(資料來源：本研究製作)

下圖 3-2 即為利用方法二所製作之臺北市全年平均風速分佈圖，其中明

顯可以發現基隆河在都市中呈現了最高風速分類並可達 4.51m/s，說明都市中的河流可以成為重要的通風流通區，而在機場則因為地面無任何障礙物包含建築與植栽，故風速亦可達最高分級，但在郊區的山林地則因為樹林密度高且高度高產生較高的粗糙度，而使風速下降，至於都市中心區域，則因為臺北的高密度開發使得都市建成區域的風速都在最低的風速分級中。

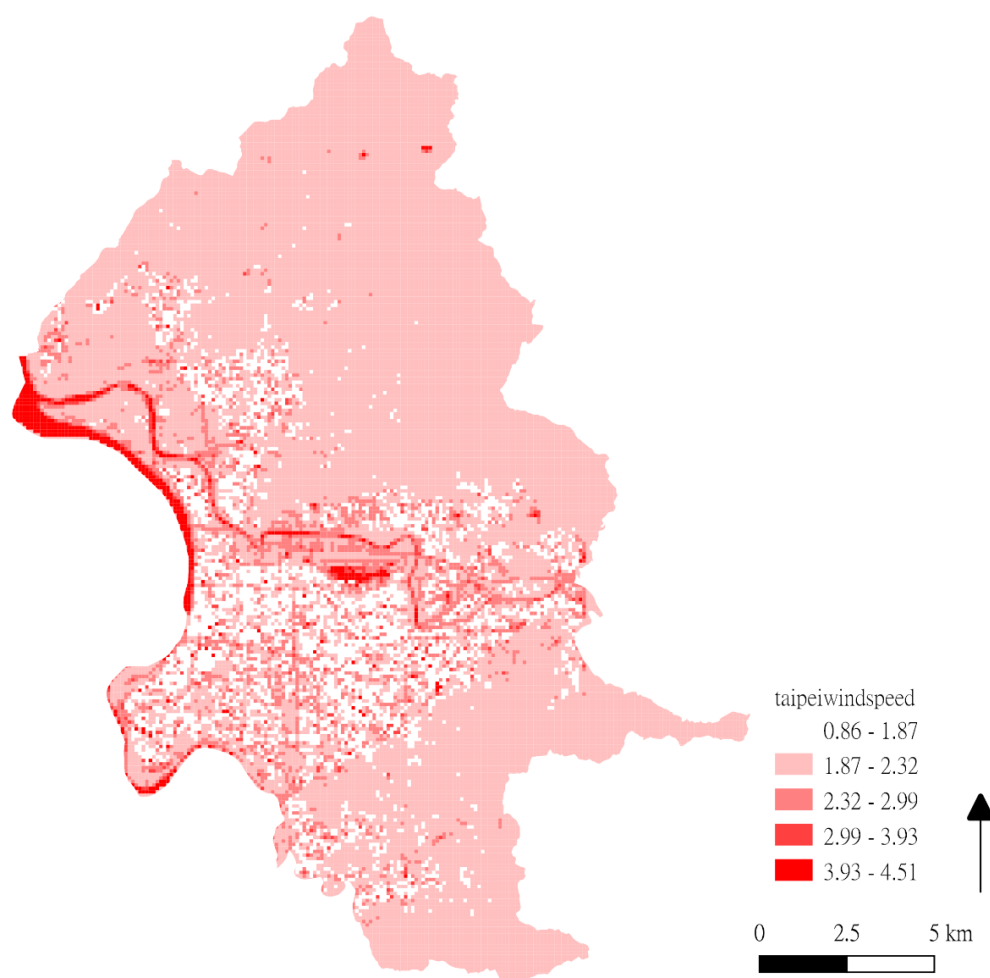


圖 3-2 台北市使用粗糙度折減之風速分佈圖

（資料來源：本研究製作）

二、風向分布圖

圖 3-3 與 3-4 為台北市 2018 年夏季日間及夜間風花圖，數據顯示台北市之風向受到盆地地形影響大，受到環山阻隔，夏季之主要風向為西北風，經由淡水河之通風廊道引入，偏東部之測站測得風向多呈現東風，受到東部山群之影響，唯一通風河道為東西向之基隆河因此呈現東風，整體風速鮮少大於 4.5m/s。冬季則多呈現東風並帶些微北風的狀態，整體風速較夏季稍緩。

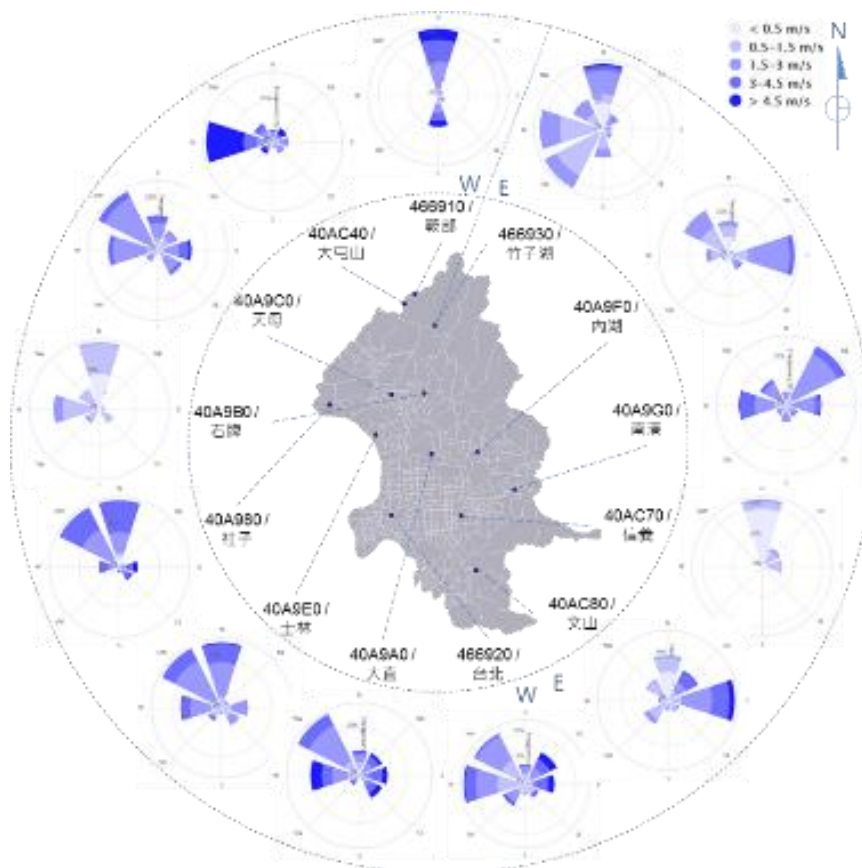


圖 3-3 台北市夏季風花圖

(資料來源：羅子雯，2018)

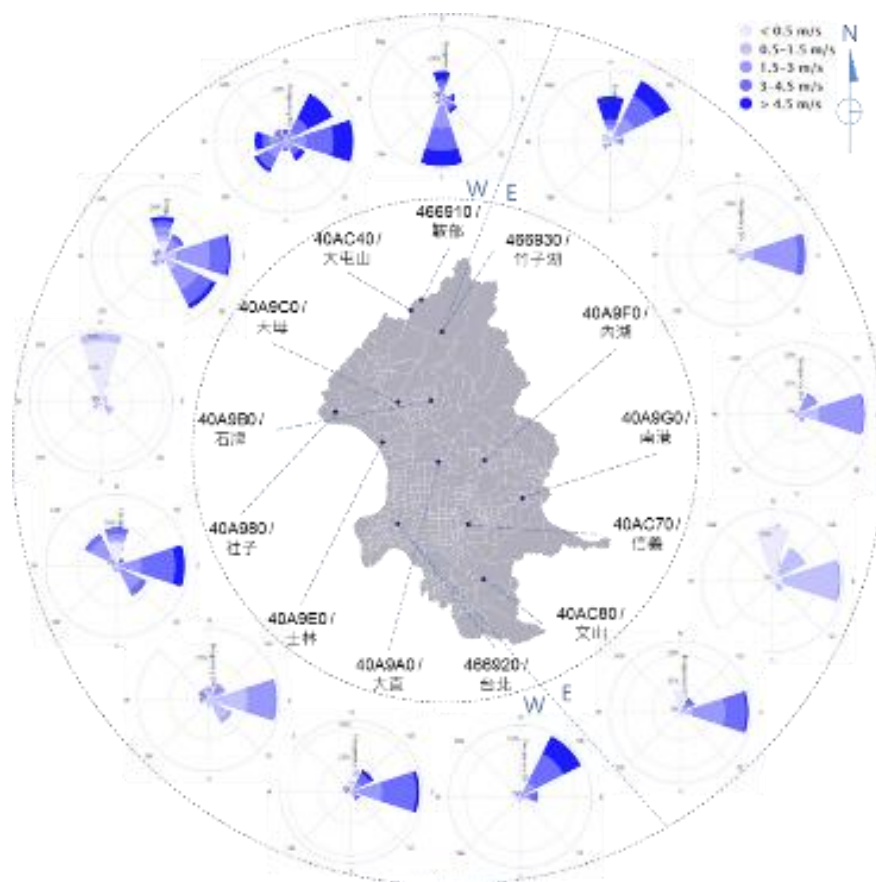


圖 3-4 台北市冬季風花圖

(資料來源：羅子雯，2018)

三、風廊分布圖

本研究透過粗糙長度的計算來獲得相對簡易並快速的都市潛在通風廊道分布位置，由下圖 3-5 與 3-6 可以看出潛在的通風路徑會反映出較大的道路、河流以及公園綠地等區域，量體較大的高樓層建築物往往會導致氣流受到阻擋而形成不通風的區域，在分布上也能明顯呈現出為了阻擋沿岸強烈的海風

所種植的防風林。結果顯示台北市在市中心區域容易出現通風不易的網格，市中心周圍的低度開發區域有助於市中心熱島效應的緩解。

本研究透過地表上之障礙物進行粗糙長度之計算，在風廊製作上同時考量建築植栽及空地，相較過去使用建築迎風立面係數(FAI)使用建築物立面面積做為標準，透過 FAI 係數，呈現在優勢風向中，特定範圍內之風阻大小，由判斷未來在各區域內風流經之潛力，本方法藉由都市中不同地上物的分佈考慮到都市中植栽的分佈與高度因子，由下圖 3-5 與 3-6 可以看出使用粗糙長度製作的通風路徑在遇到高植栽密度的公園綠地會有方向的改變，本結果能夠有效的獲得一個區域內的潛在風廊分布，是一種簡易且能夠了解都市紋理及通風情形的方法。

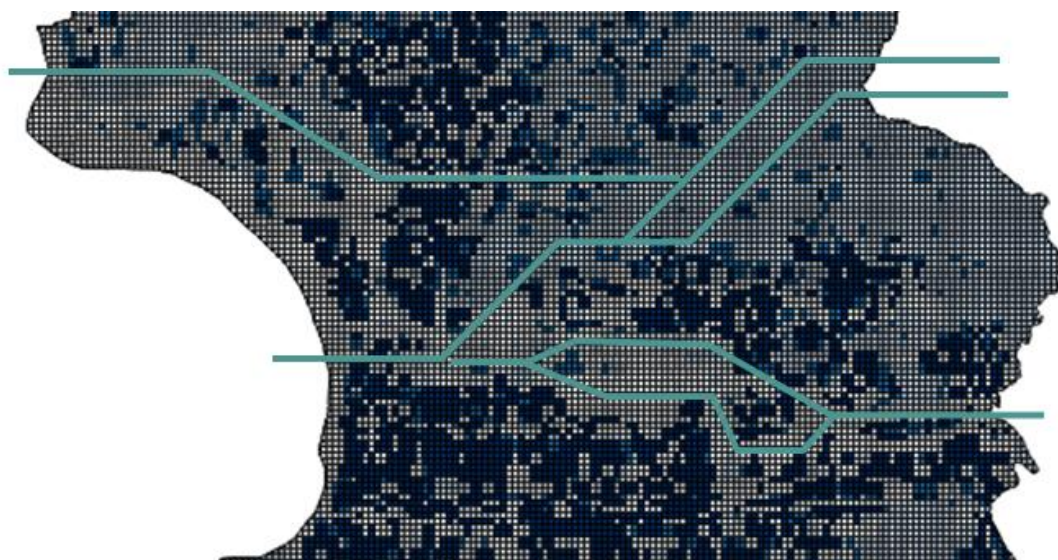


圖 3-5 台北市夏季潛在風廊分佈

(資料來源：本研究製作)



圖 3-6 台北市冬季潛在風廊分佈

(資料來源：本研究製作)

四、 低風速敏感區分布圖

在土地覆蓋的差異及不同地況下將會產生風速的變化(圖 3-7)，本研究案照蒲福風級之定義，將臺北市之風速進行分類為三種類，分別為 $0\text{m/s}\sim1.6\text{m/s}$ 為低風速敏感區， $1.6\text{m/s}\sim3.4\text{m/s}$ 為一般通風區， 3.4m/s 以上為良好通風區。圖 3-8 為示範點 a 即為台灣大學之風速分部情況，可發現因校園內植栽種植密度高且建築分散較不容易產生低風速之情況，但密集住宅區因為區域內樓地板面積高且無空地等粗糙度較低之土地使用，容易使得風速在此區域降低而成為低風速風險區；而於示範區 b 則是河川以及其兩測之住宅區，明顯可以發現河川流經之區域因無量體可以阻擋風的流動，在風速

呈現上較兩側較多阻擋物的區域來的風速較高，同時此圖亦可應用於不同時段如夏季以及全年低風速風險區之劃定，可透過不同季節都市中的氣候需求進行後續都市規劃設計時的參考與管制基準(圖 3-9)。

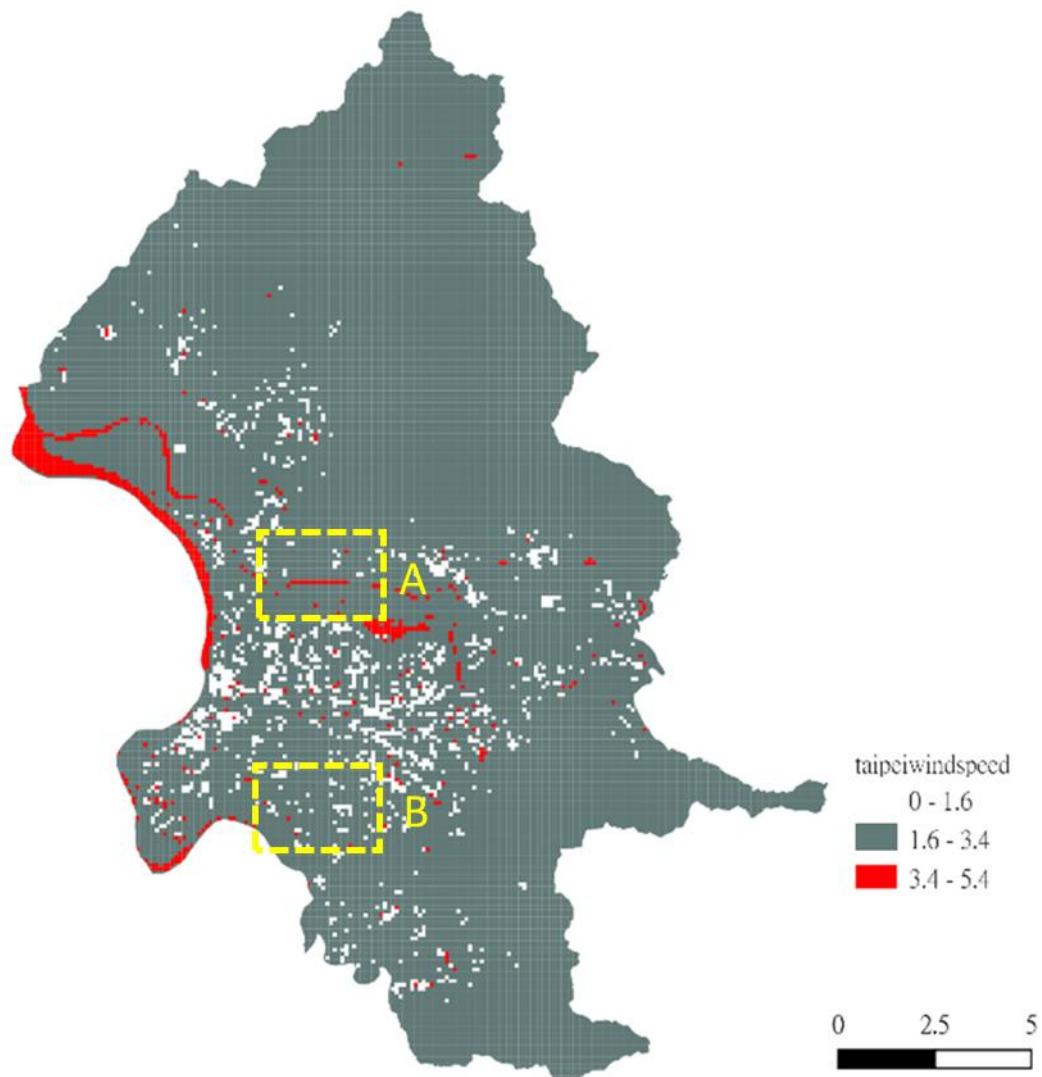
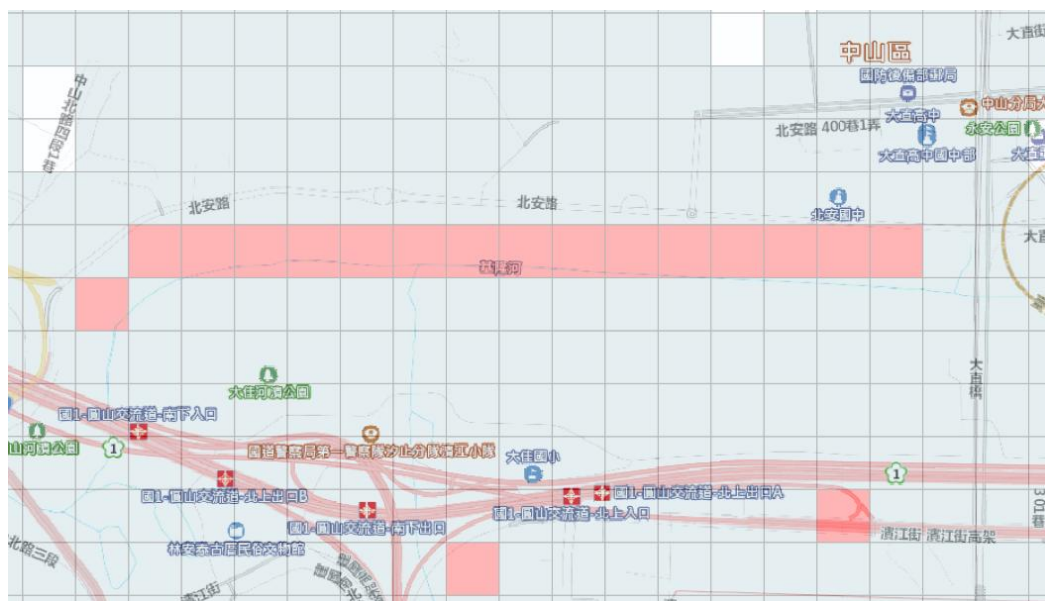


圖 3-7 台北市全年低風速敏感區

(資料來源：本研究製作)



(a)



(b)

圖 3-8 台北市局部全年低風速敏感區(a)基隆河(b)台灣大學

(資料來源：本研究製作)

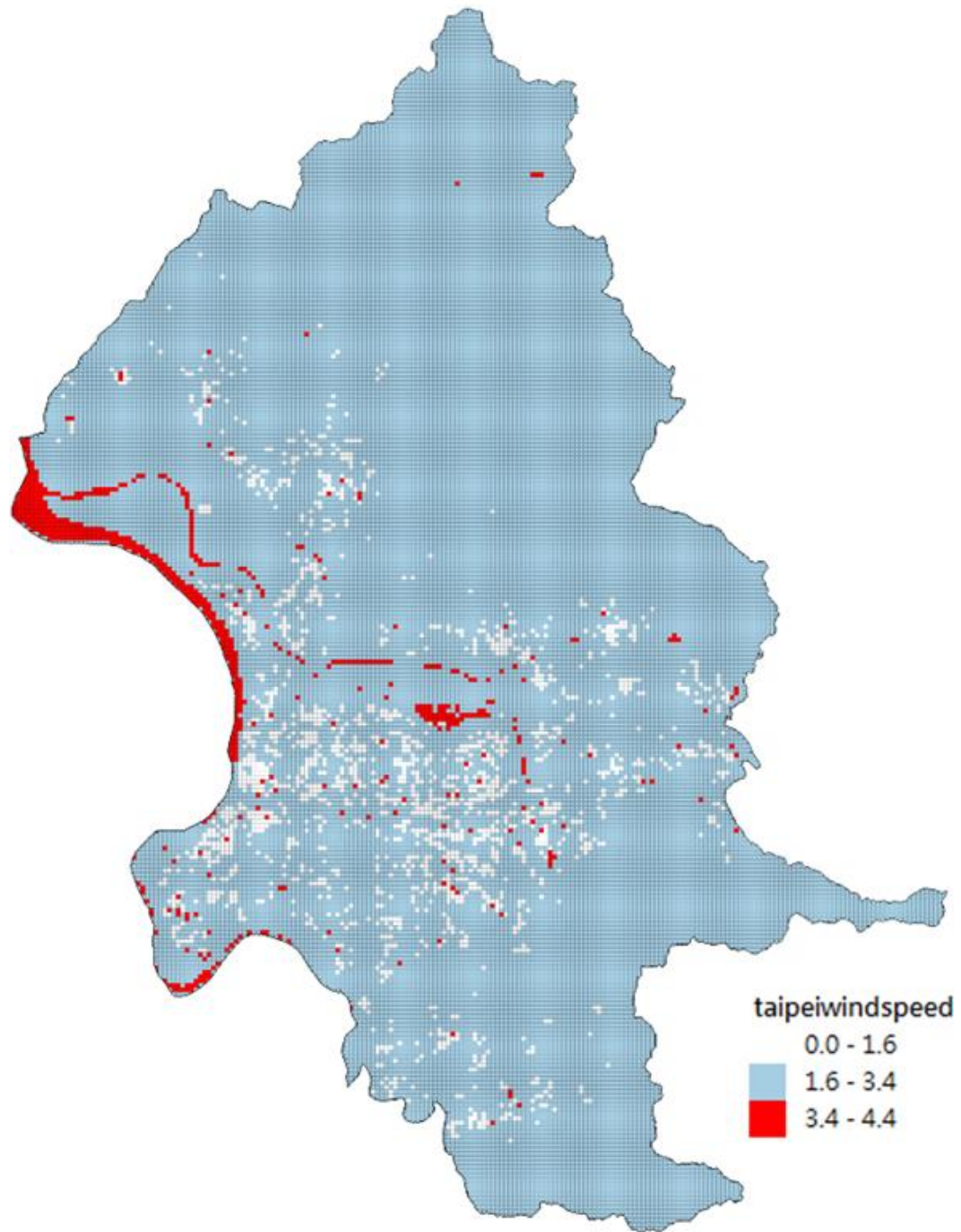


圖 3-9 台北市夏季低風速敏感區

(資料來源：本研究製作)

五、空氣溫度分布圖

本研究之空氣溫度資訊主要取自中央氣象站之測站資料以及移動與定點實測之資料，台北市中設有 14 個測站分布。同時取位於台北市邊界周邊的站點以及時測數據進行內插值取得覆蓋台北市之溫度資訊。研究使用之空氣溫度之資訊為夏季 8 月之日間平均值，並可見高溫趨勢與建成環境分布密度有著密切相關性，高溫區域集中在台北市中部及西部地區，南北邊之山區則呈現較低溫之趨勢。由移動實測之路線溫度分布亦顯示出，建成環境較密集的地區呈現較高溫的狀態，僅在臨河及臨山周邊有較低溫情形，亦說明台北在此時段內呈現高熱壓力之狀況(圖 3-10)。

本研究使用實測之溫度資料產製的研究區域台北市之空氣分布圖顯示，台北市的中心區域通常被認為是一個擁有高熱壓力和熱島強度之強度高的城市，在夏天的 8 月台北市的白天 10：00-16：00 空氣溫度狀況，總體環境之溫度在 28°C 至 34°C 的溫度下，空氣溫度差異可以達到 6°C。具有較高熱壓力的區域位於具有較低綠覆率值但具有較高的建築面積，如火車站周遭以及信義區商圈等，從本結果之分布可進而考量到台北市強烈的人為排熱和通風不良狀況，應在未來制定都市設計規劃法規時能利用土地使用管制以及必須進行熱環境分析之方法來消除這些地區的熱量蓄熱，以免進而造成更嚴重的

都市氣候問題。

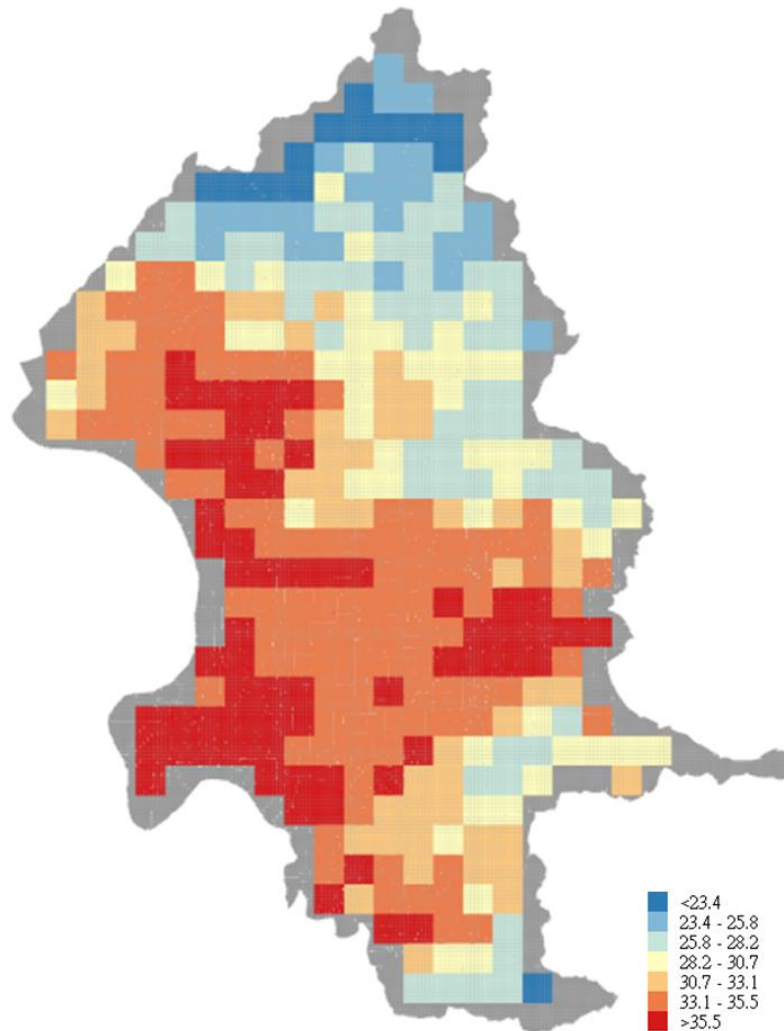


圖 3-10 台北市夏季空氣溫度分佈圖

(資料來源：Chen et al., 2019)

六、生理等效溫度分布圖

因生理等效溫度溫度可以綜合探討多種氣候因子，並對人體之熱舒適進行評價，故本研究亦使用體感溫度進行研究區域台北市熱環境的分佈，台北

市體感溫度分佈在都市建成區因為密集的都市開發以及人口分佈造成大量的人造熱，進而使得市中心區域在夏季可達到 39.4°C 的及高熱壓力狀況，而在北部陽明山等低密度開發以及森林區域，則可維持 28°C 的較低溫狀況，說明都市開發的差異性對熱環境的影響明顯(圖 3-11)。

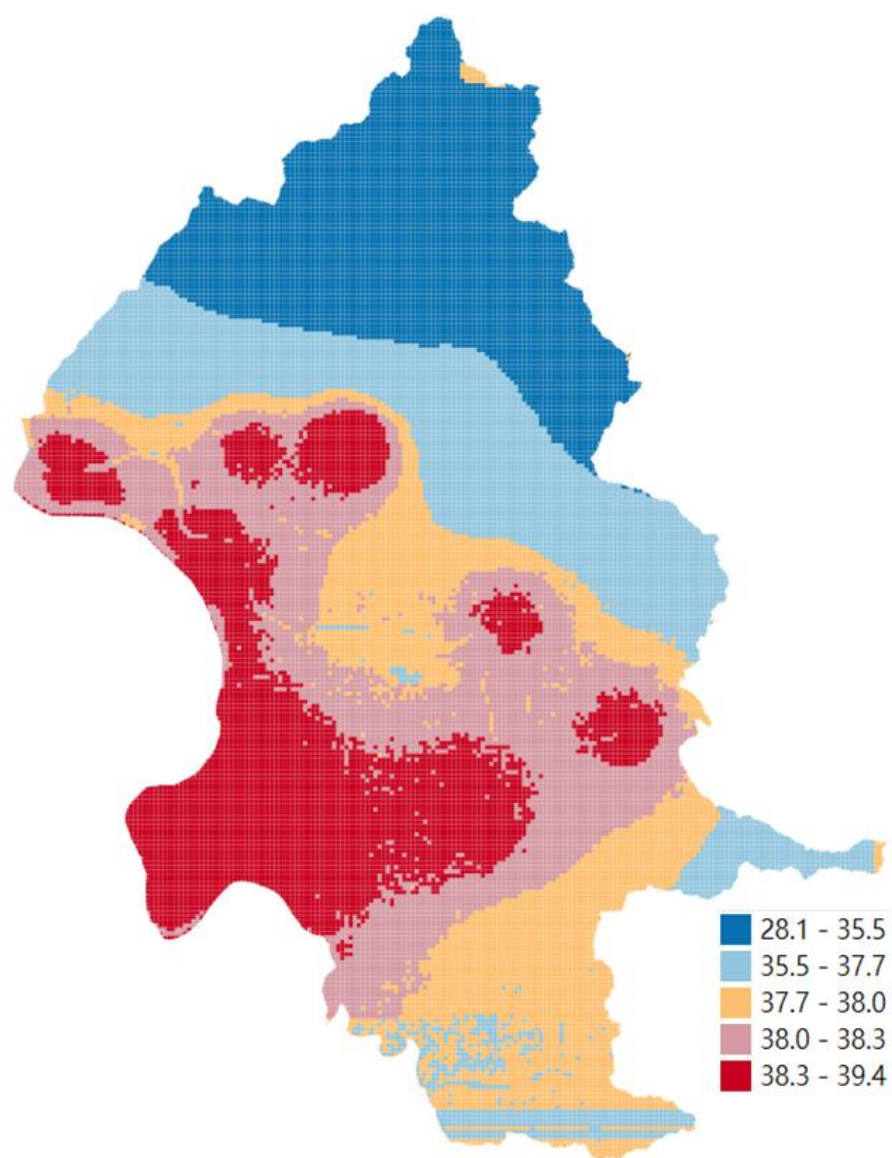


圖 3-11 台北市夏季生理等效溫度分布圖

(資料來源：本研究製作)

七、 高溫敏感區分布圖

本研究為配合後續擬定都市規劃設計相關法規之應用，使用敏感區之概念畫設溫度高於體感溫度 38°C 之區域，圖 3-12 紅色區域代表在夏季其平均體感溫度將繪高於 38°C ，亦及代表超過台灣民眾之熱不舒適門檻，須要於都市規劃設計時提出相關對應策略藉此降低熱壓力對居民的衝擊。

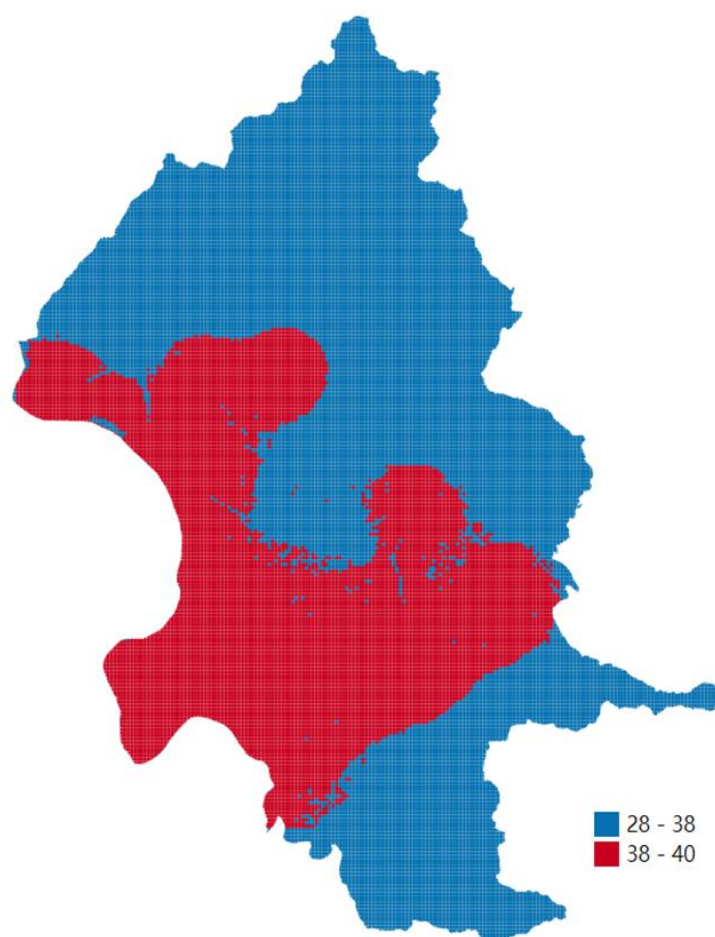


圖 3-12 台北市夏季高溫敏感區分布圖

(資料來源：本研究製作)

八、 能源消耗強度分布圖

為了解都市中風速對於能源消耗之關聯，本研究利用能源耗用強度與建築數值圖與土地使用分區圖，計算台北市全年能源消耗值，利用不同建築使用期所對應之能源使用強度，進行各棟建築總樓地板面積之計算，並套用本研究建立之網格化模式，量化各網格中之能源消耗量，藉此即可了解台北市之能源消耗熱點以及分布(圖 3-13)。

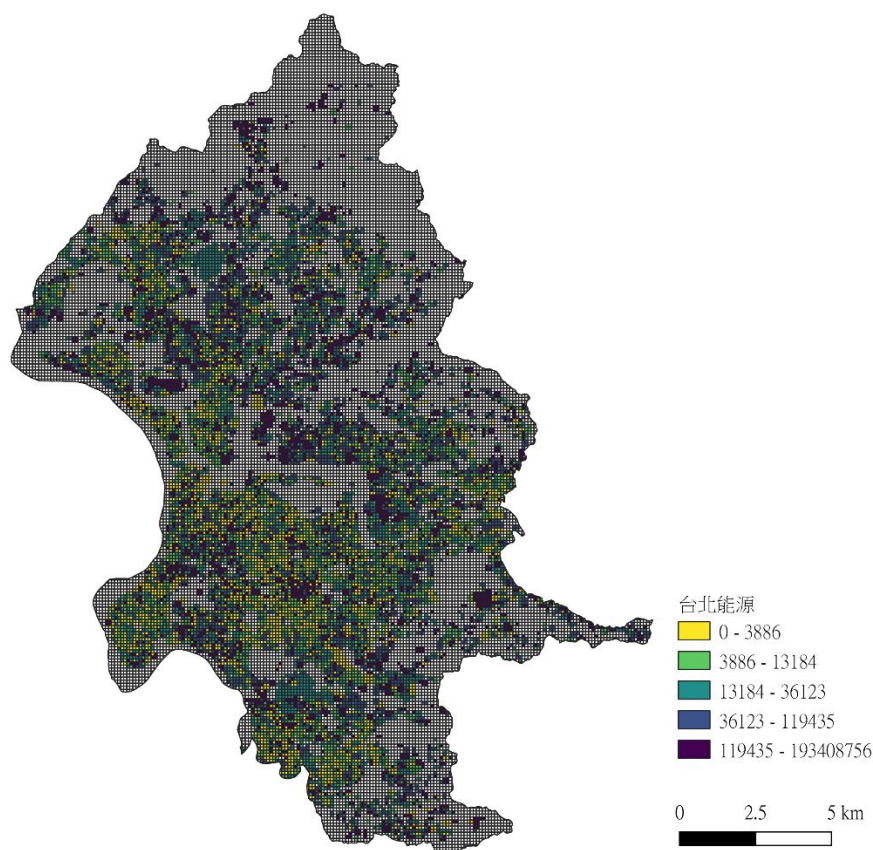


圖 3-13 台北市全年能源消耗強度分布圖

(資料來源：本研究製作)

根據本研究按照 2-3-8 節方法所製作之能源消耗強度分布圖顯示，台北市區中較高密度發展之地區如火車站前以及建築物密度較高且樓高較高之地區如信義區等地能源耗用將有較高之能耗表現，並可來到 145103 度每年，而住宅區等建築密度較低且開發強度較低之區域則可維持較低之用電強度，約為 4404 度以內每年(圖 3-14)。

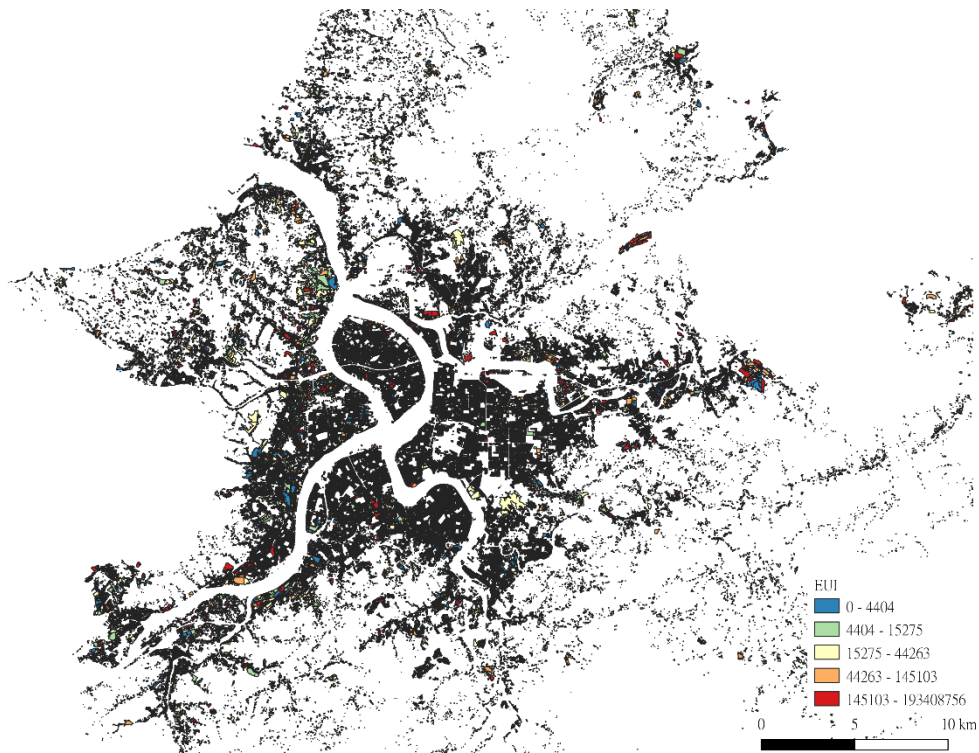


圖 3-14 台北市全年能源消耗強度區域尺度分布圖

(資料來源：本研究製作)

本研究結果可以以街廓的形式亦可以單棟建築之形式探討都市用電強度，可有助於都市能源解析以及能耗熱點之指認，並將可以提升都市永續發展的應用價值。同時亦可將風速預估之結果與之進行迴歸分析，了解風速分布與能耗消耗之對應關係，藉此提高風環境管制應用於都市規劃設計時對於都市永續以及節能的策略擬定(圖 3-15)。



圖 3-15 台北市全年能源消耗強度建築尺度分布圖

(資料來源：本研究製作)

第二節 戶外通風效益分析

一、空氣溫度與風速之關聯

本研究利用台北市各網格內夏季平均之空氣溫度與夏季之平均風速進行回歸分析，其結果說明風速越高將使空氣溫度降溫，但效果不較體感溫度佳，其原因為空氣溫度主要受到太陽短波以及地面長波輻射加熱所影響，風速對於溫度影響力有限，故將會出現在同樣溫度值的網格內其風速差異甚大之狀況，整體風速每提高 0.1m/s 空氣溫度即可下降約 0.9°C，故提高風速對都市之熱環境可有降低之效果。

分析此原因則可能因密集建成之高溫區與低密度住宅區之高溫區其地表粗糙度可能不盡相同，但其溫度可能受到其鋪面材質與能耗量所影響，而產生同溫度但風速有所不同之現象，於本分析此兩因子之相關係數為 0.30，且明顯於低溫處有較高風速之趨勢(圖 3-16)。

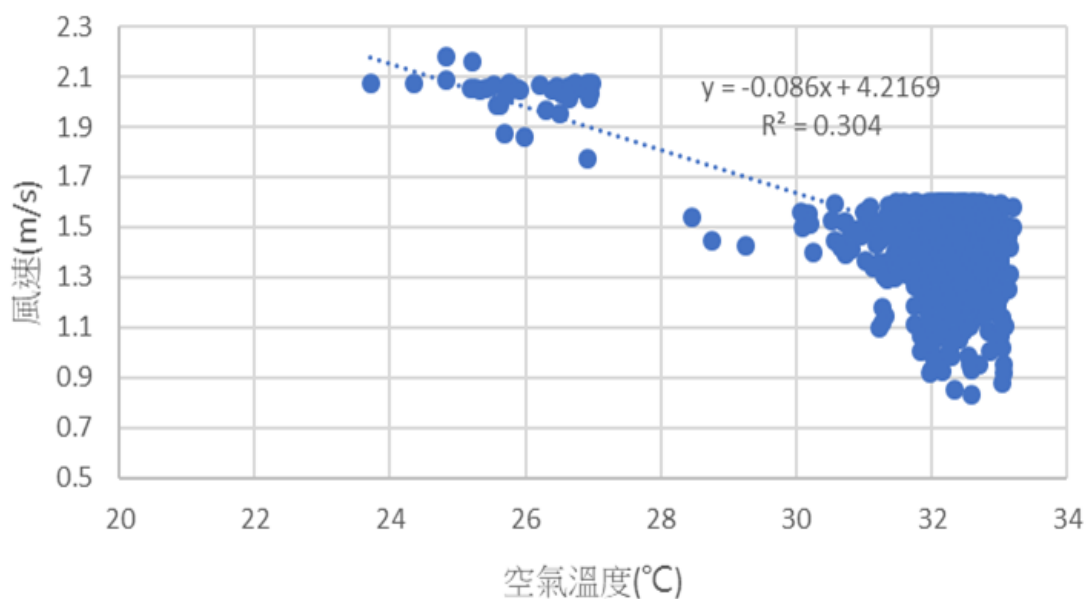


圖 3-16 空氣溫度與風速之關聯圖

(資料來源：本研究製作)

二、生理等效溫度與風速之關聯

本研究亦將台北市各網格之全年風速資料與全年生理等效溫度進行關聯分析，其結果說明相較空氣溫度，風速之強弱變化對於生理等效溫度有更明顯的影響其關聯性達到 0.72，並且有較明顯的線性關聯關係，亦及風速每提高 0.1m/s 生理等效溫度可降低 0.6°C (圖 3-17)。

分析其原因，主要將會因衛生理等效溫度綜合探討了空氣溫度、濕度、風速以及輻射等因子對於人體熱感知的評價，因此風速的提高在生理等效溫度的計算上，即會造成下降之結果。

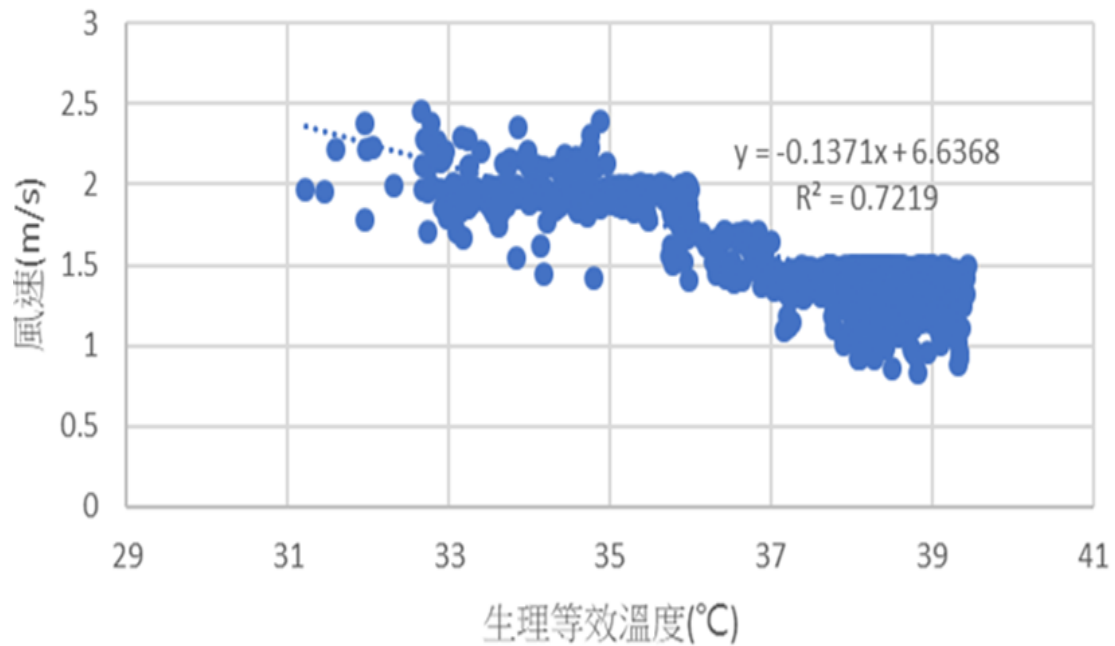


圖 3-17 生理等效溫度與風速之關聯圖

(資料來源：本研究製作)

三、 能源消耗與風速之關聯

本研究將台北市各網格之全年風速資料與全年能耗耗用強度進行關聯分析，其結果說明能源耗用與風速之間並無明顯的線性關聯關係，於風速 1~4m/s 之區間，大部分地區之能源耗用值皆在一定區間內(圖 3-18)。

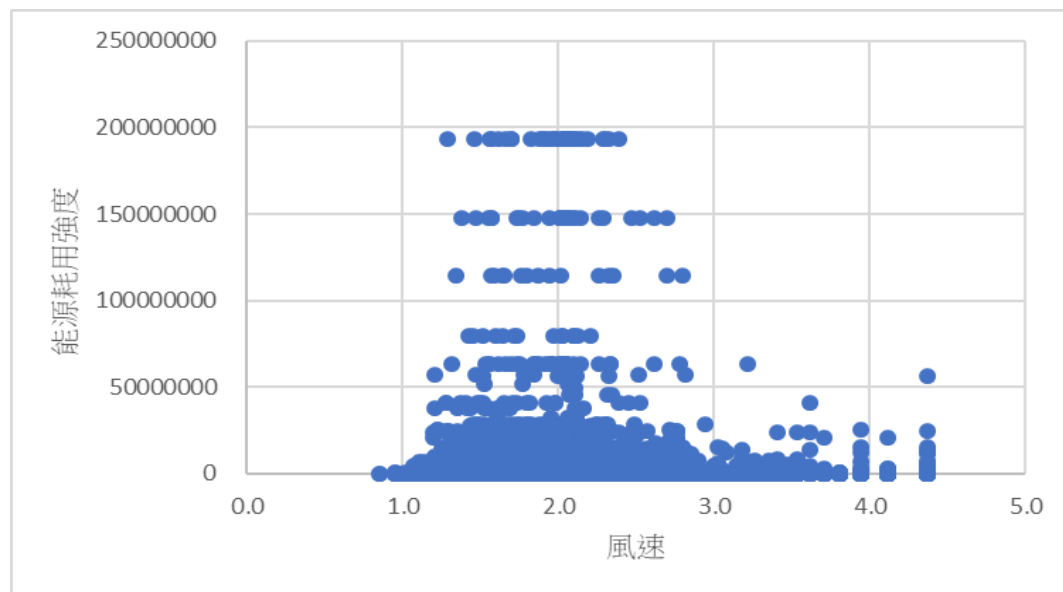


圖 3-18 能源消耗與風速之關聯圖

(資料來源：本研究製作)

但本研究結果亦發現，在風速較低的區間，其出現高能源使用之可能性將會提高，而風速較高之區間則不會出現過高的能源耗用強度，說明風速對能源耗用之影響並沒有直接關聯，但低風速卻會導致部分區域能源耗用的增加(圖 3-19)，本結果亦說明再有較密集高層建築之區域其風速會因為粗糙度提高關係而減弱，同時其較多的樓地板面積亦會產生較高的能源消耗來滿足建築物的使用需求。

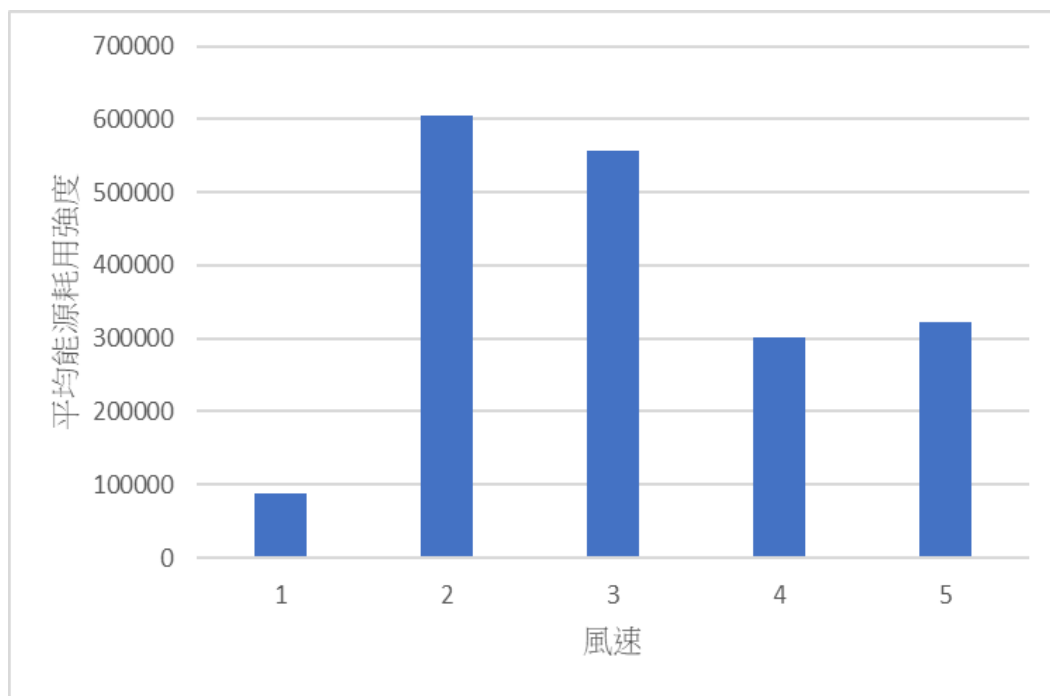


圖 3-19 平均能源消耗與風速區間之關聯圖

(資料來源：本研究製作)

第三節 戶外通風推動策略研議

一、都市法令策略研擬及政府相關部門盤點

本研究將逐項盤點台灣中央及地方政府之都市規劃設計法規以及歸納其權屬之單位，並列出可能推動的部門及機制，在確立都市風環境標準之評估方法，包含使用時機、風險評估以及建議改善策略等後，向相關部門之直屬業務著手進行，例如都市計劃之於各縣市都市計畫科，建築法規之於內政部

營建署等，進行此步驟之原因為在了解風環境對都市與建築因子影響之程度以及改善後可提供的效益後，得已向中央以及地方之進行後續條例以及法規制定之推廣與執行，以達到可提供符合不同情境的通風改善策略以及規劃設計做為使用(圖 3-20)。

本研究在完成研究示範區域中之都市風環境評估後，將會透過與熱環境以及能耗等相關參數的整合進行通風環境敏感區之劃設，其主要原因為連節都市規劃設計以及建築師等相關從業人員在不具被氣候專業背景下，可以更清楚且快速的透過地圖的方式了解都市中風環境現況以及其所可能影響的環境因子以及影響，例如，工業區可能會因為大型的建築廠房量體，導致該區域通風能力差，而大量的設備排熱以及燃燒所導致的廢氣排放都會提高該區域的敏感度風險等級，故如何有效將都市中不同區域之通風敏感層及進行化分，顯得格外重要且必須。

同時本方法更可以在劃定後，針對不同敏感區提出相對應的的中央及地方法令管制之策略，如水域邊之建築物必須進行高低錯落配置以增進通風，而主要通風廊道兩側之建築必須留設側院及後院等規定，以將理論回應至現實操作面，解決氣候變遷所帶來的議題與衝擊，並因應氣候變遷，確保國土發展之應變能力，降低氣候變遷的衝擊進而使國家永續發展(圖 3-21)。



圖 3-20 都市通風納入法令之層級及管制方法

(資料來源：本研究製作)

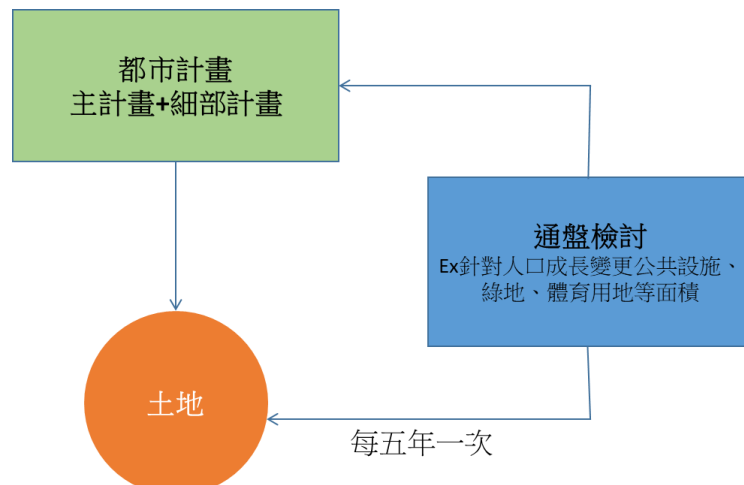


圖 3-21 都市計劃與通盤檢討流程

（資料來源：本研究製作）

提高都市通風是調適都市高溫化的極佳策略，故應將都市內的通風環境進行檢討，於本研究之都市風環境聯結非常重要，其重要性在於蒐集臺灣目前與通風策略有關之法令，可協助本研究於後續提出與擬定更具有明確之目標與方向，以便達成地方國土計畫內容應載明氣候變遷調適計畫之規定以及開發之管制(圖 3-22)。

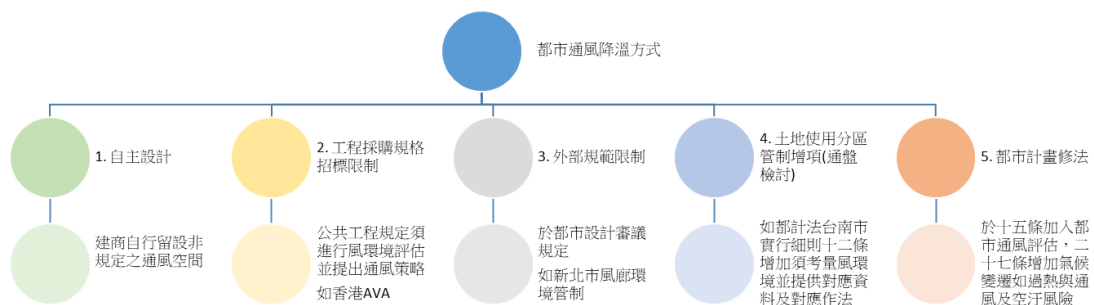


圖 3-22 促進都市通風降溫方式

（資料來源：本研究製作）

二、都市通風降溫規範

本研究探討風環境與空氣溫度及人體熱舒適與能源消耗之關聯性，分析不同指標在不同值域區間其受風速的影響以及關聯，藉以了解到風環境與空氣溫度及人體熱舒適與能源消耗在都市中的特性。良好的戶外通風在能源以及熱舒適都能有所助益除可降低空調使用降低能源消耗，亦可達到降溫的效果，因此效益分析為十分重要量化此效果的方法。

本研究提出以通風率搭配建築棟距管制之方法，藉由整合建築於基地內之配置銜接都市通風降溫法令，並有助於居民的健康舒適及城市節能減碳。通風率之方法除能有效協助政府都市計劃相關人員參考且可快速並透過簡單的計算方式取得，亦可透過實際的改善策略與法令制度修訂方向，達成都市降溫、節能減碳的長期目標(圖 3-23)，研究結果藉由以下通風率之計算方式說明此項目之說明，如公式 15。

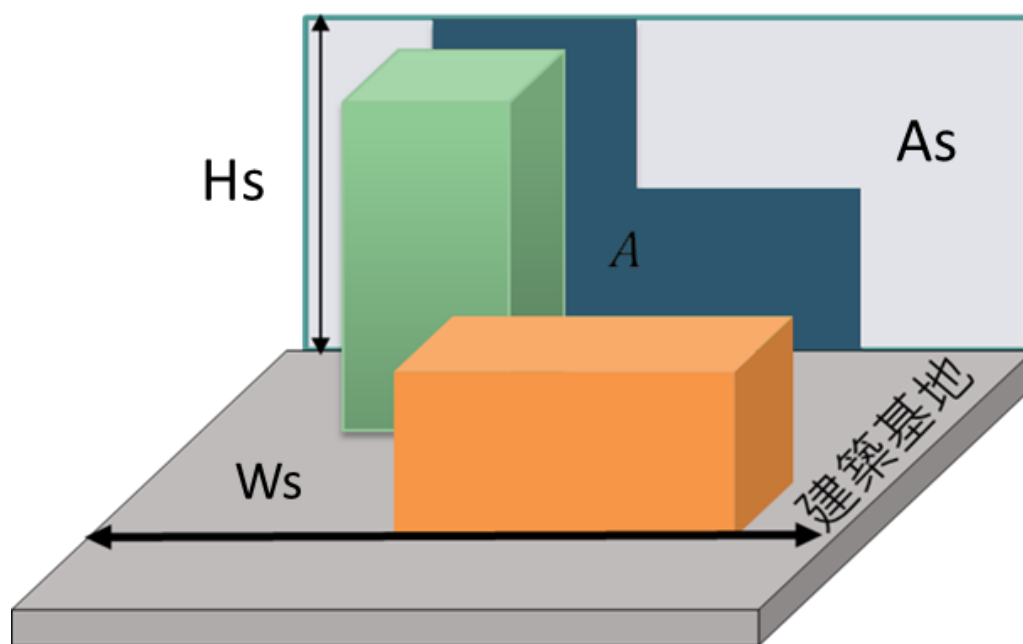
$$\text{基地通風率}(SVR) = 1 - \text{建築風阻率} = 1 - A / A_s \quad \text{-----(公式 15)}$$

A：基地內建築物量體(含陽臺、雨遮、造型版等)垂直投影到「潛在通風區域」之虛擬面積，單位為平方公尺。

A_s：基地內基準風阻面積。A_s=(H_s × W_s)

H_s：基地內合理建築高度。H_s=(1.5×基準容積率 / 法定建蔽率) ×3.5。

W_s：基地通風寬度。基地面對「潛在通風區域」之垂直向最大投影寬度。



面對潛在通風區域

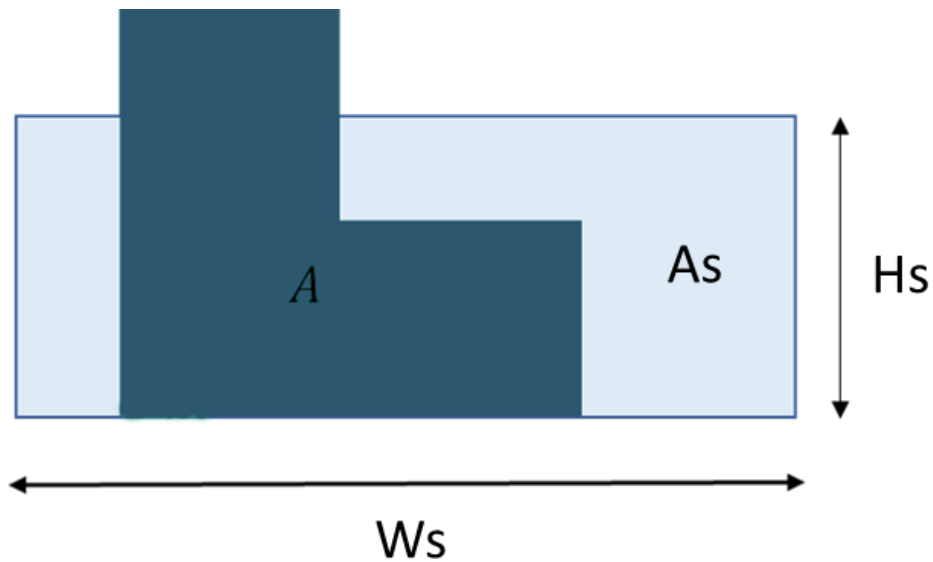


圖 3-23 基地通風率之管制規範擬定

(資料來源：本研究製作)

而本研究計畫在棟距之管制與規範則利用基地內建築物鄰棟間與基地境界線如下圖 3-24：D1 基地內建築物棟距、D2 基地內建築物與永久性空地之最短距離、D3 基地內建築物與基地外既有建築之最短距離以及 D4 基地內建築物與基地境界線最短距離，而最優先管制之建議如下：D1 $\geq$ 6m（確保基地內棟距控制）、D2 $\geq$ 6m（對永久性空地退縮）、D3 $\geq$ 6m（確保與基地外既有建築棟距），以及次要管制建議 D4 $\geq$ 6m（確保與基地境界線距離），而本研究利用台北市不同季節之長年盛行風進行評估，後續操作時將視基地地理特徵及需求進行不同風向之評估。

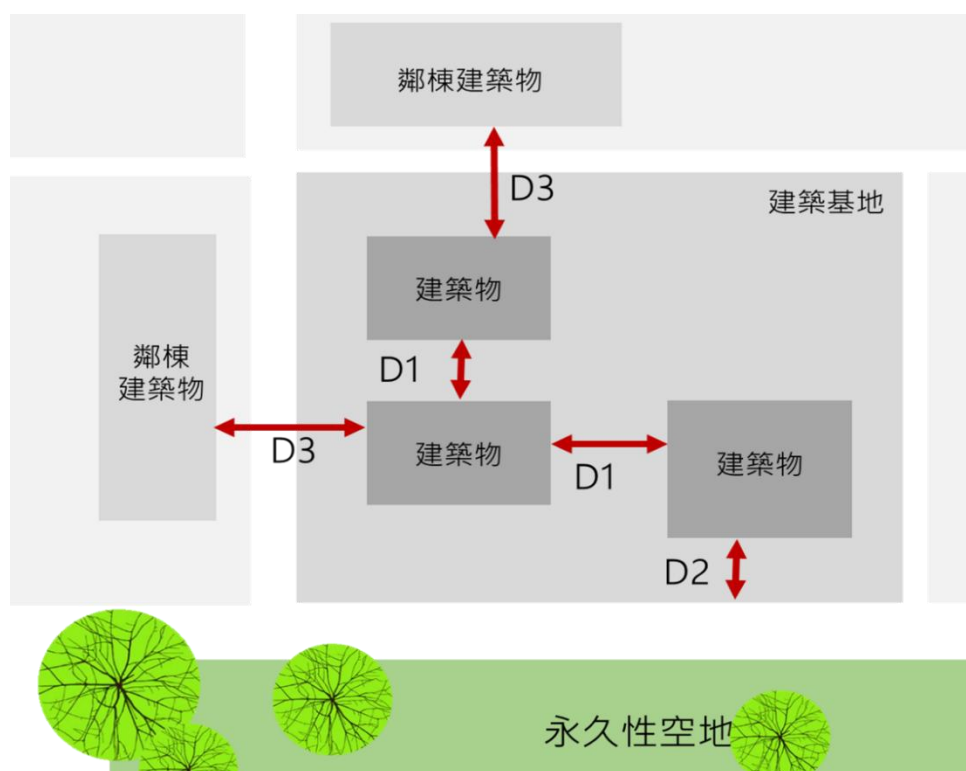


圖 3-24 建築棟距之管制規範擬定

（資料來源：本研究製作）

三、都市風熱環境情境模擬分析

本研究使用 ENVI-met 模擬軟體來驗證建成區域之排列型態對於都市熱環境之影響，藉由相關性分析歸納出的趨勢進行排列設定。建立四種面積相同、型態不同之組合模式，測試在同樣面積下，不同排列型態是否對風熱環境之差異(圖 3-25)。Type1 為整體較中高度聚合、與外部高接觸形狀、Type2 為兩高度聚集之社群、Type3 為較零碎且分開的模式、Type4 為整體聚合模式。測試主要以密集建成區為主體，建立包含低層樓(6m)、中層樓(15m)、高層樓(60m)之單元形式。情境設定參數包含空氣溫度、風速、風向、鋪面等，依據中央氣象站之氣候資料，取夏季日間平均值，空氣溫度設定為 30.38℃、風速 2.67m/s、風向 184 度，鋪面為 Street。

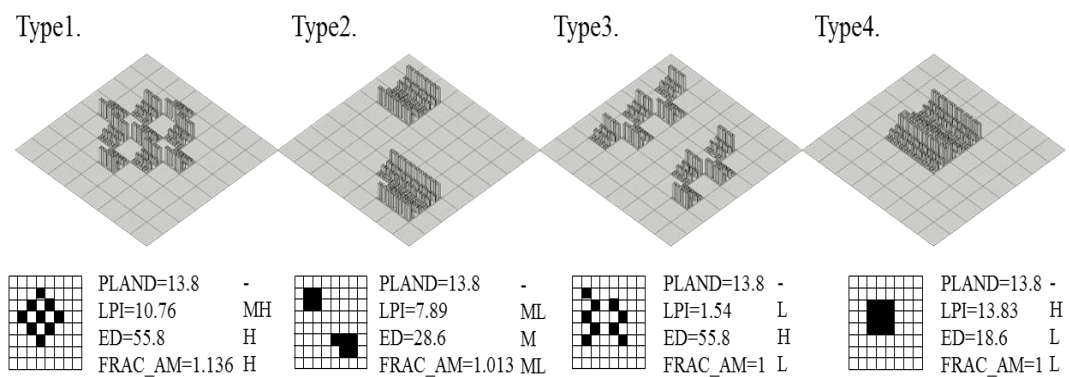


圖 3-25 都市配置氣候模擬型態

(資料來源：羅子雯，2018)

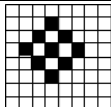
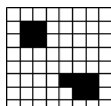
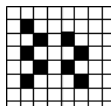
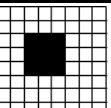
模擬結果依擷取與氣象站下載資訊一致之早上 10:00、中午 12:00 及下午 14:00 做圖像化示意(表 3-1)。風速模擬結果則 14:00 為風速最小之時段，接續為 12:00 次之，風速最高的時段為早上 10:00，而其中風速最大的為 Type1 及 Type3，在早上 10:00 時風速可達到 2.4m/s，說明較通透的建築配置將有助於通風效果。

而溫度模擬之結果以 14:00 為最熱時段，接續為 12:00，最後為早上 10:00。表 4-5 為平均之結果，以四種模式平均結果顯示達最熱效果模式為 Type1，TA 為 37.8°C；最涼為 Type4，TA 為 37.2°C，兩者相差 0.6°C。Type2 及 Type3 之差異微小，溫度介於 Type1 及 Type4 之間。

由情境模擬結果歸納得之，以密集建成區而言，越聚集並與周遭環境接觸性越低，較能減少密集建成區對都市造成之熱負荷，若是過於分散且面積又大，會造成蓄熱無法排放、阻擋通風等問題；綠帶結果則相反，綠帶需要連結性高但零散的分佈在各處，對於周邊環境高度接觸，方能對都市有較好的延續性通風降溫效益，若是過於聚集於一區則降溫效果僅限於綠帶密集之區域，無法向外擴散。

表 3-1 測試模擬之三時段平均空氣溫度、輻射溫度、風速表

(資料來源：羅子雯，2018)

	Time	10:00	12:00	14:00	10–12Avg.
	TA	35.22	38.40	39.63	37.75
	TMRT	74.10	67.48	79.0	73.53
	WS	2.4	2.0	1.7	2.0
	TA	34.91	37.94	39.24	37.36
	TMRT	73.77	67.04	78.92	73.24
	WS	2.3	2.1	1.9	2.1
	TA	34.93	37.94	39.27	37.38
	TMRT	73.78	66.95	78.87	73.2
	WS	2.4	1.8	1.7	1.9
	TA	34.74	37.76	39.04	37.18
	TMRT	73.72	66.96	78.69	73.12
	WS	2.3	2.0	1.8	2.0

基地通風率模擬

本研究計畫亦利用氣候模擬軟體 Flow Designer 進行建築尺度的風環境

情境模擬，利用不同的建築配置狀況如都市通風降溫規範中所擬之內容進行測試，應用通風遮蔽率 0%、10%、20%、30%以及 40%之案例進行相同地況及環境之模擬，並於基地範圍內設置 30 個量測點中 2 公尺高的風速值之平均，並透過扣除期中 5%的極值進行風速的平均計算(圖 3-26)。

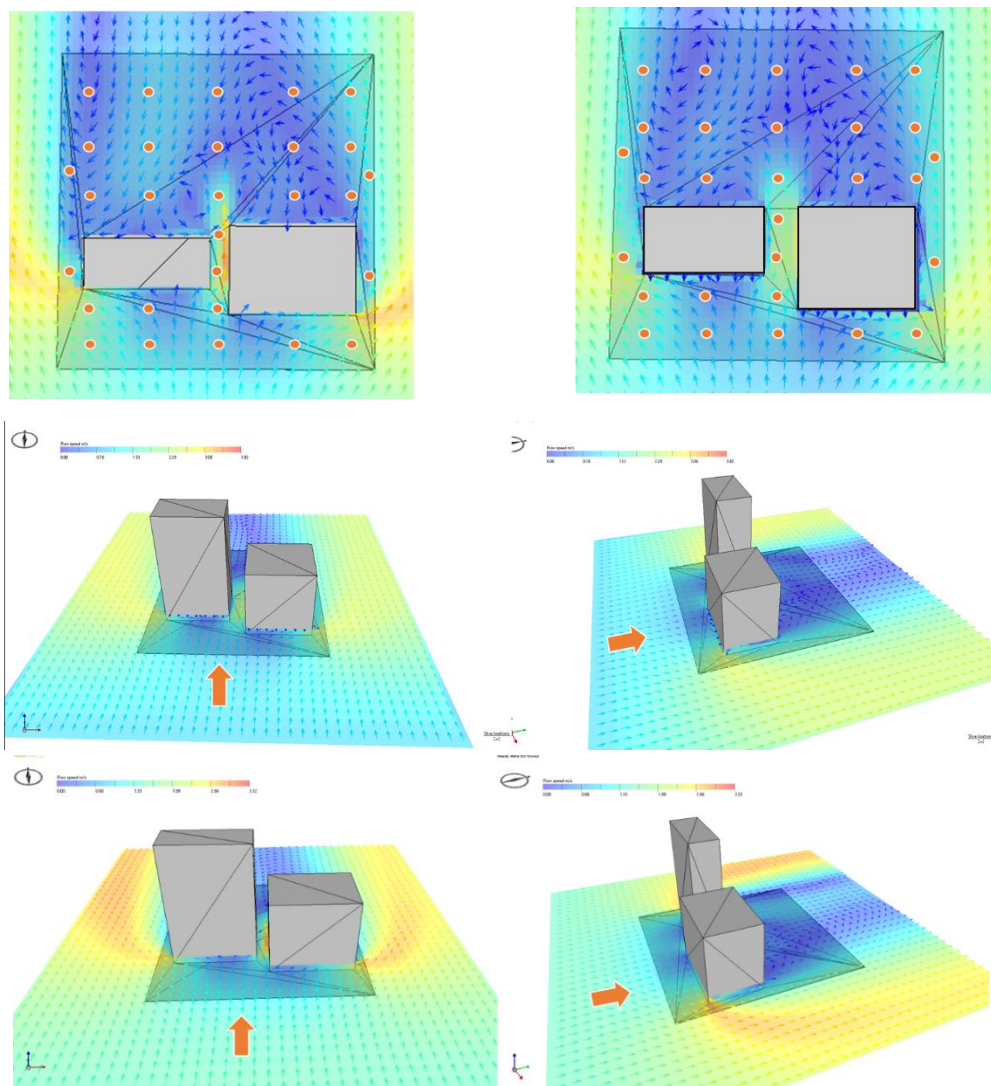


圖 3-26 不同基地通風率配置氣候模擬型態

(資料來源：本研究製作)

結果顯示(圖 3-27~31)，當通風遮蔽率數值於 0%時，基地內平均風速維 0.51 m/s，10%狀況時，基地內平均風速可達背景的風速 2m/s 的 35%達到 0.7m/s，而當通風率 20%狀況時，基地內平均風速則可達背景的風速的 51%，約為 1.03m/s，而當通風率 30%狀況時平均風速則為 1.63 m/s，當通風率 40%狀況時平均風速則為 1.17 m/s說明通風遮蔽率越高將可為基地帶來更優良的風環境效果，而通風遮蔽率數值越低時，則風速折減較明顯，基地內的平均風速將會較低，相對降低通風潛力，較高的通風率將會帶來更好的通風但最佳配置則為 30%(圖 3-32)。

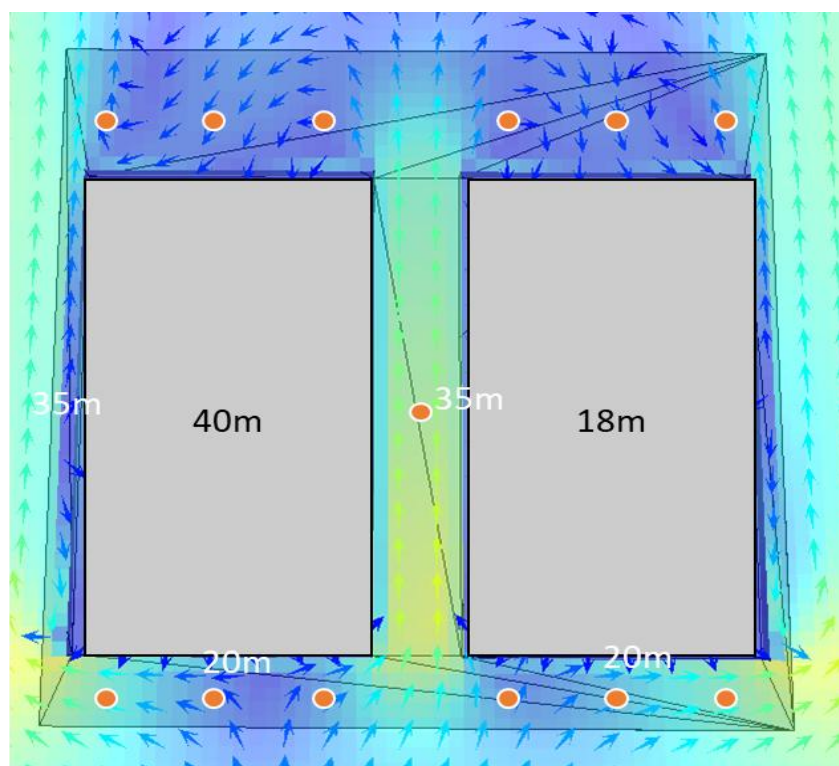


圖 3-27 基地通風率 0%配置(平均風速 0.51m/s)

(資料來源：本研究製作)

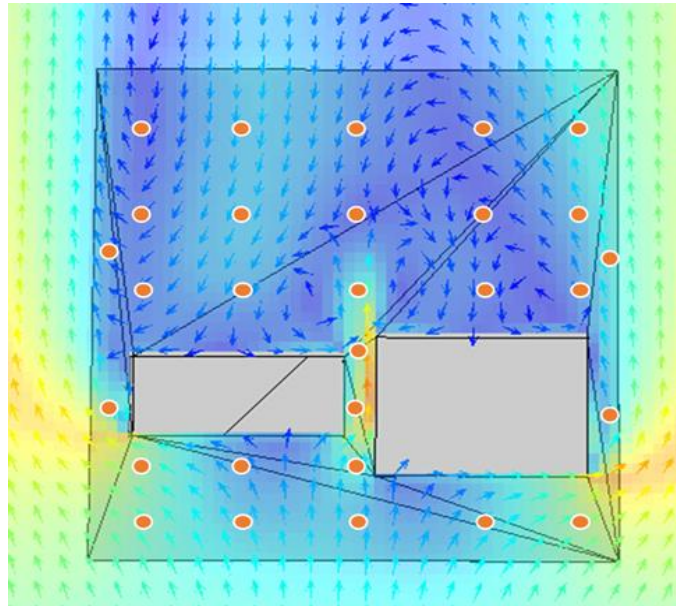


圖 3-28 基地通風率 10%配置(平均風速 0.7m/s)

(資料來源：本研究製作)

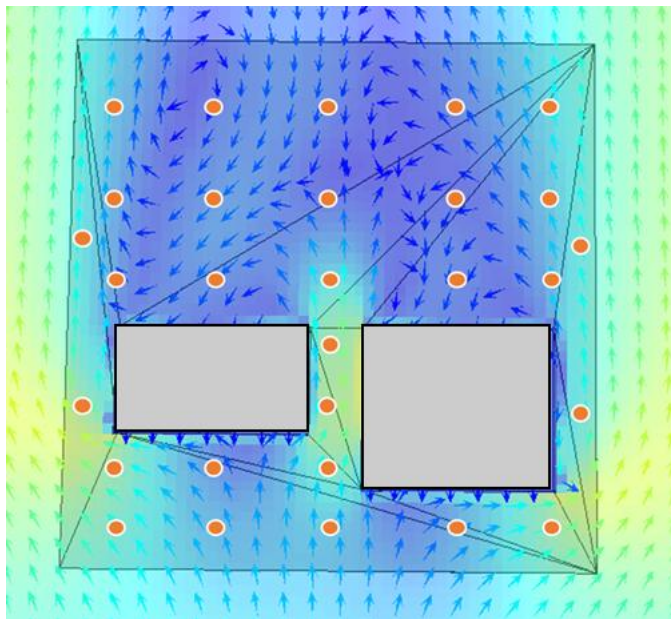


圖 3-29 基地通風率 20%配置(平均風速 1.03m/s)

(資料來源：本研究製作)

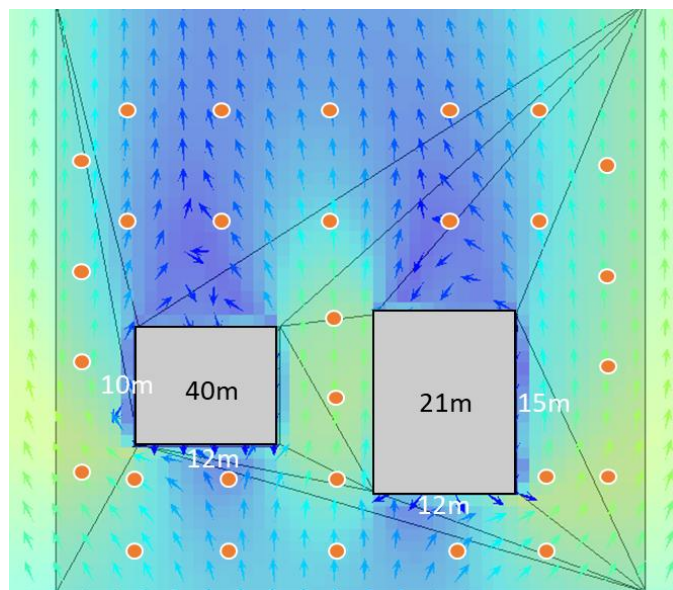


圖 3-30 基地通風率 30%配置(平均風速 1.63m/s)

(資料來源：本研究製作)

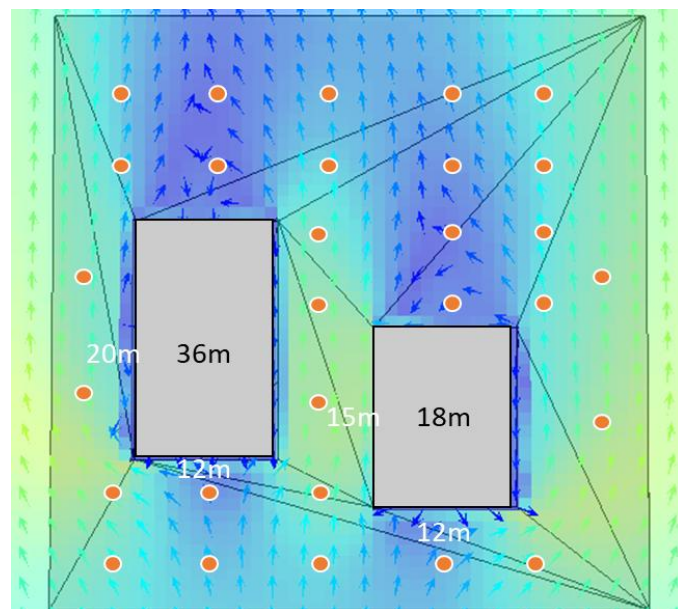


圖 3-31 基地通風率 40%配置(平均風速 1.17m/s)

(資料來源：本研究製作)

本研究亦參照政府相關局處之建議在未來就法令位階上建設可從都市計畫層級指定都市主要風廊，之後透過土地使用管制及建築法令逐步落實，法令應是獎勵性質而非限制，才能增加推廣度及減少抗性，因此透過容積獎勵之方法提高參與以及應用性，擬設基地通風率(SVR)大於百分之三十以上，給予基準容積百分之五。基地通風率(SVR)大於百分之二十，未達百分之三十，給予基準容積百分之四。基地通風率(SVR)大於百分之十五，未達百分之二十，給予基準容積百分之二。以上容積獎勵不得累計申請，並依委員會審議核定為主。

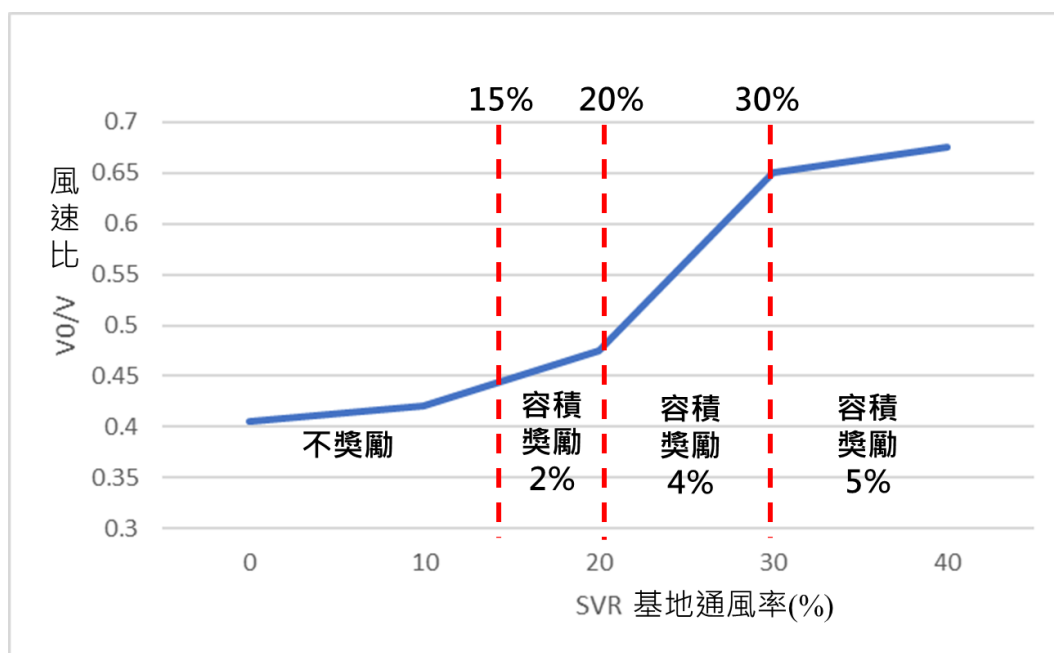


圖 3-32 基地通風率對初始風速折減之效果及建議之容積獎勵

(資料來源：本研究製作)

建築棟距管制

因本研究提出針對棟距管制之規範，以求更良好的基地通風環境，因此亦進行在與鄰棟建物棟距調整以及迎風面面積之情境模擬，分析結果則顯示(圖 3-33)，在建築平行風向擺放且棟距較小時，基地內之平均風速僅為 0.84m/s ，而在建築垂直風向擺放且棟距較大時，則基地內之平均風速可以提升至 1.14m/s ，可以有較佳的通風潛力(圖 3-34)，故保持適當棟距對基地內之通風將可有正向之效果。

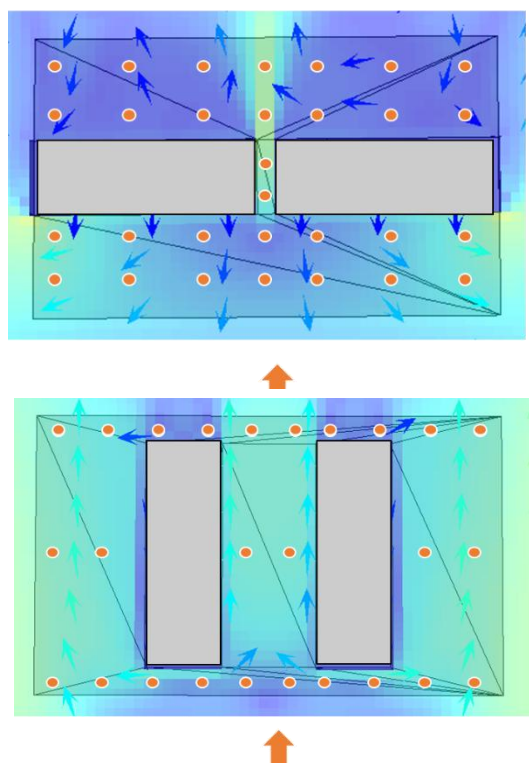


圖 3-33 不同建築棟距配置氣候模擬型態

(資料來源：本研究製作)

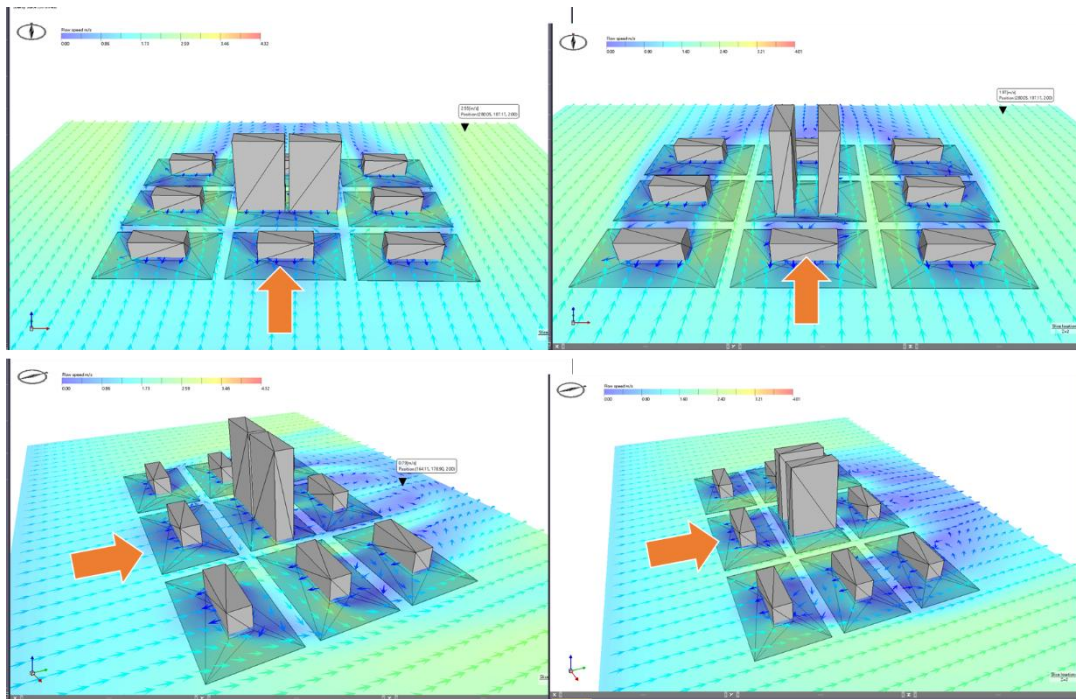


圖 3-34 建築棟距配置之基地內通風效果圖

(資料來源：本研究製作)

第四章 研究結論與建議

一、研究結論

本研究計畫之重要性在於利用示範地點台北市進行都市戶外通風政策推動研議與效益分析，透過多樣化的風環境評估進行都市中通風效果之量化分析，並藉由多種不同的方法如實測、衛星、數值地形模型等方式製作都市中風環境以及熱環境可視化知地圖圖層，其中包含風速預估、風廊預估、低風速敏感區之建立以及高溫敏感區之劃設，更將研究區域台北市進行網格劃的劃分，使不同都市發展因子包含空氣溫度、生理等效溫度、能源消耗得以透過回歸關聯分析之方式，了解不同的都市風環境狀況與多種的都市因子如多時段的風速與溫度關聯、不同氣候模式下風環境與高溫及與能源耗用關聯與預估模式，利用實際數值效益成果呈現方式將氣候之現實狀況可以被理解，並藉此降低都市微氣候的壓力與負荷，以藉此連結都市規劃者以及政府相關都市設計部門等，提供不具氣候專業背景之都市規劃人員一個可快速且輕易瞭解之都市風環境氣候平台。

研究結果顯示，台北市在風速分佈上在市中心區域因為高樓建成區座落且密集度高，其所圍塑的空間將會產生與低矮樓房比起較高的粗粒度，故其風速將會因折減而顯得較低，但在都市中的河川以及空地以及山區則會有較

高的風速值，主要原因即為河川可以提供沒有阻擋物的通風空間，使得風可以維持原速行進，至於空地及山區則因為其粗糙度較低的原因，使得風速被折減的比率減少，而呈現較高的風速數值。

而在風廊部份則透過不同季節風向繪製出潛力之風廊地圖，有助於後續都市規劃設計過程時配合鄰里空間等街區之微氣候狀況做為參考，並探討不同的建物配置對風環境的影響進而改善未來都市規劃設計。

而在熱環境部份，本研究透過空氣溫度以及生理等效溫度之指標進行台北市熱環境之呈現，研究結果發現，在台北市夏天 8 月的白天 10:00-16:00 空氣溫度狀況，總體環境之溫度在 28°C 至 34°C 的溫度下，空氣溫度差異可以達到 6°C。具有較高熱壓力的區域位於具有較低綠覆率值但具有較高的建築面積，如火車站周遭以及信義區商圈等，而生理等效溫度方面，台北市體感溫度分佈在都市建成區因為密集的都市開發以及人口分佈造成大量的人造熱，進而使得市中心區域在夏季可達到 39.4°C 的高熱壓力狀況，而在北部陽明山等低密度開發以及森林區域，則可維持 28°C 的較低溫狀況，說明都市開發的差異性對熱環境的影響明顯。

同時亦發現通風對於空氣溫度以及生理等效溫度階有負相關，意即風速越高將會造成溫度有下降之趨勢，後續可應用於提高都市通風效果藉以降低都市熱島等氣候及公衛議題。

而在能源部分則發現台北市區中較高密度發展之地區如火車站前以及建築物密度較高且樓高較高之地區如信義區等地能源耗用將有較高之能耗表現，而住宅區等建築密度較低且開發強度較低之區域則可維持較低之用電強度，並且在與風速關聯上發現，在風速較低的區間，其出現高能源使用之可能性將會提高，而風速較高之區間則不會出現過高的能源耗用強度，低風速會導致部分區域能源耗用的增加，亦說明再有較密集高層建築之區域其風速會因為粗糙度提高關係而減弱。

於法令部份，本研究亦整理盤點可提供相關策略之政府相關部門進行說明，以在後續確立都市風環境標準之評估方法，包含使用時機、風險評估以及建議改善策略等後，向相關部門之直屬業務著手進行，例如都市計劃之於各縣市都市計畫科，建築法規之於內政部營建署等，進行此步驟之原因為在了解風環境對都市與建築因子影響之程度以及改善後可提供的效益後，得以向中央以及地方之進行後續條例以及法規制定之推廣與執行，以達到可提供符合不同情境的通風改善策略以及規劃設計做為使用。

本研究亦藉由基地通風率 SVR(Site ventilation Ratio)以及對基地內建築棟距地管制，利用不同百分比地基地通風率進行敏感度分析以提供後續建築規劃之發展，結果顯示在通風率 30%之狀況時，基地內地平均風速將可達到最佳通風效果，可保留原有風速百分之八十，而棟距也透過限制最少距

離 6 公尺之方式進行管制，

本研究將理論回應至現實操作面，解決氣候變遷所帶來的議題與衝擊，並因應氣候變遷，確保國土發展之應變能力，降低氣候變遷的衝擊進而使國家永續發展。

而本研究之主要限制以及後續可應用之重點為，限制為不同地區之長年風向及風速有所差異，故後續進行風環境評估時需端看基地之需求以及位置決定所使用之風速以及風向作為初始風環境設定，同時亦須考慮在不同都市形態下建築以及植栽的分佈來進行風廊之評估，同時亦將須使用更多實際之案例進行風環境評估之實際計算，並與相關局處討論其可行性，藉此提供台灣各地區不同地況之城市未來在都市與建築規劃設計時之準則參考與技術應用。

二、 研究建議

[建議一]

短期建議-各縣市將都市通風概念如基地通風率與棟距管制等，納入都市更新規範中，藉由設定門檻值篩選需評估之項目以及相關獎勵辦法制定，提高應用可能性。

主辦機關：各縣市都市發展局

協辦機關：內政部建築研究所

本研究計畫藉由地表數值模型與衛星資訊取得都市中之建築物高度以及面積，並利用流體力學軟體模擬不同通風與棟距之情境風速，將可了解不同地建築布局對風環境之影響。

短期內將可利用本方法應用至不同縣市之都市更新規範中，因都市更新規範並不需要透過需要較長期程之討論及宣告期來發布修法或立法等，且較能符合在地土地特徵及需求，透過法規地訂立，除可增益都市風環境之通風效果亦可減緩氣候變遷對都市的影響。

[建議二]

中期建議-各縣市於各都市計畫區劃設風速敏感區以及風廊分布，以及制訂需要納入都市規劃設計之規範。

主辦機關：內政部營建署

協辦機關：各縣市都市發展局、建設處、工務局

本研究於中期建議分為三級，第一級為應於細部計畫書中放入風廊圖，並提及風環境的應導入使用分區及強度，及此風廊對於未來的影響，以揭示風廊的重要性。

於第二級則應於細部計畫書中明定風廊經過基地，需進行風環境之評估並符合規範，如二維棟距及三維基地通風率。而第三級則應於細部計畫書中明定全區需進行風環境之管制，風廊經過處並加強管制。

[建議三]

長期建議-開放地表數值模型資料，並製作不同時間之全國都市風環境分布地圖，並將低風速區納入國土計畫中考量，以朝向都市降溫及永續發展。

主辦機關：內政部國土測繪中心、內政部營建署

協辦機關：內政部建築研究所

本研究利用數值地形模型及風速指數折減公式，取得快速可應用至不同地區之地表風速預估模式，本研究建議後續可將都市風環境之研究成果應用於可能造成之環境議題進行即時可視化的評估與呈現。

本研究亦建議內政部營建署明確制定風環境於都市永續發展中所需考量之項目使都市規劃人員方便操作，同時建議於國土計畫中加入考慮氣候現況之配置情形與對環境之敏感程度分別訂定不同區域之開發限制。

參考書目

1. 張效通，2017，新北市核心都會區減緩熱島效應指導計畫暨策略點改善規劃，
<http://ddpp.ntu.edu.tw/index.php/services/107-2017-07-26-15-45-52/230-2017-07-14-07-37-08>
2. 郭建源，2015，都市區域風環境影響評估分析研究，內政部建築研究所自行研究報告
3. 郭建源，2009，風洞試驗應用於行人風場環境影響評估之研究，內政部建築研究所自行研究報告
4. 何明錦，2015，都市地區風環境流通效應影響評估分析研究，內政部建築研究所協同研究報告
5. 內政部，2007，建築物耐風設計規範與解說
6. 林建宏、苗君易(2010)，建築模型在不同紊流強度及攻角下氣動力特性之研究，內政部建築研究所研究計劃報告
7. 香港中文大學，2005，空氣流通評估方法可行性研究研究結果摘要，香港：香港中文大學。
8. 王安強，2018，跨不同地況區域之風廊建置分析及都市通風環境評估，內政部建築研究所協同研究報告
9. 羅子雯，2018，結合局部氣候分區及景觀生態指標之都市氣候地圖建置及應用，國立成功大學，碩士論文。
10. Wong MS, Nichol JE, To PH, Wang J (2010) A simple method for designation of urban ventilation corridors and its application to urban heat island analysis. Build Environ 45(8):1880 - 1889
11. Wong MS, Nichol JE, Ng YY (2011) A study of the Bwall effect caused by proliferation of high-rise buildings using GIS techniques. Landscape Urban Plan 102(4):245 - 253
12. Ren C, Ng E, Katzschner L (2010) Urban climatic map studies: a review. Int J Climatol 31(15):2213 - 2233
13. Ren C, Spit T, Lenzholzer S, Yim HLS, Heusinkveld B, van Hove B, Katzschner L (2012) Urban climate map system for Dutch

- spatial planning. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 18:207 – 221
14. Ren C, Lau KL, Yiu KP, Ng E (2013) The application of urban climatic mapping to the urban planning of high-density cities: the case of Kaohsiung, Taiwan. *Cities* 31:1 – 16
15. Peterson, E.W. ; Hennessey, J.P., Jr. On the use of power laws for estimates of wind power potential. *J. Appl. Meteorol.* 1978, 17, 390 – 394.
16. Ng, E, Regulate for Light, Air and Healthy Living – Part II Regulating the Provision of Natural Light and Ventilation of Buildings in Hong Kong, issue 37, 1st Q, 2004, HKIA Journal, Hong Kong Institute of Architects, Hong Kong, pp. 4-27.
17. Ng, E., Katzschner, L., 2010. Urban climatic map studies: a review. *Int. J. Climatol.* 31 (15), 2213 – 2233.
18. Ketterer, C. ; Gangwisch, M. ; Fröhlich, D. ; Matzarakis, A. Comparison of selected approaches for urban roughness determination based on voronoi cells. *Int. J. Biometeorol.* 2016, 61, 189 – 198.
19. Grimmond, C.S.B. ; King, T.S. ; Roth, M. ; Oke, T.R. Aerodynamic roughness of urban areas derived from wind observations. *Boundary Layer Meteorol.* 1998, 89, 1 – 24.
20. Quan P, Leephakpreeda T (2015) Assessment of wind energy potential for selecting wind turbines: an application to Thailand. *Sustain Energy Technol Assess* 11:17 – 26
21. Emeis, S. Vertical wind profiles over an urban area. *Meteorol. Z.* 2004, 13, 353 – 359.
22. Daisuke Sasatani, Tait Bowers, Indroneil Ganguly, and Ivan L. Eastin (2015) ADOPTION OF CASBEE BY JAPANESE HOUSE BUILDERS. *Journal of Green Building: Winter 2015*, Vol. 10, No. 1, pp. 186-201.
23. Blocken, B., and Carmeliet, J., 2004, Pedestrian wind environment around building: literature review and practical examples, *Journal of Thermal Env. & BLDG. SCI.*, Vol.28, No.2
24. Chen YC, Chen CY, Matzarakis A, Liu KJ, Lin TP, Modeling of mean radiant temperature based on comparison of airborne

- remote sensing data with surface measured data. *Atmospheric Research*, 174, 151–159 (2016).
25. Chen YC, Fröhlich D, Matzarakis A, Lin TP, Urban Roughness Estimation Based on Digital Building Models for Urban Wind and Thermal Condition Estimation—Application of the SkyHelios Model *Atmosphere*, 8(12), 247 (2017).
 26. Chen YC, Lin TP, Lin CT, A simple approach for the development of urban climatic maps based on the urban characteristics in Tainan, Taiwan. *International Journal of Biometeorology*, 61(6), 1029–1041 (2016).
 27. Chen YC, Lin TP, Lin FY, Chen CY, A Simple Approach to Establish Urban Energy Consumption Map Using the Combination of LiDAR and Thermal Image. *International Journal of Architectural and Environmental Engineering*, 11(12) (2017).
 28. Chen YC, Lin TP, Shih WY, Modeling the urban thermal environment distributions in Taipei Basin using Local Climate Zone (LCZ) View Document. *Urban Remote Sensing Event*, 10.1109/JURSE.2017.7924531 (2017).
 29. Chen YC, Yao CK, Honjo T, Lin TP, The application of a high-density street-level air temperature observation network (HiSAN): Dynamic variation characteristics of urban heat island in Tainan, Taiwan. *Science of The Total Environment*. 626, 555–566 (2018).
 30. Daisuke Sasatani, Tait Bowers, Indroneil Ganguly, and Ivan L. Eastin (2015) ADOPTION OF CASBEE BY JAPANESE HOUSE BUILDERS. *Journal of Green Building: Winter 2015*, Vol. 10, No. 1, pp. 186–201.
 31. Grimmond, C.S.B. ; Oke, T.R. Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 1999, 38, 1262 – 1292.
 32. Holland, D.E. ; Berglund, J.A. ; Spruce, J.P. ; McKellip, R.D. Derivation of effective aerodynamic surface roughness in urban areas from airborne Lidar terrain data. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 2008, 47, 2614 – 2626.

33. Touma, J.S. Dependence of the wind profile power law on stability for various locations. J Air Pollut Control Assoc. 1977, 27, 863 – 866.
34. Gulyas, A.; Unger, J.; Matzarakis, A. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. Build. Environ. 2006, 41, 1713 – 1722.
35. Blocken, B.; van der Hout, A.; Dekker, J.; Weiler, O. CFD simulation of wind flow over natural complex terrain: Case study with validation by field measurements for ria de ferrol, galicia, spain. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 2015, 147, 43 – 57.
36. Grimmond, C.S.B.; King, T.S.; Roth, M.; Oke, T.R. Aerodynamic roughness of urban areas derived from wind observations. Boundary Layer Meteorol. 1998, 89, 1 – 24.

附錄一 期中報告審查會議意見回應

內政部建築研究所 108 年度協同研究案「都市戶外通風效益分析與推動策略研議」之期中審查會議

一、日期：108 年 7 月 25 日（星期四）上午 09 時 30 分

二、地點：內政部建築研究所簡報室

三、主持人：內政部建築研究所王副所長安強

四、記錄：陳育成

審查委員	審查意見	回應
王副所長安強	考量加入環評階段之規範，並將災害潛勢區轉為環境需改善區，後再進入環評流程，讓環評推在都市計畫程序前面	感謝委員建議，環境影響評估為都市發展重要之把關門檻，於期末會增加對環評之資料整理，以及於本研究利用風環境管控之可行性之評估
	資料揭露公開到什麼程度，以及長期可以推行的建議單位	感謝委員提醒，資料揭露之程度以及長期可推行之建議單位，將藉由後續辦理之專家座談討論資訊公開之方式以及空間與時間解析度等，以及各行政單位之分工方式與主要辦理之機構建議
陳組長建忠	本案及去年都市風廊以本所名義收集很多資料，畫限於本所與研究學併增加案內研究方法增加研究價值，而非在於保有	感謝委員意見，感謝建研所協助申請國家級保護資料，本研究將會妥善應用於呈現具體研究方法及成果，
	去年台南及今年台北相較哪個城市比較熱	依據本研究與去年研究之溫度分布圖相比較，台北因地形與開發型態將比台南更需

		要解決都市熱島以及熱壓力議題。
	以本所研究成果向台南等縣市台中的法規建議請具體提供並納入本研究說明並連續而不重複(環控組此類研究很多有的是本案林老師參與的)	感謝委員提醒，本研究有關法規建議之部分將會於期末接續期中之成果一併呈現於研究成果部分。同時於本組之研究成果為都市尺度戶外通風之研究，皆為第一手研究資料，與環控組之建築尺度室內通風研究成果不重複。
	以往研究及成果之引述及應用，請清楚呈現於本期研究	感謝委員提醒將遵照辦理
土木技師公會全國聯合會	P91 筆誤多處第四行部分倒數第三行皆有負相關	感謝委員提醒，將即刻修正並修改報告其他筆誤處
	是否有建議都市配置風廊分布配合新開發區域	感謝委員提問，都市風廊之配置將主要受到地表地況所影響，本研究目標於未來於都市規劃設計前能夠應用風環境評估進行開發建議與限制
建築師公會	未來工作項目是如何落實於實務上，推動於都市計畫與都市設計審議	感謝委員提問，本研究目前正積極透過與多個縣市之相關政府部分進行溝通，期望以土地使用管制以及都市計畫定期通盤檢討等方式連結實務面
蕭葆義	期中報告已完成預期成果	感謝委員肯定，本研究將會努力增進與實務連結之潛力。
	建議補充說明低風速敏感區一般通風趨良好通風區	感謝委員建議，本研究之風似門檻界定依據過去台灣民

	之風速範圍之定義依據	眾對於熱舒適之問卷結果結合蒲福風級而產生，其參考依據將會於期末報告研究方法中說明
	報告中提及之諸多研究文獻並未出現在參考書目中請補充修正	感謝委員建議，本研究將會將參考書目及研究文獻置於期末報告之參考文獻中
結構技師公會全國聯合會	氣候變遷極端現象如何納入考量	感謝委員提問，本研究之研究動機即因嚴重的氣候變遷議題導致都市中過熱需要提高通風環境而進行，於期末報告將會加入極端高溫於研究範圍之分布圖
	大自然現象是否可以人為控制	感謝委員提問，風與熱等大自然現象應無法受到人為控制，但可透過都市風環境之管制進行極端氣候之傷害減緩與調適
江教授哲銘	第 22 頁熱舒適指標計算模式運算係採用 Fanger 的 PMV、PPD 及 Hoppe 的 PET 中室內相對濕度 50% 空氣溫度 20 度 C 之境界條件，諾實際應用在台北市，係長年相對濕度高達 75%~85%，空氣溫度高達 28 度 C 左右，因此建議引用模擬應用於台北市都市環境的話，若干修正比較不會失真	感謝委員建議，本研究應用過去於台灣進行之熱舒適問卷，已取得適合應用於台灣並結合計算空氣溫溼度、風速、日照、衣著及代謝之生理等效溫度區間，藉由台灣獨特的濕熱環境，定義符合台灣民眾之熱舒適性
	本研究能透過不同季節風向繪製潛力風廊地圖，將有助於都市規劃設計及建築	感謝委員肯定，本研究將會努力增進潛力風廊地圖與實務連結之潛力

	規劃設計	
	後續能確立都市風環境標準之評估方法，如此更有助於都市計畫、規劃設計、建築設計之管制與政策推動	感謝委員建議，後續研究將主要確立都市風環境之評估標準及方法，以便提供都市與建築規劃設計之實務應用
陳建築師啟中	實地量測時應將多時的氣候資料對照說明(背景性)	感謝委員建議，本研究於實地量測之同時亦使用中央氣象局台北之測站風速及溫度進行校準與對照
	新板地區已有規範建議可以以此區作降溫節能的效益分析	感謝委員建議，本研究因主要圖資以台北市為主要收集目標，將會利用類似之規範建議進行於示範基地內之降溫節能效益分析
	通風與 PM2.5 空氣品質之關聯性應於以考慮	感謝委員建議，因空氣品質之研究領域及內容較龐雜，本研究於本其主要之目標亦鎖定於能源以及溫度，而都市中之通風與空氣汙染之關係乃因於較差的通風環境如粗糙度較高的高密度開發區，將因較多阻擋而使得風無法順利的進入將汙染帶離
	戶外通風與室內通風效益關聯性可以論述	感謝委員建議，本研究將於期末成果報告加入對綠建築室內通風與本案戶外通風之連結論述
	修訂法規也可以從修改建築控制著手，修都市計畫容積率難度很高	感謝委員建議，後續將同時針對不同層級之規範進行探討及擬定修改方式
林教授怡均	都市熱點可能減緩的方式	感謝委員提醒，都市中熱點主要減緩的方式將包含透過都市通風環境的管限制制立

		面與前後側院等面積與寬度及樓高，藉此引入涼風降低都市中之蓄熱，並利用風速降低民眾之體感溫度達都市降溫之效果
	由於風場與氣象的條件有強烈的關係，主要風速是否在超過某些速度才會產生效益(與風花圖的關係)	感謝委員提醒，本研究探討之風速與不同因子如溫度及能耗為採用長時間之觀測資料，結果將會呈現不同風速對於不同因子之影響效果與效益
台灣木結構工程協會	無意見	謝謝委員指教

附錄二 第一次專家會議審查會議意見回應

內政部建築研究所 108 年度協同研究案「都市戶外通風效益分析與推動策略研議」之第一次專家會議

一、日期：108 年 9 月 9 日（星期一）上午 10 時 00 分

二、地點：內政部建築研究所簡報室

三、主持人：林子平教授

四、記錄：陳育成

審查委員	審查意見	回應
石教授婉瑜	風向分析請考慮海陸風、谷地風、水陸風等因中尺度地理特徵所產生的區域差異，台北盆地仍受海陸風影響，淡水河、基隆河其餘谷道都市很重要的風廊，然河道兩側多有堤坊高架橋可能阻擋風	感謝委員建議，本研究計畫將把台北之水系分布以及地形分布之狀況同時納入考量，因此可以把海陸風、谷地風、水陸風等受地形影響之風環境差異表現於研究成果中。
	請同時考量開發綠地空間的系統以及可能整合調整的可能性(本項可結合都市計畫)	感謝委員建議，本研究將標示台北市中的綠地空間，藉以顯示其對都市風環境之系統性影響。
	P17 高溫 or 風速敏感區的基準需考量區域氣候特徵(季節日夜差異)以全年資料作為依據，可能會忽略夏季某些極端狀態	感謝委員建議，本研究之高溫敏感界定門檻使用過去餘台灣的熱舒適研究結果 38 度作為標準，而風速敏感區則使用蒲氏風級 1.6m/s 作為標準。
	其他法規政策的整合銜接如 1 地方國土計畫 2 地方調適計畫 3 都市更新辦法 4 景觀綱要(綠色基盤)計畫	感謝委員建議，本研究將針對台灣不同層級包含中央及地方政府可能推動的部門及機制進行盤點以及可操作之說明。

	以容積獎勵通風是否會造成目標衝突(高溫舒適度)	感謝委員建議，本研究將與相關政府政策制定人員研議確認容積獎勵之可行性與評估環境影響程度。
	棟距密度的調整可能影響街道遮陰是否納入考量	感謝委員建議，本研究於棟距調整將以提高都市風環境為主要考量目標，遮陰等熱環境因子則可透過其他遮蔽物達成遮陰效果。
	目標是室內 or 室外通風(兩者有時相抵觸)	感謝委員提醒，本研究本年度著重於討論都市戶外之通風，藉由良好的室外通風環境，亦可提高室內通風之潛力。
羅副總工程師 文明	風環境管理項目可從容積獎勵方式導入，結合都市設計彈性審議降低業界的抗性及焦慮(先鼓勵後管制)	感謝委員建議，本研究將評估容積獎勵之方法以及獎勵之門檻藉以鼓勵進行風環境評估並降低業界的抗性及焦慮。
	風環境除針對個別基地檢討通風建議可放大至周邊街廓有關退縮之系統連續性	感謝委員建議，本研究於風環境之風速及風廊分布將擴大至以都市尺度之方式探討不同地況之分布與連續性所造成之影響。
	基地風環境控制管理項目除通風遮蔽率外有關鄰棟間距(基地內外均檢討)或基座層透空率等項目可進一步分析	感謝委員建議，依據本研究之成果，亦贊成結合通風遮蔽率與棟距之管制可以增加基地通風之潛力，提高通風率之可能。
	有關基地內建築風阻面積建議可將屋突建築量體及屋脊裝飾物投影面積計入	感謝委員建議，本研究後續將透過通風遮蔽率之運算結果評估屋突建築量體

		及屋脊裝飾物等面積之計入。
	風環境指標除將基地風速、溫度、高度納入管理研析外，建議將基地周邊相鄰街廓為氣候之溫濕度、風場做整合	感謝委員建議，本研究於不同季節執行實際量測，量測場域包含台北市不同地況與土地使用，量測指標包含空氣溫溼度以及風速風向，將可以透過大尺度之量測資料整合基地尺度之結果。
	通風效益可結合綠建築、採光、環境綠化等現行管理機制，檢討以及導入管理程序中	感謝委員建議，本研究於後續法規擬定及路徑將會於建築物尺度之因子納入法規採計。
	餘有關基地內合理建築高度檢討式中，容積率係數採計 1.4 與現行免計容積法規競合，應有另外說明	感謝委員建議，本研究後續將使用現行容積法規規定之 1.5 作為建築高度之檢討。
莊教授振義	在資料分析上，前是以風場的平均場做為資料呈現，但是對管制單位、開發單位而言，關注的會不同風場條件發生的頻率及強度，另外還包括極端值的情境，建議後續可加入這個部分的討論	感謝委員建議，不同風場強度條件發生的頻率，與極端值的情境，將以風環境風險圖之形式進行呈現，避免平均稀釋研究成果之可能。
	風場分析的部分可考量季節日夜在區域上的差異，以便考量不同情境的影響	感謝委員建議，本研究將呈現冬季與夏季等不同季節之風速與風向之風環境資訊，提供不同情境下法規制定之參考。
	風速 vs 溫度的關係需考量高層所造成的影響，建議可加入新北區域，以整個台北盆地內部做為資料分析來源	感謝委員建議，本研究將增加說明研究範圍內之高度並以等高線方式呈現，並以量測以及氣象站觀測

		之資料進行風速與溫度之關聯分析。
	CFD 的模擬在 turbulence 模擬參數的部分需考量參數合理性	感謝委員提醒，本研究於後續研究進行 CFD 模擬將會考量參考 turbulence 模擬參數之合理性。
	目前是以基地尺度作分析，建議後續考慮擴大至鄰近區域尺度	感謝委員建議，本研究執行實際量測，量測指標包含空氣溫溼度以及風速風向，將可以透過大尺度之量測資料整合基地尺度之結果。
曾科長涵筠	都市計畫效果最完整，明顯，但時程過長，如以調整都市計畫綠地位置，可能有效改善舊市區環境	感謝委員建議，本計畫將嘗試不同途徑之可行性，並以時程較短的方式為短期主要目標。
	江翠北側位於板橋舊市區臨水岸地區，訂定都市設計審議原則，以 70%面寬垂直河岸道路兩側加大退縮，高層建築加做環境風場（沒有額外容積獎勵）	感謝委員建議，本研究將參考江翠北側之臨水岸地區之都市設計審議原則，以不同百分比之面寬控管進行法規研擬之比較。
	以容積獎勵手段，新北也執行過，但增加容積對環境又增加負擔，如新北以前保水獎勵，降低開發率增加容積，卻加深開挖	感謝委員建議，本研究將與相關政府政策制定人員研議確認容積獎勵之可行性與評估環境影響程度。
	公共空間改造，單點打通/區域環境重整，降低都市熱島	感謝委員建議，本研究將以都市更新與都市計画法規之修改為後續主要執行目標，藉以整合區域內空間降低熱島效應。
張副總工程師 洲滄	風廊是結合採光、微氣候景觀及通風的目標，是基地貢獻自己的	感謝委員建議，本研究於後續法規擬定及路徑將會

	效果，達成都市降溫的效果	於建築物尺度之因子納入法規採計。
	都市發展局因應風廊的研究成效，分為交流期、宣導期及執行期，並以都計、都更、建築的尺度來法規檢討	感謝委員提醒，本研究後續於成效推廣之交流期、宣導期及執行期程中，將以都計、都更、建築等不同尺度來檢討法規。
	都計的法令訂定，應考量因地制宜因台中市中心唯一主要計畫細分約 50 個細部計畫，所以期細部計畫的各通檢時間是不一致，對於都市熱點的降溫方式，可加以考量時程的變化	感謝委員提醒，後續待研究方法確立以及法規擬定成熟後，將針對台灣不同城市及其中都市計劃區域中不同細部計畫區進行可因地制宜之風環境改善手法，藉以調適都市氣候環境。
	風廊留設的規定，可再增加風向的發生頻率的影響，加以取捨規定	感謝委員建議，不同風場強度條件發生的頻率，與極端值的情境，將以風環境風險圖之形式進行呈現，避免平均稀釋研究成果之可能。
	風廊的規定，可評估採區分出各時段(如夏季、冬季、上午、下午)的圖示化呈現，以利判讀	感謝委員建議，本研究之風廊將針對不同季節之長年風向進行風廊位置預估，並以圖示化之方式呈現於地圖中，以方便解讀。
郭副研究員建源	本計畫研擬改善都市通風策略，但應注意避免衍生其他問題。例如：建築物座向改變造成兩棟建築物間形成狹長通道，而形成渠道效應，在通道產生瞬間強風，造成行人不舒適問題	感謝委員建議，本計畫將會考慮除通風遮蔽率外亦會將建築物座向改變所造成建築物間之狹長通道進行風環境評估以及法規限制之研擬，減少風環境於

		行人尺度造成不舒適之議題。
	研究提出之通風改善策略，建築物棟距管制至少保留 5 公尺距離，但棟距 5 公尺，以理論而言，仍是阻抗流場 (Resistance Flow)，即風場無法自由流通。此數據建議再斟酌	感謝委員建議，本研究於建築棟距管制之距離，後續於法規擬定之過程中將會以不同模擬成果決定最適合管制之寬度距離，以免造成風場無法自由流通之問題。
	所謂都市風廊與低溫高風險區域，建議有適當的定義方式，低風速與高風速均存在發生機率問題，如僅以平均值無法適度反應實際狀況，建議以陣風值加上發生機率，作為界定風險區域指標	感謝委員建議，本研究之高溫敏感界定門檻使用過去餘台灣的熱舒適研究結果 38 度作為標準，而風速敏感區則使用蒲氏風級 1.6m/s 作為標準，而不同風場強度條件發生的頻率，與極端值的情境，將以風環境風險圖之形式進行呈現，避免平均稀釋研究成果之可能。

附錄三 期末報告審查會議意見回應

內政部建築研究所 108 年度協同研究案「都市戶外通風效益分析與推動策略研議」之期末審查會議

一、日期：107 年 11 月 01 日（星期五）上午 14 時 30 分

二、地點：內政部建築研究所簡報室

三、主持人：內政部建築研究所王副所長安強

四、記錄：陳育成

審查委員	審查意見	回應
王副所長安強	敏感區，風險敏感區，是否合併在一起，風險用字不建議	感謝委員建議，後續將風險敏感區改為敏感區，以免誤會
	建議二的納入規範，政府的通盤檢討作業手冊，都計的規範名稱可以更精準可以跟都計畫系問，可能是關於大面積的	感謝委員建議，本研究之風環境研究成果將陸續透過都市更新，都市設計審議以及都市計畫等，並將詢問相關都計學者以精準說明及方便後續應用
	大都市都做完了，下一步怎麼整合？有沒有一些想法寫在建議？	感謝委員提問，後續將會透過向不同縣市之相關政府單位推廣，以求達到都市良好之通風效果
陳啟中建築師	通風率除參考相距、建築物高度外基地規模大小也應考慮排除在外	感謝委員建議，本年度研究計畫主要針對建築尺度進行分析，後續計畫將基地之範圍大小列入評估項目，以求完整評估基地通風率
	報告內都是以正向風來評估台灣各地區的風向跟基地垂向也應納入	感謝委員建議，本研究利用台北市不同季節之長年盛行風進行評估，後續操作時將

		視基地地理特徵及需求進行不同風向之評估
	EUI 應區分夏季及冬季以及跟風速風向之關聯性也應納入 PET 做參照	感謝委員建議，本研究主要探討風速與降溫節能效益之分析，故使用包含全部風速資料之全年範圍進行研究，PET 則使用全年平均風速進行計算故亦使用於與全年 EUI 進行關聯性分析
	戶外通風要達成節能效益與建築物之間有關連性，建議應於以著墨	感謝委員建議，本研究之戶外通風對降溫節能之效益為基於建築物所造成之地表差異而產生之風速與能耗差異
	不太贊成以容積獎勵方式達成建築物之通風修法	感謝委員建議，本研究後續將持續思考容積獎勵外之方法以提高將都市通風納入都市規劃設計規範中
	二組向之棟距 $D > 6m$ 與 $D > 3m$ 建議改成 $D \geq 6m$ 與 $D \geq 3m$ ，高度改成起過 21m，7 層不必寫或不超過 21m，統一用詞	感謝委員建議，後續將與合作推行之政府相關局處探討不同長度之可行性，並確認用詞之正確性以求後續操作之統一性
新北市建築師公會	戶外通風很重要但目前都更困難，違老條例又到回擁擠之都市現象，建議配合都更做跨領域之研究	感謝委員建議，本研究目前正以都市更新為主要操作方向，透過規範基地通風率並納入都市更新法規中，期待將可解決都市中擁擠且通風差的環境現況
	建議鼓勵基地大型化	感謝委員建議，後續推動將參考此建議進行
臺北市建築師公會	戶外通風有助於降低熱島效應，增加數適度減少空調使用，喜見有相關研究。	感謝委員肯定，本研究後續將持續推動將都市通風納入都市計畫相關法規規範中

	建築法令上也應該要鼓勵誘導常向有利於戶外通風之方向，例如鼓勵合併擴大基地等	感謝委員建議，本研究亦積極鼓勵都市中之都市發展往優良戶外通風之方向，後續推動將參考此建議進行
	台北市的風向本身就不是單一的方位在研究上也如何來因應。	感謝委員建議，本研究利用台北市不同季節之長年盛行風進行評估，後續操作時將視基地地理特徵及需求進行不同風向之評估
中華民國風工程學會	本研究整合風速溫溼度探討示範區之通風效益並提出相應分析方法以及策略成果相當豐富	感謝委員肯定，本研究後續將持續推動將都市通風納入都市計畫相關法規規範中
	戶外通風效益的分析方式?CFD?通風廊道分析?風速預估?能源損耗分析?之間的關聯性為何?如何應用?	感謝委員提問，本研究於戶外通風效益之分析方法為利用不同地況之粗糙度折減高空風速於地表人形尺度風速，並利用實測進驗證，而溫度及能耗資訊則利用氣象局以及能耗強度進行運算，透過量化網格內的氣象及能耗數據並透過迴歸分析了解其中之關聯性，後續則可應用於都市設計規劃中，減少微氣候不舒適性
	表 2_8， α 值如何給定?在學理 α 定義與地況有關，應不是粗糙度	感謝委員建議，本研究之 α 代表因不同地況而造成之地表折減風速之基準，主要透過地表覆蓋以及高度擷取之方式取得
	P.62 SkyHelios 風廊驗證結果如何?DSM 風向如何計算能否應用至設計風速?	感謝委員提問，SkyHelios 風廊驗證結果為於都市中粗糙度較低之地區，風廊將較容

		易形成並產生較高之風速，本研究主要利用 DSM 之高度資訊用於利用指數公式折減高空風速
	P.117 羅子雯文獻沒列入，envimet flowdesigner 有何不同設定條件說明	感謝委員建議，後續將列入文獻說明初始條件以及列入參考文獻
結構工程技師公會全國聯合會	無意見	感謝委員指教
土木技師公會全國聯合會	棟距間之綠地樹木或設備是否有限高	感謝委員提問，本研究目前對棟距間之綠地樹木或設備並無高度限制
台灣木結構協會	無意見	感謝委員指教
葉民權教授	宜強化模擬結果與現地實測數值及氣象資料的比較以利說明估計的合理性或是差異百分比，做為強化所提建議的立場	感謝委員建議，後續於法令推動之過程將進行更多情境之模擬結果以及搭配實測驗正其合理性，以強化通風對都市益處之立場
	所提短期可進行之基地通風率與棟距管制納入都更規範建議，計畫中所進行之情境模擬分析結果如果有實例數值比對將可以提高其可行性之說服力	感謝委員建議，後續於都更規範中將使用實際都更案例進行基地通風率之實際計算，並與相關局處討論其可行性，藉此提高實際操作之說服力
莊金洞技師	模型分析之風速風向如何取得是否考量風向之變動影響	感謝委員提問，本研究所使用之風速風向分析為利用長年風向及長年平均風速作為初始條件設定後取得
	模型分析模式除了正向之外建議是否考慮逆向之路徑已反映節氣季節變化風向	感謝委員建議，本研究利用台北市不同季節之長年盛行風進行評估，後續操作時將視基地地理特徵及需求進行不同風向之評估

張景鍾教授	報告書摘要格式不對太冗長	感謝委員提醒，將於成果報告修正後呈現
	報告書中公式符號說明與格式不一致	感謝委員提醒，將於成果報告修正後呈現
	報告書中錯別字 (p128, p129)請校正	感謝委員提醒，將於成果報告修正後呈現
	效益分析之效益請具體數字量化	感謝委員建議，有關風環境評估以及其對溫度與體感溫度及能耗之關聯與效益，將以具體數字說明
	報告書中圖(3-9 10)黑白列印模糊不清	感謝委員提醒，將於期末成果報告提交彩色電子檔文件以利閱讀
	研究結論 1.通風率 30% 2.棟距 6m 請提供立論依據與條件限制	感謝委員提醒，將於成果報告修正後呈現
阮怡凱教授	研究主題對未來永續都市發展具有重大價值與意義	感謝委員肯定，本研究後續將持續推動將都市通風納入都市計畫相關法規規範中
	部分實驗設計的步驟與細節建議可加以補充。例如，定點位置的選擇、移動量測的路徑、時間與方式	感謝委員提醒，將於成果報告修正後增加量測方式之細節說明呈現
	因本案涉及許多專業術語、公式等評量，建議可於第一章節增列名詞解釋以增加閱讀性	感謝委員建議，本研究將於成果報告之第一章節增列名詞解釋以增加閱讀性
	操作細節建議研究團隊釐清。例如能源消耗在台北地區以3樓透天厝為對象是否適當?基地通風率若遇到高密度商業區或特殊地形區域是否需要修正?關聯分析	感謝委員提醒，將於成果報告修正後呈現

	與迴歸分析的操作建議具體說明變數及統計顯著性	
	建議可持續針對不同地區進行試驗，並提供本研究方案驗證的基準。經驗正後的資訊，連同有系統簡化後的操作步驟之建構，提供各地區未來都市與建築規劃設計準則	感謝委員建議，後續於都更規範中將使用實際都更案例進行基地通風率之實際計算，並與相關局處討論其可行性，藉此提供各地區未來都市與建築規劃設計準則參考
	建議於結論內加入本研究的限制或未來應用的限制與挑戰等說明	感謝委員建議，本研究將就限制與應用及挑戰於期末成果報告說明

附錄四 第二次專家會議審查會議意見回應

內政部建築研究所 108 年度協同研究案「都市戶外通風效益分析與推動策略研議」之第二次專家會議

一、日期：108 年 11 月 29 日（星期五）上午 10 時 00 分

二、地點：內政部建築研究所討論室 2

三、主持人：陳建忠組長

四、記錄：陳育成

審查委員	審查意見	回應
曾副處長品杰	都市通風效益對於城市推動減緩都市熱島效應有其正面的成效，除建築物的節能降溫外解決都市熱的問題風應該是關鍵因子，建議對於都市密集的城市，都應建立都市風廊的基本資料	感謝委員建議，本研究後續將逐步推展風環境之研究成果至不同縣市政府，以求減緩日益嚴重之都市熱島效應議題。
	目前開放空間的機制亦可考量將風廊的設計納入評估，適度調節都市量體的發展，創造都市風廊	感謝委員建議，本研究將努力利用風廊以及基地通風率等多樣化之風環境量化指標進入都市設計之評估標準，藉以調整都市中建築之配置。
	地方政府亦可透過地方自治的手法進行規範，針對示範區強制或鼓勵的規範，未來若能提供相關都市風廊相關資訊，在建築管理的基礎上亦能將該管制規範納入，達到都市降溫的目標	感謝委員建議，本研究目前於台中市政府都市發展局推展都市更新之將風環境納入法規與容積獎勵等辦法，同時將參考都市風廊之相關資訊，後續亦將嘗試納入建築技術規則中以求達到都市中高溫減緩之目的。
林科長芝羽	台北市未來進行風環境相關法令之研擬必須從整個大台北地區風廊、區域風廊、基地風廊層次去分析，目前台北面對都市熱島效益主要從風環境、水(基地保水韌性城市)、綠(植栽覆蓋)等三個主要面向切入，風環境的	感謝委員建議，後續於不同都市推展風環境相關之法規，將會從不同尺度之路徑進行如都市設計的行人尺度，以及都市計畫的縣市尺度等，並將考慮應用不同層級之風廊

	分析應從目前建研所既有之基礎再往前推進，始能作為制定法令之依據	劃分，提供不同使用目的之需求並同時提供操作之法令依據。
	台北市面對都更的問題，改建後之開發量可能達到有法定容積的2倍，在研究中之相關公式應更貼近市場開發狀況，以目前公式設定尚無法反應市場開發型態	感謝委員提醒，後續將通風遮蔽率之風環境量化公式套用於不同都市及地區時將會考量各地區之法令，包含法定容積與建蔽率以及容獎之上限額度，以求公式可以更貼近市場實際開發狀況。
	都設之風環境若在行人風場之舒適度，對於風速濕度人體舒適度是否可設定評估指標，以提供開發者在發展過程中之參考	感謝委員提問，本研究行人風場之風速數值室使用地表粗糙度搭配氣象站之高空風速進行折減所計算獲得之，同時可以利用量測所得之空氣溫濕度進行綜合評估人體之熱舒適性，此成果亦透過生理等校溫度呈現於本研究結果部分。
	未來就法令位階上建設可從都市計畫層級指定都市主要風廊，之後透過土地使用管制及建築法令逐步落實，法令應是獎勵性質而非限制，才能增加推廣度及減少抗性	感謝委員建議，本研究後續於推廣風環境納入都市規劃設計及計畫中時，將會參考不同位階之法令特性，並主要以獎勵導向進行操作以利推廣。
	另台北市的熱點區域為小巷道不是每個基地都有機會面對永久性空地，建議把密度高之城市空間可量進去，提出風環境改善建議	感謝委員建議，本研究後續於臨基地測之想到與永久性空地之選擇將修改為優先順序之方式進行選擇，以滿足不同基地特性之基地可以方便操作。

蘇教授瑛敏	都設關心的是行人風場，與都市風廊思考高度不同所以目標應確認	感謝委員建議，後續於不同都市推展風環境相關之法規，將會從不同尺度之路徑進行如都市設計的行人尺度，以及都市計畫的縣市尺度等，提供不同使用目的之需求並同時提供操作之法令依據。
	7f 以下不計入，可能與台北市都設或實際狀況不太符合，簡易算法易於推動執行，但不同區位不同地形不同風向各地差異等變項需再加以分類	感謝委員建議及肯定，本研究後續將透過與不同城市之政府合作，了解不同地區之建成環境特徵與現況後，建立適合該地區之執行限制以及依據，同時根據不同地形及風向之基地，本研究於實際操作時將會考量不同季節之優勢風向進行風廊之評估，以了解不同季節之風環境特徵，後加以分類以符合在地使用。
	可以全市熱島效應強的地區來加以管制建築量體，訂定風環境建議	感謝委員建議，本研究後續將透過多種層級的風廊評估，對不同的地區以及都市計畫區按照都市氣候之風險等級進行開發建議以及風環境評估級管制方式建議。
	台北新北地籍複雜狹小，既有都設法則林地退 1.5m~1m，有些尚難執行目前建議各退 3m 困難度高	感謝委員建議，本研究後續於不同地區操作時將根據當地都市特徵以及發展現況進行管制，以利應用於不同地區之可用性。

	實際建築量體是容積率的1.65~1.8倍	感謝委員提醒，後續將通風遮蔽率之風環境量化公式套用於不同都市及地區時將會考量各地區之法令，對包含法定容積與建蔽率以及容獎之上限額度進行修正，以求公式可以更貼近實際建築量體。
	新建築形式有透空式建築，下一步在考量	感謝委員建議，本研究後續於實際操作時將會將新建築之透空形式納入模擬，並考量其評估標準。
	獎勵比例應該設定不同級距，如規模面積等不應統一標準	感謝委員建議，本研究後續於實際操作時，將使用流體力學模擬模型進行容積比例之確認，並設定不同開發強度下之獎勵標準。
羅教授元隆	決定風速時假設台北市邊界層高於500公尺比值會比現行建築物耐風設計規範所規定者為高，且各風向之a值及Z值的不同，請解釋本研究假設之合理性	感謝委員提問，本研究使用對大氣邊界層之較一般之認定為500公尺左右，後續於不同城市地區進行操作時將會確切計算不同地區之大氣邊界層高度，而本研究用於計算粗糙度之方式則是採用地面物面積及高度所造成之地表狀況進行假設，因風廊所探討之尺度較大，故採用本方法，後續如應用於較小尺度之地區風廊則將採用不同

		方向之粗糙度進行評估。
	本研究採用之風速計與台北市無人測站的風速風向是否有一致性，若為了決定風廊位置是否取決之風速計的裝設位置	感謝委員提問，本研究所採用之風速向儀器，為經過廠商校正之二級標準品，本研究進行儀器擺放位置之選擇主要是為了確定是否為風廊或是風速較低之區域，主要並非驗證而是座為背景資料之使用。
	能源消耗與風速關聯圖無法看出關聯性，是否可以解釋何種能源被影響最大	感謝委員提問，能源與風速之關聯性較小，能源為主要與土地利用有關，但本研究發現風速對能源耗用之影響並沒有直接關聯，但低風速卻會導致部分區域能源耗用的增加。
	為何不採以各風向的SVR而採用任一方向，本研究採取的方式會否因風向分布不同而有誤差	感謝委員提問，本研究之基地通風率應考量到都市中地形風以及因建築配置而導致之微氣候產生後續爭議，故將會考量不同季節之優勢風向進行風廊之評估，以了解不同季節之風環境特徵。
	棟距的決定為何不以基地內建物的比例為原則而是為6公尺	感謝委員提問，本研究之設定為根據目前進行都市更新計畫之台中市政府對接，根據當地都市特徵以及發展現況都市發展局建議以6公尺之原則進行管制，於後續不同都市進行操作時將會考

		量以比例之原則進行管制，以利應用於不同地區之可用性。
黃教授國倉	水岸、大面積綠地、山坡地周邊等風廊的上風處等可用於判斷風向來源者其鄰近或第一排的建築開發更應該加強基地通風率之檢討已使風廊的流動可深入都市密集處	感謝委員建議，本研究對於水岸大面積綠地等永久性空地，將視為首要基地通風率計算基準寬度之依據，優先順序將大於道路及其他使用，以求重點檢討風向來源向之方位，同時亦可了解都市尺度之風環境特徵。
	本計畫提出以 SVR 作為基地通風之管制手法具簡易與極高之可操作性，可行性大	感謝委員肯定，本研究後續將持續於不同城市與地區推動基地通風率於改善都市風環境及解決都市熱島之議題。
	未來各都市都會區導入 SVR 評估前建議應持續進行當地都市風廊之調查指認，建立基礎都市風廊評估以利導入 SVR	感謝委員提醒，本研究未來於不同地區進行都市通風率之計算及評估時將會同時進行不同尺度之風廊評估，以便確立需要進行管制之地區以及管制之數值。
	都市的通風除可解決都市熱島之問題對於複合式通風之建築亦有節能之效果，尤其是中間季節的有設通風更能減少空調之使用，因此對於長年風向(盛行風)做為評估時之風向，可以再細分為不同季節	感謝委員建議，都市之通風除可提高舒適性亦可將都市中的儲熱有效帶離降低熱島效應所帶來之高溫，本研究於實際操作時將會考量不同季節之優勢風向進行風廊之評估，以了解不同季節之風環境特徵。

梁研發替代役文字	目前提出之都更通風管制建議，棟距距離牽扯到之數字、基地內基準建築高度及7層樓以下免評估基地通風率等，請確認各立論基礎，抑或是與專家學者討論之決議，並於成果報告中多加描述，減少疑慮。	感謝委員建議，本案所採用基準建築樓高以及基地退縮與基地通風率計算之係數及數值為與台中市政府都市發展局討論之都更法案研擬，因應台中之都市發展模式以及開發型態所訂立，後續於不同都市及地區操作將會考量適合當地都市環境之原則進行管制，以利應用於不同地區之可用性。
	低風速敏感區經策略改善後，應評估是否衍生其他問題(例如：瞬時強風)影響舒適性，該如何避免？	感謝委員建議，本研究後續於實際操作時，將在敏感區評估後同時提供不同季節之空氣溫溼度供計算人體舒適度，以降低環境不舒適的風險。
陳組長建忠	索取許多資料，回饋建築研究所的成果為何	感謝委員提醒，本研究主要基於建研所提供之圖資建立都市風環境之評估方法，未來除可回饋建研所後續於建築及都市多種尺度之都市風速及風廊評估外亦可提供都市計劃以及都市更新以及都市設計等不同層級之都市規劃應用。
	轉給了政府單位研究成果是否可應用於實際都市設計規劃，是否能確實引用使用以及呼應	感謝委員提問，本研究目前主要以台中市之都市更新條例著手，實際透過都市規劃設計並利用基地通風率以及棟距限制

		等方式給予容積獎勵，期望能藉由建築配置改變之方式提升都市舒適度。
--	--	----------------------------------

附錄五 第一次專家會議簽到表

會議簽到簿

內政部建築研究所

會議名稱：召開本所 108 年度協同研究案「都市戶外通風效益分析與推動策略研議」之第一次專家座談會議

活動辦理時間：中華民國 108 年 09 月 09 日 上午 10 時 00 分

活動地點：內政部建築研究所簡報室

主持人：成功大學建築學系林教授子平

列席計畫人員：陳組長建忠、林教授子平、郭副研究員建源、梁研究員文字、陳研究員育成

列席專家學者：臺北市政府都市發展局羅副總工程司文明、新北市政府城鄉發展局都設科曾科長涵筠、臺中市政府都市發展局張副總工程司洲滄、高雄市政府工務局建築管理處曾副處長品杰、國立臺灣大學地理環境資源學系莊副教授振義、銘傳大學都市規劃與防災學系石副教授婉瑜

出席人員：

內政部建築研究所陳組長建忠	陳建忠
國立成功大學林教授子平	林子平
內政部建築研究所梁研究員文字	梁文字
內政部建築研究所郭副研究員建源	郭建源
國立成功大學陳研究員育成	陳育成
臺北市政府都市發展局羅副總工程司文明	羅文明
新北市政府城鄉發展局都設科曾科長涵筠	曾涵筠
臺中市政府都市發展局張副總工程司洲滄	張洲滄
高雄市政府工務局建築管理處曾副處長品杰	
國立臺灣大學地理環境資源學系莊副教授振義	莊振義
銘傳大學都市規劃與防災學系石副教授婉瑜	石婉瑜

附錄六 第二次專家會議簽到表

會議簽到簿

內政部建築研究所

會議名稱:召開本所108年度協同研究案「都市戶外通風效益分析與推動策略研議」之第二次專家座談會議

活動辦理時間:中華民國 108 年 11 月 29 日 上午10時00分

活動地點:內政部建築研究所13樓討論室2

主持人:陳組長建忠

列席計畫人員:成功大學建築學系林教授子平、梁研發替代役文字、陳研究員育成
列席專家學者:台北市政府都市設計科林科長芝羽、高雄市政府工務局建築管理處曾副處長品杰、淡江大學土木工程學系羅教授元隆、國立台北科技大學建築系蘇教授瑛敏、國立臺灣大學生物環境系統工程學系黃教授國倉

出席人員:

內政部建築研究所陳組長建忠	陳建忠
國立成功大學林教授子平	林子平
內政部建築研究所梁研發替代役文字	梁文字
國立成功大學陳研究員育成	陳育成
台北市政府都市設計科林科長芝羽	林芝羽
高雄市政府工務局建築管理處曾副處長品杰	曾品杰
國立台北科技大學建築系蘇教授瑛敏	蘇瑛敏
淡江大學土木工程學系羅教授元隆	羅元隆
國立臺灣大學生物環境系統工程學系黃教授國倉	黃國倉