

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系

碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bio-Resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

道路植栽設計對懸浮微粒濃度分布影響之研究

The Planting Design Effects on Near-road Particulate

Matter Concentration

楊舒百

Shu-Pai Yang

指導教授：林寶秀 博士

Advisor: Bau-Show Lin, Ph.D.

中華民國 106 年 8 月

August, 2017



國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

道路植栽設計對懸浮微粒濃度分布影響之研究

The Planting Design Effects on Near-road Particulate Matter
Concentration

本論文係楊舒百君 (R03628307) 在國立臺灣大學園藝暨景觀學系研究所完成之碩士學位論文，於民國 106 年 06 月 10 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

林宏秀

(指導教授)

林安州

張俊宇

陳惠敏

林建堯

摘要



在都會區中道路旁的空氣品質一直是個被受討論的議題，交通排放為人行道主要的空氣汙染來源，而道路旁的植栽影響著懸浮微粒的沉降與擴散，這兩個作用已被許多現地測量、風洞實驗、軟體模擬等研究所證實，然而如何透過植栽設計達到較佳的空氣品質則需進一步探討，因此，本研究主要目的係探討在不同街谷高寬比下，道路植栽設計對人行道 PM_{2.5} 濃度之影響。以臺北市道路為研究地點，基於前人研究，以街谷高寬比、植栽配置、葉面積密度、灌木高度進行植栽配置方案之研擬，利用微氣候環境模擬軟體 ENVI-met 進行模擬。研究結果顯示，在街谷中主要影響 PM_{2.5} 濃度的因子為風場，當街谷中的大氣流動不佳時，PM_{2.5} 不易擴散，而街谷空間配置喬木易造成氣流阻礙，增加局部 PM_{2.5} 濃度，然而透過調整喬木葉面積密度，能減緩氣流阻礙的影響，而適當種植灌木則能減少污染濃度的提升，但灌木高度增加卻又造成局部 PM_{2.5} 濃度上升，因此未來在都市街谷的植栽設計應考慮街道環境、風場與植栽種類，以舒緩人行道交通尖峰的 PM_{2.5} 濃度。

【關鍵字】 空氣品質、街道峽谷、PM_{2.5}、植栽屏障、植栽配置、ENVI-met

Abstract

Air quality of the near-road area has been a subject of discussion. Traffic is the main source of air pollution for the sidewalk, and the near-road plant affects the deposition and dispersion of suspended particulates. These two effects have been confirmed by site measurement, wind tunnel experiment, software simulation and so on. However, how to achieve better air quality through plant design is important. Therefore, the main purpose of this study is to explore the planting design effects on the sidewalk PM_{2.5} concentration. Study area select a street canyon in Taipei City , the research base on the before study using street canyon aspect ratio, planting desion, LAI and shrub height as a program basis. The simulation was carried out by using the micro-climate simulation software ENVI-met. The results show that in the street canyon mainly affect the PM_{2.5} concentration factor is the wind field. When the atmospheric flow in the street canyon is not good, PM_{2.5} is not easy to dispersion, and the trees in the street canyon is easy to cause obstruction of airflow and to enhance the concentration of PM_{2.5}, but by adjusting the LAI, can reduce the impact of airflow obstruction. and appropriate planting shrubs can reduce the pollution concentration, but the increase in shrubs also enhance the PM_{2.5} concentration, so the future in the city streets Planting design should take into account the street environment, wind field and plant species to retard the traffic effect of PM_{2.5} concentration.

【 Keywords】 Air Quality, Street Canyon, PM_{2.5}, Vegetation barrier, Planting Design, ENVI-met

目 錄



摘要.....	III
目 錄.....	V
第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究流程.....	2
一、緒論.....	3
二、文獻回顧.....	3
三、研究方法.....	4
四、研究結果.....	4
五、結論與建議.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
第一節 空氣品質.....	5
一、空氣污染來源.....	5
二、空氣污染物組成.....	6
三、懸浮微粒.....	6
四、懸浮微粒對於人體健康之危害.....	7
五、空氣污染與氣候條件.....	8
第二節 街道峽谷.....	9
一、街道峽谷.....	9
二、街谷內污染物之擴散.....	10
第三節 街谷空氣品質與植栽.....	11
一、道路旁空氣品質.....	11
二、街谷中空氣品質與植栽綠化.....	11
三、街谷中空氣品質與植栽配置研究.....	12
第四節 ENVI-met 相關研究與應用.....	13
一、ENVI-met 軟體簡介.....	13
二、氣體和顆粒污染物.....	18
三、ENVI-met V4.1.0 軟體應用及限制.....	18
第三章 研究方法.....	23
第一節 研究架構與內容.....	23
一、研究架構.....	23
二、研究變項定義.....	24
第二節 研究地區.....	25

第三節 ENVI-met 設定與模型驗證	26
一、建模與設定	26
二、模型驗證	31
第四節 道路植栽配置方案	34
一、方案發展過程與原則	34
二、方案說明	37
第五節 資料處理與分析計畫	50
第四章 研究結果	51
第一節 植栽上下風處之 PM _{2.5} 濃度	51
一、喬木上下風處 PM _{2.5} 濃度	51
第二節 不同街谷深度之人行道 PM _{2.5} 濃度	53
一、上午 8 點不同街谷深度之人行道 PM _{2.5} 濃度表現	53
二、下午 5 點不同街谷深度之人行道 PM _{2.5} 濃度表現	54
三、不同街谷深度之風速表現	55
第三節 迎風面及背風面濃度差異	56
一、上午 8 點人行道迎風面及背風面 PM _{2.5} 濃度差異	56
二、下午 5 點人行道迎風面及背風面 PM _{2.5} 濃度差異	56
第四節 喬木對於街谷 PM _{2.5} 濃度之影響	57
一、街谷種植喬木對於 PM _{2.5} 濃度之影響	57
二、不同喬木 LAI 對於 PM _{2.5} 濃度之影響	60
第四節 灌木對於街谷 PM _{2.5} 濃度之影響	63
一、中央分隔島種植灌木對於人行道 PM _{2.5} 濃度影響	63
二、灌木高度對於人行道 PM _{2.5} 濃度影響	68
第五章 結論與建議	71
第一節 結論	71
第二節 建議	71
一、道路植栽設計	71
二、後續研究	72
參 考 文 獻	73

圖目錄



圖 1-1 研究流程圖	3
圖 2-1 街道峽谷分類	9
圖 2-2 街谷中不同高寬比之風場狀態	10
圖 2-3 街谷中不同高寬比之污染物濃度分布	10
圖 3-1 研究架構圖	23
圖 3-2 研究基地空照圖	25
圖 3-3 研究方法操作流程圖	26
圖 3-4 植栽 3D 建模環境圖	29
圖 3-5 現況測量照片	31
圖 3-6 模擬值與實測值 PM _{2.5} 濃度表現圖	32
圖 3-7 模擬值與實測值 PM _{2.5} 濃度相關性圖	32
圖 3-8 模擬值與實測值氣溫表現圖	33
圖 3-9 模擬值與實測值氣溫相關係性圖	33
圖 3-10 方案發展過程圖	34
圖 3-11 基地現況空照圖	37
圖 3-12 基地現況模型圖	37
圖 3-13 方案 1-淺型街谷平面圖	38
圖 3-14 方案 1-淺型街谷剖面圖	38
圖 3-15 方案 2-一般街谷平面圖	39
圖 3-16 方案 2-一般街谷剖面圖	39
圖 3-17 方案 3-深型街谷平面圖	40
圖 3-18 方案 3-深型街谷剖面圖	40
圖 3-19 方案 4、7、10 街谷人行道種植喬木平面圖	41
圖 3-20 方案 4、7、10 街谷人行道種植喬木剖面圖	41
圖 3-21 方案 5、8、11 街谷人行道種植灌木平面圖	41
圖 3-22 方案 5、8、11 街谷人行道種植灌木剖面圖	42
圖 3-23 方案 6、9、12 街谷人行道種植喬木及灌木平面圖	42
圖 3-24 方案 6、9、12 街谷人行道種植喬木及灌木剖面圖	42
圖 3-25 方案 16、25、34 街谷中央分隔島種植喬木平面圖	43
圖 3-26 方案 16、25、34 街谷中央分隔島種植喬木剖面圖	43
圖 3-27 方案 17、26、35 街谷中央分隔島種植灌木平面圖	44
圖 3-28 方案 17、26、35 街谷中央分隔島種植灌木剖面圖	44
圖 3-29 方案 18、27、36 街谷中央分隔島種植喬木及灌木平面圖	44
圖 3-30 方案 18、27、36 街谷中央分隔島種植喬木及灌木剖面圖	45
圖 3-31 方案 19、28、37 街谷中央分隔島種植喬木平面圖	45
圖 3-32 方案 19、28、37 街谷中央分隔島種植喬木剖面圖	45

圖 3-33 方案 20、29、38 街谷中央分隔島種植灌木平面圖	46
圖 3-34 方案 20、29、38 街谷中央分隔島種植灌木剖面圖	46
圖 3-35 方案 21、30、39 街谷中央分隔島種植喬木及灌木平面圖	46
圖 3-36 方案 21、30、39 街谷中央分隔島種植喬木及灌木剖面圖	47
圖 3-37 方案 40、42、44 街谷人行道低 LAI 喬木配置圖	48
圖 3-38 方案 41、43、45 街谷人行道低 LAI 喬木及灌木配置圖	48
圖 3-39 方案 51、57、63 街谷低 LAI 喬木配置圖	48
圖 3-40 方案 69、75、81 低 LAI 高灌木配置圖	49
圖 3-43 街谷人行道 PM _{2.5} 濃度採樣位置圖	50
圖 4-1 街谷背風面有無種植喬木 PM _{2.5} 濃度圖	51
圖 4-2 方案 2 及方案 7 PM _{2.5} 濃度圖	52
圖 4-3 不同街谷上午八時人行道平均濃度表現圖	53
圖 4-4 不同街谷下午 5 時人行道平均濃度表現圖	54
圖 4-5 不同街谷下午五時人行道平均濃度表現圖	55
圖 4-6 淺型街谷種植喬木 PM _{2.5} 濃度圖	57
圖 4-7 一般街谷種植喬木 PM _{2.5} 濃度圖	58
圖 4-8 深型街谷種植喬木 PM _{2.5} 濃度圖	59
圖 4-9 淺型街谷不同喬木 LAI 值 PM _{2.5} 濃度圖	60
圖 4-10 一般街谷不同喬木 LAI 值 PM _{2.5} 濃度圖	61
圖 4-11 深型街谷不同喬木 LAI 值 PM _{2.5} 濃度圖	62
圖 4-12 淺型街谷中央分隔島種植灌木 PM _{2.5} 濃度圖	63
圖 4-13 一般街谷中央分隔島種植灌木 PM _{2.5} 濃度圖	65
圖 4-14 深型街谷中央分隔島種植灌木 PM _{2.5} 濃度圖	66
圖 4-15 淺型街谷不同灌木高度 PM _{2.5} 濃度圖	68
圖 4-16 淺型街谷不同灌木高度 PM _{2.5} 濃度圖	69
圖 4-17 深型街谷不同灌木高度 PM _{2.5} 濃度圖	70

表 目 錄



表 2-1 ENVI-met 應用於空氣污染相關研究表	20
表 2-2 ENVI-met 應用於空氣污染研究驗證資料表	20
表 2-3 ENVI-met 軟體研究限制	21
表 3-1 溫度及濕度 24 小時參數值	27
表 3-2 南京東路松江路路口尖峰時段交通量	27
表 3-3 臺北市道路 24 小時車流變化型態	28
表 3-4 各小時各車道發射濃度參數值	28
表 3-5 喬木及灌木 LAI 參數值	29
表 3-6 ENVI-met 參數設定表	30
表 3-7 方案內容表	36
表 4-1 街谷背風面有無種植喬木 PM _{2.5} 濃度表	51
表 4-2 不同街谷深度上午 8 時迎風面及背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	53
表 4-3 不同街谷深度下午 5 時迎風面及背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	54
表 4-4 上午八時迎風面及背風面之獨立樣本 <i>t</i> 檢定	56
表 4-5 下午五時迎風面及背風面之獨立樣本 <i>t</i> 檢定	56
表 4-6 淺型街谷種植喬木下午 5 時迎風面及背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	57
表 4-7 淺型街谷種植喬木下午 5 時迎風面及背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	58
表 4-8 深型街谷種植喬木下午 5 時迎風面及背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	59
表 4-9 淺型街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	60
表 4-10 一般街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	61
表 4-11 淺型街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	62
表 4-12 淺型街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	64
表 4-13 一般街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	65
表 4-14 深型街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	67
表 4-15 淺型街谷不同灌木高度下午 5 時迎/背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	68
表 4-16 一般街谷不同灌木高度下午 5 時迎/背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	69
表 4-17 深型街谷不同灌木高度下午 5 時迎/背風面 PM _{2.5} 濃度差異分析	70

第一章 緒論



第一節 研究動機

世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 在 2014 年 10 月中將空氣污染列為主要環境致癌物，引發肺癌風險更勝二手菸。國際癌症研究機構 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 證實暴露於空氣污染及高濃度懸浮微粒 (Particulate Matter, PM) 環境會導致肺癌，並與膀胱癌有高度相關 (IARC, 2013)。Pope et al. (2002) 研究指出 PM_{2.5} 和所有死因死亡率、肺癌和心肺疾病死亡率顯著相關，PM_{2.5} 濃度每增加 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，所有死因死亡率增加 4%、心肺疾病死亡率增 6%、肺癌死亡率增加 8%。

行政院環境保護署 (環保署) 近年發布的空氣品質監測報告指出臺灣的空氣污染指標遠遠超過世界衛生組織所訂定標準，並表示臺灣空氣污染超過一半以上的空氣污染來源來自於境內污染，國內工業、汽機車排放、道路揚塵等污染亦是造成空氣品質下降的主要原因。再者，臺灣空氣品質監測站通常設在高樓處，位於街道峽谷底部的道路污染源在現行監測方式下很可能被低估。有鑑於此，於大眾日常活動的區域、尺度進行空氣品質測量與實驗，更能有助益的討論道路空氣污染對於人們的影響。

近年來人本道路議題逐漸被受到重視，臺北市也針對幾條主要道路進行人行道改善工程。但在高交通量的街谷旁，這些人行道道路空氣品質是否存在著對人體不利的影響？以及做為景觀設計者是否能利用人行道設計、植栽配置來影響行道空氣品質？這即是本研究探討的動機與目地。

基於上述原因，本研究主要探討在不同街谷高寬比下，道路植栽設計對人行道 PM_{2.5} 濃度之影響。



第二節 研究目的

本研究主要探討都市街谷中道路植栽配置對於懸浮微粒之影響與關係。依據文獻回顧總結以下本研究目的：

一、 探討不同街谷高寬比對污染濃度之影響。

在許多文獻回顧中指出，當街谷高寬比越大污染物越不易向外擴散進而導致污染濃度提升。本研究首先需確立在不同環境條件下，是否有相同之結果。

二、 探討人行道植栽配置對於人行道空氣品質之影響。

植栽是街谷中道路規劃設計時的一項重要元素，而在景觀植栽配置時是否會造成街谷局部空氣品質改善或惡化，是本研究最重要之目的。

三、 探討中央分隔島植栽配置對於人行道空氣品質之影響。

Gromke et al.,(2016) 指出，街谷中央分隔島種植栽時，能改善人行道空氣品質。而中央分隔島為台灣常見之道路植栽設計，為此本研究檢視此項設計方法是否有同樣結果適用於臺灣的道路環境。

第三節 研究流程

本研究根據研究動機與目的彙整相關文獻，確認研究的所受影響與控制因子，擬定研究架構、研究方法，並且藉由相關文獻得知現階段研究建度與結果，透過資料的蒐集與彙整研擬研究的控制與限制。最後依據前人研究建議與臺灣地區常見之道路植栽配置，擬訂本研究中街谷植栽配置方案。依據方案結果進行資料分析，撰寫研究結果與建議。

本研究主要分為五個部分，研究流程如圖 1-1 所示：

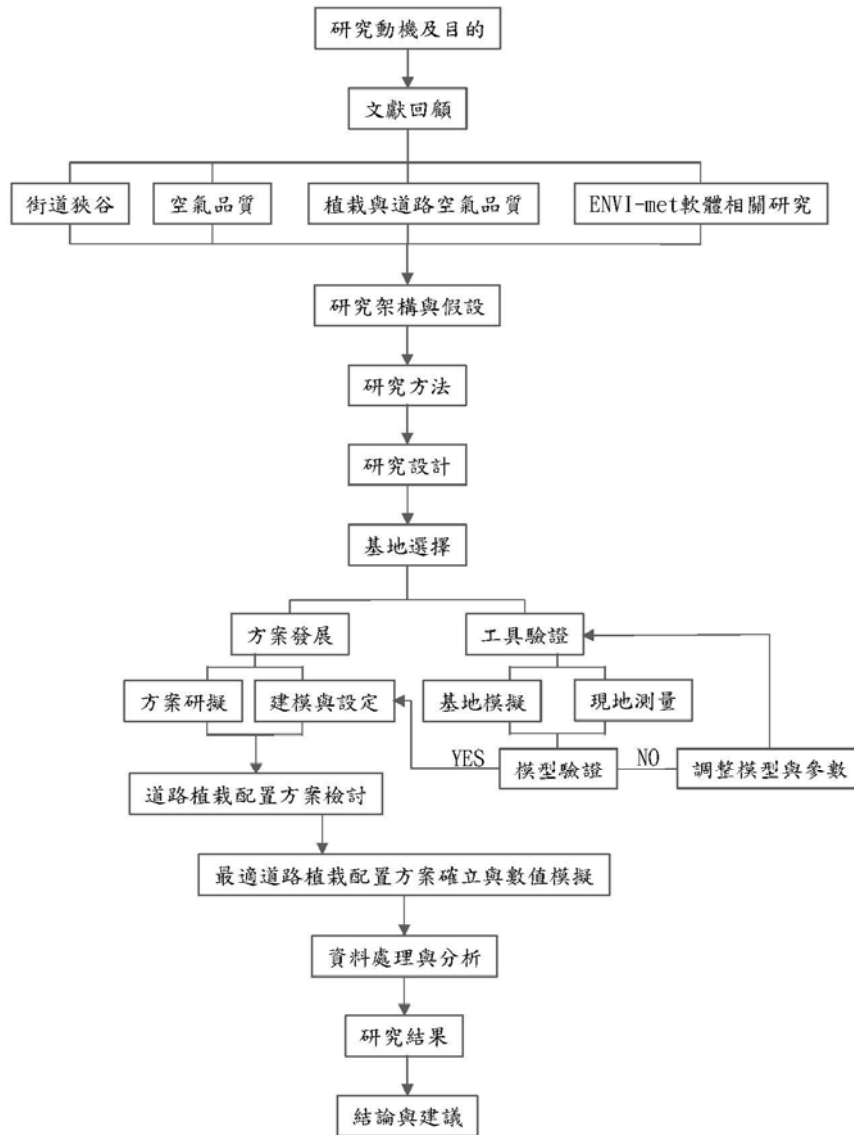


圖 1-1 研究流程圖

一、緒論

描述本研究之研究動機、研究目的、研究內容與流程。

二、文獻回顧

主要回顧有關空氣品質、街道狹谷、植栽與道路空氣品質以及 ENVI-met 軟體相關之研究，以做為研究架構、資料分析的根據。

三、研究方法

研究方法內容包括研究架構的建立、提出研究方案、研究區域選擇、ENVI-met 模型驗證等。



四、研究結果

研究結果，依據研究之數據資訊進行分析，以及研究結果說明。

五、結論與建議

包括研究結果重點摘要、主要結論，並依據研究結果針對部路植栽配置、人為活動，提出街谷植栽配置之規劃建議與後續研究方向。

第二章 文獻回顧



第一節 空氣品質

依中華民國行政院環保署定義空氣品質意指「室外空氣中空氣污染物濃度限值」。而空氣污染指標為依據監測資料將當日空氣中懸浮微粒 (PM₁₀) 測值、二氧化硫 (SO₂) 濃度、二氧化氮 (NO₂) 濃度、一氧化碳 (CO) 濃度及臭氧 (O₃) 濃度等數值，以其對人體健康的影響程度各換算出該污染物之污染副指標值，再以當日各副指標值之最大值為該測站當日之空氣污染指標值 (Pollutant Standards Index, PSI)(環保署)。另外美國冷凍空調工程師協會(American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)將空氣污染定義為空氣中含有一種或多種污染物，如：落塵 (Dust)、薰煙 (Fumes)、氣體 (Gas)、霧滴 (Mist)、臭味 (Odor)、黑煙 (Smoke)、蒸氣 (Vapor) 等，其存在的量、性質與歷時久暫，會傷害到人類、植物、動物生命及財產，或無理干擾舒適之生活環境。本研究針對空氣污染之來源、組成、對人體之影響、氣候條件等進行文獻討論。

一、空氣污染來源

本研究依據 103 年度空氣污染防治總檢討(環保署, 2014)、細懸浮微粒(PM_{2.5}) 時空分佈特性之研究 (環保署, 2013) 及 Air Pollution and Cancer (Straif et al., 2013) 對於空氣品質污染來源，歸納人為來源及自然來源兩大類：

1. 人為來源：

固定污染源：包括發電廠、工廠和焚化爐，以及熔爐和其它使用燃料設備。

移動污染源：包括機動車、船舶和飛行器。

其他如控制燃燒、煙霧、廢物堆積、軍事等。



2. 自然來源：

沙塵、甲烷、氯氣、野火、植被、火山活動：產生硫、氯和菸灰。

本研究之研究區域為街谷環境，其污染源主要來源為汽機車交通排放，因此本研究以研究地點的交通量做為發射濃度參數設定。

二、空氣污染物組成

依據中華民國「空氣污染防治法施行細則」(2003)對空氣污染物之分類如下：1.氣狀污染物 2.粒狀污染物 3.二次污染物 4.惡臭物質 5.有機溶劑蒸氣 6.塑、橡膠蒸氣 7.石棉 8.其他經中央主管機關指定公告之物質。而本研究中主要針對大氣中的粒狀污染物 PM_{2.5} 污染指標進行討論。

三、懸浮微粒

就本研究討論之微粒粉塵說明如下。微粒物質中的懸浮微粒 (Particulate Matter, PM)是指空氣動力學的粒子直徑在 0.002 μ m~100 μ m 範圍內的微粒(Hinds et al., 1997)。行政院環保署針對不同粒徑大小訂定不同之微粒等級，粒徑大小大於 100 μ m 為總懸浮微粒 TSP；小於 10 μ m 為懸浮微粒 (PM₁₀)；介於 2.5 μ m-10 μ m 為粗懸浮微粒 (PM_{2.5}-PM₁₀)；小於 2.5 μ m 為細懸浮微粒 (PM₁、PM_{2.5})。

表 2-1 懸浮微粒粒徑大小說明

粒徑(μ m)	粒徑大小說明
<100	稱 總懸浮微粒(TSP)，約為海灘沙粒，可懸浮於空氣中。
<10	稱 懸浮微粒(PM ₁₀)，約為沙子直徑的 1/10，容易通過鼻腔之鼻毛與彎道到達喉嚨。
2.5~10	稱 粗懸浮微粒(PM _{2.5-10})，約頭髮直徑的 1/8~1/20 大小，可以被吸入並附著於人體的呼吸系統。
<2.5	稱 細懸浮微粒(PM _{2.5})，約頭髮直徑的 1/28，可穿透肺部氣泡，直接進入血管中隨著血液循環全身。

行政院環保署，2005

四、懸浮微粒對於人體健康之危害

針對 PM_{2.5} 對於健康的危害，已被許多研究中證實 PM_{2.5} 會影響人體之呼吸道系統以及心血管方面等疾病(Pope et al.,2009)。

臺灣地區亦針對 PM_{2.5} 提出許多相關健康問題與政策。行政院環保署也公告 PM_{2.5} 各項活動適合說明，提出不同之 PM_{2.5} 濃度亦提出不同之活動參考與建議，活動建議表如下：

表 2-2 PM_{2.5} 活動參考與建議

等級	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分類	低	低	低	中	中	中	高	高	高	非常高
PM _{2.5} 濃度	0 -	12 -	24 -	36 -	42 -	48 -	54 -	59 -	65 -	≥71
	11	23	35	41	47	53	58	64	70	
一般民眾活動建議	正常戶外活動。			正常戶外活動。			任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應該考慮減少戶外活動。			任何人如果有不適，如眼痛，咳嗽或喉嚨痛等，應減少體力消耗，特別是減少戶外活動。

行政院環保署，2014。單位：μg/m³

在全球性的討論中，歐盟、美國、中國大陸等也提出許多相關 PM_{2.5} 之健康標準，表 2-3 為各國於空氣品質 PM_{2.5} 之目標。而在世界衛生組織 2005 年關於顆粒物、臭氧、二氧化氮和二氧化硫的空氣質量準則報告中表示，當 PM_{2.5} 達到 12.3μg/m³，便會造成人體之危害。

表 2-3 各國 PM_{2.5} 標準

空氣品質標準		WHO				美國		日本	南韓	中國大陸		臺灣
		IT-1	IT-2	IT-3	AQG	聯邦	加州			一級	二級	
PM _{2.5}	年平均值	35	25	15	10	12	12	15	25	15	35	15
μg/m ³	24 小時平均值	75	50	37.5	25	35	-	35	50	35	75	35

本研究整理。單位：μg/m³

五、空氣污染與氣候條件

空氣中懸浮微粒與氣候條件有緊密的相關性，各地區不同粒徑懸浮微粒之比值不相同，主要仍與各採樣站類型、氣象條件、地理位置及區域性微粒擴散有較大的關係 (Jeffery, 1997)。在每個地點之空氣污染程度受到當時微氣候條件影響，以下分別對氣候條件的因子進行討論以作為後續研究之限制與參考。

(一) 季風條件

臺灣屬海島型國家，氣候條件受東北季風與西南季風影響，不同之季風條件亦影響不同境外污染源，臺北春季時會有最大的 PM_{2.5} 濃度，這現象與大陸污染物遠距離傳送至臺灣有關 (Chang et al., 2010)。本研究探道路污染對於街谷空氣品質之影響，季風氣候所造成之境外污染亦為本研究的重要影響因子。

(二) 溫度

風速和溫度之間會共同影響 PM₁₀ 的濃度，在較低溫度下隨著溫度降低而增加，而在較高的溫度下則隨著溫度增加濃度下降 (Cavanagh et al., 2009)。在氣溫較高的環境下細懸浮微粒無法聚合，PM 濃度會降低。環保署「細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 時空分佈特性之研究」表示 PM_{2.5} 跟溫度、雨量與相對溼度有負向關係，表示溫度越高 PM_{2.5} 越低且降雨越多 PM_{2.5} 越少 (行政院環保署，2013)。

(三) 濕度

濕度高的環境裡，懸浮微粒的外層會黏著水分，水分再去黏其他的懸浮粒子後，就會變成小圓球，當直徑增加 1 倍時，面積會擴大 4 倍，霾害也越來越明顯 (劉紹臣，2003)。PM₁₀ 與氣象因子中的相對溼度之相關性較高，說明當相對濕度越高則 PM₁₀ 濃度越低 (錢滄海，2012)。

(四) 風速

風速亦是街谷環境中污染濃度的重要影響因子，在許多的研究中已證明，風速越大越能增加污染物的擴散，進而減少街谷環境中污染物的濃度。反之亦然，當風速越低時污染物相對較不易擴散，進而導致污染物的濃度增加。



第二節 街道峽谷

一、街道峽谷

街道峽谷 (Street canyon) 指的是在一條道路或大街上，兩旁擁有連續的建築物 (Nicholson,1975)，因為其配置型態像是峽谷一般，因此以街道峽谷、街谷稱之。

在兩棟建築物之間的道路一般以 W 表示其寬度，而建築物的高度以 H 表示。建築物高度與寬度的比值稱為高寬比 (Aspect ratio) S ，以(1)的式子表示如下：

$$S = \frac{H}{W}$$

式 1

當街谷的縱橫比 $S=1$ 時，稱之為一般街谷或正規街谷 (Regular canyon)。若街谷的縱橫比 $S<0.5$ 時，稱之為淺型街谷 (Shallow canyon) 或大道型街谷 (Avenue canyon)。若街谷的縱橫比 $S>2$ 時，稱之為深型街谷 (Deep canyon)。在迎風建築的後方壁面稱之為背風面 (Leeward side)，其對街建築的壁面稱之為迎風面 (Windward side) (Ahmad et al., 2005)。

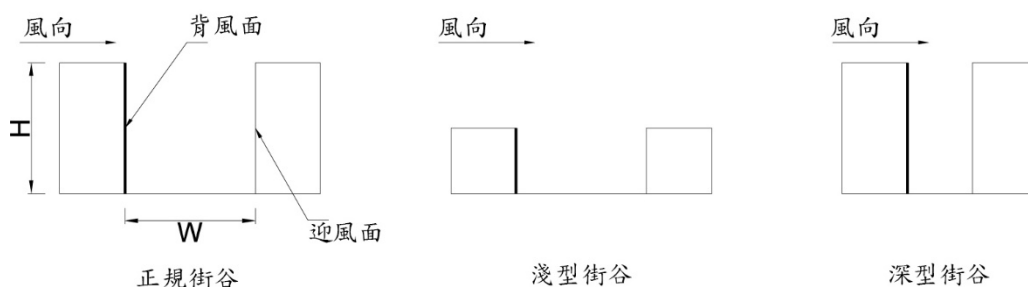


圖 2-1 街道峽谷分類

二、街谷內污染物之擴散

在街谷內，排放源、微氣候條件、建築物幾何形式是影響街谷內污染物濃度主要三個因素。其中在建築物幾何形式中，本研究依據上文所提的三種街谷類型（正規街谷、淺型街谷、深型街谷）做為研究變項。當污染源、微氣候條件相同時，不同的街谷型式即造成不同的污染物濃度分布。

不同街谷高寬比對於垂直風向的大氣流動如圖 2-2 所示，顯示當街道的高寬比越高時，街谷底部的受到上方大氣流動的影響越少、風速隨之降低，對於污染物的擴散也更加不易；圖 2-3 顯示不同街谷高寬比對於底部污染物濃度的變化，其結果如上所述，街谷的高寬比越高易造成污染物的濃度上升（Zhang, 2016）。

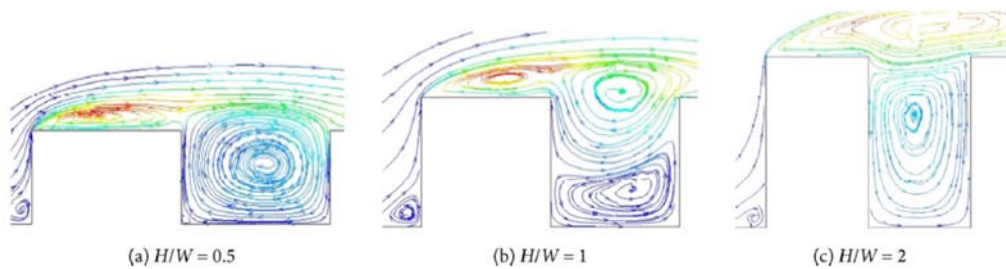


圖 2-2 街谷中不同高寬比之風場狀態

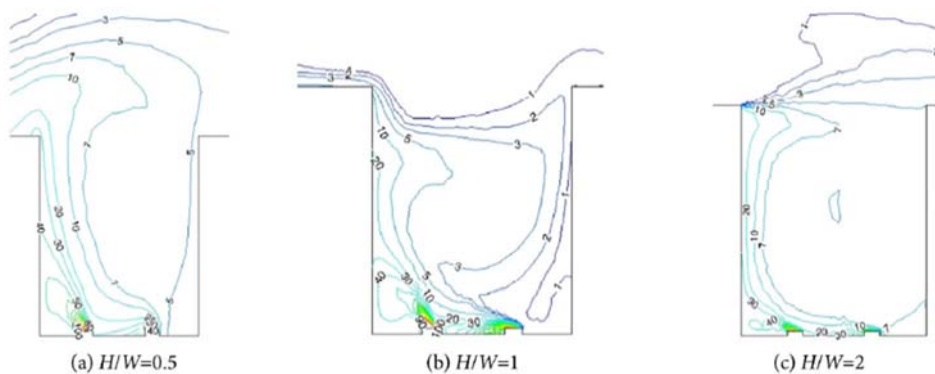


圖 2-3 街谷中不同高寬比之污染物濃度分布



第三節 街谷空氣品質與植栽

一、道路旁空氣品質

依環保署空氣污染物排放清冊 9.0 版 (2017) 的報告指出，全國細懸浮微粒主要污染源包含工業、車輛、營建/道路揚塵、商業活動及露天燃燒，其中車輛排放比例更高達 23%，近幾年也越來越多研究關注車輛排放所帶來的空氣品質議題。

許多的研究顯示臨道路距離越近空氣品質會越差，因這越接近污染排放的來源。特別在交通量大的道路旁，其環境中擁有著較高的空氣污染濃度 (Heck, 2013 ; Brandt, 2014 ; Bentayeb, 2010)。反之，車輛排放的污染會隨著離道路距離越遠而有所下降，研究指出汽車所引起的污染物濃度在距離高速公路 100-150 公尺處有顯著的下降，這顯示在此距離內是道路空氣品質的緩衝區，應減少建築物開發、人為活動 (Yazdi, 2015)。而在臺灣地區人行道多緊鄰著道路而設計，這亦使得行人增加了暴露於污染環境中的風險，進而提升了對於健康的危害。

在過往研究中，關於道路旁污染物的測量距離為 0-300 公尺 (Hitchins, 2000 ; Yazdi, 2015)，其結果也研究顯示在離道路 10 公尺內均為高濃度範圍內，這表明臺灣地區鄰道路而設計的人行道路多在高濃度污染範圍內。本研究以 5 公尺寬之人行道進行研究，並在人行道中央、臨道路距離 2.5 公尺處設研究驗證採樣點，而軟體資料的選取則以人行道 1.5m 處的網格資料。

二、街谷中空氣品質與植栽綠化

近年已有許多研究探討植栽綠化與改善空氣品質之間的關係，舉凡綠牆、綠屋頂 (Tan and Sia, 2005 ; Rosenzweig et al., 2006 ; Yang et al., 2008)、森林、樹木 (Dochinger, 1980 ; Freer-Smith et al., 2004 ; Nowak, 2002 ; Nowak et al., 2013)、綠籬 (Janhäll, 2015) 等，植栽綠化對於一個城市、特定區域或整個地球環境，透過現

地測量及調查、顆粒沉降理論、植栽吸附的原理等，植栽是能替空氣品質帶來正面的影響。但在較為封閉的街谷環境中，植栽用於改善空氣品質是被受討論的。

透過風洞實驗與模擬已被許多研究指出，植栽綠化未必能替街谷帶來改善空氣品質的助益，甚至可能造成空氣品質的惡化（Gromke,2008; Gromke and Ruck, 2012; Steffens, 2012, 2013, 2014）。這其中主要原因乃是植栽阻礙了街谷中的空氣流動，進而造成汽機車排放的污染物無法向較為乾淨的空氣擴散，導致空氣品質下降。研究結果表明，街谷中顆粒污染物濃度會隨著高寬比與植栽密度增加而增加，特別在低風速與垂直風向的深型峽谷會造成空氣品質更為下降（Wania, 2010）。亦有研究指出，植栽綠化在街谷中可帶來污染物沉降的效果，特別在植栽下風處，污染物可以透過葉面積的增加來增加污染物的沉降，進而改善空氣品質（Janhäll, 2015）。

綜合上述，這些研究表明植栽綠化對道路旁空氣質量的影響主要受兩種物理機制所控：擴散和沉降（Steffens et al., 2012, 2013, 2014）。擴散表示的是污染濃度會由濃度高的區域向濃度低的方式移動；沉降指的是污染物、顆粒粉塵在經過葉片時會附著於葉片上，當葉面積密度越高時沉降的面積越多，對於空氣品質的改善效果越好，這其中亦受到葉片表面的粗糙度影響。簡而言之，植栽綠化可增加污染物的沉降，對空氣品質產生正面影響，但也可能抑制街道通風，導致某些區域的空氣品質惡化。總體而言影響街谷內的空氣品質是受到街谷高寬比、葉面積密度、植栽種植密度以及風力條件（Gromke and Ruck, 2009, 2012; Wania et al., 2012）。本研究將以此些條件做為研究限制或變項，進行研究實驗設計。

三、街谷中空氣品質與植栽配置研究

本研究以街谷高寬比及植栽配置做為研究變項，其中街谷植栽配置已許多相關研究（Vos, 2012；Wania, 2010；Morakinyo et al., 2016）。相關結果如上節所述，不當的配置會造成街谷空氣品質惡化。而 Gromke 在 2016 年針對街谷環境中的灌木進行模擬研究，結果指出中央分隔島的樹籬比起道路旁的樹籬可更有效的改

善人行道空氣品質。為此本研究將人行道與道路中央分隔島的植栽配置進行排列組合，做為本研究主要之研究變項與討論項目。



第四節 ENVI-met 相關研究與應用

一、ENVI-met 軟體簡介

ENVI-met 軟體是基於熱力學和流體力學的 (Computational fluid dynamics, CFD) 軟體微氣候模擬工具，軟體是由 Bruse 教授和其團隊所共同開發，而空氣品質模型正在由 Flemish Institute 進行技術研究。軟體主要計算的變量為風速和風向、空氣和土壤溫度、空氣和土壤濕度、紊流 (turbulence)、輻射通量、氣體和顆粒污染物分布 (Bruse & Fleer, 1998)，由數個計算式間彼此組合計算而來。

根據林巧婷 (2015)、Simon (2016) 對 ENVI-met 模型物理計算內容描述如下：

(一) 風場

風速和風向的時間與空間變化由三維非靜力 Navier-Stokes 方程式計算(式 2、式 3、式 4)。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) + f(v - v_g) - S_u(x, y, z) \end{aligned}$$

式 2

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial z} \right) + f(u - u_g) - S_v(x, y, z) \end{aligned}$$

式 3

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial z} \right) - S_w(x, y, z) \end{aligned}$$



- p' 表示局部壓力擾動 (local pressure perturbation)
- K_m 表示局部交換係數 (local exchange coefficient)
- f 表示科氏參數 (Coriolis parameter)，為近地面的風旋轉 (rotation)
相較於地轉風分量 u_g 和 v_g
- S_u 、 S_v 、 S_w 表示沿著風向的 u 、 v 、 w 分量，當地的源 (source) / 匯 (sink) 模擬半透風阻的障礙 (例如植栽)。

另外，由於空氣被視為不可壓縮流，因此須滿足連續性方程式(式 5)：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

式 5

(二) 溫度和濕度

位溫 θ (potential temperature) 使用 combined advection-diffusion 方程式計算

(式 6)：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} = K_h \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) + \frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial R_{tw}}{\partial z} + Q_\theta$$

式 6

- Q_θ 表示大氣和植栽間熱交換係數
- K_h 表示流熱交換係數。
- $\frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial R_{tw}}{\partial z}$ 代表氣溫因長波輻射發散的變化。

另外在濕度方面，對流擴散方程式可以被寫成 (式 7)：

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u_i \frac{\partial q}{\partial x_i} = K_q \left(\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} \right) + Q_q$$

式 7

- Q_q 表示大氣和植栽間濕度交換的係數
- K_q 表示紊流濕度交換係數。

ENVI-met 軟體並沒有模擬水和水蒸氣間的相變，因此相對濕度總是低於 100% 無法模擬下雨的日子。



(三) 大氣紊流

ENVI-met 使用 1.5 階的紊流閉合模型 (1.5 order turbulence closure model)，模型是基於 Mellor and Yamada 所提出，並且在模型中額外增加兩個式子(式 8、式 9)：

$$\frac{\partial E}{\partial t} + u_i \frac{\partial E}{\partial x_i} = K_E \left(\frac{\partial^2 E}{\partial x_i^2} \right) + Pr - Th + Q_E - \epsilon$$

式 8

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = K_\epsilon \left(\frac{\partial^2 \epsilon}{\partial x_i^2} \right) + c_1 \frac{\epsilon}{E} Pr - c_3 \frac{\epsilon}{E} Th + c_2 \frac{\epsilon^2}{E} + Q_\epsilon$$

式 9

- C_1 、 C_2 和 C_3 為經驗性常數，預設值由 Launder and Spalding 而來， $C_1=1.44$ 、 $C_2=1.92$ 、 $C_3=1.44$ 。
- Pr 和 Th 分別表示由 wind shearing (Pr) 和 thermal stratification (Th) 造成紊流能量 (turbulent energy) 的產生和消耗。
- Q_E 表示被植栽影響的紊流
- Q_ϵ 表示串級加速紊流能源 (accelerated cascade of turbulence energy)

(四) 輻射通量

短波和長波輻射計算是基於 two-stream approximation 結合經驗公式得到。大氣輻射收支平衡是由不同大氣層的吸收和發射係數而來。這些係數基於大氣光學的厚度，例如大氣層的氣融膠的數量、水蒸氣的量、二氧化碳、臭氧和其他溫室氣體。大氣層內輻射通量的精確計算需要知道氣融膠、溫室氣體的精確分布，並且計算部分重疊排放以及吸收光譜，在 ENVI-met 軟體使用簡單的近似，只將水蒸氣計算在內。因此在 N 層的模型中高度 z 輻射通量的可以被計算為(式 10)：

$$Q_{lw}^\downarrow(z) = \sum_{n=1}^N \sigma T^4(n) [\epsilon_n(m + \Delta m) - \epsilon_n(m)]$$

式 10

- m 表示高度 z 和比高度 z 還低的邊界層 n 之間的水蒸氣量
- $m+\Delta m$ 表示邊界層 n 之上和高度 z 之間的水蒸氣量



(五) 土壤模型

土壤模型計算地表到地下 1.75m 的土壤溫度和濕度，每個水平網格由地表至地下 1.75m 分成 14 層的土壤層。土壤模擬僅計算垂直的溫度和濕度，土壤濕度 T_s 與土壤體積含水量 η 的計算為 (式 11、式 12)：

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = \kappa_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2}$$

式 11

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = D_\eta \frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} + \frac{\partial K_\eta}{\partial z} - S_\eta(z)$$

式 12

- κ_s 表示熱擴散係數，在不透水的土壤中為常數，在其他透水土壤中為土壤水分 η 的函數

(六) 植栽模型

ENVI-met 軟體的植栽模型與大氣、土壤、輻射模型間相互作用。植栽參數設定主要設定項目為高度、寬度及葉面積指數 (leaf area index)，葉面積指數是指單位土地面積上植物葉片總面積佔土地面積的倍數。即葉面積指數 = 葉片總面積 / 土地面積，依據 Shahidan (2012) 描述與定義，當葉面積密度 LAI = 6 時為高密度植栽；而 LAI = 1.5 時為低密度植栽。在軟體內建的植栽參數資料中， z_p 代表植栽高度，一個植栽共分成數層，另一項參數 LAD 為葉面積指數，若研究者須自行定義植栽 LAD 參數時，可以透過現地測量或分析方法來進行 (ENVI-met 3.1 Manual Contents)，利用分析方法可以簡單地透過已知 LAI 值來推算 LAD 值，最常被使用的分析方法是 Lalic 和 Mihailivic (2004) 研究中所定義的 LAD 經驗公式 (式 13)：

$$L(z) = L_m \left(\frac{h - z_m}{h - z} \right)^n \exp \left[n \left(1 - \frac{h - z_m}{h - z} \right) \right]$$

式 13

$$\text{其中，} n = \begin{cases} 6, & 0 \leq z < z_m \\ \frac{1}{2}, & z_m \leq z \leq h \end{cases}$$

並且由以下公式可得到 L_m (式 14)：



$$LAI = \int_0^h L(z) dz = \int_0^h \left(\frac{h - z_m}{h - z} \right)^n \exp \left[n \left(1 - \frac{h - z_m}{h - z} \right) \right] dz$$

式 14

- Lm 表示葉面積指數最大值
- h 表示植栽高度
- z_m 表示葉面積指數最大值的相對應高度
- z 表示測量 LAD 值的高度

(七) 地表

地面的表面溫度 T_0 以及地表能量平衡的計算 (式 15) :

$$Q_{sw,net} + R_{lw,net}(T_0) - G(T_0) - H(T_0) - LE(T_0, q_0) = 0$$

式 15

- $Q_{sw,net}$ 表示表面上的淨短波輻射
- $Q_{lw,net}$ 表示表面上的淨長波輻射
- G 表示土壤熱通量
- H 表示顯熱通量(sensible turbulent heat flux)
- LE 表示潛熱通量(latent turbulent heat flux)

加上地表的直接短波輻射與漫射(diffuse)作用, $Q_{sw,net}$ 可以被計算為 (式 16) :

$$Q_{sw,net} = [\cos \beta^* \cdot Q_{sw,dir}(z = 0)](1 - a_s)$$

式 16

- β^* 表示太陽直接輻射與地表面的夾角 (Lambert's cosine law)
- a_s 表示反照率 (albedo)。不透水表面為常數, 透水土壤的反照率是太陽角與最上層土壤含水量的函數

地面的長波能量平衡分成兩部分 (式 17、式 18) :

$$Q_{lw,net}^{sky}(T_0) = \sigma_{lw}^{\downarrow}(0, z_p)(Q_{lw}^{\downarrow,0} - \varepsilon_s \sigma T_0^4) + \left(1 - \sigma_{lw}^{\downarrow}(0, z_p) \right) \frac{\varepsilon_v \varepsilon_s}{\varepsilon_v + \varepsilon_s - \varepsilon_v \varepsilon_s} (\sigma \bar{T}_v^4 - \sigma \bar{T}_0^4)$$

式 17

$$Q_{lw,net}^{screened}(T_0) = \frac{\varepsilon_w \varepsilon_s}{\varepsilon_w + \varepsilon_s - \varepsilon_w \varepsilon_s} (\max(\sigma \bar{T}_w^4, \sigma \bar{T}_0^4) - \sigma \bar{T}_0^4)$$



- $Q_{lw,net}^{sky}$ 代表未被遮蔽的天空長波輻射
- $Q_{lw,net}^{screened}$ 代表被遮蔽部分的長波輻射，例如植栽或建築物遮蔽天空視野
- ε_s 、 ε_v 、 ε_w 分別代表表面、植栽和牆的放射率(emissivity)
- T_f T_w 代表植栽表面溫度和牆的表面溫度

二、氣體和顆粒污染物

使用 standard advection-diffusion 方程式計算污染物的擴散 (式 19)：

$$\frac{\partial x}{\partial t} + u \frac{\partial x}{\partial x} + v \frac{\partial x}{\partial y} + w \frac{\partial x}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_x \frac{\partial x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_x \frac{\partial x}{\partial z} \right) + Q_x(x, y, z) + Q_x(x, y, z)$$

式 19

- Q_x 和 S_x 分別代表污染物的源 (source) 和匯 (sink)， x 代表氣體或大氣顆粒物成分，單位為 mgkg^{-1}

三、ENVI-met V4.1.0 軟體應用及限制

ENVI-met 軟體在模擬範圍方面有所限制。在 ENVI-met V4.1.0 模擬區域的網格數限制為 100 格 (X 軸) × 100 格 (Y 軸) × 40 格 (Z 軸)，水平方向 (X 軸、Y 軸) 的解析度限制為 0.5m 到 10m，解析度越小代表模型模擬的網格越精細但能夠模擬的最大範圍較小，相對的解析度越大代表模型網格越粗略，能夠模擬的最大範圍較廣。

回顧過去 ENVI-met 相關研究，最早 1998 年 Bruse 和 Fleer 在期刊初次發表以 ENVI-met 模擬都市空間微氣候後，陸續出現利用 ENVI-met 做為研究工具的

相關研究，至今 ENVI-met 已被使用在德國、新加坡、中國、法國、美國等各地區的微氣候模擬研究，依其研究主題主要可分為三大類：



(一) ENVI-met 研發與測試

此部分的研究由 Bruse 團隊進行，主要為 ENVI-met 中的計算模型的修正與研發測試，例如 Huttner (2012) 博士論文中測試初始環境設定中變項的日夜變化，改善過去軟體僅能模擬理想化的日夜變化。另外在 2013 年，Yang 等人測試各個材料相關參數設定與實際測量的準確性。

(二) 使用 ENVI-met 評估效益

依效益種類可分為改善戶外空間熱環境 (e.g., Srivanit & Hokao, 2013)、改善空氣污染 (表 2-1)，以及建築物節能性能 (Yang et al., 2012) 三個方面的研究。研究通常會根據研究目的而發展出數個改善方案，並使用 ENVI-met 進行方案模擬，最後比較各方案間的差異。

(三) ENVI-met 模型驗證

Srivanit 和 Hokao (2013) 提出一套 ENVI-met 模型驗證與方案發展程序，透過模型數據驗證與模型參數設定兩部分來調整模型，經由驗證得到可靠的 ENVI-met 模型。

參考林巧婷 (2015) 整理目前相關研究使用三種方式驗證：第一種為繪製實測值和模擬值的趨時折線圖 (Middel et al., 2014; Yang et al., 2013; Chow & Brazel, 2012; Wong et al., 2007; Lahme & Bruse, 2003)，第二種則是使用統計方法的相關性作為驗證指標，過去的研究相關性介於 0.625 到 0.95 (Peng & Jim, 2013; Srivanit & Hokao, 2013; Ng et al., 2012; Shahidan et al., 2012; Winston et al., 2012; Krüger et al., 2011)，第三種則是前兩種方式並用 (Skelhorn et al., 2014) (表 2-2)。

表 2-1 ENVI-met 應用於空氣污染相關研究表

年份	作者	研究主題	研究目的	模擬地區
2016	Morakinyo	模擬與現況之驗證及污染物跟綠籬之關係。	透過現地測量與模擬，探討綠籬與風速風向之關係。	香港
2016	Morakinyo	ENVI-met 與風洞實驗之關係；街谷深度與喬木。	用風洞實驗與軟體模擬，討論街谷與喬木對於污染物之影響。	香港
2015	Morakinyo	綠籬與道路空氣污染。	討論路旁植栽屏障對於顆粒物的擴散與去除。	香港
2014	Hofman	街谷中喬木對於污染物之沉降影響。	用生物監測與模擬討論污染物的沉降。	比利時
2012	Vos	城市建築物配置及植栽配置對於空氣品質之影響。	探討都市區域植栽是否能改善空氣品質。	比利時
2011	Wania	植栽與街谷空氣品質。	討論風向角度、風速、高寬比、植栽配置對於污染濃度之影響。	法國斯特拉斯堡
2011	Nikolova	街道峽谷與污染物模擬之關係。	探討超細懸浮微粒在街道峽谷的擴散與分布情況。	比利時

(本研究整理)

表 2-2 ENVI-met 應用於空氣污染研究驗證資料表

年份	作者	驗證方法	驗證結果	差異因素
2016	Morakinyo	比較 ENVI-met 模擬軟體與風洞實驗，驗證污染濃度。	$R \geq 0.8$	葉面積密度。
2016	Morakinyo	於植栽屏障前後處，現地實測與模型模擬。	$R^2 = 0.89-0.79$	車輛流動無法計算、發射濃度被高估。
2014	Hofman	透過現地葉片採樣與模擬，比較污染物的沉積作用。	$R = 0.58-0.64$	排放濃度被低估、交通的流動無法計算。
2011	Nikolova	於街谷中現地測量與模擬。	$R = 0.44-0.93$	風向改變、交通現況堵塞。

(本研究整理)



依據相關研究及現階段軟體技術，ENVI-met 於空氣污染模擬部分亦有些許條件是無法被完整模擬出來的，本研究針對其研究限制彙整如表 2-3。

表 2-3 ENVI-met 軟體研究限制

類型	研究限制
模型條件	網格數量 100*100*40 模擬只能是平地，無法有地形起伏
氣候條件	模擬期間各時段風速、風向無法改變
污染源	一次只能設定單一種污染物 再懸浮無法被計算
大氣渦流	車行時所造成的空氣流動無法計算



第三章 研究方法



第一節 研究架構與內容

本研究主要探討街谷類型與街谷中道路植栽配置對於空氣品質之影響。本節將就整體架構說明，以及架構中變項的定義與其關係。

一、研究架構

本研究中的道路植栽配置，是指街谷中人行道及中央分隔島與道路植栽不同配置方案。其中道路植栽又可分為四種組合：無植栽、種植喬木、種植灌木、同時種植喬木與灌木。

根據文獻回顧，街谷高寬比越大則道路污染物越不易擴散。而喬木及灌木在街谷中也會對於污染物的擴散與沉積造成影響，這其中受到植栽的葉面積密度、高度、寬度、鄰污染源距離等影響。本研究即將不同的植栽組合，安排於街谷中不同位置進行討論。研究架構如圖 3-1：



圖 3-1 研究架構圖

二、研究變項定義

(一) 街道峽谷

位於都市發展地區內，是一種類似於自然峽谷的都市環境。由道路及兩旁建築物所組成的 U 型結構。本研究分為高寬比為 0.5 的淺型街谷、高寬比為 1 的一般街谷及高寬比為 2 的深型街谷。

(二) 植栽配置

植栽由喬木及灌木分成四種配置類型：無植栽、種植喬木、種植灌木、同時種植喬木與灌木。其中喬木高度為 12 公尺、寬 7 公尺、枝下高 3 公尺；灌木高度 1 公尺、寬度 1 公尺。

(三) 人行道植栽帶

本研究之街谷寬度為 40 公尺，兩旁各為 5 公尺之人行道路，人行道靠近道路側綠帶寬度為 1 公尺。綠帶每 14 公尺為一單元，每單元中央間隔 2 公尺。

(四) 中央分隔島

中央分隔島是常見的道路設計，為道路中央之連續綠帶，其主要用意為阻隔道路雙向車輛及防止對向車輛眩光，本研究中央分隔島寬度設定為 1 公尺。



第二節 研究地區

研究範圍選定臺灣臺北市典型的街道峽谷，道路寬達 40 公尺擁有良好的人行道設計改變可行性，且交通量大、人為使用高之路段。

本研究所選擇基地位在臺灣，臺北市中山區。氣候條件方面，臺北市中山區氣溫之年平均溫為 23.3°C。夏季時氣溫高，盛行風向為西南季風；冬季受東北季風影響，寒冷多雨，為典型的「副熱帶季風氣候」。

本研究選定南京東路二段，松江路交叉口附近，南北兩側之建築高度為 11 樓至 14 樓，路寬達 40 公尺，人行道空間南北各為 5 公尺，擁有良好之植栽不同配置可能性。研究地點航照圖如下：



圖 3-2 研究基地空照圖

第三節 ENVI-met 設定與模型驗證

本研究使用 ENVI-met V4.1 軟體作為研究工具，研究流程包含三個部分。第一部份為模型驗證以得到可信賴的 ENVI-met 模型；第二部分為透過文獻回顧擬定模擬都市街谷植栽配置方案；第三部分，利用在第一部分驗證過的可靠 ENVI-met 模型來模擬都市街谷植栽配置方案。詳細流程參考 Huttner(2012)驗證模型，如圖 3-3 所示。

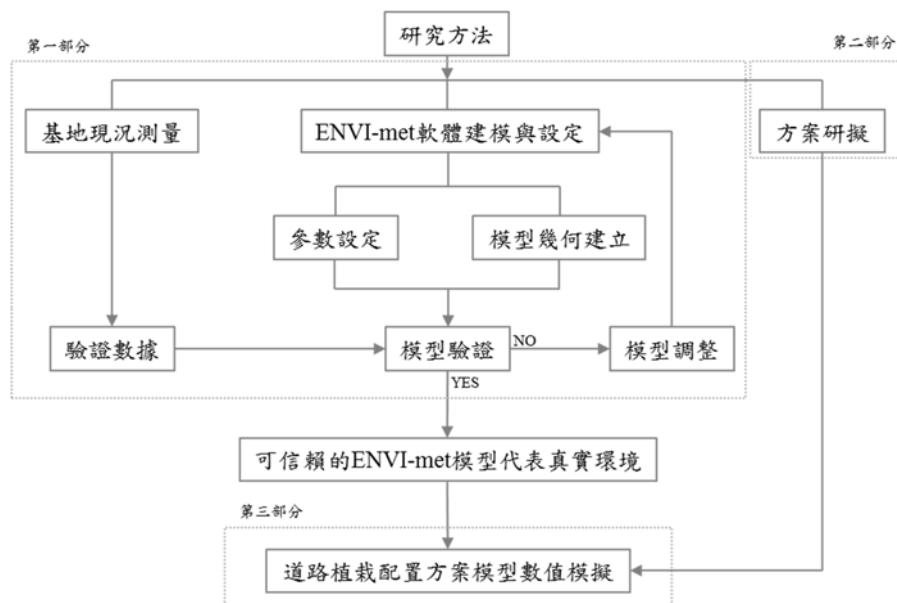


圖 3-3 研究方法操作流程圖

一、建模與設定

包括建模設定與參數設定。

(一) 建模設定

考量研究目的實際基地範圍，將網格解析度設定為 $x=2\text{ m}$ ， $y=1\text{ m}$ ， $z=6$ 公尺內為 0.5 m 一格；6 公尺以上每格設為彈性 20%，總高度 88 公尺。此外，根據 Srivanit 和 Hokao (2013) 的研究，考慮到基地外的環境對於基地內氣溫的影響，將建模的範圍擴大至軟體的最大模擬範圍，因此最終網格數為， $x=100$ 格， $y=100$ 格， $z=35$ 格。

在土地利用覆蓋的圖面判讀方面，利用臺北市 CAD 圖檔及現地勘查來建立 ENVI-met 模型。

(二) 參數設定

除上述基本建築及道路環境設定，其餘主要參數設定包括氣象、污染源、植栽等三部分，以下分別說明此三項參數設定。並綜合模型參數表列如表 3-1 所示。

1. 氣象參數

以測量日西元 2017 年 6 月 27 日當日之測量數據做為模型的參數條件設定。本研究採用 Watchdog 測量採樣點上午八點至下午六點之微氣候，測量項目為溫度、濕度、風速、風向，其餘未測量之時段採用中央氣象局公布之 24 小時數據進行推估。

表 3-1 溫度及濕度 24 小時參數值

溫度及濕度 24 小時參數值												
時段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
溫度	28.48	29.00	29.10	29.20	28.69	28.69	28.69	31.10	31.91	33.29	33.71	35.21
濕度	63.15	63.15	62.27	62.27	64.03	64.03	64.90	58.61	54.62	48.73	45.86	41.19
時段	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
溫度	35.01	35.07	33.46	31.58	31.18	30.92	30.63	28.79	28.79	28.79	28.59	28.48
濕度	45.93	45.87	51.05	62.55	64.81	67.05	61.40	59.64	61.40	63.15	62.27	64.03

本研究實測與中央氣象局數據推估

2. 污染物

污染物濃度以臺北市交通局公告之南京東路及松江路路口交通量為基準。交通局公告之車流數據只顯示尖峰時交通量，其時段為上午 8 點至 9 點及下午 5 點至 6 點，因而其他時段採用臺北市道路 24 小時車流變化型態進行推估。

表 3-2 南京東路松江路路口尖峰時段交通量

時段	路口	大型車	車種	小型車	車種	機車	車種
		(輛)	比例	(輛)	比例	(輛)	比例
0800	東	175	8%	890	39%	1242	53%
	南	106	3%	969	30%	2111	67%
0900	西	141	5%	1003	33%	1923	62%
	北	94	5%	683	35%	1154	60%
1700	東	152	5%	1040	34%	1895	61%
	南	98	4%	951	37%	1554	59%
1800	西	148	7%	944	46%	961	47%
	北	124	5%	1229	47%	1260	48%

臺北市交通局，2016

表 3-3 臺北市道路 24 小時車流變化型態

時段	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
比例	0.65	0.38	0.29	0.22	0.19	0.19	0.29	1.04	1.5	1.38	1.4	1.31
時段	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
比例	1.16	1.19	1.33	1.42	1.41	1.53	1.57	1.44	1.13	1.07	1.07	0.82

空氣污染物排放量推估手冊 (TEDS 5.1), 2000

綜合以上資料，再依據中華民國空氣污染物排放量推估手冊公告之各車種排放濃度，進行污染物排放濃度計算。並依據東西及南北車流量以及現地測量進行比例分配。最後本研究依據 Nikolova (2011) 之論述，本研究位於交通十字路口，車輛停等紅綠燈會造成較高的污染濃度發射，故將其發射濃度調整兩倍，各小時各車道之排放濃度如表 3-3。

表 3-4 各小時各車道發射濃度參數值

時段	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
南北向	4.23	2.47	1.89	1.43	1.24	1.24	1.89	6.28	9.76	10.83	10.24	8.68
東西向	4.96	2.90	2.21	1.68	1.45	1.45	2.21	8.42	11.45	12.71	12.03	10.19
時段	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
南北向	8.20	13.85	11.32	13.37	14.34	15.42	17.95	9.37	7.35	6.96	6.96	5.33
東西向	9.62	16.26	13.29	15.69	16.84	18.10	21.07	11.00	8.63	8.17	8.17	6.26

發射濃度單位： $\mu\text{g}/(\text{m}^3\cdot\text{s})$

3. 植栽

植栽參數設定主要設定項目為高度、寬度及葉面積指數 (leaf area index)，葉面積指數是指單位土地面積上植物葉片總面積佔土地面積的倍數。即：葉面積指數=葉片總面積/土地面積。本研究植栽之參數條件設定又可分為喬木與灌木，其中喬木以臺灣行道樹常用之物種楓香做為喬木植栽設定，其 LAI 值分為兩種葉密度 4.1 及 1.5；灌木 LAI 值為 2、4。相關設定參數如表 3-5：

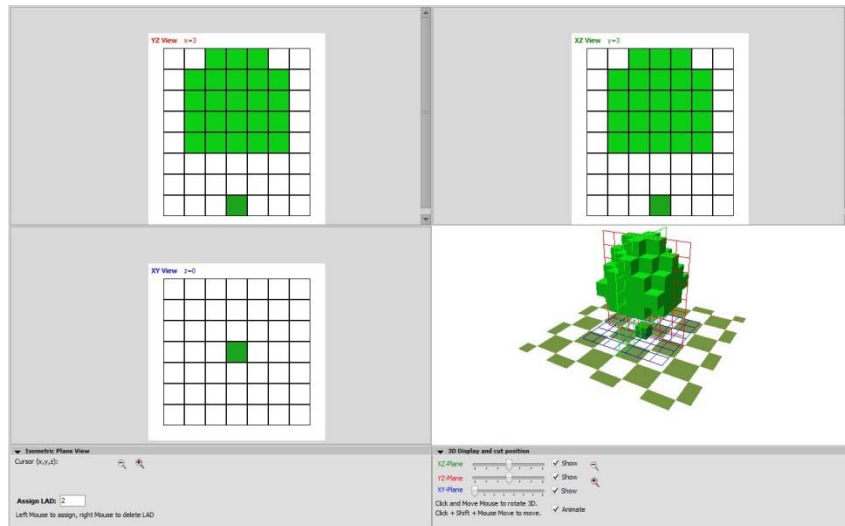


圖 3-4 植栽 3D 建模環境圖

表 3-5 喬木及灌木 LAI 參數值

Plant	現況喬灌木(楓香)	喬木(楓香)	低密度喬木	灌木	高灌木
LAI	3.5	4.1	1.5	2	4
Height(m)	8	12	8	1	2
Width(m)	3	9	5	1	1
dz	1	1	1	1	1
LAD12	0	0.3	0.1	0	0
LAD11	0	0.4	0.1	0	0
LAD10	0	0.5	0.2	0	0
LAD9	0	0.6	0.2	0	0
LAD8	0.3	0.6	0.3	0	0
LAD7	0.4	0.8	0.3	0	0
LAD6	0.4	0.6	0.2	0	0
LAD5	0.3	0.3	0.1	0	0
LAD4	0.1	0	0	0	0
LAD3	0	0	0	0	0
LAD2	0	0	0	0	2
LAD1	2	0	0	2	2
LAD total	3.5	4.1	1.5	2	4

(三) 參數設定總表

依上述，表 3-6 彙整本研究 ENVI-met 之相關參數設定。

表 3-6 ENVI-met 參數設定表

參數	定義	數值	備註
背景條件	網格	100*100*35	
	網格大小	2m*1m*0.5m	Z 軸 6m 以上為彈性 20%
	時間	2017/06/27	
	模擬時間	24hr	0000-2400
	採樣時段	08 : 00-18 : 00/24hr	驗證/方案
	採樣高度	150cm	人為活動呼吸高度
氣象參數	溫度	28.48-35.21°C	2017/06/27 當日氣溫
	濕度 RH	41.19-67.05%	2017/06/27 當日濕度
	風向	180°	垂直風向
	風速	3 m/s	微風
污染物	種類	PM _{2.5}	
	污染源類型	線型污染物	
	污染源高度	0.3m	車尾排氣
	發射濃度	依據每小時交通量設定 單位：ug/(s*m)	南京東路交通量
喬木-楓香	LAI	4.1/1.5	一般喬木/低密度喬木
	高度	12m	
	冠幅	9m	
灌木	LAI	2/4	
	高度	1m/2m	
	厚度	1m	

二、模型驗證

本研究驗證之數據以 d 值為參考依據。根據 Willmott (1982) 對模型性能量化評價方法的敘述，d 值 (index of agreement) 可用來做模型與實測值間的比較，也可釐清該模型的解釋能力，所計算出的 d 值介於 0~1 之間，d 值越趨近於 1 表示其預測能力越好。其計算公式如下：

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i'| + |O_i'|)^2} \right]$$

式 20

- P_i = 觀察值
- O_i = 實測值
- $P_i' = P_i - \bar{O}$
- $O_i' = O_i - \bar{O}$
- \bar{O} = 實測值的平均值

(一) 現況調查資料

調查日期為 2017 年 6 月 27 日上午八點至下午六點。研究採用 Watchdog 及 Met One Aerocet 531 儀器測量微氣候及污染濃度，資料蒐集項目為溫度、濕度、風速、風向、輻射溫度及 PM_{2.5} 濃度。



圖 3-5 現況測量照片

(二) PM_{2.5} 濃度驗證結果

本研究進行 PM_{2.5} 濃度相關分析的計算結果如圖 3-6、3-7 所示，相關係數為 0.97；d 值為 0.81。

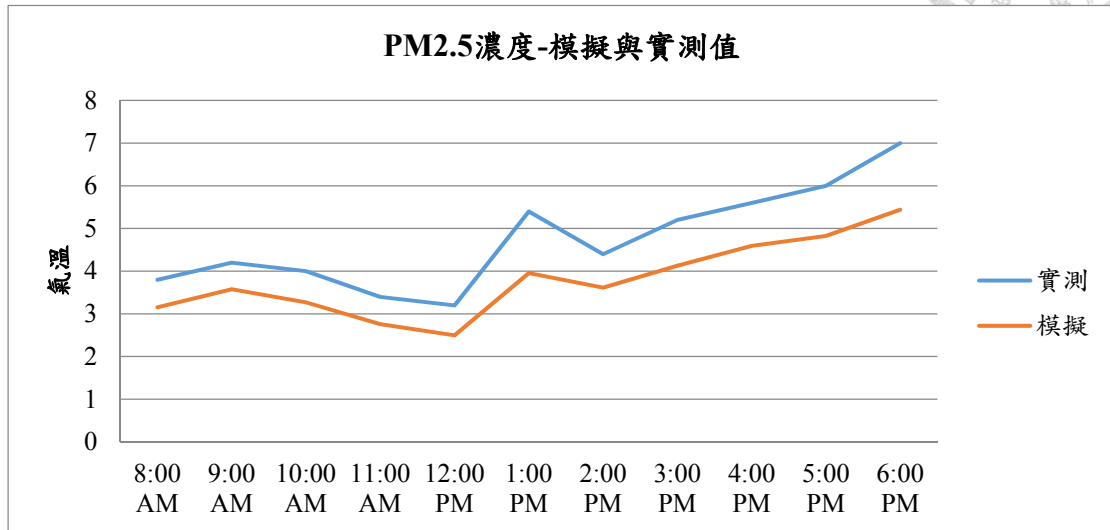


圖 3-6 模擬值與實測值 PM_{2.5} 濃度表現圖

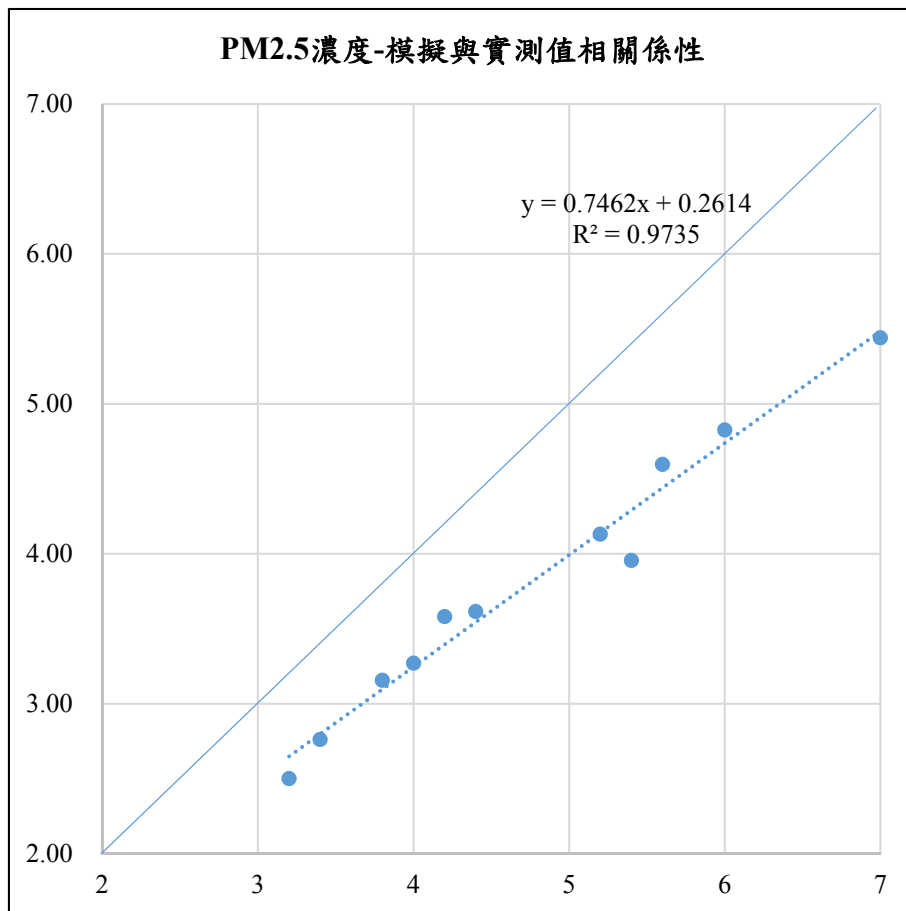


圖 3-7 模擬值與實測值 PM_{2.5} 濃度相關性圖

(三) 氣溫驗證結果

本研究另進行氣溫相關分析的計算結果如圖 3-8、3-9 所示，相關係數為 0.87；
d 值為 0.93。

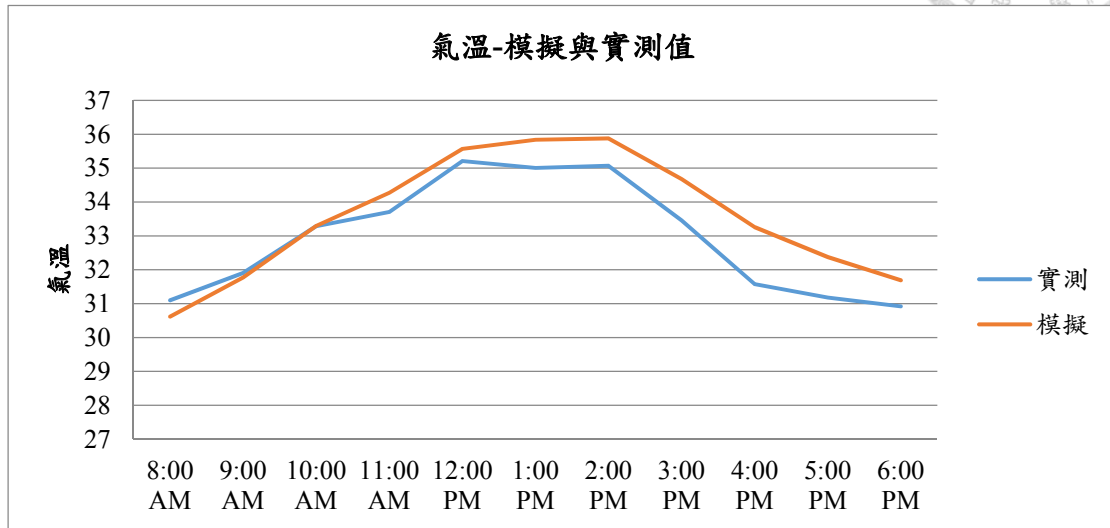


圖 3-8 模擬值與實測值氣溫表現圖

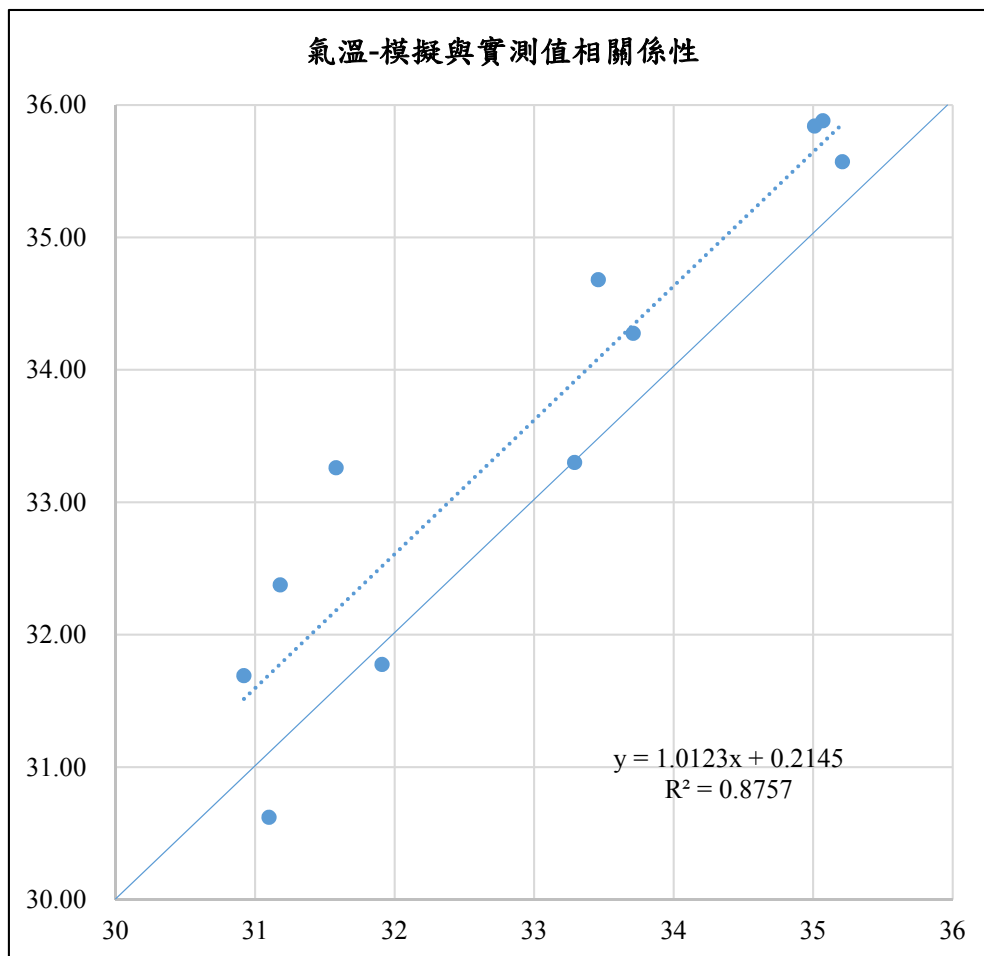


圖 3-9 模擬值與實測值氣溫相關性圖

依據圖表顯示，PM_{2.5} 污染濃度與氣溫在現況與模擬環境均有高度相關之驗證結果。為此，本研究確立模擬軟體 ENVI-met 與研究區域的環境有其一定可靠性。而後續本研究也依照此模擬的參數數據進行方案的條件與數值設定。



第四節 道路植栽配置方案

一、方案發展過程與原則

方案發展原則依據文獻回顧進行發展，將環境設定在相同氣候條件下，共進行六步驟逐一執行發展推演與發展，方案發展過程如圖 3-10：

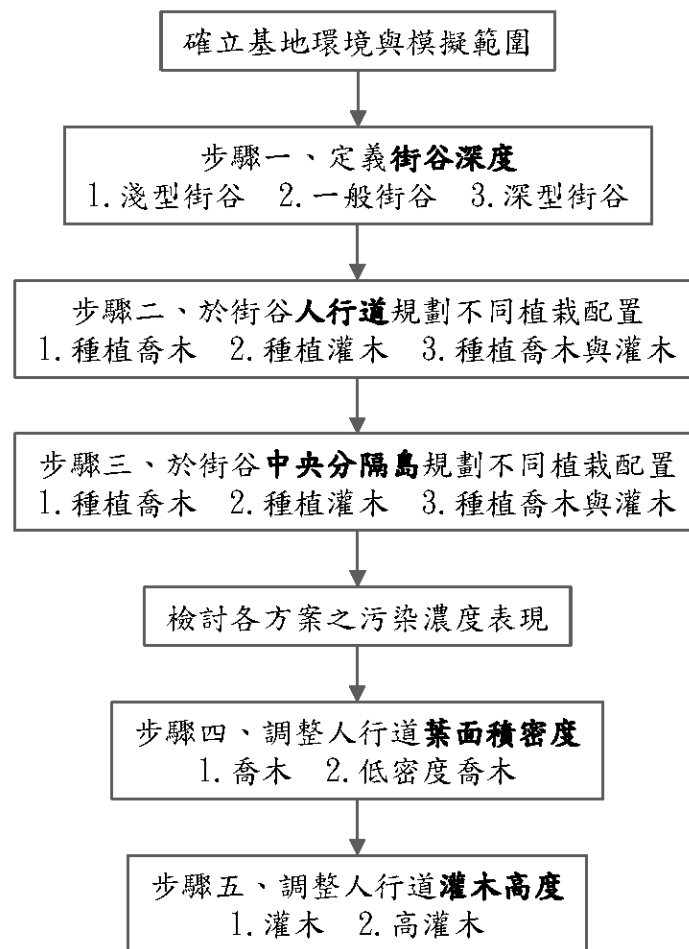


圖 3-10 方案發展過程圖

(一) 步驟一：不同街谷深度之污染濃度與風場變化。

本研究設定三種街谷高寬比，分別為淺型街谷($H/W=0.5$)、一般街谷($H/W=1$)、深型街谷 ($H/W=2$) 進行討論。

(二) 步驟二：街谷中不同的人行道植栽配置對於空氣品質有不同的影響。

由不同植栽配置方案，討論街谷植栽對污染濃度之影響。本研究規劃人行道種植喬木、灌木、喬木與灌木三種配置形式。

(三) 步驟三：街谷中不同的中央分隔島植栽配置對於空氣品質有不同影響。

延續步驟二之配置方案進行中央分隔島之植栽配置。同樣規劃種植喬木、灌木、喬木與灌木三種配置形式。

(四) 步驟四：調整街谷中喬木 LAI 值。

透過調整喬木葉面積密度 ($LAI=4.1 \rightarrow 1.5$)，探討不同植栽葉面積密度對於污染物之影響。

(五) 步驟五：調整街谷中灌木高度。

經文獻回顧得知，增加灌木高度及寬度可改善背風處空氣品質。因此本研究增加人行道灌木高度 ($H=1m \rightarrow 2m$) 進行討論。



表 3-7 方案內容表



步驟一			步驟二			步驟四			步驟三			步驟四			步驟五				
編號	不同街谷深度		編號	人行道植栽配置		編號	調整街谷中喬木LAI值		編號	中央分隔島植栽配置		編號	調整街谷中喬木LAI值		編號	增加灌木高度			
1	1	淺型街谷	4	1-1	淺型街谷/ 人行道種植喬木	40	1-1L	淺型街谷/ 人行道種植低密度喬木	13	1-1-1	淺型街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植喬木	46	1-1-1L	淺型街谷/ 人行道種植低密度喬木/ 中央分隔島種植低密度喬木	64	1-1-2H	淺型街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植高灌木		
									14	1-1-2	淺型街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植灌木	47	1-1-3L	淺型街谷/ 人行道種植低密度喬木/ 中央分隔島種植低密度喬木及灌木					
									15	1-1-3	淺型街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植喬木及灌木								
			5	1-2	淺型街谷/ 人行道種植灌木	41	1-3L	淺型街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木	16	1-2-1	淺型街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植喬木	48	1-2-1L	淺型街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植低密度喬木	65	1-2-1H	淺型街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植喬木		
									17	1-2-2	淺型街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植灌木	49	1-2-3L	淺型街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植高灌木					
									18	1-2-3	淺型街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植喬木及灌木			67	1-2-3H	淺型街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植喬木及高灌木			
			6	1-3	淺型街谷/ 人行道種植喬木及灌木	42	2-1L	一般街谷/ 人行道種植低密度喬木	19	1-3-1	淺型街谷/ 人行道種植喬木及灌木/ 中央分隔島種植喬木	50	1-3-1L	淺型街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木/ 中央分隔島種植低密度喬木	68	1-3-2H	淺型街谷/ 人行道種植喬木及高灌木/ 中央分隔島種植高灌木		
									20	1-3-2	淺型街谷/ 人行道種植喬木及灌木/ 中央分隔島種植灌木	51	1-3-3L	淺型街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木/ 中央分隔島種植低密度喬木及灌木					
									21	1-3-3	淺型街谷/ 人行道種植喬木及灌木/ 中央分隔島種植喬木及灌木			69				1-3-3H	淺型街谷/ 人行道種植喬木及高灌木/ 中央分隔島種植喬木及高灌木
2	2	一般街谷	7	2-1	一般街谷/ 人行道種植喬木	42	2-1L	一般街谷/ 人行道種植低密度喬木	22	2-1-1	一般街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植喬木	52	2-1-1L	一般街谷/ 人行道種植低密度喬木/ 中央分隔島種植低密度喬木	70	2-1-2H	一般街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植高灌木		
									23	2-1-2	一般街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植灌木	53	2-1-3L	一般街谷/ 人行道種植低密度喬木/ 中央分隔島種植低密度喬木及灌木					
									24	2-1-3	一般街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植喬木及灌木			54				2-2-1L	一般街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植喬木
			8	2-2	一般街谷/ 人行道種植灌木	43	2-3L	一般街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木	25	2-2-1	一般街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植喬木	54	2-2-1L		一般街谷/ 人行道種植低密度喬木/ 中央分隔島種植低密度喬木	71	2-2-1H		一般街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植喬木
									26	2-2-2	一般街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植灌木	55	2-2-3L		一般街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植高灌木				
									27	2-2-3	一般街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植喬木及灌木			73	2-2-3H	一般街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植喬木及高灌木			
			9	2-3	一般街谷/ 人行道種植喬木及灌木	44	3-1L	深型街谷/ 人行道種植低密度喬木	28	2-3-1	一般街谷/ 人行道種植喬木及灌木/ 中央分隔島種植喬木	56	2-3-1L	一般街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木/ 中央分隔島種植低密度喬木	74	2-3-2H	一般街谷/ 人行道種植喬木及高灌木/ 中央分隔島種植高灌木		
									29	2-3-2	一般街谷/ 人行道種植喬木及灌木/ 中央分隔島種植灌木	57	2-3-3L	一般街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木/ 中央分隔島種植低密度喬木及灌木					
									30	2-3-3	一般街谷/ 人行道種植喬木及灌木/ 中央分隔島種植喬木及灌木			75				2-3-3H	一般街谷/ 人行道種植喬木及高灌木/ 中央分隔島種植喬木及高灌木
3	3	深型街谷	10	3-1	深型街谷/ 人行道種植喬木	44	3-1L	深型街谷/ 人行道種植低密度喬木	31	3-1-1	深型街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植喬木	58	3-1-1L	深型街谷/ 人行道種植低密度喬木/ 中央分隔島種植低密度喬木	76	3-1-2H	深型街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植高灌木		
									32	3-1-2	深型街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植灌木	59	3-1-3L	深型街谷/ 人行道種植低密度喬木/ 中央分隔島種植低密度喬木及灌木					
									33	3-1-3	深型街谷/ 人行道種植喬木/ 中央分隔島種植喬木及灌木			60				3-2-1L	深型街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植喬木
			11	3-2	深型街谷/ 人行道種植灌木	45	3-3L	深型街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木	34	3-2-1	深型街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植喬木	60	3-2-1L		深型街谷/ 人行道種植低密度喬木/ 中央分隔島種植低密度喬木	77	3-2-1H		深型街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植喬木
									35	3-2-2	深型街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植灌木	61	3-2-3L		深型街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植高灌木				
									36	3-2-3	深型街谷/ 人行道種植灌木/ 中央分隔島種植喬木及灌木			79	3-2-3H	深型街谷/ 人行道種植高灌木/ 中央分隔島種植喬木及高灌木			
			12	3-3	深型街谷/ 人行道種植喬木及灌木	45	3-3L	深型街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木	37	3-3-1	深型街谷/ 人行道種植喬木及灌木/ 中央分隔島種植喬木	62	3-3-1L	深型街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木/ 中央分隔島種植低密度喬木	80	3-3-2H	深型街谷/ 人行道種植喬木及高灌木/ 中央分隔島種植高灌木		
									38	3-3-2	深型街谷/ 人行道種植喬木及灌木/ 中央分隔島種植灌木	63	3-3-3L	深型街谷/ 人行道種植低密度喬木及灌木/ 中央分隔島種植低密度喬木及灌木					
									39	3-3-3	深型街谷/ 人行道種植喬木及灌木/ 中央分隔島種植喬木及灌木			81				3-3-3H	深型街谷/ 人行道種植喬木及高灌木/ 中央分隔島種植喬木及高灌木

二、方案說明

本研究依上述步驟，共計有 81 種道路植栽配置方案，其詳細說明如下：

(一) 現況

以基地現況進行建模圖 3-11，並以 2017 年 6 月 27 日之氣象條件作為模型參數。研究觀測點依據現況尋找人行道無植栽配置及不受機車停車位影響之區域做為測量觀測點。本現況模型亦做為軟體驗證及建築物環境使用。



圖 3-11 基地現況空照圖

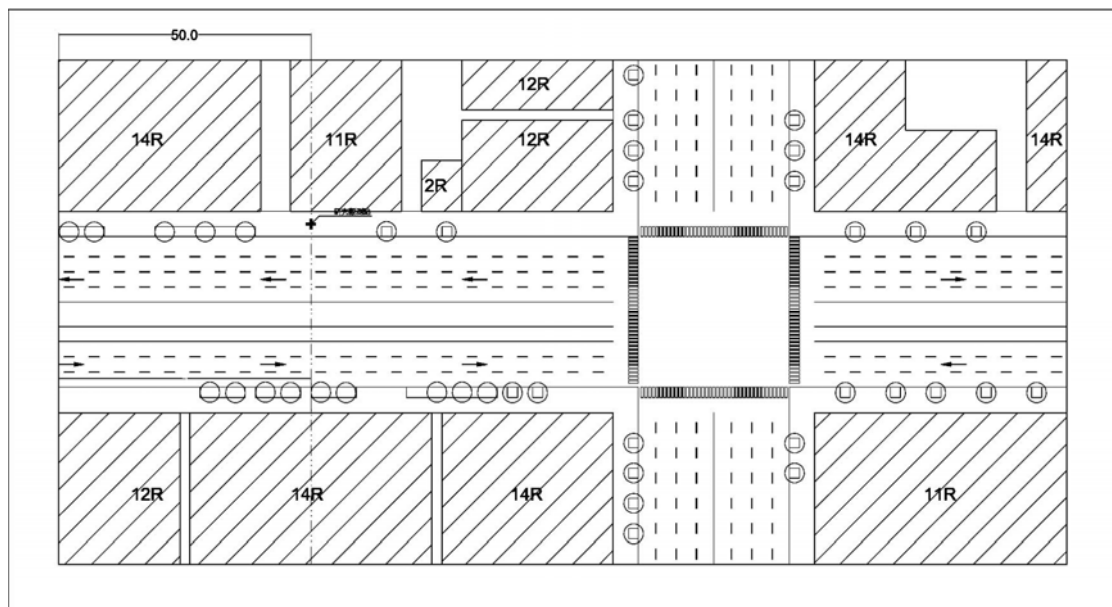


圖 3-12 基地現況模型圖

(二) 步驟一-街谷高寬比

設定街谷高寬比，分別為淺型街谷、一般街谷、深型街谷。

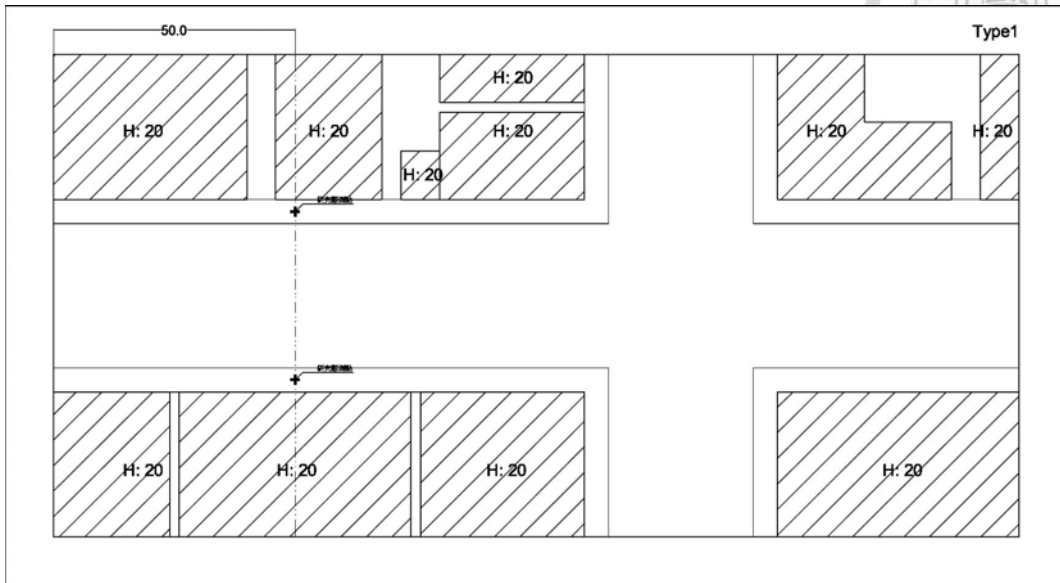


圖 3-13 方案 1-淺型街谷平面圖

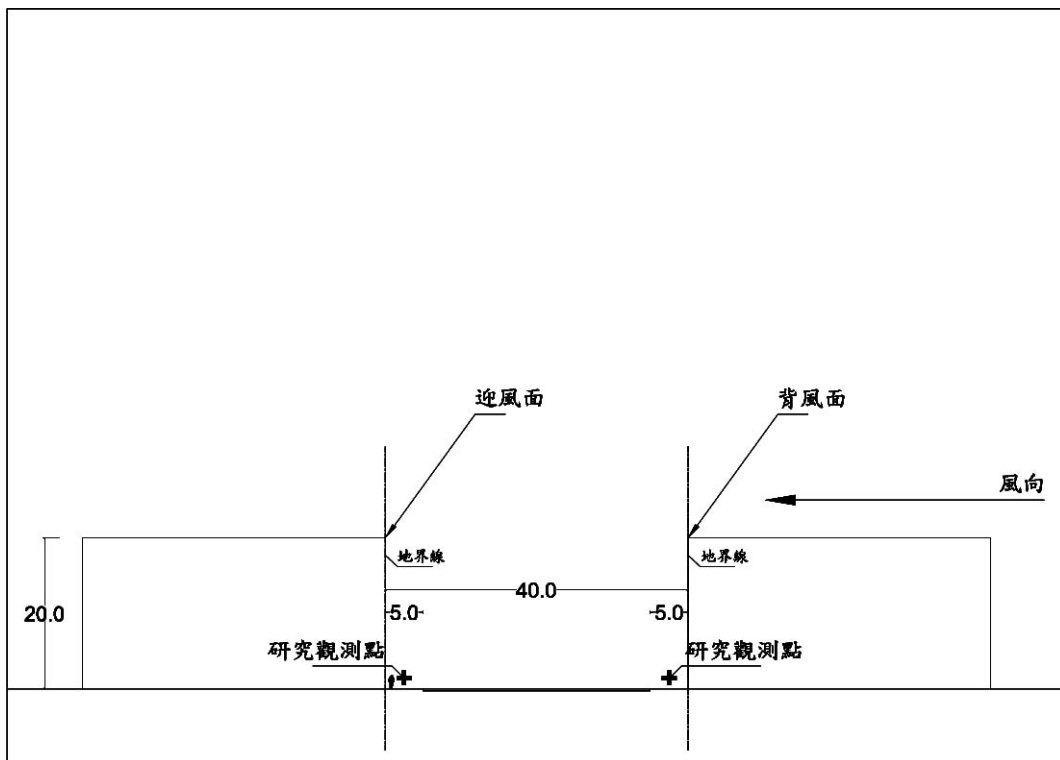


圖 3-14 方案 1-淺型街谷剖面圖

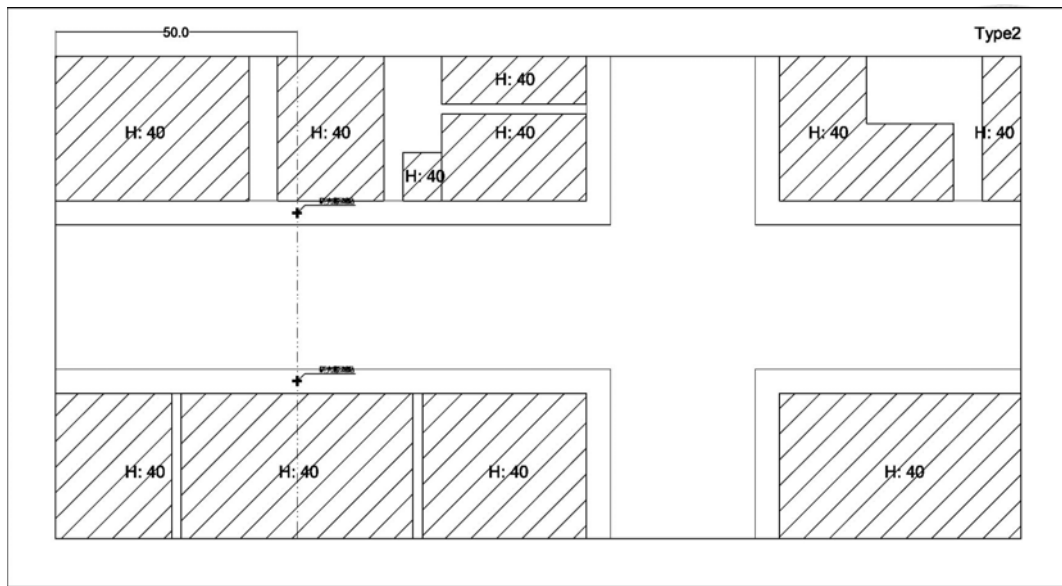


圖 3-15 方案 2 一般街谷平面圖

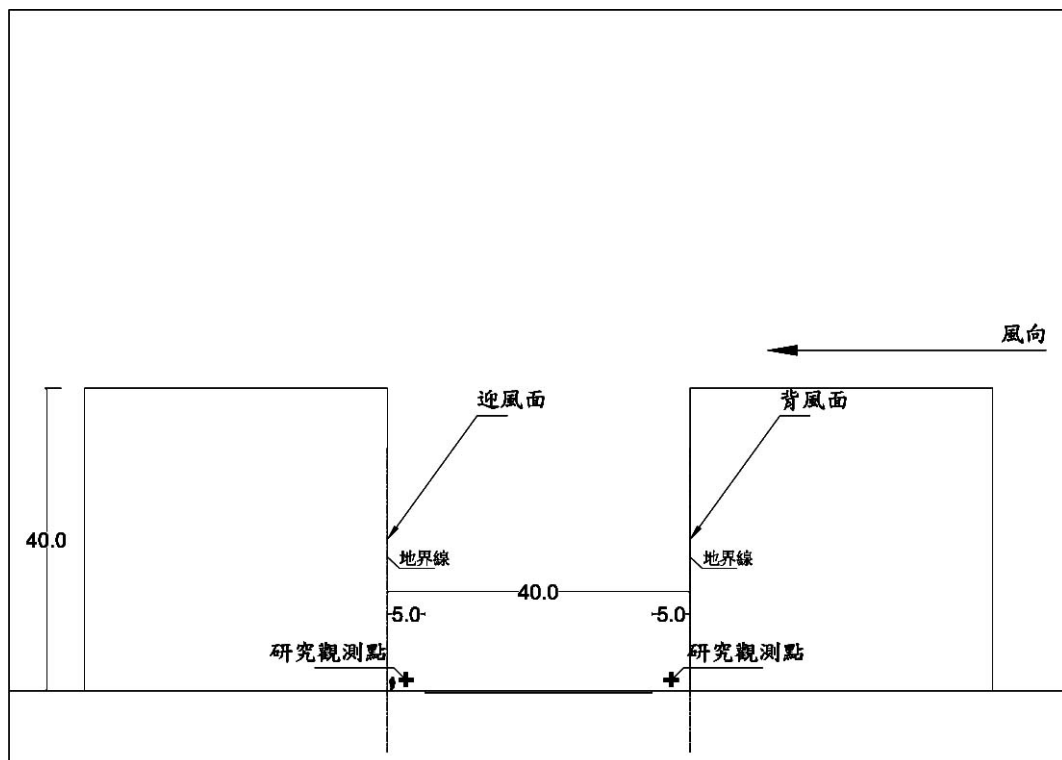


圖 3-16 方案 2 一般街谷剖面圖

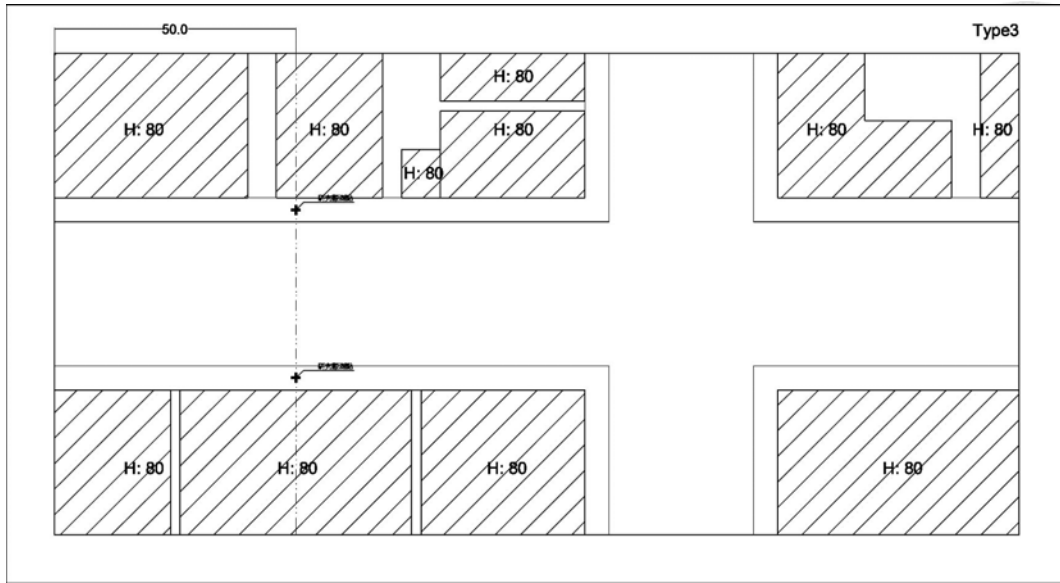


圖 3-17 方案 3-深型街谷平面圖

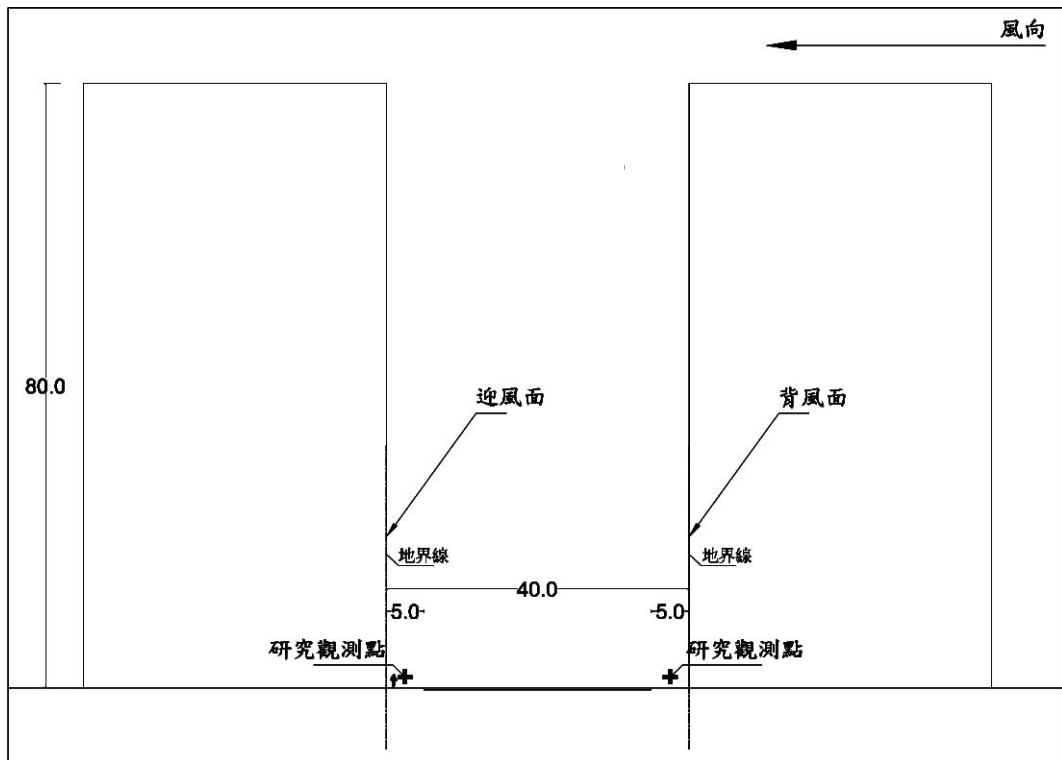


圖 3-18 方案 3-深型街谷剖面圖

(三) 步驟二-人行道植栽配置

依據不同峽谷深度，分別於人行道配置三種植栽型式，1.種植喬木；2.種植灌木；3.種植喬木與灌木，共計 9 種植栽配置方案，相關配置型式如下圖表示：

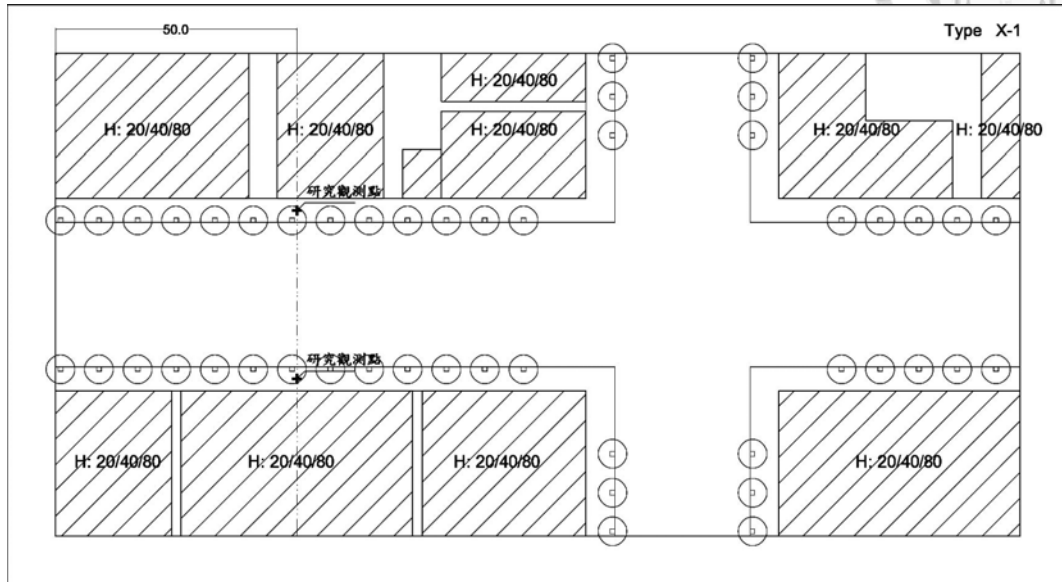


圖 3-19 方案 4、7、10 街谷人行道種植喬木平面圖

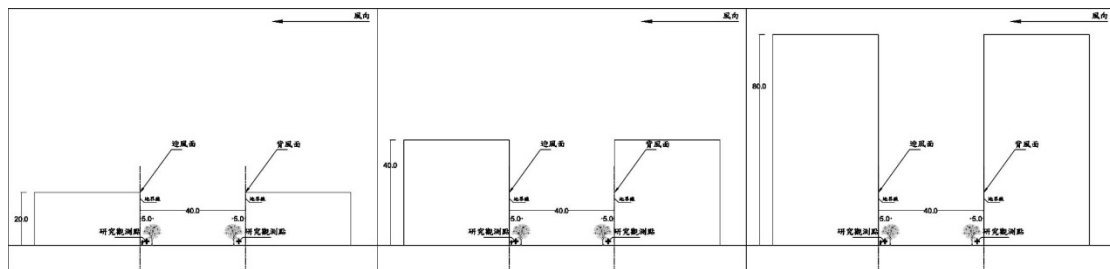


圖 3-20 方案 4、7、10 街谷人行道種植喬木剖面圖

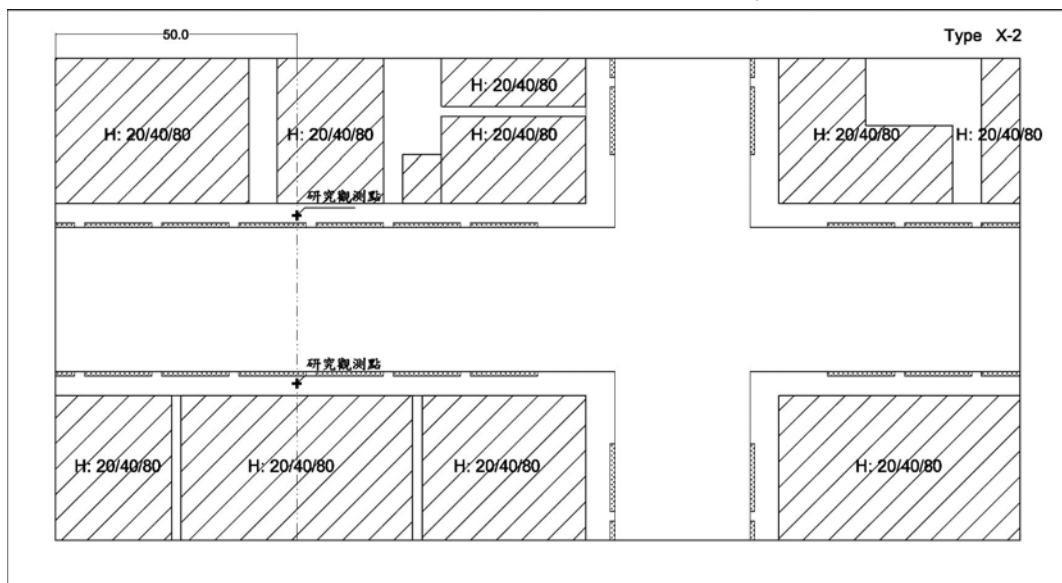


圖 3-21 方案 5、8、11 街谷人行道種植灌木平面圖

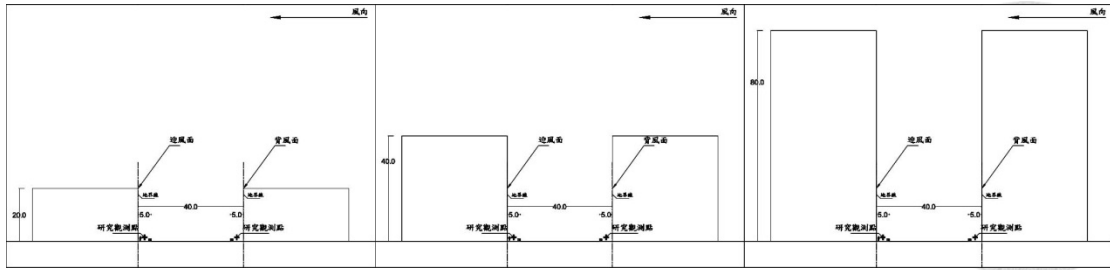


圖 3-22 方案 5、8、11 街谷人行道種植灌木剖面圖

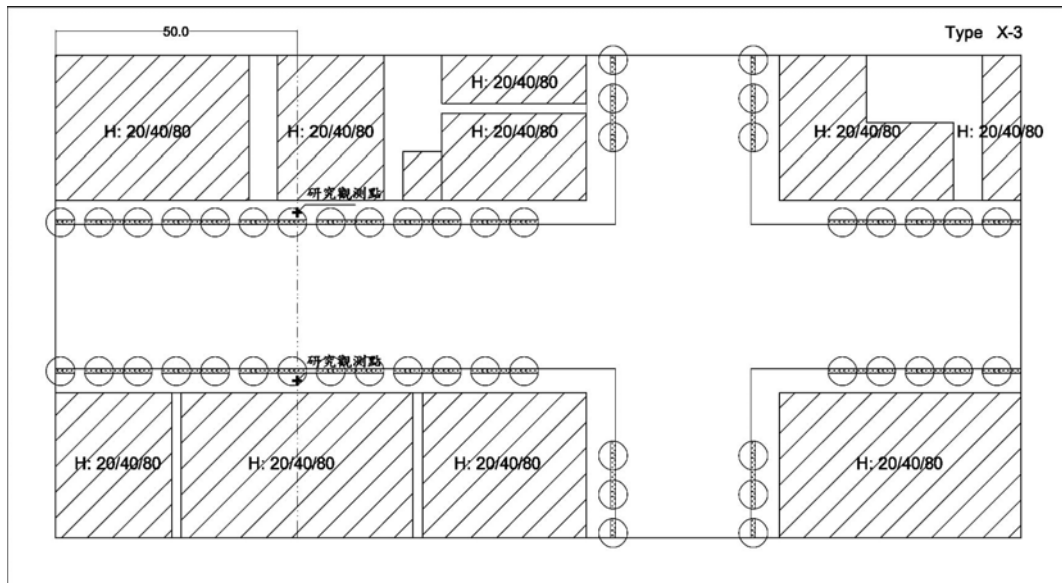


圖 3-23 方案 6、9、12 街谷人行道種植喬木及灌木平面圖

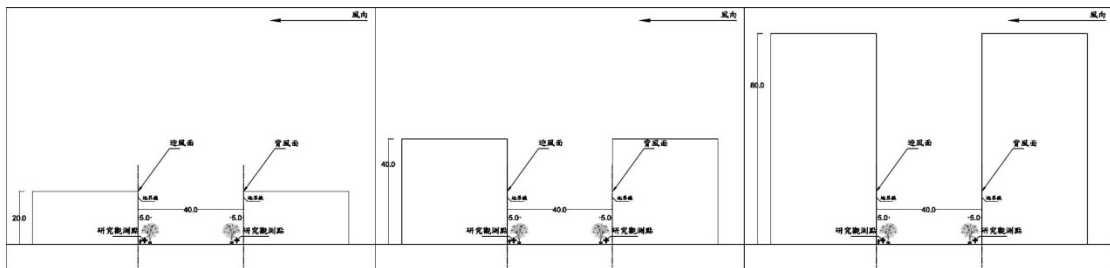


圖 3-24 方案 6、9、12 街谷人行道種植喬木及灌木剖面圖

(四) 步驟三-中央分隔島植栽配置

由步驟二中的 9 個方案選擇「種植灌木」與「種植喬木及灌木」方案，分別於中央分隔島配置三種植栽型式，1.種植喬木；2.種植灌木；3.種植喬木與灌木，共計 27 種植栽配置方案，相關配置型式如下圖表示：

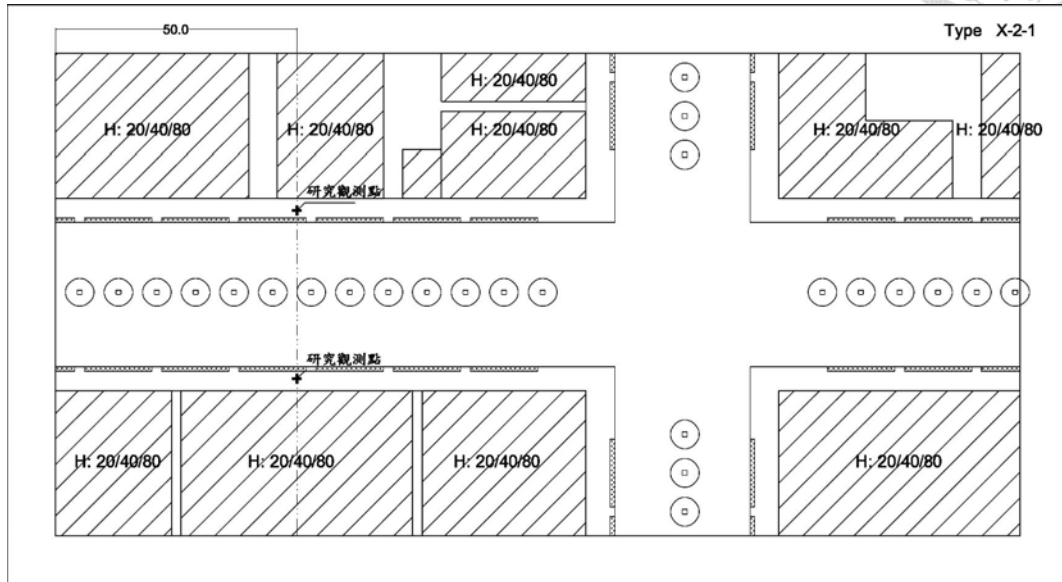


圖 3-25 方案 16、25、34 街谷中央分隔島種植喬木平面圖

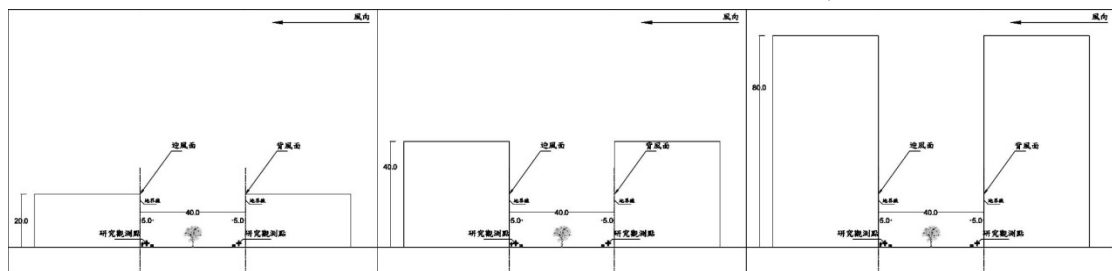


圖 3-26 方案 16、25、34 街谷中央分隔島種植喬木剖面圖

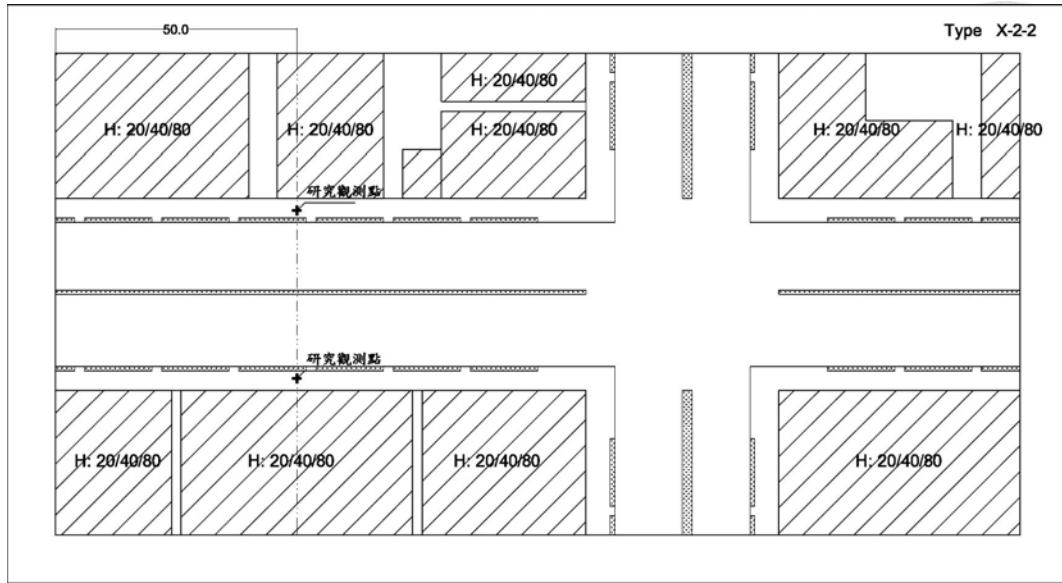


圖 3-27 方案 17、26、35 街谷中央分隔島種植灌木平面圖

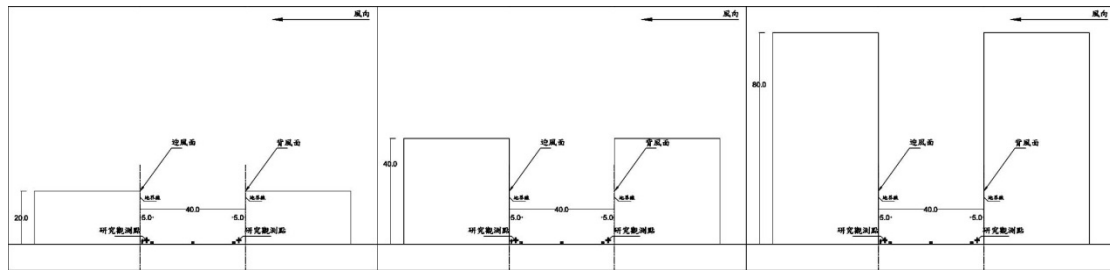


圖 3-28 方案 17、26、35 街谷中央分隔島種植灌木剖面圖

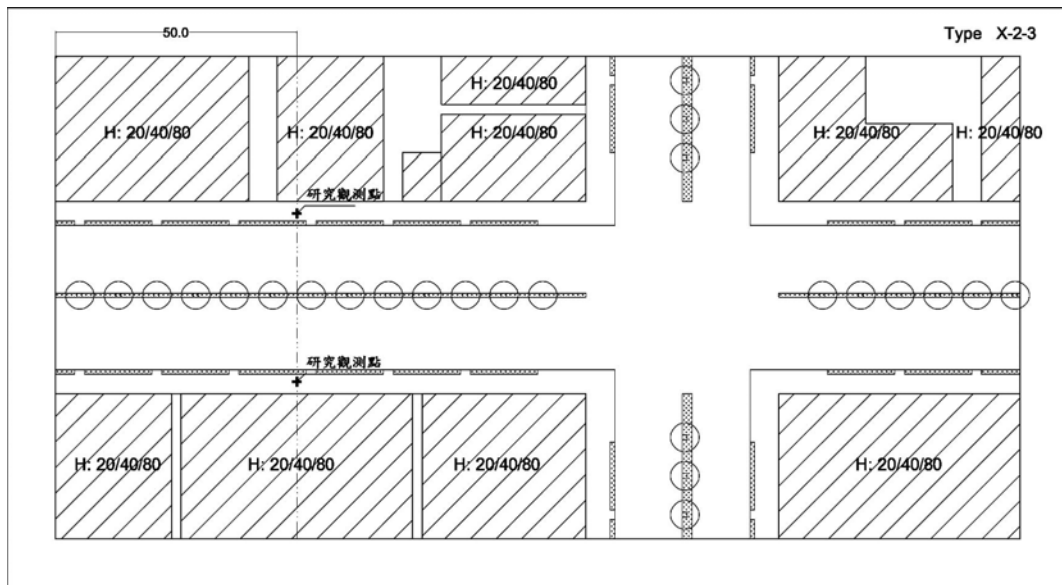


圖 3-29 方案 18、27、36 街谷中央分隔島種植喬木及灌木平面圖

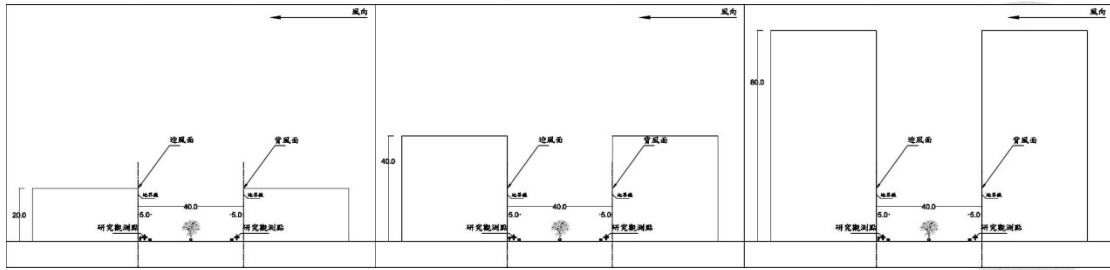


圖 3-30 方案 18、27、36 街谷中央分隔島種植喬木及灌木剖面圖

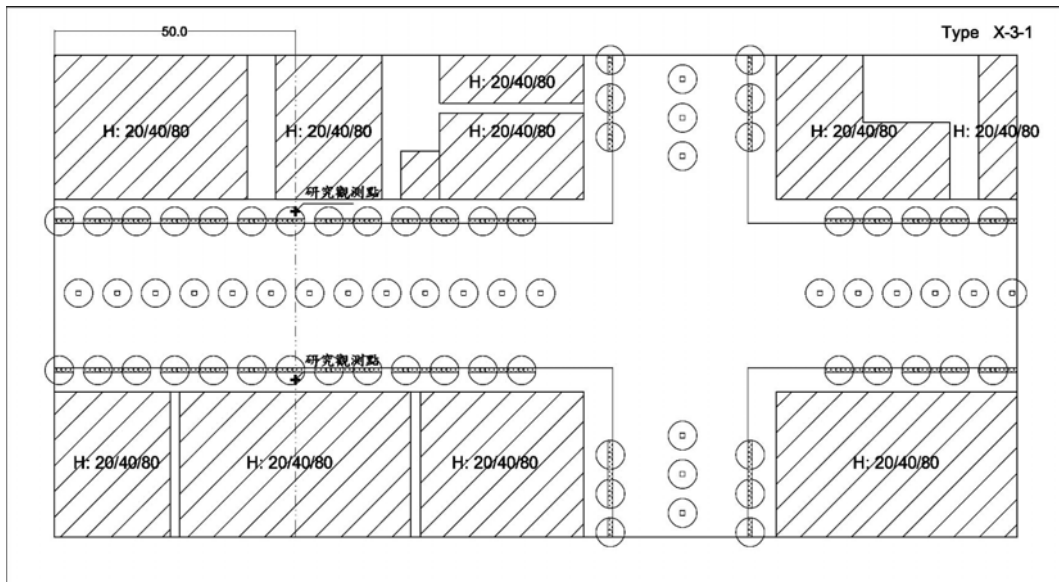


圖 3-31 方案 19、28、37 街谷中央分隔島種植喬木平面圖

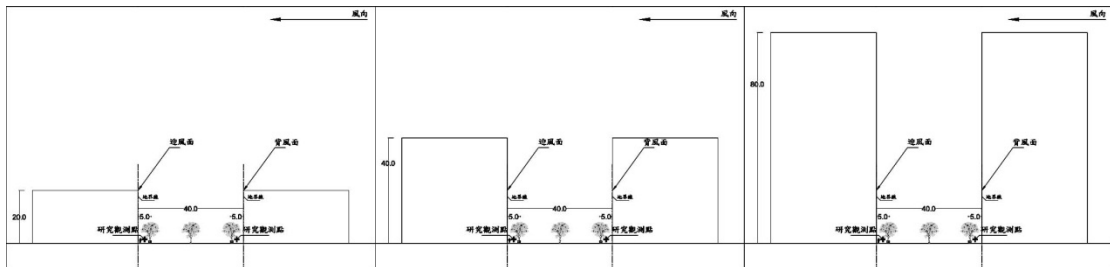


圖 3-32 方案 19、28、37 街谷中央分隔島種植喬木剖面圖

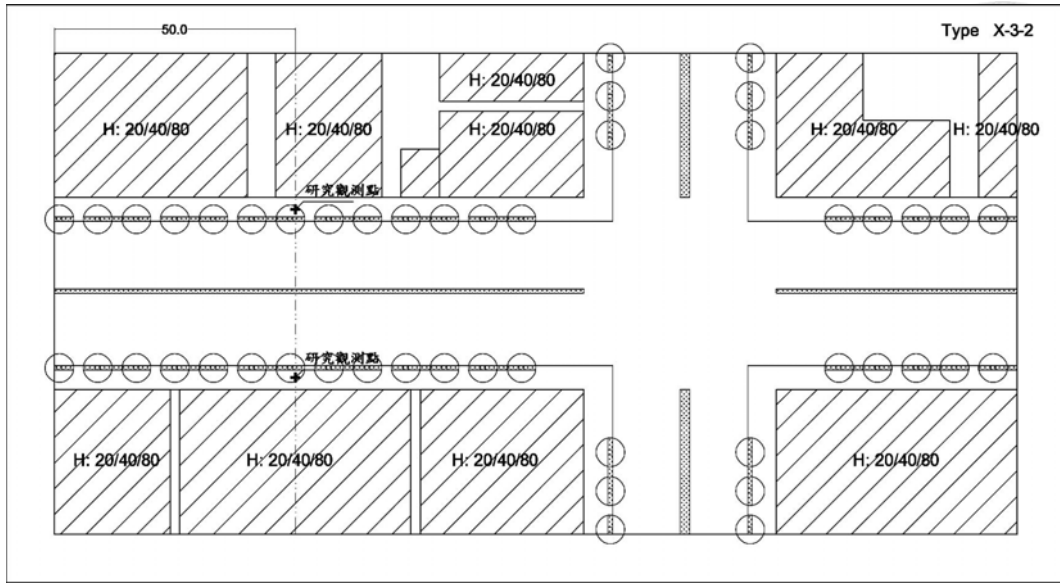


圖 3-33 方案 20、29、38 街谷中央分隔島種植灌木平面圖

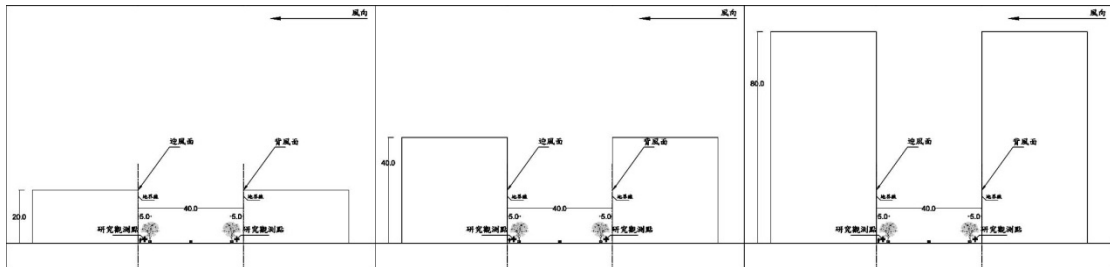


圖 3-34 方案 20、29、38 街谷中央分隔島種植灌木剖面圖

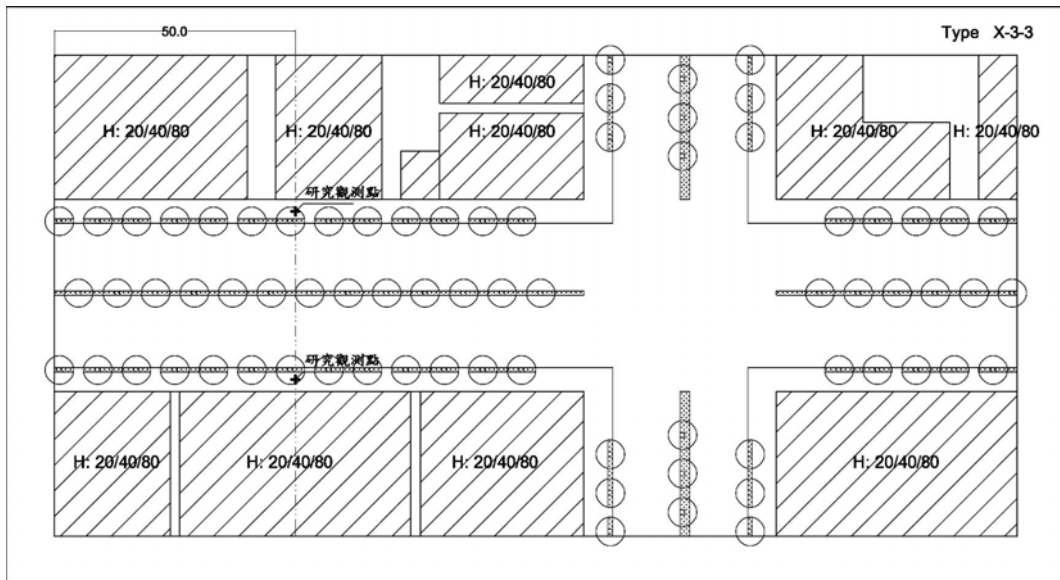


圖 3-35 方案 21、30、39 街谷中央分隔島種植喬木及灌木平面圖

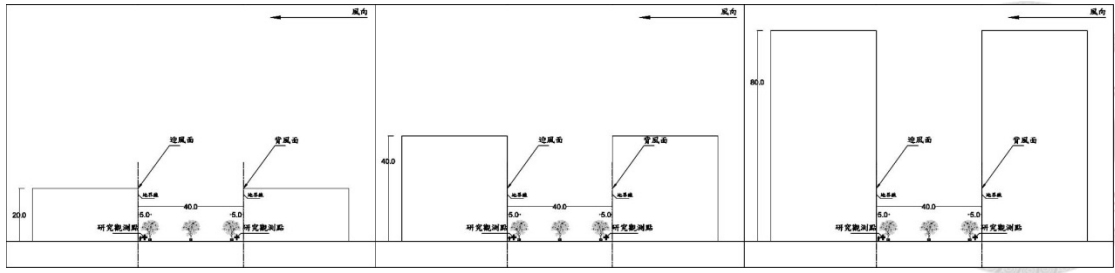


圖 3-36 方案 21、30、39 街谷中央分隔島種植喬木及灌木剖面圖

(五) 步驟四-調整喬木 LAI 值

步驟四調整街谷植栽葉面積密度。將街谷中有種植喬木方案進行葉面積密度降低至 1.5。另再進行中央分隔島喬木葉面積密度的降低方案，共計 24 方案，相關配置型式如下圖表示：

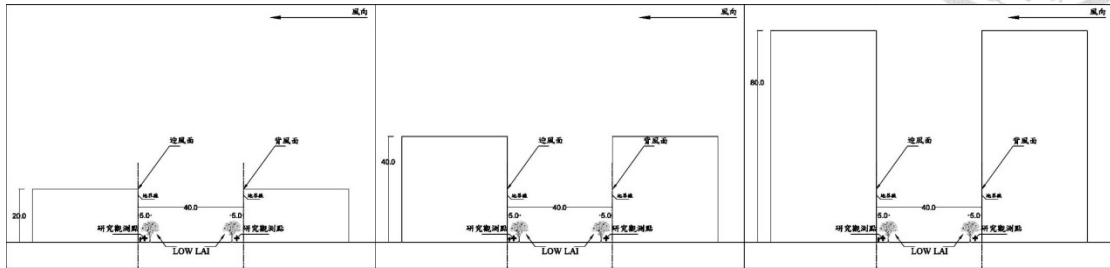


圖 3-37 方案 40、42、44 街谷人行道低 LAI 喬木配置圖

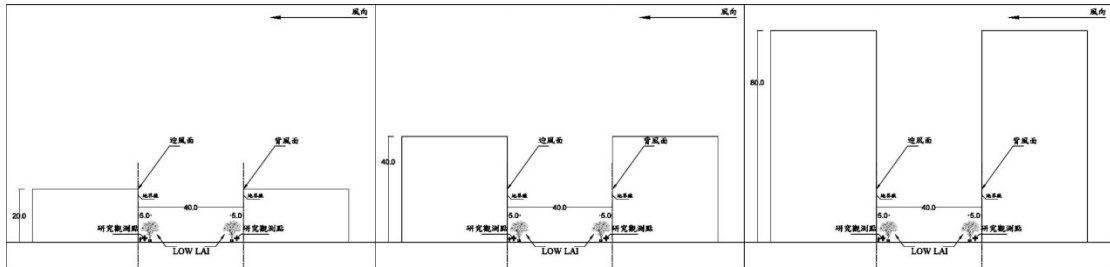


圖 3-38 方案 41、43、45 街谷人行道低 LAI 喬木及灌木配置圖

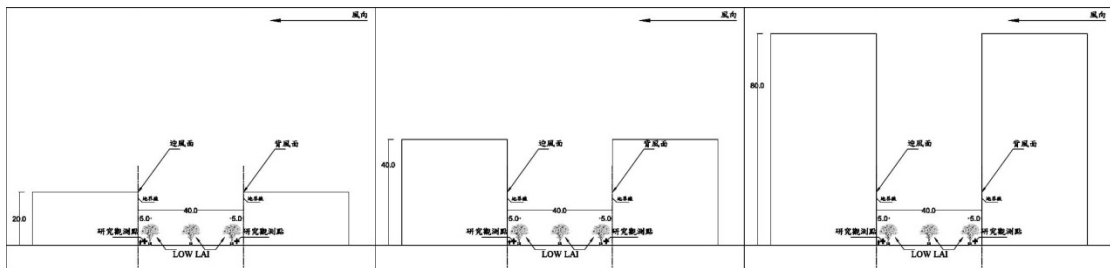


圖 3-39 方案 51、57、63 街谷低 LAI 喬木配置圖

(六) 步驟五-調整灌木高度

依文獻回顧表示，增加灌木高度及厚度能提升周圍空氣品質，為此本研究將人行道及中央分隔島之灌木增加至 2 公尺高進行方案討論，共計 18 個方案，相關配置型式如下圖表示：

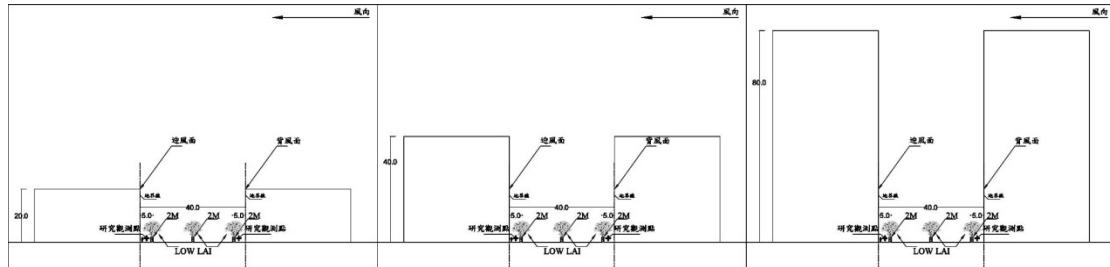


圖 3-40 方案 69、75、81 低 LAI 高灌木配置圖

第五節 資料處理與分析計畫

本研究在利用 ENVI-met 軟體進行模擬後，將模擬數值資料全數收集完畢後，利用 Excel 及 SPSS 進行資料建檔與分析。

街谷 PM_{2.5} 濃度資料由 ENVI-met 匯出人為使用率高的上午 8 點及下午 5 點南京東路人行道網格數據，人行道採樣位置如圖 3-41。網格高度 1.5m，迎風面網格為 X 軸=30~33、Y 軸=25~54，共 210 筆資料；背風面風面網格為 X 軸=66~69、Y 軸=25~54，共 210 筆資料，資料取得後以 Excel 及 SPSS 進行結果分析與討論。

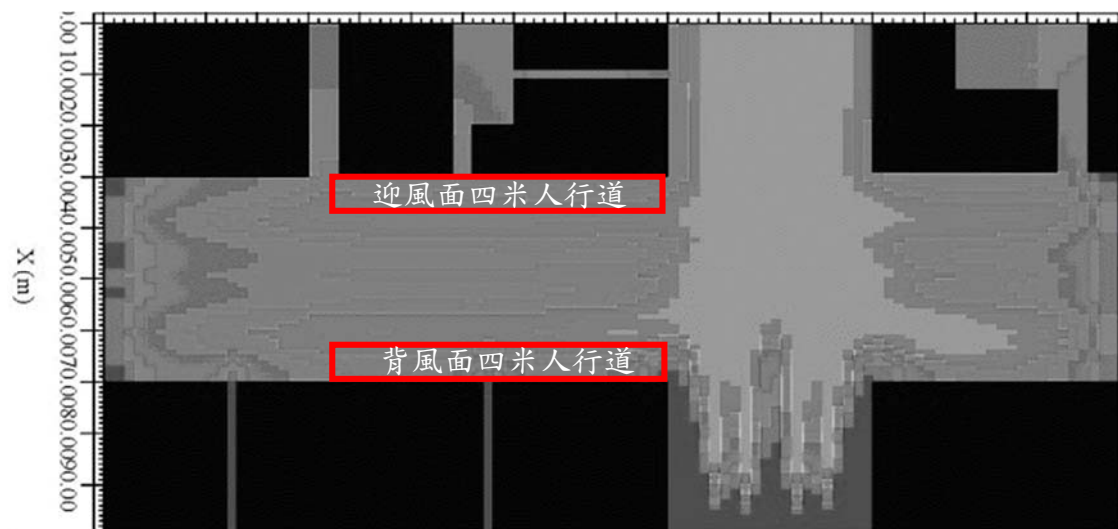


圖 3-41 街谷人行道 PM_{2.5} 濃度採樣位置圖

資料分析部分，主要以 ENVI-met 內建程式 Leonardo 2014 軟體進行 PM_{2.5} 濃度分布狀況之展示；在不同方案下，道路植栽設計對人行道 PM_{2.5} 濃度之影響檢定部分，採用單因子變異數分析、獨立樣本 t 檢定等方式進行分析。

第四章 研究結果



第一節 植栽上下風處之 PM_{2.5} 濃度

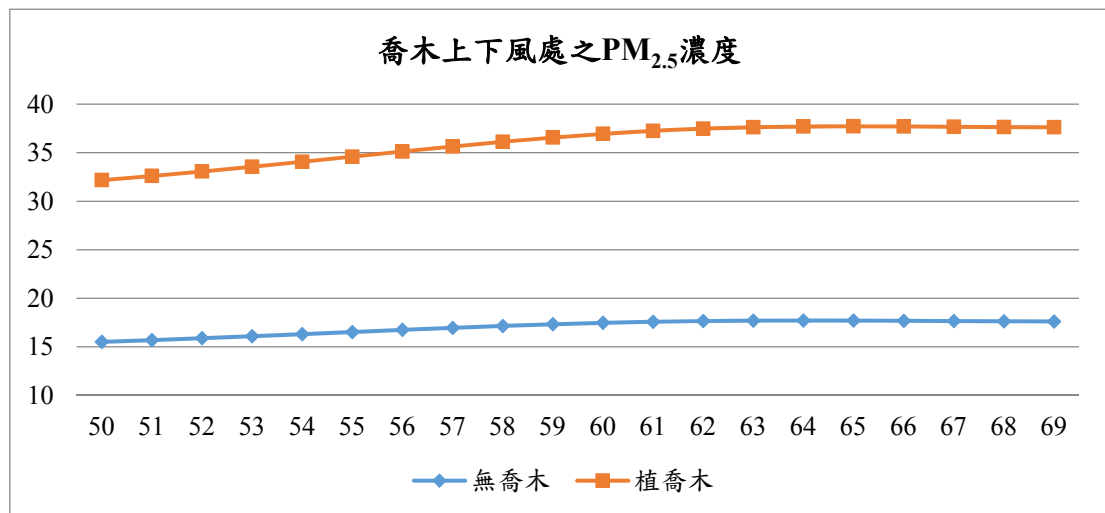
本研究首先探討污染物於植栽上風處及下風處之濃度表現，其目的主要檢討植栽對於污染物之沉降機制，檢視植栽對於污染物之減緩效率。

一、喬木上下風處 PM_{2.5} 濃度

資料選取 2、7 方案下午 5 點時刻、高度八公尺背風面濃度表現。從圖表資料顯示，當街谷種植喬木時整體濃度會高於未種植喬木。而當污染物通過喬木時在樹冠時濃度表現最高，但在喬木下風處污染濃度會較為降低。其濃度由道路中心至人行道濃度表現如下：

表 4-1 街谷背風面有無種植喬木 PM_{2.5} 濃度表

位置	道路中央					一般道路					植栽種植位置					五米人行道					
	距離	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
無喬木	15.	15.	15.	16.	16.	16.	16.	16.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	17.	17.
	52	70	89	10	31	53	75	96	15	33	47	58	66	70	71	70	68	65	63	62	
植喬木	16.	16.	17.	17.	17.	18.	18.	18.	18.	19.	19.	19.	19.	19.	19.	20.	20.	20.	20.	20.	
	66	92	18	47	76	07	38	69	98	24	48	67	82	92	99	02	03	02	01	00	



單位：µg/m³

圖 4-1 街谷背風面有無種植喬木 PM_{2.5} 濃度圖

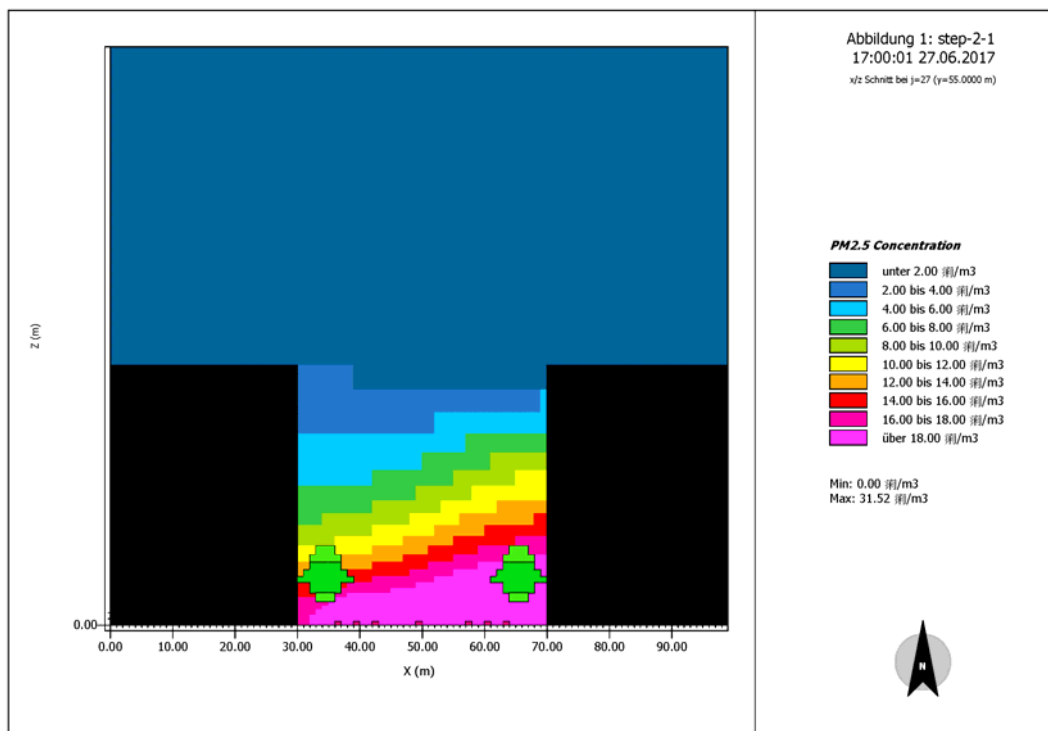
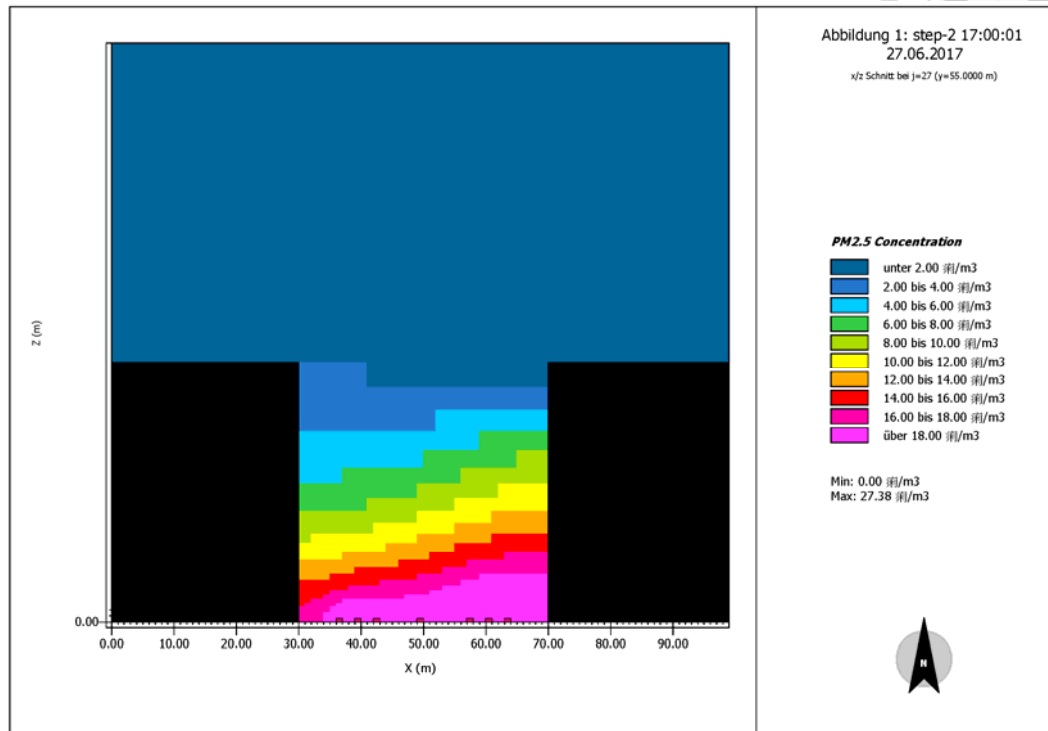


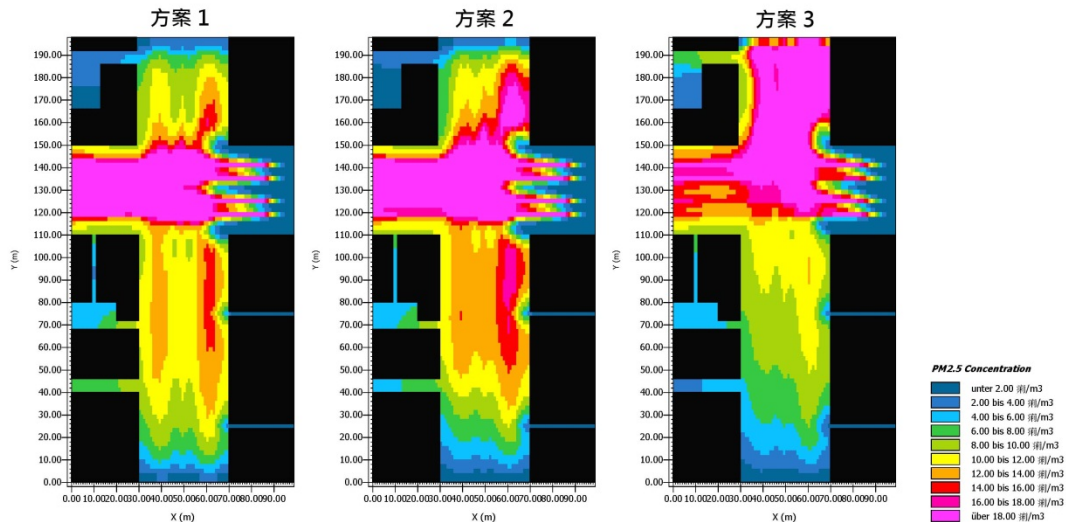
圖 4-2 方案 2 及方案 7 PM_{2.5} 濃度圖

第二節 不同街谷深度之人行道 PM_{2.5} 濃度



一、上午 8 點不同街谷深度之人行道 PM_{2.5} 濃度表現

本研究分析 8 點不同街谷深度方案，由圖 4-3 顯示，在上午 8 點時一般街谷的濃度表現為最高，淺型街谷濃度表現次之，而深型街谷的濃度最低。



單位：µg/m³

圖 4-3 不同街谷上午八時人行道平均濃度表現圖

以 ANOVA 分析 8 點時段，不同街谷深度方案，人行道迎風面/背風面人行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同街谷深度迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面及背風面人行道濃度皆以方案 2 濃度顯著高於方案 1，而方案 1 濃度又顯著高於方案 3(表 4-2)。

表 4-2 不同街谷深度上午 8 時迎風面及背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

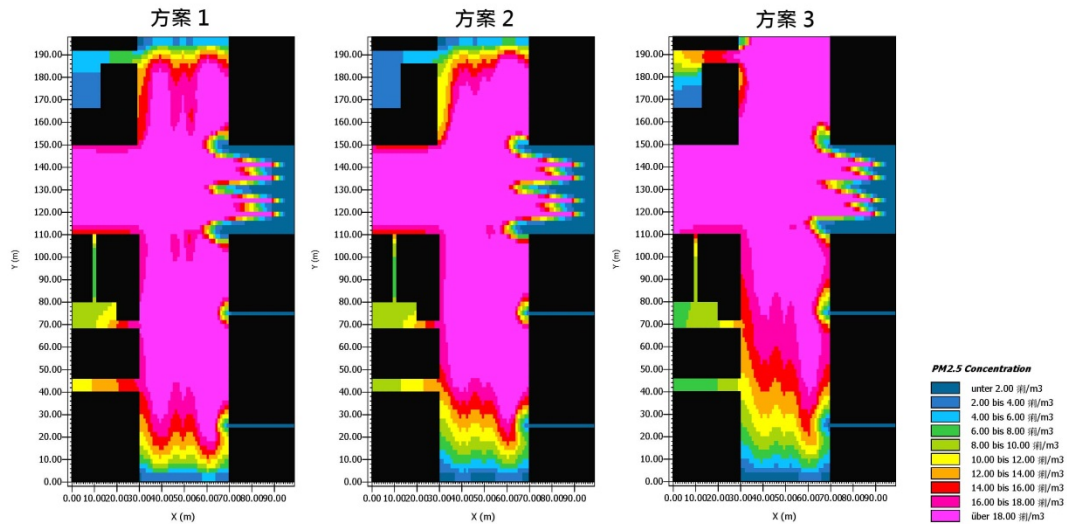
方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
3	8.18 a	3	8.74 a
1	10.22 b	1	10.93 b
2	10.63 c	2	11.88 c
F= 710.054 ***		F= 77.089 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

二、下午 5 點不同街谷深度之人行道 PM_{2.5} 濃度表現

本研究分析 5 點不同街谷深度方案，由圖 4-4 顯示，在下午 5 點時淺型街谷的濃度表現為最高，一般街谷濃度表現次之，而深型街谷的濃度最低。



單位：µg/m³

圖 4-4 不同街谷下午 5 時人行道平均濃度表現圖

以 ANOVA 分析 5 點時段，不同街谷深度方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同街谷深度迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面人行道濃度以方案 1 濃度顯著高於方案 2，而方案 2 濃度又顯著高於方案 3；背風面人行道濃度以方案 2 及 1 濃度顯著高於方案 3 (表 4-3)。

表 4-3 不同街谷深度下午 5 時迎風面及背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
3	15.21 a	3	15.16 a
2	17.60 b	1	18.83 b
1	17.90 c	2	19.30 b
F= 286.561 ***		F= 29.542 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

三、不同街谷深度之風速表現

上述結果並未完全符合過往研究結果所表示的街谷高寬比越高濃度越高，本研究進一步探討其原因。污染濃度的影響為溫度、濕度、風速、風向等許多原因，在過往之研究中也表示，風速、風向對於PM_{2.5}濃度有高度影響，本研究進而輸出風速與風向之結果其表現如圖 4-5。由圖顯示，在此模型環境下深型街谷之風速表現最高，因為風速的高因素造成污染物不易在此街谷累積，這亦是造成本研究與過往研究的差異的原因。本研究結果不完全推翻前人之研究，其中差異是過往研究中也只在單純的街谷環境中，並不考慮街谷有十字路口或建築物不連續等有破口之環境，這顯示街谷環境在有無十字路口時污染濃度會有不同。

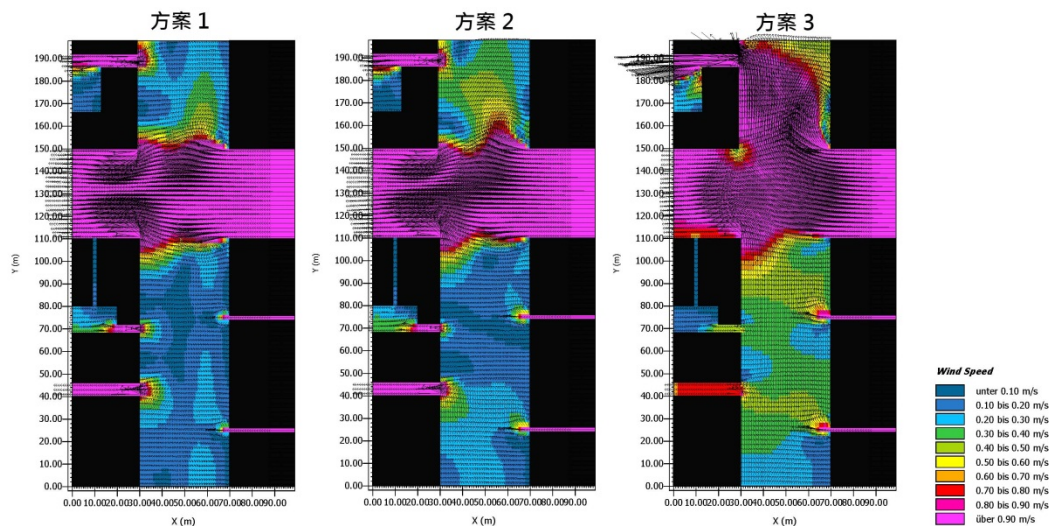


圖 4-5 不同街谷下午五時人行道平均濃度表現圖

第三節 迎風面及背風面濃度差異



本研究接著探討街谷迎風面及背風面濃度之差異，分別針對上午八點及下午五點進行討論。

一、上午 8 點人行道迎風面及背風面 PM_{2.5} 濃度差異

上午 8 點人行道迎風面及背風面 PM_{2.5} 濃度差異表現如表 4-4，結果顯示在上午 8 點時迎風面及背風面有顯著差異，且背風面濃度高於迎風面。

表 4-4 上午八時迎風面及背風面之獨立樣本 *t* 檢定

	迎背風	平均數	標準偏差	<i>t</i> 值
PM _{2.5} 濃度	迎風面	10.6171	1.31381	-44.792*
	背風面	12.1690	3.15316	

註1：**p*<.05

二、下午 5 點人行道迎風面及背風面 PM_{2.5} 濃度差異

下午 5 點人行道迎風面及背風面 PM_{2.5} 濃度差異表現如表 4-5，結果顯示在下午 5 點時迎風面及背風面有顯著差異，且如上午 8 點的結果背風面濃度高於迎風面。表示污染濃度會因風向不同、位置不同而有所不同。這能確立本研究在迎風面及背風面會因位置的不同而有所不同，這也表示在後續現況應用方面，可配合不同盛行風向做迎背風之植栽配置調整。

表 4-5 下午五時迎風面及背風面之獨立樣本 *t* 檢定

	迎背風	平均數	標準偏差	<i>t</i> 值
PM _{2.5} 濃度	迎風面	18.3631	1.89910	-30.113*
	背風面	20.4442	6.54335	

註1：**p*<.05

第四節 喬木對於街谷 PM_{2.5} 濃度之影響



一、街谷種植喬木對於 PM_{2.5} 濃度之影響

(一) 淺型街谷

本研究分析淺型街谷下午 5 點種植不同喬木方案，由圖 4-6 顯示，在下午 5 點時當人行道及中央分隔島種植喬木時濃度表現最高，人行道種植喬木方案次之，而街谷無種植喬木濃度最低。

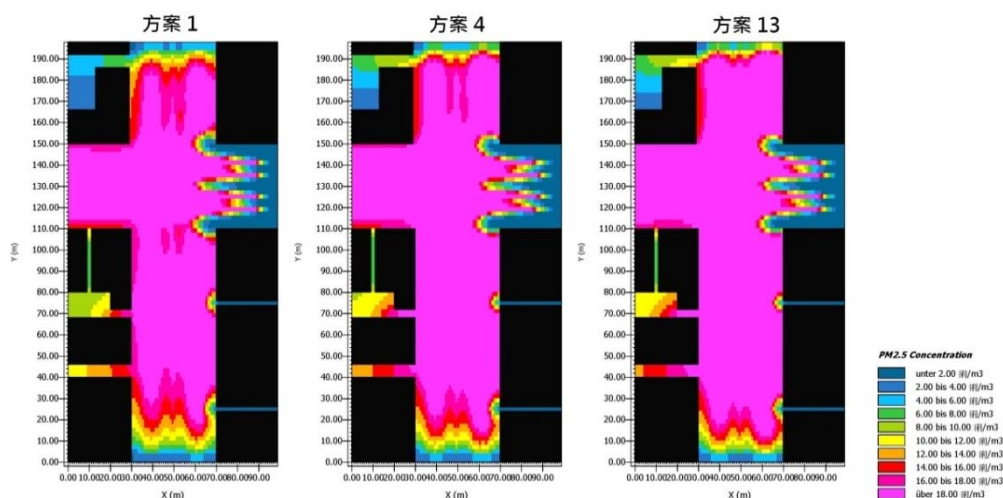


圖 4-6 淺型街谷種植喬木 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析淺型街谷下午 5 點種植不同喬木方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同喬木配置迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面及背風面人行道濃度以方案 13 濃度顯著高於方案 4，而方案 4 濃度又顯著高於方案 3 (表 4-6)。

表 4-6 淺型街谷種植喬木下午 5 時迎風面及背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
1	17.90 a	1	18.83 a
4	19.97 b	4	22.76 b
13	20.56 c	13	24.84 c
F= 207.924 ***		F= 32.610 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群



(二) 一般街谷

研究分析一般街谷下午 5 點種植不同喬木方案，由圖 4-7 顯示，在下午 5 點時當人行道及中央分隔島種植喬木時濃度表現最高，人行道種植喬木方案次之，而街谷無種植喬木方案濃度最低。

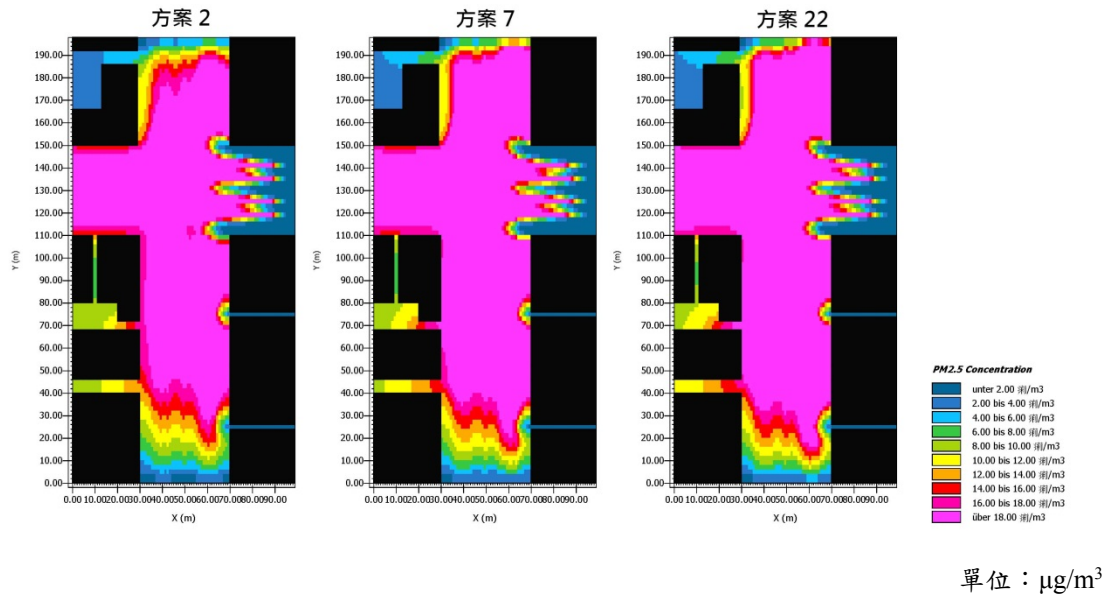


圖 4-7 一般街谷種植喬木 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析一般街谷下午 5 點種植不同喬木方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同喬木配置迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面人行道濃度以方案 22 濃度顯著高於方案 7，而方案 7 濃度又顯著高於方案 2；背風面人行道濃度以方案 22 及 7 濃度顯著高於方案 2 (表 4-7)。

表 4-7 淺型街谷種植喬木下午 5 時迎風面及背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
2	17.60 a	2	19.30 a
7	18.81 b	7	22.25 b
22	19.26 c	22	24.16 b
F= 145.660 ***		F= 17.997 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

(三) 深型街谷

研究分析深型街谷下午 5 點種植不同喬木方案，由圖 4-8 顯示，在下午 5 點時當人行道及中央分隔島種植喬木時濃度表現最高，人行道種植喬木方案次之，而街谷無種植喬木方案濃度最低。

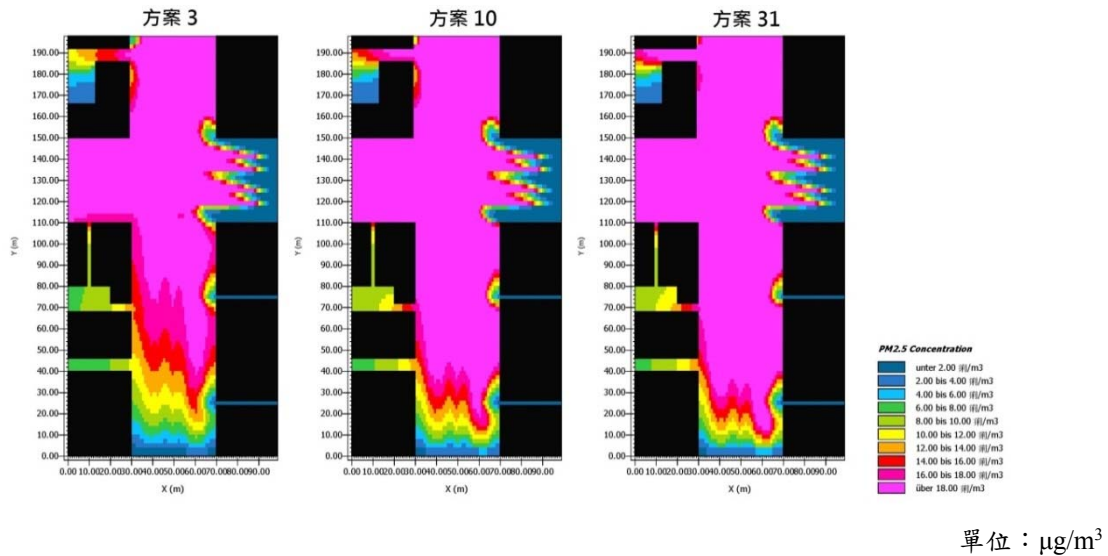


圖 4-8 深型街谷種植喬木 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析一般街谷下午 5 點種植不同喬木方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同喬木配置迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面及背風面人行道濃度以方案 31 濃度顯著高於方案 10，而方案 10 濃度又顯著高於方案 3(表 4-8)。

表 4-8 深型街谷種植喬木下午 5 時迎風面及背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
3	15.21 a	3	15.16 a
10	18.44 b	10	19.87 b
31	19.18 c	31	22.46 c
F= 320.709 ***		F= 54.596 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

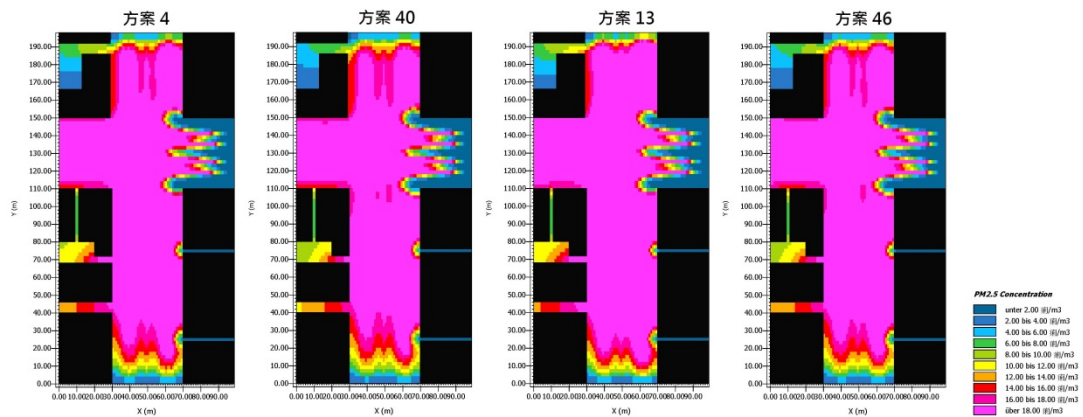
註 2：a,b,c,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

綜合以上結果顯示街谷在中央分隔島及人行道種植喬木的污染濃度均為最高，無種植喬木之方案污染濃度最低。此結果表示當街谷中植喬木會造成污染濃度的提升，其原因是喬木阻礙了污染物的擴散，這與過往研究有相同的結果。

二、不同喬木 LAI 對於 PM_{2.5} 濃度之影響

(一) 淺型街谷

本研究分析淺型街谷下午 5 點不同喬木 LAI 方案，由圖 4-9 顯示，在下午 5 點時當人行道及中央分隔島種植喬木時濃度表現最高，人行道種植喬木方案次之，而將街谷植栽 LAI 值從 4.1 調整成 1.5 的方案時整體濃度均顯著下降。



單位：µg/m³

圖 4-9 淺型街谷不同喬木 LAI 值 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析淺型街谷下午 5 點種植不同喬木 LAI 值方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同喬木 LAI 值迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面人行道濃度以方案 13 濃度顯著高於方案 4，而方案 4 濃度又顯著高於喬木低 LAI 的方案 40 與 46；背風面人行道濃度以方案 13 濃度顯著高於喬木低 LAI 的方案 46，方案 4 濃度顯著高於喬木低 LAI 的方案 40 (表 4-9)。

表 4-9 淺型街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

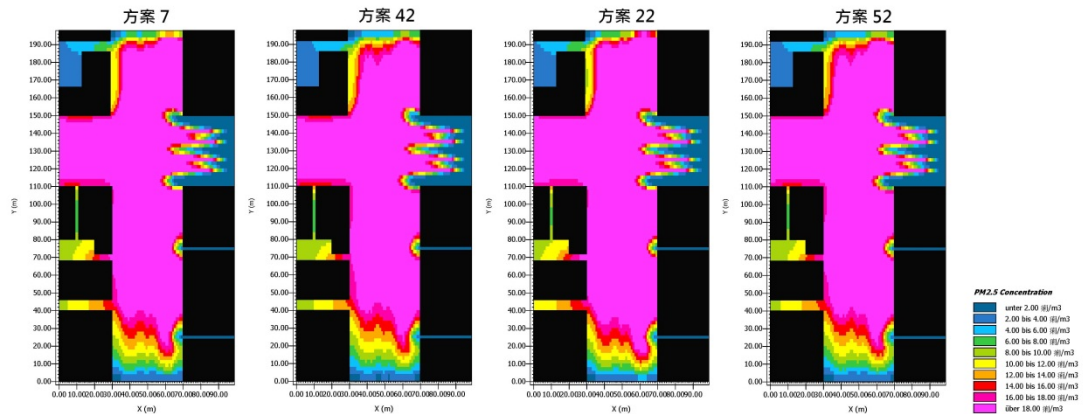
方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
40	18.74 a	40	20.26 a
46	19.07 a	46	21.00 ab
4	19.97 b	4	22.76 bc
13	20.56 c	13	24.84 c
F= 73.429 ***		F= 14.494 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

(二) 一般街谷

研究分析一般街谷下午 5 點不同喬木 LAI 方案，由圖 4-10 顯示，在下午 5 點時當人行道及中央分隔島種植喬木時濃度表現最高，人行道種植喬木方案次之，而將街谷植栽 LAI 值從 4.1 調整成 1.5 的方案時整體濃度均顯著下降。



單位：µg/m³

圖 4-10 一般街谷不同喬木 LAI 值 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析淺型街谷下午 5 點種植不同喬木 LAI 值方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同喬木 LAI 值迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面人行道濃度以方案 22 濃度顯著高於喬木低 LAI 的方案 52，方案 7 濃度顯著高於喬木低 LAI 的方案 42；背風面人行道濃度以方案 22 及 7 濃度顯著高於喬木低 LAI 方案 52 及 42 (表 4-10)。

表 4-10 一般街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

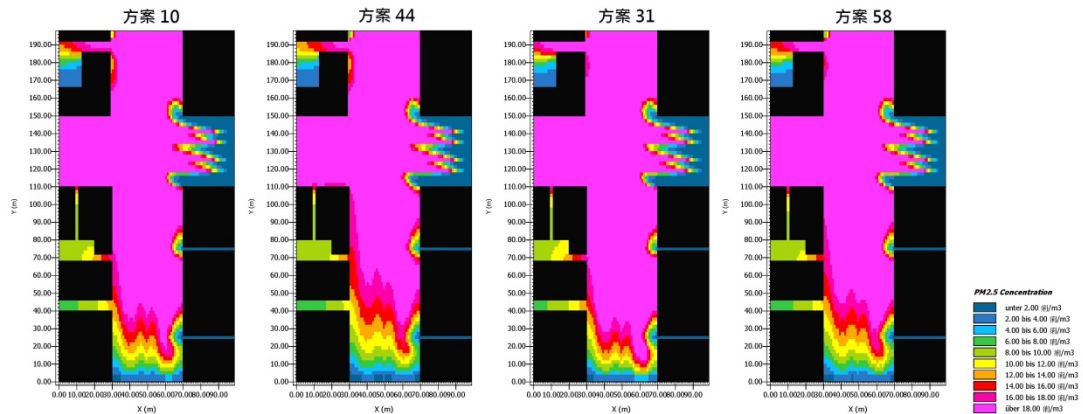
方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
42	18.06 a	42	20.32 a
52	18.41 b	52	21.19 a
7	18.81 c	7	22.25 ab
22	19.26 d	22	24.16 b
F= 53.924 ***		F= 8.232 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,d,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

(三) 深型街谷

研究分析深型街谷下午 5 點不同喬木 LAI 方案，由圖 4-11 顯示，在下午 5 點時當人行道及中央分隔島種植喬木時濃度表現最高，人行道種植喬木方案次之，而將街谷植栽 LAI 值從 4.1 調整成 1.5 的方案時整體濃度均顯著下降。



單位：µg/m³

圖 4-11 深型街谷不同喬木 LAI 值 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析深型街谷下午 5 點種植不同喬木 LAI 值方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同喬木 LAI 值迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面人行道濃度以方案 31 濃度顯著高於方案 10，而方案 4 濃度又顯著高於喬木低 LAI 的方案 58 與 44；背風面人行道濃度以方案 31 濃度顯著高於喬木低 LAI 的方案 58，方案 10 濃度顯著高於喬木低 LAI 的方案 44 (表 4-11)。

表 4-11 淺型街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
44	16.36 a	44	16.75 a
58	17.48 b	58	18.11 ab
10	18.44 c	10	19.87 bc
31	19.18 d	31	22.46 c
F= 106.430 ***		F= 24.712 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,d,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

第四節 灌木對於街谷 PM_{2.5} 濃度之影響



一、中央分隔島種植灌木對於人行道 PM_{2.5} 濃度影響

(一) 淺型街谷

本研究分析淺型街谷下午 5 點中央分隔島種植灌木方案，由圖 4-12 顯示，在下午 5 點時當濃度較高之方案均為有種植喬木之方案，而在人行道種植喬木方案中中央分隔島有種植灌木方案(方案 14)比無種植方案(方案 4)濃度略微下降，但當中央分隔島灌木高度加高(方案 64)並未有更顯著改善效果。

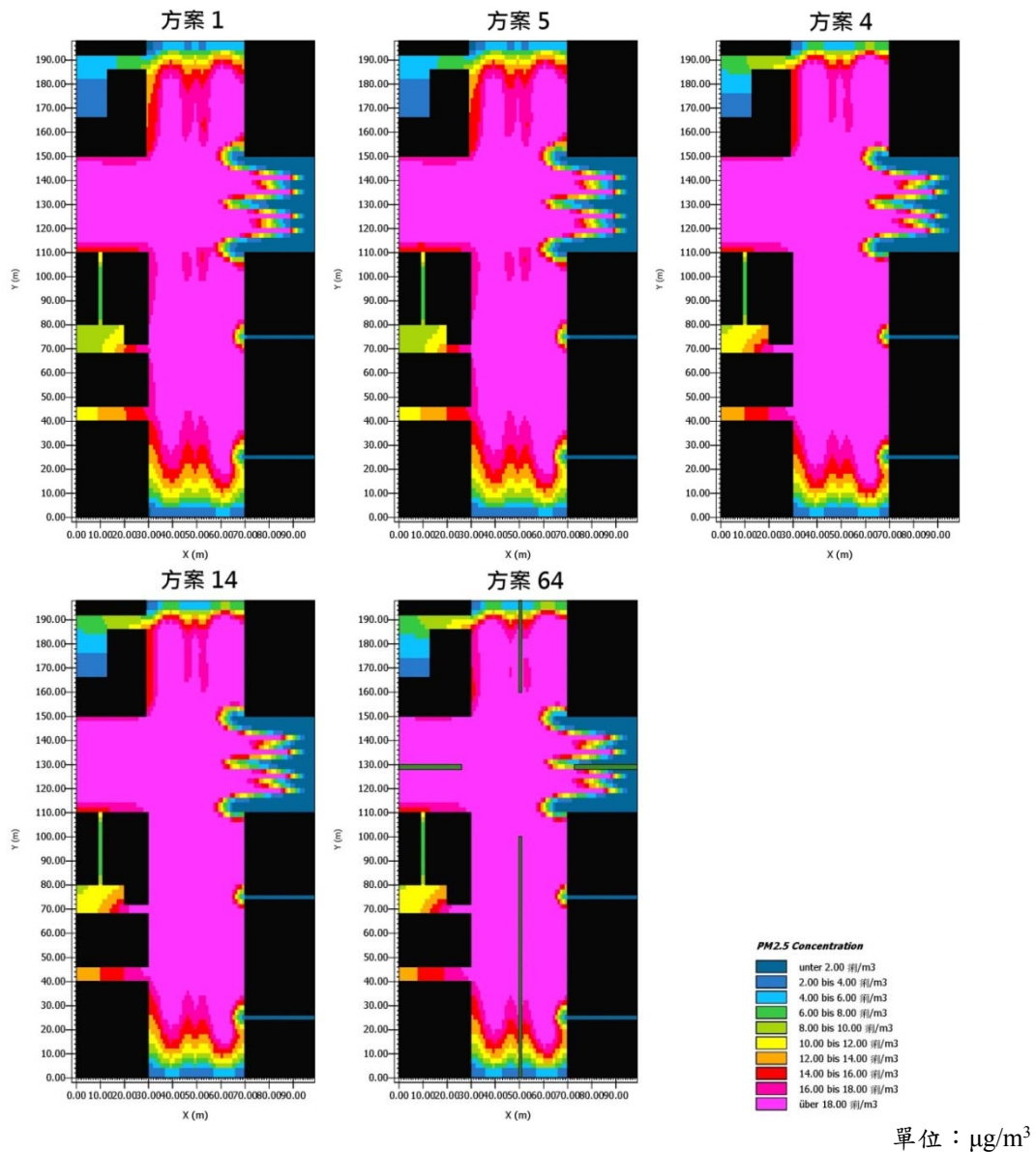


圖 4-12 淺型街谷中央分隔島種植灌木 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析淺型街谷下午 5 點中央分隔島種植灌木方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，中央分隔島種植灌木迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面及背風面人行道濃度以方案 64 及 4 濃度高於人行道種植喬木中央分隔島種植灌木的方案 14，而中央分隔島種植灌木的方案 5 濃度高於無種植灌木的方案 1 (表 4-12)。

表 4-12 淺型街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

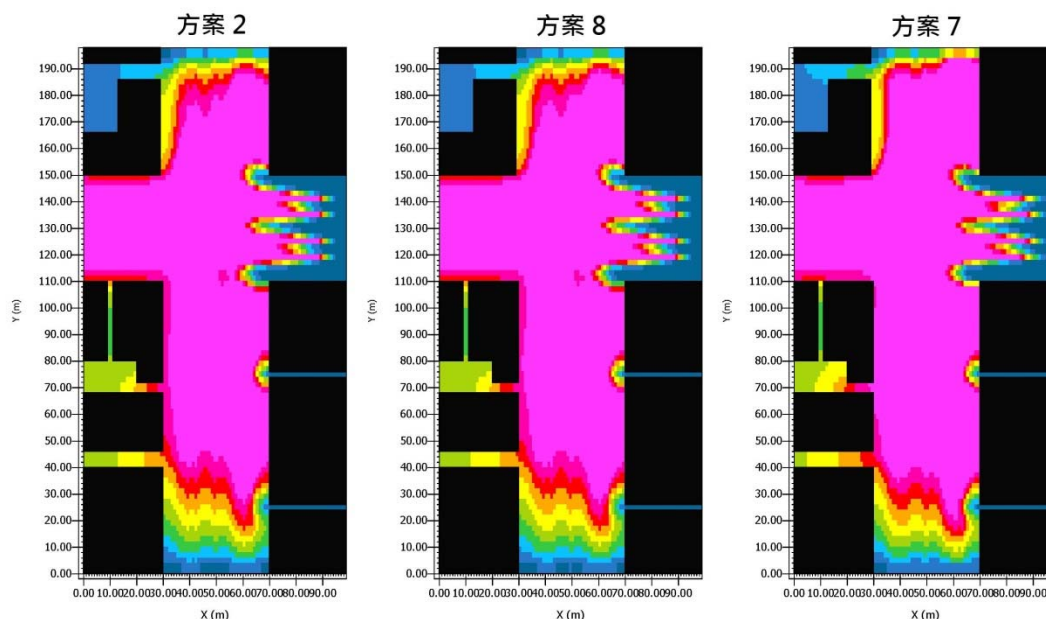
方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
1	17.90 a	1	18.83 a
5	17.97 a	5	18.91 a
14	19.94 a	14	22.70 b
4	19.97 b	4	22.76 b
64	20.09 b	64	23.10 b
F= 170.439 ***		F= 18.428 ***	

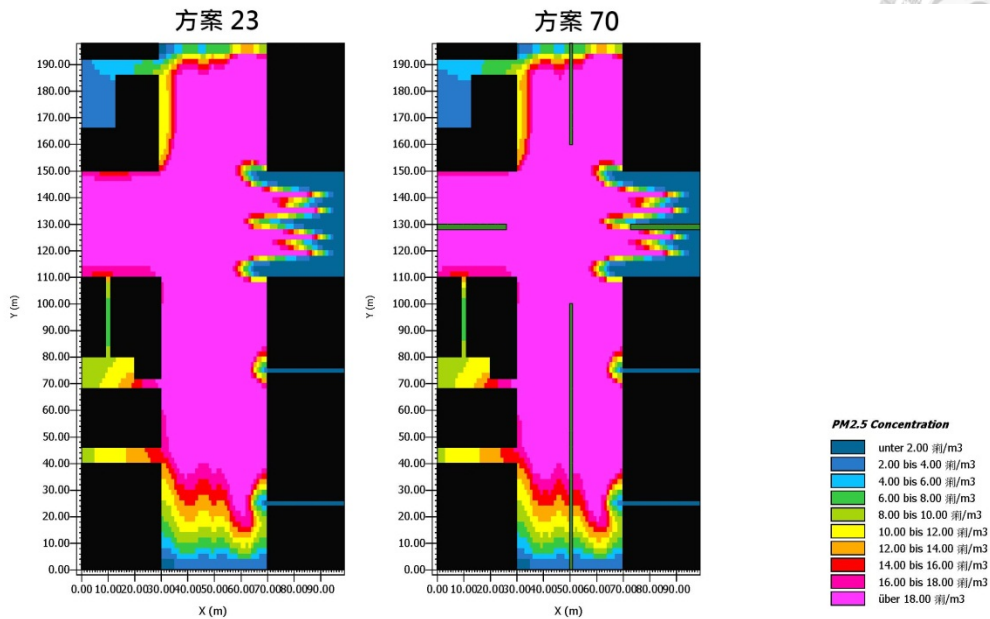
註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

(二) 一般街谷

本研究分析一般街谷下午 5 點中央分隔島種植灌木方案，由圖 4-13 顯示，在下午 5 點時當濃度較高之方案均為有種植喬木之方案，比較方案 2、8 與方案 7、23、70，在一般街谷均顯示當中央分隔島種植越多灌木時污染濃度越高。





單位：µg/m³

圖 4-13 一般街谷中央分隔島種植灌木 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析一般街谷下午 5 點中央分隔島種植灌木方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，中央分隔島種植灌木迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面及背風面人行道濃度以方案 70 及 23 濃度高於中央分隔島無種植灌木的方案 7，而中央分隔島種植灌木的方案 8 濃度高於中央分隔島無種植喬木的方案 2 (表 4-13)。

表 4-13 一般街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

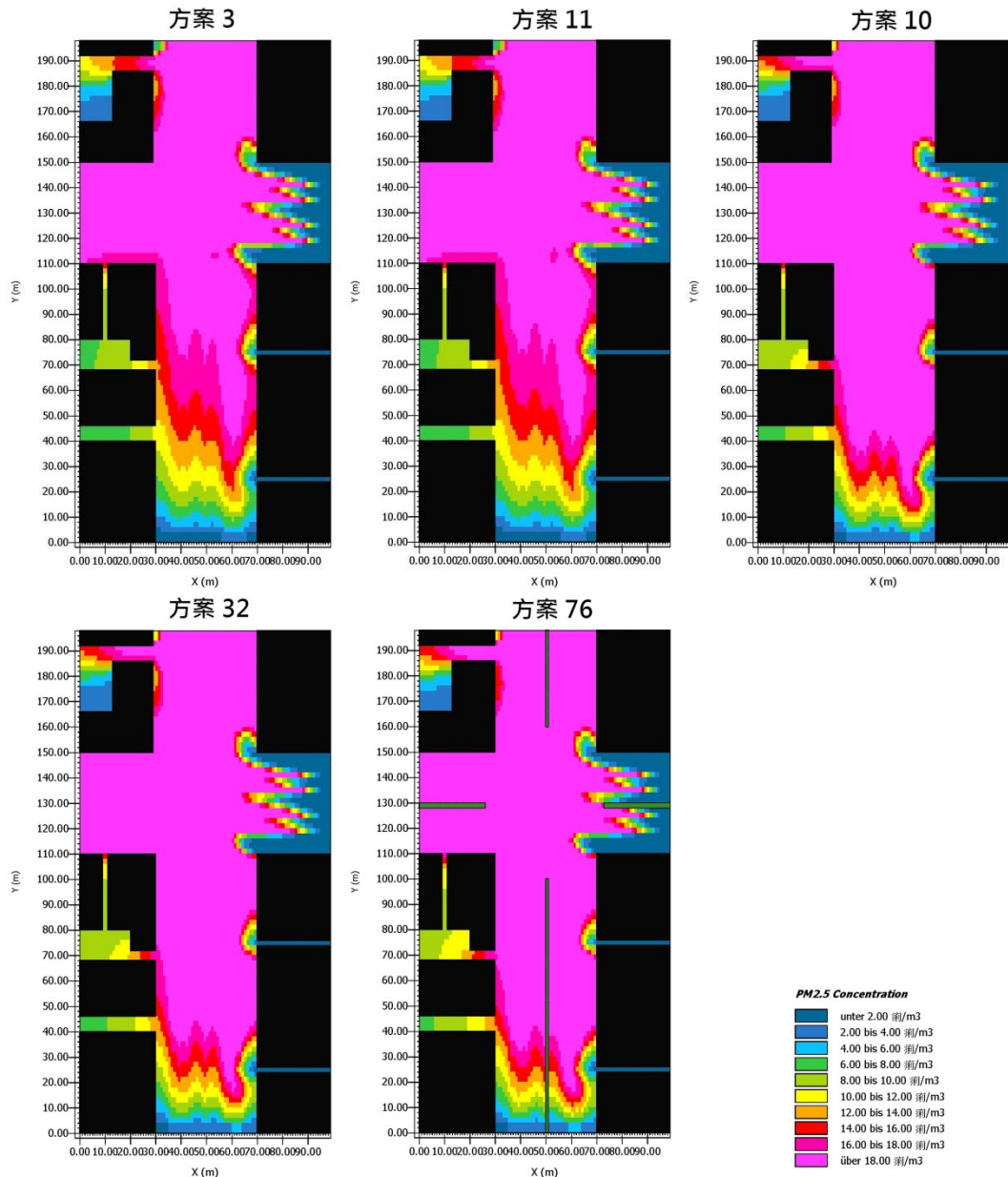
方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
2	17.60 a	2	19.30 a
8	17.65 a	8	19.35 a
7	18.81 b	7	22.25 b
23	18.84 b	23	22.30 b
70	18.96 b	70	22.72 b
F= 106.532 ***		F= 9.634 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

(三) 深型街谷

本研究分析深型街谷下午 5 點中央分隔島種植灌木方案，由圖 4-14 顯示，在下午 5 點時當濃度較高之方案均為有種植喬木之方案，而在人行道種植喬木方案中中央分隔島種植灌木數量越多濃度越高即方案 76 > 方案 32 > 方案 10，但比較方案 3 與方案 11，人行道無喬木下，中央分隔島種植灌木污染濃度較為低。



單位：µg/m³

圖 4-14 深型街谷中央分隔島種植灌木 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析深型街谷下午 5 點中央分隔島種植灌木方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，中央分隔島種植灌木迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面及背風面種植喬木之方案 76、32、10 濃度顯著高於無喬木方案。人行道濃度以方案 76 及 32 濃度高於中央分隔島無灌木的方案 10，而中央分隔島無種植灌木的方案 3 濃度高於種植灌木的方案 11 (表 4-14)。

表 4-14 深型街谷不同喬木 LAI 值下午 5 時迎/背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
11	15.16 a	11	15.12 a
3	15.21 a	3	15.16 a
10	18.44 b	10	19.87 b
32	18.47 b	32	19.90 b
76	19.11 c	76	20.70 b
F= 263.756 ***		F= 36.840 ***	

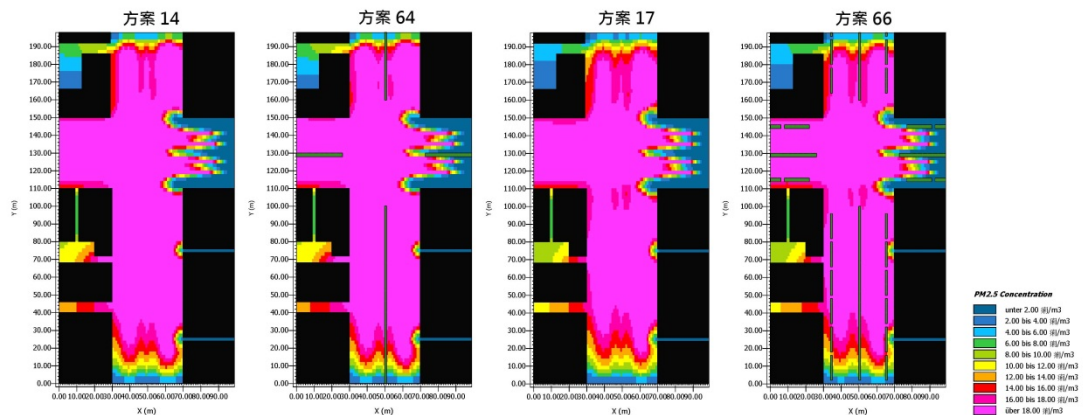
註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

二、灌木高度對於人行道 PM_{2.5} 濃度影響

(一) 淺型街谷

本研究分析淺型街谷下午 5 點不同灌木高度方案，由圖 4-15 顯示，在下午 5 點時當人行道有種植喬木時比無喬木濃度高，亦方案 14 及方案 64 濃度較高。而在淺型街谷中灌木高度 2 公尺比灌木高度 1 公尺的人行道污染濃度高。



單位：µg/m³

圖 4-15 淺型街谷不同灌木高度 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析淺型街谷下午 5 點不同灌木高度方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同灌木高度迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面及背風面人行道濃度以方案 14、64 濃度顯著高於人行道未種植喬木的方案 17、66。而 2 公尺高灌木方案 64、66 濃度高於 1 公尺高的灌木方案 14、17(表 4-15)。

表 4-15 淺型街谷不同灌木高度下午 5 時迎/背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

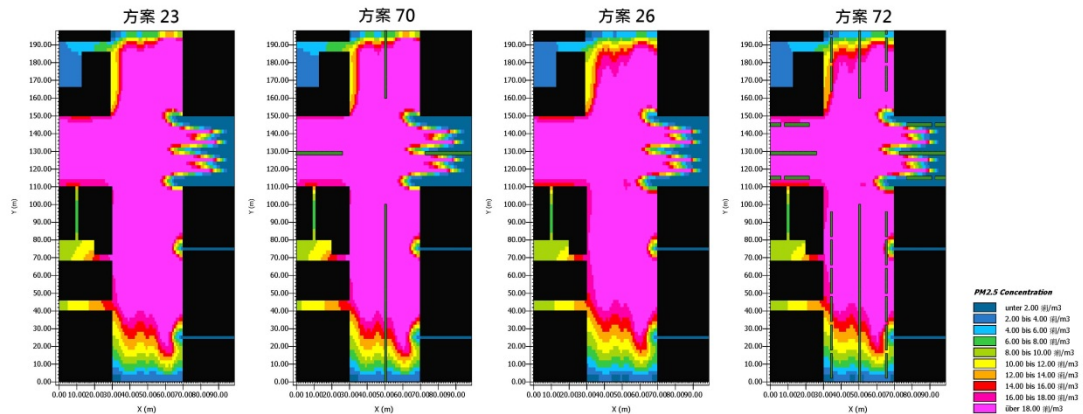
方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
17	18.01 a	17	18.97 a
66	18.33 a	66	19.44 a
14	19.94 b	14	22.70 b
64	20.09 b	64	23.10 b
F= 157.847 ***		F= 17.889 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

(二) 一般街谷

本研究分析一般街谷下午 5 點不同灌木高度方案，由圖 4-16 顯示，在下午 5 點時當人行道有種植喬木時比無喬木濃度高，亦方案 23 及方案 70 濃度較高。而在一般街谷中灌木高度 2 公尺比灌木高度 1 公尺的人行道污染濃度高。



單位：µg/m³

圖 4-16 淺型街谷不同灌木高度 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析一般街谷下午 5 點不同灌木高度方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同灌木高度迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面及背風面人行道濃度以方案 23、70 濃度顯著高於人行道未種植喬木的方案 26、72。而 2 公尺高灌木方案 72、70 濃度高於 1 公尺高的灌木方案 26、23，但比起淺型街谷在一般街谷濃度差異不大(表 4-16)。

表 4-16 一般街谷不同灌木高度下午 5 時迎/背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
26	17.71 a	26	19.45 a
72	17.97 b	72	19.97 a
23	18.84 c	23	22.30 b
70	18.96 c	70	23.72 b
F= 1.490 ***		F= 0.197 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

(三) 深型街谷

研究分析深型街谷下午 5 點不同灌木高度方案，由圖 4-17 顯示，在下午 5 點時當人行道有種植喬木時比無喬木濃度高，亦方案 32 及方案 76 濃度較高。而在深型街谷中灌木高度 2 公尺比灌木高度 1 公尺的人行道污染濃度高。

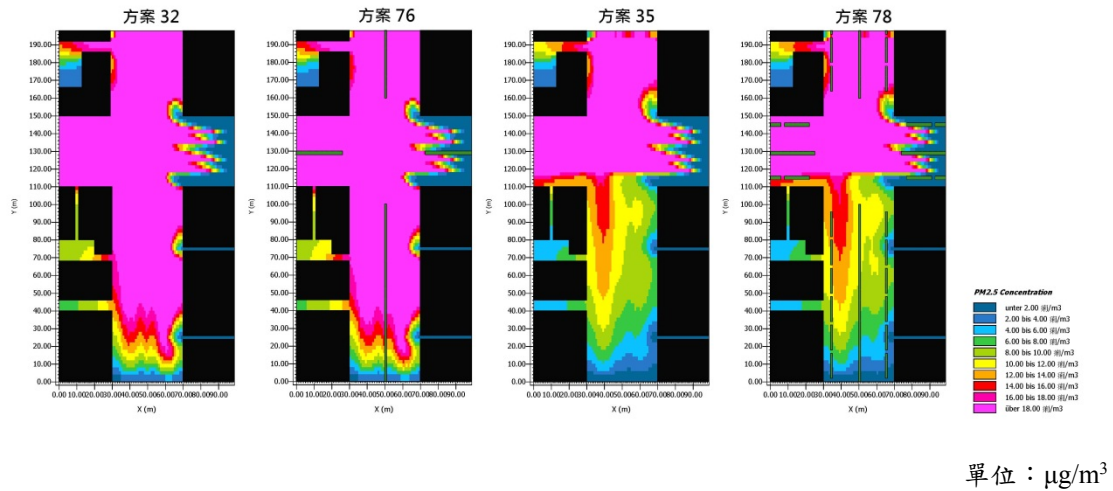


圖 4-17 深型街谷不同灌木高度 PM_{2.5} 濃度圖

以 ANOVA 分析淺型街谷下午 5 點不同灌木高度方案，人行道迎風面/背風面行道 PM_{2.5} 濃度，分析結果顯示，不同灌木高度迎風面、背風面人行道 PM_{2.5} 濃度不同。進一步以 Scheffé 進行事後多重檢定，迎風面及背風面人行道濃度以方案 32、76 濃度顯著高於人行道未種植喬木的方案 35、78。而 2 公尺高灌木方案 78、76 濃度高於 1 公尺高的灌木方案 35、32 (表 4-17)。

表 4-17 深型街谷不同灌木高度下午 5 時迎/背風面 PM_{2.5} 濃度差異分析

方案編號	迎風面濃度	方案編號	背風面濃度
35	11.33 a	35	6.84 a
78	11.71 a	78	7.06 a
32	18.47 b	32	19.90 b
76	19.11 c	76	20.70 b
F= 1862.698 ***		F= 381.453 ***	

註 1：*** $p < 0.001$

註 2：a,b,c,代表使用 post hoc Scheffé test 後的 PM_{2.5} 濃度分群

綜合以上各方案本研究結果表示，增加灌木高度並未能有效改善人行道污染濃度，但街谷中央分隔島種植灌木在某些環境下確實能改善人行道污染濃度。

第五章 結論與建議



第一節 結論

本研究結果顯示在街谷中喬木是影響道路污染濃度的主要因子，這與文獻中所提及的是相同結果，主要原因為喬木的樹冠阻礙了來自車輛所排放污染物的擴散。這表示說當街谷污染濃度高時，應減少樹冠的遮蔽，快速讓污染物向較為乾淨之區域擴散。在灌木配置方面，灌木亦會造成街谷污染濃度不同影響。在一般街谷及深型街谷中中央分隔島種植灌木是能降低人行道污染濃度，但多數方案中顯示種植灌木或加高灌木高度污染濃度也隨之提升，造成差異的主要原因取決於灌木擺放的位置以及跟喬木之間的關係，這需後續研究來說明影響差異的因素。

第二節 建議

經由過去文獻與相關資料進行方案研擬，得到 81 種道路植栽配置型態，以 ENVI-met 微氣候模擬軟體進行數值模擬，模擬街谷 24 小時 PM_{2.5} 濃度表現，探討不同道路植栽配置的污染濃度變化。根據本研究結果，提出以下建議作為實務與研究上的參考。

一、道路植栽設計

依據研究結果，在道路植栽配置時應考慮當地風場環境、盛行風方向、建築物高度、道路寬度。而本研究建議道路植栽規畫時可針對車流量進行調查，在非全日高交通量的路段下，應盡可能的提升綠化面積，這對於整體環境品質能有改善效果。而配合盛行風向，街谷背風面種植葉面積密度較低之喬木。

二、後續研究


從研究結果中發現，增加灌木綠化量會造成污染濃度提升，但在少數方案中發現，灌木、綠籬儼然是改善人行道空氣品質之一項契機。而本研究並未對此方面進行更多著墨，後續研究建議，可朝往灌木種植的位置、寬度、高度、與喬木的關係進行討論。

另一是對於境外貢獻源的探討，本研究討論的範圍並不涉及境外貢獻源，如上文所言，本研究建議後續研究可著墨於當街谷有境外貢獻源時植栽配置與污染濃度的關係。

參考文獻



1. 行政院環保署，(2003)，空氣污染物排放清冊 TEDS5.1，臺北：行政院環保署。
2. 行政院環保署，(2013)，細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 時空分佈特性之研究，臺北：行政院環保署。
3. 行政院環保署，(2014)，中華民國 103 年度空氣污染防治總檢討，臺北：行政院環保署。
4. 行政院環保署，(2014)，細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 管制計畫，臺北：行政院環保署。
5. 行政院環保署，(2016)，空氣品質監測報告 105 年年報，臺北：行政院環保署。
6. 行政院環保署，(2017)，空氣污染物排放清冊 TEDS9.0，臺北：行政院環保署。
7. 宋鴻樟，(2008)，空氣污染物對國小學童氣喘之健康風險評估，研究成果報告，中國醫藥大學環境醫學研究所，臺中。
8. 林巧婷，(2015)，都市公園空間分布型態對降溫效益影響之研究，碩士論文，國立臺灣大學園藝所，臺北。
9. 財團法人中技社，(2014)，兩岸霧霾 (PM_{2.5}) 污染現況與未來合作展望，臺北：財團法人中技社。
10. 潘素美，(1997)，綠化樹種篩選之研究—簡易監測法評估植物淨化污染之能力，研究成果報告，臺灣大學植物系，臺北。
11. Ahmad et al. (2005). Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections—a review. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93,697–717.
12. Annett et al. (2010). Analysing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *Journal of Environmental Management*, 94, 91-101.
13. Bruse, M. (2007) Particle Filtering Capacity of Urban Vegetation: a Microscale Numerical Approach. *Berliner Geographische Arbeiten*, 109, 61-70.
14. Bruse, M. (2007). ENVI-met implementation of the gas/ particle dispersion and deposition model PDDM. <http://www.envi-met.com>.

- 
15. Gromke et al. (2016). Influence of roadside hedgerows on air quality in urban street canyons. *Atmospheric Environment*, 139,75-86
 16. Hofman & Samson. (2014). Biomagnetic monitoring as a validation tool for local air quality models : A case study for an urban street canyon. *Environment International*. 70, 50–61
 17. Huttne et al. (2008). Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities, 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology, pp.307-312.
 18. Irina Nikolova et al. (2011). Dispersion modelling of traffic induced ultrafine particles in a street canyon in Antwerp, Belgium and comparison with observations. *Science of the Total Environment*, 412, 336–343.
 19. Janhall. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, 105,130-137.
 20. Lin & Lin. (2010). Cooling Effect of Shade Trees with Different Characteristics in a Subtropical Urban Park. *Hortscience* 45(1),83–86.
 21. Yazdi,M.N. (2015). Evaluating near highway air pollutant levels and estimating emission factors-Case study of Tehran, Iran. *Science of the Total Environment*,538,375–384.
 22. Morakinyo,T.E., Lam,Y.F. (2016). Simulation study of dispersion and removal of particulate matter from traffic by road-side vegetation barrier. *Environ Sci Pollut Res*, 23,6709-6722.
 23. Morakinyo,T.E., Lam,Y.F. (2016). Study of traffic-related pollutant removal from street canyon with trees: dispersion and deposition perspective. *Environ Sci Pollut Res*, s11356-016-7322-9.
 24. Morakinyo,T.E., Lam,Y.F., Hao,S.(2016). Evaluating the role of green infrastructures on near-road pollutant dispersion and removal: Modelling and measurement. *Journal of Environmental Management*, 182, 595-605.
 25. Peter E.J. Vos et al. (2012). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? *Environmental Pollution*, 183, 113-122.
 26. Richard W.& Baldauf. (2015). Influence of solid noise barriers on near-road and on-road air quality. *Atmospheric Environment*, 129, 265-276.
 27. Shahidan et al. (2012). An evaluation of outdoor and building environment

cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. *Building and Environment*, 58, 245-257

28. Simon. (2016). Development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met. *Modeling urban microclimate*.
29. Straif et al. (2013). Air Pollution and Cancer. France: International Agency for Research on Cancer.
30. Yahia & Johansson. (2014). Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria—The example of residential spaces with detached buildings. *Landscape and Urban Planning*, 125,1–16.
31. Zhang et al. (2016). Study on the influence of meteorological conditions and the street side buildings on the pollutant dispersion in the street canyon. *Build Simul*, 9, 717–727
32. Zheming Tong et al. (2015). Roadside vegetation barrier designs to mitigate near-road air pollution impacts. *Science of the Total Environment*, 541, 920–927.

