

臺中市政府 105 年度市政發展研究論文
實務工作研究論文節錄重點

城市地貌對人行步道舒適度之影響研究-以台中市柳
川為例

The study of the effect on pedestrian PMV of
Urban Landscape

研究人員:林衍良、吳建璋

指導教授:林衍良

學 校:逢甲大學

系 所:建築系

中華民國 105 年 5 月

摘要

因在都市熱島效應的影響下，近年來規畫領域逐漸重視戶外空間的生活品質改善，其中風環境最常被使用在降低都市氣候最直接的方式，手法上多以創造廊道來增加都市戶外通風的效率，各國都市規劃也逐一邁向製造廊道的規劃手段。隨著時代的進步，人們開始著重效率，希望在短時間內看到成果，這時相較於耗時的風洞試驗，計算流體力學(computational fluid dynamics, CFD)逐一在學術及業界被廣泛使用。而要創造廊道的方式有非常多種，除了最常被拿來探討的街谷廊道，綠廊外，河谷的地貌也是其中之一，且除了考慮地貌上的不同，外在環境本身已成為相關性研究中，須考慮的重要因素，然而因外在因素的存在，在建製模型時大小不一，及其複雜，因此本次研究考慮模擬模型內部量體結構差異及模型內偵測位置的不同探討其風環境下對行人的舒適度影響。

本次研究對象以台中市柳川排水溝渠作探討，隸屬於經濟部水利署第三河川局所管轄，屬旱溪排水系統中的一條排水溝，全長約 10 公里，屬第二長排水長度，因流域位址接近台中市中心，流域中包含眾多地貌類型且多為住宅區，故戶外生活環境應被重視。

本次研究結果分現況模擬與設計模擬，其中前者採台中柳川全段排水長度進行地貌樣式模擬，並將以由北至南劃分成前段、中段、後段；後者則採控制地貌型式之三種因子做每 3m 之差進行對人行道上的舒適度變化的影響力大小分析，得出在第一部分中，柳川前段(靠近進化北路)的人行道 PMV 是最好的，而後段(台中市郊區靠近旱溪)的 PMV 是最差的；第二部分，三項地貌控制變因在經過模擬後，得出溝渠單元在尺度每差 3 公尺變化下，其人行道上的 PMV 會有 0.013 之差，路寬部分則為 0.009(同一變化量)，樓高則為 0.004，得出三種變因中，溝渠是影響最高的；而另一項研究是關於一般街谷地形與存在溝渠的街谷地形在人行道 PMV 上之模擬，得出有溝渠的街谷地貌，其 PMV 比一般街谷地形還差，原因是因為風速，使其人行道之 PMV 產生變化，因而得知溝渠的存在是扮演調和谷地風速的角色，使其谷地中的風速不會造成風害，使其舒適度增加。

關鍵詞:CFD、街谷地貌樣式、人體舒適度、人行道、都市熱島

目錄

摘要.....	1
目錄.....	2
第一章 緒論.....	4
1-1. 研究動機.....	4
1-2. 研究目的.....	7
1-3. 研究內容與流程.....	8
1-4. 研究對象與範圍.....	10
第二章 文獻回顧.....	11
2-1. 風環境.....	11
2-1-1. 大氣氣候尺度.....	11
2-1-2. 邊界理論(boundary layer theory).....	12
2-1-3. 行人風場.....	13
2-1-4. 風廊道.....	16
2-2. 人體熱舒適度的評價指標.....	17
2-2-1. PMV 人體舒適度平均度.....	18
2-2-2. PPD(不滿意百分比).....	18
2-3. 計算流體力學.....	19
2-3-1. CFD 網格系統.....	20
2-3-2. 計算流體力學相關軟體分析.....	21
2-3-3. 紊流模型(turbulence model).....	23
第三章 研究設計.....	25
3-1. 研究地區.....	25
3-2. 研究地區氣象資料分析.....	29
3-3. 模擬單元模型設定準則依據.....	33
3-3-1. 道路寬度設定依據.....	33
3-3-2. 樓高設定依據.....	36
3-3-3. 溝渠尺度設定依據.....	37
第四章 城市地貌樣式風場對人行道舒適度模擬.....	38
4-1. 現況測量.....	38
4-2. 控制變因影響舒適度程度分析與評估.....	43
4-3. 溝渠地貌之有無對街谷的風環境影響模擬.....	53
4-4. 小結.....	55
4-4-1. 控制變因影響舒適度程度分析與評估結果.....	55
4-4-2. 溝渠地貌之有無對街谷的風環境影響模擬結果.....	55
第五章 結論與建議.....	56
5-1. 結論.....	56

5-2. 建議.....	57
參考文獻.....	58

第一章 緒論

1-1. 研究動機

隨著人口的成長，都市開發密度勢必只增無減，開發後的結果，就是一座座龐大的人工建築肆無忌憚地向外無情的擴張，加上行動熱源、人為活動、建築設備產生的暖氣造成局部地區在全年度溫度升高，造成都市熱島效應現象(如圖 1-1.)，加上我國都市規劃在都市發展初期就已規劃，時間點無法隨時代的變遷而改變，評估方法也權重於使用強度來劃定使用分區，並沒有像建築在專業上會隨時代的變遷而改變或加入新思維來進行評估設計，做整體性開發的前置研究，導致後期需進行改善，達到適合繼續居住的環境。而要如何已在開發地區改善居住環境及在未開發地區避免重蹈已開發地區的覆轍，成為現今全球各都市規劃時的考量重點之一。

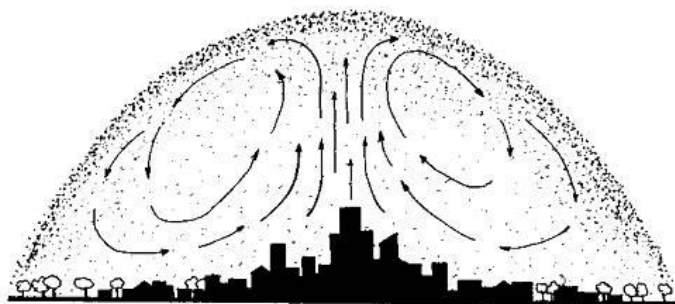


圖 1-1. 都市熱島效應及在其上空形成的塵罩圖(圖片來源:林憲德, 2005)

減緩都市熱島效應主要由風環境、溫熱環境為兩大面向做切入探討，其中，風環境最常被使用在降低都市氣候最直接的方式，手法上多以創造廊道來增加都市戶外通風的效率，如北京在 2014 年《城市環境國際學術研討會》上供佈國家和北京的氣象部門正在研究哪些地區是北京主導風向的通道、通道應該如何維持等，研究成果確實達到降低都市整體溫度。而台灣新北市政府城鄉發展局也於 2013 年 10 月發布台灣首次對於風環境制定相關的都市設計審議原則。

風廊道依種類可分為綠園道、河道、街谷、山谷，主要利用空氣在對流時能夠有完整之路徑提供風的走向進而達到散熱的效果。

過去在城市開發中，針對都市風場的研究眾多(T. R. Oke, 1988；邱英浩 2008；林憲德，2001)，探討對象為研究街道佈局及建築物林立形成的風環境，研究的目的是探討其在都市氣候的性質；而在近幾年台中市開發趨近飽和下，為了因應居住條件及保有品質，城市邊緣被視為新的生活圈，因為靠近郊區，空氣品質等生活環境都優於市中心，極具開發價值，但相對之下，城市邊界屬於低密度之開發，對於風環境的研究在當年並沒有被重視，對於開發應有的環境評估，勢必會缺少參考依據。

台中市在城市整體規劃上，有重要的藍、綠帶覆蓋在整個台中市格狀路網上，其中柳川是貫穿整個台中市的藍帶系統，對於減緩都市熱島的功用是不在話下，也因為流域廣泛且通過整個台中市區，因此先天上就富有完整的路徑借以讓風更容易匯集疏通城市熱源，擁有良好的舒適度以提升生活環境品質(圖 1-2)；起初，柳川之用途為灌溉兼排水，周邊環境以農田為主，但近幾年台中市區開發飽和的情況下，河川兩岸開始被辦公大樓、民宅、公寓、行道樹取代，對於地形上的變化，是否在舒適度上還能夠保有一定水準並且能夠成為被效仿的依據，並將其數據得出以做為新開發區的重要參考值，為是次研究所要探討的課題，在開發觸手已開始向城市邊界發展，為避免原有的熱島效應更趨嚴重，勢必採取相應的措施。

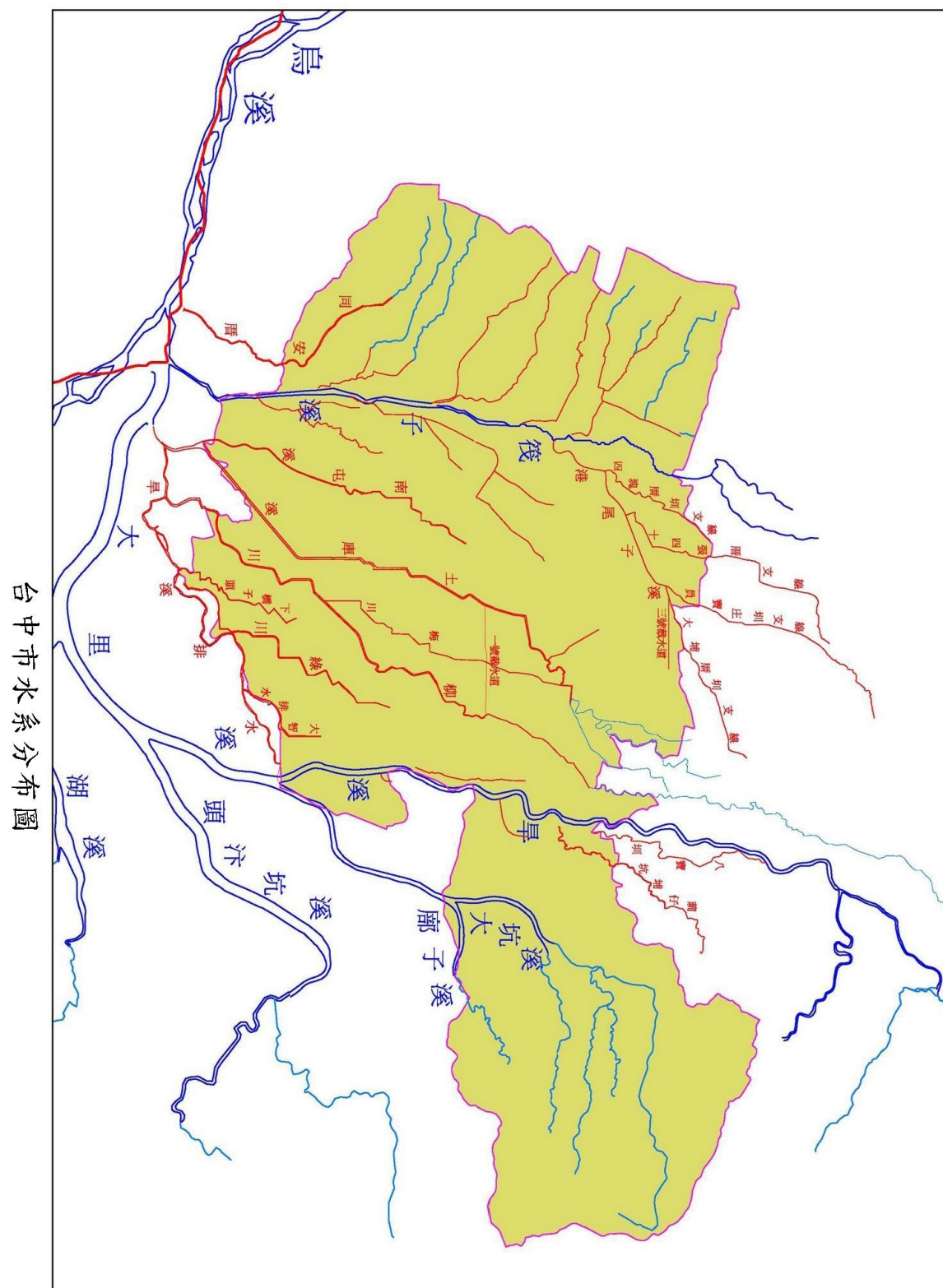


圖 1-2. 台中市河川、溝渠水系分布圖(林殷瑋, 2009)

1-2. 研究目的

本研究欲了解都市現有溝渠地形搭配街谷地形後之人行風環境舒適度，故建構數值模型加以模擬溝渠地形搭配街谷地形時，其人行道上之風場造成舒適度變化情形，並將模擬得出的數值套近開發區做為日後開發者之參考依據，為此擬定本研究目的，主要內容如下：

1. 以現況之柳川地形做風場環境之模擬，了解河谷中不同尺度的變化對人行道舒適度的影響。
2. 得出的數據再找出造成舒適度不同之影響因子，接著定義其影響因子為其控制因子套近開發區，做不同高寬比之河谷地形以因應開發區未來在河谷旁之建物高度、寬度、推縮建築線等建築計畫。
3. 了解造成熱舒適程度變化的控制變因，並找出其控制變因影響舒適度程度大小。

1-3. 研究內容與流程

本研究確認研究目的後，藉由相關文獻回顧及實地走訪來選定研究地區，並分析當地歷史氣象資料，除可初步了解研究地區之氣候概況，亦可作為實測計畫的訂定依據及數值模擬之參數值。藉由實測結果了解研究地區之現況。本研究另以(CFD)數值模擬輔助觀測結果，將現場觀測到的各種參數基準值，如溝渠尺寸，做最初的數值模擬的現況模型，再將初始模型做不同地貌型式的延升，最後得出研究地區及各個型態模型中，有良好之舒適環境的種類，種類確立後，再找出其中影響舒適度最大的控制變因並排列出控制變因之權重分級。本研究之研究方法敘述如下：

1. 相關文獻回顧

文獻回顧法找尋相關之山谷風、風廊道、街谷等研究數據之理論。

2. 參數值之設定

以中央氣象局所測得之台中市氣象資料之詳細狀況以得到環境基本數據，再依照經濟部水利署-第三河川局中各溝渠的尺度比例做數值模型中限制溝渠尺度大小的規範。

3. 數值環境模擬「前置作業」

將現場實測之地貌尺寸之數據帶入 CFD 環境模擬軟體，計算現況環境的舒適度程度，做為初始模型。

4. 模擬改善方案「後置作業」

將舒適度最佳之溝渠地形作為依據，找出其控制因子並模擬其控制因子的組合是可達到能讓 PMV 變化程度較大的自變數配比組合，讓舒適度不佳之河谷有改善之方針，並提供未來都市規劃者規劃建築配置之依據。

本研究共分五個章節進行論述，圖 1-3 為本研究之流程：

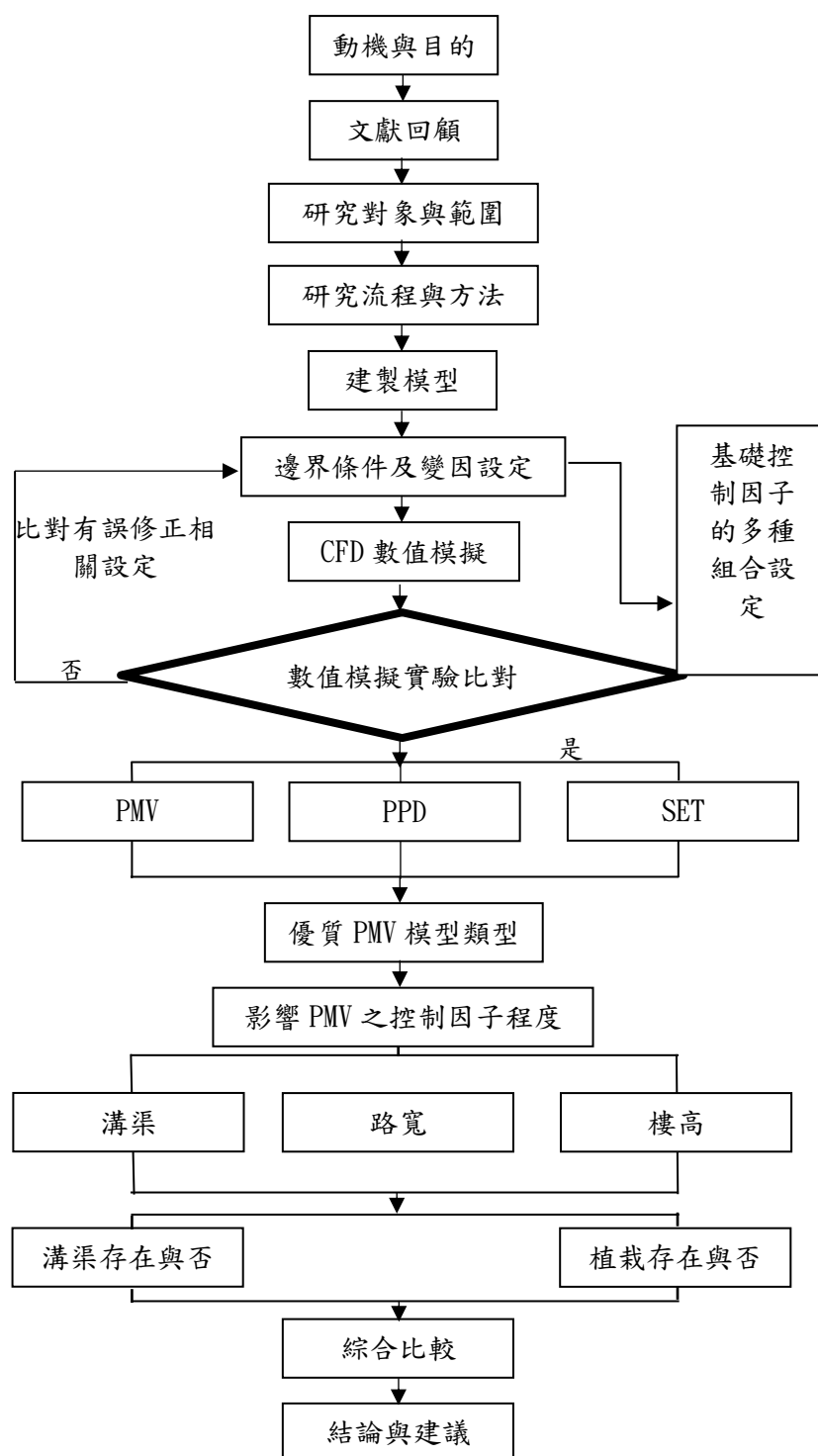


圖 1-3. 研究流程圖

1-4. 研究對象與範圍

台中因先天地形條件，有非常多的河川貫穿整個台中盆地，所以在歷史發展上，這些河川被當地居民用作灌溉的配送水道供農業發展，而時至近遷，當年繁榮的農業社會被工業取代，相繼的人口也隨之暴增，為了能有好的生活環境，政府開始進行整體都市規劃，在當時灌溉用水道被市政府重新定位變為現今城市排水系統-旱溪排水系統，形成現在台中市的都市藍帶，而整個排水系統沿岸也被安排為人行步道及沿岸造景，因為環境優良，周邊也都有規劃住宅區，以利居民利用。在現在全球暖化猖狂下，都市熱島效應存在於都會中已是家常便飯的事實，但可喜的是，各國相關人士對於緩解都市熱源已有一套可信度極高的解決方案-創造風廊道提供風在廊道內部加速流動，帶走廊道周邊溫室氣體，此手法在海外被應用並得到應證，的確是能有效地減緩都市熱島效應，而風道的形式在所提的案例中多為排列整齊的行道樹列、街谷等谷狀地貌，相關研究也多在此範圍，至於河谷地形在應用及研究相對甚少，可能原因是多不存在於大都會中，而研究中，風廊道越完整及長度越長越能突顯散熱效益，相對河谷是有這優勢的，而台中都會區裡剛好附有此類地形，因此在是次研究裡將會以都市溝渠地貌做研究對象，探討其溝渠地貌在加入街谷地貌之多種組合下對河岸旁的人行道，行人使用時的舒適度情形，又台中市藍帶系統分布廣泛，涵蓋整個大台中，為了能夠增加參考價值，在此挑選最接近市中心的柳川排水道，作為研究範圍。

第二章 文獻回顧

熱島效應主要成因為都會地區大量使用熱容量大的混凝土建材、藍綠帶減少降低都市環境內蒸散作用及徑流，以及汽機車和冷氣空調所排出之暖氣，使都市產生大量之熱量，使的都市中心區相較於郊區逐漸高溫化(朱佳仁，2006；程琬鈺，2011，林宛貞，2015)，也因此開始有研究關於如何降低都市效應之溫度(T. R. Oke，1988)，其中以風環境最被認同是可以有效率的降低溫度的方式。

2-1. 風環境

2-1-1. 大氣氣候尺度

不同的大氣問題所涉及的長度尺度和時間(圖 2-1)往往有極大之差異，所以大氣的運動可以依據其水平方向的尺度區分為大尺度(Macro-scale)、中尺度(Meso-scale)、小尺度(Micro-scale)，詳述如下(朱佳仁，2006，頁 17-19)。

(一). 大尺度(Macro-scale)

大氣運動的水平尺度在 1000km 以上的數量級，時間尺度約在 5-30 天左右，譬如高低氣壓區所造成的大氣環流、颱風等。

(二). 中尺度(Meso-scale)

氣流的水平尺度約在 10~100km 以上，時間約為 1-5 天，譬如海陸風、山谷風、地表與大氣之間的互制等問題。

(三). 小尺度(Micro-scale)

水平方向的尺度約為 100~1000m 的範圍，時間尺度約 1 小時，譬如煙囪煙流之擴散，龍捲風，積雨雲等，而這個尺度的氣象在台灣最為常見也是氣象中最不穩定的。

本研究探討的環境參數涉及到的是都市邊界尺度之風環境，以上述之尺度定義應為第三類作為依據，因屬於近地表之氣候尺度，故呼應本研究後述的邊界層理論。

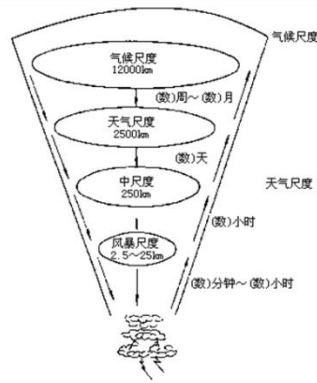


圖 2-1. 衛星預報漏斗(Scofield, 1993)

2-1-2. 邊界理論(boundary layer theory)

此概念的基礎是建立在牛頓的內摩擦定律，當流場中流體之間存在速度梯度時，黏性就以內摩擦力的形式出現，其特點可使低流速流體加速，高流速流體減速，速度梯度越大其黏性也就越大，而普蘭度(1904)就以這原理做為基礎，提出了邊界層理論(boundary layer theory)，他認為流動可以分兩個區域來研究，當流體經過物體表面處時會因為兩邊不同粗糙度而使氣流紊亂並產生延著壁面滑動之運動，而此行為我們稱之為黏性效應。黏性效應是有一定之距離範圍，脫離這層以外的區域時，流體則會處在穩定理想之狀態，因此在穩定與不穩定之交接地帶即是邊界層。如向天空延伸，即屬於文獻回顧所指的都市天篷層，其高度與速度間之關係則可依指數率(power law profile)加以描述如式【1】。另從氣象學的角度，大氣層中當有氣流運動時，氣流會沿著粗糙度較高之地表面產生紊亂風場，大致起算到海拔 500 公尺處時會變成無阻力之穩定流場，而在此範圍裡稱為地表邊界層(planetary boundary layer)。地表邊界層會因為地表的粗糙度及氣象條件的不同而有所變化，當地面平滑時，氣流亦非常穩定，風速也較高，反之則風速低，且會產生強大亂流。(圖 2-2)

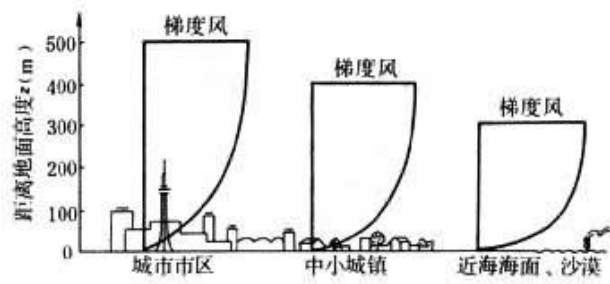


圖 2-2 風梯圖(高層建築結構設計第 6 章)

$$\frac{U(z)}{U_0} = \left(\frac{z}{\delta}\right)^{\alpha} \dots\dots\dots \text{【1】}$$

$U(z)$:指數風速(m/s)

U_0 :邊界層外之梯度風速(gradient velocity)(m/s)

δ :梯度高度

α :指數值

Z_b :粗糙高度(m)

2-1-3. 行人風場

行人風場多指距離地面以上 1.5~2.0 公尺高之環境風場，其由許多因素交互影響而成之複雜氣流運動，影響參數包含風速、風向、建築物外形、相鄰距離等，影響範圍約 3-5 倍主建物樓高的半徑範圍。行人風場亦對都市地區交通廢熱的排放疏散有其影響，因此進行都市設計時須考量行人風場之風速即風向影響因子(Kubota 2006)。在評估行人風場時，若無法進行全區所有位置之風速，則須選擇重要的位置予以評估。有關行人風場之評估要點多為以下四點：

- (一) 基地四周之行人步道和建築物出入口。
- (二) 建築物之迎風面、背風面及角隅處。
- (三) 基地周邊街道與窄巷。
- (四) 基地四周易受風害影響之地區。

上述評點之要項可看出行人尺度之風場的重要性，且絕大部分的測點都在建築物周邊，看出風場深受建築物之影響，也因此評斷行人風場時都以行人行走的安全性及舒適性為主，若行人風場無法達到其舒適性或安全要求，則必須施以相關改善對策，其改善策略為修改建築物或是設置防風設施等，以下幾種為可採取之措施(出自朱佳仁風工程概論 p.151~p.155 2006)：

(1) 建築物的座向：

若矩形建築物的寬邊與該地盛行風向垂直，則建築物的迎風面和角隅處出現強風的機率會較高。建築物的迎風面寬度越寬越高，下切氣流會越強，強風的區域會越大(圖 2-3)。反之，建築物寬邊的座向與盛行風平行，則下切氣流會較弱。故設計建築物時應注意盛行風的方向以配置建築物寬邊的位置。

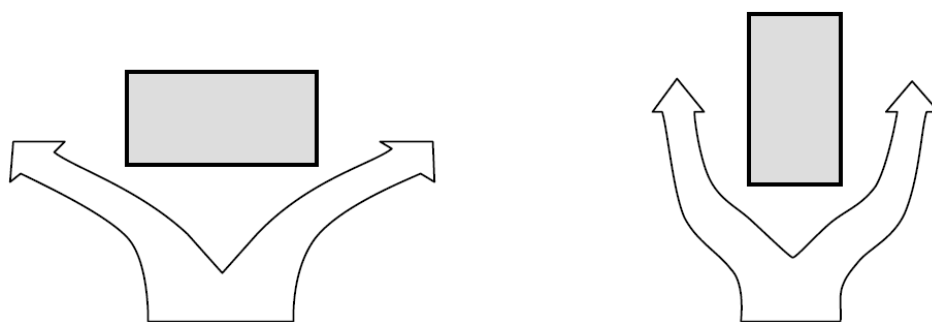


圖 2-3. 建築物座向對環境風場的影響(朱佳仁風工程概論 2006)

(2) 建築物之基座：

若建築物底部數層有突出的基座、平台或裙樓(圖 2-4)，可減少下切氣流對地面行人的干擾。但另一方面，下切氣流在突出的基座上方會形成強烈的渦流，可以配合植栽、棚架、防風網等設施減緩下切氣流的強度。

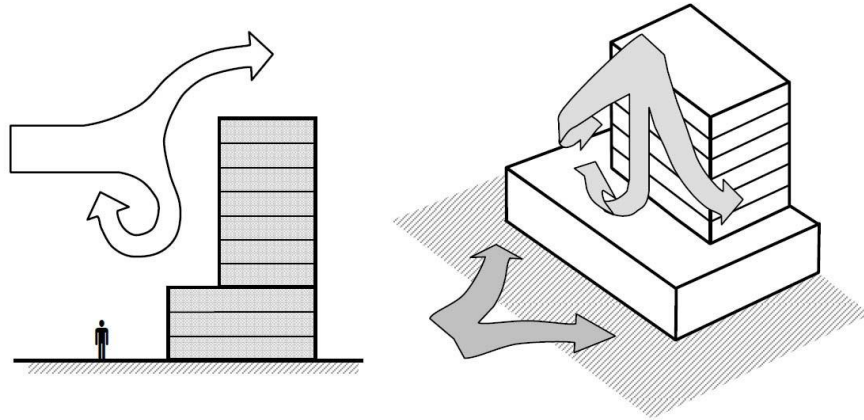
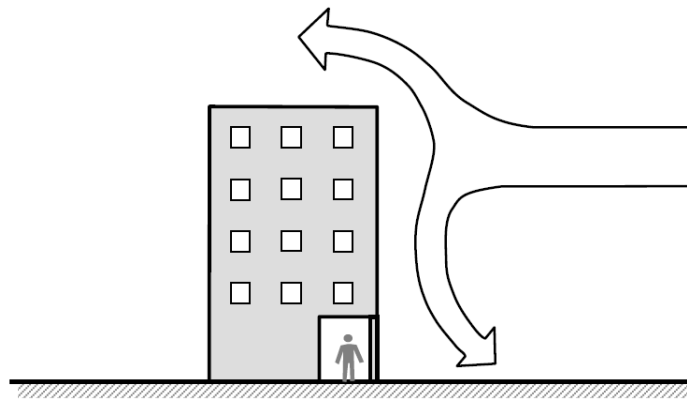


圖 2-4. 建築物基座對下切氣流的影響(朱佳仁風工程概論 2006)

(3) 騎樓：

建築物底部靠近街道處若採用騎樓式設計，不但可以遮日避雨，亦可減少下切氣流對騎樓下方行人的直接影響(圖 2-5)。



(圖 2-5) 騎樓式建築物對行人風場的影響(朱佳仁風工程概論 2006)

(4) 建築物的表面粗糙度：

建築物的表面粗糙度會影響附近的風速和其表面的壓，建築物表面愈粗糙，下切氣流愈弱(圖 2-6)。建築物外形若為圓弧形的斷面，氣流與建築物表面分離的位置和雷諾數及其表面粗糙度有關。

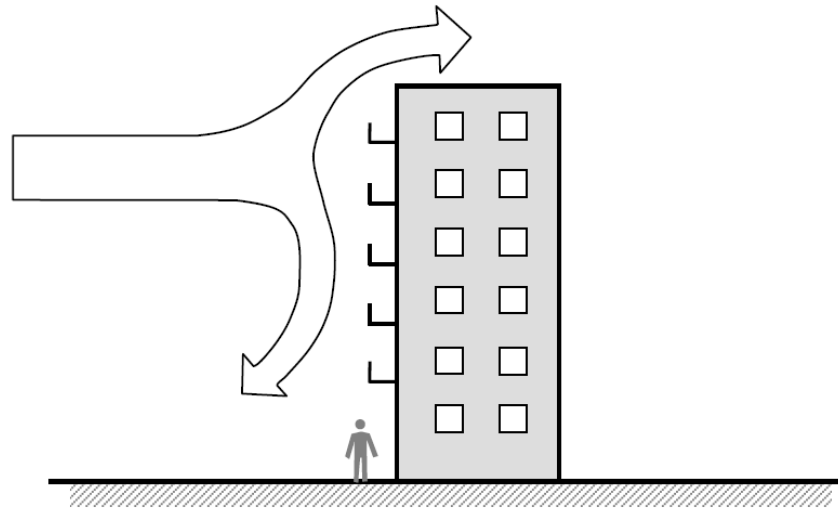


圖 2-6. 建築物表面粗糙度對下切氣流的影響(朱佳仁風工程概論 2006)

而根據朱佳仁在 2006 制定風評估準則時，對於行人風場的可容忍風速最大值應低於 3.00 m/s，超過其值就開始對人行風場帶來不舒適之情況(頭髮飛舞，沙塵)，值得注意的是，3m/s 是以通則的概念所訂定的概略條件，其並無考慮到不同時段配合太陽輻射強度、熱量，應有不同的風速標準，以達到不同之舒適度。

2-1-4. 風廊道

一般廣泛認為城市帶狀通風廊道的形式可以是河流綠地、道路系統、林帶，也可以是高綠覆率、低矮建築且間距大的綠地、附屬綠地、公共綠地；且與風向平行之廊道綠地更有利於通風，前蘇聯學者研究並證實這一點，他們發現隨著街道與風向夾角的增大，風速會越之減少(轉引自周淑貞 1994)。而香港規劃署在 2005 年完成「空氣流通評估方法可行性研究」後，為改善城市空氣流通的情況，在「香港規劃標準與準則」之「城市設計指引」章節中納入了對空氣流通意向之指引，其中對通風廊/風道之說明簡述如下：

1. 為改善空氣流通的情況，應沿主要盛行風的方向闢設通風廊，及增設與通風廊交接的風道，使空氣能夠有效的流入市區範圍，從而驅散熱氣、廢氣和微塵，以改善局部地區的氣候。

2. 通風廊應以大型空曠地帶連成，例如主要道路、相連的休憩用地、美化市容地帶、非建築用地、建築物後移地帶及低矮樓宇群；貫穿高樓大廈密集的城市結構。通風廊道應沿盛行風的方向伸展；在可行的情況下，應保持或引導其他天氣氣流，包括海洋、綠地和山谷的風，吹向已開發地區。
3. 增加市區的通風程度，應將美化市容地帶、建築線後移地帶及非建築用地銜接起來，並將連接主要道路的小路廣闊，藉以構成通風廊/風道。
4. 主要大街/幹道應與盛行風的方向平行排列或最多成 30 度角，令盛行風得以進透入全區。與盛行風成垂直角的街段，應盡可能縮短街道長度，這樣即能減少空氣滯留地帶，亦可為市區增闢通風廊。

2-2. 人體熱舒適度的評價指標

PMV(Predicted Mean Vote)，是丹麥的範格爾(POF Anger)教授提出的，表示人體熱反應（冷熱感）的評價指標，代表了同一環境中大多數人的冷熱感覺的平衡；PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied)，因為 PMV 指標並不一定能夠代表所有人的感覺。因此 Fanger 又提出了預測不滿意百分比 PPD 指標來表示人群對熱環境不滿意的百分數，並用概率分析方法，給出了 PMV 與 PPD 之間的定量關係。

2-2-1. PMV 人體舒適度平均度

熱舒適模型是基於體溫調節和熱平衡理論得出的。根據這些理論，人體通過生理過程，來保持新陳代謝產生熱量和身體散失熱量的平衡，是熱平衡達到熱中性感覺的首要條件；PMV-PPD 熱舒適模型是人體體溫調節最早的數學模型，為該模型提出的指標表示大多數人對熱環境的平均投票值，其有七級感覺(表 2-1)， $PMV = 0$ 時意味著室內熱環境為最佳熱舒適狀態。ISO7730 對 PMV 的推薦值為 PMV 值在 $-0.5 \sim +0.5$ 之間。PMV 指數可通過估算以下環境參數獲得，如：

- (1) 空氣溫度
- (2) 平均輻射溫度
- (3) 相對空氣流速
- (4) 空氣濕度
- (5) 代謝率
- (6) 著衣量

表格 2-1. PMV 熱舒適程度分級

PMV 指標	人體感受
3	炎熱
2	溫暖
1	微溫
0	適中
-1	微冷
-2	涼爽
-3	寒冷

本研究繪製

2-2-2. PPD(不滿意百分比)

此項目是為了補足因實驗對象會因為年齡、性別、身體在實驗當下的狀況，及個體對環境舒適度的接受程度不同而提出另一個數值，單位為百分比，其計算公式如下【3】：

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)] \dots \dots \dots \text{【3】}$$

根據 ISO7730 對於 PMV 的推薦值落在 $-0.5 \sim +0.5$ 、且 PPD 百分比 $<10\%$ ，而在室內空間方面，其 PMV 大約以 $-0.7 \sim +0.7$ 、PPD $<15\%$ ，作為熱舒適度之參考，另一方面，戶外空間之 PMV 則須配合標準有效溫度(SET or ET)進行比對。

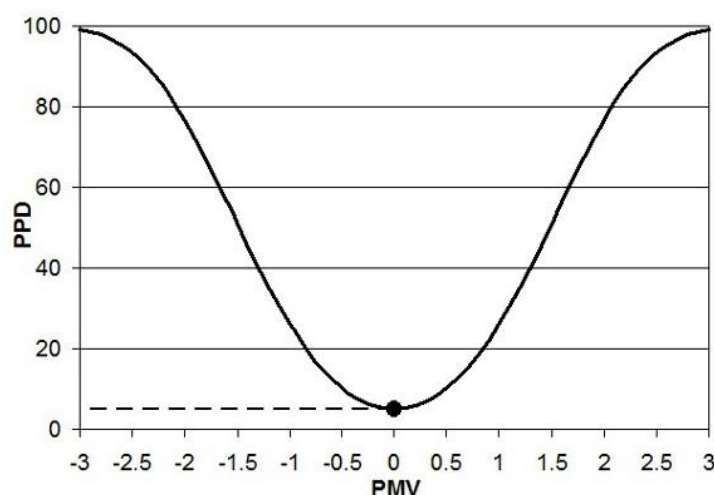


圖 2-7. PMV 建議舒適值範圍(本研究繪製)

2-3. 計算流體力學

CFD 中文全名為計算流體力學（英語：Computational Fluid Dynamics，簡稱 CFD）是 21 世紀流體力學領域的重要技術之一，CFD 是一種對各種類型的流體在各種速度範圍內的複雜流動於計算機上進行數值模擬的計算，從而預測流場的流動，如傳熱，相變（如凝固和沸騰），化學反映（如燃燒），機械運動（渦輪機），以及相關結構的壓力和變形（如風中桅杆的彎曲）等等的性質。

CFD 數值模擬軟體之計算結構分成三個部分：前處理、求解器、後處理三部份組成，而其三者各有其獨特的作用，如表(2-2)所示。

表格 2-2. CFD 計算結構詳細內容(百度百科-CFD)

	前處理	求解器	後處理
作用	a. 幾何模型 b. 劃分網格	a. 確定 CFD 方法的控制方程 b. 選擇離散方法進行離散 c. 選用數值計算方法 d. 輸入相關參數	速度場、溫度場、壓力場及其它參數的計算機可視化及動畫處理

2-3-1. CFD 網格系統

CFD 的計算原理是採用離散的方式處理，把空間區域離散化成小胞腔(小立方體)，以形成一個立體網格或稱格點(圖 2-8)，然後應用水平與垂直來回切割的算法來解運動方程式，另外，這樣的一個網格可以是不規則的，例如在二維由三角形組成，在三維由四面體組成(圖 2-9)或者是規則的；前者的特徵是每個網格必須單獨存儲在內存中，而運算域方面，CFD 能求解的範圍尺度上至整個大氣環境，下至人體尺度，更可縮至血液在血管裡流動的尺度大小；另一方面，網格設置模式也會因為求解範圍的大小而改變其設置模式，基本上運算域在中尺度以下時，可用基本的正交往格分割，如果欲求解的範圍是高度動態的並且在尺度上跨越很大的範圍，網格本身應會隨動態時間調整，譬如在自適應網格細化方法中。

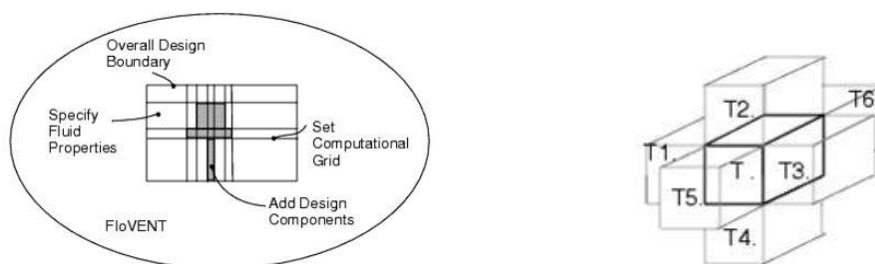


圖 2-8. CFD 正交網格系統(百度百科 CFD)

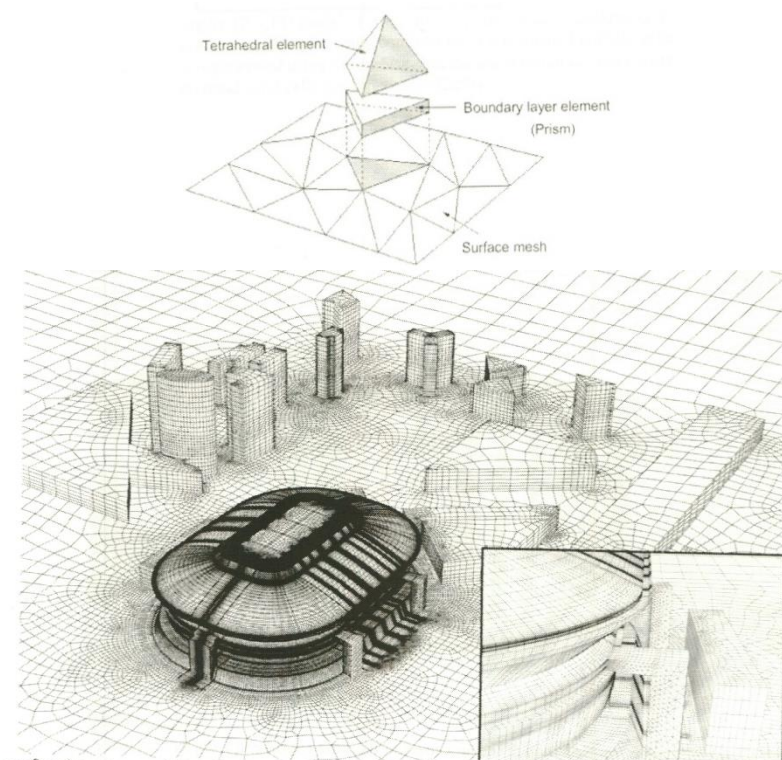


圖 2-9. 不規則網格系統(百度百科 CFD)

2-3-2. 計算流體力學相關軟體分析

在開頭介紹已知 CFD 軟體是包含各種關於流體計算的總稱，而其各式各樣的流體計算所提供的功能也不同，以現在業界常用的軟體中，以 CFX、Fluent、Phoenics、CFD-ACE+ (CFDRC)、CFX、Star-cd 等最常見，(其詳細簡介如附錄 A)，其軟體的應用領域及優缺點如表 2-3，經詳細比對後，最適合本研究之計算流體軟體以 FloVENT 作為輔助該研究之計算工具，FloVENT 是一套專門應用於建築通風的 CFD 軟體，可以用來預測三維氣流場現象，熱傳現象(熱傳導，熱對流，熱輻射)，濃度擴散現象及舒適性分析，進行建築物內外流場的模擬。國內外客戶常應用在無塵室流場分析及電腦機房的氣流場模擬，是提供給從事 Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) 系統設計及改善工程公司必備的輔助設計工具，同時 FloVENT 的後處理程式是與客戶溝通的最佳工具，除了可以輸出靜態的結果圖檔外，也可以產生 3D 動態流場結果，而貼圖功能(Texture Mapping) 及 AVI 動畫輸出可以讓非技術背景的同事或客戶了解您的分析結果，用來當作雙方溝通的橋梁。

表格 2-3. CFD 軟體分析表

軟體名稱	優點	缺點	適用範圍
FloVENT	計算速度快速、效率高	只用於建築	專用型
Fluent	計算速度叫 CFX、Phoenics 等快	處理器格式封閉 物理模型較少	泛用型
CFX	可計算幾何形狀複雜的流體問題 精於旋轉機械	計算速度緩慢	泛用型
Star-CD	網格生成形狀多變， 計算穩定，在汽車工業上甚精	操作複雜	泛用型
Phoenics	物理模型多變 處理器格式開放	網格比較單一粗糙， 針對複雜曲面或曲率小的地方的網格不能 細分	泛用型
FloEFD	1. 使用簡單 2. 網格自動生成 3. 減少物理原形和 製作成本	已趨近於最佳狀態	泛用型

(本研究彙整)

FloVENT 的功能作用(摘錄自:Mentor Graphics)

1. 可以適用於所有類型和規模的建築物(Can be applied to buildings of all types and sizes)

FloVENT 可以分析各種不同型態及尺寸的建築流場，包括中庭式建築，購物中心，辦公室，戲院，機場，倉庫，電腦機房及資料中心，也可以模擬分析車廂內乘員舒適性，醫院及地下停車場的空氣品質問題。

2. 智慧型建模(Create Intelligent Models)

FloVENT 內建各種建築通風分析專用的資料庫及智慧型建模系統 SmartParts，包含 Diffusers, Heat exchangers, Grilles, CRAC units... 等，讓使用者可以很容易建構三維分析模型。SmartParts 是 Mentor Graphics 累積了超過 20 年經驗所開發的專家系統，可以讓模型建構更直覺，計算時間更短，計算結果更準確。

3. 與 CFD 軟體整合(Tight integration with CAD)

FloVENT 可以與市面上主流的 MCAD 軟體整合，包括可以直接讀取 Pro/ENGINEER，Autodesk Inventor，SolidWorks 及其他標準

CAD 格式檔案，也包括了 DXF 格式檔案。不同於其他分析軟體，FloVENT 可以自動修整幾何外型，讓分析更有效率及準確。

4. 直角坐標網格系統(Use of a robust structured Cartesian mesher minimizes solution time)

FloVENT 採用結構性直角坐標網格系統，這是最穩定且在數值計算上最有效率的網格系統，而局部網格加密功能 (Localize Grid) 可以讓您自由控制需要加密的區域，如此可以維持計算的準確性同時減少運算時間。

5. 自動優化(Automatic Optimization)

SmartParts 的建構方式及結構性直角坐標網格系統，可以讓實驗設計法 (Design of Experiments) 套用在 FloVENT 上，實驗設計法是一套結構性的方式來探討不同設計參數 (例如：出風口風量，開孔位置... 等) 與結果 (例如：舒適性指標，濃度擴散及排除效率... 等) 之間的關係，利用實驗設計法就可以找出不同設計參數的最佳組合來達到設計目標。

由以上經歸納分析，FloVENT 之應用領域以建築尺度為主，內容包含：

1. 無塵室設計，半導體生產等需高精密之實驗室或醫院
2. 建築通風
3. 防火災害模擬、煙控
4. 防止有毒物擴散模擬
5. 建築外部流場結合氣象與地形，環境風場應用
6. 冷凍空調

2-3-3. 紊流模型(turbulence model)

FloVENT 軟體提供層流模型與紊流模型兩種環境邊界計算法，其計算依據採用邊界理論的概念(詳見 2-1-2)，根據 1882 年雷諾實驗可知流體速度越快會造成流體的不穩定性，反之流體會較穩定，而這一種不穩定狀態我們就稱為紊流，反之穩定之氣流我們稱之層

流(圖 2-10)，而穩定之氣流在我們所生活的對流層中是不大可能發生的狀況，基本上都以較擾亂之氣流為主，而亂流最常見的特徵就是在流場中會有許多小漩渦。

因此本研究模型將以紊流模式之氣流狀態帶入，選擇較被廣泛使用之 $k-\varepsilon$ 模型，其優點是操作簡單、縮短計算時間，且能得出準確之流體預測性，經濟，合理之精確度。

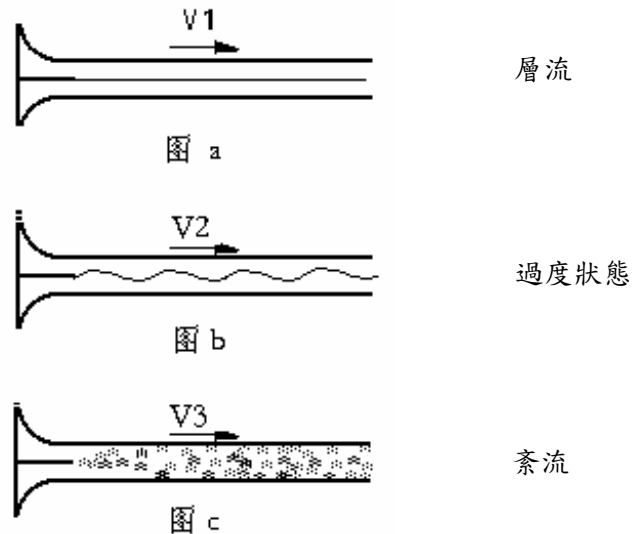


圖 2-10. 雷諾實驗(網路實驗圖片)

綜合以上評估後，CFD 數值模擬具備了可解決傳統實驗所要面臨到的問題：

1. 實驗時間過長
2. 所需經費過多
3. 消耗人力及物力
4. 須將問題逐一探究，無法一次性得知數據

因 CFD 能一次性解決上述問題，雖準確性無法與現況調查來的高，但其精確度已被證實是可信度極高之軟體，故本次研究選擇以此方式進行。

第三章 研究設計

本研究利用 CFD 求解流場做為主要研究方法，並將實測得出之模型樣式與數據帶入評估式，以得出初步模擬方案結果，再將其做更進一步延伸探討，以擬定新的都市設計因子，方得在實質環境下可做更多的選擇，讓整體開發能夠因地制宜。在進行模擬之前，基本模擬所需求的參數須與其所要對應到的模擬地點相輔相成，已達成模擬的可用性與參考價值，以下針對所選研究地區之源由及參數資料選用依據做說明。

3-1. 研究地區

本次研究所選地點為柳川排水幹線，為經濟部水利署第三河川局所管轄之台中市旱溪排水系統，柳川排水幹線為其中分支出的一條，在所有旱溪排水系統中屬第 2 長，柳川所流經之區域在民國 58 年為配合柳川下游台中市高程度之都市開發腳步，將太原路以北之柳川排水截流入土庫溪再排入旱溪排水，主流長度變更為 10.57 公里，成為現今所看到的柳川，也是此次研究所選長度做為研究範圍。

起初，柳川計畫排水區域位在台中盆地西南隅，範圍涵蓋豐原市、潭子區、台中市及烏日區等行政區域，集水區面積約 48.57 平方公里，而後因應台中市政府規劃，將流域及集水區域變更，變更後其柳川排水權責起點為與旱溪排水匯流處，截流後權責終點為太原路截流溝，上游銜接北屯支線，集水區域面積變為 9.79 平方公里（圖 3-1、3-2）。因為在整個旱溪排水系統中，是唯一貫穿台中市中心得河川、長度達到 10.57 公里，流域多半經過住宅區，且經過現況調查，除了沿岸設置行道樹與人行道外，也有豐富的使用行為及景觀規劃（圖 3-3），因此選定此排水線為研究地區，而研究方式則以溝渠的橫斷面進行，即柳川排水線本體包含到向兩側延伸至建築線的橫斷面（圖 3-4）做最初單元模型的藍本。

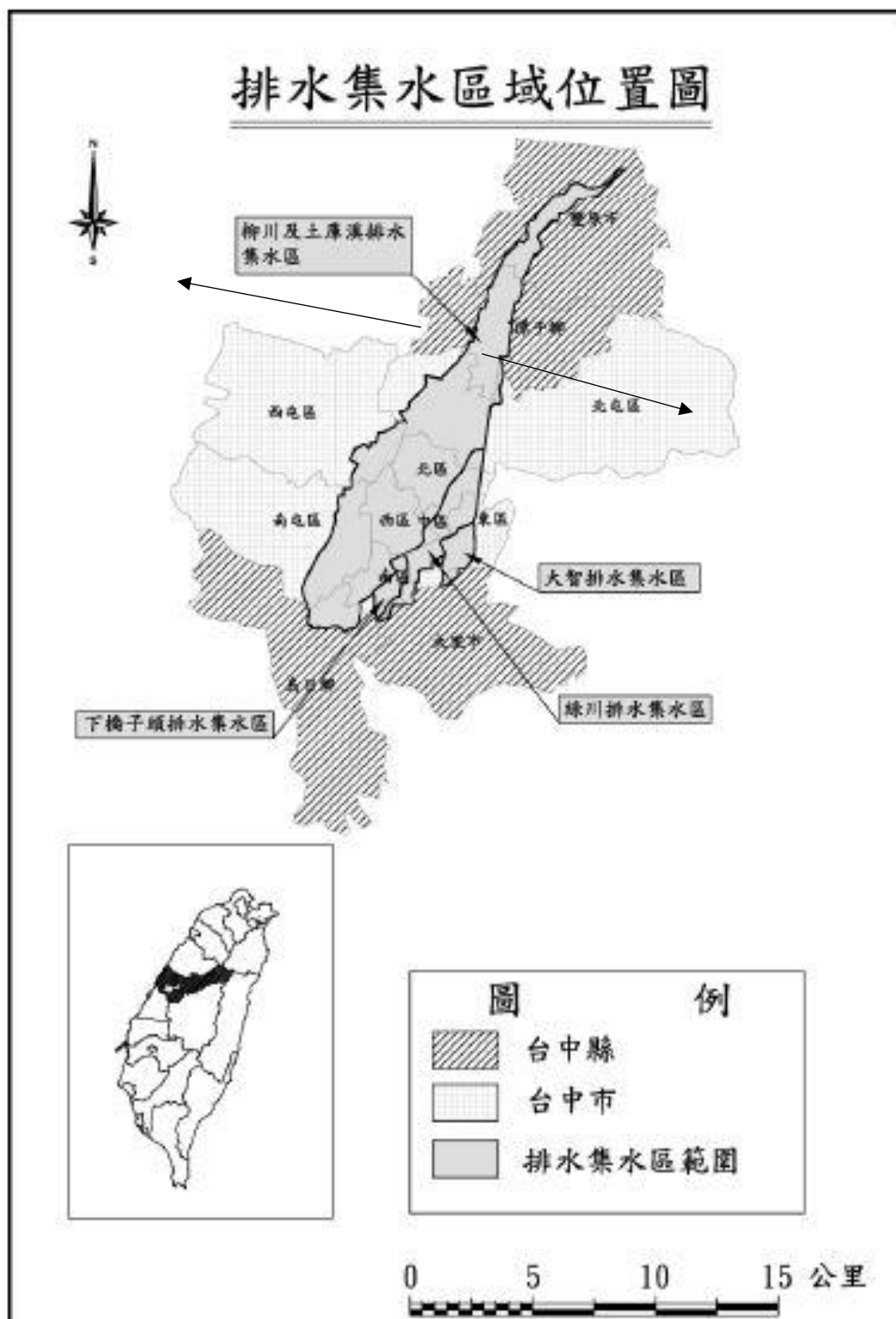


圖 3-1. 柳川原流域位置圖與集水區範圍(經濟部水利署，2009)

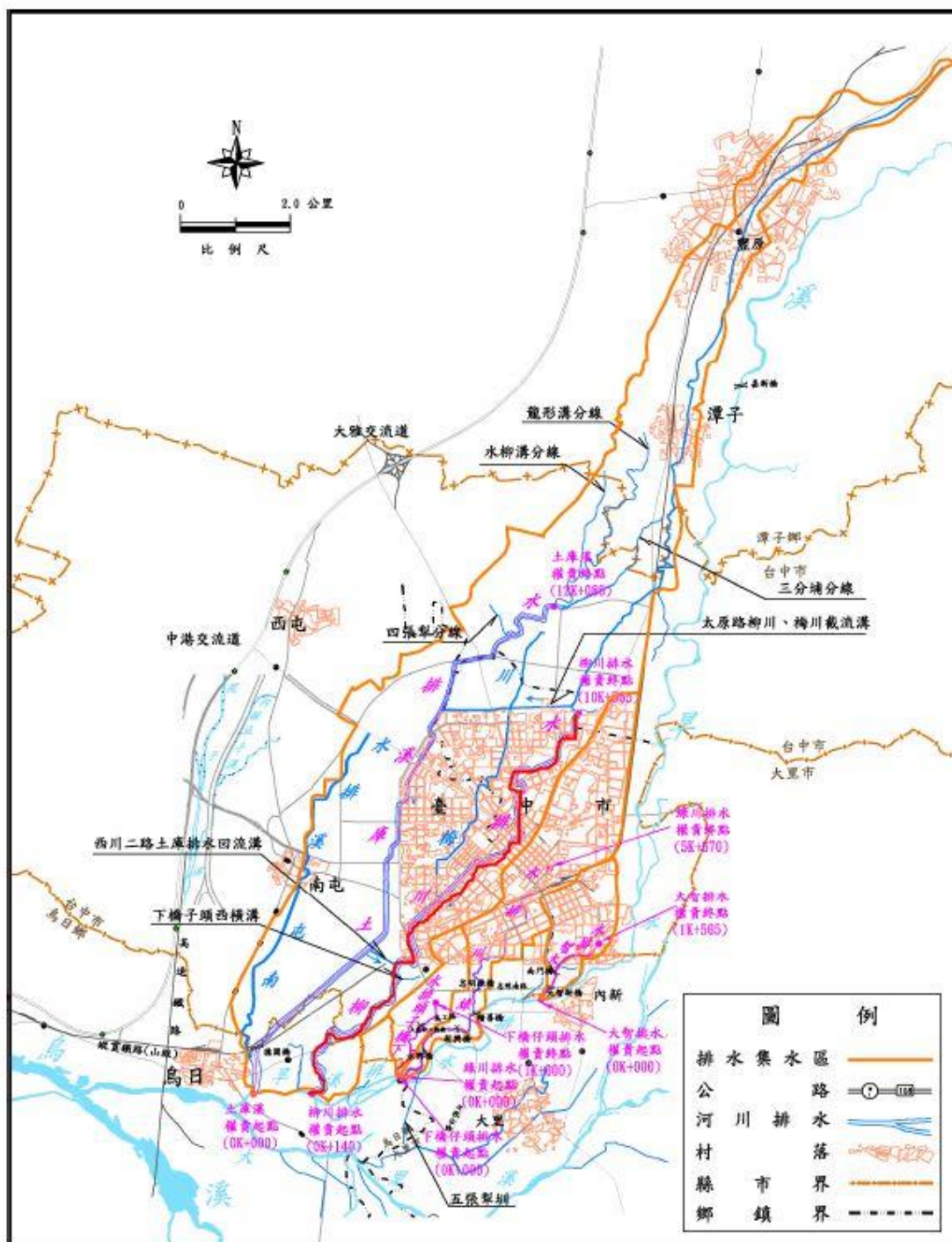


圖 3-2. 截流後柳川排水幹線範圍流域詳細圖(經濟部水利署，2009)



圖 3-3. 柳川沿岸使用行為及景觀(本研究繪製)

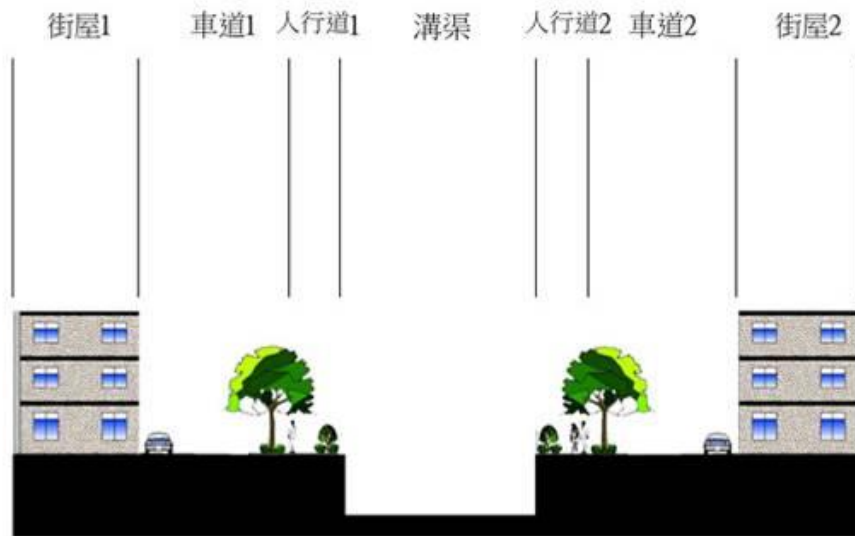


圖 3-4. 柳川橫切面示意圖(本研究繪製)

3-2. 研究地區氣象資料分析

本研究為了瞭解地貌對於人行道舒適度之影響，因此對於舒適度求解要置入的參數值來源做說明。首先，在文獻回顧裡已提到，在計算舒適度時需由 6 項參數帶入計算，其中濕度、風速、溫度、平均輻射溫度是由外部環境取得。

濕度：

本次研究地點位在台灣中部地區-台中行政區，在全球氣候中屬亞熱帶地區，全年夏季平均溫度落在 28-29°C，冬季溫度落在 16-19°C，近 30 年台中平均溫度 23.3°C，全年總降雨量在 1773 公厘，分析得出降雨量最多的月份分佈在 6-8 月夏季時段，如圖 3-5 所示，其中在此範圍的降雨量多來自春夏季交替時會發生的大氣現象-梅雨季，其次颱風季，其梅雨之降雨量佔雨季總降雨量的一半以上，因水源來源多屬颱風及梅雨過境時所帶來的雨水，經分析得出，颱風滯留時間不長，一年當中只有少數颱風會登陸，而梅雨季雖會帶來豐沛的水量，可只有短期時間，所造成的結果會是對台中

旱溪排水系統中之排水線無法時常達到一定之水量高度，因水量不穩定，於此在參數設定上將水體所造成的環節影響設為固定值。

風速/溫度:

風速資訊中，取中央氣象局在 2015 年所觀測之數據(圖 3-6.)，藉由台中氣象站歷史氣象資料之月均溫圖，判斷平均溫度較高之月份，因而選定分析 6 月當月之風速、溫度等氣象資料，並以當月最高溫度之時間點，做風速參考，如表 3-1、圖 3-7 所示。

會挑選全年最高溫度來計算行人風場舒適度值，其目的在以觀察地貌在如此嚴苛的環境下，其行人舒適度值會坐落在整年度中之哪裡，換句話說，也就是運用嚴苛環境得出整年當中行人體感舒適度最壞的一天，再者觀察其地貌為哪一種類型會造成舒適度最不佳之狀況，如此一來，如果其舒適度值在經過計算下尚可接受，這樣在其餘環境溫度低於此天的情形下，舒適度皆會優於最炎熱當天。

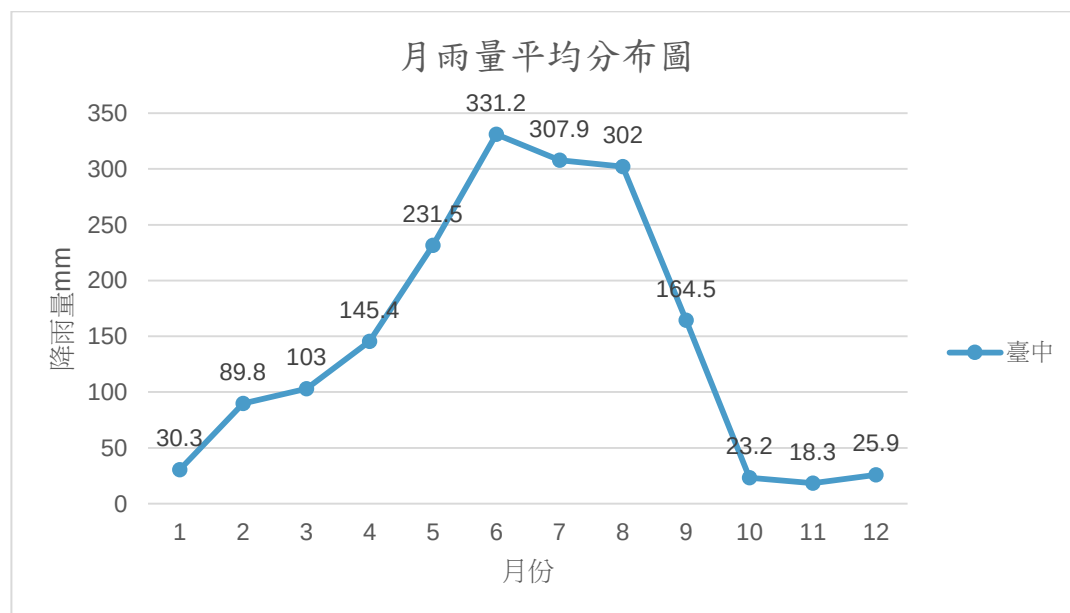


圖 3-5. 台中近 30 年月平均降雨量分佈圖(本研究繪製)

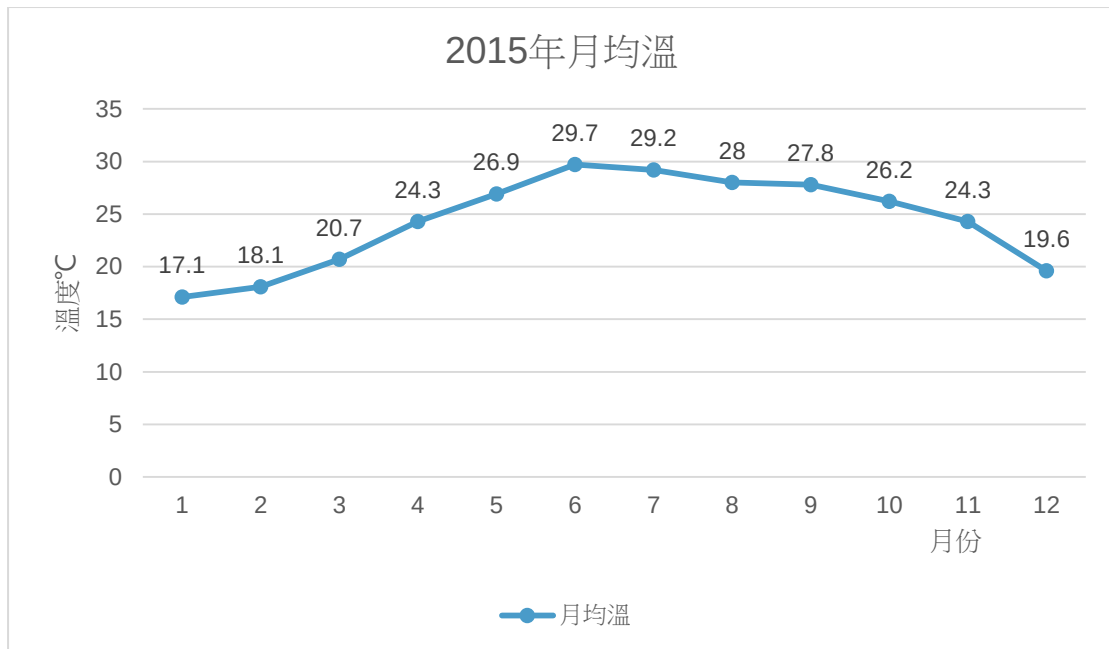


圖 3-6. 台中氣象站 2015 年之月均溫(本研究繪製)

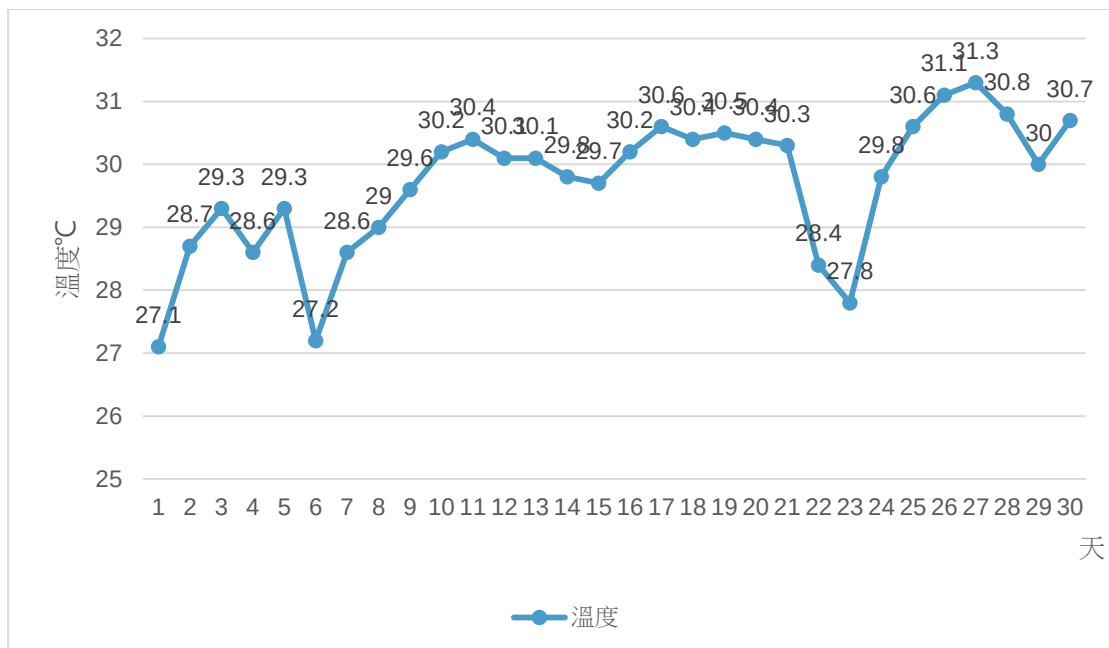


圖 3-7. 2015 年 6 月當月溫度變化圖(本研究繪製)

表格 3-1. 2015 年台中 6 月當月氣象資料

觀測時間	氣溫	風速	風向	日照率	全天空日射量
(LST)	(°C)	(m/s)	(最多風向)	(%)	(MJ/m ²)
ObsTime	Temperature	WS	(360degree)	SunShineRate	GloblRad
			WD		
1	27.1	1.0	210	12.6	11.49
2	28.7	1.5	170	66.0	20.60
3	29.3	1.7	200	73.3	21.63
4	28.6	1.4	250	43.7	17.60
5	29.3	2.1	190	49.6	18.77
6	27.2	0.9	200	13.3	10.95
7	28.6	1.2	190	42.8	18.24
8	29.0	1.8	180	65.7	18.95
9	29.6	1.9	200	80.4	22.87
10	30.2	2.0	230	78.2	21.76
11	30.4	2.1	190	76.0	22.04
12	30.1	1.7	190	74.5	22.31
13	30.1	1.9	240	65.6	20.40
14	29.8	1.5	250	68.5	23.04
15	29.7	1.5	240	58.9	19.34
16	30.2	1.8	240	78.8	21.89
17	30.6	2.0	180	79.5	22.88
18	30.4	2.1	180	52.3	17.16
19	30.5	1.5	220	67.7	21.02
20	30.4	1.1	330	68.4	19.54
21	30.3	1.2	330	47.1	17.07
22	28.4	0.9	130	22.8	9.29
23	27.8	0.9	220	42.7	14.80
24	29.8	1.7	230	62.6	20.12
25	30.6	2.0	160	55.2	17.23
26	31.1	2.2	170	68.5	21.98
27	31.3	2.4	170	75.1	20.73
28	30.8	2.2	190	62.6	18.60
29	30.0	2.0	160	48.6	17.23
30	30.7	2.3	150	69.3	19.75

(中央氣象站)

3-3. 模擬單元模型設定準則依據

因本次研究地點在台中市中心，探討的主體與地貌息息相關，但因為是以都市尺度為切入點，對於溝渠，城市街道與建築物高度等變因極其複雜，因此需訂出一套標準，以避免在模型設定上難以歸納分類，因此對於尺度的控制需要釐清。

3-3-1. 道路寬度設定依據

本次研究在道路設定上採現況調查所得到之資訊搭配公路工程-公路路線設計規範準則交互比對，分析出柳川沿岸公路類型為地區型公路（圖 3-8.），再套入表 3-2 提供之資訊，得出路寬有，3.5m、5.5m、11m、19m，而在道路旁之人行道寬度設定標準按照內政部營建署於民國 90 年公布之「市區道路人行道設計手冊」規定，提出依不同土地使用分類，其人行道單側寬度規劃原則，如下：

- 一、商業區與公共設施用地人行道淨寬度宜留設4公尺以上為原則。
- 二、住商混合區淨寬度宜留設2.5公尺為原則。
- 三、住宅區淨寬度宜留設1.5公尺為原則。
- 四、工業區淨寬度宜留設1.5至3.5公尺為原則。
- 五、新設小學之人行道寬度應依據當地實際情況予以彈性增加。

依柳川流經的使用分區分析，多為住商混合區，按人行道選定原則，人行道寬度以 2.5 公尺，並與車道寬合併計入，變更後路寬為 6m、8m、13.5m、21.5m。

	
地點:柳陽東街 車道型式:單線道單向(含路邊停車) 總路寬(含人行道):8m	地點:健行路 車道型式:單線道單向 總路寬(含人行道):6m
	
地點:柳川西路四段 車道型式:雙向單車道(含單邊停車) 總路寬(含人行道):13.5m	地點:柳川西路二段 車道型式:雙向單車道+慢車道 (含單邊停車) 總路寬(含人行道):21.5m

圖 3-8. 柳川沿岸道路現況照片

表格 3-2. 我國公路使用行為與路寬分級表

公路類型	使用性質	車道寬度 W (m)
高速公路	1. 為公路之最高級型式，屬於完全出入管制之公路，除起迄點外，出入又均設有交流道。 2. 為雙向分隔行車與單方向為雙車道以上之公路。	(1) 3.50~3.75m (2) 慢車道與之平行，其車道最小不得低於2.5m
快速公路	1. 為公路之次高級型式，屬於完全或部分出入管制之公路，出入又原則應設交流道；但必要時，其與主、次要公(道)路相交之出入又可為號誌管制路口。 2. 為雙向分隔行車與單方向為雙車道以上之公路。	(1) 3.25~3.50m (2) 慢車道與之平行，其車道最小不得低於2.5m
主要公路	1. 以服務通過性交通為主之公路，或為連接區域內中心商業區與周圍住宅區、市郊中心區與市內主要社區間之交通幹線。得設有行人與機、慢車使用之交通設施。 2. 為雙向雙車道以上之公路。	(1) 3.25~3.50m (2) 3.0~3.5m (3) 慢車道寬最小2.0公尺
次要公路	1. 為連接主要公路系統間之公路，具有汽車、機慢車與行人混合之多種交通服務功能。 2. 為雙向雙車道以上之公路。	(1) 3.0~3.5m (2) 慢車道寬最小2.0公尺
地區公路	1. 為提供地區性出入連接次要公路之公路，具有汽車、機慢車與行人混合之多種交通服務功能。 2. 為雙向雙車道或可供雙向行車之單車道公路。	(1) 3.0~3.5m (2) 慢車道與汽車道共用時，其寬度宜採 5.5m 以上

(本研究繪製)

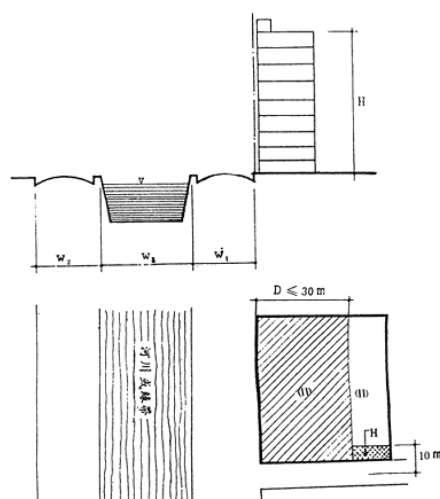
3-3-2. 樓高設定依據

本次研究模型中建築物高度為了能夠找出模型脈絡，採建築技術規則第 14 條及第 15 條所訂定之計算樓高條件並與現況建築物類型資訊做交互比對，對於建築物之容積率計算樓高方式將不採用。

其第 14 條內容為：（面前道路寬度與建築物之高度限制）建築物高度不得超過基地面前道路寬度之一・五倍加六公尺，而面前道路之計算方式如下（經整理）：

- 一、道路邊指定有牆面線者，計至牆面線。
- 二、基地臨接計畫圓環，以交會於圓環之最寬道路視為面前道路；基地他側同時臨接道路，其高度限制並應依建築技術規則第十六條規定。
- 三、基地以私設通路連接建築線，並作為主要進出道路者，以該私設通路視為面前道路。
- 五、基地面前道路中間夾有綠帶或河川，以該綠帶或河川兩側道路寬度之和，視為基地之面前道路，且以該基地直接臨接一側道路寬度之二倍為限。

依據法條所述，柳川因為永久性空地，滿足技術規則第 14 條第五款項所規定，因此樓高設定將採納其計算方式，詳細計算方式如圖 3-9 所示。



- ① W_2 為綠地或河川，建築物高度依第 14 條第 5 款
 $H = 1.5 (W_1 + W_2) + 6\text{m}$ 且 $H \leq 1.5 (2W_1) + 6\text{m}$
- ② 建築物高度依第 15 條第 1 款
 $H = 1.5 (W_1 + W_2)$ 且 $H \leq 2W_1 + 6\text{m}$
以上①，②選擇較寬之規定適用之。
- ③ 本編第 15 條適用本圖例之規定。
內政部 77.6.8 台(77)內營字第 601414 號函訂正。

圖 3-9. 樓高計算詳細圖(建築技術規則)

3-3-3. 溝渠尺度設定依據

台中市旱溪排水系統在規劃排水量時，是按照每 10 年的洪峰流量計算洪水位下去規劃路線長度、渠度、與深度，如表 3-3。其中柳川排水線整段剖面尺寸經經濟部水利署-旱溪排水治理計畫設計完之結果，共有四種溝渠樣式，如圖 3-11 所示，經分析計算，得出溝渠深、寬比例有三種，如下：

(1)1:1.5

(2)1:2.5

(3)1:5

其中的高度為方便計算及後續分析作業，將比例中的 1 取現況高度平均值 4 公尺，再按比例計算其寬度在 6 公尺~20 公尺間，為了能將分析結果貼近實際環境，增加參考價值，其寬度將設定在此寬度範圍內。

表格 3-3. 柳川 10 年防洪水位計畫表

排水名稱	主要地點	斷面號	河心累距(m)	計畫渠寬(m)	計畫洪水位(m)
柳川排水	排水出口	1	0k+000	現況渠寬	29.33
	和平柳橋	26	3k+585	現況渠寬	49.37
	五權柳橋	40	5k+540	現況渠寬	62.89
	進化柳橋	75	10k+260	現況渠寬	104.20

(經濟部水利署)

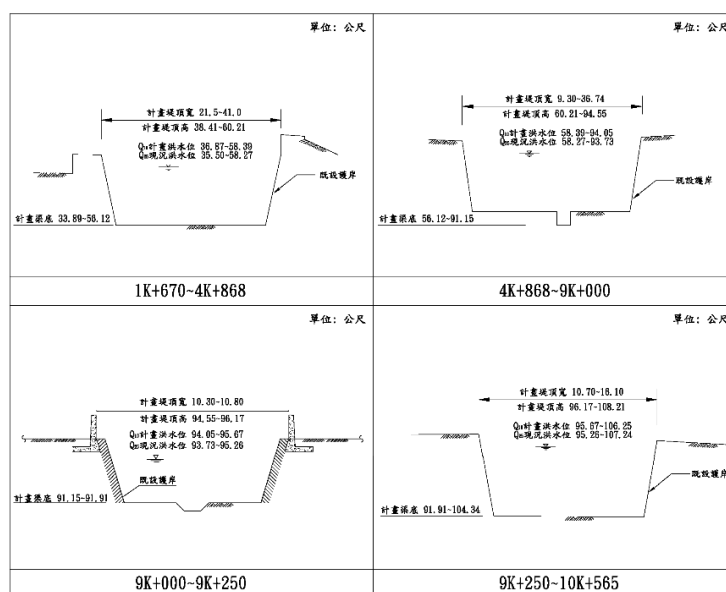


圖 3-11. 柳川溝渠橫斷面尺寸詳圖(經濟部水利署)

第四章 城市地貌樣式風場對人行道舒適度模擬

本研究模擬分現況組與實驗組兩組，其中現況組單元模型由現場實測搭配法規所生成，判讀在現實世界已存在的地貌形式何者在人行舒適度上較佳，再進行舒適度優劣篩選，實驗組則是藉由現況組優劣篩選後，為了找出影響分子對舒適度影響程度而設計的模擬模型。

4-1. 現況測量

在 2015 年 9 月 24 日當天經現場觀察地貌形勢所產生的風環境及人體舒適度，分別找了體感舒適度較好與不好兩種情形，體感舒適度較好的位置在進化北路與柳陽東街的交叉口，相對位置圖如圖 4-1 所示，經測量其所測得之地貌尺寸如表 4-1。

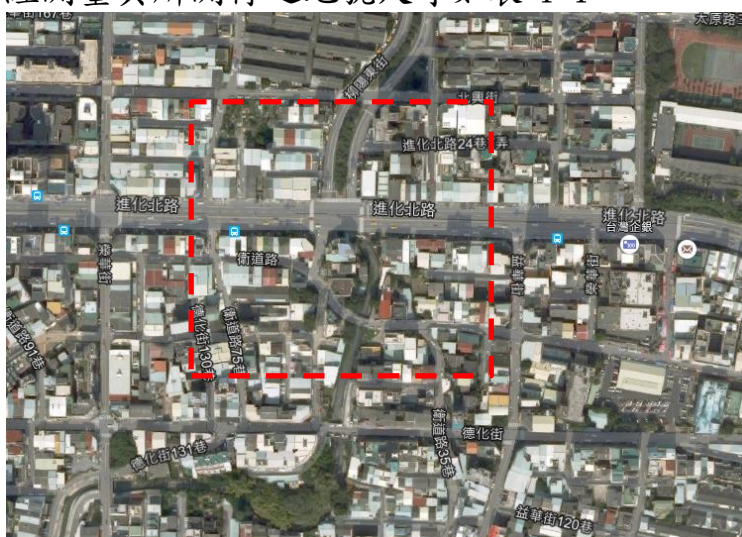
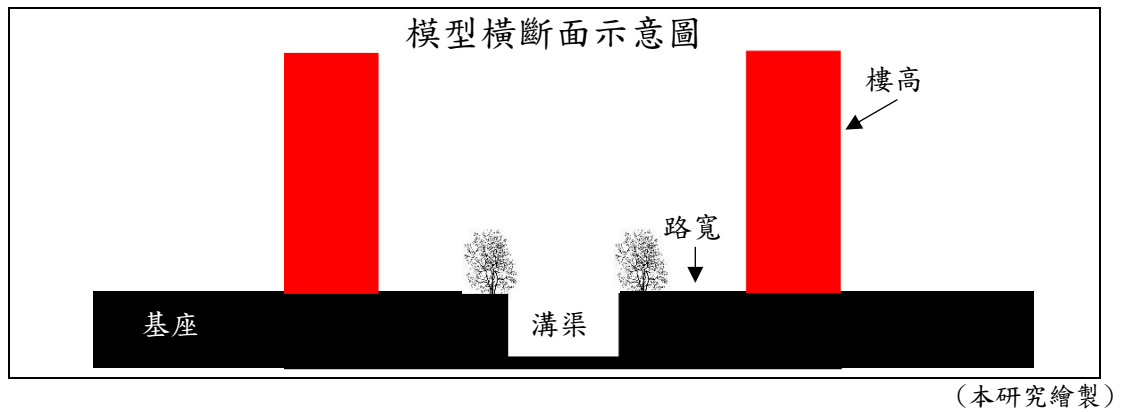


圖 4-1. 實測地點空照圖

表格 4-1. 實測地點數據

現況模型單元	溝渠尺寸(wxh)	路寬(m)	樓高(m)
	4x6m ²	7	13



另一處體感舒適度較差的位置在柳川西路二段與柳川東路二段與民權路和美村路所切割出來的範圍，如圖 4-2 所示，經量測後結果如表 4-2，其中樓高部分因是都市尺度，高度參差不齊，因此以現場出現最多的 4 層樓高之街屋為之。



圖 4-2. 實測地點空照圖

表格 4-2. 實測地點數據

現況模型單元	溝渠尺寸(w×h)	路寬(m)	樓高(m)
	4×16m ²	21.5	13

模型橫斷面示意圖

(本研究繪製)

●地貌樣式單元尺寸與邊界條件設定

A. 地貌樣式基本單元尺寸：

地貌樣式基本單元組成由基座、建築物，溝渠，路寬所組合而成，尺寸由現場量測之數據做為初始模型，基座部分高度為配合溝渠深度，因此取 4m 高，建築物量體寬、高、深分別為 6m×13m×30m，路寬 7m，溝渠高、寬為 4m×6m，且為對稱模型。

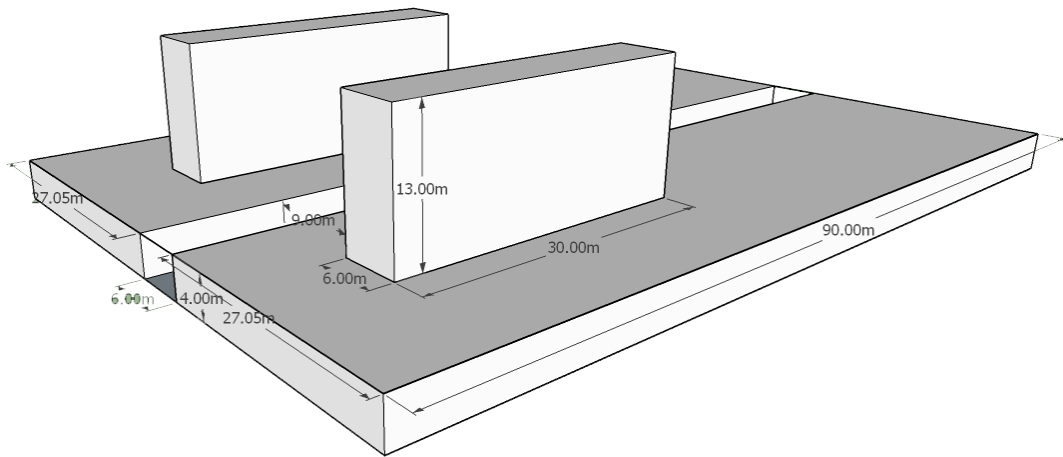


圖 4-3. 現況單元初始模型尺度(本研究繪製)

B. 邊界條件設定：

依文獻(秦子傑，2006)可知在計算機流體力學時，如果待模擬之模型為對稱之邊界條件，其結果不會影響實驗數據的準確性，且能節省網格數量與運算時間，同時紊流模型選用 k-Epsilon 模型($k-\epsilon$ 模型)也可以節省時間，故本研究選用 $k-\epsilon$ 模型，並設置對稱邊界條件，風向從正 Z 軸風向吹入模型，其設定如圖 4-4。

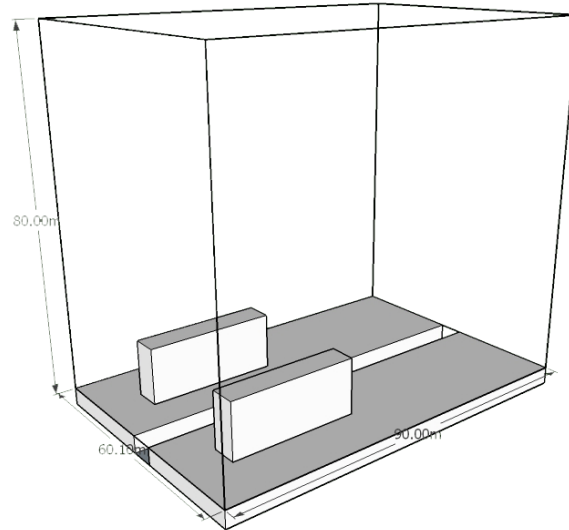


圖 4-4. 邊界條件設定(本研究繪製)

C. 求解域範圍與位置

模型求解舒適度之測點(Region)位置設定在車道旁之人行步道，測點高度設為 2m 高，偵測範圍長度 30m，寬度 3m，如下圖 4-5 所示。

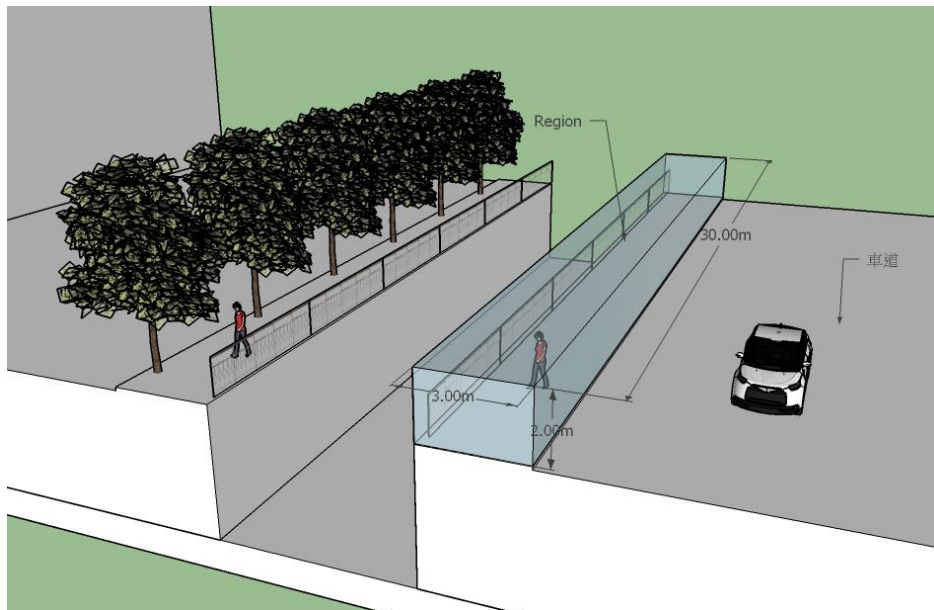


圖 4-5. 模型測點位置圖(本研究繪製)

4-2. 控制變因影響舒適度程度分析與評估

因溝渠尺度、路寬、樓高三者為控制變因，為了清楚表達模型如何改變，這裡將會設置三者不同之座標原點， (x, y, z) 皆等於 $(0, 0, 0)$ ，並以紅點座標表示溝渠部分、藍點做路寬部分、黃點做樓高部分，如圖 4-6 所示。

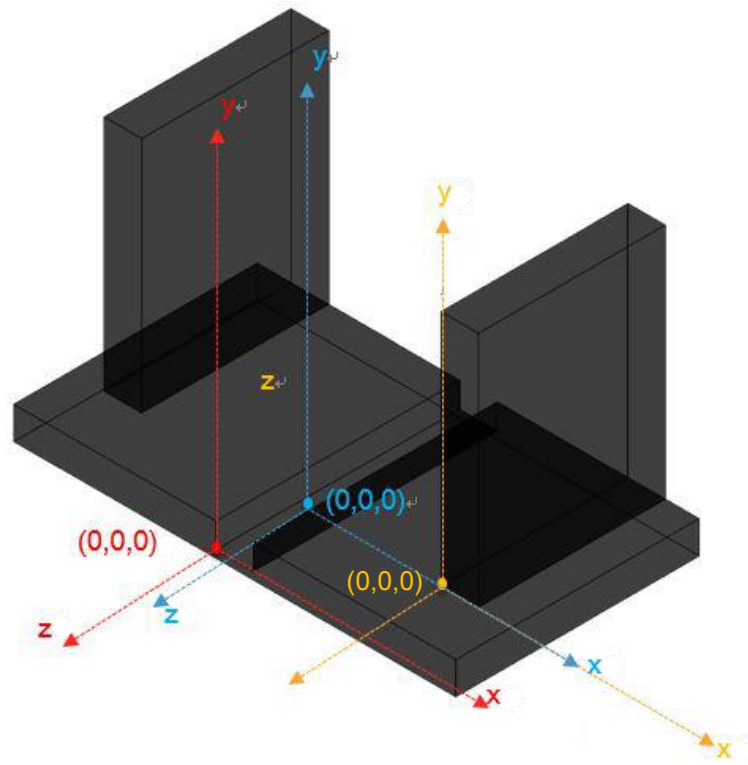


圖 4-6. 模型各部位起始點座標(本研究繪製)

本節研究設置之模型目的是找出三者控制變因影響人體舒適度程度，因前一章節之模型尺度並不是按一定變化量改變各模型尺度，故在此之模型變化量將重新定義，而初始模型以前一章節模擬模型號數 9 進行^註，選擇他的主要原因為其變化後之尺度依舊會包含在 30 組模型裡的尺度範圍，以盡可能保有現況樣式之原則，而變化方式改為：各自變數做每 3m 之差之尺寸變動，而各自變數定義域為：(車道 1+人行道 1 為 W1)、(車道 2+人行道 2 為 W2)、(街屋 1 高度為 H1)、(街屋 2 為 H2)、(溝渠高為 H3)、(溝渠寬為 D1)，其中街屋高度計算方式依舊採建築技術規則樓高篇第 14 條所規定，如下圖 4-7、表 4-3、表 4-4 所示。

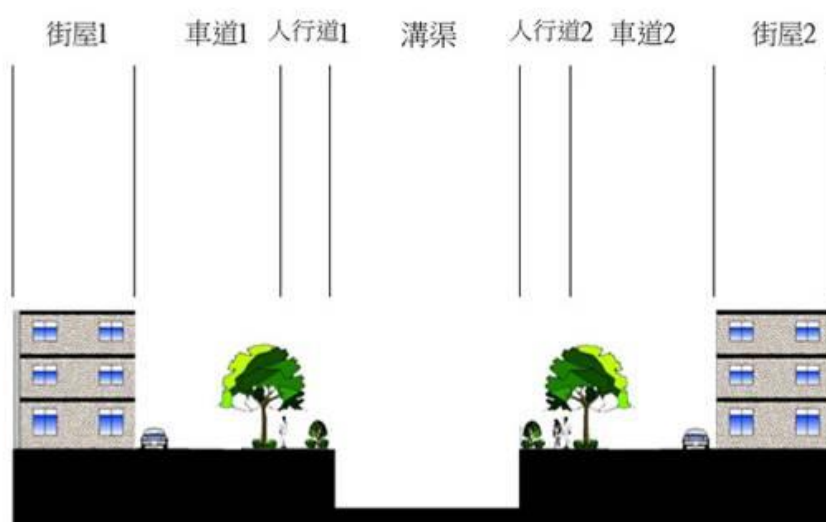


圖 4-7. 研究模型示意圖(本研究繪製)

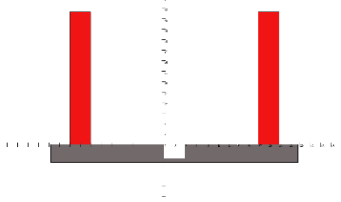
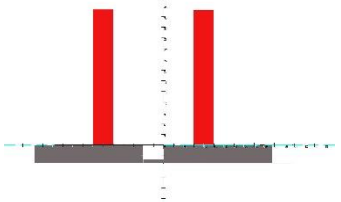
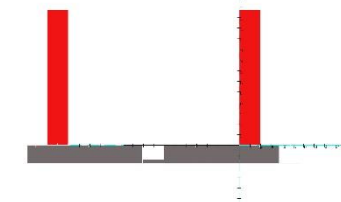
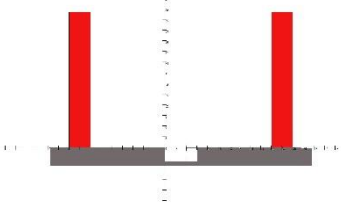
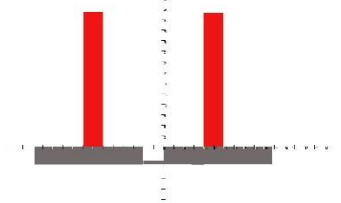
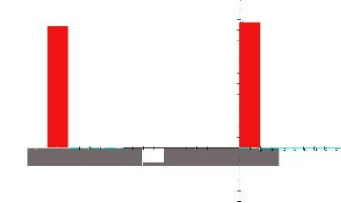
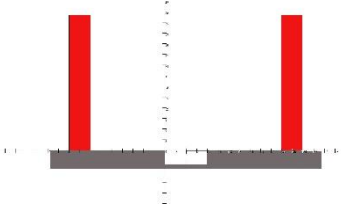
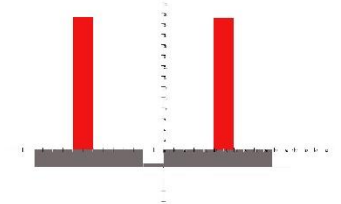
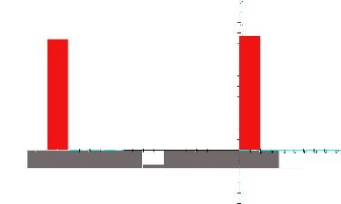
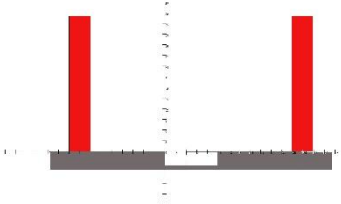
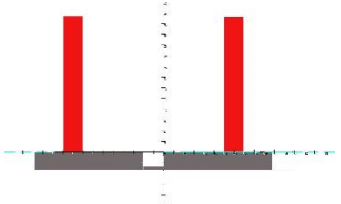
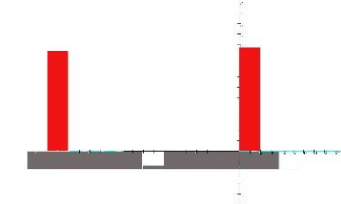
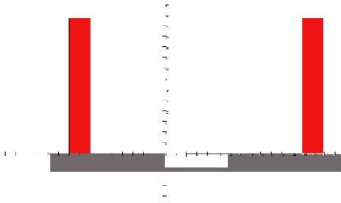
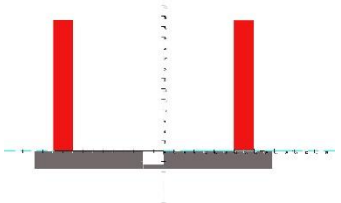
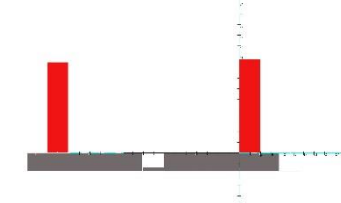
註：在此章節為的是找出三項控制因子針對 PMV 的影響程度，因此對於模型設定重點在規律性之改變，因此對於初始模型在 30 組模型中，該選擇誰並無絕對性之重要。

表格 4-3. 單元模型設定詳表(本研究繪製)

Type A (溝渠組)	溝渠尺度(D1×H3)		路寬(W1+W2)	樓高(H1、H2)
	A1	4×6m ²	21+21=42m	(21.5×1.5)+6÷38m
	A2	4×9m ²		
	A3	4×12m ²		
	A4	4×15m ²		
	A5	4×18m ²		
Type B (路寬組)	溝渠尺度(D1×H3)		路寬(W1+W2)	樓高(H1、H2)
	B1	4×6m ²	9+9=18m	(21×1.5)+6÷38m
	B2		12+12=24m	
	B3		15+15=30m	
	B4		18+18=36m	
	B5		21+21=42m	
Type C (樓高組)	溝渠尺度(D1×H3)		路寬(W1+W2)	樓高(H1、H2)
	C1	4×6m ²	21+21=42m	(21×1.5)+6÷38m
	C2			35m
	C3			32m
	C4			29m
	C5			26m

本研究繪製

表格 4-4. 單元模型示意圖

單元模型樣式圖(單位:m)			
模組編號	Type A	Type B	Type C
1			
2			
3			
4			
5			

(本研究繪製)

●模擬結果

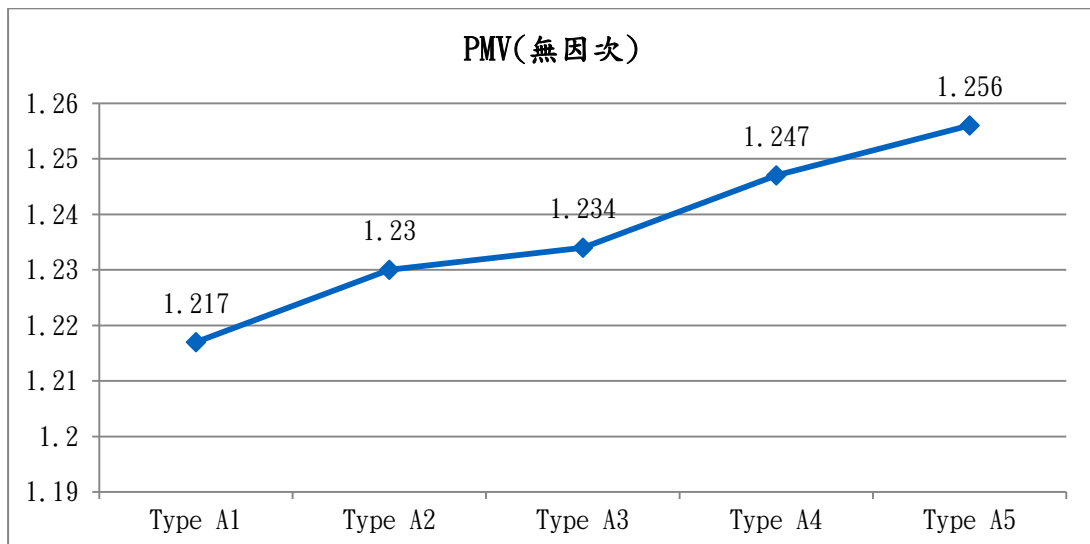
A. 溝渠尺度影響舒適度程度分析

溝渠尺寸設定如表 4-5，發現溝渠排水寬度越寬之情形，PMV 值有略微上升之趨勢，如圖 4-8 所示，經計算，各 PMV 之差值平均每增加 3m 其值約提升 0.013，但這裡存在一處疑點，即風速會減慢之原因還無法得知，詳細說明會在小結呈現。

表格 4-5. 溝渠樣式尺寸表

Type A (溝渠組)	溝渠尺度(D1×H3)		路寬(W1+W2)	樓高(H1、H2)
	A1	4×6m ²	21+21=42m	(21.5×1.5)+6÷38m
	A2	4×9m ²		
	A3	4×12m ²		
	A4	4×15m ²		
	A5	4×18m ²		

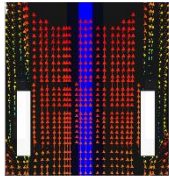
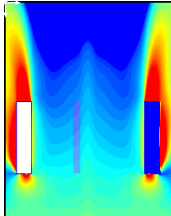
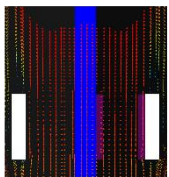
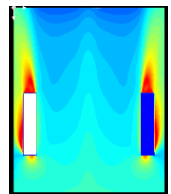
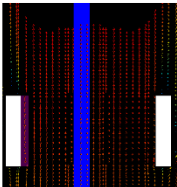
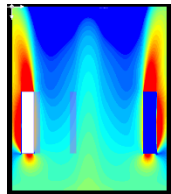
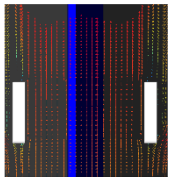
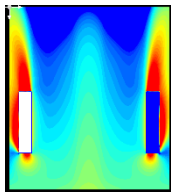
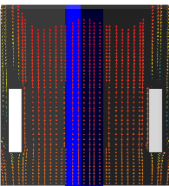
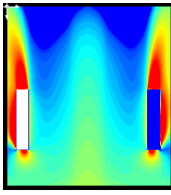
本研究繪製



本研究繪製

圖 4-8. 溝渠尺度 PMV 之變化量

表格 4-6. 溝渠組單元 PMV、Speed 模擬圖

類別	模組編號	Speed(m/s)	PMV	剖面線由 TYPE A 原點 起算，Y=C(常數)
Type A	1			Y=5.5m
	2			Y=5.5m
	3			Y=5.5m
	4			Y=5.5m
	5			Y=5.5m
	PMV			
	speed			

本研究繪製

B. 路寬尺度影響舒適度程度分析

路寬尺寸設定如表 4-7，路寬寬度越寬之情形下，PMV 值有上升之趨勢如圖 4-13 所示，經計算，各 PMV 之差值平均每增加 3m 其值約提升 0.009，就路寬而言，因路寬有兩條，所以單邊為 0.0045，比溝渠寬度的影響來的小，原因是因為溝渠的寬度小，較像是沒有溝渠的街道，其街谷的邊界層沒有再被溝渠的谷地(縮流效應)影響，進而保由正常之邊界層厚度，而 PMV 會提高是因為兩邊之建築物越離越遠導致邊界層厚度無法匯流成一塊，導致人行道上之風速帶最後會脫離邊界層，進而影響 PMV。

表格 4-7. 路寬樣式尺寸表

Type B (路寬組)	溝渠尺度(D1×H3)		路寬(W1+W2)	樓高(H1、H2)
	B1	4×6m ²	9+9=18m	(21×1.5)+6÷38m
	B2		12+12=24m	
	B3		15+15=30m	
	B4		18+18=36m	
	B5		21+21=42m	

本研究繪製

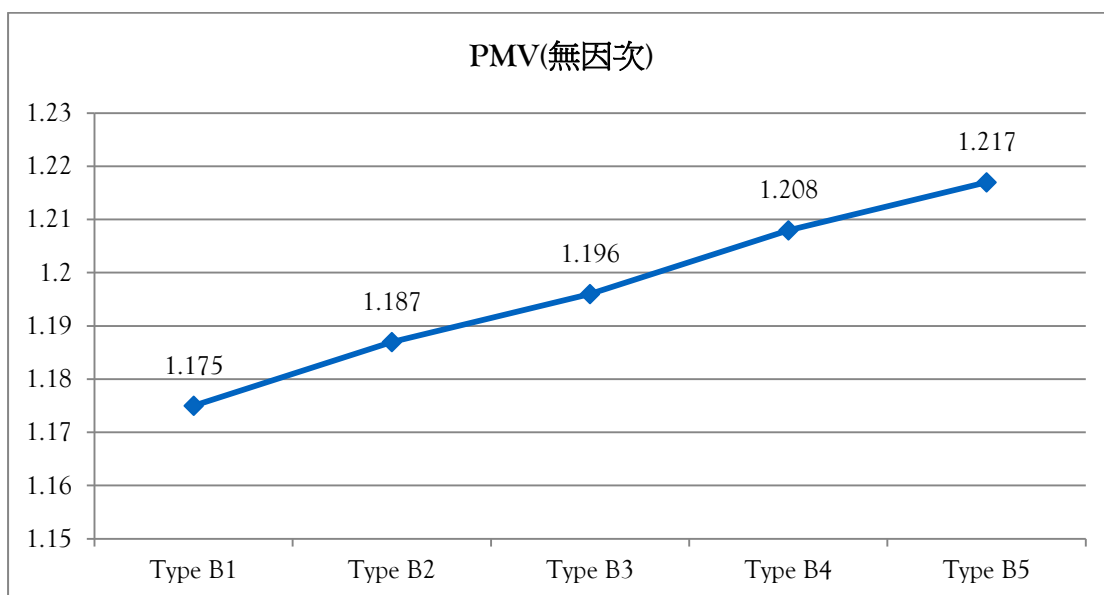
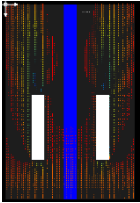
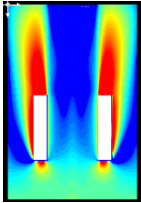
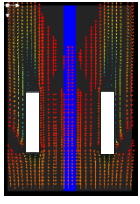
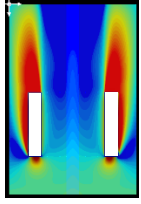
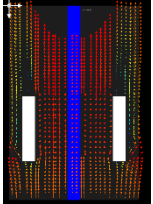
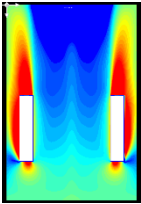
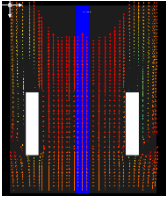
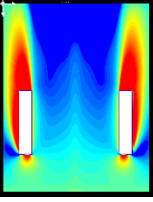
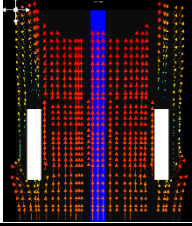
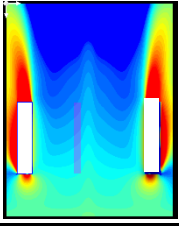


圖 4-9. 路寬尺度 PMV 之變化量(本研究繪製)

表格 4-8. 路寬組單元 PMV、Speed 模擬圖

類別	模組編號	Speed(m/s)	PMV	剖面線由 TYPE B 原點 起算，Y=C(常數)
Type B	1			Y=1.5m
	2			Y=1.5m
	3			Y=1.5m
	4			Y=1.5m
	5			Y=1.5m
	PMV			
	speed			

本研究繪製

C. 樓高尺度影響舒適度程度分析

樓高尺寸設定如表 4-9，樓高在這三種控制變因下，各 PMV 之差值平均每增加 3m 其值約提升 0.004，如圖 4-10，就樓高而言，因邊界層流主要與量體外型有關，而高度主要為下切氣流，著重在當風向與街谷呈垂直角時才會影響，在本次研究中因研究需求將風向設為與街谷成平行，故當街谷面臨與入風風向成平行時，在三種控制變因下影響最小。

表格 4-9. 樓高樣式尺寸表

Type C (樓高組)	溝渠尺度(D1×H3)		路寬(W1+W2)	樓高(H1、H2)
	C1	4×6m ²	21+21=42m	(21×1.5)+6≐38m
	C2			35m
	C3			32m
	C4			29m
	C5			26m

本研究繪製

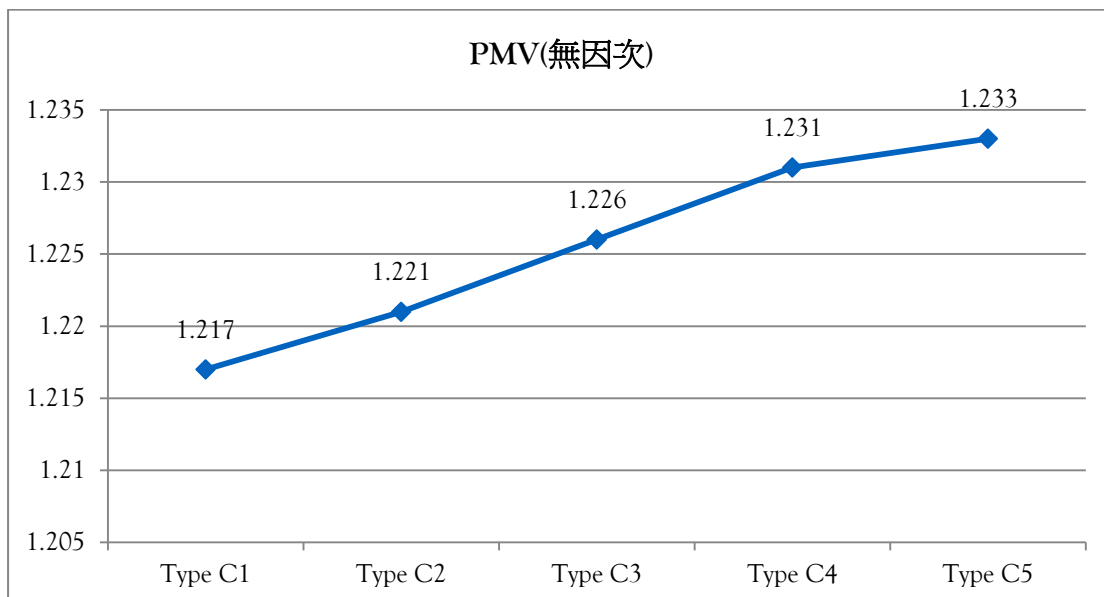
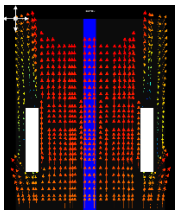
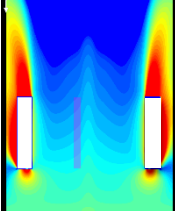
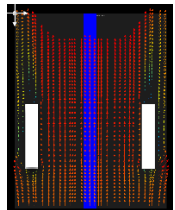
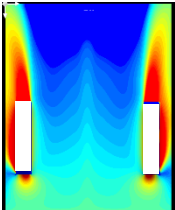
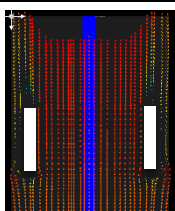
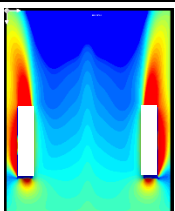
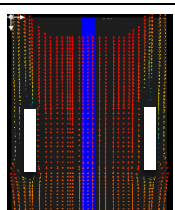
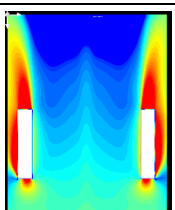
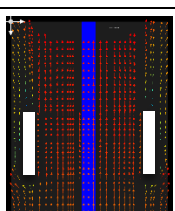
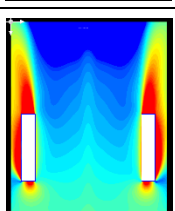


圖 4-10. 樓高尺度 PMV 之變化量(本研究繪製)

表格 4-10. 樓高組單元 PMV、Speed 模擬圖

類別	模組編號	Speed(m/s)	PMV	剖面線由 TYPE C 原點起算，Y=C(常數)
Type C	1			Y=1.5m
	2			Y=1.5m
	3			Y=1.5m
	4			Y=1.5m
	5			Y=1.5m
	PMV			
	speed			

本研究繪製

4-3. 溝渠地貌之有無對街谷的風環境影響模擬

本節主要探討目的是討論街谷中如果存在溝渠地貌的狀況下，與街谷中“沒有”溝渠地貌情況下，兩者能夠影響街谷風場及舒適度程度是多少以及在上節所提到之疑點：[為何在人行道脫離建築物形成之邊界層後，溝渠寬度再加寬，其人行道之舒適度值還會持續上升的原因。]

●街谷中存在溝渠地型之有無分析

此模型利用現況 30 組模擬結果中最好與最差的兩組模型樣式做本節之分析樣本(模型號數 1、模型號數 29)，如表 4-11、圖 4-11，而無溝渠地貌以號數 1-1 與 29-1 表示，由模擬之結果，得知沒有溝渠地貌之地形其舒適度反而比有溝渠地貌來的優良，其值落差達到 0.12，而主要原由乃自於流體再穿梭谷地時，如在一個完整的凹地裡，其流場會穩定的加速，好比大樓風的下切風流，但是如果流體遇到一座凹地裡的凹地，則流體在經過此處時會回流，而減低風速，換句話說，就像是防止高樓風的產生，而在建築立面加以設計粗糙度，比如台北 101 大樓就是典型防止高樓風的例子，而這狀況同樣發生在有溝渠存在的街谷地貌上。

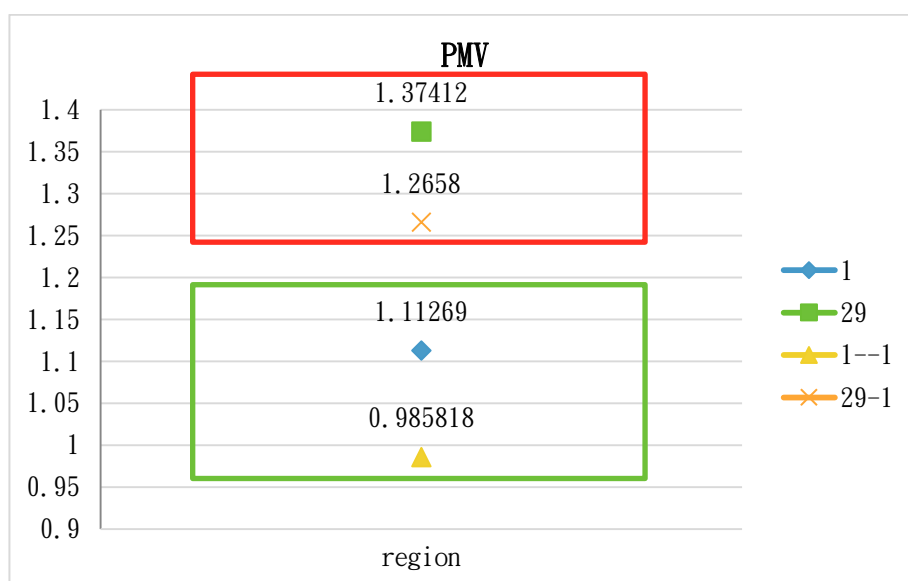
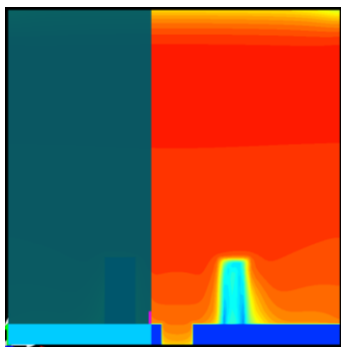
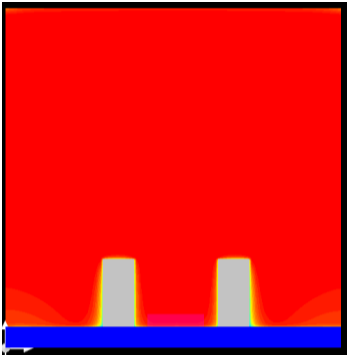
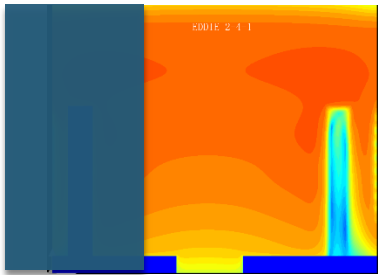
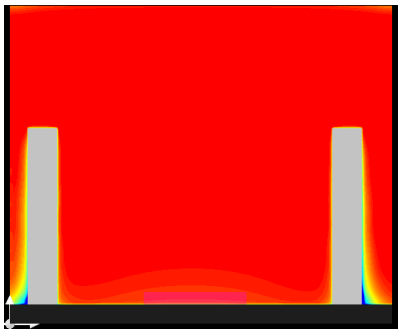


圖 4-11. 溝渠存在與否之 PMV 數值圖(本研究繪製)

表格 4-11. 溝渠存在與否之 Speed 模擬圖

模型編號	speed(m/s)	模型編號	speed(m/s)
1		1-1	
29		29-1	
			

本研究繪製

4-4. 小結

將各部分模擬單元做整合性小結，以方便比較各部分模擬之要點及結果。

4-4-1. 控制變因影響舒適度程度分析與評估結果

從現況調查分析後，得出構成地貌變化的脈絡，分別是溝渠部、路寬與樓高，而在三種模型脈絡經數值模擬中發現，溝渠排水寬度及路寬寬度影響其人行道上的舒適度會較明顯，不舒適的原因在於谷地寬度越大下，其人行道上之風速場會因脫離建築物所形成的邊界層，因此降低流速，而經三組模擬單元做更細部比較後，溝渠尺度的變化在三組中是影響舒適度裡最高的，其落差值在 0.013，其次路寬為 0.009，再來是樓高 0.004，由此可知，樓高與路寬對於改變舒適度程度則較相近，溝渠寬度將會是取決舒適度好壞的重點。

4-4-2. 溝渠地貌之有無對街谷的風環境影響模擬結果

由此一章節研究分析後，得出為什麼在人行道在脫離邊界層後，其 PMV 還會繼續攀升的原因，主要理由是：[邊界層受建築物進深影響，而邊界層會有一定的影響厚度，超過此厚度之地區(本研究以人行道為之)會由溝渠地型樣式來決定該地區的舒適狀況，且這種類似有溝渠之街谷的雙重谷地的地貌型式下，如果兩個谷地是有高程上的情形出現，會有兩種不同流速之邊界層產生，並互相拉扯，產生粘滯效應(詳見 2-1-2)，所以街谷中如有溝渠，其風速流速會有相互抵制之效，進而改變人行道上的人體舒適感。

第五章 結論與建議

5-1. 結論

本研究得到的結論有四(本投稿篇文只放其中兩項分析，詳細內容請參閱正本，另外兩項為 30 組現況柳川人行道舒適度分析與植栽間距對人行道舒適度影響實際數值研究):

1. 各單元影響 PMV 程度比較

以現況 30 組模型中，取模組號數 9 做為三組單元的共同組別進行分析，經三組模擬單元做比較後，得出來之結果是溝渠尺度的變化在三組中是影響舒適度裡最高的如圖 5-1. 所示，其次路寬再來是樓高，而樓高與路寬對於改變舒適度程度則較相近，但從 Type A、B、C 三組模型中，因模擬單元範圍侷限在街屋尺度，至此得出之舒適度差異有限，其結果值對人體的感覺可能不大明顯，但如果將尺度放大到都市尺度，其微小之差可影響範圍將不容小覷。

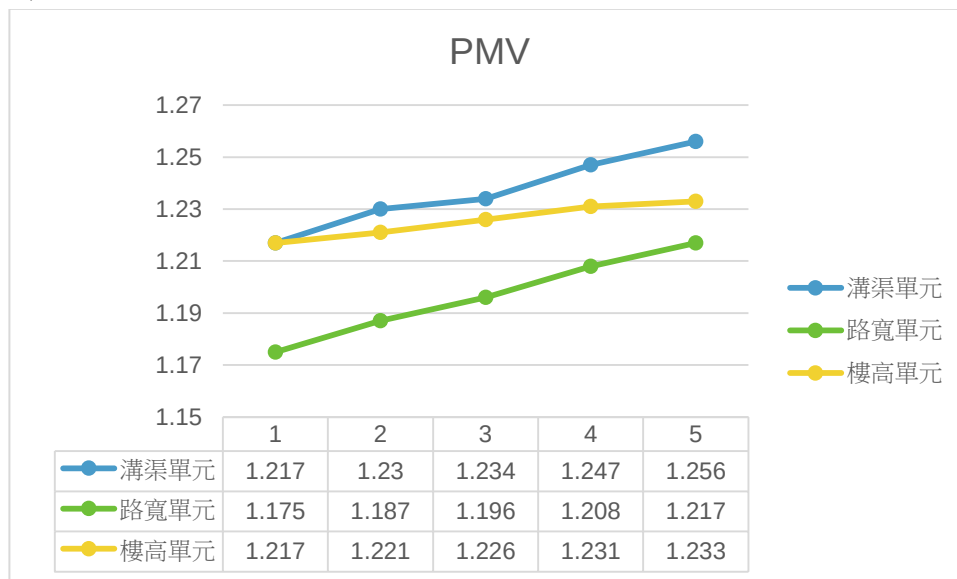


圖 5-1. 三種單元影響 PMV 強度圖(本研究繪製)

2. 街谷中存在溝渠地形與否

在街谷中存在溝渠與否的模擬數值發現，在同組模型中，比較置入溝渠與不置入溝渠其前後差異落在 0.11，無溝渠的地貌勝過有溝渠地貌，此一現象顛覆原有思維的現象，原因出在風速場流經谷地時，部分碰觸到溝渠而讓原有風向回流打轉，此一現象使溝渠在街谷環境風場代表的角色，不是讓流體加速流動，而是恰好相反，它是專門減緩流速以平衡街谷風場，防止風害產生的

角色，好比防止大樓風產生而設計的建築物表面粗糙度(2-1-4)；而在谷地總寬度不變之下，也有相同的效果出現，其會按照溝渠寬度所占面積大小去改變減緩風速流速的程度，溝渠寬度越窄，減緩風速能力越大(當入風方向與街谷呈現平行時適用)，反之則小，此一發現對於要降低風害程度上有一定的幫助。

5-2. 建議

在本此研究中，造成舒適度影響最甚的是溝渠尺度，而溝渠在台中市是全台特有的城市景觀，對於市政府在市政規畫時納入考量，再經過研究後，確實能夠影響到溝渠周遭的微氣候環境，但溝渠在規劃上如果在兩者並存下，且需求方向為製造風廊的話，寬度不宜與路寬同時增加，因溝渠在整個街谷中，扮演調和谷地風速的角色，假使溝渠寬度很寬且路寬也很寬之情況下，其舒適度會因為谷地的總寬度越大而越差(當谷地高度已定案)，溝渠寬度與路寬寬度是不能夠同時加寬的，兩者在不管風速還是舒適度，是呈現對立狀態；而如果是提升優良的舒適感，討論面向為風害，谷地總寬度不變且溝渠是一定存在下，其溝渠寬度就要縮減，以增加風向回流的情況(好比增加建築表面粗糙度)，所以在未來規劃上，如果當地是高污染地區(如工業區)，需要一條風廊道且空氣流速須達一定程度且風道是屬於本研究的地貌類型而寬度已定案，接下來改變只能讓路寬變寬，讓溝渠尺度縮減來讓流速增加，或不置入溝渠地形(因必須也能讓人車行走，故純溝渠地形等無法人為使用的風廊不考慮)，而如果是防範風害，除了調整建築物外型與植栽之外，也可以將溝渠地形置入其中來減緩谷地中的流速，簡而言之，如果想要製造風廊的話，溝渠地形會阻礙它的運作，如果已有優良舒適感的話，但怕有風害的疑慮(因本研究以風速來判定舒適度)，則置入溝渠地形是不錯的選擇。

參考文獻

一、中文部分

1. 林宛貞:街道紋理對都市街谷風環境模擬影響之研究, 2015。
2. 蔡孟裕:街谷中三圍尺度空氣污染物擴散現象之研究, 2005。
3. 陳皓偉:都市紋理的建構:從紋理的觀點建構都市空間設計的原則性規範-以台南市為例, 1998。
4. 李偉誠:以街谷設計型式評估台灣主要城市室外人行尺度之風環境, 2010。
5. 許乃尹:行道樹綠化對都市風廊到之影響—以台南東風路、林森路為例, 2010。
6. 王旻成:都市公園為氣候與使用者行為關係—以大安森林公園為例, 2012。
7. 蔡凱任:建築量體遮蔽效應對於街廓內風環境之影響-以高雄市地區為例, 2013。
8. 高昇敬:矩形建築物高寬比對其周遭風場影響之研究, 2000。
9. 黃政達:建築物單向通風之換氣效能研究, 2008。
10. 程琬鈺:夏季海風對台南運河周邊都市微氣候之影響與改善策略, 2011。
11. 傅傳剛:以數值模擬方式評估小型風力發電機於都市區域支架社區位—以台南安平區為例, 2011。
12. 王威尊:街廓量體變化對都市氣候縮流及渠化效應被動應用之研究, 2010。
13. 劉怡欣:夏季都市步行空間陰影設計與評估-以台南中正商圈為例, 2010。
14. 陳啟忠:建築物裡概論, 詹氏書局, 2009(二版)。
15. 朱佳仁:風工程概論, 科技圖書公司, 2006。
16. 黃漢泉:建築物裡, 良冠打字印刷公司, 1994。
17. 經濟部水利署:旱溪排水系統-柳川、土庫溪、下橋子頭、綠川及大智排水治理計畫, 2009。
18. 行政院交通部:公路路線設計規範, 2011。
19. 內政部營建署:市區道路人行道設計手冊, 2003。
20. 朱佳仁:行人風場改善措施, 中華民國風工程學會, 2015。
21. 鄭曉琦:台中市柳川、綠川沿岸景觀之發展與變遷, 2010。
22. 都市氣候學, 鄭師中, 徐氏基金會

二、英文部分

1. Design with Climate/Olgyay , Victor and Alader
2. Landscape Planning for Energy Conservation/Gray . O . Robinette
3. Heat Transfer/J . P . Holmam
4. Computational Fluid Dynamics for Urban
Physics:Importance,scales,possibil-ities,limiations and ten tips and tricks
towards accurate and reliable simulations/Bert Blocken
5. Solar Control and Shading Devices/Olgyay , Victor and Alader
6. “Street design and urban canopy layer climate,” Energy and Buildings/
T. R. Oke
7. Effect of urban morphology on wind condition in idealized city models/
Jian H., Mats S., Yuguo L/
8. Urban greening to cool towns and cities/ Bowler, D. E., Buyung A. L.,
Knight, T. M., & Pullin, A. S.
9. The Effects of Wind on People; New Criteria Based on Wind Tunnel
Experiments, Building and Environment/ Hunt J. C. R., Coulton P E., and
Mumford, J. C.

三、論文期刊

1. 謝俊民：建立都市住宅風環境舒適度指標與改善策略評估——以台南市大林住宅都市更新地區為例，建築與規劃學報，2009。