

公共自行車租賃站最佳區位選擇模式： 以高雄市公共自行車為例

AN OPTIMAL LOCATION MODEL FOR THE BICYCLE SHARING SYSTEM: A CASE STUDY OF THE KAOHSIUNG CITY-BIKE SYSTEM

胡守任 Shou-Ren Hu¹
劉昭堂 Chao-Tang Liu²

(102 年 12 月 27 日收稿，103 年 4 月 23 日第 1 次修改，103 年 7 月 2 日第 2 次修改，
103 年 8 月 5 日第 3 次修改，103 年 11 月 15 日定稿)

摘 要

城市的交通運輸系統必須有綜合性的規劃，同時考量都市整體發展並提供民眾無縫轉乘的服務。近年來公共自行車系統被視為新一代的綠能運具，也是無縫運輸中擔任最後一哩的重要角色；租賃站點位的選擇，是建置系統前必須研究的關鍵因素之一，如何選擇適當的地點，提供民眾便捷的租賃與轉乘服務，對於提高民眾使用意願、甚至於提升大眾運輸整體使用率，是相當重要的。針對公共自行車的設置點位問題，本研究考量經營者營運成本及旅客旅行時間成本兩者間的均衡，且假設旅客為隨機抵達的情況下，利用數學規劃方法，發展公共自行車租賃站區位選擇最佳化模式，期能兼顧經營成本與服務品質，使公共自行車成為民眾每日交通運輸所需的第一哩與最後一哩的優先替代運具。

關鍵詞：公共自行車系統；高雄市公共自行車；公共運輸；接駁系統

-
1. 成功大學交通管理科學系副教授（聯絡地址：70101 臺南市東區大學路 1 號 成功大學交通管理科學系；電話：06-2757575#53203；E-mail：shouren@mail.ncku.edu.tw）。
 2. 成功大學交通管理科學系博士班研究生，高雄捷運股份有限公司輕軌處工程師（電話：07-7939168#82702；E-mail：estorye@gmail.com）。

ABSTRACT

An integrated public transport system should consider its sustainable development and operation by providing seamless services with different modes of transportation. Bicycle sharing systems (BSS) have been considered as one of the most effective means of green transportation and provide first-mile and last-mile services within seamless transportation frameworks. Choosing an optimal location for construction is a key issue to be investigated. In this study, we develop a location model for the determination of optimal rental stations in the City-Bike system where the main objective is to minimize the total system cost of the operator's operating cost as well as users' travel cost under stochastic demand. The ultimate goal is to make the BSS become a first- and last-mile feeder system by providing convenient and cost-effective services for transit users.

Key Words: *Bicycle sharing system; City-Bike; Public transport; Feeder system*

一、研究背景

綜觀各國公共自行車系統建置的出發點，基本上都包含以下 3S 的特性：「環境的永續經營－Sustainability」、「短程運輸的替代－Substitute」，以及「無縫運輸的推動－Seamless」。經營業者配合地方的旅運特性，進行合適的系統規劃與整合，以新加坡為例^[1]，新加坡為解決捷運系統在尖峰時段的過度擁擠（尖峰時段運量占全日運量約 30%），紓解短程旅次的運量（搭乘兩站以下運量，占尖峰時段運量的 16%），而進行公共自行車系統設置研究，提供民眾短程運輸的替代運具。目前各國在環境永續經營與降低空氣污染的思維下，綠色運輸意識逐漸抬頭，積極建置公共自行車系統，例如法國巴黎的 Vélib、丹麥哥本哈根的 Bycyklen、美國華盛頓的 Smartbike、英國倫敦的 London Cycle Hire，以及中國杭州的公共自行車系統等。上述各國經營的系統，皆擁有相當良好的租賃環境及使用率，主要原因除了政府政策的支持外，業者所布設的租賃站及車輛數，都相當充足。以中國杭州為例，目前租賃站達 3,000 多處，租賃車輛達 67,000 餘輛，平均日運量約 23 萬人次（截至 2013 年 6 月止），配合優惠的租用方案，有效提升整體公共運輸的使用率，並降低交通運輸對環境的汙染。

高雄市公共自行車系統 (City-Bike) 是全臺灣第一座大型且具網路規模的公共自行車租賃系統 (bicycle sharing system, BSS)，高雄市政府環境保護局為了推動綠能運輸，且提供民眾休閒及通勤的綠能交通工具，自 2009 年起於高雄市地區建置公共自行車租賃系統，該系統於 2009 年 3 月 1 日起正式營運，初期由統立開發股份有限公司負責營運管理，直到 2011 年 8 月 18 日才由高雄捷運股份有限公司接手營運迄今。

在環保局的規劃下，營運初期，共計有 20 座租賃站及 1,500 輛腳踏車；2009 年 5 月 1

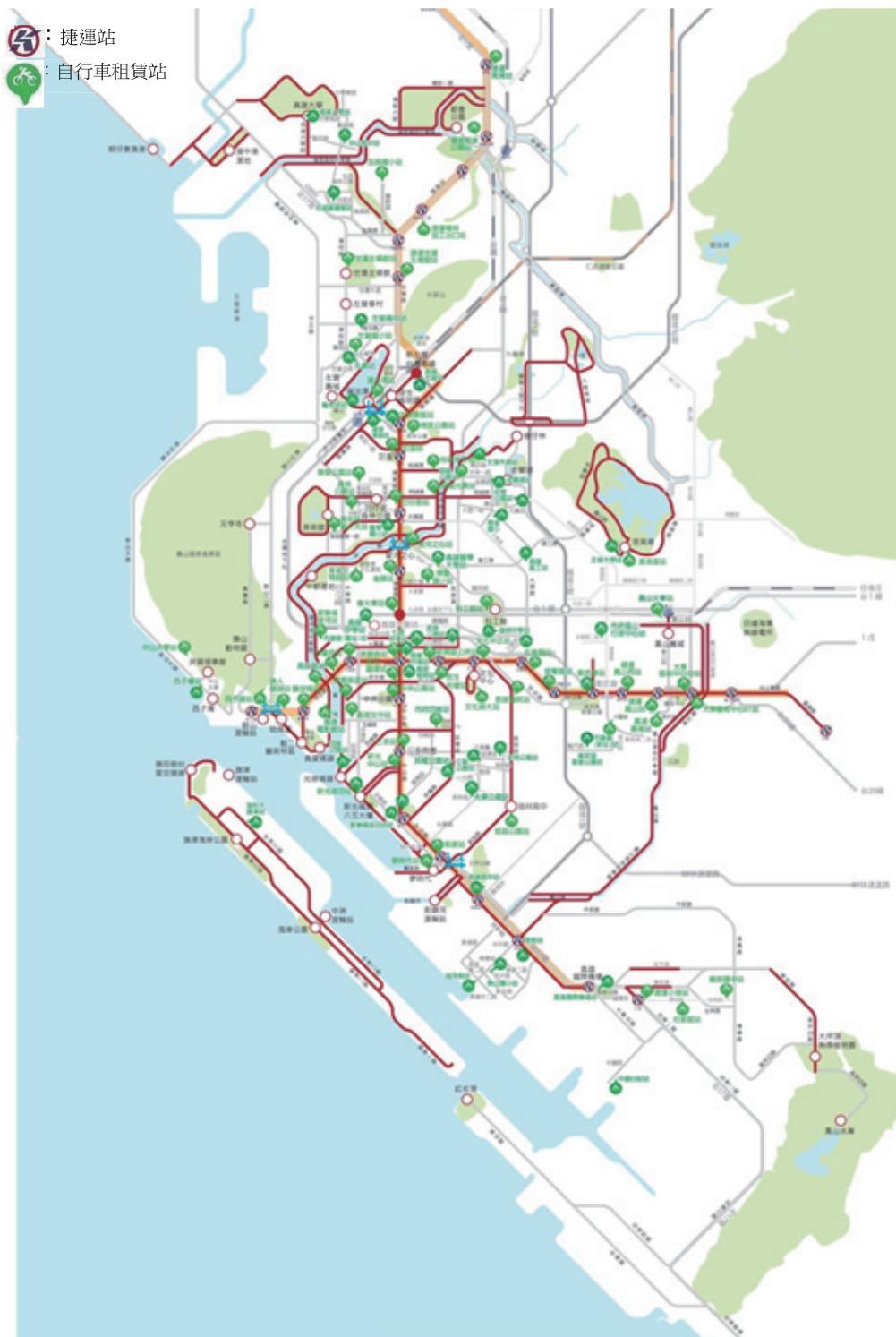
日起，為營運期第二階段，共計完成 49 座租賃站及 4,500 輛腳踏車。2011 年高雄捷運公司接手營運後，配合環保局規劃及經費補助下，持續拓展公共自行車租賃站據點，截至 2013 年 11 月止，共計完成 124 座租賃站及 7,000 輛腳踏車（實際上線約 1,500 輛），平均日運量已達約 6,000 人次^[2]。有關各租賃站的區位選擇，首先布設於高雄捷運紅、橘線沿線車站及重要人口集中據點，例如：靠近學校如高雄女中、道明中學、高雄師範大學、海洋科技大學等，靠近精華地區如三多商圈、新崛江商圈、夢時代等，靠近著名景點如駁二特區、高雄電影館、西子灣等地，皆設有租賃站，圖 1 顯示目前各公共自行車租賃站的分布地點。

目前臺灣除了高雄地區擁有大型路網之公共自行車租賃系統外，其他地區也積極推動中。例如臺北市推動之臺灣第二座大型都市公共自行車租賃系統-YouBike 微笑單車，該系統由臺北市政府交通局以 BOT 的方式，委由巨大機械股份有限公司（捷安特）經營。截至 2013 年 12 月止，該系統共計有 129 座租賃站提供使用，平均日運量達 10,000 次^[3]。新北市 New Bike 則為臺灣第三座營運之公共自行車系統，由新北市政府環保局進行建置，整體系統自 2013 年 9 月 2 日正式營運，初期計有 13 座租賃站及 280 輛腳踏車提供民眾使用；另外臺中市的 i-bike 及屏東縣 P-bike 則預計於 2014 年開始推動。由此可知，高雄市及臺北市公共自行車系統的成功營運經驗，成為臺灣其他縣市參考的對象，進而亦積極推動公共自行車系統。

自 2011 年起，高雄市環保局每年提供高雄捷運公司適當的經費補助，作為公共自行車營運及相關優惠措施所需之費用。惟該項經費補助並非持續不斷，在高雄市府的交通運輸政策規劃中，推動綠能運輸的計畫與經費，並非每年都相同。因此，就公共自行車營運廠商而言，必須思索未來若無市府資金補助條件下，如何降低營運成本，並提升經營效率，為公共自行車系統邁向永續經營的重大課題；相對地，就使用者角度而言，提供普及的租賃站，建置便利、舒適的行車環境，讓通勤民眾不僅可以快速抵達租賃站，使騎乘腳踏車成為一種享受，進而達到無縫接駁與運輸目的，亦為公共自行車系統的重要目標。

而建置公共自行車系統初期，無論由政府或廠商出資，初始階段的經費相對有限，如何使用有限的經費，在建構路網初期，達到最好的效果，租賃站點位的選擇，便是其中關鍵因素之一。適當的租賃站點位，能給予民眾轉乘便利、騎乘時間最短的成效，並解決民眾出門第一哩路及返家最後一哩路的需求，故本研究從營運者及使用者雙方的角度同時進行探討，考量不同的面向與因素，期在營運面及需求面之間達成平衡。

本研究主要研究目的為「降低經營總成本」，利用數學規劃方法建構模式，最小化高雄市公共自行車系統的經營成本，包含固定成本、營運成本，以及旅客旅行時間成本，並考量旅客隨機抵達公共自行車租賃站的條件之下，求解公共自行車租賃站的最佳設置地點。適當的租賃站點位，可讓民眾便於使用公共自行車系統，並可方便轉乘其他大眾運輸工具（例如：捷運、公車、臺鐵等），藉此提升高雄市大眾運輸系統的整體市占率。



二、研究動機

節能省碳已成為世界性潮流，在環保意識抬頭之下，降低二氧化碳的排放，已經刻不容緩。在交通運輸面向，如何提升大眾運輸使用率及降低私人運具持有率，對於永續運輸是一項重要的課題。目前臺灣地區發展之公共運輸系統，包括：捷運、公車、高鐵及公共自行車等，是解決交通壅塞及降低空氣污染的運輸選擇。

以臺北市為例，臺北捷運系統是臺灣第一條重運量捷運運輸系統，該系統於 1996 年 3 月 28 日正式營運，迄今已營運近 16 年，整體系統包含 10 條路線及 104 個車站，總路線長度達 115 公里，平均日運量達 170 萬^[4]；另外配合公車系統及公共自行車系統提供捷運沿線的接駁服務，有效延伸捷運系統的可及性，尤其在 YouBike 推動後，滿足臺北市地區民眾最後一哩的需求。臺北地區近年來公共運輸的發展，受不同系統的加乘影響下，2012 年的大眾運輸系統使用率達到 38%，相較於 1996 年前的 23.8%，提升了近五成。圖 2 為臺灣地區、臺北市及高雄市地區歷年來的大眾運輸系統市占率之比較。

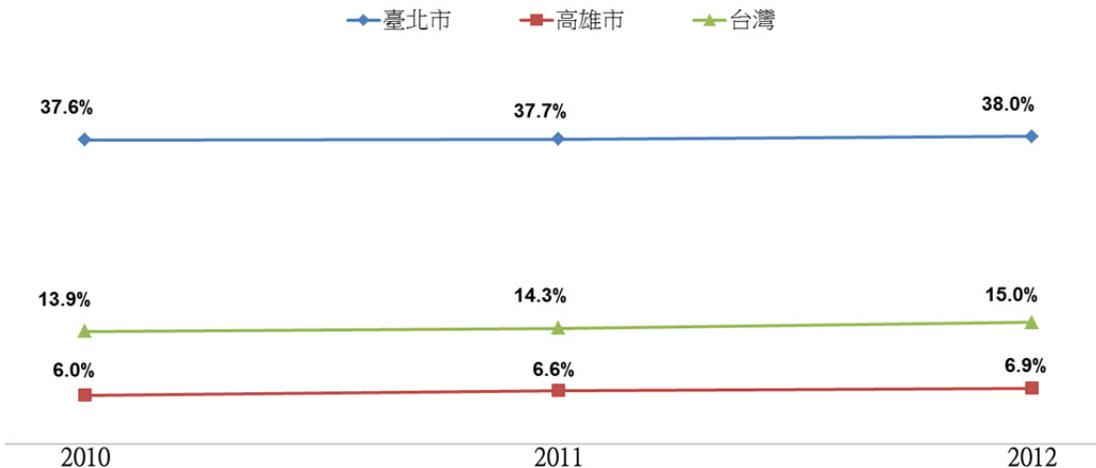


圖 2 臺灣地區、臺北市及高雄市公共運輸市占率 (2010~2012)

如圖 2 所示，以臺北市而言，在人口密集的都會區中，積極發展公共運輸系統並且相互連結，確能明顯改變民眾的旅運行為，尤其近年加上 YouBike 的推動，銜接了民眾第一哩及最後一哩的需求，對提升整體大眾運輸系統的使用，成效顯著。

高雄捷運是臺灣第二條捷運系統，該系統於 2008 年 3 月 9 日正式通車營運，總計 2 條路線（紅線及橘線）及 38 座車站，而高雄市政府為鼓勵民眾搭乘高雄捷運系統，近年規劃了 20 餘條公車路線行經高雄捷運重點車站，並且推動 City-Bike 系統，期能提升大眾運

輸系統整體使用率；儘管如此，過去 10 年高雄市大眾運輸系統使用率，並未有明顯的成長。綜觀高雄地區的交通運輸環境，儘管捷運系統已開通營運，加上公車系統路線的配合調整，但就整體運輸路網來看，仍未達到一定規模，以致無法改變民眾每日的旅運習慣，尤其在高雄地區，機車提供民眾便宜且可及性高的選擇，加上道路寬敞、停車方便，因此短時間內很難扭轉該族群的對於機車的黏著性。根據交通部統計資料顯示，高雄市民眾私有運具持有數量是全臺灣第二高，總計機車及小客車登記數量達 293 萬 (高雄市民人口約 277 萬)，也因此高雄市雖已發展各項大眾運輸系統，短期內卻很難改變當地民眾在運具的使用狀況。

為了推動綠能運輸，給予民眾更便捷的交通運輸服務，高雄市政府仍不斷努力推動多項計畫，包含鐵路地下化、公車轉運中心，以及公共自行車系統。圖 3 顯示高雄市目前各公共運輸運具的市占率與高雄市政府擬於 2016 年達成的大眾運輸系統市占率目標。

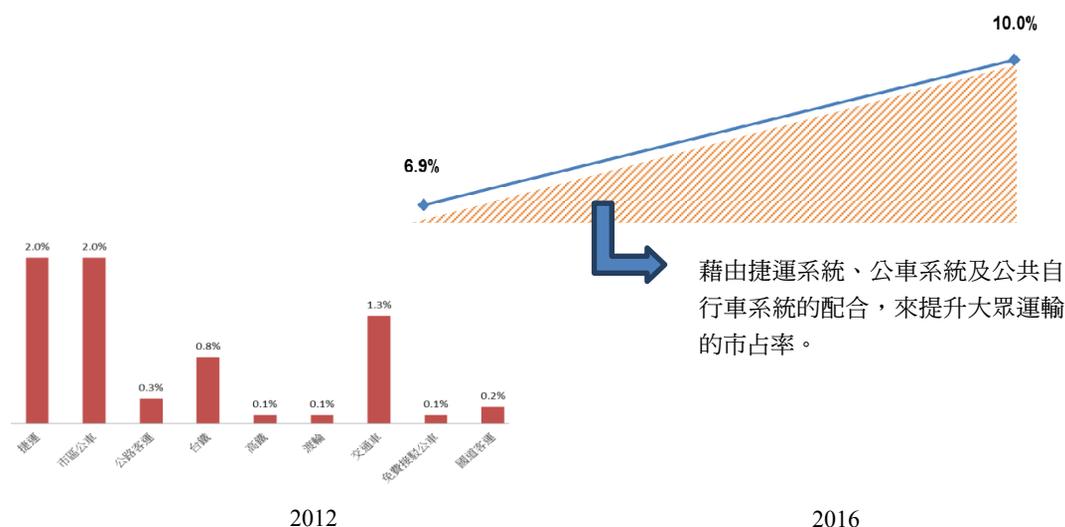


圖 3 高雄市各公共運輸運具市占率分配及 2016 年目標

其中公共自行車系統的發展，最主要目的就是解決民眾短程的接駁需求，降低對於機動車輛的依賴，提供民眾另一項環保、便宜的運輸工具。為促使民眾提高使用公共自行車系統意願，租賃站點位的選擇，是公共自行車系統發展的關鍵之一，亦即租賃站的設置位置必須讓使用者方便租借，並且用更短的時間，達到轉乘的目的。一般而言，系統發展初期常因經費有限，必須對於硬體設施的投入進行適當管控，且為了長期經營，必須審慎考量初始階段沉沒成本之投入；而在公共自行車系統中，建置單一租賃站成本即高達新台幣 60 萬元，故如何選擇最佳的設置地點，使營運者成本支出與旅客旅行時間上取得平衡，是本研究主要的研究目標。

三、問題描述及文獻回顧

本研究主要目的，係發展一套考量旅客隨機抵達租賃站的情況下，租賃站設置地點的選擇模式。模式中考量系統建置成本、營運所需成本，以及旅客成本與服務水準等因素。Lin^[5] 等人把公共自行車租賃站，視為一個轉乘站，該研究利用數學規劃方法，針對特定的民眾旅次起迄需求，求解租賃站最佳設置點位；為降低空氣汙染及推動綠能運輸，澎湖馬公市推動電動機車運具，然電動機車因行駛距離有限，為使民眾騎乘期間能夠迅速找到充電站，不至於因沒電而停駛，Wang^[6] 使用整數規劃方法，考量兩充電站間距離及充電時間，最小化建置成本，搜尋最佳的設置點位及數量。Martens^[7,8] 指出，在歐洲地區，例如荷蘭發展的公共自行車系統，設置地點建議接近於公車車站及火車車站附近，以利腳踏車換乘大眾運輸工具 (bike-and-ride)，該項作法有效的提升荷蘭民眾對於公共自行車的使用率及轉乘其他運具的運量。

除上述相關文章探討租賃站設置位置的選擇之外，其他文獻也點出公共自行車設置上的其他重要課題，例如營造一個舒適的租賃環境及便捷的租賃系統，亦可有效提升民眾對於公共自行車的使用。Buehler^[9] 在華盛頓公共自行車系統的研究中提到，提供民眾良好的租賃環境，例如在租賃站中設置免費停車場、淋浴間等設施，對於民眾使用公共自行車的意願，具有高度的相關。Pucher^[10] 等人則回顧美國及加拿大在過去 20 年間 9 個成功發展公共自行車的都市，在安全及政策上，皆有類似的規劃，包含對自行車車道及路徑的改善優化、道路交通改善、停車空間增加及轉乘優化等策略，促使整體公共自行車的順利推展。Börjesson 與 Eliasson^[11] 的研究指出，應該將公共自行車系統視為其他運具的競爭對手，因為在交通狀況較差的情況下，使用公共自行車作為通勤工具，對於整體旅行時間節省 (相對於使用汽、機車會遇到交通壅塞，造成旅行時間增加)，其效益遠比其他替代運具來的高。Fishman^[12] 等人則針對澳洲布里斯班市不同的自行車使用族群 (低使用度自行車族、高使用度自行車族及註冊 CityCycle 自行車族) 進行行為分析，進而發現從安全性、氣候、汽車駕駛行為態度及 CityCycle 註冊過程 (加入會員) 等不同因素，皆會影響民眾對自行車的使用意願，如強制戴安全帽會降低民眾使用自行車意願、快速簡單的註冊過程則可提高民眾加入 CityCycle 會員意願，並使用自行車通勤。Li^[13] 等人之研究利用結構方程式模型，分析民眾使用自行車的重要影響因子，發現舒適的騎乘環境及逐漸提升的環保意識，可提高民眾使用意願。

圖 4 為高雄市公共自行車平均日運量統計，根據歷史資料顯示，高雄市公共自行車的日運量在過往兩年逐漸提升，主要原因除了租賃站點位的持續拓展外，另外一項主因是開放一卡通 (I-PASS card) 進行租借，提供了民眾更便利的租借選擇，且配合高雄市環保局的經費補助，民眾使用一卡通進行租借，除了可享受第 1 小時免費、後續每 30 分鐘 10 元的優惠外，使用公共自行車後再轉乘捷運，還可享有 4 元的轉乘優惠。如此的策略規劃，確實提升了民眾使用公共自行車的意願，但是免費政策的背後，也對收益造成了負面的效

果。圖 5 為高雄市公共自行車平均借用時間統計，從該圖可明顯地看出，平均使用時間約為 35 分鐘，尚不滿 1 小時，類似情形也出現在臺北地區的 YouBike 系統，80% 使用 YouBike 的旅次，皆在 30 分鐘內完成旅次。這樣的結果，也導致了目前高雄市公共自行車在收益上的困難，可以說是幾乎完全沒有收益；而從轉乘旅次來看，目前捷運－自行車的單向轉乘未達 10%，平均每日不到 600 人使用公共自行車轉乘捷運系統。由此可知，高雄捷運公司若沒有高雄市環保局的經費補助，是很難自行達成永續經營公共自行車系統的目標。

由此可知，為吸引更多潛在顧客使用高雄市公共自行車系統，進而達到提升捷運系統的使用率，租賃站最佳區位的搜尋，將是其中的關鍵因素之一。為了達成上述目標，本研究考量設置公共自行車的固定成本、營運成本，以及旅客旅行時間成本 3 項關鍵因素，建構了公共自行車最佳區位選擇模式，期能藉由最佳區位的選定，為高雄市公共自行車帶來更多的客源，也降低初期建置的成本負擔。

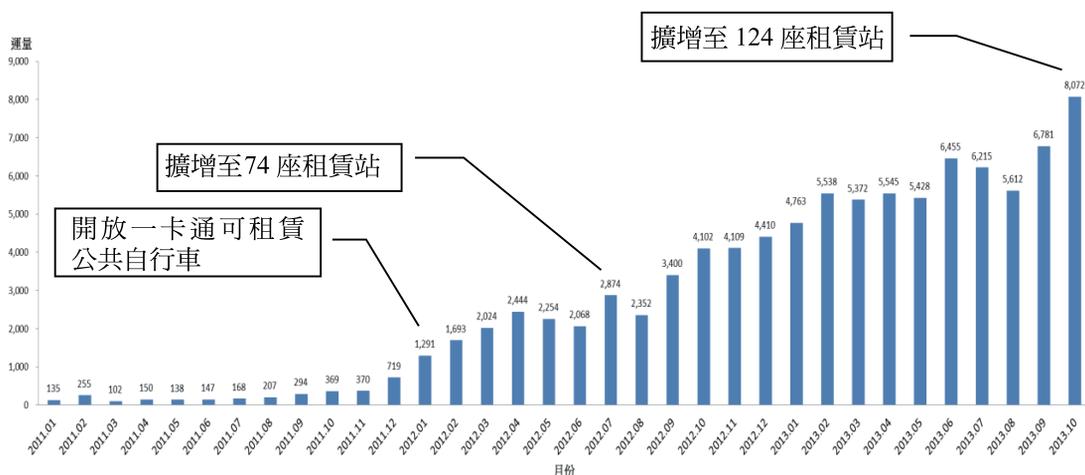


圖 4 高雄市公共自行車每月平均日運量

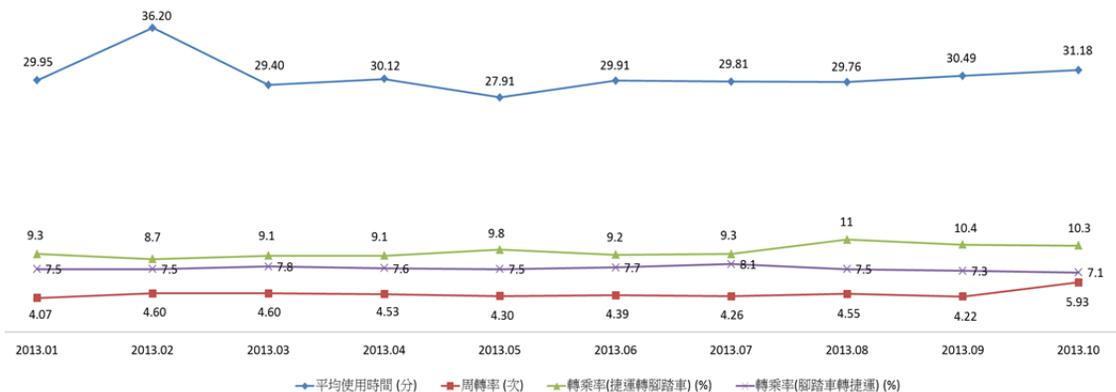


圖 5 高雄市公共自行車平均使用時間及轉乘率 (雙向)

四、模式建構

有關本研究的模式建構涵蓋以下內容，分述如下：

1. 收集高雄市公共自行車系統各項成本資訊：為了使本研究所建構模式產出結果更加精準，我們針對高雄市公共自行車系統收集各項成本資料，基本上包含下述部分：
 - (1) 固定成本：公共自行車系統相關設備設施投資成本；
 - (2) 營運成本：包含人事成本、維修成本、調度成本及重置成本；
 - (3) 旅客旅行時間成本：民眾使用公共自行車時間，整趟旅次的旅行時間成本。
2. 建立成本導向模式：本研究使用數學規劃方法建構成本模式，以求解整體營運成本最小化，所建構函數式將供給面成本（即固定成本、營運成本）及需求面成本（即旅客旅行時間成本）合併計算，並設定權重值 (W_1 及 W_2)，其考量原因，為提供經營廠商彈性的營運策略運用，廠商衡量供給面及需求面相關因素，確認未來經營方向是朝節省經營成本或注重旅客服務品質，進而適當調整目標函數中的權重值，得出在不同考量情境下之最佳區位選擇結果；本研究在各項情境分析中，暫未考量公共自行車營運者的主觀想法，故在權重值的設定上，暫以 0.5 為設計值（即假設營運者對於成本及服務品質面向之重視程度相同），讓整體研究具有統一的比較基準。
3. 旅客為隨機抵達租賃站之情況：旅客自捷運站出站後，租用公共自行車為一隨機需求，符合卜瓦松分布 (Poisson distribution) 之以下特性：
 - (1) 在一段時間（區域）事件發收的次數，與另一段時間（區域）發生次數無關；
 - (2) 在一段時間（區域）事件發生的平均次數與時間長短（區域大小）成比例；
 - (3) 在一極短的時間內或極小的區域內，某事件發生兩次或更多的機率幾乎為 0。故本研究視旅客抵達租賃站之情況為卜瓦松分布，並利用歷史資料，進行每 1 小時旅客隨機抵達量之估算，以合理計算旅客旅行時間之成本。
4. 敏感度分析：本研究選擇幾項重要影響成本因素，進行敏感度分析，以了解何項成本項目對模式影響幅度最大。

在本研究中，旅客每趟的旅次起迄路線如圖 6 所示，主要包含 4 個部分：捷運站（視為起點， o ）、公共自行車租賃站（包含借、還車地點， R_i 及 S_j ），以及住宅區（視為迄點， d ）。

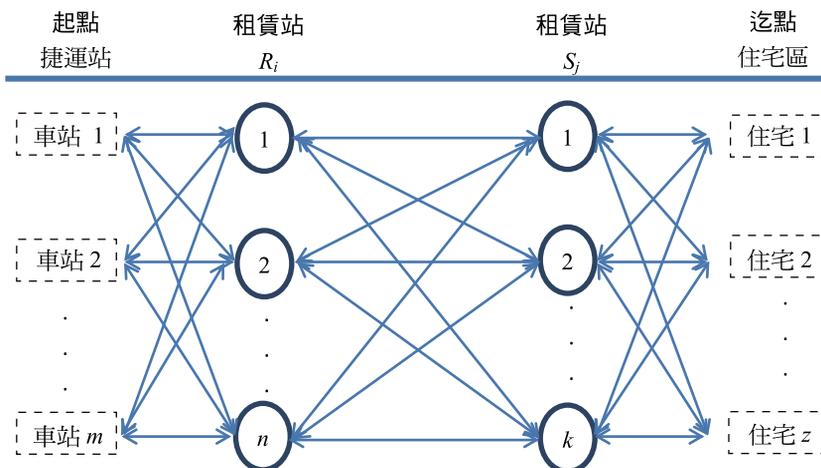


圖 6 旅次型態及建設地點

本研究所構建之公共自行車設站最佳區位模式，係以線性數學規劃模式為基礎，如式 1 所示：

$$\text{Min } TC = W_1 \times (FC + OC) + W_2 \times PTC \quad (1)$$

式中，

TC ：公共自行車系統營運總成本，包含「固定成本」、「營運成本」及「旅客旅行時間成本」；

FC ：公共自行車系統之固定成本，包含「租賃站之建置成本」與「自行車購置成本」；

OC ：公共自行車系統之營運成本，包含「人力成本」、「維修成本」、「調度成本」及「資產重置成本」（例如設備損壞或遭偷竊）；

PTC ：旅客旅行時間成本，包含「自捷運站出站後抵達租賃站之步行時間成本」、「騎乘公共自行車之旅行時間成本」，以及「還車後行走至住宅區之行走時間成本」；

W_1 、 W_2 ：權重值。

上述各項成本之細項內容，分述如下：

1. 固定成本 (FC)

高雄市公共自行車系統建置，對於經營者固定成本項目，最主要包含租賃車站的設施設備成本及當站所購置自行車數量之成本，各子項如式 2 所示：

$$FC = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (R_i + S_j) \times (C_r + B + C_b) \quad (2)$$

式中，

- n 、 k ：租賃站於區位 R 、 S 之設置數量；
 R_i 、 S_j ：0、1 變數，1 代表租賃站 R_i 、 S_j 被選擇，0 代表未被選擇；
 C_r ：每座租賃站設置成本 (元)；
 B ：每座租賃站內自行車數量 (輛)；
 C_b ：自行車每輛購置成本 (元)。

2. 營運成本(OC)

高雄市公共自行車系統有關經營者營運成本項目，最主要包含人力成本、維修成本、調度成本及資產重置成本，其中重置成本包含設備損害維修及財產失竊，各子項如式 3 所示：

$$OC = H \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (R_i + S_j) \right) \times H_f \times C_h + C \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (R_i + S_j) \right) \times C_d + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (R_i + S_j) \times (C_m + B_d \times C_b) \quad (3)$$

式中，

- $H(R_i + S_j)$ ：高雄市公共自行車系統營運員工數 (包含：主管/行政/維修/調度人員，人)；
 H_f ：人力因子，考量人員輪班因素；
 C_h ：員工每年薪資 (元)，以 101 年高捷公司營運公共自行車系統人員實際薪資進行計算；
 $C(R_i + S_j)$ ：調度車車輛數 (輛)；
 C_d ：調度車每輛購置費用 (元)；
 C_m ：每座租賃站平均每年維修費用 (元)，以 101 年高捷公司維修租賃站 (包含：腳踏車維修、站體維護及系統維護費用進行計算)；
 B_d ：每年每座租賃站平均損壞或故障腳踏車數量 (輛)，以 101 年高捷公司實際統計受損車輛數進行計算。

3. 旅客旅行時間之成本(PTC)

旅客租用公共自行車進行整趟旅次，最主要包含自捷運站出站後抵達租賃站之步行時間成本、騎乘公共自行車之旅行時間成本，以及還車後抵達住宅區之步行時間成本，各子項如式 4 所示：

$$PTF = \sum_{o=1}^m \sum_{i=1}^n D_{oi} \times C_t \times T_{od} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k R_i \times S_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k D_{ij} \times C_t \times T_{od} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k R_i \times S_j + \sum_{j=1}^k \sum_{d=1}^z D_{jd} \times C_t \times T_{od} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k R_i \times S_j \quad (4)$$

式中，

- m 、 z ：捷運站站點及住宅區地點之數量；
 D_{oi} ：旅客自捷運站 o 抵達租賃站 R_i 之旅行時間，其中包括借用車輛時間 (分)，其中

旅客旅行時間以步行速度 5 km/hr 進行計算，借用車輛時間為 2 分鐘；

D_{ij} ：旅客自租賃站 R_i 抵達租賃站 S_j 之騎乘時間 (分)，其中旅客旅行時間以騎乘速度 20 km/hr 進行計算；

D_{jd} ：旅客自租賃站 S_j 抵達住宅區 d 之旅行時間，其中包括退還車輛時間 (分)，其中旅客旅行時間以步行速度 5 km/hr 進行計算，退還車輛時間為 2 分鐘；

C_t ：旅客旅行時間每分鐘之價值 (元)，以行政院主計處 101 年受僱人員平均月薪 45,888 元/平均每月工時 10,704 分鐘，進行計算；

T_{od} ：在隨機情況下，每年旅客搭乘捷運後租用公共自行車之人數 (人)。

由式 2~式 4 得知，式 1 更新後如下：

$$\begin{aligned}
 TC = & W_1 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (R_i + S_j) \times (C_r + B \times C_b) \right\} + \left\{ H \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (R_i + S_j) \times H_f \times C_h + \right. \\
 & C \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (R_i + S_j) \right) \times C_d + \left. \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (R_i + S_j) \times (C_r + B \times C_b) \right\} + W_2 \times \\
 & \left\{ \sum_{o=1}^m \sum_{i=1}^n D_{oi} \times C_t \times T_{od} \sum_{j=1}^k R_i \times S_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k D_{ij} \times C_t \times T_{od} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k R_i \times S_j + \right. \\
 & \left. \sum_{j=1}^k \sum_{d=1}^z D_{jd} \times C_t \times T_{od} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k R_i \times S_j \right\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

式中，

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (R_i + S_j) \geq m + z \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^n R_i \geq m \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^k S_j \geq z \tag{8}$$

$$R_i = \{0, 1\} \tag{9}$$

$$S_j = \{0, 1\} \tag{10}$$

4. 旅客租賃公共自行車人數之估算 (T_{od})

高雄市公共自行車每日平均運量約為 6,000 人次，當中搭乘捷運後使用公共自行車的人數約 10%，計 600 人次，僅占高雄捷運每日平均運量約 165,000 人次中的 0.363%，由此得知，目前轉乘的數量相當少。在本研究模式中，視旅客搭乘捷運後接續租用公共自行車之情形，為一隨機狀況，且在極短的時間內，並不會發生連續兩位旅客同時租賃公共自行車 (以同一租賃站而言)，故其過程可視為卜瓦松分配 (Poisson distribution)。本模式利用此分布特性，對每日每一營運小時旅客租賃公共自行車人數進行估計，求解每營運小時中旅

客租賃公共自行車次數，如式 12 所示；根據該模式，估算每年旅客租賃公共自行車之預估人數模式，如式 13 所示。

$$E_l(x) = \sum_{x=1}^{\alpha} x \times f(x), \quad f(x) = \frac{e^{-\lambda_l} \times \lambda_l^x}{x!} \quad (12)$$

$$T_{od} = 365 \times \sum_{l=1}^{\beta} E_l(x) \quad (13)$$

式中，

$$x = 1, 2, \dots, \alpha, \quad \alpha \in N \quad (14)$$

$$l = 1, 2, \dots, \beta, \quad \beta \in N \quad (15)$$

$E_l(x)$ ：高雄市公共自行車營運第 1 小時租用公共自行車之期望人數（人）；

λ_l ：目前高雄市公共自行車營運第 1 營運小時，旅客租用公共自行車之平均人數（人）。

本模式為求準確估計每一營運小時旅客轉乘捷運後租用公共自行車之人數，使式 1 之估算更為精準，故在 λ_l 值之設定，係藉由統計歷史資料之每小時平均運量，納入模式中。式 12 之 α 值，可依高雄市公共自行車第 1 營運小時歷史資料估算出 λ_l 值進行計算；另依據目前實際營運時間為早上 06：00 至深夜 23：00，共計 17 小時，故本模式中 β 值取 17 進行估算。

五、資料蒐集與分析

為便利民眾搭乘捷運後轉乘公共自行車，考量民眾步行時速 5 公里/小時及可容忍步行時間為 5 分鐘內之條件下，民眾搜尋公共自行車租賃站的範圍可定義為距起、迄點 400 公尺以內，故本研究於租賃站點位選擇基本假設如下：(1)公共自行車租賃站點選擇皆距起、迄點 400 公尺以內；(2)租賃站兩點位間距離 200 公尺以上。

本研究之實證研究路網，係以高雄市獅甲地區附近之 M_1 獅甲捷運站、三多商圈地區附近之 M_2 三多商圈捷運站、預定之公共自行車站及住宅區等區位資訊，進行相關實證研究與分析，其路網架構如圖 7 所示。

表 1 模式相關參數表

模式參數	值
C_r	600,000 元/每座租賃站
B	15 輛/每座租賃站
C_b	5,344 元/輛
$H (R_i+S_j)$	若公共自行車租賃站若小於 (含) 10 站, H 為 4 人每增加 50 站, 增加 3 人
H_f	1.552
C_h	567,624 元/人/年
C_m	36,575 元/每座租賃站/年
$C (R_i+S_j)$	若公共自行車租賃站若小於 (含) 10 站, C 為 1 輛 10 站以上, 50 站以下為 2 輛
C_d	800,000 元/輛
B_d	0.675 輛/年
D_{oi}	2.3 分鐘 (自 M1 捷運站步行至租賃站 R1, 包含租車時間 2 分鐘) 3.8 分鐘 (自 M1 捷運站步行至租賃站 R2, 包含租車時間 2 分鐘) 2.3 分鐘 (自 M2 捷運站步行至租賃站 R3, 包含租車時間 2 分鐘) 3.2 分鐘 (自 M2 捷運站步行至租賃站 R4, 包含租車時間 2 分鐘)
D_{ij}	1.95 分鐘 (自租賃站 R1 騎乘至租賃站 S1, 不考慮交通狀況) 2.25 分鐘 (自租賃站 R1 騎乘至租賃站 S2, 不考慮交通狀況) 2.55 分鐘 (自租賃站 R1 騎乘至租賃站 S3, 不考慮交通狀況) 2.25 分鐘 (自租賃站 R2 騎乘至租賃站 S1, 不考慮交通狀況) 1.5 分鐘 (自租賃站 R2 騎乘至租賃站 S2, 不考慮交通狀況) 2.1 分鐘 (自租賃站 R2 騎乘至租賃站 S3, 不考慮交通狀況) 1.56 分鐘 (自租賃站 R3 騎乘至租賃站 S4, 不考慮交通狀況) 1.5 分鐘 (自租賃站 R3 騎乘至租賃站 S5, 不考慮交通狀況) 1.8 分鐘 (自租賃站 R3 騎乘至租賃站 S6, 不考慮交通狀況) 0.78 分鐘 (自租賃站 R4 騎乘至租賃站 S4, 不考慮交通狀況) 1.95 分鐘 (自租賃站 R4 騎乘至租賃站 S5, 不考慮交通狀況) 1.8 分鐘 (自租賃站 R4 騎乘至租賃站 S6, 不考慮交通狀況)
D_{jd}	4.28 分鐘 (自租賃站 S1 步行至住宅區 B1, 包含還車時間 2 分鐘) 5.36 分鐘 (自租賃站 S1 步行至住宅區 B2, 包含還車時間 2 分鐘) 3.32 分鐘 (自租賃站 S2 步行至住宅區 B1, 包含租車時間 2 分鐘) 5 分鐘 (自租賃站 S2 步行至住宅區 B2, 包含租車時間 2 分鐘) 3.92 分鐘 (自租賃站 S3 步行至住宅區 B1, 包含租車時間 2 分鐘) 2.72 分鐘 (自租賃站 S3 步行至住宅區 B2, 包含租車時間 2 分鐘) 3.8 分鐘 (自租賃站 S4 步行至住宅區 B3, 包含還車時間 2 分鐘) 6.2 分鐘 (自租賃站 S4 步行至住宅區 B4, 包含還車時間 2 分鐘) 4.4 分鐘 (自租賃站 S5 步行至住宅區 B3, 包含租車時間 2 分鐘) 3.92 分鐘 (自租賃站 S5 步行至住宅區 B4, 包含租車時間 2 分鐘) 6.2 分鐘 (自租賃站 S6 步行至住宅區 B3, 包含租車時間 2 分鐘) 4.28 分鐘 (自租賃站 S6 步行至住宅區 B4, 包含租車時間 2 分鐘)
C_t	4.29 元/分(旅客每分鐘時間成本)

為求準確估計每小時旅客轉乘捷運後租用公共自行車之人數，使式 1 估算更為精準，在 λ 值之設定上，係藉由統計歷史資料之每小時平均運量納入模式中，進而估計每一營運小時期望租用公共自行車之人數，以求解每年租用公共自行車之總人數。有關 T_{od} 之估算，經統計 101 年 10 月份公共自行車站 R_1 (獅甲站)、 R_3 站 (三多商圈站) 及 R_4 站 (新光中山站) 歷史資料，第 1 營運小時的 λ 值如圖 8 所示，在實測與分析階段，利用該資料進行 T_{od} 之估算；另圖 9 為 R_1 站、 R_3 站及 R_4 站之 λ_8 的機率密度與累積機率密度函數分布圖。

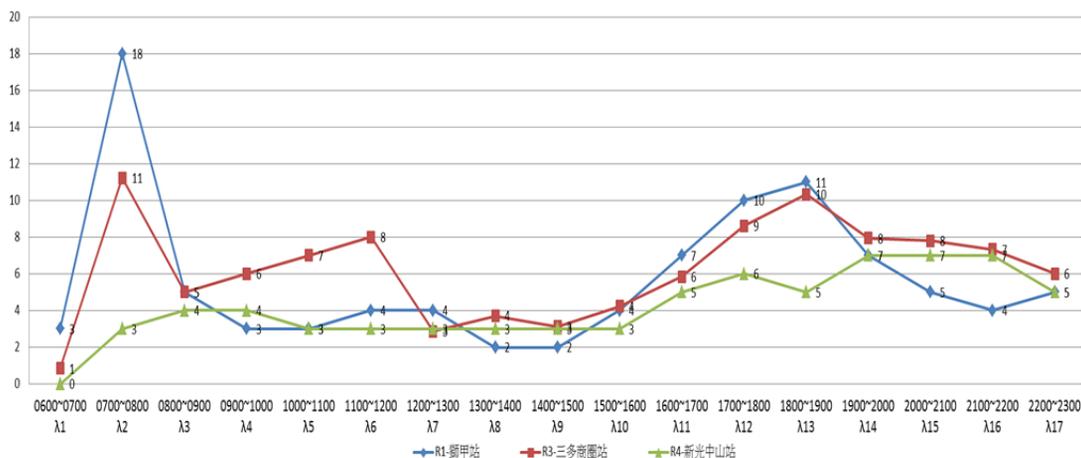


圖 8 R_1 、 R_3 及 R_4 站第 1 營運小時之 λ 值

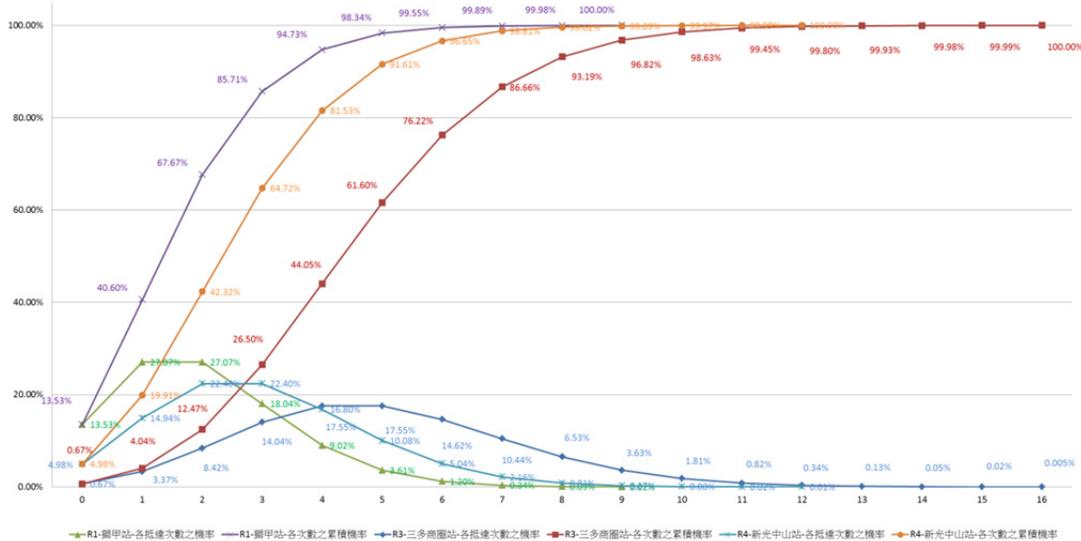


圖 9 R_1 、 R_3 及 R_4 站 - λ_8 租賃次數機率統計圖

六、結果與討論

本研究係從營運者及使用者角度建構數學規劃模式，以求得最佳解，以下情境 1~3 係以營運者角度，進行各類成本項分析；情境 4 則站在使用者角度，考量實際行駛狀況，進行各類成本分析。各情境內容假設說明如下：

情境 1：假設系統建置之初期階段，鄰近捷運站（起點）及住宅區（迄點）公共自行車租賃站區位皆未知，此情境係提供營運者在系統建置初期之參考，其結果設定為本研究基準，提供後續假設情境之比較基礎。

情境 2：假設系統建置之營運階段，鄰近捷運站的公共自行車租賃站區位為已知，住宅區公共自行車租賃站點位為未知，此情境係提供營運者在營運階段，檢視目前設置狀況涵蓋路網是否重複、站數不足或過多，其結果可供營運者調整現有租賃站建置狀況之參考。

情境 3：針對固定成本項目，進行敏感度分析。由前述文獻了解，租賃站環境舒適度的提升，可提高民眾使用意願，此情境係提供營運者在初期建置階段，對於固定成本項目（例如：租賃站建置費用、自行車購置費用、其他設施設備）之選擇，其結果可供營運者在固定成本項目支出之參考。

情境 4：針對旅客旅行時間，進行敏感度分析。實證研究之路網，係自捷運站出發至住宅區，除行經路線之選擇外，路線上交通狀況亦是影響旅行時間之重要因素。此情境將路口號誌之停等時間納入考量，準確衡量旅客整體旅行時間，其結果可供住宅區附近租賃站點位選擇之參考。

各情境結果分析，分述如下：

1. 情境 1：假設目前捷運站附近之公共自行車租賃站 $R_1 \sim R_4$ 及住宅區附近之公共自行車租賃站 $S_1 \sim S_6$ 皆未建置，進而利用式 1 進行求解。

(1) 實驗結果：固定成本、營運成本及旅客旅行時間成本資料，以及占總成本之比率，如表 2 及圖 10 所示。

表 2 情境 1 各成本項資料表及公共自行車設置點位

情境 1	$W_1=0.9$ $W_2=0.1$	$W_1=0.8$ $W_2=0.2$	$W_1=0.7$ $W_2=0.3$	$W_1=0.6$ $W_2=0.4$	$W_1=0.5$ $W_2=0.5$	$W_1=0.4$ $W_2=0.6$	$W_1=0.3$ $W_2=0.7$	$W_1=0.2$ $W_2=0.8$	$W_1=0.1$ $W_2=0.9$
固定成本(FC,元)	2,448,577	2,176,511	1,904,448	1,632,384	1,360,320	1,088,256	816,192	544,128	272,064
固定成本占總成本比率	35.27%	32.59%	29.69%	26.54%	23.10%	19.35%	15.23%	10.68%	5.63%
營運成本(OC,元)	4,036,739	3,588,214	3,139,687	2,691,160	2,242,633	1,794,106	1,345,579	897,053	448,527
營運成本占總成本比率	58.15%	53.73%	48.94%	43.75%	38.09%	31.90%	25.10%	17.60%	9.28%
旅客旅行時間成本(PTC,元)	456,950	913,899	1,370,848	1,827,797	2,284,748	2,741,697	3,198,647	3,655,596	4,112,545
旅客旅行時間成本占總成本比率	6.58%	13.68%	21.37%	29.71%	38.81%	48.75%	59.67%	71.72%	85.09%
總成本(TC,元)	6,942,265	6,678,624	6,414,983	6,151,341	5,887,701	5,624,059	5,360,418	5,096,778	4,833,136
公共自行車站設置點位	$R_1/R_3/S_3/S_5$								

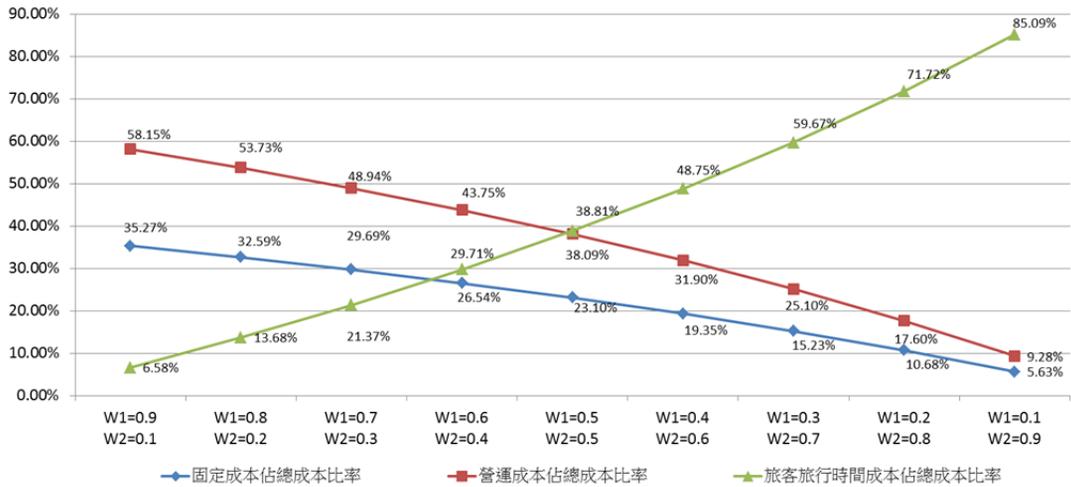


圖 10 情境 1 各成本項占總成本比率圖

(2) 結果分析:在 $W_1=0.5$ 及 $W_2=0.5$ 的情況下,固定成本 1,360,320 元,占總成本 23.10%; 營運成本 2,242,633 元,占總成本 38.09%;旅客旅行時間成本 2,284,748 元,占總成本 38.81%。在本情境之下,公共自行車最佳設置點位為 R_1 、 R_3 、 S_3 及 S_5 ,共 4 處。

2. 情境 2:假設目前捷運站附近之公共自行車租賃站 R_1 、 R_3 與 R_4 皆已建置,住宅區附近之公共自行車租賃站 $S_1 \sim S_6$ 尚未建置,進而利用式 1 進行求解。

(1) 實驗結果:固定成本、營運成本及旅客旅行時間成本資料,以及占總成本之比率,如表 3 及圖 11 所示。

表 3 情境 2 各成本項資料表及公共自行車設置點位

情境 2	$W_1=0.9$ $W_2=0.1$	$W_1=0.8$ $W_2=0.2$	$W_1=0.7$ $W_2=0.3$	$W_1=0.6$ $W_2=0.4$	$W_1=0.5$ $W_2=0.5$	$W_1=0.4$ $W_2=0.6$	$W_1=0.3$ $W_2=0.7$	$W_1=0.2$ $W_2=0.8$	$W_1=0.1$ $W_2=0.9$
固定成本(FC,元)	3,060,720	2,720,640	2,380,559	2,040,481	1,700,400	1,360,320	1,020,240	680,160	340,080
固定成本占總成本比率	39.84%	36.57%	33.08%	29.35%	25.34%	21.04%	16.39%	11.37%	5.93%
營運成本(OC,元)	4,073,067	3,620,505	3,167,942	2,715,378	2,262,815	1,810,252	1,357,689	905,126	452,563
營運成本占總成本比率	53.01%	48.66%	44.02%	39.05%	33.73%	27.99%	21.82%	15.14%	7.89%
旅客旅行時間成本(PTC,元)	549,319	1,098,638	1,647,957	2,197,275	2,746,595	3,295,914	3,845,233	4,394,552	4,943,871
旅客旅行時間成本占總成本比率	7.15%	14.77%	22.90%	31.60%	40.93%	50.97%	61.79%	73.49%	86.18%
總成本(TC,元)	7,683,106	7,439,783	7,196,458	6,953,134	6,709,810	6,466,486	6,223,162	5,979,838	5,736,514
公共自行車站設置點位	R_1/R_3 $/R_4/S_3/S_5$								

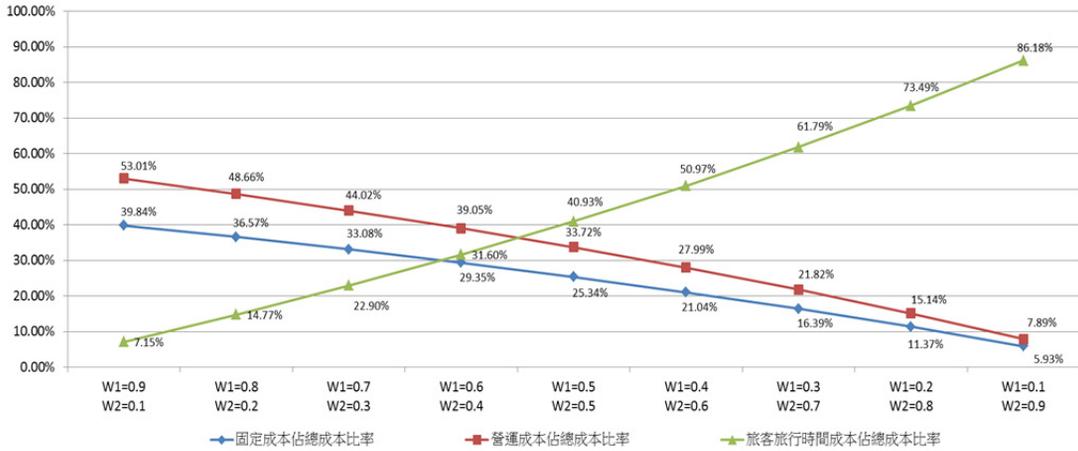


圖 11 情境 2 各成本項占總成本比率圖

(2) 結果分析：在 $W_1=0.5$ 及 $W_2=0.5$ 的情況下，固定成本 1,700,400 元，占總成本 25.34%；營運成本 2,262,815 元，占總成本 33.73%；旅客旅行時間成本 2,746,595 元，占總成本 40.93%。在本情境下，公共自行車最佳設置點位為 R_1 、 R_3 、 R_4 、 S_3 及 S_5 ，共 5 處。

3. 情境 3：針對固定成本項，進行敏感度分析，由前述文獻回顧可以得知，提升公共自行車租賃站的整體環境（例如增加休息或淋浴空間），將可提高民眾的使用意願，本情境針對成本項中的建置費用 (C_f)，進行敏感度分析，由原 600,000 元提升至 1,000,000 元。

(1) 實驗結果：固定成本、營運成本及旅客旅行時間成本資料，以及占總成本之比率，如表 4 及圖 12 所示。

表 4 情境 3 各成本項資料表及公共自行車設置點位

情境 3	$W_1=0.9$ $W_2=0.1$	$W_1=0.8$ $W_2=0.2$	$W_1=0.7$ $W_2=0.3$	$W_1=0.6$ $W_2=0.4$	$W_1=0.5$ $W_2=0.5$	$W_1=0.4$ $W_2=0.6$	$W_1=0.3$ $W_2=0.7$	$W_1=0.2$ $W_2=0.8$	$W_1=0.1$ $W_2=0.9$
固定成本(FC,元)	3,888,576	3,456,511	3,024,448	2,592,384	2,160,320	1,728,256	1,296,192	864,128	432,064
固定成本占總成本比率	46.39%	43.43%	40.14%	36.45%	32.30%	27.59%	22.19%	15.95%	8.65%
營運成本(OC,元)	4,036,739	3,588,214	3,139,687	2,691,160	2,242,633	1,794,106	1,345,579	897,053	448,527
營運成本占總成本比率	48.16%	45.09%	41.67%	37.84%	33.54%	28.64%	23.04%	16.56%	8.98%
旅客旅行時間成本(PTC,元)	456,950	913,899	1,370,848	1,827,797	2,284,748	2,741,697	3,198,647	3,655,596	4,112,545
旅客旅行時間成本占總成本比率	5.45%	11.48%	18.19%	25.70%	34.16%	43.77%	54.77%	67.49%	82.36%
總成本(TC,元)	8,382,265	7,958,624	7,534,983	7,111,341	6,687,701	6,264,059	5,840,418	5,416,778	4,993,136
公共自行車站設置點位	$R_1/R_3/S_3/S_5$								

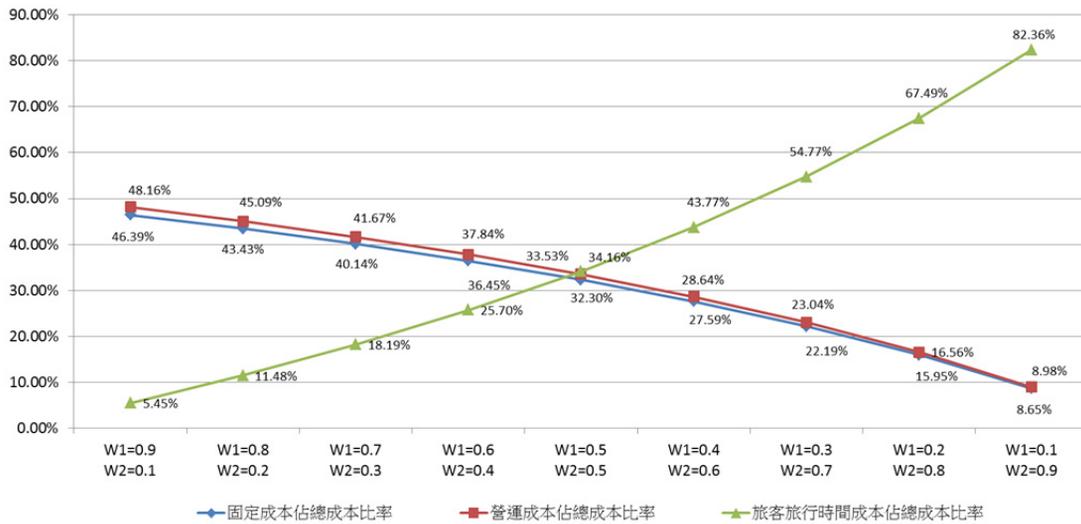


圖 12 情境 3 各成本項占總成本比率圖

(2) 結果分析:在 $W_1=0.5$ 及 $W_2=0.5$ 的情況下,固定成本 2,160,320 元,占總成本 32.30%; 營運成本 2,242,633 元,占總成本 33.54%;旅客旅行時間成本 2,284,748 元,占總成本 34.16%。在本情境下,公共自行車最佳設置點位為 R_1 、 R_3 、 S_3 及 S_5 ,共 4 處。

4. 情境 4:針對旅客旅行時間成本項,進行敏感度分析。檢視本研究路網地區的交通狀況可以得知,如自捷運三多商圈站出站後租用公共自行車,騎乘至本研究設定之住宅區,途中行經新光路、三多四路及中華四路等重要路口,當中將受路口號誌停等之影響,使旅行時間增加。本情境針對旅客旅行時間項中騎乘時間之費用 (D_{ij}),計算實際經過號誌路口停等時間,進行敏感度分析。

(1) 實驗結果:固定成本、營運成本及旅客旅行時間成本資料,以及占總成本之比率,如表 5 及圖 13 所示。

(2) 結果分析:在 $W_1=0.5$ 及 $W_2=0.5$ 的情況下,固定成本 1,360,320 元,占總成本 21.16%; 營運成本 2,242,633 元,占總成本 34.89%;旅客旅行時間成本 2,825,483 元,占總成本 43.95%。在本情境下,公共自行車最佳設置點位為 R_2 、 R_4 、 S_2 及 S_4 ,共 4 處。

5. 各情境比較分析

(1) 情境 1 與情境 2

比較情境 1 及情境 2,各成本項差異如表 6 所示。

表 5 情境 4 各成本項資料表及公共自行車設置點位

D_{ij} (考慮交通狀況)	6.34 分鐘 (自租賃站 R_1 騎乘至租賃站 S_1 , 通過 3 個路口號誌)									
	5.25 分鐘 (自租賃站 R_1 騎乘至租賃站 S_2 , 通過 2 個路口號誌)									
	8.55 分鐘 (自租賃站 R_1 騎乘至租賃站 S_3 , 通過 4 個路口號誌)									
	5.25 分鐘 (自租賃站 R_2 騎乘至租賃站 S_1 , 通過 2 個路口號誌)									
	3.5 分鐘 (自租賃站 R_2 騎乘至租賃站 S_2 , 通過 2 個路口號誌)									
	8.1 分鐘 (自租賃站 R_2 騎乘至租賃站 S_3 , 通過 4 個路口號誌)									
	6.06 分鐘 (自租賃站 R_3 騎乘至租賃站 S_4 , 通過 3 個路口號誌)									
	7.5 分鐘 (自租賃站 R_3 騎乘至租賃站 S_5 , 通過 4 個路口號誌)									
	7.8 分鐘 (自租賃站 R_3 騎乘至租賃站 S_6 , 通過 4 個路口號誌)									
	2.28 分鐘 (自租賃站 R_4 騎乘至租賃站 S_4 , 通過 1 個路口號誌)									
6.45 分鐘 (自租賃站 R_4 騎乘至租賃站 S_5 , 通過 3 個路口號誌)										
6.3 分鐘 (自租賃站 R_4 騎乘至租賃站 S_6 , 通過 3 個路口號誌)										
情境 4	$W_1=0.9$ $W_2=0.1$	$W_1=0.8$ $W_2=0.2$	$W_1=0.7$ $W_2=0.3$	$W_1=0.6$ $W_2=0.4$	$W_1=0.5$ $W_2=0.5$	$W_1=0.4$ $W_2=0.6$	$W_1=0.3$ $W_2=0.7$	$W_1=0.2$ $W_2=0.8$	$W_1=0.1$ $W_2=0.9$	
固定成本(FC,元)	2,448,576	2,176,511	1,904,448	1,632,384	1,360,320	1,088,256	816,193	544,128	272,064	
固定成本占總成本比率	34.73%	31.57%	28.26%	24.79%	21.16%	17.35%	13.34%	9.13%	4.69%	
營運成本(OC,元)	4,036,739	3,588,214	3,139,687	2,691,160	2,242,633	1,794,106	1,345,579	897,053	448,527	
營運成本占總成本比率	57.26%	52.04%	46.59%	40.87%	34.89%	28.60%	22.00%	15.05%	7.72%	
旅客旅行時間成本(PTC,元)	565,097	1,130,193	1,695,289	2,260,386	2,825,483	3,390,579	3,955,675	4,520,772	5,085,868	
旅客旅行時間成本占總成本比率	8.02%	16.39%	25.15%	34.33%	43.95%	54.05%	64.66%	75.83%	87.59%	
總成本(TC,元)	7,050,412	6,894,918	6,739,424	6,583,930	6,428,436	6,272,941	6,117,447	5,961,953	5,806,459	
公共自行車站設置點位	$R_2/R_4/S_3/S_4$	$R_2/R_4/S_3/S_4$	$R_2/R_4/S_3/S_4$	$R_2/R_4/S_3/S_4$	$R_2/R_4/S_3/S_4$	$R_2/R_4/S_3/S_4$	$R_2/R_4/S_3/S_4$	$R_2/R_4/S_3/S_4$	$R_2/R_4/S_3/S_4$	$R_2/R_4/S_3/S_4$

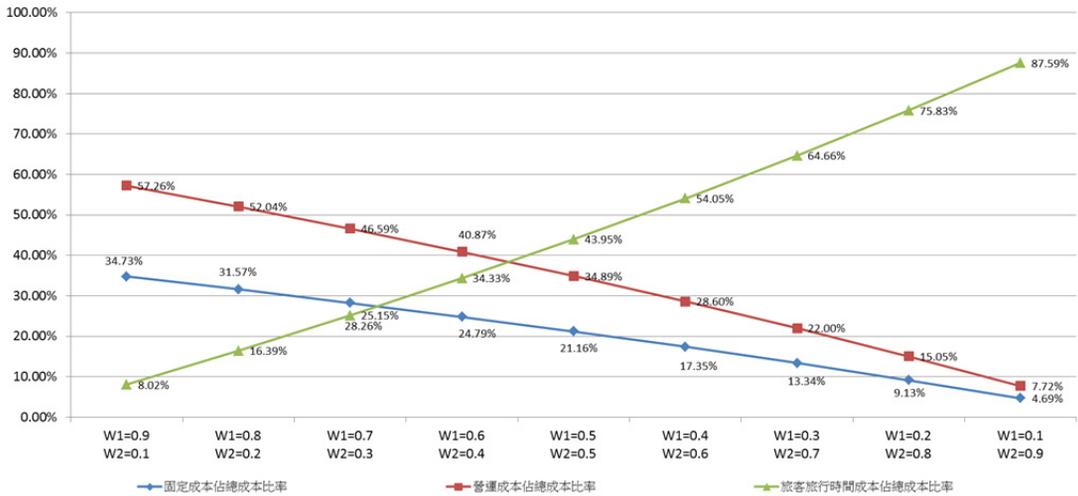


圖 13 情境 4 各成本項占總成本比率圖

表 6 情境 1 與情境 2 各成本項比較表

$W_1=0.5, W_2=0.5$	固定成本	營運成本	旅客旅行時間成本	總成本	區位選擇
情境 1 各成本項費用(A)	1,360,320	2,242,633	2,284,748	5,887,701	$R_1/R_3/S_3/S_5$
情境 2 各成本項費用(B)	1,700,400	2,262,815	2,746,595	6,709,810	$R_1/R_3/R_4/S_3/S_5$
節省費用, $C=(A-B)/A, %$	-25.00%	-0.90%	-20.21%	-13.96%	

根據表 6 結果，情境 1 較情境 2 總成本可節省達 13.96%，各成本項結果說明如下：

- 固定成本：情境 1 較情境 2 少 1 座公共自行車租賃站，成本節省達 25%，依目前實際現況來說，在同一捷運站 (M_2 三多商圈捷運站)附近設置兩座公共自行車租賃站，是較沒效益及效率，且從總成本結果亦可得知，少一座租賃站，對於整體的效益及成本節省是較佳的。
- 營運成本：情境 1 與情境 2 並沒有太明顯的差異，我們可以推估，因為目前實驗的路網較小，在營運成本面向中所占比例最大的人事成本，並無太大的差異；唯有在每年的維修成本及腳踏車購置成本上，有些微的不同。
- 旅客旅行成本：在情境 1 中，雖然鄰近 M_2 三多商圈捷運車站僅有 1 座租賃站建置，但由於 R_3 到 S_5 路線距離最短，故在模式中所有租用公共自行車之旅客皆行駛該路線時，在旅運成本上可較情境 2 為節省；而在情境 2 下，部分運量係行走 R_4 到 S_5 路線，該路線行駛時間為所有路線中最長者，故增加模式中旅客旅行時間之成本。

(2) 情境 1 與情境 3

根據前述文獻回顧說明，過去研究發現，例如在公共自行車租賃站附近，我們能提供更多便利的措施，如盥洗室、停車場等設施，將可提升服務品質。在情境 3 中，假設在固定成本中的租賃站建置成本提升，自 600,000 元提升至 1,000,000 元，比較情境 1 及情境 3，各成本項差異如表 7 所示。

表 7 情境 1 與情境 3 各成本項比較表

$W_1=0.5, W_2=0.5$	固定成本	營運成本	旅客旅行時間成本	總成本	區位選擇
情境 1 各成本項費用(A)	1,360,320	2,242,633	2,284,748	5,887,701	$R_1/R_3/S_3/S_5$
情境 3 各成本項費用(B)	2,160,320	2,242,633	2,284,748	6,687,701	$R_1/R_3/S_3/S_5$
節省費用, $C=(A-B)/A, \%$	58.81%	0.00%	0.00%	13.59%	

根據表 7 結果，在情境 3 較情境 1 總成本略增 13.59%，各成本項結果說明如下：

- 固定成本：情境 3 增加租賃站建置經費，故較情境 1 增加 58.81%，顯示在設置租賃車站時若額外增加固定成本設施，將明顯提高總成本；但對整體系統來說，服務品質可有效提升，提供民眾舒適及方便的租賃環境。
- 營運成本與旅客旅行成本：無增加。

(3) 情境 1 與情境 4

考量旅客騎乘腳踏車的實際狀況，各租賃站點位形成的路線中，皆會行經道路路口，旅客必須配合路口號誌時制計畫，進行必要的停等。比較情境 1 及情境 4，各成本項差異如表 8 所示。

表 8 情境 1 與情境 4 各成本項比較

$W_1=0.5, W_2=0.5$	固定成本	營運成本	旅客旅行時間成本	總成本	區位選擇
情境 1 各成本項費用(A)	1,360,320	2,242,633	2,284,748	5,887,701	$R_1/R_3/S_3/S_5$
情境 4 各成本項費用(B)	1,360,320	2,242,633	2,825,483	6,428,436	$R_2/R_4/S_2/S_4$
節省費用, $C=(A-B)/A, \%$	0.00%	0.00%	23.67%	9.18%	

根據表 8 結果顯示，情境 4 較情境 1 總成本略增 9.18%，各成本項結果說明如下：

- 固定成本與營運成本：無增加。
- 旅客旅行成本：情境 4 較情境 1 增加 23.67%，且公共自行車租賃站點位也由原本 $R_1/R_3/S_3/S_5$ ，改變為 $R_2/R_4/S_2/S_4$ 。檢視路網資料可知，在未考量交通狀況時， R_1-S_3 騎乘時間為 2.55 分鐘， R_3-S_5 為 1.5 分鐘， R_2-S_2 騎乘時間為 1.5 分鐘， R_4-S_4 騎乘時間為 0.78 分鐘；考量交通狀況時， R_1-S_3 騎乘時間為 8.55 分鐘， R_3-S_5 為 7.5 分鐘， R_2-S_2 騎乘時間為 3.5 分鐘， R_4-S_4 騎乘時間為 2.28 分鐘。由此可知，在本模式追求最小化總成本之下，為使旅客旅行時間成本最小，租賃站的點位將尋找騎乘時間較短之路徑，情境 4 的結果，較能反應真實的使用狀況。

七、結論與建議

為兼顧營運者與使用者的效益，本研究所構建的模式主要在於降低公共自行車系統之經營總成本，並考量旅客係為隨機抵達狀況下，進行公共自行車最佳區位選擇之研究，故所構建的數學規劃模式中，基本上考量固定成本、營運成本，以及旅客旅行時間成本等項目，並進行不同情境的分析與敏感度分析。

公共自行車系統要成為民眾第一哩及最後一哩的選擇，須配合地區內具有其他轉乘運具，例如捷運站/公車站等，且考量民眾步行距離，租賃站點位以距起、迄點 400 公尺內為佳（即民眾可於 5 分鐘內步行抵達），故本研究實證路網挑選高雄捷運 M_1 獅甲捷運站至 M_2 三多商圈捷運站沿線地區為例，該路網範圍涵蓋學區、一般住宅區、商業區及轉乘系統，可作為本研究的良好範例。以整體系統路網觀之，即使擴大範圍，依據本研究發展之模式，仍可依區域範圍內所設定之起、迄點加以切割，例如民眾自 M_1 獅甲捷運站出站，模式考量最小化旅行時間之條件下，將會選擇鄰近自行車租賃站進行借用，而不會跨區至 M_2 三多商圈捷運站或中央公園捷運站進行租借，是故本研究實證路網之結果，可作為全系統推估之使用。歸納本研究重要結論與貢獻，分別說明如下：

1. 提供公共自行車系統初期建置時租賃站區位選擇參考

系統初期建置常受限於經費而不能廣設租賃站點，本研究建構的區位選擇模式，在考量民眾實際步行狀況，並提出租賃站設置之基本假設，以最小化總營運成本為目標，因

模式中已考慮旅客旅行時間，所得結果可維持一定的系統服務水準。

2. 重新設置既有之公共自行車租賃站

根據表 6 的結果顯示，如果 M_2 三多商圈捷運站出口處，由原本 2 座租賃站減為 1 座，全系統的總成本不只降低，且由圖 8 統計資料顯示， R_3 三多商圈站及 R_4 新光中山站在每日 17:00~18:00 及 18:00~19:00 兩個時段，具有最高的租賃人數，合計 15 人，現行每座租賃站約可提供 30 輛自行車，故在情境 1 僅有 1 座租賃站的情況下，仍可維持一定的服務水準。本研究結果可提供未來營運廠商在營運階段，調整捷運站出口處附近（或其他轉乘系統）設置公共自行車租賃站點位與數量之參考，避免設置過多租賃站，造成彼此服務路網重複及提供超額自行車數量，徒增營運成本。

3. 騎乘時之交通狀況

在情境 1 中，本研究考量租賃站兩兩之間的旅程長度，轉換為時間成本，所以模式在旅客為隨機抵達的情況下，係搜尋較短路徑，以提供縮短民眾旅行時間成本。但在實證研究中發現，不僅旅程長度必須被考量，交通狀況（例如：道路擁擠、停等時間）亦須被納入，故由情境 4 結果得知，旅客騎乘自行車之時間參數 (D_{ij})，經考量交通擁擠因素後，對於公共自行車區位選擇有明顯的變化。

依據目前本研究初步所獲致結果，後續可進一步延伸之研究議題建議，分別說明如下：

1. 營運人力配置

本模式中因採用規模較小的實際路網進行測試，公共自行車租賃站的點位較少（計 10 站），此路網雖然尚未達到規模經濟，但若以實際營運的角度進行人力規劃，仍需投入基本的人力資源。以高雄捷運公司初期營運 49 站公共自行車之規模而言，包含經理 1 名、幕僚人力 4 名、技術員 12 名（包含建置系統人力、調度人力及客服人員），總計 17 名人力，本模式以此初期人數進行最佳化之運算，其結果對於營運成本項過於敏感，為使結果較為合理，本研究假設公共自行車租賃站未超過 10 站時，人力以 4 人進行營運。本研究建議，在實驗路網範圍擴大的情況下，可用經濟規模人力的基礎進行營運成本之估算，對於整體總成本之估算與點位選擇將更為精確。

2. 土地價值

高雄市地區公共自行車之推動方式，係當設置區域被選定後，由市政府進行土地之徵收，故在本研究中，土地價值成本並未納入模式考量。但以實務狀況而言，在固定成本項目中納入土地價值考量，可能影響租賃站點位的選擇，尤其若設置於市中心區域，因土地價值高昂，預計對於總成本之影響將更為顯著。惟值得注意的是，因土地價值對於模式之影響特別顯著（因其成本價值遠高於其他參數），將可能主導整個租賃站區位選擇的結果。本研究所提之模式，因考量此項因素，所以在各情境中納入權重因子，可提供經營者在不同面向下（例如以固定/營運成本最低或旅客服務品質最高為考量），進行公共自行車點位設置之參考。

3. 預算規模

本研究中採用小範圍的路網規模進行實證研究，其總成本受限於路網規模，而非預算規模。未來若高雄市環保局提供的預算額度增加、整體實證研究路網擴大，則該預算額度必須設為限制式納入模式考量，如此可作為整體租賃站建置數量的上限值。

4. 公共自行車專用道

本研究中並無考量增設專屬公共自行車專用道，根據相關研究指出，若能增設此項設施，將可提供民眾舒適的騎乘環境，無須與其他機動車輛爭奪路權，且在旅行時間上，可更為節省。本研究建議未來若納入該項因子，鋪設之路線可與實證路網既有之自行車路線結合，以拓展區域內自行車路線路網，同時提高民眾使用公共運輸系統的誘因。

5. 租賃站點位重新建置後之運量變化

在未來研究中，可進一步檢視當靠近捷運站之公共自行車租賃站重新調整數量或位置後，對於整體使用公共自行車運量的變化為何，是否能藉由本模式的區位選擇結果，提升民眾的使用意願，達成捷運系統運量提升及增加彼此受益的可能性。

參考文獻

1. Shu, J., Chou, M. C., Liu, Q., Teo, C. P., and Wang, I. L., "Models for Effective Deployment and Redistribution of Bicycles within Public-Sharing Systems", *Operations Research*, Vol. 61, No. 6, 2013, pp.1346-1359.
2. 高雄市政府環保局，高雄市公共自行車資訊網，「最新消息」，<http://www.c-bike.com.tw/NewsList.aspx?tid=6>，民國 102 年。
3. 捷安特股份有限公司，臺北市公共自行車，「關於 YouBike」，<http://www.youbike.com.tw/home.php>，民國 102 年。
4. 臺北大眾捷運股份有限公司，臺北捷運公司官方網站，「關於我們」，<http://www.trtc.com.tw/ct.asp?xItem=1315528&CtNode=24534&mp=122031>，民國 102 年。
5. Lin, J. R. and Yang, T. H., "Strategic Design of Public Bicycle Systems with Service Level Constraints", *Transportation Research Part E*, Vol. 47, Issue 2, 2011, pp. 284-294.
6. Wang, Y. W., "An Optimal Location Choice Model for Recreation-Oriented Scooter Recharge Station", *Transportation Research Part D*, Vol. 12, Issue 3, 2011, pp. 231-237.
7. Martens, K., "The Bicycle as a Feeder Mode: Experience from Three European Countries", *Transportation Research Part D*, Vol. 9, Issue 9, 2004, pp. 281-294.
8. Martens, K., "Promoting Bike-and-Ride: The Dutch Experience", *Transportation Research Part A*, Vol. 41, Issue 4, 2007, pp. 326-338.
9. Buehler, R., "Determinants of Bicycle Commuting in the Washington, DC Region: The Role of Bicycle Parking, Cyclist Showers, and Free Car Parking at Work", *Transportation Research Part D*, Vol. 17, Issue 7, 2012, pp. 525-531.
10. Pucher, J., Buehler, R., and Seinen, M., "Bicycling Renaissance in North America? An Update and Re-Appraisal of Cycling Trends and Policies", *Transportation Research Part A*, Vol. 45, Issue 6, 2011, pp. 451-475.

11. Börjesson, M. and Eliasson, J., "The Value of Time and External Benefits in Bicycle Appraisal", *Transportation Research Part A*, Vol. 46, Issue 4, 2012, pp. 673-683.
12. Fishman, E., Washington, S., and Haworth, N., "Barriers and Facilitators to Public Bicycle Scheme Use: A Qualitative Approach", *Transportation Research Part F*, Vol. 15, Issue 6, 2012, pp. 686-698.
13. Li, Z., Wang, W., Yang, C., and Ragland, D., "Bicycle Commuting Market Analysis Using Attitudinal Market Segmentation Approach", *Transportation Research Part A*, Vol. 47, 2013, pp. 56-68.